TU Bergakademie Freiberg
Institut für Mineralogie
Lehrstuhl für Geochemie
Brennhausgasse 14
09599 Freiberg

Das Oderprojekt (Odra-Project)

Teilprojekt 8:
Bewertung, Entwicklung und Beeinflußbarkeit des Schwermetallstatus im Odersystem

Abschlußbericht
zum BMBF-Vorhaben 02WT9706/5

01.05.1997-31.07.2001

Projektleiter: Prof. Dr. Peter Beuge †
Prof. Dr. Werner Klemm

Wissenschaftliche Mitarbeiter: Dipl.-Min. Annia. Greif
Dipl.-Geol. Caren Wittmüß

† Prof. Dr. Peter Beuge

Am 21.06.2001 verstarb unser Projektleiter Herr Prof. Dr. Peter Beuge
im Alter von 63 Jahren.

Mit der „Geburt“ des Oder-Projektes erfüllte er sich einen langjährigen Wunsch nach einer Flußgebietsforschung im „Flachland“.

Begeistert fuhr er in regelmäßigen Abständen mit immer neuen Ideen zur zentralen Probenahme und in die Polder des Unteren Odertales, deren Landschaften ihn immer wieder faszinierten.

Diesen Bericht stellten wir
in Erinnerung an Prof. Dr. Peter Beuge
fertig.

Das Internationale Oderprojekt trauert um Prof. Dr. Peter Beuge,

der am 21.06.2001 nach schwerer Krankheit verstorben ist.

Peter Beuge wurde am 11.04.1938 in Sorau geboren. Er studierte von 1957 bis 1962 Geochemie und Mineralogie an der Bergakademie Freiberg. 1974 promovierte er dort mit dem Thema „Zur Geochemie des Quecksilbers“, 1989 habilitierte er sich für das Fach Geochemie mit der Arbeit „Zur Geochemie pelitischer Gesteine im Prozeß der Regionalmetamorphose“.

Von 1988 bis 1990 war er als Gastdozent an der Universität “Eduardo Mondbue“ in Maputo/ Mocambique tätig. Nach der Rückkehr wurde er 1992 an die TU BA Freiberg als Professor für Geochemie berufen und hat dieses Fach rasch zu großer Blüte geführt. Aufbauend auf seinen breiten profunden Kenntnissen hat er eine große Zahl Studierende für das Fach Geochemie und die Lösung der großen, aus dem Jahrhunderte währenden Erzabbau entstandenen Umweltprobleme begeistert und sie fachlich angeleitet. 24 Diplomarbeiten und 7 Promotionen sind in dieser fruchtbaren Zeit entstanden.

International geprägt hat er frühzeitig die Partnerschaft mit externen Arbeitsgruppen gesucht und aufgrund seiner großen Menschlichkeit und Hilfsbereitschaft mit seiner honorigen, offenen und gewinnenden Art Kooperationen großer Effektivität etabliert.

Die dabei entstandenen Arbeiten über die Schadstoffsituation im Muldesystem und deren Überwindung, das besondere Verhalten der Grubenwässer und die Auslaugproblematik der abgeworfenen Erzgruben sind bahnbrechend und grundlegend für alle Sanierungskonzepte. Seine dabei gewonnenen Erfahrungen brachte er in das Internationale Oderprojekt ein und glänzte auch dort mit anspruchsvollen Arbeiten über den Metabolismus von Schwermetallionen in Überflutungsgebieten.

Das Internationale Oderprojekt hat mit Peter Beuge eines seiner profiliertesten Mitglieder verloren.

Wir trauern um einen hochgeachteten Kollegen und lieben Freund.

Prof. Dr. Arndt Knöchel, Universität Hamburg

Inhalt

Einleitung 1

1. **Aufgabenstellung** 3

2. Charakterisierung des Untersuchungsgebietes
2.1 Geographie 4
2.2 Geologie 5
2.3 Hydrologie 6
2.4 Polder 7
2.5 Böden 9
2.6 Bekannte anthropogene Quellen im deutschen Oderabschnitt 11
2.7 Landnutzung im Einzugsgebiet 12

3. Probenahme und Analytik
3.1 Probenahme 13
3.2 Probenvorbereitung und Analytik 15
3.3 Analytische Qualitätssicherung 20

4. Bewertungsgrundlagen
4.1 Geochemische Bewertung 23
4.2 Ökotoxikologische Bewertung 24

5. Ergebnisse und Interpretation
5.1 Der Oderabschnitt von Polecko bis Widuchowa
5.1.1 Abflußgeschehen und Schwebstofftransport 27
5.1.2 Vor-Ort-Parameter 33
5.1.3 Hauptionen und Summenparameter im Wasser 36
5.1.4 Spurenelementgehalte in Wasser, Schweb und Sediment 44
5.1.5 Einschätzung der Bewertungsansätze für die Sedimente 63
5.1.6 Bevorzugte Transportform und Verteilungskoeffizienten 65
5.1.7 Frachten 68

5.2 Die Geochemie der Polder
5.2.1 Die Böden der Polder 71
5.2.2 Die jährlichen Überflutungssedimente 91
5.2.3 Die Hochwassersedimente des Jahres 1997 101
5.2.4 Überflutungssedimente und Hochwassersedimente – Gleiches und Unterschiedliches 106
5.2.5 Staubsedimentation in den Poldern 113
5.2.6 Die Oberflächenwässer 119
5.2.7 Das Bodenwasser 125
5.2.8 Boden und Pflanze – Transferfaktoren 138

6. Zusammenfassung 144

Literaturverzeichnis 150
Abkürzungsverzeichnis 155
Anlagenverzeichnis/Anlagen

Einleitung

Während Flußsysteme wie Rhein und Neckar schon seit den siebziger Jahren im Blickpunkt des umweltgeochemischen und ökotoxikologischen Interesses stehen, ist das für die Flußsysteme Elbe und Oder erst ab den neunziger Jahren der Fall. Erst mit der Wiedervereinigung Deutschlands und der Annäherung Ost- und Westeuropas wurden grenzüberschreitende Untersuchungen an der Oder möglich.

Bei der aktuellen Bewertung des Stoffhaushalts des Odersystems und seiner zeitlichen Entwicklung ist zu berücksichtigen, das sich die Oder gegenüber anderen deutschen Flüssen durch ein zunehmend kontinentales Klima, durch einen jährlichen Eisgang, durch stark schwankende Wasserstände mit häufig auftretenden Sommerhochwässern, durch stark asymmetrische Lage in ihrem Einzugsgebiet (Abb. 1) und durch Jahrhunderte währende umfangreiche Wasserbaumaßnahmen auszeichnet.

Im Rahmen der Helsinkikommission (HELCOM) und der Internationalen Kommission zum Schutz der Oder (ISKO) kommt der Sanierung der Oder und ihrer Nebenflüsse künftig große Bedeutung zu, um den Eintrag an Nährstoffen und Schadstoffen in die Ostsee maßgeblich zu senken [DEHMEL, 1992].

Der Kenntnisstand über die Oder ist relativ gering, da vorhandenes Datenmaterial aufgrund der Dreistaatlichkeit schwer verfügbar war und damit weitgehend unveröffentlicht blieb. Zur übersichtsmäßigen Auswertung kamen im Umweltbundesamt Berlin (UBA) lediglich Daten zur Hydrologie sowie zum Sauerstoff-, Nährstoff- und Salzhaushalt der Oder im deutsch-polnischen Abschnitt [DEHMEL, 1992]. In den achtziger Jahren wurden erhebliche Sauerstoffdefizite (vor allem 1986/87) an den Pegeln Hohenwutzen und Schwedt festgestellt. Für Chlorid- und Sulfat als Maß zur Beurteilung der Salzbelastung wurden oberhalb der Warta hohe Konzentrationen ermittelt, die Rückschlüsse auf anthropogene Beeinflussungen im Oberlauf (salzhaltige Grubenwässer) zulassen. Die Salzbelastung der Warta ist wesentlich geringer, so daß unterhalb ihrer Einmündung ein Verdünnungseffekt auftritt.

Das Landesumweltamt Brandenburg führte im Jahr 1993 ein Sonderuntersuchungsprogramm am deutsch-polnischen Grenzabschnitt der Oder unter besonderer Berücksichtigung der Schwermetalle und organischer Spurenstoffe durch. Dabei wurden einige Belastungsquellen ermittelt bzw. vermutet. Typische Belastungsquellen, wie z.B. die EKO-Stahl AG als Vertreter der Hüttenindustrie verursachten einen signifikanten Anstieg der Mangan- und Zinkkonzentrationen. Ein erhöhter Cadmiumeintrag wurde aus der Warta beobachtet. Für die Gruppe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) ergaben sich in der Oder und Neiße signifikante Überschreitungen des Grenzwertes der Trinkwasserverordnung

[SONNENBURG u.a., 1994]. Die Auswertung des Meßprogramms von 1993 zeigt, daß im Vergleich mit 1990/91 keine statistisch nachweisbaren Trends zur nachhaltigen Verbesserung der Wasserbeschaffenheit an der Oder vorliegen [SONNENBURG, 1993].

Aus der Recherche und Bewertung der vorliegenden Daten ergaben sich viele neue Fragestellungen aber auch Ansatzpunkte für die umfassende Charakterisierung des Odersystems, die in einem internationalen Forschungsprojekt gebündelt wurden. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) fördert im Zeitraum von 1997 bis 2001 zwölf Teilprojekte deutscher und polnischer Institutionen. Neben dem definierten Zeitrahmen kommt im Projekt eine für alle Partner abgestimmte Methodik und verbindliche Parameterpalette zum Tragen.

1 Aufgabenstellung

Im Teilprojekt der TU Bergakademie Freiberg sollen für den **Abschnitt Polecko (**oberhalb der Neißemündung) **bis Widuchowa** (vor der Teilung in West- und Ostoder) die Basisdaten gemessen werden, die es gestatten,

- die regionale Schwermetallverteilung im Flußlängsschnitt in den Kompartimenten Wasser, Schwebstoff und Sediment (<20 µm) und
- die regionale Verteilung der Vor-Ort-Parameter, Hauptionen und Summenparameter AOX und TOC im Flußlängsschnitt im Wasser zu ermitteln.

Der Abschnitt umfaßt insgesamt 17 Probenahmestellen in der Oder sowie wesentliche Nebenflüsse (Neiße, Oder-Spree-Kanal, Brieskower Kanal, Ilanka, Warta, HFW).

Für die **Polder des Unteren Odertales** sollen die Basisdaten gemessen werden, die es gestatten,

- die regionale Schwermetallverteilung im Kompartiment Auenboden zu analysieren,
- daraus die einzugsgebietstypischen geogenen Hintergrundwerte für ausgewählte Schwermetalle der Fraktionen <2 mm und <20 µm zu ermitteln sowie
- ihre jahreszeitliche Varianz zu erkennen.

Untersuchungsobjekte sind**:** der Lunow-Stolper Polder, der Criewener Polder, der Schwedter Polder und der Fiddichower Polder.

Sowohl für die Untersuchung des Flußabschnitts als auch für die Polder ergeben sich folgende **Arbeitsziele**:

- Stoffkonzentrationen zu ermitteln und sie geochemisch/ökotoxikologisch zu bewerten,
- kontaminierte Bereiche zu erkennen, abzugrenzen und die Ursachen herauszufiltern (Schadstoffpotential und -verteilung, Quellenforschung),
- Stofftransporte zu bilanzieren (Schadstoffdynamik),
- Gefährdungspotentiale zu erkennen und zu bewerten,
- zeitliche Trends der Konzentrationsentwicklung zu bestimmen und
- Sanierungsvorschläge für verschiedene Kontaminationsgrade abzuleiten.

Um diese Arbeitsziele zu erreichen, werden u.a. folgende **Methoden und Strategien** zur Auswertung als zweckmäßig betrachtet:

- Ermittlung der Verteilungskoeffizienten der Schwermetalle (Wasser-Schweb),
- Ermittlung der bevorzugten Transportform der Elemente,
- Ermittlung von Massenbilanzen (Input/Output in den Poldern),
- Ermittlung von Frachten (an ausgewählten Pegeln der Oder),
- Anwendung statistischer Verfahren.

2 Charakterisierung des Untersuchungsgebietes

2.1 Geographie

Die Oder entspringt in einer Höhe von 634 m über dem Meeresspiegel östlich von Olomouc im Oderske Vrchy (mährisches Odergebirge) in der Tschechischen Republik. Ihr oberes und mittleres Einzugsgebiet wird hauptsächlich von Flüssen gespeist, die der Mittelgebirgskette von den westlichen Beskiden über die Sudeten bis zum Lausitzer Gebirge entspringen. Der Abschnitt der unteren Oder beginnt mit der Einmündung der 808 km langen Warta, die als Flachlandfluß charakterisiert wird. Das Einzugsgebiet der Warta nimmt ca. die Hälfte (46 %) des gesamten Odereinzugsgebietes ein. Die Oder hat eine Länge von 854 km und ein Einzugsgebiet von 118.861 km^2 [SONNENBURG u.a., 1994]. Davon liegen ca. 89 % in der Republik Polen, ca. 6 % in der Tschechischen Republik und ca. 5 % in der Bundesrepublik Deutschland.

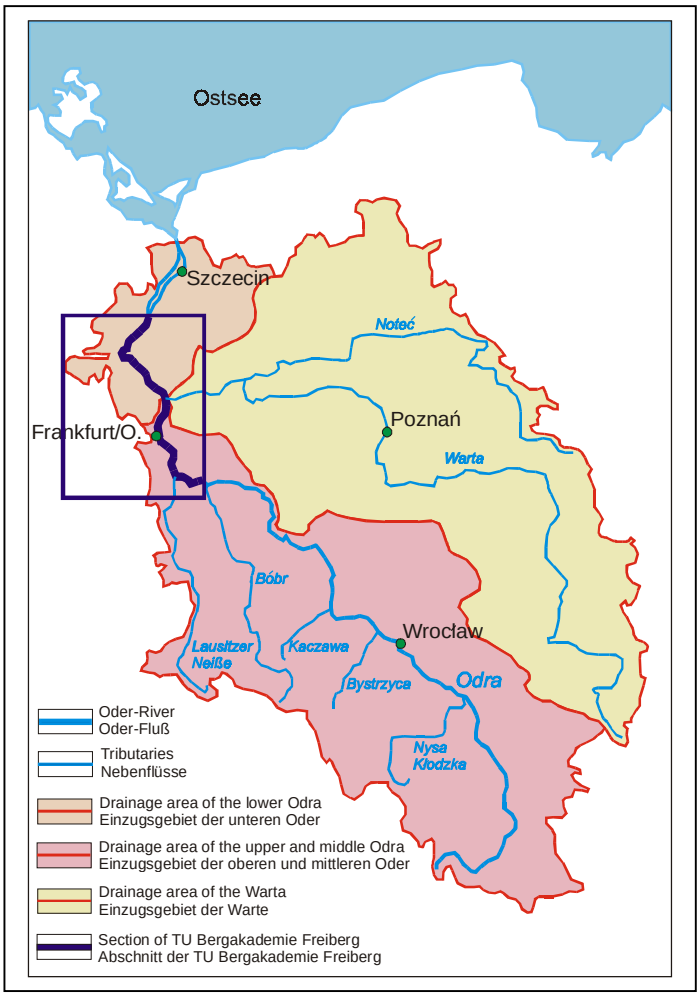


Abb. 1:
Karte des Odereinzugsgebietes [LUA BRANDENBURG, 1998; DOHLE, WEIGMANN & SCHRÖDER, 1999]

Eine weitere Besonderheit des Oder-Einzugsgebietes ist seine Verbindung zu anderen Flußsystemen, wie der Weichsel, der Spree (Oder-Spree-Kanal) und der Havel (Oder-Havel-Kanal) über Kanäle mit Schleusensystemen für den Schiffahrtsverkehr.

Nördlich von Frankfurt/O. weitet sich das Flußtal zu dem 840 km^2 großen Oderbruch aus. Unter Friedrich dem Großen wurde für die Oder 1747-1753 ein neues Bett gegraben, das den Hauptstrom ganz an den östlichen Rand verlagert. Mit einem Durchstich durch die Neuenhagener Landzunge wurde der Flußlauf um 25 km verkürzt [DOHLE, WEIGMANN & SCHRÖDER, 1999]. Die Eindeichungen bis 1896 haben das natürliche Überschwemmungsgebiet der Oder von ca. 3.709 km^2 auf 859 km^2 (also auf 23 %) reduziert [LUA BRANDENBURG, 1998].

Nördlich von Hohensaaten bis Szczecin erstreckt sich das Untere Odertal auf einer Länge von 60 km. Es wurde zwischen 1907 und 1931 tiefgreifend verändert. Zwischen der Oder und der Hohensaaten-Friedrichsthaler Wasserstraße entstanden mehrere kleine Polderflächen, die unter verschiedenen Flutungsregimen (Sommer- bzw. Winterpolder) stehen.

Der Oderstrom teilt sich nördlich von Schwedt in die West- und Ostoder und mündet vereinigt im Pappenwasser in das Stettiner Haff.

2.2 Geologie

Im Tertiär hatten sich bereits ausgereifte Flußsysteme entwickelt, die die anfallenden Niederschlagswässer von den generell nach Norden abgedachten Mittelgebirgen in nördlicher bis nordwestlicher Richtung abführten. Jedes von Norden vorstoßende Inlandeis überfuhr das Entwässerungssystem und egalisierte es weitgehend. Je nach Reichweite des Eisvorstoßes (jüngere meistens nicht südlicher als ältere) bildeten sich seine Terrassen in den jeweiligen Eisrandlagen unter zunehmender Verschachtelung in Richtung Oberlauf. Mit dem Rückzug des Eises konnten die Wässer mit zunehmendem Niederschlagsanteil aus dem südlichen Einzugsgebiet die freigegebenen Randlagenbildungen nach Norden durchbrechen. An der Oder finden sich solche Durchbrüche u.a. bei Frankfurt/O. (Frankfurter Randlage), bei Oderberg (Pommersche Randlage) und bei Criewen (Angermünder Randlage). Für die Oder konnten 17 Terrassen, davon 5 der letzten Vereisung (Weichsel) nachgewiesen werden. Nach dem Rückzug des Eises, verbunden mit einer kurzfristigen Senkung der marinen Erosionsbasis auf ca. –60 m unter dem heutigen Ostseespiegel begann bei hohem Wasseraufkommen eine starke Erosionsphase. Dabei entstanden neben dem steilen Gefälle der Basis des Hauptstromes kurze Seitentäler (max. 1500 m) mit großen Höhendifferenzen (um 60 m, max. 170 m). Im Holozän setzte eine schrittweise Aufschotterung der Hohlformen ein. Mit dem Anstieg der marinen Erosionsbasis und weiterem hohen Wasseranfall bildete sich ein mächtiger Schotterkörper bis auf 8-15 m unter der rezenten Auenoberfläche der unteren Oder. Der Raum, in dem sich die holozänen Auen (Sande, Auelehm, Mudden, Torfe) entwickeln konnten (Tab. 2), war seitlich von älteren pleistozänen Sedimentfolgen (Sande und Kiese) und Terrassenresten sowie nach unten von der spätpleistozänen Erosionsbasis (Geschiebemergel, Geschiebelehme) und einem mächtigen Schotterkomplex (Kiese und Sande) begrenzt [BROSE, 1998].

2.3 Hydrologie

In den Kammlagen des mährischen Odergebirges werden 1.000 bis 1.400 mm als höchste Jahresniederschlagssummen erreicht, im größten Teil des Einzugsgebietes fallen jedoch jährlich 600 bis 700 mm Niederschlag. Im Unterlauf sind niedrigere Niederschlagssummen mit weniger als 500 mm zu beobachten, im Oderbruch beläuft sich das langjährige Mittel auf 440 mm [LUA BRANDENBURG, 1998]. Bei den Gewässern in Brandenburg kann man von einem ozeanischen Regenregime bzw. einem Mischtyp ozeanisches Regenregime/nivales Tieflandsregime ausgehen. Der mittlere Jahresgang zeigt einen sinusförmigen Verlauf. In der Oder tritt das Minimum erst im September/Oktober auf. Hochwässer können zu unterschiedlichen Jahreszeiten auftreten, wobei sich in Hohensaaten die ausgleichende Wirkung der Warta bemerkbar macht [NAUMANN, 1992]. Der mittlere Abfluß vor dem Zusammenfluß liegt in der Oder bei 304 m^3/s und in der Warta bei 224 m^3/s. Fließen Hochwasserwellen der Oder ab, ohne daß das Warta-Einzugsgebiet von den Niederschlägen betroffen wurde, wirkt die Warta-Niederung als Retentionsbecken ausgleichend auf den unteren Oderabschnitt [LUA BRANDENBURG, 1998].

Mit Ausnahme der Neiße (mittlerer Abfluß 29,8 m^3/s) und der Hohensaaten-Friedrichsthaler Wasserstraße (mittlerer Abfluß 14,5 m^3/s) besitzen die Zuflüsse aus dem deutschen Odereinzugsgebiet (Eisenhüttenstädter Hauptgraben, Brieskower See, Altzeschdorfer Mühlenfließ, Salveybach) kaum Einfluß auf das Abflußgeschehen der Oder und Westoder [LUA BRANDENBURG, 1998]. Das Teileinzugsgebiet der Hohensaaten-Friedrichsthaler Wasserstraße (HFW) umfaßt eine Einzugsgebietsfläche von 3.907 km^2 mit den Vorflutern Finow (Finow-Kanal), Alte Oder (Oderbruch) und Welse. Im Unterlauf der HFW, die in die Westoder mündet, kann es aufgrund von Rückstauerscheinungen zu sehr geringen Fließgeschwindigkeiten (<0,5 m^3/s) kommen [DEHMEL, 1992]. Das Abflußregime am Pegel Hohensaaten-Finow (Jahresreihe 1921/1990 ohne 1945) läßt sich durch folgende Eckwerte charakterisieren [SONNENBURG, 1993]: langjähriger mittlerer Abfluß 540 m^3/s, NNQ 111 m^3/s, HHQ 3480 m^3/s, Wassertemperaturen zwischen 0,0 und 28,8 °C, mittlere Abflußspende von 4,93 $l/s*km^2$. Mit dieser Abflußspende verfügt die Oder über ein relativ geringes Oberflächenwasserdargebot.

Die Winter sind außerordentlich kalt. In der Jahresreihe 1900/01 bis 1990/91 wurden am Pegel Hohensaaten-Finow durchschnittlich 44 Tage/Jahr mit Eiserscheinungen auf der Oder registriert, davon 30 Tage mit Eisstand. Neben Randeis bildet sich an den Schwebstoffen Schwebeis, das an der Gewässersohle zu Grundeis zusammenklumpt, aufschwimmt und als Treibeis weiter transportiert wird. Bei anhaltenden Frostperioden können sich die Treibeisplatten vergrößern, zusammenfrieren und einen Eisstand hervorrufen. Durch Lösung des Aufstaus können Winterhochwässer entstehen. Frühjahrshochwässer sind meistens durch die

Schneeschmelze in den Mittelgebirgen bedingt. Beim Zusammentreffen von Schneeschmelze, Niederschlägen und Eisstau können sehr hohe Wasserstände erreicht werden. Sommerhochwässer kommen fast immer durch ausgiebige Regenfälle in den Quellgebieten der Oder und wichtigen Zuflüssen in den Mittelgebirgslagen zustande. Besonders bei der Verlagerung von Tiefdruckgebieten aus dem Mittelmeerraum regnen sich feuchtwarme Luftmassen an den Gebirgen ab. Durch zwei derartige Wetterlagen kam auch das Jahrhunderthochwasser im Sommer 1997 zustande [DOHLE, WEIGMANN & SCHRÖDER, 1999].

2.4 Polder

Die Maßnahmen zur Umgestaltung des Odertales dienten fast ausschließlich der nachfolgenden landwirtschaftlichen Nutzung, wodurch Flächen unterhalb des Fließgewässerniveaus entstanden. In den Naßpoldern (Sommerpolder) werden die Flächen im Winter geflutet, um eine Düngewirkung zu erzielen, und ab April mit dem Ziel einer frühzeitigen Bewirtschaftung wieder trockengelegt. Trockenpolder (Winterpolder) werden nicht geflutet. Bei den Naßpoldern wird Oderwasser über Wehre in die Polder eingeleitet und gelangt später über Schöpfwerke in die Hohensaaten-Friedrichsthaler Wasserstraße (HFW).

Tab. 1: Charakterisierung der wichtigsten Polder des Unteren Odertales

Polder	**Charakter**
Lunow-Stolper Polder	- Trockenpolder (=Winterpolder), wird bei Hochwasser nicht geflutet - Grundwasseranstieg wird über Schöpfwerk Stolpe (HFW-Seite) reguliert, i.d.R. 1,5 m unter Flur
Criewener Polder Schwedter Polder	- Naßpolder (=Sommerpolder) - wichtige Einlaßbauwerke (Oderseite) sind Neues Wehr und Saathener Wehr, Flutung ab Mitte November - Trockenlegung ab April über Schöpfwerk Schwedt I (HFW-Seite), i.d.R. bis 1,0 m unter Flur
Fiddichower Polder	- Naßpolder mit Deichlücken, Kahnschleuse (Oder-Seite) und Schöpfwerk (HFW-Seite) - nördlich der Schwedter Querfahrt Verbindung mit Schiffsschleuse

Das Bestreben der landwirtschaftlichen Nutzung der Polder besteht bis in die Gegenwart, ist aber in den letzten Jahren, wohl aber nicht immer aus Einsicht, zurückgegangen. Bemühungen um den Schutz der Natur im Unteren Odertal gibt es seit mehr als fünfzig Jahren [MÖNNINGHOFF, 1997].

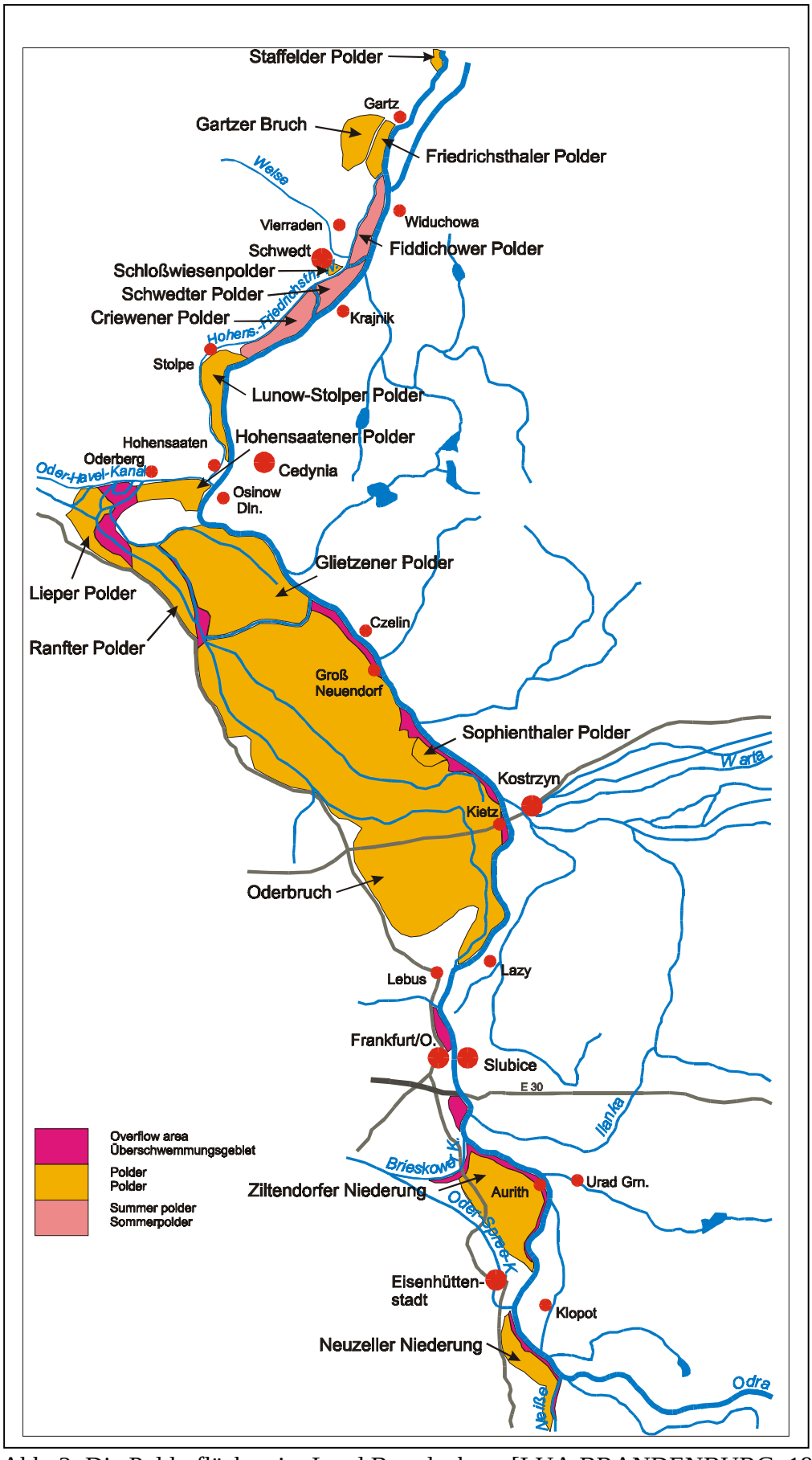


Abb. 2: Die Polderflächen im Land Brandenburg [LUA BRANDENBURG, 1998]

Stand früher der Schutz einzelner bedrohter Arten im Vordergrund, werden heute zunehmend ganze Lebensräume unter Schutz gestellt. Mit den politischen Veränderungen zu Anfang der 90er Jahre wurde ein Nationalparkkonzept auf deutscher und polnischer Seite entwickelt, das die Einmaligkeit der Situation bewahrte. Gerade die Situation der Oderaue als politisches Grenzgebiet mit geringer Bevölkerungsdichte, mit fast regelmäßigen Wintervereisungen des Oderstromes, den nachfolgenden häufigen Hochwassergefahren, hat an diesem Fluß zur Erhaltung ausgedehnter Überflutungsflächen beigetragen. Seit 1995 besteht der Nationalpark „Unteres Odertal“ auch gesetzlich. Dabei müssen die zwangsläufig auseinandergehenden Interessen des Naturschutzes, der Landwirtschaft, der Schiffahrt, der Urbanisierung und auch des zunehmenden Tourismus durch wechselseitige Akzeptanz in Einklang gebracht werden.

2.5 Böden

Bodenkundliche Charakterisierung

Mit Abnahme der Wassermenge nimmt auch die Erosionsleistung der Flüsse ab, meßbar durch die Abnahme der Mäanderradien in der Aue. Eine wesentliche Rolle in der Entwicklung der holozänen Auen spielen kurzzeitige Anstiege in der Wasserführung, die Hochwasserereignisse. Übersteigt die abzuführende Wassermenge den verfügbaren Flußquerschnitt, ufert der Fluß aus. Die plötzliche Querschnittsvergrößerung bewirkt ein Abnehmen der Fließgeschwindigkeit und der Transportkraft am Übergang vom Fluß zur Aue. Am Flußufer kommt es zur Ablagerung der Sedimentfracht und Ausbildung von Uferwällen. Hinter dem Uferwall kommt es aufgrund sehr geringer Fließgeschwindigkeiten zur Akkumulation schluffig-toniger Sedimente mit unterschiedlichem Organogenanteil (Auelehm) [BROSE, 1998].

Tab. 2: Dominierende Sedimente im holozänen Auenkörper [BROSE, 1998]

Sedimenttyp	**Charakter**
Sandwälle	- aus der Sedimentfracht des Flusses - fein-grobkörnige Sande mit Fein- bis Mittelkiesanteil
Flächenhafte Sandablagerungen	- aus älteren pleistozänen Schmelzwasserablagerungen oder aus in Schwemmfächern abgelagerter Geschiebefracht (Uferwalldurchbrüche) - fein-grobkörnige Sande mit Fein- bis Mittelkiesanteil
Auelehm	- schluffig-tonige Sedimente mit geringem Feinsandanteil
Organogene Sedimente	- Torfablagerungen in tiefergelegenen Bereichen oder in Altarmen mit Übergängen in Form von Mudden mit unterschiedlichem Organogenanteil
Sonstige Sedimente	- geringe Vorkommen von organogenen Kalkablagerungen, Seekreiden und Raseneisenstein

In den Auen des Unteren Odertales sind bei hoch anstehendem Grundwasser Auen-Gleye verbreitet, stellenweise als Mischtypen der Auen-Niedermoorgleye oder –Anmoorgleye. Am Oderufer befinden sich Uferwälle mit sandreichen Auen-Rohböden [DOHLE, WEIGMANN & SCHRÖDER, 1999].

Charakterisierung der Spurenelementgehalte in den Böden

In den Vorlandböden zeigen die Schwermetalle Cd, Pb und Cu bei unterschiedlichem Niveau ein zwischen den Standorten parallel verlaufendes Belastungsmuster. Das kann darauf zurückgeführt werden, daß an allen Standorten die Schwermetalle in ähnlichem Mischungsverhältnis eingetragen werden. Die Bindung der Metalle erfolgt je nach Bindungsfähigkeit der Böden, tonreiche und stark humushaltige Böden binden besser Schwermetalle als sandreiche und humusarme. Zeitweise überflutete Standorte haben ein größeres Spurenelementinventar als trockenliegende [WEIGMANN & SCHUMANN, 1999]:

- Uferstandorte <3 mg/kg Cd, <100 mg/kg Pb, <50 mg/kg Cu
- Wiesenstandorte mit Überflutungsereignissen bis 12 mg/kg Cd, bis 400 mg/kg Pb, bis 250 mg/kg Cu.

Das trifft auch für die Polder zu [WEIGMANN & SCHUMANN, 1999]:

- Standorte ohne Überflutung (Trockenpolder) <3 mg/kg Cd, <50 mg/kg Pb, <30 mg/kg Cu,
- Böden mit Weidengehölzen in Naßpoldern bis 12 mg/kg Cd, bis 300 mg/kg Pb und bis 200 mg/kg Cu.

Aufgrund von Bodenuntersuchungen vor bzw. nach dem Hochwasserereignis im Sommer 1997 durch das Landesumweltamt Brandenburg und die Landesanstalt für Landwirtschaft kann ausgeschlossen werden, daß durch das Oderhochwasser großflächige Schad- oder Nährstoffeinträge in den Boden stattgefunden haben. Dies ist im wesentlichen damit zu begründen, daß das Überschwemmungswasser einen hohen Anteil an gering belastetem Niederschlagswasser enthielt und nur eine äußerst geringe Sedimentation zu verzeichnen war [ANDERS & DINKELBERG, 1998].

2.6 Bekannte anthropogene Quellen im deutschen Oderabschnitt

Die Oder erreicht bereits mit einem qualitativ breiten und quantitativ hohen Schadstoffpotential die Landesgrenze. Die Wasserbeschaffenheit der Neiße als erstem Zufluß aus deutschem Gebiet wird durch Abwassereinleitungen aus dem kommunalen Bereich und Braunkohlentagebau beeinflußt. Die Auswirkungen sind in der Oder aufgrund der deutlich geringeren Wassermenge nur zum Teil detektierbar. Im deutsch-polnischen Grenzoderabschnitt wirken sich folgende Punktbelastungsquellen auf die Wasserbeschaffenheit der Oder aus [SONNENBURG, 1993, LUA BRANDENBURG, 1999]:

Deutsche industrielle Direkteinleiter

- Kläranlage der EKO Stahl GmbH Eisenhüttenstadt (11.302.000 m^3/Jahr)
- Papierfabrik Haindl Schwedt (4.635.000 m^3/Jahr)
- Schwedter Papier- und Karton GmbH (5.400.000 m^3/Jahr)
- PCK GmbH Schwedt (7.802.000 m^3/Jahr)

Deutsche kommunale Direkteinleiter

- Kläranlagen der Stadt Eisenhüttenstadt (3.750.000 m^3/Jahr)
- Kläranlage Stadt Frankfurt/O. (6.300.000 m^3/Jahr)

Polnische Direkteinleiter

- Kläranlage Zellstoffabrik und Stadt Kostrzyn

Diese Einleiter wirken negativ auf das Selbstreinigungsvermögen des Flusses und verhindern besonders zwischen Eisenhüttenstadt und Kostrzyn eine Verbesserung der Wasserbeschaffenheit [SONNENBURG, 1993]. Vom polnischen Einleiter in Kostrzyn liegen keine aktuellen Angaben vor, aber aufgrund der eingeleiteten Abwassermengen (10.000 bis 30.000 m^3/d) bilden sich Abwasserfahnen heraus, die über 10 Flußkilometer meßtechnisch nachweisbar sind. Eine Verbesserung der Wasserbeschaffenheit der Oder und vorgelagerter Küstengewässer kann durch die Reduzierung des Lasteintrags seitens der Punktbelastungsquellen erreicht werden, auch wenn diese neben dem diffusen Eintrag nur zu einem Teil zur Schadstofflast beitragen [LUA BRANDENBURG, 1999].

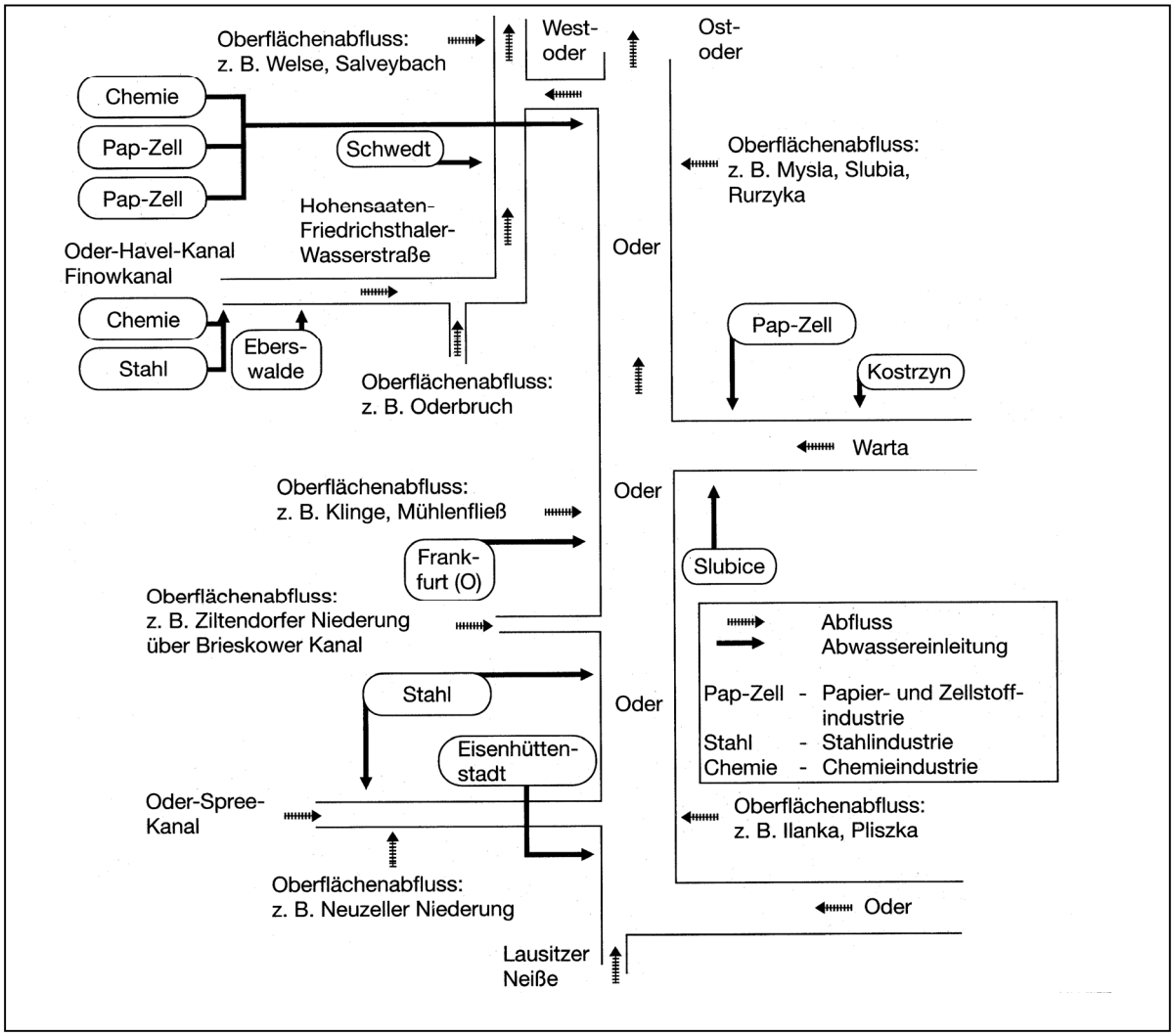


Abb. 3: Skizzenhafte Darstellung der gewässerseitigen Stoffströme und abwassermäßigen Einträge im Grenzabschnitt der Oder [LUA BRANDENBURG, 1999]

2.7 Landnutzung im Einzugsgebiet

Die Landnutzung im Einzugsgebiet der Oder wird durch folgende Eckdaten am Punkt Krajnik Dolny/Schwedt (entspricht etwa OR35SK) charakterisiert [BEHRENDT u.a., 1999]: 62,5 % landwirtschaftlich genutzte Fläche, 32,0 % Wald, 4,4 % urbane Gebiete, 1,1 % Wasserflächen. Die landwirtschaftlich genutzte Fläche ist im Einzugsgebiet der Warta mit 65,4 % nur geringfügig höher als im Einzugsgebiet der Oder vor dem Zufluß der Warta mit 60,9 %. Im Einzugsgebiet der Neiße unterliegen 41,9 % einer landwirtschaftlichen Nutzung.

3 Probenahme und Analytik

3.1 Probenahme

Die Probenahme von Wasser, Schweb und Sediment im Abschnitt Polecko-Widuchowa erfolgte im Rahmen der fünf zentralen Meßkampagnen: 11/97, 5/98, 11/98, 6/99 und 5/00 (Tab. 4 und Abb. 4). Für die Untersuchungen in den Poldern lag ein jährlich zu differenzierender Probenahmeplan vor (Tab. 5).

Tab. 4: Übersicht über die der TU Bergakademie Freiberg im Pflichtprogramm zugeordneten Probenahmepunkte mit Fluß- und Ortsbezeichnungen sowie Angabe der Flußkilometer

Nummer	**Fluß**	**Ort**
OR26PO	Oder (km 531)	Polecko
OT27NE	Neiße	mündungsnah
OT28OS	Oder-Spree-Kanal	Straßenbrücke B112
OR28EI	Oder (km 555)	Eisenhüttenstadt/Klopot
OR29AU	Oder (km 566)	Aurith/Urad
OT30BR	Brieskower Kanal	Straßenbrücke B112
OT31IL	Ilanka	mündungsnah
OR30FS	Oder (km 584)	Frankfurt/Slubice
OR31LE	Oder (km 600)	Lebus/Lazy
OR32KK	Oder (km 618)	Kietz/Kostrzyn
OT32WA	Warta	Kostrzyn
OR33GC	Oder (km 640)	Groß-Neuendorf/Czelin
OR34HO	Oder (km 662)	Hohenwutzen/Osinow Dln.
OT34HW	Hohensaaten-Friedrichsthaler Wasserstraße	Hohensaaten
OR35SK	Oder (km 690)	Schwedt/Krajnik
OR36WI	Oder (km 701)	Widuchowa
OT36HF	Hohensaaten-Friedrichsthaler Wasserstraße	Gatow

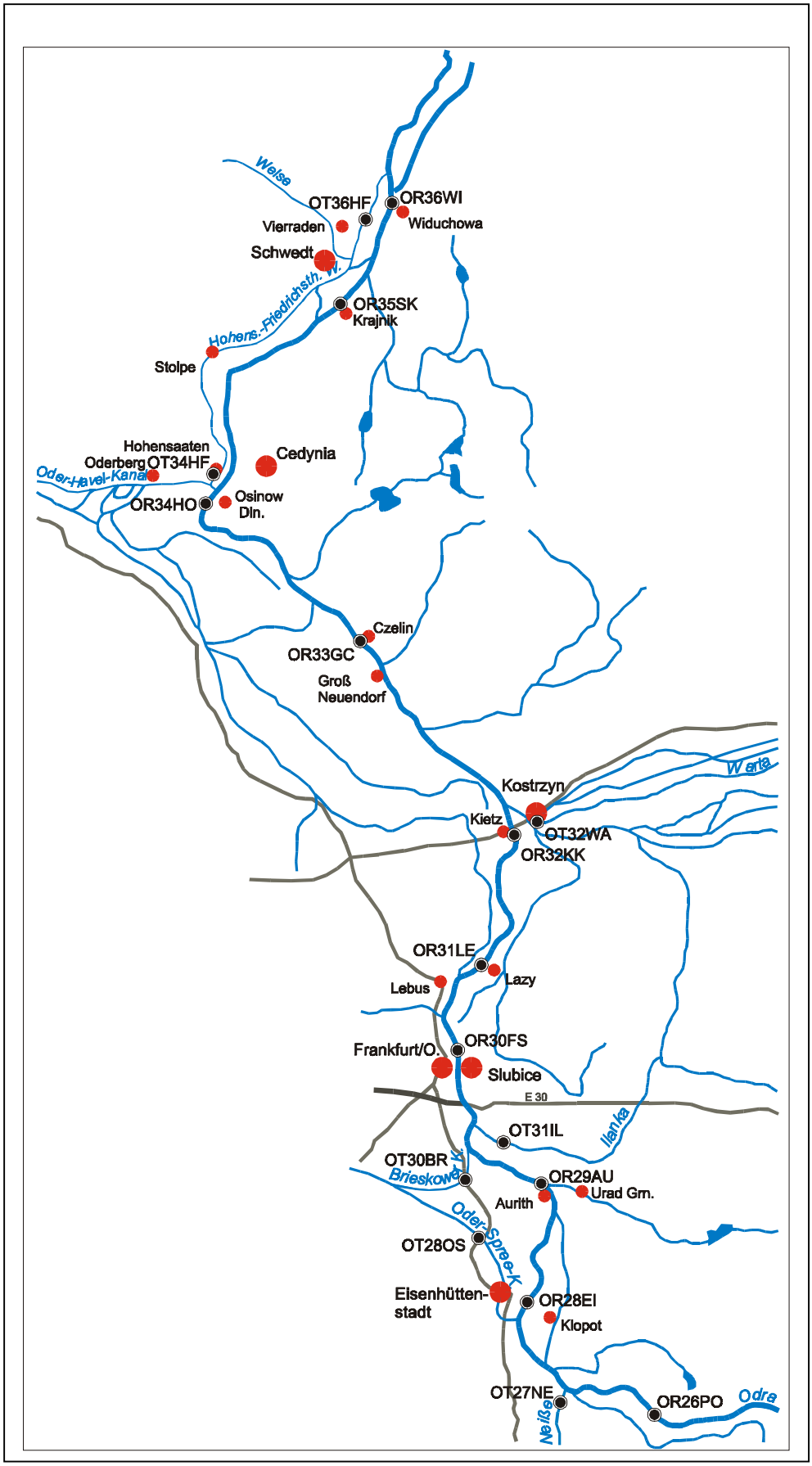


Abb. 4: Lage der Probenahmepunkte im Oderabschnitt Polecko bis Widuchowa

Tab. 5: Übersicht über die Probenahme im Rahmen der Untersuchungen der Polder

Jahr	Probenahme
1996	• Oberflächenwasser (HFW) • Auenbodenprofile (Gatow, Schwedt, Criewen, Stolpe)
1997	• Oberflächenwasser (HFW, Oder, Welse, Senkenwasser nach der Überflutung in den Poldern), • Überflutungssedimente 1996/97 (Gatow, Schwedt, Criewen) • Hochflutsedimente des Hochwassers (Gatow, Schwedt, Criewen, Czelin, Swierkocin, Chlebowo, Aurith, Urad, Kalensko) • Bodenwasser in den Teufen 50, 100 und 110 cm (Criewen)
1998	• Oberflächenwasser (HFW, Oder, Welse, Senkenwasser nach der Überflutung in den Poldern) • Überflutungssedimente 1997/98 • Bodenwasser in den Teufen 50, 100, 150 cm (Criewen) • Auenbodenproben entlang der Oder und Neiße (Friedrichsthal, Hohensaaten, Güstebieser Loose, Küstrin, Warthe [identisch mit Probenahmepunkt der zentralen Kampagne: OT32WA], Ratzdorf/ Oder, Ratzdorf/ Neiße, Bad Muskau/ Neiße, Zittau/ Neiße)
1999	• Oberflächenwasser (HFW, Oder, Senkenwasser nach der Überflutung) • Bodenwasser in den Teufen 50, 100, 150 cm (Criewen, Gatow) • Überflutungssedimente 1998/99 • Staubsedimente nach dem Bergerhoff-Verfahren (Gatow, Schwedt, Criewen, Stolpe) • Pflanzenproben (Flutrasen, Phragmites comunis)
2000	• Oberflächenwasser (HFW, Oder, Senkenwasser nach der Überflutung in den Poldern) • Überflutungssediment 1999/2000 • Bodenwasser zur Überflutungszeit in Criewen, später in Stolpe (50, 100, 150cm)

3.2 Probenvorbereitung und Analytik

Von den 5 Kampagnen wurden an der TU Bergakademie Freiberg die Kompartimente Wasser, Schwebstoff und Sediment <20 µm untersucht (Pflichtprogramm), wobei nicht aus allen Kampagnen alle Kompartimente vorlagen. Es erfolgte folgende Probenvorbereitung:

Wasser	Filtration durch 0,45-µm-Celluloseacetat-Filter (Sartorius, Durchmesser 45 mm) und Stabilisierung mit 1 ml HNO_3 pro 100 ml Probe zur Bestimmung der Metallgehalte; Filtration durch Glasfaserfilter (Sartorius, Durchmesser 45 mm) zur Bestimmung der Hauptionen
Schwebstoff	Aufschluß des Celluloseacetetfilters mit Schwebstoff mit 2 ml HNO_3 (Riedel de Haen) in der Mikrowelle und auffüllen auf 10 ml; Glühen der Glasfaserfilter bei 450 °C zur Bestimmung des Glühverlustes
Sediment	Naßsiebung der Fraktion <20 µm, Gefriertrocknung, Königswasserauszug nach DIN 38414

Tab. 6: Zusammenstellung der zu den zentralen Kampagnen untersuchten und zur Auswertung verwendeten Parameter in den Kompartimenten Wasser, Schweb und Sediment

Kompartiment	**Parameter**
Wasser (<0,45 µm filtriert)	**Feldparameter:** Temperatur, elektrische Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt, pH-Wert, Eh-Wert (Bestimmung am Probenahmepunkt) **Filterparameter:** Schwebstoffgehalt (TU BAF) **Nährstoffe (Feld):** $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NH_3$, SiO_2, PO_4 (Bestimmung zentral vom Laborteam am Ende des jeweiligen Meßtages) **Hauptionen (Labor):** Ca, Mg, Na, K, Cl, SO_4 (TU BAF), HCO_3 (Universität Wroclaw) **sonstige Parameter:** TOC, AOX (nur 5/00) (TU BAF) **Spurenelemente:** Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, (Co) (TU BAF)
Schwebstoff	**Spurenelemente:** Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, (Co) (TU BAF) **sonstige Parameter:** Glühverlust (TU BAF/Universität Hamburg)
Sediment (<20 µm)	**Feldparameter:** pH-Wert, Eh-Wert (Bestimmung am Probenahmepunkt) **Spurenelemente:** Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, (Co, Sc, Ga) (TU BAF), Hg (Universität Szczecin) **sonstige Parameter:** Glühverlust, C, N, S (TU BAF)

Die Probenaufbereitung und Analytik der Polderproben (Tab. 5) erfolgte im wesentlichen analog der Proben der zentralen Kampagnen. In den Wasserproben wurde auf die Bestimmung von Nährstoffen sowie von AOX verzichtet. In den ersten Wasserproben von 1996 ist zusätzlich Sr bestimmt worden. In den Auenbodenproben der Polder sind die Hauptkomponenten (SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, K_2O, MnO, MgO, CaO, Na_2O, TiO_2, P_2O_5) und auch die Spurenelemente (As, Ba, Bi, Ce, Co, Cr, Cu, Ga, Hf, La, Mo, Nb, Nd, Ni, Pb, Pr, Rb, Sc, Sm, Sr, Th, U, V, Y, Zn, Zr) mittels Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) bestimmt worden. Daneben sind auch aus Königswasserauszügen die umweltrelevanten Spurenelemente sowohl für die Fraktion < 2000 µm als auch für < 20 µm analysiert worden. Die Auenbodenproben entlang der Oder sind in ihren obersten Zentimeterbereichen (0-3 cm bzw. Ratzdorf 0-5 cm) einem Königswasserauszug (Korngrößenfraktion < 20 µm) zugeführt worden. Weitere spezielle Details der Probenaufbereitung sind im Kapitel 5.2 erwähnt.

<u>Bestimmung der Hauptanionen und –kationen und der Spurenelemente</u>

F^-, Cl^-, NO_2^-, NO_3^-, SO_4^{2-}	Ionenchromatographie mit Ionen-Chromatograph 690, Firma Metrohm, Anionensäule Supersepp, Eluent: 2 mmol/L Phthalsäure + 2% Acetonitril
HCO_3^-	Titration, acidometrisch auf pH 4,5 (pH Elektrode)
PO_4^{3-}	Spektralphotometrie, Ammoniummolybdat, 680 nm
Na, K	FAAS s. Atomabsorption (Tab.7)
Ca, Mg	FAAS s. Atomabsorption (Tab. 7), komplexometrische Titration mit Calcein bzw. Erio T als Indikator

Die detaillierten Meßbedingungen für die verschiedenen Methoden werden nachfolgend zusammengefaßt (Tab. 7 bis 9). Um die sichere Analyse der Spurenelemente bei stark variierender Matrix zu gewährleisten, wurden nach den vorliegenden Erfahrungen Meßbereiche festgelegt. Eine Nachweisgrenze wird nicht angegeben.

Atomabsorption

Tab. 7: Angaben zu den Meßbedingungen der Atomabsorption

	Gerät	Methode	Wellenlänge nm	Puffer/Zusätze	Flamme/ Graphitrohr	Meßbereich
Wasser						
Na	AAS 3 [*1]	FAAS	589,0	kein	Acetylen/Luft [*3]	1 - 10 mg/L
Na	AAS 3 [*1]	FAAS	330,3	kein	Acetylen/Luft [*3]	10 - 200 mg/L
K	AAS 3 [*1]	FAES/FAAS	766,5	kein	Acetylen/Luft [*3]	1 - 10 mg/L
Ca	AAS 3 [*1]	FAAS	422,7	Lanthanchlorid	Acetylen/Luft [*4]	0,5 - 20 mg/L
Mg	AAS 3 [*1]	FAAS	285,2	Lanthanchlorid	Acetylen/Luft	0,05 - 20 mg/L
Cd	AAS 4100 ZL [*2]	ETA	228.8	$NH_4H_2PO_4$+$Mg(NO_3)_2$	THGA	0,1 - 2 µg/L
As	4100 ZL+FIAS 200	FIAS/Furnace	193,7	Red. m. $NaBH_4$	THGA	1 - 10 µg/L
Hg	4100 ZL+FIAS 200	FIAS/Furnace	253,7	Red. m. $NaBH_4$	THGA	1 - 10 µg/L
Sediment						
Cd	AAS 4100 ZL [*2]	ETA	228,8	$NH_4H_2PO_4$+$Mg(NO_3)_2$	THGA	0,1 - 2 µg/L
As	4100 ZL+FIAS 200	FIAS/Furnace	193,7	Red. m. $NaBH_4$	THGA	5 - 50 µg/L
Hg	4100 ZL+FIAS 200	FIAS/Furnace	253,7	Red. m. $NaBH_4$	THGA	5 - 50 µg/L
Schweb						
Cd	AAS 4100 ZL [*2]	ETA	228,8	$NH_4H_2PO_4$+$Mg(NO_3)_2$	THGA	0,1 - 2 µg/L
As	4100 ZL+FIAS 200	FIAS/Furnace	193,7	Red. m. $NaBH_4$	THGA	1 - 10 µg/L

[*1]C. Zeiss Jena, [*2]Perkin Elmer, [*3]brenngasarm, [*4]brenngasreich

ICP-AES

Zum Einsatz kam das Gerät Plasma 1000 von Perkin Elmer (ICP-AES), welches durch folgende Meßparameter charakterisiert wird:

Typ	sequentiell
Power	1100 W
Plasma gas flow rate	15 l/min
Auxilary gas flow rate	1 l/min
Nebulizer gas flow rate	0,9 L/min
Nebulizer	Cross flow (Aufschlüsse von Sediment und Schweb)
Sample uptake	1,5 ml/ min (pneumatischer Zerstäuber, Wasser)
PMT gain	600 V
RF	50 Hz; 25 A
Monochromator	160-775 nm (0,012 nm Bandbreite)

Die Säurekonzentration der Kalibrierlösungen wurden der Aufschlußlösung angepaßt. Bei Überschreiten des Arbeitsbereiches wurden die Proben entsprechend verdünnt.

Tab. 8: Angaben zu den Meßbedingungen der ICP-AES

Element	Wasser		Sediment		Schweb	
	Wellen-länge nm	Meß-bereich mg/L	Wellen-länge nm	Meß-bereich mg/L	Wellen-länge nm	Meß-bereich mg/L
Al	396,2	0,05-10	257,5	0,5-510	257,5	0,5-510
As	-	-	197,2	0,1-10	197,2	0,1-10
Co	-	-	228,6	0,01-10	228,6	0,05-10
Cr	-	-	205,5	0,01-10	205,5	0,05-10
Cu	-	-	324,7	0,01-10	324,7	0,01-10
Fe	259,9	0,005-10	273,9	0,1-510	273,9	0,1-510
Hg	-	-	194,2	0,1-10	-	-
Mn	257,6	0,005-10	257,6	0,005-10	257,6	0,01-10
Ni	-	-	231,6	0,1-10	231,6	0,1-10
Pb	-	-	220,3	0,05-10	220,3	0,05-10
Zn	213,8	0,01-10	213,8	0,01-10	213,8	0,01-10

ICP-MS

Der größte Teil der Wasserproben und der Schwebstoffauszüge wurde mit ICP-MS analysiert. Das Gerät ELAN 5000 von Perkin Elmer hat folgende Geräteparameter:

Rf power	1000 W
Sampler	Ni
Skimmer	Ni
Plasma gas	11 l/min
Auxiliary gas	0.9 l/min
Nebulizer gas	1.25 l/min
Nebulizer	Cross flow

Die Wasserproben wurden 1:10 mit deionisiertem Wasser verdünnt, mit Rh (10 µg/L) versetzt und wie die Kalibrationslösung angesäuert (Programm: Quantitative Analyse). Die Schwebstoffaufschlüsse wurden 1:20 mit deionisiertem Wasser verdünnt, mit Rh (10 µg/L) versetzt und wie die Kalibrationslösung angesäuert (Programm: Totalquant – Auswertemodus verwendet alle Isotope des jeweiligen Elements).

Tab. 9: Angaben zu den Meßbedingungen der ICP-MS, Meßbereich, unverdünnt in [µg/L]

Element	Wasser	Schweb
Al	0,1-10	1-50
As	-	1-500
Cd	-	0,1-50
Co	0,01-10	0,1-50
Cr	0,01-10	0,1-50
Cu	0,01-10	0,1-50
Mn	0,01-10	0,1-50
Ni	0,01-10	0,1-50
Pb	0,01-10	0,1-50
Zn	0,1-100	1-500

C-, N-, S-Bestimmung

Zur Analyse von Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel in Sedimenten und Böden kam der Elementaranalysator Vario EL mit folgenden Geräteparametern zur Anwendung:

Verbrennungstemperatur	1150 °C
Druck	1,27 bar
Gas (He, O_2)	200 ml/min

Die Probenpräparation erfolgte durch Einwaage der Probe (5-15 mg) in Zinnschiffchen und Überdeckung mit Wolframoxid im Verhältnis 1:3. Zur Kalibration wurde Sulfanilsäure (mit Wolframoxid im Verhältnis 1:3) verwendet.

DOC/TOC-Bestimmung

Die Bestimmung des DOC/TOC im Wasser erfolgte mit dem Gerät Micro C (Jena Analytik GmbH). Das Gerät ist intern kalibriert. Zur Erstellung eines Tagesfaktors wird aus einer Stammlösung 1000 mg/L (aus Kaliumhydrogenphtalat) eine Standardlösung 10 mg/L hergestellt, die im Konzentrationsbereich der entsprechenden Proben liegen sollte und regelmäßig analysiert wird. Für die Bestimmung des DOC bzw. TOC ist eine Probenvorbehandlung zur Entfernung des anorganischen Kohlenstoffs erforderlich. Dazu werden ca. 30 ml Probe in einem Becherglas mit 3 Tropfen 1:3 verdünnter Phosphorsäure auf pH 2 eingestellt und 10 min mit Sauerstoff durchströmt.

AOX-Bestimmung

Die AOX-Bestimmung im Wasser wurde mit dem Analysensystem AOX-3 der Jena Analytik GmbH durchgeführt. Die Überprüfung des gesamten Gerätekomplexes erfolgte mit HCl (0,010 mol/L). Zur Überprüfung des Gesamtverfahrens wird Chlorphenol-Standardlösung (Chlor 1 mg/L) verwendet. Es sind eine oder mehrere Standardlösungen herzustellen, die den zu erwartenden AOX-Gehalten der zu messenden Proben entsprechen. Die Probenvorbereitung umfaßt das Versetzen der 50 ml Probenlösung mit 2,5 ml Nitratstammlösung (17g $NaNO_3$/L) und die pH-Wert-Einstellung auf pH 2-3 mit HNO_3. Die AOX-Bestandteile der Probenlösung werden mittels Säulenmethode auf Aktivkohle adsorbiert.

3.3 Analytische Qualitätssicherung

Zur Gewährleistung *richtiger* Analysenergebnisse wurden nach dem Stand der modernen Analysentechnik sowohl laborinterne Maßnahmen als auch verbindliche Vorgaben für das Gesamtprojekt organisiert. Im Geochemisch-analytischen Labor des Institutes für Mineralogie der TU Bergakademie Freiberg erfolgte die Überprüfung der Richtigkeit und Reproduzierbarkeit der analytischen Messungen durch folgende Maßnahmen:

- Überprüfung der analytischen Verfahren mit zertifizierten Referenzproben (offen und verschlüsselt)
- Präparation und Einsatz einer internen Kontrollprobe (Bodenprobe aus dem Bereich Polder)
- Ausführung von Wiederholungsanalysen
- Teilnahme an Ringanalysen: IOP: Bodenprobe aus Poldergebiet, Elbesediment; IMEP (International Measurement Evaluation Programm): IMEP-14 trace elements in sediment
- Realisierung der Vorgaben des IOP für Feldparameter, Doppelproben und Ringanalysen.

Weitere Details zur Strategie der Analytischen Qualitätskontrolle werden im Gesamtbericht des Projektes mitgeteilt.

Die Tabellen 10a und 10b legen die Ergebnisse des Labors (Labor 1) für die Analyse der verschlüsselten Referenzproben APS „Spurenelemente im Trinkwasser“ und CRM 7002 „Sediment“ offen und dokumentieren die Qualität der analytischen Arbeiten.

Tab. 10a: Übersicht über die Ergebnisse der Ringanalyse mit dem Referenzmaterial APS „Trinkwasser“, Labormittelwerte nach Ausreißertest Typ 1 [µg/l]

	Labor1	**AAS Labor1**	**Labor2**	**TRFA Labor2**	**Labor3**	**Mittel-wert**	**SD**	**RSD [%]**	**Zert. Wert**
As	74,9	76,8	81,0	74,5	86,5	**78,7**	5,07	6,44	**80**
Cd	9,23	10,6	9,72		9,41	**9,75**	0,62	6,36	**10**
Co	24,0		23,0	25,1	25,3	**24,3**	1,06	4,36	**25**
Cr	19,4		17,3	22,6	18,0	**19,3**	2,34	12,1	**20**
Cu	19,8		19,0	22,6	13,5	**18,7**	3,79	20,3	**20**
Fe	113		130	120	96,5	**115**	14,2	12,4	**100**
Hg	Nn								
Mn	39,4		37,4	40,8	40,5	**39,5**	1,52	3,85	**40**
Ni	58,1		52,3	62,8	54,3	**56,8**	4,63	8,16	**60**
Pb	39,4		39,1	51,0	38,2	**41,9**	6,06	14,5	**40**
U	10,3		9,46			**9,89**	0,61	6,20	**10**
Zn	66,1		62,0	71,0	67,3	**66,6**	3,71	5,57	**70**

Tab10b: Übersicht über die Ergebnisse der Ringanalyse mit dem Referenzmaterial 7002 “Sediment“, Labormittelwerte nach Ausreißertest Typ 1 [mg/kg]

	Labor 1	**AAS Lab.1**	**Labor 2**	**TRFA Lab.2**	**Labor 3**	**Labor 4**	**Mittel-wert**	**SD**	**RSD [%]**	**Zert. Wert**
As	26,3	25,7	30,3	31,9	24,0		**27,6**	3,32	12,0	**26,1**
Cd		0,27	0,34		1,13		**0,6**	0,47	81,6	**0,28**
Co	13,8		11,2		14,6	1,75	**10,3**	5,91	57,2	**11,1**
Cr	155		132	126	147	141	**140**	11,43	8,15	**147**
Cu	28		34,0	42,6	29,1	24,9	**31,7**	6,86	21,6	**37,3**
Fe	23580		26174	22721	24250	20087	**23360**	2229	9,54	
Hg		0,089			0,1		**0,097**	0,011	11,2	**0,08**
Mn	542		584	490	583	415	**523**	71,7	13,7	**531**
Ni	43,5		41,9	46,0	43,6	41,8	**43,4**	1,70	3,93	**40,1**
Pb	34,0		44,6	43,9	41,4	36,9	**40,2**	6,60	11,4	**35,5**
U	10,5		6,10				**8,3**	3,08	37,2	
Zn	69,7		59,0	59,0	72,6	69,0	**65,8**	6,39	9,70	**64**

Die Abb. 4b zeigt eine Auswahl von Analysenergebnissen für Doppelproben, die an verschiedenen Probenahmepositionen entnommen und von allen beteiligten Labors analysiert wurden.

Sowohl diese Ergebnisse als auch die Teilnahme an der internationalen Analyse der Sedimentprobe des Institutes für Referenzproben und Messungen der Europäischen Kommission (IRMM) belegen die Richtigkeit und Reproduzierbarkeit der analytischen Ergebnisse.

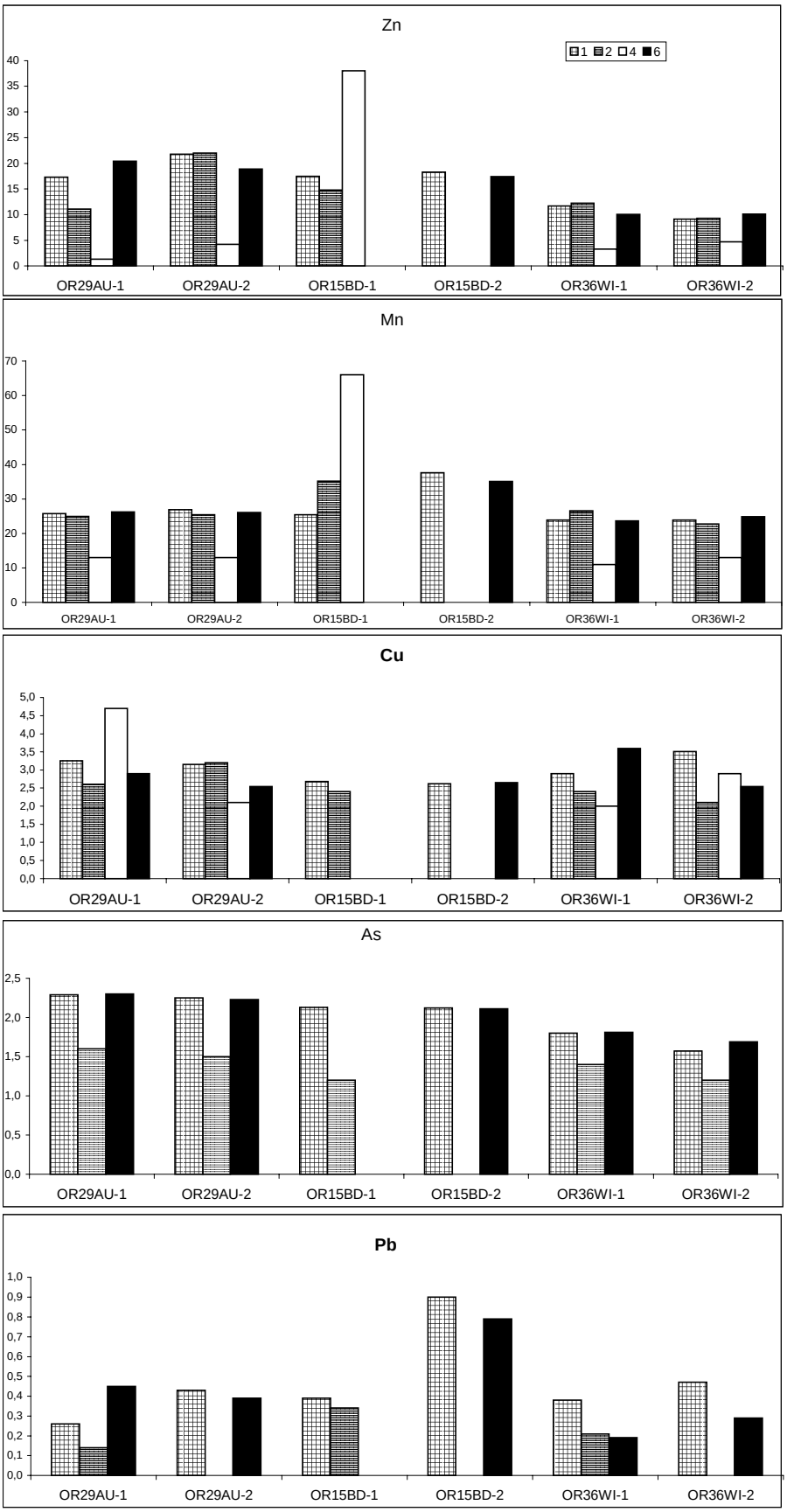


Abb 4b: Auswahl von Analysenergebnissen für Doppelproben aus dem AQS-Programm, Wasser (gelöst), Angaben in [µg/L]

4. Bewertungsgrundlagen

4.1 Geochemische Bewertung

Die Bewertung großer Fließgewässersysteme mit einem geologisch vielschichtigen Einzugsgebiet zuzüglich bergbaulicher, industrieller, landwirtschaftlicher und kommunaler Nutzung ist schon lange Gegenstand interdisziplinärer Diskussionen. Der Ansatz einer Bewertung kann in zweierlei Hinsicht vorgenommen werden:

- geochemisch auf Grundlage geogener Hintergrundwerte oder
- ökotoxikologisch auf Grundlage der Lebensansprüche von Mensch/Tier/Pflanze.

Bei der 1991 begonnenen Elbeforschung wurde deutlich, daß zur umfassenden Bewertung der ermittelten Schwermetallkonzentrationen, insbesondere in den Sedimenten, zusätzliche geogene Hintergrundkonzentrationen benötigt werden. Die damals ausschließlich benutzten globalen Hintergrundwerte nach TUREKIAN & WEDEPOHL [1961] stellten sich bei der Bewertung von Teileinzugsgebieten, z.B. der Mulde, als unzureichend heraus. In industriell belasteten Flußsystemen können unbeeinflußte Sedimente in den Auen beprobt werden, in denen vorindustrielle, anthropogen unbeeinflußte Sedimente vorliegen [DEHNER & PÄLCHEN, 2000]. Analog zu Backgrounduntersuchungen in den Auen der Elbe und ihrer Zuflüsse wurden an der Oder die Polder des unteren Odertales analysiert und geogene Hintergrundwerte ermittelt (vgl. Kapitel 5.2). Die Ermittlung geogener Hintergrundwerte für die gelöste und partikuläre Phase von Fließgewässern gestaltet sich wesentlich schwieriger. Häufig kommen globale Durchschnittsgehalte von Fließgewässern [MARTIN & WHITFIELD, 1983] zur Anwendung.

Für die Anwendung der geogenen Hintergrundwerte auf die Analysendaten wird die Klassifikation nach dem Schema des I_{geo}-Index von MÜLLER [1979] vorgeschlagen, auf dessen Grundlage sich ein Klassifikationsschema ergibt, aus dem sich die Klassenobergrenzen errechnen lassen (c_n - gemessene Konzentration, b_n - geochemischer Background des Elements n)

$$\mathbf{I_{geo} = \log_2(c_n/(b_n*1{,}5))}.$$

Tab. 11: Geogene Hintergrundgehalte für Tonschiefer [TUREKIAN & WEDEPOHL, 1961], für Polder des Unteren Odertales (Kapitel 5.2) sowie globale Durchschnittsgehalte von ausgewählten Spurenelementen und wichtigen Hauptionen in Flüssen [MARTIN & WHITFIELD, 1983]

	Geogene Hintergrundgehalte		**Globale Durchschnittsgehalte für Flüsse**			
Element	**Tonschiefer mg/kg**	**Polder mg/kg**	**gelöst µg/L**	**partikulär mg/kg**	**Element**	**gelöst mg/L**
Al	80.000	34.400	50	94.000	**Na^+**	5,3
As	13	12,5	1,7	5	**K^+**	1,5
Cd	0,3	0,20	0,02	(1)	**Ca^{2+}**	13,3
Co	19	21	0,2	20	**Mg^{2+}**	3,1
Cr	90	54	1	100	**Cl^-**	6,0
Cu	45	31	1,5	100	**SO_4^{2-}**	8,7
Fe	47.000	46.200	40	48000	**HCO_3^-**	51,7
Mn	850	978	8,2	1050	**SiO_2^{3-}**	10,7
Ni	68	40	0,5	90		
Pb	20	35	0,1	100		
Zn	95	120	30	250		

4.2 Ökotoxikologische Bewertung

Eine Bewertung der Wasserqualität für verschiedene Nutzungszwecke wird unter Berücksichtigung ökotoxikologischer Aspekte vorgenommen. Für Trink- und Oberflächenwasser gibt es sowohl nationale (z.B. Trinkwasserverordnung der BRD, chemische Gewässergüteklassifizierung nach LAWA, Klassifizierung für Oberflächenwasser in Polen) als auch internationale (z.B. Trinkwassergrenzwerte der WHO, EG-Richtlinie für die Trinkwassergewinnung aus Oberflächenwasser) Vorgaben. Für Hauptionen im Wasser und für Spurenelementgehalte in Schwebstoffen und Sedimenten soll im Projekt die Klassifikation nach LAWA [1998] angewendet werden. Für Spurenelemente im Wasser liegt eine dreistufige Klassifizierung für polnische Oberflächenwässer vor.

Chemische Gewässergüteklassifikation nach LAWA

Von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) wurde in Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt (UBA) eine chemische Gewässergüteklassifikation für Industriechemikalien, Schwermetalle, Nährstoffe, Salze und Summenparameter erarbeitet. Die Güteklasse I der siebenstufigen Skala charakterisiert einen Zustand ohne anthropogene Beeinträchtigung. Für gefährliche Stoffe bildet die Zielvorgabe die obere Grenze der Güteklasse II, für alle anderen Kenngrößen (z.B. Nährstoffe) ein aus anderen Bewertungsgrundlagen resultierender Wert. Die nachfolgenden Klassenobergrenzen ergeben sich aus der Multiplikation des Zielvorgabenwertes mit dem Faktor 2. Die Güteklasse I-II weist i.d.R. den halben Wert der Zielvorgabe auf. Für die Schwebstoffe wurden die strengsten

Zielvorgaben über alle Schutzgüter ausgewählt und danach die Klassifikation in die Gewässergüteklassen vorgenommen. Die Hintergrundwerte werden auch für die Beurteilung feinkörniger Sedimente (<20 µm) angewendet [Schudoma, 1994]. Im Oderprojekt werden die Schwebstoffe und die Sedimente (<20 µm) ebenfalls dieser Klassifikation unterzogen.

Tab. 12: Güteklassifikation der betrachteten Nährstoffe, Salze, Summenkenngrößen im Wasser [LAWA, 1998]; Schwermetalle [LAWA, 1998] und Arsen [ISKE, 1998] im Schwebstoff

		I	I-II	II	II-III	III	III-IV	IV
Wasser								
NO_3-N	mg/L	≤1	≤1,5	≤2,5	≤5	≤10	≤20	>20
NO_2-N	mg/L	≤0,01	≤0,05	≤0,1	≤0,2	≤0,4	≤0,8	>0,8
NH_4-N	mg/L	≤0,04	≤0,1	≤0,3	≤0,6	≤1,2	≤2,4	>2,4
oPO_4-P	mg/L	≤0,02	≤0,04	≤0,1	≤0,2	≤0,4	≤0,8	>0,8
Sauerstoff	mg/L	>8	>7*	>6	>5	>4	>2	≤2
Chlorid	mg/L	≤25	≤50	≤100	≤200	≤400	≤800	>800
Sulfat	mg/L	≤25	≤50	≤100	≤200	≤400	≤800	>800
TOC	mg/L	≤2	≤3	≤5	≤10	≤20	≤40	>40
AOX	µg/L	≤1*	≤10	≤25	≤50	≤100	≤200	>200
Schwebstoff								
As	mg/kg	≤5	≤15	≤30	≤60	≤120	≤240	>240
Pb	mg/kg	≤25	≤50	≤100	≤200	≤400	≤800	>800
Cd	mg/kg	≤0,3	≤0,6	≤1,2	≤2,4	≤4,8	≤9,6	>9,6
Cr	mg/kg	≤80	≤90	≤100	≤200	≤400	≤800	>800
Cu	mg/kg	≤20	≤40	≤60	≤120	≤240	≤480	>480
Ni	mg/kg	≤30	≤40	≤50	≤100	≤200	≤400	>400
Hg	mg/kg	≤0,2	≤0,4	≤0,8	≤1,6	≤3,2	≤6,4	>6,4
Zn	mg/kg	≤100	≤150	≤200	≤400	≤800	≤1.600	>1.600

Klassifizierung von Oberflächenwässern in Polen

Die Klassifizierung von Oberflächenwässern in Polen erfolgt nutzungsbezogen anhand von 57 Kenngrößen (Auswahl in Tab. 13) in folgenden Klassen [International Conference Management of boundary water in Europe, 1997]:

- Klasse I: für Trinkwasserzwecke, saubere Industrien, schafft günstige Bedingungen für Salmoniden-Habitate,
- Klasse II: für landwirtschaftliche Zwecke (Viehzucht), Erholungsbedarf, schafft günstige Bedingungen für Nicht-Salmoniden-Habitate,
- Klasse III: für industrielle Zwecke, Acker- und Gartenbau (Bewässerung),
- darüber hinaus gibt es eine vierte Klasse für nicht nutzbare Wasserqualitäten.

Tab. 13: Klassifizierung der Oberflächenwässer in Polen für ausgewählte Parameter und Elemente [International Conference Management of boundary water in Europe, 1997]

	Einheit	**Klasse I**	**Klasse II**	**Klasse III**
pH-Wert		6,5-8,5	6,5-9,0	6,0-9,0
Leitfähigkeit	µS/cm	800	900	1.200
Schwebmenge	mg/L	20	30	50
Sauerstoff	mg/L	6	5	4
NO_3-N	mg/L	5	7	15
NO_2-N	mg/L	0,02	0,03	0,06
NH_4-N	mg/L	1	3	6
PO_4	mg/L	0,2	0,6	1
Chlorid	mg/L	250	300	400
Sulfat	mg/L	150	200	250
Na	mg/L	100	120	150
K	mg/L	10	12	15
As	mg/L	≤0,05	≤0,05	0,2
Cd	mg/L	0,005	0,03	0,1
Cr +3/+6	mg/L	0,05/0,05	0,1/0,05	0,1/0,05
Cu	mg/L	0,05	0,05	0,05
Fe-total	mg/L	1	1,5	2
Mn	mg/L	0,1	0,3	0,8
Ni	mg/L	1	1	1
Pb	mg/L	0,05	0,05	0,05
Zn	mg/L	0,2	0,2	0,2

5. Ergebnisse und Interpretation

5.1 Der Oderabschnitt von Polecko bis Widuchowa

5.1.1 Abflußgeschehen und Schwebstofftransport

Abflüsse der Oder

Die Abflußganglinien der Jahre 1997-2000 für den Pegel Hohensaaten (Abb. 5) zeigen einen deutlichen Anstieg der Abflüsse von Anfang März bis Mitte April, bezeichnet als Frühjahrshochwasser, verbunden mit der Schneeschmelze in den Mittelgebirgen. Ebenfalls sichtbar ist das Sommerhochwasser im Juli 1997 mit extremen Abflüssen mit bis zu zehnfachen Werten über Niedrigwasserniveau.

Die drei Probenahmekampagnen im Frühjahr fanden zu einem Zeitpunkt statt, in dem das jeweilige Frühjahrshochwasser im Abklingen war (5/98) bzw. die Pegelstände bereits ein zwischenzeitliches Tief (6/99, 5/00) erreicht haben. Bei den zwei Kampagnen im Herbst wurden ebenfalls sehr verschiedene hydrologische Situationen beprobt. Während 11/97 Niedrigwasser angetroffen wurde, wurde 11/98 ein Hochwasserereignis mit annähernd doppelter Wasserführung beprobt. Deswegen konnten 11/98 auch nur wenige Sedimentproben genommen werden.

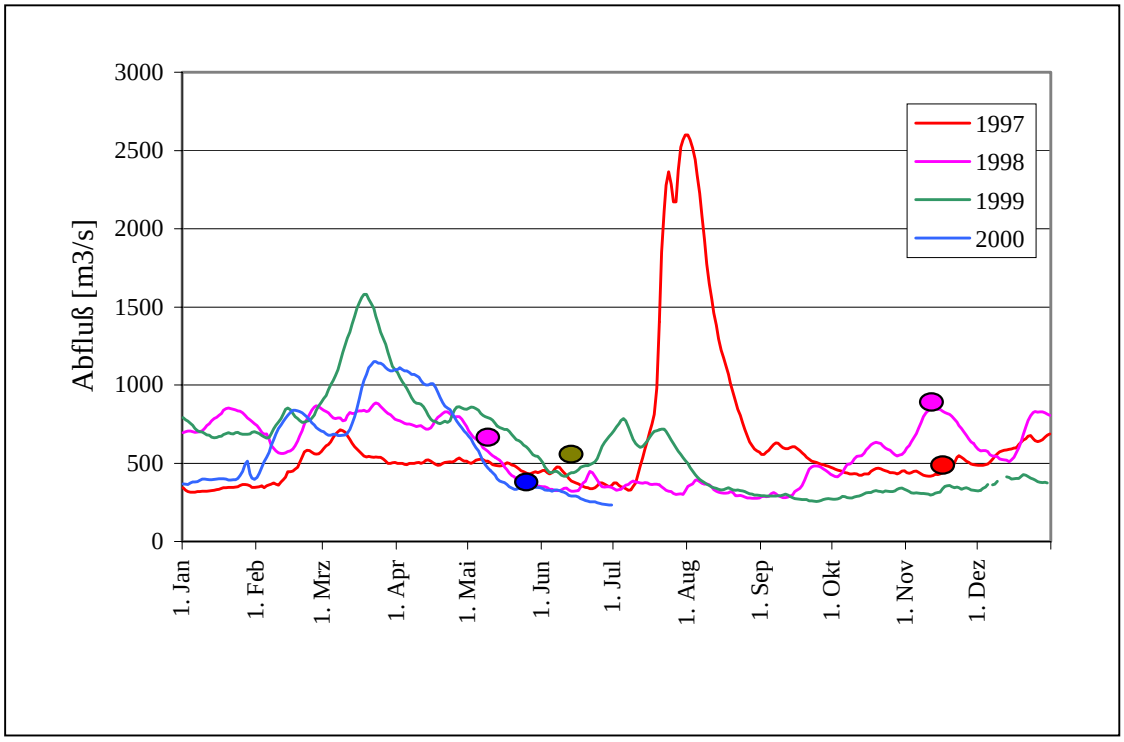


Abb. 5: Jahresgang der Abflüsse am Pegel Hohensaaten (Tagesdurchschnitt) für Januar 1997 bis Juni 2000 [m^3/s]

Tab. 14: Mittlere Abflußmengen (Tagesdurchschnitt) an ausgewählten Pegeln der Oder und Warta an den jeweiligen Probenahmetagen [m^3/s]

	Oder Eisenhüttenst. km 554 (WSA Eberswalde)	**Warta Ewierkocin km 615** (IMGW Gdansk)	**Oder Hohensaaten km 662** (WSA Eberswalde)	**Oder Widuchowa km 701** (IMGW Gdansk)
1. Kamp. 14.11.1997	228	218	428	451
2. Kamp. 07/08.05.1998	284	271	588	648
3. Kamp. 06/07.11.1998	618	260	763	722
4. Kamp. 18./19.06.1999	274	keine Angabe	484	keine Angabe
5. Kamp. 26.05.2000	205	keine Angabe	355	keine Angabe

Abflüsse des Oder-Spree-Kanals

Die Scheitelhaltung des Oder-Spree-Kanals zwischen den Schleusen Kersdorf, Neuhaus und Eisenhüttenstadt überwindet die Wasserscheide zwischen der Nordsee (Spree) und der Ostsee (Oder). Da die Eigenwasserversorgung der Scheitelhaltung nicht zur Versorgung für die Schifffahrt ausreicht, wird bei Bedarf Wasser der Spree bei Neuhaus oder/und der Oder bei Eisenhüttenstadt in die Scheitelhaltung gepumpt. In Eisenhüttenstadt wird beim Schleusenvorgang Wasser vom Oder-Spree-Kanal an die Oder abgegeben und bei Bedarf Wasser von der Oder in den Kanal gepumpt. Durch Schleusungen in Neuhaus kann Spreewasser in den Kanal gepumpt werden. Ein Überleiten von Oderwasser in die Spree über den Rahmen des Schleusenwassers hinaus, wie z.T. früher praktiziert, findet seit Jahren nicht mehr statt. Es wurden Tagesmittelwerte der Abflüsse, die die Oder betreffen, ermittelt [WSA BERLIN, 2001].

Tab. 15: Tagesmittelwerte der Abflüsse im Oder-Spree-Kanal [m^3/s] [WSA BERLIN, 2001], positive Differenzen der Abflüsse bedeuten, daß der Oder Wasser aus dem Oder-Spree-Kanal zugeführt wird, negative Differenzen zeigen eine Einleitung von Wasser aus dem Oder-Spree-Kanal in die Spree an

	Pumpwerk Eisenhüttenstadt	**Schleuse Eisenhüttenstadt**	**Differenz**
2. Kamp. 07.05.1998	0,00	1,15	1,15
3. Kamp. 06.11.1998	0,00	1,88	1,88
4. Kamp. 18.06.1999	3,81	2,15	-1,66
5. Kamp. 26.05.2000	2,37	1,95	-0,42

Abflüsse des Brieskower Kanals

Am Probenahmepunkt OT33BR an der Straßenbrücke B112 werden vom Landesumweltamt Brandenburg keine Abflußmessungen durchgeführt. Es wird jedoch regelmäßig an der Schleuse Groß Lindow (oberhalb unseres Meßpunktes) der Abfluß des Brieskower Kanals gemessen, welcher jedoch nicht direkt auf den Betrachtungspunkt bezogen werden kann. Unterhalb der Schleuse Groß Lindow zweigt am Wehr Klixmühle die Brieskower Alte Schlaube als natürliches Gewässer ab, deren Abfluß ebenfalls regelmäßig gemessen wird. Der Bries-

kower Kanal verläuft ab dem Wehr Klixmühle in einem gedichteten Bett und hat in diesem Bereich keine natürlichen Zuflüsse. Im Bereich der Schleuse Brieskow entwässern der Brieskower Kanal und die Briskower Alte Schlaube in den Brieskower See. Die für den Betrachtungspunkt rechnerisch ermittelten Werte gelten als Richtwerte, wobei der mittlere Fehler auf +/- 20 % geschätzt wird [LUA BRANDENBURG, 2001a].

Tab. 16: Mittlere Abflüsse des Brieskower Kanals an der Straßenbrücke B112 (Punkt OT33BR) [m^3/s] [LUA BRANDENBURG, 2001a]

	Brieskower Kanal Punkt OT33BR
2. Kamp. 07.05.1998	0,11
3. Kamp. 06.11.1998	0,21
4. Kamp. 18.06.1999	0,21
5. Kamp. 26.05.2000	0,22

Ständige Wechselwirkungen zwischen Oder und Brieskower Kanal bestehen nicht. Lediglich bei höherer Wasserführung der Oder kann es zu einem Rückstau bis in den Bereich der Schleuse Finkenheerd kommen. Die geringen Zuflüsse aus dem Brieskower Kanal und der Brieskower Alten Schlaube haben keine Auswirkungen auf die Wasserführung der Oder [LUA BRANDENBURG, 2001a].

Abflüsse der Neiße

Für den Probenahmepunkt OT26PO in der Lausitzer Neiße kommt der Pegel Guben 2 als mündungsnahester Pegel (13,8 km oberhalb der Mündung) zur Anwendung. Zwischen der Kampagne 11/98 und den anderen liegt der Faktor 4. Damit bestätigt sich das herbstliche Hochwasser aus den Mittelgebirgslandschaften des Oberlaufs der Oder, nicht aber aus dem Einzugsgebiet der Warta.

Tab. 17: Mittlere Abflüsse der Lausitzer Neiße am Pegel Guben 2 [m^3/s] [LUA BRANDENBURG, 2001b]

	Lausitzer Neiße Pegel Guben 2
1. Kamp. 14.11.1997	19,6
2. Kamp. 07.05.1998	21,8
3. Kamp. 06.11.1998	80,6
4. Kamp. 18.06.1999	20,1
5. Kamp. 26.05.2000	20,1

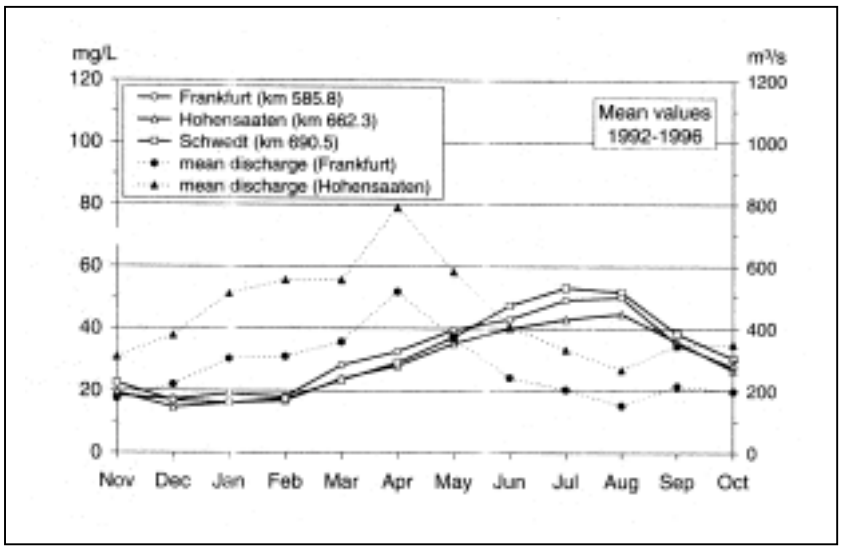
Schwebstoffe

Die Definition von Schwebstoffen wird in der DIN 4049 festgelegt: "Schwebstoffe sind Feststoffe, die mit dem Wasser im Gleichgewicht stehen oder durch Turbulenz in Schwebe gehalten werden". Diese Definition verdeutlicht die Dynamik des Schwebstofftransportes als eigenständiges Transportsystem. Allerdings enthält die DIN keine untere bzw. obere Korngrößenbegrenzung. International üblich sind 0,45 µm als untere Grenze, der mit gebräuchlichen Filtern noch zurückhaltbare Korndurchmesser. Bei Partikeln <0,45 µm spricht man vom Lösungstransport. Die obere Grenze wird durch die Transportkraft des Fließgewässers bestimmt und ist von Wassermenge und Fließgeschwindigkeit abhängig. Die Zusammensetzung, die Herkunft oder die an den Partikeln ablaufenden Prozesse bleiben von der Definition unberücksichtigt.

Gleichzeitig bilden Schwebstoffe ein offenes System und dienen durch vielfältige Austauschprozesse als Bindeglied zwischen dem Sediment und dem Wasser. Aufgrund ihrer großen spezifischen Oberfläche spielen Schwebstoffe als ein Partikelgemisch aus mineralischen und organischen (Plankton, Bakterien, Detritus, Eiweißflocken etc.) Anteilen in einem Fließgewässersystem eine wichtige Rolle als Adsorptionspartner für Schwermetalle und andere Schadstoffe. Suspendierte partikuläre Substanz im Oderästuar [Breitenbach u.a., 1999] besteht hauptsächlich aus organischer Substanz (29-76 %), biogenem Opal (18-33 %), Quarz, biogenem und autigenem Calcit. Aufgrund verlangsamter Fließgeschwindigkeiten (z.B. in einem Stillwasserbereich) können Schwebstoffe zunächst als sogenanntes schwebstoffbürtiges Sediment abgelagert, bei erhöhten Fließgeschwindigkeiten (z.B. Hochwasser) können diese wieder von der fließenden Welle aufgenommen (resuspendiert) werden. Akkumulations-, Dispersions- und Austauschprozesse können sowohl im Gleichgewichtszustand mit der Wasser- als auch mit der Sedimentphase erfolgen.

Ergebnisse täglicher Untersuchungen der Bundesanstalt für Gewässerkunde zeigen, daß die Schwebstoffkonzentration einem ausgeprägten Jahresgang unterliegt, der allerdings nicht mit dem des Abflusses identisch ist [SCHMIDT, 1999]. Während bei den mittleren Abflüssen das Maximum im April liegt, ist es bei der Schwebstoffmenge im Juli/August zu finden.

Abb. 6:
Jahresgang der mittleren monatlichen Schwebstoffkonzentration und des mittleren monatlichen Abflusses (mean discharge) in der Oder, Mittelwerte (mean values) der Jahre 1992-1996, original übernommen aus [SCHMIDT, 1999]

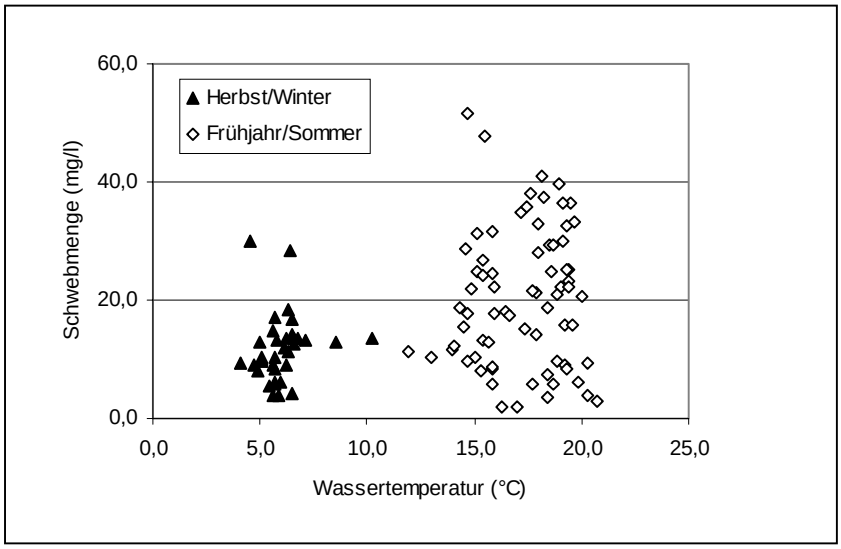


Im betrachteten Oderabschnitt wurden Schwebstoffgehalte zwischen 1,82 und 51,5 mg/L gemessen. Dabei wurden im Mai/Juni generell höhere Konzentrationen als im November ermittelt. In den Frühjahrsmonaten kommt es temperatur- und lichtabhängig zu einer mehrwöchigen Massenentwicklung von Phytoplanktonbiomasse. Die gesteigerte Bioaktivität reicht bis in den Sommer und wirkt sich fördernd auf die Schwebstoffmenge aus. Die Abhängigkeit der Schwebstoffmenge von der Wassertemperatur ist in der Oder und ihren Zuflüssen nachweisbar (Abb. 7). Das Hochwasserereignis im November 1998 wirkt sich zum Zeitpunkt der Probenahme nicht meßbar auf den Schwebstoffgehalt aus. Die Warta wirkt mit Ausnahme der Kampagne 11/97 aufgrund ihres geringeren Schwebstoffgehaltes verdünnend auf die Oder.

Tab. 18: Mittlere Schwebstoffgehalte [mg/L] in Oder und Warta

	11/97	**5/98**	**11/98**	**6/99**	**5/00**
Oder oh. Warta	12,2	28,3	14,2	26,1	31,2
Warta	15,0	10,4	3,9	20,9	18,7
Oder uh. Warta	9,6	30,2	11,0	18,6	33,7

Abb. 7:
Abhängigkeit der Schwebstoffmenge von der Wassertemperatur unter Einbeziehung der Werte aus WITTMÜß [1998]

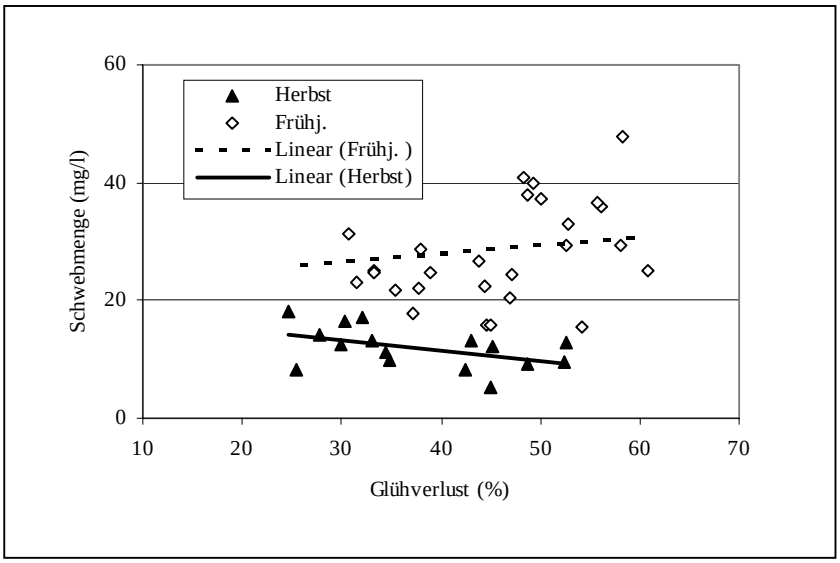


Glühverlust der Schwebstoffe

Die Glühverluste schwanken in den Schwebstoffen zwischen 24,7 und 60,8 % (Tab. 19). Eine Korrelation zwischen der Schwebstoffmenge und den Glühverlusten in den Schwebstoffen ist auf den ersten Blick nicht zu erkennen. Bei der jahreszeitlichen Betrachtung der Kampagnen ergibt sich jedoch folgender Trend (Abb. 8):

- im Frühjahr nimmt der Glühverlust mit steigender Schwebstoffmenge zu (Zunahme des organischen Anteils aufgrund zunehmender Biomasseproduktion)
- im Herbst nimmt der Glühverlust mit steigender Schwebstoffmenge ab (Rückgang der biogenen Bestandteile, Zunahme der mineralischen Partikel).

Abb. 8:
Jahreszeitliche Abhängigkeit der Schwebstoffmenge vom Glühverlust unter Angabe des linearen Trends



Tab. 19: Mittlerer Glühverlust in Schwebstoffen der Oder und Warta [%]

	11/97	**5/98**	**11/98**	**6/99**	**5/00**
Oder oh. Warta	47,3	37,4	34,7	39,3	51,3
Warta	39,8	69,4	69,8	46,3	-
Oder uh. Warta	31,6	46,2	38,2	45,2	53,9

Aufgrund der bedeutenden Wasserführung der Warta sollte ihr Einfluß auf die Oder bei allen Parametern betrachtet werden. Die Warta weist in der Regel eine geringere Schwebstofffführung als die Oder auf, die Glühverluste sind aber höher als in der Oder. Möglicherweise werden aufgrund des größeren Gefälles in der Oder, vor allem im Ober- und Mittellauf, größere Mengen mineralischer Partikel in Form von Schwebstoffen aufgenommen und transportiert. Die Einmündung der Warta führt in der Oder überwiegend zu einem geringen Abfall der Schwebstoffmenge und einem Anstieg der Glühverluste. Eine Abhängigkeit der Schwebstoffmenge vom Abfluß ist nicht feststellbar.

5.1.2. Vor-Ort-Parameter

Temperatur

Die Luft- und Wassertemperaturen liegen im Mai/Juni erwartungsgemäß höher als im November. Die Temperatur hat entscheidenden Einfluß auf die Lebenstätigkeit unter der Wasseroberfläche und beeinflußt u.a. den Sauerstoff- und Stickstoffhaushalt im Gewässer. Für die vorgesehene jahreszeitliche Betrachtung sind die bereits erheblichen Temperaturunterschiede zwischen Mai und Juni ungünstig. Vorteilhaft wäre ein eng begrenztes Zeitintervall für die Frühjahrsbeprobung (vorzugsweise im April bei maximalen Wasserständen) gewesen.

Tab. 20: Mittlere Luft- und Wassertemperaturen in der Oder [°C]

	11/97	**5/98**	**11/98**	**6/99**	**5/00**
T-Luft	7,0	17,4	6,9	17,1	21,7
T-Wasser	6,5	15,0	6,0	19,3	19,0

Sauerstoffgehalt

Der Sauerstoffgehalt im Wasser weist einen ausgeprägten, von Temperaturverhältnissen und biologischen Vorgängen im Fluß abhängigen Jahresgang aus. Langanhaltende Sauerstoffdefizite, die eine nachhaltige Gefährdung des Gewässers darstellen, lassen sich in Oder und Neiße nicht nachweisen. Während der wärmeren Jahreszeit kann es sowohl zu sehr niedrigen als auch zu sehr hohen Konzentrationen kommen. Auf entsprechende Abwassereinleitungen erfolgt ein beträchtliches Absinken mit einem Wiederanstieg des Sauerstoffgehaltes [SONNENBURG, 1993].

Anhand der fünf Probenahmekampagnen können nur stichprobenartige Aussagen über den Verlauf des Sauerstoffgehaltes getroffen werden. Generell weist die Oder einen positiven Sauerstoffhaushalt auf (Anlagen 1 und 2). Die Sauerstoffgehalte sinken selten unter 6 mg/L ab und liegen somit in der LAWA-Klasse I und I-II. Eine ungünstige Sauerstoffbilanz (6,3 mg/L) wurde nur im Oder-Spree-Kanal festgestellt, der durch das Schleusensystem nur über geringere Austauschmöglichkeiten zum offenen Flußsystem verfügt. Auch in der Hohensaaten-Friedrichsthaler Wasserstraße sinkt der Sauerstoffgehalt gelegentlich auf Werte unter 7 mg/L ab. Für die Probenahmekampagne 5/00 fällt auf, daß die Sauerstoffgehalte generell höher als 8 mg/L liegen. Zu dieser Zeit war auch die Lufttemperatur und die Sonnenscheindauer höher. Dadurch wird die Sauerstoffproduktion der im Wasser lebenden grünen Pflanzen durch die Photosynthese angeregt und es kann zur Übersättigung und nachfolgender Abgabe von Sauerstoff an die Atmosphäre kommen.

Tab. 21: Mittlere Sauerstoffgehalte und -sättigungen in der Oder [mg/L bzw. %]

	11/97	**5/98**	**11/98**	**6/99**	**5/00**
O_2-Gehalt	9,5	9,8	9,5	8,1	13,1
O_2-Sättigung	79	101	79	88	141

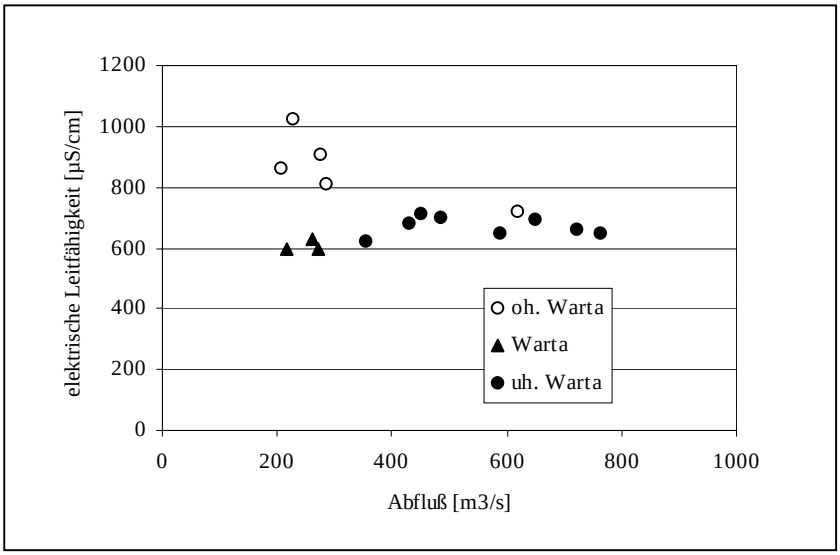
Elektrische Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit ist ein Maß für die Mineralisation des Wassers. Die Warta beeinflußt die Mineralisation der Oder entscheidend, sie übt bei den Natrium-, Kalium-, Chlorid- und Sulfatgehalten (vgl. Kap. 5.1.3) einen verdünnenden Effekt auf die Oder aus. Mit dem Zufluß der Warta verringert sich gleichzeitig die Streubreite der elektrischen Leitfähigkeit. Sie erreicht nun Klasse I der polnischen Klassifikation (<800 µS/cm) für Oberflächengewässer. Die elektrischen Leitfähigkeiten der anderen Zuflüsse mit Ausnahme der HFW liegen deutlich unter denen der Oder.

Tab. 22: Mittlere elektrische Leitfähigkeiten in Oder und Warta [µS/cm]

	11/97	**5/98**	**11/98**	**6/99**	**5/00**
Oder oh. Warta	1.020	800	690	970	830
Warta	600	590	630	570	500
Oder uh. Warta	690	660	660	720	640

Abb. 9:
Abhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit vom Abfluß



Eine Abhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit vom Abfluß ergibt sich nur in der Oder oberhalb der Warta (Betrachtung des Punktes OR28EI). Dort ist im November 1998 bei max. Wassermenge die Leitfähigkeit am geringsten.

pH -Wert

Der pH-Wert im Oderwasser liegt im Abschnitt Polecko bis Widuchowa zwischen 6,9 und 9,2. Die Mittelwerte sind im Herbst (<8,0) niedriger als im Frühjahr (≥ 8,0). Im Mai 2000 steigen die pH-Werte nochmals an (9,0). Im Zusammenhang mit der höheren Lufttemperatur/Sonnenscheindauer sind die quantitativen Umsätze der Photosynthese höher, wobei dem Wasser Kohlensäure entzogen wird und der pH-Wert ansteigt. Die pH-Werte der Zuflüsse liegen geringfügig unter denen der Oder. In den Sedimenten konnte der pH-Wert nicht an allen Punkten gemessen werden, er schwankt zwischen 7,0 und 8,3.

Tab. 23: Mittlere pH-Werte im Wasser und im Sediment der Oder

	11/97	**5/98**	**11/98**	**6/99**	**5/00**
pH –Wasser	7,8	8,3	7,7	8,0	9,0
pH –Sediment	7,6	7,6	7,6	7,5	7,7

Eh-Wert

Die Eh-Werte im Wasser liegen zwischen 110 und 540 mV, im Sediment zwischen –120 und 460 mV. Mit Ausnahme der Kampagne 6/99 ist die Schwankungsbreite recht groß, so daß für diesen Parameter keine jahreszeitlich bedingten Schwankungen zu beobachten sind. Zwischen pH und Eh besteht weder ein räumlicher noch ein zeitlicher Zusammenhang.

Tab. 24: Mittlere Eh-Werte im Wasser und im Sediment der Oder [mV]

	11/97	**5/98**	**11/98**	**6/99**	**5/00**
Eh-Wasser	310	280	410	360	350
Eh-Sediment	76	39	-	23	87

5.1.3 Hauptionen und Summenparameter im Wasser

In einem Piper-Diagramm lassen sich die Ionenbeziehungen zwischen Kationen und Anionen als auch Kationen und Anionen untereinander vergleichen. Es werden ein Anionen- und ein Kationen-Dreieck mit einem Viereckdiagramm kombiniert. Piper-Diagramme sind Verhältnisdarstellungen, die Analysen abweichender Zusammensetzung identifizieren.

Im Piper-Diagramm (Abb. 10) ist eine deutliche Trennung der Probenahmepunkte in der Oder vor bzw. nach der Warta zu beobachten. Damit wird der Einfluß der Warta auf die Oder bestätigt, der bereits in Längsprofil- (Anlage 1) und in Anionen-Kationen-Diagrammen (z.B. Abb. 11: Natrium-Chlorid) zu erkennen ist. Die Warta ist geringer mineralisiert als die Oder, sie besitzt neben einer geringen Leitfähigkeit deutlich geringere Gehalte an Natrium, Kalium, Chlorid, Sulfat und höhere Gehalte an Calcium und Hydrogenkarbonat. Die anderen Nebenflüsse zeichnen sich gegenüber der Oder ebenfalls durch eine Verarmung an Natrium, Kalium, Chlorid und eine Anreicherung an Calcium und Hydrogenkarbonat aus. Jahreszeitliche Abhängigkeiten sind aus dem Piper-Diagramm nicht erkennbar.

In Anlage 1 befinden sich zeitlich definierte Längsprofildiagramme aller nachfolgend beschriebenen Parameter und in Anlage 2 Karten mit der Darstellung der LAWA-Güteklassen.

Abb. 10: Piper-Diagramm für die Oder im Vergleich zu Mulde [DEGNER u.a., 2001], Flusswasser (global) und Meerwasser [MARTIN & WHITEFIELD, 1983]

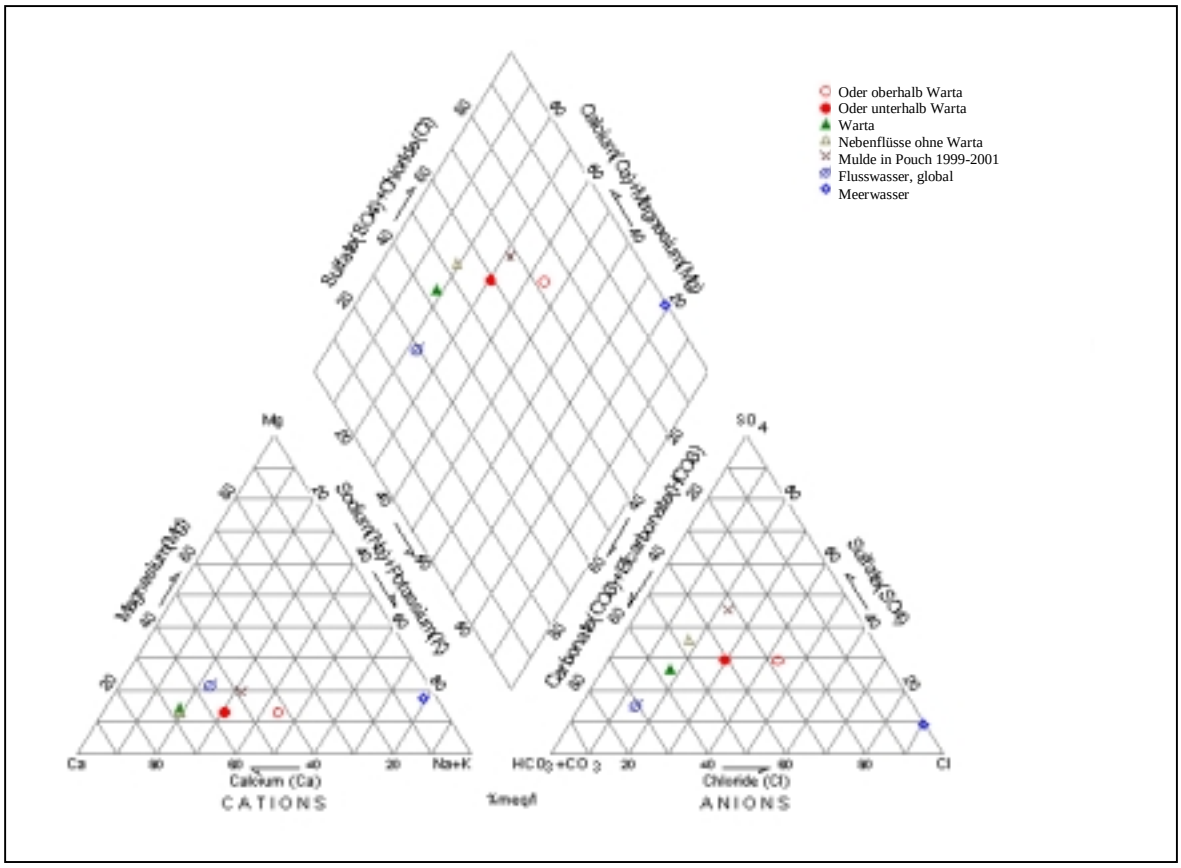
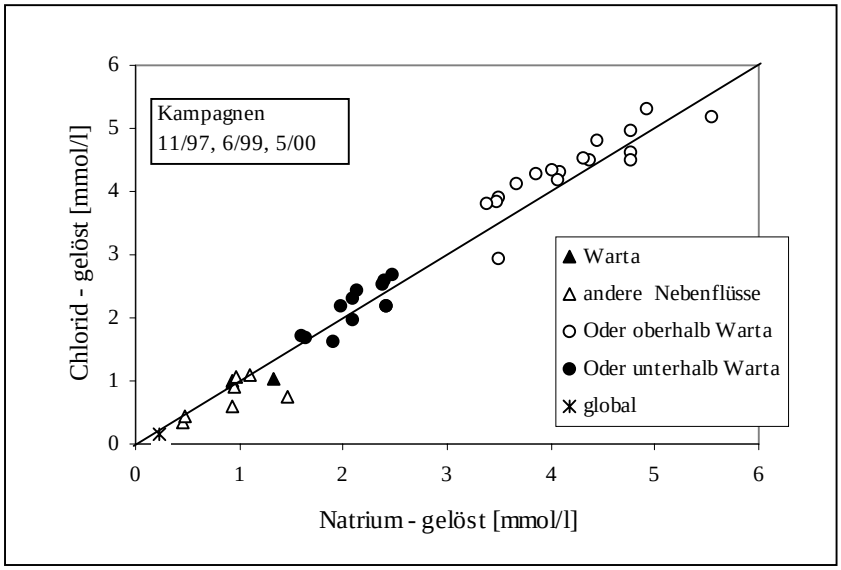


Abb.11:
Abhängigkeit der Natrium- und Chloridgehalte im Wasser der Oder oberhalb und unterhalb der Warta



Chlorid und Sulfat

Die Chloridgehalte sinken im Flußverlauf von Polecko (>100 mg/L) bis Kostrzyn langsam ab Die Warta wirkt aufgrund der geringeren Chloridgehalte (<40 mg/L) verdünnend auf die Oder, so daß in Widuchowa nur noch 40-70 % der Chloridausgangskonzentration zu finden sind. Die geringeren Chloridgehalte der anderen Zuflüsse (<50 mg/L) wirken sich aufgrund ihrer geringen Wassermenge kaum auf die Oder aus. Gemäß LAWA-Klassifizierung ordnet sich die Oder vor der Warta in die Klasse II (mäßig belastet) und II-III (deutlich belastet), nach der Warta in die Klasse II und die Zuflüsse in die Klasse I-II (sehr gering belastet) ein.

Tab. 25: Mittlere Chloridgehalte im Wasser der Oder und Warta [mg/L]

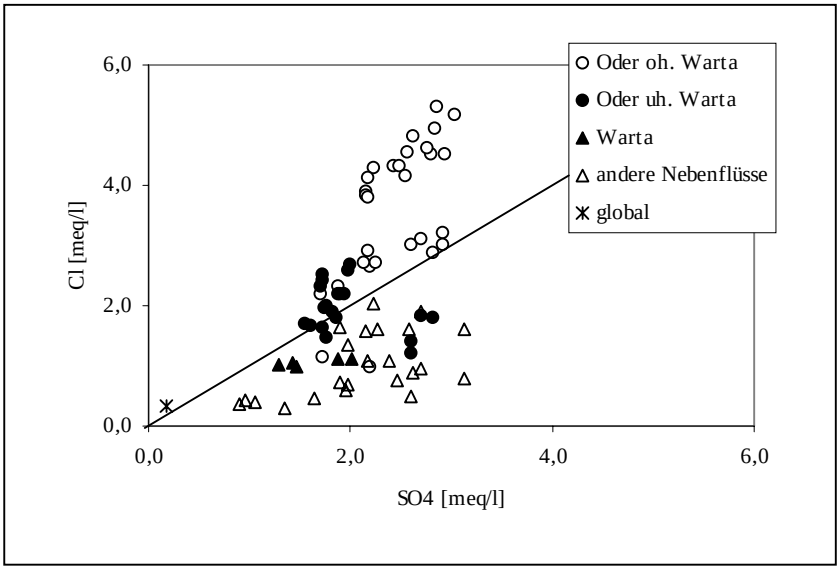
	11/97	**5/98**	**11/98**	**6/99**	**5/00**
Oder oh. Warta	169	95,7	81,2	162	135
Warta	37,0	39,0	39,4	34,6	35,6
Oder uh. Warta	71,0	55,4	63,5	80,9	79,9

Die Sulfatgehalte sinken von Polecko (>100 mg/L) bis Kostrzyn leicht, nach dem Zufluß der Warta deutlich ab und erreichen in Widuchowa noch 60-90 % der Ausgangskonzentration von Polecko. Neiße, Oder-Spree-Kanal und Ilanka weisen geringere, Brieskower Kanal und Hohensaaten-Friedrichsthaler Wasserstraße ähnliche Sulfatgehalte wie die Oder auf. Bis zur Warta liegen die Sulfatgehalte der Oder in der LAWA-Klasse II-III (deutlich belastet), danach überwiegend in der LAWA-Klasse II (mäßig belastet).

Tab. 26: Mittlere Sulfatgehalte im Wasser der Oder und Warta [mg/L]

	11/97	**5/98**	**11/98**	**6/99**	**5/00**
Oder oh. Warta	138	129	94,9	124	104
Warta	69,0	90,0	97,1	70,8	62,4
Oder uh. Warta	87,8	128	86,5	89,4	80,4

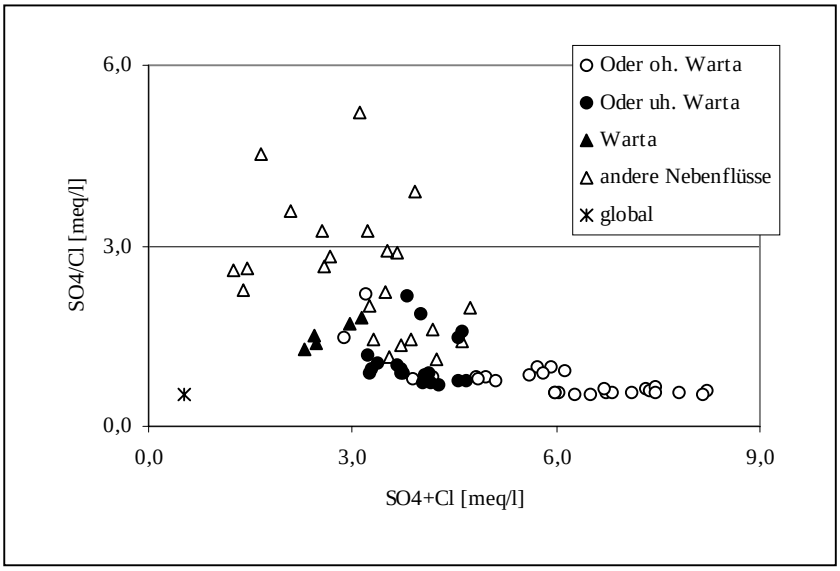
Abb. 12:
Abhängigkeit der Sulfat- und Chloridgehalte im Wasser der Oder oberhalb und unterhalb der Warta



Mit dem Zufluß der Warta ändert sich der Wasserchemismus der Oder deutlich. In der Oder oberhalb der Warta liegt ein bergbaubedingter Chloridüberschuß vor.

Das Sulfat/Chlorid-Verhältnis (bezogen auf meq/L) liegt dort (Abb. 13) unabhängig von der Gesamtkonzentration (Chlorid+Sulfat) zwischen 0,5 und 1,0, ähnlich dem in Flüssen weltweit bestimmten Verhältnis von 0,54. Das Wasser der Warta besitzt ein mit der Chlorid+Sulfat-Konzentration zunehmendes Sulfat/Chlorid-Verhältnis zwischen 1,3 und 1,8. Demnach schwanken die Sulfat/Chlorid-Verhältnisse in der Oder unterhalb der Warta in einem größeren Bereich (zwischen 0,7 und 2,2). Höhere Sulfat-Chlorid-Verhältnisse (2,0 bis 5,2) werden in der Neiße, dem Oder-Spree-Kanal, dem Brieskower Kanal und der Ilanka gefunden, geringere (1,1 bis 2,0) in der HFW.

Abb. 13:
Abhängigkeit des Sulfat/Chlorid- Verhältnisses von der Gesamtkonzentration (Sulfat + Chlorid) im Wasser der Oder oberhalb und unterhalb der Warta



Eine signifikante Abfluß-Konzentrations-Beziehung liegt bei Chlorid und Sulfat für die wenigen vorhandenen Abflußdaten nicht vor. SONNENBURG [1993] beschreibt allerdings nur eine gute Korrelation zwischen Abflußgeschehen und Chloridgehalten.

Nährstoffe

In den Küstengewässern ist die Eutrophierung eines der Hauptprobleme. Die einmündenden Flüsse, so auch die Oder, liefern den Hauptanteil des Nährstoffeintrages. Um diese Situation zu verbessern, müssen die hohen Nährstoffeinträge in die Flüsse reduziert werden. Dazu ist die Herkunft der Nährstoffe zu identifizieren und das Verhältnis der verschiedenen Quellen (diffuse und punktuelle Quellen) zu bestimmen. Einträge von der landwirtschaftlichen Nutzfläche und der urbanen Fläche stellen die hauptsächlichen diffusen Quellen dar. Die Emissionssituation im Odereinzugsgebiet (bezogen auf Krajnik Dolny/Schwedt, Einzugsgebiet 110.074 km^2) ist bei Phosphor durch eine hohe Dominanz der punktuellen Einträge (76 %) charakterisiert. Bei Stickstoff dominieren die diffusen Einträge (56 %). Für

den Zeitraum 1991 bis 1994 konnte in Krajnik Dolny/Schwedt eine geringe Reduktion der Nährstofffracht bei Phosphor, keine Änderung bei Stickstoff festgestellt werden. Die Nährstofffrachten sind im Vergleich zu den Einträgen gering, was auf intensive Rückhalteprozesse im Flußsystem der Oder zurückzuführen ist [BEHRENDT u.a., 1999].

Phosphat-P

Die PO_4-P-Gehalte (Anlage 1) schwanken im betrachteten Oderabschnitt und in den Nebenflüssen zwischen 0,02 und 0,32 mg/L. Damit ist die Oder sehr gering bis mäßig belastet (entspricht häufig den LAWA-Klassen I-II und II, in 2 Fällen III). Die von SONNENBURG [1993] beschriebene Tendenz der Verringerung der Gehalte in Fließrichtung kann nicht bestätigt werden, da (besonders in der Kampagne 5/00) durch hohe Einzelwerte eine große Schwankungsbreite hervorgerufen wird. Die PO_4-P-Gehalte schwanken in den Zuflüssen ebenfalls recht stark zwischen den Kampagnen, jedoch jahreszeitunabhängig. In zwei von drei Beprobungen (5/98, 11/98) weist die Warta geringere PO_4-P-Gehalte als die Oder auf.

Tab. 27: Mittlere PO_4-P-Gehalte im Wasser der Oder und Warta [mg/L]

	11/97	**5/98**	**11/98**	**6/99**	**5/00**
Oder oh. Warta	0,17	0,06	0,13	0,07	0,10
Warta	0,26	0,04	0,02	0,13	0,29
Oder uh. Warta	0,14	0,02	0,11	0,10	0,18

Ammonium-N

Als Endprodukte der Eiweißabbaus treten Ammonium und Ammoniak vermehrt im Abwasser auf. Ammonium wird als schwaches, Ammoniak dagegen als starkes Fischgift eingestuft. Das Gleichgewicht von Ammonium und Ammoniak ist pH-Wert- und temperaturabhängig. Bis pH-Wert=7 liegen 99% als Ammonium vor und mit steigender Wassertemperatur entsteht mehr Ammoniak [BAUR, 1998].

Tab. 28: Mittlere NH_4-N-Gehalte im Wasser der Oder und Warta [mg/L]

	11/97	**5/98**	**11/98**	**6/99**	**5/00**
Oder oh. Warta	0,72	0,02	0,12	0,02	0,02
Warta	0,40	-	0,13	0,01	0,02
Oder uh. Warta	0,42	0,01	0,08	0,02	0,02

Alle Ammonium-N-Konzentrationen <0,1 mg/L - und das sind alle im Frühjahr analysierten - werden als sehr gering eingestuft (LAWA-Klassen I und I-II) Bei den Herbstkampagnen treten höhere Ammonium-N-Gehalte im Wasser auf, wobei im November 1997 besonders hohe Werte bis 0,90 mg/L (LAWA-Klassen II-III und III) gemessen wurden. In den Wintermonaten können sogar Ammonium-N-Konzentrationen bis zu 2,5 mg/L erreicht werden, die mit einer geringen Wassertemperatur und einer geringen Sauerstoffsättigung einhergehen [LUA BRANDENBURG, 1999]. Eine signifikante Abhängigkeit der Ammonium-N-Gehalte von

der Wassertemperatur ist nicht nachzuweisen. Die Oder besitzt mit Ausnahme des Brieskower Kanals generell höhere Ammonium-N-Gehalte als ihre Zuflüsse.

Im Gewässer erfolgt durch Mikroorganismen unter Sauerstoffverbrauch eine Oxidation von Ammonium zu Nitrit (ebenfalls ein Fischgift) und weiter zu Nitrat. Dabei sind keine hohen Temperaturen notwendig. Nitrifikanten haben ihr Optimum bei 8-12 °C [BAUR, 1998]. Nitrat stammt aber auch aus der Landwirtschaft und kann im Gewässer ein vermehrtes Pflanzenwachstum hervorrufen, das wiederum zu einer Denitrifikation führen kann. Dieser Prozeß tritt aufgrund der relativ guten Sauerstoffbilanz der Oder zurück.

Nitrat-N

Die Nitrat-N-Gehalte schwanken in der Oder zwischen 0,8 und 2,4 mg/L, wobei zwischen Polecko und Kostrzyn kaum eine Änderung zu bemerken ist. Ein sprunghafter Abfall unterhalb der Wartamündung [SONNENBURG, 1993] kann nicht bestätigt werden, da die Warta ebenso wie die Neiße ähnliche Nitratgehalte beisteuert. In jahreszeitlicher Hinsicht werden in den Mai-Kampagnen geringere Gehalte gefunden, die allerdings nicht mit den Wassertemperaturen korrelieren. Es erfolgt eine Einstufung in die LAWA-Klassen I bis II (unbelastet bis mäßig belastet).

Tab. 29: Mittlere NO_3-N-Gehalte im Wasser der Oder und Warta [mg/L]

	11/97	**5/98**	**11/98**	**6/99**	**5/00**
Oder oh. Warta	2,1	0,76	2,4	2,1	0,98
Warta	1,9	1,1	1,4	2,0	1,3
Oder uh. Warta	1,3	0,82	2,42	1,68	0,52

Nitrit-N

Die Oder ist im betrachteten Abschnitt nur sehr gering mit Nitrit-N belastet (LAWA-Klasse I und I-II). Von Polecko bis Kostrzyn nehmen die Nitrit-N-Gehalte ab, steigen danach aufgrund des Wartazuflusses an und nehmen im weiteren Verlauf bis Widuchowa wiederum ab. Jahreszeitliche Parallelen gibt es zum Nitrat-N: In den beiden Herbstkamapagnen wurden höhere Nitrit-N-Gehalte ermittelt.

Tab. 30: Mittlere NO_2-N-Gehalte im Wasser der Oder und Warta [mg/L]

	11/97	**5/98**	**11/98**	**6/99**	**5/00**
Oder oh. Warta	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01
Warta	0,03	-	0,03	0,04	0,01
Oder uh. Warta	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01

TOC (gesamter organisch gebundener Kohlenstoff)

Der TOC-Gehalt von Oberflächen- und Abwässern ist ein bedeutender analytischer Parameter, der den Gesamtgehalt an organischen Verbindungen beschreibt, die Kohlenstoff enthalten. Generell ist der TOC die Summe aus dem gelösten organischen Kohlenstoff (DOC) und dem partikulären organischen Kohlenstoff (POC). Der DOC wird aus dem Filtrat <0,45 µm bestimmt. In dieser Fraktion sind tongebundene Metallkomplexe, Huminsäuren, Kolloide, Viren und Bakterien zu finden. Die POC-Fraktion enthält vorwiegend Kohlenstoff des Phyto- und Zooplankton. In Oberflächengewässern ist die Konzentration an POC gering und liegt häufig unter 10 % des TOC [SIEPAK, 1999].

Untersuchungen an polnischen Flüssen zeigten, daß sich die DOC-Gehalte während der Vegetationsperiode kaum veränderten (Schwankungsbreite 10,0-14,2 mg/L). Die TOC-Konzentrationen hingegen stiegen von Mai bis September stark an und erreichten im Sommer ihr Maximum (Schwankungsbreite 10,8 bis 25,5 mg/L). Die Variabilität des POC hängt in Flußwässern nicht nur von der Algenblüte im Sommer ab, sondern auch von diffusen Einträgen, die partikulär gebunden in die Fließgewässer gelangen [SIEPAK, 1999].

TOC-Gehalte wurden in drei Kampagnen an der TU Bergakademie Freiberg untersucht. Dabei schwanken die Werte in der Oder zwischen 5,2 und 11,4 mg/L. Vom gesamten organischen Kohlenstoff (TOC) sind meistens nur weniger als 10 % partikulär gebunden (POC). Obwohl 6/99 nicht mehr TOC als 11/98 vorliegt, ist die Juni-Beprobung durch einen höheren partikulären organischen Anteil von bis zu 25 % charakterisiert.

Tab. 31: Mittlere TOC- und DOC-Gehalte im Wasser der Oder [mg/L],

	11/98				**6/99**				**5/00**
	TOC	DOC	POC*	*POC%*	**TOC**	DOC	POC%	*POC%*	**TOC**
Oder oh. Warta	**8,8**	8,2	0,6	*6,8*	**8,3**	7,5	0,8	*9,6*	**6,2**
Warta	**15,3**	13,6	1,7	*11,1*	**11,6**	10,5	1,1	*9,5*	**-**
Oder uh. Warta	**8,9**	8,6	0,3	*3,4*	**10,7**	9,1	1,6	*15,0*	**7,3**

*POC wurde aus der Differenz zwischen TOC und DOC errechnet; POC% prozentualer Anteil der POC am TOC

In der Oder wurden 11/98 und 6/99 TOC-Gehalte bestimmt, die von Polecko bis Kostrzyn leicht anstiegen (von ca. 8 auf 11 mg/L) und sich trotz des Warta-Einflusses (12 bis 15 mg/L) auf einem Niveau um 10 mg/L einpendelten. In der Beprobung 5/00 liegen die TOC-Gehalte um ca. 2 mg/L niedriger, ein lokales Maximum bei Schwedt könnte auf die Punktbelastungsquellen der Papier- und Zellstoffindustrie schließen lassen. Für die Warta wird die LAWA-Gewässergüteklasse III (erhöht belastet), für die Oder und die anderen Zuflüsse überwiegend die Klasse II-III (deutlich belastet) vergeben.

AOX (Adsorbierbare organische Halogenverbindungen)

AOX ist ein analytischer Summenenparameter, der die Konzentration an organisch gebundenen Halogenen (z.B. Chlor) angibt und besonders Hinweise auf die Belastung von Abwässern durch halogenierte Verbindungen liefert.

Der Parameter AOX wurde nur in der letzten Kampagne durch die TU Bergakademie Freiberg bestimmt. In der Oder oberhalb der Warta wurden Gehalte zwischen 0,028 und 0,018 mg/L analysiert, unterhalb sinken die Gehalte trotz der höheren Konzentrationen aus der Warta (0,029 mg/L) auf 0,011 mg/L ab. Der letzte Anstieg auf 0,018 mg/L zwischen Schwedt und Widuchowa kann möglicherweise aus der Sammeleinleitung der Anlagen der Papier- und Zellstoffindustrie kommen. In den Oderzuflüssen Neiße, Brieskower Kanal, Ilanka und HFW lagen die AOX-Gehalte ≤0,01 mg/L. Im Oder-Spree-Kanal wird eine maximale Konzentration von 0,084 mg/L erreicht. Die Einordnung in LAWA-Gewässergüteklassen erfolgt für Neiße und Ilanka in die I (unbelastet), für Oder, Brieskower Kanal und HFW in die II (mäßig belastet), für die Warta in die II-III (deutlich belastet) und für den Oder-Spree-Kanal in die III (erhöht belastet).

5.1.4 Elementgehalte in Wasser, Schweb und Sediment

In diesem Kapitel wird auf die räumliche (Flußlauf) und zeitliche (zwischen den fünf Kampagnen) Entwicklung der analysierten Elementgehalte in den Kompartimenten Wasser, Schwebstoff und Sediment eingegangen. Bei Schwebstoffen und Sedimenten werden die königswasserlöslichen Anteile angegeben. Als Bewertungsmaßstab werden sowohl geochemische als auch ökotoxikologische Kriterien herangezogen. Eine Darstellung der Gehalte in Wasser, Schweb und Sediment in der Oder und ihren Nebenflüssen gemäß der Fließrichtung erfolgt in Diagrammen, die Bewertung der Elemente nach LAWA wird in Form von Karten in Anlage 2 wiedergegeben.

In der dem Element zugehörigen Tabelle werden aufgrund des wesentlichen Einflusses des Zuflusses Warta die durchschnittlichen Gehalte (Mittelwerte) in der Oder vor der Warta (n=6), in der Warta (n=1) und in der Oder nach der Warta (n=4) angegeben. Bei den Sedimenten sind weniger Analysen vorhanden, weshalb an dieser Stelle generell auf Mittelwerte und nicht auf Medianwerte orientiert wird. Der Nachteil der Mittelwert- gegenüber der Medianberechnung ergibt sich beim Auftreten einzelner Maximalwerte, die in stärkerem Maße in den Mittelwert als in den Median einfließen. Zusätzlich werden Gesamtgehalte (gelöst + partikulär) angegeben.

Aluminium

Die Aluminiumgehalte im Wasser schwanken mit Ausnahme der Probenahme 6/99 in einem engen Bereich. Bei den um bis zu zwei Zehnerpotenzen höher liegenden Werten von 6/99 (bis 1630 µg/L) wird eine Fällung von Al-Hydroxiden nach der Probenahme vermutet, die in Form von Flocken lokale Anreicherungen in der Probe bewirkt hat, welche auch gemessen wurden. Diese Analysen sollten nicht einbezogen werden. Unter den Proben der anderen Kampagnen zeichnet sich ein ähnlicher Verlauf bei 11/97, 5/98 und 11/98 ab, die Werte für 5/00 liegen etwas darüber. Im Flußverlauf verhalten sich die Al-Gehalte konstant, die Al-Konzentrationen in den Nebenflüssen liegen im Niveau der Oder. Die ermittelten Durchschnittsgehalte der Oder ordnen sich unter dem globalen Durchschnittswert [MARTIN & WHITEFIELD, 1983] für Flüsse von 50 µg/L (gelöst) ein.

Bei den Schwebstoffen zeigen sich sowohl größere regionale als auch zeitliche Unterschiede. Die Al-Gehalte im Schwebstoff sinken im Flußverlauf ab (außer 11/98). Dabei ist ein besonders deutlicher Abfall zwischen Kietz/Kostrzyn und Großneuendorf/Czelin zu beobachten, der mit dem Zufluß der Warta mit geringeren Al-Gehalten im Schweb einhergeht. Dieser Einfluß läßt sich auch 11/98 feststellen, allerdings nehmen dann die Al-Gehalte im Schweb wieder zu. Der in MARTIN & WHITFIELD [1983] angegebene globale Durchschnittsgehalt von 94.000 mg/kg (partikulär) wird von den Schwebstoffen der Oder nicht erreicht. Jahreszeitli-

che Betrachtungen stellen die Al-Gehalte im Schweb der Kampagne 11/98 heraus. Unter Berücksichtigung des hohen Abflusses und des relativ geringen Glühverlustes werden bei Hochwasser zunehmend mineralische Partikel transportiert, was einen Anstieg der Al-Gehalte zur Folge haben kann. Ebenso sind in der Neiße in beiden Herbstkampagnen höhere Al-Gehalte (bis 85.000 mg/kg) zu verzeichnen. Brieskower Kanal und Ilanka weisen geringe Al-Gehalte im Schweb (16.000-25.000 mg/kg) und hohe Glühverluste auf, was für einen höheren organischen Anteil spricht.

Die Al-Gehalte in den Sedimenten der Oder schwanken zeitlich und räumlich nur sehr gering (Mittelwert 27.600 mg/kg, Standardabweichung 14%). Zwischen Polecko und Kietz/Kostrzyn liegen sie nahezu auf einem Niveau (ca. 30.000 mg/kg), zwischen Großneuendorf/Czelin und Widuchowa ebenfalls (ca. 25.000 mg/kg). Das Absinken um ca. 5.000 mg/kg ist wiederum auf den Einfluß der Warta zurückzuführen, an deren Mündung durchschnittlich 19.000 mg/kg analysiert wurden. Neben der Warta weisen auch der Brieskower Kanal und die Ilanka geringere Al-Gehalte in den Sedimenten als die Oder auf.

Tab. 32: Mittlere Aluminiumgehalte in Wasser, Schwebstoff und Sediment der Oder/Warta

		11/97	**5/98**	**11/98**	**6/99**	**5/00**
Oder oh. Warta	**Wasser**	17,0	12,5	13,0	(667)*	31,1
Warta	**gelöst**	14,0	7,2	8,3	(529)	27,9
Oder uh. Warta	**[µg/L]**	12,3	9,8	14,7	(781)	19,2
Oder oh. Warta	**Wasser**	476	1.090	748	(1.490)	915
Warta	**gesamt**	419	91	74	(807)	260
Oder uh. Warta	**[µg/L]**	243	798	623	(1.200)	676
Oder oh. Warta	**Schweb-**	37.800	34.800	49.600	32.440	33.030
Warta	**stoff**	27.000	8.120	17.000	13.310	12.430
Oder uh. Warta	**[mg/kg]**	24.000	24.910	57.250	22.380	19.480
Oder oh. Warta	**Sediment**	29.060	27.980	27.900	31.880	29.950
Warta	**<20 µm**	20.100	14.500	-	20.700	19.500
Oder uh. Warta	**[mg/kg]**	24.800	25.400	26.350	24.600	24.020

*bei den Werten in Klammern werden Analysenfehler durch Ausflockung vermutet

Arsen

Die Oder weist geringe As-Gehalte im Wasser auf (maximal 3,0 µg/L). Mit den errechneten Mittelwerten für die einzelnen Kampagnen zwischen 1,3 und 2,1 µg/L liegt die Oder im globalen Durchschnitt, den MARTIN &WHITFIELD [1983] für As mit 1,7 µg/L (gelöst) angeben. In der Wartamündung liegen die As-Gehalte in 4 der 5 Kampagnen unter der Bestimmungsgrenze (<1 µg/L). Damit wirkt sie verdünnend auf die Oder.

Die As-Konzentration in den Schwebstoffen nimmt räumlich (in Fließrichtung) und zeitlich (5/00 gegenüber 11/97) gesehen ab. Bei der Probenahme 11/97 wurden mit durchschnittlich 96,2 mg/kg (maximal 150 mg/kg) die höchsten As-Gehalte in den Schwebstoffen der Oder

analysiert. Auch bei der Probenahme 11/98 werden noch höhere As-Gehalte im Schwebstoff analysiert als in den Frühjahrsbeprobungen. Zwischen Eisenhüttenstadt (OR28EI) und Lebus/Lazy (OR31LE) werden die mit der Zeit abnehmenden Konzentrationen besonders deutlich. Gegenüber den Oderschwebstoffen weisen die Schwebstoffe aus der Warta bei allen Beprobungen wesentlich geringere As-Gehalte auf und beeinflussen die Oder damit positiv. Gemäß LAWA [1998] ordnen sich die Schwebstoffe hinsichtlich ihrer As-Gehalte 11/97 überwiegend in die Klasse III, bei den anderen Kampagnen vor der Warta in die Klasse II-III und nach der Warta in die Klasse II ein. Schwebstoffe aus der Warta liegen 11/97 in der Klasse II, danach in der Klasse I-II. Die anderen Nebenflüsse haben kaum einen Einfluß auf die Oder (Neiße II-III, Brieskower Kanal I-II bis II, Ilanka II, HFW-Hohensaaten I-II, HFW-Gatow II bis III).

Die As-Gehalte in den Sedimenten oberhalb der Warta unterliegen starken Schwankungen, besonders am Punkt Aurith. Dort werden 5/00 94 mg/kg erreicht. Nach dem Zufluß der Warta sinken die As-Gehalte in den Sedimenten ab und schwanken in deutlich geringerer Breite. Bei der Klassifizierung nach LAWA [1998] fallen die Proben aus der Oder oberhalb der Warta in die Klassen II-III und III, unterhalb in II bis II-III, die Proben aus der Warta in I-II. In der Warta werden in den Schwebstoffen und Sedimenten ähnliche As-Gehalte gefunden. Alle anderen Zuflüsse besitzen ebenfalls geringere As-Gehalte in den Sedimenten als die Oder (Neiße II bis III, Brieskower Kanal I-II, Ilanka II, HFW I-II bis II).

Tab. 33: Mittlere Arsengehalte in Wasser, Schwebstoff und Sediment der Oder/Warta

		11/97	**5/98**	**11/98**	**6/99**	**5/00**
Oder oh. Warta	**Wasser**	1,9	2,0	1,6*	2,5	1,3
Warta	**gelöst**	<1	1,3	<1	<1	<1
Oder uh. Warta	**[µg/L]**	0,8*	1,8	1,2	1,5	1,1*
Oder oh. Warta	**Wasser**	3,4	3,3	-	3,9	2,4
Warta	**gesamt**	-	-	-	-	-
Oder uh. Warta	**[µg/L]**	-	2,5	1,9	2,0	-
Oder oh. Warta	**Schweb-**	122	46	64	37	50
Warta	**stoff**	27	-	-	15	8,6
Oder uh. Warta	**[mg/kg]**	64	25	66	26	17
Oder oh. Warta	**Sediment**	84	52	40	45	47**
Warta	**<20 µm**	9	14	-	15	12
Oder uh. Warta	**[mg/kg]**	34	29	39	33	24

* einzelne Werte <1 gehen als 0,5 in die Mittelwertberechnung ein
**ohne OR29AU; mit dem Maximalwert in Aurith werden 55 mg/kg errechnet

Cadmium

Ca. 80% der Cd-Analysen im Wasser liegen unter der Bestimmungsgrenze (<0,1 µg/L). Werte darüber wurden bis zu einer Konzentration von 0,24 µg/L ausschließlich im Herbst bestimmt. Nach WACHS [1989] sind Cd-Konzentrationen bis 0,05 µg/L als unbelastet, bis 0,1 µg/L als gering belastet und bis 0,4 µg/L als mäßig belastet einzustufen. In Ermangelung einer geringeren Bestimmungsgrenze sind demnach 80 % aller Werte höchstens als gering belastet einzuschätzen. Andere für Oberflächenwässer relevante Grenz- und Richtwerte (wie z.B. für die Trinkwassergewinnung) werden in der Oder nicht berührt. Ein Einfluß der Nebenflüsse, insbesondere der Warta, auf die Wasserqualität der Oder ist nicht zu erkennen.

Die Cd-Gehalte schwanken in den Schwebstoffen der Oder ohne deutliche Zu- bzw. Abnahme zwischen 5-10 mg/kg. Einziger Cd-Lieferant ist die Warta mit 7,5-18 mg/kg. Dieser Einfluß ist nur bei einigen Kampagnen (11/97; 6/99) bis zum ersten Probenahmepunkt nach der Warta (Groß-Neuendorf/Czelin) ca. 20 km nördlich nachweisbar. Die Ursache des hohen Cd-Gehaltes von 36 mg/kg am Punkt Hohenwutzen 5/00 ist nicht erklärbar, weder im Wasser noch im Sediment konnten Hinweise auf eine mögliche Kontaminationsquelle gefunden werden. Nach LAWA [1998] werden die Schwebstoffe der Oder hinsichtlich Cd überwiegend in Klasse III-IV (hoch belastet) eingeordnet, die der Warta in Klasse IV (sehr hoch belastet). Die anderen Zuflüsse der Oder sind zwar geringer mit Cd belastet, fallen aber bestenfalls in Klasse III (erhöht belastet). Am geringsten sind die Schwebstoffe der HFW am Punkt Hohensaaten mit Cd belastet (2,3-2,6 mg/kg, Klasse II-III deutlich belastet). 11/98 steigen sie im weiteren Verlauf bis Gatow (auf 8,4 mg/kg) an, was entweder auf den Zufluß des übergeleiteten Oderwassers (Einfluß der Polder) oder bereits auf Rückstauerscheinungen der Westoder (Hochwasser) zurückgeführt werden kann. Jahreszeitliche Unterschiede zwischen Frühjahr und Herbst äußern sich in etwas höheren Cd-Gehalten an den Schwebstoffen im Herbst.

Die Cd-Gehalte bewegen sich im Sediment in ähnlichen Konzentrationen wie im Schwebstoff (5-10 mg/kg). Es ist keine jahreszeitliche Abhängigkeit zu erkennen. Aufgrund des Zuflusses der Warta (10-20 mg/kg) steigen die Cd-Gehalte im Sediment der Oder auf bis zu 15 mg/kg an. Dieser Einfluß ist mindestens 20 km bis Groß-Neuendorf/Czelin, teilweise aber auch 40 km bis Hohenwutzen zu verfolgen. In Widuchowa liegen die Cd-Gehalte im Sediment immer noch über denen von Polecko. Die Zuordnung zu den LAWA-Klassen erfolgt analog der der Schwebstoffe überwiegend in die Klasse III-IV, die der Warta in Klasse IV, die anderen Nebenflüsse III. Literaturangaben zu durchschnittlichen globalen Gehalten bzw. geogene Hintergrundwerte werden im Odersystem für Cd deutlich überschritten.

Tab. 34: Mittlere Cadmiumgehalte in Wasser, Schwebstoff und Sediment der Oder/Warta

		11/97	5/98	11/98	6/99	5/00
Oder oh. Warta	**Wasser**	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Warta	**gelöst**	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Oder uh. Warta	**[µg/L]**	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Oder oh. Warta	**Wasser**	0,23	0,27*	0,21*	0,19*	0,23*
Warta	**gesamt**	0,33	0,13*	0,12*	0,29*	0,23*
Oder uh. Warta	**[µg/L]**	0,18	0,27*	0,19*	0,19*	0,43*
Oder oh. Warta	**Schweb-**	9,2	8,1	10	5,2	6,2
Warta	**stoff**	15	7,5	18	11,4	9,7
Oder uh. Warta	**[mg/kg]**	9,9	7,1	9,6	8,0	12,5
Oder oh. Warta	**Sediment**	6,7	10,7	7,2	9,8	6,9
Warta	**<20 µm**	18,5	10,2	-	20,5	16,7
Oder uh. Warta	**[mg/kg]**	10,7	7,5	7,4	12,2	7,7

*Werte < 0,1 µg/L gehen mit 0,05 µg/L in die Berechnung ein

Cobalt

Die Co-Gehalte im Wasser der Oder schwanken zwischen der Bestimmungsgrenze (0,1 µg/L) und 0,3 µg/L. Damit liegen sie im Bereich des globalen Durchschnittswertes für Flußwasser von 0,2 µg/L [MARTIN & WHITFIELD, 1983]. 11/98 steigen die Co-Gehalte im Wasser zwischen Polecko und Eisenhüttenstadt durch den Einfluß der Neiße (1,14 µg/L) geringfügig an. Nach dem Zufluß der Warta mit etwas geringeren Gehalten sinken sie in der Oder ab.

Die Schwebstoffe und feinkörnigen Sedimente weisen ähnliche Co-Gehalte auf, allerdings ist bei den Schwebstoffen eine größere Variationsbreite mit jahreszeitlichem Effekt detektierbar. Im Flußverlauf zwischen Polecko und Kietz/Kostrzyn sinken die Co-Gehalte im Schwebstoff von teilweise >40 mg/kg auf bis zu 5 mg/kg ab. Co-Quelle in diesem Abschnitt ist die Neiße mit bis zu 57 mg/kg Co im Schwebstoff. Durch die geringe Co-Beladung der Schwebstoffe aus der Warta (3,8-11 mg/kg) sinkt in den Oderschwebstoffen der Co-Gehalt ab. Schwebstoffe aus den Beprobungen im Herbst (mit geringerem Glühverlust) binden mehr Co als Schwebstoffe, die im Frühjahr gesammelt wurden. Das spricht für eine Herkunft aus mineralischen Partikeln, die im Frühjahr von der Verdünnung mit organischem Material überdeckt wird. Die Co-Gehalte in den Frühjahrs-Schwebstoffen liegen im Bereich des globalen Durchschnittsgehaltes von Flüssen (20 mg/kg).

In den Sedimenten ergibt sich ein relativ homogenes Bild. Oberhalb der Warta schwanken die Co-Werte in der Oder nur minimal um 25-29 mg/kg, unterhalb sinken sie am Punkt Groß-Neuendorf/Czelin auf unter 20 mg/kg ab, um dann wieder leicht auf ca. 25 mg/kg anzusteigen. Die Warta verfügt über ein geringes Co-Potential in den Sedimenten (8,5-12 mg/kg), das sich verdünnend auf die Co-Gehalte der Oder auswirkt. Der Einfluß der Neiße ist mit max. 41 mg/kg detektierbar. Alle anderen Zuflüsse weisen geringe Co-Gehalte in den Sedimenten auf (ca. 10 mg/kg). Im Vergleich mit dem Tongesteinsstandard (19 mg/kg) und dem Durch-

schnittsgehalt für die Polder (20 mg/kg) liegen die Proben oberhalb der Warta geringfügig über, die unterhalb geringfügig darunter.

Tab. 35: Mittlere Cobaltgehalte in Wasser, Schwebstoff und Sediment der Oder/Warta

		11/97	5/98	11/98	6/99	5/00
Oder oh. Warta	**Wasser**	0,28		0,26		0,21
Warta	**gelöst**	0,20	-	0,25	-	<0,1
Oder uh. Warta	**[µg/L]**	0,15		0,25		0,15
Oder oh. Warta	**Wasser**	0,64		0,80		0,73
Warta	**gesamt**	0,37	-	0,28	-	-
Oder uh. Warta	**[µg/L]**	0,38		0,67		0,45
Oder oh. Warta	**Schweb-**	30	16	36	23	19
Warta	**stoff**	11	3,8	9,3	9,9	4,4
Oder uh. Warta	**[mg/kg]**	24	11	38	16	9,0
Oder oh. Warta	**Sediment**	28	23	29	25	27
Warta	**<20 µm**	9,2	8,5	-	12	11
Oder uh. Warta	**[mg/kg]**	22	19	26	21	19

Chrom

Die Cr-Gehalte im Wasser der Oder bewegen sich teilweise unter der Bestimmungsgrenze (<1 µg/L) und erreichen bis zu 3,5 µg/L. Auf diesem niedrigen Niveau (Flüsse global 1 µg/L) wurden lokale Spitzenwerte an verschiedenen Probenahmestellen festgestellt, die allerdings nur in einer von fünf Kampagnen registriert wurden und somit keine Ursachenforschung zulassen. Auch in den Nebenflüssen liegen Cr-Gehalte mit einer hohen Schwankungsbreite vor, die auf die Oder kaum Einfluß ausüben.

Im Flußverlauf zwischen Polecko und Kietz/Kostrzyn nehmen die Cr-Gehalte in den Schwebstoffen der Frühjahrsbeprobungen ab (≤112 mg/kg) und der Herbstbeprobungen zu (bis max. 250 mg/kg). Nach dem Zufluß der Warta, die im Herbst ebenfalls mehr Cr im Schwebstoff enthält als im Frühjahr, sinken die Cr-Gehalte in der Oder sowohl in den Herbst- (≤180 mg/kg) als auch in den Frühjahrs- (≤87 mg/kg) Schwebstoffen ab. In der Karte mit der LA-WA-Klassifikation ergibt sich ein buntes Bild, da die Klassengrenzen zwischen I und II um nur 10 mg/kg differieren. Im Frühjahr wird die Oder überwiegend mit mindestens Klasse II (mäßig belastet), im Herbst mit Klasse II-III (deutlich belastet) bewertet.

Hinsichtlich der Cr-Belastung der Sedimente zeigen sich sowohl über den Flußverlauf als auch jahreszeitlich gesehen Gehalte mit geringer Schwankungsbreite. Zwischen Polecko und Eisenhüttenstadt bleibt die Oder (96-131 mg/kg) durch die Neiße (≤130 mg/kg) unbeeinflußt. Im weiteren Verlauf zeigt sich bei fast allen Beprobungen ein Anstieg der Cr-Gehalte im Sediment am Punkt Aurith, der insbesondere 5/00 mit Maximalgehalten anderer Elemente (As, Cu, Ni, Pb, Zn) korreliert. Zwischen Eisenhüttenstadt und Aurith werden die Abwässer aus

der Kläranlage der EKO Stahl AG eingeleitet, was auf eine Einlagerung von Elementen aus der Stahlwerksproduktion in das Flußsediment deutet. Bis zum Punkt Frankfurt/O. sind die Cr-Gehalte wieder auf das ursprüngliche Niveau abgesunken. Bemerkenswert ist ein Cr-Maximum am Punkt Kietz/Kostrzyn (237 mg/kg), obwohl die Warta mit erhöhten Cr-Gehalten (≤176 mg/kg) im Sediment erst einige hundert Meter später zufließt. Am Punkt Hohenwutzen erreichen die Cr-Gehalte wieder die Ausgangswerte um 120 mg/kg und verbleiben bis Widuchowa auf diesem Niveau. Die meisten Abschnitte der Oder, die Neiße und die Warta ordnen sich in die LAWA-Klasse II-III (deutlich belastet), die anderen Zuflüsse in die Klasse I (unbelastet) ein.

Tab. 36: Mittlere Chromgehalte in Wasser, Schwebstoff und Sediment der Oder/Warta

		11/97	**5/98**	**11/98**	**6/99**	**5/00**
Oder oh. Warta	**Wasser**	3,2	1,6	2,3	2,3	<1
Warta	**gelöst**	1,3	0,80	3,5	2,8	<1
Oder uh. Warta	**[µg/L]**	2,0	0,93	2,5	2,0	<1
Oder oh. Warta	**Wasser**	5,2	4,1	4,6	5,1	-
Warta	**gesamt**	4,3	1,4	4,1	5,2	-
Oder uh. Warta	**[µg/L]**	3,8	3,1	4,4	3,8	-
Oder oh. Warta	**Schweb-**	168	88	166	104	148
Warta	**stoff**	200	54	150	115	80
Oder uh. Warta	**[mg/kg]**	190	69	178	96	70
Oder oh. Warta	**Sediment**	137	130	93	139	113*
Warta	**<20 µm**	171	110	-	176	166
Oder uh. Warta	**[mg/kg]**	122	104	113	124	100

**ohne OR29AU; mit dem Maximalwert in Aurith werden 134 mg/kg errechnet

Kupfer

Im Wasser der Oder liegen die Cu-Konzentrationen häufig unter oder nahe der Bestimmungsgrenze (<0,1 µg/L). Bemerkenswert ist, daß fast alle Cu-Gehalte 6/99 unter 0,1 µg/L lagen, während sie 5/00 gut meßbar waren und meistens mehr als 1 µg/L betrugen. Der globale Durchschnittsgehalt für Cu im Flußwasser beträgt 1,5 µg/L, dort reihen sich alle Analysen außer 5/00 ein. Im Mai 2000 sind, wie bereits beschrieben, die Cu-Gehalte im Wasser der Oder am höchsten. Ausgehend von Polecko (3,9 µg/L) sinkt der Cu-Gehalt bis Kietz/Kostrzyn langsam ab (2,8 µg/L) und wird von der Warta (1,3 µg/L) weiter verdünnt. Kleinere Maxima treten danach in Hohenwutzen und Widuchowa auf, die sich mit Spitzen aus den Herbstkampagnen decken.

Bei den Cu-Konzentrationen in den Schwebstoffen der Oder fallen wieder jahreszeitliche Unterschiede auf. Die Schwebstoffe aus den beiden Herbstkampagnen sind Cu-reicher als die der Frühjahrskampagnen. Das trifft auch für die Nebenflüsse zu. Die relativ gleichmäßig verlaufenden Cu-Gehalte oberhalb der Wartamündung setzen sich unterhalb davon auf geringerem Level fort. Diese Tendenz ist sowohl im Herbst als auch im Frühjahr zu beobachten. Die

höchsten Cu-Gehalte wurden 11/97 (Mittelwert 213 mg/kg), die geringsten 5/00 (Mittelwert 71 mg/kg) gefunden. Gemäß LAWA [1998] werden die Schwebstoffe hinsichtlich ihrer Cu-Beladung im Frühjahr vorwiegend in die Klasse II-III (deutlich belastet), im Herbst in die Klasse III (erhöht belastet) eingestuft. Gegenüber den Frühjahrskampagnen 5/98 und 6/99 sind die Cu-Konzentrationen 5/00 deutlich geringer und es kann teilweise eine Einstufung in die Klasse II (mäßig belastet) erfolgen.

Ähnlich den Cr-Gehalten, schwanken die Cu-Gehalte im Sediment weniger als die in den Schwebstoffen und es gibt ein lokales Maximum bei Aurith, wo 5/00 695 mg/kg Cu gefunden und ein Einfluß der EKO Stahl AG vermutet wird. Das Level oberhalb der Warta liegt sonst bei 116-275 mg/kg, unterhalb bei 94-131 mg/kg. Daraus ist bereits der verdünnende Effekt der Warta (98-144 mg/kg) zu erkennen. Oberhalb der Warta sind geringe jahreszeitliche Abhängigkeiten mit höheren Werten im Herbst zu erkennen. Die Sedimente der Zuflüsse sind mit Ausnahme der HFW in Hohensaaten (Mittelwert 211 mg/kg) deutlich geringer mit Cu belastet (i.d.R. <100 mg/kg). Gemäß LAWA ergibt sich für die Sedimente überwiegend eine Einordnung in die Klasse III (erhöht belastet), zwischen Wartamündung und Hohenwutzen II-III (deutlich belastet).

Tab. 37: Mittlere Kupfergehalte in Wasser, Schwebstoff und Sediment der Oder/Warta

		11/97	**5/98**	**11/98**	**6/99**	**5/00**
Oder oh. Warta	**Wasser**	0,72*	0,15*	1,42	<0,1	3,3
Warta	**gelöst**	<0,1	<0,1	1,72	<0,1	1,3
Oder uh. Warta	**[µg/L]**	0,16*	0,50*	1,82	<0,1	1,8
Oder oh. Warta	**Wasser**	-	-	3,8	2,6	5,2
Warta	**gesamt**	-	-	2,3	1,7	2,5
Oder uh. Warta	**[µg/L]**	-	-	3,4	1,7	3,6
Oder oh. Warta	**Schweb-**	252	117	160	98	82
Warta	**stoff**	120	49	160	79	64
Oder uh. Warta	**[mg/kg]**	165	78	148	87	53
Oder oh. Warta	**Sediment**	232	176	120	168	144**
Warta	**<20 µm**	98	144	-	118	115
Oder uh. Warta	**[mg/kg]**	122	113	132	135	115

* einzelne Werte <0,1 gehen als 0,05 in die Mittelwertberechnung ein
**ohne OR29AU; mit dem Maximalwert in Aurith werden 236 mg/kg errechnet

Eisen

Die Eisengehalte im Wasser der Oder liegen in ähnlicher Größenordnung wie der globale Durchschnittsgehalt von Flußwässern (40 µg/L). Es zeigt sich eine deutliche jahreszeitliche Differenzierung, im Herbst liegen höhere Fe-Konzentrationen (11/98 32 µg/L) gelöst im Wasser vor als im Frühjahr (≤27 µg/L). In der letzten Probenahme lagen fast alle Werte unter der Nachweisgrenze (<5 µg/L). In Längsrichtung verändern sich die Konzentrationen unwesentlich. Hingegen tragen die Zuflüsse häufig mehr gelöstes Eisen ein als die Oder enthält.

In den Schwebstoffen schwanken die Eisengehalte deutlich in Abhängigkeit von der Jahreszeit, unwesentlich im Längsverlauf. Auch hier liegen die Fe-Konzentrationen in den Schwebstoffen der Nebenflüsse häufig über denen in der Oder. Die größten Eisengehalte finden sich in den Schwebstoffen 11/97 (Mittelwert 81.440 mg/kg), die geringsten 5/00 (Mittelwert 32.910). Der globale partikuläre Durchschnittsgehalt für Eisen beträgt 48.000 mg/kg (Martin & Whitefield, 1983), das entspricht ungefähr den Gehalten in den Frühjahrsbeprobungen. Eine eindeutige Abhängigkeit zum Glühverlust der Schwebstoffe, die eine Abhängigkeit der Fe-Gehalte zum Anteil der organischen Substanz erklären würde, existiert nicht. In Aurith ist keine Fe-Anomalie (möglicher Einfluß des Stahlwerkes Eisenhüttenstadt) wie bei anderen Elementen zu beobachten. Möglicherweise geht das Element, das bevorzugt partikulär gebunden transportiert wird (vgl. Kapitel 5.1.5), vor diesem Meßpunkt in das Sediment über.

In den Sedimenten herrscht hinsichtlich ihrer Fe-Konzentrationen wenig Bewegung. In der Oder schwanken die Fe-Gehalte im Sediment zwischen 40.200 und 63.000 mg/kg und liegen in der Größenordung des Tongesteinstandards von Turekian & Wedepohl (47.000 mg/kg). Die Sedimente der Nebenflüsse liegen in ähnlichen Konzentrationsbereichen.

Tab. 38: Mittlere Eisengehalte in Wasser, Schwebstoff und Sediment der Oder/Warta

		11/97	**5/98**	**11/98**	**6/99**	**5/00**
Oder oh. Warta	**Wasser**	57	10	32	18	<5
Warta	**gelöst**	17	11	49	33	5
Oder uh. Warta	**[µg/L]**	13	10	28	20	<5
Oder oh. Warta	**Wasser**	1.120	1.230	905	1.040	950*
Warta	**gesamt**	1.170	257	416	949	490
Oder uh. Warta	**[µg/L]**	709	995	721	727	1.200*
Oder oh. Warta	**Schweb-**	88.000	42.020	62.600	40.140	37.070
Warta	**stoff**	77.000	23.690	95.000	43.870	26.260
Oder uh. Warta	**[mg/kg]**	73.250	31.900	67.250	38.410	26.660
Oder oh. Warta	**Sediment**	59.460	56.580	45.400	46.420	48.870
Warta	**<20 µm**	45.400	52.400	-	52.000	52.500
Oder uh. Warta	**[mg/kg]**	55.000	44.967	51.250	46.030	44.350

*gelöste Gehalte <5 gehen als 2,5 in die Berechnung der Gesamtgehalte ein

Mangan

Bei den Mn-Gehalten im Wasser der Oder hebt sich die Kampagne 11/97 durch einen anderen Verlauf (abnehmend) auf höherem Konzentrationsniveau (bis 142 µg/L) heraus. In den anderen Kampagnen schwanken die Mn-Gehalte im Wasser zwischen 1 und 60 µg/L und steigen von Polecko bis Widuchowa leicht an. Besonders bemerkenswert sind die Mn-Gehalte in den Nebenflüssen der Oder, die die der Oder teilweise um ein Vielfaches übersteigen. Die höchsten Mn-Gehalte werden in der Hohensaaten-Friedrichsthaler Wasserstraße (Maximum 521 µg/L) und dem Brieskower Kanal (Maximum 282 µg/L) erreicht und auf Abflüsse von Grünlandflächen zurückgeführt. Während Mn in der Oder bevorzugt partikulär gebunden transpor-

tiert wird, überwiegt in der HFW der Lösungstransport. Gegenüber dem globalen Durchschnittsgehalt für Flüsse von 8,2 µg/L liegen die Wässer im Oderabschnitt bis um Faktor 50 darüber.

Die Beladung der Schwebstoffe mit Mangan ist höher als die der Sedimente. Zwischen Polekko und Kietz/Kostrzyn werden durchschnittlich 6500 bis 8800 mg/kg Mn an den Schwebstoff gebunden transportiert. Die im Brieskower Kanal dreimal so hohen Mn-Gehalte (max. 21770 mg/kg) im Schwebstoff haben keinen Einfluß auf die Schwebstoffe der Oder. Dagegen beeinflußt die Warta mit ihren nur geringfügig höheren Mn-Gehalten in den Schwebstoffen die Oderschwebstoffe deutlich, sichtbar im Anstieg in Groß-Neuendorf/Czelin und höherem Konzentrationsverlauf unterhalb der Warta. Wie auch schon bei anderen Elementen (Cd, Cr, Cu, Fe) beobachtet wurde, zeigt sich 11/98 (hier auch 5/98) bereits in Kietz/Kostrzyn eine Erhöhung der Gehalte auf Warta-Niveau, was eine Beeinflussung der Oder durch die Warta in Form von Rückstauerscheinungen bei erhöhten Wasserständen vermuten läßt.

Ähnlich gleichmäßig wie bei dem Element Fe bewegen sich die Mn-Gehalte im Sediment. Die Schwankungen sind räumlich und jahreszeitlich gering. Die Warta trägt etwas mehr Mangan ein, was zu einem geringfügigen Anstieg in der Oder führt.

Der globale Durchschnittsgehalt von partikulärem Material aus Flüssen von 1050 mg/kg wird ebenso wie der Durchschnittsgehalt für Tonschiefer von 850 mg/kg in den Schwebstoffen und Sedimenten der Oder deutlich überschritten. Für Mn gibt es keine LAWA-Kriterien.

Tab. 39: Mittlere Mangangehalte in Wasser, Schwebstoff und Sediment der Oder/Warta

		11/97	**5/98**	**11/98**	**6/99**	**5/00**
Oder oh. Warta	**Wasser**	104	4,1	25	7,4	1,1
Warta	**gelöst**	144	29	102	12	1,3
Oder uh. Warta	**[µg/L]**	7,3	14	36	9,1	16
Oder oh. Warta	**Wasser**	211	189	116	173	200
Warta	**gesamt**	294	130	128	262	166
Oder uh. Warta	**[µg/L]**	138	226	118	212	265
Oder oh. Warta	**Schweb-**	8.820	7.260	6.700	6.500	8.240
Warta	**stoff**	10.000	9.670	6.700	11.970	8.820
Oder uh. Warta	**[mg/kg]**	13.750	7.110	7.550	11.200	7.440
Oder oh. Warta	**Sediment**	2.890	2.820	3.170	1.830	2.450
Warta	**<20 µm**	1.850	3.100	-	4.670	6.020
Oder uh. Warta	**[mg/kg]**	3.140	3.060	3.130	3.260	2.900

Nickel

Die Ni-Gehalte im Wasser bewegen sich in der Oder zwischen 1 und 18 µg/L und liegen damit über dem globalen Durchschnittsgehalt für Flüsse von 0,5 µg/L. Im Raum-Zeit-Diagramm zeigt sich eine konzentrationsmäßige Trennung der Probenahmen mit kontrastarmen Verläufen (Ausnahme 11/98). Die Ni-Gehalte der Nebenflüsse ähneln denen in der Oder bzw. sind geringer.

In den Schwebstoffen sinken die Ni-Gehalte von Polecko bis Widuchowa langsam ab, nach dem Zufluß der Warta tritt die deutlichste Abnahme auf. Die höchsten Ni-Konzentrationen sind 5/98 in den Schwebstoffen des Oder-Spree-Kanals (505 mg/kg) zu finden, der allerdings in dieser Probenahme einen geringen Schwebstoffgehalt von 1,82 mg/L aufwies. Da in derselben Kampagne auch die Elemente Co, Cu, Pb und Zn in den Schwebstoffen angereichert sind und das Landesumweltamt Brandenburg [LUA BRANDENBURG, 1999] einen Abfluß der EKO Stahl AG beschreibt, können diese Elemente auch aus Prozessen der Metallverarbeitung stammen. Aus jahreszeitlicher Sicht ist das Element Ni im Herbst mehr an den Schwebstoffen angereichert als im Frühjahr. Gemäß LAWA-Klassifikation ordnet sich Ni in Schwebstoffen der Oder überwiegend in die Klasse II-III (deutlich belastet) ein, kann durch den positiven Einfluß der Warta auch die Klasse I-II (sehr gering belastet) erreichen. Der Oder-Spree-Kanal weist Klasse III (erhöht belastet) auf.

In den Sedimenten der Oder schwanken die Nickelgehalte mit einer Ausnahme (Aurith 5/00) zwischen den Kampagnen nur in geringem Maße. Von Polecko bis Kietz/Kostrzyn ändern sich die Ni-Gehalte kaum und schwanken um 60 mg/kg. Die Warta beeinflußt die Oder mit ihren geringeren Gehalten (33-41 mg/kg) positiv, denn bis Groß-Neuendorf/Czelin nehmen die Ni-Gehalte in den Odersedimenten bis auf dieses Niveau ab, um sich anschließend auf ca. 50 mg/kg einzupendeln. Die Neiße weist ähnliche Ni-Gehalte wie die Oder auf (63-68 mg/kg), die anderen Zuflüsse sind noch geringer als die Warta mit Ni belastet (z.B. Ilanka 12 mg/kg). Sedimente aus dem Oder-Spree-Kanal liegen nicht vor. Die Schwebstoffe der Oder zwischen Polecko und Kietz/Kostrzyn sowie Hohenwutzen und Widuchowa erhalten hinsichtlich Ni die Klasse II-III (deutlich belastet), von Kietz/Kostrzyn bis Groß-Neuendorf/Czelin die Klasse II (mäßig belastet), die Warta erhält I-II (sehr gering belastet), die anderen Zuflüsse überwiegend I (unbelastet).

Tab. 40: Mittlere Nickelgehalte in Wasser, Schwebstoff und Sediment der Oder/Warta

		11/97	5/98	11/98	6/99	5/00
Oder oh. Warta	**Wasser**	4,7	1,9	8,7	9,6	6,6
Warta	**gelöst**	2,9	1,0	21	8,3	7,2
Oder uh. Warta	**[µg/L]**	3,9	1,9	7,3	7,0	7,0
Oder oh. Warta	**Wasser**	5,5	3,4	10	11	8,4
Warta	**gesamt**	3,6	1,2	21	8,9	7,7
Oder uh. Warta	**[µg/L]**	4,4	2,8	8,1	8,2	8,2
Oder oh. Warta	**Schweb-**	69	46	71	66	62
Warta	**stoff**	48	19	54	31	28
Oder uh. Warta	**[mg/kg]**	58	30	72	46	34
Oder oh. Warta	**Sediment**	63	59	58	60	61*
Warta	**<20 µm**	41	33	-	40	35
Oder uh. Warta	**[mg/kg]**	52	47	57	50	45

*ohne OR29AU; mit dem Maximalwert in Aurith werden 67 mg/kg errechnet

Blei

Neben geringen Pb-Konzentrationen von <0,1 bis 1 µg/L im Wasser (globaler Flußdurchschnitt 0,1 µg/L) fallen im Diagramm punktuelle Spitzenwerte bis 5,6 µg/L in den Kampagnen 6/99 und 5/00 heraus, die durch die Kenntnis von Punktquellen (z.B. Kläranlage der Stadt Eisenhüttenstadt) allein nicht erklärt werden können. Da sich das Element Pb relativ schnell aus der gelösten Phase an die Schwebstoffe/Sedimente bindet und auch bevorzugt partikulär gebunden transportiert wird, ist dennoch ein unmittelbarer Eintrag aus unbekannten punktuellen Quellen zu vermuten.

In den Schwebstoffen der Oder werden im Herbst höhere Pb-Gehalte (11/97 Mittelwert 192 mg/kg) als im Frühjahr (5/00 Mittelwert 138 mg/kg) gefunden, die organische Substanz wirkt demzufolge verdünnend. Einen positiven Einfluß auf die Pb-Gehalte der Oder hat die Warta mit geringeren Pb-Konzentrationen in den Schwebstoffen. Demzufolge sinken die Bleigehalte zwischen Kietz/Kostrzyn und Groß-Neuendorf/Czelin deutlich ab, nehmen aber mit vollständiger Vermischung von Oder- und Wartawasser wieder geringfügig zu. Die Schwebstoffe der Oder werden nach LAWA überwiegend als deutlich belastet eingestuft (Klasse II-III), die der Warta, der Oder zwischen Kietz/Kostrzyn und Groß-Neuendorf/Czelin, des Brieskower Kanals und der HFW können mit Klasse II zeitweise eine bessere Einstufung erhalten.

In den Sedimenten der Oder sind ähnliche Pb-Konzentrationen wie in den Schwebstoffen anzutreffen, nur gibt es hier keine jahreszeitliche Variation. Die Pb-Konzentrationen schwanken um 200 mg/kg. Herausragend ist der Pb-Gehalt 5/00 am Punkt Aurith mit 746 mg/kg, der mit hohen As-, Cr-, Cu-, Ni- und Zn-Gehalten korreliert. Möglicherweise besteht ein Zusammenhang mit der EKO Stahl AG, aber diese hohen Elementgehalte im Sediment, die laborativ bereits mehrfach geprüft wurden, sollten durch eine erneute Probenahme an dieser Stelle validiert werden. Die Warta und alle anderen Zuflüsse weisen geringere Pb-Konzentrationen im

Sediment auf und beeinflussen somit die Oder positiv. Die Oder wird nach LAWA als deutlich belastet in Klasse II-III eingestuft, Werte über 200 mg/kg fallen bereits in Klasse III (erhöht belastet). Ilanka und HFW erhalten die Klasse II (mäßig belastet).

Tab. 41: Mittlere Bleigehalte in Wasser, Schwebstoff und Sediment der Oder/Warta

		11/97	**5/98**	**11/98**	**6/99**	**5/00**
Oder oh. Warta	**Wasser**	2,5	0,10*	0,29*	0,25*	1,59*
Warta	**gelöst**	1,2	<0,1	0,28	<0,1	0,28
Oder uh. Warta	**[µg/L]**	0,43*	0,14*	0,26*	0,43	0,11*
Oder oh. Warta	**Wasser**	5,3	-	-	-	-
Warta	**gesamt**	3,3	-	1,0	-	1,1
Oder uh. Warta	**[µg/L]**	-	-	-	2,7	-
Oder oh. Warta	**Schweb-**	222	145	190	154	180
Warta	**stoff**	140	60	180	83	42
Oder uh. Warta	**[mg/kg]**	155	114	188	123	75
Oder oh. Warta	**Sediment**	218	156	127	189	185**
Warta	**<20 µm**	117	155	-	118	116
Oder uh. Warta	**[mg/kg]**	201	157	179	166	167

* einzelne Werte <0,1 gehen als 0,05 in die Mittelwertberechnung ein
**ohne OR29AU; mit dem Maximalwert in Aurith werden 279 mg/kg errechnet

Zink

Die Zn-Konzentrationen im Wasser (gelöst) der Oder liegen bei <1-20 µg/L im Frühjahr und 4-48 µg/L im Herbst. Damit liegt die Oder im Bereich des globalen Durchschnittsgehaltes für Flüsse von 30 µg/L. Lokale Maxima treten in zwei Fällen auf (5/98 Eisenhüttenstadt 142 µg/L; 11/98 Hohenwutzen 202 µg/L). Bei stärkerer Auflösung des Längslauf-Diagramms zeigt sich für die Frühjahrskampagnen zwischen Polecko und Lebus/Lazy ein Niveau um 10 µg/L, zwischen Lebus/Lazy und Schwedt/Krajnik einschließlich der Warta um 5 µg/L und ein Anstieg in Widuchowa auf bis zu 20 µg/L. Zwischen Schwedt und Widuchowa gelangen die Abwässer der Papier- und Zellstoffwerke sowie des PCK Schwedt in die Oder und können möglicherweise einen Anstieg dieses ubiquitären Elements verursachen.

Wie auch schon bei anderen Elementen beobachtet wurde, streuen die Zn-Gehalte in den Schwebstoffen mehr als im Sediment. Der jahreszeitliche Effekt ist nur bei den Proben der Kampagne 11/97 ausgeprägt, wo die Schwebstoffe mehr Zink (Mittelwert 1640 mg/kg) führen. Im oberen Abschnitt nehmen die Zn-Konzentrationen im Schwebstoff langsam ab und erreichen zwischen Lebus/Lazy und Groß-Neuendorf/Czelin, teilweise unter Wartaeinfluß ihr Minimum, um sich nach einem Wiederanstieg auf einem Niveau um 1.000 mg/kg einzupendeln. Die Zn-Gehalte der anderen Zuflüsse sind i.d.R. geringer als die der Oder. Gemäß LAWA erfolgt eine Einordnung in die Klasse III-IV (hoch belastet). Der globale Zn-Durchschnittsgehalt für partikuläre Substanz in Flüssen liegt mit 250 mg/kg deutlich unter den Konzentrationen im Oderabschnitt.

Das Zn-Konzentrationsniveau der Sedimente liegt auf demselben Level wie das der Schwebstoffe, allerdings ohne jahreszeitlichen Effekt. Zwischen Polecko und Kietz/Kostrzyn liegen die Zn-Konzentrationen um ca. 1400 mg/kg. Das Niveau wird durch den Einfluß der Warta mit ihren deutlich geringeren Konzentrationen (499-673 mg/kg) positiv beeinflußt und auf ca. 1000 mg/kg abgesenkt. Oberhalb der Warta erfolgt eine Einordnung der Pb-Gehalte in die LAWA-Klassen III-IV (hoch belastet) und IV (sehr hoch belastet), unterhalb immer noch in III-IV. Die Ilanka erhält Klasse II-III (deutlich belastet), die anderen Zuflüsse erhalten Klasse III (erhöht belastet).

Tab. 42: Mittlere Zinkgehalte in Wasser, Schwebstoff und Sediment der Oder/Warta

		11/97	**5/98**	**11/98**	**6/99**	**5/00**
Oder oh. Warta	**Wasser**	15	27	24	7,8	8,8
Warta	**gelöst**	6,9	<1	11	8,4	2,6
Oder uh. Warta	**[µg/L]**	16	5,8*	68	7,6	5,8
Oder oh. Warta	**Wasser**	40	69	37	40	44
Warta	**gesamt**	16	14	13	19	8,4
Oder uh. Warta	**[µg/L]**	27	38	80	23	27
Oder oh. Warta	**Schweb-**	2.010	1.260	1.170	1.200	1.170
Warta	**stoff**	610	1.270	670	523	315
Oder uh. Warta	**[mg/kg]**	1.180	1.060	1.230	842	629
Oder oh. Warta	**Sediment**	1.640	1.360	1.120	1.230	1.350
Warta	**<20 µm**	634	499	-	673	637
Oder uh. Warta	**[mg/kg]**	1.090	956	1.180	1.110	967

* einzelne Werte <1 gehen als 0,5 in die Mittelwertberechnung ein
**ohne OR29AU; mit dem Maximalwert in Aurith werden 1470 mg/kg errechnet

Quecksilber

Quecksilber wurde nur in den Sedimenten <20 µm analysiert (Universität Stettin). In der Oder liegt die Schwankungsbreite zwischen 0,92 und 5,88 mg/kg. Dabei wird in der graphischen Darstellung deutlich, daß die Hg-Gehalte oberhalb der Warta sehr stark streuen, durch die Warta selbst aber eine Verdünnung und Homogenisierung erfahren und danach wesentlich weniger streuen. Die Sedimente oberhalb der Warta werden hinsichtlich Hg in die LAWA-Klassen III und III-IV (erhöht bzw. hoch belastet), unterhalb und in der HFW überwiegend in Klasse III eingestuft. Die Sedimente der Zuflüsse erhalten die Klasse II und II-III (mäßig bzw. deutlich belastet).

Tab. 43: Mittlere Quecksilber-Gehalte im Sediment der Oder/Warta [mg/kg]

	11/97	**5/98**	**11/98**	**6/99**	**5/00**
Oder vor Warta	3,3	3,0	2,2	2,7	3,3
Warta	1,0	0,48	-	0,79	1,0
Oder nach Warta	2,0	2,0	1,5	2,1	1,5

Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel

Die Sedimente <20 µm der Oder weisen einen Kohlenstoffgehalt von 8,3, einen Stickstoffgehalt von 0,84 und einen Schwefelgehalt von 0,52 % auf (Medianwerte). Die Warta zeigt bei allen drei Elementen deutlich höhere Gehalte (bis Faktor zwei) und trägt zur Erhöhung der Gehalte in der Oder bei. Die Nebenflüsse Brieskower Kanal und Ilanka weisen ebenfalls höhere C-, N-, S-Gehalte als die Oder auf. Beim Schwefel könnte das zeitweise (6/99, 5/00) Ansteigen der Konzentrationen bis auf 1,89 % zwischen Schwedt und Widuchowa auf industrielle Einflüsse aus dem Raum Schwedt zurückgeführt werden.

Tab. 44: Mittlere Kohlenstoff-, Stickstoff- und Schwefelgehalte im Sediment der Oder/Warta

		11/97	**5/98**	**11/98**	**6/99**	**5/00**
Oder oh. Warta	**C**	7,9	8,6	5,8	6,3	7,5
Warta	**[%]**	15,0	15,0	-	12,9	13,4
Oder uh. Warta		11,4	9,7	8,6	10,2	10,8
Oder oh. Warta	**N**	0,78	0,92	0,64	0,66	0,78
Warta	**[%]**	1,7	1,7	-	1,4	1,5
Oder uh. Warta		1,2	0,99	0,88	1,1	1,2
Oder oh. Warta	**S**	0,51	0,55	0,35	0,46	0,50
Warta	**[%]**	1,1	0,88	-	1,4	1,2
Oder uh. Warta		0,79	0,44	0,36	1,0	1,0

Für die umweltgeochemische Betrachtung sind aber nicht nur die absoluten Elementgehalte interessant, sondern auch die Verhältnisse der Elemente untereinander. Das mittlere C/N-Verhältnis beträgt in der Oder 9,4 (Median). In der Warta ist das C/N-Verhältnis etwas geringer, führt aber nicht generell zum Absinken des Verhältnisses in den Odersedimenten. Dieses deutet auf ähnliche Prozesse in Oder und Warta hin. Das C/N-Verhältnis in den Sedimenten schwankt mit einer geringen Standardabweichung (10,6 %) zwischen 8,1 und 12,9 ohne erkennbare jahreszeitliche Schwankungen. Differenzierungen treten zwischen den Flußläufen auf: Kategorie 1: Warta (8,8), Kategorie 2: Oder/HFW (9,4-9,8), Kategorie 3: Neiße/Brieskower Kanal/Ilanka (11,0-12,0).

In der Literatur [SANTIAGO u.a., 1992] wird z.B. für die Rhone 11,3 als oberer Grenzwert für den Einfluß einer Abwasserkomponente oder autochthoner Schwebstoffkomponenten angegeben. Höhere C/N-Verhältnisse führen die Autoren auf allochthones pflanzliches Material zurück (C/N-Verhältnis für terrestrische Pflanzen ca. 15).

Im Odersystem sind die höheren C/N-Verhältnisse in den von Schwermetallen weniger beeinflußten Nebenflüssen vermutlich auf den stärkeren (landwirtschaftlichen) Eintrag von pflanzlichem bzw. Bodenmaterial mit geringem abwasserbürtigen Anteil zurückzuführen.

Glühverlust

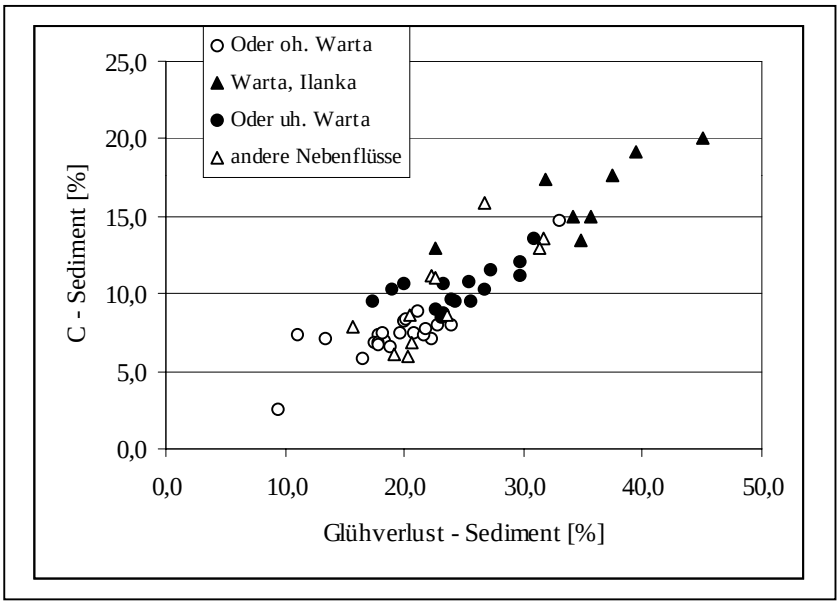
Bei den Glühverlusten im Sediment zeigen sich große Unterschiede zwischen Oder und Warta. Die Warta weist generell höhere Glühverluste (durchschnittlich 31,8 %) als die Oder auf und beeinflußt so die Sedimente der Oder (Oder oberhalb Warta durchschnittlich 19,3 %, unterhalb durchschnittlich 24,5 %). Die kleineren Nebenflüsse, mit Ausnahme der Ilanka (38 %), weisen in der Regel einen Glühverlust von ca. 20 % auf. In der Hohensaaten-Friedrichsthaler Wasserstraße steigt der Glühverlust von Hohensaaten (durchschnittlich 19,9 %) bis Gatow (26,9 %) an. Auf diesem Abschnitt erfolgt die Einleitung der kommunalen Kläranlage Schwedt. In der Ilanka wird ebenfalls eine abwasserseitige Belastung vermutet.

Tab. 45: Mittlerer Glühverlust im Sediment der Oder/Warta [%]

	11/97	**5/98**	**11/98**	**6/99**	**5/00**
Oder vor Warta	19,4	21,2	16,5	14,9	21,6
Warta	34,1	35,6	-	22,6	34,8
Oder nach Warta	26,9	23,3	23,2	18,8	27,9

Zwischen dem Glühverlust und dem Kohlenstoffgehalt in den Sedimenten besteht ein linearer Zusammenhang. In der Abb. 14 wird der Einfluß der Warta auf die Oder besonders deutlich.

Abb. 14:
Zusammenhang zwischen Glühverlust und Kohlenstoffgehalt in Sedimenten des Odersystems



Zur Prüfung der Elementgehalte auf eine Abhängigkeit zum Glühverlust eignen sich Konzentrations-Glühverlust-Diagramme und die Berechnung von Korrelationskoeffizienten (gesamte Daten, Haupt-/Nebenflüsse, Frühjahr/Herbst). Dabei ist anzumerken, daß einzelne hohe Elementkonzentrationen (z.B. Polecko-Schwebstoff, Aurith-Sediment) leicht zu einer Verfälschung der Korrelationskoeffizienten führen können.

Bei einer Betrachtung des gesamten Datenkollektivs der Schwebstoffe ergibt sich nur für Al und Co eine negative Korrelation (<-0,50) zum Glühverlust. Mit zunehmendem Glühverlust,

gleichbedeutend mit zunehmender organischer Substanz, nimmt der mineralische Anteil am Schweb, charakterisiert durch aluminiumführende gesteinsbildende Minerale wie Feldspäte, Glimmer und Tonminerale (Aluminium), ab. Dieser Trend bestätigt sich auch bei der getrennten Betrachtung der Oder und ihrer Zuflüsse. Jahreszeitlich gesehen wird im Frühjahr die oben beschriebene negative Korrelation zum Glühverlust nur bei Al gefunden, im Herbst bei Al und Co. Im Herbst treten positive Korrelationen (>0,50) zwischen dem Glühverlust und den Elementen As, Cd und Fe auf. Das Element Eisen bietet sich bei gleichzeitig abnehmender Schwebstoffmenge als Bindungspartner an.

Bei der Betrachtung des gesamten Datenkollektivs der Sedimente (wie auch der getrennten Daten Oder/Zuflüsse) ergibt sich für Al, Co, Ni und Zn eine negative Korrelation (<-0,50) zum Glühverlust. Das bedeutet analog der Schwebstoffe eine Abnahme des mineralischen Anteils bei Zunahme des organischen Anteils. Die Elemente Cd, Cr, Fe, Mn und Pb zeigen sich vom organischen Anteil unbeeinflußt. Im Herbst nimmt der Glühverlust mit steigender Schwebstoffmenge ab, d.h. der mineralische Partikelanteil wächst. Gleichzeitg nehmen andere Elemente wie As und Cu zu.

Elementverhältnisse in den Flußsedimenten

Die Ergebnisse des vorherigen Abschnitts geben Hinweise auf mögliche Abhängigkeiten zwischen einzelnen Elementen. Für Aussagen zum Liefergebiet (geogene Komponente) und zu regional begrenzt auftretenden Anomalien (geogene + anthropogene Komponente) werden Elementverhältnisse verwendet.

Ausgewählte Elementverhältnisse in den Sedimenten der Oder und Warta werden den in den Tonschiefern [TUREKIAN & WEDEPOHL, 1961] gegenübergestellt (Tab. 46b). Bei den Elementverhältnissen Fe/As und Zn/Pb spiegeln die Sedimente der Warta die natürlichen Elementverhältnisse nach TUREKIAN & WEDEPOHL am besten wieder. Das Elementverhältnis Zn/Cd zeigt einen eindeutigen Cd-Überschuß in den Wartasedimenten. Dagegen ist Ni als typischer Vertreter basischer Elemente gegenüber Zn deutlich verarmt.

Tab. 46b: Ausgewählte Elementverhältnisse, berechnet für die Tonschiefer [TUREKIAN & WEDEPOHL, 1961], für die Hintergrundwerte in den Poldern, für die Oder oberhalb der Warta, die Warta und die Oder unterhalb der Warta

	Tonschiefer	**Polder-böden**		**Oder oh. Warta**	**Warta**	**Oder uh. Warta**
Zn/Cd	320	600		172	37	125
Fe/As	3600	3700		950	4050	1500
Zn/Pb	4,8	3,4		7,6	4,8	6,4
Zn/Ni	1,4	3,0		22	16	21

Zn/Cd

Am deutlichsten werden Änderungen in den Elementverhältnissen durch den Einfluß der Warta bei dem klassischen Zn/Cd-Verhältnis. Der Cd-Einfluß der Wartamündung (mit einem Zn/Cd-Verhältnis von 39) verschiebt das im Oberlauf der Oder ermittelte durchschnittliche Zn/Cd-Verhältnis im Sediment von 185 zu geringeren Verhältnissen von 119.

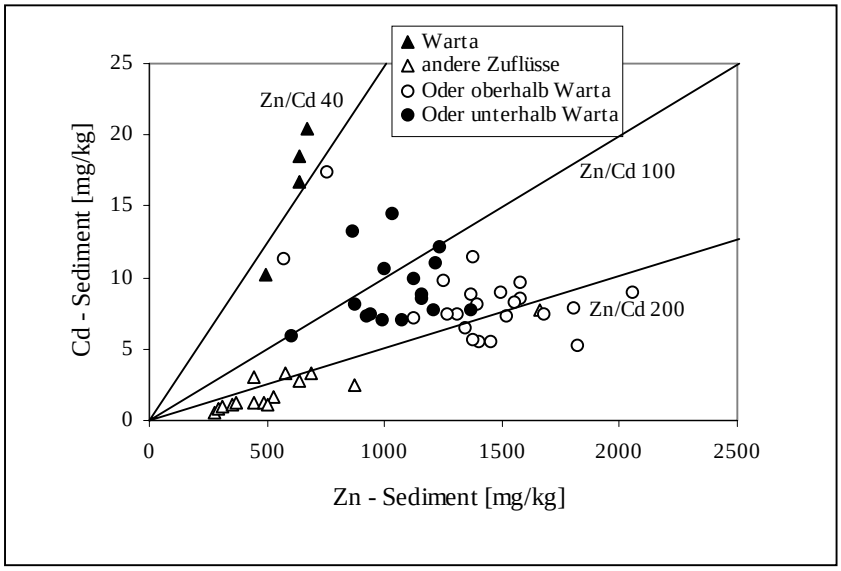


Abb. 15:
Zink-Cadmium-Verhältnis in Sedimenten der Oder und Warta

Fe/As

Entgegengesetzt verhält sich der Einfluß des As auf die Sedimentqualität der Oder. Die Warta übt einen verdünnenden Einfluß (Fe/As 4200) aus. Dadurch sinken in der Oder die Fe/As-Verhältnisse von 1660 oberhalb der Warta auf 760 unterhalb der Warta.

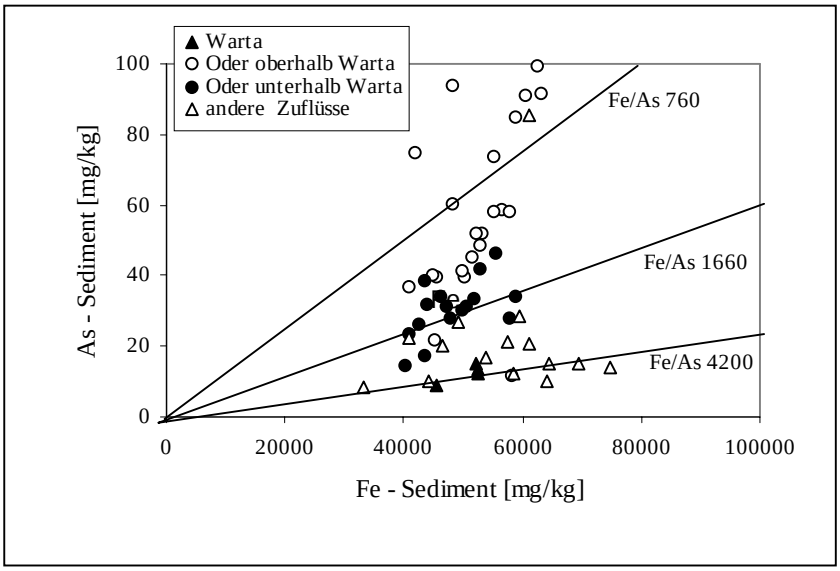


Abb. 16:
Eisen-Arsen-Verhältnis in Sedimenten der Oder und Warta

Zn/Pb

Bei den x-y-Plots der Elemente Zn-Pb und Zn-Ni können zwischen den bereits oben betrachteten Flußabschnitten nur geringe Unterschiede festgestellt werden. Bei beiden Elementverhältnissen ergeben sich somit nur geringe Schwankungen. Das Elementverhältnis Zn-Pb liegt oberhalb der Warta bei 7,4, sinkt unterhalb nur gering auf 6,2 ab. Das Zn/Pb-Verhältnis liegt in der Warta und den anderen Zuflüssen bei durchschnittlich 5,0, was sich auch in den Böden der Polder wiederspiegelt (vgl. Kapitel 5.2.1). Der Pb-Überschuß beim Punkt Aurith 5/00 schlägt sich gravierend auf das Zn/Pb-Verhältnis nieder (2,8).

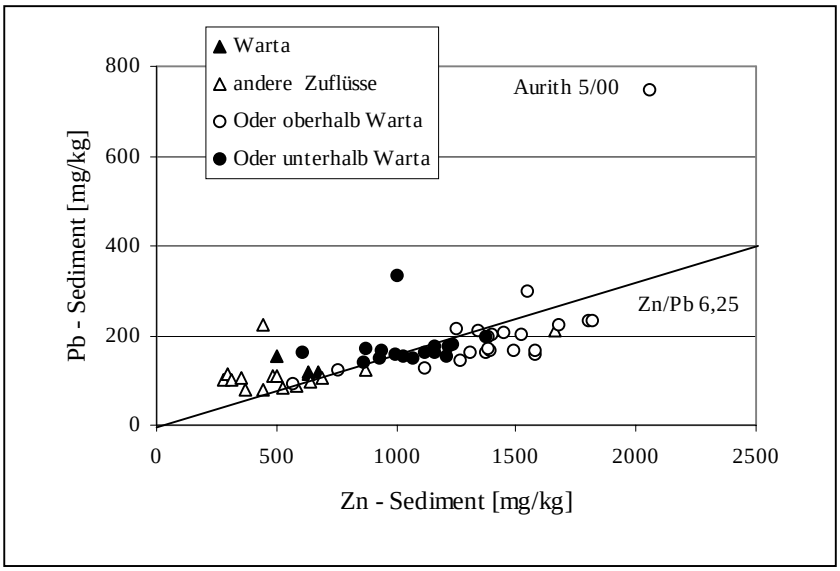


Abb.17:
Zink-Blei-Verhältnis in Sedimenten der Oder und Warta

Zn/Ni

Dieses Elementverhältnis wurde gewählt, um einen möglichen Einfluß basischer Elemente (z.B. Ni) aus dem Einzugsgebiet der Neiße zu erkennen. Ein erhöhtes Ni-Vorkommen ist in der Neiße nicht durchgängig nachzuweisen. Das Zn/Ni-Verhältnis schwankt zwischen 16,4 in der Warta und 22,6 in der Oder oberhalb der Warta.

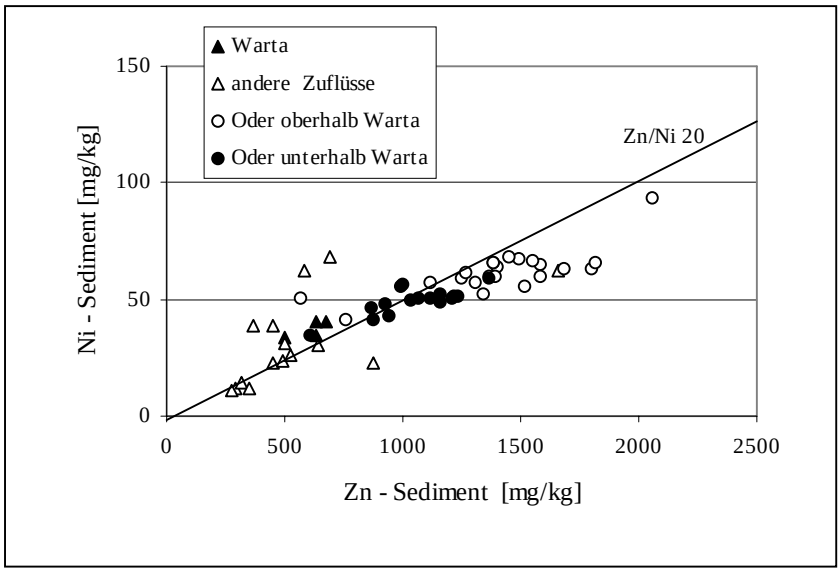


Abb. 18:
Zink-Nickel-Verhältnis in Sedimenten der Oder und Warta

5.1.5 Einschätzung der Bewertungsansätze für die Sedimente

Neben der I_{geo}-Klassifizierung aller analysierten Elementgehalte in den Sedimenten, die den Bezug zum geologischen Background herstellt, charakterisiert die Bewertung nach LAWA die toxikologische Situation bevorzugt der umweltrelevanten Elemente in den Sedimenten.

Die geochemische Einschätzung der Medianwerte der Sedimente für den gesamten Flußabschnitt Polecko bis Widuchowa einschließlich der dort untersuchten Nebenfließgewässer nach **I_{geo}** [MÜLLER, 1979] mit Hintergrundwerten für Tonschiefer nach **TUREKIAN & WEDEPOHL [1961]** ergibt

- für Al, Co, Cr, Fe und Ni die I_{geo}-Klasse 0 (praktisch unbelastet)
- für As und Cu die I_{geo}-Klasse 1 (unbelastet-mäßig belastet)
- für Hg und Mn die I_{geo}-Klasse 2 (mäßig belastet)
- für Pb und Zn die I_{geo}-Klasse 3 (mäßig-stark belastet)
- für Cd die I_{geo}-Klasse 5 (stark-übermäßig belastet).

Beim Vergleich der I_{geo}-Klassen nach TUREKIAN & WEDEPOHL [1961] mit den **I_{geo}-Klassen nach den Hintergrundwerten für die Polderböden (<20 µm) des Unteren Odertales** aus dieser Arbeit (Kapitel 5.2.1) ergibt sich aufgrund der Ähnlichkeit der Werte (Tab. 11) überwiegend eine Zuordung der Elemente in dieselbe Klasse. Differenzen ergeben sich bei Cr, Cu, Ni (schlechtere Bewertung mit Polderbackground) und Pb, Zn (bessere Bewertung mit Polderbackground). Daraus ist ableitbar, daß die ermittelten Hintergrundwerte für die Polder auch für die Bewertung von Odersedimenten Anwendung finden können.

Gemäß **LAWA-Klassifizierung** [1998] ergibt sich für die Medianwerte des o.g. Flußabschnitts folgende Zuordnung:

- für As, Cr, Ni und Pb die LAWA-Klasse II-III (deutlich belastet)
- für Cu und Hg die LAWA-Klasse III (erhöht belastet)
- für Cd und Zn die LAWA-Klasse III-IV (hoch belastet).

Damit erfolgt die LAWA-Einordnung der Elemente in ähnlicher Reihenfolge, klassenmäßig jedoch auf höherem Niveau, was auf ökotoxikologische Schutzaspekte zurückzuführen ist. Bei allen drei Bewertungsansätzen (Tab. 46) fällt das Element Cadmium mit der Igeo-Klasse 5 (stark-übermäßig belastet) bzw. der LAWA-Klasse III-IV und IV (hoch belastet) auf. Kritisch bewertet werden auch die Elemente Zn, Cu und Hg. Als praktisch unbelastet gelten die Elemente Al, Co und Fe.

Trends in der Sedimentgüteentwicklung sind ebenfalls bei allen drei Bewertungsansätzen zu erkennen:

- Verbesserung der Sedimentqualität der Oder nach dem Zufluß der Warta bei den Elementen As, Cu, Hg, Ni und Zn
- geringere Elementgehalte (As, Cu, Hg, Ni, Zn) des Wartasediments gegenüber den Odersedimenten
- höherer Cd-Gehalt des Wartasediments gegenüber den Odersedimenten.

Tab. 46: Zusammenstellung der I_{geo}-Klasse nach TUREKIAN & WEDEPOHL [1961] (=x), der I_{geo}-Klasse nach Polderbackground (=y) und nach LAWA [1998] (=z) (in der Tabelle: x/y/z)

Element	**Oderabschnitt Polecko-Widuchowa -einschließlich Zuflüsse**			**Oder oberhalb Warta**	**Warta**	**Oder unterhalb Warta**
	Minimum	**Maximum**	**Median**	**Median**	**Mittelwert**	**Median**
Al	0/0/-	0/0/-	**0/0/-**	0/0/-	0/0/-	0/0/-
As	0/0/I-II	3/3/III	**1/1/II-III**	2/2/II-III	0/0/I-II	1/1/II
Cd	1/1/II	6/6/IV	**5/5/III-IV**	5/5/III-IV	6/6/IV	5/5/III-IV
Co	0/0/-	1/1/-	**0/0/-**	0/0/-	0/0/-	0/0/-
Cr	0/0/I	1/3/III	**0/1/II-III**	0/1/II-III	1/1/II-III	0/1/II-III
Cu	0/0/II	4/4/IV	**1/2/III**	2/2/III	1/2/II-III	1/2/III
Fe	0/0/-	1/1/-	**0/0/-**	0/0/-	0/0/-	0/0/-
Hg	0/-/II	4/-/IV	**2/-/III**	3/-/III	1/-/II-III	1/-/II-III
Mn	0/0/-	4/4/-	**2/2/-**	2/1/-	2/2/-	1/1/-
Ni	0/0/I	0/1/II-III	**0/0/II-III**	0/1/II-III	0/0/I-II	0/0/II-III
Pb	2/1/II	5/4/III-IV	**3/2/II-III**	3/2/II-III	1/2/II-III	3/2/II-III
Zn	1/1/II-III	4/4/IV	**3/3/III-IV**	4/3/III-IV	3/2/III	3/3/III-IV

5.1.6 Bevorzugte Transportform und Verteilungskoeffizienten

Bevorzugte Transportform

Aus den Elementgehalten im Wasser (gelöst) und im Schweb (partikulär) läßt sich die bevorzugte Transportform der Elemente ermitteln. Mit nachfolgender Gleichung wird der partikulär transportierte Anteil errechnet:

$PP = C_S/(C_W+C_S)*100$

PP – partikulär transportierter Anteil [%]
C_S – Konzentration des am Schwebstoff sorbierten Metalls, bezogen auf die Wasserphase [µg/L]
C_W – Konzentration des gelösten Metalls in der wässrigen Phase [µg/L].

In der Oder werden die Elemente Fe, Al, Mn und Pb bevorzugt am Schwebstoff gebunden und das Element Ni bevorzugt gelöst transportiert. Für die weiterhin untersuchten Elemente Cu, Zn, Co, Cd, Cr und As ergibt sich ein gemischter Transport mit partikulären und gelösten Anteilen. Um die große Schwankungsbreite besonders bei den Schwermetallen zu verdeutlichen, werden in der Abb. 19 das 10./90. Percentil dargestellt.

Tab. 47: Anteil des partikulären Transports am Gesamttransport der Elemente [%]

PP	**Element**
0-25 %	Ni
25-50 %	As
50-75 %	Cd, Co, Cr, Cu, Zn
75-100 %	Al, Fe, Mn, Pb

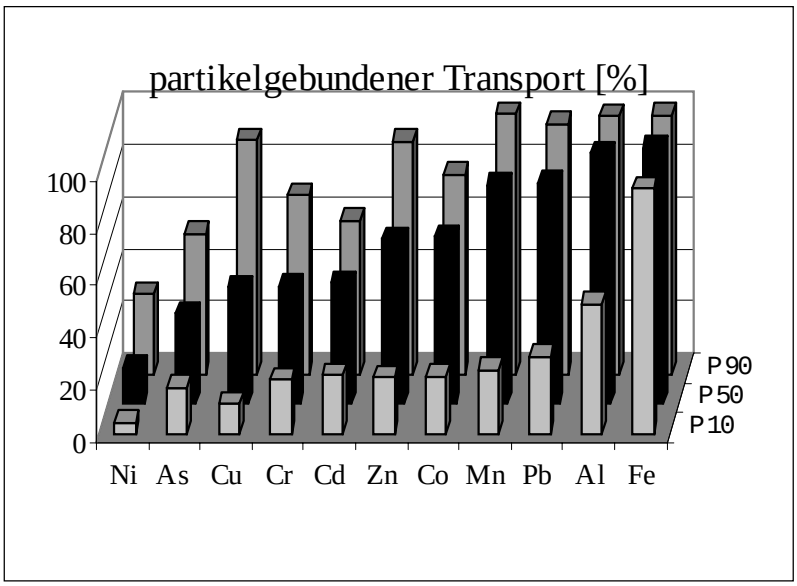


Abb. 19:
Prozentualer partikulärer Transport am Gesamttransport der Elemente, Angabe des Medianwertes (P50) sowie des 10. und 90. Percentils [%]

Zwischen der Transportform und der Schwebstoffmenge zeigt sich für alle Elemente eine positive Abhängigkeit. Dagegen können keine Zusammenhänge zwischen der Transportform und dem Glühverlust bzw. dem Schwermetallgehalt der Schwebstoffe nachgewiesen werden [GREIF & BEUGE, 2001].

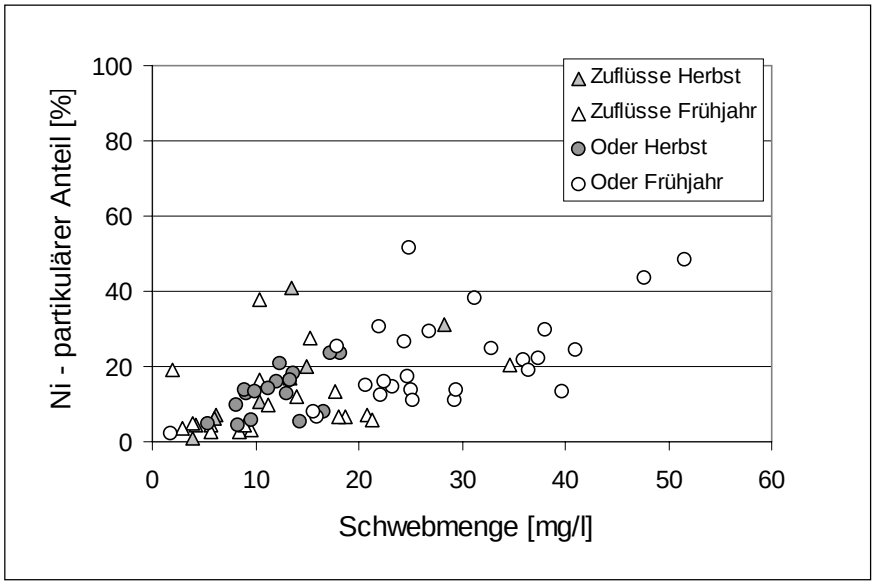


Abb. 20:
Verhalten von partikulär gebundenem Nickel in Abhängigkeit von der Schwebstoffmenge und der Jahreszeit

Verteilungskoeffizienten

Wie im vorherigen Kapitel festgestellt wurde, werden die Elemente unterschiedlich transportiert. Daraus ergibt sich die generelle Frage, ob es ausreicht, die Spurenstoffe in einer der beiden Phasen nachzuweisen, um Rückschlüsse auf die andere Phase zu ziehen. Bei der Validierung des Meßprogrammes am Rhein wurden die Verteilungskoeffizienten für mehrjährige Meßreihen ermittelt und auf Äquivalenz geprüft [BRAUN, 1997]. Dabei wurde festgestellt, daß es nicht möglich ist, einen Stoff in nur einer Phase zu messen und über den Verteilungskoeffizienten auf die andere Phase zu übertragen. Auch bei Untersuchungen an der Elbe schwanken die Verteilungskoeffizienten außer für Arsen und Nickel sehr stark [v.TÜMPLING jr., u.a., 1997]. Die ermittelten Daten der Metallgehalte in den Schwebstoffen und in der Wasserphase werden zur Berechnung eines Verteilungskoeffizienten genutzt. Er charakterisiert die Verteilung der Elemente zwischen den beiden Phasen (partikulär und gelöst). Der Verteilungskoeffizient errechnet sich nach KOELMANS & RADOVANOVIC [1998]:

$$\mathbf{K_D = C_S/C_W}$$

K_D – Verteilungskoeffizient [L/g]
C_S – Konzentration des am Schwebstoff sorbierten Metalls [mg/kg]
C_W – Konzentration des gelösten Metalls in der wässrigen Phase [µg/L].

VILIMEC [1997] teilt die untersuchten Parameter aufgrund ihres Verteilungskoeffizienten in drei Gruppen ein, die gleichzeitig das bevorzugte Untersuchungsmedium herausstellen:

- für K_D < 1 L/g ist die Untersuchung ausschließlich in der Wasserphase zweckmäßig
- für K_D 1-500 L/g sollte die Untersuchung im Schwebstoff sowie in der Wasserphase durchgeführt werden
- für K_D > 500 L/g ist die Untersuchung nur in der Schwebstoffphase als geeignet anzusehen.

Mehrere Autoren [VILIMEC, 1997; v. TÜMPLING jr. u.a. 1997] stellen allerdings fest, daß der Wasser-Schwebstoff-Verteilungskoeffizient K_D im allgemeinen eine relativ starke Streuung aufweist, die sich bei der Betrachtung verschiedener Jahrgänge noch verstärkt. Diese Aussage wird für die Oder bestätigt. Zwischen Minimum und Maximum können zwei Größenordnungen liegen bzw. die Standardabweichung liegt bei einigen Elementen (z.B. Cu, Mn, Zn) bei über 100 %. Mittelwerte für die Verteilungskoeffizienten können nur ihre Größenordnung widerspiegeln (Tab. 48).

Tab. 48: Mittlere Verteilungskoeffizienten K_D der untersuchten Elemente [L/g]

K_D	**Element**
<1	-
1-100	As, Cd, Cr, Ni
100-500	Co, Cu, Zn
500-1.000	Pb
>1.000	Al, Fe, Mn

Da sich beim Schwermetalltransport die Bindungsmöglichkeiten durch den jeweils vorhandenen Schwebstoffgehalt im Fließgewässer ändern, wird die Einbeziehung dieser Komponente empfohlen [BEUGE u.a., 1997]. Der dimensionslose Wert wird als Anreicherungskoeffizient bezeichnet:

$$\mathbf{AK_D = K_D * C_P}$$

AK_D – Anreicherungskoeffizient
K_D – Verteilungskoeffizient (L/g)
C_P – Schwebstoffkonzentration (g/L)

Analog den Verteilungskoeffizienten und dem partikulären Anteil am Gesamttransport ordnen sich die Elemente hinsichtlich ihrer Anreicherungskoeffizienten wie folgt ein:
Fe > Mn > Al >> Pb >> Cu > Zn > Co >Cr > Cd > As > Ni.

5.1.7 Frachten

Die an den Pegeln der Oder und ihren Zuflüssen ermittelten Abflußmengen können zur Berechnung von Elementfrachten genutzt werden. Da die Wasseranalysen nur stichprobenartige Ereignisse charakterisieren und auch die Abflußdaten innerhalb eines Tages schwanken, wird eine Aussage zur Fracht nur für den Zeitraum einer Stunde – maximal eines Tages - empfohlen. Die Frage nach der Fracht verbindet sich mit der Frage nach Korrelationen der Wassermenge mit den ermittelten Elementkonzentrationen, d.h. finden bei zunehmender Wassermenge Anreicherungs- oder Verdünnungsprozesse statt? Die Lösungsfracht errechnet sich:

$$\mathbf{F_{gelöst} = C_{Element\text{-}gelöst} * Q * 3,6}$$

$F_{gelöst}$ - Lösungsfracht [g/h]
$C_{Element\text{-}gelöst}$ – Konzentration des Elements, gelöst [µg/L]
Q – Abfluß [m^3/s].

Am Beispiel des Chlorids wird ersichtlich, daß mit zunehmendem Abfluß die Chloridkonzentrationen im Wasser abnehmen, d.h. es tritt ein Verdünnungseffekt ein. In der Abb. 21 sind die Punkte zeitlich differenziert, in der Abb. 22 räumlich. Bei der zeitlichen Abhängigkeit zeigen sich die geringsten Chloridgehalte bei dem herbstlichen Hochwasserereignis im November 1998, das in der Oder und in der Neiße, nicht aber in der Warta und den anderen kleinen Zuflüssen auftrat. Dort bleiben die Chloridkonzentrationen bei äquivalenter Wassermenge konstant. Die höchsten Chloridgehalte treten am Pegel Eisenhüttenstadt auf. Der Verdünnungseffekt durch die Warta ist bei höheren Abflüssen in der Oder (11/98) erwartungsgemäß geringer. Die Abb. 22 verdeutlicht auch, daß die anderen untersuchten Zuflüsse bei normaler Wasserführung kaum einen Einfluß auf die Oder besitzen.

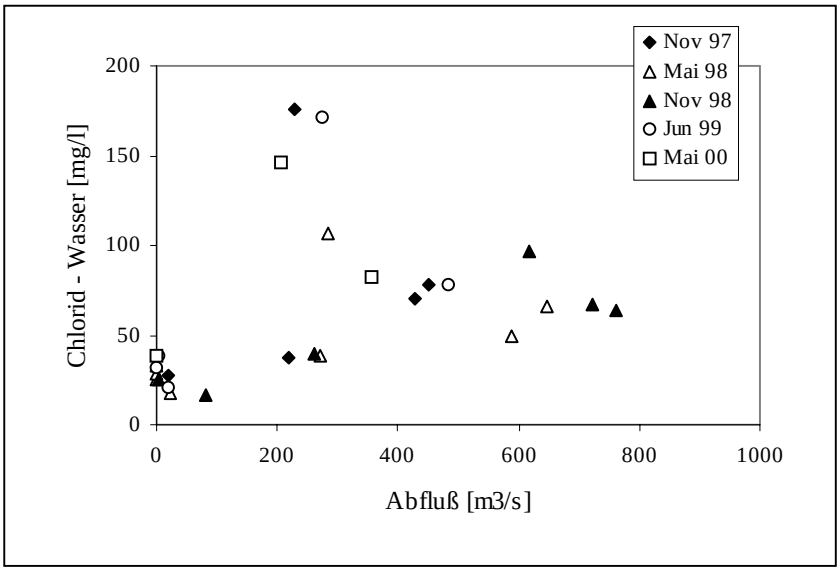
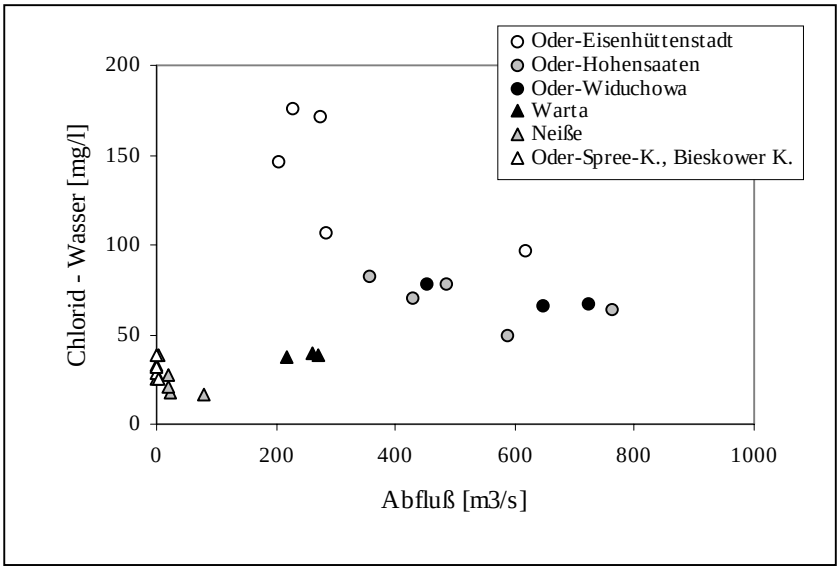


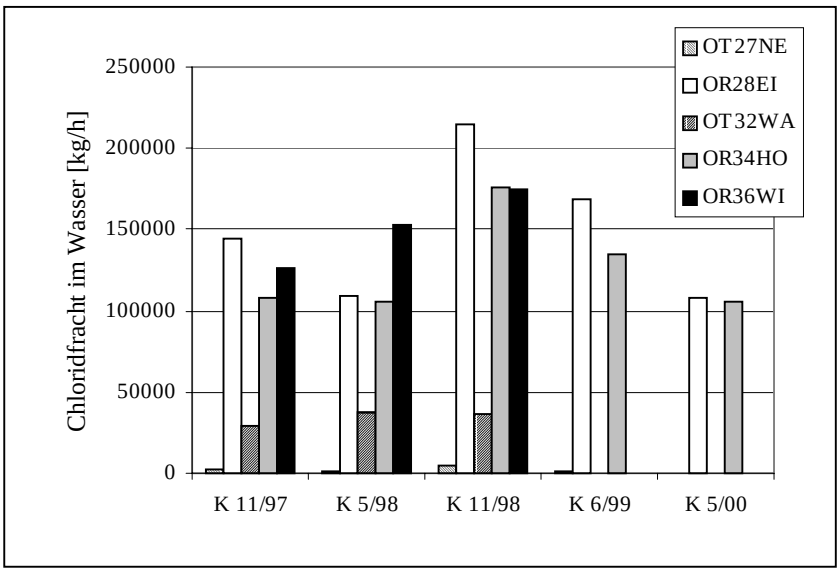
Abb. 21:
Verhalten der Chlorid-Konzentrationen im Wasser (gelöst) in Abhängigkeit vom Abfluß und des Zeitpunktes der Beprobung

Abb. 22:
Verhalten der Chlorid-Konzentrationen im Wasser (gelöst) in Abhängigkeit vom Abfluß und der Lage des Meßpunktes



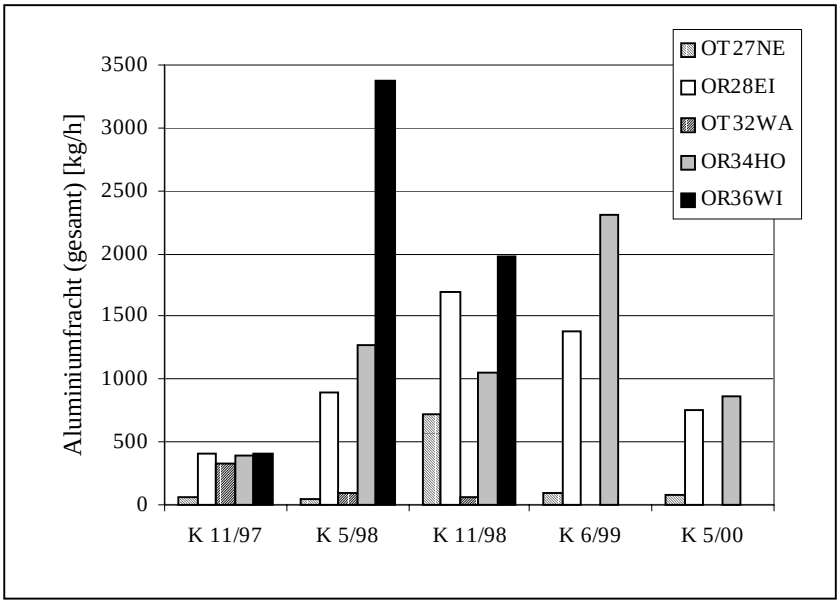
Bei der Frachtberechnung ergibt sich, daß die Chloridfracht in der Kampagne 11/98 am größten ist, sie sich aber trotz der doppelten bis dreifachen Wassermenge gegenüber den anderen Beprobungen nicht in gleichem Maße erhöht hat (Abb. 23).

Abb. 23:
Übersicht über die Chloridfracht (gelöst) an den Pegeln der Oder, Neiße und Warta (für 6/99 und 5/00 liegen noch nicht alle Abflußwerte vor, Frachtberechnung fehlt)



Für die Schwermetalle und Arsen ist es wichtig, den Gesamttransport (gelöster + partikulärer Anteil) zu betrachten. Das für Chlorid beschriebene Frachtverhalten trifft auch für die Metalle zu, die vorwiegend in gelöster Form transportiert werden, wie z.B. Nickel. Bei diesem Element (Gesamtgehalt) werden für die Kampagne 11/98 ebenfalls die höchsten Frachten ermittelt. Wird ein Element bevorzugt partikulär transportiert, geht die entsprechende Schwebstoffmenge in die Berechnung ein. Dann zeigt sich eine Frachterhöhung mit zunehmendem Schwebstoffgehalt z.B. bei den Elementen Al, Fe und Pb in der Kampagne 5/98 gegenüber 11/97 und 11/98 (6/99 und 5/00 noch nicht vollständig berechnet), da im Frühjahr die Schwebstoffgehalte deutlich höher sind (vgl. Kapitel 5.1.1).

Abb. 24:
Übersicht über die Aluminiumfracht (gesamt) an ausgewählten Pegeln der Oder, Neiße und Warta



Da für Polecko keine Abflußwerte vorliegen, ist eine Input-Output-Analyse für den untersuchten Flußabschnitt Polecko-Widuchowa nicht möglich. Für die Pegel Eisenhüttenstadt und Widuchowa wird in Tab. 49 eine Übersicht über die Metallfrachten (gesamt) gegeben. In der Kampagne 11/97 liegen die Frachten in Eisenhüttenstadt und Widuchowa in ähnlichen Größenordnungen. Eine Frachtzunahme in Widuchowa ist lediglich bei den Elementen Cd, Cr, Ni und Pb festzustellen, von denen Cd und Cr vermutlich aus der Warta stammen. Bei der Betrachtung der Kampagne 5/98 fällt bereits die Erhöhung der Schwebstofffracht von 25,4 auf 111 t/h auf, die mit der im Frühjahr auftretenden biologischen Aktivität zusammenhängt. Damit findet auch eine Frachtzunahme bei den Schwermetallen und Arsen statt.

Tab. 49: Zusammenstellung der Schwebstoff- und Metallfrachten (gesamt) an den Pegeln Eisenhüttenstadt (EI) und Widuchowa (WI) an den jeweiligen Probenahmetagen der Kampagnen 11/97, 5/98 und 11/98 und Berechnung des prozentualen Outputs für Widuchowa im Vergleich zu Eisenhüttenstadt, Angaben für die Schwebstofffracht (P) in [t/h], für die Metallfrachten in [kg/h], für den Output [%]

	P	**Al**	**As**	**Cd**	**Cr**	**Cu**	**Fe**	**Mn**	**Ni**	**Pb**	**Zn**
EI 11/97	10,6	415	2,81	0,18	4,44	3,54	949	196	5,29	3,10	32,6
WI 11/97	13,1	407	2,63	0,29	5,93	3,17	<974	166	7,55	4,40	28,6
%Output	*124*	*98*	*94*	*161*	*134*	*90*	*100*	*85*	*143*	*142*	*88*
EI 5/98	25,4	902	3,70	nb	3,26	3,36	1.040	157	3,17	nb	182
WI 5/98	111	3.380	7,82	nb	11,3	nb	3.930	764	8,27	15,3	160
%Output	*437*	*375*	*211*	-	*347*	-	*378*	*487*	*261*	-	*88*
EI 11/98	31,7	1.690	6,54	nb	12,6	9,48	2.100	247	42,7	7,25	70,6
WI 11/98	34,5	1.980	5,48	nb	10,4	9,99	2.040	313	16,0	6,47	59,5
%Output	*109*	*117*	*84*	-	*83*	*105*	*97*	*127*	*37*	*89*	*84*

5.2 Die Geochemie der Polder

5.2.1 Die Böden der Polder

Das Kompartiment mit der größten Bedeutung im Poldersystem ist der Boden. Er wurde hinsichtlich seiner regionalen Elementverteilung und deren Teufenverteilung untersucht. Die Polderböden des Unteren Odertales nehmen aufgrund ihrer zeitweiligen Überflutung eine besondere Stellung ein und besitzen vielfache Funktionen:

- Funktion der Naßpolder als Flächenfilter (Winterflutung), insbesondere für hochkontaminierte Ferntransporte aus dem Mittel- und Oberlauf des Flusses,
- Sicherung der ganzjährigen Oderschifffahrt durch die Wasseregulierung (Pufferung von Hochwasserereignissen),
- Reservat seltener Pflanzen- und Tierarten,
- Erholungsgebiet für Touristen.

Die Auenbodenprofile wurden per Hand aufgegraben. Dabei sind bereits erste Eindrücke, z.B. Bodenfarbe, Beimengungen und andere Besonderheiten dokumentiert worden (Anlage 6-1), spätere mikroskopische Befunde sowie Daten zur Altersbestimmung an Holzstücken sind in die Profilbeschreibungen eingeflossen. Das Profil Gatow hat mit 2 m die höchste Teufe erreicht, das Profil Schwedt 1,68 m, Criewen 1,58 m und Stolpe 1,30 m. Bei den obersten Bodenproben sind die Zentimeterbereiche der einzelnen Proben enger (3 bis 5 cm), in tieferen Bereichen weiter (15 bis 20 cm) gefaßt worden.

Granulometrie

Den Verteilungen der Korngrößenfraktionen in den einzelnen Vertikalprofilen (Abb. 25-28) ist zu entnehmen, welche Korngröße in welcher Teufe dominiert und welche Fraktionen sich durch inversen Verlauf milieubedingt gegenseitig ausschließen. Dabei kommt dem Verlauf der Grobsand-, Feinsand- und Tonkurven hinsichtlich der Interpretation der Ablagerungsbedingungen die größte Aussagekraft zu.

Bei der Betrachtung der Korngrößenanalyse des Profils Gatow (Abb. 25) muß zunächst daraufhingewiesen werden, daß es sich bei den Grobsandgehalten im unteren Profilabschnitt (ab Probe 10) um Pseudokorngrößen handelt. Die Grobsandgehalte würden in einem vollkommenen Gegensatz zur geochemisch festgestellten Muddenfazies stehen, denn diese schließt Hochwasserereignisse und relativ turbulente Wasserbewegungen aus, die man üblicherweise bei verstärkten Grobsandgehalten vermutet. Die Pseudokorngrößen sind offenbar durch Eisenverkrustungen und Beimengungen von Humusstoffen verursacht worden, die zu einem äußerst festen Kornverband führten. Der Analyse kann dennoch entnommen werden, daß es ab Probe 3 zum Hangenden hin zu einer leichten Dominanz des Grobsandes kommt und die

obersten Proben 1 und 2 ein erneutes Ansteigen der gröberen Fraktionen dokumentieren. Sie fallen mit Medianwerten von etwa 0,3 und 0,4 mm in den Mittelsandbereich.

Im Profil Schwedt kann man aufgrund des erhöhten Feinsandanteils (Abb. 26) im Liegenden (Probe 14 bis 18) ein leicht erhöhtes Transportpotential ableiten, zum Hangenden hin dominieren eher die Schluff-Fraktionen, obwohl sich auch hier der Feinsand noch behauptet. Im Hinblick auf die durchschnittlichen Korngrößen erreicht das Profil Werte zwischen 0,009 mm und 0,1 mm (Schluff und Feinsand). Nur die Probe 1 verzeichnet wieder einen eindeutigen Zuwachs der gröberen Fraktionen, was sich sehr deutlich beim Medianwert niederschlägt (ca. 0,4 mm; Mittelsand).

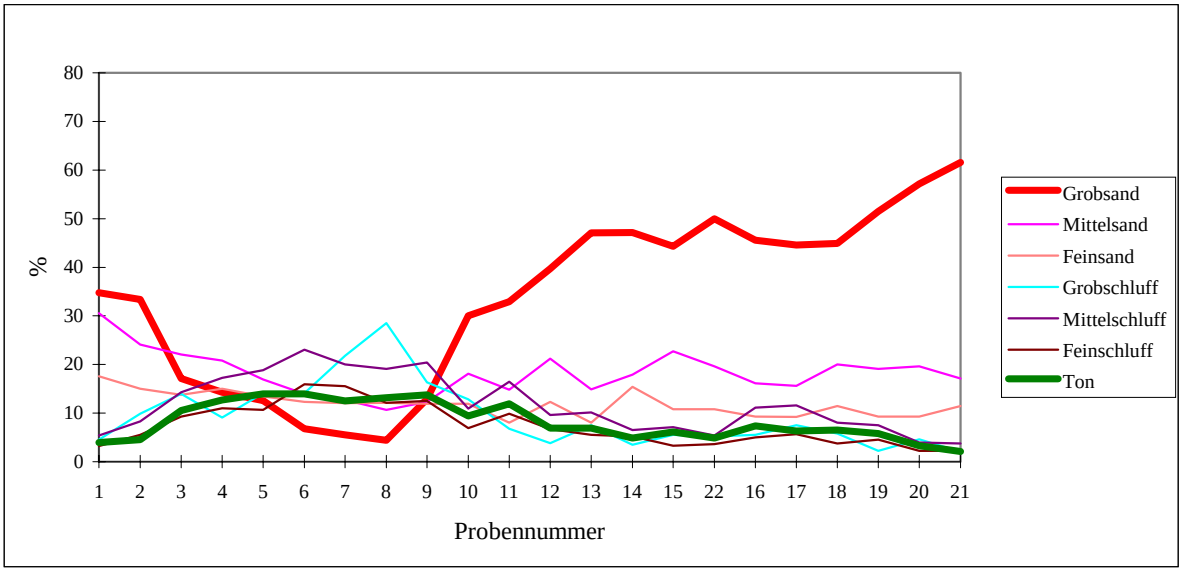


Abb. 25: Verteilung der Korngrößenfraktionen im Profil Gatow

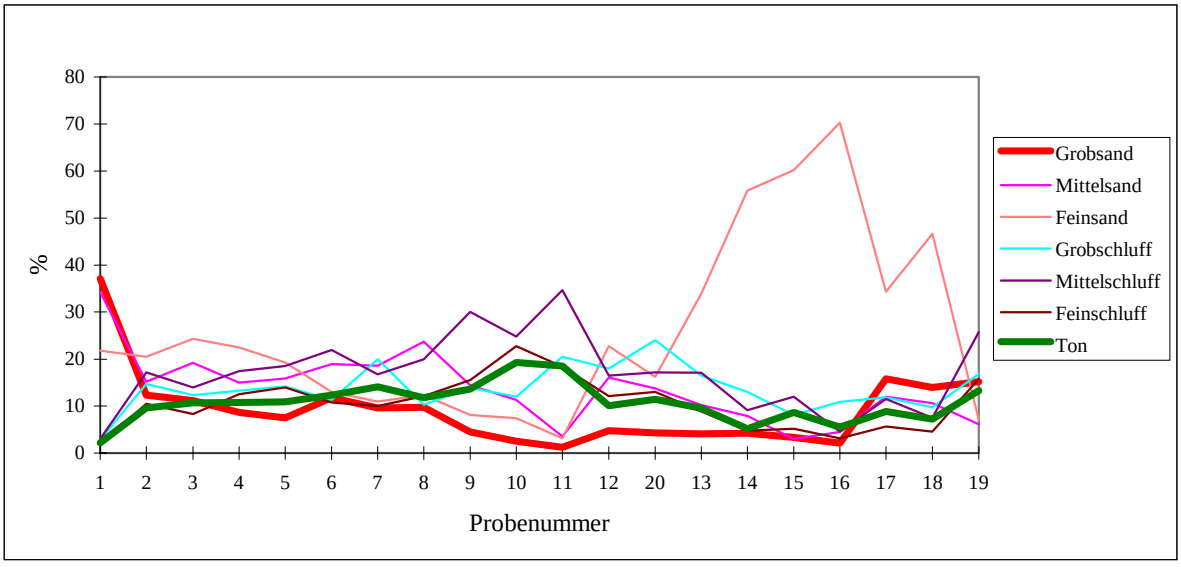


Abb. 26: Verteilung der Korngrößenfraktionen im Profil Schwedt

Im Profil Criewen tritt der Grobsand (Abb. 27) mengenmäßig sehr zurück. Das Liegende des Profils (Probe 24 bis 18) könnte einen schnellen, aber im Vergleich zu Gatow viel weniger intensiven Wechsel des Transportpotentials dokumentieren, da die Fraktionsanteile häufiger wechseln. Weiter zum Hangenden zeigen sich sehr ausgeglichene und auch wenig bewegte Sedimentationsbedingungen (Dominanz der Feinfraktion). Bei Probe 1 ist wie bei den anderen zwei Naßpolderprofilen eine Tendenz zum Anstieg des gröberen Materials zu beobachten. Als Ursache dafür könnte ein höherer Wasserstand in jüngster Vergangenheit (vor 1996) angesehen werden. Daß in Criewen das feinste Material zur Ablagerung kam, wird auch durch die Medianwerte bestätigt: die durchschnittliche mittlere Korngröße liegt stets unter 0,1 mm (0,006 bis 0,033 mm) und fällt damit in den Schluffbereich. Die Wassergeschwindigkeit, die mindestens notwendig ist, um Teilchen dieser Größe zu bewegen, wäre mit weniger als 0,35 m/s (nach RUCHIN, 1958) anzugeben.

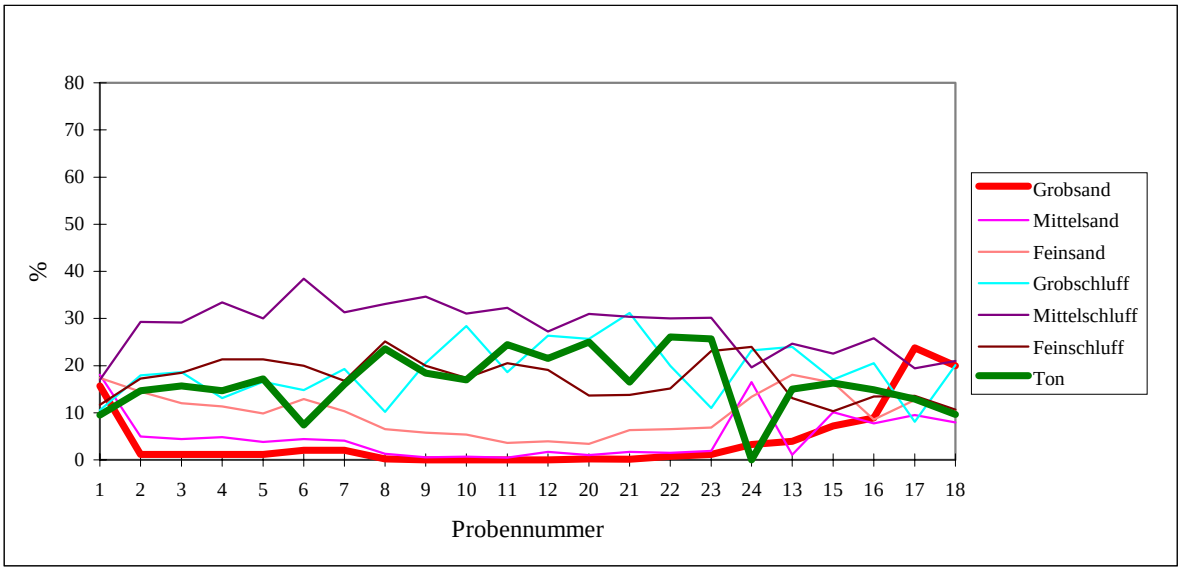


Abb. 27: Verteilung der Korngrößenfraktionen im Profil Criewen

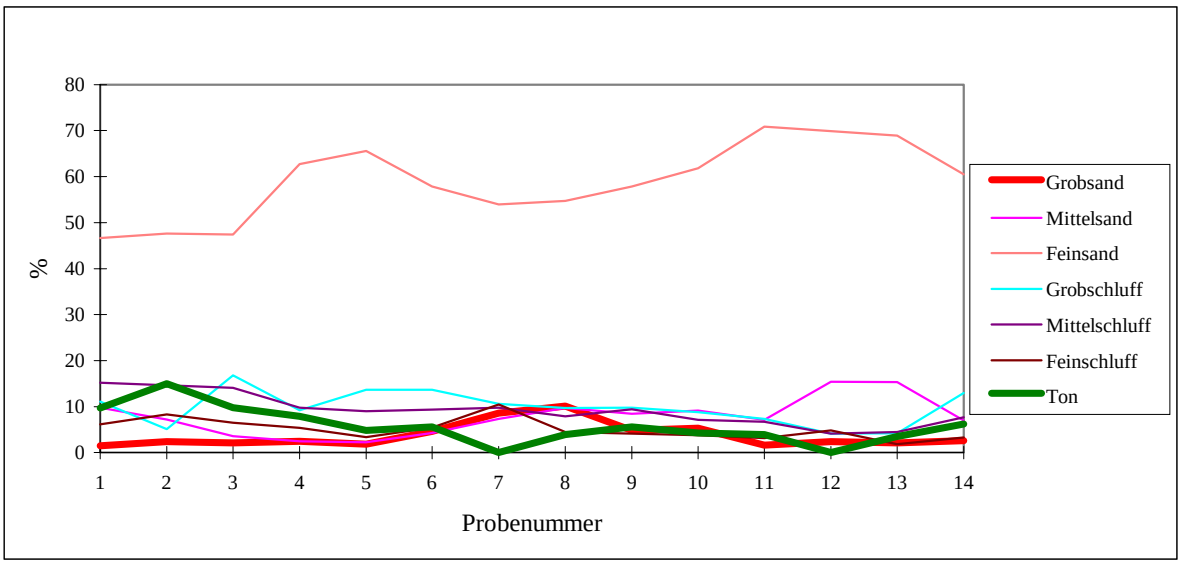


Abb. 28: Verteilung der Korngrößenfraktionen im Profil Stolpe

Der Auenboden Stolpe überrascht durch seinen überaus stark hervortretenden Feinsandanteil gegenüber allen anderen Fraktionen (Abb. 28), die eine mehr oder minder große Konstanz der Anteile vom Liegenden bis zum Hangenden aufzeigen, womit das Profil von ständig gleichen Bedingungen bei leicht erhöhtem Strömungspotential zeugt. Die Medianwerte von Stolpe zeigen ein ähnlich gleichförmiges Bild wie in Criewen, nur daß das Niveau der Mediane etwas höher liegt, und zwar immer bei 0,1mm (Feinsandbereich).

Mineralogische Zusammensetzung

An einigen vertikal angeordneten Proben des Profils von Criewen wurde die mineralogische Zusammensetzung bestimmt [MÜLLER, 1997]. Das Probenmaterial wurde nach dem Einweichen in destilliertem Wasser mit H_2O_2 zur Zerstörung der organischen Substanz und danach mit Natriumdithionit zum Auflösen hydroxidisch gebundenen Eisens behandelt. Nach dem Zentrifugieren und Trocknen wurde mit Hilfe der Sedimentationsanalyse die Fraktion <2 µm abgetrennt und getrocknet. Die Proben wurden einer quantitativen Röntgenphasenanalyse unterzogen. Die Ergebnisse widerspiegeln die schon bei der Korngrößenanalyse (und bei den Hauptelementen) beobachtete Homogenität des Profils Criewen. Ohne vertikale Änderungen besteht das Material zu etwa 77 % aus Tonmineralen (Tab. 50). Im Vergleich zu Geschiebemergeln enthalten diese Auenböden weniger Tonminerale und mehr Quarz. Bändertone führen mehr Kaolinit, Illit und Quarz und weniger Montmorillonit-Illit-Wechsellagerungen.

Tab 50: Die mineralogische Zusammensetzung von vier ausgewählten Proben des Profils Criewen, Angaben in [%]

Probe	**Quarz**	**Plagio-klas**	**Kalifeld-spat**	**Kaolinit**	**Montmo-rillonit/ Illit**	**Illit**
1 (0-5 cm)	15	3	3	17	50	12
5 (20-25 cm)	15	4	3	16	53	9
10 (45-50 cm)	17	3	3	17	52	8
18 (145-158 cm)	18	4	4	17	48	9

Die eisenhydroxidische Phase erwies sich in kleinen Anteilen bei fast jeder Probe als ferromagnetisch. Mittels Röntgendiffraktometrie dieser Phase wurde Maghemit gefunden, ein Mineral, das eigentlich erst bei höheren Temperaturen gebildet wird, aber offensichtlich auch unter bestimmten pH-Eh-Bedingungen bei Normaltemperatur (u.a. durch Verwitterung von Magnetit) entstehen kann (nach STRUNZ u.a., 1970).

Hauptelemente

Zur lithologischen Charakterisierung der Poldersedimente wurde an den vier Auenbodenprofilen der Fraktion <2000 µm von Gatow, Schwedt, Criewen und Stolpe eine Hauptkomponentenanalyse mittels RFA durchgeführt (Anlage 6-2).

Das Verhältnis Al_2O_3/SiO_2 als ein Maß für den Tonmineral- bzw. Sandanteil wird häufig berechnet. In den oberen Dezimetern der Naßpolder schwankt das Verhältnis in dem engen Intervall von 0,17-0,23 und ändert sich am Standort Criewen auch mit zunehmender Teufe nicht. In Gatow steigt es unterhalb von 45 cm auf 0,28 an und zeigt damit auch zusammen mit anderen Indikatoren (organischer Kohlenstoff, Schwefel) eine Muddenentwicklung an. Im Trockenpolder Stolpe wie auch im tieferen Profilbereich von Schwedt zeigen Al_2O_3/SiO_2-Verhältnisse von $\leq 0{,}1$ eindeutig sandige Ausbildungen an. Eine in der Regel zu beobachtende positive Korrelation der Gehalte an Al_2O_3 mit dem Kornfraktionsanteil <2 µm kann hier nicht bestätigt werden. Dafür gibt es zwei Ursachen. Einmal ist es bei der Probenpräparation zur granulometrischen Analyse nicht in jedem Fall gelungen, den Kornverband - zusammengehalten durch Humusstoffe oder limonitisches Eisen - vollständig zu zerstören und zum anderen ist in einer Reihe von Proben, insbesondere in denen aus der Muddenfazies, ein erheblicher Anteil von SiO_2 in feinen Schwammnadeln wie auch in Diatomeenschalen fixiert, die so in die kleinste Korngrößenklasse gelangen und das Verhältnis Al_2O_3/SiO_2 beeinflussen.

Allgemein existiert in Verwitterungsprofilen eine positive Korrelation bei oft starker Streuung zwischen den Gehalten an Al_2O_3 und TiO_2, da beide Komponenten meistens am Ort verbleiben und damit eine relative Anreicherung erfahren. Die Auenböden in den Poldern zeigen unterschiedliche Korrelationen zwischen beiden Parametern und lassen eine Gliederung zwischen den Probenahmeorten zu (Abb. 29). Der Trockenpolder Stolpe mit generell sandiger Ausbildung hat naturgemäß die jeweils geringsten Gehalte und zeigt eine Differenzierung zwischen den stark sandigen Proben in der Tiefe und den weniger sandigen im oberen Profilbereich. Die Proben von Gatow zeigen den höchsten sedimentären Differenzierungsgrad von allen Profilen, wobei die Proben der Muddenfazies (10-21) sich deutlich von denen des oberen Profilabschnittes (1-9) unterscheiden. Die Böden vom Polder Criewen schließen sich in Richtung kleinerer Al_2O_3- und TiO_2-Gehalte ohne größere Variationen mit der Tiefe an. Den heterogensten Eindruck macht auch hier, wie schon bei den granulometrischen Daten, der Auenboden des Profils von Schwedt, der sich im Hangenden ähnlich Gatow/Criewen, im Liegenden allerdings ähnlich Stolpe verhält.

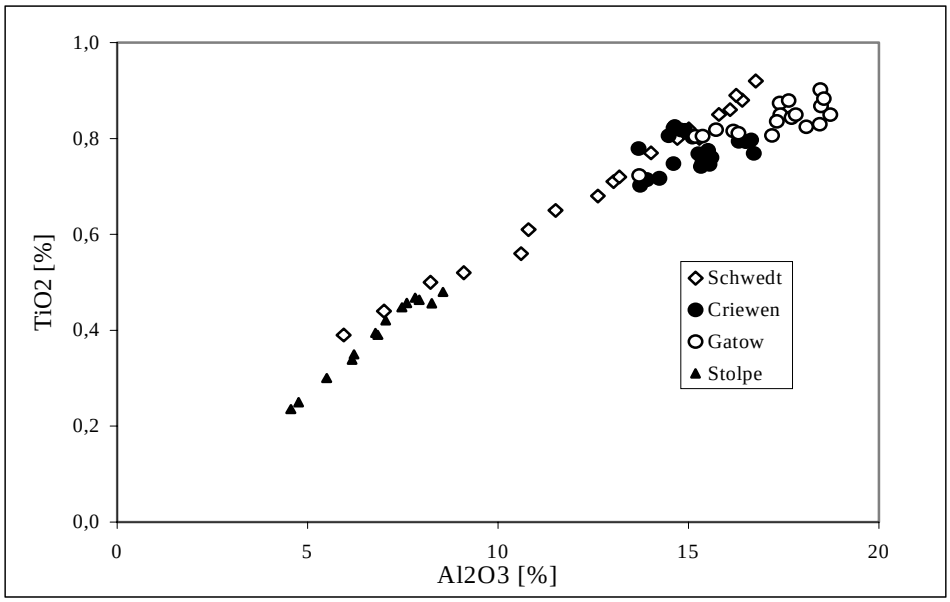


Abb. 29: Korrelation Al_2O_3 – TiO_2 in den Böden der Polder

Ebenso wie ein Zusammenhang zwischen Al_2O_3 und TiO_2 in sedimentären Gesteinen und Böden existiert, besteht eine, wenn in der Regel auch weniger strenge Beziehung zwischen Fe_2O_3 und TiO_2, weil das Eisen unter humiden Klimabedingungen wesentlich beweglicher als das Aluminium ist. Eisenverlagerungen im Vertikalprofil aber auch horizontaler Transport sind nicht selten schon optisch sichtbar. Für die Auenböden der Polder ist eine graphische Darstellung (Abb. 30) versucht worden. Als Bezugslinie wurde die sehr gut definierte Gerade der magmatischen Entwicklung (Magmatite als Ausgangspunkt der Verwitterung) eingezeichnet. Proben oberhalb dieser Gerade haben einen „Titanüberschuß“ infolge einer Eisenverarmung, Proben unterhalb dieser Gerade haben demnach einen Eisenüberschuß durch Eiseneinwanderung.

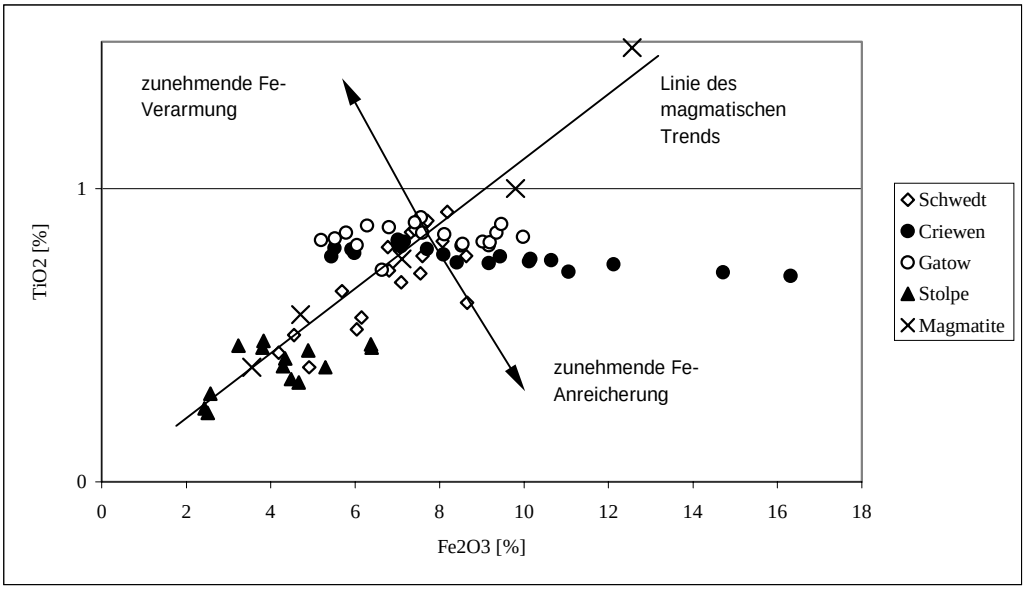


Abb. 30: Korrelation Fe_2O_3 – TiO_2 in den Böden der Polder

Für die Auenböden der Polder lassen sich drei Gruppen aushalten:

- Eine deutliche Eisenverarmung zeigen die Gatower Proben von 9 bis 13, welche das Stadium der Muddenfazies mit einem Übergang zur Normalfazies repräsentieren, wobei es dabei einen kritischen Redoxbereich für Eisen gibt, der dazu führt, daß das Eisen nicht mehr sulfidisch und noch nicht oxidisch fixiert ist. Zur Gruppe eisenverarmter Böden gehören auch die Criewener Proben 8 bis 10, die eine Tendenz zur Muddenfazies aufweisen.
- Die Klasse der Böden mit einer normalen Eisen-Titan-Korrelation umfaßt folgende Probenbereiche: Gatow 14-19, Criewen 1-7, Schwedt 8-20, Stolpe 1-5 und Stolpe 11-13. Diese Proben müßten einen Eisenverlust aufweisen oder als wenig verwittert gelten. Letzteres trifft aufgrund des Al_2O_3/SiO_2-Verhältnisses zu. Damit repräsentieren sie am ehesten ihr Ausgangsgestein, das etwa in dem Bereich der intermediären magmatischen Gesteine aber auch im Bereich des Durchschnittes der Eruptivgesteine liegt. Viele glazigene Bildungen liegen ebenfalls in diesem Spektrum.
- Die Gruppe der Proben mit deutlicher Eisenanreicherung bilden die Proben Gatow 4-8 und 20-22, Criewen 12-24, Schwedt 17-18 sowie Stolpe 7-10. Diese Proben zeigen auch mikroskopisch deutliche Verockerungen von Wurzelröhren, Verkrustungen von Tonaggregaten bis zu festen limonitischen Bildungen, die besonders im Bereich des Grundwasserspiegels (Criewen 15, 20, 24) zu beobachten sind. Verfolgt man die Gehalte an Fe_2O_3 und MnO entlang der einzelnen Vertikalprofile mit der Teufe, so fällt bei allen Naßpoldern (Gatow, Schwedt, Criewen) eine drastische Manganverarmung bei konstanten Eisengehalten auf, die in den Profilen Gatow und Criewen in Teufen zwischen 50 und 60 cm, in Schwedt bei etwa 85 cm ihr Maximum erreicht. Im Profil Schwedt herrscht eine sandige Ausbildung vor, womit eine bessere Wasserpassage erfolgt und der Austrag in größere Teufen ermöglicht wird. Der Manganverlust ist als Folge diagenetischer Prozesse anzusehen, die durch das Überflutungsregime besonders intensiv sind. Im Trockenpolder Stolpe beginnt im Gegensatz dazu eine Mangananreicherung parallel zur Eisenanreicherung von der Oberfläche an mit zunehmender Teufe. Für nennenswerte diagenetische Prozesse fehlt hier die notwendige Menge an organischer Substanz und eine hinreichend geringe Durchlässigkeit.

Glühverlust (GV), Kohlenstoff- (C), Stickstoff- (N) und Schwefel- (S) Gehalte

Die Größe des Glühverlustes wird in den hier untersuchten Proben der Auenböden wie allgemein bei Sedimenten und Böden durch den Gehalt an organischer Substanz bestimmt Die meisten Proben haben einen GV von ca. 10 %, die sandigen von Stolpe < 5 % und die der Muddenfazies von Gatow bis > 50 %. Der Kohlenstoff liegt dabei in sehr unterschiedlichen Formen vor: Pflanzenfasern und -wurzeln, Holz, Chitin und Holzkohle. Der karbonatische Anteil ist offenbar so gering, daß er keinen nennenswerten Einfluß auf die Korrelation des Kohlenstoffs zum Stickstoff hat. Während der GV als unscharfer Summenparameter nur Anhaltspunkte über den mengenmäßigen Anteil an organischer Substanz vermittelt, lassen sich mit den Gehalten an C, N und S exaktere Vorstellungen zur Menge, zur Art und zum Veränderungsgrad der organischen Materie ableiten. Der Gehalt an organischer Substanz wird häufig durch die Umrechnung des C_{org} mit Faktoren in Abhängigkeit vom Bildungsmilieu zwischen 1,86-1,95, in der landwirtschaftlichen Praxis für Böden mit 2,0 ermittelt. Die Profile Gatow und Criewen unterscheiden sich hinsichtlich der C-, N- und S-Gehalte (Tab. 51).

Tab 51: Analysenwerte für C, N, S für die Profile Gatow und Criewen, die Probenummern sind nach zunehmender Teufe geordnet [%]

Gatow	**C**	**N**	**S**	**Criewen**	**C**	**N**	**S**
1	17,60	1,57	0,349	1	8,38	0,810	0,132
2	8,33	0,796	0,203	2	2,20	0,246	0,051
3	4,04	0,433	0,131	3	1,77	0,204	0,045
4	2,56	0,294	0,100	4	1,74	0,203	0,045
5	2,54	0,267	0,083	5	1,63	0,190	0,045
6	2,23	0,233	0,076	6	1,64	0,188	0,044
7	1,96	0,232	0,070	7	1,63	0,197	0,045
8	1,94	0,259	0,078	8	1,36	0,185	0,044
9	2,17	0,361	0,094	9	1,43	0,201	0,046
10	2,96	0,625	0,144	10	1,39	0,211	0,048
11	5,70	0,790	0,190	11	1,53	0,211	0,049
12	8,92	0,954	0,229	12	1,61	0,208	0,047
13	15,4	1,30	0,606	20	1,49	0,194	0,045
14	19,5	1,56	0,855	21	1,47	0,186	0,046
15	21,2	1,56	0,899	22	1,37	0,179	0,044
16	16,1	1,22	0,644	23	1,44	0,185	0,052
17	12,9	1,04	0,577	24	1,70	0,189	0,107
18	19,1	1,41	0,727	13	1,42	0,154	0,056
19	17,4	1,31	0,956	15	1,39	0,158	0,080
20	23,9	1,68	1,23	16	2,94	0,285	0,239
21	25,9	1,81	1,18	17	6,14	0,587	0,417
22	26,5	1,88	1,34	18	4,48	0,470	0,480

Erwartungsgemäß haben die oberflächennahen und an Pflanzenresten reichen Proben in beiden Profilen höhere C-Gehalte (Gatow bis 17,6 %, Criewen bis 8,4 %). Zunächst ungewöhnlich erschien der Wiederanstieg der C-Gehalte im Bereich des Grundwasserhorizontes, dort werden organische Säuren (Humus- und Fulvosäuren) vermutet. Der mittlere Profilbereich in Criewen hat C-Gehalte von etwa 1,5 % bei geringer Streuung der Einzelwerte. In Gatow wird ab Probe 10 (Teufe ca. 0,50 m) eine kontinuierliche Zunahme von C mit der Teufe beobachtet, die bei der Endteufe > 20 % erreicht. Zusammen mit anderen Befunden wird dieser Bereich als Muddenfazies angesehen. Aus dem C-Gehalt der oberflächennahen Proben zum mittleren Gehalt an C in größeren Teufen läßt sich der Konservierungsgrad der organischen Substanz errechnen. Er beträgt für Gatow etwa 11, für Criewen etwa 25 %. Beide Zahlen sind sicher zu hoch, da der Anteil an rezenter Pflanzenmasse (Fasern, Wurzeln) in den oberflächennahen Proben nicht hinreichend eliminiert werden konnte.

Für die Charakterisierung der organischen Substanz werden häufig die Verhältnisse C/N, H/C, O/C und seltener C/S berechnet. Während in der Literatur für Böden und Sedimente häufig C/N-Verhältnisse > 10 genannt werden, wurden für die Auenböden der Polder auffallend kleine Werte (< 10, oft < 5) berechnet. Dafür kann es unterschiedliche Gründe geben, die im biologischen Primärmaterial oder in einer epigenetischen Veränderung ihre Ursachen haben können. C/N-Verhältnis erniedrigend wirkt ein zunehmender Anteil an Eiweiß. In den Proben sprechen die in großen Mengen gefundenen Süßwasserschwammnadeln, Diatomeenschalen und zahlreichen Chitinreste (C/N $\leq$ 2) ebenso dafür wie der Inhalt der Sedimentfallen nach der Winterüberflutung, die Anfang Mai voller Daphnien, Wasserinsekten, Egel und selbst kleinen Fischen waren (C/N von Eiweiß ca. 2,9). Eine epigenetische Änderung wäre die Einwanderung von Nitrat durch mineralische Düngemittel oder mit dem Überflutungswasser. Da die Korrelation des N zum C_{org} aber sehr gut und positiv ist, wird auf einen dominierenden organischen N-Anteil geschlossen. Im Profil Gatow zeichnen sich für die Muddenfazies höhere C/N-Verhältnissen (> 12) ab. Die Ursache liegt hier wohl eher in dem höheren Anteil pflanzlicher Biomasse als an denkbaren Denitrifikationsprozessen, die für Überflutungsgebiete nachgewiesen wurden. Schon in der Feldaufnahme für diese Proben wurde vermerkt: „Holz, gelbbraune Pflanzenfasern“. Wahrscheinlich ist - und Beobachtungen aus Bohrungen in diesem Raum sprechen dafür - daß sich die Mudde im Hangenden eines Torflagers entwikkelte. Denitrifikationsprozesse sollen dabei nicht ausgeschlossen werden, sie finden offenbar während jeder Überflutung statt, denn auch die oberflächennahen Proben lassen sich eher der Geraden für die Muddenfazies zuordnen als zur „Normalentwicklung“. Wollte man aber die höheren C/N-Verhältnisse allein der Denitrifikation zuschreiben, müßten Raten von 20 % erreicht werden.

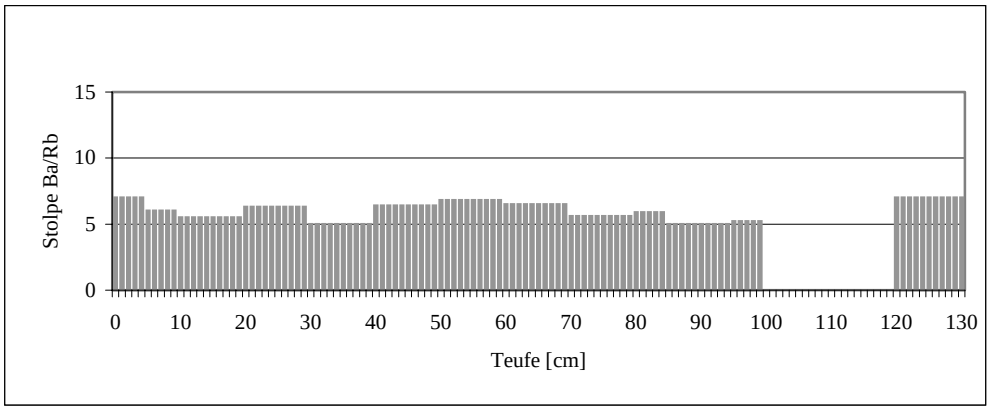
Schwefel ist wohl fast ausschließlich, wie auch der Stickstoff, organisch gebunden. Hohe Gehalte an C entsprechen generell hohen S-Anteilen, wobei die C/S-Verhältnisse in Abhängigkeit vom Anteil der Fauna unterschiedlich sein können. S ist jeweils in den unteren Profilbereichen gegenüber N relativ angereichert, eventuell als Folge häufiger anaerober Verhältnisse. Für S ist hier bereits mit einer sulfidischen Bindung zu rechnen.

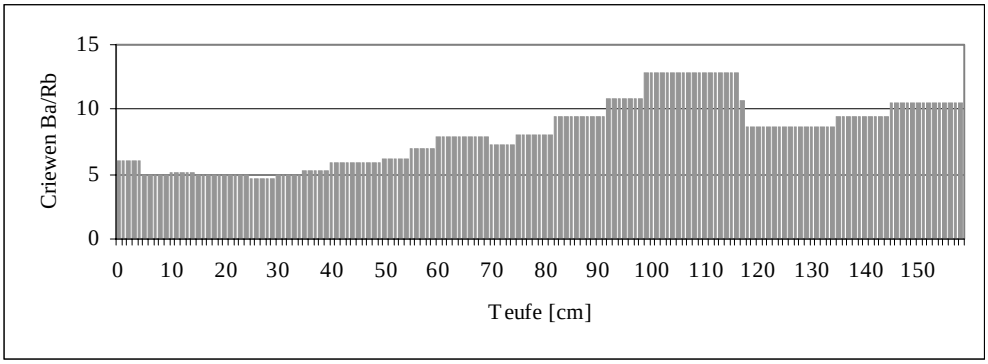
Lithophile Spurenelemente

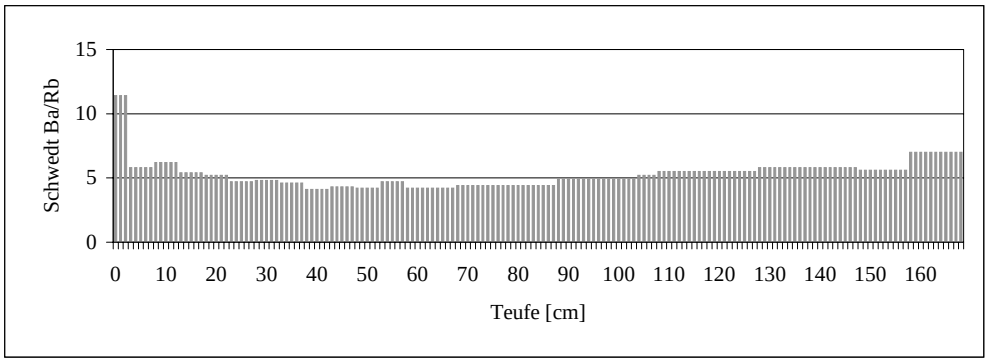
Lithophile Spurenelemente sind – im Gegensatz zu umweltrelevanten - für die Ziele des IOP (Beurteilung von Kontaminationen) von untergeordneter Bedeutung. Dennoch eignen sie sich besonders für den Vergleich der Polder untereinander, da sie durch den Wechsel von milieubedingten Parametern kaum beeinflußt werden.

Am Beispiel des Ba/Rb-Verhältnisses kann so eine Zyklizität in den Einzelprofilen erkannt werden (Abb. 31). In den Naßpoldern sind mindestens zwei Zyklen zu unterscheiden, die sich von der Erdoberfläche beginnend (einschließlich des Überflutungssedimentes aus den Sedimentfallen) durch eine starke Abnahme des Ba/Rb-Verhältnisses etwa bis zu einer Teufe von 30-50 cm charakterisieren lassen und dann bis zu Teufen von etwa 120 cm durch eine kontinuierliche Zunahme. Die Ursachen dafür sind zunächst unbekannt, ein Wechsel in den Erosionsgebieten ist aber wahrscheinlich, da keine sonstigen Beziehungen zum Al_2O_3/SiO_2-Verhältnis, zur Korngrößenverteilung oder zum GV bestehen. Am deutlichsten ist der Zyklus an den Profilen Criewen und Gatow zu beobachten. Im Trockenpolder Stolpe tritt die Veränderung im Verhältnis nicht auf, in Schwedt ist die erneute Zunahme weniger stark ausgeprägt.

Die Auenböden folgen streng dem allgemeinen Trend für globale Sedimentgesteine, wobei sich die erkennbaren Unterschiede zwischen den Orten auf Korngrößensortierungsprozesse zurückführen lassen. So zeigen die Proben von Criewen bei geringsten Zr-Gehalten auch die kleinste mittlere Korngröße bei hohem Sortierungsgrad (nach TRASK, 1932). Höhere Gehalte an Hf und Zr haben die sandigen Proben von Stolpe und Schwedt. Widersprüchlich und nicht erklärbar sind die hohen Hf- und Zr-Konzentrationen bei höchsten Al_2O_3/SiO_2-Verhältnissen vom unteren Profil in Gatow - ein Bild, das nicht zur Tonmineralführung und zur Muddenfazies paßt.







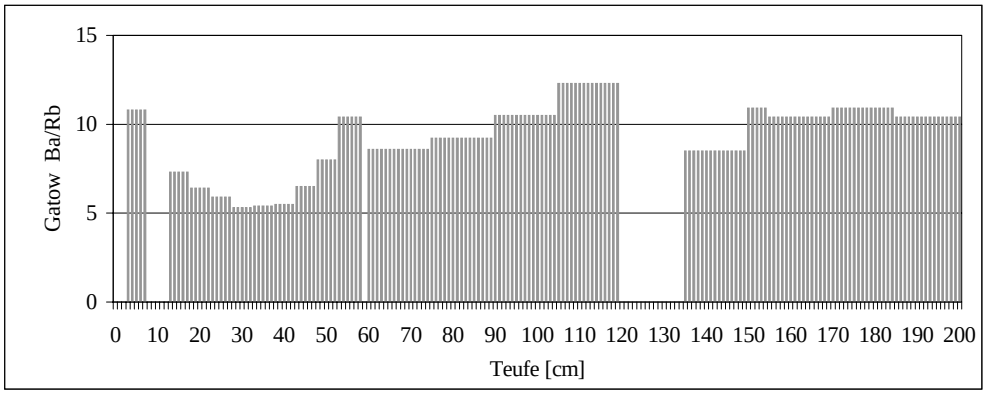


Abb. 31: Abhängigkeit des Verhältnisses Ba/Rb von der Teufe (bei Gatow und Criewen läßt sich eine Zyklizität erkennen)

Eine weitere Kontrolle erfolgte mit den auf die Sc-normierten Gehalte der Elemente Th und Zr, wie sie MC LENNAN u.a. (1983) für die Bewertung von Sandsteinen benutzten (Abb. 32). Hier zeigen sich ebenfalls eindeutige Unterschiede zwischen den Standorten Criewen, Schwedt und Gatow, wobei die wenigen Meßwerte oberhalb der Nachweisgrenze für Stolpe in den Bereich der Schwedter Proben fallen.

Die Abb. 32 gestattet weitergehend folgende Aussagen:

- Die Position der Proben aus dem Polder Schwedt (und Stolpe) läßt sich wahrscheinlich auf eine Lößbeeinflussung im Erosionsgebiet zurückführen oder auch auf ein Erosionsgebiet mit Primärsedimenten saurer Gesteine.
- Die niedrigeren Th/Sc-Verhältnisse für die Proben aus Gatow werden eventuell durch einen erhöhten Anteil an erodiertem Geschiebelehm verursacht, der über die Welse vom westlichen Hochland vor dem Bau der HFW eingespült wurde.

Somit ergibt sich, daß es mit Hilfe ausgewählter und miteinander kombinierter lithophiler Spurenelemente für die hier untersuchten Proben möglich ist, sowohl den Einfluß unterschiedlicher Erosionsgebiete als auch den der Korngrößensortierung auf die Zusammensetzung der Proben zu ermitteln.

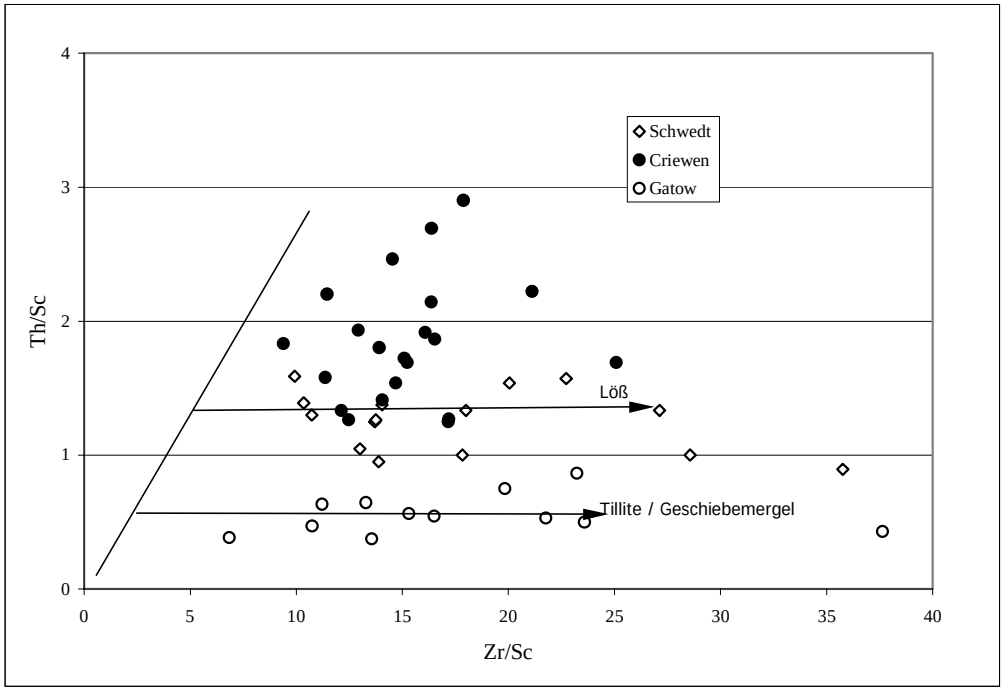


Abb. 32: Korrelation Th/Sc - Zr/Sc in den Böden der Polder

Umweltrelevante Spurenelemente

Umweltrelevante Elemente zeichnen sich durch eine hohe Toxizität und durch eine hohe Mobilität unter den natürlichen Bedingungen an der Erdoberfläche aus. Insbesondere zählen dazu die Spurenelemente, die in der Klärschlammverordnung zusammengefaßt sind: As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb und Zn. Die Bestimmung der Konzentrationen dieser Elemente in festen Phasen (Boden, Schlamm, Sediment) erfolgt in neuerer Zeit in den meisten Fällen aus KW-Auszügen. Damit entsprechen diese Konzentrationen nicht den Totalgehalten. In dieser Arbeit konnten sowohl die Totalgehalte (mit RFA) als auch die aus königswasserlöslichen Anteile (Anlage 6-3) ermittelt werden. Für einige Elemente existiert dabei in den oben genannten Probenarten kaum ein Unterschied (Abb. 33). Hier sollen nur die Werte der KW-Auszüge diskutiert werden.

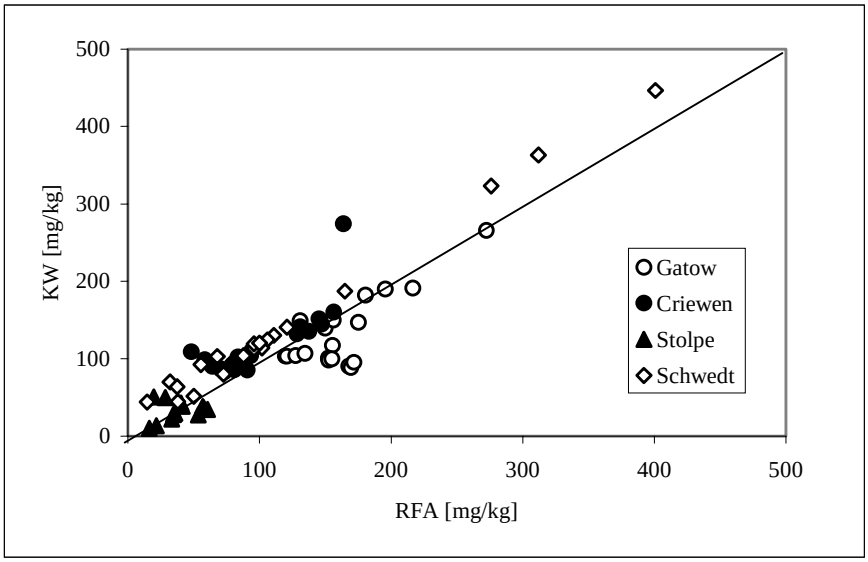


Abb. 33: Vergleich der Totalgehalte (RFA) mit den KW-löslichen Gehalten für das Element Zink

Die umweltrelevanten Spurenelemente zeichnen sich in Böden und Sedimenten durch mehrere parallel vorkommende Bindungsformen aus. Die Bewertung der Elementkonzentrationen und die Vergleichbarkeit unterschiedlicher Standorte ist daher besonders in stofflich heterogen zusammengesetzten Gebieten und Schichtenfolgen problematisch. Deshalb benutzt man häufig die Relation der Konzentration eines Elementes zum Hauptbindungspotential wie z.B. in tonigen Gesteinen zum Al als Äquivalent für Tonminerale oder das Fe für die Beurteilung von As-Konzentrationen im exogenen Bereich.

In den horizontal und vertikal substantiell stark wechselnden Auenböden der Polder mit großen Unterschieden in den Anteilen an Tonmineralen, organischer Substanz und hydroxidisch gebundenem Fe erscheint der Bezug zum GV am sinnvollsten. Die Abb. 34 zeigt als ausgewähltes Beispiel die Änderung des Verhältnisses Zn/GV mit der Tiefe (Gatow). Alle Naßpolder lassen dabei den gleichen Trend für Zn mit einem Maximum in einer Tiefe von 5-15 cm,

einer kontinuierlichen Abnahme bis etwa 70 – 90 cm und dann mit gleichbleibend niederen Verhältnissen erkennen. Ein ebensolches Verhalten kann für das Verhältnis Pb/GV festgestellt werden. Die Rückläufigkeit beider Verhältnisse zwischen etwa 10 bis 0 cm Teufe kann bis in die Überflutungssedimente der Naßpolder verfolgt werden und könnte das Ergebnis einer Verdünnung durch die in großen Mengen vorhandene noch nicht humifizierte organische Substanz sein oder aber die Folge von Mobilisierungsprozessen durch das Überflutungswasser.

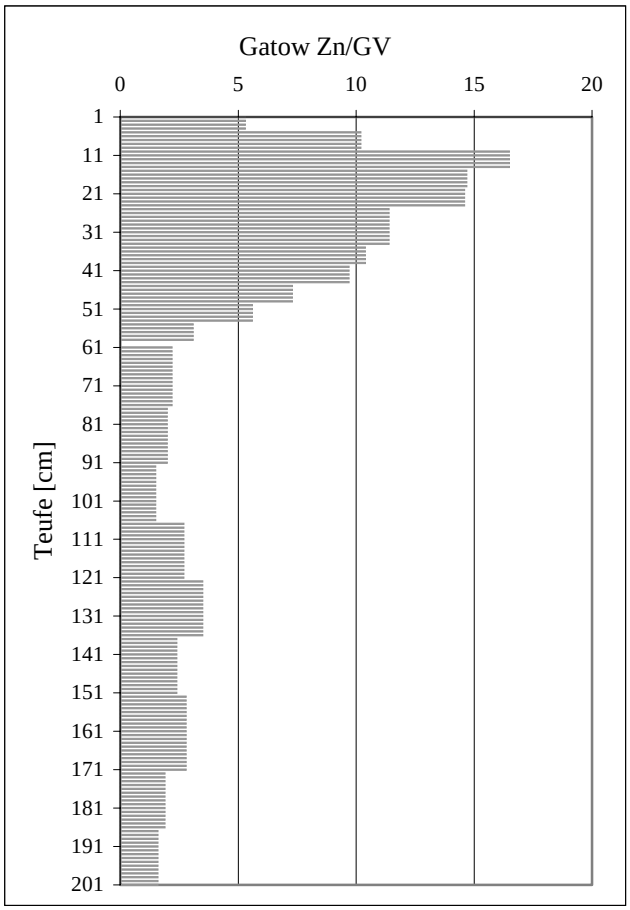


Abb. 34: Das Zn/GV-Verhältnis in Abhängigkeit von der Teufe im Profil Gatow

Die Zn-Konzentration korreliert streng positiv mit dem GV, solange die folgenden Verhältnisse eingehalten werden: GV : Al : Fe = ≤ 4 : 1 : <1 bis >2. Dabei kann offenbar ein höheres GV/Al-Verhältnis ausgeglichen werden. Übersteigt der GV-Anteil dieses Verhältnis, wirkt die organische Substanz „verdünnend“ auf den Zn-Gehalt. Das ist in allen Polderprofilen für die Proben 1-3 der Fall und im besonderen Maße für die Muddenproben von Gatow mit GV bis zu >50 %.

Die entsprechenden Profile aus dem Trockenpolder Stolpe lassen solche gerichteten Änderungen der Verhältnisse nicht erkennen, sie bleiben im wesentlichen über das gesamte Profil konstant. Die hohen Zn/GV-Verhältnisse in den untersten beiden Proben vom Profil Stolpe sind das Ergebnis von Grundwasserbewegungen in diesem Horizont - eine Beobachtung, die bei vielen Auenbodenprofilen gemacht werden kann.

Verläßliche Zeitmarken in den Bodenprofilen könnten eine Interpretation dieser Kurvenverläufe wesentlich vereinfachen. Aus der Sicht der Geochemie fällt auf, daß die beobachteten Trends nur für die Elemente Cd, Pb und Zn gelten, nicht aber für As und Cu und auch nicht für die berechneten Elementverhältnisse lithophiler Elemente wie Al_2O_3/SiO_2, Rb/K, Th/Ti, Zr/Hf und Zr/Sc. Damit besteht der Verdacht einer anthropogenen Beeinflussung im Bereich der Naßpolder bis zu einer Teufe von 70 cm.

Da der Polder von Stolpe noch nicht von diesen anomalen Verhältnissen betroffen ist und nach seiner weitgehend natürlichen Verlandung in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts ab etwa 1860 durch Deiche vor weiteren Überflutungen geschützt war, könnte die Erhöhung dieser Verhältnisse in den Naßpoldern in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts begonnen haben und wohl bis in die Gegenwart anhalten, wobei im Raum Schwedt das Maximum erreicht wird.

Elementverhältnisse

Elementverhältnisse können indikativ für Unterschiede in den Herkunftsgebieten, im Transport und in den Bindungsformen sein. Dafür werden Elementpaare kombiniert, die einen ähnlichen oder unterschiedlichen geochemischen Charakter haben. Für die untersuchten Auenböden wurden folgende Verhältnisse berechnet: Zn/Cd, Zn/Pb, Pb/Cd und Zn/Cu.

Das Verhältnis **Zn/Cd** zeigt für die Standorte Gatow und Schwedt einen auffallend gleichen Verlauf mit einer starken Zunahme bis zu einer Teufe von etwa 45 cm (bis 500), d.h. daß im obersten Profilabschnitt bis in die Gegenwart relativ mehr Zn als Cd fixiert wird. Unterhalb von 45 cm verläuft das Verhältnis relativ konstant (bei 200) mit der Tendenz einer leichten Zunahme ab 130 cm bis zur Endteufe in Gatow (Abb. 35). In Criewen läßt sich das Ansteigen des Verhältnisses ebenfalls bis 45 cm verfolgen, wobei die dann auftretenden hohen und extremen Verhältnisse auf die sehr niedrigen und zum teil unter der Nachweisgrenze liegenden Cd-Konzentrationen zurückzuführen sind. Das Profil Stolpe zeigt nahezu konstante Verhältnisse mit der Teufe, allerdings auch mit einer relativen Zn-Zunahme im oberflächennahen Bereich.

Die Elemente Zn und Pb werden wohl meistens unter gleichen geochemischen Bedingungen in ähnlicher Weise transportiert, wenn auch das Pb eher und intensiver Sorptionsprozessen unterliegt. In den Polderböden beträgt das Verhältnis **Zn/Pb** meistens < 5, wobei auffällt, daß in Gatow das Verhältnis von 2 an der Oberfläche bis auf 9 in 120 cm Tiefe ansteigt, ein Hinweis für einen größer werdenden Zn-Eintrag im Verhältnis zum Pb bis in die Gegenwart. In Schwedt bleibt das Verhältnis etwa konstant zwischen 3 und 4 und in Criewen besteht der umgekehrte Trend wie in Gatow, das Zn/Pb-Verhältnis nimmt hier von der Erdoberfläche (Zn/Pb = 5) bis in eine Teufe von 70 cm auf 2,5 ab.

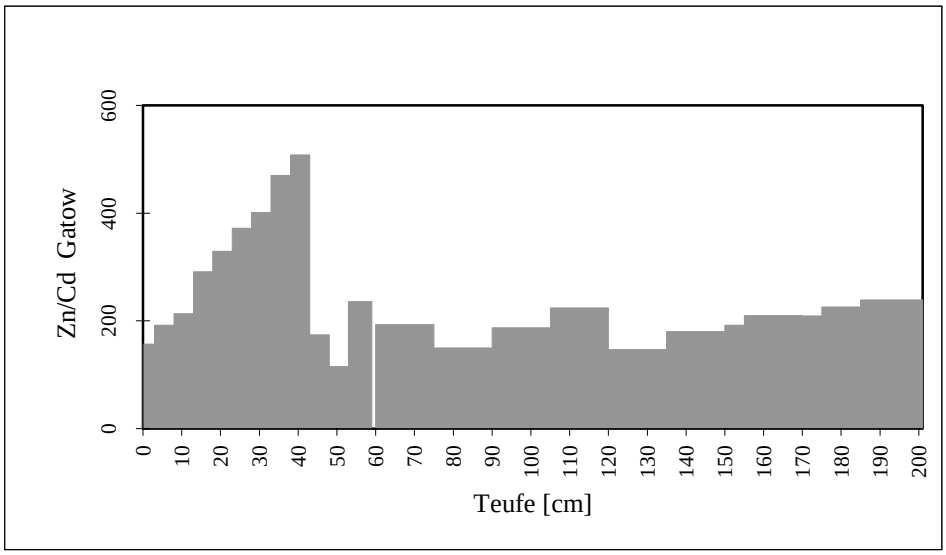


Abb. 35: Verhältnis von Zn/Cd in Abhängigkeit von der Teufe im Polder Gatow

Das Verhältnis **Pb/Cd** zeigt für alle Standorte einen vergleichbaren Verlauf mit Werten > 60 bis zu einer Teufe von ca. 45 cm. Während diese Werte für die Profile Schwedt und Stolpe bis zur Endteufe beibehalten werden, ändern sie sich für Gatow durch die Verringerung auf ≤ 35 durch kleinere Pb-Gehalte und erhöhen sich in Criewen auf > 400 durch geringe Cd-Gehalte. Eine Erklärung kann dafür noch nicht gegeben werden.

Das Verhältnis **Zn/Cu** wird fast ausschließlich durch das Zn bestimmt, da das Cu überwiegend gleichbleibend niedrige Gehalte aufweist. Extrem niedrige Verhältnisse in den Profilen von Schwedt, Gatow und Criewen lassen sich auf eingeschwemmte, mikroskopisch sehr gut erkennbare Kupfer-Drahtstücke zurückführen, die in den schematischen Profilaufnahmen (Anlage 6-1) vermerkt wurden.

Geogene Hintergrundwerte und ökotoxikologische Bewertung

Die Bewertung der Böden in den Poldergebieten kann unter dem Aspekt der Berechnung eines Kontaminationsgrades vorgenommen werden - dafür ist die Kenntnis der regionalen Hintergrundwerte für die einzelnen Elemente Vorraussetzung. Unter dem Gesichtspunkt der Landnutzung ist der Vergleich mit offiziellen Grenzwerttabellen erforderlich. Beides soll hier für die umweltrelevanten Elemente erfolgen.

Die Bestimmung dieser Hintergrundwerte ist nicht unproblematisch, da es nichtkontaminierte Standorte an der Erdoberfläche wohl kaum noch gibt. In der Literatur benutzt man häufig altersmäßig datierte Sedimentkerne, Moorprofile, Paläoböden und auch Eiskerne. In Mitteleuropa geht man in der Regel davon aus, daß die Referenzgebiete mindestens das Alter der vorindustriellen Ära haben, also älter als ca. 150 Jahre sind. In speziellen, kleinräumigen Gebieten wie altbesiedelte Flußauen, vor allem aber in alten Bergbaugebieten, reicht dieses Alter oft nicht aus und man muß dort bis auf 1000 Jahre zurückgehen.

In den Poldern wurden Vertikalprofile bis zu etwa 150 cm Tiefe beprobt, zunächst ohne zu wissen, welche Alter man in den untersten Proben erreicht. Hinzu kommt, daß die Profile an einem derart „verwilderten Fluß“, wie die Oder es ist, nicht ungestört sein müssen. Umlagerungen durch (natürliche und künstliche) Flußlaufverlegungen und Hochwassersituationen sind nicht auszuschließen. Geht man von ungestörter Lagerung aus und nimmt man bei dem Sedimentationsintervall von 2-4 m in den Auen seit Beginn des Holozäns die 4 m als größte Variante an, so kommt man auf eine durchschnittliche Sedimentationsrate von etwa 0,4 mm/a, das würde bei etwa 150 cm Profillänge einen Zeitraum von etwa 3750 a umfassen. Auf ähnliche Größen gelangt man auch auf anderen Wegen, z.B. mit der Menge des jährlichen Überflutungssediments als Berechnungsgrundlage. Damit werden die hier untersuchten Profile für die Berechnung geogener Hintergrundwerte als ausreichend tief angesehen. Für die Berechnung wurden alle Proben einbezogen, die vom Liegenden bis zum Hangenden bei vergleichbarer Lithologie etwa gleichbleibende, d.h. sich nicht gerichtet ändernde Gehalte aufwiesen. Proben mit einer tendenziellen Änderung der Konzentration in Richtung Erdoberfläche wurden als kontaminiert betrachtet und nicht berücksichtigt. Aus den geogenen Hintergrundwerten der Einzelprofile erfolgte die Berechnung der vorläufigen Hintergrundwerte für die Polder der unteren Oder (Tab. 52).

Tab. 52: Geogene Hintergrundwerte für die Polder an der unteren Oder für die Korngrößenfraktionen <2000 µm und <20 µm (KW-Auszug einschließlich GV) und der Durchschnittsgehalt der oberen Erdkruste nach WEDEPOHL (1995), Angaben in [mg/kg], für Al und Fe in [%]

	Al	**As**	**Cd**	**Co**	**Cr**	**Cu**	**Fe**	**Mn**	**Ni**	**Pb**	**Zn**
<2.000 µm	2,78	10,0	0,14	22	4,1	22	3,42	806	20	17	63
<20 µm	3,44	12,5	0,20	21	54	31	4,62	978	40	35	120
Obere Erdkruste	7,74	2,0	0,10	12	35	14	3,09	527	19	17	52

Werden nun die einzelnen Standorte auf die Hintergrundwerte normiert, so ergeben sich die Kontaminationsgrade einzelner Elemente für die oberste Bodenprobe (Tab. 53). Damit wird erkennbar, daß die Problemelemente hinsichtlich der Kontamination in den Poldern im Raum Schwedt die Elemente Cd, Pb, Zn und zum Teil As sind. Es zeigt sich ebenso, daß im Raum Schwedt der größte Fremdeintrag erfolgt, der sich nach N hin über Gatow hinaus erstreckt und daß der Raum südlich von Schwedt als geringer kontaminiert einzustufen ist. Die Belastung wird noch eindeutiger, wenn auch die Korngröße <2000 µm betrachtet wird. Cd ist das Element mit der höchsten Kontamination (nur in den Naßpoldern), für Stolpe ist - wie auch für alle anderen Elemente – keine gravierende Belastung zu verzeichnen, aber im Trockenpolder fällt auch der Eintrag durch das Überflutungswasser aus. In Schwedt überlagern sich Einträge des Wassers mit Einträgen aus der Luft (siehe Kapitel 5.2.5 Staubsedimentation).

Tab. 53: Kontaminationsfaktoren für die ersten Bodenproben im Vergleich zu den regionalen geogenen Hintergrundwerten, Kontaminationsgrade > 4 in Fettdruck

	As	**Cd**	**Co**	**Cr**	**Cu**	**Mn**	**Ni**	**Pb**	**Zn**
< 20 µm									
Gatow (1) 0-3 cm	1,3	**6,9**	0,8	1,4	1,5	0,4	1,0	3,2	2,5
Schwedt (1) 0-3 cm	2,6	**14,9**	1,2	1,3	2,3	1,3	1,3	**5,3**	**4,3**
Criewen (1) 0-5 cm	1,3	**4,7**	1,4	1,2	1,3	1,6	1,3	1,9	2,4
Stolpe (1) 0-5 cm	0,5	1,7	1,1	0,7	0,6	0,4	0,6	1,0	1,1
< 2.000 µm									
Gatow (1) 0-3 cm	2,3	**9,1**	0,3	1,5	2,2	0,7	1,6	**5,2**	3,2
Schwedt (1) 0-3 cm	3,6	**18**	0,6	1,4	2,7	1,7	2,1	**7,9**	**6,3**
Criewen (1) 0-5 cm	1,5	**4,6**	0,5	1,1	1,3	1,8	1,5	2,6	3,4
Stolpe (1) 0-5 cm	0,5	1,3	0,2	0,6	0,6	0,4	0,6	1,2	0,5

Tab. 54 gibt die Bewertung unterschiedlicher Teufenbereiche nach der Güteklassifizierung vom LAWA-AK wieder. Damit wird deutlich, daß für Cd mit zunehmender Teufe die Belastung abnimmt (Gatow) bzw. keine Belastung mehr vorliegt (Schwedt, Criewen, Stolpe). Für andere Elemente dagegen besteht auch in größerer Teufe noch eine deutliche bis erhöhte Belastung (Pb und Zn in Gatow).

Tab. 54: Güteklassifizierung einzelner Bodenproben der Fraktion <20 µm (KW-Aufschluß einschließlich GV) unterschiedlicher Teufe nach Vorgaben der LAWA (1998), Schutzgut Schwebstoffe/Sedimente bzw. für Arsen nach Zielvorgaben der IKSE (1998)

	Probennr. und Teufenbereich	**As**	**Cd**	**Zn**	**Pb**	**Cr**	**Cu**	**Ni**
Gatow	(1) 0-3 cm		II – III	II - III	II - III	I	II	II
	(5) 18-23 cm		I – II	II	I - II	I	I – II	II
	(7) 28-33 cm		I – II	I - II	I	I	I – II	II
	(16) 120-135 cm		II	II - III	I - II	I	II	II
	(17) 135-150 cm		II	II - III	III	I	I - II	II
Schwedt	(1) 0-3 cm		III	III	II – III	I	II - III	II - III
	(20) 58-68 cm		I	I – II	I – II	I	I - II	II
	(13) 68-88 cm		I – II	I – II	II	I	I - II	II
	(15) 104-108 cm		I	II	I – II	I	II – III *	I
	(16) 108-128 cm		I	I	I	I	II – III *	I
Criewen	(1) 0-5 cm		II	II - III	II	I	II	II - III
	(2) 5-10 cm		I - II	II	II	I	I – II	II
	(10) 45-50 cm		I	I – II	I – II	I	I – II	II
	(23) 75-82 cm		I	I – II	I – II	I	I – II	II
	(24) 82-99 cm		I	I – II	I – II	I	II	II
Stolpe	(1) 0-5 cm		I – II	I – II	I – II	I	I	I
	(6) 40-50 cm		I	I	I	I	I – II	I – II
	(7) 50-60 cm		I	I	I	I	I – II	I – II
	(8) 60-70 cm		I	I	I – II	I	I – II	I – II
	(9) 70-80 cm		I	I	I	I	I	I

* die höheren Cu-Werte sind wahrscheinlich durch eingeschwemmte Cu-Drahtstücke verursacht worden (siehe dazu die schematische Profilaufnahme in Anlage 6-1)

Interessant ist ein Vergleich der Spurenelementgehalte der obersten Bodenproben der Polderprofile mit den obersten Bodenproben von Auenböden entlang von Oder und Neiße (KW-Analysen siehe Anlage 6-4), die zu Vergleichszwecken im Jahr 1998 entnommen worden sind (Tab. 55 und 56). In Relation zu der höher kontaminierten Probe von Schwedt zeigt dabei die nördlicher gelegene Probe von Friedrichsthal ein deutliches Abklingen der Belastungen (Tab. 55). Vermutet wird aber, daß weiter flußabwärts mit nennenswerten Einträgen an Zn und Pb durch das Industriegebiet und die Hafenwirtschaft von Stettin zu rechnen ist, da der Geochemische Atlas von Polen (PANSTWOWY INSTYTUT GEOLOGICZNY, 1995) anormal hohe Metallgehalte in den Böden dieser Region angibt. Die flußaufwärts gelegenen Proben bis Küstrin dagegen zeigen noch etwas stärkere Anreicherungen für As, Cd, Cr, Cu, Mn und Zn. Die Warthe-Probe ist ebenfalls noch geringfügig höher mit Cd belastet als die Probe Schwedt. Für die anderen Elemente liegen weitaus geringere Kontaminationsgrade vor. In den beiden Ratzdorfer Proben läßt sich ein deutlicher Unterschied feststellen. Der Auenboden an der Neiße ist stärker belastet als der nach dem Zusammenfluß von Neiße und Oder an der Oder entnommene. Die Neiße wird also – wie sich auch an der Zittauer Probe nachweisen läßt – verstärkt Cd mit sich führen. Die Probe von Ratzdorf-Oder weist mit Abstand die geringsten Belastungen

bei allen Elementen auf. Beim Vergleich der Auenböden mit dem wenig belasteten Standort Stolpe (Tab. 56) erhöhen sich die bestehenden Kontaminationen. Der Verdacht einer ebenfalls bestehenden As-Belastung verstärkt sich hierbei für die drei Neiße-Proben sowie auch einer Pb-Belastung im Bereich Küstrin-Hohensaaten.

Tab. 55: Vergleich der Spurenelementgehalte der obersten Auenbodenproben der Fraktion <20 µm (0-3 cm bzw. Ratzdorf 0-5 cm) entlang von Oder und Neiße mit der obersten Bodenprobe des am stärksten kontaminierten Standorts der Polder: **Schwedt** (0-3 cm), Angabe der Faktoren, Werte > 1 in Fettdruck

Orte von N nach S		**As**	**Cd**	**Co**	**Cr**	**Cu**	**Mn**	**Ni**	**Pb**	**Zn**
	Oder/Friedrichsthal	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6	0,9	0,2	0,2	0,3
	Oder/Schwedt	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**
	Oder/Hohensaaten	**1,1**	**1,4**	0,7	0,9	**1,3**	**2,4**	0,7	0,7	**1,3**
	Güstebieser Loose	**1,4**	**1,3**	0,7	**1,3**	**1,5**	**1,1**	0,7	0,9	1,0
	Oder/Küstrin	**1,2**	**1,2**	0,7	**1,2**	**1,3**	**1,2**	0,6	0,8	**1,3**
	Warta (OT32WA)	0,03	**1,3**	0,05	0,1	0,04	0,09	<0,2	<0,03	0,7
	Oder/Ratzdorf	0,06	0,05	0,1	0,2	0,06	0,07	<0,2	0,05	0,07
	Neiße/Ratzdorf	0,5	**1,05**	**1,06**	**1,1**	0,6	0,8	0,9	0,4	0,8
	Neiße/Bad Muskau	0,3	0,3	0,6	0,8	0,5	0,3	0,5	0,2	0,3
	Neiße/Zittau	0,7	**1,4**	0,5	0,9	1,7	0,4	0,7	0,7	0,7

Tab. 56: Vergleich der Spurenelementgehalte der obersten Auenbodenproben der Fraktion <20 µm (0-3 cm bzw. Ratzdorf 0-5 cm) entlang von Oder und Neiße mit der obersten Bodenprobe des am geringsten kontaminierten Standorts der Polder: **Stolpe** (0-5 cm), angegeben sind die Faktoren, Werte > 5 in Fettdruck

Orte von N nach S		**As**	**Cd**	**Co**	**Cr**	**Cu**	**Mn**	**Ni**	**Pb**	**Zn**
	Friedrichsthal	1,1	1,9	0,2	0,4	1	2,7	0,5	1,2	1,3
	Stolpe	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**
	Hohensaaten	**5,7**	**12,2**	0,7	1,7	1,3	0,9	1,5	3,6	**5,1**
	Güstebieser Loose	**7,1**	**11,9**	0,7	2,4	**5,5**	3,3	1,4	**5,0**	4,0
	Oder/Küstrin	**6,0**	**12,2**	0,7	2,2	4,9	3,8	1,4	4,1	4,9
	Warta (OT32WA)	0,1	**11,9**	0,05	0,2	0,2	0,3	<0,4	<0,1	0,2
	Oder/Ratzdorf	0,3	0,4	0,1	0,3	0,2	0,5	<0,4	0,3	0,3
	Neiße/Ratzdorf	2,6	**9,5**	0,6	2,1	3,5	2,7	1,9	1,3	3,1
	Neiße/Bad Muskau	1,8	2,9	0,6	1,5	2,0	0,9	1,0	1,2	1,3
	Neiße/Zittau	3,6	**12,2**	0,5	1,7	3,2	1,3	1,5	3,8	2,6

5.2.2 Die jährlichen Überflutungssedimente (ÜS)

Sedimenteinträge in die Polder

Nach Kenntnis des saisonalen Flutungsregimes der Naßpolder entstand sofort die Frage nach der zeitdefinierten Menge und der Zusammensetzung des damit verbundenen Materialeintrags. Aus diesem Grunde wurden unmittelbar vor der Flutung (zweite Novemberhälfte) im Zeitraum von 1996 bis 2000 in den Poldern bei Gatow, Schwedt und Criewen jeweils 2 Sedimentfallen (Fotoschalen 47 x 57 cm) bündig mit der Rasenkante eingesenkt und mit Erdspießen fixiert. Am jeweiligen Standort betrug der Abstand beider Fallen etwa 75 bis 120 m. Das Einholen der Sedimentfallen erfolgte nach weitgehendem Trockenfallen der Polder Anfang Mai. Von der Verwendung aufgenagelter Kunststoffußmatten als Sedimentfallen, wie sie durch KRÜGER. u.a. [1998] für eine gleiche Zielstellung an der Unterelbe zum Einsatz kamen, wurde wegen des befürchteten Materialverlustes beim Trockenfallen durch abfließendes Wasser aber mehr noch durch Niederschlagaus- und abwaschungen Abstand genommen. Bei natürlichem Rasen und von Betonplatten der Behelfswege konnte eine derartige erhebliche Substanzverlagerung beobachtet werden.

Die aufgefangenen Sedimentmengen differieren zwischen den Standorten und am gleichen Standort zwischen den beiden Sedimentfallen erheblich. Die Ursachen dafür sind hauptsächlich folgende:

- Unterschiedliche Strömungsgeschwindigkeiten in den Poldern bedingt durch die wechselnden Wasserstände in der Oder und durch die Unterschiede in den Wasserständen zwischen Oder und HFW.
- Die Position der Sedimentfallen zu den Hauptstromlinien in den Poldern, die durch Schilfbestände und Gebüsch maßgeblich beeinflußt werden.
- Abstand und Position zu den Einlaßbauwerken.

Insgesamt 2 Fallen mußten für die Mengenberechnung ausgeschlossen werden, da durch den Auskämmeffekt eines verfangenen blattreichen Strauches die Sedimentmenge anomal erhöht wurde und in einem anderen Fall hatten Wasservögel durch das Baden in diesem „Restwasser“ das Sediment weitgehend ausgetragen. Für alle Untersuchungen wurde die Korngröße < 2 mm benutzt, so daß gröbere Bestandteile (Blätter, Grashalme, Fischbrut, Egel, Schnecken, Insektenlarven u.ä.) nicht mit erfaßt wurden, wohl aber eine große Zahl von Kleintieren.

Tab.57: Sedimenteinträge (geometrischer Mittelwert) in die Polder durch die saisonalen Überflutungen im Zeitraum 1996 – 2000, Meßwerte von der Oderseite aus der Überflutung 1997/1998, von der Poldermitte aus der Überflutung 1998/1999, von der HFW-Seite aus den Überflutungen 1996/1997 und 1999/2000 [kg/ha]

Polder		**Ohne Glühverlust**	**Einschließlich Glühverlust**
Gesamter Polder	**Gatow**	1.275	2.350
	Schwedt	880	1.979
	Criewen	780	2.292
Oderseite der Polder	**Gatow**	4.637	8.639
	Schwedt	976	1.941
	Criewen	2.414	3.531
Mitte der Polder	**Gatow**	685	1.629
	Schwedt	372	1.218
	Criewen	549	1.211
HFW-Seite der Polder	**Gatow**	558	1.260
	Schwedt	569	2.771
	Criewen	1.064	2.125
∑ aller Polder	**Gatow**	2.219	3.898
	Schwedt	513	1.367
	Criewen	1.081	1.950

Die Sedimenteinträge bewegen sich im wesentlichen zwischen 1.000 – 3.000 kg/ha, wobei die Oderseite verständlicherweise die höheren Eintragsraten im Vergleich zur Poldermitte und zur HFW-Seite aufzuweisen hat. Der extreme Wert für den Polder Gatow auf der Oderseite hat seine Ursache in dem geringen Abstand zum Einlaßbauwerk (~ 250 m), wo das Wasser mit großer Geschwindigkeit in den Polder einschoß. Der leicht erhöhte Sedimentabsatz an der HFW-Seite läßt sich durch die Änderung der Strömungsrichtung des Wassers entlang des Deiches zur HFW erklären. Die Winterüberflutung 1996/97 ergab an jeder Position soviel Sediment, daß eine Korngrößenklassierung ohne Probenpräparation (keine Zerstörung der organischen Substanz und der Eisenhydroxidkonkretionen) versucht wurde.

Tab. 58: Korngrößenanteil der Überflutungssedimente der Überflutung 1996/97 (HFW-Seite) von nicht präparierten Proben (ohne H_2O_2- und Na-Dithionit-Behandlung) [%]

Fraktion	**2000 – 630 µm**	**630 – 200 µm**	**200 – 63 µm**	**63 – 20 µm**	**< 20 µm**
Gatow	1,5	7,2	23,0	17,2	51,1
Schwedt	1,3	16,5	22,1	20,5	39,6
Criewen	3,9	4,8	32,3	44,6	14,4

Hauptelemente der Überflutungssedimente (ÜS)

Die makrochemische Zusammensetzung der ÜS (Tab. 59) erbrachte erwartete und überraschende Ergebnisse. Bestätigt wurde ein hoher Glühverlust durch den sichtbaren organischen toten und lebenden Anteil. Unerwartet aber war der teilweise hohe Gehalt an Karbonat und Mangan sowie das niedrige Verhältnis von Al_2O_3/SiO_2. Leider ist die Aussagekraft dieses Verhältnisses durch eine biogene SiO_2-Produktion (Diatomeen, Schwammnadeln), die, wie eigene mikroskopische Befunde und Hinweise in der Literatur (Universität Greifswald) belegen, bis zu 10 % des gesamten SiO_2-Gehaltes ausmachen kann, eingeschränkt (Tab. 59). Die Gehalte an P_2O_5 übersteigen mehrfach 2 % und sind Ausdruck einer hohen organischen Belastung. Der deutlich niedrigere mittlere Glühverlust auf der Oderseite der Polder ist aus dem eingetragenen höheren mineralischen Anteil sowie aus der dann erst in den Poldern einsetzenden Bioproduktion erklärbar. Der Tonmineralgehalt ist unerwartet gering, ist aber aus der überwiegend sandigen Ausbildung des Einzugsgebietes sowie aus dem ständigen Ausschwemmen der Tonkomponente während der Hochwasserstände zu erklären.

Tab. 59: Hauptelemente der Überflutungssedimente, bestimmt mit RFA an der Korngrößenfraktion <2 mm (Gat.: Gatow, Schw.: Schwedt, Crie.: Criewen) [%]

	SiO_2	**Al_2O_3**	**Fe_2O_3**	**MnO**	**MgO**	**CaO**	**Na_2O**	**K_2O**	**TiO_2**	**P_2O_5**	**GV**
Oderseite											
Gat. 1	30,14	5,28	3,67	0,35	0,56	12,50	0,28	0,80	0,28	0,62	44,5
Gat. 2	28,14	4,59	3,34	0,37	0,53	12,16	0,29	0,72	0,24	0,61	48,2
Schw. 1	19,25	1,39	8,10	0,97	0,47	33,11	0,20	0,19	0,07	1,31	32,3
Schw. 2	14,28	1,07	3,05	0,81	0,50	41,42	0,14	0,09	0,05	0,73	31,9
Crie. 1	45,93	4,99	5,55	0,71	0,55	5,10	0,31	0,84	0,27	1,49	32,7
Crie. 2	45,94	5,71	5,84	1,03	0,58	6,13	0,36	0,95	0,31	1,20	30,6
Poldermitte											
Gat. 1	14,16	0,84	7,96	0,33	0,25	11,14	0,13	0,16	0,04	4,73	59,5
Gat. 2	19,80	0,96	5,03	0,33	0,32	13,14	0,22	0,24	0,05	2,77	56,3
Schw. 1	18,63	0,99	0,60	0,14	0,14	4,90	0,14	0,29	0,06	0,18	73,5
Schw. 2	24,31	1,34	0,90	0,40	0,34	6,42	0,39	0,35	0,07	0,43	64,5
Crie. 1	21,49	1,96	4,86	0,71	1,03	15,09	1,56	0,55	0,10	1,24	49,6
Crie. 2	11,74	1,01	2,91	0,49	0,42	24,41	0,39	0,15	0,06	0,56	54,6
HFW-Seite											
Gat. 1	33,93	2,15	4,93	0,43	0,70	14,14	0,66	0,57	0,11	2,77	38,2
Gat. 2	39,13	2,14	9,00	0,13	0,80	11,27	0,78	0,54	0,10	2,44	32,6
Schw. 1	15,08	1,18	0,91	0,90	0,56	25,59	0,35	0,19	0,06	0,42	52,5
Schw. 2	23,08	2,05	1,54	1,02	0,44	11,83	0,28	0,37	0,10	0,48	58,1
Crie. 1	26,82	2,37	1,50	0,52	0,45	9,32	0,30	0,49	0,12	0,68	56,9
Crie. 2	29,47	2,92	1,85	0,86	0,79	10,48	0,86	0,70	0,15	0,80	50,4

Außerordentlich bemerkenswert ist der hohe Karbonatgehalt der ÜS (Tab. 60), der zeitweise einen anthropogenen Eintrag vermuten ließ. Die Ursache wird in einer biogenen Kurzzeitbildung in den Poldern als Ergebnis der ersten Algenblüte angesehen. Etwa Anfang März erfolgt mit der deutlichen Erhöhung der Wassertemperaturen und der Dauer des Tageslichtes in den

relativ flach überfluteten Poldern ein intensives Wachstum des Phytoplanktons und vieler Gräser bereits unter dem Wasserspiegel mit dem Ergebnis, daß das Wasser sauerstoffübersättigt ist (> 130 %) und der pH-Wert von vorher 7,2 bis auf 8,5 ansteigt. So kommt es in der Assimilationsphase am Tage zu einem Mangel an dem notwendigen CO_2 und zu einem Ausfallen von Karbonat, das in der Respirationsphase auch durch das Fehlen des Zooplanktons nicht vollständig aufgelöst wird. Die Intensität der Karbonatbildung hängt hauptsächlich von der Temperatur und der Sonnenscheindauer im Monat März und in den ersten beiden Aprilwochen ab und ist ein Ergebnis natürlicher biogener Aktivität. Eng mit der Karbonatsedimentation gekoppelt sind die hohen Strontiumkonzentrationen, die streng positiv mit den Gehalten an CaO korrelieren.

Tab. 60: Das Verhältnis Al_2O_3/SiO_2 und der Karbonatgehalt in den Sedimentfallen der ÜS

	Falle 1	**Falle 2**	**Falle 3**	**Falle 1**	**Falle 2**	**Falle 3**
	Al_2O_3/SiO_2			**Karbonatgehalt** [%]		
Oderseite						
Gatow	0,17	0,16	-	24,0	25,6	-
Schwedt	0,07	0,07	-	45,6	61,4	-
Criewen	0,11	0,12	-	8,7	11,7	-
Poldermitte						
Gatow	0,06	0,05	-	25,5	27,7	-
Schwedt	0,05	0,06	-	23,1	20,4	-
Criewen	0,09	0,09	-	n.b.	51,3	-
HFW-Seite						
Gatow-1	0,06	0,05	0,18	13,6	8,2	2,4
Schwedt-1	0,08	0,09	0,19	50,0	28,1	3,2
Criewen-1	0,09	0,10	0,13	20,4	20,3	33,4

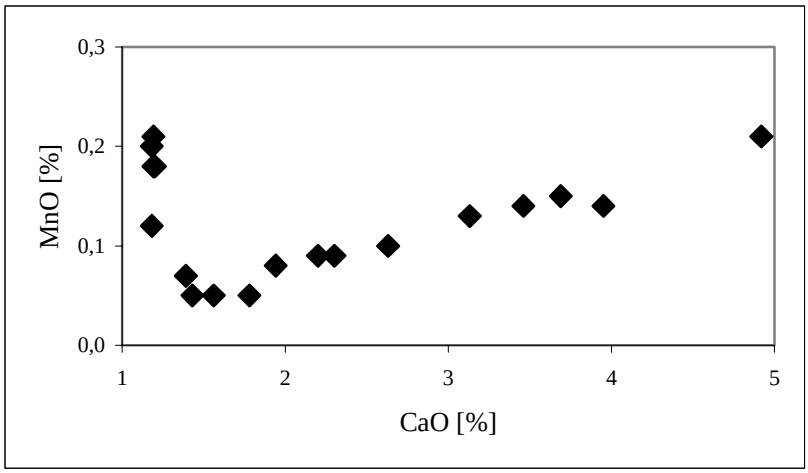


Abb. 36: Korrelation zwischen CaO und MnO in den Überflutungssedimenten

Die Mangananreicherung in den ÜS ist direkt und ursächlich mit der Phase der biogenen Kalkbildung verbunden und ein Ergebnis der sich einstellenden unterschiedlichen Redoxzustände. Der generelle „Kalender der Mangangeochemie“ in den Naßpoldern läßt sich wie folgt zusammenfassen:

- Mitte Mai bis Mitte November
  - Mangan-Fixierung, unwesentlicher atmosphärischer Eintrag.
- Mitte November bis Mitte Dezember
  - Mangan-Mobilisation innerhalb der vollaufenden aber noch nicht ablaufenden Polder durch beginnende Umsetzung der Weidetierexkremente.
- Dezember bis Januar
  - Dynamisches Gleichgewicht nach beginnendem, begrenztem Mangan-Austrag aus den Poldern (= erhöhte Konzentration des Mn in der HFW) zwischen dem Mangangehalt im Wasser und im Boden bei pH-Werten um 7,3 und einer Sauerstoffsättigung zwischen 80 und 100 %.
- Anfang März bis Mitte April
  - Mangan-Fixierung infolge erster Algenblüte und Beginn des Wachstums der Polderflora bereits unter dem Wasserspiegel mit dem Ergebnis der pH-Werterhöhung bis auf 8,5 und einer Sauerstoffübersättigung auf 130 %. Es ist zugleich die Phase der Wiesenkalkbildung, die geochemisch auch zu einer Korrelation zwischen Mangan und Calciumkarbonat führt (Abb. 36).
- Mitte April bis Mitte Mai
  - Mn-Mobilisation in abflußlosen Senken durch Erhöhung der Temperatur und des Absterbens der Wasserlebewesen mit dem Ergebnis eines starken Absinkens des Redoxpotentials (Schlickphase). Hohe Pflanzenverfügbarkeit des Mangans. ei Verbindung mit der Vorflut, Abfluß in diese mit einem starken Ansteigen der Mn-Konzentration in der HFW.
  - Mn-Fixierung durch Eintrocknen der abflußlosen Senken.

Die an den Feststoffen der Sedimentfallen gemessenen Mangankonzentrationen sind eher zu niedrig. Ursache ist die drastische Änderung des Redoxmilieus in den Sedimentfallen mit dem Zeitpunkt der Isolierung dieses Systems von der Umgebung durch das Absinken des Wasserspiegels. Die hohen Temperaturen (> 30 °C) und das Absterben und die Zersetzung der organischen Substanz erniedrigt das Redoxpotential so, daß das Mangan aus der Festphase wieder in Lösung geht. Die in dem überstehenden Wasser gemessenen Redoxpotentiale und die Sauerstoff- und Mangankonzentrationen bestätigen diesen Befund. Aus der Bilanzierung des Mangangehaltes im Sediment und im überstehenden Wasser ergab sich, daß bis zu 75 % (45 – 75 %) des Mangans dann im Wasser gelöst vorliegt und daß die Verhältnisse Fe/Mn im Wasser auf 0,1 absinken können. Abb. 37 zeigt die Änderung des Fe/Mn-Verhältnisses in Abhängigkeit vom Redoxindikator V/V+Ni.

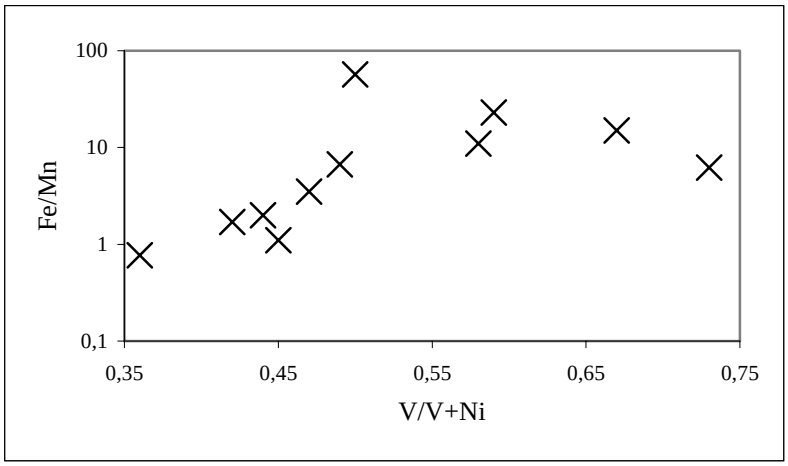


Abb. 37: Die Änderung des Verhältnisses Fe/Mn in Abhängigkeit eines Redoxindikators

Spurenelemente der Überflutungssedimente

Bei den Spurenelementen werden hier zwei Gruppen unterschieden:

- die lithophilen Spurenelemente und die Halogene, analysiert mit RFA (Tab. 61) und
- die umweltrelevanten Spurenelemente, analysiert nach einem Königswasseraufschluß mit ICP-AES bzw. ICP-MS und AAS (Tab. 62).

Tab. 61: Konzentrationen der lithogenen Spurenelemente in den Überflutungssedimenten der Polder in der Korngrößenfraktion <2 mm, RFA (in der jeweils letzten Zeile berechnet auf Freiheit vom Glühverlust und von karbonatisch gebundenem Calcium) [mg/kg]

	Ba	**Br**	**Cl**	**Rb**	**Sr**	**Zr**
Oderseite						
Gatow	583	36	1.492	51	212	103
Schwedt	358	60	1.847	14	342	< 40
Criewen	788	51	1.375	51	134	101
geo. Mittelwert	541	51	1.573	30	213	(53)
Ohne GV, $CaO_{karb.}$	1.157	109	3.365	64	456	(122)
Poldermitte						
Gatow	1.132	81	2.177	17	302	< 40
Schwedt	321	87	5.230	32	188	81
Criewen	349	107	11.872	22	262	< 40
geo. Mittelwert	502	91	5.132	23	246	-
Ohne GV, $CaO_{karb.}$	1.793	325	18.328	82	878	-
HFW-Seite						
Gatow	366	129	4.260	18	139	< 40
Schwedt	332	46	4.008	16	205	42
Criewen	329	46	6.537	34	188	48
geo. Mittelwert	342	76	4.815	24	194	-
Ohne GV, $CaO_{karb.}$	872	194	12.283	61	495	-

Die Konzentrationen der lithophilen Spurenelemente Ba, Rb, Sr und Zr werden für die vergleichenden Betrachtungen mit den Hochwassersedimenten und den Böden notwendigerweise und – wie in der Geochemie allgemein üblich – auf die Freiheit von Glühverlust und vom Karbonatgehalt umgerechnet. Beide Parameter werden durch zufällige epigenetische Einflüsse in ihrer Größe bestimmt. Die lithogenen Elemente haben unter der Berücksichtigung der niedrigen Verhältnisse von Al_2O_3/SiO_2 erwartungsgemäß kleine Konzentrationen. Vollkommen unerwartet und nicht eindeutig erklärbar sind die hohen Gehalte an Br und auch an Cl. Ursachen dafür könnten sein:

- Reste der zahlreichen Salzlecksteine des Weidebetriebes (Wiederkäuer). Das Verhältnis der Salzmenge zur Wassermenge läßt diesen Grund eher unwahrscheinlich sein.
- Ein zeitweiser Rückstau von Brackwasser aus dem Haff. Dieses kann nicht ausgeschlossen werden, da es aus zurückliegender Zeit beschrieben wurde, ist aber wohl eher unwahrscheinlich. Ein Konzentrationsgefälle von Gatow nach Criewen ist nicht erkennbar.
- Herkunft aus dem normalen Oderwasser, wobei die Konzentrationserhöhung durch das Eintrocknen in den Sedimentfallen vor der Bergung im Gelände erfolgt ist. Hier wäre eine maximale Anreicherung von 20:1 gegeben, sie würde in wenigen Fällen für die Chlorkonzentrationen ausreichen. Da für das Brom keine Meßwerte im Oderwasser aus diesem Abschnitt vorliegen, muß eine solche Kalkulation entfallen. Allerdings müßte dann die Oder bereits anomal hohe Br/Cl-Verhältnisse haben.
- Die mit der RFA gemessenen Brom- und evtl auch Chlorkonzentrationen sind analytisch falsch und bedürfen einer Überprüfung.

Die Konzentrationsunterschiede der meisten umweltrelevanten Spurenelemente (Tab. 62) in den ÜS zwischen den einzelnen Poldern sind unerheblich. Die Oderseite der Polder hat erwartungsgemäß für die Elemente Al, As, Co, Cr, Cu, Ni, Pb und Zn höhere Konzentrationen (Faktor 2-3) als die Positionen Poldermitte und HFW-Seite, womit auch der Eintragspfad bestimmt ist.

Die Bewertung der Konzentrationen wird zum einen nach den in dieser ermittelten regionalen geogenen Hintergrundkonzentrationen vorgenommen (Tab. 63), zum anderen erfolgt eine Einordnung nach der ökotoxikologisch ausgerichteten Klassifizierung des LAWA-AKZV und der ARGE Elbe/UBA für Arsen (Tab. 64).

Tab. 62: Spurenelementkonzentrationen (geometrischer Mittelwert) in den Überflutungssedimenten der Polder in der Korngrößenfraktion <2 mm (KW-Extraktion) [mg/kg]

	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu
Oderseite						
Gatow	15.980	23,5	3,0	14	44	52
Schwedt	3.042	20,9	0,6	15	9	17
Criewen	14.450	34,6	2,9	25	42	65
Mittelwert	8.889	25,7	1,7	17	25	38
Poldermitte						
Gatow	3.524	7,2	0,8	7	12	24
Schwedt	4.884	8,1	1,0	6	13	19
Criewen	2.870	9,8	0,9	8	8	15
Mittelwert	3.573	8,3	2,0	7	11	19
HFW-Seite						
Gatow	3.360	4,8	0,6	5	13	23
Schwedt	5.222	13,4	0,9	7	19	21
Criewen	7.840	12,5	0,8	5	14	21
Mittelwert	5.162	9,3	0,8	6	15	22

Tab. 62 (Fortsetzung)

	Fe	Mn	Ni	Pb	V	Zn
Oderseite						
Gatow	27.150	3.479	31	56	n.b.	416
Schwedt	26.481	5.716	15	17	n.b.	196
Criewen	36.746	6.770	39	96	n.b.	652
Mittelwert	29.783	5.125	26	45	n.b.	376
Poldermitte						
Gatow	60.917	3.257	11	24	19	188
Schwedt	10.817	4.443	17	29	14	285
Criewen	27.000	4.340	11	10	31	118
Mittelwert	26.105	3.975	13	19	20	185
HFW-Seite						
Gatow	24.319	965	16	22	13	153
Schwedt	14.858	6.735	22	33	11	254
Criewen	11.720	3.040	16	29	15	222
Mittelwert	16.177	2.703	18	28	13	205

Eine zeitlich gerichtete Änderung der Konzentrationen im betrachteten Intervall von 1996 bis 2000 kann nur mit größter Vorsicht für die ÜS auf der HFW-Seite registriert werden, wonach die Elemente Cr, Cu, Ni und Pb eine Verminderung auf die Hälfte bis zu einem Drittel der früheren Werte erfahren.

Tab. 63: Anreicherungsfaktoren der Spurelemente in den Überflutungssedimenten gegenüber den regionalen geogenen Hintergrundwerten

	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu
Oderseite						
Gatow	0,6	2,4	22,0	0,6	1,1	2,4
Schwedt	0,1	2,1	4,2	0,7	0,2	0,7
Criewen	0,5	3,4	20,0	1,1	2,9	2,9
Poldermitte						
Gatow	0,1	0,8	5,5	0,3	0,3	1,1
Schwedt	0,2	0,8	7,5	0,3	0,3	0,8
Criewen	0,1	1,0	6,3	0,3	0,2	0,7
HFW-Seite						
Gatow	0,1	0,5	4,4	0,2	0,3	1,0
Schwedt	0,2	0,6	6,6	0,3	0,5	0,9
Criewen	0,3	0,6	5,4	0,3	0,3	1,0

Tab. 63 (Fortsetzung)

	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Oderseite					
Gatow	0,8	4,3	1,6	3,3	6,6
Schwedt	0,8	7,1	0,7	1,1	3,1
Criewen	1,1	8,4	1,9	5,6	10,3
Poldermitte					
Gatow	1,8	4,0	0,6	1,5	3,0
Schwedt	0,3	5,5	0,8	1,7	4,5
Criewen	0,2	5,4	0,6	0,6	1,9
HFW-Seite					
Gatow	0,7	1,2	0,8	1,2	2,4
Schwedt	0,4	8,3	1,1	2,0	4,0
Criewen	0,4	3,8	0,8	1,7	3,5

Aus der Menge des in die Polder eingetragenen Sediments und der jeweiligen Elementkonzentrationen lassen sich die Elementeinträge in die Polder pro Überflutungszyklus berechnen (Tab. 65). Nach entsprechenden Daten von Überflutungsflächen der Elbe aus dem Raum Wittenberge, die von KRÜGER u.a. [1998] für die Überflutung von Februar bis April 1997 publiziert wurden, ist die Belastung der Elbe mit allen hier bestimmten Spurenelementen höher, mit Ausnahme des Mangans, das in den ÜS der unteren Oder doppelt so hohe Konzentrationen aufweist.

Tab. 64: Bewertung der Überflutungssedimente auf der Basis der Güteklassen der LAWA bzw. ARGE Elbe/UBA (Arsen), die nachgesetzten Buchstaben stehen für: O=Oderseite; M=Poldermitte, H=HFW-Seite der einzelnen Polder

Güteklasse	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
I			Gatow, O Schwedt,O Criewen, O Gatow, M Schwedt, M Criewen, M Gatow, H Schwedt, H Criewen, H	Schwedt, O Gatow, M Schwedt, M Criewen, M Gatow, H Schwedt, H Criewen, H	Schwedt, O Gatow, M Schwedt, M Criewen, M Gatow, H Schwedt, H Criewen, H	Schwedt, O Gatow, M Schwedt, M Criewen, M Gatow, H Criewen, H	
I-II	Gatow, M Schwedt, M Criewen, M				Gatow, O Criewen, O	Schwedt, H	Criewen,M
II	Schwedt, H Criewen, H	Schwedt,O Gatow, M Schwedt, M Criewen, M Gatow, H Schwedt, H Criewen, H	Gatow, O Criewen, O			Gatow, O Criewen, O	Schwedt, O Gatow, M Gatow, H
II-III	Gatow, O Schwedt,O Criewen, O	Gatow, O Criewen, O		Criewen, O			Gatow, O Schwedt,M Schwedt, H
III							Criewen, H Criewen, O

Tab. 65: Spurenelementeinträge in die Polder [g/ha*Überflutung]

	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu
Gesamte Polder						
Gatow	13.136	22	2,6	18	45	73
Schwedt	8.440	26	1,6	17	26	38
Criewen	15.760	37	2,7	21	39	62
Poldermitte						
Gatow	34.649	100	6,6	66	214	148
Schwedt	4.884	11	2,7	10	15	26
Criewen	10.065	18	1,5	11	29	43

Tab. 65 (Fortsetzung)

	Fe	Mn	Ni	Pb	V	Zn
Gesamte Polder						
Gatow	80.516	5.214	42	73	38	538
Schwedt	32.069	12.533	36	49	24	479
Criewen	51.325	10.245	44	69	48	589
Poldermitte						
Gatow	116.082	19.977	101	175	n.b.	1.466
Schwedt	36.000	5.434	18	26	27	253
Criewen	32.000	5.271	35	55	25	400

5.2.3 Die Hochwassersedimente (HWS) des Jahres 1997

Hochwassersituationen sind ein untrennbarer Bestandteil der Geschichte eines jeden Fließgewässers. Das Ausmaß und die Wirkung werden durch meteorologische Extremsituatuionen und durch die morphologische Flußbettgestaltung – in den letzten 100 Jahren in hohem Maße zunehmend anthropogen beeinflußt – bestimmt. So wurden weite Gebiete der Oder im Unterlauf in der bis zu 3 km breiten Talaue immer wieder überflutet. Die Fruchtbarkeit der Auenböden führten seit Mitte des 18. Jahrhunderts zu intensiven und ausgedehnten Flußlaufregulierungen, die am Ende des ersten Drittels des 20. Jahrhunderts ihren jetzigen Zustand erreichten.

Hochwässer lassen sich nicht vorhersagen, jedoch sind die Ursachen dafür an bestimmte saisonale Bedingungen geknüpft. Nach Auswertungen von Archivmaterialien zu Ursachen und Zeitpunkten von Hochwasserereignissen seit Beginn des 18. Jahrhunderts lassen sich folgende Aussagen treffen:

- Hochwasserereignisse an der unteren Oder treten zeitlich nicht gleichmäßig verteilt auf, sondern es ist eine Häufung zwischen teilweise jahrzehntelangen Normalwasserständen zu verzeichnen.
- Bevorzugte Jahreszeiten sind einmal der ausgehende Winter durch eine Kopplung von Schneeschmelze im Ober- und oberen Mittellauf mit dem Eisgang im Unterlauf und zum anderen die Sommer mit Starkniederschlägen in etwa dem oben genannten Flußabschnitt.

Vom „Jahrhunderthochwasser“ an der Oder vom Sommer 1997 – verursacht durch eine Wetterlage mit extremen Niederschlagsmengen im Oberlauf – wurden im Rahmen dieses Teilprojektes die dadurch abgesetzten Sedimente zwischen den Orten Polecko im Süden und Gatow im Norden nach dem teilweisen Trockenfallen im August eingeholt. Die Probenahme war dabei nicht ohne Probleme. Das Probenmaterial mußte richtig erkannt und in ausreichender Menge gewonnen werden. Eine große subtantielle Heterogenität des Materials war vorhersehbar, da die Zusammensetzung von zahlreichen lokalen Zufälligkeiten abhängt. Die Nähe zum Flußbett, fehlender oder unterschiedlicher Bewuchs und morphologische Gegebenheiten sind lokal von großem Einfluß. Während allgemein in Flußnähe Hochwasserstände durch einen Wechsel von fast weißem Sand zwischen Zonen dunkler, lehmiger Bodenbildungen im Vertikalprofil erkennbar sind, verliert sich dieser optische Eindruck mit zunehmendem Abstand zum Fluß.

Die Ablagerungen der Hochwässer – die Hochwassersedimente (HWS) - stammen durch die Wirkung einer erhöhten Transportkraft aus einem vergrößerten Erosionsgebiet.

Hauptelemente der Hochwassersedimente (HWS)

Die großen Unterschiede im Gehalt an SiO_2, Al_2O_3 und am Glühverlust belegen die Heterogenität der Sedimente zwischen den einzelnen Orten (Tab. 66). Die teilweise erhöhten Konzentrationen an CaO werden durch unterschiedliche Anteile an Muschelgrus ebenso wie einige relativ hohe Glühverluste durch zerscherte Krebspanzer verursacht. Unerklärlich sind die hohen Eisengehalte und die Herkunft der hohen Arsenkonzentration der Probe von Czelin. Diese Probe fällt sonst bei allen anderen Spurenelementgehalten durch niedrigste Werte auf.

Tab. 66: Hauptelemente und Glühverlust (bei 1.000 °C) der Hochwassersedimente vom Sommer 1997 in der Korngrößenfraktion <2mm [%]

	SiO_2	**Al_2O_3**	**Fe_2O_3**	**MnO**	**MgO**	**CaO**	**Na_2O**	**K_2O**	**TiO_2**	**P_2O_5**	**GV**
Gatow	42,49	7,01	7,16	0,52	0,71	2,55	0,29	1,23	0,37	1,05	35,6
Schwedt	58,02	2,53	2,80	2,13	0,45	2,30	0,19	0,94	0,13	1,50	28,4
Criewen	46,73	6,04	6,01	1,47	0,69	3,18	0,19	1,34	0,30	1,57	30,3
Czelin	35,49	2,43	13,26	0,29	0,49	3,22	0,23	0,79	0,13	3,61	36,7
Kalensko	55,87	6,34	5,94	0,95	0,62	6,06	0,41	1,35	0,41	1,60	22,8
Urad	84,95	6,62	3,44	0,15	0,53	0,86	0,42	1,46	0,34	0,66	3,28
Aurith	82,91	4,47	2,51	0,35	0,33	0,71	0,33	1,22	0,19	0,43	5,59
Chlebowo	52,92	10,83	8,22	0,40	1,14	1,97	0,56	1,85	0,60	1,55	19,1
Swierkocin	60,25	4,96	5,51	0,54	0,58	3,83	0,37	1,18	0,37	1,79	20,0

Spurenelemente der Hochwassersedimente

Die umweltrelevanten Spurenelemente wurden an den Korngrößenfraktionen < 2000 µm (2mm) und < 20 µm bestimmt (Tab. 67+68) und die lithophilen Spurenelemente nur in der Fraktion < 2000 µm (Tab. 69+70). Graphische Darstellungen dieser Meßwerte sind im Kapitel 5.2.4 zu finden.

Tab. 67: Spurenelementkonzentrationen in den Hochwassersedimenten entlang der Oder zwischen Polecko und Widuchowa und der Mündung der Warta vom August 1997, Korngrößenfraktion <2 mm, KW-Aufschluß [mg/kg]

	As	**Cd**	**Co**	**Cr**	**Cu**	**Fe**	**Mn**	**Ni**	**Pb**	**Zn**
Gatow	31	3,2	17,6	45,1	112	43.500	3.610	64,8	88,4	628
Schwedt	23	0,7	11,0	12,3	41,8	17.600	15.200	31,2	39,9	287
Criewen	40	3,9	24,2	52,1	134	36.000	9.860	76,2	135	894
Czelin	78	1,1	4,4	16,4	28,6	68.700	1.960	15,2	42,9	196
Kalensko	21	9,1	15,4	86,1	88,0	37.000	7.240	36,9	96,7	685
Urad	22	2,5	10,5	44,8	77,5	20.900	996	25,5	69,8	527
Aurith	20	1,9	11,0	32,8	59,4	16.800	2.760	16,8	54,2	415
Chlebowo	62	6,3	24,2	115	211	44.700	2.940	50,3	170	1.410
Swierkocin	8,0	15,8	6,6	123	72,6	34.800	3.960	24,8	78,2	432

Tab. 68: Spurenelementkonzentrationen in den Hochwassersedimenten entlang der Oder zwischen Polecko und Widuchowa und der Mündung der Warta vom August 1997, Korngrößenfraktion <20 µm, KW-Aufschluß [mg/kg]

	As	**Cd**	**Co**	**Cr**	**Cu**	**Fe**	**Mn**	**Ni**	**Pb**	**Zn**
Gatow	41,1	3,47	19,4	51,9	163	51.100	3.550	73,9	136	821
Schwedt	42,2	1,32	17,4	18,6	44,6	22.300	19.300	43,6	53,3	401
Criewen	42,0	4,5	28,1	60,5	162	39.300	9.750	84,5	151	1.060
Czelin	78,5	1,1	3,88	16,7	29,2	68.700	1.960	15,2	42,9	196
Kalensko	33,7	12,2	20,2	139	136	48.900	8.610	50,9	162	1.080
Urad	107	2,5	5,31	21,5	44,6	97.200	2.810	19,8	52,2	249
Aurith	77,5	6,9	38,1	118	241	58.300	9.860	64,1	230	1.740
Chlebowo	76,2	7,5	26,8	136	243	48.900	2.930	58,2	200	1.625
Swierkocin	14,6	33,3	13,3	239	165	51.000	7.210	44,9	140	880

Tab. 69: Konzentrationen ausgewählter lithophiler Spurenelemente und Halogene in den Hochwassersedimenten vom August 1997, Korngrößenfraktion <2 mm [mg/kg]

	Ba	**Rb**	**Sr**	**Zr**	**Br**	**Cl**
Gatow	650	66	119	136	70	553
Schwedt	685	34	102	69	38	534
Criewen	875	61	125	77	54	749
Czelin	689	24	161	74	49	1.153
Kalensko	824	54	123	253	35	428
Urad	716	57	72	132	14	< 300
Aurith	631	43	54	61	11	< 300
Chlebowo	1.962	100	165	191	36	1.387
Swierkocin	581	45	118	268	35	< 300

Tab. 70: Anreicherungsfaktoren ausgewählter lithophiler Spurenelemente und Halogene in den Hochwassersedimenten der Fraktion <2 mm gegenüber der oberen Erdkruste nach WEDEPOHL [1995]

	Ba	**Rb**	**Sr**	**Zr**	**Br**	**Cl**
Gatow	1,0	0,6	0,4	0,6	44	0,9
Schwedt	1,0	0,3	0,3	0,3	24	0,8
Criewen	1,3	0,5	0,4	0,3	34	1,2
Czelin	1,0	0,2	0,5	0,3	31	1,8
Kalensko	1,2	0,5	0,4	1,1	22	0,7
Urad	1,1	0,5	0,2	0,6	9	< 0,5
Aurith	0,9	0,4	0,2	0,3	7	< 0,5
Chlebowo	2,9	0,9	0,5	0,8	22	2,2
Swierkocin	0,9	0,4	0,4	1,1	22	0,5

Die Bewertung der Konzentrationen erfolgt hier einmal vorrangig unter einem rein geochemischen Gesichtspunkt durch die Normierung auf die in diesem Bericht ermittelten regionalen geochemischen Hintergrundkonzentrationen (Tab. 71+72) und dann, mehr ökotoxikologische Aspekte berücksichtigend, nach dem Klassifizierungsschema der LAWA und der ARGE/UBA (Tab. 73).

Tab. 71: Anreicherungsfaktoren der Spurenelemente in den Hochwassersedimenten entlang der Oder zwischen Polecko und Widuchowa und der Mündung der Warta vom August 1997, gegenüber der regionalen geogenen Hintergrundwerte, Korngrößenfraktion <2 mm, KW-Aufschluß, Anreicherungsfaktoren ≥ 5,0 im Fettdruck

	As	**Cd**	**Co**	**Cr**	**Cu**	**Fe**	**Mn**	**Ni**	**Pb**	**Zn**
Gatow	3,1	**23**	0,8	1,1	**5,1**	1,3	4,5	3,2	**5,2**	**9,9**
Schwedt	2,3	**5,3**	0,5	0,3	1,9	0,5	**19**	1,5	2,3	4,5
Criewen	4,0	**28**	1,1	1,3	**6,1**	1,0	**12**	3,8	**7,9**	**14**
Czelin	**7,8**	**7,8**	0,2	0,4	1,3	2,0	**9,0**	0,7	2,5	3,1
Kalensko	2,1	**65**	0,7	2,1	4,0	1,1	2,4	1,8	**5,7**	**11**
Urad	2,1	**18**	0,4	1,1	3,5	0,6	1,2	1,2	4,1	**8,4**
Aurith	2,0	**14**	0,5	0,8	2,7	0,5	3,4	0,8	3,2	**6,5**
Chlebowo	**6,2**	**45**	1,1	2,8	**9,6**	1,3	3,6	2,5	**10**	**22**
Swierkocin	0,8	**106**	0,3	3,0	3,3	1,0	4,9	1,2	4,6	**6,8**

Tab. 72: Anreicherungsfaktoren der Spurenelemente in den Hochwassersedimenten entlang der Oder zwischen Polecko und Widuchowa und der Mündung der Warta vom August 1997 gegenüber der regionalen geogenen Hintergrundwerte, Korngrößenfraktion <20 µm, KW-Aufschluß, Anreicherungsfaktoren ≥ 5,0 im Fettdruck

	As	**Cd**	**Co**	**Cr**	**Cu**	**Fe**	**Mn**	**Ni**	**Pb**	**Zn**
Gatow	3,3	**18**	0,9	1,0	**5,2**	1,1	3,6	1,8	3,9	**6,8**
Schwedt	3,4	**6,5**	0,8	0,3	1,4	0,5	**20**	1,1	1,5	3,3
Criewen	3,4	**22**	1,3	1,1	**5,2**	0,8	**10**	2,1	4,3	**8,8**
Czelin	2,7	**12**	0,2	2,6	1,4	2,1	2,9	1,3	1,5	2,1
Kalensko	**8,6**	**61**	0,9	0,4	4,4	1,0	**8,8**	0,5	4,6	**9,0**
Urad	3,6	**36**	1,1	2,4	**6,9**	1,0	2,1	1,5	**5,0**	**12**
Aurith	**6,2**	**34**	1,8	2,2	**7,8**	1,3	**10**	1,6	**6,6**	**14**
Chlebowo	**6,1**	**35**	1,3	2,5	**7,8**	1,1	2,9	1,4	**5,6**	**13**
Swierkocin	1,2	**165**	0,6	4,4	**5,3**	1,1	**7,4**	1,1	4,0	**7,3**

Zunächst ist erkennbar, daß die Konzentrationen im untersuchten Flußabschnitt der Oder von Süden nach Norden etwa konstant bleiben, wenn man Czelin wegen der hohen Eisengehalte und Schwedt wegen des hohen Sandanteils nicht berücksichtigt. Lediglich für Chrom und Kupfer läßt sich eine abnehmende Tendenz in Richtung Norden erkennen. Das Sediment der Warta fällt besonders durch die höchsten Cadmium- und Chromkonzentrationen auf. Die relativ niedrigen Werte von Schwedt bei allen Spurenelementen sind auf den hohen Sandanteil zurückzuführen.

Das Verhältnis der Spurenelementkonzentrationen zwischen den Korngrößenfraktionen < 20 µm und < 2000 µm bleibt – wie auch bei den Überflutungssedimenten und bei den Polderböden – immer < 2.

Ansonsten muß die Bewertung eher punktabhängig als über Mittelwerte erfolgen, da so die Chance besteht, die Spezifik von Teileinzugsgebieten zu erkennen, Ursachen zu diagnostizieren und Sanierungsziele zu definieren. Die Ursachen für hohe Konzentrationen an einem Ort

müssen insbesondere bei Hochwässern stets flußaufwärts gesucht werden. Die hohen Bromkonzentrationen bedürfen wie auch bei den Überflutungssedimenten der analytischen Kontrolle, da auch das Verhältnis zum Chlor sonst nur durch einen anthropogenen Bromeintrag zu erklären wäre. Das Element Zirkonium zeigt den Einfluß der Warta bis Kalensko. Die generell erhöhten lithophilen Elemente Ba, Rb, Sr und Zr belegen den lithologisch anderen geologischen Aufbau des Einzugsgebietes oberhalb dieses Punktes.

Tab. 73: Bewertung der Hochwassersedimente (Korngrößenfraktion <20 µm, KW-Aufschluß, einschließlich GV) auf der Basis der LAWA [1998] bzw. ARGE Elbe/UBA für Arsen [ISKE, 1998]

	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
I			Gatow Schwedt Criewen Czelin		Czelin		
I - II							
II	Swierkocin			Schwedt Czelin	Schwedt Swierkocin	Schwedt Czelin	
II - III	Kalensko	Gatow Schwedt Criewen Czelin	Kalensko Urad Aurith Chlebowo	Kalensko	Gatow Criewen Kalensko Urad Aurith Chlebowo	Gatow Swierkocin	Schwedt Czelin
III	Gatow Schwedt Criewen Urad	Urad Aurith Chlebowo	Swierkocin	Gatow Criewen Urad Aurith Chlebowo Swierkocin		Criewen Kalensko Urad Aurith Chlebowo	Gatow Swierkocin
III - IV	Aurith Chlebowo	Kalensko					Criewen Kalensko Urad Aurith Chlebowo
IV	Czelin	Swierkocin					

5.2.4 Überflutungssedimente und Hochwassersedimente – Gleiches und Unterschiedliches

Der Vergleich beider genetisch ähnlicher Sedimente erfolgt aus geochemischen Gründen zur Charakterisierung des Erosionsgebietes und des Transportmechanismus mit lihophilen Elementen und aus ökotoxikologischen Gründen mit stark technogen beeinflußten Elementen. Unterschiede zwischen beiden Sedimenttypen werden dadurch erwartet, daß die Überflutungssedimente nur aus dem Material bestehen, das im Flußbett transportiert wird, während die Hochwassersedimente ein wesentlich größeres Einzugsgebiet durch die unkontrolliert und langzeitig nicht überfluteten Flächen haben. Fehlende Unterschiede zwischen den Überflutungs- und Hochwassersedimenten bei annähernd geochemisch ähnlichen Elementen deuten auf eine weitgehende großräumige petrologische Homogenität des Einzugsgebietes.

Lithophile Elemente

Um die räumlich und zeitlich variierenden postgenetischen Konzentrationsveränderungen der lithophilen Elemente auszuschließen, werden hier die Anteile der organischen Substanz und der biogenen Karbonatbildung rechnerisch eliminiert. Von den bestimmten Hauptelementen bleiben nur wenige für einen derartigen Versuch übrig, da viele durch andere Prozesse in ihren Konzentrationen verändert wurden:

- SiO_2 durch eine biogene Opalbildung (Diatomeen, Schwammnadeln).
- Fe und Mn durch Redoxprozesse.
- Ca und Sr durch eine biogene Karbonatbildung.
- Na und Cl durch Eindampfprozesse in den Sedimentfallen
- Buntmetalle durch anthropogene Einträge.

Aussagen zum Erosionsgebiet:

Normalerweise sollte nach einer Korrektur der Karbonatgehalte und des Glühverlustes mit einer strengen negativen Korrelation $\mathbf{Al_2O_3 - SiO_2}$ zu rechnen sein. Dies ist nicht bei allen Proben der ÜS der Fall, da – wie oben schon angedeutet - das Eisen durch Redoxprozesse lokal anomale und postsedimentäre Umverteilungen erfahren kann (Abb. 38).

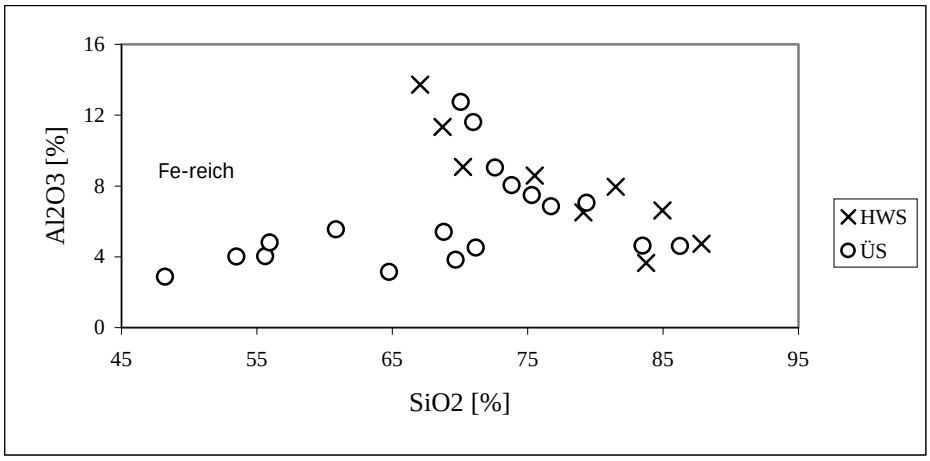


Abb. 38: Korrelation Al_2O_3 - SiO_2 in Hochwasser- und Überflutungssedimenten

Als geeignet erweist sich für bestimmte Aussagen die Kombination **Al_2O_3 – Rb**, da diese beiden Parameter weder durch Redoxreaktionen noch durch biogene Prozesse oder Dichteunterschiede beeinflußt werden – beide treten in den wichtigsten gesteinsbildenden Mineralen (Feldspäte, Glimmer, Tonminerale) gemeinsam auf. Abb. 39 zeigt, daß

- die ÜS und HWS ein lithologisch relativ homogenes Einzugsgebiet zwischen Urad/Aurith und Widuchowa besitzen und die Gehalte beider Elemente nur durch die Sandkomponente unterschiedlich verdünnt werden,
- die Tonmineralkomponente in den ÜS überwiegend illitisch ist,
- die HWS wegen der etwas höheren Rb-Konzentrationen einen höheren Anteil an Kalifeldspat besitzen, was auf Grund der größeren Transportenergie des Wassers für diese Sedimente auch zu erwarten ist.

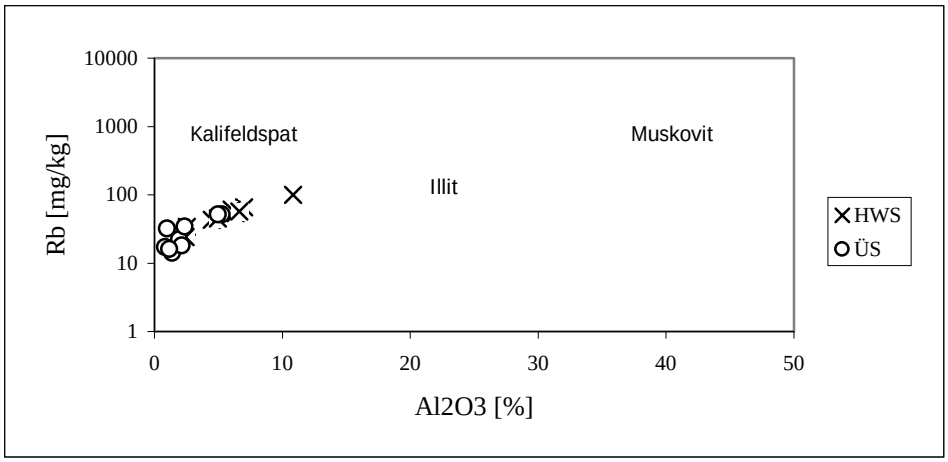


Abb.39: Korrelation Rb – Al_2O_3 in Hochwasser- und Überflutungssedimenten

Dieses wird noch deutlicher, wenn man das Verhältnis **Rb/Al_2O_3** dem des **Al_2O_3/SiO_2** gegenüberstellt (Abb. 40) oder auch die Relation **Rb – Ba** benutzt (Abb 41), die den zunehmenden Einbau des Ba in das Kristallgitter des Muskovites bzw. des Kalifeldspates bestätigt. Mit dem letzteren Verhältnis lassen sich auch die ÜS von den HWS geochemisch unterscheiden.

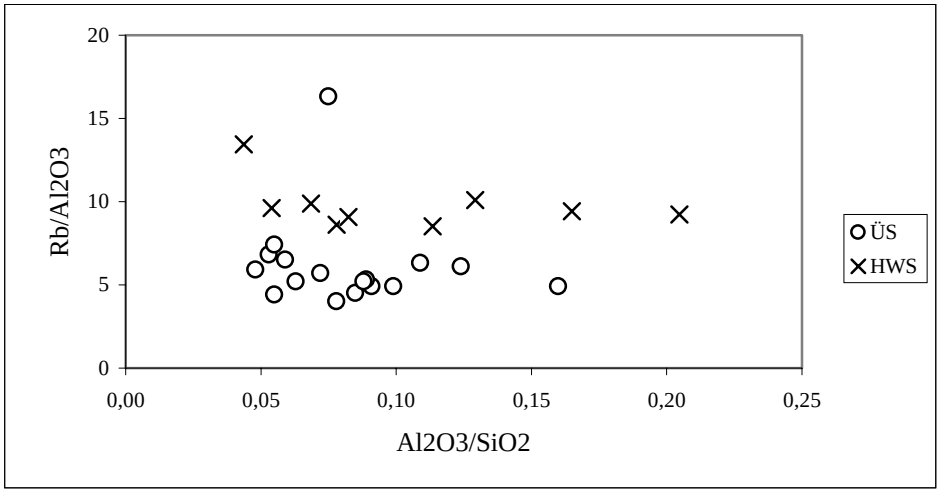


Abb. 40: Korrelation Rb/Al_2O_3 – Al_2O_3/SiO_2 in Hochwasser- und Überflutungssedimenten

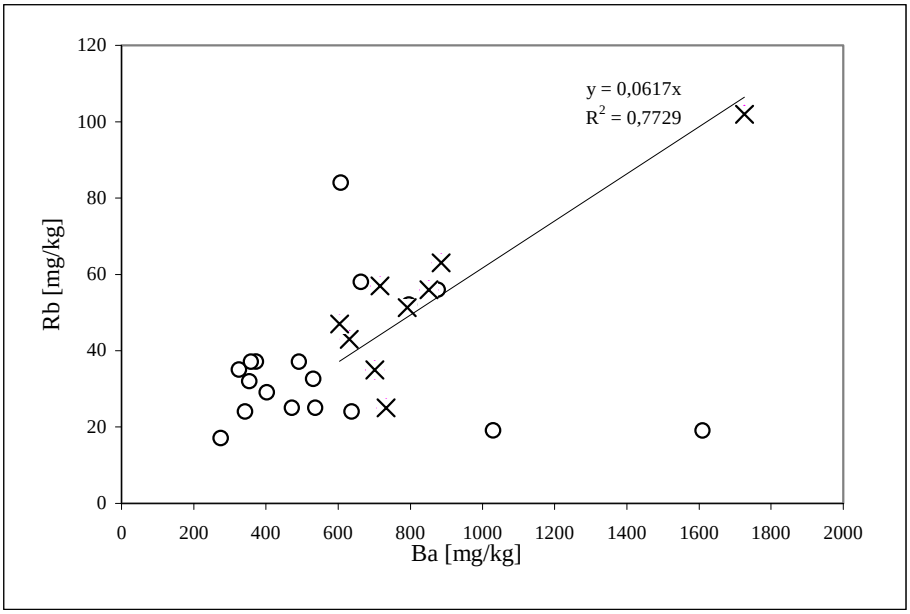


Abb. 41: Korrelation Ba – Rb in Hochwasser- und Überflutungssedimenten

Eine solche Unterscheidung gelingt noch schärfer mit der Gegenüberstellung des **Sr** zum **Ca** (Abb. 42). Die höheren Ca- und Sr-Konzentrationen in den ÜS sind – wie bereits erwähnt – das Ergebnis der Karbonatsedimentation, die aus der ersten Phytoplanktonblüte der noch überfluteten Polder im März und in der ersten Aprilhälfte resultiert.

Diese Karbonatbildung kann in den Sommermonaten auch in der Phase eines mehrwöchigen Hochwassers nicht in dem Maße stattfinden, da das Phytoplankton (spätere Wasserblüten) nicht mehr die Populationsdichte erreicht, und das Zooplankton als CO_2-Produzent bereits mit hoher Individuen- und Artenzahl neben vielen anderen heterotrophen Organismen vertreten ist. Hinzu kommt die höhere Strömungsgeschwindigkeit des Wassers bei einem extremen Hochwasser.

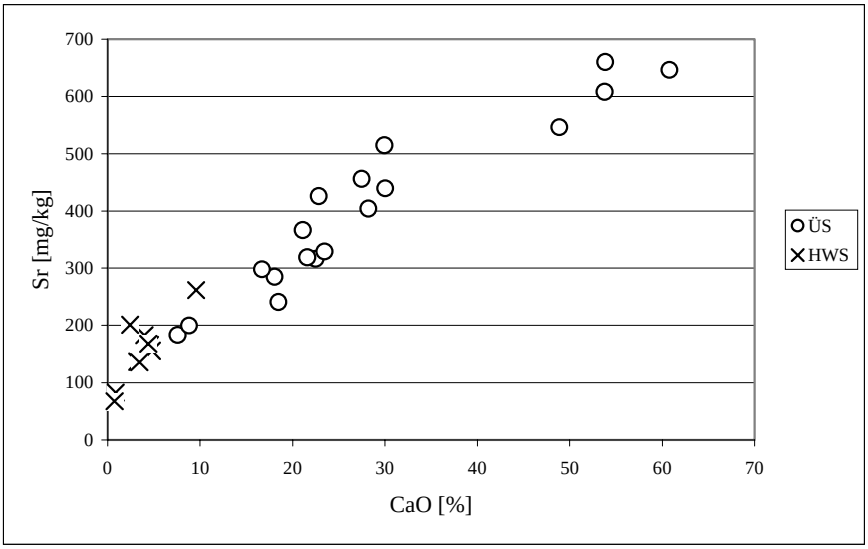


Abb. 42: Korrelation Sr – CaO in Hochwasser- und Überflutungssedimenten

Aussagen zur Transportkraft des Wassers

Die größere Transportkraft des Wassers bei der Sedimentation der HWS läßt sich geochemisch erkennen an:

- dem höheren Glühverlust der ÜS (GV = 46,5 %) gegenüber dem der HWS (17,8%) auch wenn man berücksichtigen muß, daß ein Teil der organischen Substanz in den ÜS während der Sedimentation entsteht (Plankton) und nicht – wie bei den HWS – nur transportiertes Material aus dem Erosionsgebiet darstellt,
- den absoluten Konzentrationen der Elemente **Ti** und **Zr** (Abb. 43). Beide Elemente haben ihre Hauptbindungsformen in den Schwermineralen Rutil (Ti als TiO_2) und Zirkon (Zr als $ZrSiO_4$) und haben deshalb in den HWS die höheren Gehalte. Die zwei unterschiedlichen Tendenzen der Konzentrationsentwicklung beider Elemente werden durch den höheren Zirkoniumgehalt der Wartasedimente hervorgerufen, so daß es einen titanbetonten Oder-Trend und einen zirkoniumbetonten Warta-Trend gibt. Geologisch läßt sich das durch den Einfluß der petrologisch andersartigen Einzugsgebiete der Neiße und der Bobr mit basischen Gesteinsbereichen auf die Odersedimente unschwer erklären.

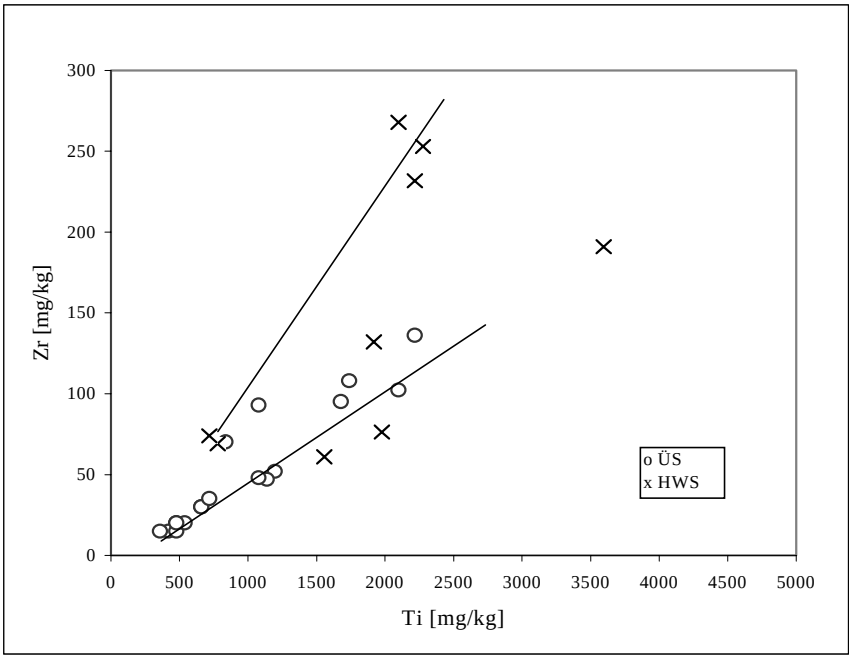


Abb. 43: Korrelation Zr - Ti in Hochwasser- und Überflutungssedimenten

Anthropogen eingetragene Elemente

Die anthropogen eingetragene Elemente repräsentieren normalerweise kleinere Einzugsgebiete, so daß die Berechnung von Mittelwerten auch wegen der großen Streubreite der Einzelwerte und der geringen Probenanzahl problematisch, ja falsch sein kann. Anomale Konzentrationen aber auch abweichende Elementverhältnisse von sich geochemisch ähnlich verhaltenden Elementen können indikativ sein für

- die Unterscheidung von geogenen und anthropogenen Einträgen,
- für gemeinsame oder getrennte Emissionsquellen und
- für ein großräumiges Mixing.

Das Elementpaar Zn – Cd zeigt für die ÜS und HWS einen gleichartigen Trend für die Oder im Unterlauf ab Polecko. Die Warta bringt einen maßgeblichen Cd-Eintrag , der sich in den HWS in der Oder bis Kalenko und im Odersediment bis über Großneuendorf bemerkbar macht (Abb. 44). Dabei haben die HWS meistens die höheren Konzentrationen beider Elemente, ein Hinweis darauf, daß an der Warta auch größere Auengebiete belasten sind.

Eine gleichartige Trendentwicklung zeigen die Konzentrationen für die Elemente Zn und Pb in beiden Sedimenttypen (Abb. 45), allerdings mit den höheren Metallgehalten in den HWS mit Spitzenwerten für Chlebowo und Criewen. Auffallend ist, daß bei den ÜS (auch bei anderen Elementen) Criewen immer die höheren Konzentrationen aufweist. Nahezu gleiche Aussagen gelten für die Elementkombinationen Cu und Pb (Abb. 46).

Die Elementkombination Ni und Cr läßt zwei unterschiedliche Konzentrationsverläufe für die HWS erkennen (Abb. 47). Einmal die deutlich nickelbetonte Richtung für den Bereich der Naßpolder Criewen, Schwedt und Gatow und eine weitere mit relativ hohen aber keinen anomalen Gehalten ab Chlebowo und ein zusätzlicher Cr-Eintrag aus der Warta. Keine korrelativen Beziehungen zwischen beiden Elementen bestehen in den ÜS.

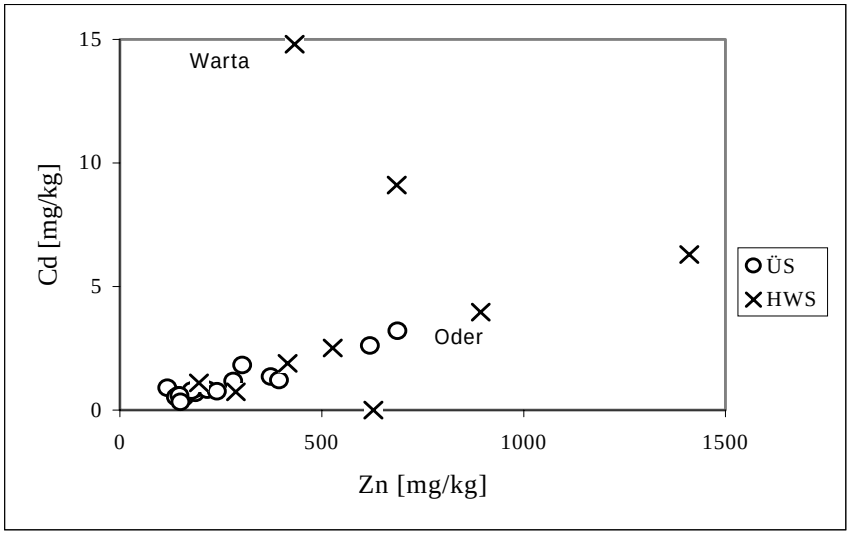


Abb. 44: Korrelation Cd – Zn in Hochwasser- und Überflutungssedimenten

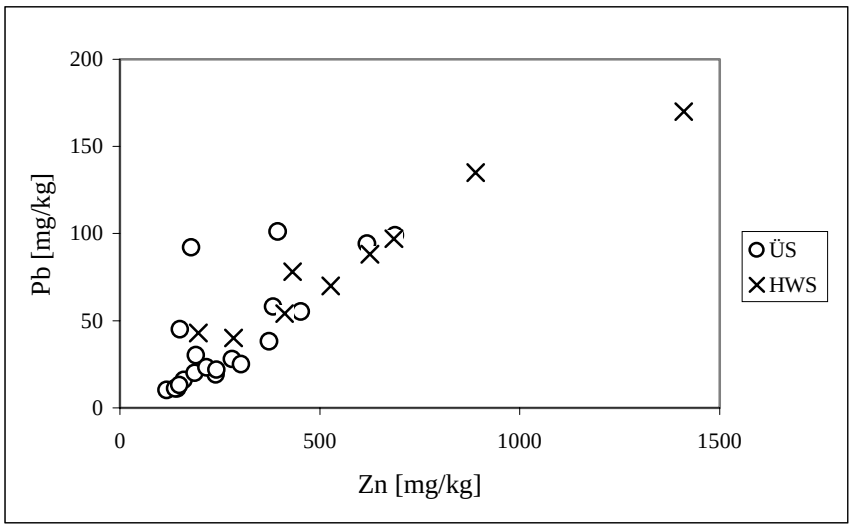


Abb. 45: Korrelation Pb – Zn in Hochwasser- und Überflutungssedimenten

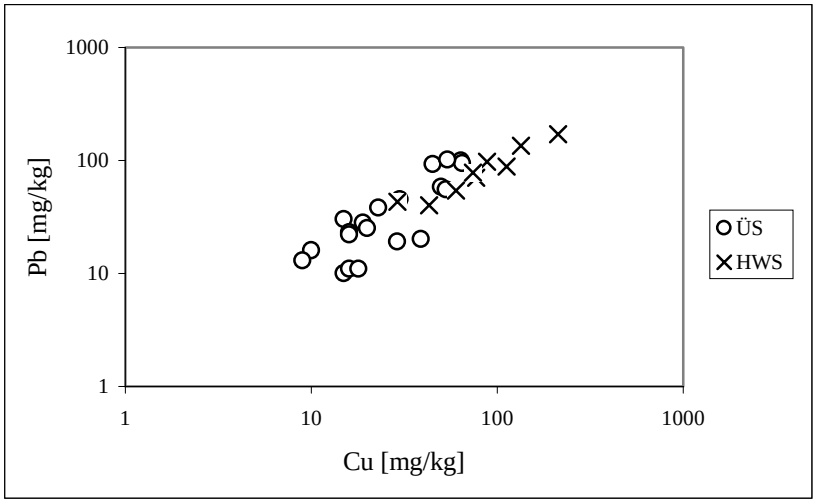


Abb. 46: Korrelation Pb - Cu in Hochwasser- und Überflutungssedimenten

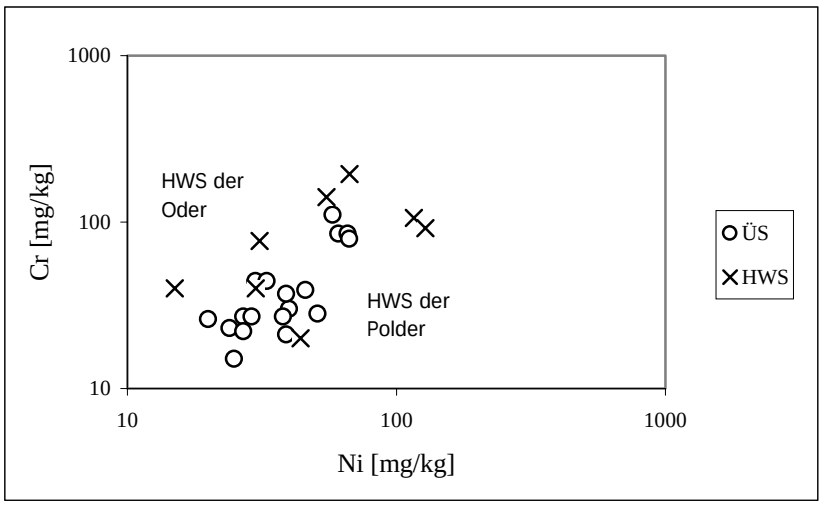


Abb. 47: Korrelation Cr - Ni in Hochwasser- und Überflutungssedimenten

5.2.5 Staubsedimentation in den Poldern

Erhöhte Spurenelementkonzentrationen in den oberen Bodenproben wie auch in den Proben der während der Winterüberflutungen ausgebrachten Sedimentfallen in den Poldern von Gatow und Schwedt gegenüber den südlicher gelegenen Orten Criewen und Stolpe ließen den Verdacht aufkommen, daß atmosphärische Einträge die Ursache dafür sein könnten. Aus den Schornsteinen der PCK Raffinerie GmbH bei Schwedt gelangen optisch fast immer sichtbar atmosphärische Emissionen in die Umgebung. Als weitere größere Emittenten kamen die beiden Papierwerke in Schwedt und das Heizkraftwerk auf polnischer Seite in Betracht. Eingeholte Informationen schlossen Einträge über den Wasserpfad aus, da die Polder auf der Ostseite von der Oder und auf der Westseite von der Hohensaatener-Friedrichsthaler-Wasserstraße (HFW) abgeriegelt sind. Weiterhin mußten für die Abschätzung der Elementeinträge durch die Überflutungen mindestens übersichtsmäßig alle anderen Immissionen bekannt sein. Das Umweltbundesamt publizierte für die letzten Jahre Immissionswerte für die Elemente Cd, Cu, Mn, Pb und Zn von einem Meßpunkt in Angermünde, etwa 20 km vom Untersuchungsgebiet entfernt. Desweiteren liegen Staub- und Elementimmissionsdaten des Landesumweltamtes Brandenburg [SONNENBURG u.a., 1998] aus dem Jahr 1996 von einer Meßstelle in Schwedt vor, die von der von uns 1999 eingerichteten etwa 350 m entfernt war.

Im überflutungsfreien Zeitraum (Juni bis November, jeweils zum 20. des Monats) wurden insgesamt 8 Auffanggefäße nach der Bergerhoff-Methode in den Poldern Gatow, Schwedt, Criewen und Stolpe aufgestellt, das entspricht einem Nord-Süd-Profil, jeweils in der Nähe der HFW und in der Nähe der Oder aufgestellt. Die Ost-West-Abstände zwischen dem Gefäß an der HFW und dem an der Oder betrugen dabei etwa 3 km. Die Staubmengen wurden gemäß der VDI-Richtlinie VDI 2119 von 1996 ausgewogen. Anschließend erfolgte eine Behandlung mit heißer konzentrierter Salpetersäure. Bestimmt wurden die Elemente Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb und Zn. Von den insgesamt 48 Einzelproben fielen 3 aus (eine durch menschliche Einflußnahme, zwei durch Vogelexkremente und Gewöll). Fast stets mit eingefangene Pflanzensamen und Insekten wurden mit Hand ausgelesen. In den meisten Fällen waren die Gefäße zum Zeitpunkt der Probenahme trocken, nur in den Monaten Oktober und November waren einige Milliliter des Niederschlages nicht verdunstet.

Staubdepositionen

Die Position des Untersuchungsgebietes in Nordost–Deutschland mit einer relativ geringen Besiedlungsdichte und einem eben solchen Grad der Industrialisierung, was in gleichem Maße in diesem Raum für Polen gilt, lassen dramatische Staubimmissionen nicht erwarten. Aus den 45 Einzelwerten wurden für den genannten Zeitraum (Juni bis November 1999) die in der Tab. 74 gemessenen Depositionen gefunden.

Tab. 74: Staubimmissionen in den Poldern des Nationalparks „Unteres Odertal“ für die Monate Juni bis November 1999 nach dem Bergerhoff-Verfahren. (Angaben in mg/m²*30d)

Ort	**geometrisches Mittel**	**Minimum**	**Maximum**
HFW - Seite	2.150	390	8.280
Oder - Seite	1.546	220	10.250
Mittelwert	1.840	220	10.250

Die gemessenen Staubmengen des Landes Brandenburg von 1996 (32 mg/m²*30d) sind geringer als die hier an einem 350 m nördlich gelegenen Meßpunkt (65 mg/m²*30d) bestimmten. Bei beiden Meßreihen erweisen sich die Monate Juni und Juli als Monate mit den höchsten Immissionsraten. Außerdem fällt der Unterschied zwischen der Oder- und der HFW-Seite auf. Die um 30 % höheren Depositionsraten auf der HFW-Seite der Polder haben ihre Ursachen in den direkt an die Polder angrenzenden Dörfern mit aktiver Landwirtschaft. Auf der polnischen Seite dominieren bewaldete Flächen mit zum Teil steilen Böschungen zur Oder. Im Verhältnis zum IW I der TA Luft (350 mg/m²*30d) werden im Untersuchungsgebiet Staubmengen von bis zu 20 % des o.g. Wertes erreicht.

Umweltrelevante Spurenelemente in den Staubdepositionen

Die geringen Staubmengen gestatteten keine Bestimmung des Glühverlustes als ein Äquivalent des organischen Anteils. Schätzt man ihn aus den bestimmten Elementen und aus dem normalen Verhältnis dieser Elemente (z.B. Al_2O_3 /SiO_2 = 4,6 in den Bodenproben dieses Gebietes), so ist der anorganische Anteil im Staub nicht viel größer als 10 %. Dabei ist berücksichtigt, daß es sich um KW-Aufschlüsse handelt, in denen das Fe zu etwa 100 %, das Al aber nur zur Hälfte in Lösung geht.

Unterschiede in den durchschnittlichen Spurenelementimmissionen in den Poldern für den Zeitraum Juni bis November 1999 (Tab. 75) sind zwischen der Oder- und der HFW-Seite für die einzelnen Elemente nicht festzustellen, wohl aber zwischen den einzelnen Monaten. So sind im Monat Juni die Elementkonzentrationen auf der HFW-Seite in Stolpe und Schwedt deutlich (mehr als eine Größenordnung) niedriger als auf der Oder-Seite, für Criewen ist es umgekehrt und für Gatow existieren keine Unterschiede. Es scheint eine Abhängigkeit von der Staubmenge zu bestehen, denn die Proben mit den größten Staubmengen haben die geringsten Elementkonzentrationen. Da an beiden Orten fast alle Elemente ein gleiches Maß an

Verdünnung aufweisen, muß eine spurenelementarme Staubkomponente (Pollen?) eingetragen worden sein. Die fehlende Korrelation zwischen Al und den Staubmengen schließt einen vom Boden abzuleitenden Staubanteil ebenfalls aus. Die vom Landesumweltamt Brandenburg für 1996 am Meßpunkt Schwedt ermittelten Elementimmissionen stimmen mit den hier 3 Jahre später gemessenen erstaunlich gut überein (Tab. 76).

Die Anreicherungskoeffizienten (EF) für die Elemente werden nach folgender Formel berechnet:

$$\mathbf{EF = (C Element_{Probe} / C Bezugselement_{Probe}) / (C Element_{Referenz} / C Bezugselement_{Referenz}).}$$

Als Bezugselement werden Al und Mn für die Referenzgebiete BRD (alt) und Europa [MATSCHULLAT, 1997] ausgewählt (Tab. 77). Aus den Ergebnissen läßt sich eine relative Reihenfolge der Kontamination für die einzelnen Elemente aufstellen:
(1) im Vergleich zur BRD-alt auf der Basis von Al: Cd – Pb – Cu – Zn – Mn, Cr – Ni – Fe
(2) im Vergleich zur BRD-alt auf der Basis von Mn: Cd – Pb – Cu – Zn – Cr, Al - Ni – Fe
(3) im Vergleich mit Europa auf der Basis von Mn: Pb – Cr – Cu – Ni – Cd – Zn.

Die Unterschiede in der Reihenfolge der Elemente resultieren aus den Unterschieden, die zwischen den Werten der BRD (alt) und Europa bestehen. Zu den Elementen, die die Aufmerksamkeit für zukünftige Immissionsmessungen und –betrachtungen in diesem Gebiet verdienen, zählen Cd, Ni und Cr.
Die eingangs aus den Meßwerten an den Sedimenten vermutete Feststellung, daß im Raum Schwedt ein erhöhter atmosphärischer Metalleintrag erfolgt, der nach Norden abklingt, läßt sich für die Monate Juni und September eindeutig bestätigen. Am Beispiel des Fe und Zn läßt sich eine Verdoppelung der Konzentrationen ab Schwedt nach Norden nachweisen, während in den Monaten Juli und August eine Ausgeglichenheit herrscht. Für die Monate Oktober und November kehren sich die Verhältnisse mit geringeren Unterschieden um. Leider existieren keine Meßwerte für das Winterhalbjahr. In Abb. 46 wird der vergrößerte Mn-Eintrag gegenüber dem Fe in Schwedt auf der HFW-Seite für alle Monate deutlich. Die hohen Fe/Al-Verhältnisse (Abb. 49) sind für unser Klima nicht von geogenen Quellen abzuleiten.

Tab. 75 :Durchschnittliche Spurenelementimmissionen in den Poldern für Juni bis November 1999, Angaben in mg/m²*30d

Element	arithmetischer Mittelwert	geometrischer Mittelwert	Standard-abweichung	Median
alle Werte				
Al	3,74	3,59	5,96	3,55
As	0,16	0,02	0,87	0,02
Cd	0,01	0,00	0,01	0,00
Cr	0,04	0,01	0,05	0,02
Cu	0,28	0,18	0,45	0,19
Fe	12,59	7,56	17,26	8,60
Mn	1,17	0,37	2,22	0,62
Ni	0,19	0,10	0,35	0,12
Pb	0,29	0,18	0,36	0,21
Zn	2,01	1,08	3,50	0,92
HFW-Seite				
Al	6,15	3,62	7,42	3,53
As	0,03	0,02	0,04	0,02
Cd	0,01	0,00	0,01	0,00
Cr	0,05	0,02	0,07	0,02
Cu	0,31	0,17	0,61	0,18
Fe	15,64	10,16	22,34	9,99
Mn	1,68	0,80	3,01	0,78
Ni	0,23	0,12	0,49	0,11
Pb	0,32	0,20	0,49	0,21
Zn	2,56	1,34	4,70	0,99
Oderseite				
Al	4,87	3,56	4,00	3,63
As	0,30	0,03	1,24	0,02
Cd	0,01	0,00	0,01	0,01
Cr	0,03	0,00	0,03	0,02
Cu	0,24	0,19	0,21	0,19
Fe	9,40	5,41	8,97	7,08
Mn	0,63	0,16	0,51	0,57
Ni	0,14	0,09	0,07	0,12
Pb	0,25	0,16	0,15	0,22
Zn	1,44	0,80	1,35	0,92

Tab. 76: Vergleich der Immissionsdaten (geometr. Mittel) am Meßpunkt Schwedt zwischen den Meßwerten des Landesumweltamtes Brandenburg (LUA) von 1996 und der TU Bergakademie Freiberg (TU BAF) von 1999. Angaben in mg/m²*30d

	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
LUA	0,026	0,008	0,015	0,68	3,20	0,44	0,09	0,30	1,31
TU BAF	0,022	0,006	0,024	0,18	7,34	0,87	0,12	0,23	1,23

Tab. 77 : Berechnete Anreicherungsfaktoren ausgewählter Elemente für die Immissionen im „Unteren Odertal“, 1999, auf der Basis von Al und Mn und den Referenzgebieten BRD (alt) und Europa [Matschullat u.a., 1997]

Bezugselement	Element	BRD (alt)	Europa
Al	Cd	0,15	-
	Cr	0,71	-
	Cu	0,27	-
	Fe	1,77	-
	Mn	0,69	-
	Ni	1,04	-
	Pb	0,24	-
	Zn	0,38	-
Mn	Al	1,40	-
	Cd	0,21	13,20
	Cr	1,02	1,10
	Cu	0,38	3,20
	Fe	2,50	-
	Ni	1,51	4,10
	Pb	0,35	0,52
	Zn	0,58	25,30

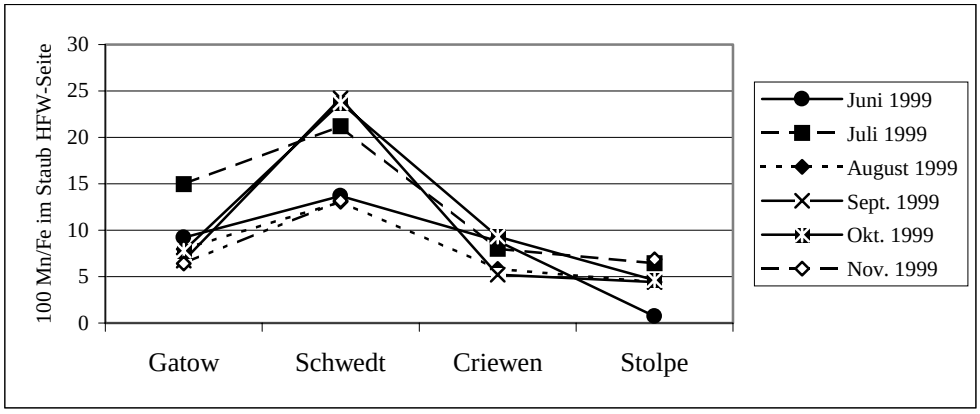


Abb. 48: Verhältnis 100*Mn/Fe im Staub für die untersuchten Polder; deutliche Abweichungen für den Standort Schwedt sichtbar

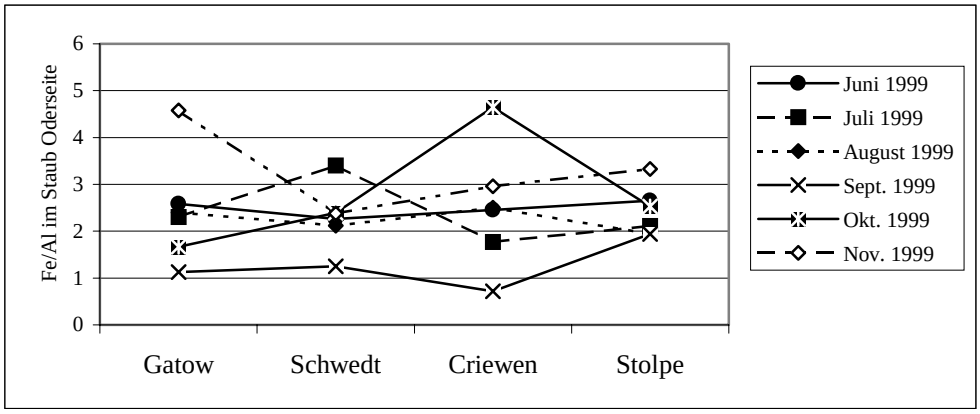


Abb. 49: Fe/Al-Verhältnisse im Staub für die untersuchten Polder; Werte von 5 sind recht hoch und können nicht geogenen Ursprungs sein (zum Vergleich Daten aus Matschullat u.a., 1997: Stadtgebiet: ~1,6; Westharz: 1,2; Osterzgebirge: 0,9; Ungarische Pußta: 1,1)

Die Möglichkeiten, aus der chemischen Zusammensetzung der Depositionen auf die Quellen zu schließen, sind in der Regel gering, und es gelingt nur dort, wo wenige und starke Emittenten mit einem charakteristischen Muster vorhanden sind. Als vorläufiger Versuch wird für das Untersuchungsgebiet das Dreiecksdiagramm Mn – Pb+Cu – Ni+Cr vorgeschlagen.

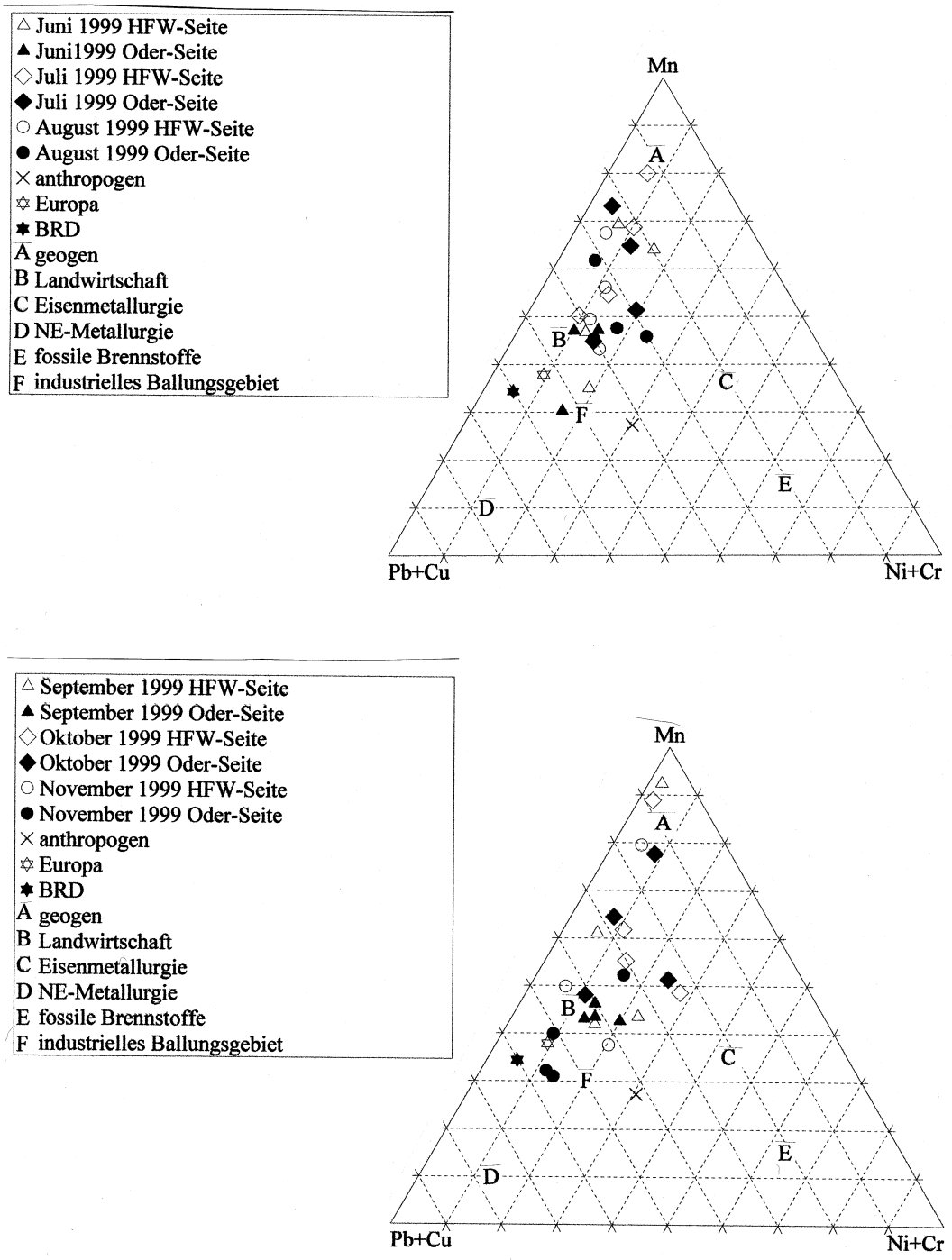


Abb. 50: Emittentenzuordnung für atmosphärische Depositionen in den Poldergebieten des „Unteren Odertales“

5.2.6 Die Oberflächenwässer

Die Probenahme umfaßte Wasser der Oder, der Hohensaaten-Friedrichsthaler-Wasserstraße (HFW), der Welse sowie Senkenwasser, das nach der jährlichen Überflutung (Mai) in großflächigen Senken der Polder als Standwasser verblieb. Die Welse ist bei Vierraden (ca. 5 km NE von Schwedt) beprobt worden. Sie mündet nördlich von Schwedt in die HFW.

Tab. 78: Übersicht der Probenahmeorte der Oberflächenwässer

	Orte (von Nord nach Süd)
Oder	Mescherin (Westoder), Gartz (Westoder), Widuchowa, Einläße für Oderwasser des Polders bei Gatow; Schwedt, Einlaß bei Zützen, Einlaß bei Criewen, Einlaß auf Höhe von Piasek; Hohensaaten, Hohenwutzen
HFW	Friedrichsthal, Gatow, HFW nach Welseeinmündung, Schwedt, Criewen, Stolpe
Welse	Vierraden
Senkenwasser	in den Poldern bei Gatow, Schwedt, Criewen

Bei den Messungen der Feldparameter (Tab. 79) fällt der niedrige Sauerstoffgehalt des Senkenwassers auf, der seine Ursache in dem beginnenden Absterben der Wasserlebewesen im Monat Mai (bis zu 30 °C Wassertemperatur) und der damit verbundenen Sauerstoffzehrung hat. Jahreszeitliche Unterschiede machen sich auch bei den pH-Werten insbesondere in der HFW bemerkbar, im Herbst sind die Meßwerte um bis zu 0,5 niedriger als im Frühjahr.

Tab. 79: Vor-Ort-Parameter der Oberflächenwässer, Angabe des Miniumum, Maximum sowie des geometrischen Mittels. Den Angaben zur Welse liegen nur zwei Meßwerte zugrunde.

	Oder			**HFW**			**Welse**	**Senkenwasser**		
	Min	**Max**	**Mittel**	**Min**	**Max**	**Mittel**	**Mittel**	**Min**	**Max**	**Mittel**
pH	6,6	9,0	**8,1**	6,8	9,9	**8,0**	7,7	6,4	9,6	**7,7**
Eh [mV]	95	507	**359**	66	510	**328**	404	8	427	**213**
LF [µS/cm]	123	777	**282**	150	813	**489**	907	75	1.226	**364**
O_2 [%]	46	121	**94**	50	125	**80**	104	3	152	**47**
O_2 [mg/L]	3,9	13,5	**9,8**	6,3	12,2	**8,5**	nb	0,3	13	**4,1**
T [°C]	4,1	19,3	-	5,6	25,9	-	9,3	11,1	29,7	-

Die Schwebmengen (Tab. 80) sind im Wasser der Senken erwartungsgemäß am höchsten. Da Schweb immer aus einem Agglomerat anorganischer und organischer Substanz besteht, wird im Senkenwasser die Erhöhung der Schwebmenge hauptsächlich im organischen Bestandteil vermutet. In HFW und Oder sind die Schwebmengen auch stark vom Schiffsverkehr abhängig. DieWelse ist nicht schiffbar. Ein Einfluß der Jahreszeit auf die Schwebmengen der HFW besteht offenbar nicht (HFW Winter:9,3 mg/L, HFW Sommer: 9,7 mg/L), wohl aber auf die der Oder (Oder Winter: 9,0 mg/L, Oder Sommer: 21,6 mg/L) (vgl. Kapitel 5.1.1).

Tab. 80: Durchschnittliche Schwebmengen der Oberflächenwässer

	Oder	HFW	Welse	Senkenwasser
Schwebmenge [mg/L]	12,2	9,6	4,7	42,4

Dort, wo Mehrfachmessungen zur gleichen (Jahres-) Zeit an einem Ort vorliegen, lassen sich die Schwebmengen auch örtlich vergleichen (Tab. 81). Die Tabelle zeigt, daß die Schwebmenge in der HFW im untersuchten Abschnitt zwischen Stolpe im Süden und Gatow im Norden relativ gleich ist.

Tab. 81: Schwebmengen der HFW an verschiedenen Orten

	Gatow	Schwedt	Criewen	Stolpe
Schwebmenge [mg/L]	10,8	10,3	8,5	10,6

Aus der Hauptionenanalyse (Tab. 82) wird ersichtlich, daß die Werte der hier untersuchten Oberflächenwässer in jedem Fall die globalen Durchschnittsgehalte übersteigen (Abb. 51). Besonders auffällig ist dies beim SO_4^{2-} (9-20fach). Nach BETHWELL [1999] sind die erhöhten Sulfatkonzentrationen sowie auch die des Chlorids in der Oder vom Bergbau im Einzugsgebiet abhängig. Für das Nitrat ergibt sich eine bis zu dreifache Anreicherung. Anzunehmen sind insbesondere für die Welse Einleitungen kommunaler Abwässer. Da die Ca^{2+}-Gehalte der Welse jedoch ebenfalls höher ausfallen, können die Anreicherungen zumindest teilweise auch auf natürliche Ursachen im Einzugsgebiet zurückgeführt werden. Das Oderwasser unterscheidet sich von den anderen Oberflächenwässern vor allem durch seinen höheren Kaliumgehalt.

Tab. 82: Hauptionengehalte der Oberflächenwässer im Vergleich zu den globalen Durchschnittsgehalten von Flüssen [MARTIN & WHITFIELD, 1983], für NO_3^- nach LIVINGSTONE [1963], Angaben in [mg/L]

	Oder	HFW	Welse	Senkenwasser	∅ Flüsse, global
Na^+	35,9	35,2	41,6	39,1	5,3
K^+	15,1	6,1	8,1	3,6	1,5
Ca^{2+}	64,4	89,0	119	55,8	13,3
Mg^{2+}	10,3	14,2	19,4	12,8	3,1
Cl^-	56,0	65,6	54,8	65,0	6,0
NO_3^-	9,3	4,0	6,2	11,0	3,7
SO_4^{2-}	81,0	104	181	100	8,7
HCO_3^-	97,6	-	-	-	51,7

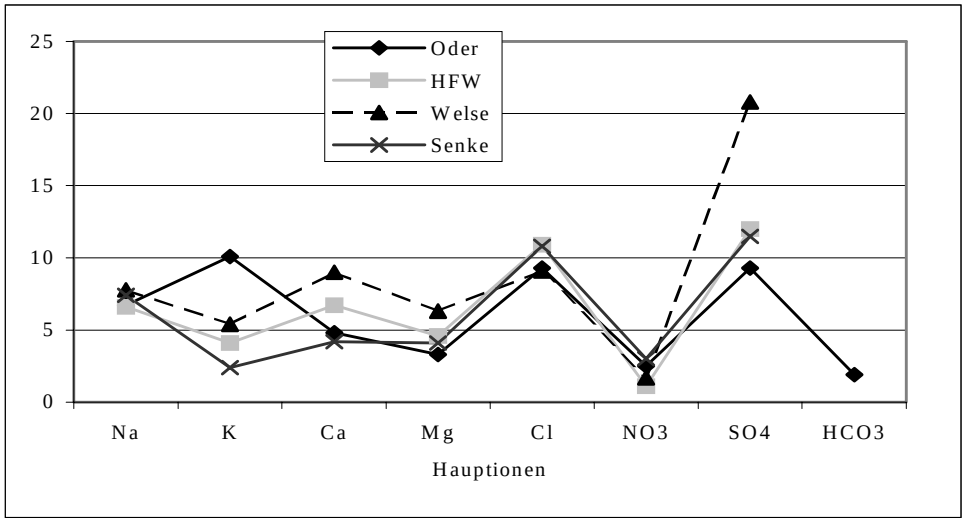


Abb. 51: Anreicherung der Hauptionen in den Oberflächenwässern gegenüber den globalen Durchschnittsgehalten [MARTIN & WHITFIELD, 1983]

Die Spurenelementgehalte im Wasser (Tab. 83 und Abb 52) zeigen vor allem für die Senkenwässer eine dramatische Anreicherung des Mn (600fach), aber auch des Co (150fach). Ebenso liegen Ni (20fach) und Fe (50fach) über den Durchschnittsgehalten unbelasteter Flüsse. Für Ni setzt sich dieser Trend auch in den anderen Wässern mit ca. 10fach erhöhten Werten fort. Das Mn ist ebenfalls in der HFW mit 50fachen Gehalten angereichert, ganz im Gegensatz zum Oderwasser mit nur 4facher Erhöhung. Für die Elemente Zn, Al und As (mit Ausnahme der Senkenwässer) zeigen die Analysen keine Anreicherung.

Tab. 83: Spurenelementgehalte im Wasser, Angaben in [µg/L]

	Oder	**HFW**	**Welse**	**Senkenwasser**	**∅ Flüsse, global**
As	1,4*	1,2*	nn	6,7	1,7
Cd	0,1*	0,1*	0,1	0,1*	0,02
Co	-	-	nn	3,0*	0,2
Cr	1,7	1,2	0,3	0,1	1,0
Cu	5,1	2,2	0,5	0,6	1,5
Ni	5,4	3,9	4,8	10,4	0,5
Pb	0,9	0,6	0,3	0,5	0,1
Zn	9,0	6,5	2,4	1,1	30
Al	31,1	15,2	13,1	33,9	50
Fe	51,9	68,1	120	2.596	40
Mn	34,6	476	126	4.957	8,2

* unsichere Werte aufgrund einer zu geringen Probenanzahl oder zu vielen Messungen unterhalb der Bestimmungsgrenze

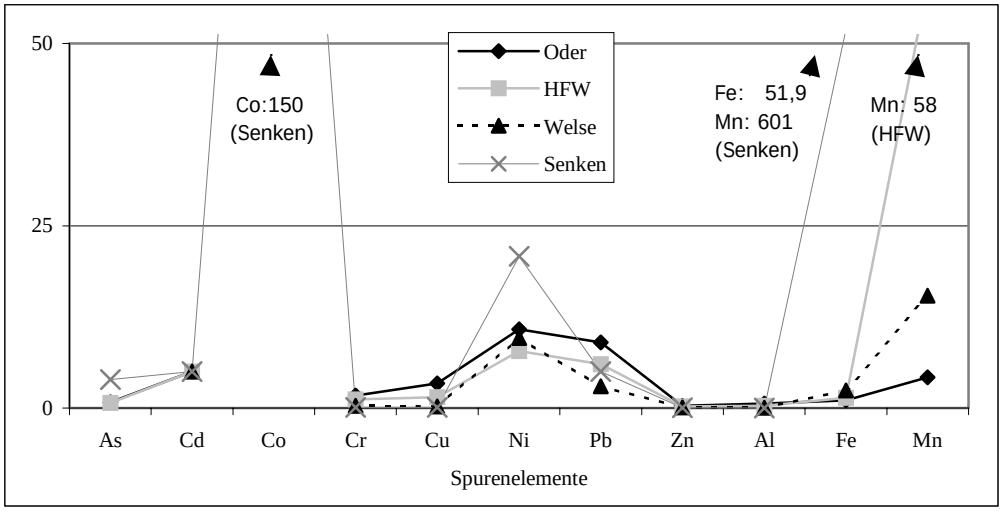


Abb. 52: Die Anreicherung der Spurenelemente gegenüber den globalen Durchschnittsgehalten im Wasser [MARTIN & WHITFIELD, 1983]

Werden die Spurenelementgehalte im Wasser ökotoxikologisch nach den Zielvorgaben vom LAWA-AK beurteilt (Tab. 84), ergeben sich für As und Ni im Senkenwasser bedenkliche Werte. Im allgemeinen jedoch werden die Zielvorgaben nicht bzw. nur sehr geringfügig überschritten.

Tab. 84: Anreicherung von Spurenelementen im Wasser gegenüber den Zielvorgaben der LAWA [1998] für das Schutzgut aquatische Lebensgemeinschaften

	Oder	**HFW**	**Welse**	**Senkenwasser**
As	1,4	1,2	-	6,7
Cd	1,3	1,3	1,3	1,3
Cr	0,17	0,12	0,03	0,01
Cu	1,3	0,6	0,13	0,2
Ni	1,2	0,9	1,1	2,4
Pb	0,3	0,2	0,1	0,2
Zn	0,6	0,5	0,2	0,1

Ein anderes Bild ergibt sich für die Beurteilung der Spurenelementgehalte im Schwebstoff der untersuchten Wässer (Tab. 85). Gegenüber den globalen Durchschnittswerten erscheinen vor allem As (5 bis 15fach) in allen Wassertypen und Mn im Senkenwasser (10fach) angereichert.

Tab. 85: Durchschnittliche Spurenelementkonzentrationen im Schweb der Oberflächenwässer im Vergleich zur globalen Durchschnittskonzentration [MARTIN & WHITFIELD, 1983] Angaben in [mg/kg]

	Oder	**HFW**	**Welse**	**Senkenwasser**	**∅ Flüsse, global**
As	67,7	26,7	25,3	75,2	5,0
Cd	6,0	2,3	4,2*	1,1*	(1)
Co	27,1	9,9	15,0*	8,7*	20
Cr	108	42,8	2,3	9,9	100
Cu	135	157	72,6	488	100
Ni	69,9	36,0	8,4	29,5	90
Pb	204	92,4	52,3	29,5	100
Zn	1.068	691	467	205	250
Sr	-	209	-	-	150
Al	31.570	23.240	9.400	1.042	94.000
Fe	54.830	65.630	73.800	164.690	48.000
Mn	6.253	7.854	4.590	11.280	1.050

*unsichere Werte

Nach FÖRSTNER et. al. (zitiert in LUA BRANDENBURG, 1999) kann davon ausgegangen werden, daß Schwebstoffe den aktuellen Belastungsgrad in einem Gewässer widerspiegeln, da für die meisten Schwermetalle eine Adsorption und damit Anreicherung (bis zum 105fachen gegenüber der Wasserphase) an den Feststoffteilchen stattfindet. Bei Anwendung der Güteklassen nach LAWA [1998] ergeben sich für Schwermetall- und Arsengehalte in Schwebstoffen folgende Belastungsgrade (Tab. 86):

Tab. 86: Güteklassen der Schwebstoffe in den Oberflächenwässern nach LAWA [1998], As nach ISKE [1998]

	Oder	**HFW**	**Welse**	**Senkenwasser**	**Belastungsgrad (verbal)**
As	III	II - III	II - III	III - IV	erhöht bis hoch
Cd	III – IV	III	III	II	gering bis hoch
Cr	II – III	I	I	I	geogen bis mäßig
Cu	III	III	II - III	IV	mäßig bis sehr hoch
Ni	II - III	II	I	I	geogen bis mäßig
Pb	III	II - III	II	I - II	sehr gering bis erhöht
Zn	III - IV	III	III	II -III	mäßig bis hoch

Eine Einteilung der Spurenelemente hinsichtlich der bevorzugten Transportform im Wasser wird in drei Gruppen möglich:

- die Gruppe der bevorzugt gelöst transportierten Elemente: As, Cd, Cr, Cu, Ni und Mn (mit der Ausnahme des Mn im Oderwasser)
- die Gruppe der sowohl im Wasser als auch im Schweb transportierten Elemente: Pb und Zn sowie Mn im Oderwasser
- die Gruppe der überwiegend schwebgebunden transportierten Elemente: Al und Fe.

Tab.87: Durchschnittlicher partikulärer Anteil am Transport von Spurenelementen und Arsen, Angaben in [%]

	Oder	HFW	Welse	Senkenwasser
As	30,7	28,3	-	31,2
Cd	53,5	9,1*	9,1*	42,9
Cr	40,3	14,6	3,7	22,4
Cu	31,0	42,6	14,4	29,7
Ni	23,6	12,2	4,7	22,5
Pb	65,9	53,8	36,4	52,0
Zn	51,7	48,4	23,2	45,4
Al	91,6	90,8	92,0	73,5
Fe	89,0	86,7	72,3	84,5
Mn	65,3	15,7	21,0	31,0

*unsichere Werte

Da das Mn in der Oder hauptsächlich partikulär gebunden transportiert wird, sich jedoch für das Wasser in den Senken des Polders zum Probenahmezeitpunkt nach der Überflutung bereits das entgegengesetzte Bild mit überwiegend gelöstem Transport zeigt, müssen innerhalb der Polder nach Einströmen des Oderwassers Mn-mobilisierende Prozesse abgelaufen sein. Das Wasser der HFW, das mit ablaufendem Wasser aus dem Polder gespeist wird, weist mit 84 % einen hohen gelösten Mn-Anteil auf. Zusätzlich können Mn-reiche Wässer aus anderen Niederungsgebieten im Einzugsgebiet (Oderbruch) kanalaufwärts zugeführt werden.

Das Wasser in den Senken weist im übrigen häufig große Schwankungen zwischen dem gelösten und dem schwebgebundenen Anteil bei den einzelnen Analysen auf, besonders betroffen sind Pb, Zn, Al, Fe und Mn. Dies ist ein Hinweis auf Instabilität des Probenahmebereiches durch häufige Schwankungen der Faktoren, die die Zusammensetzung des Wasser- und Schwebstoffkörpers bestimmen. Zur Beurteilung der Verteilung gelöst-partikulär lassen sich auch die Verteilungskoeffizienten der Elemente berechnen: $Konz._{Schweb}$ / $Konz._{Wasser}$.

Tab. 88: Verteilungskoeffizienten der Oberflächenwässer ($Konz._{Schweb}$/$Konz._{Wasser}$)

	Oder	HFW	Welse	Senkenwasser
As	48.300	22.250	25.300	11.223
Cd	60.000	23.000	42.000	11.000
Co	-	-	15.000	2.900
Cr	63.500	35.600	7.700	99.000
Cu	26.470	71.400	145.200	813.000
Ni	12.900	9.230	1.750	2.800
Pb	227.000	154.000	174.300	59.000
Zn	118.600	106.200	194.600	186.400
Al	1.015.000	1.528.000	718.000	30.700
Fe	1.056.000	963.700	615.500	63.400
Mn	181.000	16.500	36.400	2.275

5.2.7 Das Bodenwasser

Granulometrische Untersuchungen des Bodens und nachfolgende Berechnungen ergeben sehr kleine k_f-Werte (Filtrationskoeffizient nach Hazen zwischen 10^{-5} und 10^{-8} m/s), die wesentliche Vorgänge des Stoffaustausches in vertikaler Richtung ausschließen. Aufgrund der jährlichen mehrmonatigen Überflutung wird dennoch ein vertikaler Stoffaustausch vermutet. Zwischen 1997 und 2000 sind Bodenwässer zu verschiedenen Jahreszeiten und von verschiedenen Orten innerhalb der Polder mit Hilfe einer Saugkerzenanlage gewonnen worden (Tab. 89). Es konnten jeweils 3 Teufen beprobt werden: 50 cm, 100 cm und 150 cm. Die Teufe von 110 cm, die ebenfalls dreimal beprobt wurde, ist bei einbaubedingten Schwierigkeiten (starke Bodenverfestigung) anstatt der 150 cm Tiefe gewählt worden. Um das Bodenwasser auch während der Überflutung zu kontrollieren, ist für die Überflutungsperiode des Jahres 2000 (beprobt wurde im März) eine Eigenbau-Anlage zum Gewinnen des Bodenwassers benutzt worden, da das Bedienungspult der herkömmlichen Saugkerzenanlage nicht der Gefahr des ständigen Wassereinflußes ausgesetzt werden konnte. Die überwiegende Anzahl der Meßwerte stammt aus der überflutungsfreien Zeit, wobei eine Einteilung in „nach der Überflutung“ von Mai bis September und „vor der Überflutung“ von Oktober bis Anfang Dezember erfolgt.

Tab. 89: Probenahmeorte und Positionen der Saugkerzenanlage zur Gewinnung des Bodenwassers

Überflutung	**Probenahmeorte und Positionen**		
	Vor der Überflutung	Während der Überflutung	Nach der Überflutung
1997/1998	Criewen, Odernähe	-	Criewen, HFW-Nähe; Criewen, Mitte des Polders
1998/1999	Criewen, Mitte des Polders	-	Criewen, Mitte des Polders; Gatow
1999/2000	Gatow, Mitte des Polders	Criewen, Mitte des Polders	Stolpe, Mitte des Polders (Trockenpolder)

Der Einfluß des Überflutungsregimes auf die Vor-Ort-Parameter ist Tab. 90 zu entnehmen. Deutlich wird vor allem, dass sich bei der Überflutung die sonst in den einzelnen Teufen unterschiedlichen Werte angleichen. Generell steigen Sauerstoffgehalte, Eh- und pH-Werte während der Überflutung an, während die elektrische Leitfähigkeit abnimmt (außer in der Teufe 150 cm). Nach der Überflutung fallen Sauerstoffgehalte und Eh-Werte wieder, die Leitfähigkeit nimmt weiter ab, während der pH-Wert geringfügig ansteigt.

Tab. 90 Vor-Ort-Parameter der Bodenwässer in den einzelnen Teufen zu verschiedenen Zeitpunkten sowie die Durchschnittswerte (geometrisches Mittel)

	Vor der Überflutung			Während der Überflutung			Nach der Überflutung			∅
Teufe [cm]	**50**	**100**	**150**	**50**	**100**	**150**	**50**	**100**	**150**	
pH	6,2	4,9	5,2	7,0	5,8	5,6	6,9	6,4	6,6	6,0
Eh [mV]	327	457	407	411	420	431	251	381	364	378
LF [µS/cm]	995	818	637	761	807	772	654	483	342	668
O_2 [%]	63	48	41	73	64	70	51	47	53	56
O_2 [mg/L]	8,0	5,1	4,3	7,8	7,2	8	4,4	5,2	5,3	5,9
T [°C]	3,9	7,3	8,1	6,9	8,2	8	7,5	9,1	7,6	7,2

Die Schwebmengen (Tab. 91) sind in 150 cm Tiefe am höchsten. Zur Überflutungszeit nehmen sie in 100 cm etwas und 150 cm Tiefe stark zu (hier ist ein Spitzenwert von 197,24 mg/L bestimmt worden), während sie bei 50 cm geringer ausfallen. Vermutlich bewirkt das Überflutungswasser, welches von der Oberfläche her eindringt, in 50 cm Tiefe eine Verdünnung. In größerer Tiefe schwankt zur Überflutungsszeit einerseits der Grundwasserspiegel, andererseits besitzt das Wasser dann einen höheren Sauerstoffgehalt, was zu sich abwechselnden intensiven Lösungs- und Ausfällungsprozessen führt, so daß das Bodenwasser verstärkt partikelführend wird.

Tab. 91: Durchschnittliche Schwebmengen [mg/L] im Bodenwasser in den drei beprobten Teufen 50, 100 und 150 cm

Teufe	**50 cm**	**100 cm**	**150 cm**
Schwebmenge [mg/L]	2,0	5,6	11,6

Die Gehalte an Hauptelementen in den drei Teufen des Bodenwassers (Tab. 92) zeigen, daß es keine großen Unterschiede zwischen den einzelnen Tiefen gibt. Na^+ und Ca^{2+} nehmen mit sinkender Teufe leicht ab, Mg^{2+}, Cl^- und SO_4^{2-} verzeichnen einen Anstieg in 100 cm Teufe. Im Vergleich zu anderen Oberflächen-/Grundwässern (Tab. 92) ist das untersuchte Bodenwasser dem Grundwasser von landwirtschaftlichen Nutzflächen am ähnlichsten.

Tab. 92: Hauptionengehalte des Bodenwassers in den 3 Teufen und Vergleichswerte: MV: oberflächennahes Grundwasser mit landwirtschaftlicher Nutzung im mittleren Mecklenburg-Vorpommern, GWL: tiefes Grundwasser im pleistozänen Grundwasserleiter im mittleren Mecklenburg-Vorpommern [JORDAN, 1995], LWN: landwirtschaftliche Nutzfläche (Wiese) Thüringen [MATSCHULLAT u.a. 1997], Angaben in [mg/L] *unsichere Werte

	50 cm	**100 cm**	**150 cm**	**MV**	**LWN**	**GWL**	**Wiese**
Na^+	66,6	61,6	55,0	6,8	3,3–48,8	60,5	21,6
K^+	1,0	1,4	1,6	3,6	1,8-8,1	5,2	8,3
Ca^{2+}	117,6	111,6	102,6	89,0	47-123	65,0	85,6
Mg^{2+}	14,3	17,1	14,1	11,1	15-99,8	15,6	47,5
Cl^-	79,4	102,7	71,2	68,0	2,3-96	30,0	75
NO_3^-	3,2	1,5	4,1	59,2	1-149	< 0,5	79
SO_4^{2-}	245	358	241	-	0,5-260	10,0	112
HCO_3^-	-	126*	234*	-	-	378	-

Die Spurenelementgehalte im Wasser der einzelnen Teufen (Tab. 93) lassen erkennen, daß

- in 50 cm Teufe die Elemente As und Pb ihre höchsten Konzentrationen erreichen,
- in 100 cm Teufe Co seinen höchsten Wert erreicht,
- in 150 cm Teufe Fe und Mn stark angereichert sind, Ni und Al ihre höchsten Gehalte haben,
- Zn, Cd, Cu und Cr in allen Teufen relativ ausgeglichene Konzentrationen aufweisen.

In 150 cm Teufe herrschen geringe Redoxpotentiale, die bewirken, daß Fe und Mn hier in gelöster Form vorliegen. Die Abnahme der Konzentration in geringerer Teufe ist im Ausfallen und Absetzen in Form von Verockerungen an Tonmineralaggregaten (in ca. 80 – 100 cm Teufe) zu erklären, die bei Geländearbeiten immer wieder beobachtet werden konnten.

Tab. 93: Spurenelementgehalte im Bodenwasser (µg/L) in den drei Teufen und das geometrische Mittel

Teufe	**50 cm**	**100 cm**	**150 cm**	∅
As	19,0	5,4	3,9	6,3
Cd	1,6	1,1	2,0	1,3
Co	1,5	8,5	5,1	5,0
Cr	2,8	2,0	2,5	2,4
Cu	10,8	11,7	14,3	10,9
Ni	19,4	30,2	38,8	27,8
Pb	12,1	9,2	3,1	7,9
Zn	146,9	163,9	152,3	143,5
Al	30	107	116	74
Fe	33	389	3.069	498
Mn	251	1.594	6.637	1.769

Nach der Normierung der in Tab. 93 aufgeführten Werte der drei Teufen (Abb. 53) wird erkennbar, daß in allen drei Teufen die Trends der Abweichung vom nichtkontaminierten Grundwasser gleich verlaufen. Der Grad der Abweichung ist bei Cd und Mn in 150 cm Tiefe am stärksten ausgeprägt. Für As erfolgt bei 50 cm Teufe die höchste Anreicherung. Für Cr, Fe und Mn sind in der Teufe von 50 cm sogar geringe Abreicherungen (< 1) zu erkennen.

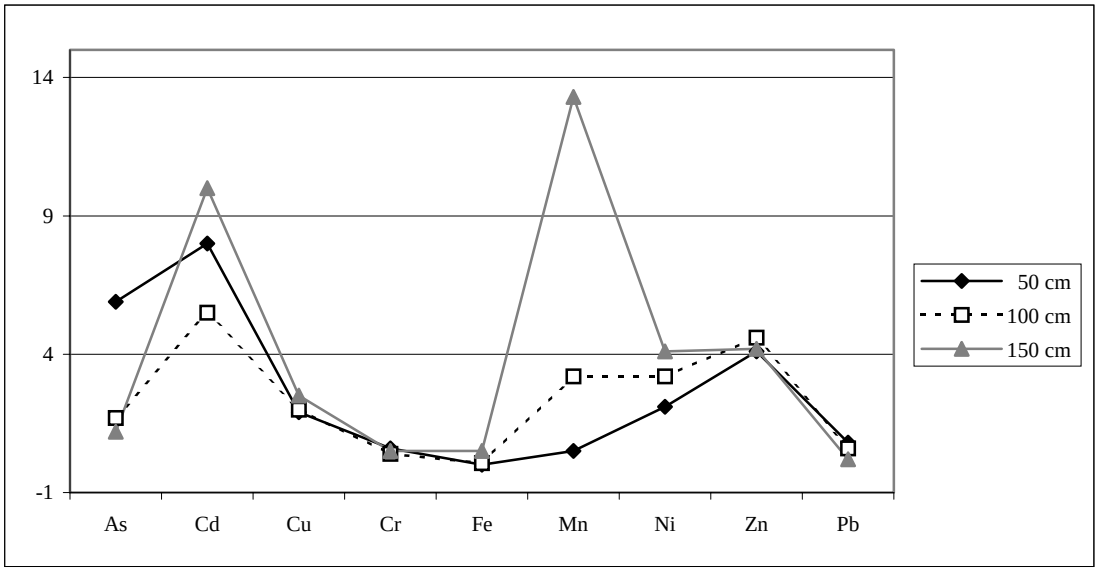


Abb. 53: Anreicherungsfaktoren der Spurenelementgehalte im Bodenwassers gegenüber Mittelwerten nichtkontaminierten Grundwassers nach ARNETH u.a. [1989], für Pb nach SALOMONS & FÖRSTNER [1995]

Für eine ökotoxikologische Bewertung des Bodenwassers sind einerseits die Richtwerte der Niederlande (Tab. 94), andererseits die Zielvorgaben der IKSE (Tab. 95) angewendet worden. Nach dem niederländischen Maßstab gilt das Bodenwasser mit Ausnahme des Pb in 50 cm Teufe (Faktor 8) als gering bis gar nicht belastet (Faktor 0,5 bis 2,8). Bei Anwendung der IKSE-Zielvorgaben ist mit Ausnahme des Cr (alle drei Teufen) und des Pb (150 cm Teufe) von einem stark kontaminierten Wasser zu sprechen. Besonders As, Cd und auch Zn weisen extreme Anreicherungen (bis Faktor 28) auf.

Tab. 94: Faktoren der Überschreitung der Spurenelementgehalte des Bodenwassers (gelöst) über den Zielwerten (gelöst) im Grundwasser nach den Richtwerten und Qualitätsstandards der Niederlande [Netherlands Ministry of Housing, Physical Planning and Environment, 1981]

	50 cm	**100 cm**	**150 cm**	**Zielwert Grundwasser [µg/L]**
As	1,9	0,5	0,9	8,6
Cd	1,1	0,7	1,3	0,005
Cr	2,8	2,0	2,5	2,0
Cu	0,7	0,8	1,4	15,0
Ni	1,3	2,0	2,6	15,0
Pb	8,1	0,6	2,1	15,0
Zn	1,0	1,1	1,0	150

Tab. 95: Faktoren der Überschreitung der Spurenelementgehalte im Bodenwasser (gelöst) nach einer Bewertung mit den Zielvorgaben der IKSE für das Schutzgut aquatische Lebensgemeinschaften

	50 cm	100 cm	150 cm	IKSE-Zielvorgabe [µg/L]
As	19	5,4	3,9	1,0
Cd	22,2	15,3	27,8	0,07
Cr	0,3	0,2	0,3	10
Cu	2,7	2,9	3,6	4
Ni	4,9	7,6	9,7	4,5
Pb	3,6	2,7	0,9	3,5
Zn	10,5	11,7	10,9	14

Für den Polder Criewen kann ein Ost-West-Vergleich von der Oder über die Mitte des Polders bis zur Hohensaaten-Friedrichsthaler-Wasserstraße hinsichtlich der Spurenelementkonzentrationen gemacht werden (Tab. 96 und Abb. 54). Dabei wird deutlich, daß die meisten Elemente auf der HFW-Seite ihre maximalen Konzentrationen erreichen. In einer anderen Darstellungsweise (Abb. 55) zeigt sich, daß zumindest in der Tiefe von 50 cm eine gewisse Ähnlichkeit der drei Bodenwässer besteht, wobei das Wasser aus der Poldermitte dem aus Odernähe noch am meisten gleicht. Das Grundwasser in HFW-Nähe ist durch geringere Al-Gehalte und höhere Konzentrationen für Pb, Ni, Cu und Cd charakterisiert. Das Grundwasser in Odernähe in dieser Teufe dagegen zeigt vor allem höhere Mn-Gehalte. As ist hier nicht nachweisbar. Die Mitte des Polders ist durch höhere Gehalte an Fe gekennzeichnet.

Tab.96: Ost-West-Vergleich der Spurenelementgehalte im Bodenwasser [µg/L] im Polder Criewen

Criewen									
Teufe	**50 cm**			**100 cm**			**150 cm**		**110 cm**
Position	HFW-Nähe	Mitte des Polders	Oder-Nähe	HFW-Nähe	Mitte des Polders	Oder-Nähe	HFW-Nähe	Mitte des Polders	Oder-Nähe
As	27	17,7	nn	10	5,9	3,5	Kein Wasser	14,9	5,1
Cd	9,9	2,0	0,7	8,4	1,2	0,3		2,9	0,3
Cr	2,9	2,2	3,5	2,1	1,1	3,3		7,3*	2,5
Cu	49,5	14	3,6	26,4	12,1	1,6		2,6	1,2
Ni	86,0	16,3	19,6	114	23,9	17,8		8,5	15,8
Pb	28,9	7,6	5,5	1,1	3,1	43,6		3,9	35,7
Zn	273	181	86,2	391	130,4	47,5		133,1	75,1
Al	3,8	37	32	8,5	24	144		35	18
Fe	36	31,3	28	8.570	39	3.833		5.959	973
Mn	1.070	106	649	1.780	502	1.984		6.207	2.933

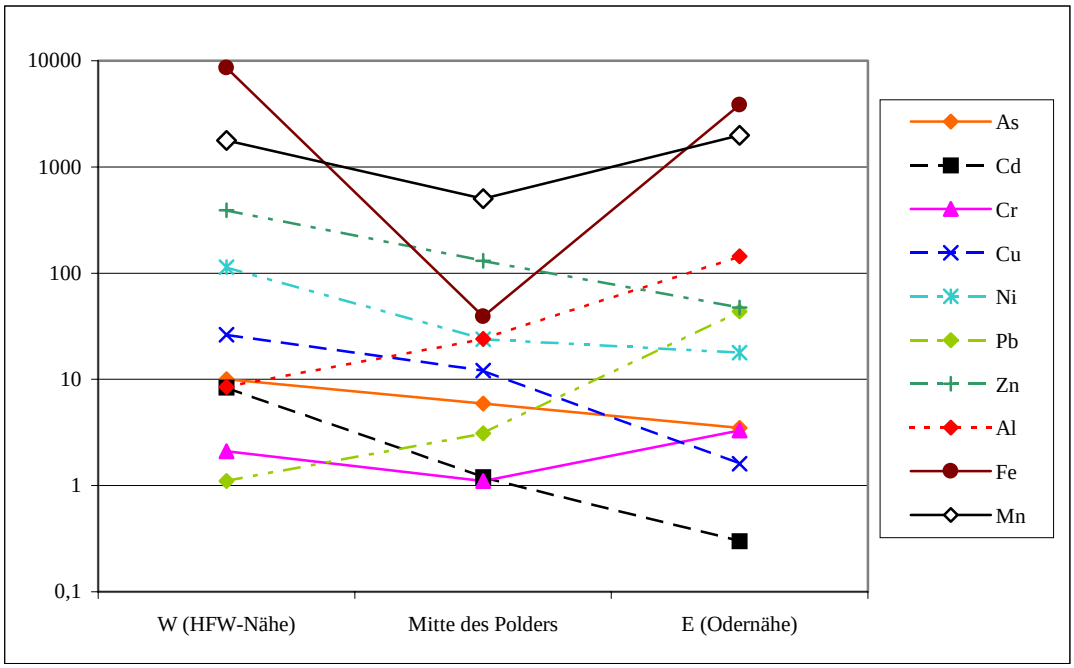


Abb. 54: Ost-West-Vergleich der Spurenelementgehalte im Bodenwasser [µg/L] für die Teufe 100 cm im Polder Criewen

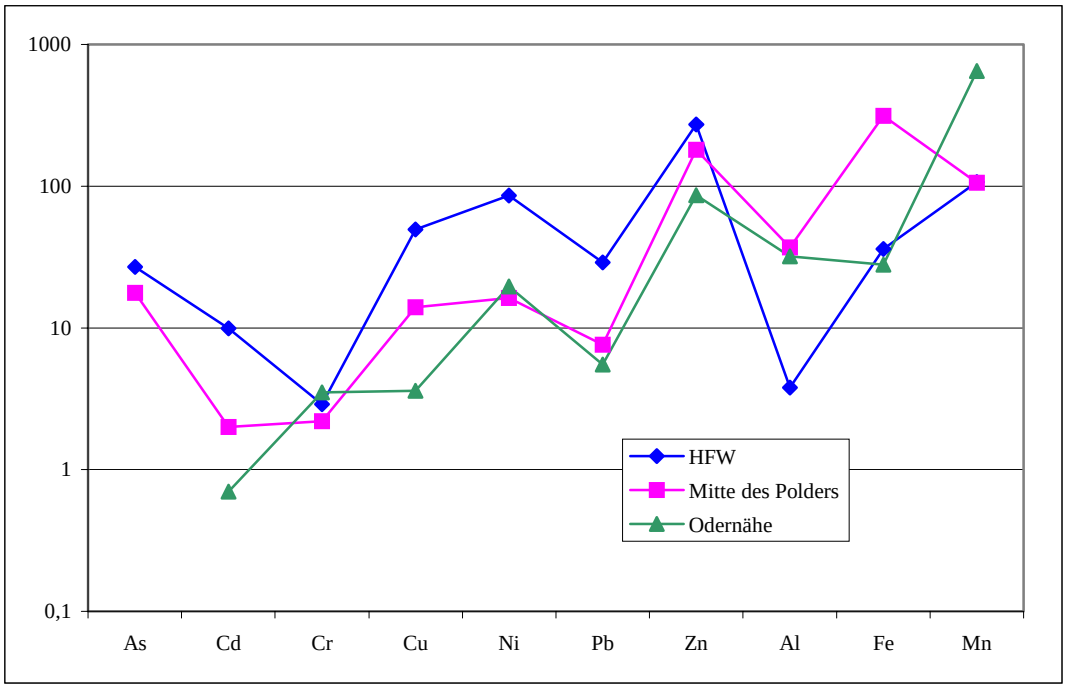


Abb. 55: Spurenelementgehalte des Bodenwassers [µg/L] in 50 cm Teufe im Polder Criewen

In 100 cm Teufe unterscheidet sich das Grundwasser in Odernähe stärker von dem der anderen Positionen (Abb. 56). Es zeigt sehr oft den entgegengesetzten Trendverlauf zu den Standorten Poldermitte und HFW-Nähe. Besonders auffällig wird dies beim Pb, aber auch bei Cu, Cd und Al. Das Fe erreicht in der Poldermitte erst bei 150 cm seine höchsten Werte, für HFW- und Odernähe geschieht dies schon in 100 cm Tiefe, ein Hinweis darauf, daß der Grundwasserspiegel in Fluß- bzw. Kanalnähe höher liegen muß. Sicher gibt es hier Einflüße durch Uferfiltration, die sich besonders bei steigendem Oberflächenwasserspiegel (auf der Oderseite) bemerkbar machen. Nach LUA BRANDENBURG [1998] befinden sich die Wasserstände der Oder seit der künstlichen Verlegung auf den höheren rechten Rand der geologischen Einheit auch bei normalen Abflußverhältnissen über der Geländeoberkante der Polder, wodurch es zu Zuströmen aus der Oder kommt. Das bekannteste Beispiel hierfür ist das Oderbruch, wobei sich die Situation in den Poldern der Unteren Oderaue keinesfalls so extrem gestaltet wie dort.

Da der Großteil der Proben außerhalb der Überflutungszeit entnommen wurde und damit für jene Grundwasserproben der direkte Einfluß des Überflutungswassers (als Wasser der Oder) nicht gegeben ist, könnte man versuchen, einen Einfluß in der überflutungsfreien Zeit im Randbereich des Polders durch Uferfiltration zu bestimmen. In HÖLTING (1992) ist eine Methode beschrieben, mit der man den Uferfiltratanteil im Grundwasser berechnen kann:

$$X = \frac{CGw' - CGw}{CFe - CGw}$$

X = Anteil des Uferfiltrats am Mischwasser
C_{Fe} = Konzentration (des Leitions) im Flußwasser
C_{Gw} = Konzentration im korrespondierenden Grundwasser
C_{Gw}‘= Konzentration im korrespondierenden Mischwasser

Geeignete Leitionen sind z.B. Na^+ und Cl^-, da diese im Untergrund beständig und frei beweglich sind. Nimmt man an, daß das Grundwasser der Poldermitte in 100 cm Teufe das korrespondierende Grundwasser repräsentiert, das Grundwasser in Odernähe in 100 cm Teufe das korrespondierende Mischwasser darstellt und das Oderwasser als Flußwasser in der Formel verwendet, käme man bei Einsatz des Cl^- als Leition auf einen Uferfiltratanteil von 30 %. Verwendet man dagegen Na^+ als Leition, so würden nur rund 5 % des Grundwassers aus der Oder stammen. Für die HFW-Seite würde man erstaunliche Werte zwischen 40 % (Na^+) und 100 % (Cl^-) erhalten. Bei Verwendung obiger Formel darf sich die Konzentration des Leitions bei der Uferfiltration nicht ändern. Das kann aber nicht ausgeschlossen werden. Deshalb – und weil die Nachhaltigkeit des Einflußes des Oderwassers als Überflutungswasser nicht genau abgeschätzt werden kann - bleiben die Berechnungen hypothetisch.

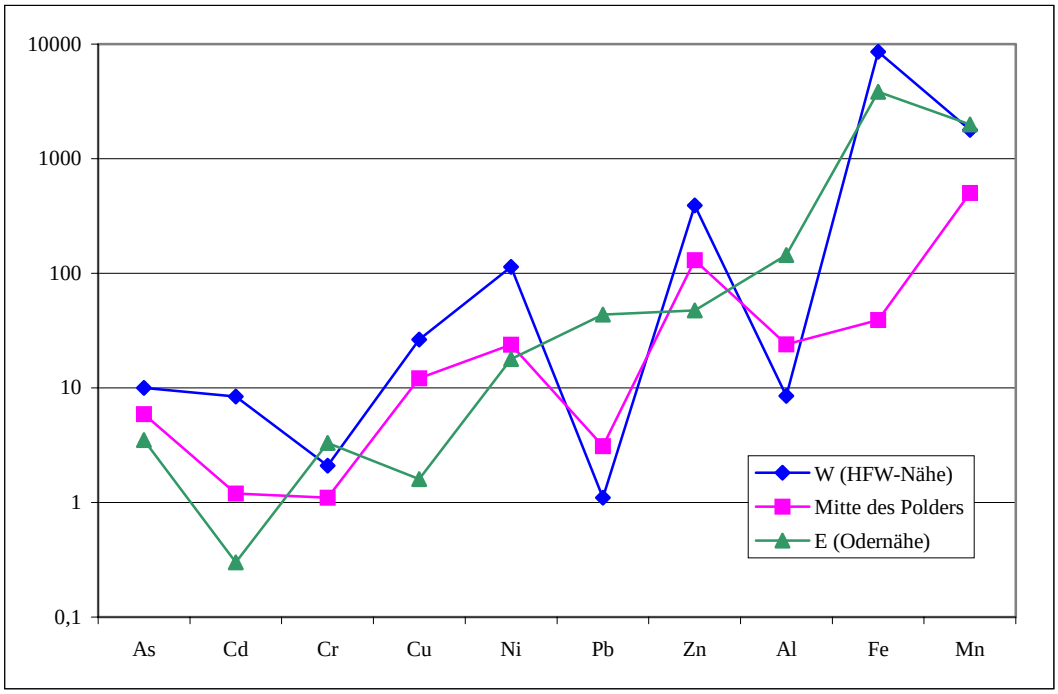


Abb. 56: Konzentrationsverlauf des Bodenwassers [µg/L] in 100 cm Teufe im Polder Criewen

Jedoch kann mit hoher Wahrscheinlichkeit angeben werden, daß die Infiltrationsrate auf der HFW-Seite höher ist als auf der Oderseite und daß in Randbereichen des Polders das Grundwasser zu einem nicht geringen Anteil vom Fluß bzw. Kanal beeinflußt wird. Auf der HFW-Seite läßt sich auch an der Tatsache, daß das im April noch im Polder befindliche Überflutungswasser in die HFW mittels Schöpfwerke gepumpt werden muß (es fließt nicht von selbst ab), ablesen, daß der natürliche Abstrom auch im Untergrund in Richtung der Polder geht.

Ebenso wie ein E-W-Vergleich ist auch ein N-S-Vergleich (Tab. 97) möglich, da die Saugkerzenanlage sowohl südlich von Criewen in der Poldermitte des Lunow-Stolper Polders (bei Stolpe) als auch nördlich im Fiddichower Polder bei Gatow, wieder in Poldermitte positioniert, stand. Leider ist ein Vergleich für alle drei Orte nur für die Teufe von 100 cm möglich, da in Gatow und Stolpe bei 50 cm Tiefe kein Wasser gewonnen wurde und auch die Saugkerze in 150 cm Tiefe in Stolpe trocken blieb.

Tab. 97: N-S-Vergleich der Spurenelementgehalte im Bodenwasser [µg/L]

N-S-Vergleich									
Teufe	**50 cm**			**100 cm**			**150 cm**		
Polder	Gatow	Criewen	Stolpe	Gatow	Criewen	Stolpe	Gatow	Criewen	Stolpe
As	kein	17,7	Kein	5,3	5,9	4,5	1,5	14,9	kein
Cd	Wasser	2,0	Wasser	2,0	1,2	nn	1,4	2,9	Wasser
Cr		2,2		3,1	1,1	nn	2,3	2,6	
Cu		14,0		28,0	12,1	14,7	20,1	8,5	
Ni		16,3		52,1	23,9	26,4	49,1	30,1	
Pb		7,6		5,4	3,1	93,3*	2,6	3,9	
Zn		181		361	130	165	184	133	
Al		37		598	24,0	347	368	35,0	
Fe		31,3		687	39,0	2.520	1.563	5.959	
Mn		106		7.745	502	1.130	7.997	6.207	

*unsichere Werte

Die Abb. 57 mit der Darstellung der Werte für 100 cm Tiefe aus Tab. 97 verdeutlicht, daß der Standort Stolpe durch einen hohen Pb-Gehalt (unsicherer Wert), der Standort Criewen durch niedrigere Al- und Fe- Konzentrationen und Gatow durch einen höheren Mn-Gehalt gekennzeichnet ist. In 150 cm Tiefe (für Gatow und Criewen) ergibt sich fast das gleiche Bild, jedoch ist dann der Fe-Gehalt in Criewen am höchsten. Hier besteht wieder, wie schon oben erwähnt, eine Abhängigkeit zum Grundwasserspiegel, der durch die Nähe der Standort-Positionen zu Altarmen in Gatow und Stolpe höher liegt. Die auffällig höheren Pb-Gehalte in Stolpe sind statistisch nicht gesichert, da zu wenige Messungen erfolgten. In Criewen (Mitte Polder) zeigten sich zur Überflutungszeit im Jahr 2000 ähnlich hohe Pb-Konzentrationen wie in Stolpe. Bei der Berechnung von Mittelwerten verlieren diese Ausnahme-Werte jedoch ihren Einfluß. Offenbar wird Pb durch den Wassereinfluß mobilisiert. BETHWELL [1999] stellte fest, daß in den obersten Bodenbereichen (2 bis 10 cm) in den Böden des Unteren Odertales eine Abnahme des Bleigehaltes nach dem Hochwasserereignis von 1997 zu verzeichnen war.

Daraus ergibt sich die Frage, ob das mobilisierte Pb mit dem abziehenden Überflutungswasser aus dem Polder ausgetragen wurde oder ob es Umlagerungen (z.B. in tiefere Bodenbereiche) innerhalb des Polders gegeben hat.

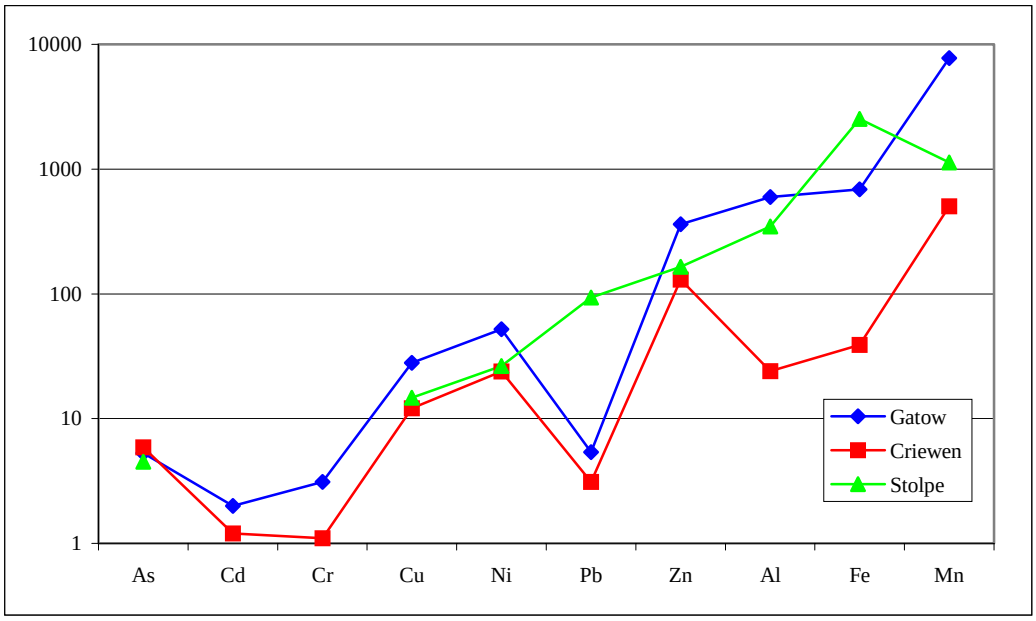


Abb. 57: N-S-Vergleich der Spurenelementgehalte im Bodenwasser [µg/L] für die Teufe 100 cm

Tab. 98 zeigt die Elementkonzentrationen im Schweb des Bodenwassers und die Bewertung mit dem Klassifizierungsschema nach LAWA [1998]. Danach ergibt sich für die Teufe von 50 cm für alle Elemente die höchste Belastungsstufe. Eine deutliche Verbesserung mit zunehmender Teufe tritt nur für Ni, Cu und Zn ein.

Tab. 98: Spurenelementgehalte im Schwebstoff [mg/kg] des Bodenwassers in Abhängigkeit von der Teufe, Einstufung nach LAWA [1998]

Teufe	**50 cm**		**100 cm**		**150 cm**	
	Gehalt	**LAWA**	**Gehalt**	**LAWA**	**Gehalt**	**LAWA**
As	486	-	388	-	145	-
Cd	25	IV	15	IV	5	III – IV
Co	31	-	28	-	7	-
Cr	1.284	IV	131	II – III	76	II – III
Cu	706	IV	165	III	59	II
Ni	451	IV	91	II – III	36	I – II
Pb	5.125	IV	1.062	IV	266	III
Zn	3.326	IV	684	III	189	II
Al	46.233	-	8.727	-	3.828	-
Fe	77.098	-	60.236	-	160.375	-
Mn	2.696	-	1.432	-	820	-

Tab. 99: Gesamtspurenelementgehalte (gelöst + partikulär) im Bodenwasser [µg/L] und Anteil des partikulären Transports am Gesamttransport [%]

Teufe	50 cm		100 cm		150 cm	
	Gesamt-gehalt	Partikulärer Anteil	Gesamt-gehalt	Partikulärer Anteil	Gesamt-gehalt	Partikulärer Anteil
As	13,7	1,8	9,5	58,9	8,8	26,5
Cd	3,5	18,9	2,7	19,2	5,9	1,3
Cr	16,8	61,5	3,7	38,3	3,0	25,1
Cu	21,2	34,2	25,2	24,6	28,9	4,4
Ni	37,7	16,4	61,0	7,1	98,1	0,6
Pb	84,4	52,0	89,0	46,9	13,2	53,1
Zn	220	26,5	545	9,0	352	0,7
Al	684	79,8	1.167	43,0	1.451	25,4
Fe	1.665	80,1	8.577	47,6	13.860	22,0
Mn	595	6,6	8.796	1,2	10.565	0,4

In Tab. 99 sind die gesamten Spurenelementgehalte (gelöst + partikulär) zusammengestellt. Diese Tabelle gibt weiterhin Aufschluß über die von den einzelnen Elementen bevorzugten Transportformen im Bodenwasser. Die Mehrheit der Spurenelemente liegt gelöst im Wasser vor. Auffallende Wechsel in der Verteilung zeigen As, Al und Fe, wogegen die Verteilung von Mn konstant bleibt. Am Beispiel des Pb soll gezeigt werden, daß Mittelwerten nur eine geringe Aussagekraft zukommt, insbesondere bei den hier wechselnden Verhältnissen durch das Überflutungsregime.

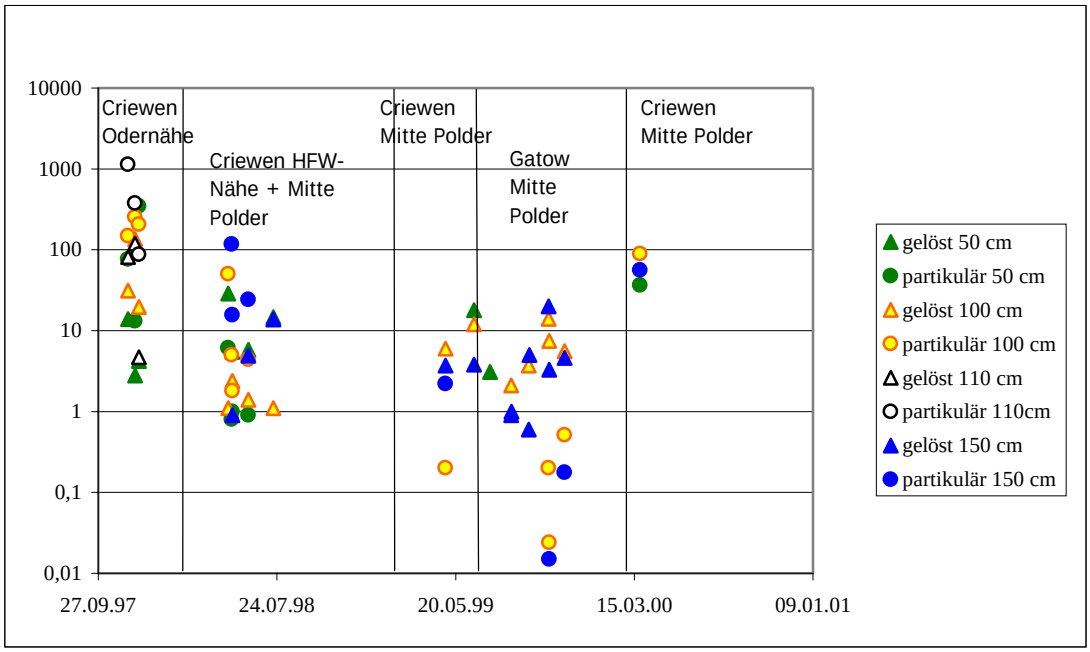


Abb. 58: Bleigehalte im Bodenwasser [µg/L] im Beprobungszeitraum November 1997 bis März 2000 unter Berücksichtigung der Verteilung gelöst - partikulär (schwebstoffgebunden)

Laut Tab. 99 liegt Pb in allen drei Teufen immer zu fast gleichen Teilen sowohl gelöst als auch schwebgebunden vor. Betrachtet man jedoch die Situation zu verschiedenen Zeiten und an den verschiedenen Standorten (Abb. 58), ergeben sich stärkere Abweichungen. Am Standort Criewen/Odernähe liegen die schwebgebundenen und gelösten Anteile in annähernd gleichenAnteilen vor. Das Konzentrationsniveau ist generell etwas erhöht gegenüber den anderen Standorten. Hier spielt die Nähe zur Oder eine große Rolle. Im Wasser der Oder liegen die Anteile ebenfalls eng beeinander (Pb gelöst: 34,1 %, Pb partikulär 65,9 %). Bei den folgenden Standorten Criewen/HFW-Nähe und /Mitte Polder sind Situationen nach der Überflutung dokumentiert. Hier liegen die Verteilungen sehr gemischt vor. In Gatow/Mitte Polder (vor der Überflutung) werden die höheren Pb-Konzentrationen gelöst im Wasser festgestellt. Die letzten Werte entstammen der Überflutungszeit in Criewen/Mitte Polder. Nun zeigt sich deutlich der Anstieg des partikulären Anteils des Pb in allen drei Teufen. Da die Saugkerzenanlage häufig umgesetzt wurde, könnten die Veränderungen aber auch standortbedingt sein. In Abb. 59 mit derselben Darstellungsweise für Zn beweist sich die in Tab. 99 dokumentierte ständige Dominanz der gelösten Transportform. Nur in Odernähe gibt es Abweichungen in der Art, daß die Anteile weniger stark differenziert sind.

Für weitergehende Betrachtungen hinsichtlich der Verteilung der Elemente in Schweb- und Wasserphase sind in Tab. 100 auch die Verteilungskoeffizienten aufgeführt. Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß Einflüße des Überflutungswassers auch im Bodenwasser und auch bis zur Teufe von 150 cm nachzuweisen sind. Damit sind Prozesse des vertikalen Stoffaustausches möglich. In der überflutungsfreien Zeit können sich die Bodenwässer in den einzelnen Teufen stärker differenzieren und Stoffaustauschprozesse treten in den Hintergrund.

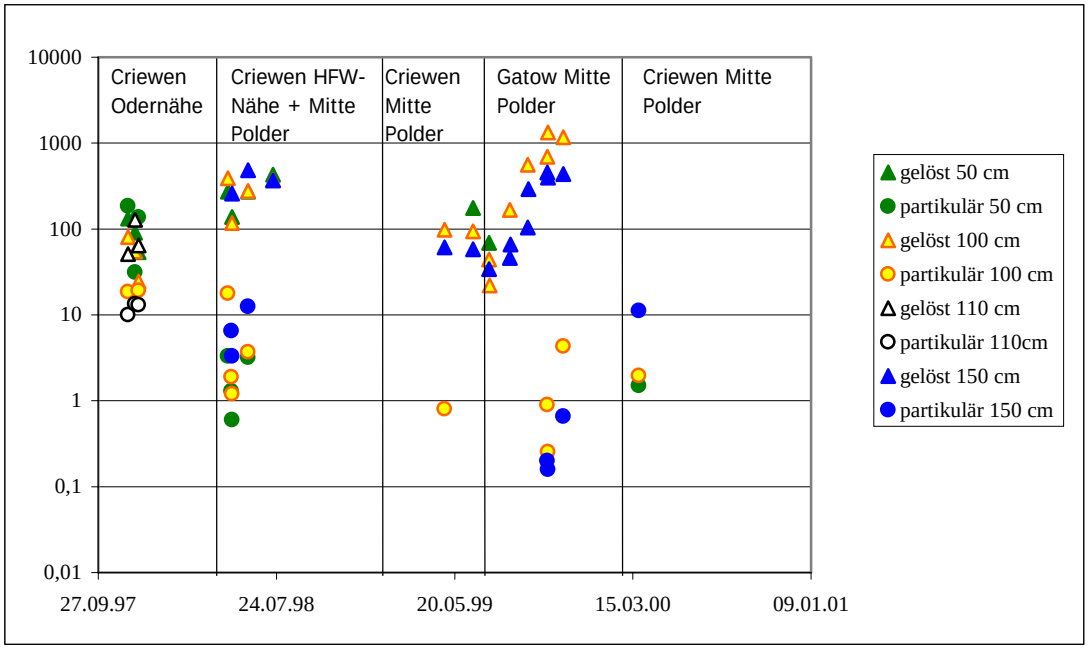


Abb. 59: Zinkgehalte (µg/L) im Bodenwasser für den Beprobungszeitraum November 1997 bis März 2000 unter Berücksichtigung der Verteilung gelöst - partikulär (schwebstoffgebunden)

Tab. 100: Verteilungskoeffizienten im Bodenwasser ($Konz_{Schweb}$ / $Konz_{Wasser}$)

Teufe	**50 cm**	**100 cm**	**150 cm**
As	25.500	71.900	37.200
Cd	15.600	13.600	3.800
Co	20.700	3.200	1.400
Cr	458.600	65.500	31.700
Cu	65.400	14.100	4.100
Ni	23.200	3.000	900
Pb	42.300	115.400	85.800
Zn	22.800	4.200	1.200
Al	154.100	81.600	33.000
Fe	2.336.000	154.000	52.300
Mn	10.700	898	123

5.2.8 Boden und Pflanze – Transferfaktoren

Die Nutzung der Naßpolder im unteren Odertal als Flächen der Weidewirtschaft und Heugewinnung ließ die Frage nach dem Einfluß der jährlich stark wechselnden Redoxbedingungen und damit der sich ebenso ändernden Mobilität einiger Elemente auf die Pflanzenwelt bedeutsam erscheinen. Besonders auf das Manganproblem hatte schon SCHALITZ [1998] hingewiesen.

An einer kleinen Probenanzahl von Flutrasen und Phragmites comunis, genommen zu verschiedenen Zeiten, wurde eine Auswahl von Schwermetallen und Arsen quantitativ bestimmt, teilweise mit den entsprechenden Konzentrationen im Boden verglichen und die Transferfaktoren errechnet. Zum Vergleich werden Pflanzen- und Sedimentanalysen aus einem Stadtteich (Kreuzteich) von Freiberg/Sachsen angeführt, ein Standort mit sehr hoher Schwermetallkontamination aus der Zeit des Bergbaues und der Verhüttung. Die Probenahme in den Poldern berücksichtigte die Zeiträume Frühjahr und Herbst sowie vor und nach dem Extremhochwasser von 1997. Verglichen wurden auch zwei unterschiedliche morphologische Positionen (Hochlage und Senke, Höhendifferenz etwa 8 cm, Entfernung zwischen beiden Orten etwa 70 m). Zur Analyse gelangten nur die oberirdischen Pflanzenteile, die mehrfach in bidestilliertem Wasser gewaschen, dann getrocknet, pulverisiert und in der Mikrowelle mit Salpetersäure aufgeschlossen wurden. Die Analyse erfolgte mit ICP-MS bzw. mit AAS (Tab. 101).

Pflanzenarten und Standorte

Vergleicht man zunächst die geometrischen Mittelwerte der Konzentrationen für Flutrasen mit den von SCHALITZ [1998] mitgeteilten Werten, fällt für alle Elemente der zum Teil sehr große Unterschied auf. In einigen Fällen (Al, Fe, Mn) übersteigt er eine Größenordnung, bei den Elementen Cu, Ni, Pb und Zn wird der Faktor ≥ 5 erreicht. Es ist kaum anzunehmen, daß der tatsächlich zu beobachtende Rückgang der Elementgehalte in den Sedimenten der saisonalen Überflutungen nach 1996 einen solchen Konzentrationsrückgang in den Pflanzen verursacht. Wahrscheinlicher liegen die Ursachen in der unterschiedlichen Probenahme, mehr noch in der Probenpräparation.

Tab.101: Spurenelementkonzentrationen in den Pflanzenproben der Polder und Vergleichswerte in mg/kg TS

	Al	**Fe**	**Mn**	**Cu**	**Ni**	**Pb**	**Zn**
Flutrasen							
Geometrischer Mittelwert	50	105	201	10,0	1,90	2,4	48
Intervall	32-127	64-158	96-548	5-17	0,8–3,0	0,5–7,1	21-89
Referenzpflanze von MARKERT	80	150	200	10,0	1,50	1,0	50
Phragmites comunis							
Polder Gatow	12	75	296	23	1,3	0,7	65
Kreuzteich Freiberg	173	214	120	8	1,1	6,0	92
Flutrasen, Polder Criewen							
vor dem Hochwasser 1997 = **A**	34	89	171	6	1,3	1,0	43
nach SCHALITZ [1998] = **C**	15	257	519	4	1,2	3,5	39
Flutrasen, Polder Criewen							
nach dem Hochwasser 1997 = **B**	127	158	415	14	3,0	7,1	89
B /A	**3,7**	**1,8**	**2,4**	**2,3**	**2,3**	**7,1**	**2,1**
nach SCHALITZ [1998] = **D**	1.102	2.372	3.558	13	9,5	7,5	201
D / C	**73**	**9,2**	**6,8**	**3,2**	**7,9**	**2,1**	**5,1**
Flutrasen, Polder Gatow							
Frühjahr	39	64	96	5	0,8	0,5	20
Herbst	35	96	176	15	2,9	0,6	47
Herbst/Frühjahr	0,4	1,5	1,8	3,0	3,6	1,2	2,3
Flutrasen 6 Monate in kommerzieller Blumentopferde kultiviert	53	114	548	9	2,0	3,0	54
Typha, Freiberg	48	148	1.094	13	2,7	6,6	396

Die Unterschiede der in dieser Arbeit gemessenen Konzentrationen zu denen der „Referenzpflanze“ von MARKERT [1996] sind dagegen unwesentlich (Abb. 60).

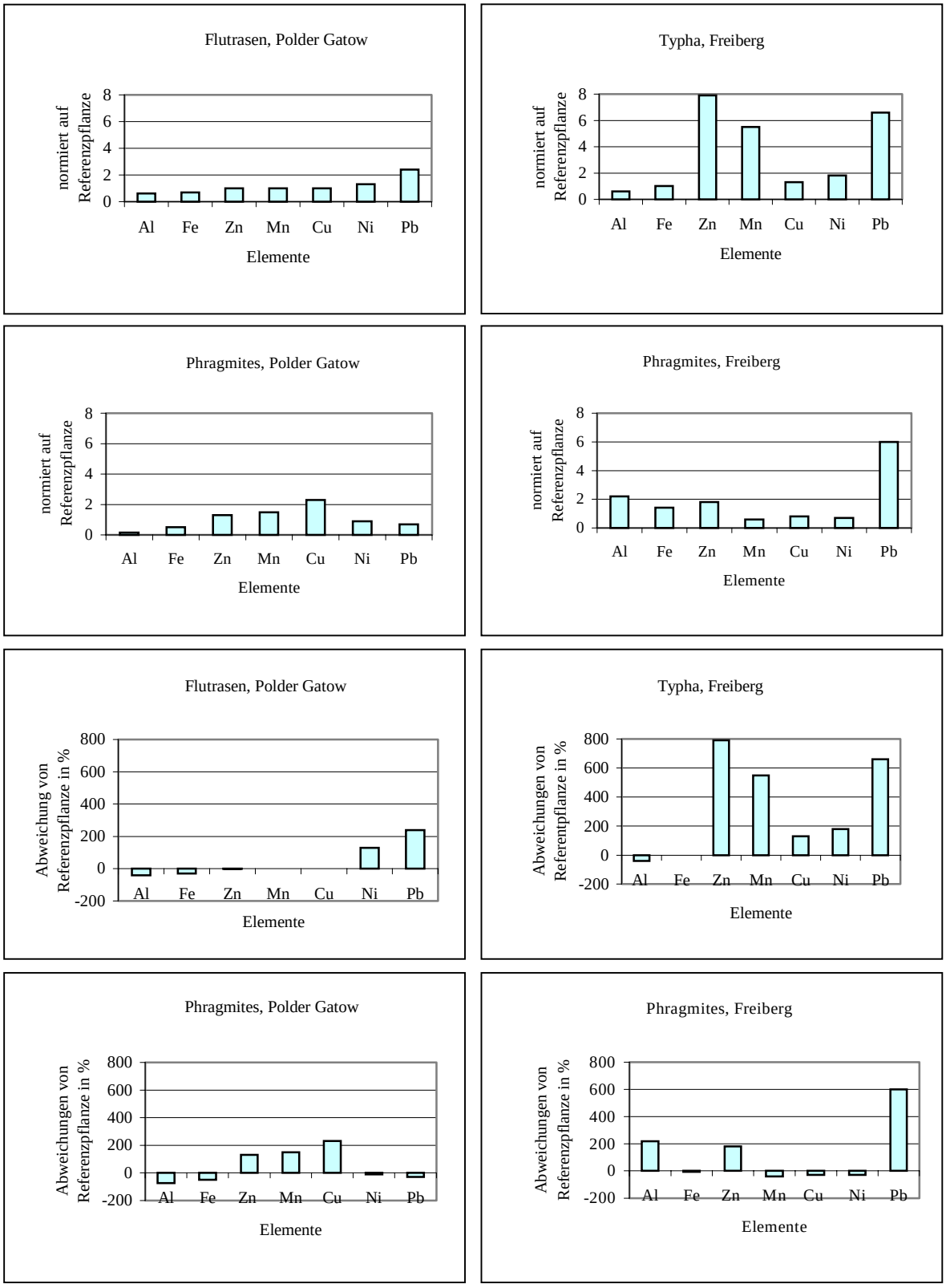


Abb. 60: Spurenelementkonzentrationen von Pflanzen aus den Naßpoldern der unteren Oder und aus einem Stadtteich in Freiberg, normiert auf die „Referenzpflanze“ von Markert [1998]

Die relativ hohen Abweichungen der Elemente Pb und evtl. auch Ni von der Referenzpflanze haben ihre Ursachen wahrscheinlich in der Natur der Gräser, die gegenüber höheren Pflanzen (die „Referenzpflanze“ ist eine aus vielen Analysen unterschiedlicher Pflanzendaten errechnete Standardpflanze) höhere Konzentrationen mindestens dieser beiden Elemente besitzen.

Ein anderes Verteilungsmuster zeigt vom gleichen Standort Phragmites comunis mit einer maximalen Anreicherung an Cu und deutlich geringeren Gehalten an Pb. Ein Vergleich mit dem Standort Freiberg kann nur über Phragmites erfolgen. Hier fällt vor allem der Unterschied beim Pb auf, vielleicht nur hier eine Frage des Angebotes. Absolut unähnlich sind die Muster von Phragmites und Typha vom gleichen Standort Freiberg. Neben Pb ist die Abweichung für Zn und Mn am größten. Die höheren Konzentrationen für Typha belegen eine ausreichende Mobilität dieser Elemente im anaeroben Milieu mindestens im Wurzelbereich. Flutrasen vom gleichen Standort aber aus verschiedenen Jahreszeiten (Frühjahr und Herbst) belegen außer für Al stets höhere Spurenelementkonzentrationen im Herbst mit größeren Unterschieden für die Elemente Ni und Cu (Tab.101), ein Beobachtung, die wohl für die meisten Pflanzen der gemäßigt-humiden Klimazone gilt, Nadelbäume evtl. ausgenommen. Interessant war die Frage, ob sich ein Hochwasserereignis innerhalb einer Hauptwachstumsperiode (Sommer 1997) auf Pflanzen vom Typ Flutrasen auswirkt. In dieser Arbeit erwiesen sich die Konzentrationen in den frisch nach dem Hochwasser ausgetriebenen Pflanzen um den Faktor etwa 2,3 erhöht. Auch dazu existieren Vergleichswerte von SCHALITZ [1998]. Während sich diese Konzentrationen mit denen dieser Arbeit aus der Zeit vor dem Hochwasser außer beim Al, Fe und Mn ähneln, existieren zwischen den Werten dieser Arbeit und denen von SCHALITZ für die Proben nach dem Hochwasser sehr große Unterschiede, auch hier wieder für die Elemente Al, Fe und Mn.

Transferfaktoren Boden – Pflanze

Bedeutungsvoller als der Vergleich mit einer Referenzpflanze ist das Verhältnis der Konzentrationen eines Elementes in einer Pflanze zu den Gehalten in dem dazugehörigen Boden (Tab. 102).

Unterschiede in den Spurenelementkonzentrationen in den Bodenproben zwischen einer mikromorphologischen Hochlage und einer Senke sind nur für Mn und Zn von Bedeutung, bei allen anderen Elementen existieren keine. Da die Konzentrationen für As, Cdund Cr in den Pflanzen unterhalb der Nachweisgrenze liegen, konnten dafür keine Transferfaktoren berechnet werden. Die höchsten Transferfaktoren haben die Elemente Cu, Zn, Mn und Ni (Abb. 61).

Tab. 102: Spurenelementkonzentrationen im Boden aus dem Polder Gatow, im Sediment aus dem Kreuzteich in Freiberg (Angaben in mg/kg TS) und für Typha und Phragmites sowie die errechneten Transferfaktoren (n.a. - nicht analysierbar)

	Al	**Fe**	**Mn**	**As**	**Cd**
Boden in Bodensenke	18.600	30.600	1.640	23	1,1
Flutrasen in Bodensenke	83	150	158	n.d.	n.d.
Transferfaktoren x 1000	**4,4**	**4,9**	**96**	**-**	**-**
Boden auf Hochlage	28.300	35.300	438	26	0,84
Flutrasen auf Hochlage	32	99	130	n.d.	n.d.
Transferfaktoren x 1000	**1,1**	**2,8**	**297**	**-**	**-**
Sediment , Freiberg	25.265	43.526	893	343	65
Typha, Freiberg	48	148	1.094	<1	0,45
Transferfaktor x 1000	**1,9**	**3,4**	**1.224**	**~2,5**	**7,0**
Phragmites, Freiberg	176	210	120	n.d.	n.d.
Transferfaktor x 1000	**6,9**	**4,8**	**134**	**-**	**-**

Tab. 102 (Fortsetzung)

	Cr	**Cu**	**Ni**	**Pb**	**Zn**
Boden in Bodensenke	44	34	23	130	232
Flutrasen in Bodensenke	n.d.	17	2,4	0,8	59
Transferfaktoren x 1000	**-**	**500**	**104**	**6,1**	**254**
Boden auf Hochlage	56	44	28	118	155
Flutrasen auf Hochlage	n.d.	13	3,0	1,0	55
Transferfaktoren x 1000	**-**	**232**	**93**	**8,5**	**355**
Sediment , Freiberg	59	431	50	2.055	5.405
Typha, Freiberg	n.d.	13	2,7	6,6	396
Transferfaktor x 1000	**-**	**31**	**54**	**3,2**	**73**
Phragmites, Freiberg	n.d.	8,0	1,0	6,0	90
Transferfaktor x 1000	**-**	**18,5**	**20**	**2,9**	**16,6**

Tendenziell haben auch Phragmites und Typha aus dem Kreuzteich von Freiberg bei unterschiedlichen Konzentrationen in Relation zu den Poldern ähnliche Transferfaktoren. Das heißt, im Vergleich zur „Referenzpflanze“ bestehen wesentliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Pflanzenarten, hinsichtlich der Transferfaktoren ist die Ähnlichkeit dagegen größer. Die größeren Transferfaktoren von Typha gegenüber Phragmites können auch je nach Art der Bewirtschaftung eines Wetlands für die Bepflanzung bedeutungsvoll sein. Der Abb.61 ist weiter zu entnehmen, daß die Größe der Transferfaktoren nicht (nur) von der Konzentration eines Elementes im Boden abhängt sondern auch von dessen Bindungsstabilität. Die Depression der Transferfaktoren für die Elemente Pb, Cu und Zn in Freiberg wird als Ergebnis des anaeroben Milieus im Sediment gesehen.

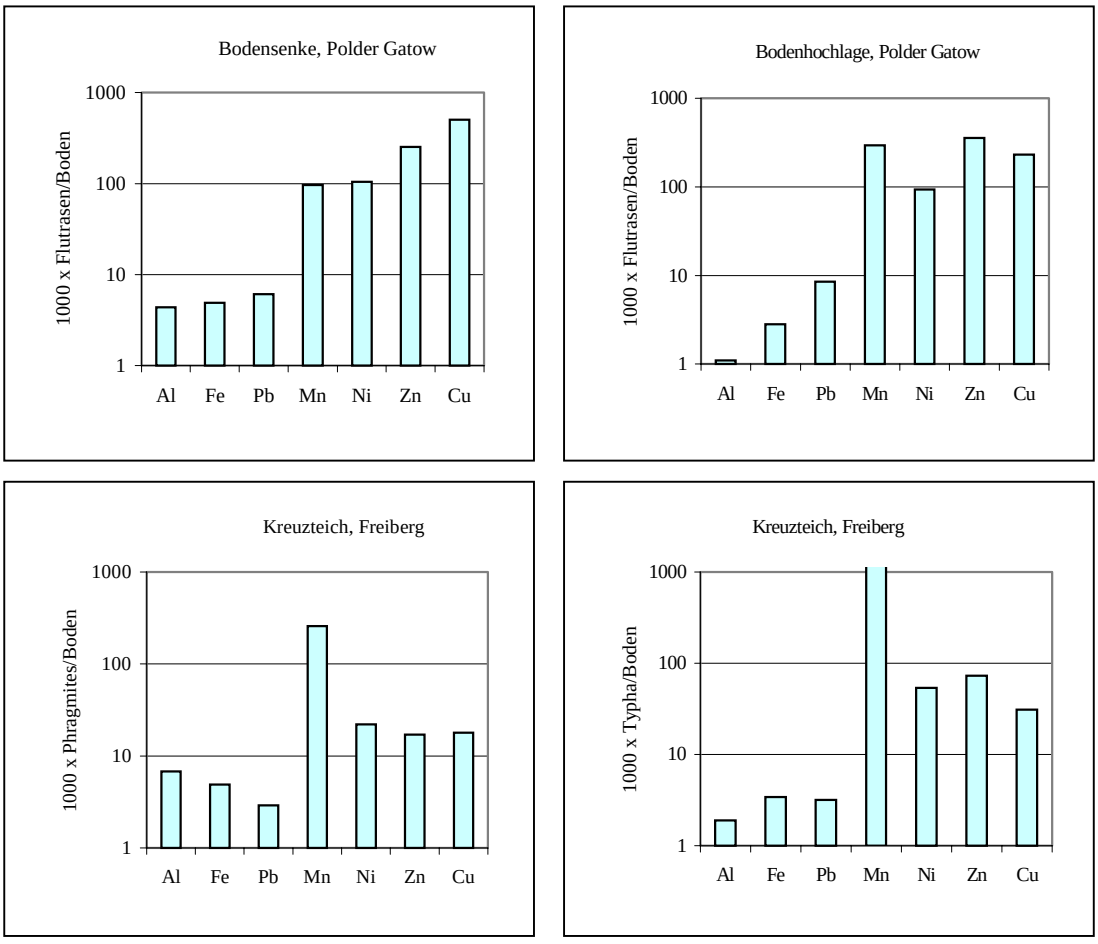


Abb. 61: Transferfaktoren Pflanze-Boden aus dem Naßpolder Gatow und dem Kreuzteich Freiberg

6. Zusammenfassung

Im Rahmen des Internationalen Oderprojektes fanden an der TU Bergakademie Freiberg in den Jahren 1996 bis 2001 Untersuchungen an zwei Schwerpunktthemen statt:

- Zeitliche und räumliche Untersuchungen am Flußabschnitt von Polecko bis Widuchowa (Wasser, Schwebstoff, Sediment)
- Zeitliche und räumliche Untersuchungen an den Poldern (Lunow-Stolpe, Criewen, Schwedt, Fiddichow-Gatow) im „Unteren Odertal“ zwischen Hohensaaten und Widuchowa (Boden, Überflutungssediment, Hochwassersediment, Bodenwasser, Staubsedimentation, Oberflächenwasser und –schwebstoff, Pflanzen).

Die Untersuchungen am **Flußabschnitt Polecko-Widuchowa** fanden zentral und gemeinsam mit Kollegen der beteiligten Arbeitsgruppen zu 5 Terminen statt: 11/97, 5/98, 11/98, 6/99 und 5/00. Dabei wurden alle am jeweiligen Punkt zu untersuchenden Proben einschließlich der Proben zur Qualitätskontrolle, entnommen und am selben Tag filtriert und für die nachfolgenden Analysen konserviert. Gleichzeitig wurden im Gelände die Vor-Ort-Parameter bestimmt. Im Geochemisch-Analytischen Labor des Institutes für Mineralogie der TU Bergakademie Freiberg wurden die Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentproben auf Summenparameter, Haupt- und Spurenelemente untersucht. Daraus konnten folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

Die Schwebstoffgehalte im Oderwasser schwanken zwischen 1,82 und 51,5 mg/L, wobei im Mai/Juni aufgrund höherer Bioaktivität (Biomasseproduktion) generell höhere Konzentrationen als im November ermittelt wurden.

Die Glühverluste der Schwebstoffe schwanken zwischen 24,7 und 60,8 %. Eine Korrelation kann in Abhängigkeit von der Jahreszeit erkannt werden: im Frühjahr nimmt der GV mit steigender Schwebstoffmenge zu, da der organische Anteil aufgrund größerer Biomasseproduktion zunimmt. Im Herbst nimmt der GV mit steigender Schwebstoffmenge ab, da die biogenen Bestandteile ab- und der Anteil an mineralischen Partikeln zunimmt.

Die Oder weist generell einen positiven Sauerstoffhaushalt auf. Die Sauerstoffgehalte ordnen sich in die LAWA-Klassen I und I-II ein und sinken selten unter 6 mg/L ab.

Die elektrische Leitfähigkeit als Maß für die Mineralisation eines Fließgewässers schwankt in der Oder oberhalb der Warta deutlich in der Größenordnung 700-1100 µS/cm. Nach dem Zufluß der Warta, die über eine relativ konstante Leitfähigkeit verfügt (500-630 µS/cm), nimmt in der Oder sowohl die Größenordnung der elektrischen Leitfähigkeit als auch ihre Schwankungsbreite ab (600-700 µS/cm).

Die Entwicklung des pH-Wertes im Wasser der Oder ist ebenfalls an die Jahreszeit und den damit verbundenen Umsatz der Photosynthese und Kohlensäurekreislaufes gebunden. Er liegt im Frühjahr (8,0-9,0) höher als im Herbst (7,5-8,0).

Die Kopplung der Ionenbeziehungen der Hauptkat- und Anionen an die elektrische Leitfähigkeit bestätigt sich bei der Auswertung dieser Daten im Piper-Diagramm. Es wird eine deutliche Trennung der Probenahmepunkte in der Oder oberhalb bzw. unterhalb der Wartaeinmündung deutlich. Die Warta ist geringer mineralisiert als die Oder und weist deutlich geringere Gehalte an Natrium, Kalium, Chlorid und Sulfat, jedoch höhere Gehalte an Calcium und Hydrogenkarbonat auf. Gegenüber den globalen Durchschnittsgehalten für Flüsse [MARTIN & WITHFIELD, 1983] ist das Flußwasser mit Hauptionen (bis zum Faktor 23 bei Chlorid) angereichert.

Die Entwicklung der Nährstoffsituation verläuft aus räumlicher, zeitlicher und stofflicher Sicht stark differenziert. Bei den Stickstoffverbindungen (Nitrat-N, Nitrit-N, Ammonium-N) sind im November deutlich höhere Konzentrationen festzustellen als im Mai/Juni, wo diese Nährstoffe noch in den Ackerflächen festgelegt sind. Die Phosphatgehalte schwanken über den Flußlauf bei allen Beprobungen sehr stark. Bei den genannten Nährstoffen kann kein durchgängig positiver Einfluß der Warta auf die Oder verzeichnet werden.

Der TOC-Gehalt konnte nur in den letzten drei Kampagnen ermittelt werden. Es ist kein jahreszeitlicher Trend zu erkennen, jedoch eine Zunahme der TOC-Gehalte durch die Warta.

Tab. 103: Zusammenstellung der Hauptan- und Kationen sowie Nährstoffe und TOC im Wasser der Oder oberhalb (Median, n=30) bzw. unterhalb der Warta (Median, n=20) sowie der Warta (Mittelwert, n=5), Angaben in [mg/L]

	Ca	**Mg**	**Na**	**K**	**Cl**	**SO_4**	**HCO_3**	**PO_4-P**	**NO_3-N**	**NO_2-N**	**NH_4-N**	**TOC**
OR oh. WA	71,0	12,7	88,7	7,6	136	119	122	0,08	1,80	0,01	0,03	8,1
Warta	77,5	12,1	46,8	6,2	68,7	88,2	171	0,12	1,45	0,02	0,04	9,4
OR uh. WA	85,5	11,4	23,8	5,3	37,1	77,9	208	0,15	1,54	0,03	0,14	13,5

Die Bewertung der Schwermetall- und Arsengehalten im Wasser (gelöst) wird aufgrund zahlreicher Werte unter der unteren Arbeitsgrenze erschwert. In Tab. 104 werden (unter Einsatz der unteren Bestimmungsgrenzen) die Medianwerte der Oder und die Mittelwerte der Warta zusammengestellt. Im globalen Vergleich mit den Durchschnittsgehalten in Flüssen nach MARTIN & WHITFIELD [1983] liegen die Elemente Al, As, Co, Cu, Fe, Mn und Zn des Flußsystems Oder unter bzw. nahe des Durchschnittsgehaltes, die Elemente Cr und Pb geringfügig (bis Faktor 2), das Element Ni erheblich (Faktor 10) darüber. Die weitgehend geringeren Elementkonzentrationen im Wasser der Warta führen zu einer Abnahme der durchschnittlichen Konzentrationen in der Oder bei den Elementen Al, As, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb und Zn. Eine Zunahme ist bei den Elementen Cd und Mn zu verzeichnen.

Tab. 104: Zusammenstellung der Schwermetall- und Arsengehalte im Wasser (gelöst) der Oder oberhalb (Median, n=30) bzw. unterhalb der Warta (Median, n=20) sowie der Warta (Mittelwert, n=5) unter Einbeziehung der unteren Bestimmungsgrenze bei As, Co, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn, Angaben für Al ohne Kampagne 6/99, Angaben in [µg/L]

	Al	**As**	**Cd**	**Co**	**Cr**	**Cu**	**Fe**	**Hg**	**Mn**	**Ni**	**Pb**	**Zn**
OR oh. WA	13,7	2,0	<0,1	0,25	2,2	0,49	17,0	-	7,2	5,7	0,20	10,0
Warta	14,4	<1	<0,1	0,18	1,9	0,67	23,0	-	57,8	8,1	0,39	5,9
OR uh. WA	14,2	1,2	<0,1	0,17	1,6	0,17	15,5	-	8,3	5,1	0,15	7,0

Für die Bewertung der Schwermetall- und Arsengehalte im Wasser nach der polnischen Klassifikation werden Gesamtgehalte (gelöst + partikulär) benötigt (Tab. 105). Die Berechnung von Median- und Mittelwerten gestaltet sich aufgrund zahlreicher Werte unter der unteren Arbeitsgrenze als schwierig, da diese zwar bei den gelösten Anteilen einen Anhaltspunkt bietet, bei den partikulären Anteilen jedoch zu ungenau ist und die Konzentrationen häufig eine Größenordnung niedriger liegen. Aus diesen Gründen wird auf die Verwendung aller Werte unter der unteren Arbeitsgrenze verzichtet. Die errechneten Werte stellen somit nur einen Anhaltespunkt für die Bewertung dar. Gemäß der polnischen Gewässergüteklassifikation [International Conference Management of boundary water in Europe, 1997] fallen die Elemente As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb und Zn in die Klasse I, das Element Fe in die Klassen I und II, das Element Mn in die Klasse II.

Aus dem Anteil der gelösten bzw. partikulären Konzentration läßt sich die bevorzugte Transportform der Elemente bestimmen. Die Elemente werden in folgender Reihenfolge bevorzugt partikulär transportiert: Fe, Al >> Pb, Mn >> Co, Zn > Cd, Cr, Cu > As >> Ni.

Tab. 105: Zusammenstellung der Schwermetall- und Arsengehalte im Wasser (Gesamtgehalte) der Oder oberhalb (Median, n=7 bis n=21) bzw. unterhalb der Warta (Median, n=5 bis n=16) sowie der Warta (Mittelwert, n=5) ohne Einbeziehung von Werten unter der unteren Arbeitsgrenze, Angaben für Al ohne Kampagne 6/99, Angaben in [µg/L]

	Al	**As**	**Cd**	**Co**	**Cr**	**Cu**	**Fe**	**Hg**	**Mn**	**Ni**	**Pb**	**Zn**
OR oh. WA	770	3,1	0,23	0,76	4,9	4,3	1.030	-	174	7,8	3,8	40,0
Warta	211	-	0,33	0,32	3,7	2,4	660	-	196	8,5	1,8	14,3
OR uh. WA	555	1,8	0,19	0,49	3,8	2,9	770	-	193	6,1	2,5	28,8

Der Einfluß der Warta ist auch bei den Elementgehalten in Schwebstoffen und Sedimenten zu verzeichnen, so daß generell von drei Abschnitten (Tab. 106, 107) ausgegangen wird: die Oder oberhalb der Warta (Polecko - Kietz/Kostrzyn, ORo), die Warta (OR32WA-Mündung, WA) und die Oder unterhalb der Warta (Groß-Neuendorf/Czelin – Widuchowa, ORu). Die Warta übt bei den Elementen Al, As, Co, Cu, Ni, Pb und Zn auf die Konzentrationen in der Oder einen positiven (verdünnenden) Effekt aus. Dagegen bewirken höhere Konzentrationen des Elements Cd in Schwebstoffen/Sedimenten der Warta einen Konzentrationsanstieg in denen der Oder.

Tab. 106: Zusammenstellung der Schwermetall- und Arsengehalte im Schwebstoff der Oder oberhalb (Median, n=27) bzw. unterhalb der Warta (Median, n=20) sowie der Warta (Mittelwert, n=5), Angaben in [mg/kg]

	Al	**As**	**Cd**	**Co**	**Cr**	**Cu**	**Fe**	**Hg**	**Mn**	**Ni**	**Pb**	**Zn**
OR oh. WA	35.300	53,5	6,6	22,7	112	130	45.270	-	6.790	63,0	170	1.270
Warta	15.570	16,8	12,3	7,7	120	94,3	53.160	-	9.430	35,8	101	678
OR uh. WA	24.630	26,4	8,4	16,4	97,5	86,0	37.860	-	7.960	45,7	134	985

Tab. 107: Zusammenstellung der Schwermetall- und Arsengehalte im Sediment <20 µm der Oder oberhalb (Median, n=22) bzw. unterhalb der Warta (Median, n=16) sowie der Warta (Mittelwert, n=4), Angaben in [mg/kg]

	Al	**As**	**Cd**	**Co**	**Cr**	**Cu**	**Fe**	**Hg**	**Mn**	**Ni**	**Pb**	**Zn**
OR oh. WA	29.500	55,0	8,1	25,8	121	182	52.400	2,9	2.710	62,5	185	1.400
Warta	18.700	12,5	16,5	10,1	156	120	50.580	0,83	3.910	37,3	126	611
OR uh. WA	24.700	31,4	8,4	20,8	108	119	47.450	1,8	3.130	50,5	163	1.050

Die Bewertung der Elementgehalte in Schwebstoffen und Sedimenten erfolgt sowohl geochemisch (I_{geo}-Index) als auch ökotoxikologisch (LAWA-Klasse). Der I_{geo}-Index kann sowohl auf der Grundlage des jeweiliges Elementgehaltes für Tonschiefer nach TUREKIAN & WEDEPOHL [1961] als auch nach den in diesem Projekt festgelegten Backgroundwerten (vgl. Kapitel 5.2.1) für Polderböden <20 µm ermittelt werden. Er verbessert sich bei Anwendung der Polderwerte bei Pb und Zn um eine Klasse, verschlechtert sich bei Cr und Cu ebenfalls um eine Klasse. Bei beiden Bewertungsansätzen (Tab. 108) fällt das Element Cd mit „stark-übermäßig belastet“ (I_{geo}-Klasse 5) bzw. „hoch belastet“ (LAWA-Klasse III-IV, IV) auf. Weiterhin kritisch bewertet werden die Elemente Zn, Cu und Hg. Als praktisch unbelastet gelten die Elemente Al, Co und Fe.

Tab. 108: Bewertung der Schwermetall- und Arsengehalte im Schwebstoff und im Sediment <20 µm der Oder oberhalb (ORo) bzw. unterhalb der Warta (ORu) sowie der Warta (WA) nach I_{geo}-Index (Tonschiefer nach Turekian/Wedepohl) bzw. LAWA-Klassifikation

I_{geo}-Klasse				**LAWA-Klasse**		
	Schwebstoff	**Sediment <20 µm**			**Schwebstoff**	**Sediment <20 µm**
0	Al, As (Wa), Co, Cr, Fe, Ni	Al, As (WA), Co, Cr (OR), Fe, Ni		**I**		
1	As (ORu), Cu	As (ORu), Cr (WA), Cu (WA, ORu), Hg (WA)		**I-II**	Ni (WA)	As (WA), Ni (WA)
2	As (ORo), Pb (WA)	As (ORo), Cu (ORo), Hg (ORu), Mn		**II**	As (WA, ORu), Cr (ORu), Ni (ORu)	
3	Mn, Pb (OR), Zn (WA, ORu)	Hg (Oro), Pb, Zn (WA, ORu)		**II-III**	As (ORo), Cr (ORo, Wa), Cu (WA, ORu), Ni (ORo), Pb	As (OR), Cr, Cu (WA, ORu), Hg (WA), Ni (OR), Pb
4	Cd (ORo), Zn (ORo)	Zn (ORo)		**III**	Cu (ORo), Zn (WA)	Cu (ORo), Hg (OR), Zn (WA)
5	Cd (WA, ORu)	Cd		**III-IV**	Cd (OR), Zn (OR)	Cd (OR), Zn (OR)
6				**IV**	Cd (WA)	Cd (WA)

Die **Poldergebiete des Unteren Odertales** sind ein ideales flußnahes und leicht zugängliches System, in dem sich Quellen, Senken und Pfade von Schadstoffen sowie auch ihre Dynamik zwischen den einzelnen Kompartimenten in Abhängigkeit von verschiedenen Bedingungen studieren lassen.

So haben Untersuchungen in den Poldern dazu beigetragen, Verteilungsmuster von Schwermetallen zu erkennen und ihre zeitlichen Veränderungen zu erfassen. Anhand von Untersuchungen an Auenboden-, Wasser,- Schweb-, Bodenwasser-, Staub-, und Pflanzenproben konnten wertvolle Ergebnisse über Vorkommen, Herkunft, Akkumulation und Migration der Elemente gewonnen werden. Eine mikroskopische Untersuchung der Auenbodenproben erbrachte Informationen, die eine richtige Interpretation der chemischen Analysen erst ermöglichte. Granulometrische Analysen zeigten das für Flußauen zu erwartende breite Spektrum der Korngrößen.

Mit Hilfe der Hauptelemente sind die Auenböden, die ihrem Ursprung nach Sedimente darstellen, lithologisch charakterisiert worden. Aussagen über den dokumentierten Eisentransport im Boden konnten getroffen werden. Naßpolderböden sind durch drastische Manganverarmungen gekennzeichnet.

Die Bestimmung des Glühverlustes (GV) sowie von C, N, S zeigten große Unterschiede im Anteil der organischen Substanz. Die Berechnung von Verhältnissen (z.B. C/N) zeigte, daß Anteile von tierischem Eiweiß und Einflüsse der Weidewirtschaft diese anomal erscheinen lassen.

Aus der Bestimmung der lithophilen Spurenelemente konnten Unterschiede in den Erosionsgebieten festgestellt werden.

Für die umweltrelevanten Spurenelemente wurden geogene Hintergrundwerte und Anreicherungsfaktoren für die obersten Bodenproben ermittelt. Bei niedrigen Absolutkonzentrationen haben die Naßpolder Faktoren bis zu 15 für Cd, dann abnehmend für Pb, Zn, As und Cu. Die Elemente Ni, Co und Cr entsprechen weitgehend den Hintergrundwerten, wie es für alle Elemente im Trockenpolder Stolpe der Fall ist. Eine Reihenfolge der Belastung der Polder ist: Schwedt, Gatow, Criewen, Stolpe.

Die Analyse der Bodenpoben mit zwei verschiedenen Aufschlussverfahren (Totalgehalte und Königswasser) erbrachte nur geringe Unterschiede.

Mit Sedimentationsfallen ist die Menge und Zusammensetzung des jährlichen Überflutungssedimentes bestimmt worden. Diese Sedimente sind besonders karbonatreich durch eine biogene Kurzzeitbildung. Es konnte ein Kalender der Mangangeochemie entwickelt werden, der es zuläßt, den beobachteten Wechsel von Manganakkumulation und Manganmobilisation in verschiedenen Kompartimenten zu systematisieren. Die umweltrelevanten Spurenelementgehalte lassen ebenso wie im Boden eine Kontamination mit Cd, Zn und Mn erkennen.

Die Hochwassersedimente des Jahres 1997 und die Überflutungssedimente besitzen lithologisch ein relativ homogenes Einzugsgebiet. Der hohe Cd-Eintrag der Warta ist auch in den HWS belegt. Die HWS haben meist höhere Spurenelementgehalte als die ÜS.

Untersuchungen zur Staubimmission ließen für Schwedt in einigen Monaten einen erhöhten Metalleintrag feststellen. Die höchsten Kontaminationen des Staubs sind für Cd, Pb und Cu belegt.

Die Analysen verschiedener Oberflächenwässer konnten eine Veränderung bei ihrer Passage durch die Polderflächen verdeutlichen. Innerhalb der Polder kommt es zu einer Manganmobilisation und zu einem Austrag in die Hohensaaten-Friedrichsthaler Wasserstraße.

Die Beprobung von Bodenwässern in drei unterschiedlichen Teufen zeigte, daß auch dieses hinsichtlich des Cd- Gehaltes als kontaminiert anzusehen ist. Durch die jährlichen Überflutungen ist ein vertikaler Stoffaustausch zu erwarten. In Randbereichen der Polder findet auch eine Beeinflußung durch Infiltration (in der überflutungsfreien Zeit) des Kanal- und des Oderwassers statt.

Untersuchungen zum Transfer von Spurenelementen aus dem Boden in Pflanzen haben ergeben, dass insbesondere Cu, Ni, Zn und Mn in hohem Maße von den Pflanzen aufgenommen werden, dabei hängt der Grad des Transferierens sowohl vom Gehalt im Boden als auch von der Bindungsstabilität des Elements im Boden ab. Morphologische Hochlagen und Senken spielen beim Transfer nur für Zn und Mn eine Rolle.

Literaturverzeichnis

ANDERS, L.; DINKELBERG, W. [1998]: Auswirkungen des Sommerhochwassers der Oder auf Stoffgehalte überschwemmter Böden.- Wasser & Boden, 50/10, S. 22-25

BARKOWSKI, D.; GÜNTHER, P.; HINZ, E.; RÖCHERT, R. [1990]: Altlasten. Handbuch zur Ermittlung und Abwehr von Gefahren durch kontaminierte Standorte.- Verlag C.F. Müller, Karlsruhe

BAUR, W.H. [1998]: Gewässergüte bestimmen und beurteilen.- Parey Buchverlag Berlin

BEHRENDT, H.; KORNMILCH, M.; KOROL, R.; STRONSKA, M.; PAGENKOPF, W.-G. [1999]: Point and diffuse nutrient emissions and transports in the Odra basin and ist main tributaries.- Acta hydrochim. Hydrobiol. 27, 5, S. 274-281

BETHWELL, C. [1999]: Schadstoffbelastung von Böden im Nationalpark „Unteres Odertal“ vor und nach dem Oderhochwasser 1997, Studien und Tagungsberichte, Bd. 22, LUA Brandenburg

BEUGE, P.; EINAX, J.; MÜLLER, A.; MÜLLER, G.; STARKE, R. [1997]: Schwermetallverteilung zwischen Wasser und Schwebstoff in ausgewählten deutschen Nebenflüssen.- Vortrag auf dem IKSE-Workshop „Bewertung der Ergebnisse aus der Elbeschadstofforschung“ vom 28. bis 30.4.1997 in Geesthacht, unveröffentlicht

BRAUN, M. [1997]: Erfahrung der ISKR mit Verteilungskoeffizienten für Schadstoffe im Rahmen der Meßprogramme für das Aktionsprogramm Rhein.- IKSE-Workshop „Bewertung der Ergebnisse aus der Elbeschadstofforschung“ vom 28. bis 30.4.1997 in Geesthacht, S. 57-62

BREITENBACH, E.; LAMPE, R.; LEIPE, T.: Investigations on mineralogical and chemical composition of suspended particulate matter (SPM) in the Odra Estuary.- Acta hydrochim. Hydrobiol. 27, 5, S. 298-302

BROSE, F. [1998]: Genese holozäner Flußauen, dargestellt am Beispiel des unteren Odertals.- Brandenburgische Geowiss. Beitr. 5, S. 7-13

DEGNER, T.; GREIF, A.; BEUGE, P. [2001]: Wasser- und schwebstoffgebundener Elementtransport im Muldesystem gestern und heute.- Vortrag auf der 5. Geochemietagung vom 21.-24.06.2001 in Tübingen, Veröffentlichung in Vorbereitung

DEHMEL, H. [1992]: Analyse und Auswertung des vorhandenen Datenmaterials zur Bewertung der Wasserbeschaffenheit der Oder.- Umweltbundesamt Berlin, UBA Texte 7/92

DEHNER, U.; PÄLCHEN, W. [2000]: Möglichkeiten der Ermittlung von geogenen Hintergrundwerten.- in: Forschungszentrum Karlsruhe (Hrsg.): Die Belastung der Elbe – Teil 2: Hintergrundbelastungen der deutschen Nebenflüsse, S. 5-9

DOHLE,W.; WEIGMANN, G.; SCHRÖDER, T. [1999]: Das Untere Odertal – Charakterisierung des Untersuchungsgebietes.- in: Dohle, W.; Bornkamm, R.; Weigmann, G. (Hrsg.): Das untere Odertal. Auswirkungen der periodischen Überschwemmungen auf Biozönosen und Arten. Limnologie aktuell Bd. 9, S.1-12

ENGELHARDT, C.; BUNGARTZ, H.; KRÜGER, A.; PROCHNOW, D.; SAUER, W.; SCHILD, R.; THIELE, M.; KRAWCZYK, H.; RENNERT, R. [1997]: Parameter des Schwebstofftransports in Oder, Neiße und im Oder-Spree-Kanal bei Eisenhüttenstadt.- Vom Wasser 88, S. 87-101

FORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE (Hrsg.) [2000]: Die Belastung der Elbe – Teil 2: Hintergrundbelastungen der deutschen Nebenflüsse, 192 S.

GREIF, A.; BEUGE, P. [2001]: Die räumliche und zeitliche Entwicklung der Wasserbeschaffenheit der Oder im deutsch-polnischen Grenzabschnitt.- Terra Nostra 5/01, S. 29-31

HAZEN A. [1992]: Some physical properties of sands and gravels with special reference to their use in filtration. Twenty-fourth annual report state board of health Mass., Boston, Mass.

HEININGER, P.; CLAUS, E. [2000]: Untersuchungen zum partikulären Stofftransport in der Elbe.- ATW-DVWK-Schriftenreihe 22, S. 79-80

HELIOS-RYBICKA, E.; KNÖCHEL, A.[2000]: Crucial loads in the river Odra – impacts of floods on the situation of hazardous substances.- ATV-DVWK-Schriftenreihe Nr.21: Gewässerlandschaften, BMBF-Symposium Elbeforschung, S. 79-99

HÖLTING, B. [1992]: Hydrogeologie. Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie, Enke-Verlag Stuttgart

INTERNATIONAL CONFERENCE MANAGEMENT OF BOUNDARY WATER IN EUROPE [1997]: Internationale Tagung Mrzezyno/Polen, 22.-25.09.1997

ISKE [Internationale Kommission zum Schutz der Elbe] [1998]: Erster Bericht über die Erfüllung des „Aktionsprogramms Elbe“.- Magdeburg

ISKR [Internationale Kommission zum Schutz des Rheins] [1993]: Statusbericht Rhein: Chemisch-physikalische und biologische Untersuchungen bis 1991, Vergleich Istzustand 1990 – Zielvorgaben.- Koblenz

JORDAN, H. und ABRAHAM, T. [1995]: Hydrogeologie Grundlagen und Methoden, Regionale Hydrogeologie Ostdeutschlands, Enke-Verlag Stuttgart

KOELMANS, A.A.; RADOVANOVIC, H. [1998]: Prediction of trace metal distribution coefficients (KD) for aerobic sediments.- Wat. Sci. Tech. Vol. 37 Nr. 6-7, S. 71-78

LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) [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.- Kulturbuchverlag Berlin

LUA BRANDENBURG (Hrsg.) [1998]: Das Sommerhochwasser an der Oder 1997. Fachbeiträge anläßlich der Brandenburger Ökologietage II.- In: Studien und Tagungsberichte, Bd. 16, 97 S. [inkl. regionale Übersichtskarte über die Polder]

LUA BRANDENBURG (Hrsg.) [1999]: Untersuchungen der Oder zur Belastung der Schwebstoff- bzw. Sedimentphase und angrenzender Bereiche.- In: Studien und Tagungsberichte, Bd. 20/21, 199 S.

LUA BRANDENBURG [2001a]: schriftliche Mitteilung des Landesumweltamtes Brandenburg, Referat W9 Franfurt/O.

LUA BRANDENBURG [2001b]: schriftliche Mitteilung des Landesumweltamtes Brandenburg, Referat W10 Cottbus

MARTIN, J.M.; WHITFIELD, M. [1983]: The significance of the river input of chemical elements to the ocean.- in: Wong, C.S.; Boyle, E.; Bzuland, K.W.; Burton, J.D.; Goldberg, E.D.(Hrsg.): Trace elements in sea water.- Plenum, New York, S. 265-296

MARKERT, B. [1996]: Instrumental element and multielement analysis of plant samples; methods and applications, Chichester Wiley

MATSCHULLAT, J., TOBSCHALL, H. J., VOIGT, H.-J. [1997]: Geochemie und Umwelt, Springer-Verlag Berlin Heidelberg

MC LENNAN S.M., HEMMING S., MC DANIEL D.K. and HANSON G.N. [1983]: Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics. Geological Society of America, Special Paper 284, 21-39

MÖNNINGHOFF W. [1997]: Nationalpark Unteres Odertal. VEBU Verlag GmbH Berlin

MÜLLER, G. [1979]: Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins – Veränderungen seit 1971.- Umschau 79, S. 778-783

MÜLLER J. [1997]: Geochemisch-Analytisches Praktikum, unveröff. Praktikumsbeleg, TU Bergakademie Freiberg

NAUMANN, A. [1992]: Abflußregime der Fließgewässer im Land Brandenburg. in: Landesumweltamt Brandenburg (Hrsg.): Berichte aus der Arbeit. Teil 1: Wasser und Abfall, S. 13-15

NIEMIRYCZ, E. [1999]: The pollution load from the river Odra in compaision to that in other polish rivers in 1988-1997.- Acta hydrochim. Hydrobiol. 27, 5, S. 286-291

PANSTWOWY INSTYTUT GEOLOGICZNY [1995]: Geochemical Atlas of Poland 1:2.500.000, Warszaw

PRANGE, A. U.A. [1997]: Erfassung und Beurteilung der Belastung der Elbe mit Schadstoffen.- Abschlußbericht zum BMFB-Forschungsvorhaben 02-WT 9355/4, GKSS Forschungszentrum Geesthacht, Bd.1-3

RUCHIN L.B. [1958]: Grundzüge der Lithologie. Akademie-Verlag, Berlin, Tafel 26, S. 193

SCHALITZ G., KÄDING H., LEIPNITZ W. [1997]: Ergebnisse der Renaturierung standorttypischer Grünlandgesellschaften an der unteren Oder. Arch. Acker-Pfl. Boden, Vol. 41, pp. 181-188

SCHMIDT, A. [!999]: Morphological investigations in the river Odra.- Acta hydrochim. hydrobiol. 27, 5, S. 268-273

SCHUDOMA, D.; IRMER, U.; MARKARD, C.; STIX, E. [1994]: Ableitung von Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer für die Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink.- Umweltbundesamt, Texte 52/94

SIEPAK, J. [1999]: Total organic carbon (TOC) as a sum parameter of water pollution in selected polish rivers (Vistula, Odra and Warta).- Acta hydrochim. Hydrobiol. 27, 5, S. 282-285

SONNENBURG, F. [1993]: Eine Zusammenfassung des „Oderberichtes“ 1993. in: Landesumweltamt Brandenburg (Hrsg.): Berichte aus der Arbeit, S. 45-51

SONNENBURG, F.; ENGELKE, M.; HABERLAU, U.; HENTSCHEL, H. [1994]: Auswertung des Untersuchungsprogrammes 1993 zur Oder und ihrer deutschen Zuflüsse unter besonderer Berücksichtigung der Schwermetalle und organischen Spurenstoffe in der Wasserphase. in: Landesumweltamt Brandenburg (Hrsg.): Berichte aus der Arbeit, S. 132-140

STRUNZ H. [1970]: Mineralogische Tabellen. Akademische Verlagsgesellschaft Geest und Portig, Leipzig

TRASK P.D. [1932]: Origin and environment of source sediments of petroleum .Gulf Publ. Co Houston

TUREKIAN, K.H.; WEDEPOHL, K.H. [1961]: Distribution of the elements in some major units of the earth´s crust.- Bull. Geol. Soc. Am. 72, S. 175ff.

VILIMEC, J. [1997]: Verteilungskoeffizienten Wasser-Schwebstoff in den tschechischen Nebenflüssen der Elbe.- IKSE-Workshop „Bewertung der Ergebnisse aus der Elbeschadstofforschung“ vom 28. bis 30.4.1997 in Geesthacht, S. 69-73

v. TÜMPLING JR., W.; AULINGER, A.; EINAX, J.; NIEDERGESÄSS, R.; PRANGE, A. [1997]: Erste Verteilungskoeffizienten Schwebstoff – Filtrat für Elemente im Elbelängsschnitt.- IKSE-Workshop „Bewertung der Ergebnisse aus der Elbeschadstofforschung“ vom 28. bis 30.4.1997 in Geesthacht, S. 63-68

WACHS, B.[1989]: Ökologisch erarbeitete Schwermetall-Qualitätsziele für Nahrungsarten des Wassers sowie zum aquatischen Ökosystem- und Artenschutz.- gwf. Wasser-Abwasser 130 (6), S. 277ff.

WEDEPOHL, K.H. [1995]: The composition of the continental crust.- Geochim. et Cosmochim. Acta 59 (7), S. 1217-1232; London

WEIGMANN, G.; SCHUMANN, M. [1999]: Bodentypen und Schwermetallbelastung von Böden, Pflanzen und Bodentieren in Überschwemmungsgebieten des Unteren Odertales.- in: Dohle, W.; Bornkamm, R.; Weigmann, G. (Hrsg.): Das untere Odertal. Auswirkungen der periodischen Überschwemmungen auf Biozönosen und Arten. Limnologie aktuell Bd. 9, S. 23-38

WITTMÜSS, C. [1998]: Die Hochflutsedimente der Oder im Raum Schwedt – Geologie, Granulometrie und Geochemie.- unveröff. Diplomarbeit, TU Bergakademie Freiberg

WSA BERLIN [2001]: schriftliche Mitteilung des Wasser- und Schifffahrtamtes Berlin

WSA EBERSWALDE [2001]: schriftliche Mitteilung des Wasser- und Schifffahrtamtes Eberswalde

Abkürzungsverzeichnis

AQS	Analytische Qualitätssicherung
ARGE ELBE	Arbeitsgemeinschaft Elbe
BW	Bodenwasser
C	Kohlenstoff
DC	gelöster Kohlenstoff
DOC	gelöster organischer Kohlenstoff
GV	Glühverlust
HFW	Hohensaaten-Friedrichsthaler Wasserstraße
HWS	Hochwassersedimente
IOP	Internationales Oderprojekt
ISKE	Internationale Kommission zum Schutz der Elbe
ISKO	Internationale Kommission zum Schutz der Oder
KW	Königswasser
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
LUA	Landesumweltamt
N	Stickstoff
n.d.	nicht detektierbar (unter der Bestimmungsgrenze)
n.m.	nicht bestimmt
n.s.	keine Probe
oh.	Oberhalb
OR	Oder
OT	Nebenflüsse der Oder
P	Schwebstoff
RFA	Röntgenfluoreszensanalyse
S	Schwefel
TC	Gesamtkohlenstoff
TIC	gesamter anorganischer Kohlenstoff
TOC	gesamter organischer Kohlenstoff
UBA	Umweltbundesamt
uh.	unterhalb
ÜS	Überflutungssedimente
WA	Warta
WSA	Wasser- und Schifffahrtsamt

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Längsprofile über den Abschnitt Polecko bis Widuchowa – Räumliche und zeitliche Entwicklung ausgewählter Vor-Ort-Parameter, Hauptionen und Summenparameter im Wasser

1-1:	Schwebstoffgehalt	**1-9:**	Sulfat
1-2:	Glühverlust im Schwebstoff	**1-10:**	Phosphat-P
1-3:	Wassertemperatur	**1-11:**	Ammonium-N
1-4:	Sauerstoffgehalt	**1-12:**	Nitrat-N
1-5:	Elektrische Leitfähigkeit	**1-13:**	Nitrit-N
1-6:	pH-Wert	**1-14:**	TOC
1-7:	Eh-Wert	**1-15:**	AOX
1-8:	Chlorid		

Anlage 2: Übersichtskarten zur LAWA-Klassifizierung des Sauerstoffgehaltes, der Hauptionen und Summenparameter im Wasser

2-1:	Sauerstoff	**2-6:**	Nitrat-N
2-2:	Chlorid	**2-7:**	Nitrit-N
2-3:	Sulfat	**2-8:**	TOC
2-4:	Phosphat-P	**2-9:**	AOX
2-5:	Ammonium-N		

Anlage 3: Längsprofile über den Abschnitt Polecko bis Widuchowa – Räumliche und zeitliche Entwicklung der Spurenelementgehalte im Wasser (gelöst), im Schwebstoff und im Sediment (<20 µm)

3-1:	Al - Wasser	**3-20:**	Fe - Schwebstoff
3-2:	Al - Schwebstoff	**3-21:**	Fe - Sediment
3-3:	Al - Sediment	**3-22:**	Mn - Wasser
3-4:	As - Wasser	**3-23:**	Mn - Schwebstoff
3-5:	As - Schwebstoff	**3-24:**	Mn - Sediment
3-6:	As - Sediment	**3-25:**	Ni - Wasser
3-7:	Cd - Wasser	**3-26:**	Ni - Schwebstoff
3-8:	Cd - Schwebstoff	**3-27:**	Ni - Sediment
3-9:	Cd - Sediment	**3-28:**	Pb - Wasser
3-10:	Co - Wasser	**3-29:**	Pb - Schwebstoff
3-11:	Co - Schwebstoff	**3-30:**	Pb - Sediment
3-12:	Co - Sediment	**3-31:**	Zn - Wasser
3-13:	Cr - Wasser	**3-32:**	Zn - Schwebstoff
3-14:	Cr - Schwebstoff	**3-33:**	Zn - Sediment
3-15:	Cr - Sediment	**3-34:**	Hg - Sediment
3-16:	Cu - Wasser	**3-35:**	Glühverlust - Sediment
3-17:	Cu - Schwebstoff	**3-36:**	C - Sediment
3-18:	Cu - Sediment	**3-37:**	N - Sediment
3-19:	Fe - Wasser	**3-38:**	S - Sediment

Anlage 4: Übersichtskarten zur LAWA-Klassifizierung der Spurenelemente im Schwebstoff und im Sediment (<20 µm)

4-1:	As - Schwebstoff	**4-9:**	Ni - Schwebstoff
4-2:	As - Sediment	**4-10:**	Ni - Sediment
4-3:	Cd - Schwebstoff	**4-11:**	Pb - Schwebstoff
4-4:	Cd - Sediment	**4-12:**	Pb - Sediment
4-5:	Cr - Schwebstoff	**4-13:**	Zn - Schwebstoff
4-6:	Cr - Sediment	**4-14:**	Zn - Sediment
4-7:	Cu - Schwebstoff	**4-15:**	Hg - Sediment
4-8:	Cu - Sediment		

Anlage 5: Daten für den Abschnitt Polecko-Widuchowa, einschließlich AQS

Anlage 6: Daten für die Polder des Unteren Odertales

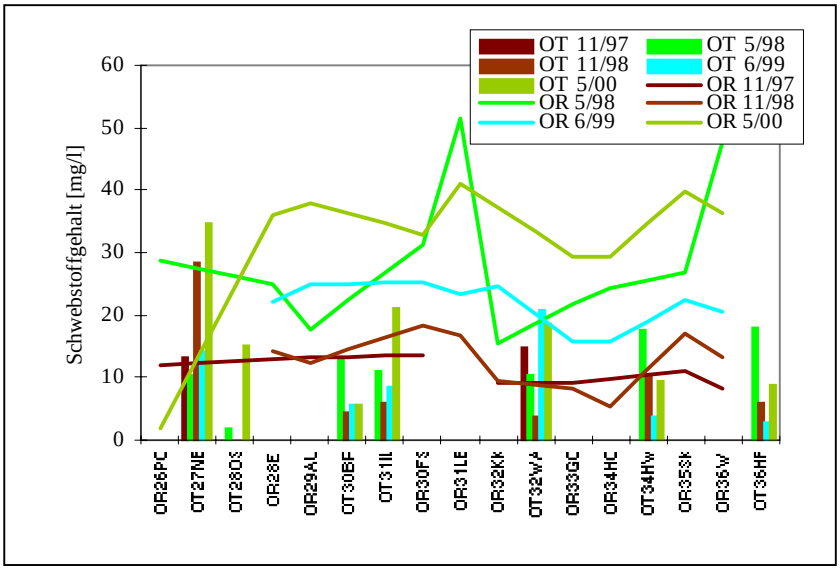
6-1:	Schematische Profile der Polder Gatow, Schwedt, Criewen und Stolpe
6-2:	RFA-Analysen der Profile der Polder Gatow, Schwedt, Criewen und Stolpe
6-3:	KW-Analysen der Profile der Polder Gatow, Schwedt, Criewen und Stolpe
6-4:	KW-Analysen der Auenproben entlang der Oder und Neiße
6-5:	Analysen der Staubuntersuchungen

Anlage 1

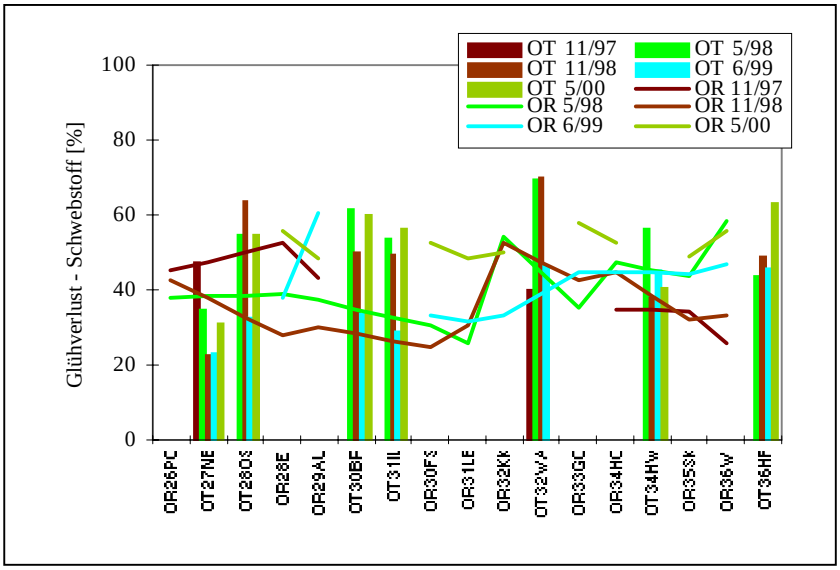
Längsprofile über den Abschnitt Polecko bis Widuchowa –
Räumliche und zeitliche Entwicklung
ausgewählter Vor-Ort-Parameter, Hauptionen und Summenparameter im Wasser

1-1:
Schwebstoffgehalt

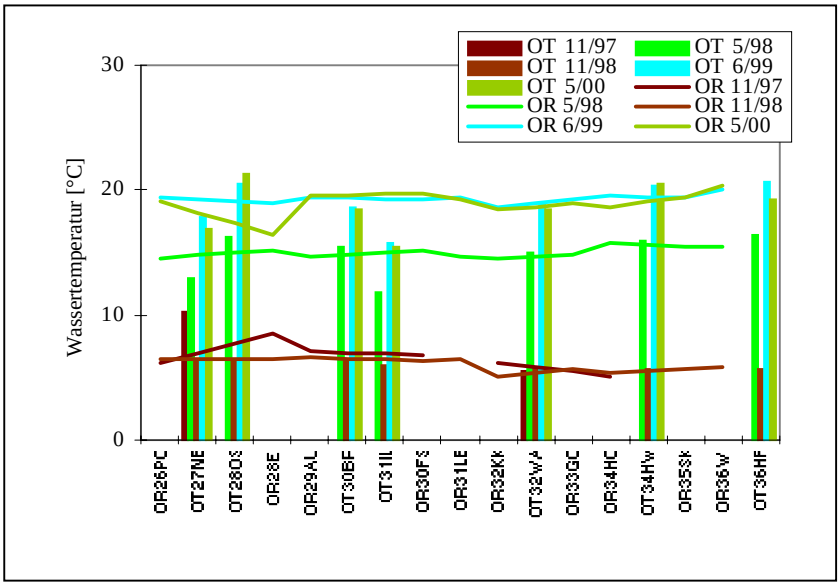
Generelle Anmerkung:
Die Säulen beziehen sich auf die Nebenflüsse, die durchgehenden Linien auf die Oder.



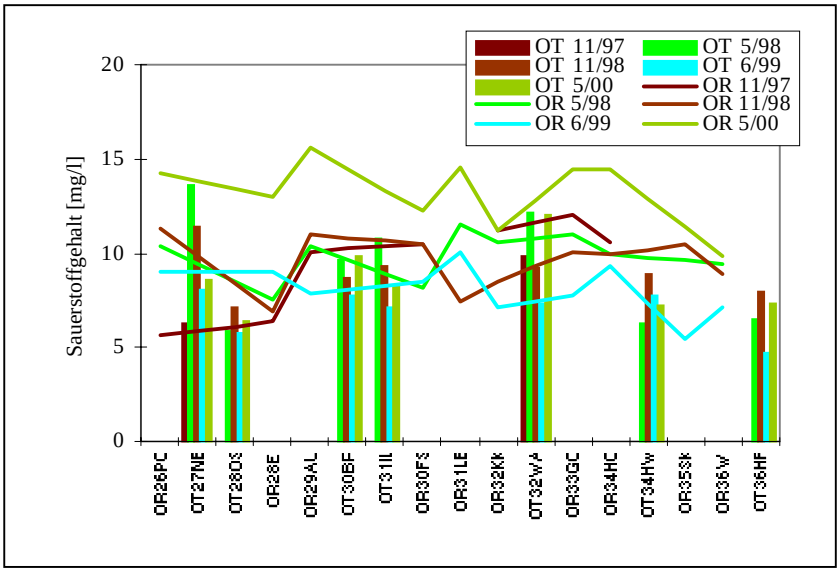
1-2:
Glühverlust im Schwebstoff



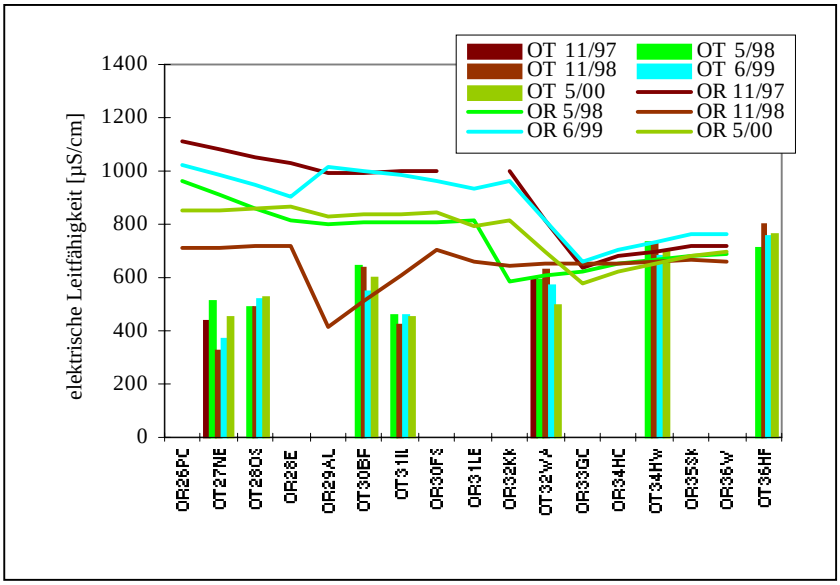
1-3:
Wassertemperatur



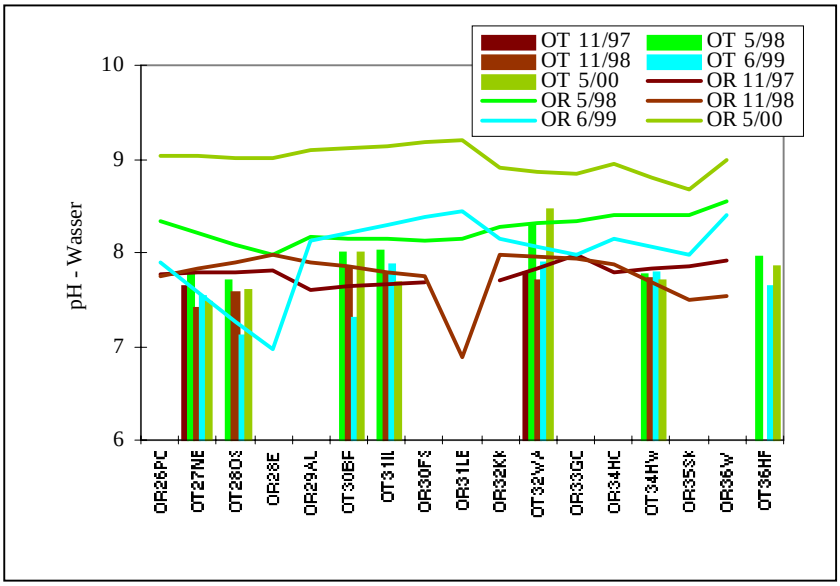
1-4:
Sauerstoffgehalt



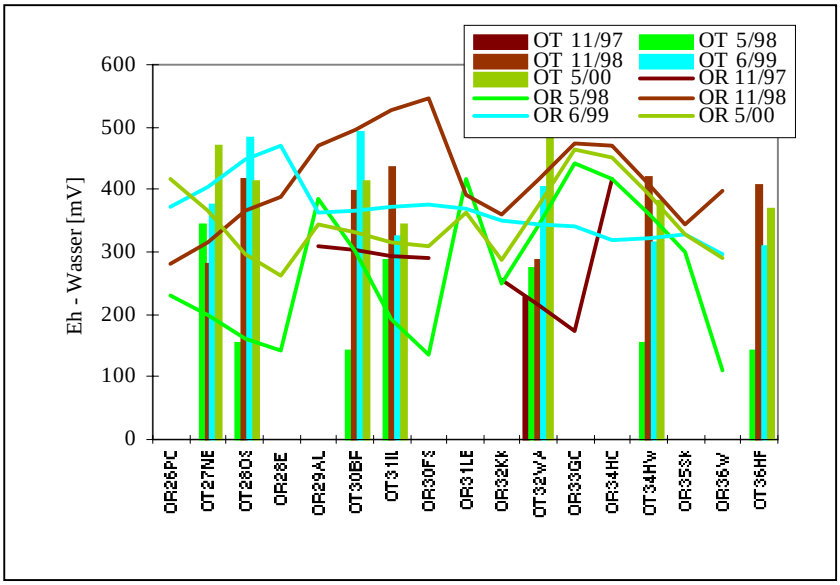
1-5:
Elektrische Leitfähigkeit



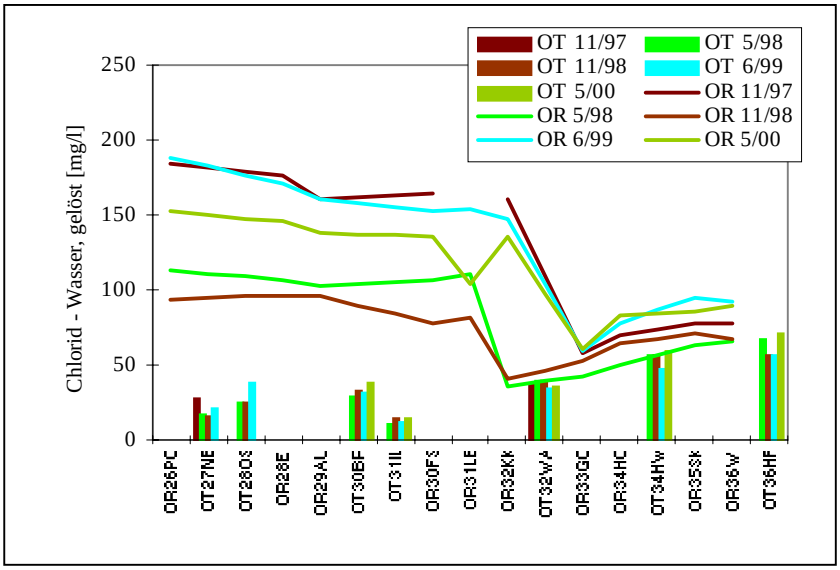
1-6:
pH-Wert



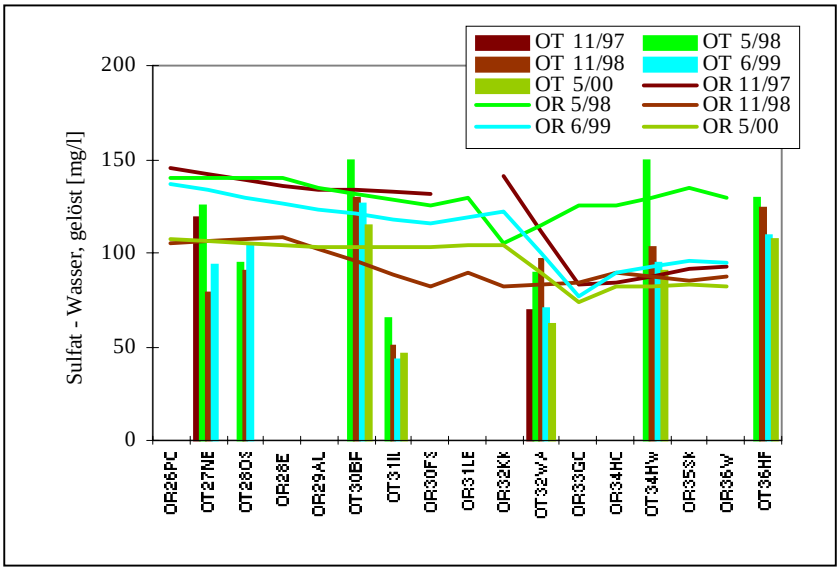
1-7:
Eh-Wert



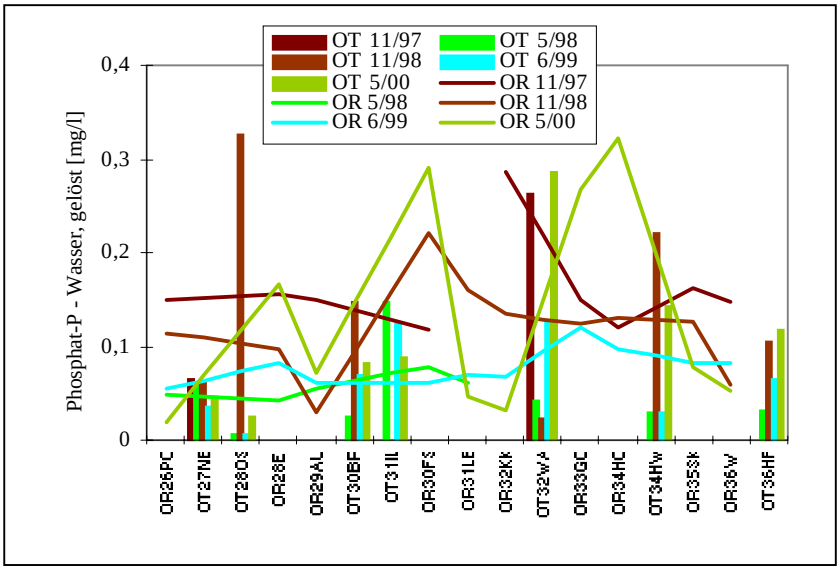
1-8:
Chlorid



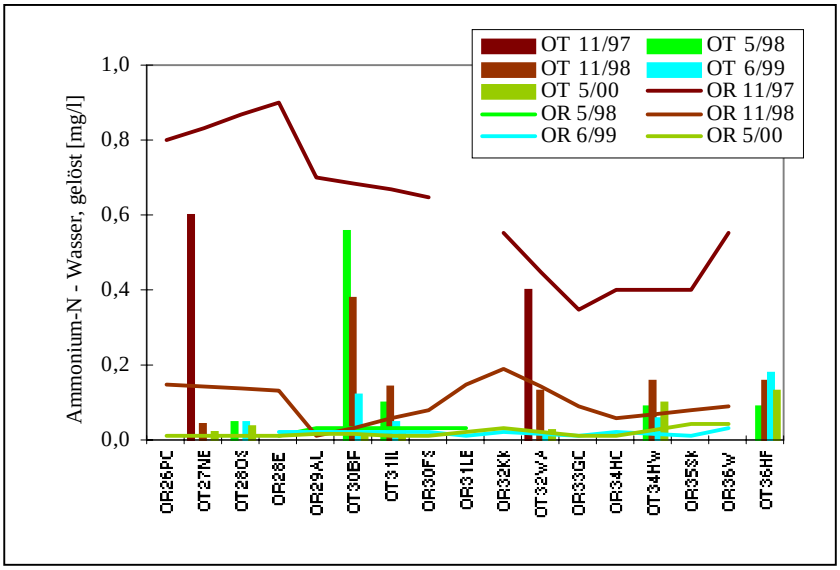
1-9:
Sulfat



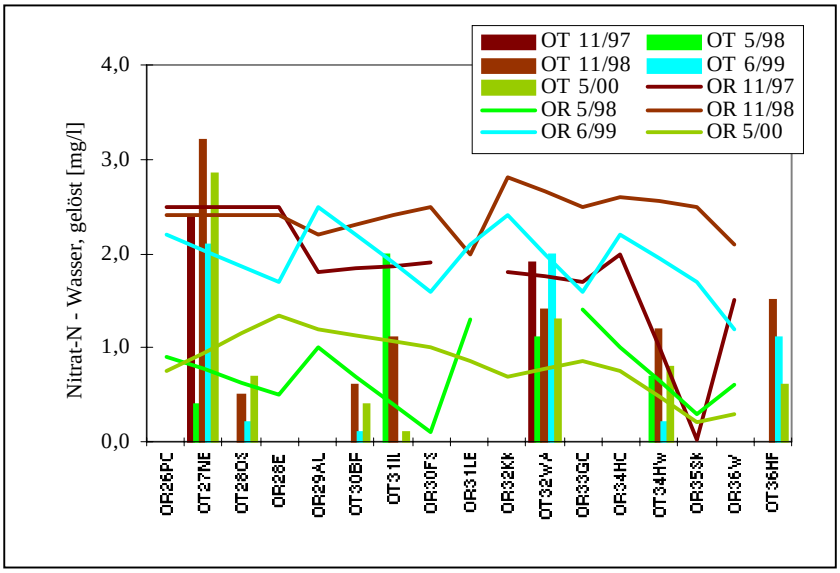
1-10:
Phosphat-P



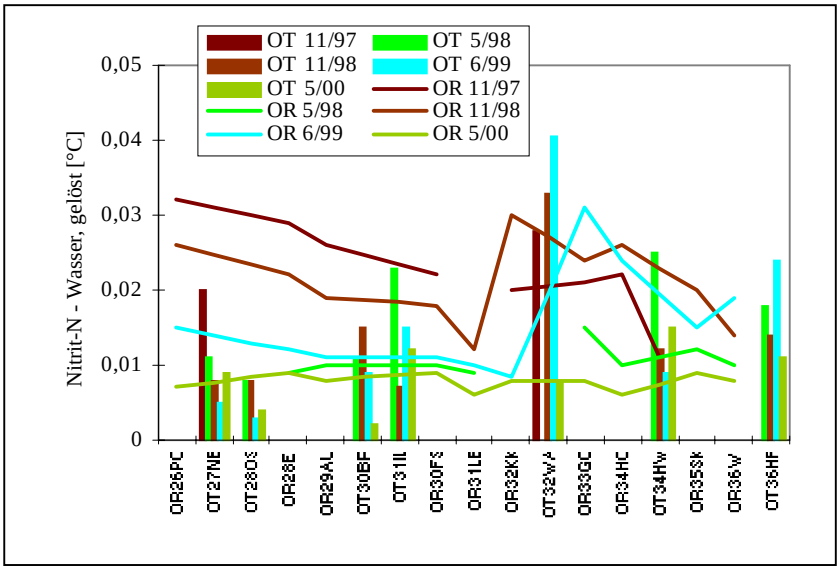
1-11:
Ammonium-N



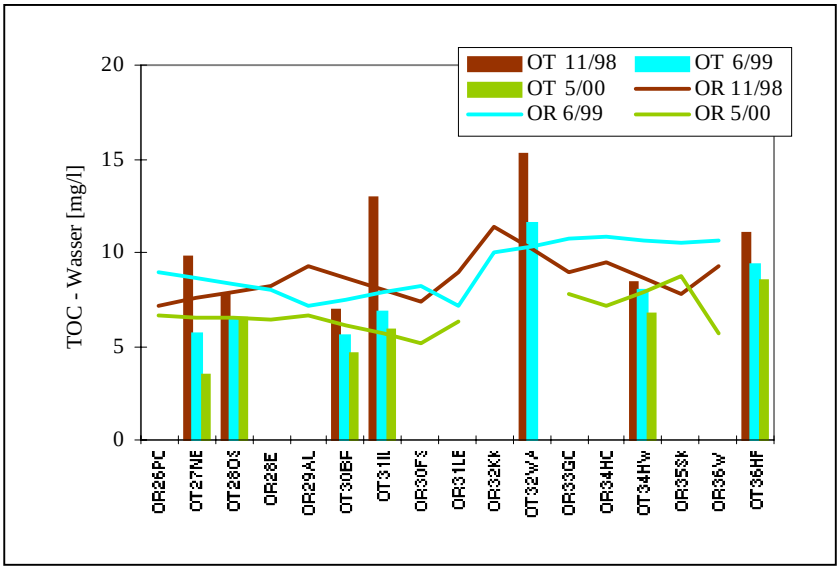
1-12:
Nitrat-N



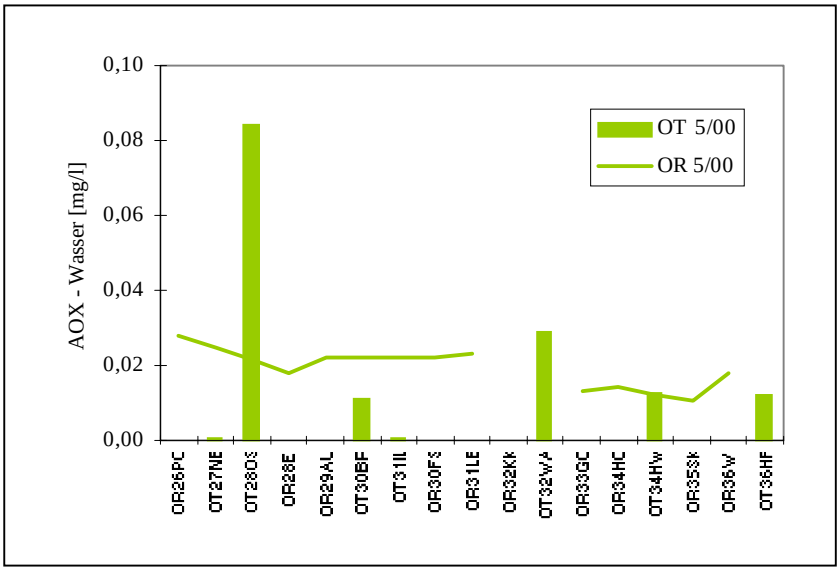
1-13:
Nitrit-N



1-14:
TOC

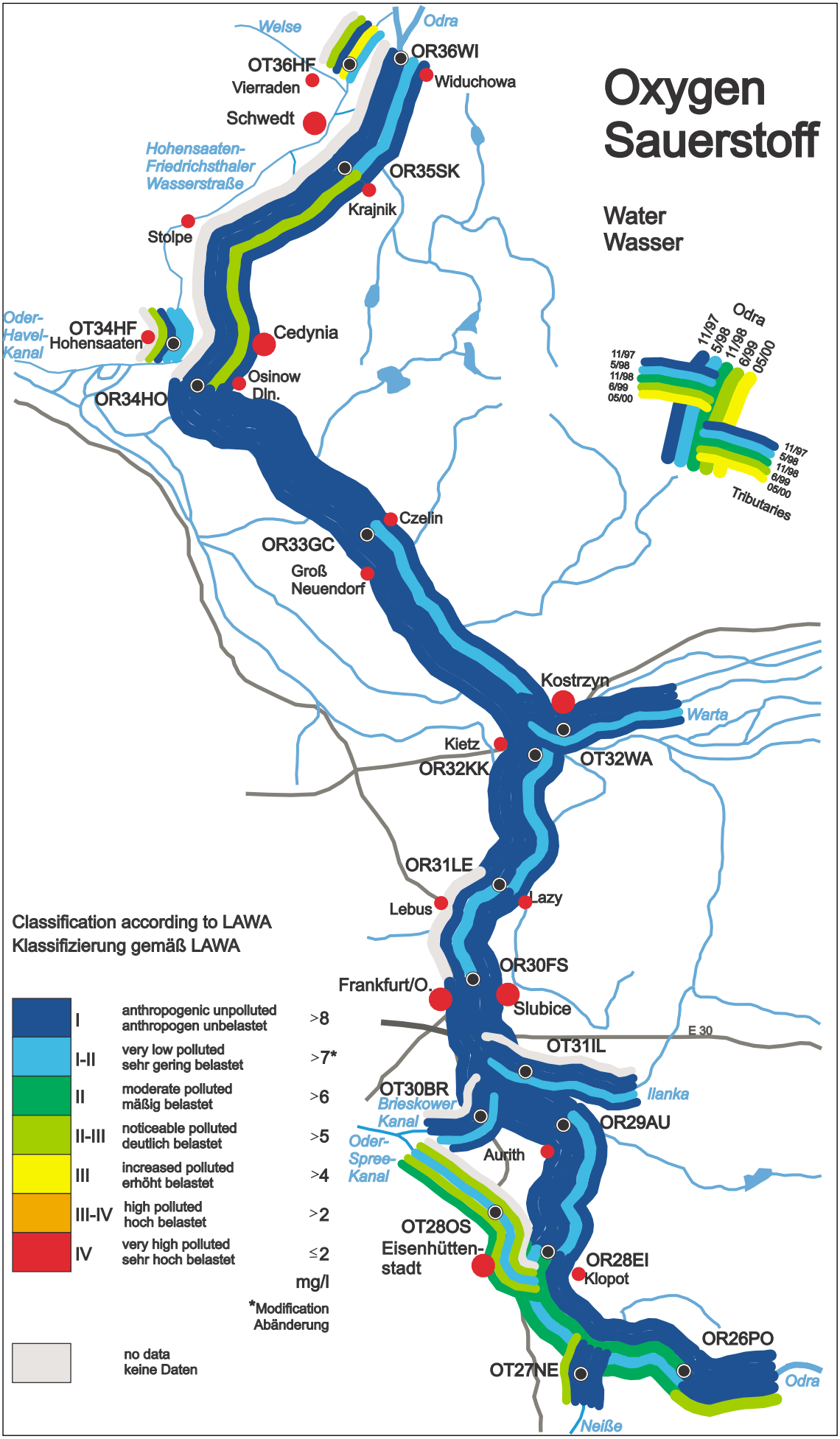


1-15:
AOX

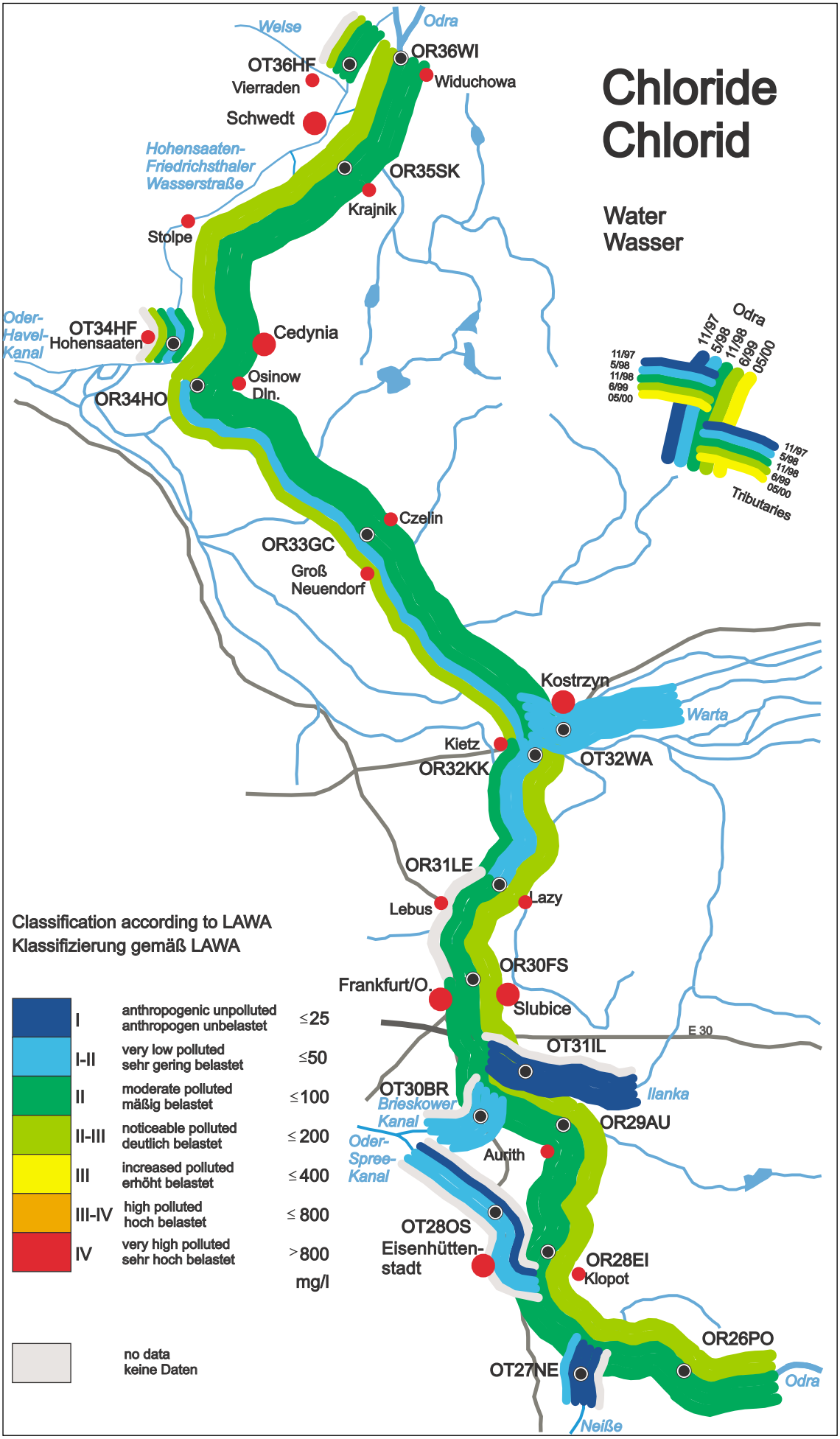


Anlage 2

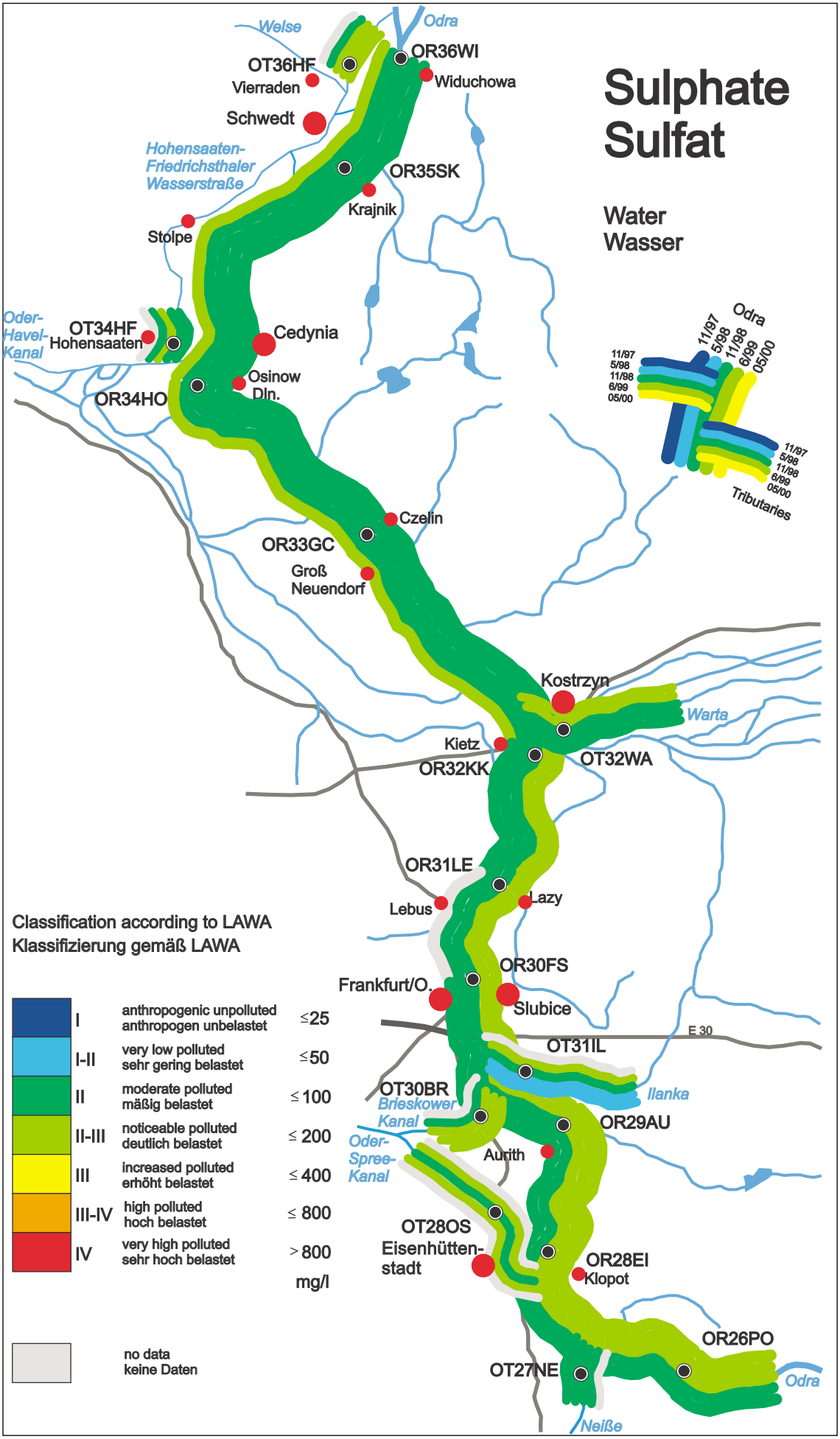
Übersichtskarten zur LAWA-Klassifizierung des Sauerstoffgehaltes, der Hauptionen und Summenparameter im Wasser



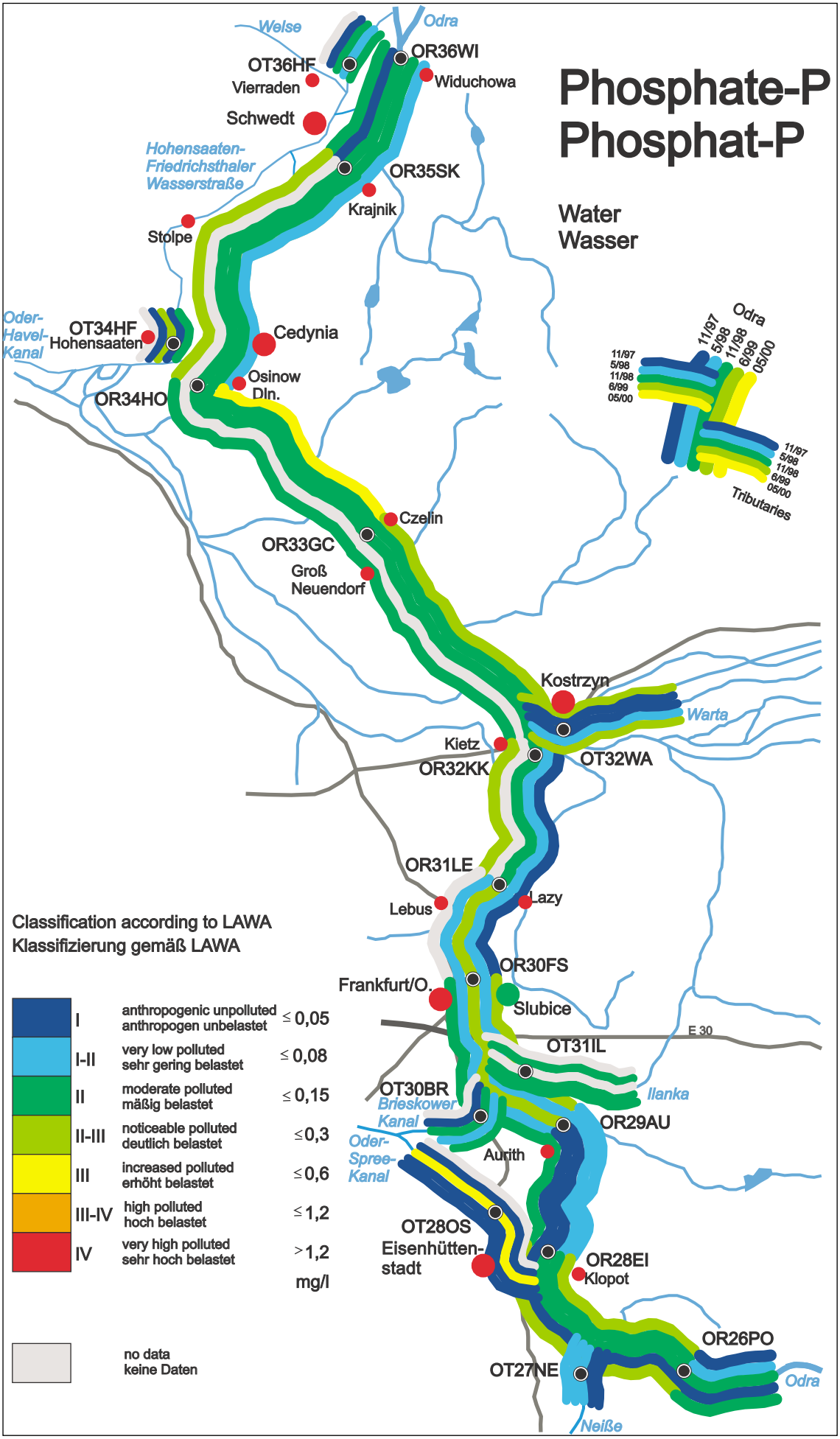
2-1: Sauerstoff


Chloride
Chlorid
Water
Wasser
Welse
Odra
OR36WI
OT36HF
Vierraden
Widuchowa
Schwedt
Hohensaaten-
Friedrichsthaler
Wasserstraße
OR35SK
Krajnik
Stolpe
Oder-
Havel-
Kanal
OT34HF
Hohensaaten
Cedynia
Osinow
Dln.
OR34HO
Odra
11/97
5/98
11/98
6/99
05/00
Tributaries
Czelin
OR33GC
Groß
Neuendorf
Kostrzyn
Warta
Kietz
OR32KK
OT32WA
OR31LE
Lebus
Lazy
OR30FS
Frankfurt/O.
Slubice
E 30
OT31IL
Ilanka
OT30BR
Brieskower
Kanal
OR29AU
Oder-
Spree-
Kanal
Aurith
OT28OS
Eisenhütten-
stadt
OR28EI
Klopot
OR26PO
OT27NE
Odra
Neiße
Classification according to LAWA
Klassifizierung gemäß LAWA
I
anthropogenic unpolluted
anthropogen unbelastet
≤25
I-II
very low polluted
sehr gering belastet
≤50
II
moderate polluted
mäßig belastet
≤100
II-III
noticeable polluted
deutlich belastet
≤200
III
increased polluted
erhöht belastet
≤400
III-IV
high polluted
hoch belastet
≤800
IV
very high polluted
sehr hoch belastet
>800
mg/l
no data
keine Daten

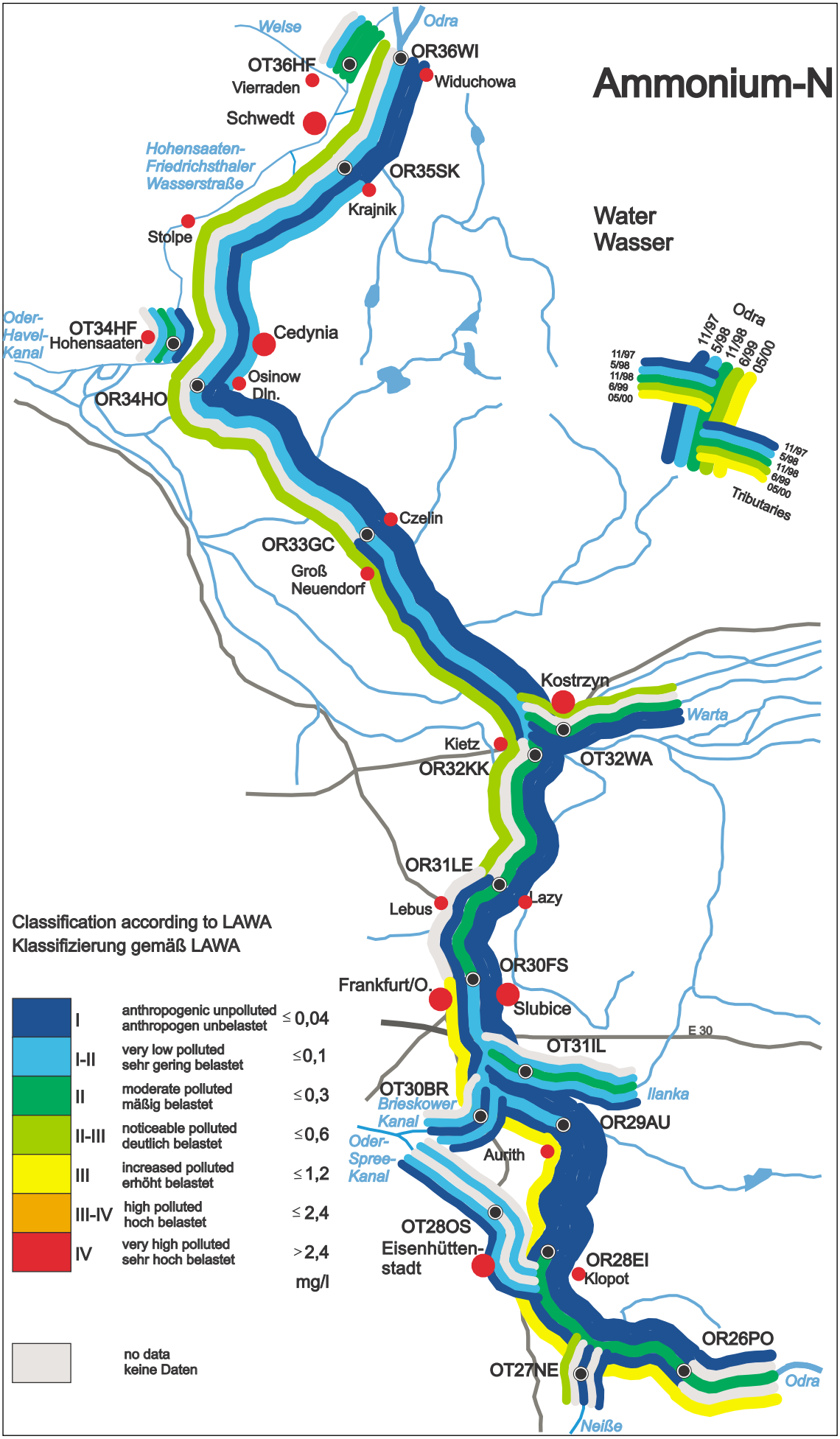
2-2: Chlorid


Sulphate
Sulfat
Water
Wasser
Welse
Odra
OR36WI
OT36HF
Vierraden
Widuchowa
Schwedt
Hohensaaten-
Friedrichsthaler
Wasserstraße
OR35SK
Krajnik
Stolpe
Oder-
Havel-
Kanal
OT34HF
Hohensaaten
Cedynia
Osinow
Dln.
OR34HO
11/97
5/98
11/98
6/99
05/00
Odra
Tributaries
Czelin
OR33GC
Groß
Neuendorf
Kostrzyn
Warta
Kietz
OR32KK
OT32WA
OR31LE
Lebus
Lazy
OR30FS
Frankfurt/O.
Slubice
E 30
OT31IL
Ilanka
OT30BR
Brieskower
Kanal
OR29AU
Oder-
Spree-
Kanal
Aurith
OT28OS
Eisenhütten-
stadt
OR28EI
Klopot
OR26PO
OT27NE
Odra
Neiße
Classification according to LAWA
Klassifizierung gemäß LAWA
I
anthropogenic unpolluted
anthropogen unbelastet
≤25
I-II
very low polluted
sehr gering belastet
≤50
II
moderate polluted
mäßig belastet
≤100
II-III
noticeable polluted
deutlich belastet
≤200
III
increased polluted
erhöht belastet
≤400
III-IV
high polluted
hoch belastet
≤800
IV
very high polluted
sehr hoch belastet
>800
mg/l
no data
keine Daten

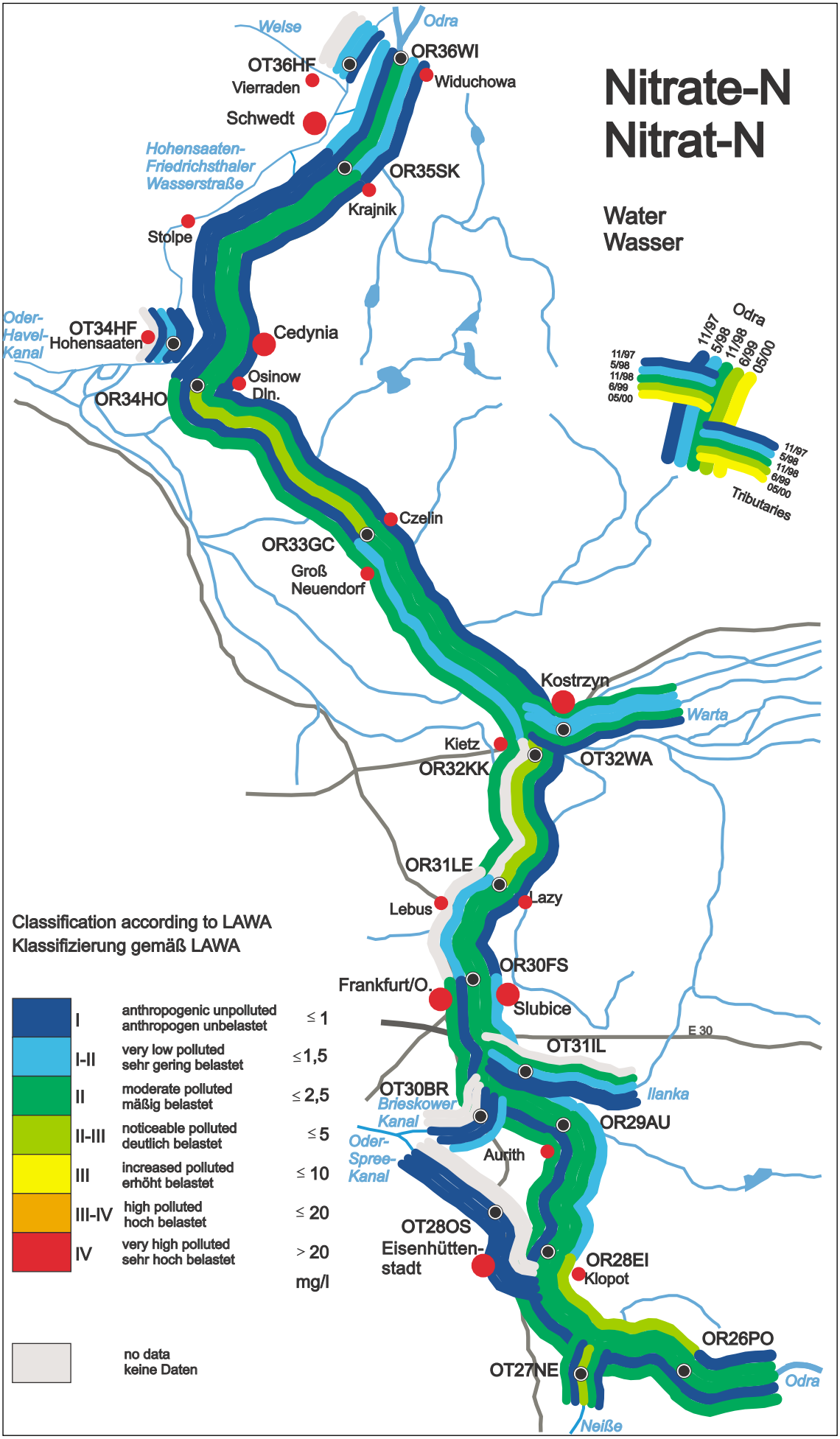
2-3: Sulfat



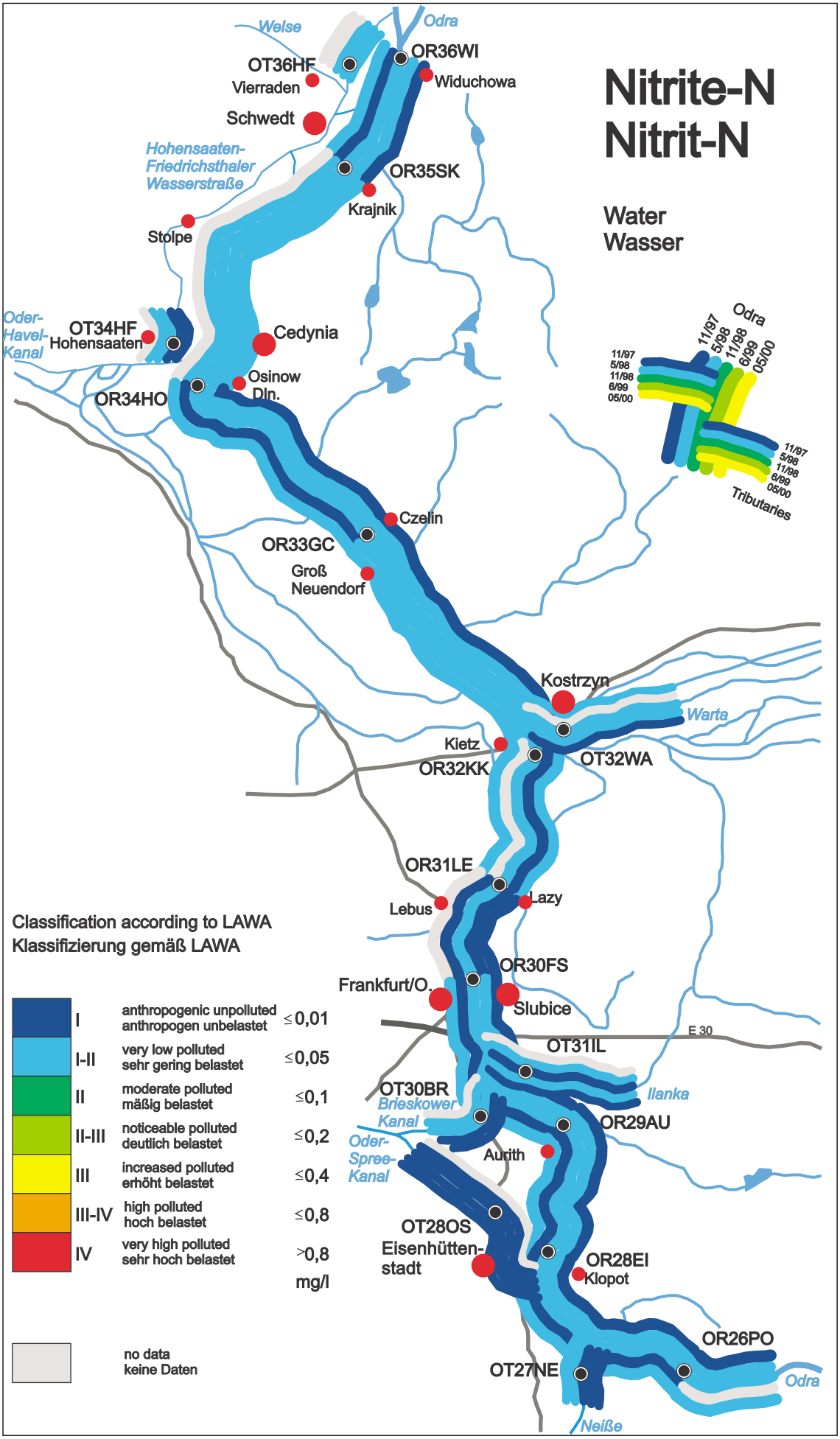
2-4: Phosphat-P



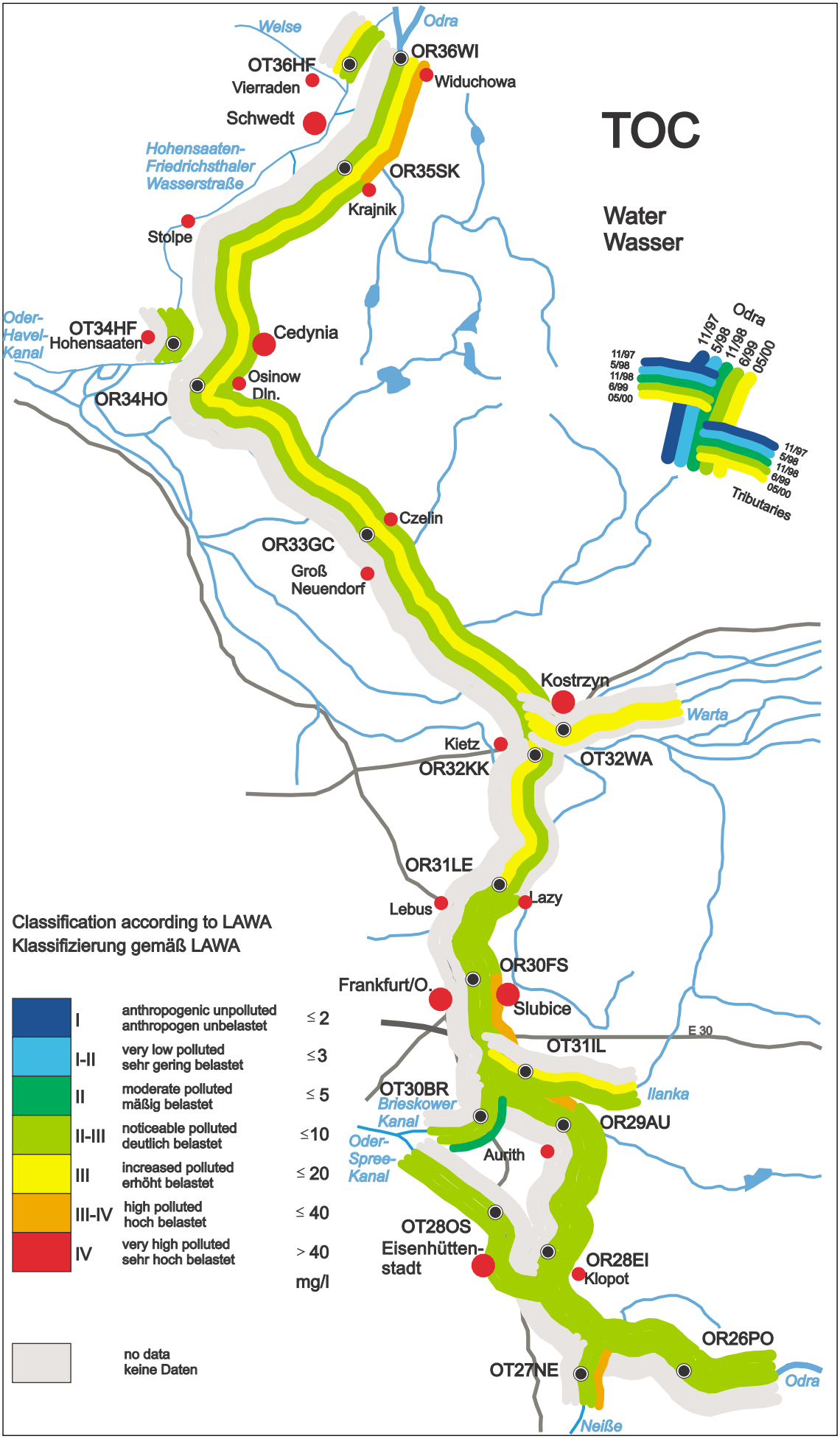
2-5: Ammonium-N


Nitrate-N
Nitrat-N
Water
Wasser
Welse
Odra
OR36WI
OT36HF
Vierraden
Widuchowa
Schwedt
Hohensaaten-
Friedrichsthaler
Wasserstraße
OR35SK
Krajnik
Stolpe
Oder-
Havel-
Kanal
OT34HF
Hohensaaten
Cedynia
Osinow
Dln.
OR34HO
Odra
11/97
5/98
11/98
6/99
05/00
Tributaries
Czelin
OR33GC
Groß
Neuendorf
Kostrzyn
Warta
Kietz
OR32KK
OT32WA
OR31LE
Lebus
Lazy
OR30FS
Frankfurt/O.
Slubice
E 30
OT31IL
Ilanka
OT30BR
Brieskower
Kanal
OR29AU
Oder-
Spree-
Kanal
Aurith
OT28OS
Eisenhütten-
stadt
OR28EI
Klopot
OR26PO
OT27NE
Odra
Neiße
Classification according to LAWA
Klassifizierung gemäß LAWA
I
anthropogenic unpolluted
anthropogen unbelastet
≤ 1
I-II
very low polluted
sehr gering belastet
≤1,5
II
moderate polluted
mäßig belastet
≤ 2,5
II-III
noticeable polluted
deutlich belastet
≤ 5
III
increased polluted
erhöht belastet
≤ 10
III-IV
high polluted
hoch belastet
≤ 20
IV
very high polluted
sehr hoch belastet
> 20
mg/l
no data
keine Daten

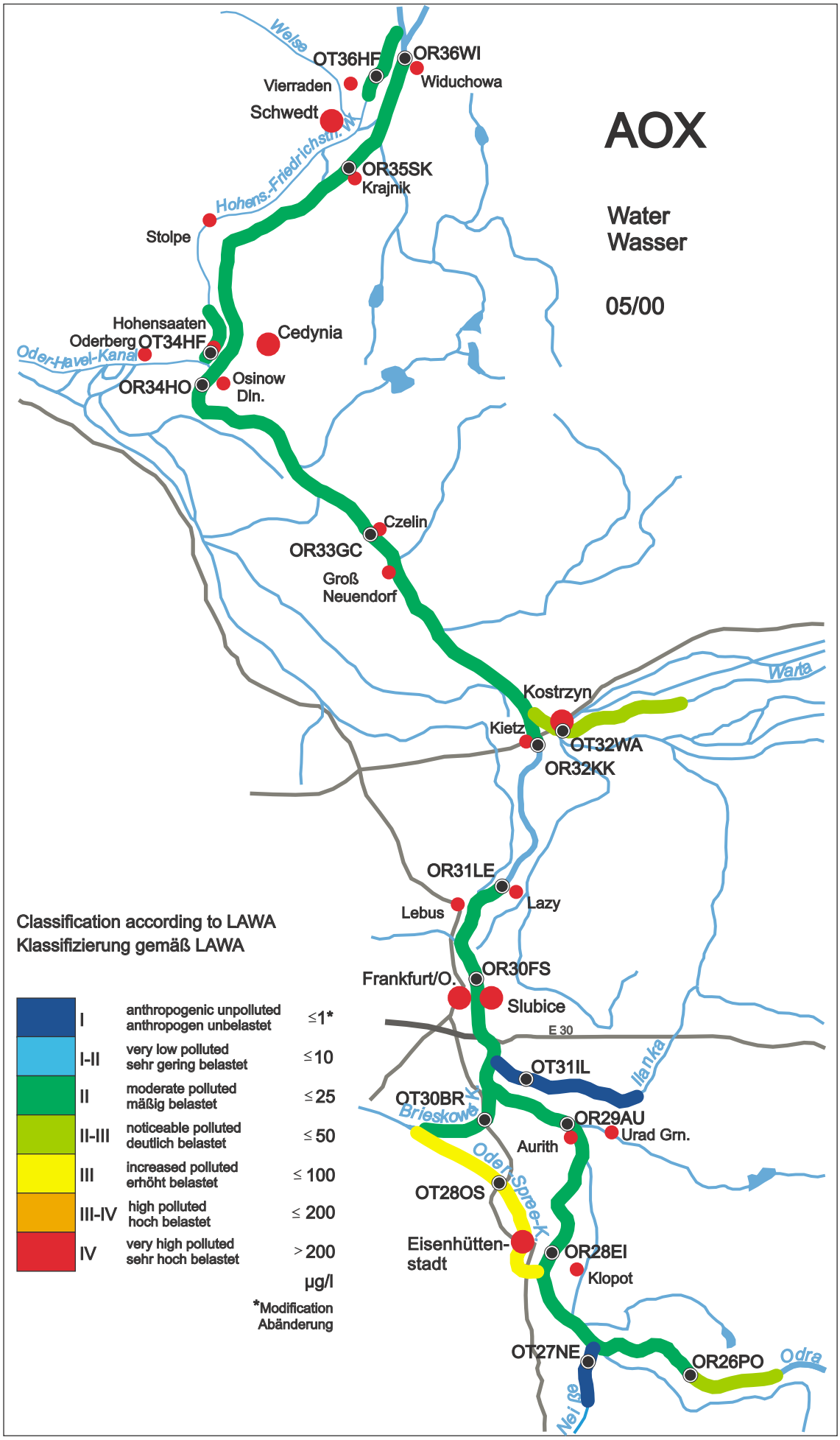
2-6: Nitrat-N


Nitrite-N
Nitrit-N
Water
Wasser
Welse
Odra
OR36WI
OT36HF
Vierraden
Widuchowa
Schwedt
Hohensaaten-
Friedrichsthaler
Wasserstraße
OR35SK
Krajnik
Stolpe
Oder-
Havel-
Kanal
OT34HF
Hohensaaten
Cedynia
Osinow
Dln.
OR34HO
Odra
11/97
5/98
11/98
6/99
05/00
Tributaries
Czelin
OR33GC
Groß
Neuendorf
Kostrzyn
Warta
Kietz
OR32KK
OT32WA
OR31LE
Lebus
Lazy
OR30FS
Frankfurt/O.
Slubice
E 30
OT31IL
OT30BR
Brieskower
Kanal
Ilanka
OR29AU
Oder-
Spree-
Kanal
Aurith
OT28OS
Eisenhütten-
stadt
OR28EI
Klopot
OR26PO
OT27NE
Odra
Neiße
Classification according to LAWA
Klassifizierung gemäß LAWA
I
anthropogenic unpolluted
anthropogen unbelastet
≤0,01
I-II
very low polluted
sehr gering belastet
≤0,05
II
moderate polluted
mäßig belastet
≤0,1
II-III
noticeable polluted
deutlich belastet
≤0,2
III
increased polluted
erhöht belastet
≤0,4
III-IV
high polluted
hoch belastet
≤0,8
IV
very high polluted
sehr hoch belastet
>0,8
mg/l
no data
keine Daten

2-7: Nitrit-N


TOC
Water
Wasser
Welse
Odra
OR36WI
OT36HF
Vierraden
Widuchowa
Schwedt
Hohensaaten-
Friedrichsthaler
Wasserstraße
OR35SK
Krajnik
Stolpe
Oder-
Havel-
Kanal
OT34HF
Hohensaaten
Cedynia
Osinow
Dln.
OR34HO
Czelin
OR33GC
Groß
Neuendorf
Kostrzyn
Warta
Kietz
OR32KK
OT32WA
OR31LE
Lebus
Lazy
OR30FS
Frankfurt/O.
Slubice
E 30
OT31IL
OT30BR
Brieskower
Kanal
Ilanka
OR29AU
Oder-
Spree-
Kanal
Aurith
OT28OS
Eisenhütten-
stadt
OR28EI
Klopot
OR26PO
OT27NE
Odra
Neiße
Odra
11/97
5/98
11/98
6/99
05/00
Tributaries
Classification according to LAWA
Klassifizierung gemäß LAWA
I
anthropogenic unpolluted
anthropogen unbelastet
≤ 2
I-II
very low polluted
sehr gering belastet
≤3
II
moderate polluted
mäßig belastet
≤ 5
II-III
noticeable polluted
deutlich belastet
≤10
III
increased polluted
erhöht belastet
≤ 20
III-IV
high polluted
hoch belastet
≤ 40
IV
very high polluted
sehr hoch belastet
> 40
mg/l
no data
keine Daten

2-8: TOC


AOX
Water
Wasser
05/00
Weise
OT36HF
OR36WI
Widuchowa
Vierraden
Schwedt
Hohens.-Friedrichstr.-K.
OR35SK
Krajnik
Stolpe
Hohensaaten
Oderberg
OT34HF
Cedynia
Oder-Havel-Kanal
OR34HO
Osinow Dln.
Czelin
OR33GC
Groß Neuendorf
Warta
Kostrzyn
Kietz
OT32WA
OR32KK
OR31LE
Lebus
Lazy
Frankfurt/O.
OR30FS
Slubice
E 30
OT31IL
Ilanka
OT30BR
Brieskower K.
OR29AU
Urad Grn.
Aurith
Oder-Spree-K.
OT28OS
Eisenhütten-stadt
OR28EI
Klopot
OT27NE
OR26PO
Odra
Neiße
Classification according to LAWA
Klassifizierung gemäß LAWA
I anthropogenic unpolluted anthropogen unbelastet ≤1*
I-II very low polluted sehr gering belastet ≤10
II moderate polluted mäßig belastet ≤25
II-III noticeable polluted deutlich belastet ≤50
III increased polluted erhöht belastet ≤100
III-IV high polluted hoch belastet ≤200
IV very high polluted sehr hoch belastet >200
µg/l
*Modification Abänderung

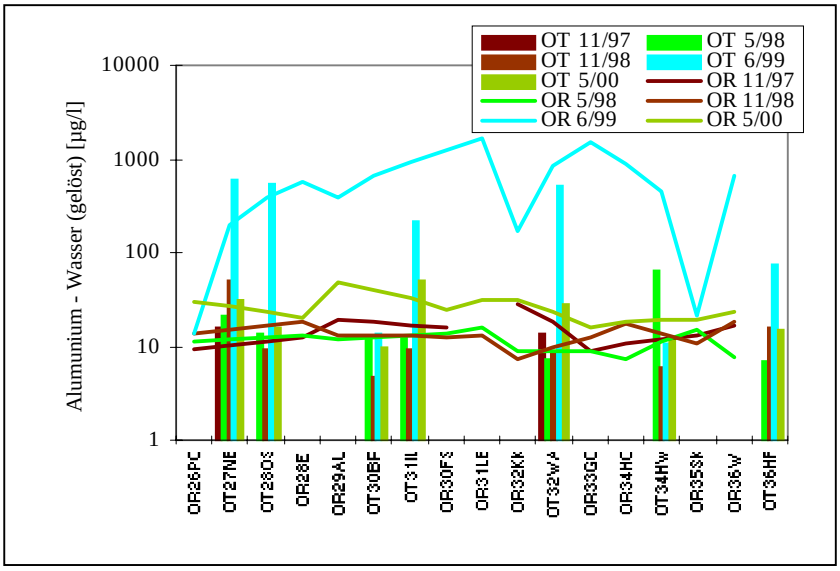
2-9: AOX

Anlage 3

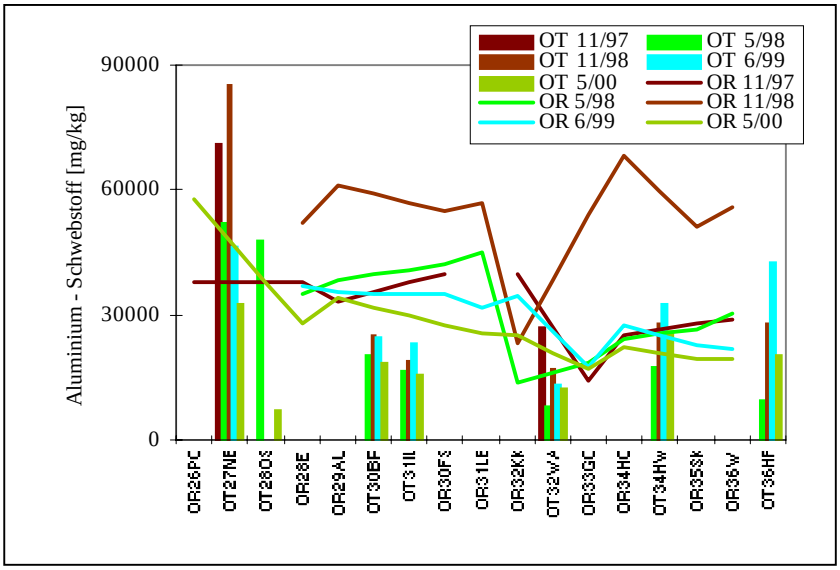
Längsprofile über den Abschnitt Polecko bis Widuchowa – Spurenelementgehalte im Wasser, im Schwebstoff und im Sediment

3-1:
Al - Wasser

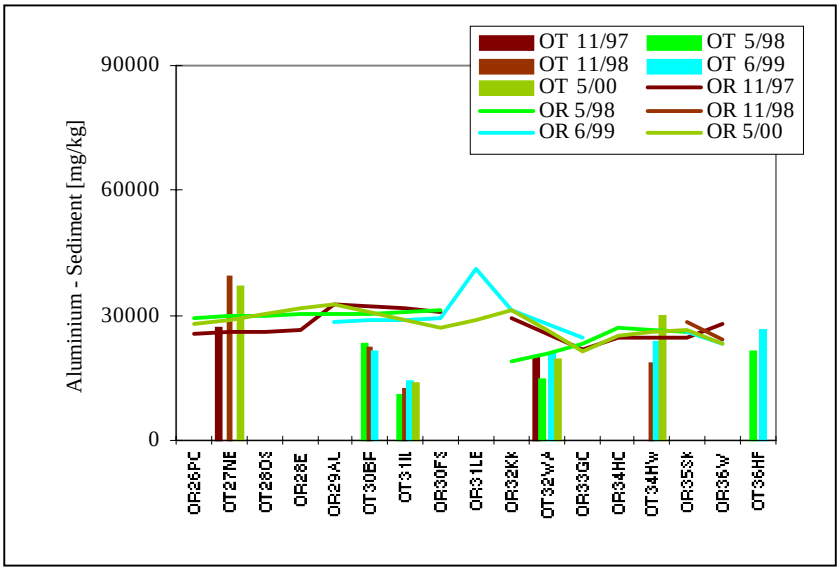
Generelle Anmerkung:
Die Säulen beziehen sich auf die Nebenflüsse, die durchgehenden Linien auf die Oder.



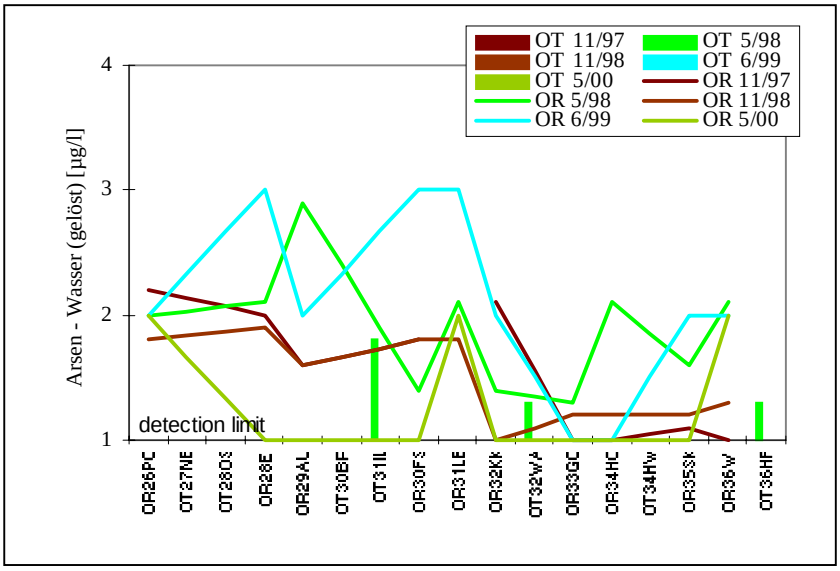
3-2:
Al - Schwebstoff



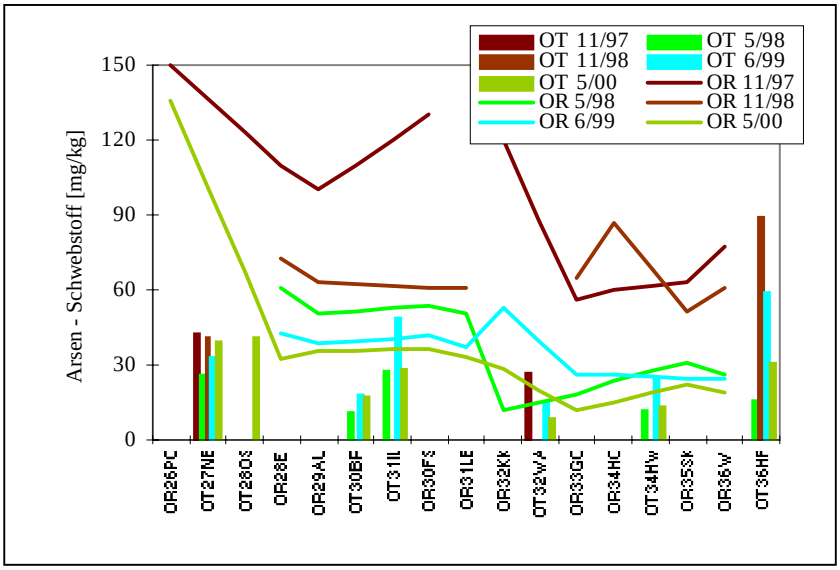
3-3:
Al - Sediment



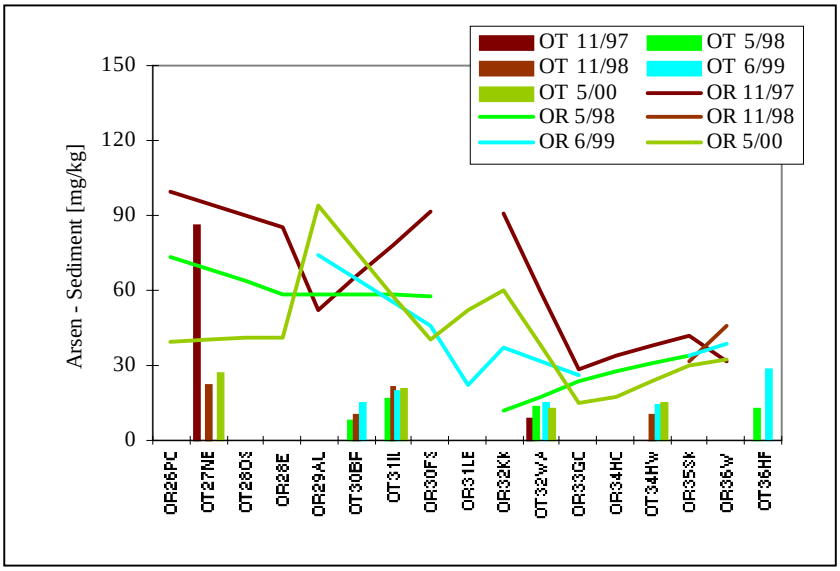
3-4:
As - Wasser



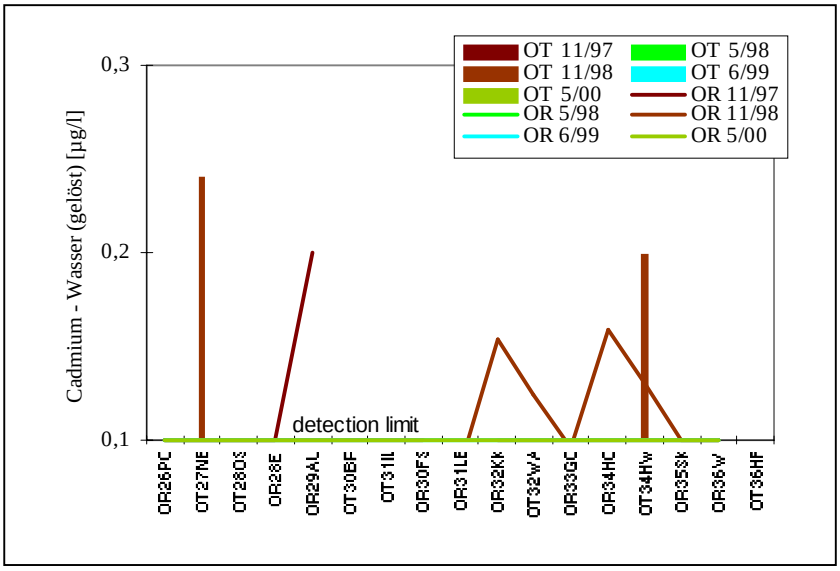
3-5:
As - Schwebstoff



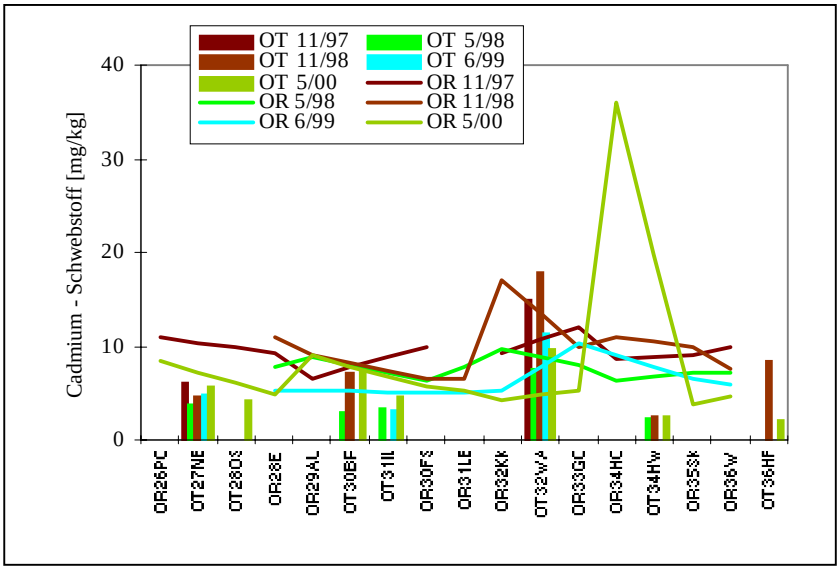
3-6:
As - Sediment



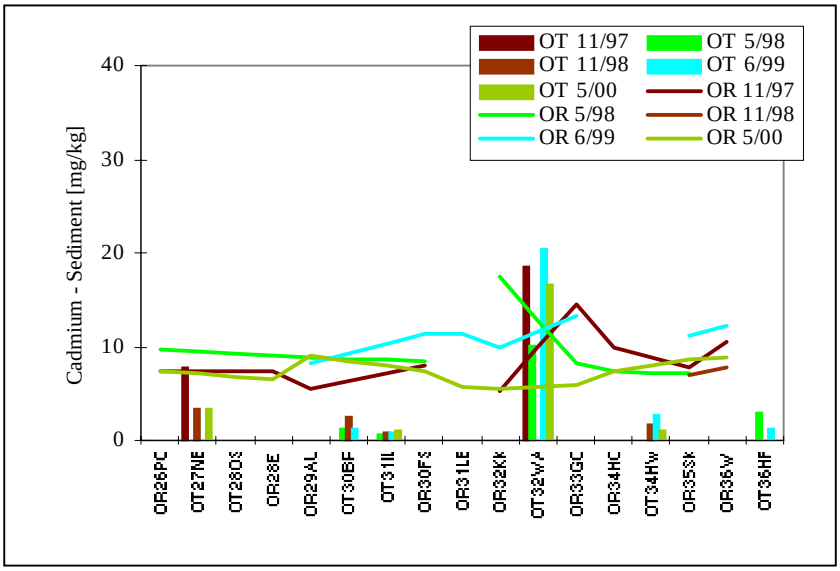
3-7:
Cd - Wasser



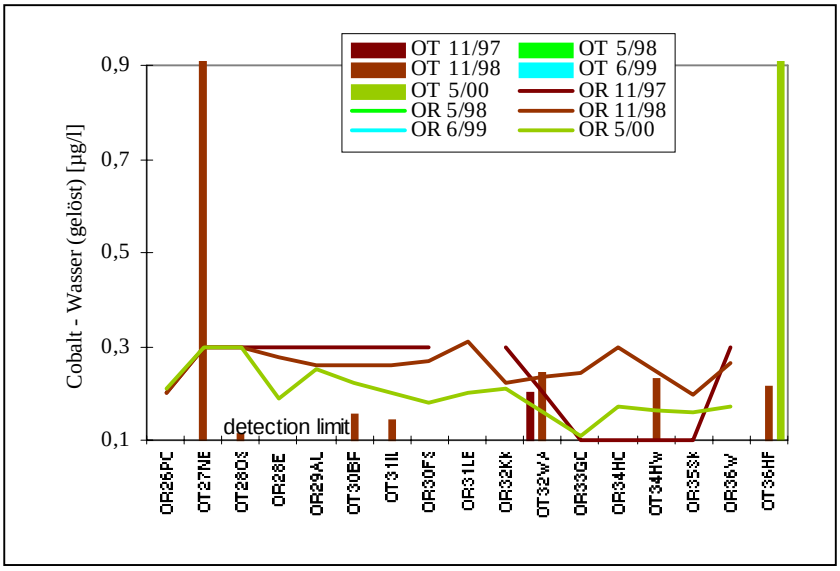
3-8:
Cd - Schwebstoff



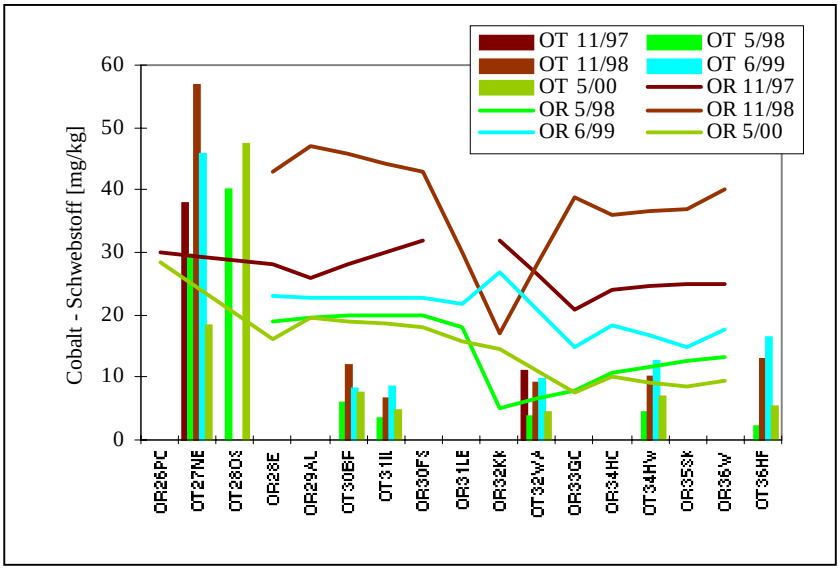
3-9:
Cd - Sediment



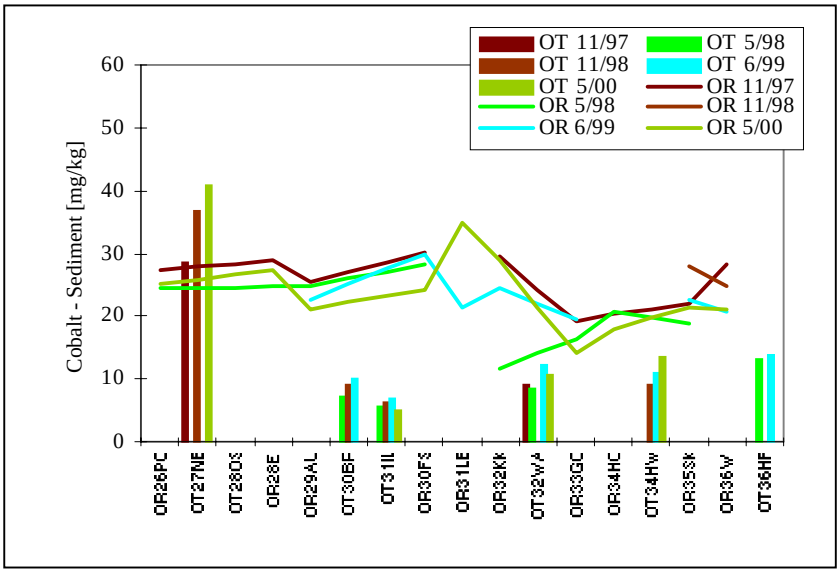
3-10:
Co - Wasser



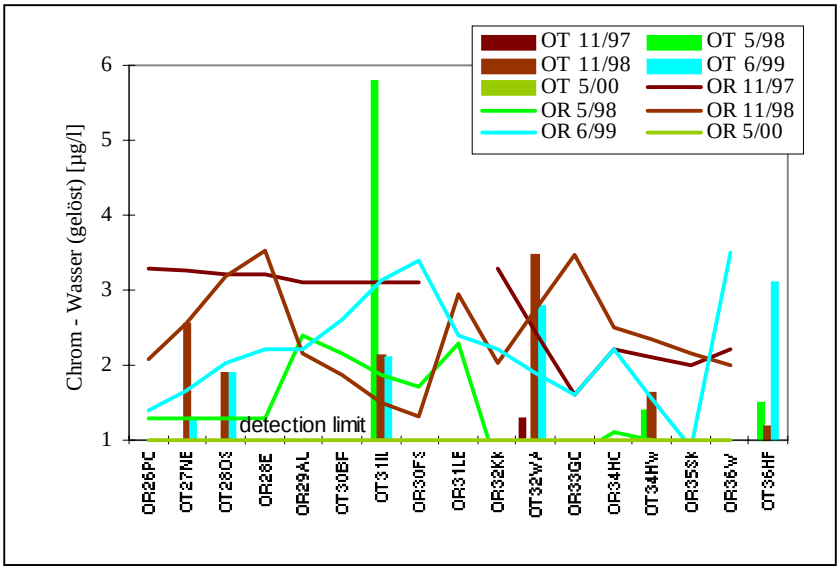
3-11:
Co - Schwebstoff



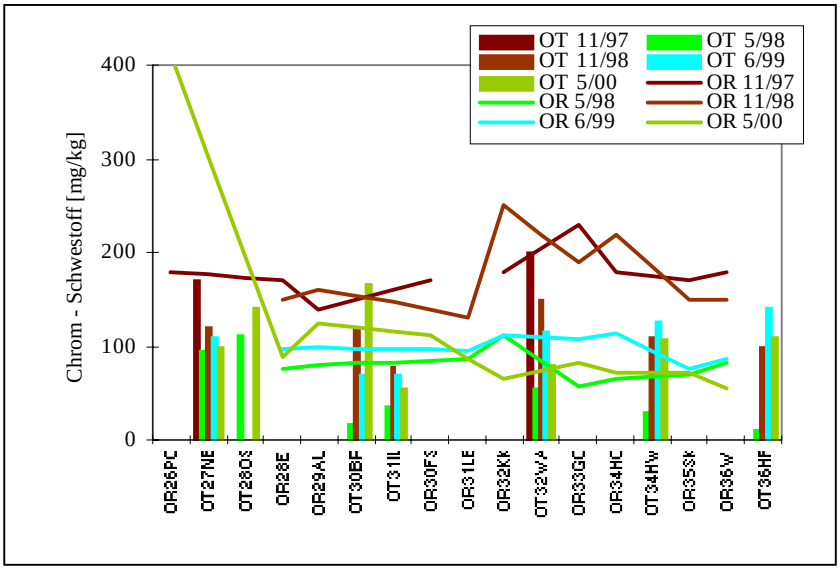
3-12:
Co - Sediment



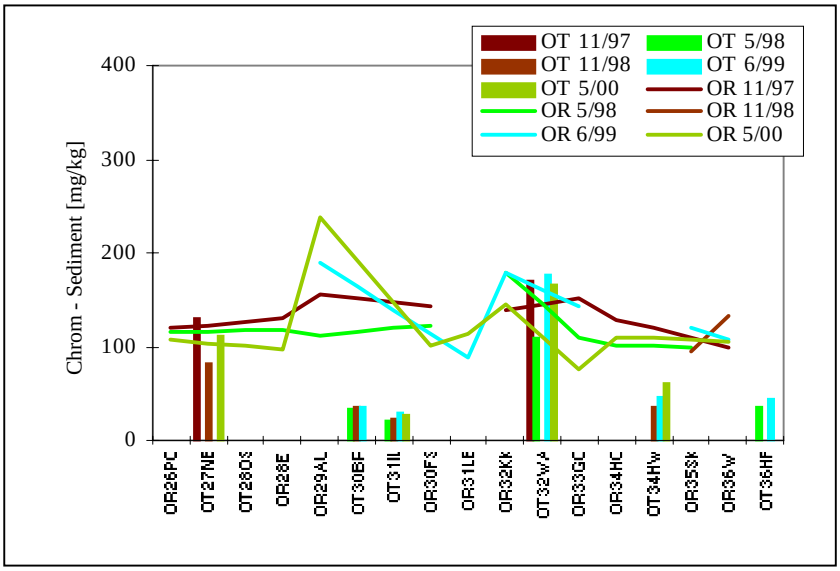
3-13:
Cr - Wasser



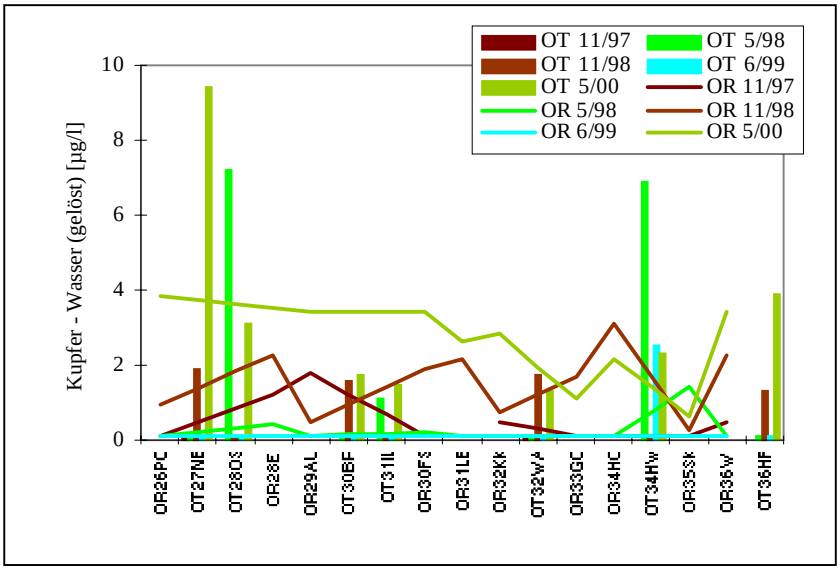
3-14:
Cr - Schwebstoff



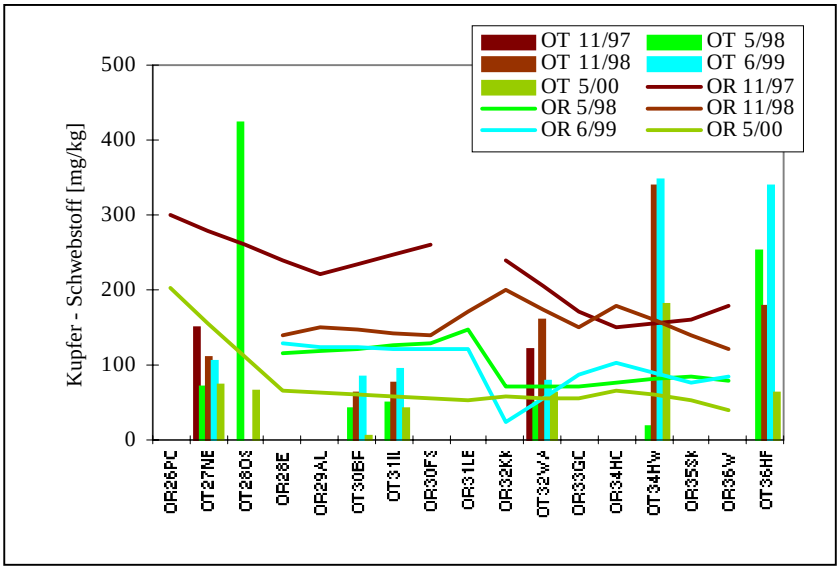
3-15:
Cr - Sediment



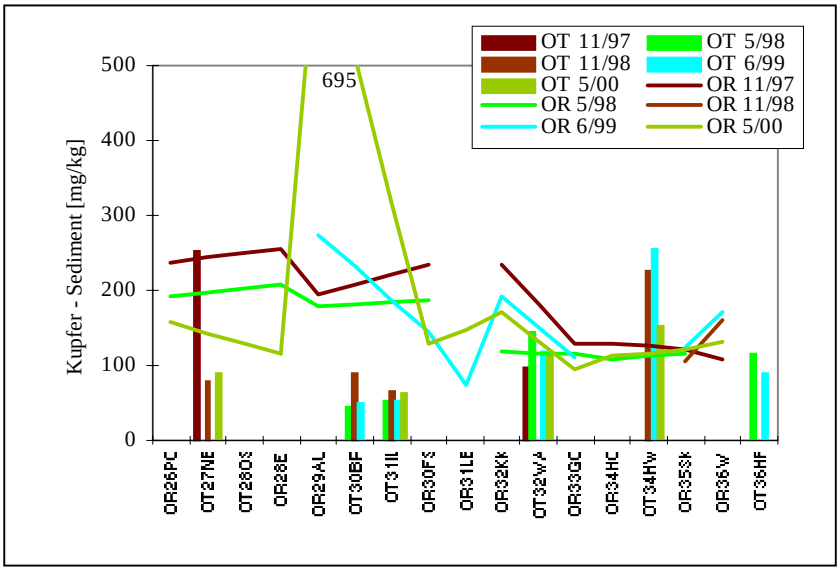
3-16:
Cu - Wasser



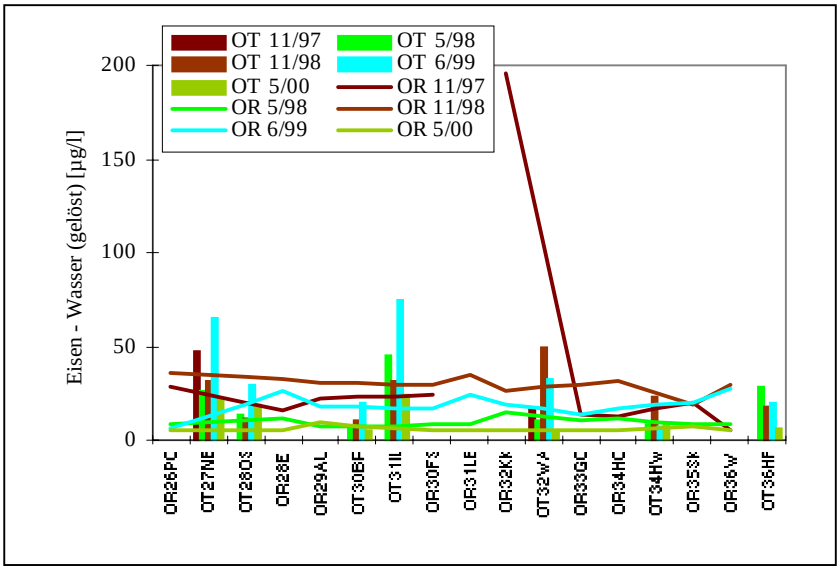
3-17:
Cu - Schwebstoff



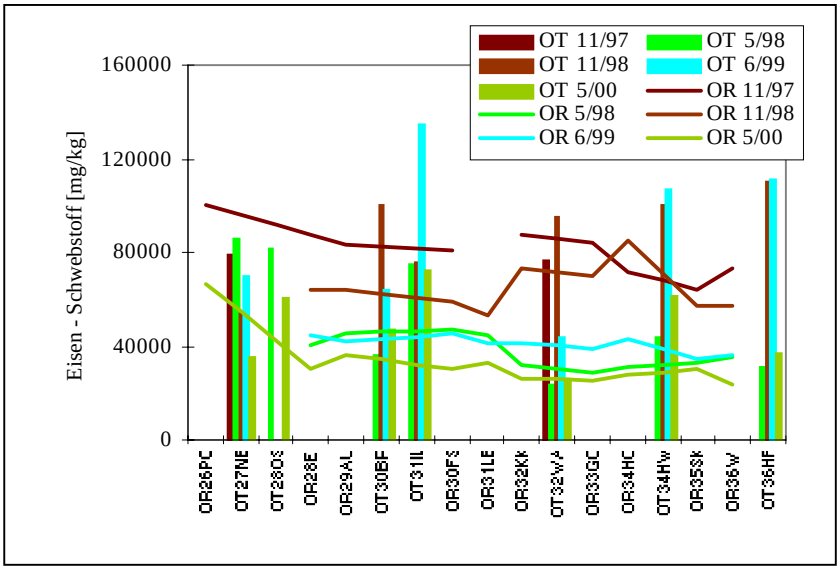
3-18:
Cu - Sediment



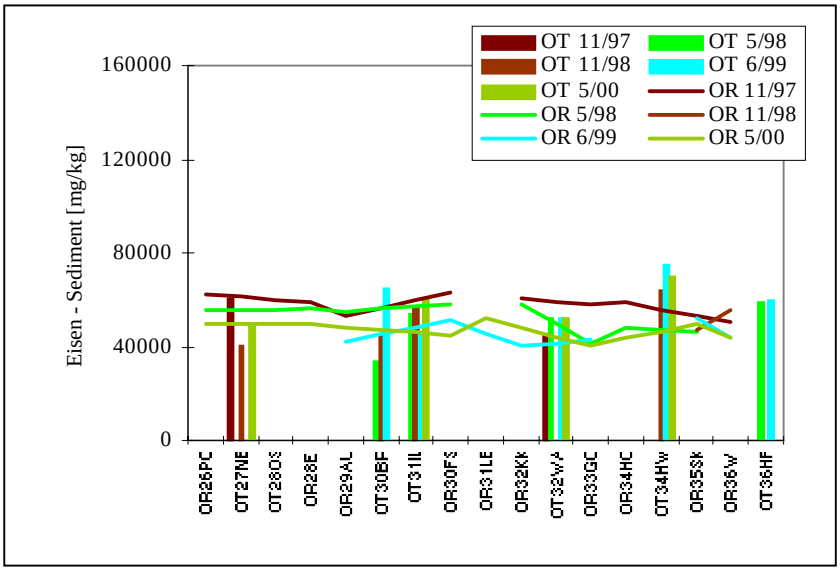
3-19:
Fe - Wasser



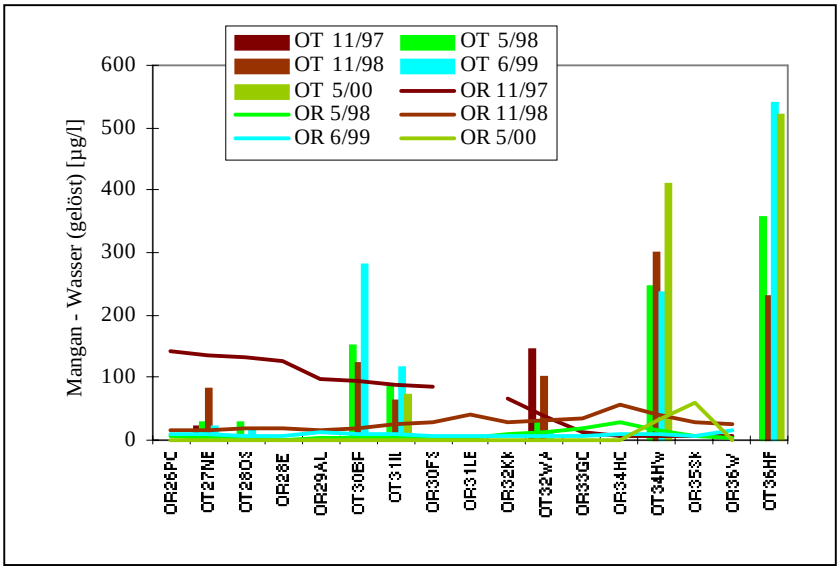
3-20:
Fe - Schwebstoff



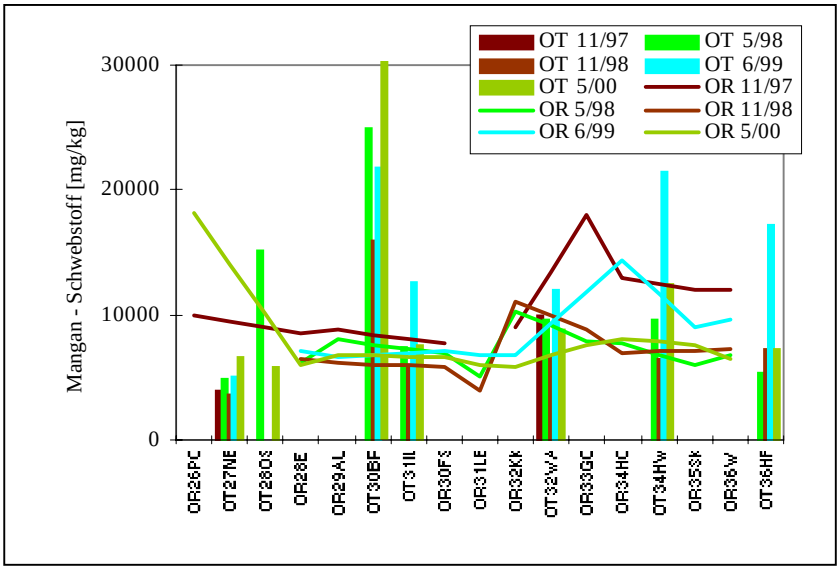
3-21:
Fe - Sediment



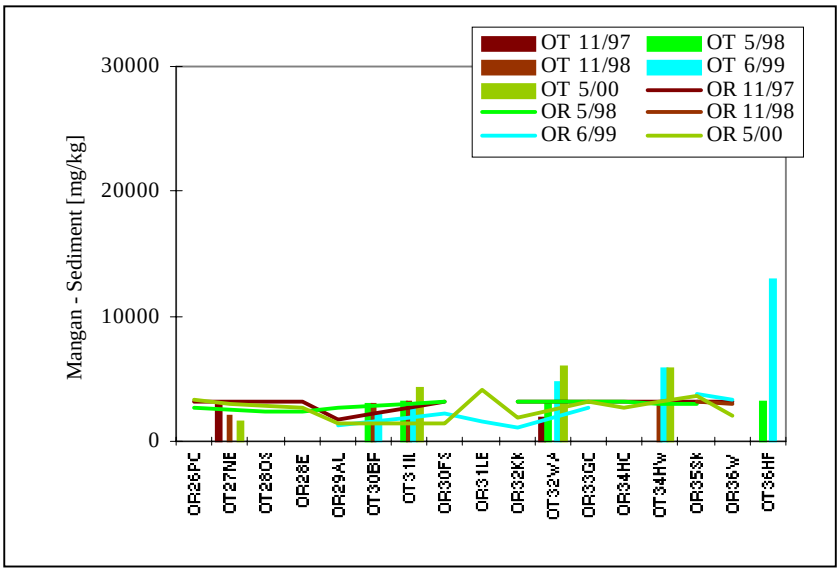
3-22:
Mn - Wasser



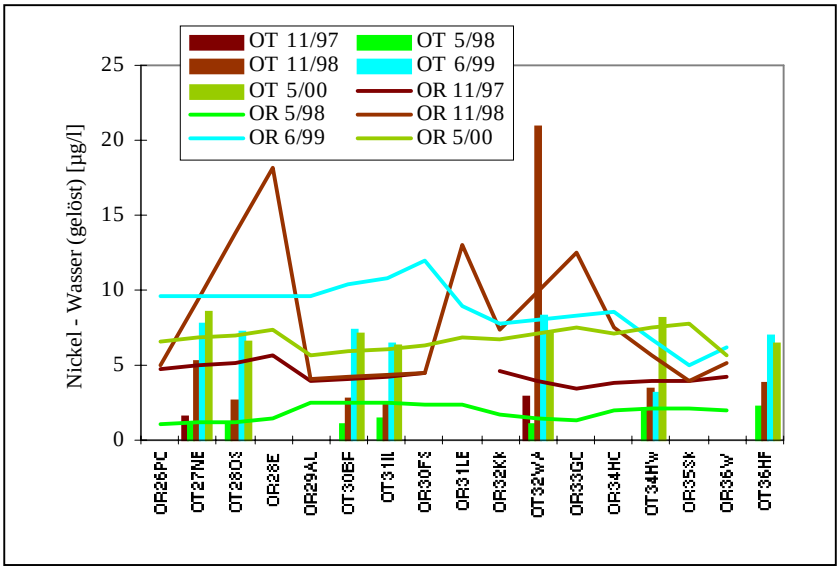
3-23:
Mn - Schwebstoff



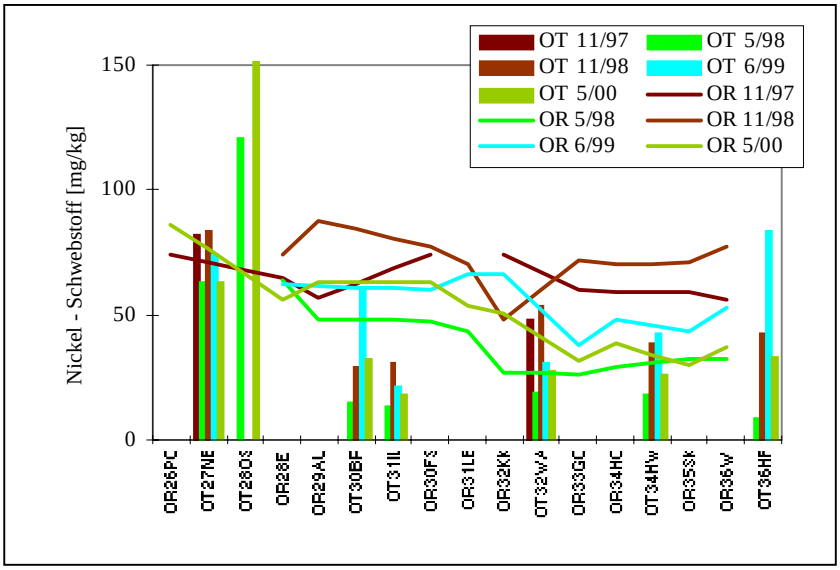
3-24:
Mn - Sediment



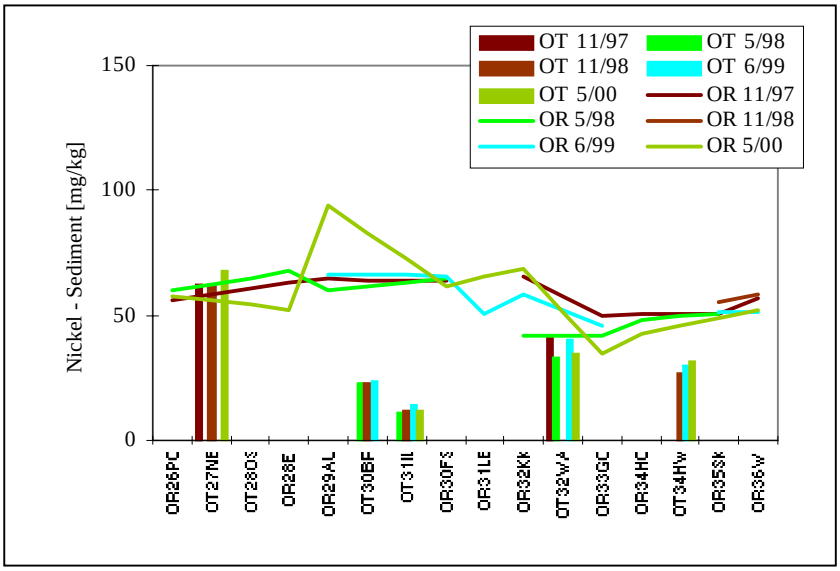
3-25:
Ni - Wasser



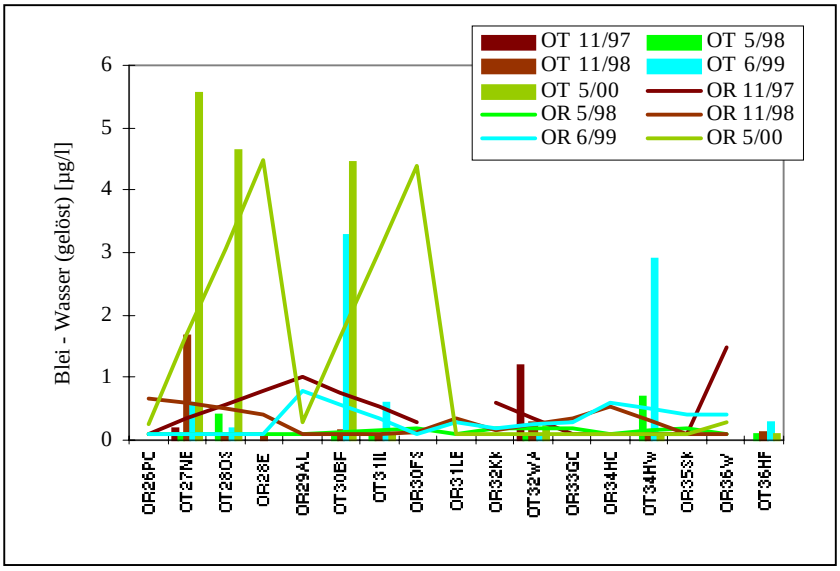
3-26:
Ni - Schwebstoff



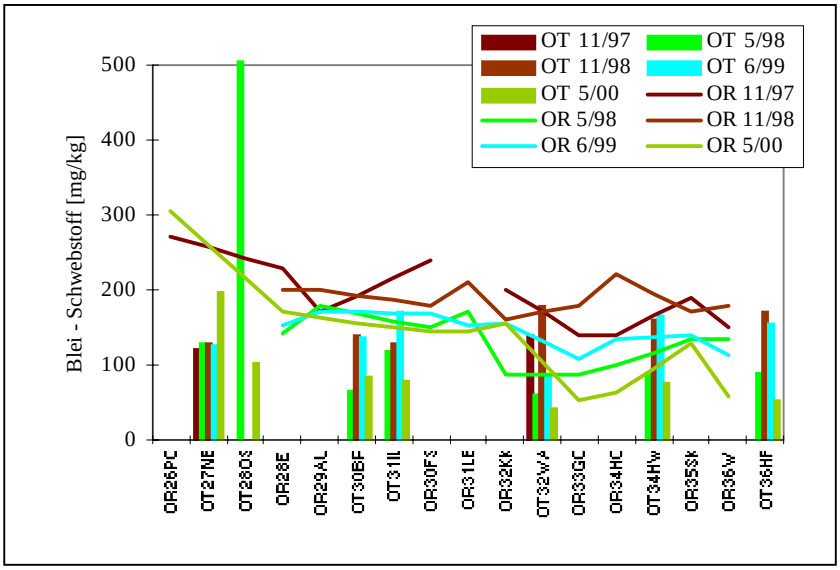
3-27:
Ni - Sediment



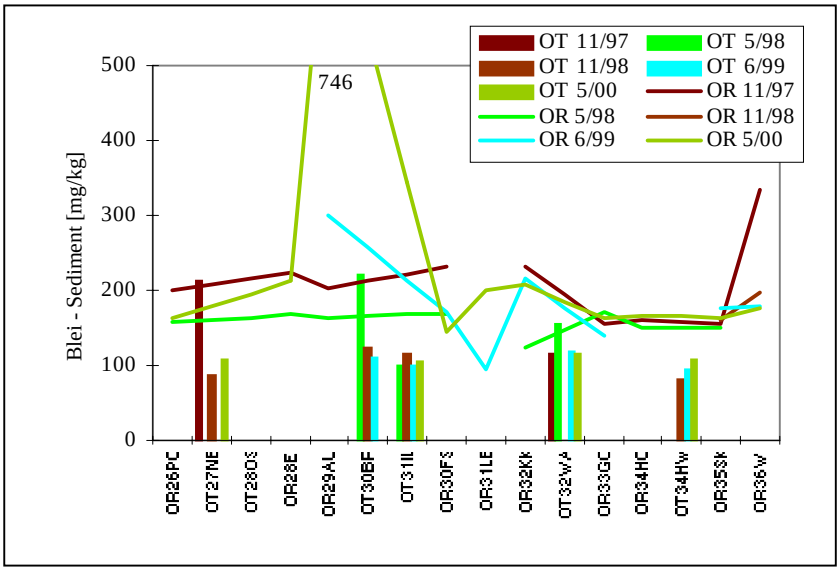
3-28:
Pb - Wasser



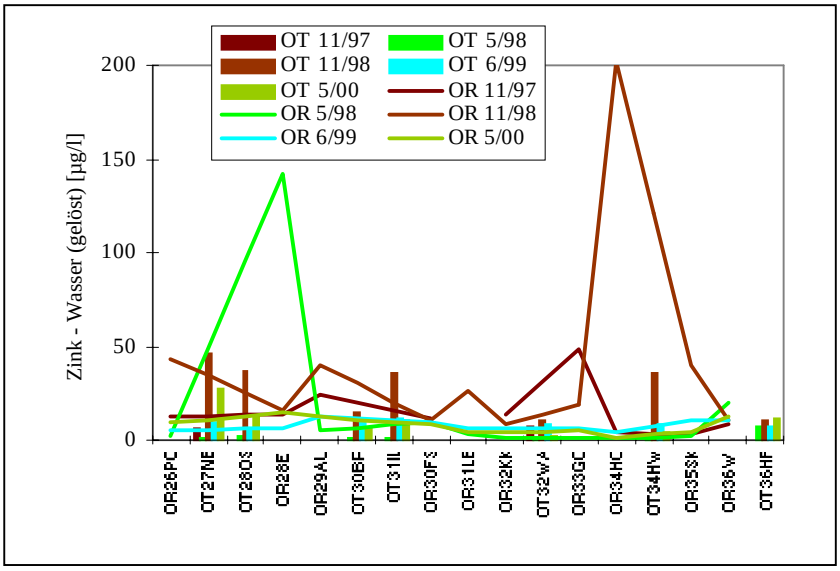
3-29:
Pb - Schwebstoff



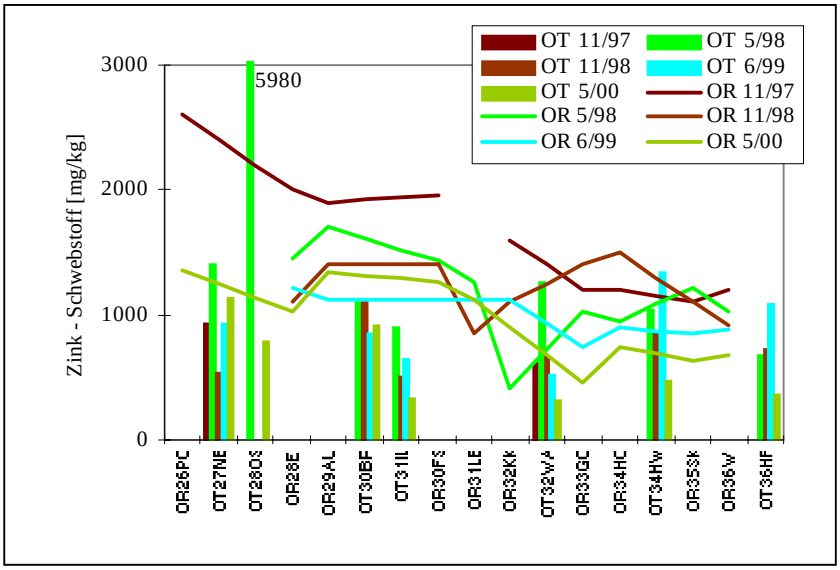
3-30:
Pb - Sediment



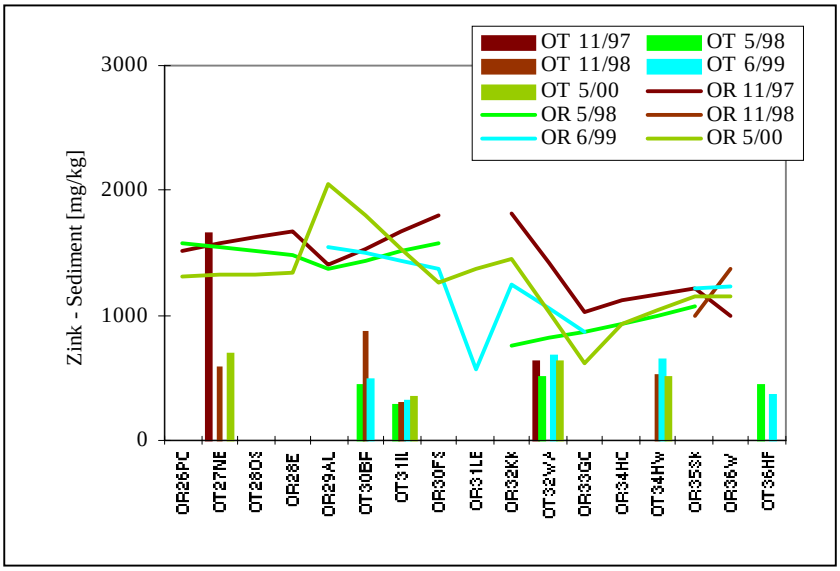
3-31:
Zn - Wasser



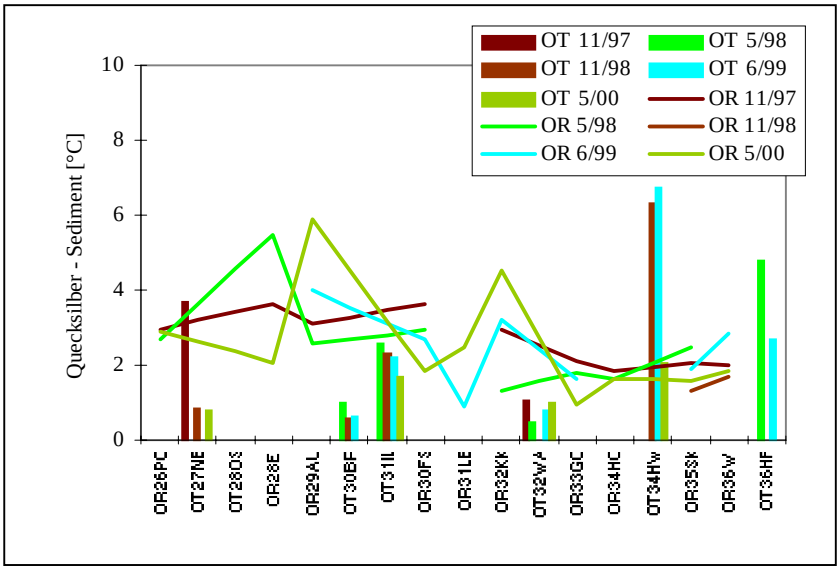
3-32:
Zn - Schwebstoff



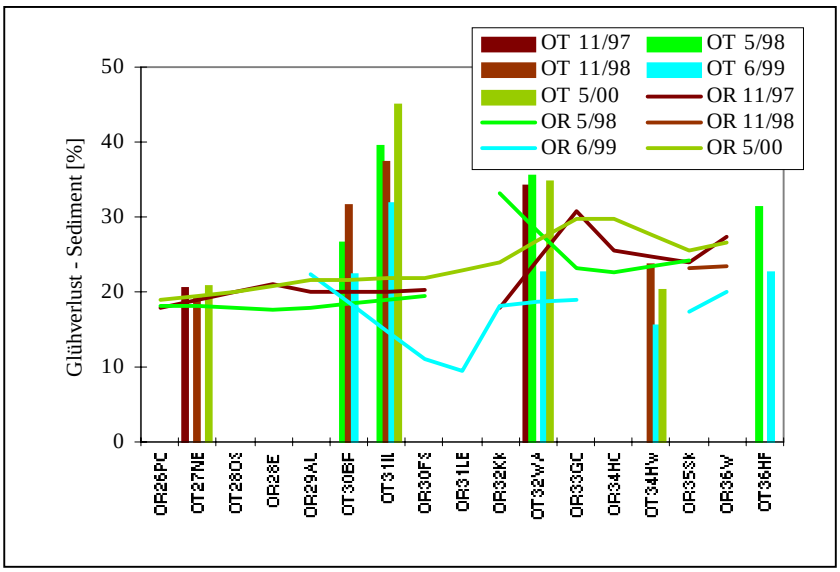
3-33:
Zn - Sediment



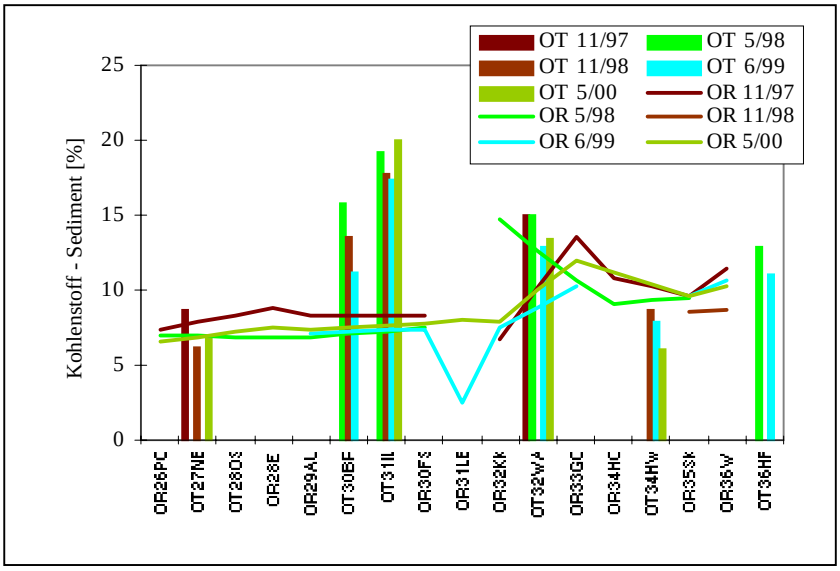
3-34:
Hg - Sediment



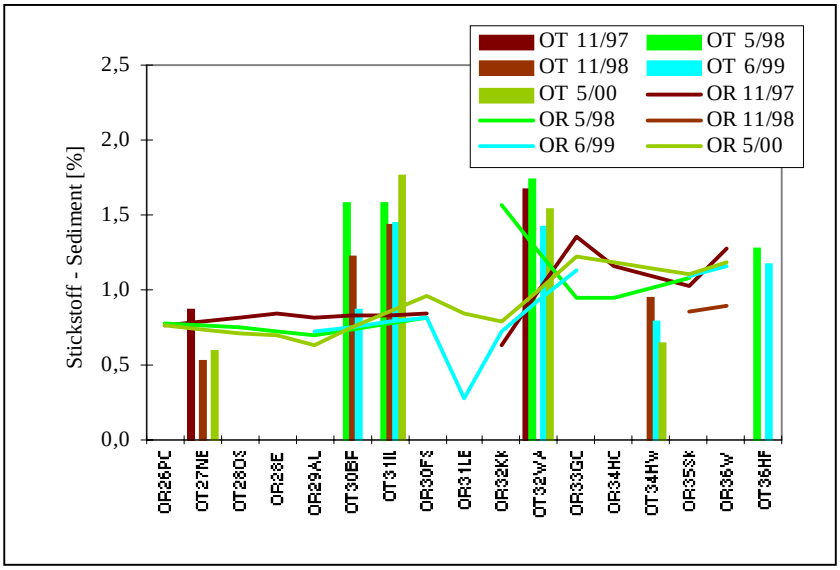
3-35:
Glühverlust
im Sediment



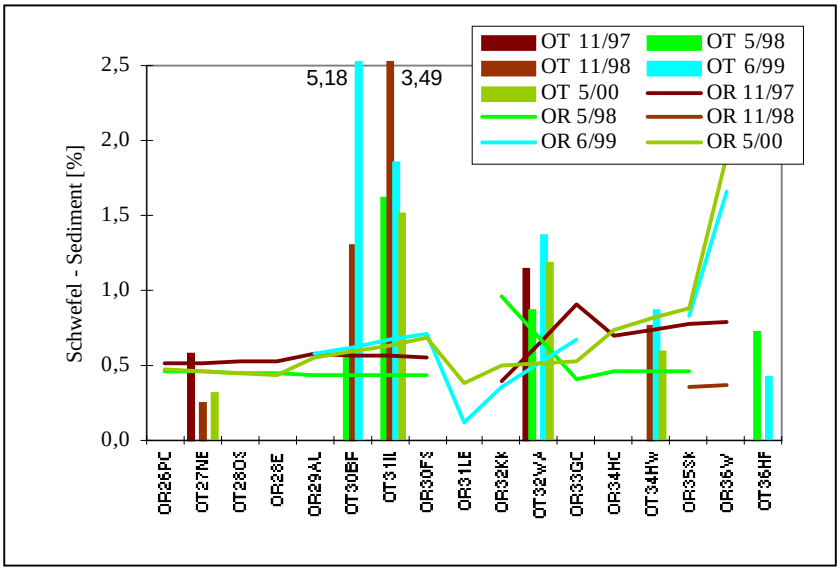
3-36:
C - Sediment



3-37:
N - Sediment

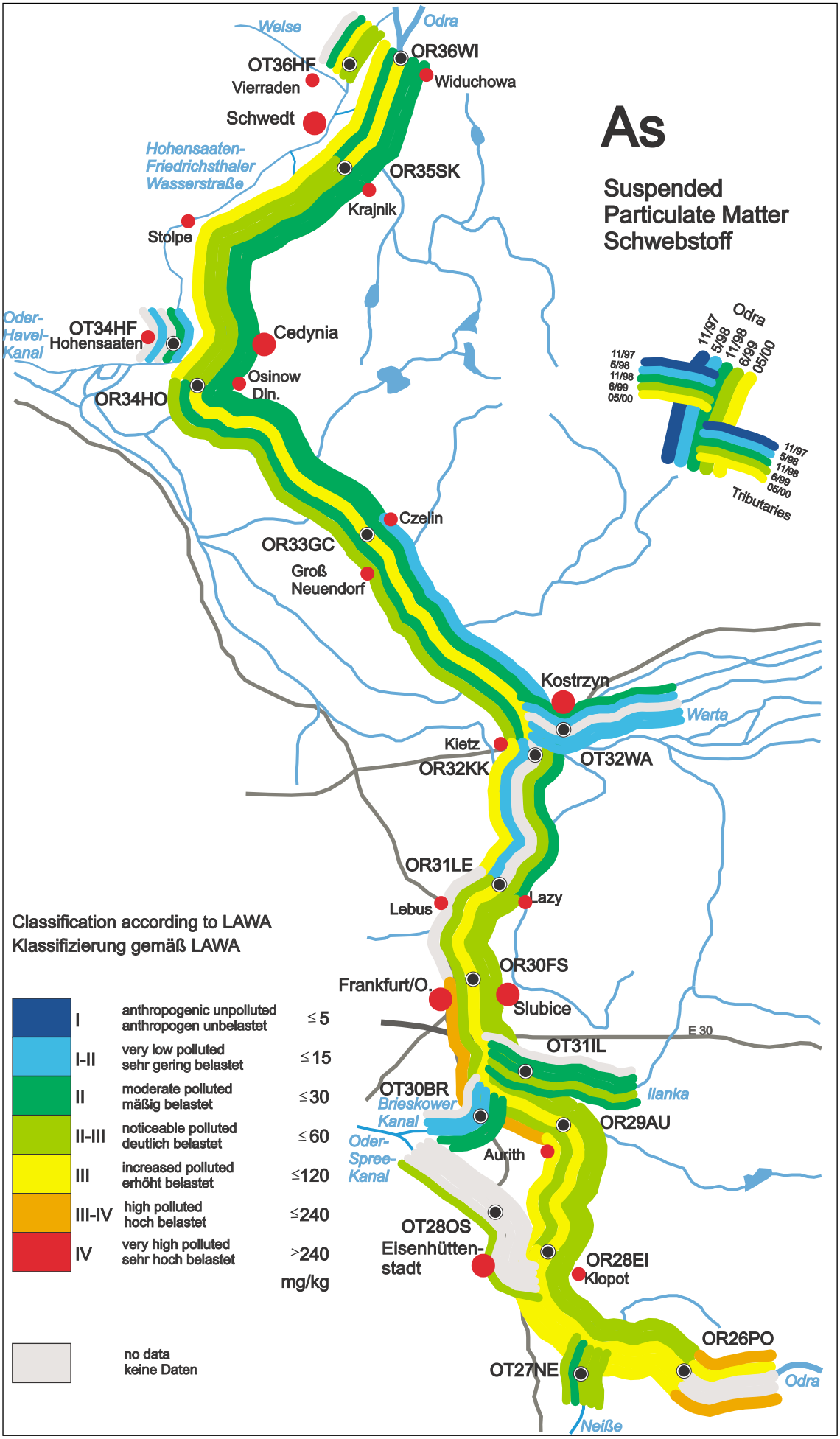


3-38:
S - Sediment

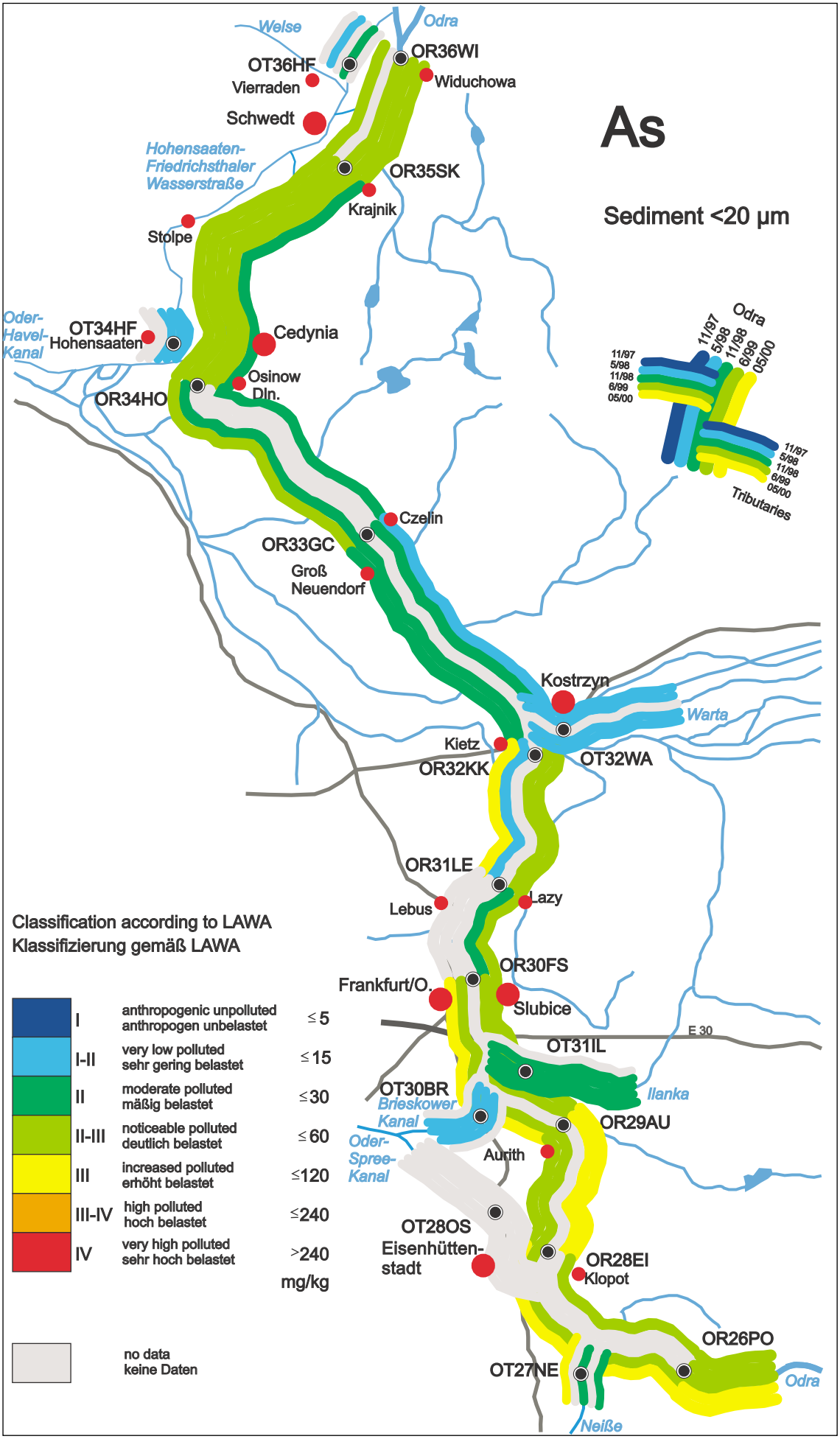


Anlage 4

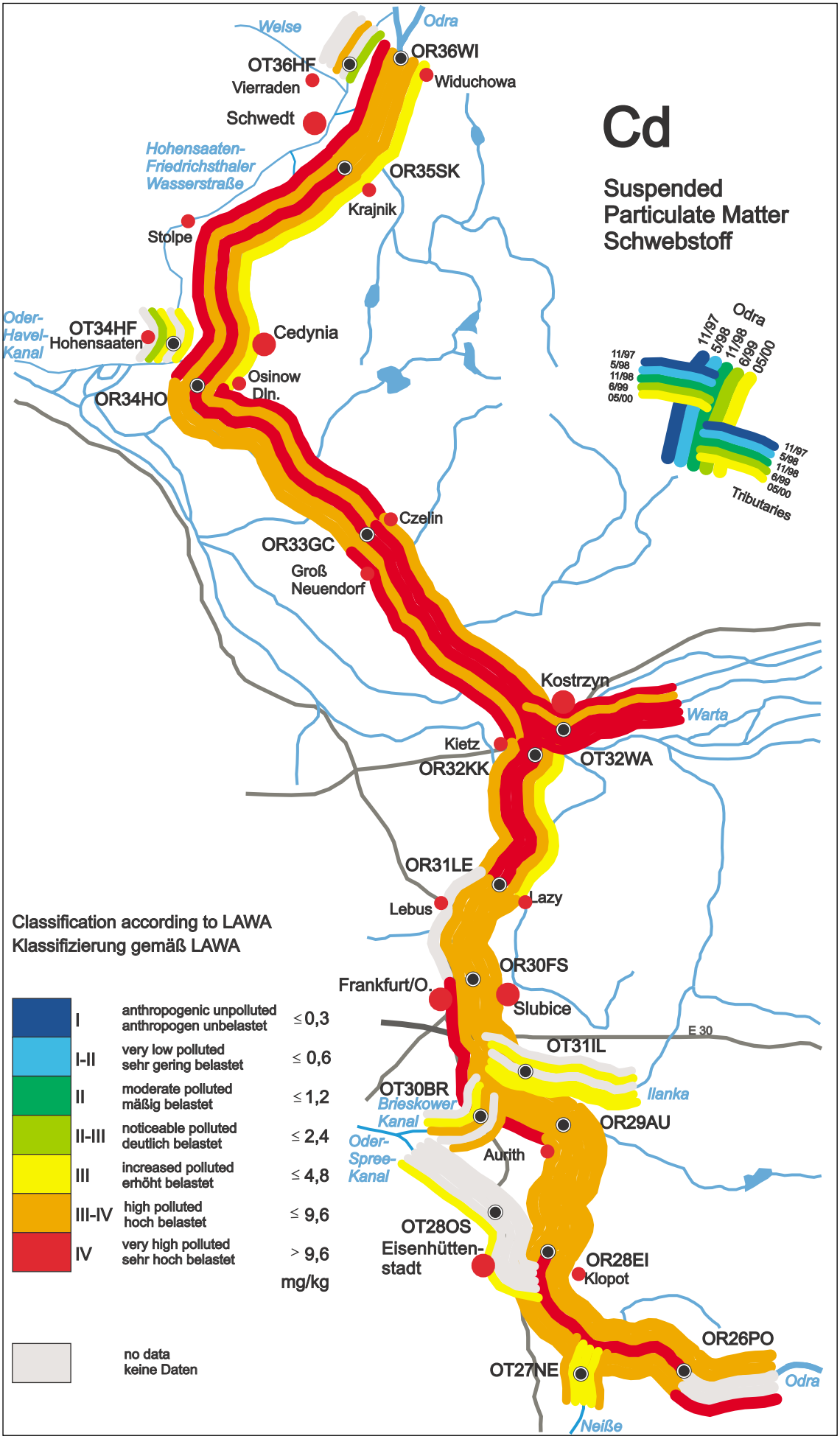
Übersichtskarten zur LAWA-Klassifizierung der Spurenelemente im Schwebstoff und im Sediment



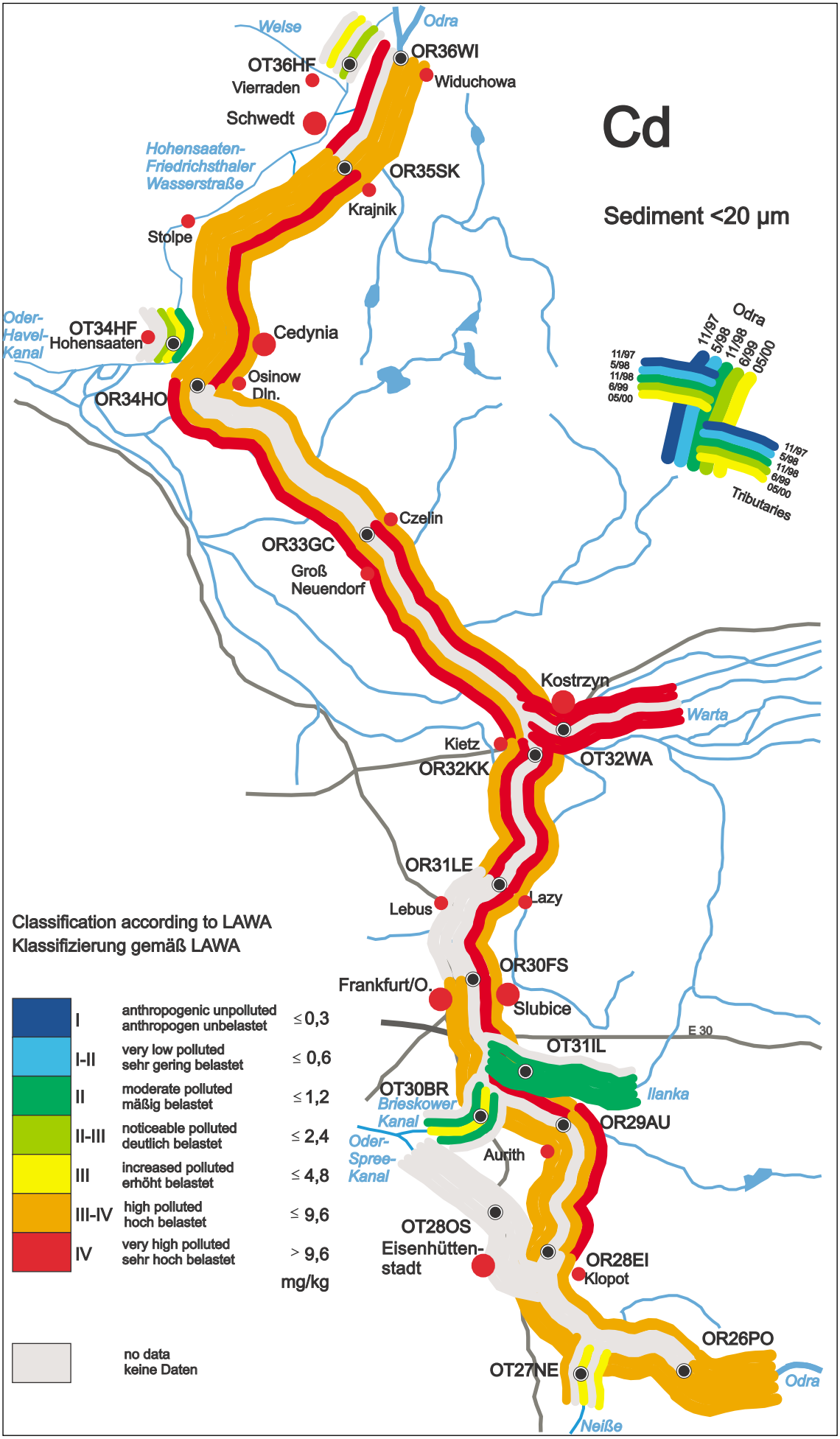
4-1: As - Schwebstoff



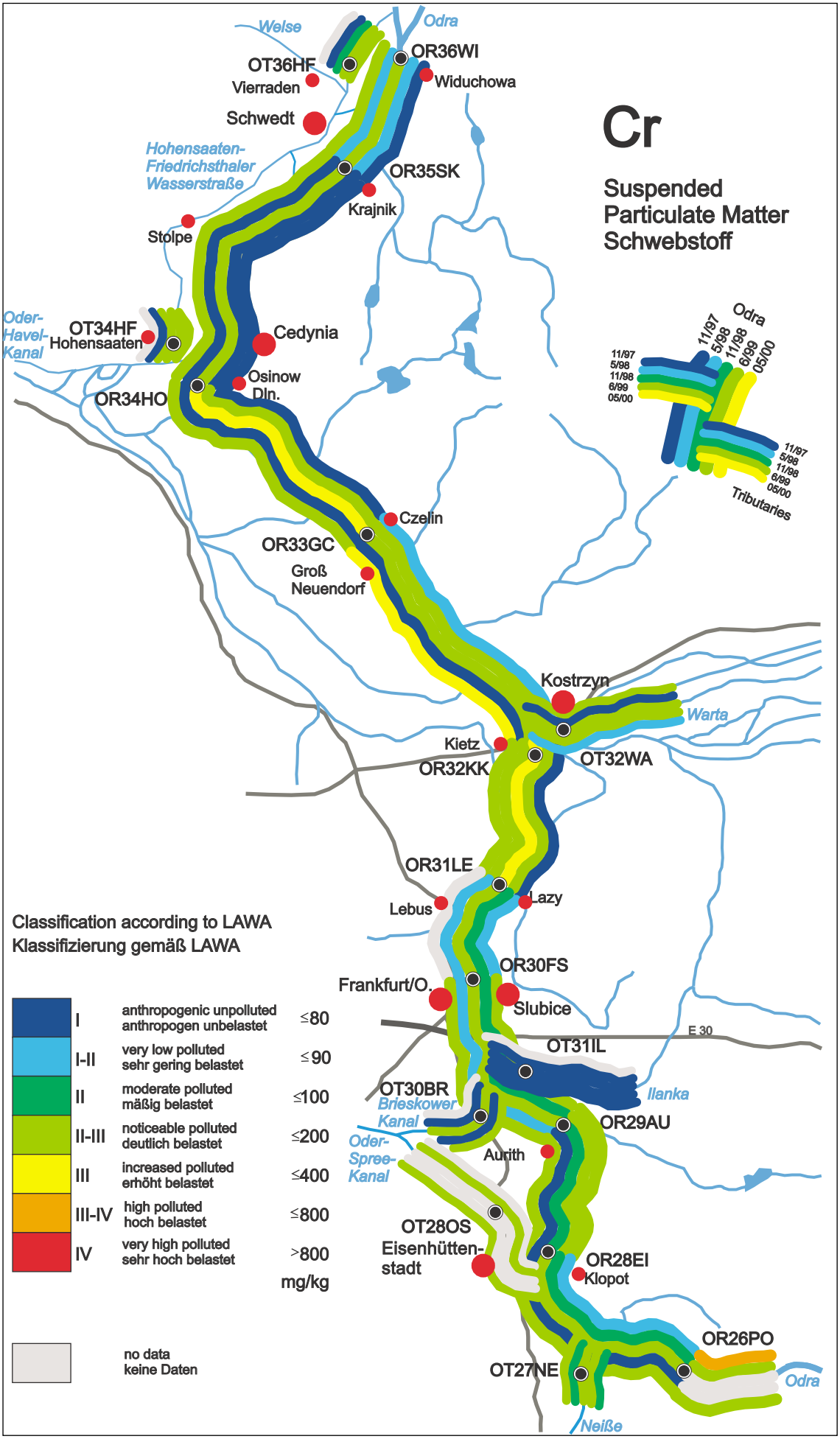
4-2: As - Sediment



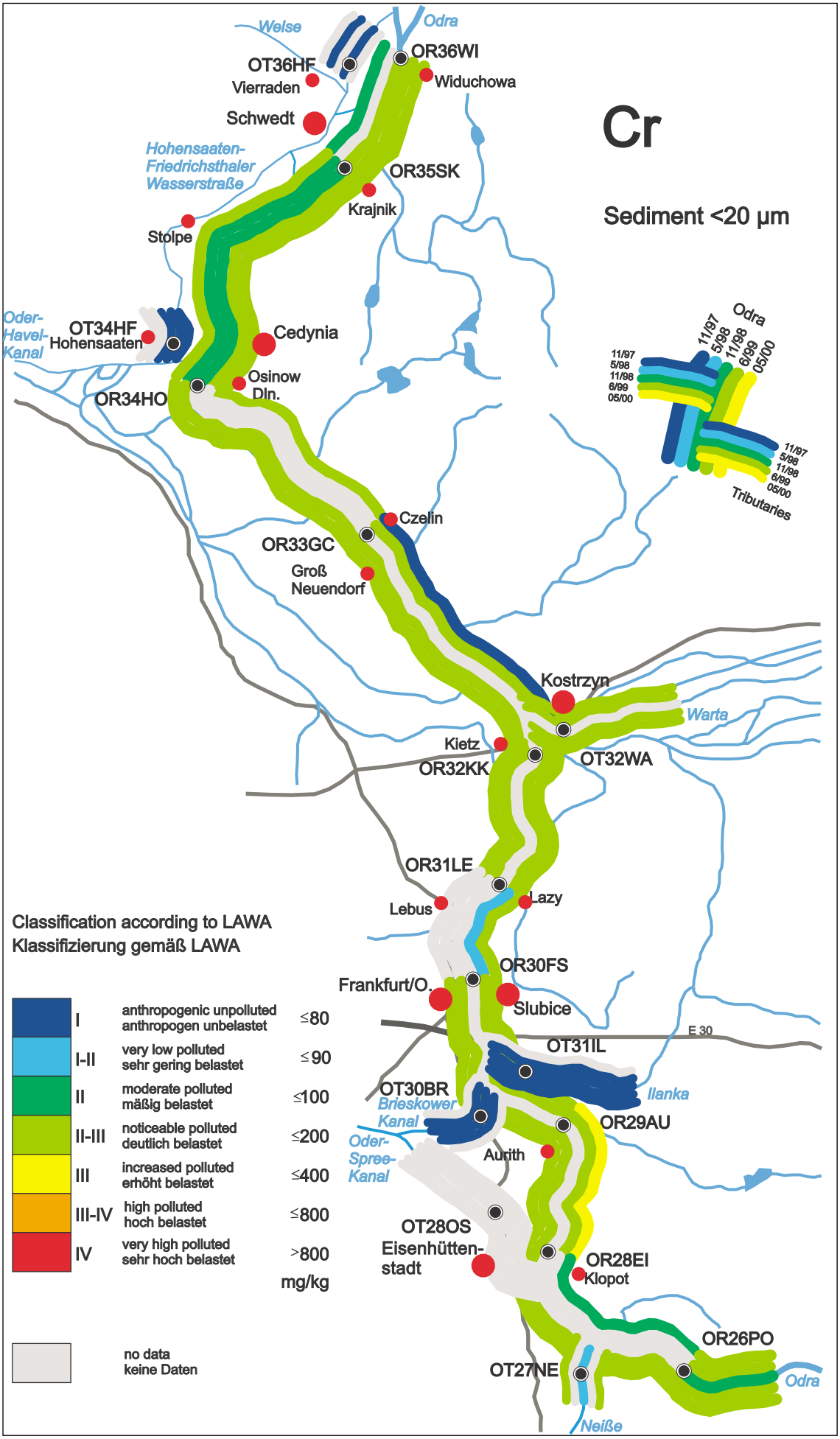
4-3: Cd - Schwebstoff



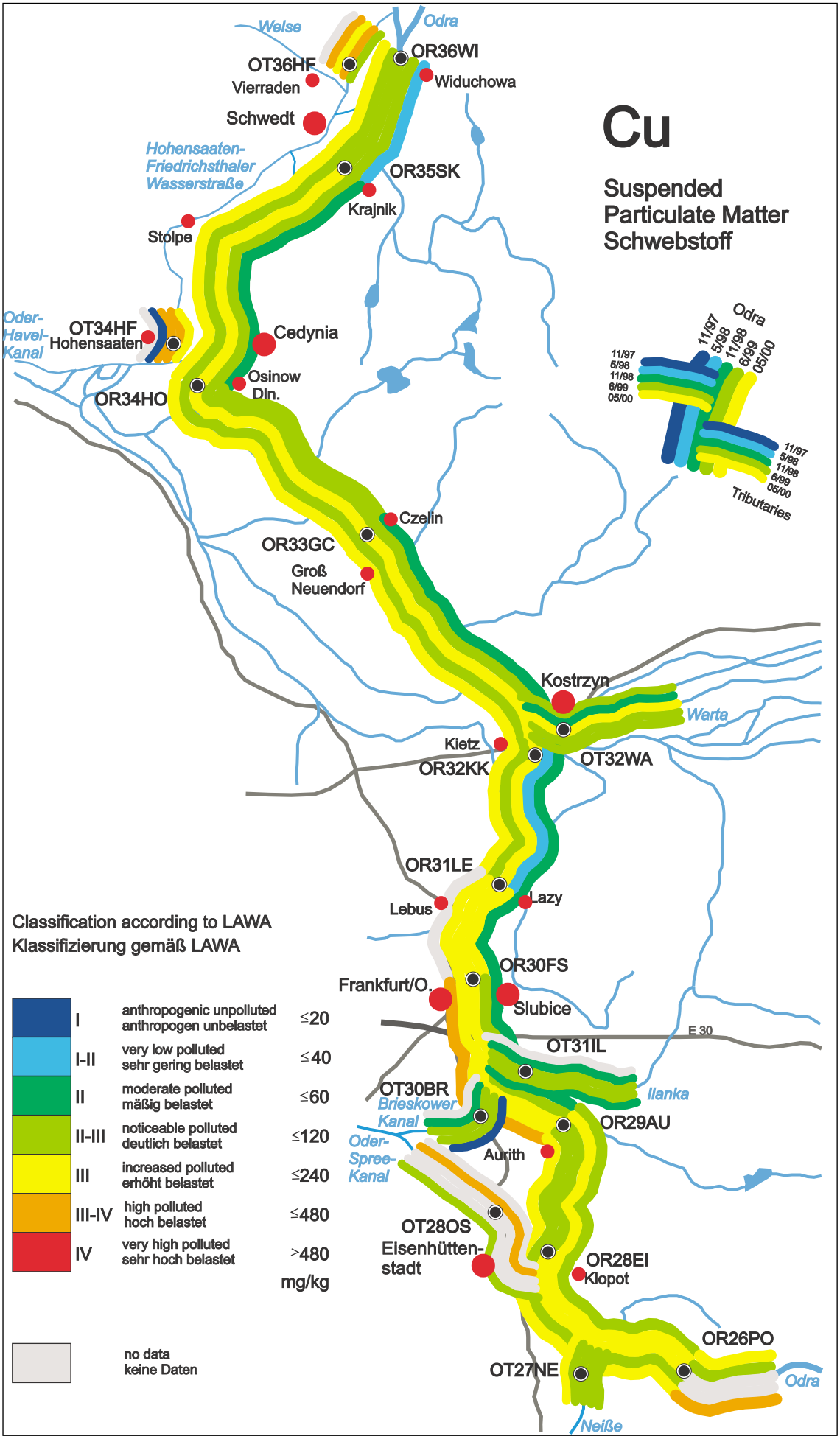
4-4: Cd - Sediment



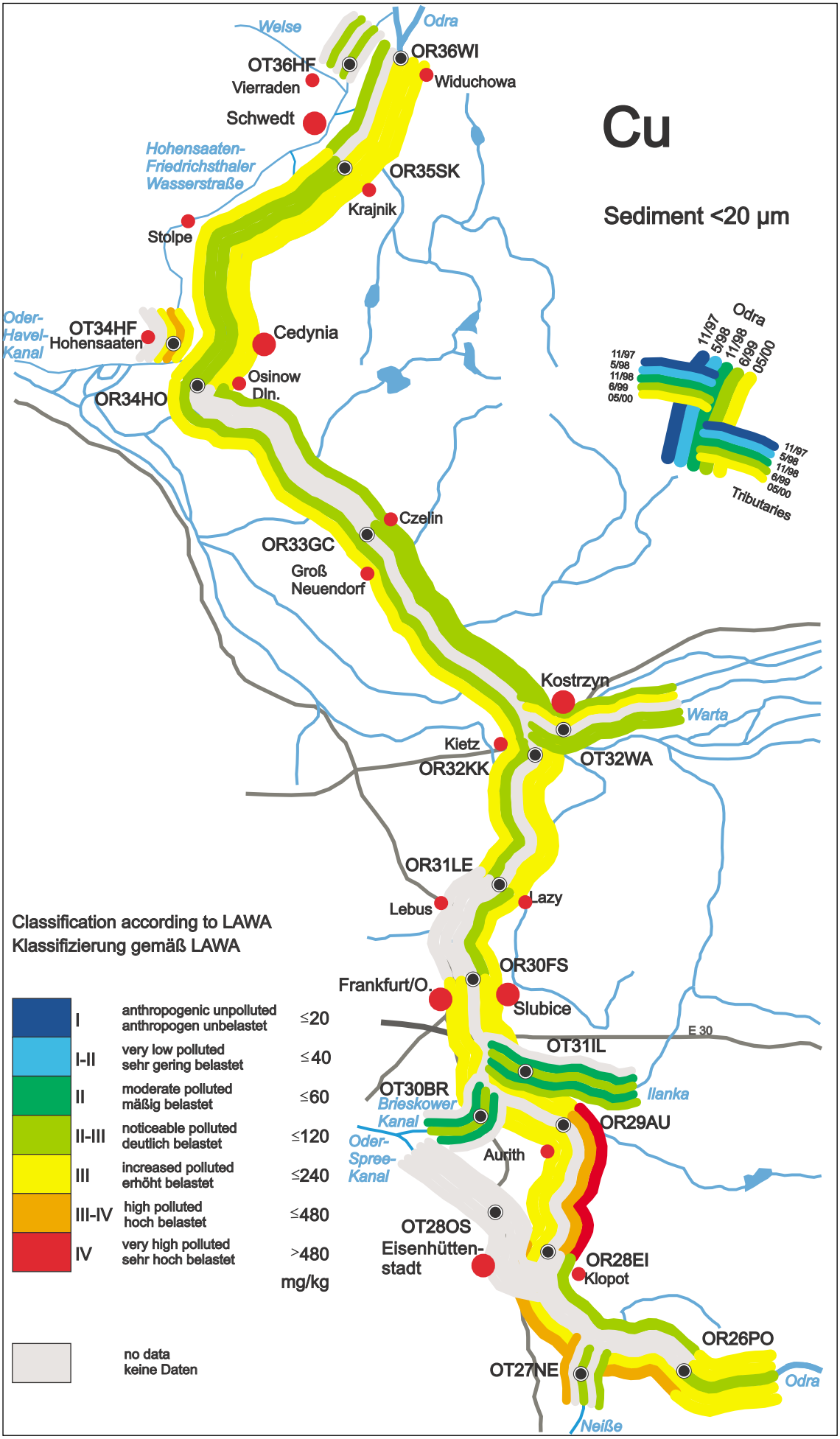
4-5: Cr - Schwebstoff



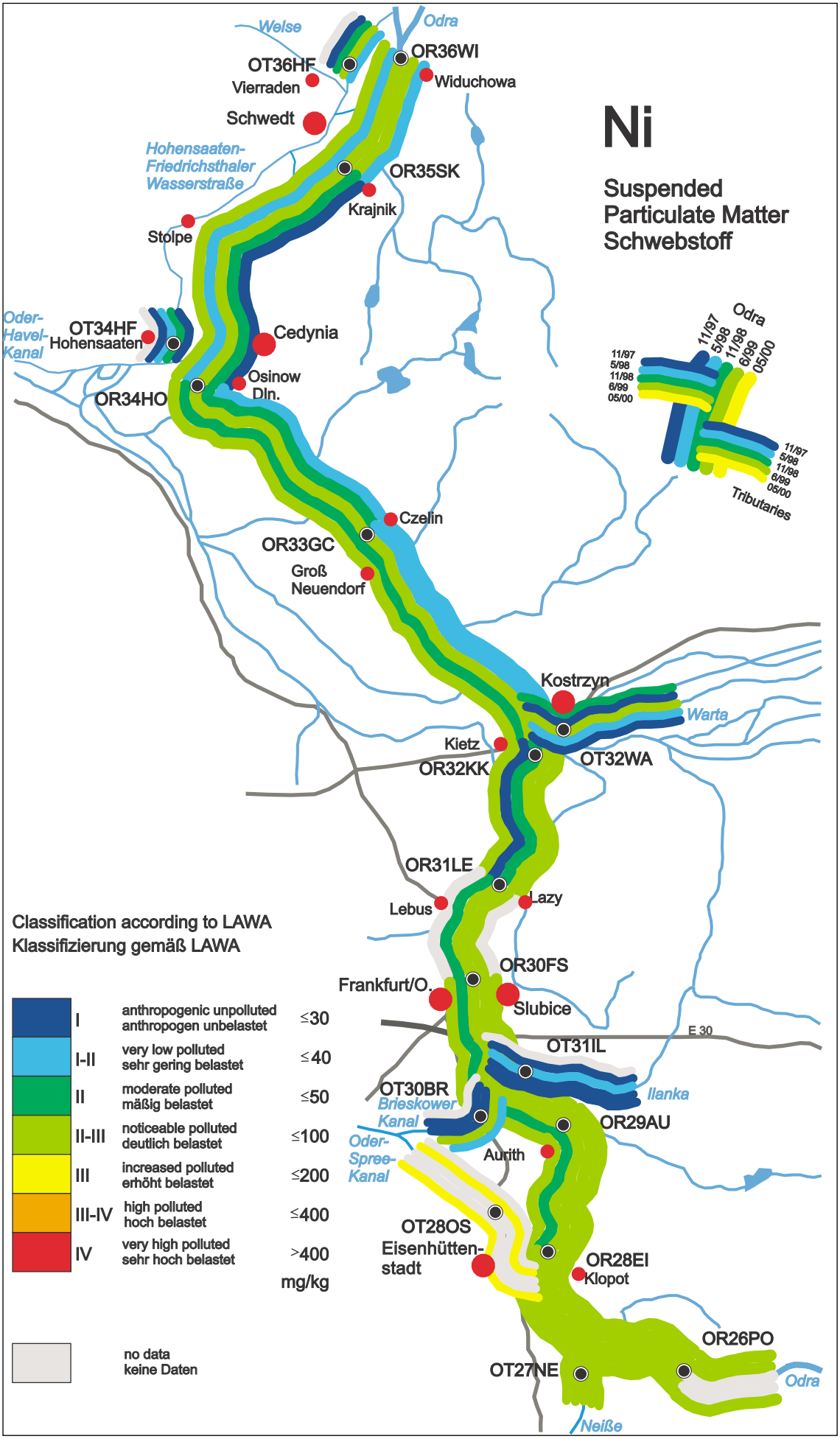
4-6: Cr - Sediment



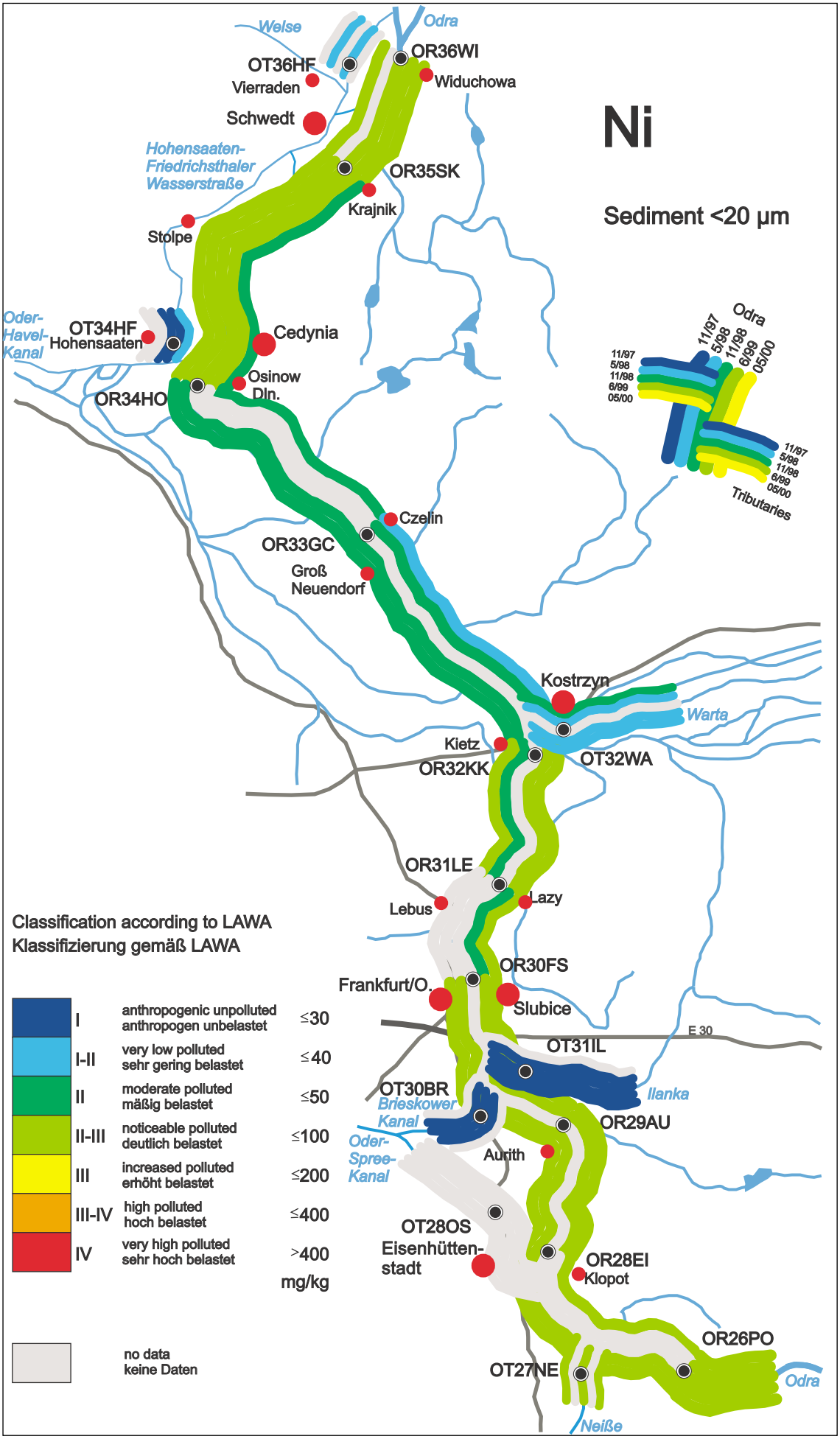
4-7: Cu - Schwebstoff



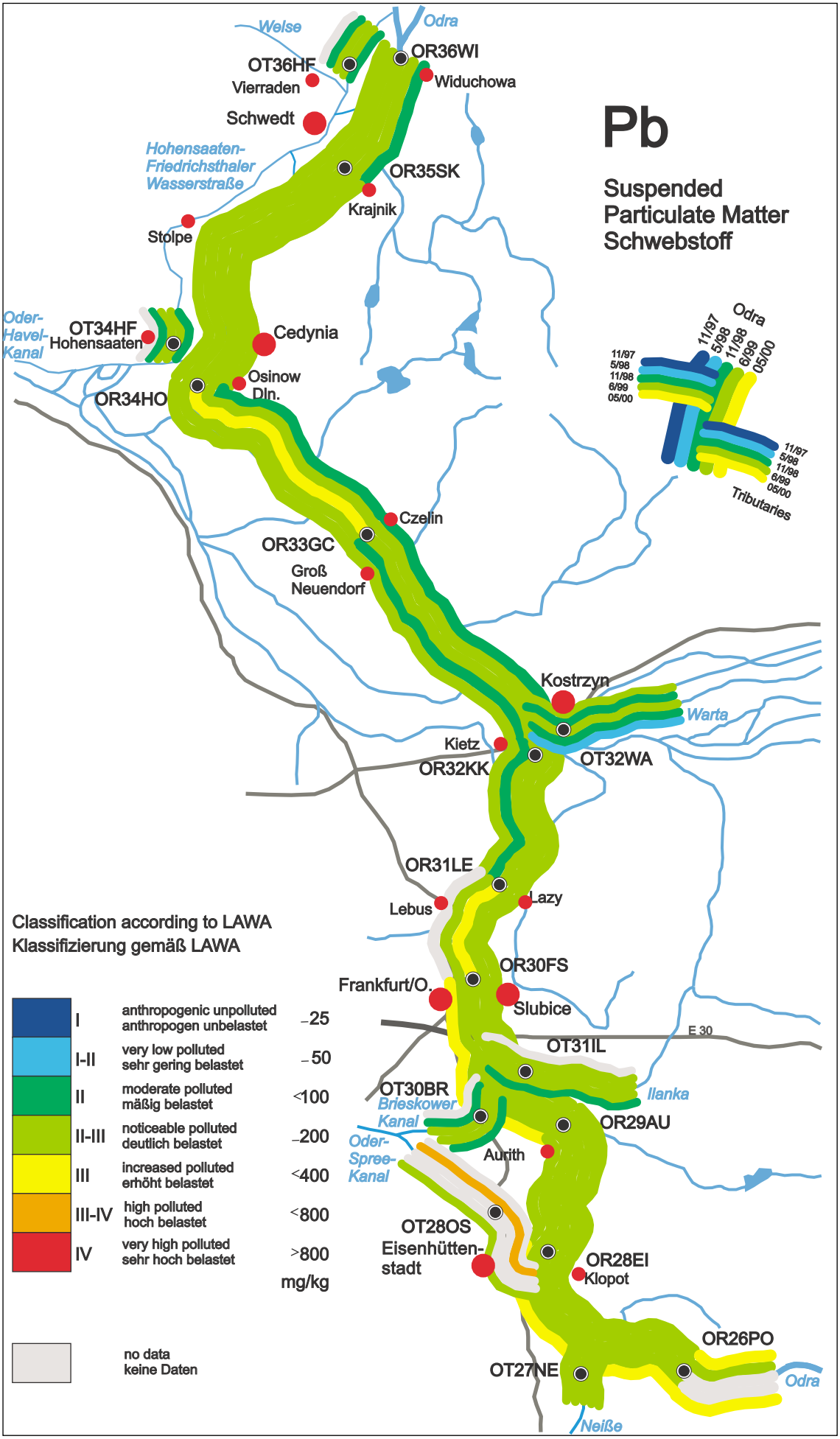
4-8: Cu - Sediment



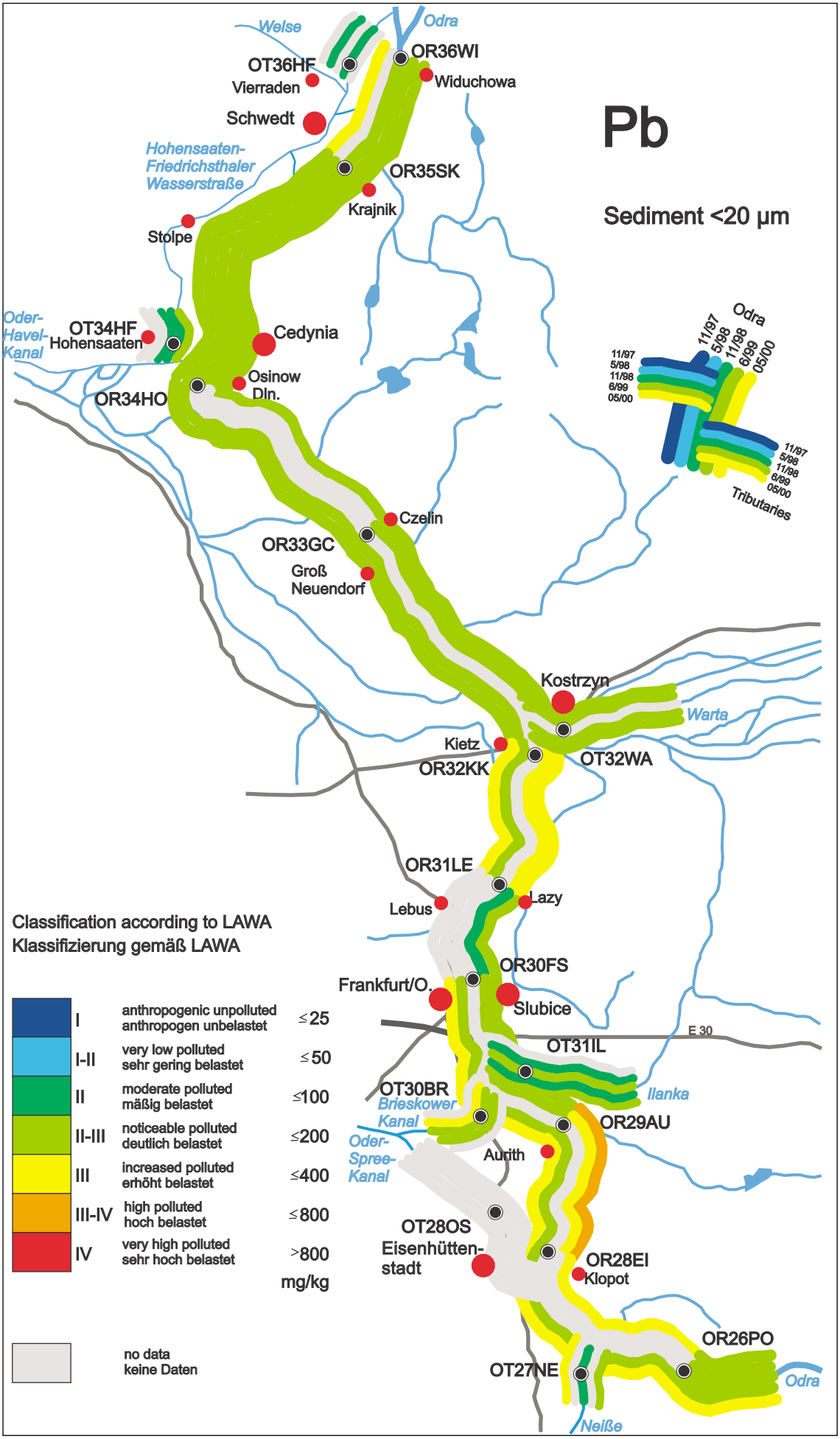
4-9: Ni - Schwebstoff



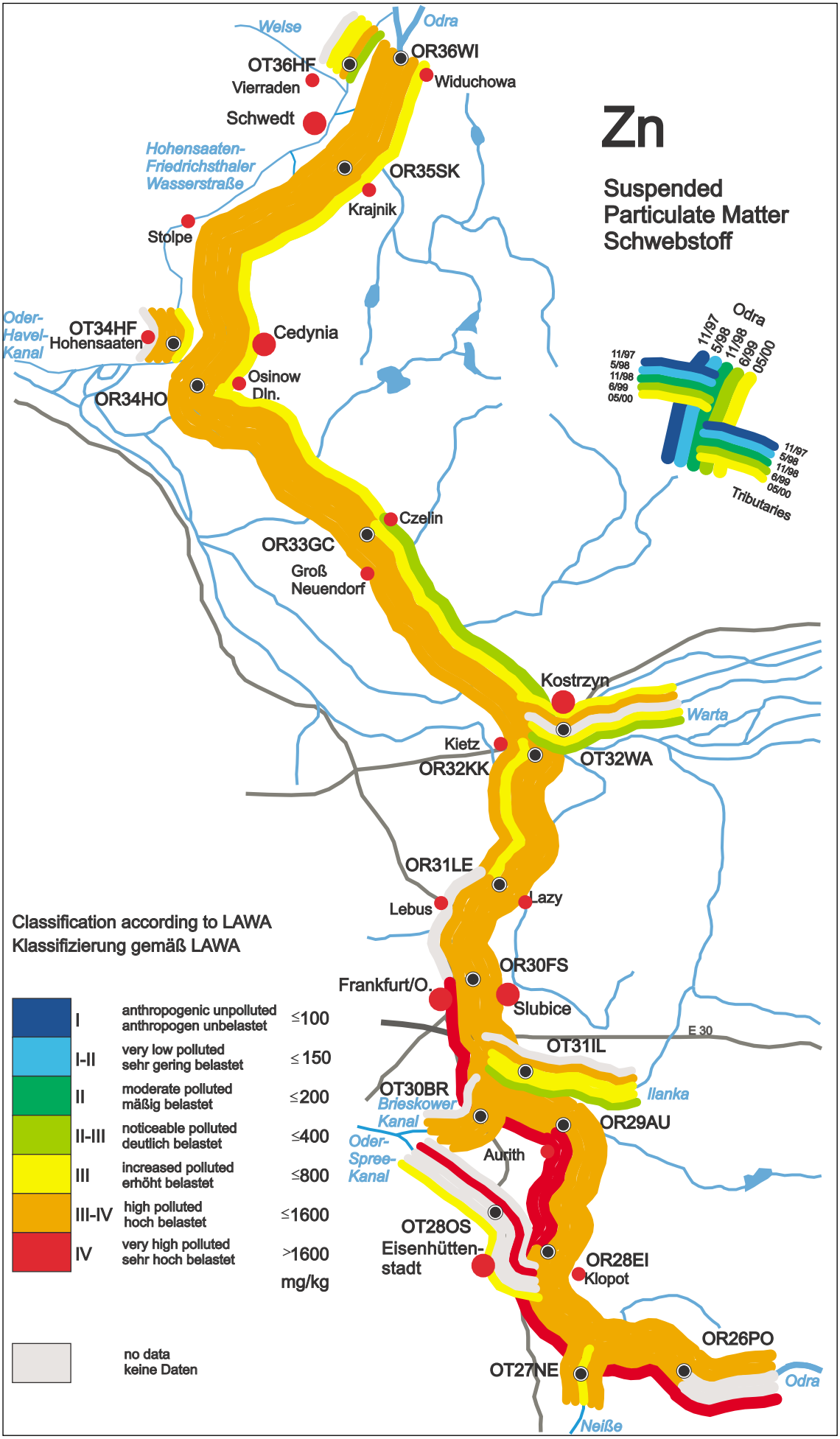
4-10: Ni - Sediment



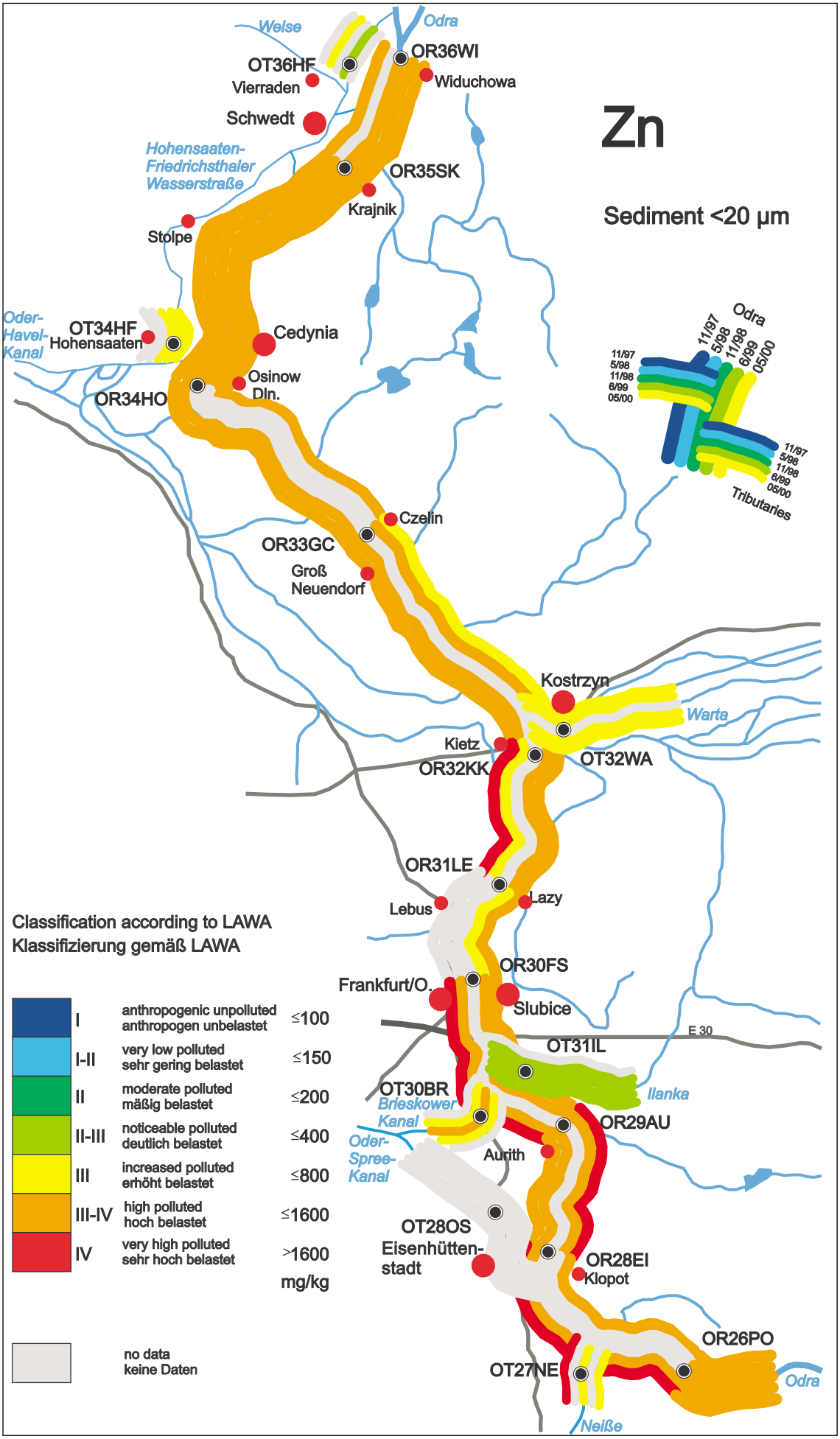
4-11: Pb - Schwebstoff



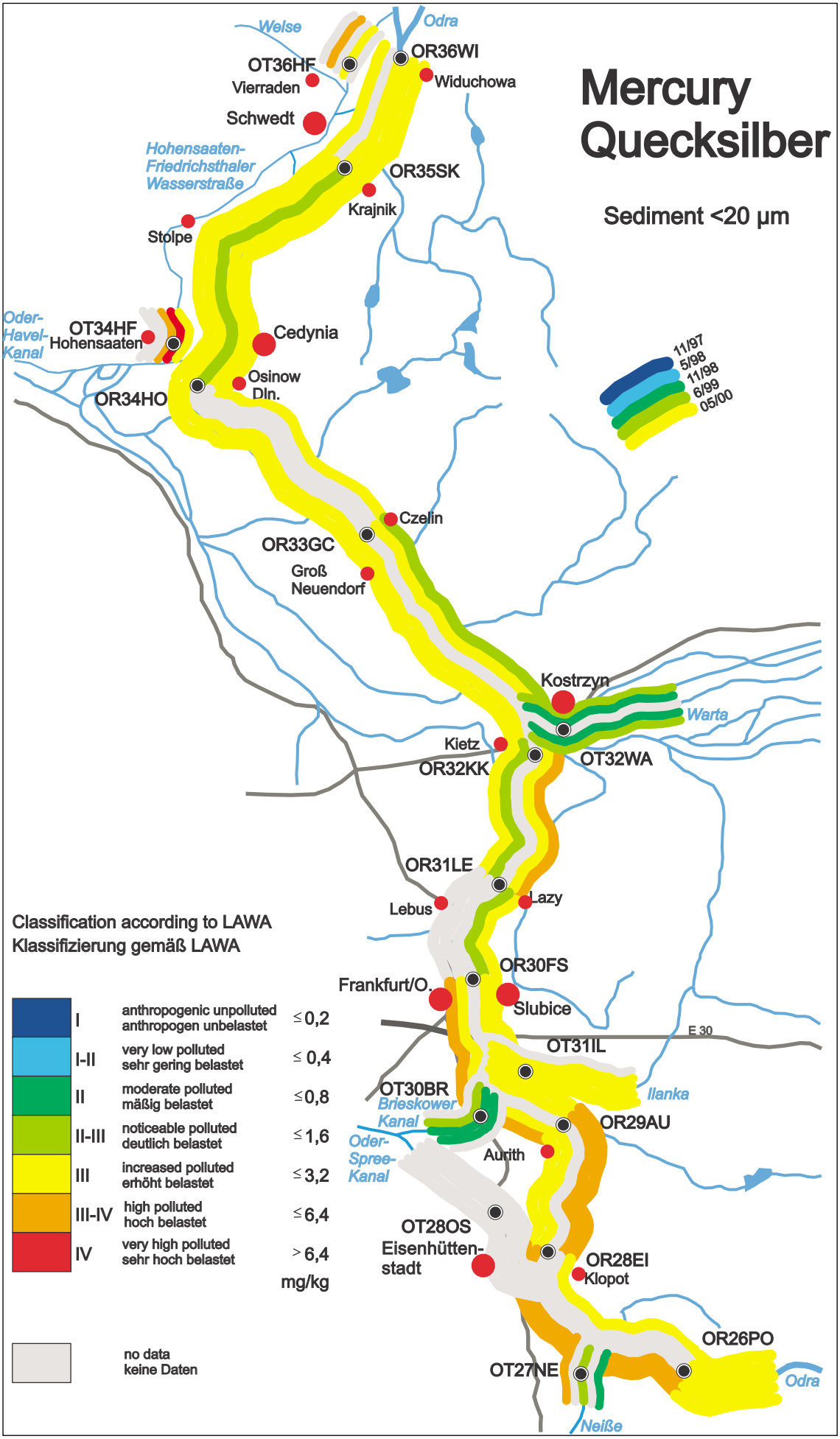
4-12: Pb - Sediment



4-13: Zn - Schwebstoff



4-14: Zn - Sediment



4-15: Hg - Sediment

Anlage 5

Daten für den Abschnitt Polecko-Widuchowa, einschließlich AQS

	Allgemeine Angaben				
PNUM	FLUSS	ORT	DATUM	ZEIT	KM
					km
Kampagne 11/97					
OR26PO11/97	Oder	Polecko	14.11.97	12:15	531,0
OT27NE11/97	Neiße		14.11.97	13:45	542,4
OT28OS11/97	Oder-Spree-Kanal		-	-	554,0
OR28EI11/97	Oder	Eisenhüttenstadt/Klopot	14.11.97	15:45	552,0
OR29AU11/97	Oder	Aurith/Urad	14.11.97	11:50	566,0
OT30BR11/97	Brieskower Kanal		-	-	576,0
OT31IL11/97	Ilanka		-	-	580,0
OR30FS11/97	Oder	Frankfurt/Slubice	14.11.97	13:30	584,0
OR31LE11/97	Oder	Lebus/Lazy	-	-	600,0
OR32KK11/97	Oder	Kietz/Kostrzyn	14.11.97	15:00	617,6
OT32WA11/97	Warta		14.11.97	15:45	615,0
OR33GC11/97	Oder	Gross-Neuendorf/Czelin	14.11.97	15:20	640,0
OR34HO11/97	Oder	Hohenwutzen/Osinów Dln.	14.11.97	13:15	662,0
OT34HW11/97	Hohensaaten-Friedrichsthaler Wasserstraße	Hohensaaten	-	-	665,0
OR35SK11/97	Oder	Schwedt/Krajnik	14.11.97	15:10	690,0
OR36WI11/97	Oder	Widuchowa	14.11.97	13:00	701,0
OT36HF11/97	Hohensaaten-Friedrichsthaler Wasserstraße	Gatow	-	-	694,0
Kampagne 5/98					
OR26PO5/98	Oder	Polecko	07.05.98	15:10	531,0
OT27NE5/98	Neiße		07.05.98	17:00	542,4
OT28OS5/98	Oder-Spree-Kanal		07.05.98	-	554,0
OR28EI5/98	Oder	Eisenhüttenstadt/Klopot	07.05.98	12:00	552,0
OR29AU5/98	Oder	Aurith/Urad	07.05.98	11:30	566,0
OT30BR5/98	Brieskower Kanal		07.05.98	16:15	576,0
OT31IL5/98	Ilanka		07.05.98	13:30	580,0
OR30FS5/98	Oder	Frankfurt/Slubice	07.05.98	-	584,0
OR31LE5/98	Oder	Lebus/Lazy	07.05.98	15:00	600,0
OR32KK5/98	Oder	Kietz/Kostrzyn	07.05.98	18:45	617,6
OT32WA5/98	Warta		07.05.98	17:30	615,0
OR33GC5/98	Oder	Gross-Neuendorf/Czelin	08.05.98	11:00	640,0
OR34HO5/98	Oder	Hohenwutzen/Osinów Dln.	08.05.98	13:06	662,0
OT34HW5/98	Hohensaaten-Friedrichsthaler Wasserstraße	Hohensaaten	08.05.98	12:30	665,0
OR35SK5/98	Oder	Schwedt/Krajnik	08.05.98	15:50	690,0
OR36WI5/98	Oder	Widuchowa	08.05.98	18:00	701,0
OT36HF5/98	Hohensaaten-Friedrichsthaler Wasserstraße	Gatow	08.05.98	15:30	694,0
Kampagne 11/98					
OR26PO11/98	Oder	Polecko	06.11.98	12:19	531,0
OT27NE11/98	Neiße		06.11.98	13:37	542,4
OT28OS11/98	Oder-Spree-Kanal		06.11.98	15:30	554,0
OR28EI11/98	Oder	Eisenhüttenstadt/Klopot	06.11.98	11:30	552,0
OR29AU11/98	Oder	Aurith/Urad	06.11.98	12:20	566,0
OT30BR11/98	Brieskower Kanal		06.11.98	14:00	576,0
OT31IL11/98	Ilanka		06.11.98	13:45	580,0
OR30FS11/98	Oder	Frankfurt/Slubice	06.11.98	15:30	584,0
OR31LE11/98	Oder	Lebus/Lazy	06.11.98	14:55	600,0
OR32KK11/98	Oder	Kietz/Kostrzyn	07.11.98	10:20	617,6
OT32WA11/98	Warta		06.11.98	16:45	615,0
OR33GC11/98	Oder	Gross-Neuendorf/Czelin	07.11.98	12:15	640,0
OR34HO11/98	Oder	Hohenwutzen/Osinów Dln.	07.11.98	13:30	662,0
OT34HW11/98	Hohensaaten-Friedrichsthaler Wasserstraße	Hohensaaten	07.11.98	12:00	665,0
OR35SK11/98	Oder	Schwedt/Krajnik	07.11.98	10:40	690,0
OR36WI11/98	Oder	Widuchowa	07.11.98	12:00	701,0
OT36HF11/98	Hohensaaten-Friedrichsthaler Wasserstraße	Gatow	07.11.98	11:30	694,0
Kampagne 6/99					
OR26PO6/99	Oder	Polecko	18.06.99	11:00	531,0
OT27NE6/99	Neiße		18.06.99	11:40	542,4
OT28OS6/99	Oder-Spree-Kanal		18.06.99	16:00	554,0
OR28EI6/99	Oder	Eisenhüttenstadt/Klopot	18.06.99	12:00	552,0
OR29AU6/99	Oder	Aurith/Urad	18.06.99	11:20	566,0
OT30BR6/99	Brieskower Kanal		18.06.99	16:45	576,0
OT31IL6/99	Ilanka		18.06.99	13:15	580,0
OR30FS6/99	Oder	Frankfurt/Slubice	18.06.99	14:00	584,0

	Allgemeine Angaben				
PNUM	FLUSS	ORT	DATUM	ZEIT	KM
					km
OR31LE6/99	Oder	Lebus/Lazy	18.06.99	18:30	600,0
OR32KK6/99	Oder	Kietz/Kostrzyn	19.06.99	9:00	617,6
OT32WA6/99	Warta		19.06.99	10:00	615,0
OR33GC6/99	Oder	Gross-Neuendorf/Czelin	19.06.99	12:30	640,0
OR34HO6/99	Oder	Hohenwutzen/Osinów Dln.	19.06.99	13:45	662,0
OT34HW6/99	Hohensaaten-Friedrichsthaler Wasserstraße	Hohensaaten	19.06.99	10:40	665,0
OR35SK6/99	Oder	Schwedt/Krajnik	19.06.99	11:15	690,0
OR36WI6/99	Oder	Widuchowa	19.06.99	12:15	701,0
OT36HF6/99	Hohensaaten-Friedrichsthaler Wasserstraße	Gatow	19.06.99	-	694,0
Kampagne 5/00					
OR26PO5/00	Oder	Polecko	26.05.00	14:15	531,0
OT27NE5/00	Neiße		26.05.00	12:30	542,4
OT28OS5/00	Oder-Spree-Kanal		26.05.00	-	554,0
OR28EI5/00	Oder	Eisenhüttenstadt/Klopot	26.05.00	12:45	552,0
OR29AU5/00	Oder	Aurith/Urad	26.05.00	13:35	566,0
OT30BR5/00	Brieskower Kanal		26.05.00	13:00	576,0
OT31IL5/00	Ilanka		26.05.00	15:50	580,0
OR30FS5/00	Oder	Frankfurt/Slubice	26.05.00	16:35	584,0
OR31LE5/00	Oder	Lebus/Lazy	26.05.00	17:45	600,0
OR32KK5/00	Oder	Kietz/Kostrzyn	27.05.00	9:50	617,6
OT32WA5/00	Warta		27.05.00	10:15	615,0
OR33GC5/00	Oder	Gross-Neuendorf/Czelin	27.05.00	14:00	640,0
OR34HO5/00	Oder	Hohenwutzen/Osinów Dln.	27.05.00	15:30	662,0
OT34HW5/00	Hohensaaten-Friedrichsthaler Wasserstraße	Hohensaaten	27.05.00	11:35	665,0
OR35SK5/00	Oder	Schwedt/Krajnik	27.05.00	11:30	690,0
OR36WI5/00	Oder	Widuchowa	27.05.00	12:30	701,0
OT36HF5/00	Hohensaaten-Friedrichsthaler Wasserstraße	Gatow	27.05.00	15:00	694,0
OR37GA5/00	Oder	Gartz	29.05.00	15:10	710,0
OR38ME5/00	Oder	Mescherin	29.05.00	13:50	715,0
OT42KB5/00	Kanal Belze		29.05.00	15:40	-
AQS-Proben 5/98					
OR16MA5/98AQS-1	Oder	Malczyce	06.05.98	-	-
OR16MA5/98AQS-2	Oder	Malczyce	06.05.98	-	-
OR25KO5/98AQS-1	Oder	Krosno Odrzanskie	07.05.98	-	-
OR25KO5/98AQS-2	Oder	Krosno Odrzanskie	07.05.98	-	-
OR26PO5/98AQS-1	Oder	Polecko	07.05.98	-	-
OR26PO5/98AQS-2	Oder	Polecko	08.05.98	-	-
AQS-Proben 11/98					
OR15BD11/98AQS-1	Oder	Brzeg Dolny	05.11.99	-	-
OR15BD11/98AQS-2	Oder	Brzeg Dolny	05.11.99	-	-
OR29AU11/98AQS-1	Oder	Aurith (Urad)	06.11.98	-	-
OR29AU11/98AQS-2	Oder	Aurith (Urad)	06.11.98	-	-
OT31IL11/98AQS-1	Ilanka		06.11.98	-	-
OT31IL11/98AQS-2	Ilanka		06.11.98	-	-
OR36WI11/98AQS-1	Oder	Widuchowa	07.11.98	-	-
OR36WI11/98AQS-2	Oder	Widuchowa	07.11.98	-	-
AQS-Proben 6/99					
OR15BD6/99AQS-1	Oder	Brzeg Dolny	17.06.99	-	-
OR15BD6/99AQS-2	Oder	Brzeg Dolny	17.06.99	-	-
OR29AU6/99AQS-1	Oder	Aurith (Urad)	18.06.99	-	-
OR29AU6/99AQS-2	Oder	Aurith (Urad)	18.06.99	-	-
OR36WI6/99AQS-1	Oder	Widuchowa	19.06.99	-	-
OR36WI6/99AQS-2	Oder	Widuchowa	19.06.99	-	-
AQS-Proben 5/00					
OR17SC5/00AQS-1	Oder	Brzeg Dolny	25.05.00	-	-
OR17SC5/00AQS-2	Oder	Brzeg Dolny	25.05.00	-	-
OR29AU5/00AQS-1	Oder	Aurith (Urad)	26.05.00	-	-
OR29AU5/00AQS-2	Oder	Aurith (Urad)	26.05.00	-	-
OR36WI5/00AQS-1	Oder	Widuchowa	27.05.00	-	-
OR36WI5/00AQS-2	Oder	Widuchowa	27.05.00	-	-

	Feldparameter									
PNUM	T_LUFT	T_WAS	ELEIT	TDS	O2_GEH	O2_PROZ	PH_WAS	PH_SED	EH_WAS	EH_SED
	°C	°C	µS/cm	mg/dm^3	mg/l	%			mV	mV
Kampagne 11/97										
OR26PO11/97	9,5	6,1	1110	799	5,6	47	7,8	8,0	439	n.m.
OT27NE11/97	9,6	10,2	440	317	6,3	58	7,7	n.m.	n.m.	n.m.
OT28OS11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR28EI11/97	10,0	8,5	1028	740	6,4	56	7,8	7,6	n.m.	n.m.
OR29AU11/97	5,6	7,1	990	713	10,1	86	7,6	7,1	309	94
OT30BR11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT31IL11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR30FS11/97	5,0	6,8	1000	720	10,5	89	7,7	7,9	291	-25
OR31LE11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR32KK11/97	5,0	6,2	1000	720	11,2	93	7,7	7,3	256	78
OT32WA11/97	5,0	5,6	600	432	9,8	80	7,8	7,3	226	-19
OR33GC11/97	n.m.	5,6	637	459	12,0	99	8,0	7,6	173	31
OR34HO11/97	n.m.	5,1	682	491	10,6	86	7,8	7,7	417	201
OT34HW11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR35SK11/97	n.m.	n.m.	718	517	n.m.	n.m.	7,9	7,5	n.m.	n.m.
OR36WI11/97	n.m.	n.m.	716	516	n.m.	n.m.	7,9	7,5	n.m.	n.m.
OT36HF11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Kampagne 5/98										
OR26PO5/98	n.m.	14,6	960	413	10,4	106	8,3	7,9	229	-43
OT27NE5/98	n.m.	13,0	511	213	13,6	133	7,8	n.m.	344	n.m.
OT28OS5/98	18,5	16,3	487	239	5,9	62	7,7	n.m.	154	n.m.
OR28EI5/98	18,1	15,1	812	390	7,5	77	8,0	7,5	143	172
OR29AU5/98	15,0	14,7	801	389	10,4	106	8,2	7,8	384	-43
OT30BR5/98	19,7	15,4	642	313	9,6	99	8,0	n.m.	141	n.m.
OT31IL5/98	16,0	11,9	457	223	10,8	103	8,0	7,8	286	32
OR30FS5/98	18,4	15,1	811	391	8,2	84	8,1	7,7	136	158
OR31LE5/98	15,8	14,7	814	397	11,5	117	8,1	7,7	417	1
OR32KK5/98	15,0	14,5	588	290	10,6	107	8,3	7,5	248	21
OT32WA5/98	15,0	15,0	595	294	12,2	125	8,3	7,6	276	14
OR33GC5/98	19,5	14,9	624	322	11,0	112	8,3	7,5	443	75
OR34HO5/98	19,6	15,8	651	328	9,9	103	8,4	7,6	417	2
OT34HW5/98	20,0	15,9	736	363	6,3	66	7,8	n.m.	154	n.m.
OR35SK5/98	18,0	15,4	685	342	9,6	99	8,4	7,0	301	6
OR36WI5/98	n.m.	15,5	692	348	9,4	97	8,6	n.m.	112	n.m.
OT36HF5/98	21,0	16,5	711	347	6,5	69	8,0	n.m.	142	n.m.
Kampagne 11/98										
OR26PO11/98	7,4	6,5	711	368	11,3	95	7,8	7,8	281	58
OT27NE11/98	7,5	6,4	326	170	11,4	95	7,4	7,3	280	41
OT28OS11/98	6,3	6,4	490	240	7,1	59	7,6	n.m.	417	n.m.
OR28EI11/98	7,8	6,5	720	355	6,9	58	8,0	n.m.	390	n.m.
OR29AU11/98	8,2	6,6	416	354	11,0	92	7,9	n.m.	471	n.m.
OT30BR11/98	7,7	6,5	640	317	8,7	73	7,8	7,4	397	42
OT31IL11/98	8,0	6,0	424	242	9,3	77	7,8	7,5	437	353
OR30FS11/98	7,0	6,3	701	349	10,5	88	7,7	n.m.	545	n.m.
OR31LE11/98	6,9	6,5	659	332	7,4	62	6,9	n.m.	391	n.m.
OR32KK11/98	4,7	5,1	646	317	8,5	69	8,0	n.m.	361	n.m.
OT32WA11/98	4,8	5,9	630	323	9,2	76	7,7	n.m.	288	n.m.
OR33GC11/98	6,2	5,7	655	327	10,1	83	7,9	n.m.	474	n.m.
OR34HO11/98	7,2	5,4	649	323	9,9	81	7,9	n.m.	470	n.m.
OT34HW11/98	6,0	5,7	729	357	8,9	73	7,7	7,5	421	-10
OR35SK11/98	7,2	5,7	664	328	10,5	87	7,5	n.m.	344	n.m.
OR36WI11/98	6,0	5,8	660	329	8,9	73	7,5	7,5	398	457
OT36HF11/98	8,2	5,7	800	395	8,0	66	n.m.	n.m.	407	n.m.
Kampagne 6/99										
OR26PO6/99	15,4	19,5	1024	552	9,0	97	7,9	n.m.	372	n.m.
OT27NE6/99	14,9	17,9	371	203	8,1	85	7,5	n.m.	375	n.m.
OT28OS6/99	18,1	20,5	520	287	5,8	64	7,1	n.m.	484	n.m.
OR28EI6/99	16,4	19,0	907	515	9,0	97	7,0	n.m.	472	n.m.
OR29AU6/99	15,0	19,4	1013	501	7,9	86	8,1	7,5	362	11
OT30BR6/99	17,6	18,7	550	334	7,8	83	7,3	7,2	493	48
OT31IL6/99	15,0	15,8	460	231	7,2	73	7,9	7,4	325	85
OR30FS6/99	16,0	19,3	966	479	8,5	93	8,4	7,6	376	68

	Feldparameter									
PNUM	T_LUFT	T_WAS	ELEIT	TDS	O2_GEH	O2_PROZ	PH_WAS	PH_SED	EH_WAS	EH_SED
	°C	°C	µS/cm	mg/dm^3	mg/l	%			mV	mV
OR31LE6/99	15,0	19,4	937	476	10,1	109	8,5	7,3	369	11
OR32KK6/99	16,0	18,6	965	479	7,2	77	8,1	7,2	351	95
OT32WA6/99	22,0	18,9	569	292	7,3	78	7,9	7,5	404	-149
OR33GC6/99	24,0	19,2	662	345	7,7	83	8,0	7,4	340	-125
OR34HO6/99	n.m.	19,6	703	360	9,3	101	8,1	n.m.	319	n.m.
OT34HW6/99	n.m.	20,3	683	340	7,7	84	7,8	7,3	316	105
OR35SK6/99	18,0	19,4	765	377	5,4	59	8,0	7,6	327	26
OR36WI6/99	18,0	20,0	760	380	7,2	79	8,4	7,5	296	76
OT36HF6/99	n.m.	20,7	752	375	4,7	52	7,6	7,7	311	297
Kampagne 5/00										
OR26PO5/00	n.m.	19,1	851	419	14,2	153	9,0	8,3	417	360
OT27NE5/00	20,0	16,9	449	227	8,6	88	7,5	7,2	472	389
OT28OS5/00	22,0	21,3	525	257	6,4	72	7,6	n.m.	415	n.m.
OR28EI5/00	16,0	16,5	863	410	13,0	137	9,0	7,6	263	-32
OR29AU5/00	22,4	19,6	830	401	15,6	159	9,1	7,6	343	-11
OT30BR5/00	21,2	18,5	603	297	9,9	104	8,0	n.m.	415	n.m.
OT31IL5/00	23,0	15,4	453	222	8,3	83	7,7	7,8	343	-21
OR30FS5/00	27,5	19,7	842	384	12,2	135	9,2	7,3	309	35
OR31LE5/00	21,0	19,3	792	403	14,6	158	9,2	7,8	364	76
OR32KK5/00	21,5	18,5	818	387	11,2	120	8,9	7,4	287	93
OT32WA5/00	26,4	18,5	500	261	12,1	130	8,5	7,7	492	-126
OR33GC5/00	21,3	18,9	579	287	14,4	156	8,8	7,7	465	129
OR34HO5/00	14,8	18,7	620	317	14,4	155	8,9	8,1	453	189
OT34HW5/00	27,0	20,6	694	337	7,2	80	7,7	7,4	381	-31
OR35SK5/00	26,2	19,4	684	331	11,4	127	8,7	7,2	328	17
OR36WI5/00	24,6	20,3	694	337	9,9	110	9,0	7,8	291	14
OT36HF5/00	25,0	19,2	762	371	7,3	79	7,9	7,4	371	251
OR37GA5/00	17,8	18,2	804	n.m.	9,3	99	9,0	7,5	306	48
OR38ME5/00	17,5	18,2	745	n.m.	9,2	97	8,7	7,6	275	46
OT42KB5/00	19,6	18,4	781	n.m.	7,5	80	8,1	7,1	279	30
AQS-Proben 5/98										
OR16MA5/98AQS-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OR16MA5/98AQS-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OR25KO5/98AQS-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OR25KO5/98AQS-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OR26PO5/98AQS-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OR26PO5/98AQS-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AQS-Proben 11/98										
OR15BD11/98AQS-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OR15BD11/98AQS-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OR29AU11/98AQS-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OR29AU11/98AQS-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OT31IL11/98AQS-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OT31IL11/98AQS-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OR36WI11/98AQS-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OR36WI11/98AQS-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AQS-Proben 6/99										
OR15BD6/99AQS-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OR15BD6/99AQS-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OR29AU6/99AQS-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OR29AU6/99AQS-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OR36WI6/99AQS-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OR36WI6/99AQS-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AQS-Proben 5/00										
OR17SC5/00AQS-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OR17SC5/00AQS-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OR29AU5/00AQS-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OR29AU5/00AQS-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OR36WI5/00AQS-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OR36WI5/00AQS-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

	Schwebstoffmenge, Glühverlust im Schwebstoff, Nährstoffe im Wasser						
PNUM	SCWEB	GV_P	N-NO2-	N-NO3-	N-NH3	SIO2	PO4-P
	mg/l	%	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Kampagne 11/97							
OR26PO11/97	12,04	45,1	0,032	2,5	0,8	n.m.	0,150
OT27NE11/97	13,42	47,5	0,02	2,4	0,6	n.m.	0,065
OT28OS11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR28EI11/97	12,96	52,5	0,029	2,5	0,9	n.m.	0,157
OR29AU11/97	13,28	43,0	0,026	1,8	0,7	n.m.	0,150
OT30BR11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT31IL11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR30FS11/97	13,60	n.m.	0,022	1,9	0,65	n.m.	0,117
OR31LE11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR32KK11/97	9,12	48,6	0,02	1,8	0,55	n.m.	0,287
OT32WA11/97	15,00	39,8	0,028	1,9	0,4	n.m.	0,264
OR33GC11/97	9,02	n.m.	0,021	1,7	0,35	n.m.	0,150
OR34HO11/97	9,94	34,8	0,022	2,0	0,4	n.m.	0,121
OT34HW11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR35SK11/97	11,20	34,3	-	0,02	0,4	n.m.	0,163
OR36WI11/97	8,08	25,5	0,022	1,5	0,55	n.m.	0,147
OT36HF11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Kampagne 5/98							
OR26PO5/98	28,76	37,9	n.d.	0,9	n.d.	1,6	0,049
OT27NE5/98	10,47	34,5	0,011	0,4	n.d.	10,5	0,059
OT28OS5/98	1,98	54,7	0,008	n.d.	0,05	1,4	0,007
OR28EI5/98	24,88	38,9	0,009	0,5	0,01	1,8	0,042
OR29AU5/98	17,83	37,1	0,01	1,0	0,03	2,2	0,055
OT30BR5/98	13,37	61,6	0,011	n.d.	0,56	8,4	0,026
OT31IL5/98	11,16	53,5	0,023	2,0	0,1	9,3	0,147
OR30FS5/98	31,16	30,7	0,01	0,1	0,03	2,7	0,078
OR31LE5/98	51,52	26,0	0,009	1,3	0,03	2	0,062
OR32KK5/98	15,62	54,1	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.
OT32WA5/98	10,37	69,4	n.d.	1,1	n.d.	2,4	0,042
OR33GC5/98	21,90	35,5	0,015	1,4	0,01	2,6	n.d.
OR34HO5/98	24,43	47,1	0,01	1,0	n.d.	1,2	n.d.
OT34HW5/98	17,70	56,2	0,025	0,7	0,09	6,1	0,029
OR35SK5/98	26,83	43,9	0,012	0,3	n.d.	1	n.d.
OR36WI5/98	47,70	58,3	0,01	0,6	n.d.	1,1	0,016
OT36HF5/98	18,00	43,6	0,018	n.d.	0,09	1,3	0,033
Kampagne 11/98							
OR26PO11/98	n.s.	42,9	0,026	2,4	0,15	7,4	0,114
OT27NE11/98	28,36	22,8	0,008	3,2	0,04	12,9	0,062
OT28OS11/98	n.m.	63,8	0,008	0,5	n.d.	10,9	0,326
OR28EI11/98	14,25	27,8	0,022	2,4	0,13	9,2	0,098
OR29AU11/98	12,43	30,0	0,019	2,2	0,01	8,7	0,029
OT30BR11/98	4,30	50,0	0,015	0,6	0,38	10,6	0,147
OT31IL11/98	6,11	49,7	0,007	1,1	0,14	12	n.d.
OR30FS11/98	18,28	24,7	0,018	2,5	0,08	8,1	0,222
OR31LE11/98	16,65	30,4	0,012	2,0	0,15	8,4	0,160
OR32KK11/98	9,60	52,5	0,03	2,8	0,19	8,5	0,134
OT32WA11/98	3,86	69,8	0,033	1,4	0,13	11,7	0,023
OR33GC11/98	8,32	42,5	0,024	2,5	0,09	8,1	0,124
OR34HO11/98	5,35	45,0	0,026	2,6	0,06	7,4	0,130
OT34HW11/98	10,40	37,7	0,012	1,2	0,16	11,9	0,222
OR35SK11/98	17,20	32,1	0,02	2,5	0,08	9,3	0,127
OR36WI11/98	13,27	33,1	0,014	2,1	0,09	30,6	0,059
OT36HF11/98	5,95	49,1	0,014	1,5	0,16	13,5	0,104
Kampagne 6/99							
OR26PO6/99	36,52	n.s.	0,015	2,2	n.d.	7,00	0,055
OT27NE6/99	14,06	23,3	0,005	2,1	n.d.	9,80	0,036
OT28OS6/99	n.s.	32,6	0,003	0,2	0,05	2,60	0,007
OR28EI6/99	22,16	37,8	0,012	1,7	0,02	6,90	0,082
OR29AU6/99	25,04	60,8	0,011	2,5	0,02	7,30	0,062
OT30BR6/99	5,66	33,7	0,009	0,1	0,12	10,5	0,068
OT31IL6/99	8,38	28,8	0,015	n.d.	0,05	12,5	0,124
OR30FS6/99	25,14	33,2	0,011	1,6	0,02	6,10	0,062

	Schwebstoffmenge, Glühverlust im Schwebstoff, Nährstoffe im Wasser						
PNUM	SCWEB	GV_P	N-NO2-	N-NO3-	N-NH3	SIO2	PO4-P
	mg/l	%	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
OR31LE6/99	23,22	31,6	0,010	2,1	0,01	5,90	0,070
OR32KK6/99	24,74	33,3	0,0085	2,4	0,02	6,85	0,067
OT32WA6/99	20,88	46,3	0,0405	2,0	0,01	7,30	0,126
OR33GC6/99	15,90	44,6	0,031	1,6	0,01	7,70	0,121
OR34HO6/99	15,68	44,9	0,024	2,2	0,02	5,80	0,098
OT34HW6/99	3,90	45,4	0,009	0,2	0,06	6,40	0,029
OR35SK6/99	22,40	44,5	0,015	1,7	0,01	6,60	0,082
OR36WI6/99	20,60	47,0	0,019	1,2	0,03	6,7	0,082
OT36HF6/99	2,94	45,8	0,024	1,1	0,18	11,1	0,065
Kampagne 5/00							
OR26PO5/00	1,82	52,2	0,007	0,75	0,01	1,80	0,020
OT27NE5/00	34,68	31,1	0,009	2,85	0,02	n.m.	0,046
OT28OS5/00	15,28	54,7	0,004	0,7	0,035	n.m.	0,026
OR28EI5/00	35,92	56,0	0,009	1,35	0,01	2,40	0,166
OR29AU5/00	37,98	48,6	0,008	1,2	0,015	2,00	0,072
OT30BR5/00	5,76	60,2	0,002	0,4	0,02	7,7	0,082
OT31IL5/00	21,26	56,3	0,012	0,1	0,025	11,2	0,088
OR30FS5/00	32,90	52,7	0,009	1,0	0,01	1,80	0,290
OR31LE5/00	41,04	48,4	0,006	0,85	0,02	2,10	0,046
OR32KK5/00	37,40	50,1	0,008	0,7	0,03	1,40	0,033
OT32WA5/00	18,66	n.s.	0,008	1,3	0,025	6,40	0,287
OR33GC5/00	29,28	58,1	0,008	0,85	0,01	6,50	0,267
OR34HO5/00	29,42	52,6	0,006	0,75	0,01	4,30	0,323
OT34HW5/00	9,54	40,5	0,015	0,8	0,1	6,20	0,143
OR35SK5/00	39,74	49,2	0,009	0,2	0,04	7,40	0,078
OR36WI5/00	36,46	55,7	0,008	0,3	0,04	2,4	0,052
OT36HF5/00	8,98	63,2	0,011	0,6	0,13	7,5	0,117
OR37GA5/00	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR38ME5/00	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT42KB5/00	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
AQS-Proben 5/98							
OR16MA5/98AQS-1	n.s.	n.s.	-	-	-	-	-
OR16MA5/98AQS-2	n.s.	n.s.	-	-	-	-	-
OR25KO5/98AQS-1	n.s.	n.s.	-	-	-	-	-
OR25KO5/98AQS-2	n.s.	n.s.	-	-	-	-	-
OR26PO5/98AQS-1	n.s.	n.s.	-	-	-	-	-
OR26PO5/98AQS-2	n.s.	n.s.	-	-	-	-	-
AQS-Proben 11/98							
OR15BD11/98AQS-1	27,53	19,3	-	-	-	-	-
OR15BD11/98AQS-2	40,27	18,5	-	-	-	-	-
OR29AU11/98AQS-1	15,11	27,4	-	-	-	-	-
OR29AU11/98AQS-2	14,38	29,9	-	-	-	-	-
OT31IL11/98AQS-1	n.s.	n.s.	-	-	-	-	-
OT31IL11/98AQS-2	n.s.	n.s.	-	-	-	-	-
OR36WI11/98AQS-1	11,55	28,7	-	-	-	-	-
OR36WI11/98AQS-2	15,18	30,4	-	-	-	-	-
AQS-Proben 6/99							
OR15BD6/99AQS-1	20,48	31,6	-	-	-	-	-
OR15BD6/99AQS-2	25,56	32,5	-	-	-	-	-
OR29AU6/99AQS-1	23,44	34,7	-	-	-	-	-
OR29AU6/99AQS-2	24,26	35,6	-	-	-	-	-
OR36WI6/99AQS-1	22,16	48,5	-	-	-	-	-
OR36WI6/99AQS-2	14,72	46,7	-	-	-	-	-
AQS-Proben 5/00							
OR17SC5/00AQS-1	17,48	53,8	-	-	-	-	-
OR17SC5/00AQS-2	19,16	n.s.	-	-	-	-	-
OR29AU5/00AQS-1	42,82	n.s.	-	-	-	-	-
OR29AU5/00AQS-2	42,94	n.s.	-	-	-	-	-
OR36WI5/00AQS-1	34,68	n.s.	-	-	-	-	-
OR36WI5/00AQS-2	n.s.	n.s.	-	-	-	-	-

	Hauptionen im Wasser											
PNUM	CA_W	MG_W	NA_W	K_W	CL_W	SO4_W	HCO3_W	DC	DOC	TC	TOC	AOX
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Kampagne 11/97												
OR26PO11/97	103	11,7	128	15,9	184	146	n.m.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT27NE11/97	47,3	8,3	33,5	7,6	27,0	119	n.m.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT28OS11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR28EI11/97	89,7	22,4	110	15,9	176	136	n.m.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR29AU11/97	84,9	17,5	101	14,4	160	134	n.m.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT30BR11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT31IL11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR30FS11/97	91,3	16,5	110	12,9	164	132	n.m.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR31LE11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR32KK11/97	83,3	21,4	110	12,9	160	141	n.m.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT32WA11/97	88,1	12,2	30,5	6,7	37,0	69,0	n.m.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR33GC11/97	88,1	10,2	43,5	11,4	58,0	82,7	n.m.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR34HO11/97	87,3	10,7	48,0	9,9	70,0	84,0	n.m.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT34HW11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR35SK11/97	84,1	14,1	55,5	9,9	78,0	91,5	n.m.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR36WI11/97	82,5	15,6	55,5	9,9	78,0	93,0	n.m.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT36HF11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Kampagne 5/98												
OR26PO5/98	84,2	9,7	n.m.	6,6	113	140	134	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT27NE5/98	52,1	8,5	n.m.	5,8	17,7	125	61,0	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT28OS5/98	70,1	4,9	n.m.	3,3	24,8	95,0	134	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR28EI5/98	76,2	10,9	n.m.	7,5	106	140	122	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR29AU5/98	78,2	8,5	n.m.	7,5	103	135	122	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT30BR5/98	102	10,9	n.m.	3,0	28,4	150	183	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT31IL5/98	80,2	3,6	n.m.	2,2	10,6	65,0	207	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR30FS5/98	76,2	12,2	n.m.	7,0	106	125	122	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR31LE5/98	80,2	9,7	n.m.	7,7	110	130	122	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR32KK5/98	90,2	9,7	n.m.	5,0	35,5	105	220	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT32WA5/98	92,2	7,3	n.m.	4,6	39,0	90,0	220	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR33GC5/98	94,2	8,5	n.m.	4,6	42,5	125	171	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR34HO5/98	90,2	8,5	n.m.	5,1	49,6	125	146	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT34HW5/98	112	8,5	n.m.	5,9	56,7	150	220	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR35SK5/98	90,2	8,5	n.m.	5,5	63,8	135	146	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR36WI5/98	100	2,4	n.m.	5,5	65,6	130	146	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT36HF5/98	88,2	12,2	n.m.	6,0	67,4	130	244	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Kampagne 11/98												
OR26PO11/98	67,3	11,7	51,6	7,6	93,7	105	134	n.m.	6,3	n.m.	7,2	n.s.
OT27NE11/98	40,1	7,8	16,3	5,3	16,2	78,7	61,0	n.m.	8,2	n.m.	9,8	n.s.
OT28OS11/98	64,1	8,8	19,1	4,2	25,2	90,6	134	n.m.	8,1	n.m.	7,8	n.s.
OR28EI11/98	63,3	12,2	56,0	7,7	96,6	108	122	n.m.	8,1	n.m.	8,2	n.s.
OR29AU11/98	60,1	10,2	52,2	6,6	96,3	102	122	n.m.	n.s.	n.m.	9,3	n.s.
OT30BR11/98	80,2	11,2	14,2	3,3	33,4	130	183	n.m.	6,0	n.m.	6,9	n.s.
OT31IL11/98	89,0	2,4	8,8	2,5	14,2	50,3	207	n.m.	10,4	n.m.	12,9	n.s.
OR30FS11/98	60,9	12,6	51,8	6,8	77,6	82,0	122	n.m.	7,0	n.m.	7,4	n.s.
OR31LE11/98	61,7	11,2	46,3	7,4	82,0	89,8	122	n.m.	8,8	n.m.	9,0	n.s.
OR32KK11/98	80,2	19,5	24,2	5,8	40,9	82,3	220	n.m.	10,8	n.m.	11,4	n.s.
OT32WA11/98	91,4	16,5	22,2	5,5	39,4	97,1	220	n.m.	13,6	n.m.	15,3	n.s.
OR33GC11/98	77,0	13,6	37,4	6,5	52,2	84,6	171	n.m.	8,2	n.m.	9,0	n.s.
OR34HO11/98	74,5	20,4	38,5	6,3	64,1	89,2	146	n.m.	9,8	n.m.	9,5	n.s.
OT34HW11/98	98,6	12,6	32,9	6,0	56,1	103	220	n.m.	8,8	n.m.	8,4	n.s.
OR35SK11/98	74,5	4,4	38,3	6,1	70,5	84,8	146	n.m.	7,6	n.m.	7,8	n.s.
OR36WI11/98	75,4	10,7	39,8	7,3	67,3	87,2	146	n.m.	8,9	n.m.	9,3	n.s.
OT36HF11/98	92,2	9,2	30,4	5,8	56,4	124	244	n.m.	10,1	n.m.	11,1	n.s.
Kampagne 6/99												
OR26PO6/99	77,0	16,0	113	8,9	188	137	134	39,3	8,5	n.m.	8,9	n.s.
OT27NE6/99	42,0	9,0	21,4	5,2	21,2	93,6	73,2	22,9	5,5	n.m.	5,7	n.s.
OT28OS6/99	74,0	10,0	25,2	5,1	39	104	134	37,6	6,8	n.m.	6,4	n.s.
OR28EI6/99	71,0	16,0	102	8,5	171	126	122	35,8	7,7	n.m.	8,1	n.s.
OR29AU6/99	71,0	16,0	99,1	4,9	161	123	122	34,7	8,3	n.m.	7,1	n.s.
OT30BR6/99	96,0	9,0	21,9	2,5	31,7	126	183	43,9	5,1	n.m.	5,6	n.s.
OT31IL6/99	79,0	6,0	10,5	1,5	12,4	43,6	207	51,7	6,7	n.m.	6,9	n.s.
OR30FS6/99	70,0	14,0	94,0	7,7	153	116	128	34,2	6,7	n.m.	8,2	n.s.

	Hauptionen im Wasser											
PNUM	CA_W	MG_W	NA_W	K_W	CL_W	SO4_W	HCO3_W	DC	DOC	TC	TOC	AOX
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
OR31LE6/99	69,0	16,0	92,1	7,7	154	119	128	34,7	6,4	n.m.	7,2	n.s.
OR32KK6/99	70,0	14,0	93,4	8,0	148	122	134	35,1	7,4	n.m.	10,0	n.s.
OT32WA6/99	82,0	12,0	21,2	4,8	34,6	70,8	207	53,7	10,5	n.m.	11,6	n.s.
OR33GC6/99	80,0	13,0	37,5	5,4	59,6	77,2	183	52,7	9,2	n.m.	10,7	n.s.
OR34HO6/99	78,0	13,0	45,5	4,9	77,5	90,0	183	51,2	9,1	n.m.	10,8	n.s.
OT34HW6/99	92,0	13,0	29,6	4,9	48,0	94,4	232	57,8	7,1	n.m.	8,0	n.s.
OR35SK6/99	75,0	13,0	56,7	6,4	95,0	96,0	183	47,1	8,9	n.m.	10,5	n.s.
OR36WI6/99	76,0	12,0	54,9	6,3	91,5	94,5	171	44,8	9,2	n.m.	10,6	n.s.
OT36HF6/99	94,0	15,0	35,0	5,7	56,4	109	226	60,5	9,3	n.m.	9,3	n.s.
Kampagne 5/00												
OR26PO5/00	69,7	14,1	88,7	7,8	152	107	122,04	n.s.	n.s.	34,7	6,6	0,028
OT27NE5/00	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	128	n.s.	n.s.	23,3	22,1	<0,001
OT28OS5/00	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	79,3	n.s.	n.s.	38,6	6,6	0,084
OR28EI5/00	66,5	13,1	84,4	7,6	146	104	122,04	n.s.	n.s.	34,4	6,5	0,018
OR29AU5/00	64,1	13,6	80,4	7,3	138	103	122,04	n.s.	n.s.	33,2	6,6	0,022
OT30BR5/00	94,6	8,8	22,3	2,9	38,2	115	128	n.s.	n.s.	46,3	4,7	0,011
OT31IL5/00	77,8	7,3	11,0	1,7	15,0	46,0	122,04	n.s.	n.s.	50,1	5,9	<0,001
OR30FS5/00	64,1	11,7	79,8	7,2	136	103	134	n.s.	n.s.	33,4	32,6	0,022
OR31LE5/00	64,9	12,2	80,2	7,1	104	104	195	n.s.	n.s.	28,4	6,4	0,023
OR32KK5/00	62,5	12,7	77,7	7,2	135	104	183	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT32WA5/00	73,7	9,2	21,3	4,8	35,6	62,4	183	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0,029
OR33GC5/00	70,5	11,7	36,8	5,4	61,0	74,2	171	n.s.	n.s.	43,3	7,7	0,013
OR34HO5/00	68,9	13,1	48,0	5,9	82,5	81,9	226	n.s.	n.s.	40,5	7,1	0,014
OT34HW5/00	89,8	15,1	33,7	5,6	58,6	90,7	176,96	n.s.	n.s.	57,0	6,8	0,013
OR35SK5/00	72,1	12,7	49,1	6,8	86,0	83,0	140	n.s.	n.s.	45,7	8,7	0,011
OR36WI5/00	69,7	12,2	54,4	6,1	89,9	82,5	195	n.s.	n.s.	37,6	35,8	0,018
OT36HF5/00	96,2	14,6	42,4	6,5	71,7	107	232	n.s.	n.s.	52,4	8,5	0,012
OR37GA5/00	67,3	12,6	60,8	5,6	<10	85,8	n.m.	n.s.	n.s.	n.s.	7,6	0,028
OR38ME5/00	67,3	14,1	59,9	5,6	<10	88,6	n.m.	n.s.	n.s.	n.s.	7,5	n.s.
OT42KB5/00	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	8,94	0,023
AQS-Proben 5/98												
OR16MA5/98AQS-1	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR16MA5/98AQS-2	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR25KO5/98AQS-1	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR25KO5/98AQS-2	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR26PO5/98AQS-1	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR26PO5/98AQS-2	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
AQS-Proben 11/98												
OR15BD11/98AQS-1	48,6	10,9	33,2	3,9	59,6	75,3	68,3	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR15BD11/98AQS-2	51,0	10,4	41,0	4,6	68,2	75,7	65,9	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR29AU11/98AQS-1	66,0	11,5	56,5	7,7	98,4	105	95,6	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR29AU11/98AQS-2	51,3	9,7	37,7	5,1	62,4	79,4	80,5	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT31IL11/98AQS-1	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT31IL11/98AQS-2	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR36WI11/98AQS-1	68,7	12,3	38,2	6,7	77,4	104	126	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR36WI11/98AQS-2	69,7	12,2	40,3	7,1	71,4	96	128	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
AQS-Proben 6/99												
OR15BD6/99AQS-1	73,0	18,0	110	8,97	181	131	n.m.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR15BD6/99AQS-2	70,0	18,0	112	9,21	182	133	n.m.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR29AU6/99AQS-1	76,0	15,0	94,3	7,84	144	110	n.m.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR29AU6/99AQS-2	74,0	17,0	99,2	8,41	152	126	n.m.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR36WI6/99AQS-1	69,0	14,0	57,2	6,33	83,9	91,6	n.m.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR36WI6/99AQS-2	69,0	14,0	55,7	6,23	87,7	94,5	n.m.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
AQS-Proben 5/00												
OR17SC5/00AQS-1	75,4	19,5	145	9,82	245	136	n.m.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR17SC5/00AQS-2	75,4	19,9	145	9,84	240	134	n.m.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR29AU5/00AQS-1	48,9	11,7	84,6	6,43	<10	98,5	n.m.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR29AU5/00AQS-2	49,7	13,6	85	6,43	<10	96,5	n.m.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR36WI5/00AQS-1	59,3	11,2	49,3	5,96	85,6	78	n.m.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR36WI5/00AQS-2	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

	Spurenelemente im Wasser (gelöst)										
PNUM	AL_W	AS_W	CD_W	CO_W	CR_W	CU_W	FE_W	MN_W	NI_W	PB_W	ZN_W
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Kampagne 11/97											
OR26PO11/97	9,4	2,2	0,1	0,2	3,3	<0,1	28	142	4,7	0,10	12,3
OT27NE11/97	15,7	<1	0,1	0,1	0,6	<0,1	47	23	1,6	0,20	6,5
OT28OS11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR28EI11/97	12,5	2,0	0,1	0,3	3,2	1,2	16	127	5,6	0,80	13,8
OR29AU11/97	19,1	1,6	0,2	0,3	3,1	1,8	22	98	3,9	10,90	24,1
OT30BR11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT31IL11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR30FS11/97	15,6	1,8	0,1	0,3	3,1	<0,1	24	85	4,5	0,30	12,0
OR31LE11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR32KK11/97	28,2	2,1	0,1	0,3	3,3	0,5	196	66	4,6	0,60	14,2
OT32WA11/97	14,0	<1	0,1	0,2	1,3	<0,1	17	144	2,9	1,20	6,9
OR33GC11/97	8,8	<1	<0,1	0,1	1,6	<0,1	14	12	3,4	<0,1	48,2
OR34HO11/97	10,9	<1	0,1	0,1	2,2	<0,1	13	6,0	3,8	0,10	3,7
OT34HW11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR35SK11/97	13,0	1,1	0,1	0,1	2,0	<0,1	20	6,0	4,0	<0,1	3,6
OR36WI11/97	16,4	1,0	0,1	0,3	2,2	0,5	<10	5,0	4,2	1,50	7,9
OT36HF11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Kampagne 5/98											
OR26PO5/98	11,5	2,0	<0,1	n.m.	1,3	<0,1	8,0	5,7	1,0	<0,1	2,2
OT27NE5/98	20,7	<1	<0,1	n.m.	0,3	<0,1	26	29,6	1,1	<0,1	<1
OT28OS5/98	14,0	<1	<0,1	n.m.	0,5	7,2	14	29,1	1,0	0,40	2,3
OR28EI5/98	12,8	2,1	<0,1	n.m.	1,3	0,4	12	1,4	1,5	<0,1	142
OR29AU5/98	11,8	2,9	<0,1	n.m.	2,4	<0,1	7,0	2,6	2,5	<0,1	5,6
OT30BR5/98	12,4	<1	<0,1	n.m.	0,8	<0,1	6,0	152	1,0	<0,1	<1
OT31IL5/98	12,5	1,8	<0,1	n.m.	5,8	1,1	45	86	1,4	0,10	0,8
OR30FS5/98	13,7	1,4	<0,1	n.m.	1,7	0,2	8,0	1,6	2,4	0,20	9,1
OR31LE5/98	16,2	2,1	<0,1	n.m.	2,3	<0,1	8,0	4,5	2,4	<0,1	3,4
OR32KK5/98	9,0	1,4	<0,1	n.m.	0,6	<0,1	15	8,6	1,7	0,20	1,5
OT32WA5/98	7,2	1,3	<0,1	n.m.	0,8	<0,1	11	29,4	1,0	<0,1	<1
OR33GC5/98	8,7	1,3	<0,1	n.m.	0,8	<0,1	11	19,3	1,3	0,20	<1
OR34HO5/98	7,4	2,1	<0,1	n.m.	1,1	<0,1	12	29	2,0	<0,1	<1
OT34HW5/98	65,7	1,0	<0,1	n.m.	1,4	6,9	8,0	245	2,1	0,70	1,9
OR35SK5/98	15,4	1,6	<0,1	n.m.	0,9	1,4	8,0	4,8	2,1	0,20	2,1
OR36WI5/98	7,6	2,1	<0,1	n.m.	0,9	<0,1	8,0	2,8	2,0	0,10	20,0
OT36HF5/98	6,8	1,3	<0,1	n.m.	1,5	<0,1	28	357	2,2	0,10	7,5
Kampagne 11/98											
OR26PO11/98	13,7	1,8	<0,1	0,20	2,08	0,95	36	15,8	5,0	0,67	43,6
OT27NE11/98	50,0	<1	0,24	1,14	2,56	1,88	32	83,1	5,3	1,68	46,6
OT28OS11/98	9,2	<1	<0,1	0,11	1,89	<0,1	12	3,8	2,7	<0,1	36,4
OR28EI11/98	18,0	1,9	<0,1	0,27	3,51	2,27	33	18,4	18,2	0,41	16,1
OR29AU11/98	13,1	1,6	<0,1	0,26	2,16	0,48	31	16,7	4,1	<0,1	40,3
OT30BR11/98	4,8	<1	0,10	0,15	0,82	1,61	11	122	2,7	0,15	14,5
OT31IL11/98	9,3	<1	<0,1	0,14	2,13	<0,1	32	62,1	2,4	<0,1	35,5
OR30FS11/98	12,6	1,8	<0,1	0,27	1,32	1,92	29	28,0	4,5	0,11	10,3
OR31LE11/98	12,9	1,8	0,09	0,31	2,94	2,18	35	42,5	13,0	0,35	26,7
OR32KK11/98	7,4	<1	0,15	0,22	2,02	0,74	26	27,1	7,3	0,15	8,4
OT32WA11/98	8,3	<1	<0,1	0,25	3,49	1,72	49	102	21,0	0,28	10,6
OR33GC11/98	12,3	1,2	0,10	0,24	3,47	1,67	30	34,4	12,5	0,36	18,8
OR34HO11/98	17,4	1,2	0,16	0,30	2,50	3,12	32	56,6	7,5	0,53	202
OT34HW11/98	6,0	<1	0,20	0,23	1,63	<0,1	23	300	3,4	<0,1	35,7
OR35SK11/98	10,6	1,2	<0,1	0,20	2,16	0,24	19	27,3	3,9	<0,1	39,8
OR36WI11/98	18,7	1,3	<0,1	0,26	2,00	2,25	30	24,7	5,2	0,10	10,8
OT36HF11/98	15,5	<1	<0,1	0,21	1,17	1,33	18	230	3,8	0,13	10,3
Kampagne 6/99											
OR26PO6/99	13,5	2,0	<0,1	n.m.	1,40	<0,1	6,0	8,3	9,6	<0,1	4,9
OT27NE6/99	590	<1	<0,1	n.m.	1,30	<0,1	65	22	7,7	0,60	10,0
OT28OS6/99	545	<1	<0,1	n.m.	1,90	<0,1	29	17	7,2	0,20	5,4
OR28EI6/99	574	3,0	<0,1	n.m.	2,20	<0,1	26	7,2	9,6	0,10	6,6
OR29AU6/99	382	2,0	<0,1	n.m.	2,20	0,10	18	11	9,6	0,80	12,3
OT30BR6/99	13,6	<1	<0,1	n.m.	0,90	<0,1	20	282	7,4	3,30	9,3
OT31IL6/99	222	<1	<0,1	n.m.	2,10	<0,1	75	117	6,4	0,60	11,8
OR30FS6/99	1230	3,0	<0,1	n.m.	3,40	<0,1	17	7,1	12,0	<0,1	10,0

	Spurenelemente im Wasser (gelöst)										
PNUM	AL_W	AS_W	CD_W	CO_W	CR_W	CU_W	FE_W	MN_W	NI_W	PB_W	ZN_W
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
OR31LE6/99	1630	3,0	<0,1	n.m.	2,40	<0,1	24	5,5	8,9	0,30	6,5
OR32KK6/99	173	2,0	<0,1	n.m.	2,20	<0,1	19	4,8	7,8	0,20	6,7
OT32WA6/99	529	<1	<0,1	n.m.	2,80	<0,1	33	12	8,3	<0,1	8,4
OR33GC6/99	1540	1,0	<0,1	n.m.	1,60	<0,1	14	5,1	8,3	0,30	6,0
OR34HO6/99	892	1,0	<0,1	n.m.	2,20	<0,1	17	9,2	8,5	0,60	3,8
OT34HW6/99	11,0	<1	<0,1	n.m.	<0,5	2,55	7,0	236	3,2	2,90	8,2
OR35SK6/99	21,7	2,0	<0,1	n.m.	0,90	<0,1	20	7,4	5,0	0,40	10,3
OR36WI6/99	672	2,0	<0,1	n.m.	3,50	0,10	27	15	6,2	0,40	10,2
OT36HF6/99	76,0	<1	<0,1	n.m.	3,10	<0,1	20	539	7,0	0,30	7,3
Kampagne 5/00											
OR26PO5/00	29,7	2,0	<0,1	0,21	<1	3,86	5,0	1,2	6,6	0,25	9,0
OT27NE5/00	31	<1	<0,1	<0,1	<1	9,43	22	4,0	8,6	5,57	27,0
OT28OS5/00	16	<1	<0,1	<0,1	<1	3,08	19	3,0	6,6	4,64	14,0
OR28EI5/00	20	1,0	<0,1	0,19	<1	3,52	<5	1,3	7,3	4,49	14,6
OR29AU5/00	49	1,0	<0,1	0,25	<1	3,42	9,0	1,1	5,7	0,27	12,3
OT30BR5/00	10,0	<1	<0,1	<0,1	<1	1,72	<5	0,9	7,0	4,45	6,7
OT31IL5/00	51	<1	<0,1	<0,1	<1	1,50	24	74	6,4	<0,1	10,5
OR30FS5/00	24	1,0	<0,1	0,18	<1	3,43	<5	1,0	6,3	4,40	8,4
OR31LE5/00	32	2,0	<0,1	0,20	<1	2,65	5,0	1,0	6,8	<0,1	4,4
OR32KK5/00	32	1,0	<0,1	0,21	<1	2,82	<5	0,8	6,8	<0,1	4,2
OT32WA5/00	28	<1	<0,1	<0,1	<1	1,34	5,0	1,3	7,2	0,28	2,6
OR33GC5/00	16	1,0	<0,1	0,11	<1	1,08	<5	1,0	7,5	<0,1	5,1
OR34HO5/00	19	1,0	<0,1	0,17	<1	2,14	<5	1,4	7,1	<0,1	1,3
OT34HW5/00	12,3	<1	<0,1	<0,1	<1	2,30	8,0	409	8,18	<0,1	4,3
OR35SK5/00	19,1	<1	<0,1	0,16	<1	0,65	7,0	60	7,8	<0,1	4,5
OR36WI5/00	23	2,0	<0,1	0,17	<1	3,42	<5	1,1	5,7	0,27	12,3
OT36HF5/00	14,8	<1	<0,1	2,20	<1	3,87	6,0	521	6,5	<0,1	11,3
OR37GA5/00	13,1	2,0	0,59	1,53	<1	1,50	10,6	65	4,9	1,88	<1
OR38ME5/00	11,1	1,5	0,58	1,46	<1	1,4	5,3	35,7	4,5	1,86	<1
OT42KB5/00	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
AQS-Proben 5/98											
OR16MA5/98AQS-1	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR16MA5/98AQS-2	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR25KO5/98AQS-1	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR25KO5/98AQS-2	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR26PO5/98AQS-1	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR26PO5/98AQS-2	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
AQS-Proben 11/98											
OR15BD11/98AQS-1	65,0	1,2	<0,1	0,34	1,8	2,4	144	35,2	5,0	0,34	14,8
OR15BD11/98AQS-2	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR29AU11/98AQS-1	14,4	1,6	<0,1	0,22	2	2,6	24	25	5,0	0,14	11,1
OR29AU11/98AQS-2	17,0	1,5	<0,1	0,27	2,3	3,2	22	25,4	6,8	<0,1	22,0
OT31IL11/98AQS-1	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT31IL11/98AQS-2	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR36WI11/98AQS-1	15,2	1,4	<0,1	0,27	2,6	2,4	39	26,6	5,3	0,21	12,2
OR36WI11/98AQS-2	22,2	1,2	<0,1	0,24	1,4	2,1	22	22,8	5,0	<0,1	9,3
AQS-Proben 6/99											
OR15BD6/99AQS-1	39,1	2,0	0,05	n.m.	0,40	4,64	11	2,74	6,3	0,23	15,0
OR15BD6/99AQS-2	3,9	1,0	0,03	n.m.	0,22	2,58	11	1,21	2,1	0,09	5,2
OR29AU6/99AQS-1	6,5	3,0	0,21	n.m.	0,64	5,83	<10	1,61	5,7	0,50	18,5
OR29AU6/99AQS-2	6,0	3,0	0,04	n.m.	0,48	4,99	<10	1,64	5,2	0,14	20,2
OR36WI6/99AQS-1	5,2	1,0	0,06	n.m.	0,41	3,49	10	4,93	3,3	0,27	9,8
OR36WI6/99AQS-2	78,0	2,0	0,12	n.m.	0,78	3,92	202	88,1	6,8	1,40	12,0
AQS-Proben 5/00											
OR17SC5/00AQS-1	15,5	2,0	<0,1	0,86	<1	3,7	11	34,7	8,05	0,62	8,1
OR17SC5/00AQS-2	21,4	2,0	<0,1	0,86	<1	3,3	8,0	36,1	8,07	0,36	6,5
OR29AU5/00AQS-1	8,8	1,5	0,7	1,75	<1	1,9	3,3	1,8	6,49	2,45	22,0
OR29AU5/00AQS-2	9,7	2,4	0,85	1,54	<1	2,2	2,3	1,3	8,57	3,53	42,1
OR36WI5/00AQS-1	9,5	1,8	0,61	1,48	<1	1,3	5,5	1,4	5,61	2,41	10,5
OR36WI5/00AQS-2	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

	Spurenelemente im Schwebstoff												
PNUM	AL_P	AS_P	CD_P	CO_P	CR_P	CU_P	FE_P	MN_P	NI_P	PB_P	ZN_P	SC_P	GA_P
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Kampagne 11/97													
OR26PO11/97	38000	150	11	30	180	300	100000	10000	74	270	2600	n.m.	n.m.
OT27NE11/97	71000	43	6,1	38	170	150	79000	3900	82	120	930	n.m.	n.m.
OT28OS11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR28EI11/97	38000	110	9,2	28	170	240	88000	8600	65	230	2000	n.m.	n.m.
OR29AU11/97	33000	100	6,6	26	140	220	83000	8800	57	170	1900	n.m.	n.m.
OT30BR11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT31IL11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR30FS11/97	40000	130	10	32	170	260	81000	7700	74	240	1960	n.m.	n.m.
OR31LE11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR32KK11/97	40000	120	9,3	32	180	240	88000	9000	74	200	1600	n.m.	n.m.
OT32WA11/97	27000	27	15	11	200	120	77000	10000	48	140	610	n.m.	n.m.
OR33GC11/97	14000	56	12	21	230	170	84000	18000	60	140	1200	n.m.	n.m.
OR34HO11/97	25000	60	8,7	24	180	150	72000	13000	59	140	1200	n.m.	n.m.
OT34HW11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR35SK11/97	28000	63	9,0	25	170	160	64000	12000	59	190	1100	n.m.	n.m.
OR36WI11/97	29000	77	10	25	180	180	73000	12000	56	150	1200	n.m.	n.m.
OT36HF11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Kampagne 5/98													
OR26PO5/98	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT27NE5/98	52150	26,1	3,72	29,8	95	70,8	86040	4880	63,3	130	1400	n.m.	n.m.
OT28OS5/98	47880	<20	<20	40	111	424	81820	15150	121	505	5980	n.m.	n.m.
OR28EI5/98	34960	61,1	7,84	18,8	76,0	116	40440	6100	64,3	141	1450	n.m.	n.m.
OR29AU5/98	38500	50,3	8,75	19,7	80	118	45500	7980	48,0	179	1710	n.m.	n.m.
OT30BR5/98	20460	11,1	2,99	5,98	16,4	41,9	36500	25010	15,0	65,8	1110	n.m.	n.m.
OT31IL5/98	16340	27,2	3,41	3,41	35,8	51,1	74570	7420	13,6	119	899	n.m.	n.m.
OR30FS5/98	42180	53,8	6,26	20,0	84	130	47190	6880	47,6	149	1430	n.m.	n.m.
OR31LE5/98	44800	50,5	7,76	17,9	87,3	148	44950	4990	43,5	171	1270	n.m.	n.m.
OR32KK5/98	13570	11,7	9,7	5,1	112	72,2	32010	10330	26,8	86,6	414	n.m.	2,52
OT32WA5/98	8120	<3,76	7,52	3,76	55	48,9	23690	9670	18,8	60,2	1270	n.m.	n.m.
OR33GC5/98	18570	18,1	8,04	8,04	57,3	72,3	28730	7900	26,1	86,4	1030	n.m.	n.m.
OR34HO5/98	24260	23,3	6,20	10,9	64,6	76,2	30950	7790	29,6	101	950	n.m.	n.m.
OT34HW5/98	17650	12,2	2,26	4,52	30,5	18,1	44070	9650	18,1	90,4	1050	n.m.	n.m.
OR35SK5/98	26630	31,2	7,08	12,7	70,1	85,0	32720	5940	32,6	133	1220	n.m.	n.m.
OR36WI5/98	30200	26,3	7,19	13,2	83,0	77,7	35200	6810	32,4	135	1020	n.m.	n.m.
OT36HF5/98	9670	15,6	<2,22	2,22	10,0	253	31330	5380	8,89	88,9	680	n.m.	n.m.
Kampagne 11/98													
OR26PO11/98	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT27NE11/98	85300	41	4,6	57	120	110	54000	3600	84	130	540	n.m.	n.m.
OT28OS11/98	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR28EI11/98	52000	73	11	43	150	140	64000	6500	74	200	1100	n.m.	n.m.
OR29AU11/98	61000	63	9,1	47	160	150	64000	6200	88	200	1400	n.m.	n.m.
OT30BR11/98	25000	<89	7,1	12	120	62	100000	16000	29	140	1100	n.m.	n.m.
OT31IL11/98	19000	<62	<1	6,7	78	76	76000	5800	31	130	500	n.m.	n.m.
OR30FS11/98	55000	61	6,5	43	140	140	59000	5800	77	180	1400	n.m.	n.m.
OR31LE11/98	57000	61	6,6	30	130	170	53000	4000	70	210	850	n.m.	n.m.
OR32KK11/98	23000	<44	17	17	250	200	73000	11000	48	160	1100	n.m.	n.m.
OT32WA11/98	17000	<103	18	9,3	150	160	95000	6700	54	180	670	n.m.	n.m.
OR33GC11/98	54000	65	10	39	190	150	70000	8900	72	180	1400	n.m.	n.m.
OR34HO11/98	68000	87	11	36	220	180	85000	7000	70	220	1500	n.m.	n.m.
OT34HW11/98	28000	<42	2,6	10	110	340	100000	6400	39	160	850	n.m.	n.m.
OR35SK11/98	51000	51	10	37	150	140	57000	7100	71	170	1100	n.m.	n.m.
OR36WI11/98	56000	61	7,6	40	150	120	57000	7200	77	180	910	n.m.	n.m.
OT36HF11/98	28000	89	8,4	13	100	180	110000	7200	43	170	720	n.m.	n.m.
Kampagne 6/99													
OR26PO6/99	21360	96,9	6,38	n.m.	128	69,8	26980	4480	82,7	122	1487	n.m.	n.m.
OT27NE6/99	46510	33,3	4,84	45,9	110	105	69840	4980	74,4	126	932	15,6	14,4
OT28OS6/99	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR28EI6/99	37090	43,0	5,23	23,0	97,5	130	44770	7130	62,3	152	1209	8,75	9,21
OR29AU6/99	35300	38,3	5,27	22,6	98,2	125	41690	6700	61,3	171	1118	8,63	8,95
OT30BR6/99	24800	18,0	<3,5	8,10	69,6	84,1	63960	21770	60,8	136	855	9,89	7,42
OT31IL6/99	23410	48,9	3,25	8,40	69,4	95,5	134610	12650	21,2	172	644	11,9	7,23
OR30FS6/99	34920	41,8	5,04	22,8	96,3	120	45270	7140	60,3	168	1122	10,0	9,71

	Spurenelemente im Schwebstoff												
PNUM	AL_P	AS_P	CD_P	CO_P	CR_P	CU_P	FE_P	MN_P	NI_P	PB_P	ZN_P	SC_P	GA_P
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
OR31LE6/99	31520	37,2	5,00	21,7	93,9	121	41000	6750	66,1	152	1128	10,7	8,61
OR32KK6/99	34440	53,1	5,30	26,8	112	23,7	41150	6830	66,3	156	1124	10,0	11,2
OT32WA6/99	13310	14,8	11,4	9,87	115	78,7	43870	11970	30,8	83,3	523	7,10	4,25
OR33GC6/99	17480	26,4	10,4	14,8	108	87,0	39120	11890	38,2	107	735	8,31	5,43
OR34HO6/99	27680	26,4	9,10	18,2	114	102	43110	14410	48,2	134	902	12,9	8,02
OT34HW6/99	32510	25,6	<5,1	12,5	126	348	107180	21440	42,8	166	1338	16,5	9,49
OR35SK6/99	22590	24,6	6,60	15,0	75,4	75,4	34820	8930	43,2	140	847	8,74	6,97
OR36WI6/99	21750	24,4	5,95	17,7	87,0	84,4	36600	9590	53,0	112	884	6,60	5,96
OT36HF6/99	42650	59,2	<6,8	16,3	142	340	110880	17140	83,7	156	1082	31,3	14,4
Kampagne 5/00													
OR26PO5/00	57800	136	8,39	28,5	412	202	66590	18130	86,3	304	1357	n.m.	9,89
OT27NE5/00	32810	39,3	5,60	18,2	99,3	72,6	35470	6690	63,3	198	1130	n.m.	6,48
OT28OS5/00	6940	40,8	4,22	47,5	141	66,7	60990	5890	167	103	793	n.m.	14,4
OR28EI5/00	28120	32,1	4,83	16,0	88,7	64,6	30070	6070	56,4	171	1024	n.m.	5,45
OR29AU5/00	33950	35,5	9,00	19,7	125	62,6	35890	6790	63,0	162	1347	n.m.	8,06
OT30BR5/00	18470	17,2	7,65	7,66	167	4,25	46880	52430	32,4	85,4	915	n.m.	5,73
OT31IL5/00	15800	28,1	4,70	4,85	55,2	42,3	72060	7600	18,3	78,7	336	n.m.	3,13
OR30FS5/00	27540	36,5	5,63	17,9	111	55,6	30640	6570	63,0	145	1258	n.m.	6,58
OR31LE5/00	25680	33,5	5,22	15,8	85,4	53,3	32940	6040	53,6	144	1121	n.m.	6,14
OR32KK5/00	25080	28,1	4,18	14,7	64,8	56,8	26310	5830	50,9	156	893	n.m.	4,76
OT32WA5/00	12430	8,65	9,70	4,38	80,3	64,0	26260	8820	27,5	42,0	315	n.m.	2,48
OR33GC5/00	16870	11,8	5,37	7,65	82,1	55,5	25070	7650	31,9	51,7	464	n.m.	3,14
OR34HO5/00	22430	15,2	36,0	10,2	72,3	66,2	28080	8020	38,3	62,5	748	n.m.	4,08
OT34HW5/00	26210	13,4	2,56	6,94	108	182	61220	12430	26,2	75,5	468	n.m.	4,76
OR35SK5/00	19330	21,9	3,80	8,40	72,5	53,0	29990	7650	29,7	128	629	n.m.	3,77
OR36WI5/00	19310	19,3	4,68	9,6	55,3	38,2	23480	6420	36,7	57,2	675	n.m.	3,59
OT36HF5/00	20160	31,1	2,01	5,38	109	63,6	36750	7280	33,4	52,6	362	n.m.	3,67
OR37GA5/00	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR38ME5/00	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT42KB5/00	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
AQS-Proben 5/98													
OR16MA5/98AQS-1	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR16MA5/98AQS-2	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR25KO5/98AQS-1	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR25KO5/98AQS-2	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR26PO5/98AQS-1	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR26PO5/98AQS-2	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
AQS-Proben 11/98													
OR15BD11/98AQS-1	53000	47	7	25	130	100	52000	2900	64	110	900	n.m.	n.m.
OR15BD11/98AQS-2	49000	45	7	24	120	87	50000	2800	59	99	930	n.m.	n.m.
OR29AU11/98AQS-1	64000	64	6	46	160	150	68000	6400	77	180	1500	n.m.	n.m.
OR29AU11/98AQS-2	64000	58	5	44	150	120	63000	5900	77	180	1200	n.m.	n.m.
OT31IL11/98AQS-1	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT31IL11/98AQS-2	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR36WI11/98AQS-1	54000	51	8	37	170	130	61000	7300	65	170	1200	n.m.	n.m.
OR36WI11/98AQS-2	55000	49	7	37	170	130	59000	7200	63	170	1300	n.m.	n.m.
AQS-Proben 6/99													
OR15BD6/99AQS-1	41800	27,3	17,6	26,9	117	115	44340	7646	64,6	106	1211	n.m.	n.m.
OR15BD6/99AQS-2	44520	27,4	6,26	24,1	99,4	86,9	39510	6823	54,3	93,1	1025	n.m.	n.m.
OR29AU6/99AQS-1	30290	41,0	5,46	25,7	102	129	41130	6715	66,0	165	1143	n.m.	n.m.
OR29AU6/99AQS-2	35780	41,2	5,52	23,8	105	131	39240	5829	64,0	173	1113	n.m.	n.m.
OR36WI6/99AQS-1	16970	20,8	5,51	12,5	63,2	64,4	25630	7211	42,8	107	690	n.m.	n.m.
OR36WI6/99AQS-2	25820	20,4	6,25	15,9	89,7	66,0	33150	8043	54,3	122	939	n.m.	n.m.
AQS-Proben 5/00													
OR17SC5/00AQS-1	35810	23,9	6,2	15,2	103	59	36040	7280	50,6	54	807	n.m.	5,89
OR17SC5/00AQS-2	36150	24,1	5,19	16,3	106	61,3	38440	7140	50,6	52,0	1170	n.m.	6,13
OR29AU5/00AQS-1	18380	26,3	3,16	11,7	72,7	31,3	19810	4330	39,6	77,5	793	n.m.	4,24
OR29AU5/00AQS-2	24230	31,1	4,07	14,9	73	46,4	25400	5210	48,6	118	972	n.m.	5,33
OR36WI5/00AQS-1	21620	26,2	4,73	11,5	95,9	35,6	31100	11210	33	72,2	2030	n.m.	5,39
OR36WI5/00AQS-2	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

	Spurenelemente im Sediment <20µm													
PNUM	AL_S	AS_S	CD_S	CO_S	CR_S	CU_S	FE_S	MN_S	NI_S	PB_S	ZN_S	SC_S	HG_S	GA_S
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Kampagne 11/97														
OR26PO11/97	25700	99,4	7,3	27,3	119	238	62300	3150	56	201	1520	5,90	2,97	<5
OT27NE11/97	27200	85,7	7,8	28,6	130	252	61000	3200	62,6	213	1660	5,95	3,669	6,40
OT28OS11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR28EI11/97	26300	84,9	7,4	28,9	131	256	58700	3180	63,1	225	1680	5,91	3,639	5,04
OR29AU11/97	32900	51,9	5,5	25,4	156	196	53000	1720	64,4	202	1400	6,33	3,087	11,1
OT30BR11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT31IL11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR30FS11/97	31000	91,6	7,9	30,3	143	233	63000	3190	63,6	232	1800	6,10	3,635	5,73
OR31LE11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR32KK11/97	29400	90,8	5,2	29,5	138	235	60300	3200	65,5	232	1820	6,20	2,947	6,52
OT32WA11/97	20100	8,8	18,5	9,22	171	98,3	45400	1850	40,7	117	634	4,35	1,042	6,89
OR33GC11/97	22000	28,1	14,5	19,1	151	129	57700	3140	50	155	1030	4,50	2,111	<5
OR34HO11/97	24800	34,1	10	20,4	129	129	58900	3140	50,4	161	1120	5,33	1,828	5,40
OT34HW11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR35SK11/97	24400	41,9	7,8	22	109	122	52900	3160	50,5	155	1210	5,17	2,076	<5
OR36WI11/97	28000	31,3	10,6	28,3	99	108	50500	3100	56,5	333	1000	5,12	1,976	<5
OT36HF11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Kampagne 5/98														
OR26PO5/98	29600	73,5	9,6	24,4	116	192	55200	2640	59,7	157	1580	6,44	2,69	9,06
OT27NE5/98	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT28OS5/98	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR28EI5/98	30100	58,6	9,0	24,7	118	207	56400	2340	67,8	168	1490	6,7	5,498	11,6
OR29AU5/98	30200	58,3	8,8	24,8	112	178	55100	2760	60	164	1370	6,12	2,592	9,56
OT30BR5/98	23100	8,2	1,18	7,26	34,4	44,5	33300	3070	23	222	448	3,63	0,975	<5
OT31IL5/98	10900	16,8	0,62	5,53	22,1	52,2	53900	3110	11	100	277	2,33	2,554	<5
OR30FS5/98	31200	58	8,5	28,3	123	187	57900	3190	64,8	169	1580	6,06	2,927	9,99
OR31LE5/98	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR32KK5/98	18800	11,5	17,4	11,7	180	118	58300	3190	41,5	123	757	3,69	1,295	<5
OT32WA5/98	14500	13,6	10,2	8,53	110	144	52400	3100	33,3	155	499	2,93	0,484	<5
OR33GC5/98	23200	23,5	8,2	16,3	110	116	40900	3160	41,5	170	873	4,65	1,812	7,09
OR34HO5/98	26800	28	7,3	20,8	102	107	47800	3090	48,1	150	926	5,31	1,618	<5
OT34HW5/98	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR35SK5/98	26200	34,2	7,1	19	98,6	117	46200	2930	50,9	151	1070	5,07	2,454	7,23
OR36WI5/98	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT36HF5/98	21300	12,5	3,0	13,2	36,2	115	58600	3100	38,9	77,9	448	4,37	4,781	<5
Kampagne 11/98														
OR26PO11/98	27900	39,9	7,2	28,7	92,5	120	45400	3170	57,7	127	1120	5,92	2,234	5,07
OT27NE11/98	39300	22,3	3,3	36,6	82,2	79,5	40800	2130	62,4	87,2	581	5,74	0,857	12,4
OT28OS11/98	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR28EI11/98	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR29AU11/98	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT30BR11/98	22100	10,2	2,5	9,17	36,1	88,9	44300	2930	22,9	125	875	4,06	0,559	5,79
OT31IL11/98	12100	21	0,89	6,20	24,2	67,1	57500	3120	11,6	116	293	2,50	2,331	<5
OR30FS11/98	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR31LE11/98	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR32KK11/98	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT32WA11/98	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR33GC11/98	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR34HO11/98	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT34HW11/98	18300	10,0	1,6	9,11	35,4	226	64200	3110	26,5	81,4	526	4,20	6,326	<5
OR35SK11/98	28500	31,4	7,0	28	94,5	104	47100	3210	55,2	160	993	5,16	1,318	9,6
OR36WI11/98	24200	46,1	7,8	24,7	132	160	55400	3050	58,6	197	1370	4,95	1,677	<5
OT36HF11/98	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Kampagne 6/99														
OR26PO6/99	29400	48,4	8,2	26,1	123	159	52800	2810	59,8	167	1390	5,42	2,571	<5
OT27NE6/99	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT28OS6/99	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR28EI6/99	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR29AU6/99	28400	74,6	8,3	22,5	190	275	41800	1260	66,2	300	1550	4,9	3,978	<5
OT30BR6/99	21400	15,3	1,22	10,2	35,6	49,1	64600	2190	23,5	111	489	3,91	0,654	<5
OT31IL6/99	14100	20	0,9	7,05	29,2	53,8	46500	3000	14,4	100	313	2,61	2,214	<5
OR30FS6/99	29300	45,4	11,4	30	113	144	51600	2270	65,8	170	1380	5,37	2,689	<5

	Spurenelemente im Sediment <20µm													
PNUM	AL_S	AS_S	CD_S	CO_S	CR_S	CU_S	FE_S	MN_S	NI_S	PB_S	ZN_S	SC_S	HG_S	GA_S
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
OR31LE6/99	41000	21,9	11,3	21,5	89,3	72,8	45200	1650	50,3	93,5	570	7,79	0,918	<5
OR32KK6/99	31300	36,9	9,8	24,5	179	191	40700	1170	58,7	215	1250	4,94	3,185	6,14
OT32WA6/99	20700	15,1	20,5	12,2	176	118	52000	4670	40,2	118	673	3,61	0,794	<5
OR33GC6/99	24600	26,3	13,3	19,5	143	111	42600	2610	46	140	867	4,15	1,65	<5
OR34HO6/99	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT34HW6/99	23500	14,1	2,8	10,9	47,2	254	74600	5810	30,2	95,7	640	4,92	6,751	<5
OR35SK6/99	26200	33,7	11,1	22,6	121	124	51900	3770	51,4	177	1220	4,72	1,882	<5
OR36WI6/99	23000	38,4	12,2	20,8	107	170	43600	3390	51,6	180	1230	4,21	2,843	<5
OT36HF6/99	26300	28,5	1,25	13,8	43,8	88,4	59500	12900	38,4	78,2	366	4,81	2,685	<5
Kampagne 5/00														
OR26PO5/00	27800	39,8	7,46	25,1	108	157	50000	3250	57,3	162	1310	n.m.	2,92	n.m.
OT27NE5/00	36900	26,8	3,34	40,7	112	89,3	49200	1620	68	107	689	n.m.	0,79	n.m.
OT28OS5/00	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR28EI5/00	31600	41,4	6,49	27,4	96,3	116	49800	2660	52,5	212	1340	n.m.	2,068	n.m.
OR29AU5/00	32700	93,6	9,03	21,2	237	695	48230	1460	93,8	746	2059	n.m.	5,883	10,3
OT30BR5/00	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT31IL5/00	13600	20,5	1,04	4,91	26,9	62,4	61000	4230	11,9	106	352	n.m.	1,658	n.m.
OR30FS5/00	27100	40,1	7,39	24,2	101	130	45000	1370	61,8	146	1270	n.m.	1,822	n.m.
OR31LE5/00	29000	52	5,71	34,8	114	147	52000	4100	65,9	200	1380	n.m.	2,494	n.m.
OR32KK5/00	31500	60,3	5,56	28,9	145	170	48200	1870	68,3	207	1450	n.m.	4,533	n.m.
OT32WA5/00	19500	12,4	16,7	10,6	166	115	52500	6020	34,8	116	637	n.m.	0,995	n.m.
OR33GC5/00	21100	14,8	5,9	14,1	75,9	94,3	40200	3130	34,8	163	608	n.m.	0,961	n.m.
OR34HO5/00	25300	17,5	7,43	17,9	109	113	43400	2680	42,7	167	938	n.m.	1,647	n.m.
OT34HW5/00	29900	15,3	1,13	13,5	61,1	153	69500	5820	31,3	108	500	n.m.	2,074	n.m.
OR35SK5/00	26400	30	8,55	21,4	108	121	49900	3700	49,2	163	1160	n.m.	1,586	n.m.
OR36WI5/00	23300	32,1	8,9	21	106	131	43900	2090	52,4	176	1160	n.m.	1,854	n.m.
OT36HF5/00	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR37GA5/00	27200	55,0	21,3	19,0	223	255	60460	4380	77,5	358	1910	n.m.	3,309	11,3
OR38ME5/00	25330	33,1	7,9	17,4	100	103	54530	6280	52,3	152	1050	n.m.	1,668	<10
OT42KB5/00	28380	48,1	22,6	14,1	187	195	51590	5000	70,7	210	1570	n.m.	2,765	<10
AQS-Proben 5/98														
OR16MA5/98AQS-1	34150	22,7	3,8	16,6	156	94,9	50300	736	58,1	92,4	1415	6,8	1,445	8,7
OR16MA5/98AQS-2	34850	23,1	6,4	22,5	124	92,8	47050	1120	62,3	90,4	1305	7,0	1,415	5,8
OR25KO5/98AQS-1	32700	53,1	6,2	22,8	147	196	53100	1505	60,4	181	1565	6,2	4,794	11,9
OR25KO5/98AQS-2	30450	50,1	6,4	20,9	162	214	48850	1515	57,6	187	1410	5,4	4,807	9,8
OR26PO5/98AQS-1	31500	60,3	9,2	24,7	122	194	54950	2405	60,2	162	1460	6,0	3,295	7,5
OR26PO5/98AQS-2	31050	59,5	9,6	25,0	127	197	55750	2705	60,8	169	1515	5,4	2,678	8,4
AQS-Proben 11/98														
OR15BD11/98AQS-1	33350	26,1	7,7	20,1	98,2	82,2	44350	1560	53,5	91,5	1310	5,8	1,25	10,1
OR15BD11/98AQS-2	34850	29,2	7,9	20,3	95,0	83,4	44400	1455	54,5	92,2	1275	6,7	1,179	11,4
OR29AU11/98AQS-1	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR29AU11/98AQS-2	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT31IL11/98AQS-1	12500	20,4	0,84	6,6	24,2	69,0	54850	2985	11,1	123	303	2,2	2,672	5,4
OT31IL11/98AQS-2	12300	19,3	0,79	6,0	24,5	53,1	57850	4000	11,7	111	289	2,2	2,183	<5
OR36WI11/98AQS-1	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR36WI11/98AQS-2	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
AQS-Proben 6/99														
OR15BD6/99AQS-1	34800	29	8,6	23	133	101	48000	1140	64,9	119	1490	7,55	2,271	9,5
OR15BD6/99AQS-2	36100	30,1	7,2	24,3	129	93,6	49800	1480	66	114	1470	7,87	2,027	8,7
OR29AU6/99AQS-1	34400	54,3	7,3	27,1	183	211	53200	1710	73,4	230	1630	6,54	2,972	8,5
OR29AU6/99AQS-2	34550	51,2	7	23,25	181,5	202	47350	1265	67,4	218	1590	6,37	3,025	8,1
OR36WI6/99AQS-1	23600	30,9	9,9	20,3	100	184	46000	4060	54	202	1290	4,58	1,757	<5
OR36WI6/99AQS-2	27200	34,25	8,92	21,5	109	177	49000	4405	55,65	199,5	1420	5,12	2,24	<5
AQS-Proben 5/00														
OR17SC5/00AQS-1	25600	106	10,9	25,4	264	462	49500	1080	90,4	549	2080	n.m.	8,83	n.m.
OR17SC5/00AQS-2	33400	31,6	7,27	22	99,5	90	48400	1500	54,4	100	1080	n.m.	1,815	n.m.
OR29AU5/00AQS-1	29400	73,2	10,2	27,6	180	334	54000	2320	74,8	380	1780	n.m.	3,857	n.m.
OR29AU5/00AQS-2	33200	29,8	7,55	22,4	104	93	48700	1520	54,8	97,7	1090	n.m.	2,455	n.m.
OR36WI5/00AQS-1	22000	25,3	8,09	18,3	92,4	106	40600	1930	53,9	136	950	n.m.	1,655	n.m.
OR36WI5/00AQS-2	23400	28,9	8,7	20,4	100	115	43400	2120	64,1	158	1050	n.m.	1,638	n.m.

	Glühverlust und C, N, S im Sediment <20µm			
PNUM	GV_S	C_S	N_S	S_S
	%	%	%	%
Kampagne 11/97				
OR26PO11/97	17,9	7,42	0,763	0,515
OT27NE11/97	20,5	8,65	0,865	0,576
OT28OS11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR28EI11/97	21,1	8,82	0,847	0,523
OR29AU11/97	20,0	8,31	0,818	0,578
OT30BR11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT31IL11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR30FS11/97	20,1	8,35	0,840	0,554
OR31LE11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR32KK11/97	17,9	6,76	0,636	0,393
OT32WA11/97	34,1	15,00	1,670	1,140
OR33GC11/97	30,8	13,60	1,360	0,905
OR34HO11/97	25,4	10,80	1,160	0,694
OT34HW11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR35SK11/97	23,9	9,66	1,020	0,774
OR36WI11/97	27,3	11,50	1,270	0,788
OT36HF11/97	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Kampagne 5/98				
OR26PO5/98	18,3	7,02	0,779	0,460
OT27NE5/98	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT28OS5/98	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR28EI5/98	17,5	6,85	0,729	0,450
OR29AU5/98	17,8	6,87	0,698	0,437
OT30BR5/98	26,7	15,80	1,580	0,554
OT31IL5/98	39,4	19,20	1,580	1,620
OR30FS5/98	19,6	7,47	0,811	0,433
OR31LE5/98	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR32KK5/98	33,1	14,70	1,570	0,961
OT32WA5/98	35,6	15,00	1,740	0,875
OR33GC5/98	23,3	10,60	0,943	0,404
OR34HO5/98	22,6	9,03	0,945	0,458
OT34HW5/98	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR35SK5/98	24,2	9,53	1,080	0,462
OR36WI5/98	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT36HF5/98	31,3	12,90	1,270	0,726
Kampagne 11/98				
OR26PO11/98	16,5	5,82	0,639	0,349
OT27NE11/98	19,1	6,12	0,528	0,245
OT28OS11/98	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR28EI11/98	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR29AU11/98	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT30BR11/98	31,6	13,60	1,220	1,300
OT31IL11/98	37,5	17,70	1,440	3,490
OR30FS11/98	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR31LE11/98	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR32KK11/98	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT32WA11/98	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR33GC11/98	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR34HO11/98	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT34HW11/98	23,7	8,68	0,952	0,758
OR35SK11/98	23,1	8,49	0,858	0,361
OR36WI11/98	23,3	8,72	0,894	0,366
OT36HF11/98	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Kampagne 6/99				
OR26PO6/99	13,4	7,05	0,756	0,541
OT27NE6/99	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT28OS6/99	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR28EI6/99	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR29AU6/99	22,3	7,13	0,722	0,574
OT30BR6/99	22,3	11,20	0,871	5,180
OT31IL6/99	31,8	17,40	1,450	1,850
OR30FS6/99	11,1	7,42	0,820	0,714

	Glühverlust und C, N, S im Sediment <20µm			
PNUM	GV_S	C_S	N_S	S_S
	%	%	%	%
OR31LE6/99	9,4	2,55	0,271	0,125
OR32KK6/99	18,2	7,45	0,728	0,349
OT32WA6/99	22,6	12,90	1,420	1,370
OR33GC6/99	19,0	10,30	1,130	0,677
OR34HO6/99	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT34HW6/99	15,6	7,86	0,788	0,867
OR35SK6/99	17,3	9,57	1,090	0,824
OR36WI6/99	20,0	10,70	1,160	1,660
OT36HF6/99	22,6	11,10	1,170	0,427
Kampagne 5/00				
OR26PO5/00	18,8	6,59	0,757	0,474
OT27NE5/00	20,7	6,86	0,595	0,322
OT28OS5/00	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR28EI5/00	20,7	7,49	0,696	0,439
OR29AU5/00	21,7	7,38	0,636	0,552
OT30BR5/00	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT31IL5/00	45,1	20,00	1,760	1,510
OR30FS5/00	21,8	7,76	0,963	0,681
OR31LE5/00	22,9	8,04	0,837	0,383
OR32KK5/00	23,9	7,94	0,790	0,499
OT32WA5/00	34,8	13,40	1,540	1,180
OR33GC5/00	29,7	12,00	1,220	0,523
OR34HO5/00	29,7	11,20	1,190	0,740
OT34HW5/00	20,4	6,01	0,650	0,595
OR35SK5/00	25,6	9,55	1,100	0,887
OR36WI5/00	26,7	10,30	1,190	1,890
OT36HF5/00	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR37GA5/00	26,2	11,00	0,978	1,440
OR38ME5/00	26,7	10,30	1,190	0,692
OT42KB5/00	24,4	9,32	0,938	0,941
AQS-Proben 5/98				
OR16MA5/98AQS-1	15,8	5,18	0,494	0,304
OR16MA5/98AQS-2	17,0	5,60	0,706	0,434
OR25KO5/98AQS-1	18,4	6,74	0,698	0,375
OR25KO5/98AQS-2	18,7	7,32	0,764	0,369
OR26PO5/98AQS-1	19,1	7,10	0,783	0,459
OR26PO5/98AQS-2	18,7	7,11	0,795	0,451
AQS-Proben 11/98				
OR15BD11/98AQS-1	14,6	4,80	0,512	0,339
OR15BD11/98AQS-2	14,6	4,91	0,529	0,354
OR29AU11/98AQS-1	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR29AU11/98AQS-2	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OT31IL11/98AQS-1	38,9	18,80	1,500	3,300
OT31IL11/98AQS-2	37,9	18,80	1,520	2,860
OR36WI11/98AQS-1	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
OR36WI11/98AQS-2	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
AQS-Proben 6/99				
OR15BD6/99AQS-1	9,9	5,38	0,564	0,470
OR15BD6/99AQS-2	15,1	4,82	0,508	0,482
OR29AU6/99AQS-1	20,5	7,24	0,756	0,510
OR29AU6/99AQS-2	19,3	6,96	0,711	0,468
OR36WI6/99AQS-1	25,1	10,80	1,140	1,390
OR36WI6/99AQS-2	23,7	9,90	1,060	1,310
AQS-Proben 5/00				
OR17SC5/00AQS-1	21,3	7,63	0,652	0,508
OR17SC5/00AQS-2	15,5	4,60	0,482	0,644
OR29AU5/00AQS-1	23,5	7,85	0,738	0,582
OR29AU5/00AQS-2	16,0	4,87	0,500	0,546
OR36WI5/00AQS-1	29,2	10,80	1,180	1,620
OR36WI5/00AQS-2	28,4	11,10	1,290	1,700

Anlage 6

Daten für die Polder des Unteren Odertales

6-1: Schematisches Profil GATOW

Teufe [cm]	Nr.	Farbe, bergfeucht	Besonderheiten makroskopisch, Altersbestimmg.	Besonderheiten mikroskopisch
0-3	**1**	dunkelbraun	stark durchwurzelt	Ch, Sk
3-8	**2**	grau-braun	stark durchwurzelt	Ch, Oct (vereinzelt)
8-13	**3**		durchwurzelt, Fe-fleckig	Ch, Oct (vereinzelt)
13-18	**4**		durchwurzelt, Ziegelstück (1,5 cm)	Ch, Oct
18-23	**5**		Fe-fleckig	Ch, Oct,
23-28	**6**		Fe-fleckig	Ch, Oct,
28-33	**7**	braun-grau	Fe-fleckig	Ch, Oct
33-38	**8**		Fe-fleckig	Ch, N, Oct
38-43	**9**		Fe-fleckig	Ch, Oct
43-48	**10**	braun-grau	Fe-fleckig	Oct (vereinzelt)
48-53	**11**	grünlich-schwarz	Fe-fleckig, schwarzfleckig	Ch (viel), N, Oct (vereinzelt)
53-58	**12**	schwarz-braun	Fe-fleckig	Ch (viel), N, schwarze + graue Tonpartikel
58-60		**keine Probe**		
60-75	**13**	schwarz-braun	Wurzelreste	Oct, schwarze + graue Tonpartikel, aber mehr schwarze
75-90	**14**	schwarz-braun	sehr wenig Wurzel-reste, Fe-Konkretionen	Ch (viel), schwarze + graue Tonpartikel, aber mehr schwarze, H
90-105	**15**	schwarz-braun	Holzstücke *(413 BC)*	Ch, schwarze + graue Tonpartikel, aber mehr schwarze, H, Oct, Sk
105-120	**22**	dunkelbraun, schwärzlich	Holzstücke *(407 BC)*	Ch (viel), schwarze + graue Tonpartikel, aber mehr schwarze, Sk
120-135	**16**	grau-blau, schwärzlich	Holzstücke, *(1822 BC)* Pflanzenfasern	Ch (viel), schwarze + graue Tonpartikel, aber mehr schwarze, H, D
135-150	**17**	blau-grau. schwärzlich	Holzstücke *(519 BC)*	Ch (viel), schwarze + graue Tonpartikel, aber mehr schwarze, H, D, Sk
150-170	**18/19**		Pflanzenfasern	Ch (viel), schwarze + graue Tonpartikel, aber mehr schwarze, H, Sk
170-185	**20**		Holzstücke *(409 BC)*	Ch (viel), schwarze + graue Tonpartikel, aber mehr schwarze, Hk
185-200	**21**		Holzstücke *(2130,2 BC)*	Ch (viel), schwarze + graue Tonpartikel, aber mehr schwarze, Hk

6-1: Schematisches Profil SCHWEDT

Teufe [cm]	Nr.	Farbe, bergfeucht	Besonderheiten makroskopisch	Besonderheiten mikroskopisch
0-3	**1**	dunkelbraun	stark durchwurzelt	Ch, Schn
3-8	**2**	dunkelbraun	stark durchwurzelt	Ch, Oct (vereinzelt), Quarzkörnchen
8-13	**3**	dunkelbraun	durchwurzelt	Ch, Oct (vereinzelt)
13-18	**4**	dunkelbraun	durchwurzelt, ein größeres Quarzitkorn (4mm)	Ch, Oct
18-23	**5**	dunkelbraun-grau	leicht durchwurzelt,	Ch, Oct, , verockerte Wurzelröhrchen
23-28	**6**	dunkelbraun-grau	wenig durchwurzelt	Ch, Oct,
28-33	**7**	braun-grau	wenig durchwurzelt	Ch, Oct, Ziegelstücke
33-38	**8**	braun-grau	wenig durchwurzelt	Ch, Oct
38-43	**9**	braun-grau	schwach durchwurzelt	Ch, Oct
43-48	**10**	braun-grau	schwach durchwurzelt	Oct (stark)
48-53	**11**	braun-grau	schwach durchwurzelt	Oct (stark)
53-58	**12**	grau-braun	Wurzelreste, Fe-Konkretionen	Ch
58-68	**20**	grau-braun	Wurzelreste	Oct
68-88	**13**	grau-braun	sehr wenig Wurzel-reste, Fe-Konkretionen	Ch (viel), D, H, Hk, N, Ziegelstücke, Vivianit
88-104	**14**	braun, etwas schwarz	Ziegelsteine (1 cm), kleine, schwarze Holzreste	Ch (viel), Hk, Sk, Ziegelstücke (viel)
104-108	**15**	braun-grau, bläulich	versteinerte, kleine Wurzelröhrchen (8 mm, Ziegelpartikel	Ch (viel), D, Schn, Ziegelstücke, Vivianit
108-128	**16**	grau-blau, schwärzlich	Schalenreste (Bythinia Leachi) kleine, schwarze Holzreste	Ch (viel),D, Schn, wenige Ziegelreste, Vivianit
128-148	**17**	blau-grau. schwärzlich	weiße Partikel, nicht mit HCl reagierend	Oct (wenig), wenig Ziegelstücke
148-168	**18/19**	blau-grau	Schalenreste, kleine, schwarze Holzreste, faserig	D, H, Hk, Oct (wenig), Schn, Sk

6-1: Schematisches Profil CRIEWEN

Teufe [cm]	**Nr.**	**Farbe, bergfeucht**	**Besonderheiten Makroskopisch, *Altersbestimmung***	**Besonderheiten mikroskopisch**
0-5	**1**	dunkelbraun	stark durchwurzelt	Ch
5-10	**2**	dunkelbraun	stark durchwurzelt	Oct
10-15	**3**	dunkelbraun	durchwurzelt	Oct, Schn, Sk, Ch
15-20	**4**	dunkelbraun	durchwurzelt	Ch, Oct
20-25	**5**	dunkelbraun	durchwurzelt	Ch, Oct, Hk
25-30	**6**	dunkelbraun	wenig durchwurzelt	Ch, Oct , Hk
30-35	**7**	dunkelbraun	wenig durchwurzelt	Ch, Oct, Hk
35-40	**8**	grau-blau	wenig durchwurzelt, Holz, Fe-Konkretionen	
40-45	**9**	blau-grau	schwach durchwurzelt, Fe-Konkretionen	Ch
45-50	**10**	blau-grau	schwach durchwurzelt, Fe-Konkretionen	N
50-55	**11**	blau-grau	schwach durchwurzelt, Fe-Konkretionen	N
55-60	**12**	braun-grau	Wurzelreste, viele Fe-Konkretionen	Oct
60-65	**20**	blau-grau	Wurzelreste, viele Fe-Konkretionen	Oct
65-70	**21**	blau-grau	sehr wenig Wurzelreste, viele Fe-Konkretionen	Ch, D
70-75	**22**	grau-braun	viele Fe-Konkretionen	Oct
75-82	**23**	grau-braun	Fe-Konkretionen	D, Oct
82-99	**24/13**	blau-grau-braun	Fe-Konkretionen, Holz (***Probe 13: 291,3 AD)***	D (viel), Hk, N, Schn
99-117	**15**	blau-grau-braun	Fe-Konkretionen, Holz *(407 BC)*	D, Hk
117-135	**16**	blau-grau	Holz	
135-145	**17**	blau-grau/braun		Schn
145-158	**18**	blau-grau/braun		Ch

6-1: Schematisches Profil STOLPE

Teufe in m	Proben-Nr.	Farbe, bergfeucht	Besonderheiten makroskopisch	Besonderheiten mikroskopisch
0-5	**1**	dunkelbraun	stark durchwurzelt	Oct, Sk
5-10	**2**	dunkelbraun	stark durchwurzelt	Oct, Sk
10-20	**3**	dunkelbraun	stark durchwurzelt	Ch, Oct, Sk
20-30	**4**	grau-braun	durchwurzelt, Fe-Konkretionen	
30-40	**5**	grau-braun	durchwurzelt, Fe-Konkretionen hart	wenig Oct, Schn
40-50	**6**	grau-braun	durchwurzelt, Fe-Konkretionen	wenig Oct, Schn
50-60	**7**	grau-braun	durchwurzelt, Fe-Konkretionen hart und größer 1cm	wenig Oct, Schn
60-70	**8**	grau-braun	durchwurzelt, Fe-Konkretionen hart und größer 1cm	H, Ch
70-80	**9**	grau-braun	durchwurzelt, Fe-Konkretionen	viel Oct,
80-85	**10**	grau-braun, aber stärker grau	durchwurzelt, Fe-Konkretionen	Oct,
85-90	**11**	grau	Fe-Konkretionen, wenig Wurzeln	Oct, Glim. Glaukonitkorn?
90-95	**12**	grau	Fe-Konkretionen, wenig Wurzeln	Hk, Glim Glaukonitkorn?
95-100	**13**	grau	Fe-Konkretionen	Hk, Glim
100-120		**keine Probe**		
120-130	**14**	dunkelbraun, rostig		

Abkürzungen:

AD	nach Christus (Anno Domini)
BC	vor (before) Christus
Ch	Chitinreste, z.B. von Käferflügeln
D	Drahtstücke
Glim	Glimmerpartikel
H	Holz
Hk	Holzkohle
N	Schwammnadeln (Skleren)
Oct	verockerte Partikel
Schn	Schnecken bzw. Schnecken,- u. Muschelschalenreste
Sk	Samenkapseln von Pflanzen

6-2: Gatow: RFA-Analysendaten der Korngrößenfraktion < 2000 µm, glühverlustkorrigierte Hauptelemente

Nr.	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
g 1	nicht analysiert									
g 2	73,7	13,7	6,63	0,07	1,01	1,39	0,32	1,89	0,72	0,521
g 3	nicht analysiert									
g 4	70,2	15,2	8,52	0,18	1,11	1,19	0,34	2,15	0,80	0,354
g 5	69,3	15,4	9,16	0,20	1,11	1,18	0,32	2,20	0,81	0,409
g 6	68,9	15,7	9,02	0,21	1,15	1,19	0,34	2,25	0,82	0,386
g 7	68,4	16,2	9,19	0,18	1,17	1,20	0,24	2,27	0,82	0,365
g 8	69,0	16,3	8,54	0,12	1,13	1,18	0,22	2,30	0,81	0,391
g 9	70,8	17,2	6,04	0,07	1,09	1,20	0,23	2,29	0,81	0,227
g 10	70,7	18,1	5,19	0,05	1,13	1,43	0,22	2,25	0,82	0,167
g 11	70,0	18,5	5,52	0,05	1,15	1,56	0,15	2,13	0,83	0,190
g 12	69,3	18,7	5,79	0,05	1,14	1,78	0,20	1,99	0,85	0,230
g 13	69,6	17,4	6,29	0,09	1,06	2,20	0,17	2,14	0,87	0,171
g 14	67,6	17,4	7,59	0,13	1,05	3,13	< 0,10	2,06	0,85	0,246
g 15	66,4	17,7	8,11	0,14	1,12	3,46	< 0,10	2,01	0,84	0,231
g 22	63,4	17,3	9,97	0,21	1,13	4,92	< 0,10	1,97	0,84	0,247
g 16	nicht analysiert									
g 17	68,0	18,5	6,80	0,08	1,17	1,94	0,19	2,28	0,87	0,162
g 18	66,7	18,5	7,56	0,10	1,22	2,63	< 0,10	2,29	0,90	0,187
g 19	66,7	18,6	7,42	0,09	1,16	2,30	0,36	2,33	0,88	0,179
g 20	64,6	17,8	9,34	0,15	1,16	3,69	< 0,10	2,17	0,85	0,212
g 21	64,2	17,6	9,46	0,14	1,17	3,95	< 0,10	2,27	0,88	0,224

6-2: Gatow: RFA-Analysendaten der Korngrößenfraktion < 2000 µm, Hauptelemente einschließlich Glühverlust

Nr.	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
g 1	nicht analysiert									
g 2	62,3	11,6	5,6	0,061	0,85	1,17	0,27	1,6	0,61	0,440
g 3	nicht analysiert									
g 4	62,0	13,4	7,53	0,158	0,98	1,05	0,30	1,9	0,71	0,313
g 5	61,1	13,6	8,08	0,178	0,98	1,04	0,28	1,94	0,71	0,361
g 6	61,4	14,0	8,05	0,188	1,03	1,06	0,30	2,01	0,73	0,344
g 7	60,3	14,3	8,11	0,159	1,03	1,06	0,21	2,0	0,72	0,322
g 8	60,4	14,3	7,48	0,106	0,99	1,03	0,19	2,01	0,71	0,342
g 9	62,4	15,1	5,32	0,066	0,96	1,06	0,20	2,02	0,71	0,200
g 10	60,9	15,6	4,47	0,039	0,97	1,23	0,19	1,94	0,71	0,144
g 11	59,1	15,6	4,66	0,040	0,97	1,32	0,13	1,8	0,70	0,160
g 12	56,3	15,2	4,7	0,043	0,93	1,45	0,16	1,62	0,69	0,187
g 13	51,8	13,0	4,68	0,065	0,79	1,64	0,13	1,59	0,65	0,127
g 14	44,5	11,5	5,0	0,086	0,69	2,06	< 0,10	1,36	0,56	0,162
g 15	43,3	11,6	5,29	0,093	0,73	2,26	< 0,10	1,31	0,55	0,151
g 22	34,1	9,3	5,37	0,115	0,61	2,65	< 0,10	1,06	0,45	0,133
g 16	nicht analysiert									
g 17	53,3	14,5	5,33	0,061	0,92	1,52	0,15	1,79	0,68	0,127
g 18	46,6	12,9	5,28	0,070	0,85	1,84	< 0,10	1,6	0,63	0,131
g 19	47,6	13,2	5,29	0,066	0,83	1,64	0,26	1,66	0,63	0,128
g 20	38,0	10,5	5,5	0,086	0,68	2,17	< 0,10	1,28	0,50	0,125
g 21	37,3	10,2	5,49	0,084	0,68	2,29	< 0,10	1,32	0,51	0,130

6-2: Gatow: RFA-Analysendaten der Korngrößenfraktion < 2000 µm, glühverlustkorrigierte Spurenelemente

Nr.	As	Ba	Ce	Co	Cr	Cu	Ga	Hf	La	Mo
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
g 1	nicht analysiert									
g 2	31,9	809	99,1	13,0	136	170	16,5	15,3	34,2	< 2
g 3	nicht analysiert									
g 4	11,3	611	91,5	22,6	116	84,8	18,1	7,9	23,7	< 2
g 5	27,1	611	70,1	21,5	116	120	18,1	7,9	36,2	< 2
g 6	16,8	603	87,4	22,4	109	33,6	21,3	7,8	35,8	< 2
g 7	24,9	559	99,4	18,1	115	73,5	22,6	6,8	29,4	< 2
g 8	19,2	573	93,8	17,0	122	107	19,2	6,8	35,0	< 2
g 9	21,7	601	95,8	13,7	127	86,6	26,2	6,8	35,3	< 2
g 10	24,4	681	84,7	11,6	125	85,8	24,4	7,0	30,2	< 2
g 11	22,4	789	103	14,2	131	120	22,4	10,6	62,5	< 2
g 12	18,5	893	98,4	11,1	143	118	33,2	11,1	44,3	< 2
g 13	21,4	780	102	17,4	131	89,8	20,1	30,8	59,0	< 2
g 14	21,0	806	116	24,0	140	82,5	21,0	27,0	31,5	< 2
g 15	24,5	884	107	16,8	144	139	21,4	26,0	41,3	< 2
g 22	16,7	936	141	24,1	154	216	18,5	33,3	48,1	< 2
g 16	nicht analysiert									
g 17	27,7	827	85,7	10,1	129	105	21,4	13,9	49,1	< 2
g 18	22,7	973	132	14,2	142	129	27,0	17,0	45,4	< 2
g 19	34,0	906	105	13,6	131	159	27,2	20,4	35,4	< 2
g 20	20,4	961	148	27,2	151	131	17,0	25,5	39,1	< 2
g 21	22,4	1.025	120	22,4	150	217	24,1	22,4	56,8	< 2

6-2: Gatow: RFA-Analysendaten der Korngrößenfraktion < 2000 µm, Spurenelemente einschließlich Glühverlust

Nr.	As	Ba	Ce	Co	Cr	Cu	Ga	Hf	La	Mo
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
g 1	nicht analysiert									
g 2	27	686	84	11	115	144	14	13	29	<2
g 3	nicht analysiert									
g 4	10	541	81	20	103	75	16	7	21	<2
g 5	24	541	62	19	103	106	16	7	32	<2
g 6	15	538	78	20	97	30	19	7	32	4
g 7	22	495	88	16	102	65	20	6	26	2
g 8	17	507	83	15	108	95	17	6	31	<2
g 9	19	527	84	12	111	76	23	6	31	2
g 10	21	587	10	10	108	74	21	6	26	<2
g 11	19	669	87	12	111	102	19	9	53	<2
g 12	15	726	80	9	116	96	27	9	36	<2
g 13	21	582	76	13	98	67	15	23	44	2
g 14	14	537	77	16	93	55	14	18	21	<2
g 15	16	578	70	11	94	91	14	17	27	<2
g 22	9	506	76	13	83	117	10	18	26	<2
g 16	nicht analysiert									
g 17	22	656	68	8	102	83	17	11	39	2
g 18	16	685	93	10	100	91	19	12	32	<2
g 19	25	666	77	10	96	117	20	15	26	<2
g 20	12	565	87	16	89	77	10	15	23	<2
g 21	13	596	70	13	87	126	14	13	33	<2

6-2: Gatow: RFA-Analysendaten der Korngrößenfraktion < 2000 µm, glühverlustkorrigierte Spurenelemente

Nr.	Nb	Nd	Ni	Pb	Rb	Sc	Sm	Sr	Th
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
g 1	nicht analysiert								
g 2	15,3	36,6	53,1	140	75,5	14,2	5,9	122	7,08
g 3	nicht analysiert								
g 4	17,0	46,3	44,1	41,8	83,6	18,1	6,8	103	10,2
g 5	14,7	38,4	53,1	37,3	94,9	13,6	7,9	101	10,2
g 6	17,9	42,6	49,3	39,2	102	17,9	6,7	104	6,7
g 7	17,0	44,1	48,6	30,5	106	21,5	7,9	99,4	13,6
g 8	15,8	49,7	54,2	29,4	105	15,8	7,9	91,5	10,2
g 9	18,2	46,7	51,3	31,9	109	19,4	6,8	92,3	9,1
g 10	15,1	46,4	58,0	34,8	104	30,2	8,1	99,8	11,6
g 11	16,5	54,3	67,3	46,0	99,1	20,1	8,3	106	10,6
g 12	17,2	51,7	68,9	43,1	86,1	27,1	7,4	109	14,8
g 13	17,4	56,3	68,3	22,8	89,8	25,5	6,7	121	< 5
g 14	18,0	57,0	82,5	24,0	87,0	22,5	9,0	129	12,0
g 15	16,8	47,4	85,7	< 10	84,2	27,5	9,2	132	18,4
g 22	18,5	81,4	102	27,8	75,9	27,8	11,1	152	22,2
g 16	nicht analysiert								
g 17	17,6	49,1	71,8	35,3	97,0	25,2	7,6	111	12,6
g 18	15,6	75,3	75,3	< 10	89,5	31,2	9,9	107	27,0
g 19	20,4	58,5	76,2	< 10	92,5	17,7	8,2	106	16,3
g 20	18,7	66,3	86,7	< 10	88,4	< 10	10,2	136	20,4
g 21	18,9	67,1	82,6	24,1	98,0	24,1	10,3	151	10,3

6-2: Gatow: RFA-Analysendaten der Korngrößenfraktion < 2000 µm, Spurenelemente einschließlich Glühverlust

Nr.	Nb	Nd	Ni	Pb	Rb	Sc	Sm	Sr	Th
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
g 1	nicht analysiert					Sc	Sm	Sr	Th
g 2	13	31	45	119	64	12	5	103	6
g 3	nicht analysiert								
g 4	15	41	39	37	74	16	6	91	9
g 5	13	34	47	33	84	12	7	89	9
g 6	16	38	44	35	91	16	6	93	6
g 7	15	39	43	27	94	19	7	88	12
g 8	14	44	48	26	93	14	7	81	9
g 9	16	41	45	28	96	17	6	81	8
g 10	13	40	50	30	90	26	7	86	10
g 11	14	46	57	39	84	17	7	90	9
g 12	14	42	56	35	70	22	6	89	12
g 13	13	42	51	17	67	19	5	90	<5
g 14	12	38	55	16	58	15	6	86	8
g 15	11	31	56	<10	55	18	6	86	12
g 22	10	44	55	15	41	15	6	82	12
g 16	nicht analysiert								
g 17	14	39	57	28	77	20	6	88	10
g 18	11	53	53	<10	63	22	7	75	19
g 19	15	43	56	<10	68	13	6	78	12
g 20	11	39	51	<10	52	<10	6	80	12
g 21	11	39	48	14	57	14	6	88	6

6-2: Gatow: RFA-Analysendaten der Korngrößenfraktion < 2000 µm, glühverlustkorrigierte Spurenelemente

Nr.	U	V	Y	Zn	Zr
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
g 1	nicht analysiert				
g 2	8,3	119	38,9	273	691
g 3	nicht analysiert				
g 4	< 5	124	37,3	175	277
g 5	< 5	114	40,7	131	269
g 6	5,6	121	40,3	120	243
g 7	10,2	119	38,4	121	241
g 8	< 5	128	38,4	128	210
g 9	6,8	137	39,9	135	209
g 10	10,4	142	45,2	155	206
g 11	10,6	164	53,1	150	437
g 12	14,8	169	57,8	153	446
g 13	< 5	149	53,6	153	1.459
g 14	12,0	158	58,5	168	1.185
g 15	13,8	168	59,7	170	1.158
g 22	18,5	163	62,9	216	1.469
g 16	nicht analysiert				
g 17	8,8	155	51,7	156	595
g 18	15,6	173	54,0	172	726
g 19	15,0	163	46,2	155	876
g 20	15,3	179	61,2	196	1.102
g 21	10,3	165	65,4	181	906

6-2: Gatow: RFA-Analysendaten der Korngrößenfraktion < 2000 µm, Spurenelemente einschließlich Glühverlust

Nr.	U	V	Y	Zn	Zr
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
g 1	nicht analysiert				
g 2	7	101	33	231	586
g 3	nicht analysiert				
g 4	<5	110	33	155	245
g 5	<5	101	36	116	238
g 6	5	108	36	107	217
g 7	9	105	34	107	213
g 8	<5	113	34	113	186
g 9	6	120	35	118	183
g 10	9	122	39	134	178
g 11	9	139	45	127	370
g 12	12	137	47	124	363
g 13	<5	111	40	114	1.089
g 14	8	105	39	112	790
g 15	9	110	39	111	757
g 22	10	88	34	117	794
g 16	nicht analysiert				
g 17	7	123	41	124	472
g 18	11	122	38	121	511
g 19	11	120	34	114	644
g 20	9	105	36	115	648
g 21	6	96	38	105	527

6-2: Schwedt: RFA-Analysendaten der Korngrößenfraktion < 2000 µm, glühverlustkorrigierte Hauptelemente

Nr.	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
s1/1	75,2	10,6	6,15	0,310	0,69	2,08	0,31	1,65	0,56	1,188
s1/2	74,7	12,6	7,09	0,271	0,86	1,26	0,43	1,95	0,68	0,568
s1/3	74,4	13,0	7,54	0,249	0,90	1,25	0,37	1,99	0,71	0,455
s1/4	74,7	13,2	6,80	0,204	0,94	1,22	0,38	1,99	0,72	0,356
s1/5	73,3	14,0	7,59	0,239	1,02	1,25	1,02	2,14	0,77	0,338
s1/6	70,2	15,0	8,07	0,260	1,09	1,31	0,43	2,27	0,82	0,358
s1/7	70,5	15,8	7,32	0,215	1,16	1,30	0,42	2,35	0,85	0,308
s1/8	69,5	16,1	7,41	0,196	1,17	1,29	0,44	2,33	0,86	0,339
s1/9	70,3	16,4	7,64	0,195	1,20	1,26	0,47	2,34	0,88	0,315
s1/10	69,4	16,3	7,71	0,171	1,18	1,25	0,44	2,37	0,89	0,311
s1/11	69,0	16,8	8,18	0,179	1,22	1,29	0,43	2,38	0,92	0,350
s1/12	73,2	14,7	6,77	0,086	0,99	1,26	0,39	2,20	0,80	0,365
s1/13	77,0	11,5	5,69	0,090	0,69	1,17	0,40	1,91	0,65	0,445
s1/14	83,2	8,23	4,55	0,106	0,44	0,95	0,36	1,69	0,50	0,394
s1/15	84,9	7,01	4,19	0,129	0,30	1,01	0,30	1,54	0,44	0,406
s1/16	84,9	5,95	4,91	0,184	0,22	0,95	0,25	1,42	0,39	0,437
s1/17	75,9	10,8	8,65	0,197	0,60	1,09	0,31	1,76	0,61	1,164
s1/18	80,4	9,10	6,04	0,157	0,48	1,08	0,31	1,66	0,52	0,579
s1/19	70,2	15,5	8,63	0,116	0,96	1,44	0,24	1,85	0,77	0,786
s1/20	72,0	15,3	7,06	0,110	1,01	1,25	0,42	2,24	0,80	0,349

6-2: Schwedt: RFA-Analysendaten der Korngrößenfraktion < 2000 µm, Hauptelemente einschließlich Glühverlust

Nr.	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
s1/1	47,62	6,72	3,89	0,20	0,44	1,32	0,20	1,04	0,35	0,75
s1/2	66,68	11,27	6,33	0,24	0,77	1,13	0,38	1,74	0,61	0,51
s1/3	67,03	11,74	6,79	0,22	0,81	1,13	0,33	1,79	0,64	0,41
s1/4	68,54	12,10	6,24	0,19	0,86	1,12	0,35	1,83	0,66	0,33
s1/5	66,60	12,75	6,90	0,22	0,93	1,14	0,93	1,95	0,70	0,31
s1/6	63,80	13,65	7,34	0,24	0,99	1,19	0,39	2,06	0,75	0,33
s1/7	64,06	14,36	6,65	0,20	1,05	1,18	0,38	2,14	0,77	0,28
s1/8	63,80	14,76	6,80	0,18	1,07	1,18	0,40	2,14	0,79	0,31
s1/9	64,52	15,06	7,01	0,18	1,10	1,16	0,43	2,15	0,81	0,29
s1/10	63,11	14,78	7,01	0,16	1,07	1,14	0,40	2,15	0,81	0,28
s1/11	62,72	15,25	7,44	0,16	1,11	1,17	0,39	2,16	0,84	0,32
s1/12	66,55	13,37	6,15	0,08	0,90	1,15	0,35	2,00	0,73	0,33
s1/13	70,66	10,56	5,22	0,08	0,63	1,07	0,37	1,75	0,60	0,41
s1/14	77,74	7,69	4,25	0,10	0,41	0,89	0,34	1,58	0,47	0,37
s1/15	80,08	6,61	3,95	0,12	0,28	0,95	0,28	1,45	0,42	0,38
s1/16	77,93	5,46	4,50	0,17	0,20	0,87	0,23	1,30	0,36	0,40
s1/17	68,97	9,82	7,86	0,18	0,55	0,99	0,28	1,60	0,55	1,06
s1/18	72,40	8,20	5,44	0,14	0,43	0,97	0,28	1,50	0,47	0,52
s1/19	58,53	12,94	7,19	0,10	0,80	1,20	0,20	1,54	0,64	0,66
s1/20	66,02	14,03	6,48	0,10	0,93	1,15	0,39	2,06	0,73	0,32

6-2: Schwedt: RFA-Analysendaten der Korngrößenfraktion < 2000 µm, glühverlustkorrigierte Spurenelemente

Nr.	As	Ba	Bi	Ce	Co	Cr	Cu	Ga	Hf	La
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
s1/1	53	1.088	<1	112	21	135	99	13	20	<15
s1/2	31	667	8	82	17	129	58	16	11	39
s1/3	39	641	<2	99	18	120	67	21	10	31
s1/4	23	595	5	95	18	114	52	15	10	<17
s1/5	34	582	<2	110	20	107	46	25	8	25
s1/6	23	581	5	98	21	101	40	17	7	32
s1/7	24	603	6	110	17	118	36	22	8	33
s1/8	21	596	6	87	18	117	32	19	7	28
s1/9	23	579	6	99	20	109	36	22	7	21
s1/10	28	588	<3	132	24	116	47	18	8	35
s1/11	18	599	11	134	24	116	33	23	7	33
s1/12	17	590	10	117	14	103	226	21	8	24
s1/13	20	472	8	74	14	85	47	13	11	<6
s1/14	15	398	<1	39	9	63	31	7	17	22
s1/15	13	362	<1	67	10	54	258	<5	26	<9
s1/16	15	360	4	52	4	48	294	<3	25	<11
s1/17	17	510	7	83	16	77	42	14	13	22
s1/18	21	479	8	60	12	68	80	12	20	<19
s1/19	14	842	6	114	19	114	118	22	7	46
s1/20	18	560	11	93	17	112	42	18	9	31

6-2: Schwedt: RFA-Analysendaten der Korngrößenfraktion < 2000 µm, Spurenelemente einschließlich Glühverlust

Nr.	As	Ba	Bi	Ce	Co	Cr	Cu	Ga	Hf	La
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
s1/1	33,5	689	<3	71	13,3	85	63	8,2	12,7	<20
s1/2	27,7	596	7,1	73	15,2	115	52	14,3	9,8	34,8
s1/3	35,1	577	<3	89	16,2	108	60	18,9	9,0	27,9
s1/4	21,1	546	4,6	87	16,5	105	48	13,8	9,2	<20
s1/5	30,9	529	<3	100	18,2	97	42	22,7	7,3	22,7
s1/6	20,9	528	4,5	89	19,1	92	36	15,5	6,4	29,1
s1/7	21,8	548	5,5	100	15,5	107	33	20,0	7,3	30,0
s1/8	19,3	547	5,5	80	16,5	107	29	17,4	6,4	25,7
s1/9	21,1	531	5,5	91	18,3	100	33	20,2	6,4	19,3
s1/10	25,5	535	<3	120	21,8	105	43	16,4	7,3	31,8
s1/11	16,4	545	10,0	122	21,8	105	30	20,9	6,4	30,0
s1/12	15,5	536	9,1	106	12,7	94	205	19,1	7,3	21,8
s1/13	18,3	433	7,3	68	12,8	78	43	11,9	10,1	<20
s1/14	14,0	372	<3	36	8,4	59	29	6,5	15,9	20,6
s1/15	12,3	342	<3	63	9,4	51	243	<5	24,5	<20
s1/16	13,8	330	3,7	48	3,7	44	270	<5	22,9	<20
s1/17	15,5	464	6,4	75	14,5	70	38	12,7	11,8	20,0
s1/18	18,9	432	7,2	54	10,8	61	72	10,8	18,0	<20
s1/19	11,7	702	5,0	95	15,8	95	98	18,3	5,8	38,3
s1/20	16,5	514	10,1	85	15,6	103	39	16,5	8,3	28,4

6-2: Schwedt: RFA-Analysendaten der Korngrößenfraktion < 2000 µm, glühverlustkorrigierte Spurenelemente

Nr.	Mo	Nb	Nd	Ni	Pb	Rb	Sc	Sm	Sr
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
s1/1	6	12	41	80	234	95	13	7	151
s1/2	4	13	31	45	115	114	14	7	117
s1/3	3	14	44	48	107	103	12	7	110
s1/4	<1	14	44	41	71	110	13	7	106
s1/5	3	17	33	43	55	112	18	6	106
s1/6	4	18	44	74	50	124	21	8	108
s1/7	3	18	40	51	56	125	12	7	108
s1/8	4	17	46	43	47	128	16	7	106
s1/9	4	19	40	55	46	139	17	8	104
s1/10	<2	18	58	55	39	136	20	9	103
s1/11	<1	18	42	51	43	142	18	9	105
s1/12	4	18	48	37	38	126	16	8	100
s1/13	<2	13	41	31	41	108	16	7	87
s1/14	3	10	22	20	21	81	13	4	75
s1/15	4	9	35	15	17	69	10	6	68
s1/16	3	6	25	13	12	65	12	5	60
s1/17	4	13	38	31	18	88	19	7	76
s1/18	3	10	28	27	18	85	12	6	75
s1/19	4	15	59	52	29	101	20	10	101
s1/20	5	16	37	44	37	134	19	7	97

6-2: Schwedt: RFA-Analysendaten der Korngrößenfraktion < 2000 µm, Spurenelemente einschließlich Glühverlust

Nr.	Mo	Nb	Nd	Ni	Pb	Rb	Sc	Sm	Sr
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
s1/1	3,8	7,6	25,9	50,6	148,1	60,1	8,2	4,4	95,6
s1/2	3,6	11,6	27,7	40,2	102,7	102	12,5	6,3	104,5
s1/3	2,7	12,6	39,6	43,2	96,4	92,8	10,8	6,3	99,1
s1/4	<1	12,8	40,4	37,6	65,1	101	11,9	6,4	97,2
s1/5	2,7	15,5	30,0	39,1	50,0	102	16,4	5,5	96,4
s1/6	3,6	16,4	40,0	67,3	45,5	113	19,1	7,3	98,2
s1/7	2,7	16,4	36,4	46,4	50,9	114	10,9	6,4	98,2
s1/8	3,7	15,6	42,2	39,4	43,1	117	14,7	6,4	97,2
s1/9	3,7	17,4	36,7	50,5	42,2	128	15,6	7,3	95,4
s1/10	<2	16,4	52,7	50,0	35,5	124	18,2	8,2	93,6
s1/11	<1	16,4	38,2	46,4	39,1	129	16,4	8,2	95,5
s1/12	3,6	16,4	43,6	33,6	34,5	115	14,5	7,3	90,9
s1/13	<1	11,9	37,6	28,4	37,6	99,1	14,7	6,4	79,8
s1/14	2,8	9,3	20,6	18,7	19,6	75,7	12,1	3,7	70,1
s1/15	3,8	8,5	33,0	14,2	16,0	65,1	9,4	5,7	64,2
s1/16	2,8	5,5	22,9	11,9	11,0	59,6	11,0	4,6	55,0
s1/17	3,6	11,8	34,5	28,2	16,4	80,0	17,3	6,4	69,1
s1/18	2,7	9,0	25,2	24,3	16,2	76,6	10,8	5,4	67,6
s1/19	3,3	12,5	49,2	43,3	24,2	84,2	16,7	8,3	84,2
s1/20	4,6	14,7	33,9	40,4	33,9	123	17,4	6,4	89,0

6-2: Schwedt: RFA-Analysendaten der Korngrößenfraktion < 2000 µm, glühverlustkorrigierte Spurenelemente

Nr.	Th	U	V	Y	Zn	Zr
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
s1/1	9	<3	117	32	706	980
s1/2	22	<4	104	32	407	500
s1/3	16	<3	110	33	359	434
s1/4	20	<2	111	32	204	401
s1/5	18	<4	111	34	155	321
s1/6	22	<4	118	37	143	286
s1/7	16	<4	130	37	137	288
s1/8	20	<4	121	38	124	274
s1/9	27	8	133	35	123	268
s1/10	19	<1	129	37	131	264
s1/11	25	8	135	38	132	259
s1/12	22	<3	124	35	114	309
s1/13	16	<1	84	29	87	457
s1/14	14	<5	60	22	55	794
s1/15	12	<2	54	20	47	1.312
s1/16	10	<1	38	20	48	1.230
s1/17	17	<3	87	33	77	608
s1/18	17	6	75	29	71	961
s1/19	26	6	134	48	111	279
s1/20	24	<5	119	35	112	330

6-2: Schwedt: RFA-Analysendaten der Korngrößenfraktion < 2000 µm, Spurenelemente einschließlich Glühverlust

Nr.	Th	U	V	Y	Zn	Zr
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
s1/1	5,7	<3	74	20,3	447	620
s1/2	19,6	<4	93	28,6	363	446
s1/3	14,4	<3	99	29,7	323	391
s1/4	18,3	<2	102	29,4	187	368
s1/5	16,4	<4	101	30,9	141	292
s1/6	20,0	<4	107	33,6	130	260
s1/7	14,5	<4	118	33,6	125	262
s1/8	18,3	<4	111	34,9	114	251
s1/9	24,8	7,3	122	32,1	113	246
s1/10	17,3	<1	117	33,6	119	240
s1/11	22,7	7,3	123	34,5	120	235
s1/12	20,0	<3	113	31,8	104	281
s1/13	14,7	<1	77	26,6	80	419
s1/14	13,1	<5	56	20,6	51	742
s1/15	11,3	<2	51	18,9	44	1.238
s1/16	9,2	<1	35	18,3	44	1.128
s1/17	15,5	<3	79	30,0	70	553
s1/18	15,3	<3	68	26,1	64	866
s1/19	21,7	5,0	112	40,0	93	233
s1/20	22,0	5,0	109	32,1	103	303

6-2: Criewen: RFA-Analysendaten der Korngrößenfraktion < 2000 µm, glühverlustkorrigierte Hauptelemente

Nr.	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
02:01	72,2	13,7	5,98	0,25	1,25	1,96	0,66	2,40	0,78	0,801
02:02	71,6	14,5	7,02	0,21	1,26	1,15	0,70	2,35	0,81	0,406
02:03	71,4	14,6	7,01	0,21	1,31	1,14	0,71	2,43	0,82	0,346
02:04	71,4	14,7	7,01	0,19	1,27	1,19	0,72	2,42	0,83	0,342
02:05	71,1	14,9	7,08	0,17	1,29	1,19	0,75	2,37	0,82	0,338
02:06	71,2	14,8	7,16	0,17	1,28	1,18	0,72	2,36	0,82	0,324
02:07	71,0	15,1	7,09	0,16	1,33	1,18	0,67	2,32	0,80	0,310
02:08	71,6	16,7	5,44	0,08	1,27	1,17	0,60	2,17	0,77	0,227
02:09	71,5	16,7	5,51	0,08	1,30	1,21	0,59	2,22	0,80	0,146
02:10	71,3	16,5	5,91	0,08	1,26	1,27	0,57	2,12	0,79	0,180
02:11	69,6	16,3	7,70	0,11	1,22	1,40	0,55	1,98	0,79	0,339
02:12	67,2	15,5	10,6	0,25	1,25	1,50	0,53	1,91	0,76	0,490
02:20	65,9	15,3	12,1	0,31	1,19	1,57	0,52	1,75	0,74	0,564
02:21	67,7	15,6	10,1	0,21	1,19	1,54	0,55	1,80	0,76	0,517
02:22	68,9	15,6	9,16	0,18	1,19	1,48	0,52	1,84	0,75	0,452
02:23	67,9	15,4	10,1	0,23	1,17	1,50	0,56	1,82	0,75	0,549
02:24	63,3	13,9	14,7	0,15	1,09	1,40	1,28	1,78	0,71	1,625
02:13	68,0	14,2	11,1	0,29	1,10	1,46	0,67	1,80	0,72	0,647
02:15	62,7	13,7	16,3	0,16	1,11	1,45	0,52	1,77	0,70	1,520
02:16	68,7	15,3	9,42	0,09	1,14	1,25	0,60	1,95	0,77	0,798
02:17	70,4	14,6	8,40	0,11	1,15	1,41	0,56	1,94	0,75	0,701
02:18	69,9	15,5	8,09	0,09	1,18	1,33	0,57	1,99	0,77	0,584

6-2: Criewen: RFA-Analysendaten der Korngrößenfraktion < 2000 µm, Hauptelemente einschließlich Glühverlust

Nr.	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
02:01	55,6	10,6	4,61	0,19	0,96	1,51	0,51	1,85	0,6	0,617
02:02	64,8	13,1	6,36	0,19	1,14	1,04	0,63	2,13	0,73	0,368
02:03	65,2	13,4	6,4	0,19	1,2	1,04	0,65	2,22	0,75	0,316
02:04	64,0	13,1	6,29	0,17	1,14	1,07	0,65	2,17	0,74	0,307
02:05	63,5	13,3	6,33	0,15	1,15	1,06	0,67	2,12	0,73	0,302
02:06	63,6	13,2	6,39	0,15	1,14	1,05	0,64	2,11	0,73	0,289
02:07	63,7	13,6	6,36	0,14	1,19	1,06	0,6	2,08	0,72	0,278
02:08	64,3	15,0	4,88	0,07	1,14	1,05	0,54	1,95	0,69	0,204
02:09	63,7	14,9	4,91	0,07	1,16	1,08	0,53	1,98	0,71	0,130
02:10	63,8	14,8	5,29	0,07	1,13	1,14	0,51	1,9	0,71	0,161
02:11	62,3	14,6	6,89	0,1	1,09	1,25	0,49	1,77	0,71	0,303
02:12	58,7	13,5	9,29	0,22	1,09	1,31	0,46	1,67	0,66	0,428
02:20	56,9	13,2	10,5	0,27	1,03	1,36	0,45	1,51	0,64	0,487
02:21	57,9	13,4	8,68	0,18	1,02	1,32	0,47	1,54	0,65	0,442
02:22	61,0	13,8	8,11	0,16	1,05	1,31	0,46	1,63	0,66	0,400
02:23	57,0	12,9	8,5	0,19	0,98	1,26	0,47	1,53	0,63	0,461
02:24	55,9	12,3	13,0	0,13	0,96	1,24	1,13	1,57	0,63	1,434
02:13	58,9	12,3	9,57	0,25	0,95	1,26	0,58	1,56	0,62	0,560
02:15	55,4	12,1	14,4	0,14	0,98	1,28	0,46	1,56	0,62	1,343
02:16	60,8	13,5	8,34	0,08	1,01	1,11	0,53	1,73	0,68	0,706
02:17	57,5	11,9	6,86	0,09	0,94	1,15	0,46	1,58	0,61	0,572
02:18	56,9	12,6	6,58	0,07	0,96	1,08	0,46	1,62	0,63	0,475

6-2: Criewen: RFA-Analysendaten der Korngrößenfraktion < 2000 µm, glühverlustkorrigierte Spurenelemente

Nr.	As	Ba	Bi	Ce	Co	Cr	Cu	Ga	Hf	La
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
02:01	10,3	642	< 3	85,1	20,6	96,8	15,5	15,5	6,5	56,8
02:02	16,7	605	< 3	48,8	24,4	96,6	32,2	18,9	7,8	24,4
02:03	16,5	589	< 3	80,3	19,8	100	19,8	20,9	5,5	24,2
02:04	16,5	565	< 3	72,6	20,9	100	22,0	19,8	6,6	8,8
02:05	19,8	579	5,5	62,7	22,0	99,0	24,2	20,9	5,5	23,1
02:06	23,1	539	< 3	39,6	16,5	89,1	30,8	23,1	6,6	37,4
02:07	20,9	572	4,4	75,9	22,0	101	30,8	17,6	6,6	30,8
02:08	14,3	615	< 3	49,5	14,3	93,5	29,7	19,8	4,4	34,1
02:09	7,8	650	< 3	64,4	15,5	105	22,2	22,2	5,6	25,5
02:10	10,0	608	< 3	64,4	16,7	103	27,8	22,2	6,7	25,5
02:11	16,8	635	5,6	84,0	15,7	95,2	35,8	24,6	5,6	24,6
02:12	18,1	643	< 3	79,1	20,3	94,9	22,6	23,7	5,7	39,6
02:20	22,6	653	< 3	80,2	21,5	89,3	38,4	19,2	5,7	44,1
02:21	21,9	676	< 3	56,4	20,7	89,7	24,2	19,6	5,8	44,9
02:22	17,0	649	< 3	70,1	22,6	88,1	44,1	19,2	5,7	40,7
02:23	15,8	657	< 3	85,9	15,8	85,9	24,9	20,3	5,7	54,2
02:24	29,6	964	4,6	66,1	21,7	84,4	583	20,5	5,7	33,1
02:13	17,9	689	6,7	89,6	30,2	84,0	1.325	17,9	6,7	40,3
02:15	30,2	1.004	< 3	70,6	21,3	88,5	103	19,0	5,6	59,4
02:16	16,1	866	6,9	58,7	26,5	98,9	74,8	19,6	5,8	49,5
02:17	19,8	799	< 3	103	23,6	93,0	28,5	16,1	8,7	16,1
02:18	11,9	803	< 3	82,1	21,4	104	21,4	20,2	7,1	36,9

6-2: Criewen: RFA-Analysendaten der Korngrößenfraktion < 2000 µm, Spurenelemente einschließlich Glühverlust

Nr.	As	Ba	Bi	Ce	Co	Cr	Cu	Ga	Hf	La
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
02:01	18	514	<3,0	66	14	87	26	12	5	44
02:02	22	514	<3,0	44	15	91	25	17	7	22
02:03	25	508	4,4	73	14	100	24	19	5	22
02:04	23	515	<3,0	66	15	96	22	18	6	8
02:05	17	515	<3,0	57	13	97	27	19	5	21
02:06	19	504	<3,0	36	15	95	29	21	6	34
02:07	<7	556	<3,0	69	10	101	31	16	6	28
02:08	10	554	<3,0	45	8	94	24	18	4	31
02:09	8	565	<3,0	58	10	101	25	20	5	23
02:10	15	551	<3,0	58	11	93	30	20	6	23
02:11	18	561	4,7	75	11	90	21	22	5	22
02:12	21	596	7,1	70	14	87	206	21	5	35
02:20	29	798	11,8	71	16	69	30	17	5	39
02:21	13	705	<3,0	49	6	83	28	17	5	39
02:22	25	649	4	62	14	81	29	17	5	36
02:23	13	663	<3,0	76	21	85	37	18	5	48
02:24	16	550	6,4	58	9	82	16	18	5	29
02:13	19	529	4,2	80	13	91	24	16	6	36
02:15	13	539	<3,0	63	11	86	25	17	5	53
02:16	14	572	5,1	51	11	87	19	17	5	43
02:17	23	763	8,7	83	16	81	359	13	7	13
02:18	<7	508	<3,0	69	10	90	27	17	6	31

6-2: Criewen: RFA-Analysendaten der Korngrößenfraktion < 2000 µm, glühverlustkorrigierte Spurenelemente

Nr.	Mo	Nb	Nd	Ni	Pb	Rb	Sc	Sm	Sr
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
02:01	< 2	19,4	40,0	42,6	36,1	106	11,6	3,9	128
02:02	< 2	16,7	30,0	46,6	44,4	123	20,0	< 4	112
02:03	< 2	18,7	33,0	38,5	36,3	116	18,7	4,4	110
02:04	< 2	19,8	33,0	44,0	41,8	116	20,9	4,4	110
02:05	< 2	17,6	31,9	45,1	38,5	117	20,9	< 4	102
02:06	< 2	18,7	29,7	44,0	38,5	114	15,4	< 4	103
02:07	< 2	18,7	33,0	44,0	33,0	117	16,5	< 4	101
02:08	< 2	16,5	33,0	36,3	24,2	118	16,5	< 4	97,9
02:09	< 2	16,7	34,4	38,9	28,9	111	14,4	3,3	97,7
02:10	< 2	17,8	34,4	36,6	25,5	105	16,7	< 4	98,8
02:11	< 2	17,9	47,0	34,7	24,6	102	20,2	5,6	97,4
02:12	< 2	17,0	45,2	40,7	32,8	92,7	17,0	4,5	103
02:20	< 2	15,8	37,3	39,6	31,6	82,5	11,3	4,5	99,4
02:21	< 2	19,6	32,2	40,3	31,1	85,1	13,8	< 4	100
02:22	< 2	15,8	45,2	36,2	27,1	89,3	17,0	4,5	101
02:23	< 2	18,1	38,4	33,9	26,0	82,5	14,7	4,5	97,2
02:24	< 2	16,0	42,2	39,9	27,4	87,8	14,8	5,7	103
02:13	< 2	16,8	45,9	35,8	22,4	86,2	<10	5,6	90,7
02:15	< 2	15,7	33,6	37,0	20,2	78,4	13,4	5,6	105
02:16	< 2	16,1	26,5	34,5	11,5	100	15,0	< 4	98,9
02:17	< 2	18,6	44,6	43,4	16,1	85,6	16,1	5,0	102
02:18	< 2	16,7	41,7	34,5	14,3	76,2	17,9	4,8	97,6

6-2: Criewen: RFA-Analysendaten der Korngrößenfraktion < 2000 µm, Spurenelemente einschließlich Glühverlust

Nr.	Mo	Nb	Nd	Ni	Pb	Rb	Sc	Sm	Sr
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
02:01	< 2	15	31	33	28	82	9	3	99
02:02	< 2	15	27	42	40	111	18	<4	101
02:03	< 2	17	30	35	33	105	17	4	100
02:04	< 2	18	30	40	38	105	19	4	100
02:05	< 2	16	29	41	35	106	19	<4	93
02:06	< 2	17	27	40	35	104	14	<4	94
02:07	< 2	17	30	40	30	106	15	<4	92
02:08	< 2	15	30	33	22	107	15	<4	89
02:09	< 2	15	31	35	26	100	13	3	88
02:10	< 2	16	31	33	23	95	15	<4	89
02:11	< 2	16	42	31	22	91	18	5	87
02:12	< 2	15	40	36	29	82	15	4	91
02:20	< 2	14	33	35	28	73	10	4	88
02:21	< 2	17	28	35	27	74	12	<4	87
02:22	< 2	14	40	32	24	79	15	4	89
02:23	< 2	16	34	30	23	73	13	4	86
02:24	< 2	14	37	35	24	77	13	5	90
02:13	< 2	15	41	32	20	77	<10	5	81
02:15	< 2	14	30	33	18	70	12	5	94
02:16	< 2	14	23	30	10	87	13	<4	86
02:17	< 2	15	36	35	13	69	13	4	82
02:18	< 2	14	35	29	12	64	15	4	82

6-2: Criewen: RFA-Analysendaten der Korngrößenfraktion < 2000 µm, glühverlustkorrigierte Spurenelemente

Nr.	Th	U	V	Y	Zn	Zr
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
02:01	25,8	9,0	110	32,3	164	245
02:02	34,4	< 5	108	27,8	157	302
02:03	26,4	8,8	112	31,9	145	263
02:04	26,4	8,8	102	30,8	147	261
02:05	33,0	< 5	111	28,6	129	238
02:06	33,0	< 5	96,8	30,8	138	252
02:07	29,7	< 5	110	29,7	131	230
02:08	36,3	5,5	113	33,0	101	189
02:09	22,2	2,2	121	35,5	94,4	212
02:10	31,1	6,7	123	36,6	93,2	275
02:11	37,0	< 5	124	37,0	84,0	189
02:12	22,6	7,9	116	38,4	83,6	206
02:20	32,8	5,7	119	39,6	79,1	202
02:21	26,5	< 5	116	42,6	90,9	222
02:22	32,8	< 5	118	41,8	80,2	219
02:23	36,2	5,7	111	38,4	73,5	214
02:24	25,1	< 5	116	44,5	80,9	226
02:13	49,3	6,7	110	34,7	80,6	246
02:15	16,8	3,4	123	48,2	70,6	231
02:16	40,3	10,4	122	38,0	58,7	245
02:17	27,3	6,2	131	42,2	48,4	404
02:18	22,6	1,2	118	44,0	64,3	307

6-2: Criewen: RFA-Analysendaten der Korngrößenfraktion < 2000 µm, Spurenelemente einschließlich GV

Nr.	Th	U	V	Y	Zn	Zr
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
02:01	20	7	85	25	237	202
02:02	31	<5	97	25	144	230
02:03	24	8	102	29	140	240
02:04	24	8	93	28	135	238
02:05	30	<5	101	26	124	229
02:06	30	<5	88	28	122	230
02:07	27	<5	100	27	102	207
02:08	33	5	103	30	92	199
02:09	20	2	109	32	94	208
02:10	28	6	111	33	88	189
02:11	33	<5	111	33	85	189
02:12	20	7	103	34	69	217
02:20	29	5	105	35	72	188
02:21	23	<5	101	37	77	213
02:22	29	<5	104	37	90	352
02:23	32	5	98	34	78	276
02:24	22	<5	102	39	74	180
02:13	44	6	98	31	78	191
02:15	15	3	110	43	68	191
02:16	35	9	106	33	73	202
02:17	22	5	106	34	70	190
02:18	19	1	99	37	127	227

6-2: Stolpe: RFA-Analysendaten der Korngrößenfraktion < 2000 µm, glühverlustkorrigierte Hauptelemente

Nr.	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
s 1	84,6	7,93	3,24	0,06	0,43	0,94	0,44	1,62	0,46	0,26
s 2	83,4	8,56	3,83	0,07	0,42	0,94	0,44	1,65	0,48	0,25
s 3	83,8	8,26	3,80	0,07	0,52	0,82	0,52	1,57	0,46	0,22
s 4	85,1	6,79	4,30	0,07	0,42	0,70	0,53	1,44	0,39	0,22
s 5	84,7	7,05	4,34	0,07	0,45	0,73	0,54	1,48	0,42	0,20
s 6	83,4	7,48	4,89	0,11	0,49	0,78	0,57	1,57	0,45	0,26
s 7	81,2	7,83	6,37	0,21	0,53	0,87	0,55	1,54	0,47	0,41
s 8	81,4	7,61	6,39	0,24	0,53	0,87	0,55	1,54	0,46	0,41
s 9	83,7	6,85	5,30	0,16	0,46	0,76	0,52	1,49	0,39	0,32
s 10	85,4	6,17	4,66	0,18	0,41	0,67	0,48	1,43	0,34	0,28
s 11	88,7	5,51	2,57	0,04	0,34	0,55	0,48	1,37	0,30	0,13
s 12	90,0	4,57	2,51	0,06	0,27	0,46	0,45	1,27	0,24	0,16
s 13	89,8	4,77	2,43	0,07	0,29	0,47	0,46	1,33	0,25	0,14
s 14	85,5	6,22	4,48	0,16	0,38	0,65	0,55	1,48	0,35	0,24

6-2: Stolpe: RFA-Analysendaten der Korngrößenfraktion < 2000 µm, Hauptelemente einschließlich Glühverlust

Nr.	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
s 1	73,0	6,84	2,79	0,05	0,37	0,81	0,38	1,40	0,40	0,22
s 2	74,7	7,66	3,43	0,06	0,38	0,84	0,39	1,48	0,43	0,22
s 3	77,1	7,60	3,50	0,06	0,48	0,75	0,48	1,44	0,42	0,20
s 4	79,9	6,37	4,03	0,07	0,39	0,66	0,50	1,35	0,37	0,21
s 5	80,6	6,71	4,13	0,07	0,43	0,69	0,51	1,41	0,40	0,19
s 6	78,2	7,01	4,58	0,10	0,46	0,73	0,53	1,47	0,42	0,25
s 7	76,4	7,36	5,99	0,20	0,50	0,82	0,52	1,45	0,44	0,39
s 8	76,6	7,16	6,01	0,23	0,50	0,82	0,52	1,45	0,43	0,38
s 9	79,4	6,49	5,02	0,15	0,44	0,72	0,49	1,41	0,37	0,30
s 10	83,1	6,01	4,54	0,18	0,40	0,65	0,47	1,39	0,33	0,28
s 11	85,6	5,31	2,48	0,04	0,33	0,53	0,46	1,32	0,29	0,12
s 12	87,9	4,46	2,45	0,06	0,26	0,45	0,44	1,24	0,23	0,16
s 13	86,2	4,58	2,33	0,07	0,28	0,45	0,44	1,28	0,24	0,14
s 14	80,6	5,87	4,23	0,15	0,36	0,61	0,52	1,40	0,33	0,23

6-2: Stolpe: RFA-Analysendaten der Korngrößenfraktion < 2000 µm, glühverlustkorrigierte Spurenelemente

Nr.	As	Ba	Bi	Ce	Co	Cr	Cu	Ga	Hf	La
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
s 1	11,6	427	5,8	47,6	< 8	54,5	< 10	9,3	25,5	< 20
s 2	7,8	420	7,8	40,0	< 8	61,1	< 10	< 5	16,7	< 20
s 3	18,4	416	11,9	51,8	< 8	55,1	< 10	8,6	13,0	< 20
s 4	24,2	370	8,4	37,8	< 8	41,0	70,4	7,4	14,7	< 20
s 5	105	350	12,6	31,5	< 8	48,3	93,5	5,3	14,7	< 20
s 6	14,7	378	7,4	60,9	< 8	49,4	56,7	< 5	13,7	< 20
s 7	14,8	425	7,4	55,1	10,6	50,9	18,0	6,4	11,7	< 20
s 8	15,9	438	9,5	28,6	< 8	51,9	< 10	7,4	12,7	< 20
s 9	14,7	378	15,8	48,3	< 8	47,3	< 10	< 5	12,6	< 20
s 10	15,6	370	12,5	35,4	10,4	35,4	< 10	7,3	12,5	< 20
s 11	12,4	290	14,4	< 20	< 8	31,9	88,6	6,2	16,5	< 20
s 12	12,2	278	16,3	35,7	< 8	28,6	161	< 5	19,4	< 20
s 13	12,4	262	13,4	< 20	< 8	22,7	< 10	< 5	19,6	< 20
s 14	12,6	407	15,8	23,1	< 8	45,2	< 10	< 5	13,7	< 20

6-2: Stolpe: RFA-Analysendaten der Korngrößenfraktion < 2000 µm, Spurenelemente einschließlich Glühverlust

Nr.	As	Ba	Bi	Ce	Co	Cr	Cu	Ga	Hf	La
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
s 1	10	368	5	41	<8	47	<10	8	22	<20
s 2	7	378	7	36	<8	55	<10	<5	15	<20
s 3	17	385	11	48	<8	51	<10	8	12	<20
s 4	23	352	8	36	<8	39	67	7	14	<20
s 5	100	333	12	30	<8	46	89	5	14	-
s 6	14	360	7	58	<8	47	54	<5	13	<20
s 7	14	401	7	52	10	48	17	6	11	<20
s 8	15	413	9	27	<8	49	<10	7	12	<20
s 9	14	360	15	46	<8	45	<10	<5	12	<20
s 10	15	356	12	34	10	34	<10	7	12	-
s 11	12	282	14	<20	<8	31	86	6	16	<20
s 12	12	273	16	35	<8	28	158	<5	19	<20
s 13	12	254	13	<20	<8	22	<10	<5	19	<20
s 14	12	388	15	22	<8	43	<10	<5	13	<20

6-2: Stolpe: RFA-Analysendaten der Korngrößenfraktion < 2000 µm, glühverlustkorrigierte Spurenelemente

Nr.	Mo	Nb	Nd	Ni	Pb	Rb	Sc	Sm	Sr
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
s 1	7,0	9,3	38,3	15,1	24,4	61,5	< 10	< 4	103
s 2	6,7	8,9	22,2	13,3	26,6	69,9	11,1	< 4	105
s 3	4,3	10,8	30,2	13,0	14,0	75,6	11,9	< 4	89,6
s 4	5,3	7,4	21,0	9,45	< 10	57,8	< 10	< 4	70,4
s 5	5,3	9,5	20,0	15,8	15,8	69,3	< 10	< 4	69,3
s 6	4,2	9,5	38,9	17,9	< 10	58,8	< 10	5,3	69,3
s 7	5,3	11,7	21,2	20,1	13,8	62,5	< 10	4,2	80,6
s 8	4,2	9,5	19,1	15,9	14,8	66,8	< 10	< 4	79,5
s 9	6,3	7,4	29,4	14,7	11,6	67,2	< 10	4,2	71,4
s 10	7,3	8,3	19,8	15,6	11,4	63,4	11,4	< 4	67,6
s 11	2,1	6,2	14,4	< 8	< 10	57,7	11,3	< 4	15,9
s 12	< 2	5,1	23,5	< 8	< 10	55,1	< 10	< 4	17,7
s 13	4,1	4,1	13,4	< 8	< 10	50,5	< 10	< 4	6,4
s 14	4,2	7,4	22,1	11,6	12,6	57,8	< 10	< 4	67,2

6-2: Stolpe: RFA-Analysendaten der Korngrößenfraktion < 2000 µm, Spurenelemente einschließlich Glühverlust

Nr.	Mo	Nb	Nd	Ni	Pb	Rb	Sc	Sm	Sr
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
s 1	6	8	33	13	21	53	<10	<4	89
s 2	6	8	20	12	24	63	10	<4	95
s 3	4	10	28	12	13	70	11	<4	83
s 4	5	7	20	9	<10	55	<10	<4	67
s 5	5	9	19	15	15	66	<10	<4	66
s 6	4	9	37	17	<10	56	<10	5	66
s 7	5	11	20	19	13	59	<10	4	76
s 8	4	9	18	15	14	63	<10	<4	75
s 9	6	7	28	14	11	64	<10	4	68
s 10	7	8	19	15	11	61	11	<4	65
s 11	2	6	14	<8	<10	56	11	<4	56
s 12	<2	5	23	<8	-	54	<10	<4	50
s 13	4	4	13	<8	<10	49	<10	<4	54
s 14	4	7	21	11	12	55	<10	<4	64

6-2: Stolpe: RFA-Analysendaten der Korngrößenfraktion < 2000 µm, glühverlustkorrigierte Spurenelemente

Nr.	Th	U	V	Y	Zn	Zr
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
s 1	< 5	< 5	48,7	25,5	56,8	1234
s 2	< 5	< 5	55,5	24,4	57,7	771
s 3	17,3	6,5	51,8	23,8	60,5	534
s 4	6,3	5,3	38,9	18,9	39,9	635
s 5	8,4	< 5	42,0	21,0	53,6	623
s 6	6,3	< 5	54,6	26,3	35,7	580
s 7	9,5	< 5	4,5	28,6	40,3	494
s 8	9,5	< 5	44,5	25,4	41,3	525
s 9	10,5	< 5	49,4	21,0	34,7	505
s 10	12,5	< 5	35,4	18,7	33,3	497
s 11	15,5	< 5	30,9	15,5	21,6	726
s 12	17,3	7,1	24,5	12,2	16,3	868
s 13	6,2	< 5	22,7	14,4	19,6	869
s 14	7,4	< 5	36,8	21,0	28,4	604

6-2: Stolpe: RFA-Analysendaten der Korngrößenfraktion < 2000 µm, Spurenelemente einschließlich Glühverlust

Nr.	Th	U	V	Y	Zn	Zr
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
s 1	<5	<5	42	22	49	1064
s 2	<5	<5	50	22	52	695
s 3	16	6	48	22	56	494
s 4	6	5	37	18	38	605
s 5	8	<5	40	20	51	593
s 6	6	<5	52	25	34	552
s 7	9	<5	55	27	38	466
s 8	9	<5	42	24	39	495
s 9	10	<5	47	20	33	481
s 10	12	<5	34	18	32	478
s 11	15	<5	30	15	21	705
s 12	17	7	24	12	16	851
s 13	6	<5	22	14	19	844
s 14	7	<5	35	20	27	575

6-3: Gatow: KW-Analysen, einschließlich Glühverlust, Korngrößenfraktion < 2000 µm

Probe	Cd	Cr	Zn	Co	Mn	Fe	As	Pb	Ni	Al	Cu
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
1	1,28	59,6	201	7,22	535	18.688	23,0	87,7	31,7	19.187	48,1
2	1,06	69,8	203	7,41	380	29.388	33,0	113	28,2	29.987	48,9
3	0,93	72,7	198	11,0	652	40.888	37,0	86,9	31,2	35.687	46,1
4	0,50	57,4	147	14,1	1.070	44.088	21,0	40,0	38,6	36.787	32,4
5	0,40	51,2	131	14,8	1.310	46.088	17,6	26,3	35,4	36.287	25,9
6	0,28	51,7	103	15,0	1.380	46.088	15,6	26,6	36,1	37.087	25,2
7	0,26	54,5	103	13,6	1.120	45.288	13,0	24,0	34,9	37.687	26,0
8	0,22	54,3	104	10,5	715	42.188	11,6	21,9	34,0	38.587	27,2
9	0,21	56,6	107	8,51	433	28.488	7,20	25,6	33,2	40.587	31,7
10	0,67	57,8	117	7,34	240	22.588	8,70	23,8	37,1	40.587	44,1
11	0,92	58,1	106	7,77	243	23.688	8,00	32,2	38,9	41.587	58,8
12	1,17	58,1	101	7,36	261	23.288	7,60	31,4	39,7	41.587	63,1
13	0,51	48,6	97,9	10,8	398	24.288	9,80	17,0	37,9	33.187	49,3
14	0,60	40,2	90,3	9,93	479	24.088	10,5	13,9	36,2	27.687	43,1
15	0,47	40,0	87,8	7,37	507	24.088	10,2	11,2	32,2	27.387	182
16	0,63	51,0	92,9	8,83	439	25.688	8,40	16,2	37,5	35.187	251
17	0,56	49,7	101	9,40	366	26.188	10,7	12,8	37,9	35.087	39,6
18	0,49	40,7	94,9	9,17	380	23.288	11,8	11,8	33,0	27.287	39,8
19	0,44	47,1	99,9	10,7	452	27.588	12,6	14,9	37,4	33.487	145
20	0,40	38,7	90,6	12,6	500	28.288	17,8	15,0	40,3	25.887	67,1
21	0,34	35,5	80,6	8,92	489	26.888	15,6	8,33	30,5	22.087	39,7
22	0,36	33,3	81,3	8,37	621	25.388	10,6	8,89	34,4	23.087	80,6

6-3: Schwedt: KW-Analysen, einschließlich Glühverlust, Korngrößenfraktion < 2000 µm

Probe	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Zn mg/kg	Co mg/kg	Mn mg/kg	Fe mg/kg	As mg/kg	Pb mg/kg	Ni mg/kg	Al mg/kg	Cu mg/kg
1	2,52	58,4	401	12,3	1.340	21.488	36,4	135	41,3	17.787	59,8
2	1,39	67,9	312	13,0	1.620	35.688	27,1	84,8	32,8	29.287	43,1
3	1,02	67,0	276	12,0	1.460	36.288	26,0	72,3	30,4	30.087	37,2
4	0,58	66,2	165	11,6	1.180	34.188	21,6	54,3	30,0	31.287	35,0
5	0,46	56,3	121	13,3	1.390	37.488	19,9	38,4	31,3	32.787	30,2
6	0,33	58,4	111	14,9	1.550	41.888	18,0	34,9	35,1	37.387	26,7
7	0,25	56,2	106	13,2	1.200	36.888	14,5	39,0	34,8	38.787	27,0
8	0,24	58,5	102	15,1	1.180	38.688	15,4	36,1	36,1	40.687	25,8
9	0,21	55,0	95,9	15,0	1.150	39.288	14,4	25,8	35,6	39.687	27,2
10	0,18	56,7	95,9	14,8	1.020	38.988	11,8	26,4	35,3	38.887	25,9
11	0,29	57,2	99,9	15,3	1.020	41.388	13,2	26,5	38,9	40.087	26,8
12	0,15	52,3	87,9	10,2	426	34.688	9,60	23,8	31,1	35.887	126
13	0,17	38,5	72,7	9,00	461	30.588	8,60	28,6	23,7	26.787	69,3
14	0,13	26,3	50,2	7,95	602	24.788	7,40	11,1	16,8	17.387	14,5
15	0,10	22,6	38,1	7,94	762	23.488	7,50	11,9	15,0	15.187	449
16	0,08	18,1	14,6	6,03	1.050	28.134	6,50	8,61	10,5	11.739	203
17	0,08	34,0	32,1	8,12	1.080	43.184	9,10	12,5	21,0	22.539	15,0
18	0,14	41,8	37,5	8,34	908	32.784	8,60	11,2	62,5	20.439	205
19	0,23	54,3	55,5	14,2	582	41.184	17,0	15,4	38,1	37.939	244
20	0,17	51,7	67,9	11,7	590	36.184	9,60	18,5	30,7	35.639	23,4

6-3: Criewen: KW-Analysen, einschließlich Glühverlust, Korngrößenfraktion < 2000 µm

Probe	Cd	Cr	Zn	Co	Mn	Fe	As	Pb	Ni	Al	Cu
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
1	0,64	46,2	213	10,8	1.420	32.000	15,0	44,7	30,3	26.800	28,9
2	0,40	52,7	144	13,6	1.490	40.900	18,1	34,3	32,7	33.700	27,4
3	0,35	51,1	137	13,3	1.400	41.100	18,7	35,0	33,5	32.700	26,9
4	0,34	52,7	131	13,4	1.240	40.700	19,3	35,3	33,1	34.700	26,6
5	0,29	50,7	120	12,9	1.100	40.800	17,3	30,2	31,0	34.100	25,1
6	0,30	50,5	123	12,6	1.090	40.700	16,8	33,0	32,6	33.900	25,6
7	0,28	57,2	128	12,7	1.080	42.800	16,9	33,6	34,3	37.800	27,7
8	0,16	63,8	107	9,31	565	34.700	7,50	28,8	33,5	45.700	28,9
9	0,12	64,5	99,1	8,48	563	33.600	7,20	28,0	32,3	47.500	31,3
10	0,09	64,9	93,5	8,05	519	34.500	7,00	26,7	29,2	47.500	28,0
11	0,05	59,4	89,2	8,54	768	45.100	9,60	26,2	28,8	42.600	28,5
12	0,05	59,5	90,5	10,4	1.770	63.900	19,2	30,0	31,3	43.400	27,1
13	0,04	55,9	83,6	13,9	1.970	59.588	12,5	21,1	28,7	36.587	1810
15	0,16	57,7	77,3	10,2	989	89.688	27,0	25,4	28,7	37.687	32,4
16	0,09	58,1	85,7	10,6	623	49.888	13,1	20,8	29,2	36.187	33,1
17	0,35	54,4	87,7	11,6	660	42.688	19,3	22,3	35,9	34.387	37,7
18	0,13	55,5	75,1	11,7	507	40.688	17,7	19,3	34,3	34.687	36,0
20	< 0,01	59,3	80,4	10,8	2.030	63.788	16,7	27,6	30,2	38.687	26,3
21	0,05	62,0	74,0	9,50	1.350	53.188	12,7	27,1	29,2	40.187	27,0
22	< 0,01	64,1	81,9	9,47	1.150	49.988	11,0	22,1	30,4	40.787	28,0
23	< 0,01	58,4	73,2	9,51	1.510	51.688	13,8	18,5	29,4	39.587	25,5
24	0,04	54,7	75,1	9,94	955	80.788	19,6	23,8	29,5	36.987	212

6-3: Stolpe: KW-Analysen, einschließlich Glühverlust, Korngrößenfraktion < 2000 µm

Probe	Cd	Cr	Zn	Co	Mn	Fe	As	Pb	Ni	Al	Cu
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
1	0,18	25,6	32,8	3,90	337	17.384	5,00	21,0	12,4	16.639	12,5
2	0,16	30,2	33,1	4,10	437	21.084	6,70	20,6	14,6	20.139	12,4
3	0,12	28,1	31,9	4,29	437	22.084	6,50	15,1	14,4	18.939	13,5
4	0,12	23,8	38,9	3,44	500	25.683	5,50	9,40	12,1	15.700	9,04
5	0,07	24,4	26,0	4,31	475	25.583	4,70	7,69	12,3	16.600	9,24
6	0,11	27,1	28,1	4,59	777	29.583	5,70	9,32	16,2	17.800	9,74
7	0,11	28,4	40,0	6,22	1.570	38.283	8,80	8,72	19,5	19.000	10,6
8	0,12	28,9	35,9	6,34	1.810	39.083	9,20	9,77	19,7	18.700	9,24
9	0,06	23,7	26,2	5,21	1.170	32.283	7,50	8,12	14,8	15.800	8,94
10	0,10	20,0	21,1	5,00	1.430	29.083	6,60	7,45	13,4	13.600	7,34
11	0,03	18,4	12,9	2,68	287	16.183	3,20	< 5	< 10	11.200	5,84
12	0,03	12,2	9,80	1,81	428	16.283	3,70	< 5	< 10	8.690	3,64
13	0,04	13,5	49,2	1,56	484	15.788	3,50	< 5	< 10	9.410	8,70
14	0,06	20,9	47,3	3,86	1.130	28.488	8,10	10,7	10,7	14.300	12,7

6-3: KW-Analysen, einschließlich Glühverlust, Korngrößenfraktion < 20 µm

	Cd	Cr	Zn	Co	Mn	Fe	As	Pb	Ni	Al	Cu
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Gatow											
1	1,38	74,4	303	16,6	403	20.700	16,0	112	41,1	26.200	46,9
5	0,43	59,9	158	19,5	642	36.900	33,4	37,1	50,0	37.100	28,6
7	0,31	69,2	141	29,1	523	34.600	7,8	23,0	46,4	37.100	25,4
16	0,66	48,2	240	19,6	284	24.000	9,8	46,8	45,5	28.100	43,9
17	0,73	47,6	231	21,4	257	25.100	8,6	226	50,7	30.400	35,8
Schwedt											
1	2,97	70,8	510	24,2	1.260	23.500	32,3	184	52,8	22.800	71,2
13	0,32	61,6	131	23,7	671	44.800	12,8	56,7	44,6	37.400	34,8
15	0,19	37,4	183	27,7	995	32.400	8,8	31,9	25,8	22.400	84,4
16	0,14	33,9	74,2	20,3	1840	45.300	10,7	20,3	26,6	18.300	103
20	0,27	64,1	134	21,5	718	44.600	10,3	47,5	43,0	39.900	30,0
Criewen											
2/1	0,94	66,2	285	29,0	1.520	38.800	16,2	67,6	52,1	38.800	41,3
2/2	0,51	73,3	199	25,1	1.490	48.900	17,6	54,5	50,0	44.400	34,4
2/10	0,12	78,8	115	19,7	529	35.700	9,8	39,3	46,7	50.800	31,7
2/23	0,09	78,5	111	19,5	1.710	65.600	14,2	33,8	42,8	47.400	31,5
2/24	0,08	68,0	115	19,7	529	35.700	9,8	39,3	46,7	43.900	41,8
2/13	0,08	76,3	108	23,5	2.270	76.200	15,8	45,6	46,2	46.300	137
Stolpe											
1	0,33	38,4	133	22,9	402	22.700	6,4	34,4	24,7	24.100	19,7
6	0,27	52,7	92,2	18,5	1.300	48.600	10,2	23,4	32,0	30.100	22,7
7	0,26	46,8	97,9	21,0	2.570	66.500	16,2	20,4	37,3	29.500	22,7
8	0,29	52,3	84,3	25,9	2.990	66.300	17,4	34,1	39,7	31.600	21,2
9	0,15	62,4	69,4	21,3	1.920	52.400	12,4	24,2	29,9	25.600	18,7

6-4: KW-Aufschlüsse der Auenbodenproben entlang Oder und Neiße, Bereich 0-3 cm, außer Ratzdorf 0-5 cm, Werte einschließlich Glühverlust, Korngröße < 20 µm, Angaben in mg/kg

Ort	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Friedrichsthal	6.220	7,0	0,62	4,3	17	19	12.500	1.100	12	40	177
Hohensaaten	14.500	36,6	4,04	16,7	64	90	24.800	3.070	36	124	679
Güstebieser Loose	19.000	45,4	3,92	16,4	94	109	23.400	1.340	35	171	528
Küstrin	21.900	38,3	3,68	15,9	86	96	26.000	1.540	34	142	649
Warthe (OT 32 WA)	2.050	0,9	3,94	1,1	8	3	2.860	119	<.10	<.5	21
Ratzdorf-Oder	6.790	6,0	0,97	5,4	30	24	7.350	205	12	27	113
Ratzdorf-Neiße	41.600	16,8	3,12	25,7	81	69	27.300	1.070	47	69	418
Bad Muskau-Neiße	19.900	11,3	0,97	13,7	59	39	17.000	362	25	41	169
Zittau- Neiße	18.400	22,1	4,03	11,5	64	123	21.700	534	37	131	348

6-5: Spurenelementgehalte im Sedimentationsstaub in den Poldern [mg/kg]

Juni 1999

Probe	5.99.7	5.99.8	5.99.5	5.99.6	5.99.3	5.99.4	5.99.1	5.99.2
Ort	Gatow	Gatow	Schwedt	Schwedt	Criewen	Criewen	Stolpe	Stolpe
Seite	HFW	Oder	HFW	Oder	HFW	Oder	HFW	Oder
Al	1.271	1.270	153	2.343	1.061	189	82,3	1.207
As	15,5	13,5	1,68	23,8	6,72	18,1	1,34	20,7
Cd	2,91	5,31	1,06	4,27	2,16	4,46	0,26	10,5
Cr	9,11	9,71	0,98	16,3	6,46	3,08	0,74	11,1
Cu	68,2	109	6,5	105	44,6	15,7	7,03	131
Fe	4.554	3.275	368	5.296	1.719	463	1.981	3.198
Mn	419	298	50,4	383	152	11,0	14,4	186
Ni	34,4	55,2	11,8	102	34,0	5,46	7,16	89,9
Pb	73,5	162	9,0	206	88,2	26,7	12,0	197
Zn	1.030	1.510	139	2.537	969	50,0	157	805

Juli 1999

Probe	6.99.7	6.99.8	6.99.5	6.99.6	6.99.3	6.99.4	6.99.1	6.99.2
Ort	Gatow	Gatow	Schwedt	Schwedt	Criewen	Criewen	Stolpe	Stolpe
Seite	HFW	Oder	HFW	Oder	HFW	Oder	HFW	Oder
Al	454	647	636	379	686	292	612	703
As	1,74	1,79	2,37	2,66	2,92	1,76	3,44	2,89
Cd	160	105	490	355	116	81,50	102	87,0
Cr	1.070	1.490	2.310	1.290	1.450	517	1.580	1.480
Cu	22,1	37,7	41,6	17,7	23,9	12,9	16,1	25,9
Fe	24,2	23,5	27,5	70,3	28,9	13,9	31,3	33,7
Mn	196	183	173	256	228	116	202	203
Ni	2,54	3,26	3,99	5,40	4,22	2,29	4,69	2,34
Pb	0,41	0,86	0,67	1,32	0,77	0,48	0,67	0,54
Zn	24,7	36,4	50,9	39,6	40,6	15,7	50,3	44,4

August 1999

Probe	7.99.7	7.99.8	7.99.5	7.99.6	7.99.3	7.99.4	7.99.1	7.99.2
Ort	Gatow	Gatow	Schwedt	Schwedt	Criewen	Criewen	Stolpe	Stolpe
Seite	HFW	Oder	HFW	Oder	HFW	Oder	HFW	Oder
Al	2.060	2.420	1.480	3.300	2.460	2.080	4.880	3.370
As	8,14	13,7	8,01	13,9	14,0	13,9	26,6	16,2
Cd	369	404	443	508	365	357	657	528
Cr	4.640	5.810	3.390	7.010	6.270	5.190	14.900	6.550
Cu	66,7	137	30,1	41,6	127	102	132	260
Fe	75,3	136	84,1	105	167	199	265	203
Mn	493	765	449	679	953	587	1.338	860
Ni	7,36	14,5	8,82	15,1	10,3	10,4	26,0	12,0
Pb	2,15	3,62	1,79	3,26	4,04	3,14	6,64	5,94
Zn	138	159	90,3	154	171	117	249	145

6-5: Spurenelementgehalte im Sedimentationsstaub in den Poldern [mg/kg]

September 1999

Probe	8.99.7	8.99.8	8.99.5	8.99.6	8.99.3	8.99.4	8.99.1	8.99.2
Ort	Gatow	Gatow	Schwedt	Schwedt	Criewen	Criewen	Stolpe	Stolpe
Seite	HFW	Oder	HFW	Oder	HFW	Oder	HFW	Oder
Al	2.628	4.847	7.744	9.078	5.932	9.287	9.526	6.843
As	6,00	11,3	18,5	56,3	15,5	9,20	19,2	4.084
Cd	2,86	3,71	4,86	5,50	2,60	12,3	4,74	2,46
Cr	15,3	34,7	29,7	90,6	122	75,9	74,4	55,4
Cu	101	146	95,0	177	117	122	144	133
Fe	5.767	5.500	14.872	11.328	6.320	6.724	9.859	13.253
Mn	387	381	3.600	613	328	334	436	413
Ni	26,0	96,8	64,6	89,1	49,5	80,5	89,7	72,3
Pb	104	218	108	355	137	172	296	286
Zn	330	831	438	692	397	376	569	463

Oktober 1999

Probe	9.99.7	9.99.8	9.99.5	9.99.6	9.99.3	9.99.4	9.99.1	9.99.2
Ort	Gatow	Gatow	Schwedt	Schwedt	Criewen	Criewen	Stolpe	Stolpe
Seite	HFW	Oder	HFW	Oder	HFW	Oder	HFW	Oder
Al	2.928	11.750	451	2.075	1.538	2.239	2.080	2.620
As	5,80	35,6	1,00	6,10	10,6	21,3	8,90	4,20
Cd	nn	43,3	0,20	nn	nn	nn	2,20	nn
Cr	17,6	90,3	4,30	14,8	13,3	16,1	13,0	6,30
Cu	103	353	42,2	161	161	139	107	38,6
Fe	7.301	19.583	2.534	4.950	5.775	10.423	9.750	6.642
Mn	567	1.414	601	348	538	1.704	451	145
Ni	82,8	578	12,6	63,9	129	172	245	11,3
Pb	148	319	15,4	135	131	163	112	23,9
Zn	1.182	4.000	295	1.020	1.220	1.873	1.230	165

November 1999

Probe	10.99.7	10.99.8	10.99.5	10.99.6	10.99.3	10.99.4	10.99.1	10.99.2
Ort	Gatow	Gatow	Schwedt	Schwedt	Criewen	Criewen	Stolpe	Stolpe
Seite	HFW	Oder	HFW	Oder	HFW	Oder	HFW	Oder
Al	5.957	5.162	302	616	Probe ver-	949	358	1.278
As	63,0	124	2,80	18,2	worfen	10,4	3,30	4,80
Cd	nn	nn	0,30	2,20		nn	0,60	1,20
Cr	54,8	nn	1,70	nn		nn	3,60	6,10
Cu	366	338	22,1	172		72,3	75,8	103
Fe	13.130	23.615	1.330	1.465		2.807	1.612	4.253
Mn	844	1.485	175	150		-	110	118
Ni	403	445	9,80	66,2		48,3	10,7	21,2
Pb	574	573	11,5	95,6		155	20,9	46,5
Zn	3.213	2.492	133	752		763	435	319