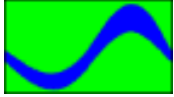


Bedeutung der Nebenflüsse für den Feststoffhaushalt der Elbe

- Band 1 -



Abschlussbericht



Bedeutung der Nebenflüsse für den Feststoffhaushalt der Elbe

Abschlussbericht

- Band 1 -

Dieses Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums
für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem
Förderkennzeichen 0339600/1 gefördert

Bearbeitung:

Dipl.-Geogr. S. Naumann

Dipl.-Ing. S. Schriever (ab 02/01)

Dipl.-Ing. M. Möhling (11/99–12/00)

Dipl.-Ing. O. Hansen (05/99–10/99)

Projektleiter:

Prof. Dr. E. Gölz

Dr.-Ing. A. Schmidt (bis 8/99)

Bundesanstalt für Gewässerkunde

Kaiserin-Augusta-Anlagen 15-17

56068 Koblenz

Koblenz, April 2003

BfG-1382

Inhalt

Abkürzungsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Anlagenverzeichnis

1	Aufgabenstellung und fachlicher Hintergrund.....	1
2	Hydrographisch - morphologische Charakteristik der Elbe	3
2.1	Das Einzugsgebiet der Elbe.....	3
2.2	Klima und Hydrologie.....	3
2.3	Nebenflüsse der Elbe.....	4
2.4	Feststoffhaushalt der Elbe	9
2.4.1	Sohlbeschaffenheit der Elbe	10
2.4.2	Geschiebehaushalt.....	12
2.4.3	Suspendierter Sand, Sandspülfracht und Bettbildende Fracht	14
2.4.4	Schwebstoffhaushalt	18
3	Datenbasis zur Ermittlung des Feststoffhaushaltes der Elbenebenflüsse	21
3.1	Schwebstoffmessstellen im Untersuchungsgebiet	21
3.1.1	Gütemessstellen der Bundesländer	21
3.1.2	Schwebstoffmessstellen der BfG	22
3.1.3	Schwebstoffmessstellen in Tschechien.....	25
3.2	Abflussdaten	26
3.3	Erfassung von Feststoffsinken.....	26
3.4	Luftbildauswertung	27
3.5	Zusammenfassende Bewertung der Datenquantität	30
4	Methoden der laboranalytischen Schwebstoffbestimmung im Elbeeinzugsgebiet	33
4.1	Begriffsdefinitionen.....	33
4.2	Methoden der Schwebstoffbestimmung.....	33
4.2.1	Gravimetrische Schwebstoffbestimmung nach DIN 38 409 - H2 – 2 der Bundesländer.....	33
4.2.2	Gravimetrische Schwebstoffbestimmung nach DVWK Richtlinie DK 556.535.6 der Bundesanstalt für Gewässerkunde.....	34
4.2.3	Gravimetrische Schwebstoffbestimmung nach ČSN 830 530 des Tschechischen Hydrometeorologischen Institut (ČHMÚ).....	34
4.3	Vergleich der Effizienz der gravimetrischen Filtriermethoden	34
4.4	Vergleich isochroner Schwebstoffdaten an Parallelmessstellen der BfG und der Landesbehörden	37
4.5	Abschließende Beurteilung der Vergleichbarkeit der Schwebstoffmessdaten im Elbe-EZG.....	39
5	Methodik der Schwebstofffrachtbestimmung	41
5.1	Problematik der Bestimmung einer Schwebstoffjahresfracht	41
5.2	Methoden der Schwebstofffrachtberechnung	44

5.2.1	Methode 1: $\overline{C}_{MT} \overline{Q}_{MJ}$	44
5.2.2	Methode 2: \overline{F}_{MT}	45
5.2.3	Methode 3: $\overline{F}_{MT-OSPAR}$	45
5.2.4	Methode 4: $F_{lin.Int.}$	45
5.2.5	Methode 5: $F_{CQ-Klassen}$	46
5.2.6	Methode 6: F_{TQ}	48
5.2.7	Methode 7: F_{Ct}	49
5.3	Plausibilitätsanalyse der Berechnungsergebnisse und die Ableitung von Schätzintervallen der Schwebstoffjahresfracht.....	51
5.4	Sensitivitätsanalyse der angewandten Methoden zur Berechnung einer Schwebstoffjahresfracht.....	53
6	Ergänzende Untersuchungen zum Feststoffhaushalt der Elbenebenflüsse	57
6.1	Konzeptionelle Überlegungen zum Untersuchungsprogramm	57
6.2	Geländemethoden.....	58
6.2.1	Sohlaufnahmen	58
6.2.2	Abflussmessungen	59
6.2.3	Geschiebemessungen.....	60
6.2.4	Messung des Suspendierten Sandanteils.....	61
6.2.5	Schwebstoffmessungen	61
6.3	Labormethoden	61
6.3.1	Konzentrationsbestimmung Schwebstoff und Suspendierter Sand	61
6.3.2	Bestimmung der organischen Substanz	62
6.3.3	Bestimmung der Korngrößenverteilung	62
7	Sächsische Nebenflüsse bis zur Mündung der Schwarze Elster	63
7.1	Abflussverhältnisse in den Nebenflussgebieten	64
7.2	Entwicklung der Gewässergüte im Beobachtungszeitraum.....	67
7.3	Schwebstoffhaushalt der sächsischen Elbenebenflüsse bis zur Mündung der Schwarze Elster	67
7.3.1	Schwebstoffmessstellen.....	67
7.3.2	Schwebstoffkonzentration	68
7.3.3	Schwebstofftransport.....	71
7.4	Schüttkegelbildung und Geschiebeeintrag der sächsischen Elbenebenflüsse	73
8	Das Einzugsgebiet Schwarze Elster	79
8.1	Abflussverhältnisse in der Schwarzen Elster	79
8.2	Entwicklung der Gewässergüte im Beobachtungszeitraum.....	82
8.3	Schwebstoffhaushalt der Schwarzen Elster.....	83
8.3.1	Schwebstoffmessstellen.....	83
8.3.2	Schwebstoffkonzentration	84
8.3.3	Schwebstofffracht.....	86
8.4	Schwebstoffeintrag der Schwarzen Elster in die Elbe	89
8.5	Mündungsnaher Sohlbeschaffenheit und Feststofftransport in der Schwarzen Elster	91
8.5.1	Sohlbeschaffenheit.....	91

8.5.2	Suspendierter Sand.....	92
8.5.3	Geschleibetransport.....	93
9	Nebenflussgebiete (< 3000 km²) der Oberen Mittelalbe.....	95
9.1	Langjähriges Abflussverhalten und hydrologisches Geschehen im Beobachtungszeitraum.....	97
9.2	Entwicklung der Gewässergüte im Beobachtungszeitraum.....	99
9.3	Schwebstoffhaushalt der Nebenflüsse (EZG < 3000 km ²) der Oberen Mittelalbe.....	100
9.3.1	Schwebstoffmessstellen.....	100
9.3.2	Schwebstoffkonzentration.....	101
9.4	Schwebstoffeintrag in die Elbe.....	104
10	Das Einzugsgebiet der Mulde.....	109
10.1	Abflussverhältnisse im Mulde-EZG.....	109
10.2	Entwicklung der Gewässergüte im Beobachtungszeitraum.....	112
10.3	Schwebstoffhaushalt der Gewässer im Mulde-EZG.....	114
10.3.1	Schwebstoffmessstellen.....	114
10.3.2	Schwebstoffkonzentration.....	115
10.3.2.1	Freiberger Mulde.....	115
10.3.2.2	Zwickauer Mulde.....	116
10.3.2.3	Vereinigte Mulde.....	116
10.3.3	Schwebstofffracht.....	120
10.3.3.1	Freiberger Mulde.....	121
10.3.3.2	Zwickauer Mulde.....	121
10.3.3.3	Verhältnis der Schwebstoffjahresfrachten am Zusammenfluss von Freiberger und Zwickauer Mulde.....	122
10.3.3.4	Schwebstoffjahresfrachten im Längsschnitt der Vereinigten Mulde.....	123
10.4	Die Bedeutung des Stausees Muldenstein als Feststoffslenke im Mulde-EZG.....	126
10.5	Schwebstoffeintrag der Vereinigten Mulde in die Elbe.....	127
11	Das Einzugsgebiet der Saale.....	131
11.1	Abflussverhältnisse im Saale-EZG.....	132
11.2	Entwicklung der Gewässergüte im Beobachtungszeitraum.....	135
11.3	Schwebstoffhaushalt der Gewässer im Saale Einzugsgebiet.....	138
11.3.1	Schwebstoffmessstellen.....	138
11.3.2	Schwebstoffkonzentration.....	140
11.3.2.1	Schwebstofflängsschnitt der Saale.....	140
11.3.2.2	Saalenebenflüsse Selbitz, Loquitz, Schwarzal, Orla und Ilm.....	141
11.3.2.3	Unstrut.....	141
11.3.2.4	Weißel Elster.....	143
11.3.2.5	Wipper.....	144
11.3.2.6	Bode.....	145
11.3.2.7	Schwebstoffjahresgang und mündungsnahe Schwebstoffkonzentration in der Saale.....	147
11.3.3	Schwebstofffracht.....	149
11.3.3.1	Schwebstofffrachtlängsschnitt der Saale.....	149

11.3.3.2	Unstrut	151
11.3.3.3	Weißer Elster	152
11.3.3.4	Wipper.....	153
11.3.3.5	Bode.....	154
11.4	Schwebstoffeintrag der Saale in die Elbe	155
12	Das Einzugsgebiet der Havel.....	159
12.1	Abflussverhältnisse im Havel-EZG	159
12.2	Entwicklung der Gewässergüte im Beobachtungszeitraum.....	163
12.3	Schwebstoffhaushalt der Gewässer im Havel-EZG.....	165
12.3.1	Schwebstoffmessstellen	165
12.3.2	Schwebstoffkonzentration	166
12.3.2.1	Spree	166
12.3.2.2	Verhältnis der Schwebstoffgehalte von Havel und Spree am Zusammenfluss	168
12.3.2.3	Havel.....	169
12.3.3	Schwebstofffracht.....	171
12.3.3.1	Spree	171
12.3.3.2	Verhältnis der Schwebstofffrachten von Havel und Spree am Zusammenfluss	173
12.3.3.3	Havel.....	175
12.4	Schwebstoffeintrag der Havel in die Elbe	177
13	Nebenflussgebiete der Unteren Mittelelbe	179
13.1	Langjähriges Abflussverhalten und hydrologisches Geschehen im Beobachtungszeitraum.....	180
13.2	Entwicklung der Gewässergüte im Beobachtungszeitraum.....	183
13.3	Schwebstoffhaushalt der Nebenflüsse der Unteren Mittelelbe	186
13.3.1	Schwebstoffmessstellen	186
13.3.2	Schwebstoffkonzentration	187
13.4	Schwebstoffeintrag in die Elbe.....	190
14	Zusammenfassung	195
14.1	Schwebstoffverhältnisse in den Gewässern des Elbe-EZG	195
14.1.1	Höhe der Schwebstoffführung.....	195
14.1.2	Jahresgang der Schwebstoffkonzentration	196
14.1.3	Verhältnis der Schwebstoffführung im Sommer- und Winterhalbjahr	198
14.2	Bedeutung der Nebenflüsse für den Feststoffhaushalt der Elbe	199
14.2.1	Schwebstoffeintrag in die Elbe	199
14.2.2	Geschiebeeintrag in die Elbe	203
15	Literaturverzeichnis.....	205

Anlagen

Abkürzungsverzeichnis

A_{EO}	Oberflächeneinzugsgebiet
afS	abfiltrierbarer Stoff
AST	Außenstelle
Bp	Bezugspegel
$\overline{C}_{MT} \overline{Q}_{MJ}$	Integration des Produkts aus dem Mittelwert der gemessenen Schwebstoffkonzentrationen und dem Mittelwert der Jahresabflussreihe über das Jahr
CHMU	Tschechisches Hydrometeorologisches Institut
ČHMÚ	Český Hydrometeorologický ústav (Tschechisches Hydrometeorologisches Institut)
DGJ	Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch
Elbe-km	Kilometrierung Elbe
EZG	Einzugsgebiet
$F_{lin.Int.}$	Lineare Interpolation zwischen den Messwerten zur Vervollständigung der Messreihe
$F_{CQ-Klassen}$	Regression von Schwebstoffmittelwerten/-medianen aus Abflussklassen über die zugehörigen Abflussmittelwerte/-mediane zur Erzeugung einer stetigen Wertereihe
$F_{CQ-Klassen/Jahr}$	siehe 5, Regression über das Gesamtjahr
$F_{CQ-Klassen/SomWin}$	siehe 5, Regression getrennt nach Sommer- und Winterhalbjahr
F_{Ct}	Erzeugung einer stetigen Wertereihe mittels des Zeitreihenverfahrens – unter der Annahme, dass die Konzentrationen einen zyklischen Verlauf haben
\overline{F}_{MT}	Bildung von Tagesfrachten aus den gemessenen Schwebstoffkonzentrationen mit den isochronen Abflusswerten, Integration des Mittelwertes der Tagesfrachten über das Jahr
$\overline{F}_{MT-OSPAR}$	Wie Methode 2, allerdings unter Einbeziehung eines Faktors, der sich aus dem Verhältnis des Mittelwertes der Abflüsse an den Messtagen und dem MQ des Gesamtjahres ergibt
$F_{Ct(Q30)}$	Wie 7a, allerdings wird hier davon ausgegangen, dass die Konzentration bei Überschreitung des Q30 das saisonale Mittel nicht unterschreitet
F_{TQ}	Regression von Schwebstofftagesfrachten über den zugehörigen Abfluss zur Erzeugung einer stetigen Wertereihe
GK	Güteklasse
GWRA	Grubenwasserreinigungsanlagen
IKSE	Internationale Kommission zum Schutz der Elbe
ITox	Institut für Umweltanalytik und Humantoxikologie
k.A.	Keine Angaben
kt	Kilotonne, 10^3 t
LAU	Landesamt für Umweltschutz
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
LUA	Landesumweltamt

Med	Median
MRLU	Ministerium für Raumordnung, Landwirtschaft und Umwelt
Ms	Messstelle
Mw	Mittelwert
n.b.	Nicht bekannt
N.N.	Normal Null
n.n.	nicht nachweisbar
NLWK	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft und Küstenschutz
oh.	oberhalb
PNP	Pegelnullpunkt
s	Standardabweichung
SLfUG	Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie
StadtUm	Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz
STAU	Staatliches Amt für Umweltschutz
STAU De/Wi	Staatliches Amt für Umweltschutz Dessau/Wittenberg
StAUN	Staatliches Amt für Umwelt und Natur
StUFA	Staatliches Umweltfachamt
SUA	Staatliches Umweltamt
TLU	Thüringer Landesanstalt für Umwelt
TS	Talsperre
uh.	unterhalb
WSA	Wasser- und Schifffahrtsamt
WSD OST	Wasser- und Schifffahrtsdirektion OST
WSV	Wasser- und Schifffahrtsverwaltung

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1: Prozentuale Beteiligung der Korngrößenfraktionen am Sohlmaterial der Elbe im Längsschnitt von Elbe-km 0 bis 580 (nach BfG, 1994).	11
Abb. 2-2: Geschiebetransporte [kg/s] und transportierte Korngrößen [d ₉₀] im Zusammenhang mit der Sohlzusammensetzung [dm] im Längsschnitt der Elbe.....	13
Abb. 2-3: Mittelwerte der sohlnahen (30 cm ü. Sohle) Konzentration des suspendierten Sandes über alle Lotrechten eines Messprofils im Längsverlauf der Elbe (1995-1998).	15
Abb. 2-4: Überblick über das Korngrößenspektrum des in Suspension transportierten Sandes im Längsverlauf der Elbe für den Zeitraum 1995-98.	16
Abb. 2-5: Berechnete mittlere jährliche Sandspülfrachten [kt] und ihr prozentualer Anteil an der gesamten suspendierten Sandfracht in der Elbe im Zeitraum 1995 – 1998.	17
Abb. 2-6: Berechnete mittlere bettbildende Jahresfracht [kt] der Elbe für den Zeitraum 1987 – 1998 nach SAUER (2000b), geändert.	18
Abb. 2-7: Mittlere Schwebstoffkonzentration getrennt nach Sommer- und Winterhalbjahr im Längsschnitt der Elbe für den Zeitraum von 1992-97.	19
Abb. 2-8: Mittlere Schwebstoffjahresfracht getrennt nach Sommer- und Winterhalbjahr im Längsschnitt der Elbe im Zeitraum von 1992-97.	20
Abb. 3-1: Luftbildauswertung der wasserbaulichen und morphologischen Merkmale der Nebenflussmündungen.	29
Abb. 4-1: Analytierte Schwebstoffkonzentrationen an 4 Suspensionsstandards bekannter Konzentration nach 4 gravimetrischen Bestimmungsverfahren unter Verwendung der Mittelwerte aus 10 Einzelmessungen pro Standard und Methode.	35
Abb. 4-2: Ergebnisse von Vergleichsmessungen der Schwebstoffkonzentration. Quelle: Bild 1 aus IKSR, 1998, S. 13, Bild 2 aus GKSS, 91/E/35, S.171.	38
Abb. 5-1: Einfluss der Probenahmeverfahren auf die ermittelte Schwebstoffkonzentration dargestellt am Beispiel der Elbe (Elbe-km 196,5 am 4.5.01).	41
Abb. 5-2: Schlecht ausgeprägte Schwebstoffkonzentration – Abfluss - Beziehung (C-Q) an der BfG-Ms Rathenow (Havel, Bp Rathenow) von 1992-1997 bei werktäglicher Messung der Konzentration.	46
Abb. 5-3: Beispiel der Bildung einer linearen Schwebstoffkonzentration – Abfluss - Beziehung über Abflussklassen anhand der arithmetischen Mittelwerte der CafS-Werte im Jahr, im Sommer- und Winterhalbjahr (BfG Ms Rathenow , Havel, Bp. Rathenow) von 1992 - 1997 bei werktäglicher Messung der Schwebstoffkonzentration).	47
Abb. 5-4: Schwebstofftransport-Abfluss-Beziehung an der BfG Ms Rathenow (Havel, Bp Rathenow) von 1992-1997 bei werktäglicher Messung der Schwebstoffkonzentration.....	49
Abb. 5-5: Beispiel für die Bildung des Saisonmusters (BfG Ms Rathenow, Havel) im Beobachtungszeitraum 1992/1997.	50
Abb. 5-6: Ablaufschema zur Bildung von Schätzintervallen der Schwebstoffjahresfracht auf der Grundlage von 9 Berechnungsmethoden (z. B. BfG-Ms Rathenow/Havel, 1997).	53
Abb. 5-7: Ergebnis der Sensitivitätsanalyse für die angewandten Methoden zur Berechnung der Schwebstoffjahresfracht in der prozentualen Abweichung des Mittelwertes der berechneten Fracht (14-tägige Messreihe) von der echten Schwebstoffjahresfracht anhand der BfG Messstellen Calbe-Grizehne/Saale und Rathenow/Havel für den Zeitraum von 1992 bis 1997.	54
Abb. 6-1: Feststofftransportmessung in der Elbe unterhalb der Mündung der Schwarzen Elster mit dem WSV-Messschiff „Elbegrund“	58
Abb. 6-2: Feststofftransportmessung am Bsp. der Döllnitz / Ms Riesa-Merzdorf (Messung der Fließgeschwindigkeit mit Nautilus C 2000, Nivelliergerät / Bodengreifer, Horizontalschöpfer auf der Brücke).	59
Abb. 6-3: Umgebauter BfG-Geschiebefänger während der Geschiebemessung (Bsp. Lachsbach, Messprofil 100 m vor der Mündung).....	60
Abb. 7-1: Mittlerer Jahresgang des Abflusses der Vereinigten Weißeritz, der Wesenitz und der Döllnitz an den zugeordneten hydrologischen Pegeln.	64
Abb. 7-2: Das Abflussgeschehen im Beobachtungszeitraum von 1989 bis 1999 in der Wesenitz (Bp Elbersdorf) und in der Döllnitz (Bp Merzdorf).....	66
Abb. 7-3: Schwankungsbreite der gemessenen Schwebstoffkonzentration an den mündungsnächsten Messstellen der Elbenebenflüsse von der deutsch-tschechischen Grenze bis zur Mündung der Schwarzen Elster (n = Anzahl der Messwerte).....	69

Abb. 7-4: Schwankungsbreite der gemessenen Schwebstofftransporte an den mündungsnächsten Messstellen (Tab. 7-4) der Elbenebenflüsse von der deutsch-tschechischen Grenze bis zur Mündung der Schwarzen Elster (n = Anzahl der Messwerte).	71
Abb. 7-5: Schüttkegel in der Nebenflussmündung der Müglitz (li) (Foto WSD OST, 1992) und zugehöriges Korngrößenraster des Sedimentkörpers (re).	73
Abb. 7-6: Schema der Sedimentdepot- und Schüttkegelbildung in den sächsischen Elbenebenflüssen in Abhängigkeit von der Höhe des Wasserstandes in der Elbe.....	75
Abb. 7-7: Mündungsprofil der Weißeritz (Dresden-Friedrichstadt) während der verschiedenen Phasen der Depotbildung (Depotvolumen ca. 2700 m ³) und Prozess der Schüttkegelbildung in der Kirnitzschmündung.....	76
Abb. 8-1: Mittlerer Abflussjahresgang der Schwarzen Elster an den hydrologischen Pegeln Biehlen ¹ , Lauchhammer, Bad Liebenwerda und Löben (DGJ 1997).	80
Abb. 8-2: Das Abflussgeschehen im Beobachtungszeitraum in der Schwarzen Elster (Bp Löben).	82
Abb. 8-3: Verlauf der Schwebstoffkonzentration im Längsschnitt der Schwarzen Elster getrennt nach dem Beobachtungszeitraum vor 1991 und 1992-1999 unter Verwendung des arithmetischen Mittels und des Medianwertes.....	85
Abb. 8-4: Verlauf der mittleren Schwebstoffkonzentration im Längsschnitt der Schwarzen Elster getrennt nach Sommer- und Winterhalbjahr.....	86
Abb. 8-5: Beispielhafter Verlauf des mittleren Jahresgangs der Schwebstoffkonzentration an der Ms Lauchhammer und des Abflusses am Bp Lauchhammer.....	86
Abb. 8-6: Schwebstoffjahresfrachten [kt] im Längsschnitt der Schwarzen Elster im Jahr 1990 (abflussarm), sowie in abflussarmen, mittleren und abflussreichen Jahren im Zeitraum von 1992 bis 1998.	88
Abb. 8-7: Schwebstoffeintrag der Schwarzen Elster in die Elbe von 1990 bis 1998 (S=abflussarm, N=mittleres Abflussjahr, R=abflussreich unter Angabe des prozentualen Verhältnisses von $MQ_{\text{Messjahr}}/MQ_{\text{langjährig}}$ in Prozent).	90
Abb. 8-8: Messprofil Brücke Gorsdorf an der Schwarzen Elster.....	91
Abb. 8-9: Mittlere Sohl- und Feststoffbeschaffenheit in der Schwarzen Elster (Ms Gorsdorf).....	92
Abb. 8-10: Vertikale Tiefenprofile des suspendierten Sandes, der organischen Substanz und der Korngrößenparameter am Messprofil Löben am 04.04.2000.....	93
Abb. 8-11: Geschiebetransport in den Messprofilen Gorsdorf und Löben in der Schwarzen Elster.....	94
Abb. 9-1: Ausgewählte Nebenflüsse der Oberen Mittelelbe zwischen der Mündung der Schwarzen Elster und der Havel.	96
Abb. 9-2: Mittlerer Jahresgang des Abflusses der Ehle (Bp Dannigkow), der Nuthe (Bp Nutha) und der Ohre (Bp Wolmirstedt).....	97
Abb. 9-3: Das Abflussgeschehen im Beobachtungszeitraum von 1989 bis 1999 in der Nuthe (Bp Nutha), der Ehle (Bp Dannigkow) und in der Ohre (Bp Wolmirstedt).....	98
Abb. 9-4: Mittlere jährliche Schwebstoffkonzentration der Ohre an den Messstellen Satuelle, Wolmirstedt und Rogätz im Beobachtungszeitraum.....	102
Abb. 9-5: Mittlere jährliche Schwebstoffgehalte an den mündungsnächsten Messstellen der Elbenebenflüsse Ehle, Nuthe, Tanger, Sülze und Sollkanal im angegebenen Beobachtungszeitraum.	103
Abb. 9-6: Beziehung zwischen Abfluss und Schwebstoffkonzentration an der Messstelle Walternienburg (Nuthe). Rechte Darstellung mit der Bildung der Schwebstoffmittelwerte (MW) und Mediane (Med) in den jeweiligen Abflussklassen und abgeleiteten Korrelationsbeziehungen.	104
Abb. 9-7: Variationsbereiche der geschätzten Schwebstoffjahresfrachten der Ohre an den Messstellen Rogätz (1990-1993) und Wolmirstedt (1994-1999) (S=abflussarm, N=mittleres Abflussjahr, R=abflussreich unter Angabe des prozentualen Verhältnisses von $MQ_{\text{Messjahr}}/MQ_{\text{langjährig}}$ in Prozent).	105
Abb. 9-8: Variationsbereiche der geschätzten Schwebstoffjahresfrachten der Ehle (Ms Biederitz), der Nuthe (Ms Walternienburg) und des Tanger (Ms Tangermünde) im jeweiligen Beobachtungszeitraum.	107
Abb. 10-1: Mittlerer Jahresgang des Abflusses der Vereinigten Mulde (VM), der Zwickauer Mulde (ZM), der Freiburger Mulde (FM) und der Zschopau (ZS) an den zugeordneten hydrologischen Pegeln.	109
Abb. 10-2: Das Abflussgeschehen im Beobachtungszeitraum von 1990 bis 1999 in der Vereinigten Mulde (Bezugspegel Bad Dübén).....	111
Abb. 10-3: Mediane der jährlichen Schwebstoffkonzentration am Zusammenfluss der Zwickauer und Freiburger Mulde im Beobachtungszeitraum von 1990 bis 2000.	117
Abb. 10-4: Vergleich der mittleren Jahresgänge der Schwebstoffkonzentration an den Messstellen Trebsen (Fluss-km 123) und Bad Dübén (Fluss-km 68,1) in der Vereinigten Mulde.	118

Abb. 10-5: Exemplarische Beziehung zwischen Schwebstoffgehalt und Abflusshöhe getrennt nach Sommer- und Winterhalbjahr in der Vereinigten Mulde zwischen Kössern und dem Zulauf am Stausee Muldenstein (Bsp. Messstelle Wurzen).....	119
Abb. 10-6: Verlauf der mittleren Schwebstoffkonzentration im Längsschnitt der Vereinigten Mulde getrennt nach Sommer- und Winterhalbjahr im Beobachtungszeitraum von 1990 (1992) bis 2000.....	120
Abb. 10-7: Zusammenfluss der Freiburger und Zwickauer Mulde. Quelle: http://www.lra-mtl.de/start.htm	122
Abb. 10-8: Höhe und prozentuales Verhältnis der Schwebstoffjahresfrachten am Zusammenfluss der Freiburger und Zwickauer Mulde.....	122
Abb. 10-9: Schwebstoffjahresfrachten im Längsschnitt der Vereinigten Mulde in abflussarmen, mittleren und abflussreichen Jahren im Zeitraum von 1990 bis 2000.....	125
Abb. 10-10: Schwebstofffrachtbilanz zwischen den Messstellen am Zu- und Ablauf des Stausees Muldenstein.....	126
Abb. 10-11: Feststoffablagerung im Mündungsbereich der Mulde in den Stausee Muldenstein (15.05.01).....	127
Abb. 10-12: Verdünnung der Schwebstoffkonzentration der Elbe durch die linksseitige Einmündung der Vereinigten Mulde. Vergleich der Schwebstoffverteilung durch Vielpunktmessungen mit dem Messschiff „Elbegrund“ oberhalb und unterhalb der Muldemündung (Analyse Schwebstoffgehalt nach DVWK Richtlinie DK 556.535.6).....	128
Abb. 10-13: Verdünnung der Schwebstoffkonzentration der Elbe durch die einmündende Vereinigte Mulde (Photo BURGHARDT, Arge Elbe).	129
Abb. 10-14: Schwebstoffeintrag der Vereinigten Mulde im Beobachtungszeitraum (Messstelle Dessau) (S=abflussarm, N=mittleres Abflussjahr, R=abflussreich unter Angabe des prozentualen Verhältnisses von $MQ_{\text{Messjahr}}/MQ_{\text{langjährig}}$ in Prozent).	130
Abb. 10-15: Mittlerer prozentualer Anteil der Teileinzugsgebiete an der Schwebstoffjahresfracht der Mulde.....	130
Abb. 11-1: Mittlerer langjähriger Abflussjahresgang der Saale, der Weißen Elster, der Unstrut und der Bode an den angegebenen Bezugspegeln.	132
Abb. 11-2: Hochwasser der Saale am 14.04.1994 bei Jena (li.) und an der Ilmmündung (re.) (Foto: D. Stremke, http://www.tlug-jena.de/newwq/index.html).....	133
Abb. 11-3: Das Abflussgeschehen im Beobachtungszeitraum von 1991 bis 1999 in der Saale, der Weißen Elster und der Bode bezogen auf den angegebenen Bezugspegel.	134
Abb. 11-4: Schwebstofflängsschnitt der Saale getrennt nach Sommer- und Winterhalbjahr für das Jahr 1999.....	140
Abb. 11-5: Vergleich der Mittelwerte der Schwebstoffkonzentrationen der mündungsnahen Messstelle Freyburg (Unstrut) und der oberhalb der Einmündung gelegenen Messstelle Bad Kösen (Saale) im Zeitraum von 1992 bis 1999 getrennt nach Sommer- und Winterhalbjahr... ..	142
Abb. 11-6: Vergleich der Mittelwerte der Schwebstoffkonzentrationen der mündungsnahen Messstelle Ammendorf (Weiße Elster) und der oberhalb der Einmündung gelegenen Messstelle Planena (Saale) im Zeitraum von 1992 bis 1999 getrennt nach Sommer- und Winterhalbjahr.....	144
Abb. 11-7: Vergleich der Mittelwerte der Schwebstoffkonzentrationen der mündungsnahen Messstelle Aderstedt (Wipper) und der oberhalb der Einmündung gelegenen Messstelle Wettin (Saale) im Zeitraum von 1992 bis 1999 getrennt nach Sommer- und Winterhalbjahr.....	145
Abb. 11-8: Mittlere Schwebstoffkonzentration im Sommer- und Winterhalbjahr im Beobachtungszeitraum an den Messstellen Hadmersleben (Fluss-km 46,9), Stassfurt (Fluss-km 16) und Neugattersleben (Fluss-km 7).	146
Abb. 11-9: Vergleich der Mittelwerte der Schwebstoffkonzentrationen der mündungsnahen Messstelle Neugattersleben (Bode) und der oberhalb der Einmündung gelegenen Messstelle Nienburg (Saale) im Zeitraum von 1992 bis 1999 getrennt nach Sommer- und Winterhalbjahr.....	147
Abb. 11-10: Verlauf des mittleren Schwebstoffjahresgangs in der Saale von Bad Dürrenberg bis Groß Rosenburg.	148
Abb. 11-11: Variationsbreite der geschätzten Schwebstoffjahresfrachten im Längsschnitt der Saale in Abhängigkeit von der Höhe des mittleren jährlichen Abflusses im Beobachtungszeitraum 1993-1999.....	150
Abb. 11-12: Schwebstoffeintrag der Unstrut in die Saale von 1993 bis 1998 (S=abflussarm, N=mittleres Abflussjahr, R=abflussreich unter Angabe des prozentualen Verhältnisses von $MQ_{\text{Messjahr}}/MQ_{\text{langjährig}}$ in Prozent).	151

Abb. 11-13: Schwebstoffeintrag der Weißen Elster in die Saale von 1991 bis 1999 (S=abflussarm, N=mittleres Abflussjahr, R=abflussreich unter Angabe des prozentualen Verhältnisses von $MQ_{\text{Messjahr}}/MQ_{\text{langjährig}}$ in Prozent).	152
Abb. 11-14: Schwebstoffeintrag der Wipper in die Saale von 1993 bis 1999 (S=abflussarm, N=mittleres Abflussjahr, R=abflussreich unter Angabe des prozentualen Verhältnisses von $MQ_{\text{Messjahr}}/MQ_{\text{langjährig}}$ in Prozent).	154
Abb. 11-15: Schwebstoffeintrag der Bode in die Saale von 1990 bis 2000 (S=abflussarm, N=mittleres Abflussjahr, R=abflussreich unter Angabe des prozentualen Verhältnisses von $MQ_{\text{Messjahr}}/MQ_{\text{langjährig}}$ in Prozent).	155
Abb. 11-16: Schwebstoffeintrag der Saale in die Elbe von 1993 bis 1999 (S=abflussarm, N=mittleres Abflussjahr, R=abflussreich unter Angabe des prozentualen Verhältnisses von $MQ_{\text{Messjahr}}/MQ_{\text{langjährig}}$ in Prozent).	156
Abb. 11-17: Prozentuale Anteile der angegebenen Saalezuflüsse und der Saale selbst an der Bildung der Schwebstoffjahresfracht bezogen auf die Messstelle Groß Rosenburg in Abhängigkeit vom mittleren jährlichen Abfluss, getrennt nach Sommer- und Winterhalbjahr und im Beobachtungszeitraum von 1993 bis 1999.	158
Abb. 12-1: Mittlerer langjähriger Abflussjahresgang der Havel (Bp Havelberg) und der Spree (Bp Sophienwerder).....	160
Abb. 12-2: Mittlerer jährlicher Abfluss (MQ) der Spree am Pegel Sophienwerder (Berlin) von 1973-1999 und Auswirkung der Durchflussreduktion auf den mittleren Abfluss und die Einordnung der Abflussjahre ab 1990 (S=abflussarm, N=mittleres Abflussjahr, R=abflussreich unter Angabe des prozentualen Verhältnisses von $MQ_{\text{Messjahr}}/MQ_{\text{langjährig}}$ in Prozent).	161
Abb. 12-3: Das Abflussgeschehen im Beobachtungszeitraum von 1990 bis 1999 in der Havel und der Spree bezogen auf den angegebenen Bezugspegel.	163
Abb. 12-4: Schwebstofflängsschnitt der Spree getrennt nach Sommer- und Winterhalbjahr für den jeweiligen Beobachtungszeitraum an den angegebenen Messstellen (Band 2, Anhang F).	166
Abb. 12-5: Vergleich der Jahresmittelwerte der Schwebstoffkonzentration am Zusammenfluss von Spree (Messstelle Sophienwerder) und Havel (Messstelle Schleuse Spandau) von 1980 bis 1999.	168
Abb. 12-6: Schwebstofflängsschnitt der Havel getrennt nach Sommer- und Winterhalbjahr für den jeweiligen Beobachtungszeitraum an den angegebenen Messstellen (Band 2, Anhang F).	169
Abb. 12-7: Mittlerer Schwebstoffjahresgang an repräsentativen Messstellen in Havel, Spree, Dahme, Tegeler Fließ, Landwehrkanal und Teltowkanal in Verbindung mit dem Jahresgang des Abflusses.....	170
Abb. 12-8: Variationsbreite der geschätzten Schwebstoffjahresfrachten im Längsschnitt der Spree in Abhängigkeit von der Höhe des mittleren jährlichen Abflusses im vollständigen Beobachtungszeitraum (Tab. 12-5) an den jeweiligen Messstellen.	172
Abb. 12-9: Schwebstoffeintrag der Spree (Messstelle Sophienwerder) in die Havel von 1990 bis 1999 (S=abflussarm, N=mittleres Abflussjahr, R=abflussreich unter Angabe des prozentualen Verhältnisses von $MQ_{\text{Messjahr}}/MQ_{1990-1999}$ in Prozent).....	174
Abb. 12-10: Verhältnis der Schwebstofffrachtanteile von Spree und Havel am Zusammenfluss in Abhängigkeit vom Abflussjahr und im Sommer- und Winterhalbjahr.	174
Abb. 12-11: Schematische Darstellung des Gewässernetzes der Havel im Raum Berlin-Brandenburg.	175
Abb. 12-12: Variationsbreite der geschätzten Schwebstoffjahresfrachten im Längsschnitt der Havel in Abhängigkeit von der Höhe des mittleren jährlichen Abflusses im vollständigen Beobachtungszeitraum (Tab. 12-5) an den jeweiligen Messstellen.	176
Abb. 12-13: Topografie und Messstellenanordnung im Bereich der Havelmündung.....	177
Abb. 12-14: Schwebstoffeintrag der Havel (Messstelle Toppel) in die Elbe von 1990 bis 1999 (S=abflussarm, N=mittleres Abflussjahr, R=abflussreich unter Angabe des prozentualen Verhältnisses von $MQ_{\text{Messjahr}}/MQ_{1990-1999}$ in Prozent).	178
Abb. 13-1: Mittlerer langjähriger Jahresgang des Abflusses der Jeetzel (Bezugspegel Salzwedel), der Sude (Bezugspegel Garlitz) und der Elde-Müritz-Wasserstrasse (Bezugspegel Maliss). ...	180
Abb. 13-2: Das Abflussgeschehen im Beobachtungszeitraum in den hydrologischen Jahren von 1989 bis 1998 in der Sude (Bandekow berechnet aus Pegel Garlitz), der Elde (Bezugspegel Maliss) und in der Boize (Bezugspegel Schwartow).	181
Abb. 13-3: Jahresmittelwerte der Schwebstoffkonzentration (mg/l) an den Messstellen der untersuchten Nebenflüsse an der Unteren Mittelelbe im angegebenen Beobachtungszeitraum.	188
Abb. 13-4: Gemittelter Jahresgang der Schwebstoffkonzentration an den Nebenflüssen an der Unteren Mittelelbe bezogen auf den jeweiligen Beobachtungszeitraum (Tab. 13-5).	189

Abb. 13-5: Variationsbereiche der Schwebstoffjahresfrachten an den mündungsnächsten Messstellen (ausgenommen Messstelle Salzwedel/Jeetze) der Nebenflüsse an der Unteren Mittelelbe im Beobachtungszeitraum.....	192
Abb. 13-6: Weitreichende Rückstaubeinflussung der Elbenebenflüsse an der Unteren Mittelelbe am Beispiel der Seege (Hochwasserretentionsfläche für die Elbe) und der Sude (Abschlusswehr).	194
Abb. 14-1: Häufigkeit des Auftretens von Schwebstoffgehalten [%] an 183 Messstellen an den untersuchten Nebenflüssen der Elbe im Zeitraum von 1990 – 1999.	195
Abb. 14-2: Abflussabhängiger (Nuthe/Walthernienburg) und bioproduktivitätsbestimmter (Havel/Brandenburg) Jahresgang der Schwebstoffführung im Elbe-EZG.	197
Abb. 14-3: Entwicklung eines bioproduktivitätsbestimmten Nebenmaximums der Schwebstoffkonzentration im Sommerhalbjahr mit zunehmender Lauflänge eines Fließgewässers (Bsp. Vereinigte Mulde).	197
Abb. 14-4: Messstellenbezogene Frachttypen im Elbe-EZG auf der Grundlage des Verhältnisses der Frachtanteile und der Höhe der Schwebstoffgehalte in den Sommer- und Winterhalbjahren zueinander.....	198
Abb. 14-5: Variationsbereich der Schwebstoffjahresfrachten an den mündungsnächsten Messstellen der Elbenebenflüsse im Beobachtungszeitraum von 1990 bis 2000 – Erläuterungen s. Text.	201

Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1: Längsgliederung der Elbe.....	3
Tab. 2-2: Verzeichnis der Nebenflüsse 1.Ordnung und der Nebenflussdichte bezogen auf die Lage der Schwebstoffdauer messstellen der BfG im Untersuchungsgebiet.....	6
Tab. 2-3: Allgemeine Klassifikation der Komponenten des Feststofftransports.....	9
Tab. 2-4: Abflussabhängigkeit der Konzentration des suspendierten Sandes [g/m ³] von der Entnahmetiefe (Mittelwerte aus allen Messungen im Zeitraum von 1995 bis 1999).....	15
Tab. 3-1: Anzahl der recherchierten und für die Auswertung herangezogenen Gütemessstellen der Länder, an denen der Parameter „Abfiltrierbarer Stoff“ erhoben wird bzw. wurde.....	22
Tab. 3-2: Verwendete Schwebstoffmessstellen der BfG an den Bundeswasserstrassen im Elbe-EZG (Karte 2).	25
Tab. 3-3: Recherchierte Schwebstoffmessstellen des ČHMÚ im Elbe-EZG (Karte 2).	25
Tab. 3-4: Nebenflussgebiete 1. Ordnung, deren Schwebstoffhaushalt auf der Grundlage der Datenrecherche ermittelt werden kann.....	30
Tab. 4-1: Angewandte gravimetrische Filtrationsverfahren zur Schwebstoffbestimmung im Elbe-EZG.	36
Tab. 4-2: Effizienz [%] der untersuchten gravimetrischen Filtrationsverfahren unter Angabe der Standardabweichung (Stabw.) in Bezug auf jeweils 10 Proben.....	37
Tab. 4-3: Vergleich der isochronen Wertepaare von Schwebstoffmessungen an Parallelmessstellen der BfG und der Landesbehörden über die Bildung des Verhältnisses von C _{afS} BFG / C _{afS} Land.	37
Tab. 5-1: Verzeichnis der verwendeten Frachtberechnungsmethoden.	43
Tab. 5-2: Betrachtete Korrelationsmöglichkeiten zwischen der Schwebstoffkonzentration und dem Abfluss über Abflussklassen getrennt nach Zeitraum, mathematischen Mittelwert und Regressionstyp der Beziehung.....	47
Tab. 5-3: Beispiel für die Bildung von saisonalen Faktoren (BfG Ms Rathenow, Havel) im Beobachtungszeitraum 1992/1997.....	50
Tab. 7-1: Wichtigste Nebenflussgebiete zwischen der deutsch-tschechischen Grenze und der Schwarze Elster Mündung.....	63
Tab. 7-2: Statistische Hauptzahlen ausgewählter Pegel der Nebenflüsse zwischen deutsch-tschechischer Grenze und der Mündung der Schwarzen Elster (Quelle: SLfUG, 1997d).	65
Tab. 7-3: Einordnung der Höhe der Abflussjahre im Beobachtungszeitraum gemessen am Verhältnis des mittleren Jahresabflusses zum MQ des Beobachtungszeitraumes in [%].	66
Tab. 7-4: Zur Auswertung herangezogene Gewässergütemessstellen und zugeordnete Bezugspegel.	67
Tab. 7-5: Schwankungsbreite der durch Eigenmessungen festgestellten Konzentration an Gesamtschwebstoffgehalt und suspendiertem Sand (Extrema im Messprofil) im unmittelbaren Mündungsbereich der angegebenen Nebenflüsse im Zeitraum von 08/99 bis 06/01. Im Vergleich zu Landesmesswerten Höhere Maxima hervorgehoben.....	70
Tab. 7-6: Ausgewählte geschätzte Schwebstofftagesfrachten in Nebenflüssen des sächsischen Berglandes (*Eigenmessungen, **Landesmesswerte).....	72
Tab. 7-7: Mündungsnahes Sohlensubstrat, d-Werte und Vorkommen von Schüttkegelbildungen an den dargestellten sächsischen Nebenflüssen (X = Schüttkegel vorhanden, aber nicht beprobt; n.n. = Schüttkegel nicht nachweisbar).....	74
Tab. 7-8: Sedimentdepotmächtigkeiten und Geschiebetransporte in den Nebenflüssen des sächsischen Festgesteinseinzugsgebietes der Elbe (*Deckschicht).....	77
Tab. 8-1: Statistische Hauptzahlen der hydrologischen Pegel an der Schwarzen Elster (DGJ, 1997).	80
Tab. 8-2: Erwartete Entwicklung der Grubenwassereinleitungen bezogen auf den Pegel Löben an der Schwarzen Elster (WASY 1992a, S. 6).	81
Tab. 8-3: Einschätzung der Höhe der Abflussjahre von 1990 bis 1999 gemessen am Verhältnis des mittleren Jahresabflusses zum langjährigen MQ an der Schwarzen Elster (Bp Löben).	81
Tab. 8-4: Gewässergüte- und Abflusspegel an der Schwarzen Elster.	83
Tab. 8-5: Konzentration und Eigenschaften des suspendierten Sandes in der Schwarzen Elster in Abhängigkeit von der Abflusshöhe.	92
Tab. 9-1: Lage und Größe der wichtigeren Nebenflussgebiete an der Oberen Mittelelbe zwischen der Mündung der Schwarzen Elster und der Havel (Meteorologischer Dienst der DDR, 1968; ARGE ELBE, 2001).	95
Tab. 9-2: Hauptzahlen der Pegel Demker, Dannigkow und Nutha.	98

Tab. 9-3: Einordnung der Abflussjahre im Beobachtungszeitraum gemessen am Verhältnis des mittleren Jahresabflusses zum MQ des Beobachtungszeitraumes in [%].....	99
Tab. 9-4: Zur Auswertung herangezogene Gewässergütemessstellen und zugeordnete Bezugspegel.	101
Tab. 10-1: Statistische Hauptzahlen ausgewählter Pegel im Mulde-EZG.	110
Tab. 10-2: Einschätzung der Höhe der Abflussjahre von 1990 bis 1999 gemessen am Verhältnis des mittleren Jahresabflusses zum langjährigen MQ an Vereinigter-, Freiburger- und Zwickauer Mulde.....	111
Tab. 10-3: Zur Auswertung herangezogene Gewässergütemessstellen und Bezugspegel im Mulde-EZG.	114
Tab. 10-4: Kennwerte der Schwebstoffkonzentration an den Messstellen der Freiburger Mulde und der Zschopau (Band 2, Anhang F).	115
Tab. 10-5: Kennwerte der Schwebstoffkonzentration an den Messstellen der Zwickauer Mulde.	116
Tab. 10-6: Absolute und prozentuale Abnahme des Schwebstoffgehaltes zwischen Zu- und Ablauf des Stausees Muldenstein.....	119
Tab. 10-7: Berechnete Intervalle der Schwebstoffjahresfrachten in der Freiburger Mulde und in der Zschopau in Abhängigkeit vom mittleren Jahresabfluss. (k.A. = keine Angabe; wenn Frachtaberschätzung aufgrund fehlender Messwerte bzw. aufgrund von unberücksichtigten hydrologischen Ereignissen nicht möglich.)	121
Tab. 10-8: Berechnete Intervalle der Schwebstoffjahresfrachten in der Zwickauer Mulde in Abhängigkeit von der Höhe des mittleren Jahresabflusses. (k.A. = keine Angabe; wenn Frachtaberschätzung aufgrund fehlender Messwerte bzw. aufgrund von unberücksichtigten hydrologischen Ereignissen nicht möglich.)	121
Tab. 10-9: Mittlere Schwebstoffkonzentration an der Mündung der Vereinigten Mulde und der Elbe im Vergleich.....	128
Tab. 11-1: Hydrographische Gliederung des Saale EZG unter Angabe der wichtigsten Einzugsgebiete (Datenquelle ARGE ELBE, 2001).	131
Tab. 11-2: Hauptzahlen der hydrologischen Pegel Calbe-Grizehne, Oberthau, Laucha und Hadmersleben.....	133
Tab. 11-3: Einordnung der Abflussjahre im Beobachtungszeitraum gemessen am Verhältnis des mittleren Abflussjahresgangs zum MQ des Beobachtungszeitraumes in [%].	134
Tab. 11-4: Ausgewählte Gütemessstellen im Saale-EZG, an denen Schwebstofffrachten bestimmt werden konnten. Vollständige Auflistung der recherchierten Messstellen siehe Band 2-Anhang C und Anlage 8.	139
Tab. 11-5: Vergleich der Jahresmittelwerte der Schwebstoffkonzentrationen der mündungsnahen Messstelle Freyburg (Unstrut) und der oberhalb der Einmündung gelegenen Messstelle Bad Kösen (Saale) im Zeitraum von 1992 bis 1999.	142
Tab. 11-6: Vergleich der Jahresmittelwerte der Schwebstoffkonzentrationen der mündungsnahen Messstelle Ammendorf (Weiße Elster) und der oberhalb der Einmündung gelegenen Messstelle Planena (Saale) im Zeitraum von 1992 bis 1999.	143
Tab. 11-7: Vergleich der Jahresmittelwerte der Schwebstoffkonzentrationen der mündungsnahen Messstelle Aderstedt (Wipper) und der oberhalb der Einmündung gelegenen Messstelle Wettin (Saale) im Zeitraum von 1992 bis 1999.	144
Tab. 11-8: Vergleich der Jahresmittelwerte der Schwebstoffkonzentrationen der mündungsnahen Messstelle Neugattersleben (Bode) und der oberhalb der Einmündung gelegenen Messstelle Nienburg (Saale) im Zeitraum von 1992 bis 1999.	146
Tab. 11-9: Jahresmittelwerte der Schwebstoffkonzentration an der mündungsnächsten Saalemessstelle Gross Rosenberg.	148
Tab. 11-10: Prozentuale Anteile der angegebenen Saalezuflüsse und der Saale selbst an der Bildung der Schwebstoffjahresfracht bezogen auf die Messstelle Groß Rosenberg in Abhängigkeit vom mittleren jährlichen Abfluss und getrennt nach Sommer- und Winterhalbjahr.	156
Tab. 12-1: Havelnebenflüsse mit einer Einzugsgebietsgröße > 500 km ² (Anlage 9).....	159
Tab. 12-2: Hauptzahlen ausgewählter hydrologischer Pegel im Havel-EZG.	160
Tab. 12-3: Entwicklung und Prognose des mittleren jährlichen Abflusses in der Spree auf der Höhe von Leibsch (Quelle: FREUDE (2002), LUA Brandenburg Vortrag Fachtagung "Lebendige Spree", Cottbus).	161
Tab. 12-4: Einordnung der Abflussjahre im Beobachtungszeitraum von 1990 bis 1999 gemessen am Verhältnis des mittleren Abflusses 1990-1999 zum MQ des Messjahres in [%].	162

Tab. 12-5: Ausgewählte Gütemessstellen im Havel-EZG, an denen Schwebstofffrachten bestimmt werden konnten. Vollständige Auflistung der recherchierten Messstellen siehe Band 2-Anhang C und F.	165
Tab. 12-6: Jahresmittelwerte der Schwebstoffkonzentration (afS) in der Havel an der mündungsnächsten Messstelle Toppel von 1992 – 1999.	171
Tab. 13-1: Lage und Größe der wichtigeren Nebenflussgebiete an der Unteren Mittelelbe zwischen der Mündung der Havel und dem Wehr Geesthacht (Meteorologischer Dienst der DDR, 1968; ARGE ELBE, 2001).....	179
Tab. 13-2: Hauptzahlen ausgewählter und mündungsnächster Pegel in den Nebenflussgebieten der Unteren Mittelelbe.	181
Tab. 13-3: Einordnung der Abflussjahre im Beobachtungszeitraum gemessen am Verhältnis des mittleren Jahresabflusses des Messjahres zum langjährigen MQ in [%].	182
Tab. 13-4: Hydrographische Parameter des Sude EZG und ausgewählter Nebengewässer (Z1, 2, MP)	185
Tab. 13-5: Gewässergütemessstellen und zugeordnete Bezugspegel an den Nebenflüssen der Unteren Mittelelbe. (Detailliertere Angaben s. Band 2, Anhang C und F).....	186
Tab. 13-6: Abgeschätzte Schwebstoffjahresfrachten an der Messstelle Wanzer (Aland) durch einfache Integration des Mittelwertes der Tagesfrachten über das Jahr mittels der Berechnungsmethode 2 (Kapitel 5).	193

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Messstellen an den sächsischen Nebenflüssen erster Ordnung von der deutsch-tschechischen Grenze bis zur Einmündung der Schwarzen Elster.

Anlage 2: Messstellen im Einzugsgebiet der Schwarzen Elster.

Anlage 3: Messstellen im Einzugsgebiet der Nuthe.

Anlage 4: Messstellen im Einzugsgebiet der Ehle.

Anlage 5: Messstellen im Einzugsgebiet der Ohre.

Anlage 6: Messstellen im Einzugsgebiet des Tanger.

Anlage 7: Messstellen im Einzugsgebiet der Mulde.

Anlage 8: Messstellen im Einzugsgebiet der Saale.

Anlage 9: Messstellen im Einzugsgebiet der Havel.

Anlage 10: Messstellen im Einzugsgebiet der Stepenitz.

Anlage 11: Messstellen im Einzugsgebiet des Aland.

Anlage 12: Messstellen im Einzugsgebiet der Seege.

Anlage 13: Messstellen im Einzugsgebiet der Elde.

Anlage 14: Messstellen im Einzugsgebiet der Jeetzel.

Anlage 15: Messstellen im Einzugsgebiet der Sude.

1 Aufgabenstellung und fachlicher Hintergrund

Die Entwicklung ökologischer Konzeptionen für Fluss- und Seenlandschaften ist ein wesentlicher Förderschwerpunkt des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), in dessen Mittelpunkt seit 1996 die Stromlandschaft Elbe steht. Im Rahmen der Forschungskonzeption „Elbe-Ökologie“ werden interdisziplinäre Verbundvorhaben zur Ökologie der Fließgewässer und Auen, zum Stoffhaushalt und zur Landnutzung im Elbeeinzugsgebiet gefördert. Dabei nimmt die Kenntnis des Feststoffhaushalts im Einzugsgebiet der Elbe für die Beurteilung der Erosions- und Akkumulationsprozesse im Flußbett und auf den Vorländern sowie im Hinblick auf Gewässerstruktur und Habitatentwicklung sowohl aus wasserwirtschaftlicher und verkehrlicher als auch aus ökologischer Sicht eine Schlüsselstellung ein. Zudem erfordert die Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie eine Ländergrenzen und Verwaltungseinheiten übergreifende Betrachtung von Flussgebieten, wodurch die einheitliche Bewertung des ökologischen Zustands der Gewässer anhand von morphologischen, biologischen und chemischen Kriterien gewährleistet werden soll. Zuverlässige Quantifizierungen des aktuellen und potentiellen schwebstoffgebundenen Nähr- und Schadstofftransports der Fließgewässer setzen eine detaillierte Bilanzierung der suspendierten Feststofffrachten in den jeweiligen Flussgebietseinheiten voraus.

Während durch die intensiven Untersuchungen der Bundesanstalt für Gewässerkunde zum Geschiebe- und Schwebstoffhaushalt der Elbe die Transportprozesse im Hauptstrom selbst seit geraumer Zeit Beachtung finden, ist die Kenntnis über die Bedeutung der Nebenflüsse und ihrer Einzugsgebiete für die Feststofftransportcharakteristik der Elbe noch vergleichsweise gering.

Im Mittelpunkt der Forschungsarbeit, die sich im wesentlichen auf die Nebengewässer der freifließenden Elbe zwischen der deutsch-tschechischen Grenze und dem Wehr Geesthacht bezog, stand daher sowohl die Quantifizierung als auch die Beurteilung der jahreszeitlich und abflusss dynamisch bedingten Variationen des Feststoffeintrags der Nebenflüsse in die Elbe. Bezugnehmend auf die Ziele der EU-WRRL wurden außerdem umfassende, Bundesländer übergreifende Untersuchungen zu den Schwebstofftransportprozessen in den Einzugsgebieten und zu den Feststofflieferpotentialen der Nebenflüsse der Elbe vorgenommen.

Wesentliche Voraussetzung für die Realisierung des Forschungsprojektes war neben der finanziellen Förderung durch das BMBF die Nutzung der in der Bundesanstalt für Gewässerkunde vorhandenen personellen und gerätetechnischen Ressourcen. Von ausschlaggebender Bedeutung war jedoch die Verfügbarkeit von gewässerkundlichen Daten eines längeren Zeitraums, da während der Laufzeit des Projekts eine Datengewinnung durch eigene Messungen nur in begrenztem Umfang möglich war. Einen entsprechend großen Raum nahm deshalb die Datenrecherche ein, die sich insbesondere auf die bei Behörden und Fachinstitutionen vorgehaltenen Schwebstoffdaten konzentrierte. Hierbei ist zum einen die Mitwirkung der Umweltbehörden der Bundesländer Sachsen, Thüringen, Sachsen-Anhalt, Brandenburg, Berlin und Niedersachsen zu nennen zum anderen aber auch die Mithilfe der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes und des Tschechischen Hydrometeorologischen Instituts.

Auch wenn sich die Fertigstellung des Schlußberichtes um wenige Monate verzögert hat, erfolgte der Ablauf des Projektes von der Sichtung der Fachliteratur über die Datenrecherche und die Eigenmessungen bis hin zur Auswertung im dafür vorgesehenen Zeitrahmen von 3 Jahren.

Es ist geplant, den Schlußbericht allen an der Datenrecherche beteiligten Behörden zur Verfügung zu stellen, da er eine wichtige Grundlage für zukünftige Planungen und Entscheidungen an den Nebenflüssen wie auch an der Elbe selbst darstellt. Des weiteren wird der Bericht im Meta-Informationssystem ELISE zum Herunterladen bereitgestellt und steht somit sowohl dem Fachwissenschaftler als auch der interessierten Öffentlichkeit zur Verfügung.

Teilergebnisse des Vorhabens wurden bereits auf verschiedenen Fachtagungen und Kolloquien vorgestellt. Neben der Publikation von Teilaspekten der umfangreichen Untersuchungen ist eine konzentrierte Gesamtdarstellung der Ergebnisse im Band „Struktur und Dynamik des Flusslaufs und deren Beeinflussung durch wasserbauliche Massnahmen“ der Buchreihe „Elbe-Ökologie“ vorgesehen, das derzeit von der Projektgruppe Elbe-Ökologie zur Veröffentlichung vorbereitet wird.

Dem BMBF und dem Projektträger Jülich, sowie allen genannten Behörden und Institutionen und nicht zuletzt der Projektgruppe Elbe-Ökologie und den FachkollegInnen von der Bundesanstalt für Gewässerkunde sei an dieser Stelle für die gewährte Unterstützung herzlich gedankt.

2 Hydrographisch - morphologische Charakteristik der Elbe

2.1 Das Einzugsgebiet der Elbe

Das Quellgebiet der Elbe liegt im Riesengebirge (1383,6 m N.N.) auf dem Gebiet der tschechischen Republik. Bis zu ihrer Mündung in die Nordsee bei Cuxhaven legt die Elbe einen Weg von 1091 km zurück, wobei 364 km auf tschechisches und 726 km auf deutsches Territorium entfallen. Das 148 268 km² große Einzugsgebiet der Elbe hat Anteile an der Bundesrepublik Deutschland (96 932 km²), an der Tschechischen Republik (50 176 km²), an Österreich (920 km²) und an der Republik Polen (240 km²). Die Elbe entwässert etwa 27,2 % der Gesamtfläche Deutschlands.

Gemäß der Entscheidung auf der 5. Tagung der IKSE wird die Elbe in drei Abschnitte unterteilt. Dabei erfolgt die Fließgewässerkilometrierung in Tschechien von der Grenze bis zur Quelle und in Deutschland von der Grenze (Elbe-km 0) bis zur Mündung (Tab. 2-1, Karte 1).

Obere Elbe	Quelle bis Schloß Hirschstein	(Elbe-km 369,92 -0 -96,0)
Mittlere Elbe	Schloß Hirschstein bis Wehr Geesthacht	(Elbe-km 96,0 – 585,9)
Untere Elbe	Wehr Geesthacht bis Seegrenze bei Cuxhaven-Kugelbake	(Elbe-km 585,9 – 727,7)

Tab. 2-1: Längsgliederung der Elbe.

2.2 Klima und Hydrologie

Das Elbe-EZG liegt im Übergangsbereich zwischen dem maritim geprägten Klima Westeuropas und dem kontinentaleren Klima Osteuropas. Bedingt durch das Niederschlagsregime und die Entwässerung der tschechischen und deutschen Mittelgebirge lässt sich die Elbe, mit den entsprechenden Konsequenzen für das Schwebstoffregime, dem Regen-Schnee-Typ nach PARDÉ zuordnen (HENDL et. al., 1988). Höhere Durchflüsse treten demzufolge durch die Kombination von Niederschlagsereignissen und Schneeschmelze in den Mittelgebirgslagen vornehmlich im Winter und im Frühjahr auf. Am Pegel Dresden (1800–1994) liegt der Anteil der Winterhochwasser an der jahreszeitlichen Verteilung der Elbe-Hochwasser bei 81 % und am Pegel Barby (1895-1994) bei 86%. Meteorologische Ursachen

für die Hochwasserentstehung sind vor allem in Tschechien zu suchen, während Niederschläge im Bereich des deutschen Elbegebietes in der Regel nicht zu eigenständigen Hochwasserwellen führen, sondern den Scheitelabfluss der Elbe auf deutschem Gebiet verstärken (BfG, 1999). Winterliche Hochwasserwellen werden durch die zyklonale Tätigkeit und sommerliche Hochwasserwellen durch Tiefdruckgebiete, die feuchtwarme Luft aus dem Mittelmeerraum nach Norden transportieren (Vb Wetterlagen), ausgelöst. Aus Gründen des Hochwasserschutzes, der Trink- und Brauchwasserversorgung, der Fischzucht und der Energieerzeugung wurden ab dem Ausgang des 19. Jahrhunderts und vor allem in der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts im Elbe-EZG 265 Talsperren und Rückhaltebecken mit einem Stauraum von 3,95 Mrd. m³ errichtet. Diese beeinflussen nicht nur die Feststoffführung der Gewässer sondern führen nach Berechnungen der WSD OST zu einer deutlichen Verringerung der Abflussspitzen in Dresden um 230 m³/s (HQ₂) bis 430 m³/s (HQ₂₀) und am Pegel Barby um 630 m³/s (HQ₅) bis 480 m³/s (HQ₅₀) (IKSE, 1995 S. 40). Eine weitere Modifikation des Abflussgeschehens wird durch die 24 Staustufen zwischen Pardubice (Labe-km 240,04) und Usti n.L. (Labe-km 40,4) verursacht.

An der deutsch-tschechischen Grenze beträgt der langjährige mittlere Abfluss der Elbe 314 m³/s und an ihrer Mündung in die Nordsee 877 m³/s.

2.3 Nebenflüsse der Elbe

In die Elbe münden über 322 Nebenflüsse (Meteorologischer Dienst der DDR, 1968; ARGE ELBE, 2001), von denen, im Gegensatz zur Beeinflussung der Gewässergüte, nur einige Bedeutung für die mittlere Abflussbildung besitzen. Die mit Abstand größten Nebenflussgebiete der Moldau, der Saale und der Havel weisen zusammen eine EZG-Fläche von 76 194 km² auf, was einem Anteil von 51 % an der Gesamtfläche des Elbe-EZG entspricht (Karte 1). Unter Berücksichtigung der weiteren 14 Nebenflussgebiete 1.Ordnung, die noch eine Fläche von über 1000 km² aufweisen, werden 77 % der Einzugsgebietsgröße von nur 17 Nebengewässern gebildet. Eine singuläre hydrologische Bedeutung für das Abflussgeschehen der Elbe kommt demnach nur der Moldau mit einem MQ von 150 m³/s, der Saale und der Havel mit jeweils 115 m³/s und mit Abstrichen der Mulde mit 73 m³/s zu. Über 50 % des mittleren Abflusses der Elbe wird in diesen Nebenflussgebieten gebildet.

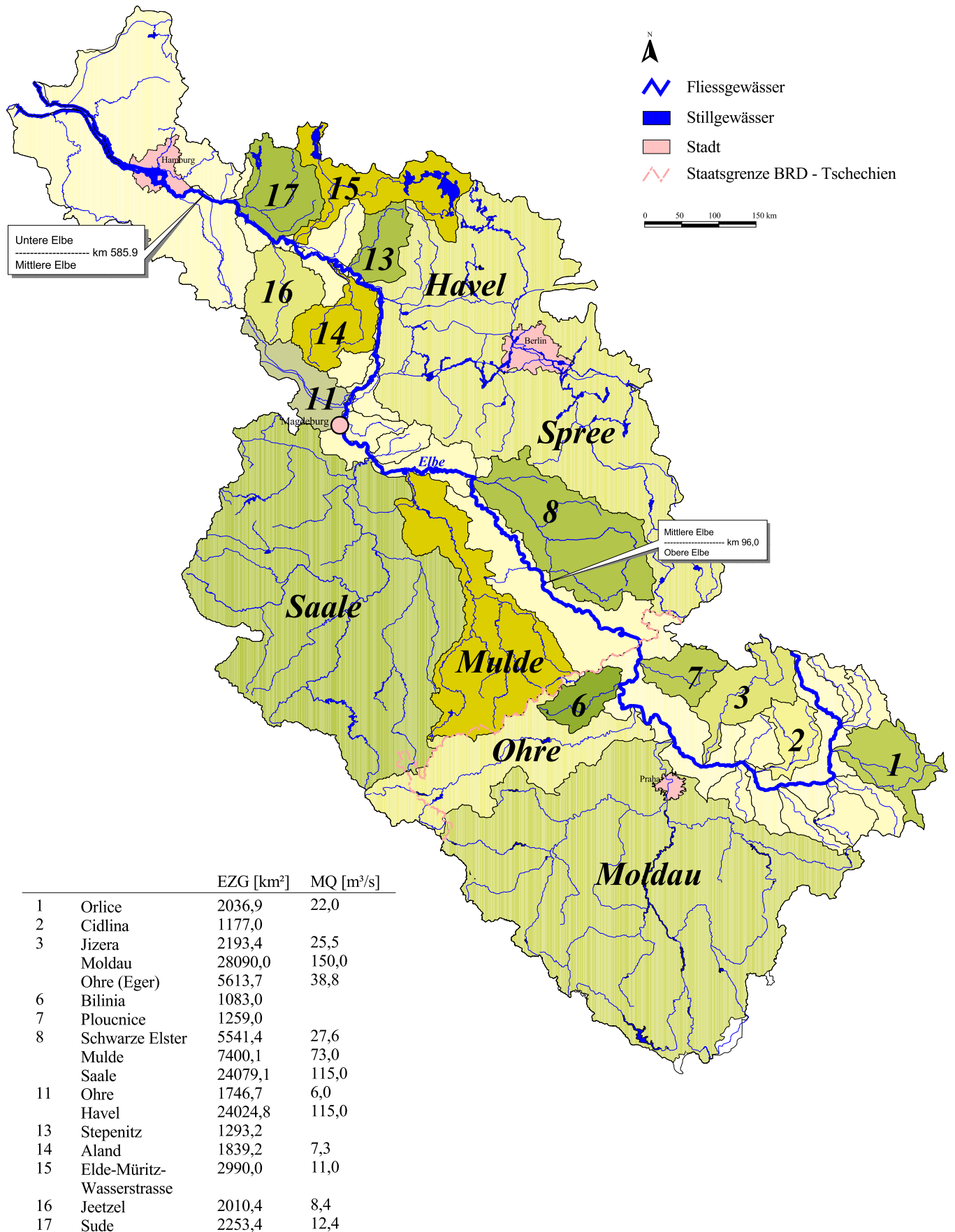
In dem zu untersuchenden freifließenden Elbeabschnitt von der deutsch – tschechischen Grenze bis zum Wehr Geesthacht münden etwa 100 größere Nebenflüsse in die Elbe, von denen 7 künstlich geschaffene Kanäle sind. Aus Gründen der weiteren Darstellungen zum Feststoffhaushalt der Elbe wurden die Elbeabschnitte an die Abstände der

Schwebstoffdauermessstellen der BfG angepasst (Tab. 2-2). Es wird deutlich, dass die Nebenflussdichte im Bereich des Oberlaufs der deutschen Elbe mit durchschnittlich 4 einmündenden Gewässern auf einer Fließstrecke von 10 km am höchsten ist (Tab. 2-2). Vom Beginn der Mittleren Elbe bis Magdeburg nimmt die Nebenflussdichte fast kontinuierlich ab. In diesem Abschnitt münden die bedeutenden Nebenflüsse Saale, Mulde und Schwarze Elster in die Elbe. Im Durchschnitt tritt alle 4,7 bis 8,0 km eine Flussmündung auf. Auffällig gering ist die Nebenflussdichte auf der 65,5 km langen Fließstrecke zwischen Tangermünde und Wittenberge, an der im Prinzip einzig die - jedoch bedeutende - Havel in die Elbe mündet (Karte 1). Unterhalb von Wittenberge tritt alle 9,7 bis 9 km ein Fließgewässer in den Vorfluter ein, von denen vor allem die Stepenitz, der Aland, die Jeetzel und die Sude zu nennen sind (Tab. 2-2).

Fluss- abschnitt	BfG Messstelle	Nebenfluss von Elbe-km 0 bis 585,9		Anzahl Neben- flüsse	Mündung / 10 km	km/ Mündung	EZG Größe	Zwischen EZG
		linksseitig	rechtsseitig					
Untere Elbe								
727,7				50	3,5	2,8	148268	14430,5
Mittlere Elbe								
585,9				61	1,2	8,0	133837,5	80104,0
	Geesthacht 585,9	<i>Elbe-Seiten-Kanal</i> <i>Kateminer Mühlbach</i> <i>Jeetzel bzw. Jeetze</i>	<i>Elbe-Lübeck-Kanal</i> <i>Horster Mühlbach</i> <i>Boize</i> <i>Sude</i>	7	1,1	9,0	133837,5	7991,1
	Hitzacker 522,6	<i>Gorlebener Bach</i> <i>Seege</i> <i>Aland</i>	<i>Locknitz</i> <i>Eide(-Müritz-Wasserstraße)</i> <i>Rhinowkanal</i> <i>Stepenitz</i>	7	1,0	9,7	125846,4	3453,4
	Wittenberge 454,6	<i>Ruppiner Kanal</i>	Havel	2	0,3	32,8	122393,0	24170,6
	Tangermünde 389,1	<i>Tanger</i> <i>Ohre</i> <i>Weser-Elbe-Kanal</i>	<i>Elbe-Havel-Kanal</i> <i>Ehle</i>	5	0,8	12,5	98222,4	2880,9
	Magdeburg 326,6	<i>Klinke</i> <i>Sülze</i> <i>Sollkanal</i>	<i>Nuthe</i>	4	1,3	8,0	95341,5	1095,4
	Barby 294,8	<i>Lepsgraben</i> Saale <i>Täube</i> <i>Buschgraben</i> (Vereinigte) Mulde <i>Fließgraben</i>	<i>Fundergraben</i> <i>Rosel</i> <i>Olbitz(graben)</i> <i>Katschbach</i> <i>Wölpener Bach</i> <i>Grieböer Bach/Mühlgraben</i>	12	1,5	6,5	94246,1	32618,4
	Wittenberg 216,3	<i>Grenzbach</i> <i>Pretzcher Bach</i>	<i>Rischebach</i> <i>Fauler Bach</i> <i>Zahna</i> <i>Zugbach</i> <i>Wiesengraben/bach</i> Schwarze Elster <i>Riß</i>	9	1,4	6,9	61627,7	6329,2
	Torgau 154	<i>Weinske, Schwarzer Graben</i> <i>Zittelbach</i> <i>Krausnitzbach</i> <i>Staritzer Bach</i> <i>Dahle (Dahlschebach)</i> <i>Rietschgraben</i> <i>Zaußwitzer Bach</i> <i>Döllnitz</i> <i>Jahna</i>	<i>Brottwitzer Graben</i> <i>Grödel-Elsterwerdaer Floßgraben</i>	15	2,1	4,7	55298,5	1565,0
Obere Elbe								
96,0				70	1,5	6,7	53733,5	53733,5
		<i>Ketzerbach (Lommatzcher Wasser)</i> <i>Jahnabach</i>	<i>Seußlitzer Bach</i> <i>Nieschützbach</i>					
	Meissen 83,4	<i>Triebisch (Tnebsch)</i> <i>Riemsdorfer Wasser</i> <i>Gauernitzbach</i> <i>Wilde Sau</i> <i>Lotzebach</i> <i>Zschonerbach</i> <i>(Vereinigte) Weißeritz</i> <i>Kaitzbach/Nöthnitzbach</i> <i>Blasewitz-Grünaer Landgraben</i> <i>Niedersedlitzer Flutgraben</i> <i>Lockwitz(bach)</i> <i>Müglitz</i> <i>Gottleuba</i>	<i>Niederauer Dorfbach</i> <i>Lockwitzbach</i> <i>Loßnitzbach</i> <i>Prießnitz(bach)</i> <i>Eisenbombach</i> <i>Mordgrundwasser</i> <i>Loschwitzbach/Lockwitzbach</i> <i>Wachwitzbach</i> <i>Helfenberger Grundbach</i> <i>Keppbach</i> <i>Friedrichsgrundbach</i> <i>Graupaer Bach</i> <i>Wesenitz</i>	26	5,3	1,9	53733,5	1610,9
	Pirna 34,7	<i>Struppenbach</i> <i>Waldbach</i> <i>Biele(bach)</i> <i>Krippenbach</i> <i>Mühlgrundbach</i> <i>Ilmenbach</i> <i>Krippenbach</i>	<i>Wilkebach</i> <i>Waldflüßchen</i> <i>Amselgrundbach</i> <i>Grünbach?</i> <i>Lachsbach</i> <i>Kirmitsch</i>	13	3,7	2,7	52122,6	973,5
Tschechien 0				31	0,8	11,9	51149,1	

Tab. 2-2: Verzeichnis der Nebenflüsse 1.Ordnung und der Nebenflussdichte bezogen auf die Lage der Schwebstoffdauer messstellen der BfG im Untersuchungsgebiet.

Karte 1 Einzugsgebiet der Elbe und ihrer Nebenflussgebiete > 1000 km²



2.4 Feststoffhaushalt der Elbe

Die Fracht eines Fließgewässers wird nach dem Transportmechanismus in die Bodenfracht (*bed load*, Geschiebe), die springend, gleitend oder rollend in direkter Nähe zur Gewässersohle bewegt wird, in die Suspensionsfracht (*suspended load*, Schwebstoff), die sich aus Teilchen zusammensetzt, die aufgrund ihrer geringen Größe durch die Turbulenz des fließenden Wassers zumindest zeitweise in Schwebelage gehalten werden und in die Lösungsfracht unterteilt (FÜCHTBAUER, 1988). Für die Betrachtung von Feststofftransportprozessen sind dementsprechend die Bodenfracht und die Suspensionsfracht von Interesse. Zwischen diesen beiden Transportmechanismen gibt es in Abhängigkeit von der Korngröße und der strömungsmechanischen Krafteinwirkung gleitende Übergänge. Dies betrifft vor allem die Sandfracht. Ein Teil von ihr befindet sich nur zeitweilig in Schwebelage und trägt nach dem Absetzen auf der Sohle zur Bettbildung bei. Der andere Teil der Sandfracht ist feinkörniger und wird demgegenüber in ständiger Suspension transportiert. Dieser Anteil gehört zur sogenannten Spülfracht (*wash load*) (Tab. 2-3).

Korngröße [mm]	Feststoffkomponente	Frachtart		
		allgemein	speziell	gesamt
Ton u. Schluff < 0,063	Feinschwebstoff	Suspensionsfracht, Schwebstofffracht (<i>suspended load</i>)	Spülfracht (<i>wash load</i>)	Gesamtfeststoff- fracht (<i>total sediment load</i>)
Sand 0,063 - 2	Suspendierter Sand		Bettbildende Fracht	
Kies 2 - 63	Geschiebe (<i>bed load</i>)			
Steine > 63				

Tab. 2-3: Allgemeine Klassifikation der Komponenten des Feststofftransports.

Die verschiedenen Komponenten des Feststoffhaushaltes werden seit 1990 durch Naturmessungen der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) quantitativ erfasst. Bereits 1991 wurde Flusssedimente im Ufer- und Bühnenbereich der Elbe beprobt. Danach folgte die sedimentologische Aufnahme der Elbsohle im Längsschnitt von der tschechisch-deutschen Grenze bei Schmilka bis zur Staustufe Geesthacht (BfG, 1994). Geschiebemessungen werden

von der BfG in Zusammenarbeit mit der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) in unregelmäßiger Abfolge – abhängig von der Hydrologie und der Verfügbarkeit des Messschiffes – über die gesamte Lauflänge der deutschen Elbe an über 20 Messprofilen durchgeführt, wobei bisher verstärkt in den Schwerpunktbereichen Erosionsstrecke (Elbe-km 120 – 200) , Stadtstrecke Magdeburg (Elbe-km 320 – 340) und Reststrecke (Elbe-km 508 – 521) gemessen wurde (SCHMIDT & DRÖGE, 1999). Im Rahmen des BMBF-Teilprojektes „Suspendierte Feststofffracht“ wurden von 1997–2000 umfangreiche Untersuchungen zur Ermittlung des Transports von suspendiertem Sand vorgenommen (SAUER, 2000a und 2000b). Zur Erfassung der Suspensionsfracht unterhält die BfG in Zusammenarbeit mit der WSV seit 1992 9 Dauermessstellen, an denen werktäglich die Schwebstoffkonzentration in der Elbe gemessen wird (SCHMIDT et. al., 1999). Die Ergebnisse dieser umfangreichen Arbeiten bilden die Grundlage für die Ausführungen in den nachfolgenden Kapiteln zum Feststoffhaushalt der Elbe.

2.4.1 Sohlbeschaffenheit der Elbe

Im Oberlauf des deutschen Elbeabschnitts durchquert die Elbe das Elbsandsteingebirge, Ausläufer des Erzgebirges und des Lausitzer Berglandes und durchbricht auf der Höhe des Spaargebirges den Meißener Syenit. Unterhalb von Meißen tritt die Elbe in das Mittelsächsische Lößhügelland ein. Die Flusssohle wird im Oberlauf des deutschen Elbeabschnitts in erster Linie aus Grobkies (30-60%), Mittelkies (15-30%) und Steinen mit einer Kantenlänge bis zu 150 mm aufgebaut (Abb. 2-1). Etwa 15 km oberhalb von Riesa bei Hirschstein-Seußlitz (Elbe-km 96) endet nach der Einteilung der IKSE die Obere Elbe. Der Beginn der Mittelelbe ist am Übergang in den Urstromtalbereich noch durch eine abgeplattete Sohle mit einem hohen Kiesanteil (Grobkies 20-60%) und vereinzelt Steinen gekennzeichnet. Unterhalb von Riesa (Elbe-km 108,4) erreicht die Elbe das Breslau-Magdeburger-Urstromtal. Das Anschneiden der pleistozänen und holozänen Flussschotter und Talsande im Urstromtalbereich geht mit einer Verringerung des mittleren Korndurchmessers in der Elbesohle auf 15 – 25 mm einher. Für eine regional gröbere Zusammensetzung der Sohle, wobei auch Steine auftreten (Abb. 2-1), sorgt der in Torgau (Elbe-km 154,6) anstehende Quarzporphyrfelsen. Dieser hat eine besondere Bedeutung für den Feststoffhaushalt der Elbe. Aufgrund der Schwellenwirkung verlangsamt sich oberstromig die Fließgeschwindigkeit und der Feststofftransport nimmt ab, während unterstromig verstärkt Erosion auftritt (BfG, 1999). Unterhalb von Torgau nimmt die mittlere Korngröße der

Elbesohle wieder auf 15 – 5 mm ab (Abb. 2-1) und beträgt an der Mündung der Schwarzen Elster (Elbe-km 198,5) nur noch 2 mm. Das Sohlsediment ist sandiger Kies.

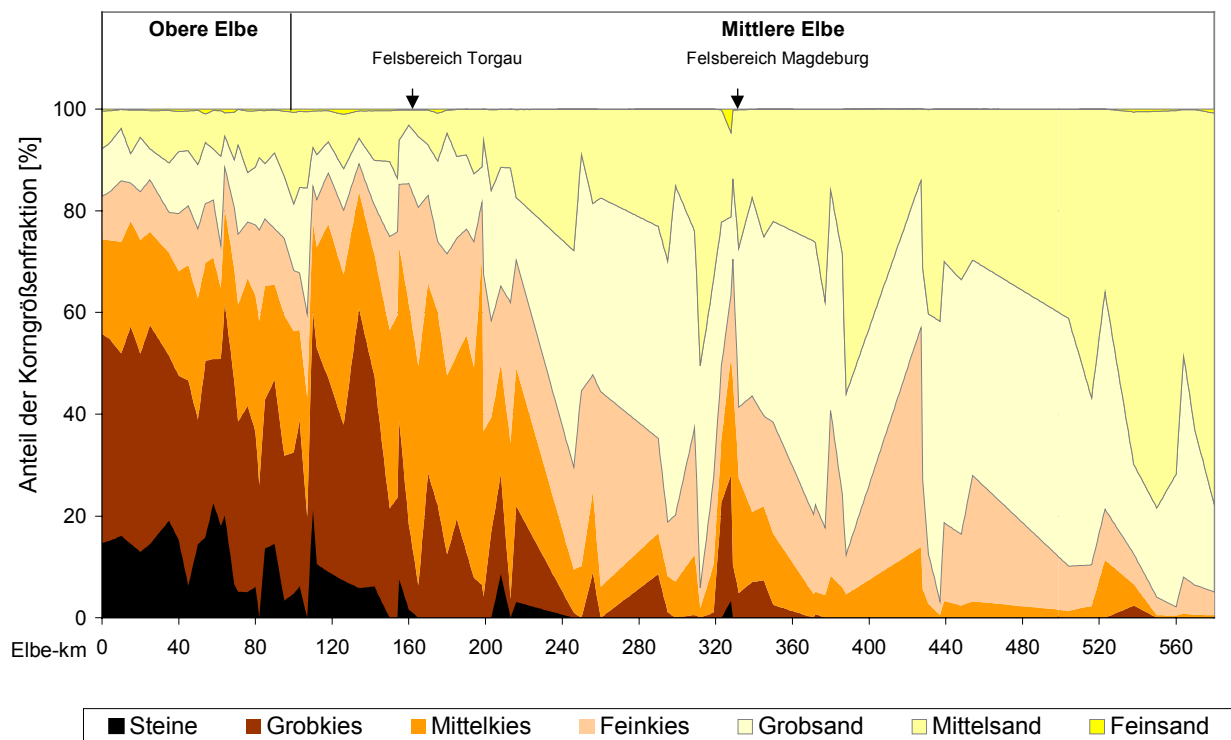


Abb. 2-1: Prozentuale Beteiligung der Korngrößenfraktionen am Sohlmaterial der Elbe im Längsschnitt von Elbe-km 0 bis 580 (nach BfG, 1994).

Im Elbeabschnitt zwischen km 200 und 295 setzt sich die kontinuierliche Korngrößenabnahme fort. Die Sandfraktion wird demzufolge dominanter und es findet ein allmählicher Wechsel zu kiesigen Sanden statt, wobei Grobsande den Hauptbestandteil des Sedimentes bilden. Wie der Torgauer Quarzporphyr führen auch die Ausläufer der Flechtinger Scholle (Domfelsen, Strombrücke, Herrenkrugfelsen), die in der Magdeburger Stadtstrecke zutage treten, zu auffälligen Veränderungen in der Sohlzusammensetzung der Elbe (Abb. 2-1). Der mittlere Korndurchmesser steigt von km 323,5 bis km 328,0 auf 5 – 16 mm an. Auch die Grobkiesfraktion tritt wieder in Erscheinung und vereinzelt liegen Steine auf der Sohle. Unterhalb von Magdeburg verlässt die Elbe das Magdeburger Urstromtal, überwindet in einer älteren Mäanderstrecke (ROMMEL, 2000) die Ausläufer des Fläming und tritt etwa ab Elbe-km 410 in das Untere Elbe-Urstromtal ein. Hier beginnt die Untere Mittel Elbe, die nun deutlich die Züge eines Flachlandstromes aufweist. Die Fraktionen des Mittel- und Grobsandes dominieren daher die Zusammensetzung des Sohlmaterials (Abb. 2-1). Von km 500 bis 540 beträgt der Feinkiesanteil in der Sohle nur noch 5 – 10 %. Unterhalb von Neu Darchau (Elbe-km 540) setzt sich die Flusssohle vorwiegend aus Mittelsand (50 – 95 %) zusammen. Feinkies ist nur noch zu 7% im Korngrößenspektrum enthalten. Dies entspricht

einem mittleren Korndurchmesser von 0,5 – 1 mm. Die rückstauende Wirkung der Staustufe Geesthacht macht sich ab Lauenburg (Elbe-km 564,0) durch geringere Strömungsgeschwindigkeiten bemerkbar und führt zur verstärkten Sedimentation von suspendierten Feststoffen. Der Korndurchmesser der Sohlsedimente nimmt demzufolge in diesem Abschnitt weiter ab und liegt vornehmlich im Mittelsandbereich (0,3 – 0,7 mm). Örtlich kommt es zur Ablagerung von Schlick (BfG, 1994).

2.4.2 Geschiebehaushalt

Die Quantität und Qualität des Geschiebetransports in der Elbe ist im Rahmen des Messprogramms der BfG bei unterschiedlich hohen Abflüssen von 1990 bis 1999 ermittelt worden. Aus dem resultierenden Geschiebetransportlängsschnitt (Abb. 2-2) wird deutlich, dass trotz gewisser Schwankungen die Geschiebeführung von der Oberen bis zur Unteren Mittelelbe zunimmt. Die Größe des bewegten Korns hängt dabei im wesentlichen von dem in der Sohle zur Verfügung stehenden Material ab. Eine Ausnahme bildet der sächsische Elbeabschnitt bis Mühlberg (Elbe-km 120) sowie die Magdeburger Stadtstrecke (Elbe-km 320 – 340), die aufgrund ihres Schwellencharakters eine gröbere Sohlstruktur aufweist (Abb. 2-1 und Abb. 2-2). Im sächsischen Elbeabschnitt findet bis etwa Mühlberg kein bzw. ein nur geringer Geschiebetransport statt. Einerseits liegt dies an der groben, abgeplasterten Sohle andererseits ist der Geschiebeeintrag von oberstrom durch die Staustufen im tschechischen Teil der Elbe nahezu vollständig unterbunden. Eine Geschiebezufuhr erfolgt wahrscheinlich nur durch einmündende Nebenflüsse unterhalb der Staustufe Střekov. Diese Behauptung wird durch die Beobachtung gestützt, dass die rechtsseitig einmündenden Nebenflüsse Ploucnice und Kamenice durch Geschiebeeintrag oftmals Schotterbänke in der Elbe bilden, die zu Behinderungen der Schifffahrt führen (BfG, 1999). Sowohl aus dem Transport- (Abb. 2-2) als auch aus dem Frachtlängsschnitt (Abb. 2-6) geht hervor, dass Geschiebe in der Elbe erst unterhalb Mühlberg in größerem Umfang transportiert wird (SCHMIDT & DRÖGE, 1999; SAUER, 2000b). Die Transportraten erreichen dort Werte bis zu 9 kg/s. Die für den Zeitraum von 1987-1999 berechneten mittleren Geschiebejahresfrachten bzw. Bodenfrachten steigen von 7,5 kt bei Torgau bis auf 52 kt bei Wittenberg an. Dies bestätigt die Annahme, dass dieser Bereich als Erosionsstrecke anzusehen ist. Nach FAULHABER (1998) tritt zwischen Elbe-km 150 und 220 eine mittlere aktuelle Erosionsrate von 1-2 cm/a auf. Dementsprechend nimmt nicht nur der Geschiebetransport (BfG, 1998) sondern auch die Korngröße des transportierten Materials erheblich zu. Die kiesigen Bestandteile der Sohle sind bis zu einem Durchmesser (d₉₀) von 40 mm in Bewegung (Abb. 2-2).

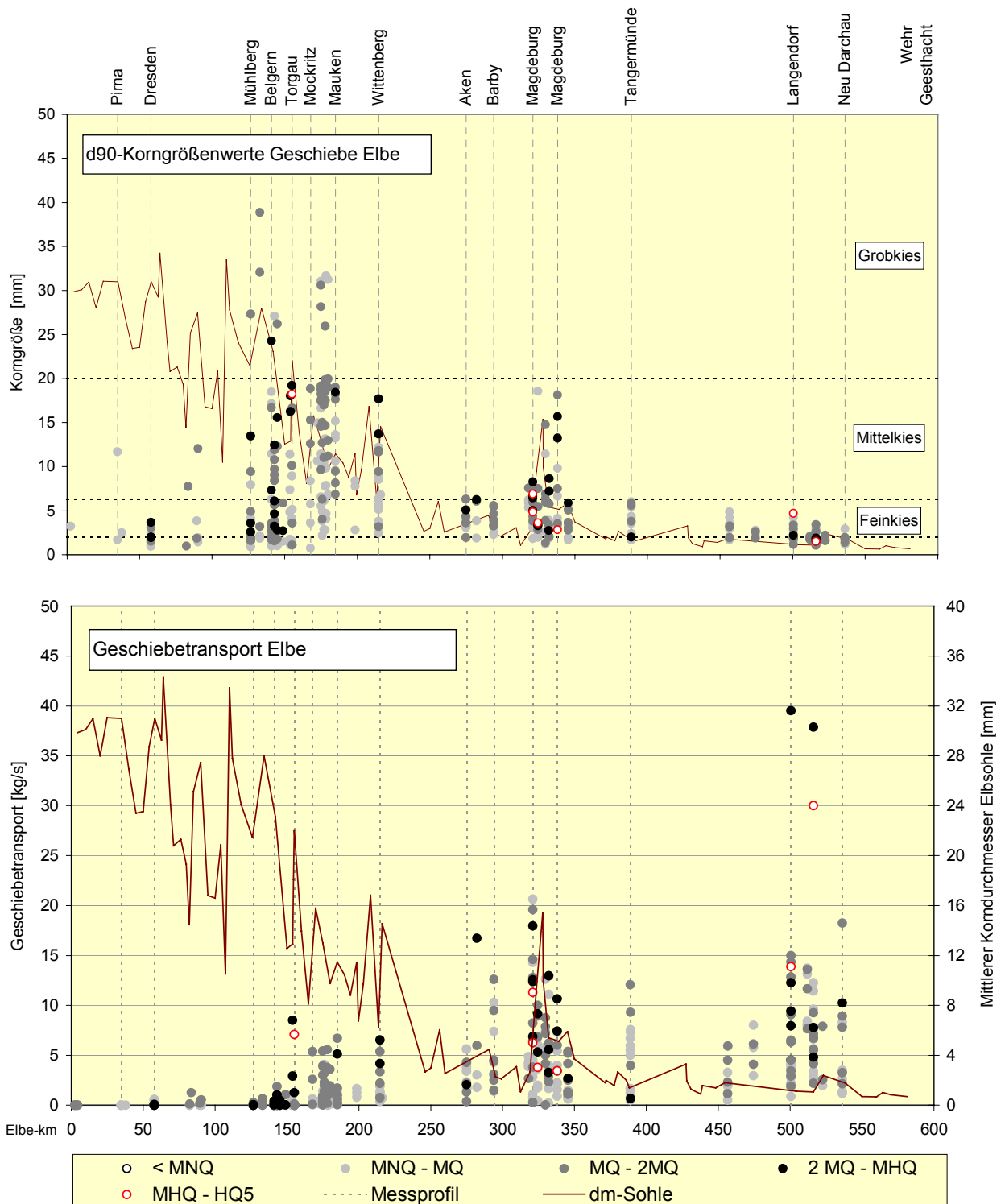


Abb. 2-2: Geschiebetransporte [kg/s] und transportierte Korngrößen [d90] im Zusammenhang mit der Sohlzusammensetzung [dm] im Längsschnitt der Elbe.

Der Abschnitt Wittenberg bis Aken scheint bezüglich des Geschiebetransportes näherungsweise ausgeglichen zu sein (SCHMIDT & DRÖGE, 1999), was jedoch durch weitere Messungen zu unterlegen ist. Unterhalb von Aken bis in den Raum Magdeburg zeigen

die Messungen wiederum eine deutliche Transportzunahme auf bis zu 20 kg/s an. Die mittlere Geschiebejahresfracht (1987-1999) liegt im Messprofil Magdeburg bei 103 kt (Abb. 2-6). Augenfällig ist die proportionale Zunahme der transportierten Korngrößen und der Geschiebetransporte im Zusammenhang mit der Sohlbeschaffenheit in diesem Abschnitt (Abb. 2-2). Unterhalb von Magdeburg liegen noch zu wenige Geschiebemessungen an Tagen mit höheren Durchflüssen vor, so dass von verlässlichen Quantifizierungen derzeit Abstand genommen werden muss. Festzustellen ist, dass bei Überschreitung von 2 MQ hohe Geschiebetransporte von über 30 kg/s gemessen wurden, wobei sich das Material ausschließlich aus Feinkies und Grobsand zusammensetzt. Insbesondere die sog. Reststrecke (km 508-521), ist durch intensive Transportkörperbewegungen gekennzeichnet, die eine Erfassung der Geschiebetransportraten naturgemäß schwierig gestalten (SCHMIDT & DRÖGE, 1999).

Der geschilderte Geschiebetransportlängsschnitt der Elbe lässt erkennen, dass die sohnahen Materialverfrachtungen größtenteils auf Umlagerungs- und Erosionsprozesse im Gewässerbett zurück gehen. Eine Beeinflussung des Geschiebehaushalts durch einmündende Nebenflüsse ist, wenn man von dem Bereich der Oberen Elbe absieht, aus dem Transportlängsschnitt nicht zu erkennen.

2.4.3 Suspendierter Sand, Sandspülfracht und Bettbildende Fracht

Da die Sohlzusammensetzung der Elbe größtenteils durch die Sandfraktion dominiert ist (Kapitel 2.4.1) und die Frachten des aus der Sohle stammenden suspendierten Sandes die Geschiebefrachten deutlich übersteigen können, kommt dem suspendierten Sand eine besondere Bedeutung für die Beurteilung des Feststoffhaushaltes der Elbe zu (SAUER 2000b). Die Konzentration des suspendierten Sandes in einer Höhe von 30 cm über der Sohle ist aufgrund der Abhängigkeit vom Abflussgeschehen hohen Variationen unterlegen (Abb. 2-3). Das Mittel der Konzentration aus allen vorgenommenen Messungen beträgt 19 g/m³. Im Extremfall konnten an abflussreichen Tagen Sandgehalte von bis zu 430 g/m³ an einzelnen Messlotrechten festgestellt werden.

Betrachtet man die Korngrößenvariationen bezogen auf den Elbelängsschnitt so wird deutlich, dass der Feinsandanteil überall, die Grobsandfraktion hingegen nur streckenweise bei höheren Durchflüssen bis zu 2 mm Korndurchmesser am Sandtransport beteiligt ist (Abb. 2-4). Dass die transportierten Korngrößen zum Unterlauf der Elbe hin abnehmen, erklärt sich, wie auch beim Geschiebe, aus den nicht in vollem Umfang zur Verfügung stehenden Korngrößen im Sohlmaterial, sowie aus den geringeren Fließgeschwindigkeiten in der Unteren Mittel-elbe.

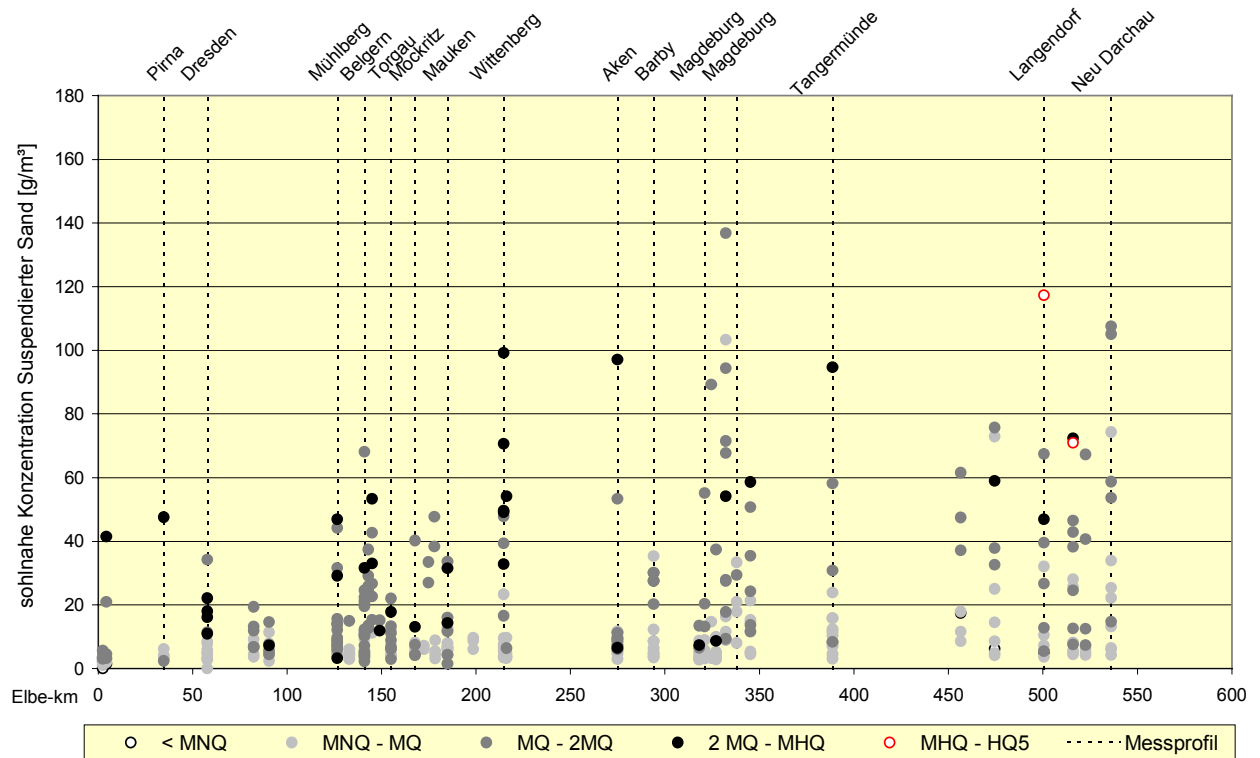


Abb. 2-3: Mittelwerte der sohnahen (30 cm ü. Sohle) Konzentration des suspendierten Sandes über alle Lotrechten eines Messprofils im Längsverlauf der Elbe (1995-1998).

Während die sohnahen Sandkonzentration mit zunehmendem Abfluss ansteigt (Tab. 2-4) ist der Sandgehalt in Oberflächennähe dagegen nahezu orts- und abflussunabhängig und beträgt über den gesamten Elbeverlauf im Mittel $3,6 \text{ g/m}^3$ (SAUER, 2000a und 2000b).

Sandkonzentration [g/m ³]	Abflussklasse				
	< MNQ	MNQ-MQ	MQ-2MQ	2MQ-MHQ	MHQ-HQ5
oberflächennah	2,9	3,0	3,7	6,1	5,2
sohnah	7,5	9,2	25,1	38,5	94,1

Tab. 2-4: Abflussabhängigkeit der Konzentration des suspendierten Sandes [g/m³] von der Entnahmetiefe (Mittelwerte aus allen Messungen im Zeitraum von 1995 bis 1999).

SAUER (2000b) konnte durch seine Untersuchungen nachweisen, dass die sohnahen Konzentrationsanstiege bei höheren Abflüssen durch die Resuspension von Mittel- und Grobsanden aus der Gewässersohle ausgelöst werden. Derartige Transporte werden demzufolge der bettbildenden Fracht zugeordnet (Tab. 2-3). Der Gehalt an Feinsanden (63 – 200 μm) ändert sich dagegen nicht und ist gleichmäßig über das jeweilige Messprofil verteilt. Diese Verteilungsform ist charakteristisch und stellt sich unabhängig von der

Abflusssituation, der Jahreszeit oder der anthropogenen Einflussnahme ein. Der Feinsand wird daher als Spülfracht (*wash load*) in der Elbe durchtransportiert. Diesen permanenten Suspensionstransport des Feinsandes belegt auch die Korngrößenzusammensetzung der Elbsohle, an deren Aufbau die Feinsandfraktion nur mit weniger als 1% beteiligt ist (Kapitel 2.4.1).

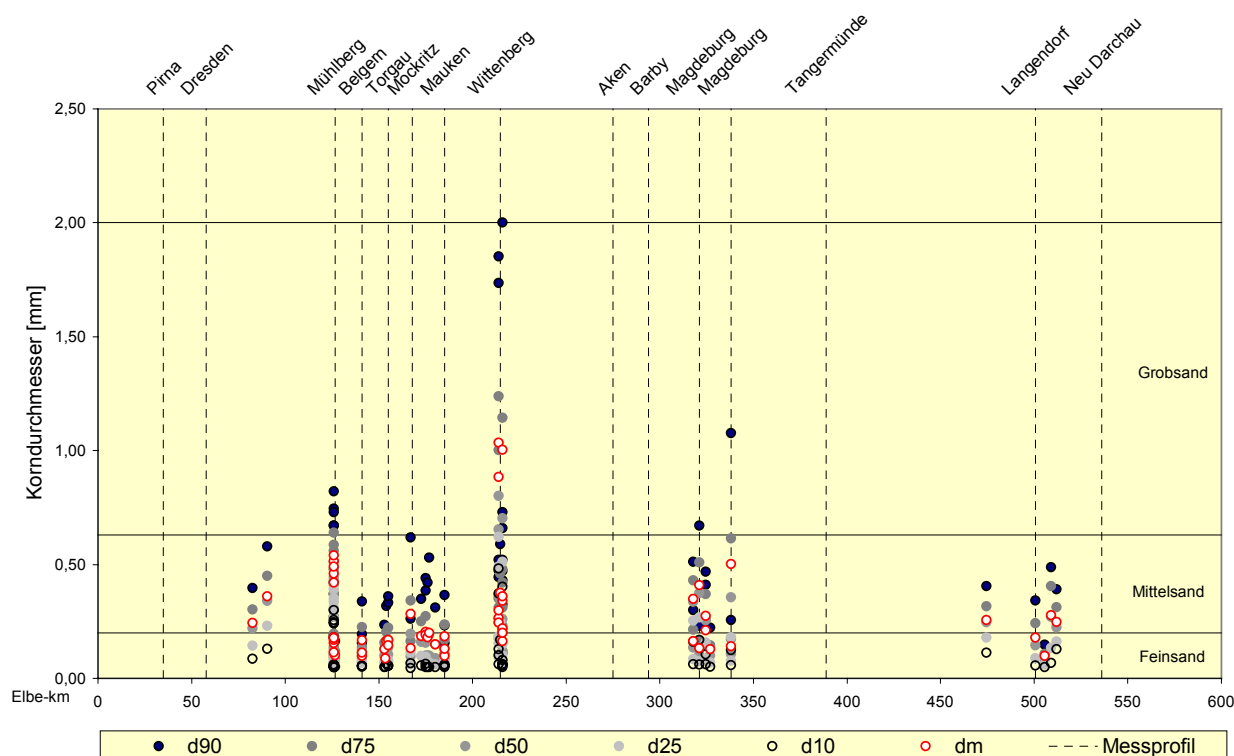


Abb. 2-4: Überblick über das Korngrößenspektrum des in Suspension transportierten Sandes im Längsverlauf der Elbe für den Zeitraum 1995-98.

Anhand von messprofilspezifischen Transport-Abflussbeziehungen konnte SAUER (2000b) die jeweiligen Frachtanteile für verschiedene Abflusssituationen in der Elbe bestimmen. In abflussarmen Jahren überwiegt demzufolge die Sandspülfracht bei weitem den bettbildenden Anteil des suspendierten Sandes, der hier nur einen Anteil von 10 – 20 % an der gesamten suspendierten Sandfracht erreicht. In abflussreichen Jahren kann der bettbildende Anteil jedoch durchaus 50 % betragen, im Mittel und über alle Messprofile der Elbe kann man ihn mit 30 % beziffern.

Die Höhe der jährlichen Sandspülfrachten steigt für den Beobachtungszeitraum von 1995 bis 1998 im Längsverlauf der Elbe unter deutlichen Schwankungen von 20 kt bei Pirna bis auf über 70 kt bei Langendorf an (Abb. 2-5). Die hohen Variationen lassen sich hauptsächlich durch die unterschiedliche Messdichte in den einzelnen Messprofilen erklären, wobei der ansteigende Trend der Frachten im Längsverlauf der Elbe jedoch eindeutig zu erkennen ist. Im Gegensatz zu der absoluten Höhe der Sandspülfrachten nimmt ihre Bedeutung für den

Gesamtsandtransport jedoch zugunsten der verstärkten Suspension von Sanden aus der Elbesohle ab. Ihr Anteil an der Gesamtsandfracht sinkt somit von 80 % (Pirna) auf weniger als 50 % in der Unteren Mittelelbe (Abb. 2-5).

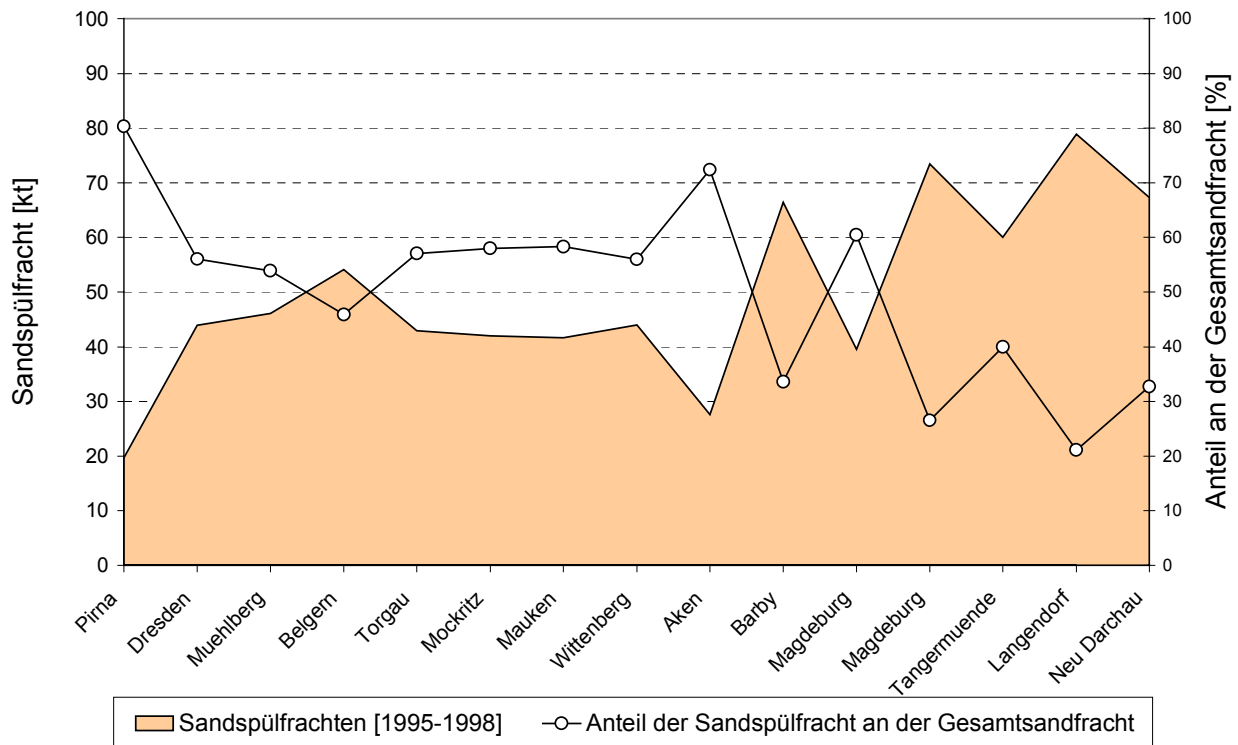


Abb. 2-5: Berechnete mittlere jährliche Sandspülfrachten [kt] und ihr prozentualer Anteil an der gesamten suspendierten Sandfracht in der Elbe im Zeitraum 1995 – 1998.

Da Geschiebetransport im sächsischen Elbeabschnitt bis Mühlberg kaum auftritt, dominiert der suspendierte Sand vor dem Beginn der Erosionsstrecke mit 5 – 20 kt zu über 95 % die bettbildende Fracht der Elbe (Abb. 2-6). Die Quelle des Materials ist nur in Ausnahmefällen – wenn die grobe Deckschicht der abgeplasterten Sohle durch Hochwasserereignisse stellenweise entfernt und die feinere Unterschicht freigelegt wird – im Bettmaterial der Elbe zu suchen. Es handelt sich hier viel mehr um Fremdmaterial aus den Nebenflüssen der Elbe. Erst mit dem Beginn der Erosionsstrecke treten größere Geschiebetransporte auf, deren Anteil an der bettbildenden Fracht bis Wittenberg rasch auf über 60 % und auf eine mittlere jährliche Höhe von 52 kt ansteigt. Diese Tendenz setzt sich bis Barby fort. Die bettbildende Fracht der Elbe erreicht hier im Mittel 190 kt, wobei die Geschiebefracht zu 70 % den Hauptanteil bildet. Aufgrund der weiteren Abnahme der Kiesfraktion zugunsten der sandigen Bestandteile in der Sohlzusammensetzung der Elbe gewinnt der suspendierte Sand unterhalb von Magdeburg wieder stärkere Bedeutung für die bettbildende Fracht in der Elbe. Das Verhältnis von Geschiebe zu suspendiertem Sand ist dort im Mittel 60 : 40.

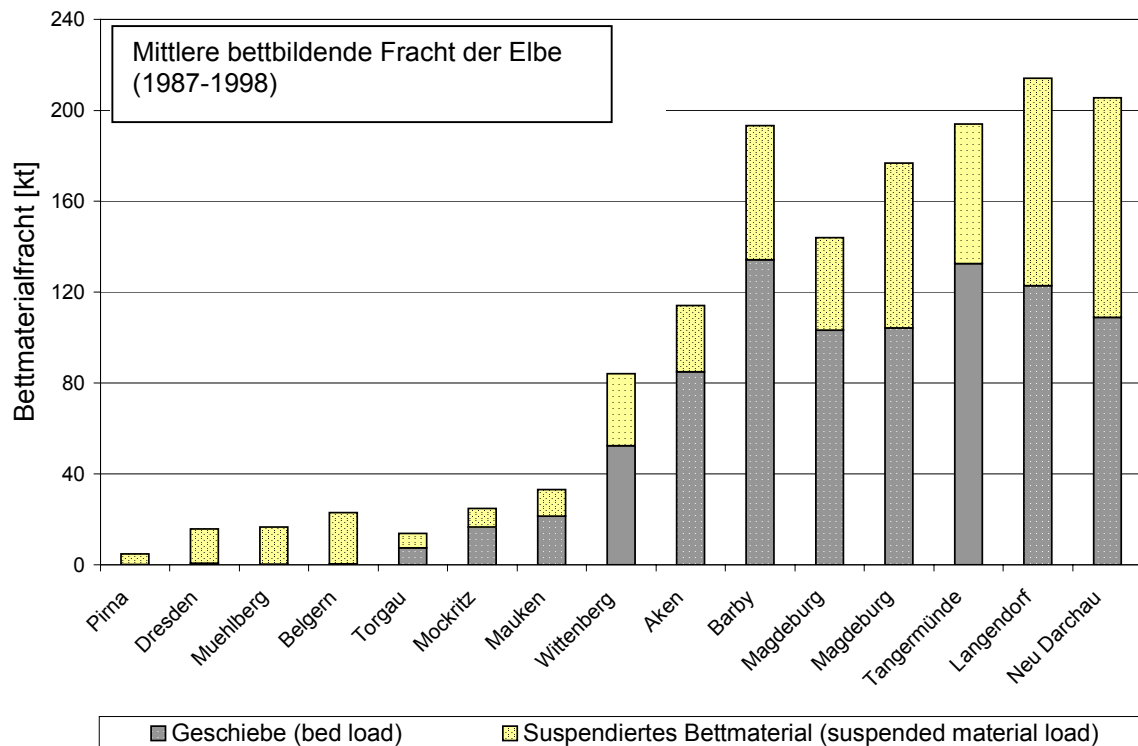


Abb. 2-6: Berechnete mittlere bettbildende Jahresfracht [kt] der Elbe für den Zeitraum 1987 – 1998 nach SAUER (2000b), geändert.

Für das Messprofil Langendorf an der unteren Mittel-Elbe wird für den betrachteten Zeitraum von 1987 – 1998 eine mittlere bettbildende Jahresfracht von 214 kt berechnet.

2.4.4 Schwebstoffhaushalt

Aufgrund der durch die BfG initiierten werktäglichen Schwebstoffmessungen an 9 Messstellen entlang der Elbe lässt sich ein charakteristischer Längsschnitt der Schwebstoffkonzentrationen und –frachten darstellen (Abb. 2-7 und Abb. 2-8), der im wesentlichen die Spülfracht repräsentiert.

Die Jahresmittel der Schwebstoffkonzentration weisen im Längsschnitt der Elbe einen ansteigenden Verlauf nach dem Grenzübertritt von Pirna (31 g/m^3) bis nach Torgau (41 g/m^3) auf. Bis Tangermünde bleibt die Konzentration weitestgehend konstant wohingegen sie bis Hitzacker wieder von 40 auf 30 g/m^3 abfällt. Tendenziell lässt sich dieser Verlauf auch im Winter- und Sommerhalbjahr nachvollziehen, wobei die im Mittel um 30 % höheren Schwebstoffkonzentrationen im Sommerhalbjahr auffällig sind (Abb. 2-7). Die Ursache hierfür dürfte in der verstärkten Entwicklung des Phyto- und Zooplanktons mit zunehmender Lauflänge der Elbe liegen (BÖHME, 2000; ZIMMERMANN-TIMM et. al., 2000). Neben den höheren sommerlichen Schwebstoffgehalten wird aus dem Konzentrationslängsschnitt der

Elbe deutlich, dass sich der Einfluss der Saale, die eine Erhöhung der gemessenen Schwebstoffgehalte unterhalb ihrer Mündung in Barby bewirkt, auf das Winterhalbjahr beschränkt (Abb. 2-7).

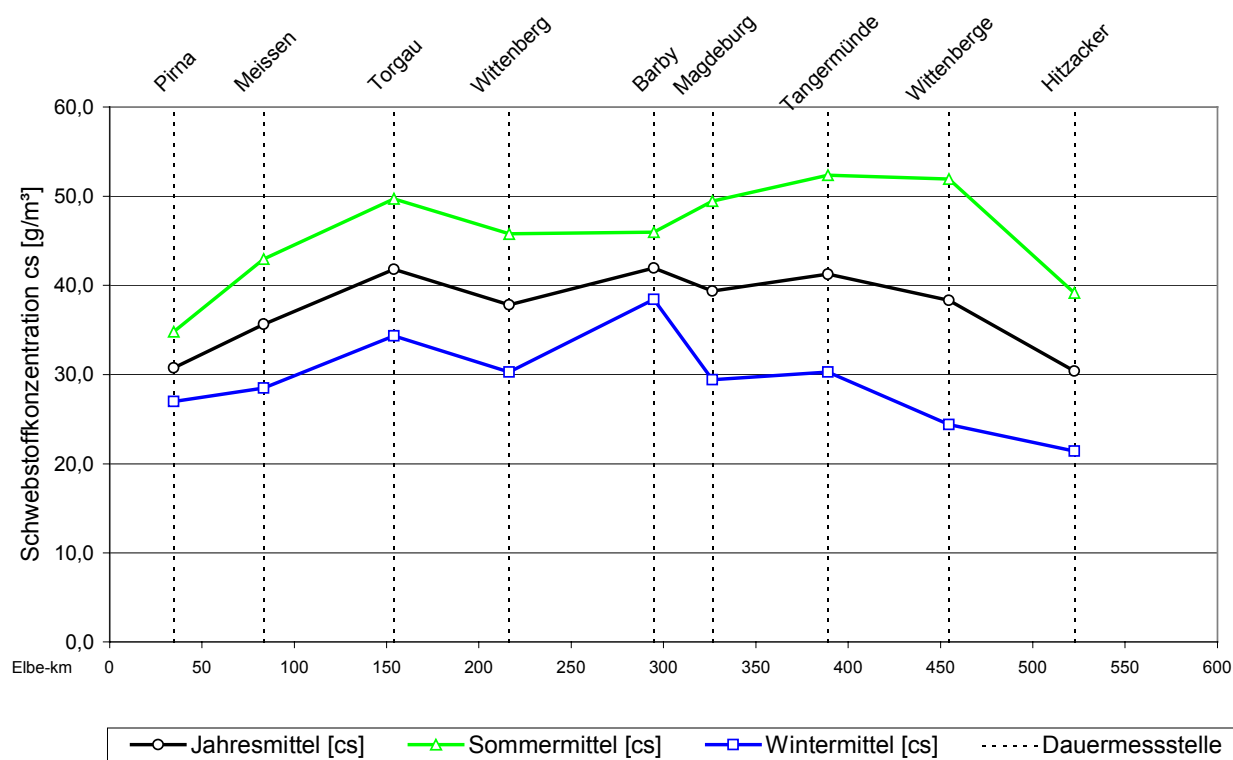


Abb. 2-7: Mittlere Schwebstoffkonzentration getrennt nach Sommer- und Winterhalbjahr im Längsschnitt der Elbe für den Zeitraum von 1992-97.

Der Verlauf der Schwebstoffjahresfrachten im Längsschnitt der Elbe zeigt, dass die höheren Konzentrationen im Sommerhalbjahr durch die höheren Durchflüsse im Winterhalbjahr ausgeglichen werden (Abb. 2-8). Im langjährigen Mittel ist der Frachtverlauf mit 400 bis 500 kt bis zur Einmündung der Saale weitestgehend ausgeglichen. Auf der Grundlage der Messungen der BfG müsste die Saale eine Schwebstofffrachtzunahme um 40 % auf 750 kt (Mittelwert) in der Elbe bewirken. Diese Fracht erfährt bis Tangermünde kaum eine Veränderung, wohingegen sie bis Wittenberge, vor allem durch das Geschehen im Sommerhalbjahr bedingt, wiederum eine Zunahme erfährt. Möglicherweise macht sich hier der Einfluss der einmündenden Havel bemerkbar. Unterhalb von Wittenberge bis Hitzacker nimmt die mittlere jährliche Schwebstofffracht der Elbe auf etwa 620 kt ab. Die Gründe hierfür sind nicht eindeutig festzulegen, könnten aber zum einen in der Überbreite der Streichlinien im Bereich der Reststrecke und einer damit verbundenen leichten Verringerung der Fließgeschwindigkeiten im Flussschlauch (Abflussspektrum Mittelwasser bis bordvoll) liegen.

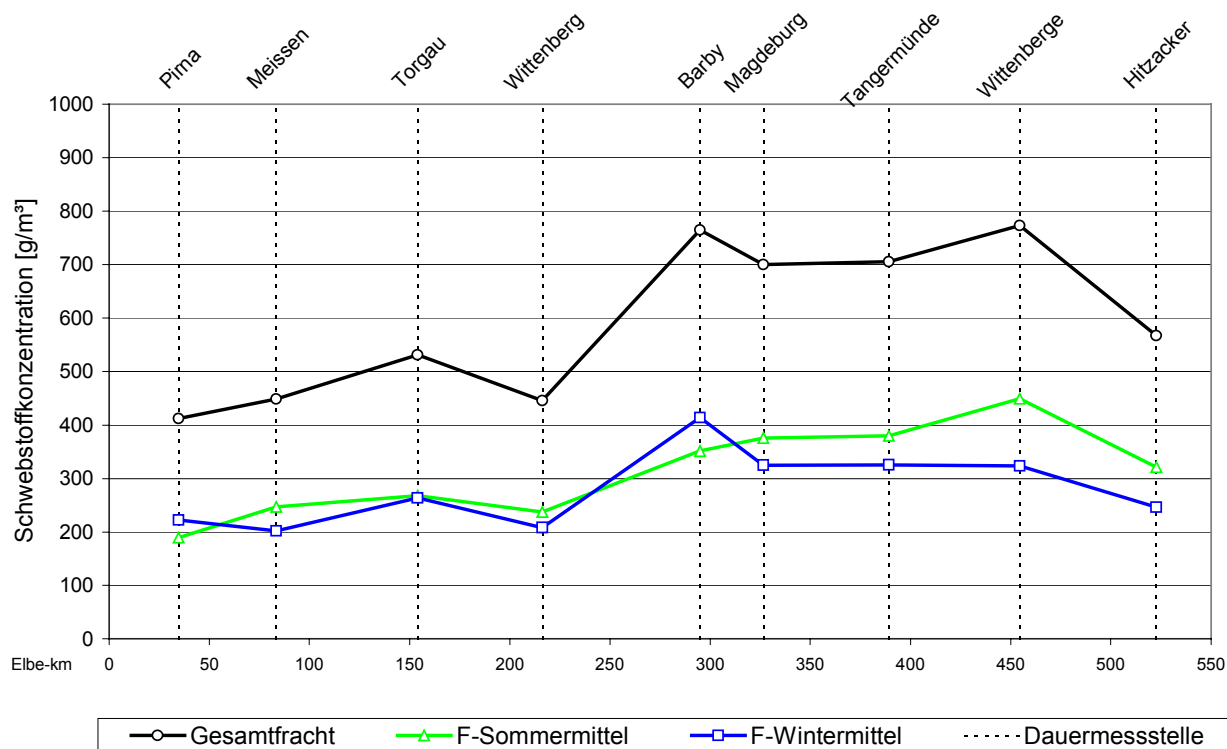


Abb. 2-8: Mittlere Schwebstoffjahresfracht getrennt nach Sommer- und Winterhalbjahr im Längsschnitt der Elbe im Zeitraum von 1992-97.

Wahrscheinlicher ist allerdings die Sedimentation von Schwebstoffen bei Hochwasser auf den Vorländern, da insbesondere unterhalb Elbe-km 507 relativ breite Vorlandbereiche überströmt werden und als Sedimentationsraum wirken können. Einen Hinweis darauf liefert der Konzentrationslängsschnitt der Elbe, der einen starken Abfall der Schwebstoffgehalte im Winterhalbjahr schon unterhalb von Barby widerspiegelt (Abb. 2-8). Es bleibt jedoch unklar, ob die genannten Faktoren ausreichen, die Abnahme der Schwebstofffracht in dieser Größenordnung zu begründen oder andere, hier nicht aufgeführte Ursachen, bedeutsamer sind.

3 Datenbasis zur Ermittlung des Feststoffhaushaltes der Elbenebenflüsse

3.1 Schwebstoffmessstellen im Untersuchungsgebiet

Entsprechend der Zielstellung des Projektes wurden alle Messstellen, an denen Schwebstoffgehalte in Fließgewässern des Elbe-EZG analysiert werden oder in der Vergangenheit bestimmt wurden, recherchiert. In diese Recherche wurden 38 Behörden, Verbände und Institutionen in Deutschland und Tschechien einbezogen. Nach der GIS unterstützten räumlichen Zuordnung der Messstellen wurden nach den Kriterien

- der Repräsentativität der Messstelle für den Eintrag in die Elbe in Abhängigkeit von Durchfluss und Größe des Einzugsgebietes,
- der Lage der Messstelle an Einmündungen bzw. am Zusammenfluss von Nebenflüssen x-ter Ordnung,
- der Lage der Messstelle in Bezug auf bedeutende punktuelle Einleiter und Feststoffsenken (Stauhaltungen, Durchflusseseen etc.) und
- der Länge des Beobachtungszeitraums

Gütepegel für die Auswertung ausgewählt und die entsprechenden Messdaten von den Ämtern angefordert. Da die Messstellennetze der ARGE ELBE, der LAWA und der IKSE auf den Messstellen der Bundesländer bzw. der BfG basieren, werden diese in den weiteren Ausführungen nicht explizit dargestellt.

3.1.1 Gütemessstellen der Bundesländer

Im Rahmen der Messprogramme zur Qualitätssicherung der Gewässergüte wird von den zuständigen Umweltämtern (Band 2, Anhang E) der Parameter „Abfiltrierbarer Stoff“ (afS) in unterschiedlicher Regelmäßigkeit erhoben (Tab. 3-1). Dieser Parameter kann zur Charakterisierung des Schwebstoffgehaltes eines Fließgewässers herangezogen werden (Kapitel 4.1). Die 553 Gütemessstellen der Bundesländer, von denen 183 für die Datenauswertung herangezogen wurden, bilden die wesentliche Grundlage für die Bestimmung des Schwebstoffhaushalts der Nebengewässer der Elbe (Karte 2). Die afS-Messreihen umfassen in der Regel den Zeitraum von 1990 an. Teilweise liegen auch 30jährige Datenreihen vor. In der Mehrheit werden die Schwebstoffgehalte im Abstand von

14 Tagen bestimmt. Die messstellenspezifischen Angaben sind aufgrund des Umfangs im Band 2 Anhang C dargestellt.

Bundesland	Zuständige Behörde	Gütemessstellen (afS-Werte)	
		Recherche	Auswertung
Berlin	StadtUm-Berlin, Itox	53	13
Brandenburg	LUA Brandenburg	8	8
	LUA Brandenburg - AST Cottbus	36	36
Mecklenburg-Vorpommern	StAUN Schwerin	3	3
Niedersachsen	NLWK Lüneburg	55	11
Sachsen	SLfUG Dresden	5	5
	StUFA Bautzen	24	2
	StUFA Chemnitz	6	6
	StUFA Leipzig	220	19
	StUFA Plauen	20	6
	UBG FB 32 - 35	8	5
Sachsen-Anhalt	STAU Dessau/ Wittenberg	7	7
	STAU Halle	10	10
	STAU Magdeburg	23	21
Thüringen	TLU Jena	43	38
	SUA Erfurt	32	0
	Gesamt	553	190

Tab. 3-1: Anzahl der recherchierten und für die Auswertung herangezogenen Gütemessstellen der Länder, an denen der Parameter „Abfiltrierbarer Stoff“ erhoben wird bzw. wurde.

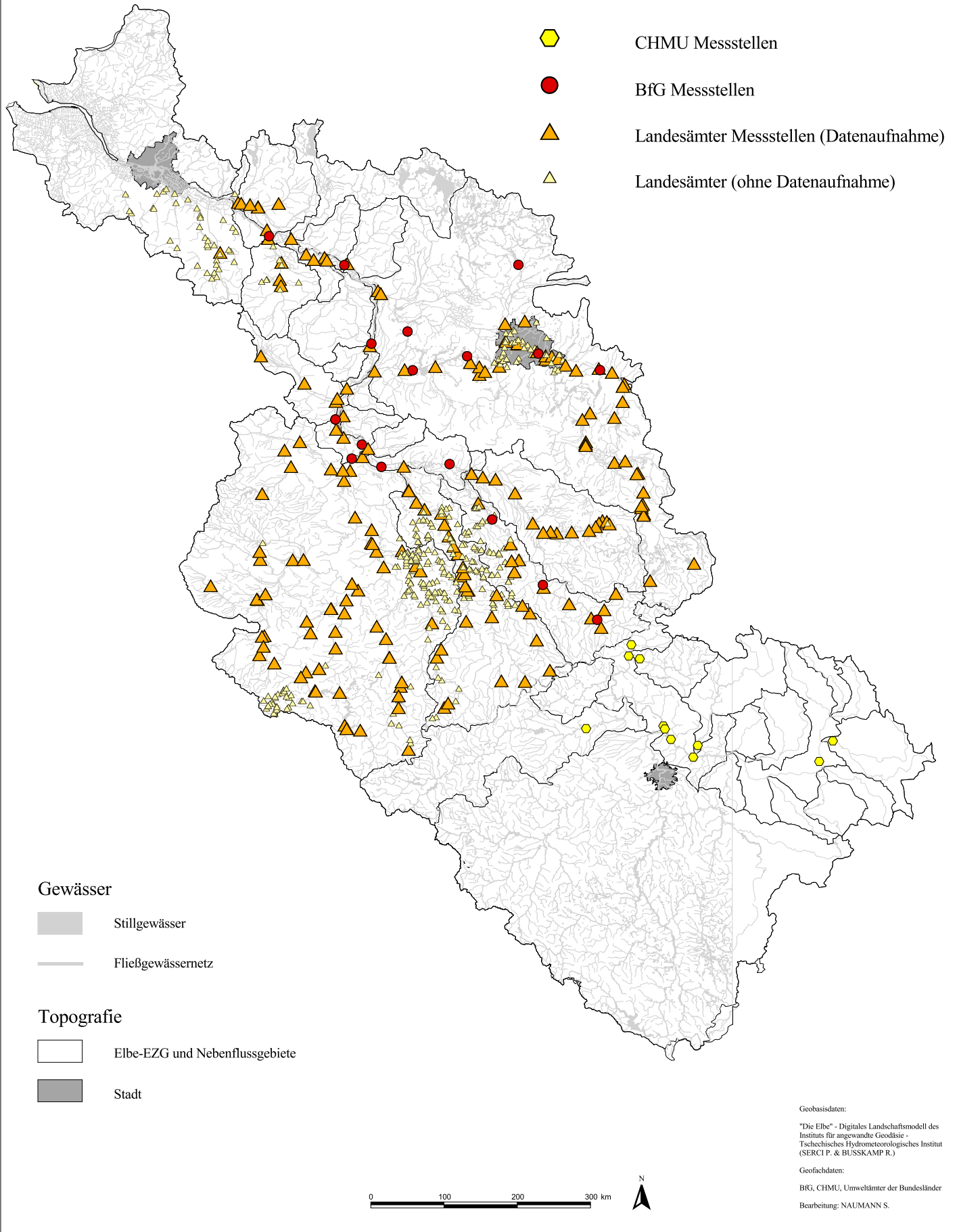
Die erhaltenen Messwerte mussten teilweise digitalisiert werden und wurden für die weitere Auswertung einheitlich aufbereitet. Da die Frequenz der Probenahme in den Bundesländern nicht einheitlich ist, liegen nicht für alle Gütemessstellen innerhalb eines EZG die gleiche Anzahl an Messwerten für einen bestimmten Zeitabschnitt vor. Daher setzen sich die Konzentrations- und Frachtlängsschnitte für einzelne Flussgebiete in Abhängigkeit vom betrachteten Zeitraum u.U. aus unterschiedlichen Messstellen zusammen.

3.1.2 Schwebstoffmessstellen der BfG

Zur Erfassung von Suspensionsfrachten unterhält die BfG in Zusammenarbeit mit der WSV 16 Dauermessstellen (Tab. 3-2), an denen werktäglich die Schwebstoffkonzentration in den Bundeswasserstrassen im Elbe-EZG gemessen wird (SCHMIDT et. al., 1999).

Karte 2

Recherchierte Schwebstoffmessstellen im Einzugsgebiet der Elbe



Gewässer	Messstelle	Lage / Ort Fluss-km	Messbeginn/ Messende
Elbe	Pirna	34,7	01.11.91
Elbe	Meißen	83,4	01.11.94
Elbe	Torgau	154	01.11.91
Elbe	Wittenberg	216,3	01.11.91
Elbe	Barby	294,8	01.11.91
Elbe	Magdeburg (Stromelbe)	326,6	01.11.91
Elbe	Magdeburg (Alte Elbe)	326,6	01.11.91
Elbe	Tangermünde	389,1	01.11.91
Elbe	Wittenberge	454,6	01.11.93
Elbe	Hitzacker	522,6	01.11.73
Havel	Zehdenick	15,1	01.11.91
Havel	Rathenow	103,6	01.11.91
Havel	Ketzin	34,2	01.11.91
Saale	Calbe-Grzehne	20	01.11.91
Spree	Fürstenwalde	74,6	01.11.91
Spree	Berlin-Stubenrauchbrücke	27,4	01.11.91

Tab. 3-2: Verwendete Schwebstoffmessstellen der BfG an den Bundeswasserstrassen im Elbe-EZG (Karte 2).

3.1.3 Schwebstoffmessstellen in Tschechien

Im tschechischen Teil des Elbe-EZG wird die Schwebstoffkonzentration der Gewässer werktäglich durch das Tschechische Hydrometeorologische Institut (ČHMÚ) ermittelt (Tab. 3-3).

Gewässer	Messstelle	Lage / Ort Fluss-km	Messbeginn
Elbe	Němčice	252,6	01.11.85
Elbe	Brandýs nad Labem	137,07	01.11.85
Elbe	Obříství	115,83	01.11.96
Elbe	Dolní Beřkovice (Mělník)	104,04.	01.11.96 (1986 – 1996)
Elbe	Děčín	13,67	01.11.86
Elbe	Děčín - Dolní Žleb	5,32	01.11.97
Eger	Louny	k.A.	mind. 01.11.1989
Jizera	Turice	k.A.	mind. 01.11.1989
Moldau	Vraňany – Vltava (Zelčín)	120,09	01.11.85
Orlice	Tyniste n. O.	k.A.	mind. 01.11.1989
Ploucnice	Benesov n. P.	k.A.	mind. 01.11.1989

Tab. 3-3: Recherchierte Schwebstoffmessstellen des ČHMÚ im Elbe-EZG (Karte 2).

Aufgrund von technischen und administrativen Problemen verzögerte sich die Messstellen- und Datenrecherche für den tschechischen Teil des Elbe-EZG, so dass eine Einarbeitung in das Projekt nur zum Teil möglich war. Von einer Betrachtung des Feststoffhaushalts für tschechische Nebenflussgebiete muss daher abgesehen werden. Nach schriftlicher Bestätigung des ČHMÚ werden in Tschechien insgesamt ca. 40 Messstellen an der Elbe und ihren Nebenflüssen betrieben, an denen werktägliche Messungen der Schwebstoffkonzentration erfolgen.

3.2 Abflussdaten

Die verwendeten Abflussreihen wurden von den zuständigen Landesämtern zur Verfügung gestellt und für die Berechnung der Schwebstofffrachten genutzt. Insgesamt konnten 76 Pegelmessreihen mit täglichen Durchflüssen für die Datenauswertung herangezogen werden (Band 2, Anhang D). Die für den Schwebstoffeintrag der Nebenflüsse relevanten Gütemessstellen sind mündungsnah angesiedelt und demzufolge von Rückstauprozessen bei höheren Wasserständen in der Elbe beeinflusst. Fehlende Pegeldata zu diesen Messstellen wurden daher über einzugsgebietskonforme Berechnungen extrapoliert. Die entsprechenden Faktoren sind in den Messstellenblättern in Band 2 Anhang F vermerkt.

Die Abflussermittlung basiert auf Wasserstand – Abfluss – Beziehungen (W-Q), die für Pegel an freifließenden Gewässern aufgrund von Abflussmessungen aufgestellt werden, d.h. die angegebenen Tagesabflüsse sind in erster Linie keine gemessenen sondern berechnete Werte. Da sich die W-Q-Beziehungen für ein festgelegtes Profil durch morphologische oder biologische Prozesse, wie Flussbettvertiefungen, Sohlaufhöhungen oder Verkrautungen ändern können, werden sie regelmäßig durch Vielpunktmessungen der Fließgeschwindigkeit nach der gültigen Pegelvorschrift aktualisiert (BfG 1997). Die Fehlerbreite für die Angabe von Abflüssen aus den mathematischen Beziehungen kann im Vergleich zu den Konzentrationsbestimmungen als gering eingestuft werden. Für größere Flussgebiete gibt SYMADER (1988) eine Abweichung von 10 % und HELLMANN (1986) allgemein 1,5 bzw. 3 % an.

3.3 Erfassung von Feststoffsenken

Indirekten Aufschluss über die Quantität von Feststofftransportprozessen bieten Angaben über die Verlandungsraten von durchflossenen Stillgewässern (Durchflusseseen, Stauseen), Aufwendungen zur Freihaltung von Vorsperren, die für den Geschieberückhalt errichtet wurden oder Mengenangaben zu Baggerungen in der Fahrrinne bzw. in Häfen mit Nebenflussanschluss.

Für die Unterhaltung der Bundeswasserstraßen im Elbe-EZG sind die jeweiligen Wasser- und Schifffahrtsämtern der Wasser- und Schifffahrtsdirektion OST zuständig. Angaben über die Entnahmestelle, die Menge und Beschaffenheit des Baggerguts wurden dem Projekt von der WSD OST zur Verfügung gestellt. Weitere Informationen über Feststoffsinken wurden soweit bekannt der Fachliteratur entnommen und an der entsprechenden Stelle in die Darstellung des Feststoffhaushalts der Nebenflüsse eingebunden. Die Ergebnisse dieser Recherche sind in Band 2 Anhang J dargestellt. Für weitere regionale Untersuchungen sei an dieser Stelle erwähnt, dass die Landes-Talsperrenverwaltung Sachsen eine umfassende Aufnahme der Verlandungsmengen von Talsperren in ihrem Zuständigkeitsbereich vorgenommen hat.

3.4 Luftbildauswertung

Für die Beurteilung der Durchgängigkeit der Flussstrecke unterhalb der jeweils mündungsnächsten Schwebstoffmessstelle des Landes, wurden Color-Diapositiv-Luftbilder, die im Auftrag der WSD OST während einer MNW – Befliegung der Elbe im Jahr 1992 angefertigt wurden (WSD OST 1992), unter gewässermorphologischen Gesichtspunkten ausgewertet. In die Untersuchung gingen nicht nur die Elbenebenflüsse, für die Schwebstoffdaten vorhanden waren, sondern alle im Flächenverzeichnis der Fließgewässer (Meteorologischer Dienst der DDR, 1968) genannten Nebengewässer 1. Ordnung zwischen der deutsch - tschechischen Grenze und dem Wehr Geesthacht mit einer EZG-Größe von > 30 km² ein.

Ziele der Luftbildauswertung:

- die Erfassung von Querbauwerken, natürlichen und künstlichen Feststoffsinken, die zu einer Unterbrechung des Feststofftransportes führen und
- die Kartierung der morphologischen Ausprägung der Flussmündungen, da diese mitunter Rückschlüsse auf den Feststofftransportcharakter eines Fließgewässers zulassen.

Die Analyse der Luftbilder hat ergeben, dass von den 46 untersuchten Nebengewässern 33 keine morphologischen oder wasserbaulichen Merkmale aufweisen, die den Feststofftransport im unmittelbaren Mündungsbereich beeinflussen (Abb. 3-1; Band 2, Anhang B). Für diese ist demnach eine Einschätzung des Schwebstoffeintrags auf der Grundlage der Messreihen an der mündungsnächsten Messstelle möglich. Zudem weisen 11 der morphodynamisch durchgängigen Nebenflüsse einen mehr oder weniger gut ausgeprägten Mündungsschüttkegel auf, welcher unter Berücksichtigung des Transportvermögens der Elbe auf den Eintrag

gröberen Materials schließen lässt. Dieser Mündungstyp beschränkt sich ausschließlich auf die Nebenflüsse der Oberen Elbe. An 13 der untersuchten Nebenflüsse ist aufgrund der Luftbildauswertung möglicherweise mit einer Einschränkung der Durchgängigkeit für Feststofftransporte unterhalb der mündungsnächsten Schwebstoffmessstelle zu rechnen. Dies betrifft vor allem das, nach der Moldau und der Saale drittgrößte Elbenebenflussgebiet der Havel und die größeren Nebenflüsse Sude, Jeetzel, Aland und Stepenitz, die im Bereich der Unteren Mittel-elbe, also etwa ab Elbe-km 400 einmünden (Tab. 3-4). Durch natürliche und künstliche Feststoffsenken und Querbauwerke ist an diesen Flüssen, die Einschätzung des Sedimenteintrages mit Unsicherheiten behaftet.






Luftbildausschnitt	Mündungsmerkmal	Elbenebenfluss (ohne Kanäle)	Anz.
	Schüttkegel Bsp. Müglitz	Biela, Gottleuba, Kimitzsch, Krippenbach, Lachsbach, Lockwitzbach, Müglitz, Prießnitz, Triebisch, Vereinigte Weißeritz, Wesenitz	11
	ohne besondere Merkmale Bsp. Ohre	Dahle, Dommitscher Bach, Elde, Horster Mühlenbach, Jahna, Ketzerbach, Klinke, Meißener Bach, Mulde, Nieschützbach, Nuthe, Ohre, Olbitzgraben, Pretscher Bach, Rieschebach, Rossel, Saale, Schwarze Elster, Seege, Sülze, Weinske, Wilde Sau	22
	Natürliche Feststoffsinken (z. B. Durchflusseesen, Stromspaltungen) Bsp. Zahna	Ehle Flieth, Fließgraben Jeetzel Zahna	4
	Künstliche Feststoffsinken - Häfen Bsp. Aland	Aland Boize Döllnitz Stepenitz Sude Tanger	6
	Querbauwerke (z.B. Wehre) Bsp. Lößnitz	Havel Lößnitz Soolkanal	3

Abb. 3-1: Luftbildauswertung der wasserbaulichen und morphologischen Merkmale der Nebenflussmündungen.

3.5 Zusammenfassende Bewertung der Datenquantität

Aufgrund der hohen Dichte der Schwebstoff- und Abflussmessstellen im EZG der Elbe ist eine Beurteilung der Schwebstoffeinträge von 25 Nebenflüssen 1.Ordnung anhand des recherchierten Datenmaterials möglich (Tab. 3-4). Diese Nebenflussgebiete decken 88,7 % des Elbe-EZG von der deutsch-tschechischen Grenze bis zum Wehr Geesthacht ab.

Elbeabschnitt		Zwischen-EZG Elbe	Auswertbarer Nebenfluss im Elbeabschnitt	Größe der auswertbaren Nebenflussgebiete	Prozentuale Abdeckung des Zwischen-EZG
von	bis	[km ²]		[km ²]	[%]
Grenze	Pirna	973,5		0,0	0,0
Pirna	Meissen	1610,9	<i>Gottleuba, Müglitz, Triebisch, Weißeritz, Wesenitz</i>	1297,0	80,5
Meissen	Torgau	1565,0	<i>Dahle, Döllnitz, Jahna, Weinske</i>	1045,2	66,8
Torgau	Wittenberg	6329,2	<i>Schwarze Elster</i>	5541,4	87,6
Wittenberg	Barby	32618,4	<i>Saale, Vereinigte Mulde</i>	31479,2	96,5
Barby	Magdeburg	1095,4	<i>Nuthe, Sülze</i>	566,1	51,7
Magdeburg	Tangermünde	2880,9	<i>Ehle, Ohre, Tanger</i>	2736,1	95,0
Tangermünde	Wittenberge	24170,6	<i>Havel</i>	24024,8	99,4
Wittenberge	Hitzacker	3453,4	<i>Aland, Elde, Seege, Stepenitz</i>	2174,1	63,0
Hitzacker	Geesthacht	7991,1	<i>Boize, Jeetzel, Sude</i>	4452,8	55,7
Gesamt:		82688,4		73316,7	88,7

Tab. 3-4: Nebenflussgebiete 1. Ordnung, deren Schwebstoffhaushalt auf der Grundlage der Datenrecherche ermittelt werden kann.

Der Zeitraum über den quantifizierbare Aussagen getroffen werden können, ist aufgrund der Verfügbarkeit von Schwebstoffdaten im allgemeinen auf die 90-er Jahre beschränkt. Die Nebenflüsse in den Elbeabschnitten zwischen der Grenze und Pirna und zwischen Barby und Magdeburg, die nicht bzw. nur teilweise durch die Messungen der Bundesländer erfasst werden, können aufgrund des kleinen Zwischen-EZG von 2069 km² (2,5 % des deutschen

Elbe-EZG) für die Betrachtung des Schwebstoffhaushalts der Elbe vernachlässigt werden. Neben der Bestimmung der Schwebstoffeinträge der Nebenflüsse 1. Ordnung in die Elbe, können auf der Grundlage der Ländermessdaten zusätzliche Aussagen zu den Schwebstofftransportprozessen in den größeren Nebenflussgebieten der Saale, der Havel, der Mulde, der Schwarzen Elster und der Ohre getroffen werden. Dies schließt auch folgende bedeutende Nebenflüsse höherer Ordnung ein. Im Saale-EZG die Unstrut, die Bode und die Weiße Elster, im Mulde-EZG die Freiburger- und die Zwickauer Mulde und im Havel-EZG die Spree.

Während der Schwebstoffhaushalt der Elbenebenflüsse durch die Messreihen der Länder sehr gut ermittelt werden kann, beschränkt sich das Wissen über die Höhe von Geschiebeeinträgen in die Elbe, zumeist auf indirekte Angaben zu Baggermengen an Nebenflussmündungen.

Neben der Datenquantität ist vor allem die Homogenität und die Vergleichbarkeit des Datenmaterials von entscheidender Bedeutung für die Güte übergreifender Beurteilungen des Schwebstoffhaushalts der Nebenflüsse. In den folgenden Kapiteln werden demzufolge die institutionsbedingten Unterschiede der Laboranalytik, der Probenahmeart und der Messfrequenz, sowie die Problematik der Frachtbestimmung ausführlich behandelt.

4 Methoden der laboranalytischen Schwebstoffbestimmung im Elbeeinzugsgebiet

Im Programm zur Vereinbarung über die Internationale Kommission zum Schutz der Elbe (IKSE) von 1991 wird das Ziel der Schaffung von einheitlichen Methoden zur Klassifizierung der Wasserbeschaffenheit der Elbe deutlich hervorgehoben (Amtsblatt Nr. L321 23.11.1991). Um die Bedeutung der Nebenflüsse für den Schwebstoffhaushalt der Elbe abschätzen zu können, müssen die nach unterschiedlichen Labormethoden bestimmten Schwebstoffgehalte vergleichbar sein. Im Elbeeinzugsgebiet werden 4 unterschiedliche Methoden zur gravimetrischen Schwebstoffbestimmung eingesetzt (Tab. 4-1), die im Rahmen dieses Projektes nach ihrer Effizienz in einer Laborstudie untersucht wurden. Die Ergebnisse der Studie, die hier kurz vorgestellt werden, wurden in einer Diplomarbeit (BOEGEHOLD, 2001) umgesetzt und veröffentlicht (NAUMANN et. al., 2001).

4.1 Begriffsdefinitionen

Nach der DIN 38409 H2 versteht man unter abfiltrierbaren Stoffen "... die volumenbezogene Masse der im Wasser enthaltenen ungelösten Stoffe, die unter bestimmten Bedingungen abfiltriert und im Anschluss an ein festgelegtes Trocknungsverfahren ausgewogen werden. Solche ungelösten Stoffe können Sink-, Schweb- und Schwimmstoffe organischer oder anorganischer Zusammensetzung sein. ...".

Nach DVWK Regeln (1986) der DK 556.535.6 sind Schwebstoffe „...Feststoffe, die mit dem Wasser im Gleichgewicht stehen oder durch Turbulenz in Schwebelage gehalten werden. ...“.

Da eine Trennung von Schweb- und Sinkstoffen in der Natur nicht immer möglich ist und bei der Einzelprobenahme unberücksichtigt bleibt, wird der Begriff Schwebstoff und abfiltrierbarer Stoff in der vorliegenden Arbeit als Synonym verwendet.

4.2 Methoden der Schwebstoffbestimmung

4.2.1 Gravimetrische Schwebstoffbestimmung nach DIN 38 409 - H2 – 2 der Bundesländer

Die zuständigen Landesumweltämter der BRD richten sich bei der Erfassung der Schwebstoffkonzentration im Rahmen ihrer Messprogramme nach den Deutschen Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung (DIN 38 409 - H2 – 2). Abweichungen von der DIN-Vorschrift treten durch die verwendeten Filtertypen auf. In den Alten Bundesländern (NLWK), an einigen Instituten und Universitäten wird bevorzugt ein

Cellulose-Acetat-Filter mit definiertem Porendurchmesser (meist 0,45 µm) eingesetzt (Tab. 4-1, Methode M1). In den Neuen Bundesländern findet der Glasfaservorfilter GF 92 zur Schwebstoffbestimmung Verwendung (Tab. 4-1, Methode M2). Vor 1991 erfolgte die Schwebstoffbestimmung, deren methodischer Ablauf (IfW, 1986) mit der DIN vergleichbar ist, mittels quantitativer Papierfilterpapiere.

4.2.2 Gravimetrische Schwebstoffbestimmung nach DVWK Richtlinie DK 556.535.6 der Bundesanstalt für Gewässerkunde

Im Einzugsgebiet der Elbe werden von der Bundesanstalt für Gewässerkunde an der Elbe, der Saale, der Havel und der Spree an insgesamt 16 Messstellen werktäglich Wasserproben zur Bestimmung des Schwebstoffgehaltes entnommen. Das angewandte gravimetrische Verfahren richtet sich nach der DVWK Richtlinie DK 556.535.6 (Tab. 4-1, Methode M3).

4.2.3 Gravimetrische Schwebstoffbestimmung nach ČSN 830 530 des Tschechischen Hydrometeorologischen Institut (ČHMÚ)

Die tschechischen Fließgewässer werden vom Tschechischen Hydrometeorologischen Institut (ČHMÚ) auf ihren Schwebstoffgehalt entsprechend der Norm ČSN 830 530 untersucht (Tab. 4-1, Methode M4)

4.3 Vergleich der Effizienz der gravimetrischen Filtriermethoden

Um die Effektivität der Abscheidung von ungelösten Stoffen aus einer Wasserprobe für die einzelnen Methoden zu bestimmen, wurden Standardsuspensionen mit einem bekannten Schwebstoffgehalt (10, 20, 30 und 50 mg/l) und einer definierten Korngrößenzusammensetzung erstellt, die mit jeder Methode jeweils 10 mal analysiert wurden. Das in Suspension zu bringende Feststoffgemisch wurde der Sohle eines Nebengewässers der Elbe entnommen, bei 550°C geglüht und der typischen Korngrößenverteilung des Schwebstoffs in der Elbe angepasst (NAUMANN et. al., 2001).

Die Effizienz der 4 zu untersuchenden Methoden ergab sich aus der Höhe des analysierten Schwebstoffgehaltes an der jeweiligen Standardkonzentration. Die Mittelwerte aus den 10 Einzelmessungen pro Standard sind für jede Methode in mg/l angegeben (Abb. 4-1). Es zeigt sich, dass die Effizienz der einzelnen Methoden mit zunehmenden Schwebstoffgehalt ansteigt. Dies ist mit der zunehmenden Porenabdichtung des Filtermaterials in Abhängigkeit von der Menge des Schwebstoffes zu erklären. Demzufolge kann man im niedrigen Konzentrationsbereich mit den höchsten Abweichungen je nach verwendetem Filtertyp und Methode rechnen. Dieser Trend ist bei allen Methoden bis auf die Methode M4 des ČHMÚ,

wobei die Abnahme der Effizienz um 2,1 % zu vernachlässigen ist, nachzuvollziehen (Abb. 4-1). Auffällig ist die Vergleichbarkeit der Methoden nach DIN – Norm der Alten und Neuen Bundesländer und der tschechischen gravimetrischen Filtrationsmethode (Tab. 4-2).

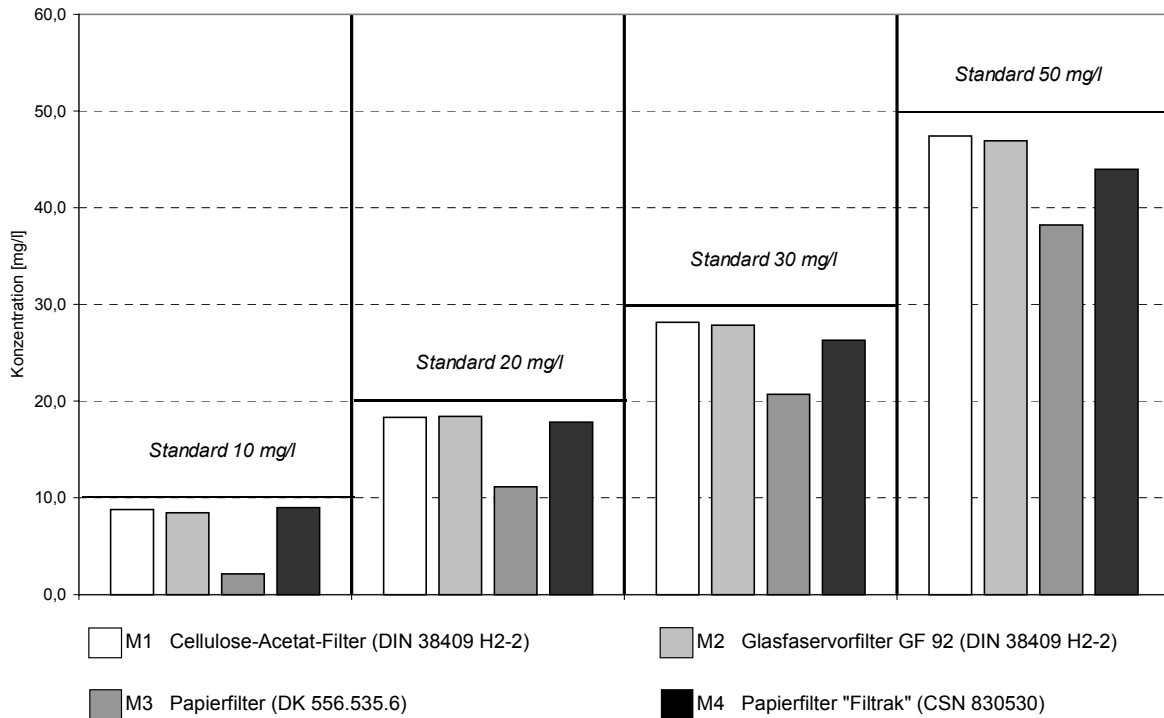


Abb. 4-1: Analytierte Schwebstoffkonzentrationen an 4 Suspensionsstandards bekannter Konzentration nach 4 gravimetrischen Bestimmungsverfahren unter Verwendung der Mittelwerte aus 10 Einzelmessungen pro Standard und Methode.

Der Wirkungsgrad der Methode M3, der Bundesanstalt für Gewässerkunde fällt demgegenüber deutlich ab. Die Effizienz steigt zwar mit zunehmendem Schwebstoffgehalt stark an (Abb. 4-1), erscheint aber auch im Konzentrationsbereich von 50 mg/l mit einem Wert von 76,4 % nicht geeignet absolute Schwebstoffkonzentrationen mit hinreichender Genauigkeit zu bestimmen (Tab. 4-2). Die Gründe hierfür liegen größtenteils in dem nicht berücksichtigten Ausspülverlust der Papierfilter. Dieser beträgt im Durchschnitt 5 mg/l (BULLA, 1992; SCHMIDT, 1997; BÖGEHOLD, 2000) und würde, wenn man ihn einberechnet, die Effektivität der Schwebstoffbestimmung im niedrigen auf 65 % und im hohen Konzentrationsbereich auf 86 % ansteigen lassen.

ALLGEMEINES	Methodenbezeichnung	M1 "Alte Bundesländer"	M2 "Neue Bundesländer "	M3 "BfG Methode"	M4 "ČHM Ú Methode"
	Norm	DIN 38 409 H2 - 2	DIN 38 409 H2 - 2	DK 556.535.6	ČSN 830 530
	Untersuchte Gewässer	Fließgewässer Niedersachsen	Fließgewässer Sa., Sa.-An, Bra, Meck. Vor., Berlin	Bundeswasserstraßen	Fließgewässer ČSR
	Probenahme	Einpunktmessung	Einpunktmessung	Ein- und Vielpunktmessung	Integrationsmessung
	Verfahren	Unterdruckfiltration	Unterdruckfiltration	Filtration	Filtration
	Probenvolumen [L]	1	1	3 – 5	1
	Filtertyp	Zellulose-Acetat-Filter (Sartorius)	Glasfaservorfilter GF 92 (Schleicher & Schüll)	Papierfilter (Pyramiden-Filterpapier 202 "Melitta")	Papierfilter (Filtrak 389 Weißband)
	Porengröße	0,45 µm	k. A.	ca 6,1 µm	ca 3,4 µm
	Retentionsvermögen	k. A.	99,97 % > 1 µm	k. A.	k. A.
	FILTRATIONSABLAUF	Filtervorbereitung	100 ml Aqua dem. filtrieren	100 ml Aqua dem. filtrieren	Klimatisierung der Filter 1 h (41 % rel. Lf, Temp. 24,1 – 24,3°C).
Trocknung		8 h / 105 °C (mit Wägeschälchen)	8 h / 105 °C (mit Wägeschälchen)	8 h / 105 °C (mit Wägeschälchen)	
Abkühlung (Exsikkator)		30 min	30 min	30 min	
Leergewichtsbestimmung		auf 0,1mg	auf 0,1mg	unter klimatisierten Bedingungen auf 1mg	auf 0,1mg
Filtrationsort		Labor (Unterdruck)	Labor (Unterdruck)	Vor Ort	Labor
Trocknung (Trockenschrank)		8 h / 105 °C (mit Wägeschälchen)	8 h / 105 °C (mit Wägeschälchen)	8 h / 90 +/- 2°C	8 h / 105 °C (mit Wägeschälchen)
Abkühlung (Exsikkator)		30 min	30 min	Klimatisierung der Filter 1 h (41 % rel. Lf, Temp. 24,1 – 24,3°C)	30 min
Vollgewichtsbestimmung		auf 0,1mg	auf 0,1mg	unter klimatisierten Bedingungen auf 1mg	auf 0,1mg

Tab. 4-1: Angewandte gravimetrische Filtrationsverfahren zur Schwebstoffbestimmung im Elbe-EZG.

Durch die eingeschränkte Vergleichbarkeit der laboranalytischen Bestimmungsverfahren ist die Einschätzung der Bedeutung der Nebenflüsse für den Schwebstoffhaushalt der Elbe mit Schwierigkeiten behaftet. Da in der Elbe von einer mittleren Schwebstoffkonzentration von 35 – 45 mg/l auszugehen ist, müssten die Werte der BfG in etwa 20 bis 30 % bzw. mit einem Faktor von 0,7 – 0,8 unter denen der Länder liegen. Die Qualität der Schwebstoffbestimmung

ist jedoch von einer Vielzahl weiterer Faktoren abhängig, die sich vor allem auf die Art und Weise der Probenahme beziehen. Es wurden daher zusätzlich die isochronen Wertepaare paralleler Messstellen der BfG und der Landesbehörden miteinander verglichen.

Standard	M1 "Alte Bundesländer"		M2 "Neue Bundesländer "		M3 "BfG Methode"		M4 "ČHMÚ Methode"	
	DIN 38 409 H2 - 2		DIN 38 409 H2 - 2		DK 556.535.6		ČSN 830 530	
	Effizienz	Stabw.	Effizienz	Stabw.	Effizienz	Stabw.	Effizienz	Stabw.
10 mg/l	89,1	1,1	89,5	1,1	21,2	0,8	90,0	0,9
20 mg/l	90,6	0,9	93,6	0,5	55,7	0,9	89,2	0,8
30 mg/l	92,5	0,6	91,9	0,6	69,0	2,4	87,7	1,5
50 mg/l	94,7	0,7	92,4	1,5	76,4	4,6	87,9	0,7

Tab. 4-2: Effizienz [%] der untersuchten gravimetrischen Filtrationsverfahren unter Angabe der Standardabweichung (Stabw.) in Bezug auf jeweils 10 Proben.

4.4 Vergleich isochroner Schwebstoffdaten an Parallelmessstellen der BfG und der Landesbehörden

Ein Vergleich der Messergebnisse zur Bestimmung der Schwebstoffkonzentration benötigt neben der Kenntnis der Labormethoden genaue Informationen über das Verfahren der Probenahme, den Ort und den Zeitpunkt der Messung. Da im Rahmen des Projektes keine Begehung der Messstellen erfolgen konnte, sind konkrete Aussagen bezüglich des genauen Entnahmepunktes im Gewässerquerschnitt und zum Zeitpunkt der Probenahme nicht möglich. Die Vergleichbarkeit der Messreihen beschränkt sich daher auf die Gegenüberstellung der täglichen Messwerte an ausgewählten Parallelmessstellen der Landesbehörden und der BfG (Tab. 4-3).

Gebiet	Parallelmessstelle			Verhältnis $C_{afS} - BfG / C_{afS} - Land$				
	BfG Messstelle	Landesmessstelle	n	Mittelwert	Median	Max	Min	s
Elbe	Wittenberge	Cumlosen	48	2,7	2,3	6,7	0,5	1,5
Elbe	Magdeburg	Magdeburg	47	2,1	1,5	10,4	0,6	2,1
Elbe	Wittenberg	Wittenberg	48	2,0	1,3	17,0	0,4	2,5
Elbe	Meißen	Zehren	49	3,8	1,8	32,0	0,2	6,2
Saale	Calbe-Grizehne	Groß Rosenberg	148	3,7	1,8	112,0	0,2	10,6
Havel	Ketzin	Alt Töplitz	191	2,9	2,2	16,0	0,5	2,2
Spree	Fürstenwalde	uh. Fürstenwalde	53	3,3	2,2	15,9	0,4	3,0
Spree	Berlin-Stubenrauchbrücke	Berlin - Fähre Baumschulenweg	91	2,2	1,9	9,5	1,0	1,1
Mittelwert der Abweichung:				2,8	1,9			

Tab. 4-3: Vergleich der isochronen Wertepaare von Schwebstoffmessungen an Parallelmessstellen der BfG und der Landesbehörden über die Bildung des Verhältnisses von $C_{afS} BfG / C_{afS} Land$.

Der Vergleich der isochronen Wertepaare zeigt (Tab. 4-3), dass im Widerspruch zur festgestellten Effizienz der Labormethode, nach der die BfG-Werte etwa 0,7 bis 0,8 mal unter denen der Länder liegen müssten, die in der Natur gemessenen Werte durchschnittlich 2,8 mal höher sind.

Eine Begründung für diesen Widerspruch konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht ermittelt werden und muss daher Gegenstand weiterer Untersuchungen sein. Eine Angleichung der Labormethodik sollte jedoch ein erster Schritt zum Ausräumen einer Unsicherheit für die Vergleichbarkeit der Messdaten sein. So ist nicht auszuschließen, dass die Klimatisierung der Papierfilter für die Vollgewichtbestimmung nach der BfG Methode zu einer hygroskopischen Wasseraufnahme des Filtratrückstandes und damit zu einer unkalkulierbaren und unerwünschten Gewichtszunahme führt. Desgleichen können jedoch auch die unterschiedlichen Probenahmeverfahren und Messpunkte im Fließgewässer zu Verfälschungen führen. Die ausgewählten Parallelmessstellen sind oftmals einige Kilometer voneinander entfernt, so dass zwar die Messzeit aufgrund der Fließgeschwindigkeit vergleichbar ist, die örtliche Schwebstoffkonzentration im Gewässer sich jedoch durchaus unterscheiden kann (vgl. Kap. 5.1). Die Tendenz, dass die BfG- Werte höher ausfallen bzw. die Länderdaten zu niedrig sind, ist jedoch eindeutig gegeben.

In der Vergangenheit wurden direkte Vergleichsmessungen zum Schwebstofftransport durchgeführt. Die GKSS (WILKEN et. al., 1991) als auch die IKSR (1998) führten derartige isochrone Messungen im Fließgewässer durch.

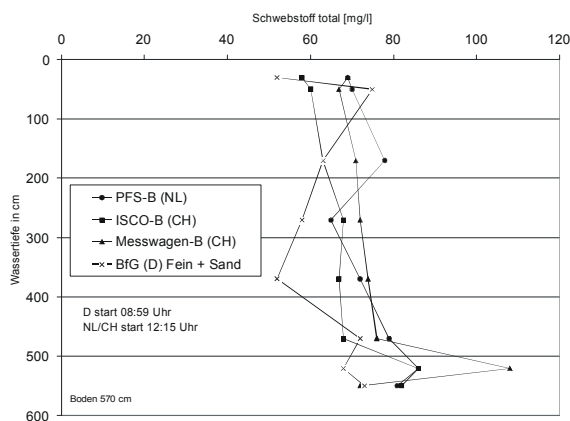


Bild 1

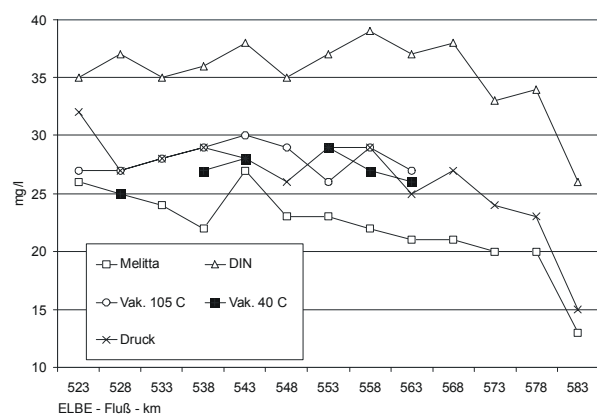


Bild 2

Abb. 4-2: Ergebnisse von Vergleichsmessungen der Schwebstoffkonzentration. Quelle: Bild 1 aus IKSR, 1998, S. 13, Bild 2 aus GKSS, 91/E/35, S.171.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigen oftmals auch keine signifikanten Ergebnisse hinsichtlich der Vergleichbarkeit, da die Unterschiedlichkeit und die Komplexität der

Verfahren, von der Probenahme bis zur Analyse im Labor, zu hoch ist (Abb. 4-2). Außerdem kann während der Parallelmessung nicht garantiert werden, dass die Randbedingungen, welche die Stoffverteilung im Gewässer bestimmen, über einen benötigten Zeitraum (Umsetzen des Messschiffs etc.) konstant sind.

4.5 Abschließende Beurteilung der Vergleichbarkeit der Schwebstoffmessdaten im Elbe-EZG

Aus den durchgeführten Untersuchungen zur Konsistenz des vorliegenden Datenmaterials aus den Schwebstoffmessreihen im Elbe – EZG können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden.

- Die Vergleichbarkeit der gravimetrischen Methoden zur Schwebstoffbestimmung unter den Bundesländern und mit Tschechien im Elbe-EZG ist gegeben. Der Wirkungsgrad der Methoden im mittleren typischen Konzentrationsbereich zwischen 20 bis 50 mg/l beträgt 90 – 95 %. Daher lassen sich auf der Grundlage des erhobenen Datenmaterials Bundesländergrenzen übergreifende Betrachtungen des Schwebstoffhaushaltes in den Elbenebenflussgebieten anstellen.
- Die Methodik der BfG sollte gemäß den Vergleichsuntersuchungen zu einer Unterschätzung der Schwebstoffkonzentration um den Faktor 0,7 bis 0,8 führen, da der Wirkungsgrad der Methode im mittleren typischen Konzentrationsbereich zwischen 20 bis 50 mg/l 55 - 75 % beträgt.
- Im Widerspruch zu den Laborergebnissen sind die Schwebstoffmesswerte der BfG an Parallelmessstellen der Bundesländer und der BfG um den Faktor 2,8 erhöht. Da der Faktor nicht konstant ist sondern an den betrachteten Messstellen erheblich und im Durchschnitt zwischen 2,0 und 3,7 schwankt, ist die Einführung eines allgemeinen oder messstellenspezifischen Korrekturfaktors nicht statthaft.

Aufgrund der nicht vergleichbaren Methodik der Datenerfassung zwischen den Bundesländern und der BfG muss daher von einer Bilanzierung des Schwebstoffhaushaltes der Elbe Abstand genommen werden. Die Bedeutung des Schwebstoffeintrags der Nebenflüsse für die Elbe ist demzufolge nicht aus dem absoluten Verhältnis der Höhe der Stoffkonzentrationen oder –frachten an den jeweiligen Einmündungen zu bestimmen, sondern ergibt sich aus der relativen Einordnung der quantifizierbaren Schwebstofffrachten der Nebenflüsse untereinander.

5 Methodik der Schwebstofffrachtbestimmung

5.1 Problematik der Bestimmung einer Schwebstoffjahresfracht

Zur Bestimmung einer Jahresfracht werden Messungen der Stoffkonzentration und des Abflusses benötigt. Das bedeutet, dass die Qualität der Frachtberechnung zunächst von der Analysengenauigkeit (Kapitel 4) und der Probenahmestrategie abhängig ist. Das grundlegende Problem der Frachtermittlung ist die Frage der Repräsentativität des Messpunktes für die räumliche Verteilung der Schwebstoffkonzentration und für deren zeitlichen Verlauf im betrachteten Fließgewässerquerschnitt. Bei der Frachtberechnung geht man davon aus, dass der vorliegende Wert, die fließquerschnittgemittelte Konzentration an Schwebstoff widerspiegelt. Da die Schwebstoffverteilung in einem Fließgewässer jedoch sehr inhomogen sein kann (BfG, 1977), ist es ausschlaggebend ob eine Probennahme am Ufer, im Stromstrich, im Einflussbereich von einmündenden Nebengewässern oder Einleitern erfolgte und in welcher Gewässertiefe und zu welchem Zeitpunkt (Abb. 5-1).

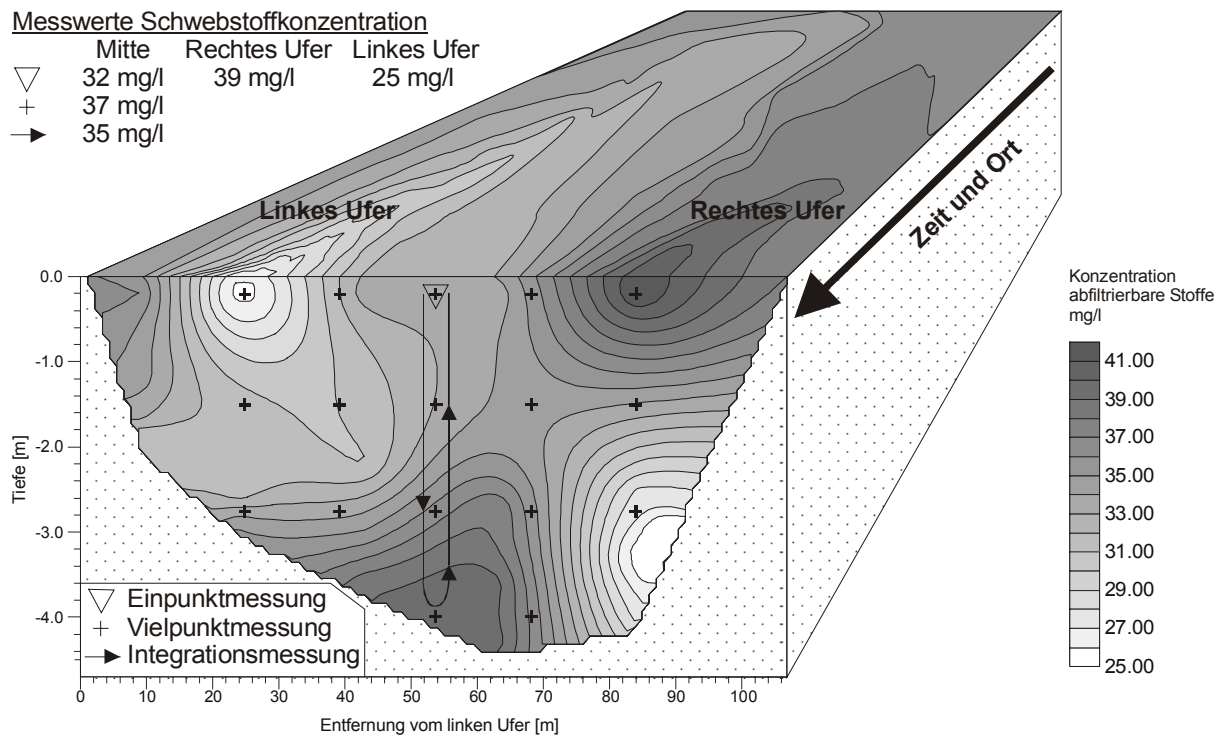


Abb. 5-1: Einfluss der Probenahmeverfahren auf die ermittelte Schwebstoffkonzentration dargestellt am Beispiel der Elbe (Elbe-km 196,5 am 4.5.01).

Des weiteren benötigt die korrekte Frachtberechnung eine hohe Quantität an Daten, wobei wenn möglich alle konzentrationsbeeinflussenden Ereignisse erfasst sein sollten (BfG, 1997). Diese hohe zeitliche Auflösung ist aufgrund des Kostenaufwandes für die Bestimmung der

Schwebstoffgehalte nicht zu erbringen, so dass man versucht aus wenigen Messwerten jährliche Schwebstofffrachten zu berechnen bzw. zu schätzen (SYMADER, 1988; HELLMANN, 1986). Die Datenrecherche zu den vorhandenen Schwebstoffmesswerten im Elbe-EZG hat ergeben, dass die Probenahme an einer Messstelle in der Regel 12-26 mal pro Jahr als Einpunktmessung erfolgt. Da hier also keine kontinuierlichen Messungen vorliegen hat der Messwert immer den Charakter einer Stichprobe, die nur den Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen in einem Gewässerpunkt zum Zeitpunkt der Probenahme widerspiegelt. Sowohl der Schwebstoffgehalt als auch die Abflusshöhe eines Fließgewässers können jedoch schon im Tagesverlauf starken Veränderungen unterliegen (SYMADER et. al., 1991), so dass die Hochrechnung eines gemessenen Schwebstofftransports, also gewissermaßen einer Sekundenfracht auf die Tagesfracht, mit Unsicherheiten behaftet ist (SYMADER, 1988; HELLMANN, 1986). In der Gewässerkunde wird daher der Versuch unternommen, eine Schwebstoffjahresfracht auf der Grundlage dieser diskontinuierlichen Messreihen zu schätzen. Dazu dienen verschiedene mathematisch-statistische Berechnungsmethoden (BfG, 1997; LÜBBERT, 1999; BEHRENDT et. al., 2000), die in der vorliegenden Arbeit angewendet und zum Teil modifiziert wurden (Tab. 5-1). Allgemein werden die Methoden, die auf real gemessenen Werten basieren und eine direkte Ableitung einer Fracht ermöglichen (Methoden 1 –3), von denen unterschieden, die ausgehend von einer begrenzten Anzahl an Messwerten auf fehlende Messtage schließen bzw. vollständige, neue Wertereihen generieren (Methoden 4 - 7) (Tab. 5-1). Dies erfolgt zum einen durch die Annahme eines Zusammenhangs zwischen zwei benachbarten Konzentrationswerten (Methode 4) oder durch die theoretische Ableitung von funktionalen Zusammenhängen mit anderen Messgrößen, für die tägliche Messwerte vorliegen. In der Gewässerkunde geht man dabei im allgemeinen von einem ursächlichen Zusammenhang zwischen dem Abflussgeschehen und der Schwebstoffkonzentration oder dem Schwebstofftransport aus (Methoden 5 und 6). In der Natur ist diese Abhängigkeit zwar tendenziell nachweisbar, jedoch nicht die Regel. Dies hängt u.a. stark von der Quelle der Schwebstoffe ab. Vornehmlich abwasserbürtige Schwebstoffe werden bei höheren Abflüssen verdünnt, wohingegen Schwebstoffe aus Erosionsprozessen im Einzugsgebiet tatsächlich mit dem erhöhten Durchfluss ansteigen. Dies erfolgt in erster Linie in bzw. vor der aufsteigenden Hochwasserwelle (Hysterese-Effekt). Biologische Prozesse, wie die Entwicklung der Primärproduzenten im Jahresverlauf und anthropogene Eingriffe in den Flusslauf werden durch die Beziehung nicht berücksichtigt. Die resultierende Korrelationsbeziehung zwischen der Konzentration bzw. dem Transport und dem Abfluss ist demzufolge trotz einer hohen Messfrequenz oftmals ungenügend. Um diese

Probleme zu umgehen hat man daher versucht entsprechende C-Q- oder T-Q Beziehungen für die aufsteigenden und absteigenden Äste von Hochwasserwellen oder für Winter- und Sommerhalbjahre zu erstellen (Methode 5b).

Nr.	Kurzbeschreibung	Abkürzung
1	Integration des Produktes aus den Jahresmittelwerten der Schwebstoffkonzentration und des Abflusses über das Jahr.	$\bar{C}_{MT} \bar{Q}_{MJ}$
2	Integration des Mittelwertes der Tagesfrachten über das Jahr.	\bar{F}_{MT}
3	Jahresabflussabhängige Integration des Mittelwertes der Tagesfrachten über das Jahr.	$\bar{F}_{MT-OSPAR}$
4	Lineare Interpolation zwischen den Konzentrationsmesswerten	$F_{lin.Int.}$
5	Konzentration – Abfluss - Beziehung über Abflussklassen:	
5a	- Gesamtjahr	$F_{CQ-Klassen/Jahr}$
5b	- getrennt nach Sommer- / Winterhalbjahr	$F_{CQ-Klassen/Som-Win}$
6	Transport – Abfluss - Beziehung	F_{TQ}
7	Zeitreihenverfahren:	
7a	Konzentration – Zeit - Beziehung	F_{Ct}
7b	Konzentration – Zeit - Beziehung mit Abflussabhängigkeit	$F_{Ct(Q30)}$

Tab. 5-1: Verzeichnis der verwendeten Frachtberechnungsmethoden.

Eine andere Möglichkeit ist die Annahme, dass der Verlauf der Schwebstoffkonzentration einem gesetzmäßigen Jahresgang unterliegt, also zeitabhängig ist (Methode 7). Mittels dieser Methode werden eine Vielzahl von nicht näher charakterisierten naturräumlichen und anthropogenen Faktoren, die ein bestimmtes Schwebstoffregime eines Fließgewässers verursachen, in den Berechnungen berücksichtigt. Die Beziehung gilt jedoch nur unter der Voraussetzung, dass die Rahmenbedingungen über einen Zeitraum konstant bleiben oder sich gleichbleibend verändern. Unperiodisch auftretende Ereignisse in einem Jahresverlauf, die für die Höhe einer Jahresfracht entscheidend sein können, werden durch diese Methode also nicht berücksichtigt.

5.2 Methoden der Schwebstofffrachtberechnung

Liegen eine vollständige Messreihe bzw. eine generierte Wertereihe sowie die zugehörige Pegelreihe vor, so ergibt sich die Jahresfracht als Integral der Tagesfrachten über das zu betrachtende Messjahr:

$$F = \frac{1}{1000 \cdot 1000} \int_{\text{Messwert}} Q(t) \cdot c(t) dt \quad (1)$$

Bei der Umrechnung von Schwebstoffkonzentrationen [mg/l] und Abflüssen [m³/s] zu Tagesfrachten [t/a] ergibt sich als Grundlage für die Frachtermittlungsmethoden der folgende Faktor:

$$\frac{60 \cdot 60 \cdot 24}{1000 \cdot 1000} = 0,0864 \quad .. \quad (2)$$

Die in dieser Arbeit berechneten Schwebstoffjahresfrachten beziehen sich grundsätzlich auf das hydrologische Jahr. Um eine vollständig einheitliche Datenauswertung zu gewährleisten, wurden die im folgenden beschriebenen Methoden als Module in Microsoft Visual Basic 6.0 programmiert und die Berechnung der Schwebstoffjahresfrachten automatisiert.

5.2.1 Methode 1: $\bar{C}_{MT} \bar{Q}_{MJ}$

Ausgehend von der Voraussetzung, dass die gemessene Schwebstoffkonzentration über das hydrologische Jahr keinen größeren Schwankungen unterliegt, wurde der Mittelwert der Konzentration aus den Messwerten (3) gebildet, mit dem Mittelwert aller täglichen Durchflüsse (4) multipliziert und zur Frachtabschätzung über das Jahr integriert (5).

$$\bar{c} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N c(t_i) \quad (3)$$

$$\bar{Q} = \frac{1}{365} \sum_{i=1}^{365} Q_i \quad (4)$$

$$\bar{C}_{MT} \bar{Q}_{MJ} = 365 \cdot 0,0864 \cdot \bar{c} \cdot \bar{Q} \quad (5)$$

5.2.2 Methode 2: \bar{F}_{MT}

Aus den vorhandenen Schwebstoffdaten wurden mit den zugehörigen Abflusswerten die Schwebstofftagesfrachten für das hydrologische Jahr ermittelt. Der Mittelwert der Tagesfrachten wurde konstant über das Jahr zur Jahresfracht integriert (6).

$$\bar{F}_{MT} = 365 \cdot 0,0864 \cdot \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N c(t_i) \cdot Q(t_i) \quad (6)$$

5.2.3 Methode 3: $\bar{F}_{MT-OSPAR}$

Diese, von der OSPAR (1996) favorisierte Methode zur Schätzung einer Schwebstoffjahresfracht, die auf der Methode 2 basiert, führt einen Faktor zur Wichtung der geschätzten Jahresfracht ein (HERATA, 2001). Der Faktor resultiert aus dem Verhältnis zwischen dem mittleren Abfluss des Messjahres (Q_{MJ}) und dem Abflussmittelwert an den realen Messtagen (Q_{MT}). Dadurch können durch die Wahl der Messtage unterrepräsentierte Durchflüsse im Jahresverlauf ausgeglichen werden (7).

$$\bar{F}_{MT} = \frac{Q_{MJ}}{Q_{MT}} \cdot 365 \cdot 0,0864 \cdot \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N c(t_i) \cdot Q(t_i) \quad (7)$$

5.2.4 Methode 4: $F_{lin.Int.}$

Unter der Annahme, dass sich die Schwebstoffkonzentration an den Tagen zwischen 2 Messungen linear ändert, können künstliche Messwerte für diesen Zeitraum interpoliert werden. Aus den sich ergebenden Tageswerten wurden mit Hilfe der vorhandenen täglichen Durchflüsse Tagesfrachten errechnet und über das hydrologische Jahr zu einer Jahresfracht integriert (8). Zur Vervollständigung des hydrologischen Jahres mussten die fehlenden Tage am Anfang oder Ende einer Messreihe extrapoliert werden. Um negative Werte zu vermeiden wurde eine konstante Konzentration angenommen.

$$F_{lin.Int.} = 0,0864 \sum_{i=1}^{365} c_{lin-Int.,i} \cdot Q_i \quad (8)$$

Wurden die Bedingungen, dass weniger als 12 Messtage/Jahr vorhanden waren oder eine Differenz von mehr als 60 Tagen zwischen den Messtagen auftrat, erfüllt, wurde die ermittelte Jahresfracht nicht zur Auswertung herangezogen.

5.2.5 Methode 5: F_{CQ} -Klassen

Diese Regressionsmethode zur Modellierung von Jahresfrachten basiert auf einer möglichen Abhängigkeit der Schwebstoffkonzentration vom Abfluss. Diese Abhängigkeit wird durch eine mathematische Funktion beschrieben, mit deren Hilfe aus einer vollständigen Abflussreihe eine künstliche „Schwebstoffreihe“ modelliert wird. Aus den daraus resultierenden Wertepaaren werden tägliche Frachten ermittelt und zu Jahresfrachten integriert. Da diese einfachen Beziehungen häufig nur schlecht ausgeprägt sind (Abb. 5-2), wurden nach einem Vorschlag des ČHMÚ (SCHMIDT et. al., 1999) in der vorliegenden Arbeit C-Q-Beziehungen über Abflussklassen gebildet. Hierzu wurden zunächst auf der Grundlage der Pegelvorschrift (LAWA & BMV, 1997) aus der Dauerlinie des Abflusses im Beobachtungszeitraum 8 Abflussintervalle nach der Anzahl der Überschreitungstage gebildet.

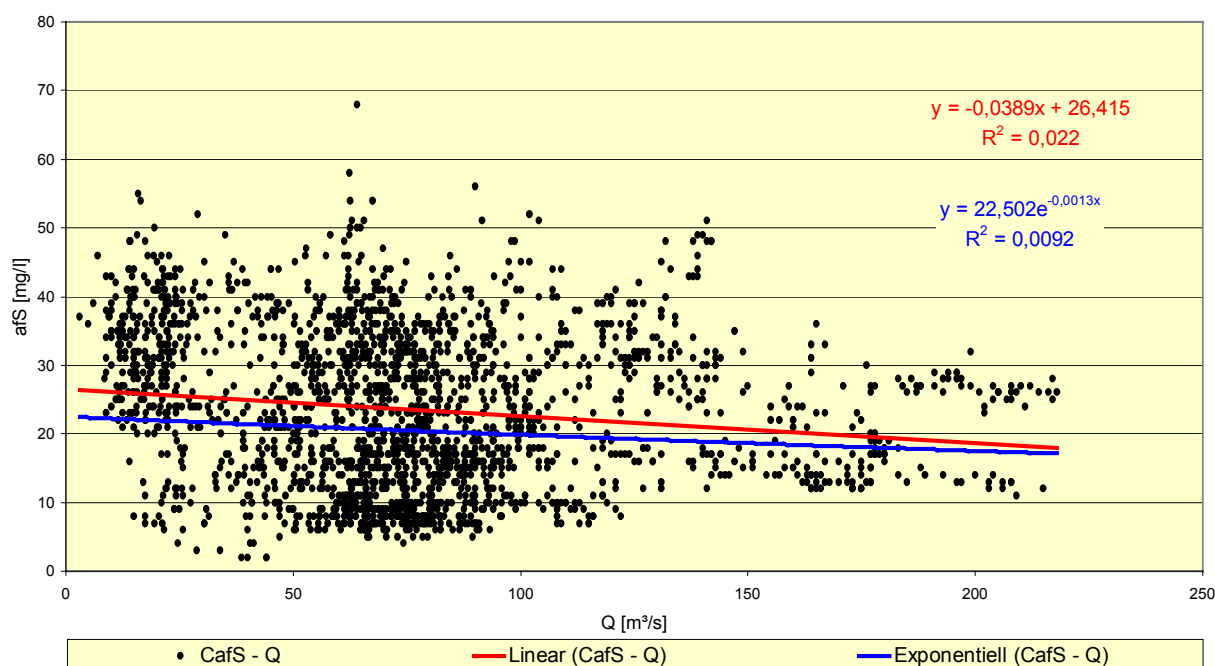


Abb. 5-2: Schlecht ausgeprägte Schwebstoffkonzentration – Abfluss - Beziehung (C-Q) an der BfG-Ms Rathenow (Havel, Bp Rathenow) von 1992-1997 bei werktäglicher Messung der Konzentration.

In jeder Abflussklasse ließen sich getrennt nach dem betrachteten Zeitraum mathematische Mittelwerte bzw. Mediane der Schwebstoffkonzentration bilden und über alle Klassen lineare sowie exponentielle Korrelationsbeziehungen erstellen (Abb. 5-3).

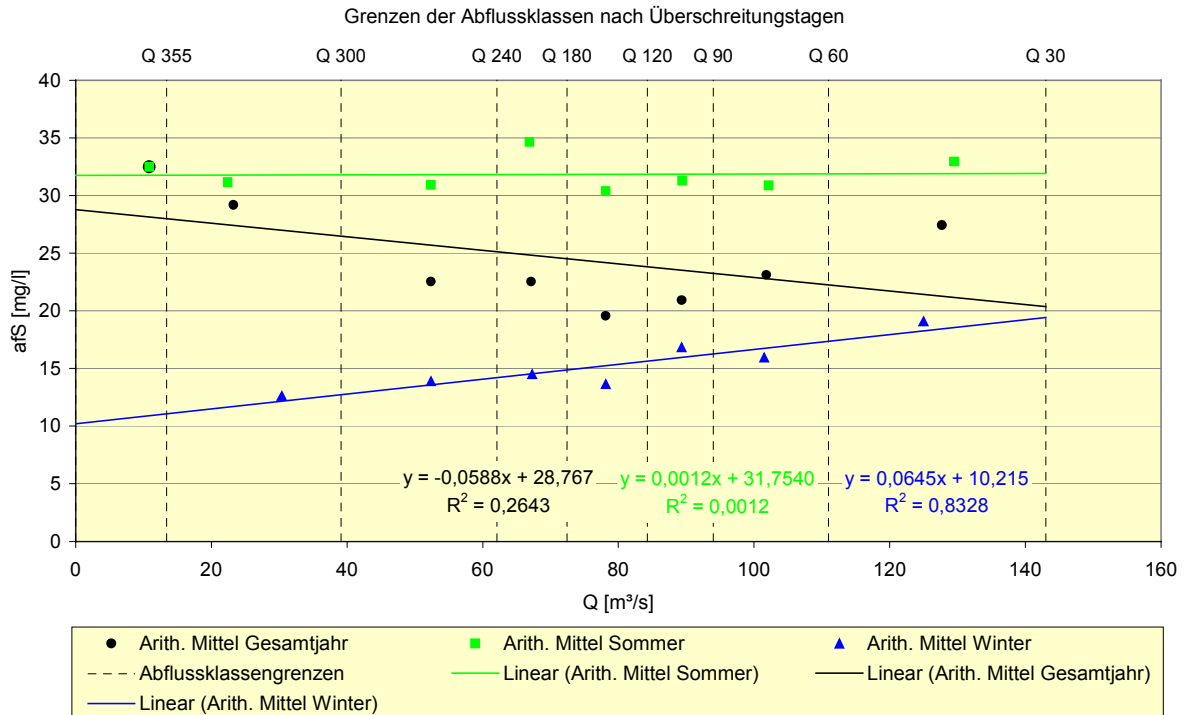


Abb. 5-3: Beispiel der Bildung einer linearen Schwebstoffkonzentration – Abfluss - Beziehung über Abflussklassen anhand der arithmetischen Mittelwerte der CafS-Werte im Jahr, im Sommer- und Winterhalbjahr (BfG Ms Rathenow , Havel, Bp. Rathenow) von 1992 - 1997 bei werktäglicher Messung der Schwebstoffkonzentration).

Für jeden betrachteten Zeitraum ergaben sich demnach 12 mögliche Korrelationsbeziehungen, (Tab. 5-2) von denen, anhand des besten Korrelationskoeffizienten, die engste Beziehung für die Schätzung der Jahresfracht herangezogen wurde. Die getrennt berechneten Halbjahresfrachten wurden zur Jahresfracht aufsummiert.

Zeitraum	Gesamtjahr				Winterhalbjahr (Okt-Mrz)				Sommerhalbjahr (Apr-Sep)			
	Arithm. Mittel		Median		Arithm. Mittel		Median		Arithm. Mittel		Median	
Mittel der Konzentration in der Abflussklasse												
Regressionstyp über alle Abflussklassen	Lin	Exp	Lin	Exp	Lin	Exp	Lin	Exp	Lin	Exp	Lin	Exp

Tab. 5-2: Betrachtete Korrelationsmöglichkeiten zwischen der Schwebstoffkonzentration und dem Abfluss über Abflussklassen getrennt nach Zeitraum, mathematischen Mittelwert und Regressionstyp der Beziehung.

Aus der Regressionsmethode über Abflussklassen resultieren daher zwei Schätzfrachten:

Methode 5a: Regressionsbeziehung für das Gesamtjahr: $F_{CQ\text{-Klassen/Jahr}}$

Methode 5b: Regressionsbeziehung getrennt nach Sommer- und Winterhalbjahr: $F_{CQ\text{-Klassen/SomWin}}$

Aus dem Vergleich der Berechnungsergebnisse (Abb. 5-2 und Abb. 5-3) wird deutlich, dass über die Bildung von Abflussklassen zum einen und der Trennung nach Sommer- und Winterhalbjahr zum anderen bessere Ergebnisse als über die einfache Gegenüberstellung von Tageswerten erzielt werden. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass die Anzahl der gebildeten Klassen nur eine Regression über 8 Wertepaare gestattet und schon aus diesem statistischen Grund ein günstigeres Bestimmtheitsmaß zu erwarten ist. Zudem werden in der Klassenbildung, aufgrund der Komplexität der Hochwasserstatistik, keine höheren Durchflüsse mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von weniger als 30 Tagen im Jahr berücksichtigt. In der Berechnung werden diese Tage mit dem höchsten berechneten Schwebstoffwert der Abflussklasse Q 60 belegt.

Um eine Vergleichbarkeit und Transparenz zu gewährleisten, sind sowohl die einfachen als auch die Konzentration – Abfluss – Beziehungen über Abflussklassen mit dem besten Bestimmtheitsmaß für das Gesamtjahr und die Halbjahre graphisch für jede quantifizierte Messstelle im Band 2 Anhang H dargestellt.

5.2.6 Methode 6: F_{TQ}

Für die Abschätzung von Jahresfrachten werden in der Gewässermorphologie lineare oder häufiger exponentielle Regressionsbeziehungen zwischen Schwebstofftransport und Abfluss genutzt. (Abb. 5-4).

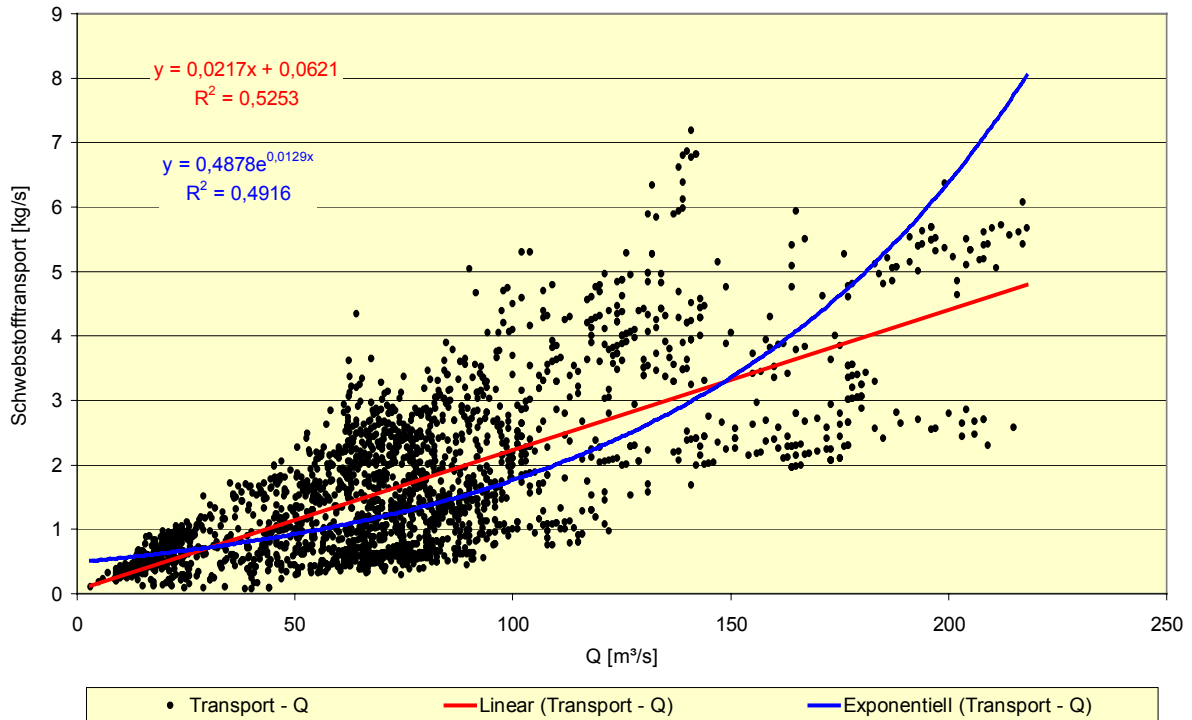


Abb. 5-4: Schwebstofftransport-Abfluss-Beziehung an der BfG Ms Rathenow (Havel, Bp Rathenow) von 1992-1997 bei werktäglicher Messung der Schwebstoffkonzentration.

Die Güte des funktionalen Zusammenhangs wird durch das Bestimmtheitsmaß (R^2) ausgedrückt. Die linearen und exponentiellen Transport – Abfluss - Beziehungen wurden für jede quantifizierbare Messstelle ermittelt, wobei diejenige mit dem besseren Bestimmtheitsmaß auf die vollständige Durchflussreihe zur Berechnung von künstlichen täglichen Schwebstofffrachten angewendet wurde. Die generierten Tagesfrachten wurden zur geschätzten Schwebstoffjahresfracht integriert.

Die ermittelten Transport – Abfluss – Beziehungen sind für jede quantifizierte Messstelle im Band 2 Anhang F graphisch dargestellt sowie als mathematische Funktion im Anhang H zusammengefasst.

5.2.7 Methode 7: F_{Ct}

Diese Methode zur Modellierung von Jahresfrachten basiert auf einer möglichen Abhängigkeit der Schwebstoffkonzentration von der Zeit (Zeitreihe). Im ersten Schritt wird die langfristige Entwicklungstendenz (Trend) einer zu betrachtenden Schwebstoffmessreihe durch eine Regression dargestellt (Abb. 5-5). Im zweiten Schritt werden saisonale Faktoren aus der Relation der langjährigen monatlichen Schwebstoffmittelwerte zum langjährigen Schwebstoffmittelwert gebildet (Tab. 5-3).

Monat	Langjähriges monatl. Mittel afS [mg/l]	Langjähriges Mittel afS [mg/l]	relative Abweichung vom langjährigen Mittel (saisonaler Faktor)
November	13,1	22,9	0,6
Dezember	11,5	22,9	0,5
Januar	12,9	22,9	0,6
Februar	14,9	22,9	0,7
März	22,7	22,9	1,0
April	27,7	22,9	1,2
Mai	27,4	22,9	1,2
Juni	31,0	22,9	1,4
Juli	33,9	22,9	1,5
August	32,7	22,9	1,4
September	26,9	22,9	1,2
Oktober	20,3	22,9	0,9

Tab. 5-3: Beispiel für die Bildung von saisonalen Faktoren (BfG Ms Rathenow, Havel) im Beobachtungszeitraum 1992/1997.

Durch die Multiplikation der saisonalen Faktoren mit den Werten des berechneten Trends ergibt sich ein zyklisches Saisonmuster, das den Verlauf der Schwebstoffkonzentration periodendurchschnittlich widerspiegelt (Abb. 5-5).

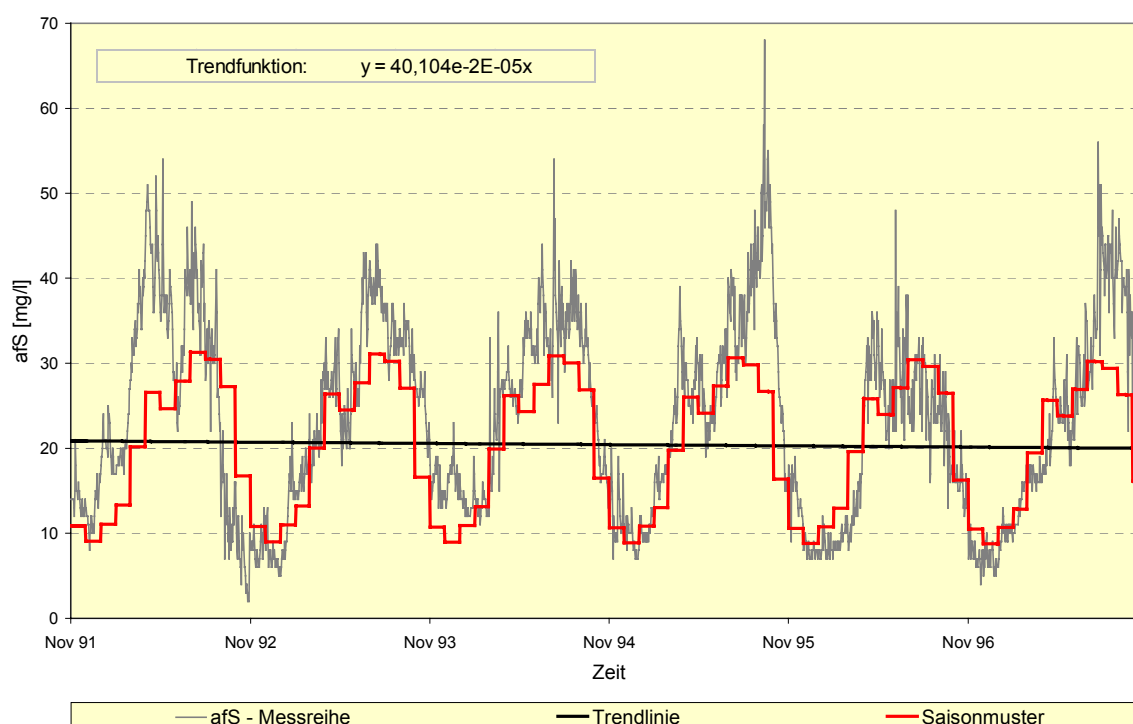


Abb. 5-5: Beispiel für die Bildung des Saisonmusters (BfG Ms Rathenow, Havel) im Beobachtungszeitraum 1992/1997.

Um in der Natur auftretende Schwankungen, die nicht saisonal bedingt sind, zu berücksichtigen wird im dritten Schritt eine irreguläre Komponente eingeführt (LÜBBERT, 1999). Dazu werden in Anlehnung an das Prinzip der saisonalen Faktorenbildung, Faktoren

aus den Relationen aller Schwebstoffwerte der vorliegenden Messreihe zum langjährigen Schwebstoffmittelwert gebildet. Diese Faktoren werden, gesteuert durch einen Zufallszahlengenerator, mit den täglichen Werten des Periodendurchschnitts im Saisonmuster multipliziert, womit die endgültige Schwebstoffzeitreihe generiert wird. Mit Hilfe der zugehörigen täglichen Abflusswerte können dann Tagesfrachten ermittelt und zur Jahresfracht integriert werden.

In dem vorliegenden Bericht wurde die Methode zum einen wie beschrieben

$$\text{Methode 7a} = F_{Ct}$$

und zum anderen unter Einbeziehung einer vierten Komponente

$$\text{Methode 7b} = F_{Ct(Q30)}$$

angewendet.

In der Methode 7b wurde das Abflussgeschehen in dem betrachteten Untersuchungszeitraum in die Modellierung einbezogen. Es wurde angenommen, dass die zu generierende Schwebstoffkonzentration an Tagen, an denen der Q30 überschritten wird, nicht geringer als der Periodendurchschnitt des Saisonmusters ist. Die Einbeziehung dieser vierten Komponente in die Zeitreihenanalyse basiert auf der Annahme, dass eine Abhängigkeit der Schwebstoffkonzentration vom Abfluss an der betrachteten Messstelle gegeben ist und ermöglicht somit eine stärkere Wichtung von Ereignissen in einem ansonsten zyklischen Konzentrationsverlauf.

5.3 Plausibilitätsanalyse der Berechnungsergebnisse und die Ableitung von Schätzintervallen der Schwebstoffjahresfracht

Die unterschiedlichen Verfahren, die zur Berechnung von Schwebstoffjahresfrachten aus den recherchierten afS-Messreihen der Länder angewendet werden, führen naturgemäß zu abweichenden Ergebnissen. Es war daher in jedem Einzelfall notwendig die Plausibilität der berechneten bzw. geschätzten Schwebstoffjahresfracht zu prüfen. Dies erfolgte verbal argumentativ anhand der den Berechnungen zugrunde liegenden Messdaten in zusammenhängender Darstellung mit dem Abflussgeschehen für jedes untersuchte hydrologische Jahr und für jede Messstelle. Bei zeitlich weiter auseinanderliegenden Messungen trat oftmals der Fall auf, dass einzelne Hochwasserereignisse zu stark gewichtet oder über längere Zeiträume interpoliert wurden. In diesen Fällen wurde die Plausibilität durch eine auf den echten Zeitraum des Ereignisses bezogene Nachberechnung kontrolliert

und gegebenenfalls das Ergebnis der Frachtberechnung korrigiert. Die Datengrundlage wurde nicht von Ausreißern o.ä. bereinigt, da in den überwiegenden Fällen Extremwerte der Schwebstoffkonzentration an den benachbarten Messstellen an gleichen Messtagen nachgewiesen werden konnten. Ausschlaggebend für die Überprüfung der Schätzergebnisse waren

- die Quantität der Messdaten im hydrologischen Jahr und ihre
- Repräsentativität im Hinblick auf das hydrologische Geschehen.

In der vorliegenden Arbeit werden daher keine Frachtergebnisse angegeben:

- für Messreihen mit weniger als 12 Messtagen pro Jahr und
- für Messreihen, die hydrologische Ereignisse wie ausgeprägte Hochwassersituationen nicht erfassen.
- für Messreihen, die keine konkreten Werte enthalten sondern nur die Unter- oder Überschreitung von Grenzwerten wiedergeben (<, >, n.n.,... etc.)

Die Berechnungsergebnisse der modellierenden Methoden 4 bis 7 wurden im Falle von unrealistischen Abweichungen der generierten Werte von den tatsächlichen Messdaten oder geringen funktionalen Zusammenhängen (Qualität des Bestimmtheitsmaßes) verworfen. Da die Methoden 1, 2 und 3 und mit Einschränkungen die Methode 4 direkt auf den tatsächlichen Messwerten basieren, wurde diesen die höchste Priorität für die Angabe einer Schätzfracht eingeräumt. Im Ergebnis der Plausibilitätsanalyse liegen 1 bis maximal 9 geprüfte Schätzergebnisse zur Schwebstoffjahresfracht an einer Messstelle vor. Konnte kein Schätzergebnis als realistisch beurteilt werden, z.B. in kleinen EZG der Mittelgebirge mit starken und kurzfristigen Abfluss- und Schwebstoffschwankungen wurde für das entsprechende Messjahr keine Fracht ermittelt. Aufgrund der großen Unsicherheiten bei der Frachtberechnung und den unterschiedlichen Schätzergebnissen, die auch in der Menge nicht zwangsläufig zu einer höheren Qualität des Schätzwertes führen, wird in der vorliegenden Arbeit kein Mittelwert sondern ein geschätzter Variationsbereich der Schwebstoffjahresfracht angegeben (Abb. 5-6). Welche Frachtberechnungsmethoden zur Bildung des Schätzintervalls genutzt wurden, ist in dem jeweiligen Messstellenblatt im Band 2 Anhang F für jedes berechnete hydrologische Jahr angegeben.

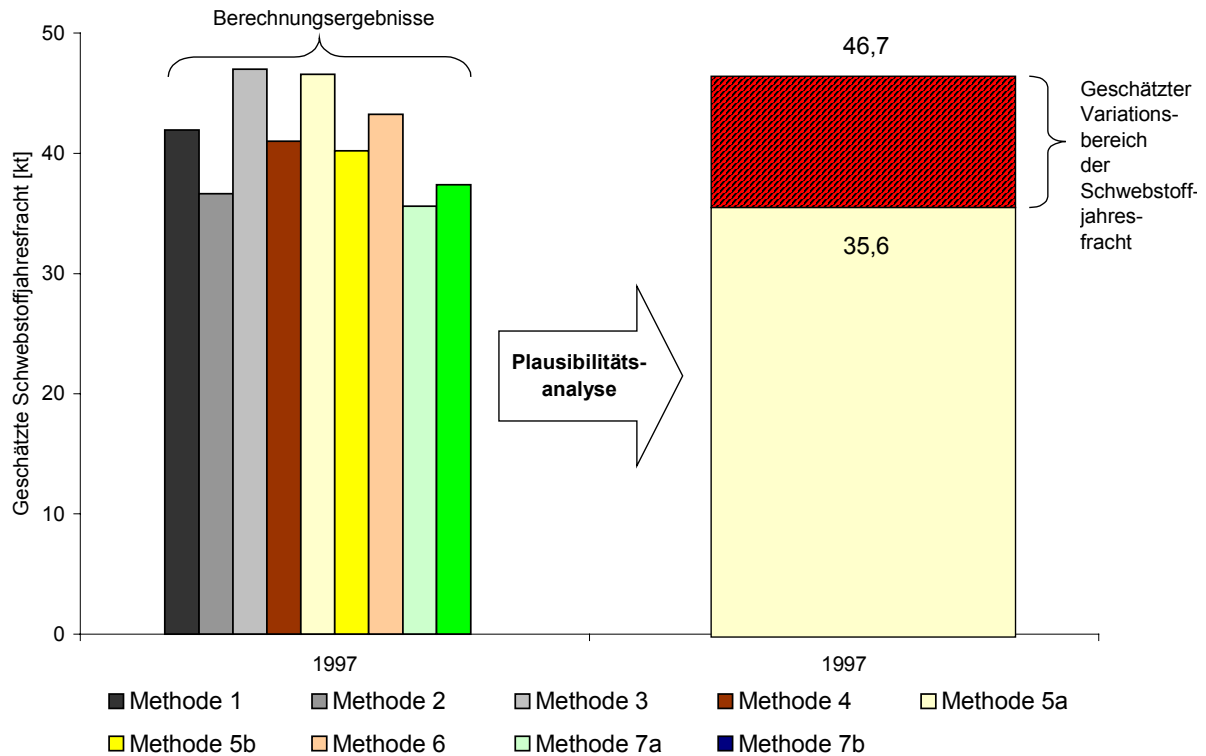


Abb. 5-6: Ablaufschema zur Bildung von Schätzintervallen der Schwebstoffjahresfracht auf der Grundlage von 9 Berechnungsmethoden (z. B. BfG-Ms Rathenow/Havel, 1997).

5.4 Sensitivitätsanalyse der angewandten Methoden zur Berechnung einer Schwebstoffjahresfracht

In einer Sensitivitätsanalyse wird die Ergebnisänderung in Relation zur Änderung der Eingangswerte ermittelt. Die Güte von Frachtberechnungen ist im wesentlichen von der Messfrequenz abhängig. Um Aufschluss über den Einfluss des Probenahmeintervalls auf die Qualität der angewandten Berechnungsmethoden zu erhalten, wurden diese auf ihre Empfindlichkeit gegenüber einer ausgedünnten Messreihe untersucht. Für die Sensitivitätsanalyse wurden zwei Schwebstoffmessreihen der BfG an den Messstellen Calbe-Grizehne/Saale und Rathenow/Havel herangezogen, da hier längere Zeiträume bei werktäglicher Messung der Konzentration und somit praktisch echte Schwebstoffjahresfrachten zur Verfügung standen. Die werktäglichen Messungen wurden wahllos in 14-tägige Messreihen umgewandelt und mittels der beschriebenen Methoden für die Berechnung von Jahresfrachten genutzt. Die Ergebnisse der Berechnung wurden mit den von der BfG ermittelten Schwebstoffjahresfrachten verglichen (Abb. 5-7).

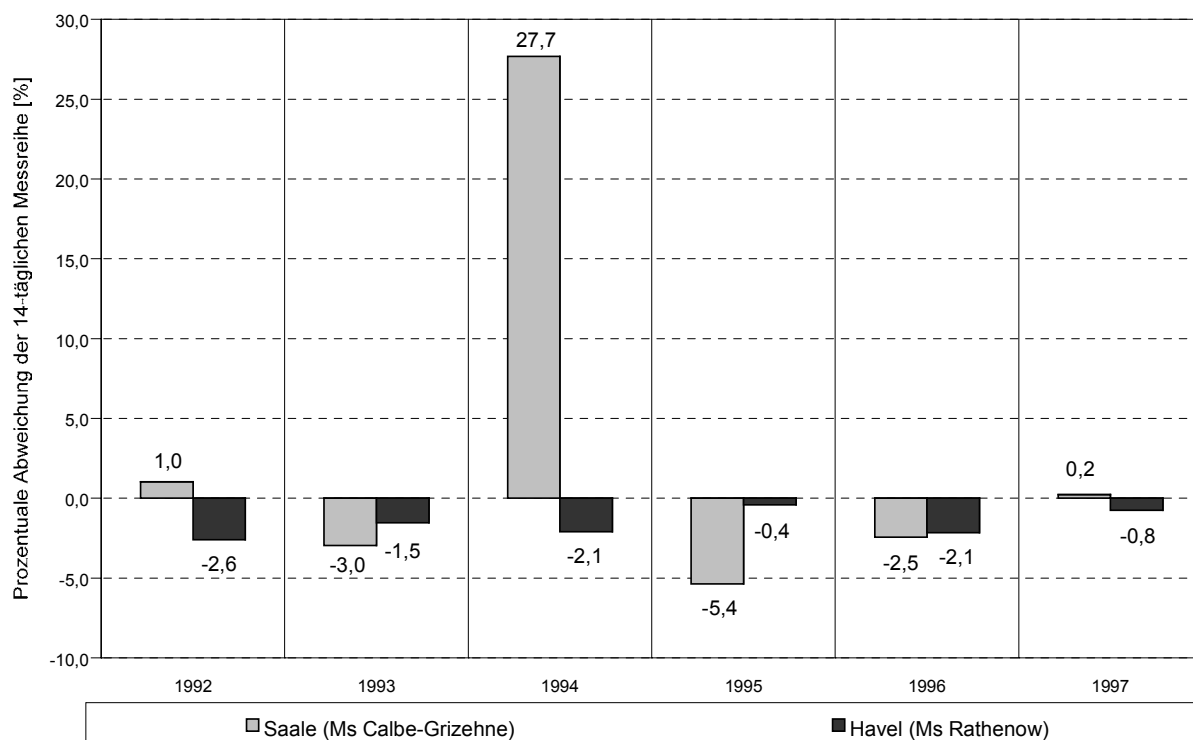


Abb. 5-7: Ergebnis der Sensitivitätsanalyse für die angewandten Methoden zur Berechnung der Schwebstoffjahresfracht in der prozentualen Abweichung des Mittelwertes der berechneten Fracht (14-tägige Messreihe) von der echten Schwebstoffjahresfracht anhand der BfG Messstellen Calbe-Grizehne/Saale und Rathenow/Havel für den Zeitraum von 1992 bis 1997.

Im Ergebnis der Sensitivitätsanalyse konnte festgestellt werden, dass

- die „echte“ Jahresfracht in allen untersuchten Fällen innerhalb des ermittelten Schätzintervalls lag,
- die Frachtberechnung durch die angewandten Methoden in der Regel zu einer leichten Unterschätzung der Schwebstoffjahresfracht in Abhängigkeit von der Abflusshöhe und dem untersuchten Flussgebiet führt (Abb. 5-7) und
- in abflussstarken Jahren (1995) und in Flussgebieten wie der Saale, deren Schwebstoffführung stärker abflussabhängig ist, Schwebstoffjahresfrachten durch die Berechnungsmethoden eher überschätzt werden und die angegebenen Schätzintervalle mit größeren Unsicherheiten behaftet und dadurch größer sind.

Der Fachausschuss „Gewässergüteuntersuchungen“ des DVWK hat sich eingehend mit der Fragestellung angepasster Probenahmestrategien und den Auswirkungen der Probenahmefrequenz auf die Qualität der bestimmten Jahresfracht beschäftigt (SCHREIBER & KRAUSS-KALWEIT, 1999). Eine Frachtberechnung mit der Methode 2 an einer 14-tägigen Chlorid-Messreihe (Einzelproben) führt demzufolge in weniger als der Hälfte der untersuchten Datenreihen zu einem Fehler der kleiner als 10 % ist. Überwiegend „sichere“ Frachtbestimmungen sind erst bei einer 7-tägigen Probenahmefrequenz möglich. Durch die

Anwendung von mathematisch-statistischen Hochrechnungsverfahren (Methoden 4-7) kann die Fehlerwahrscheinlichkeit für Frachtberechnungen jedoch eingegrenzt werden.

6 Ergänzende Untersuchungen zum Feststoffhaushalt der Elbenebenflüsse

6.1 Konzeptionelle Überlegungen zum Untersuchungsprogramm

Auf der Grundlage der Datenrecherche konnte festgestellt werden, dass sowohl quantifizierende als auch den Transportcharakter charakterisierende Aussagen zum Schwebstoffeintrag und zum Schwebstoffhaushalt der Elbenebenflüsse durch die Auswertung bestehender Messreihen möglich sind. Wesentliche Wissensdefizite und Datenlücken bestanden hingegen im Hinblick auf den Geschiebeeintrag und auf Feststofflieferpotentiale der Nebenflüsse. Aufgrund dessen wurde im Rahmen des Projektes ein Messprogramm zur ergänzenden Untersuchungen des Feststoffhaushaltes der Elbenebenflüsse konzipiert und umgesetzt, das folgende Schwerpunkte zum Inhalt hatte:

- Korngrößenzusammensetzung der Sohlsedimente (Band 2 Anhang G)
 - Um Aufschluss über die potentiell möglichen Korngrößen eintragbarer Feststoffe in die Elbe zu erhalten, wurden Sohlbeprobungen an allen untersuchten Nebenflüssen vorgenommen.
- Geschiebemessungen (Band 2 Anhang G)
 - In den Mündungsbereichen der gefällestarken Flussgebiete des anstehenden Grundgebirges im Bereich der Oberen Elbe
 - In den Mündungsbereichen der größeren Nebenflüsse Mulde und Schwarze Elster, da diese Anschluss an die Mittelgebirge aufweisen und nicht staugeregelt sind. Geschiebemessungen in der Saale, die von der BfG unterhalb der Staustufe Calbe durchgeführt wurden, belegen, dass dort keine nennenswerten Geschiebetransporte stattfinden.
- Messungen der suspendierten Feststoffe
 - Aufgrund der hohen Nebenflussdichte 1. Ordnung, der geringen Verfügbarkeit an Messdaten von zahlreichen Nebenflüssen und der unzureichenden Messfrequenz in den kleinräumigen EZG im Bereich der Oberen Elbe
 - Da zur Korngrößenzusammensetzung des in Suspension transportierten Materials kaum Daten vorhanden waren, wurden an allen untersuchten Nebenflüssen Stichproben zum Gehalt an Suspendiertem Sand entnommen.
- Feststofftransportmessungen in der Elbe unterhalb von Einmündungen

- Um den unmittelbaren Einfluss größerer Nebenflüsse auf den Feststofftransport und auf die Feststoffverteilung in der Elbe feststellen zu können, wurden Vielpunktmessungen der Schwebstoffkonzentration, der Konzentration des Suspendierten Sandes und der Geschiebetransporte unterhalb ihrer Einmündung mit Unterstützung des WSV-Messschiffes "Elbegrund" durchgeführt (Abb. 6-1). Untersucht wurden Elbeprofile direkt unterhalb der Ohre, der Mulde und der Schwarzen Elster und 3,6 km unterhalb der Saale auf der Höhe von Barby.



Abb. 6-1: Feststofftransportmessung in der Elbe unterhalb der Mündung der Schwarzen Elster mit dem WSV-Messschiff „Elbegrund“.

6.2 Geländemethoden

6.2.1 Sohlaufnahmen

In Mündungsnähe (0,1 – 5 km) der Nebenflüsse wurden Aufnahmen der Sohlbeschaffenheit durchgeführt. Dies erfolgte durch die Entnahme von Sohlmaterial mittels Schürfkübel oder Zweischaalen-Greifer (Fassungsvermögen 10 l, Abb. 6-2) an mehreren Messpunkten im Querprofil. Trockengefallene Kies- und Schotterbänke und Schüttkegel wurden fotografisch dokumentiert und ebenfalls beprobt. Sofern zwischen Deck- und Unterschichten unterschieden werden konnte, erfolgte die Materialentnahme separat. Die Korngrößenzusammensetzung des Sohlmaterials wurde im gewässermorphologischen Labor der BfG in Berlin ermittelt. Petrografische Untersuchungen wurden an dem Sohlmaterial nicht vorgenommen.

Zur Bestimmung des Sohlgefälles und zur Volumenberechnung temporärer Ablagerungen im Flussbett wurden an den einmündenden Nebenflüssen im Bereich der Oberen Elbe Vermessungen mittels Nivelliergerät durchgeführt (Abb. 6-2).



Abb. 6-2: Feststofftransportmessung am Bsp. der Döllnitz / Ms Riesa-Merzdorf (Messung der Fließgeschwindigkeit mit Nautilus C 2000, Nivelliergerät / Bodengreifer, Horizontalschöpfer auf der Brücke).

6.2.2 Abflussmessungen

Für die Berechnung von Feststofffrachten wurden in einigen Fällen (ansonsten Abfrage der Pegelmessstelle der zuständigen Behörde) Vielpunktmessungen der Fließgeschwindigkeit parallel zu den Schwebstoffmessungen im Gewässerquerschnitt durchgeführt. Die Fließgeschwindigkeit wurde mittels des magnetisch-induktiven Strömungssensors Nautilus C 2000 der Firma Ott Hydrometrie ermittelt. Die Strömung des Wassers induziert dabei in einem Magnetfeld eine Spannung (Faradayschen Funktionsprinzip), die der Strömungsgeschwindigkeit proportional ist. Über einen Messzeitraum von 50 Sekunden wird im Impulsumwandler Sensa Z 300 der Firma Ott Hydrometrie wiederholt die Spannung gemessen und anschließend ein Mittelwert errechnet. Die Fließgeschwindigkeit (m/s) wird digital mit einer Genauigkeit von 1 mm/s angegeben.

Die während der Messungen ermittelten Parameter zum durchflossenen Messquerschnitt und die Fließgeschwindigkeiten wurden zur Berechnung des Abflusses in ein datenbankbasierendes Programm (SOFTWARE Q Version 2.0) der Firma Quantum Hydrometrie eingegeben. Der Berechnungsalgorithmus basiert auf den Richtlinien der Pegelvorschrift zur Durchflussermittlung. Demnach werden Geschwindigkeitsflächen für die

Lotrechten in m^2/s ermittelt und über den Messquerschnitt integriert. Das Ergebnis dieser Berechnungen ist der Abfluss in m^3/s .

6.2.3 Geschiebemessungen

Im Rahmen des Projektes wurden in der unmittelbaren Mündungsnähe der Nebenflüsse in die Elbe, Messungen zum Geschiebetransport nach DVWK – Regeln 127/1992 durchgeführt. Dazu wurde ein Geschiebefangkorb der BfG mit einer Maschenweite von 1,2 mm auf 0,5 mm für den mobilen Einsatz umgebaut. Der Fangkorb wurde bei flachen Wasserständen $< 0,5$ m direkt auf der Sohle befestigt (Abb. 6-3). In Wassertiefen $> 0,5$ m wurde der Fänger vom Schlauchboot abgelassen und mittels Voranker (20 m vor dem Einlauf) im Strom arretiert. Dieses Messprinzip bei dem der Fänger nicht durch das Gewicht sondern durch die Strömung auf die Sohle gedrückt wird, wurde im Rahmen des Projektes entwickelt, um die Gewichtsprobleme beim Umgang mit erprobten Geschiebefängern zu umgehen.



Abb. 6-3: Umgebauter BfG-Geschiebefänger während der Geschiebemessung (Bsp. Lachsbach, Messprofil 100 m vor der Mündung)

In geringen Wassertiefen konnte der Einlauf und die Lage des Fängers auf der Sohle ohne Schwierigkeiten visuell beobachtet und auf hydraulische Veränderungen (Unterspülung, Vorstau etc.), die zu Verfälschungen des Messergebnisses führen, reagiert werden (Abb. 6-3). Dies trifft auf die Geschiebemessungen an den sächsischen Nebenflüssen zwischen der Kirnitzsch und der Dahle zu. In den Nebenflüssen Schwarze Elster und Mulde konnten Geschiebemessungen nur vom Schlauchboot aus durchgeführt werden, so dass hier keine Aussagen zur Qualität der Messungen getroffen werden können. Diese Ergebnisse werden entsprechend kritisch in der Ergebnisdarstellung diskutiert. Je nach Geschiebeführung betrug

die Messzeit zwischen 5 und 30 Minuten. Die Geschiebemenge und Korngrößenverteilung wurde im gewässermorphologischen Labor der BfG in Berlin bestimmt und mittels der BfG-Software GAUS (Version m.m) der Geschiebetransport berechnet.

6.2.4 Messung des Suspendierten Sandanteils

Zur Bestimmung des in Suspension transportierten Sandes wurde mittels Benzinpumpe ein definiertes Wasservolumen in einer bestimmten Zeit (Stoppuhr) aus einer festgelegten Gewässertiefe abgepumpt und über ein 63µm Sieb geleitet. Die Höhe des Wasservolumens wurde über die Förderleistung der Pumpe durch dreimaliges Füllen eines 10 l Gefäßes pro Zeiteinheit bestimmt. Der Rückstand > 63 µm wurde quantitativ in ein PE-Gefäß überführt und der Gewichtsanteil im Labor der BfG Berlin analysiert. Der prozentuale Anteil des suspendierten Sandes am Gesamtschwebstofftransport ließ sich durch die Bestimmung des Schwebstoffgehaltes einer während des Abpumpvorgangs entnommenen 1 l Wasserprobe ermitteln. Um genügend Material für eine Analyse zu erhalten, war es mitunter notwendig bis zu 60 min abzupumpen. In diesem Zeitraum änderte sich bisweilen die Schwebstoffführung des untersuchten Gewässers, so dass Anteile an suspendiertem Sand von über 100% berechnet wurden. Diese Werte wurden nicht in die Auswertung einbezogen.

6.2.5 Schwebstoffmessungen

Zur Bestimmung der Schwebstoffkonzentration wurden je nach natürlicher Gegebenheit 1 l Schöpfproben mittels Vertikalschöpfer (Hydro-Bios Kiel) in einer definierten Gewässertiefe entnommen. Die Messung erfolgte sowohl als Ein- als auch als Vielpunktmessung.

6.3 Labormethoden

6.3.1 Konzentrationsbestimmung Schwebstoff und Suspendierter Sand

Der Schwebstoffgehalt der Wasserproben wurde spätestens 48 h nach der Entnahme entsprechend der DIN 38 409 – H2 –2 im gewässermorphologischen Labor der BfG in der Außenstelle Berlin bestimmt. Als Filter wurde der Glasfaserfilter GF 92 der Firma Schleicher & Schüll (50 mm) verwendet. Zur Effizienz der Methode siehe Kapitel 4.3.

Das Probenmaterial des suspendierten Sandes wurde im Labor bei 105 °C getrocknet und das Trockengewicht mit einer Genauigkeit von 0,1 mg bestimmt. Um den mineralischen Sandanteil zu ermitteln wurde das Material nach DIN 38 414 Teil 3 bei 550°C gegläht, der

verbleibende Rest auf 0,1 mg gewogen und auf das Wasservolumen bezogen in mg/l suspendierter Sand angegeben.

6.3.2 Bestimmung der organischen Substanz

Der Gehalt an organischer Substanz wurde durch das Glühen (mind. 2 h) des Probenmaterials bei 550° C nach DIN 38 414 Teil 3 über die Bestimmung der Gewichts Differenz ermittelt. Der eintretende Massenverlust durch das entweichende Kohlendioxid kann unter Vernachlässigung weiterer Effekte (Entweichen von Zwischenschichtwasser der Tonminerale, Wassermoleküle im Opal von Diatomeenschalen) als Maß für den Gehalt an organischer Substanz verstanden werden.

Da für die Bestimmung des Organikgehaltes von Schwebstoffproben oft zu wenig Probenmaterial zur Verfügung steht, wurden Glasfaservorfilter GF 92 eingesetzt. Diese können bis 500 ° C geglüht werden. Da leichte Gewichtsverluste (ca. 3% des Eigengewichtes) auftreten, sind die Glasfaserfilter vor der Leergewichtsbestimmung 2 h bei 500 °C zu glühen. Die Bestimmung der Organischen Substanz im Schwebstoff erfolgt dann analog der DIN Vorschrift ebenfalls durch die Ermittlung der Massendifferenz, wobei das Probenmaterial jedoch nur auf 500 ° C erhitzt wird.

6.3.3 Bestimmung der Korngrößenverteilung

Die Korngrößenverteilung der entnommenen Sohlproben wurde nach DIN 18123 durch Trockensiebung ermittelt und mit dem Programm KORN, Version 1.10, (in der BfG Koblenz * Berlin entwickelt) ausgewertet und visualisiert.

Zur Analyse der Korngrößenverteilung des Suspendierten Sandes wurde mit dem Coulter LS 200 gearbeitet. Das Gerät ist zur Analyse von Korngemischen bis 2 mm geeignet und funktioniert nach dem Prinzip der Laserbeugung. Mit der Coulter-Software, Version 2.11a wurde die Korngrößenverteilung des Suspendierten Sandes als Häufigkeitskurve und als Summenhäufigkeitskurve dargestellt.

7 Sächsische Nebenflüsse bis zur Mündung der Schwarze Elster

Auf dem 198,5 km langen Elbeabschnitt zwischen der deutsch-tschechischen Grenze und der Mündung der Schwarzen Elster münden 13 größere (> 100 km²) und diverse kleinere Nebenflüsse, Bäche und Gräben in die Elbe (Tab. 7-1, Anlage 1).

Nebenfluss		Mündung		Nebenflusseinzugsgebiet		
		Position	Elbe-km	> 100 km ²	< 100 km ²	Weitere
<i>Schwarze Elster</i>		<i>198,5</i>				
Obere Mittelelbe	Pretzcher Bach	rechts	185,4		34,4	
	Weinske	links	171,56	356		
	Dahle	links	127,89	233		
	Döllnitz	links	109,44	217		
	Jahna	links	107,12	244		
Obere Elbe	Nieschützbach	rechts	92,01			k.A.
	Ketzerbach	links	89	169		
	Triebisch	links	82,1	179		
	Wilde Sau	links	72,63		52,2	
	Vereinigte Weißeritz	links	61,46	384		
	Prießnitz	rechts	53,7		55	
	Eisenbornbach	rechts	51,9			k.A.
	Mordgrundwasser	rechts	51			k.A.
	Lockwitzbach	links	44,76		79	
	Müglitz	links	39,23	214		
	Wesenitz	rechts	37,34	278		
	Gottleuba	links	35,35	252		
	Amselgrundbach	rechts	22,7			k.A.
	Biela	links	16,6	107		
	Lachsbach	rechts	11,8	276		
	Kirnitzsch	rechts	9,75	157		
Krippenbach	links	9,14		39,7		
<i>Deutsch-Tschechische Grenze (Gelobtbach)</i>		<i>0,0</i>				
		Gesamtgröße Zwischen EZG		Größe der Teilgebiete		
[km ²]		4716,6		3066,6	260,3	1389,7
[%]		100		65,0	5,5	29,5

Tab. 7-1: Wichtigste Nebenflussgebiete zwischen der deutsch-tschechischen Grenze und der Schwarze Elster Mündung.

Die Angaben über die Nebenflussanzahl schwanken zwar in Abhängigkeit vom Aufnahmemassstab zwischen 39 (Meteorologischer Dienst DDR, 1968) und über 120 (ARGE ELBE, 2001), dennoch dürfte die Dichte einmündender Nebengewässer auf diesem Elbeabschnitt am höchsten sein. Das Elbezwischenzugsgebiet weist eine Fläche von 4716 km² auf und ist damit kleiner als beispielsweise das EZG der Schwarzen Elster. Auf diesem Elbeabschnitt findet unter geologisch-morphologischen Gesichtspunkten der Übergang von der Oberen zur Mittleren Elbe (km 96–Hirschstein) statt. Die Nebenflüsse der Oberen Elbe entwässern das Elbsandsteingebirge sowie Teile des Oberlausitzer Berglandes, der Dresdner Heide und des Erzgebirges. Die Einzugsgebiete an der Mittel-Elbe (Obere Mittel-Elbe) werden dagegen hauptsächlich von der Mittelsächsischen Lößplatte, der Dahleiner Heide, der Großenhainer Pflege und der Mittleren Elbeniederung dominiert. Auf der Grundlage von Eigenmessungen und der Datenrecherche können Aussagen zum Feststoffhaushalt der Nebenflüsse Kirnitzsch, Lachsbach, Gottleuba, Wesenitz, Müglitz, Weißeritz, Triebisch, Jahna, Döllnitz, Dahle und Weinske getroffen werden (Anlage 1).

7.1 Abflussverhältnisse in den Nebenflussgebieten

Das Abflussverhalten der zahlreichen im Verhältnis kleinen Nebengewässer auf diesem Elbeabschnitt wird wie das der angrenzenden Einzugsgebiete der Mulde, der Schwarzen Elster und der Spree durch den Kontinentaltyp des zentraleuropäischen Mittelgebirgslandes höherer und mittlerer Lagen bestimmt (Typ Naab nach MARCINEK, 1991).

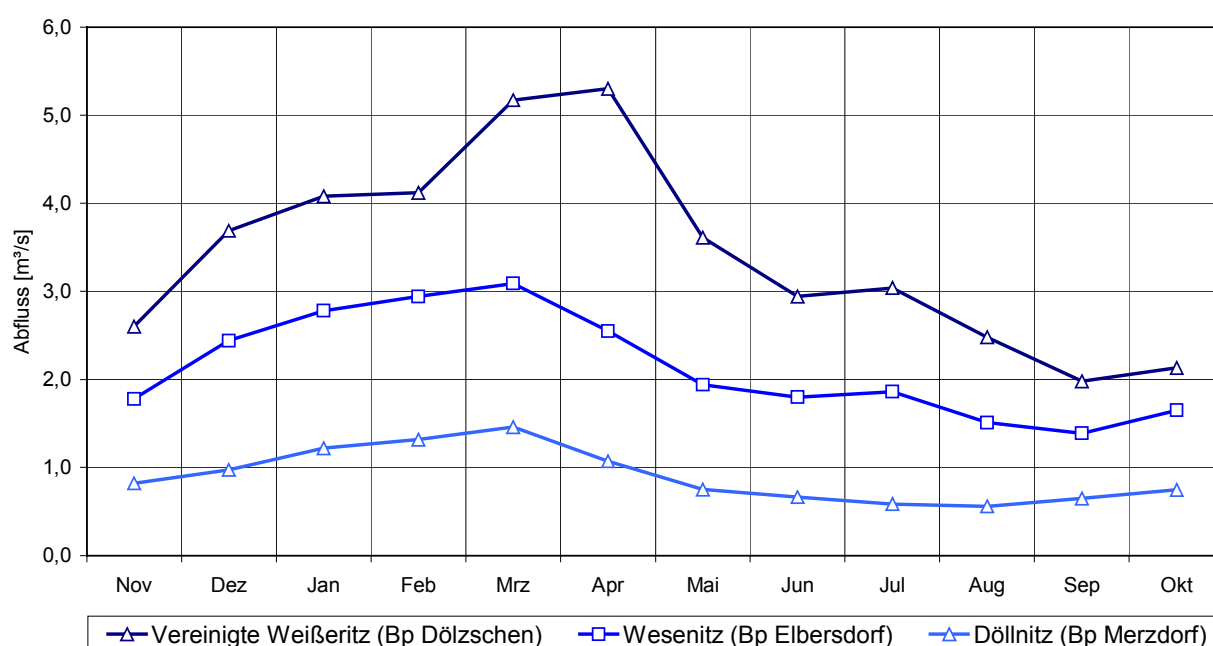


Abb. 7-1: Mittlerer Jahresgang des Abflusses der Vereinigten Weißeritz, der Wesenitz und der Döllnitz an den zugeordneten hydrologischen Pegeln.

Wie die hydrologischen Hauptzahlen der jeweiligen Bezugspegel zeigen, treten aufgrund der Gefälleverhältnisse und der Kleinräumigkeit der Einzugsgebiete beträchtliche Abflussschwankungen auf. Diese können von kurzfristigen, intensiven Hochwasserwellen ($> 100 \text{ m}^3/\text{s}$), die durch Starkregenereignisse auf wassergesättigtem oder gefrorenem Boden ausgelöst werden, bis zur völligen Austrocknung reichen.

Gewässer	Pegel- bezeichnung	Beobachtungs- zeitraum	EZG	NNQ	MNQ	MQ	MHQ	HHQ
			[km ²]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
Döllnitz	Merzdorf	1912/1995	211	0,000	0,308	0,90	9,1	39,5
Jahna	Seerhausen 1+3	1926/1995	153	0,040	0,238	0,644	7,0	21,7
Triebisch	Garsebach	1960/1994	165	0,220	0,688	1,60	14,6	31,8
Vereinigte Weißeritz	Dölzsch	1929/1995	366	0,030	0,761	3,43	25,7	108
Müglitz	Dohna	1912/1995	198	0,000	0,229	2,53	39,2	330
Wesenitz	Elbersdorf	1921/1995	227	0,000	0,688	2,14	24,1	62,7
Gottleuba	Neundorf	1927/1995	133	0,000	0,177	1,50	34,9	433
Lachsbach	Porschdorf 1	1912/1995	267	0,120	0,854	3,03	29,7	87,1
Kirnitzsch	Kirnitzschtal	1912/1995	154	0,290	0,632	1,45	13,6	59,3

Tab. 7-2: Statistische Hauptzahlen ausgewählter Pegel der Nebenflüsse zwischen deutsch-tschechischer Grenze und der Mündung der Schwarzen Elster (Quelle: SLfUG, 1997d).

Wie im August 2002 traten auch in der Vergangenheit besonders katastrophale Hochwasserereignisse vorrangig in den Monaten Juli und August und in den Nebenflüssen des Osterzgebirges Weißeritz, Müglitz und Gottleuba auf (FÜGNER, 1997). So führten beispielsweise kleinräumige, lagestabile Starkniederschläge am 22. und 23. Juli 1957 im Gottleubagebiet zu einer Hochwasserwelle, deren Abflussmaximum von $433 \text{ m}^3/\text{s}$ den langjährigen mittleren Abfluss um das 288fache übertraf und immense Sachschäden von 67 Mill. Mark (DDR) verursachte. Demgegenüber traten im Beobachtungszeitraum von 1990 bis 1999 nur schwache Hochwasserereignisse auf, die zu einer geringfügigen Überschreitung des langjährigen mittleren Hochwasserabflusses führten und sich zudem auf die Abflussjahre 1994 und 1995 beschränkten (Abb. 7-2). Die vorhergehenden Jahre sind durch trockene Verhältnisse und schwache Abflüsse gekennzeichnet. Aufgrund einer anhaltenden Überschreitung des langjährigen mittleren Abflusses vom Dezember 1993 bis zum Mai 1994 ist im Beobachtungszeitraum nur das Jahr 1994 als abflussreich zu charakterisieren. Im darauffolgenden Jahr konnten die kurz andauernden Hochwässer im Winterhalbjahr die

geringen sommerlichen Durchflüsse insofern ausgleichen, als der mittlere Jahresabfluss in etwa dem langjährigen entsprach. Dies gilt auch für die hydrologischen Jahre 1996, 1997 und 1999, wobei die Hochwasserspitzen im allgemeinen etwas geringer ausfielen (Abb. 7-2, Tab. 7-3).

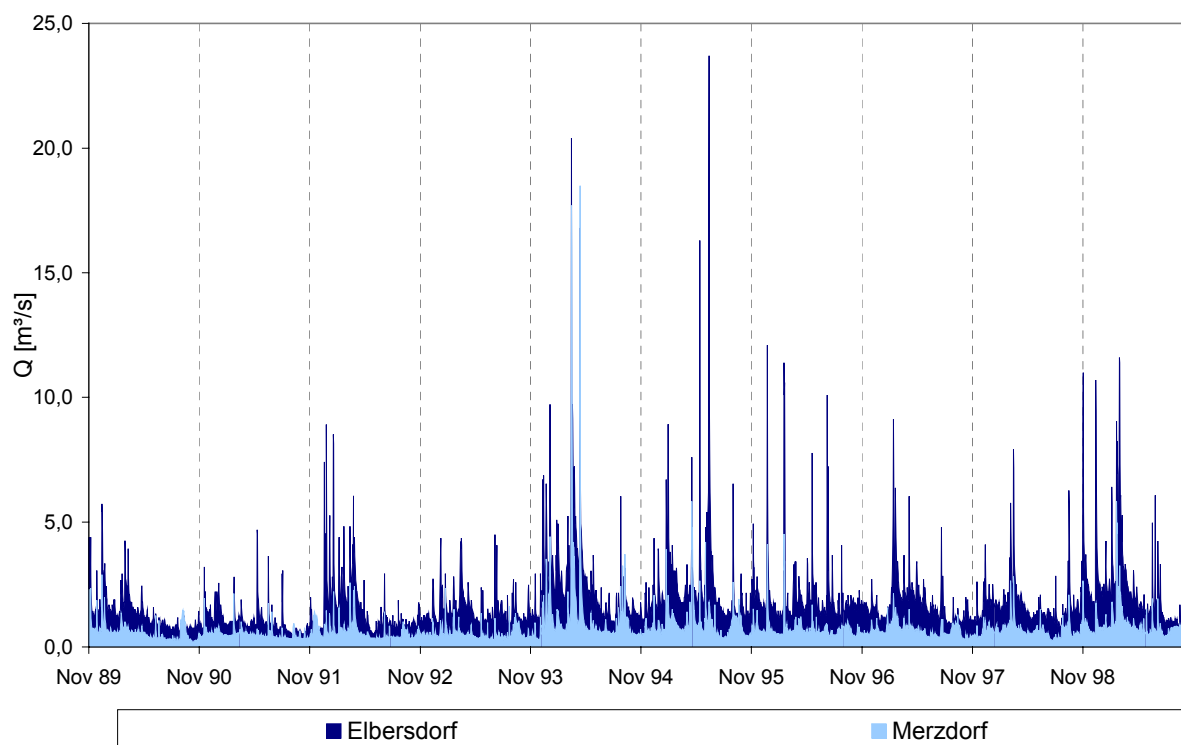


Abb. 7-2: Das Abflussgeschehen im Beobachtungszeitraum von 1989 bis 1999 in der Wesenitz (Bp Elbersdorf) und in der Döllnitz (Bp Merzdorf).

Gewässer	Pegel	Abflussarme Jahre	Mittlere Abflussjahre	Abflussreiche Jahre
		MQ _{MJ} /MQ < 80 %	MQ _{MJ} /MQ 80 - 120 %	MQ _{MJ} /MQ > 120 %
Wesenitz	Elbersdorf	1990 (64)	1995 (112)	1994 (122)
		1991 (48)	1996 (94)	
		1992 (72)	1997 (81)	
		1993 (69)	1999 (107)	
		1998 (79)		
Döllnitz	Merzdorf	1990 (67)	1995 (103)	1994 (136)
		1991 (57)	1996 (81)	
		1992 (68)	1999 (96)	
		1993 (59)		
		1997 (75)		
		1998 (75)		

Tab. 7-3: Einordnung der Höhe der Abflussjahre im Beobachtungszeitraum gemessen am Verhältnis des mittleren Jahresabflüsse zum MQ des Beobachtungszeitraumes in [%].

7.2 Entwicklung der Gewässergüte im Beobachtungszeitraum

Die Nebenflüsse der Oberen Elbe (Tab. 7-1) weisen aufgrund der im allgemeinen geringfügigen industriellen und landwirtschaftlichen Nutzung ihrer Einzugsgebiete eine gute Wasserqualität auf. Beeinträchtigungen der Gewässergüte traten in erster Linie durch kommunale und gewerbliche Siedlungsabwässer in den unmittelbaren Mündungsbereichen auf, welche jedoch durch entsprechende abwassertechnische Maßnahmen im Verlauf der 90er Jahre weitgehend beseitigt werden konnten. Dementsprechend werden sie der LAWA-Güteklasse II (mäßig belastet) zugeordnet (SLfUG, 1997c; LAWA, 2002). Die Nebenflussgebiete an der Mittleren Elbe (Tab. 7-1, Anlage 1) unterliegen einer stärkeren landwirtschaftlichen Nutzung und einer höheren Belastung durch kommunale Abwässer. Die Gewässergüte ist daher als „kritisch belastet“ (LAWA GK II-III) zu bezeichnen (SLfUG, 1997c; LAWA, 2002).

7.3 Schwebstoffhaushalt der sächsischen Elbenebenflüsse bis zur Mündung der Schwarze Elster

7.3.1 Schwebstoffmessstellen

In den Nebenflussgebieten von der deutsch-tschechischen Grenze bis zur Mündung der Schwarzen Elster wurden 52 Gütemessstellen recherchiert an denen der Parameter „Abfiltrierbarer Stoff“ erhoben wird (Band 2, Anhang C und F). Von diesen wurden die jeweils mündungsnächsten für die Beurteilung des Schwebstoffeintrags in die Elbe ausgewählt (Tab. 7-4).

Gewässer	Messstelle	Fluß-km	Beobachtungs-zeitraum		Anzahl Messwerte/a	Bezugs-pegel	Zuständigkeit
Weinske	Dommitzsch	0,6	03.1995	09.2001	4 - 13	k. A.	StUfa Leipzig
Dahle	Aussig	3,8	01.1994	09.2001	8 - 17	k. A.	StUfa Leipzig
Döllnitz	Borna	7,15	03.1990	09.2000	2 - 8	Merzdorf	StUfa Leipzig
Jahna	Ostrau	21	03.1989	08.2001	5 - 14	Seerhausen	StUfa Leipzig
Triebisch	Mündung	k. A.	04.1991	12.1996	2 - 11	Garsebach	LfUG Dresden
Weißeritz	Mündung	k. A.	03.1992	12.1996	2 - 13	Dölzschen	LfUG Dresden
Müglitz	Mündung	9,5	02.1992	12.1996	2 - 12	Dohna	LfUG Dresden
Wesenitz	Mündung	k. A.	04.1992	12.1996	2- 13	Elbersdorf	LfUG Dresden
Gottleuba	Mündung	k. A.	03.1992	12.1995	3 - 10	Neundorf	LfUG Dresden

Tab. 7-4: Zur Auswertung herangezogene Gewässergütemessstellen und zugeordnete Bezugspegel.

Für die Messstellen Elbersdorf (Wesenitz), Bad Gottleuba (Gottleuba) und Merzdorf (Döllnitz) liegen im Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie für den Zeitraum von 1968 bis 1991 "tägliche Schwebstoffdaten" vor, die aus jährlichen Konzentrations–Abfluss–Beziehungen generiert wurden. Diese konnten jedoch aus Gründen der Vergleichbarkeit keine Verwendung im Forschungsvorhaben finden.

7.3.2 Schwebstoffkonzentration

Es ist davon auszugehen, dass in den kleinräumigen, gefällestarken Nebenflussgebieten der Oberen Elbe die Verweilzeit des Oberflächenwassers im allgemeinen sehr gering ist und Hochwasserereignisse innerhalb weniger Stunden ablaufen können. SCHÖNHERR (2001) stellte anhand von Fließgeschwindigkeitsmessungen an jeweils 6 Meßprofilen von der Quelle bis zur Mündung an den Nebenflüssen Gottleuba und Wesenitz fest, dass die mittlere Fließgeschwindigkeit in den Sommer- und Herbstmonaten des Jahres 2000 0,2 bis 0,3 m/s betrug, woraus sich eine Verweilzeit des Oberflächenwassers von etwa 70 Stunden ergab. Diese reduzierte sich im abflussreichen Monat März durch den Anstieg der mittleren Fließgeschwindigkeit (bis etwa 1 m/s) auf 10 bzw. 20 Stunden.

Die zur Verfügung gestellten Schwebstoffmessreihen an den sächsischen Elbenebenflüssen weisen im allgemeinen weniger als 12 Messwerte pro Jahr auf. Diese Messfrequenz wird weder der Abflußcharakteristik noch der Schwankungsbreite der Schwebstoffkonzentration der betrachteten Fließgewässer gerecht. Deshalb wurde sowohl auf die Bildung von Jahresmittelwerten der Schwebstoffkonzentration als auch auf Frachtabätzungen verzichtet.

Auf Grundlage der vorliegenden Messergebnisse sind in den Mittelgebirgsflüssen der Oberen Elbe in der Regel Schwebstoffkonzentrationen von weniger als 10 mg/l (Median) charakteristisch. Die Nebenflüsse der Oberen Mittelelbe insbesondere die Jahna und die Döllnitz weisen demgegenüber eine höhere Schwebstoffführung auf, was sich aus der vornehmlich landwirtschaftlichen Nutzung ihrer Einzugsgebiete erklärt (Abb. 7-3).

Zu einer ähnlichen Einschätzung gelangte FÜGNER (1972, 1975), der die mittlere natürliche Schwebstoffbelastung der Nebenflüsse des sächsischen Berglandes als Funktion von Geofaktoren der Vegetation, Geologie, Morphologie und des Wasserhaushaltes untersuchte. Demzufolge sind die Nebenflüsse entlang der Oberen Elbe durch natürliche Schwebstoffgehalte von 1 bis 12 mg/l - zunehmend von der Quelle bis zur Mündung - charakterisiert, während die Nebenflüsse entlang der Mittleren Elbe (bis Mündung Schwarze Elster) wesentlich höher belastet sind. Die mittlere natürliche Schwebstoffkonzentration

beträgt in diesen etwa 20 bis 60 mg/l. Die anthropogenen Einflüsse in den Flussgebieten des sächsischen Berglandes führen jedoch zu einer weitaus größeren Differenziertheit in der räumlichen Schwebstoffbelastung, was die Übertragbarkeit von Untersuchungsergebnissen erheblich einschränkt. Zu diesem Schluss gelangt SCHÖNHERR (2001) anhand des Vergleichs der Schwebstoffführung der Nebenflüsse Gottleuba und Wesenitz im Abflussjahr 2000. Aufgrund des höheren Anteils an erosionsgefährdeten landwirtschaftlichen Nutzflächen bei ansonsten vergleichbarer Hydrologie und naturräumlichen Ausstattung der Einzugsgebiete, wären in der Gottleuba höhere Schwebstoffgehalte zu erwarten. Auf der Basis von Schwebstoffvielpunktmessungen konnte diese Annahme jedoch nicht bestätigt werden. So übertraf der Jahresmittelwert der Schwebstoffkonzentration in der Wesenitz (39 mg/l) den der Gottleuba (6 mg/l) um ein Vielfaches, was letztendlich nur auf die Exposition der landwirtschaftlichen Nutzflächen zum Flusslauf (fehlende Gewässerrandstreifen) zurückzuführen war. Das Ergebnis dieser im Rahmen des Projektes durchgeführten Arbeit bestätigt somit die Schwierigkeit der Beurteilung des Schwebstoffhaushaltes der Elbenebenflüsse zwischen der deutsch-tschechischen Grenze und der Mündung der Schwarzen Elster aufgrund von modellhaften Ansätzen.

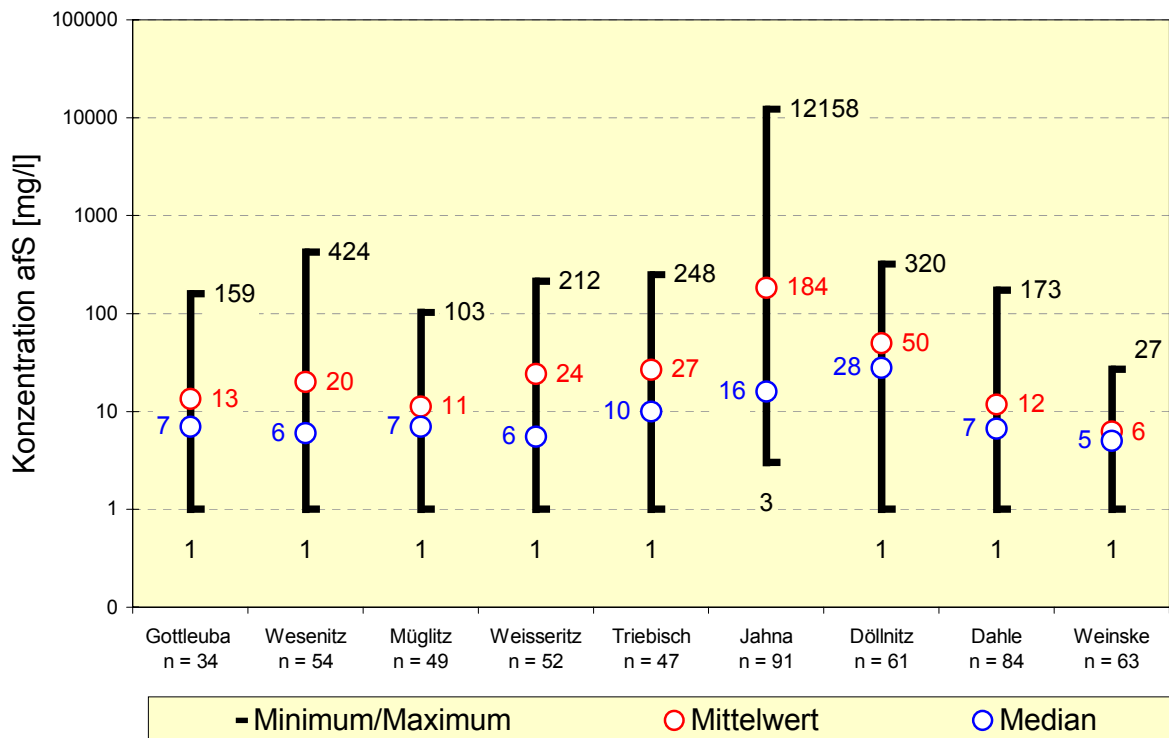


Abb. 7-3: Schwankungsbreite der gemessenen Schwebstoffkonzentration an den mündungsnächsten Messstellen der Elbenebenflüsse von der deutsch-tschechischen Grenze bis zur Mündung der Schwarzen Elster (n = Anzahl der Messwerte).

Dass zudem eine hohe Anzahl an ereignisorientierten Messungen erforderlich ist, zeigen die erheblichen Schwankungen der Schwebstoffkonzentration von 1 bis weit über 100 mg/l in diesen Nebenflüssen (ausgenommen Weinske, Untersuchungszeitraum ohne das abflussreiche Jahr 1994). Besonders deutlich wird die Schwankungsintensität in der Jahna. An der Messstelle Ostrau wurden Konzentrationsanstiege auf über 100, 1 000 und in dem dargestellten Ausnahmefall bis über 10 000 mg/l festgestellt. Um diesen Wert (Abb. 7-3) in Relation zu setzen, sei an dieser Stelle erwähnt, dass in allen Schwebstoffmessreihen, die im Elbe-EZG recherchiert wurden, überhaupt nur 4mal eine Überschreitung von 1 000 mg/l enthalten ist, wobei der nächsthöchste Wert „nur“ noch 1 511 mg/l beträgt und ebenfalls in der Jahna gemessen wurde. Dass dieser direkt in die Elbe mündende Nebenfluss besonders schwebstoffreich ist, konnte auch durch Eigenmessungen bestätigt werden (Tab. 7-5). Diese stichprobenartigen Messungen, die als Vielpunktmessungen in mündungsnahen Querprofilen durchgeführt wurden, bestätigen die große Variabilität der Schwebstoffführung, der in diesem Elbeabschnitt einmündenden Nebenflüsse. Teilweise konnten im Vergleich zu den Landesmesswerten höhere Maxima des Schwebstoffgehaltes nachgewiesen werden (Tab. 7-5), was sich auch aus der Berücksichtigung des suspendierten Sandanteils, gemessen in 10 cm Höhe über der Sohle ergab. Die transportierten Korngrößen > 63µm lagen zumeist im Mittelsandbereich, wobei vereinzelt auch Grobsand beteiligt war (Band 2, Anhang G).

	Gesamtschwebstoff [mg/l]			Suspendierter Sand (> 63 µm) [mg/l]		
	Anzahl	Min	Max	Anzahl	Min	Max
Weinske	4	6	14	1	1,0	
Dahle	5	9	174	2	2,2	130
Doellnitz	5	17	956	4	0,7	226
Jahna	7	6	2294	3	0,8	280
Ketzerbach	4	17	71	1	5,2	
Triebisch	7	8	162	2	45	92
Wilde Sau	6	11	228	3	0,7	80
Weißeritz	7	4	58	2	0,9	50
Wesenitz	7	14	760	2	9,3	404
Müglitz	6	3	323	2	33	259
Gottleuba	7	2	8	2	1,8	2,3
Biela	4	2	7	1	0,7	
Lachsbach	9	4	297	4	3,3	185
Kirnitzsch	6	2	598	3	0,4	323
Krippenbach	8	4	240	4	0,8	119

Tab. 7-5: Schwankungsbreite der durch Eigenmessungen festgestellten Konzentration an Gesamtschwebstoffgehalt und suspendiertem Sand (Extrema im Messprofil) im unmittelbaren Mündungsbereich der angegebenen Nebenflüsse im Zeitraum von 08/99 bis 06/01. Im Vergleich zu Landesmesswerten Höhere Maxima hervorgehoben.

7.3.3 Schwebstofftransport

Die hohe Variabilität der Schwebstoffführung der Nebenflüsse entlang dieses Elbeabschnittes drückt sich auch in der Spannweite der gemessenen Schwebstofftransporte aus (Abb. 7-4). Da die Wasserführung in den kleinen Mittelgebirgsflüssen ebenfalls stark variiert, können Werte von weniger als 1 g/s bis zu mehreren kg/s auftreten, wobei das Mittel (Median) zwischen 2 und 14 g/s liegen dürfte (Abb. 7-4).

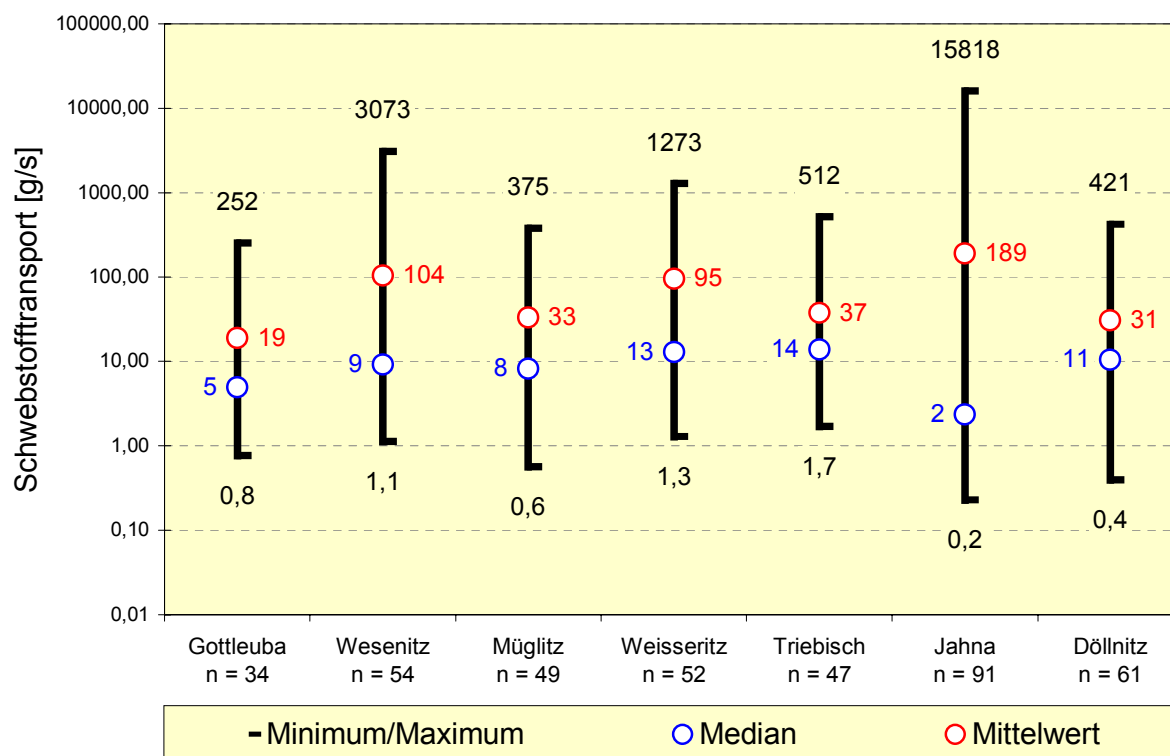


Abb. 7-4: Schwankungsbreite der gemessenen Schwebstofftransporte an den mündungsnächsten Messstellen (Tab. 7-4) der Elbenebenflüsse von der deutsch-tschechischen Grenze bis zur Mündung der Schwarzen Elster (n = Anzahl der Messwerte).

Anders als bei der statistischen Betrachtung der Schwebstoffführung kommt den Extremwerten bei der Bildung der Schwebstoffjahresfracht jedoch eine entscheidendere Bedeutung zu. Im allgemeinen ist es üblich aus dem, zu einem bestimmten Zeitpunkt des Tages, tatsächlich gemessenen Transport [g/s] auf die Gesamttagesfracht [Transport x 0,0864 in t] zu schließen, wobei angenommen wird, dass sowohl der Abfluss als auch die Konzentration keinen wesentlichen Veränderungen im Tagesgang unterliegen. Aufgrund der kurzen Verweilzeit des Oberflächenwassers bei höheren Abflüssen in den kleinen Flussgebieten ist daher bereits die Angabe von Tagesfrachten mit einer hohen Unsicherheit behaftet. Liegen zudem nur wenige Messtage in einem Jahr vor und wurden hydrologische Ereignisse nicht erfasst, ist die Berechnung einer Schwebstoffjahresfracht im Prinzip nicht

möglich. SCHÖNHERR (2001) schätzte auf der Basis von regelmäßig durchgeführten Schwebstoffmessungen mit Hilfe von 2 statistischen Methoden die Schwebstoffjahresfracht im Abflussjahr 2000 an der Wesenitz (Messstelle Elbersdorf) auf 1100 bis 1800 t und an der Gottleuba (Messstelle Bad Gottleuba) auf 190 bis 200 t. Diese Messstellen sind relativ mündungsnah angesiedelt und im Hinblick auf die Höhe des Durchflusses mit anderen Nebenflüssen dieses Gebietes vergleichbar. Demzufolge können diese Frachtbeträge in etwa eine Vorstellung von jährlichen Schwebstoffeinträgen der Nebenflüsse auf diesem Elbeabschnitt vermitteln. Ausgehend vom jeweiligen Median der Schwebstofftransporte einer Messreihe (Abb. 7-4) können Tagesfrachten von 0,17 bis 1,2 t an den mündungsnächsten Messstellen der betrachteten Elbenebenflüsse abgeschätzt werden. Kurzfristige hydrologische Ereignisse können jedoch Tagesfrachten, die im Bereich von abgeschätzten Jahresfrachten (s.o.) liegen, hervorrufen (Tab. 7-6). Wird ein derartiges Ereignis nur um wenige Tage verfehlt, wie das Beispiel der Jahna im Frühjahr 2000 zeigt (Tab. 7-6), ist eine hinreichend genaue Abschätzung einer Schwebstoffjahresfracht nicht möglich. Dies verdeutlicht die grundsätzliche Schwierigkeit den Schwebstoffeintrag in diesem Elbeabschnitt, der zudem eine sehr hohe Nebenflussdichte aufweist, zu bestimmen.

Nebenfluss	Messstelle	Datum	Schwebstoff-	Durchfluss	Tagesfracht
			konzentration		
			[mg/l]	[m ³ /s]	[t]
Jahna*	Poppitz	19.03.00	2293	0,2	36
Jahna**	Ostrau	09.03.00	12160	1,3	1366
Doellnitz*	Riesa-Merzdorf	15.03.00	956	9,4	775
Weißeritz*	Friedrichstadt	14.03.00	58	26,2	132
Weißeritz**	Mündung	20.05.96	167	7,6	110
Wesenitz**	Mündung	23.01.95	424	7,3	265
Lachsbach*	Mündung	09.03.00	297	12,4	318

Tab. 7-6: Ausgewählte geschätzte Schwebstofftagesfrachten in Nebenflüssen des sächsischen Berglandes (*Eigenmessungen, **Landesmesswerte).

Zudem ist die Ableitung oder Übertragbarkeit von Prognosen für eine zu erwartende Schwebstoffjahresfracht aus einem Einzugsgebiet anhand der naturräumlichen Bedingungen, wie die Untersuchungen von SCHÖNHERR (2001) zeigen nicht zu erbringen.

Ein umfassendes Schwebstoffmessprogramm ermöglichte es jedoch FÜGNER (1972, 1975) den Schwebstoffeintrag der Elbezuflüsse zwischen der deutsch-tschechischen Grenze und Riesa für das abflussschwache Jahr 1963 abzuschätzen. Dieser betrug demnach insgesamt 7800 t, wobei 4800 t auf anthropogene Veränderungen in den Flussgebieten (industrielle und

kommunale Abwassereinleitungen, Erosion auf landwirtschaftlich genutzten Flächen) zurückzuführen waren.

7.4 Schüttkegelbildung und Geschiebeeintrag der sächsischen Elbenebenflüsse

Auswertungen von Color-Diapositiv-Luftbilder und Geländebegehungen haben ergeben, dass für die Zuflüsse der Oberen Elbe Auflandungen und Schüttkegelbildungen im Mündungsbereich charakteristisch sind. Diese belegen eindeutig einen Materialeintrag in die Elbe, wobei die dokumentierten Korngrößen einen Feststofftransport als Geschiebe nahe legen (Abb. 7-5, Tab. 7-7).

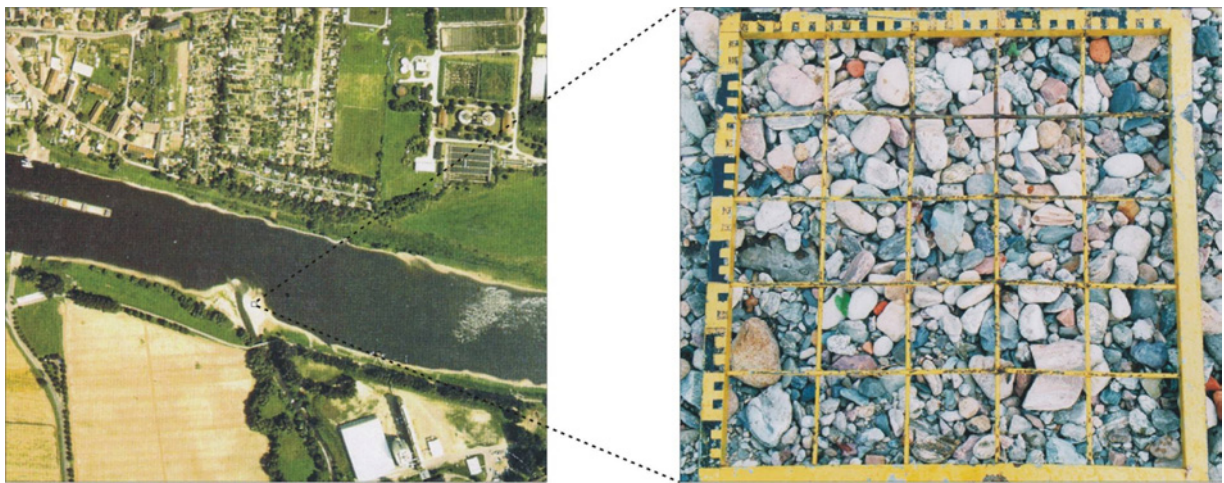


Abb. 7-5: Schüttkegel in der Nebenflussmündung der Müglitz (li) (Foto WSD OST, 1992) und zugehöriges Korngrößenraster des Sedimentkörpers (re).

Aus diesem Grund konzentrierten sich die Untersuchungen zum Geschiebetransport auf diesen Elbeabschnitt. Direkte Geschiebetransportmessungen sind, durch die grobe Sohlstruktur der Mittelgebirgsflüsse bedingt (Tab. 7-7; Band 2, Anhang G), nicht durch den Einsatz von Geschiebefängern zu realisieren. Demzufolge wurden Auflandungen in den Flussbetten, deren Bildungszeitraum bekannt war, volumetrisch quantifiziert. Die Bildung derartiger Sedimentdepots, die während des Elbehochwassers im Frühjahr 2000 beobachtet werden konnte, steht in einem ursächlichen Zusammenhang mit höheren Wasserständen in der Elbe und kann im wesentlichen in 4 Phasen unterteilt werden (Abb. 7-6). Unter normalen Abflussbedingungen ist ein direkter Sedimenteintrag durch die einmündenden Nebenflüsse möglich (Phase 1, Abb. 7-6). Während einer auflaufenden Hochwasserwelle in der Elbe werden die bestehenden Schüttkegel vermutlich teilweise erodiert und es findet ein allmählich fortschreitender Rückstau des Nebenflusses statt (Phase 2, Abb. 7-6). Der sukzessiv zunehmende Einstau in die Nebenflussmündung führt zu einer Abnahme der

Fließgeschwindigkeit und damit zu einer zunehmenden Materialfraktionierung, wobei gröbere Frachtanteile auf der Gewässersohle sedimentieren und ein Sedimentdepot bilden (Phase 3, Abb. 7-6). Im Frühjahr 2002 dauerte diese Rückstauphase 2 Monate. Während dieser Zeit führten auch die sächsischen Nebenflüsse Hochwasser und damit größere Feststoffmengen mit sich, welche jedoch nur bis in den mündungsnahen Rückstaubereich transportiert wurden und dort auf der Gewässersohle zur Ablagerung kamen.

Nebenfluss	Mündungsnahes Sohlensubstrat	d-Werte Schüttkegel	
		d _m [mm]	d ₉₀ [mm]
Pretscher Bach	enggestufter Sand	n.n.	n.n.
Dommitscher Grenzbach	enggestufter Sand	n.n.	n.n.
Weinske	enggestufter Sand, kiesig	n.n.	n.n.
Dahle	enggestufter Sand	n.n.	n.n.
Doellnitz	enggestufter Sand, kiesig	n.n.	n.n.
Jahna	enggestufter Sand, kiesig	n.n.	n.n.
Nieschützbach	weitgestufter Kies, sandig	n.n.	n.n.
Triebisch	weitgestufter Kies, sandig	16,4	47,8
Wilde Sau	weitgestufter Kies, sandig	n.n.	n.n.
Vereinigte Weisseritz	weitgestufter Kies, sandig	19,5	43,5
Priessnitz	intermittierend gestufter Kies, sandig	X	X
Lockwitzbach	weitgestufter Kies, sandig	X	X
Mueglitz	intermittierend gestufter Kies, sandig	22,9	48,4
Wesenitz	enggestufter Sand, kiesig	2,1	3,6
Gottleuba	weitgestufter Kies, sandig	23,6	52,7
Biela	intermittierend gestufter Kies, sandig	X	X
Lachsbach	weitgestufter Kies, sandig	9,3	28
Kirnitzsch	intermittierend gestufter Kies, sandig	13,1	31,7
Krippenbach	weitgestufter Kies, sandig	X	X

Tab. 7-7: Mündungsnahes Sohlensubstrat, d-Werte und Vorkommen von Schüttkegelbildungen an den dargestellten sächsischen Nebenflüssen (X = Schüttkegel vorhanden, aber nicht beprobt; n.n. = Schüttkegel nicht nachweisbar).

Mit ablaufendem Elbehochwasser und zunehmendem Wiedereinströmen der Nebenflüsse werden diese Sedimentauflagen aufgrund der leichten Erodierbarkeit des wassergesättigten, unkonsolidierten Materials geräumt und auch bei geringen Fließgeschwindigkeiten und Durchflüssen in die Elbe vorgeschüttet. Bei einem schnellen Hochwasserabfall ist das Transportvermögen der Elbe nicht ausreichend, das seitlich eingetragene Material, welches sich über einen Zeitraum von 2 Monaten in den Nebenflüssen angesammelt hat, vollständig aufzunehmen und weiter zu transportieren und es kommt zur erneuten Schüttkegelbildung in der Nebenflussmündung (Phase 4, Abb. 7-6).

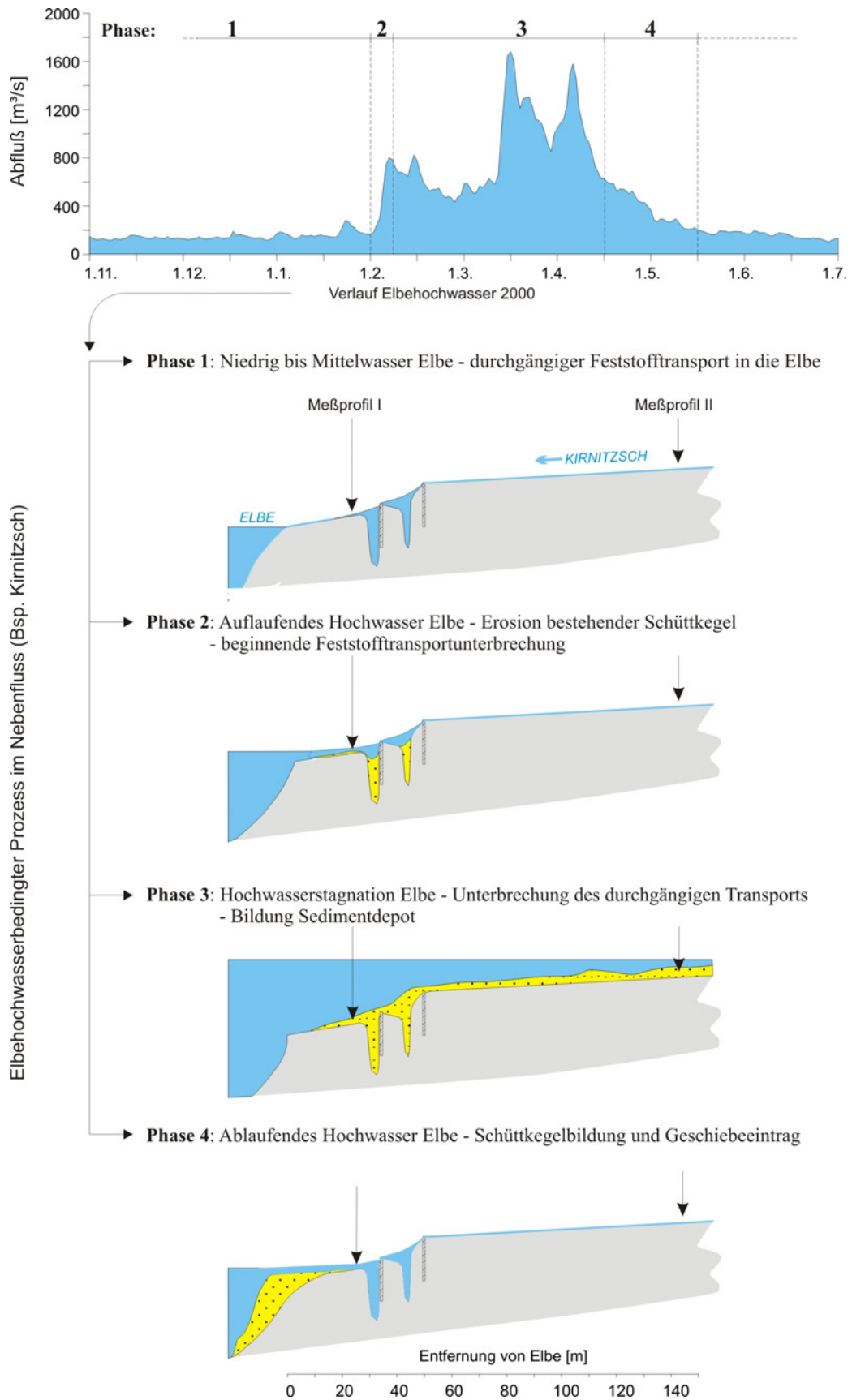


Abb. 7-6: Schema der Sedimentdepot- und Schüttkegelbildung in den sächsischen Elbenebenflüssen in Abhängigkeit von der Höhe des Wasserstandes in der Elbe.

Dass das eingetragene Material nicht vollständig weiter transportiert wird, belegen auch Unterhaltungsbaggerungen des WSA Dresden, die im Intervall von 5-7 Jahren mit je 2-3000 m³ an den Einmündungen der sächsischen Nebenflüsse Biela, Pöhnbach, Amselgrundbach, Gottleuba, Wesenitz, Müglitz, Triebisch, Nieschützbach und Jahna durchgeführt werden müssen (schriftl. Mitt. WSA Dresden). Das ehemalige Institut für Wasserwirtschaft recherchierte aus dem ökonomischen Aufwand für die Gewässerunterhaltung ebenfalls Baggermengen an der Priebnitz von 120 m³/a, am Eisenbornbach von 190 m³/a und an der Weißeritzmündung im Jahr 1967 von 1250 m³ (RÜDIGER, 1969).

Der Prozess der Depotbildung kann grundsätzlich in allen rückstaubeinflussten Nebenflüssen der Elbe stattfinden. Die Mündungsbereiche der sächsischen Nebenflüsse weisen jedoch ein hohes Gefälle auf und sind aus Gründen des Hochwasserschutzes in den städtischen Siedlungen als Trapez- bzw. Rechteckprofile ausgebaut und um mehrere Meter eingetieft (Abb. 7-7). Dies führt zu einem räumlich eng begrenzten Rückstau der Nebenflüsse und damit zur Anlage von volumetrisch quantifizierbaren Sedimentdepots.



Weißeritz (30.09.99)
- Phase 1 -



Weißeritz (19.03.00)
- Phase 3 -



Weißeritz (27.04.00)
- Phase 4 -



Kirnitzsch (26.04.00)
- Phase 4 -

Abb. 7-7: Mündungsprofil der Weißeritz (Dresden-Friedrichstadt) während der verschiedenen Phasen der Depotbildung (Depotvolumen ca. 2700 m³) und Prozess der Schüttkegelbildung in der Kirnitzschmündung.

Die Depots wiesen im allgemeinen eine sehr gute Sortierung im Grobsandbereich auf, wobei das Fehlen der feineren Fraktionen ($< 125 \mu\text{m}$) auf einen Durchtransport der suspendierten Partikel schließen ließ. Gelegentlich traten in den Sedimentdepots auch interne Kieslagen auf, die Phasen des Materialeintrags während des Rückstaus belegen. Es ist daher davon auszugehen, dass die Angaben zur Menge der Sedimentdepots als Mindestangaben des Transports aus dem Nebenflussgebiet im Zeitraum des Rückstaus (02/00 bis 04/00) zu betrachten sind (Tab. 7-8).

Aufgrund der vorgefundenen Korngrößen und des Nachweises von einzugsgebietstypischen Gesteinen auf den Schüttkegeln (Trümmerachat/Amethyst aus Oberschlottwitz an der Müglitz) ist auszuschließen, dass Sedimentmaterial aus der Elbe am Aufbau der Sedimentdepots beteiligt war.

Nebenfluss	Sedimentdepot			Geschiebemessung		
	Volumen	Korndurchmesser		Datum	Transport	Tagesfracht
	[m ³]	d _m [mm]	d ₉₀ [mm]		[g/s]	[t/d]
Triebisch	586	2	4,5	27.04.00	593	51,2
Vereinigte Weißeritz	2700	1,7 (25,6*)	3,5 (44*)	27.04.00	220	19,0
Müglitz	k.A.	1,0	1,8	25.04.00	182	15,7
Wesenitz	1736	0,9	2,2	16.05.00	29	2,5
Gottleuba	k.A.	1,3	2,7	16.05.00	80	6,9
Biela	147	3,1	8,7	-	-	-
Lachsbach	1017	1,6	3,4	16.05.00	573	49,5
Kirnitzsch	1365	1,0	1,9	26.04.00	352	30,4

Tab. 7-8: Sedimentdepotmächtigkeiten und Geschiebetransporte in den Nebenflüssen des sächsischen Festgesteinseinzugsgebietes der Elbe (*Deckschicht).

Aufgrund der gleichmäßig grobsandigen Oberflächenbeschaffenheit der Sedimentdepots war es während der Vorschüttungsphase (Phase 4) möglich, Geschiebetransportmessungen (Kapitel 6.2.3) in mündungsnahen Messprofilen durchzuführen. Diese Messungen wurden jeweils ein mal durchgeführt und vermitteln einen Eindruck von der Höhe des Materialeintrags in die Elbe, welcher demzufolge bis zu 50 t/d betragen kann (Tab. 7-8). Obwohl die Messfrequenz nicht ausreicht, den Geschiebeeintrag über den gesamten Zeitraum der Vorschüttphase verlässlich zu bestimmen, ist aufgrund der festgestellten Depotgröße davon auszugehen, dass die stichprobenartig ermittelten Geschiebetransporte über einen

längeren Zeitraum anhalten. Durch die seit Beginn der 90er Jahre durchgeführten Geschiebetransportmessungen der Bundesanstalt für Gewässerkunde ist es möglich, die gemessenen Geschiebeeinträge zum Transport in der Elbe in Beziehung zu setzen. Bedingt durch die grobe Sohlstruktur ($d_m > 20\text{mm}$) und den Geschieberückhalt in den tschechischen Staustufen finden von km 0 bis km 120 kaum Geschiebebewegungen in der Elbe statt (GLAZIK, 1993; SCHMIDT & DRÖGE, 1999). Aufgrund des daraus resultierenden geringen mittleren Geschiebetransportes von ca. 50 t/d erlangen die sächsischen Elbenebenflüsse zumindest zeitweilig Bedeutung als Geschiebelieferanten für die Elbe. Insbesondere bei Extremereignissen wie im Sommer 2002 können der Elbe in kürzester Zeit erhebliche Geschiebemengen zugeführt werden. Nach Aussagen des WSA Dresden muß nach dem Hochwasser 2002 an den Mündungen der sächsischen Nebenflüsse mit einem Mehrfachen des sonst üblichen Baggeraufwandes gerechnet werden.

8 Das Einzugsgebiet Schwarze Elster

Die Schwarze Elster entspringt am Hochstein (287 m N.N.) im Lausitzer Bergland und mündet nach einer Lauflänge von 179 km bei Elster (69 m N.N.) in die Elbe (Fluß-km 198,5). Das 5541,4 km² große EZG hat Anteile an den Bundesländern Brandenburg, Sachsen und Sachsen-Anhalt (Anlage 2). Zu den wichtigsten Nebenflüssen zählt das Hoyerswerdaer Schwarzwasser, die Pulsnitz, die Große Röder, die Kleine Elster und das Schweinitzer Fließ (LUA Brandenburg, 1997). Das Quellgebiet der Schwarzen Elster ist durch anstehende Granite und Grauwacken des variszischen Grundgebirges gekennzeichnet. Dieser Mittelgebirgsanteil mit einem Sohlgefälle von durchschnittlich 10,6 ‰ ist jedoch gering. Ab Kamenz wird das EZG der Schwarzen Elster zum überwiegenden Teil durch die pleistozänen Ablagerungen der Elster- und Saalekaltzeit geprägt. Unterhalb von Hoyerswerda bis zur Einmündung in die Elbe durchfließt die Schwarze Elster mit einem Sohlgefälle von durchschnittlich 0,4 ‰ das 20 – 30 km breite warthezeitliche Lausitzer Urstromtal. Demzufolge ist das Flussbett in diesem Abschnitt in fluvialen Sanden angelegt. Im nördlichen Bereich des EZG bildet der Lausitzer Grenzwall die Wasserscheide zum Havel-Spree-EZG, wobei hier in erster Linie glazifluviale Ablagerungen anstehen. Von wirtschaftlicher Bedeutung sind die tertiären Braunkohlenvorkommen zwischen Hoyerswerda und Lauchhammer.

8.1 Abflussverhältnisse in der Schwarzen Elster

Das EZG der Schwarzen Elster liegt im kontinental beeinflussten Binnentiefeland, nur der Teil des Lausitzer Berglandes wird als Staubereich des Gebirgsvorlandes betrachtet und empfängt höhere Niederschlagsmengen. Die mittlere Jahresniederschlagssumme beträgt an der Messstation Doberlug-Kirchhain 561 mm. Im Lausitzer Bergland sind Niederschlagssummen von über 700 mm charakteristisch. Das Schwarze Elster Gebiet wird bis auf das Quellgebiet dem Abflussregime vom Typ NAAB zugeordnet (MARCINEK, 1991). Charakteristisch ist der abflussreichste Doppelmonat Februar/März und eine mittlere Abflusspende von 5,07 l/s km² (Abb. 8-1). Der mittlere Abfluss am Pegel Löben, der sich 21,6 km vor der Mündung befindet, wird im Beobachtungszeitraum 1974/1997 mit 20,0 m³/s angegeben (Tab. 8-1). Die zu erwartende mittlere Abflusshöhe an der Mündung beträgt 28,9 m³/s.

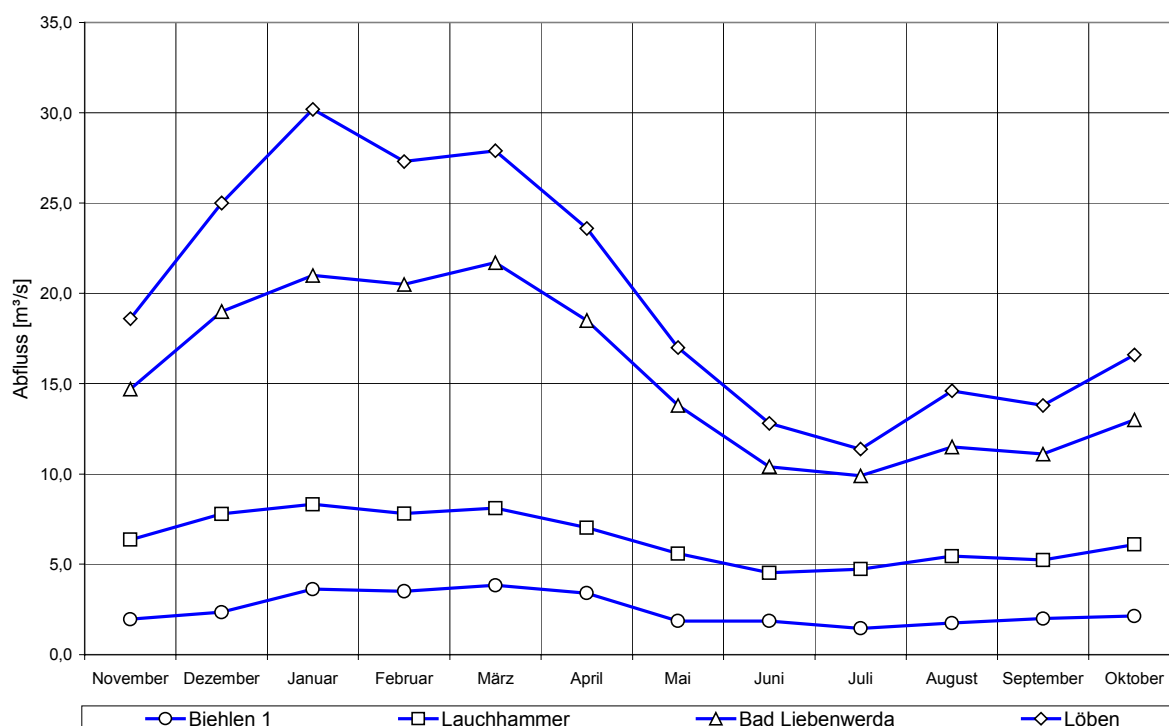


Abb. 8-1: Mittlerer Abflussjahresgang der Schwarzen Elster an den hydrologischen Pegeln Biehlen1, Lauchhammer, Bad Liebenwerda und Löben (DGJ 1997).

Pegel	A_{EO}	Lage	PNP NN	NQ	MNQ	MQ	MHQ	HQ
	[km ²]	[km]	[m]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
Biehlen 1	1134	103,0	96,48	0,500	0,975	2,95	15,0	34,7
Lauchhammer	1513	87,5	91,86	1,84	3,09	6,48	21,3	37,6
Bad Liebenwerda	3184	59,6	83,91	2,15	6,22	16,4	54,0	91,5
Löben	4327	21,6	73,07	0,950	6,71	20,0	66,9	115

Tab. 8-1: Statistische Hauptzahlen der hydrologischen Pegel an der Schwarzen Elster (DGJ, 1997).

Das Abflussregime der Schwarzen Elster wird nachhaltig durch erhebliche Grundwassereinleitungen infolge der intensiven Bergbautätigkeit im Raum Lauchhammer, Senftenberg und Hoyerswerda, durch Versickerung aus dem Gewässerbett und durch Wasserentnahme für die kommunale und industrielle Versorgung gestört. Ausschlaggebend für die Beeinflussung der Hydrologie ist die Bergbautätigkeit in ihrem Einzugsgebiet. Nach einer Studie von WASY (1992a) liegen etwa 700 km² des EZG innerhalb des Grundwasserabsenkungstrichters. Die geförderten Grubenwassermengen betragen in den sechziger Jahren etwa 400 Mio. m³/a und zum Ende der achtziger Jahre noch 200 Mio. m³/a.

Auf den Pegel Löben bezogen ergab sich durch die erfolgten Grundwassereinleitungen (Tab. 8-2) ein Wasserzuschuss von 12,7 m³/s bzw. 5,7 m³/s.

Jahr	1960	1989	1992	1995	2000	2005	2010
Grubenwassereinleitung [m ³ /s]	12,7	6	3,8	3,5	2	1	0,7

Tab. 8-2: Erwartete Entwicklung der Grubenwassereinleitungen bezogen auf den Pegel Löben an der Schwarzen Elster (WASY 1992a, S. 6).

Diesem Wasserüberschuss wirken die Versickerungen aus dem Gewässerbett im Bereich des Grundwasserabsenkungstrichter in Höhe von 1,2 m³/s entgegen. Die aus den Tagebaurestlöchern entstandenen Speicher Knappenrode und Niemtsch (Senftenberger See) ermöglichen einen begrenzten innerjährlichen Abflussausgleich (WASY, 1992a).

Die Durchflüsse am Pegel Löben waren von 1990 bis 1999 relativ hohen Schwankungen unterworfen (Abb. 8-2). Während sich das Abflussjahr 1996 in etwa dem mittleren Abfluss von 19,9 m³/s näherte, war der Beginn der Dekade von 1990 bis 1993 durch eine Trockenperiode gekennzeichnet. In den Abflussjahren 1991 bis 1993 wurden weniger als 50% des MQ erreicht. Diese Trockenperiode endete abrupt mit den abflussreichen Jahren 1994 und 1995. Die ausgeprägten Winter- und Frühjahrshochwasser, während derer der mittlere Hochwasserabfluss mehrfach überschritten wurde, führten zu mittleren Jahresabflüssen von 27,0 bzw. 25,4 m³/s. Die darauf folgenden Jahre waren wiederum durch gemäßigte Abflüsse gekennzeichnet. Das kurzfristige Hochwasserereignis im Abflussjahr 1999 führte nicht zu einer wesentlichen Anhebung des Jahresmittelwertes, da das Jahr eine ausgeprägte Trockenperiode im Sommer aufwies.

Gewässer	Pegel	Abflussarme Jahre	Mittlere Abflussjahre	Abflussreiche Jahre
		MQ _{MJ} /MQ < 80 %	MQ _{MJ} /MQ 80 - 120 %	MQ _{MJ} /MQ > 120 %
Schwarze Elster	Löben	1990 (63 %) 1992 (48 %) 1993 (53 %) 1997 (60 %) 1998 (70 %)	1996 (87 %) 1999 (96 %)	1994 (136 %) 1995 (128 %)

Tab. 8-3: Einschätzung der Höhe der Abflussjahre von 1990 bis 1999 gemessen am Verhältnis des mittleren Jahresabflusses zum langjährigen MQ an der Schwarzen Elster (Bp Löben).

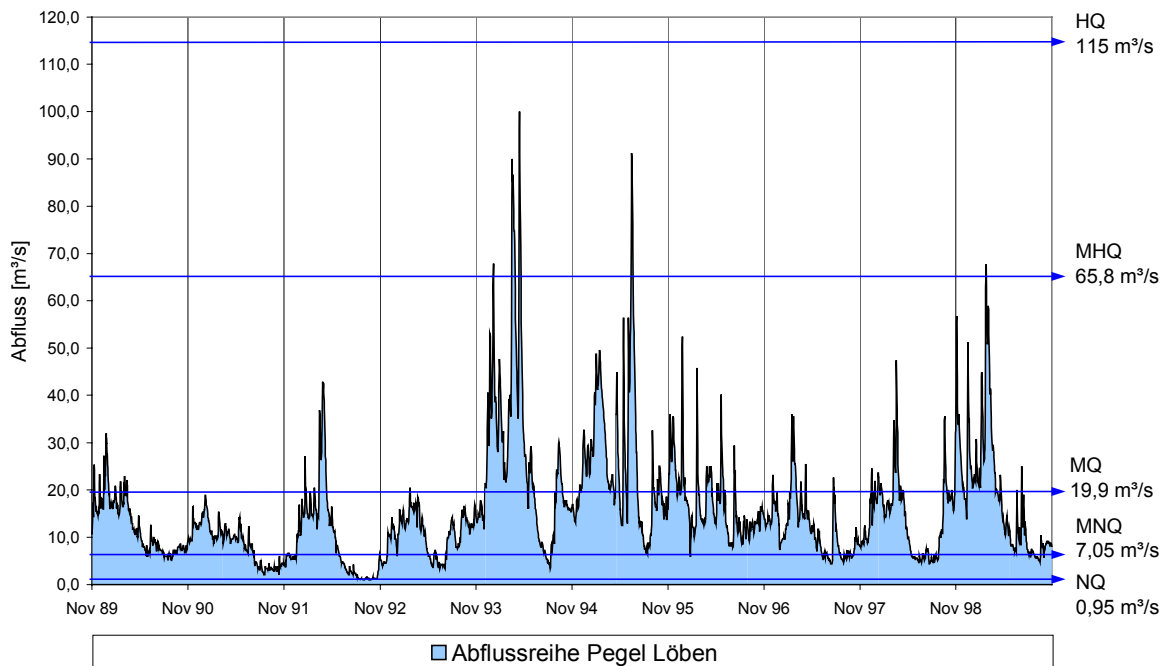


Abb. 8-2: Das Abflussgeschehen im Beobachtungszeitraum in der Schwarzen Elster (Bp Löben).

8.2 Entwicklung der Gewässergüte im Beobachtungszeitraum

Seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts bis etwa 1965 wurde der Fluss zur Nutzung von Niederungsflächen, für den Hochwasserschutz und für den Bergbau über die gesamte Länge reguliert. Der heute fast durchgängig geradlinige, kanalisierte Flussverlauf mit seinem durch beidseitige Eindeichung charakterisierten Profil ist nur in wenigen Abschnitten naturnah geblieben. Durch das Fehlen von Stauanlagen sind die biologische Durchgängigkeit (ARGE Elbe, 1998) und weitgehend ungestörte Feststofftransporte gewährleistet. Im Jahr 1991 musste die Schwarze Elster aufgrund erheblicher industrieller und kommunaler Abwassereinträge als „übermäßig verschmutzt“ in die Güteklasse IV eingestuft werden. Seitdem hat sich die Situation entscheidend verbessert. Problematisch für den Stoffhaushalt der Schwarzen Elster ist jedoch weiterhin die Beschaffenheit der gehobenen Grubenwässer. Diese sind durch die Oxidation von flözbegleitenden Disulfidablagerungen zumeist sauer und mit hohen Eisen- und Sulfatgehalten belastet (WISOTZKY F., 1994). Die Ableitung des Grubenwassers erfolgte in den neunziger Jahren im wesentlichen über die Grubenwasserreinigungsanlagen Rainitz, Pößnitz und den Hammergraben. Des weiteren treten im Raum Ruhland–Lauchhammer hohe Asbest- und Gesamtposphatbelastungen durch die Kläranlage Brieske (Fließstrecke Kleinkoschen–Schwarzheide) auf (LUA Brandenburg, 1997). Die Fließstrecke von km 110 (uh. Kleinkoschen) bis km 72,2 (Elsterwerda) unterliegt

demzufolge einer starken anthropogenen Beeinflussung. Der Beschaffenheitszustand der Schwarzen Elster stellt sich beim Übergang nach Sachsen-Anhalt bis zur Mündung in die Elbe wieder als „mäßig belastet“ (Güteklasse II) dar (LUA Brandenburg, 1997; LAU Sachsen-Anhalt, 1997).

8.3 Schwebstoffhaushalt der Schwarzen Elster

8.3.1 Schwebstoffmessstellen

In die Auswertungen des Schwebstofftransportcharakters der Schwarzen Elster gingen die Messdaten der Gütepegel der AST Cottbus des LUA Brandenburg und des MRLU Sachsen-Anhalt ein (Tab. 8-4).

Messstelle	Fluß- km	Beobachtungs- zeitraum		Anzahl Messwerte/a	Bezugspegel	Zuständigkeit
Gorsdorf	3,8	01.1993	12.1998	13 - 26	Löben	MLRU Sa-An
Löben	21,6	01.1989	07.1996	9 - 12	Löben	LUA Brandenburg, AST Cottbus
Arnsnesta	28,5	02.1997	12.1999	12 - 21		LUA Brandenburg, AST Cottbus
Herzberg	36,8	01.1989	12.1999	12 - 18		LUA Brandenburg, AST Cottbus
Bad Liebenwerda	59,6	01.1989	12.1999	10 - 26	Bad Liebenwerda	LUA Brandenburg, AST Cottbus
Saathain	67,9	01.1989	12.1999	10 - 26		LUA Brandenburg, AST Cottbus
Elsterwerda	72,2	01.1989	12.1999	11 - 26		LUA Brandenburg, AST Cottbus
Plessa	80,0	01.1993	12.1994	4		LUA Brandenburg, AST Cottbus
Lauchhammer	90,0	01.1989	12.1999	10 - 26	Lauchhammer	LUA Brandenburg, AST Cottbus
Ruhland	97	01.1989	12.1999	10 - 26		LUA Brandenburg, AST Cottbus
Schwarzheide	98,2	01.1989	12.1999	10 - 26		LUA Brandenburg, AST Cottbus
Biehlen	103,0	08.1994	12.1999	21 - 22	Biehlen 1	LUA Brandenburg, AST Cottbus
Senftenberg	108,6	01.1989	12.1999	10 - 26	Biehlen 1	LUA Brandenburg, AST Cottbus
Klein Koschen	112,7	01.1989	12.1999	10 - 26		LUA Brandenburg, AST Cottbus
Tätzschwitz	116,5	02.1993	12.1999	14 - 24		LUA Brandenburg, AST Cottbus

Tab. 8-4: Gewässergüte- und Abflusspegel an der Schwarzen Elster.

Die Analysen des StUFA Bautzen wurden nicht in die Untersuchungen einbezogen. Insgesamt standen demzufolge 15 Messstellen an denen mindestens monatliche Schwebstoffmessungen erfolgten, für die Betrachtung des Schwebstoffhaushaltes der Schwarzen Elster zur Verfügung (Anlage 2; Band 2, Anhang C und F). Für die Abschätzung der Schwebstoffjahresfrachten können an der Schwarzen Elster die Gütemessstellen Senftenberg, Biehlen (Bp Biehlen 1), Lauchhammer (Bp Lauchhammer), Bad Liebenwerda (Bp Bad Liebenwerda), Löben und Gorsdorf (Bp Löben) genutzt werden (Tab. 8-4). Die Messstelle Gorsdorf liegt 3,6 km vor der Mündung und quantifiziert den Stoffeintrag der Schwarzen Elster in die Elbe.

Der Messzeitraum und die Messfrequenz variieren zwischen den quantifizierbaren Messstellen, so dass eine direkte Vergleichbarkeit der Schwebstoffjahresfrachten im Längsschnitt der Schwarzen Elster bezogen auf einzelne hydrologische Jahre nur bedingt möglich ist. Es werden demzufolge in ihrer Höhe vergleichbare Abflussjahre zusammengefasst und allgemeine Aussagen zum Schwebstoffhaushalt bezogen auf das Abflussverhalten abgeleitet. Maßgebend ist der mittlere Durchfluss des hydrologischen Jahres in Bezug auf den langjährigen MQ (Tab. 8-3).

8.3.2 Schwebstoffkonzentration

Von 1989 bis 1991 war die Schwarze Elster durch hohe mittlere Schwebstoffkonzentrationen von über 20 mg/l gekennzeichnet (Abb. 8-3). Die Schwebstoffbelastung erfuhr durch die Vielzahl der industriellen und bergbaulich bedingten Einleiter in dem Ballungsgebiet zwischen Ruhland und Elsterwerda einen starken Anstieg bis auf über 40 mg/l, um im weiteren Verlauf wieder auf durchschnittlich 25 – 30 mg/l abzusinken. In den darauffolgenden Jahren ist die mittlere Schwebstoffkonzentration geringer und der Schwebstofflängsschnitt wesentlich ausgeglichener. Die Mittelwerte schwanken geringfügig um 15 mg/l (Abb. 8-3). Kurzfristige Maxima werden zumeist in Verbindung mit Abflussereignissen in Tätzschwitz bzw. in Kleinkoschen erzielt (212 bzw. 228 mg/l). Da diese Extremwerte das arithmetische Mittel der Konzentration an diesen Messstellen ansteigen lässt, ist der typische Schwebstofflängsschnitt nur undeutlich ausgeprägt. Betrachtet man demgegenüber die Medianwerte der Konzentration im Längsschnitt, so wird auch in den 90er Jahren die Rolle des Ballungsgebietes zwischen Ruhland und Elsterwerda durch ein leichtes Ansteigen der Schwebstoffwerte von 6 auf 14 mg/l in dieser Fließstrecke deutlich (Abb. 8-3). Das Ansteigen der Konzentration unterhalb von Arnsnesta wird u.U. durch die Einmündung

des Schweinitzer Fließes verursacht, der zwischen Löben und Gorsdorf mündende Neugraben müsste demgegenüber zu einer Verdünnung führen.

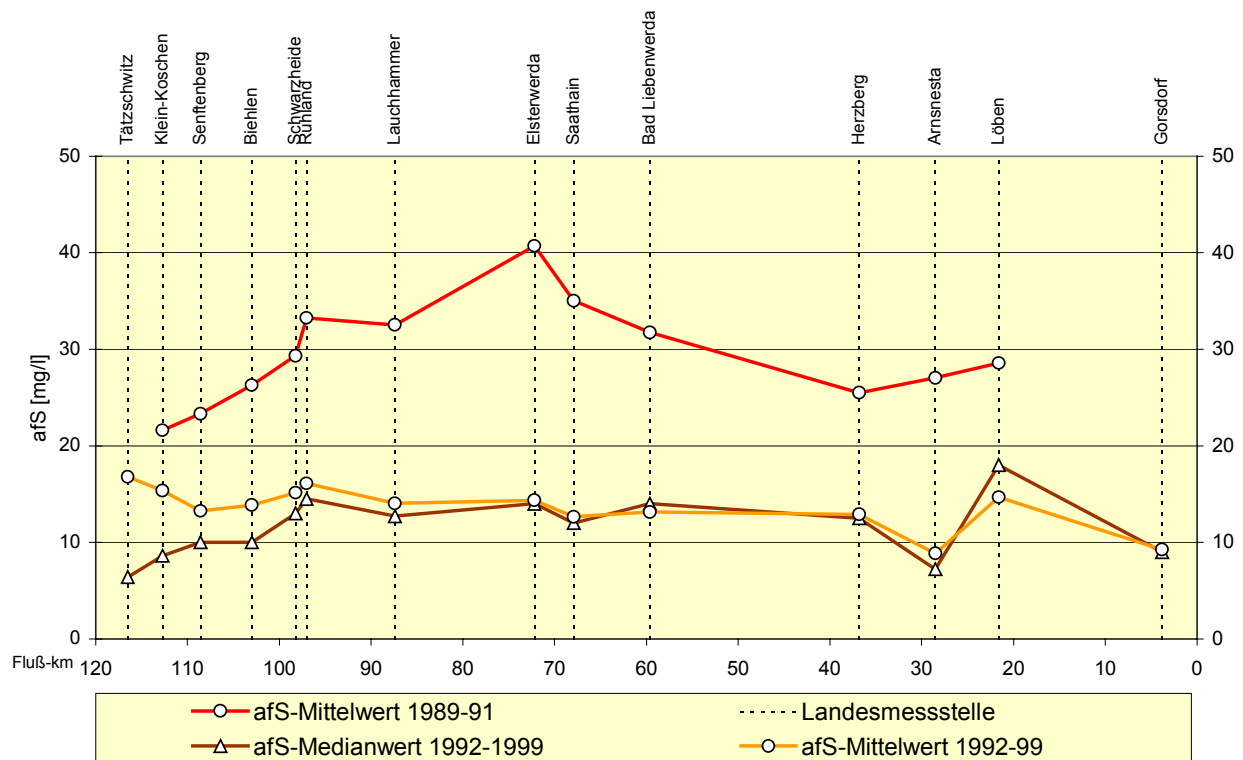


Abb. 8-3: Verlauf der Schwebstoffkonzentration im Längsschnitt der Schwarzen Elster getrennt nach dem Beobachtungszeitraum vor 1991 und 1992-1999 unter Verwendung des arithmetischen Mittels und des Medianwertes.

Bei der nach Winter- und Sommerhalbjahr getrennten Betrachtung des Schwebstofflängsschnitts der Schwarzen Elster im Zeitraum von 1992 bis 1999 ist eine höhere Schwebstoffkonzentration in den Wintermonaten feststellbar (Abb. 8-4). Eine Begründung dafür könnten die höheren winterlichen Durchflüsse sein. Die Überprüfung der Jahrgänge der Schwebstoffkonzentration an den einzelnen Messstellen erbrachte jedoch keinen signifikanten Jahresverlauf, der eine typische Abhängigkeit vom Abflussgeschehen oder von der Bioproduktion erkennen ließe. Der gemittelte Jahrgang der Schwebstoffgehalte im Beobachtungszeitraum lässt nur eine schwache, mathematisch jedoch nicht belegbare, hydraulische Abhängigkeit in den Monaten von Oktober bis März, bzw. einen geringen Einfluss der Bioproduktion im Juli/August erkennen (Abb. 8-5). Für letztgenanntes spricht, dass z.B. im Jahr 1997 die Phytoplanktonentwicklung in der Schwarzen Elster als ausgeglichen charakterisiert wird und nur im Juli/August ein Maximum von geringem Ausmaß zu registrieren war (LAU Sachsen-Anhalt 1997). Zudem treten kaum untereinander vergleichbare Jahrgänge der Schwebstoffkonzentration an den Messstellen in der Schwarzen Elster auf (Band 2, Anhang F).

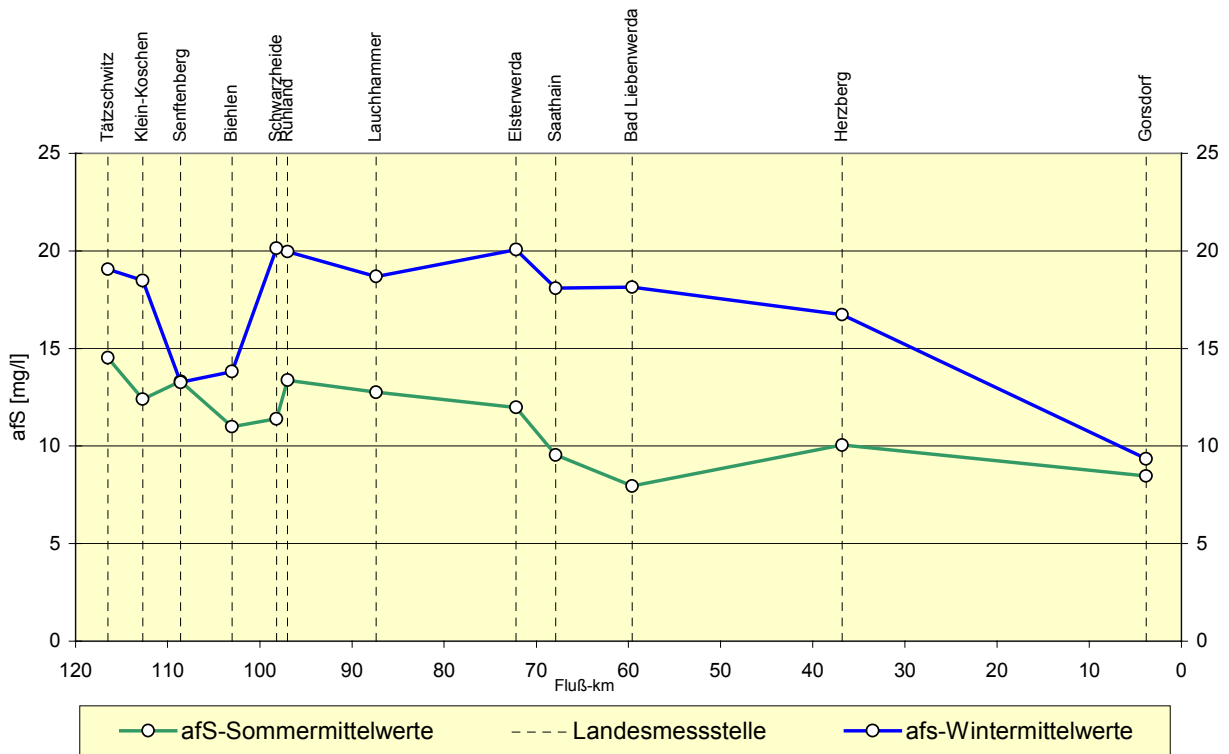


Abb. 8-4: Verlauf der mittleren Schwebstoffkonzentration im Längsschnitt der Schwarzen Elster getrennt nach Sommer- und Winterhalbjahr.

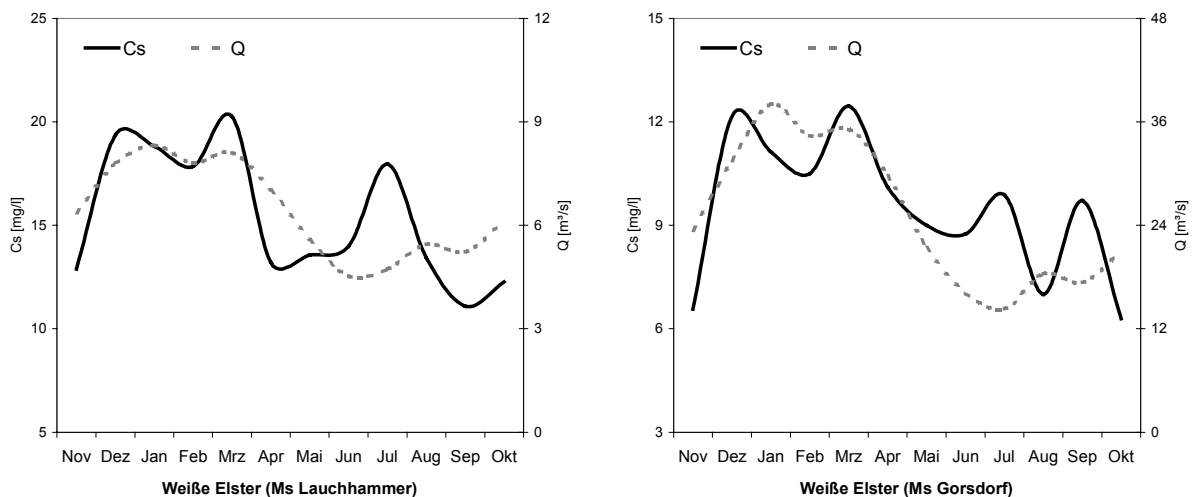


Abb. 8-5: Beispielhafter Verlauf des mittleren Jahresgangs der Schwebstoffkonzentration an der Ms Lauchhammer und des Abflusses am Bp Lauchhammer.

8.3.3 Schwebstofffracht

Die täglichen Schwebstofffrachten im abflussarmen hydrologischen Jahr 1990 wurden durch die hohen Schwebstoffgehalte bestimmt. Im Oberlauf der Schwarzen Elster bei Senftenberg

traten tägliche Frachten von durchschnittlich 5 t/d und maximal 22 t/d auf, wobei ein ursächlicher Zusammenhang mit dem Abflussjahresgang nicht vorhanden war. Die Schwebstofflast nahm flussabwärts zu, so dass in Bad Liebenwerda schon Tagesfrachten von 39 t/d charakteristisch waren. Die Abflussabhängigkeit war hier ebenfalls nicht ausgeprägt. Die aus diesem Zeitraum geschätzten Jahresfrachten variieren im Oberlauf zwischen 2 - 2,1 kt und stiegen bis zur Messstelle Löben auf 12 - 13,4 kt an (Abb. 8-6). Da die Messstelle Gorsdorf zu diesem Zeitpunkt noch nicht betrieben wurde, sind die für Löben berechneten Werte als Minimum des Materialeintrags in die Elbe zu werten.

Im Beobachtungszeitraum von 1992 – 1998 erreichten die täglichen Frachten in mittleren Abflussjahren auf der Höhe von Senftenberg und Biehlen durchschnittlich 3 t/d und steigen bis zur Mündung in Gorsdorf auf 24 t/d an. Im Dezember 1999 wurde ein Hochwasserereignis in auflaufender Welle durch die Messungen von Senftenberg bis Bad Liebenwerda erfasst. Die in diesem Zusammenhang ansteigende Schwebstoffkonzentration bewirkte in Senftenberg bzw. Biehlen Tagesfrachten von 20 bzw. 25 t/d, die 50 km stromab in Bad Liebenwerda auf 148 t/d anwuchsen. Dieses Ereignis belegt, dass kurzfristige Hochwasserereignisse auch in mittleren Abflussjahren in der Schwarzen Elster zu einer exponentiell erhöhten Schwebstofffracht führen können. Die für mittlere Abflussjahre berechneten Schwebstofffrachten steigen im Längsschnitt des Flusses kontinuierlich an. Im Oberlauf sind demzufolge Werte von 1 kt charakteristisch, während der Schwebstoffeintrag in die Elbe zwischen 8,7 bis 9,8 kt liegt (Abb. 8-6). Der anthropogene Belastungsschwerpunkt der Schwarzen Elster zwischen Ruhland und Elsterwerda schlägt sich auch in den auf die Fläche des Einzugsgebietes bezogenen Frachten nieder. So ist der Stoffaustrag an der Messstelle Lauchhammer mit durchschnittlich 3 t/km² gegenüber den anderen Messstellen (ca. 1,5 t/km²) deutlich erhöht (Band 2, Anhang F).

Der Beobachtungszeitraum von 1992 – 1998 ist durch 4 als trocken zu beschreibende Abflussjahre gekennzeichnet. Die gemessenen Tagesfrachten schwanken in diesen Jahren nur geringfügig. In Senftenberg wurden etwa 1-2 t/d, in Bad Liebenwerda 8-11 t/d und in Gorsdorf 14-15 t/d bestimmt. Die Schwebstoffjahresfrachten erreichen in etwa 40 bis 50 % dessen, was in mittleren Abflussjahren erzielt wird (Abb. 8-6). Das hydrologische Jahr 1990 ist ebenfalls als abflussarmes Jahr zu bezeichnen, die Schwebstofflast der Schwarzen Elster war jedoch 3-4 mal höher als es dem heutigen Bild in vergleichbar niedrigen Abflussjahren entspricht. Dies dokumentiert wiederum die erhöhten stofflichen Belastungen im Zeitraum vor 1991 (Abb. 8-6).

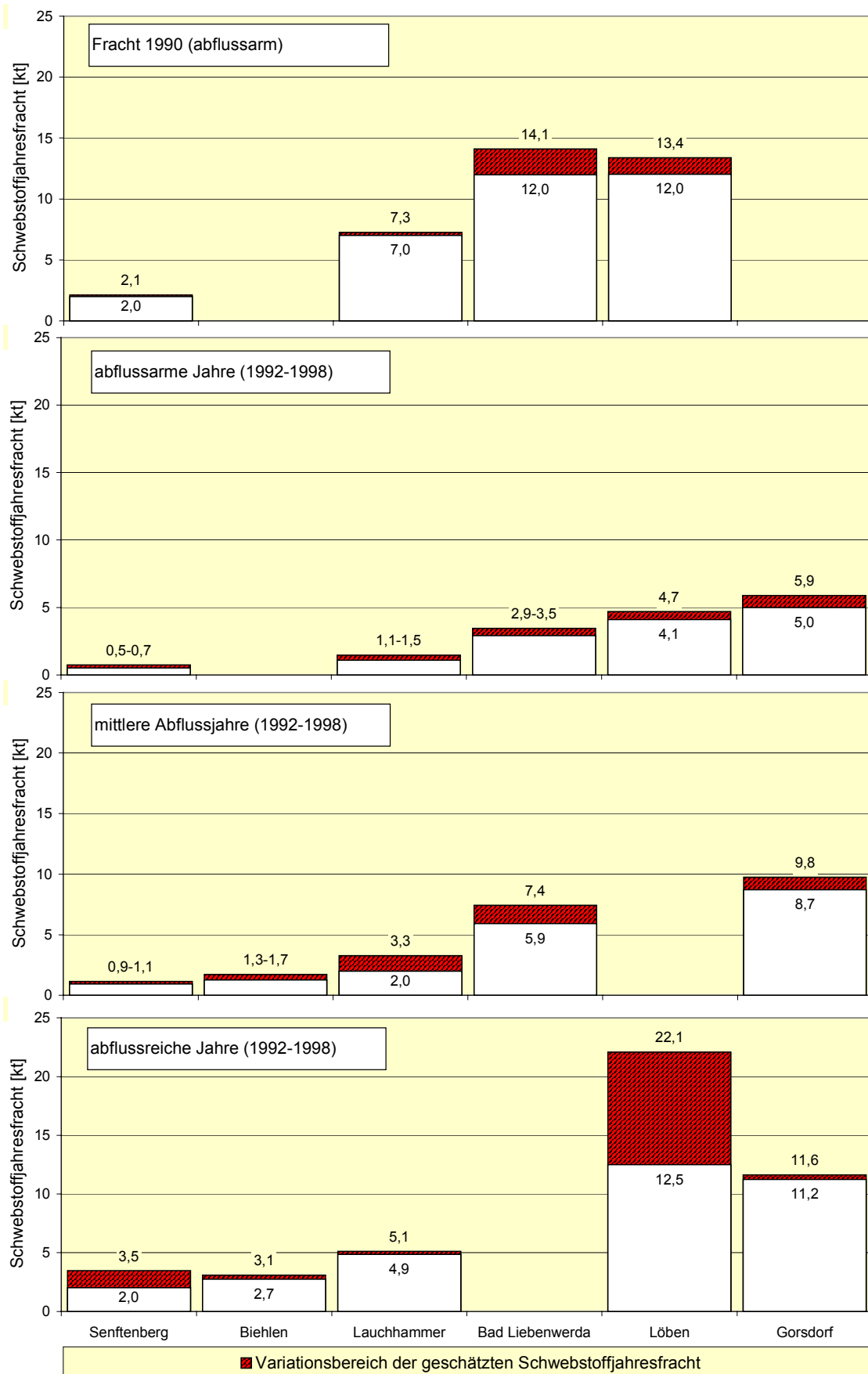


Abb. 8-6: Schwebstoffjahresfrachten [kt] im Längsschnitt der Schwarzen Elster im Jahr 1990 (abflussarm), sowie in abflussarmen, mittleren und abflussreichen Jahren im Zeitraum von 1992 bis 1998.

In den abflussreichen Jahren 1994 und 1995 traten in der Schwarzen Elster an allen Messstellen die Maxima der täglichen Schwebstofffrachten im Beobachtungszeitraum auf. Da in den hydrologischen Jahren von 1991 bis 1993 nur etwa 50 % des MQ realisiert wurden, verursachte vor allem das Hochwasserereignis im Frühjahr 1994 hohe Schwebstoffkonzentrationen und demzufolge auch hohe Schwebstofffrachten in der Schwarzen Elster. Im März und April wurden z.B. am Bezugspegel Biehlen 1 Abflussspitzen von 20 bzw. 26 m³/s registriert. Diese Werte kennzeichnen ein HQ-Ereignis. Die in der auflaufenden Hochwasserwelle gemessenen Schwebstoffkonzentrationen in Senftenberg stiegen von den im Vorfeld typischen 20 mg/l auf 136 mg/l an und erreichten somit den höchsten gemessenen Wert im Untersuchungszeitraum. Daraus resultierte eine Tagesfracht von 187 t/d (Band 2, Anhang F). Es ist zu vermuten, dass der rasche Anstieg der Konzentration durch das auflaufende Hochwasser bewirkt wird und den Scheitelpunkt der Schwebstoffwelle markiert (Hysterese-Effekt). Unter der Annahme, dass die in den beiden Hochwasserwellen im April und Mai aufgetretenen Tagesfrachten während der gesamten Dauer der Ereignisse (12 Tage) anhielten, wurden in dieser Zeitspanne 1750 t Schwebstoff transportiert. Die berechnete Jahresfracht liegt höchstens bei 3500 t (Abb. 8-6). Dies würde bedeuten, dass in nur 3% des Zeitraumes eines Jahres 50 % der Schwebstoffjahresfracht realisiert wurden. Die geschätzten Variationsbereiche der Schwebstofffrachten sind in abflussreicheren Jahren aufgrund von kurzfristigen Hochwasserereignissen, die nicht durch Messungen erfasst wurden, aber hohe Frachten erzielen können, mit größeren Unsicherheiten behaftet, als in abflussarmen oder mittleren Abflussjahren.

8.4 Schwebstoffeintrag der Schwarzen Elster in die Elbe

Der Schwebstoffeintrag der Schwarzen Elster in die Elbe kann über die Messstelle Gorsdorf für den Beobachtungszeitraum von 1994 bis 1998 angegeben werden. Aufgrund fehlender Messwerte für die Jahre vor 1994 wird die Messstelle Löben herangezogen. Diese liegt allerdings 21,6 km vor der Mündung und berücksichtigt nicht den Einfluss des Schweinitzer Fließes und des Neugrabens. Die angegebenen Frachten sind daher als Mindestmenge des Eintrags zu bewerten. Wie zuvor dargelegt, wird die Höhe der Schwebstofffracht ab 1992 in erster Linie durch die Höhe des Abflusses bestimmt. Vergleicht man die beiden abflussarmen Jahre 1990 und 1997, was aufgrund der unterschiedlichen Messstellen zwar nur bedingt möglich ist, so wird deutlich, dass der Schwebstoffeintrag der Schwarzen Elster durch die verbesserte ökologische Situation mehr als halbiert wurde (Abb. 8-7). Unter den

gegenwärtigen Bedingungen trägt die Schwarze Elster in abflussarmen 3 - 6 kt, in mittleren 8 - 10 kt und in abflussreichen Jahren 11 - 12 kt Schwebstoff in die Elbe ein (Abb. 8-7).

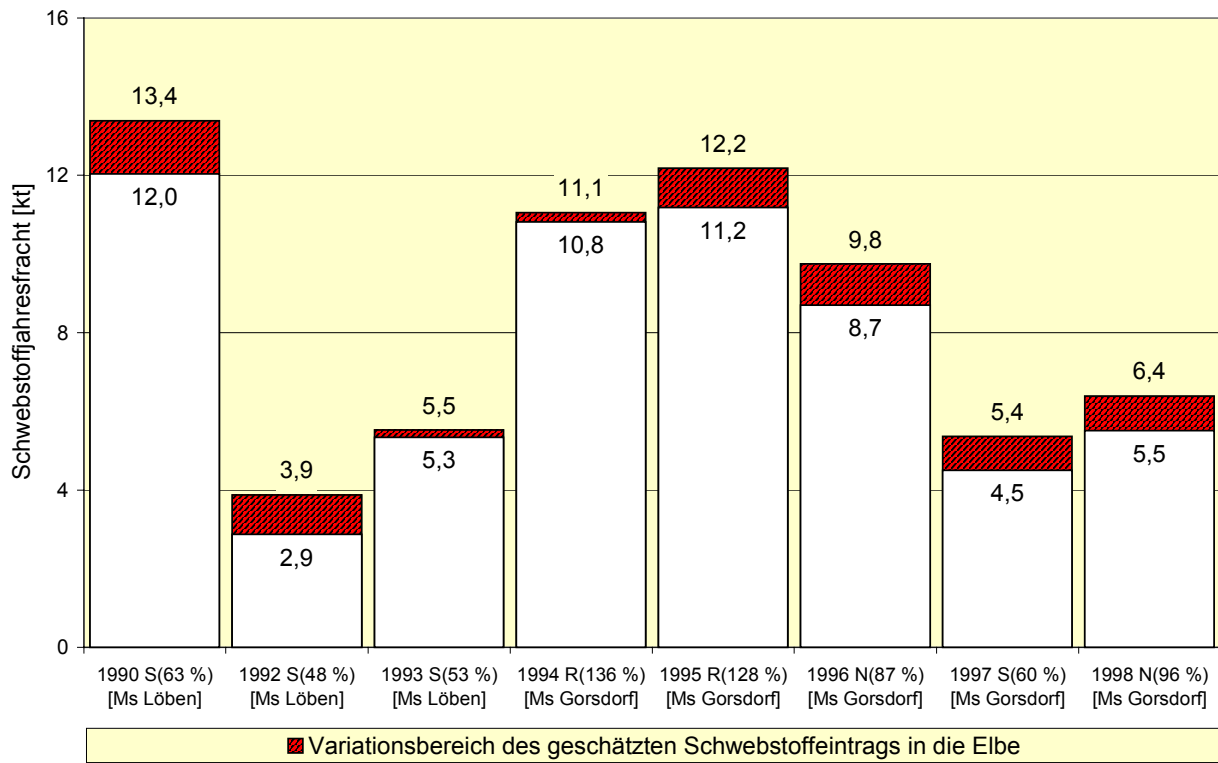


Abb. 8-7: Schwebstoffeintrag der Schwarzen Elster in die Elbe von 1990 bis 1998 (S=abflussarm, N=mittleres Abflussjahr, R=abflussreich unter Angabe des prozentualen Verhältnisses von $MQ_{\text{Messjahr}}/MQ_{\text{langjährig}}$ in Prozent).

Zu bemerken ist weiterhin, dass sich die festgestellten höheren Schwebstoffkonzentrationen im Winterhalbjahr auch auf die Frachten niederschlagen. So erreicht der Schwebstoffeintrag der Schwarzen Elster in die Elbe im Sommerhalbjahr nur durchschnittlich 55 % der winterlichen Schwebstofffracht. Für die berechneten Jahresfrachten von 1994 bis 1998 ergibt sich an der Messstelle Gorsdorf ein deutlicher (ZANKE, 1995) linearer Zusammenhang zur Höhe des MQ des Messjahres mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,91 (Band 2, Anhang F).

8.5 Mündungsnaher Sohlbeschaffenheit und Feststofftransport in der Schwarzen Elster

Um Erkenntnisse zum Gesamtfeststofftransport im Unterlauf der Schwarzen Elster zu gewinnen, wurden im Profil Gorsdorf (Abb. 8-8) und Löben zu verschiedenen Zeitpunkten Sohlproben entnommen und Geschiebetransportmessungen durchgeführt.



Schwarze Elster
Brücke Gorsdorf
-stromaufwärts-

Photo 1
30.09.1999 freifließend



Photo 2
20.03.2000 Rückstau

Abb. 8-8: Messprofil Brücke Gorsdorf an der Schwarzen Elster.

8.5.1 Sohlbeschaffenheit

Das Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (1997) charakterisiert die Sohle der Schwarzen Elster von Jessen bis zur Mündung als strukturarm und homogen. Dies kann für den Bereich Gorsdorf bestätigt werden. Das Sohlsubstrat setzt sich zu 70 – 85% aus

Mittelsand zusammen, nur vereinzelt sind feinkiesige Anteile am Sohlaufbau beteiligt (Abb. 8-9).

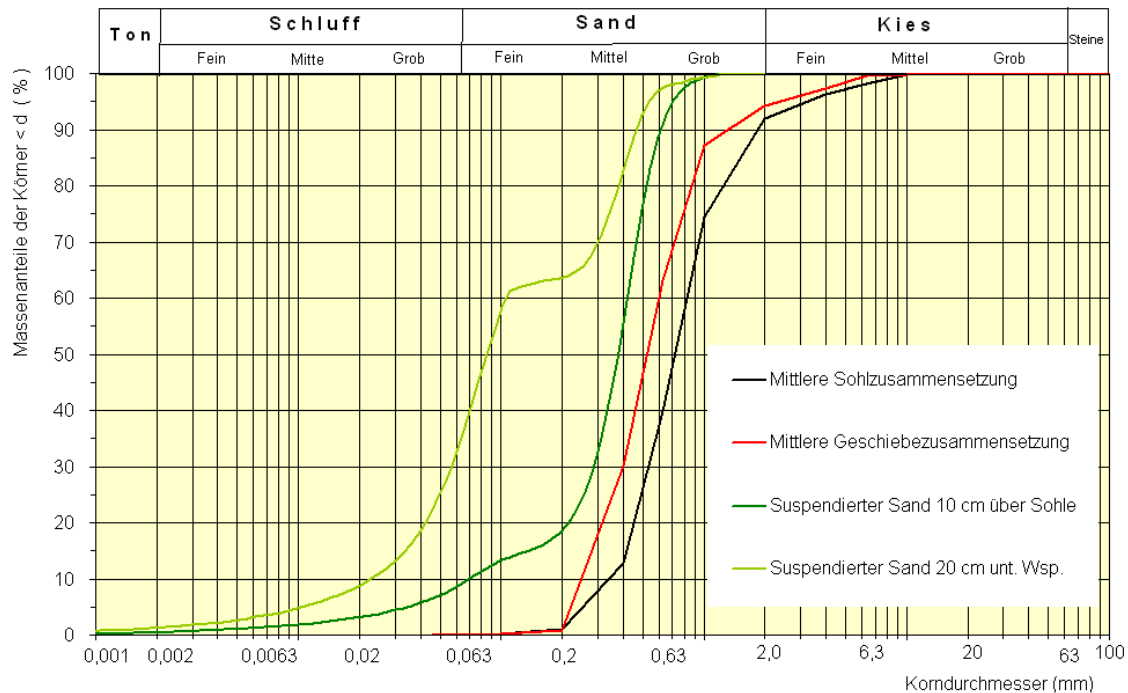


Abb. 8-9: Mittlere Sohl- und Feststoffbeschaffenheit in der Schwarzen Elster (Ms Gorsdorf).

8.5.2 Suspenderter Sand

Im Frühjahr 2000 wurde stichprobenartig der Verlauf des Hochwassers in der Schwarzen Elster verfolgt und die Menge des in Suspension transportierten Sandes sowie dessen Korngrößenzusammensetzung bestimmt. Es wird deutlich, dass bei höheren Durchflüssen in Sohlhöhe Mittelsand, bei geringeren Abflüssen jedoch feinsandiges Material transportiert wird (Tab. 8-5).

Messprofil	Messdatum	Messpunkt	Abfluss [m³/s]	C _{suSa} [mg/l]	Organische Substanz [%]	Korngrößenparameter		
						d _m [µm]	d ₅₀ [µm]	d ₉₀ [µm]
Mündung	09.05.00	10 cm ü. S.	9,43	19	34,6	47	48	80
Gorsdorf	09.05.00	20 cm u. Wsp.	9,43	36	30,3	56	58	95
Gorsdorf	09.05.00	10 cm ü. S.	9,43	48	34,6	192	189	367
Gorsdorf	04.04.00	20 cm u. Wsp.	43,0	7	8,0	328	343	538
Gorsdorf	04.04.00	50 cm ü. S.	43,0	39	3,1	406	396	586
Gorsdorf	04.04.00	10 cm ü. S.	43,0	489	0,9	464	443	626
Löben	20.03.00	10 cm ü. S.	69,8	613	3,7	464	439	701

Tab. 8-5: Konzentration und Eigenschaften des suspendierten Sandes in der Schwarzen Elster in Abhängigkeit von der Abflusshöhe.

Die Konzentration des suspendierten Sandes nimmt erwartungsgemäß zur Gewässersohle zu, wobei der Anstieg bei Hochwasserereignissen exponentiell ist und ein Gehalt von über 600 mg/l in Sohlhöhe erreicht werden kann. Der Anteil der Organischen Substanz in der Fraktion $> 63 \mu\text{m}$ verhält sich demgegenüber umgekehrt proportional, was auf Verdünnungseffekte durch die Zunahme der mineralischen Komponente zurückzuführen sein dürfte (Abb. 8-10). Von Interesse ist, dass die zu diesem Zeitpunkt in der fließenden Welle gemessenen Schwebstoffkonzentrationen an den Messstellen Gorsdorf und Löben bei weitem nicht die Höhe von 100 mg/l überschreiten, demzufolge wesentlich höhere sohlnahe Schwebstofftransporte nicht erfasst werden.

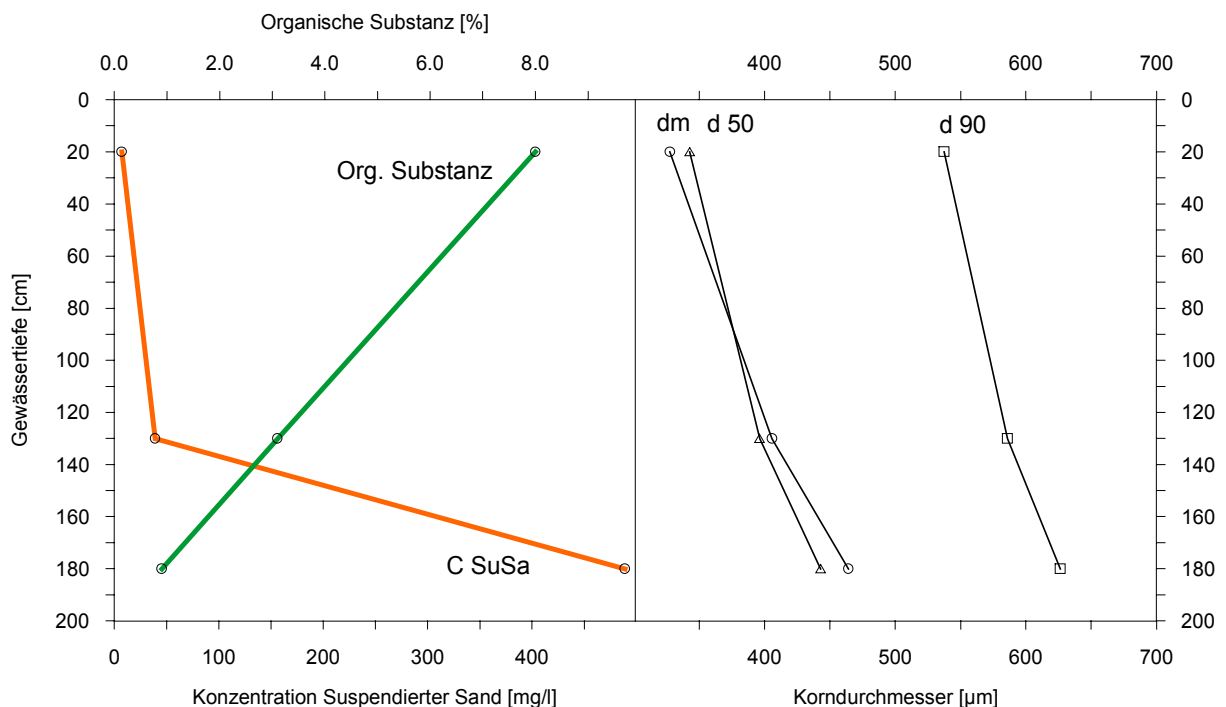


Abb. 8-10: Vertikale Tiefenprofile des suspendierten Sandes, der organischen Substanz und der Korngrößenparameter am Messprofil Löben am 04.04.2000.

8.5.3 Geschiebetransport

Aus den sporadischen Messungen, die in der Schwarzen Elster zum Geschiebetransport durchgeführt wurden lassen sich keine Aussagen zum Geschieberegime in Mündungsnähe ableiten. Es kann jedoch festgestellt werden, dass an den Messterminen immer Material, wenn auch in kleinen Mengen, über die Sohle transportiert wurde (Abb. 8-11). Entsprechend der Sohlzusammensetzung ist in erster Linie die Mittelsandfraktion am Geschiebetrieb beteiligt (Abb. 8-9). Am 20.03.2000 konnten im Messprofil Löben auch Feinkies (Fangkorb BfG 1,2 mm) nachgewiesen werden.

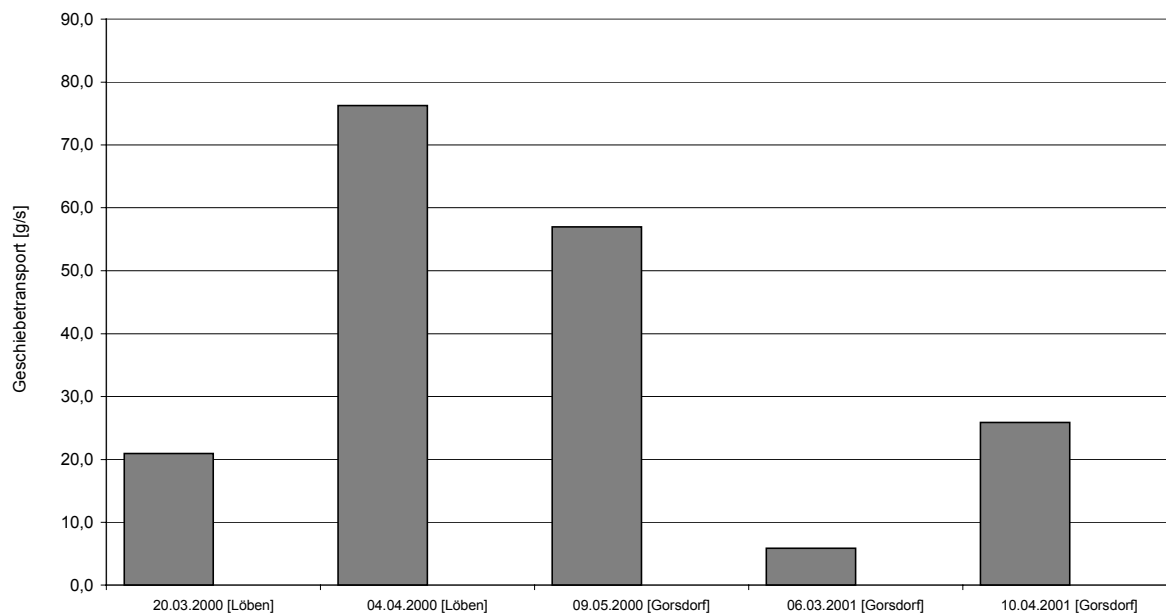


Abb. 8-11: Geschiebetransport in den Messprofilen Gorsdorf und Löben in der Schwarzen Elster.

9 Nebenflussgebiete (< 3000 km²) der Oberen Mittelelbe

Das Zwischeneinzugsgebiet der Oberen Mittelelbe zwischen der Mündung der Schwarzen Elster und der Havel ist ohne die Einzugsgebietsgröße dieser Nebenflüsse zu berücksichtigen 36753,6 km² groß (Meteorologischer Dienst der DDR, 1968). Auf diesem ca. 240 km langem Elbeabschnitt münden in etwa 72 (ARGE ELBE, 2001) Nebengewässer unterschiedlichster Größe in den Hauptstrom. Allein die Flussgebiete der Saale und der Vereinigte Mulde bilden über 85 % des Zwischeneinzugsgebietes und werden aufgrund ihrer maßgeblichen Bedeutung für diesen Elbeabschnitt in gesonderten Kapiteln besprochen (Tab. 9-1).

Nebenfluss	Mündung		Nebenflusseinzugsgebiet		
	Position	Elbe-km	> 3000 km ²	< 3000 km ²	Weitere
<i>Havel (Gnevsdorfer Vorfluter)</i>		438,0			
Mittlere Elbe	Tanger	links	388,2		480
	Ohre	links	350,3		1747
	Ehle	rechts	336,7		539
	Klinke	links	324,8		49
	Sülze (1. Mündung)	links	319,8		134
	Sollkanal	links	311,3		159
	Nuthe	rechts	296,4		566
Saale	links	290,8	24079		
Vereinigte Mulde	links	259,6	7400		
Obere Elbe	Rosel	rechts	257,8		194
	Olbitz(graben)	rechts	252,3		40
	Flieth, Fließgraben	links	242,0		239
	Rieschebach	rechts	224,0		103
	Zahna	rechts	218,0		186
	Wiesengraben/bach	rechts	199,5		164
<i>Schwarze Elster</i>		198,5			
Gesamtgröße Zwischen EZG			Größe der Teilgebiete		
[km ²]	36753,6		31479,1	4599,7	674,8
[%]	100		85,6	12,6	1,8

Tab. 9-1: Lage und Größe der wichtigeren Nebenflussgebiete an der Oberen Mittelelbe zwischen der Mündung der Schwarzen Elster und der Havel (Meteorologischer Dienst der DDR, 1968; ARGE ELBE, 2001).

Neben diesen größeren (> 3000 km²) Einzugsgebieten wurden die Ohre aber auch weniger bedeutende Nebengewässer in die Untersuchungen zum Feststoffhaushalt der Elbenebenflüsse einbezogen (Tab. 9-1, Abb. 9-1). Aufgrund der Gewässergüteuntersuchungen des StAU Magdeburg ist es möglich, konkrete Aussagen zum Schwebstoffhaushalt der Nebenflüsse Nuthe, Solkanal, Ehle, Sülze, Ohre und Tanger (Anlagen 3 bis 6) zu treffen.



Abb. 9-1: Ausgewählte Nebenflüsse der Oberen Mittelelbe zwischen der Mündung der Schwarzen Elster und der Havel.

9.1 Langjähriges Abflussverhalten und hydrologisches Geschehen im Beobachtungszeitraum

Der Abflusscharakter der Elbenebengewässer (< 3000 km²) an dem Elbeabschnitt zwischen km 198,5 und 438,0 wird durch das Topino-Regime geprägt, welches durch den abflussreichsten Doppelmonat Februar und März und durch ein sommerliches Abflussminimum bei geringer Austrocknung gekennzeichnet ist (Abb. 9-2) (MARCINEK, 1991).

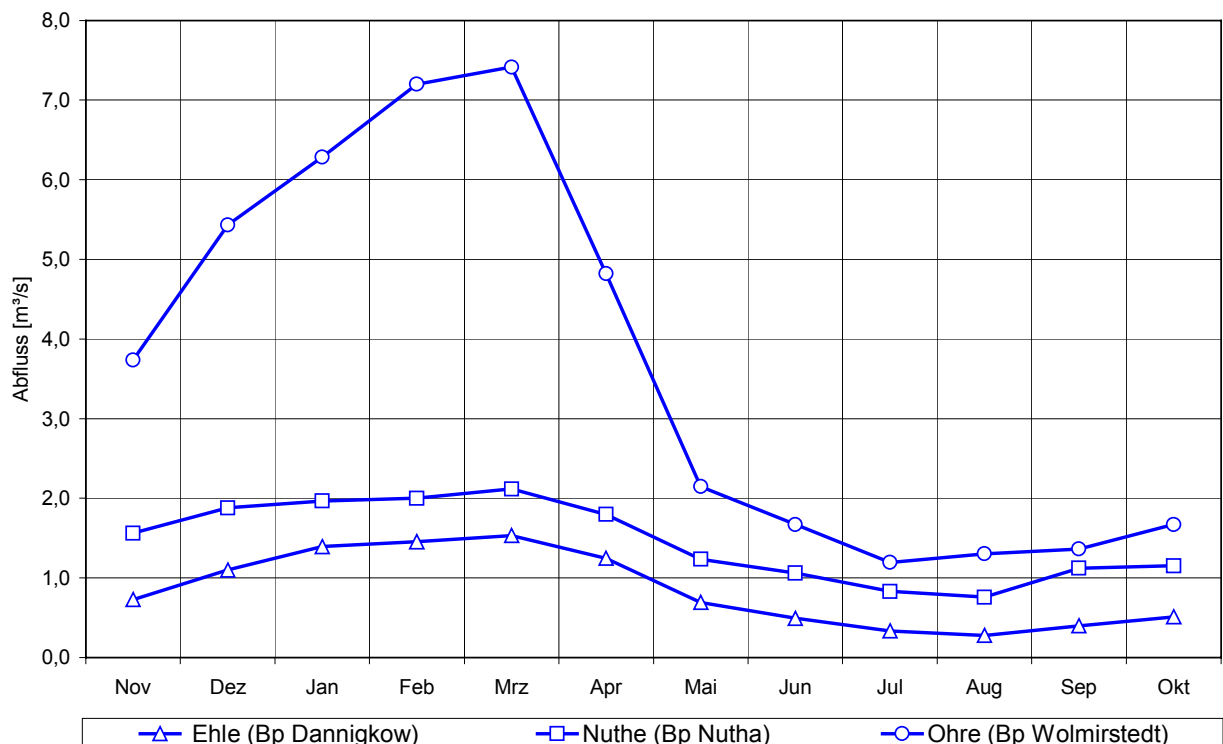


Abb. 9-2: Mittlerer Jahresgang des Abflusses der Ehle (Bp Dannigkow), der Nuthe (Bp Nutha) und der Ohre (Bp Wolmirstedt).

Der mittlere Durchfluss an den Pegeln der Nebenflüsse mit einem EZG < 3000 km² an der Oberen Mittelelbe liegt zwischen 4,2 (Ohre) und weniger als 2 m³/s und ist als geringfügig einzustufen (Tab. 9-2). Dies wird durch einen Vergleich mit dem mittleren Durchfluss der Elbe besonders deutlich. Dieser beträgt am Pegel Aken 437 m³/s und nach der Einmündung der Saale am Pegel Barby 556 m³/s (HELMS M. et. al., 2000), wodurch ersichtlich wird, dass der Einfluss der kleineren Nebenflussgebiete auf das hydrologische Geschehen in der Oberen Mittelelbe auch in seiner Gesamtheit zu vernachlässigen ist. Für den Tanger stand dem Projekt nur die Abflussreihe von 1997 bis 1999 zur Verfügung, so dass die hydrologischen Hauptwerte für den Pegel Demker aufgrund der Kürze der Beobachtungszeitraums nicht mit der erforderlichen statistischen Signifikanz belegt sind.

Gewässer	Pegel	Quelle	A _{EO}	PNP NN	NQ	MNQ	MQ	MHQ	HQ
			[km ²]	[m]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
Tanger	Demker	StAU Magb.	k. A.	k. A.	0,07	0,107	1,195	5,53	12,04
Ohre	Wolmirstedt	DGJ 1993	1503	40,28	0,08	0,649	4,22	17,3	40,3
	Calvoerde	DGJ 1993	732	52,02	0,01	0,485	3,03	11,6	22,2
Ehle	Dannigkow	DGJ 1993	260	51,7	0,01	0,17	1	5,48	16,2
Nuthe	Nutha	DGJ 1993	509	54,61	0,13	0,58	1,63	5,3	12,5

Tab. 9-2: Hauptzahlen der Pegel Demker, Dannigkow und Nutha.

Bezogen auf den Untersuchungszeitraum von 1989 bis 2000 unterscheidet sich das Abflussverhalten der Nebenflüsse geringfügig voneinander, was sich weniger im Abflussgang sondern in dem relativen Verhältnis des jeweiligen mittleren Jahresabflusses (MQ_{MJ}) zum langjährigen Mittel (MQ) niederschlägt (Abb. 9-3).

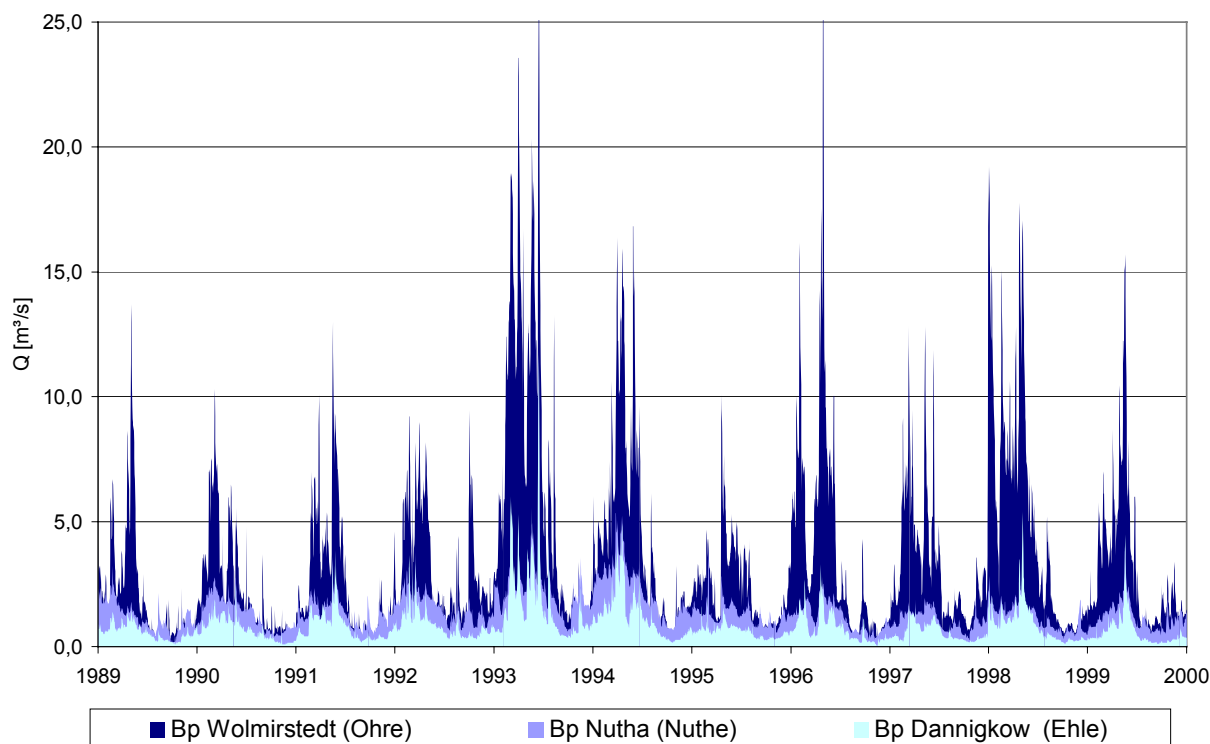


Abb. 9-3: Das Abflussgeschehen im Beobachtungszeitraum von 1989 bis 1999 in der Nuthe (Bp Nutha), der Ehle (Bp Dannigkow) und in der Ohre (Bp Wolmirstedt).

So führten die geringen Niederschlagsmengen im Elbegebiet zu Beginn der 90er Jahre auch in der Ohre, der Nuthe und der Ehle zu geringen mittleren jährlichen Abflüssen, wobei auch keine kurzfristigen Hochwasserereignisse auftraten. Der sommerlichen Austrocknung durch Verdunstungsverluste unterlagen vor allem die Ohre und die Ehle, wodurch in diesem Zeitraum eher abflussarme Jahre zu verzeichnen waren (Tab. 9-3). Anscheinend weniger

betroffen war der Wasserhaushalt der Nuthe, so dass die sommerlichen Durchflüsse in dieser Periode noch über denen der Ohre lagen (Abb. 9-3, Tab. 9-3). Die hydrologischen Abflussjahre können daher als etwas feuchter eingeschätzt werden. Diese jedoch insgesamt abflussarme Periode wurde erst durch 2 ausgeprägte, lang anhaltende Hochwasserwellen im Winter des Jahres 1994 unterbrochen, wobei der langjährige MHQ an allen Pegelmessstellen der 3 Nebenflüsse mehrfach überschritten wurde. Dies führte auch zu einer signifikanten Überschreitung des mittleren jährlichen Durchflusses um über 60 % an der Ehle und der Ohre sowie um über 40 % an der Nuthe. (Abb. 9-3, Tab. 9-3). Als weitgehend abflussarm sind die sich anschließenden Jahre von 1996 bis 1999 in der Ehle und der Nuthe zu charakterisieren. Bis auf das Jahr 1996, welches auch durch trockenere Verhältnisse gekennzeichnet war, traten in der Ohre demgegenüber relativ ausgeglichene mittlere jährliche Abflüsse auf. Der höchste im Untersuchungszeitraum in diesen 3 Flussgebieten gemessene Durchfluss von 28,9 m³/s wurde während eines kurzfristigen Hochwasserereignisses am 27.02.1997 in der Ohre am Pegel Wolmirstedt registriert.

Gewässer	Pegel	Abflussarme Jahre	Mittlere Abflussjahre	Abflussreiche Jahre
		MQ _{M,J} /MQ < 80 %	MQ _{M,J} /MQ 80 - 120 %	MQ _{M,J} /MQ > 120 %
Ohre	Wolmirstedt	1990 (51,4)	1995 (110,2) 1997 (99,6) 1998 (81,7)	1994 (166,9) 1999 (120,6)
		1991 (56,6)		
		1992 (62,6)		
		1993 (77,4)		
		1996 (58,2)		
Ehle	Dannigkow	1991 (69,3)	1993 (87,5) 1999 (89,1)	1994 (165,3) 1995 (125,8)
		1992 (79,3)		
		1996 (62,0)		
		1997 (74,0)		
		1998 (58,1)		
Nuthe	Nutha	1990 (74,4)	1991 (83,3) 1992 (83,3) 1993 (99,0)	1994 (146,6) 1995 (142,5)
		1996 (79,8)		
		1997 (73,8)		
		1998 (67,3)		
		1999 (75,5)		

Tab. 9-3: Einordnung der Abflussjahre im Beobachtungszeitraum gemessen am Verhältnis des mittleren Jahresabflusses zum MQ des Beobachtungszeitraumes in [%].

9.2 Entwicklung der Gewässergüte im Beobachtungszeitraum

Die **Nuthe** entwässert einen Teil des südlichen Flämings und mündet am Elbe-km 296,4 (Tab. 9-1) nur wenige Kilometer unterhalb der Saale rechtsseitig in die Elbe (Anlage 3). Hauptzuflüsse sind die Boner, die Grimmer und die Lindauer Nuthe, wobei vor allem die Letztgenannte aufgrund ihres starken Ausbaus und der Belastungen aus der Landwirtschaft zur Beeinträchtigung des Hauptgewässers beiträgt. Durch die Inbetriebnahme der Kläranlage

Zerbst im Jahr 1995 konnte eine wesentliche Belastungsquelle im EZG beseitigt werden, so dass die Nuthe seit 1997 in die Gewässergüteklasse II eingestuft wird (LAU Sachsen-Anhalt, 1997; LAWA, 2002).

Der **Solkanal** ist in seinem gesamten Verlauf stark ausgebaut, wobei die Sohlbeschaffenheit durch Sapropelite charakterisiert ist. Die Dodendorfer **Sülze** war zu Beginn der 90er Jahre kritisch belastet (STAU Magdeburg, 1991).

Das EZG der **Ehle** (Anlage 4) ist vornehmlich durch eine landwirtschaftliche Nutzung geprägt. Sandig kiesige Abschnitte treten aufgrund von Begradigungen und Stauhaltungen nur noch untergeordnet auf. Die Gewässergüte an der Mündung konnte in den 90er Jahren von der Klasse II-III auf II verbessert werden (STAU Magdeburg, 1991; LAWA, 2002).

Das Fließgewässerkontinuum der 102 km langen **Ohre** (Anlage 5) ist durch 16 Querbauwerke (IKSE, 2001) unterbrochen, wodurch sich Rückstaubereiche ergeben, in denen Feinmaterial zur Ablagerung kommt. Diese Bereiche zeigen daher bis heute eine Tendenz zur kritischen Belastung, während die freifließenden Abschnitte der Ohre inzwischen in die Gewässergüteklasse II eingestuft werden konnten (LAWA, 2002). Große Teile der Fließstrecke sind außerdem begradigt und weisen keinen Gehölzsaum auf. Aufgrund der fehlenden Beschattung des Gewässers können sich daher großflächige Bestände an submersen Makrophyten herausbilden, welche die Sedimentation von Schwebstoffen begünstigen (STAU Magdeburg, 1991; LAU Sachsen-Anhalt, 1993 und 1997).

Der linksseitig in die Elbe mündende **Tanger** (Anlage 6) weist einen naturfernen Charakter auf. Die Längsdurchgängigkeit ist durch 5 Querbauwerke unterbrochen (ARGE ELBE, 2002). Das landwirtschaftlich intensiv genutzte EZG in der nördlichen Altmark führt zu hohen Belastungen mit pflanzenverfügbaren Nährstoffen, so dass die Gewässerqualität in den 90er nur geringfügig von der Güteklasse II-III zu II verbessert werden konnte (STAU Magdeburg, 1991; LAWA, 2002). Der Tanger mündet über ein Wehr geregelt in den Hafen Tangermünde.

9.3 Schwebstoffhaushalt der Nebenflüsse (EZG < 3000 km²) der Oberen Mittelelbe

9.3.1 Schwebstoffmessstellen

Der Parameter abfiltrierbarer Stoff wird im Rahmen des Landesmessprogramms in Sachsen-Anhalt vom STAU Magdeburg erhoben. Die Messergebnisse, der in unterschiedlicher Frequenz erfolgten Beprobungen, wurden dem Projekt für die angegebenen Beobachtungszeiträume für die Betrachtung des Schwebstoffhaushaltes zur Verfügung gestellt (Tab. 9-4; Band 2, Anhang C und F).

Gewässer	Messstelle	Beobachtungszeitraum		Anzahl Messwerte/a	Bezugspegel	Zuständigkeit
Tanger	Tangermünde	01.1991	12.2000	3 - 15	Demker	StAU Magdeburg
Ohre	Rogätz	01.1989	11.2000	4 - 24	Wolmirstedt (F=1,16)	StAU Magdeburg
	Wolmirstedt	01.1989	11.1999	22 - 26	Wolmirstedt	StAU Magdeburg
	Satuelle	01.1992	12.1999	23 - 26	Calvoerde	StAU Magdeburg
Ehle	Biederitz	01.1991	10.2000	5 - 14	Dannigkow	StAU Magdeburg
Sülze	Salbker Platz	01.1991	11.2000	1 - 10	k. A.	StAU Magdeburg
Sollkanal	Schönebeck	01.1991	12.1999	1 - 7	k. A.	StAU Magdeburg
Nuthe	Walternienburg	01.1993	12.1999	10 - 13	Nutha	StAU Magdeburg

Tab. 9-4: Zur Auswertung herangezogene Gewässergütemessstellen und zugeordnete Bezugspegel.

9.3.2 Schwebstoffkonzentration

Für den Längsverlauf der mittleren jährlichen Schwebstoffkonzentration in der **Ohre** war im vergleichbaren Beobachtungszeitraum von 1993 bis 1999 ein zunächst sukzessiver Anstieg zwischen Satuelle und Wolmirstedt charakteristisch, der sich jedoch nicht in allen Jahren bis zur Mündung in Rogätz fortsetzte (Abb. 9-4). Die Schwankungsintensität der gemessenen Tageswerte an abfiltrierbaren Stoffen zeigte einen ähnlichen Trend mit zunehmender Lauflänge. Während das Schwebstoffminimum an allen 3 Messstellen bei 0,5 bzw. 1 mg/l lag, betrug das Maximum in Satuelle nur 33 mg/l, in Wolmirstedt 79 mg/l und an der mündungsnächsten Messstelle in Rogätz 65 mg/l. Der mittlere jährliche Verlauf der Schwebstoffkonzentration ist in der Ohre weder mit dem Abflussgeschehen verknüpft noch lässt sich ein Bezug zur Höhe der Bioproduktivität vermuten. Auffällig ist jedoch der Trend zu geringeren jährlichen Schwebstoffmittelwerten an der Messstelle Rogätz ab dem hydrologischen Jahr 1993 (Abb. 9-4). Dies könnte mit einer zunehmenden Verringerung der Abwasserbelastung in Zusammenhang stehen, welche sich auch in der Verbesserung der Gewässergüte nach LAWA Klassifikation zeigt.

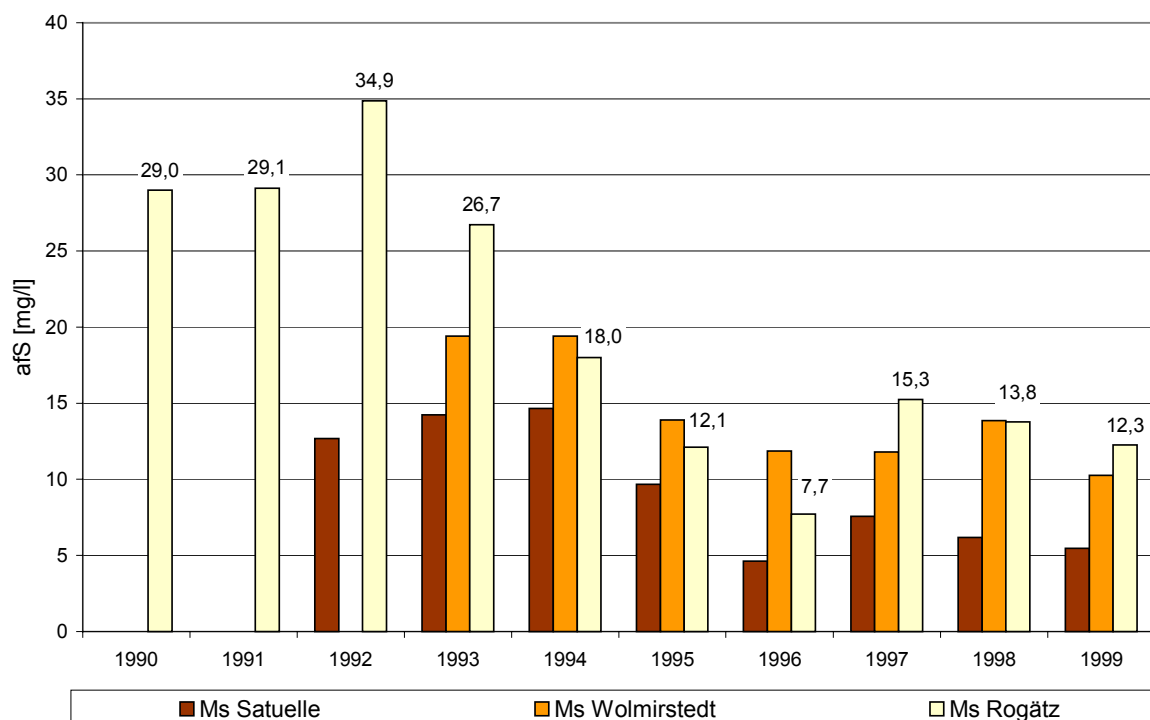


Abb. 9-4: Mittlere jährliche Schwebstoffkonzentration der Ohre an den Messstellen Satuelle, Wolmirstedt und Rogätz im Beobachtungszeitraum.

Die im Beobachtungszeitraum gemessenen Schwebstoffgehalte waren an den 5 untersuchten jeweils mündungsnächsten Messstellen unterschiedlich hohen Schwankungen unterworfen. Am stärksten variierten die Messwerte mit 8 – 220 mg/l im **Solkanal** und mit 2 – 160 mg/l in der **Dodendorfer Sülze**, wobei die Schwebstoffbelastung in der Regel sehr hoch war. Der Median der Schwebstoffkonzentration aller Messwerte beträgt am Solkanal 46,5 mg/l. Von den 183 im Projekt untersuchten Messstellen wies nur noch die Messstelle Elbeu am Mittellandkanal eine höhere Belastung auf. Aber auch die Sülze ist mit 26 mg/l für die Verhältnisse im Elbe-EZG (4.höchster Median aller Messstellen) als außerordentlich schwebstoffreich zu bezeichnen. Demgegenüber weisen der **Tanger** (Med. 8 mg/l), die **Nuthe** (Med. 8 mg/l) und die **Ehle** (Med. 6 mg/l), deren Einzugsgebiete vornehmlich einer landwirtschaftlichen Nutzung unterliegen, wesentlich geringere Gehalte an abfiltrierbaren Stoffen auf. Die Schwankungsbreite der gemessenen Konzentrationen ist vor allem an der Ehle (Ms Biederitz) über den gesamten Zeitraum mit 1 - 23 mg/l sehr gering. Dementsprechend stellen sich auch die mittleren jährlichen Schwebstoffgehalte dar (Abb. 9-5), die im Solkanal und in der Dodendorfer Sülze jeweils am höchsten ausfallen. Eine Entspannung der Belastung ist über den Beobachtungszeitraum nicht zu erkennen. Während die Jahresmittelwerte an den Messstellen Tangermünde (Tanger) und Biederitz (Ehle) keinen direkten Bezug zu dem beschriebenen Abflussgeschehen (Kapitel 9.1) zeigen, treten in den

abflussreichen Jahren 1994 und 1995 an der Messstelle Walternienburg (Nuthe) deutlich höhere Werte auf.

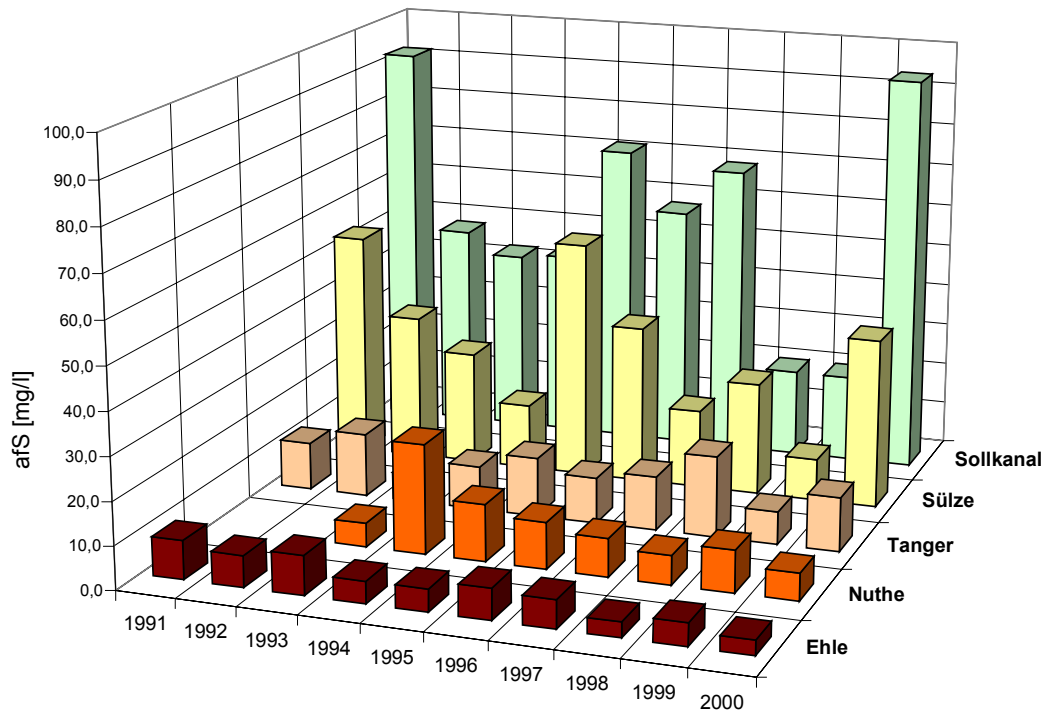


Abb. 9-5: Mittlere jährliche Schwebstoffgehalte an den mündungsnächsten Messstellen der Elbenebenflüsse Ehle, Nuthe, Tanger, Sülze und Sollkanal im angegebenen Beobachtungszeitraum.

Dies wird vornehmlich an dem hydrologischen Jahr 1994 deutlich, da diesem 3 abflussschwache Jahre an der Nuthe vorausgegangen waren und es somit wahrscheinlich ist, dass das kurzfristige Aprilhochwasser Schwebstoffablagerungen aus den Vorjahren mobilisiert hat. Die Durchflussabhängigkeit der Schwebstoffkonzentration in der Nuthe drückt sich auch in dem gemittelten Jahresgang aus. Während der jährliche Konzentrationsverlauf an den Messstellen am Tanger, der Ehle, dem Sollkanal und der Sülze indifferent ist (Band 2, Anhang F), zeigt er an der Messstelle Walternienburg einen deutlich abflussparallelen Jahresgang (Abb. 9-6), was auch mathematisch über die Bildung von Korrelationsbeziehungen über die Abflussklassen belegbar ist. Demnach ergibt sich ein deutlicher (ZANKE, 1995) exponentieller Zusammenhang zwischen dem mittleren Abfluss und dem zugeordneten Mittelwert der Schwebstoffkonzentration (Regression über das Jahr) bzw. Median (Regression über das Sommer- bzw. Winterhalbjahr) in der jeweiligen Abflussklasse (Abb. 9-6).

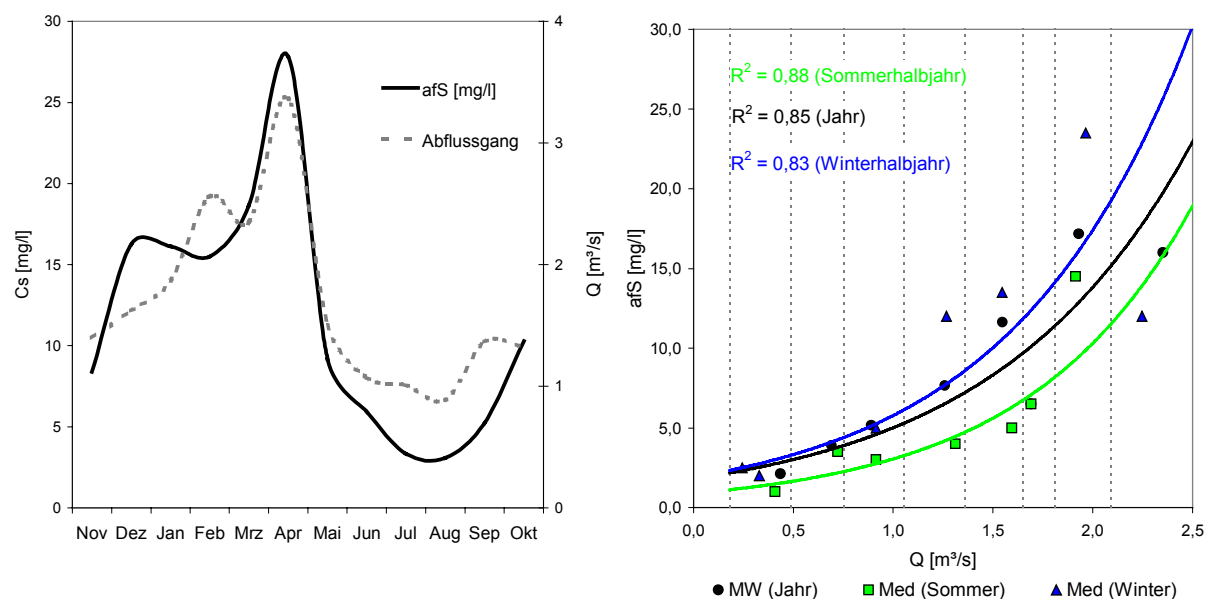


Abb. 9-6: Beziehung zwischen Abfluss und Schwebstoffkonzentration an der Messstelle Walternienburg (Nuthe). Rechte Darstellung mit der Bildung der Schwebstoffmittelwerte (MW) und Mediane (Med) in den jeweiligen Abflussklassen und abgeleiteten Korrelationsbeziehungen.

9.4 Schwebstoffeintrag in die Elbe

Für die Beurteilung des Schwebstoffeintrags der **Ohre** in die Elbe ist die mündungsnächste Messstelle in Rogätz ausschlaggebend. Die Probenahme an dieser Messstelle erfolgte nur bis 1993 in ausreichender Intensität (> 12 Messwerte) und Kontinuität (14-tägig bis monatlich), so dass der Frachteintrag im Zeitraum von 1994 bis 1999 über die mündungsfernere Messstelle in Wolmirstedt abgeschätzt werden musste. Für die Frachtabschätzungen konnten die Abflussreihen der Pegel Calvoerde und Wolmirstedt herangezogen werden, wobei die Quantifizierung der Schwebstoffjahresfracht an der Messstelle Rogätz von 1990 bis 1993 über die einzugsgebietskonforme Berechnung der täglichen Durchflüsse auf der Basis der Abflussreihe des Pegels Wolmirstedt erfolgte. Der verwendete Faktor beträgt 1,16 (1747 km² / 1503 km²).

Im Mittellauf der Ohre an der Messstelle Satuelle traten im Beobachtungszeitraum in der Regel Schwebstoffjahresfrachten von weniger als 1 kt/a auf. In dem abflussreichen hydrologischen Jahr 1994 wurde ein Intervall von 2,5 – 2,9 kt berechnet (BAND 2, Anhang F). Im Unterlauf der Ohre an der Messstelle Rogätz wurde die Höhe der Schwebstofffracht in den abflussarmen Jahren von 1990 bis 1993 durch die hohen Schwebstoffgehalte bestimmt (Abb. 9-7). Durch die ab 1994 zurückgehende anthropogene Belastung und durch den Wechsel der Bezugsmessstelle sind diese Schwebstofffrachten nicht mit den Folgejahren vergleichbar. Unter der Annahme, dass sich die Anzahl der diffusen und punktförmigen Quellen ab 1994 weitgehend konstant verhält und die relevanten Stoffeinträge größtenteils

witterungsbedingt sind, können Aussagen zum abflussabhängigen Schwebstoffeintrag der Ohre in die Elbe formuliert werden. Demnach sind in deutlich abflussarmen Jahren, wie 1996 (Abb. 9-7), Frachten von 0,9 bis 1,4 kt zu erwarten. Bei mittleren jährlichen Abflüssen trägt die Ohre zwischen 1,3 und 2,8 kt Schwebstoff pro Jahr in die Elbe ein, während andauernde Hochwasserverhältnisse nach länger anhaltenden Trockenperioden zu Jahresfrachten von bis zu 5,5 kt führen können (Abb. 9-7).

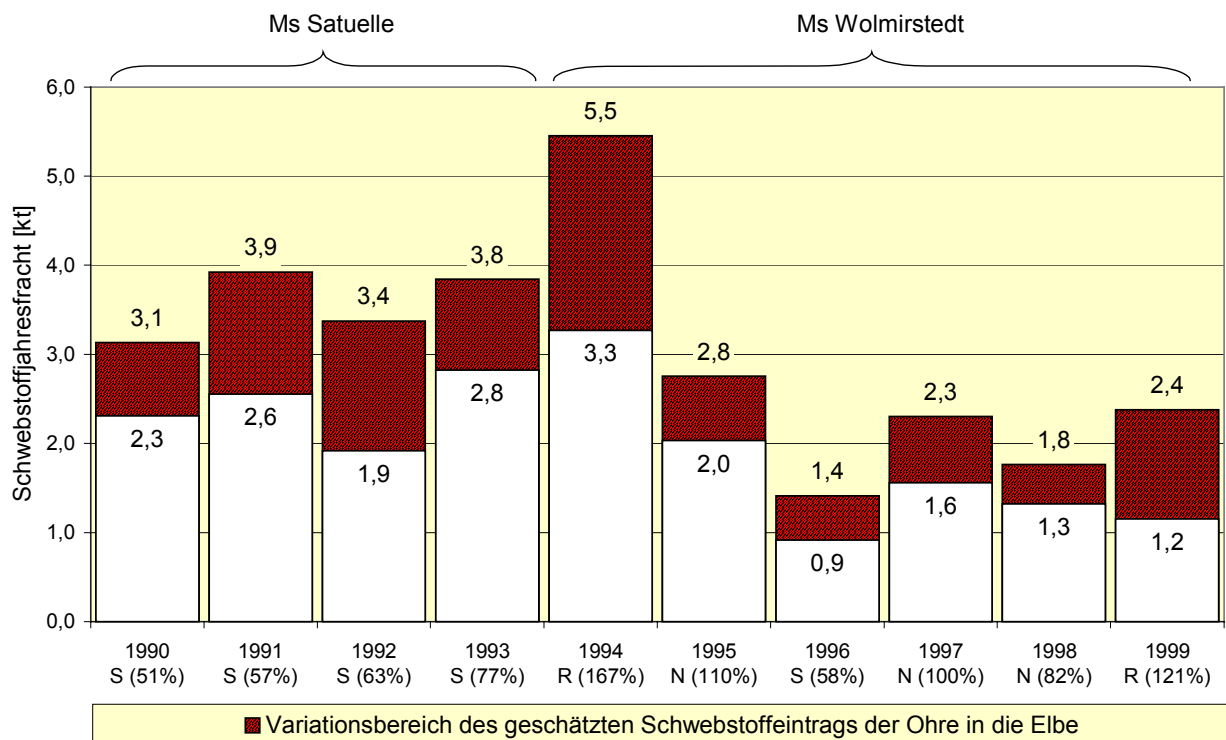


Abb. 9-7: Variationsbereiche der geschätzten Schwebstoffjahresfrachten der Ohre an den Messstellen Rogätz (1990-1993) und Wolmirstedt (1994-1999) (S=abflussarm, N=mittleres Abflussjahr, R=abflussreich unter Angabe des prozentualen Verhältnisses von $MQ_{\text{Messjahr}}/MQ_{\text{langjährig}}$ in Prozent).

Da die Messstelle Wolmirstedt in etwa 14 km von der Mündung entfernt ist, muss dabei jeweils von einem Minimum des möglichen Schwebstoffeintrags ausgegangen werden.

Für die Messstellen Schönebeck (**Solkanal**) und Salbker Platz (**Dodendorfer Sülze**) standen dem Projekt keine Abflusswerte zur Verfügung, so dass für diese beiden Nebenflüsse keine Frachtabschätzungen vorgenommen werden konnten. An der Ehle liegen bis auf das hydrologische Jahr 1992 generell weniger als 12 Messwerte vor, wodurch die Frachtberechnung mit einer zu hohen Unsicherheit behaftet ist und demzufolge darauf verzichtet wurde. Dies gilt auch für die Abflussjahre 1993 und 1996 an der Nuthe.

Die geschätzten Variationsbereiche der Schwebstoffjahresfrachten (Abb. 9-8) zeigen deutlich, dass aus diesen kleineren Nebenflussgebieten an der Oberen Mittelelbe in abflussarmen bis mittleren Jahren kaum mehr als 500 t (0,5 kt) Schwebstoff zu erwarten sind. Zudem sind die Berechnungsergebnisse an der **Ehle** und an dem **Tanger** nicht ohne weiteres mit dem Frachteintrag in die Elbe gleichzusetzen. Die Messstelle Biederitz (Ehle) ist relativ weit von der Mündung entfernt und die Ehle weist unterhalb dieser Messstelle noch zahlreiche Flussaufweitungen und Durchflusseseen auf, die als Sedimentationsraum dienen und somit den Schwebstofftransport weiter reduzieren können. Der Tanger mündet nicht direkt in die Elbe sondern in den Hafen Tangermünde. Allerdings wurden in dem Hafen bisher keine Baggermaßnahmen aufgrund eines etwaigen Materialeintrags durch den Tanger notwendig (mündl. Mit. WSA Magdeburg, 2001; Band 2, Anhang J). Des Weiteren wird der Zufluss des Tanger bei Hochwasserereignissen in der Elbe über ein verschließbares Wehr geregelt, wodurch sich längere Rückstauzeiten ergeben können. Dies impliziert auch der Schwebstoffjahresgang an der Messstelle Tangermünde, da hier in den Frühjahrsmonaten von März bis Mai - also zu Zeiten höherer Wasserführung in der Elbe - die geringsten monatlichen Mittelwerte der Schwebstoffkonzentration auftreten. Aus diesen Gründen lassen die Schwebstofffrachtabschätzungen an der Ehle und am Tanger an den mündungsnächsten Messstellen nicht unbedingt auf den Frachteintrag in die Elbe schließen. In der Nuthe tritt diese Problem nicht auf. Der geschätzte Schwebstoffeintrag in die Elbe kann hier in abflussreichen Jahren zwischen 1 und 2 kt liegen (Abb. 9-8). Aufgrund der Durchflussabhängigkeit der Schwebstoffkonzentration an der Messstelle Walternienburg könnten die Lücken in der Frachtabschätzung in den Jahren 1993 und 1996 geschlossen werden. Durch die Anwendung der Regressionsgleichung aus der Korrelation der Schwebstoffmittelwerte über die Abflussklassen auf die vollständige Durchflussreihe der entsprechenden Jahre würde sich 1993 eine Fracht von 0,62 kt und 1996 von 0,33 kt ergeben.

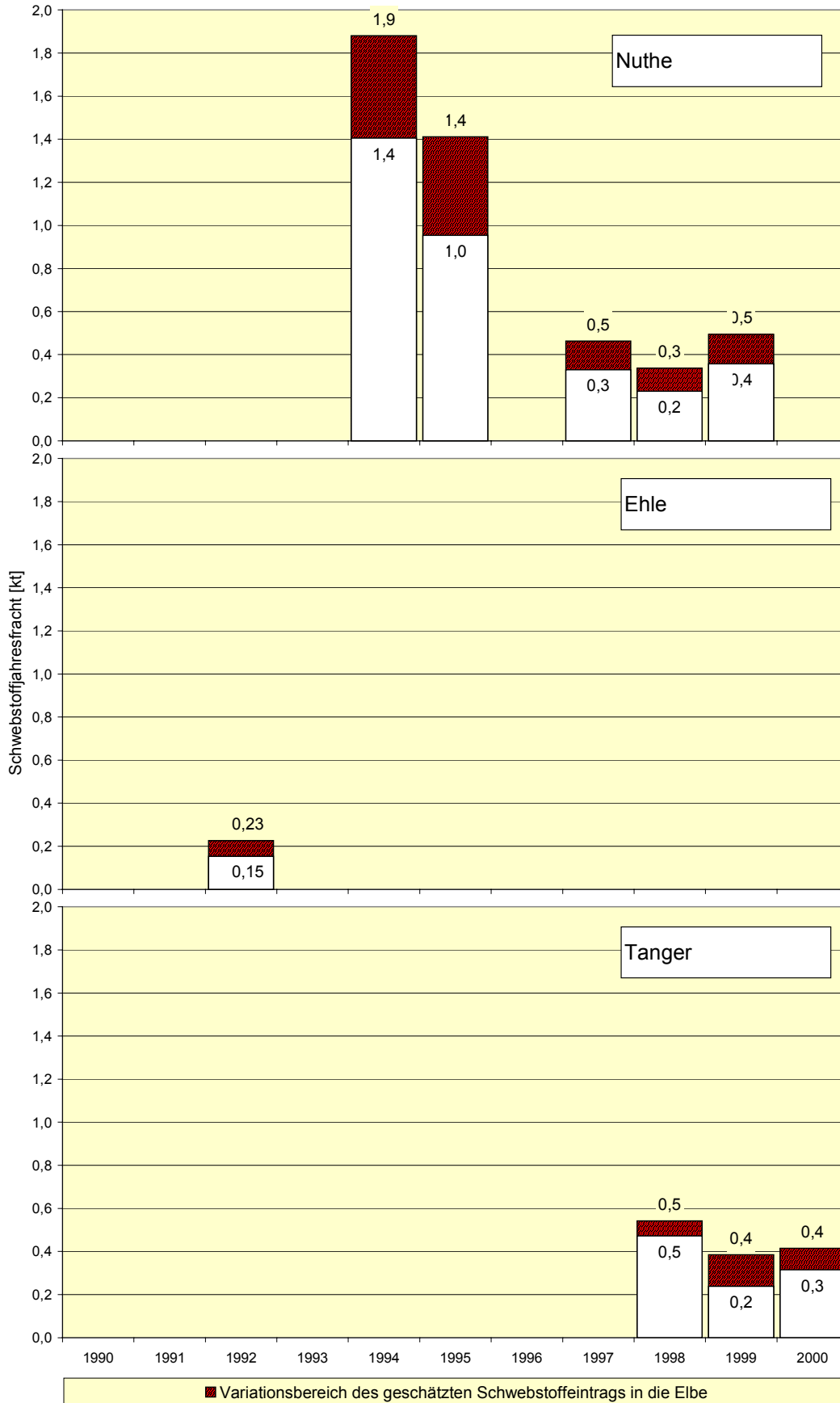


Abb. 9-8: Variationsbereiche der geschätzten Schwebstoffjahresfrachten der Elhle (Ms Biederitz), der Nuthe (Ms Walternienburg) und des Tanger (Ms Tangermünde) im jeweiligen Beobachtungszeitraum.

10 Das Einzugsgebiet der Mulde

Die Mittelgebirgsflüsse Zwickauer (2361 km²) und Freiburger (2985 km²) Mulde entspringen am Erzgebirgskamm und entwässern mit Ihren Nebenflüssen einen erheblichen Teil der Nordabdachung des Erzgebirges, bevor sie oberhalb von Grimma zusammenfließen und die Vereinigte Mulde bilden (Anlage 7). Bedeutende Nebenflüsse der Freiburger und Zwickauer Mulde sind die Zschopau (1847 km²), die rechtsseitig die Flöha (799 km²) aufnimmt und die Chemnitz (533 km²). Die Größe des gesamten Gebietes wird an der Muldemündung bei Dessau mit 7400 km² angegeben (Meteorologischer Dienst DDR, 1968; ARGE ELBE, 2001).

10.1 Abflussverhältnisse im Mulde-EZG

Klimatisch liegt das Mulde-EZG im Bereich des Kontinentaltyps des zentraleuropäischen Mittelgebirgslandes höherer und mittlerer Lagen, wobei die erzgebirgischen Oberläufe der Mulden durch den abflussreichsten Doppelmonat März/April (Mulde-Regime; MARCINEK, 1991) gekennzeichnet sind. Die Vereinigte Mulde weist demgegenüber ein deutliches Abflussmaximum im März auf (Typ Naab; MARCINEK, 1991).

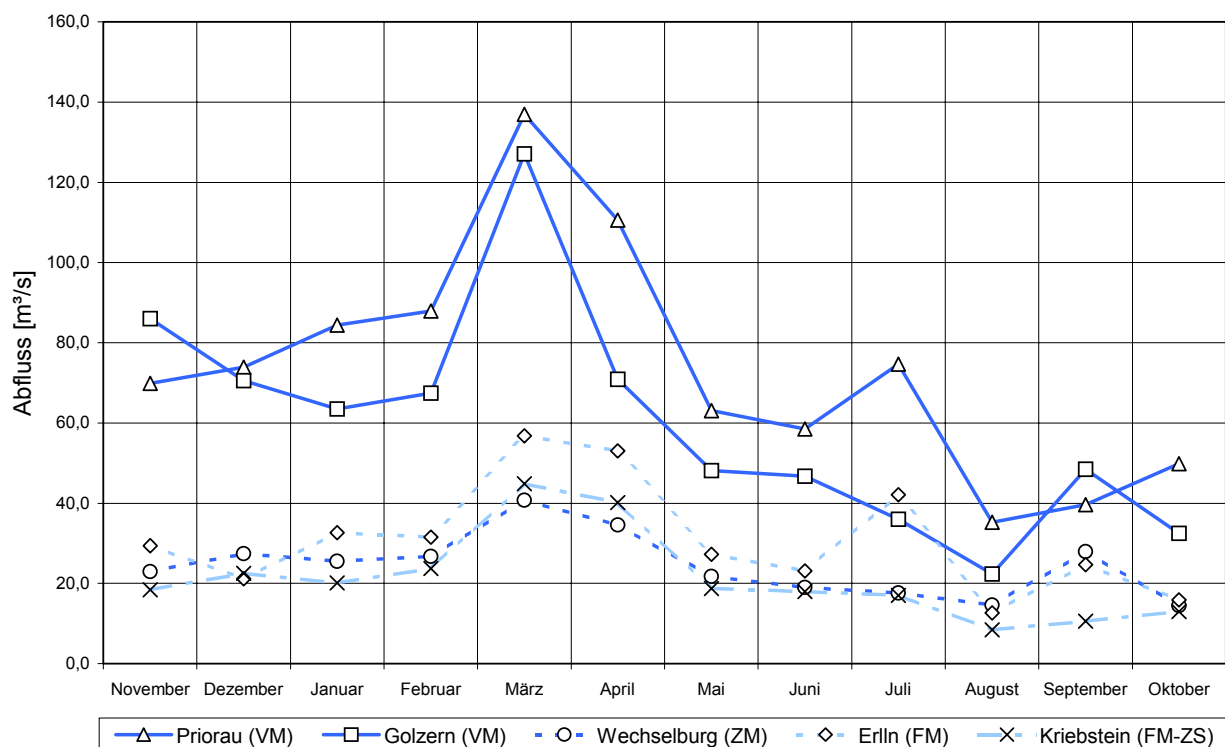


Abb. 10-1: Mittlerer Jahresgang des Abflusses der Vereinigten Mulde (VM), der Zwickauer Mulde (ZM), der Freiburger Mulde (FM) und der Zschopau (ZS) an den zugeordneten hydrologischen Pegeln.

Die mittlere Jahresniederschlagssumme am Ursprung der Zschopau an der Messstation Fichtelberg (1213 m N.N.) beträgt 1094 mm und unterhalb des Zusammenflusses der Mulden bei Grimma (130 m N.N.) nur noch 610 mm. An der Bildung der Vereinigten Mulde ist die Zwickauer Mulde mit einem mittleren Abfluss von 28,9 m³/s (berechnet aus Bezugspegel Wechselburg) und die Freiburger Mulde mit 35,1 m³/s (Bezugspegel Erlin) beteiligt. Die mittlere zu erwartende Abflusshöhe an der Elbemündung beträgt 75 m³/s (IKSE, 1995).

Pegel	Beobachtungsreihe	A _{EO}	Lage	PNP NN	NQ	MNQ	MQ	MHQ	HQ
		[km ²]	[km]	[m]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
Vereinigte Mulde:									
Golzern	1989-2000	5442	128,1	117,73	1,4	13	61,5	496	1740
Bad Dübén	1975-2000	6171	68,1	81,5	5,4	15	63,7	452	1500
Zwickauer Mulde:									
Pölbitz	1989-2000	1030	83,8	255,36	0,39	2,97	14,2	124	683
Wechselburg	1989-2000	2107	25,6	159,89	1	6,15	25,8	201	915
Freiberger Mulde:									
Erlin	1989-2000	2982	1,4	133,03	2,7	6,43	35,1	297	610

Tab. 10-1: Statistische Hauptzahlen ausgewählter Pegel im Mulde-EZG.

Das Abfluss- und Feststoffregime der Mulde wird durch 49 Hochwasserrückhaltebecken (SLfUG, 1997a) und durch zahlreiche Querverbauungen, die aus Gründen der Energieerzeugung errichtet wurden und im Hinblick auf kleine Wasserkraftanlagen gegenwärtig neu entstehen, an den Oberläufen ihrer Nebenflüsse beeinflusst. Ebenso wirkt sich die Wasserbewirtschaftung der aufgelassenen und in Betrieb befindlichen Braunkohlentagebaue im Bereich der Vereinigten Mulde durch Flutungsmaßnahmen und Grundwasserabsenkungen auf das Abflussverhalten aus.

In dem Beobachtungszeitraum von 1990 – 1999 ist das Abflussverhalten der Zwickauer und der in der Regel abflussreicheren Freiburger Mulde vergleichbar, so dass der Pegel Bad Dübén die wesentlichen Abflussverhältnisse im Mulde-EZG widerspiegelt (Abb. 10-2). Der Beginn der Dekade ist durch die niederschlagsarmen Jahre von 1990 bis 1993 charakterisiert. Vor allem im Jahr 1991 betrug der mittlere Abfluss in der Freiburger und Vereinigten Mulde weniger als 60 % des langjährigen MQ (Tab. 10-2). Während das Abflussjahr 1994 durch einen mittleren Abfluss von 66,9 m³/s gekennzeichnet war, traten im darauffolgendem Jahr durch die Kombination von Niederschlägen und Schneeschmelze, sowie ergiebigen Sommerniederschlägen langanhaltende hohe Durchflüsse auf. Ausgelöst durch ein

Starkregenereignis am 31.08./01.09.1995 wurde der MHQ in allen Mulden kurzfristig überschritten. In der Zwickauer Mulde traten Scheiteldurchflüsse mit einer statistischen Eintrittswahrscheinlichkeit von 20 – 35 Jahren auf (SLfUG, 1997b). Das Abflussjahr 1995 wird durch das Überschreiten des langjährigen MQ um 39 % (Tab. 10-2) am Pegel Bad Düben als abflussreiches Jahr angesehen.

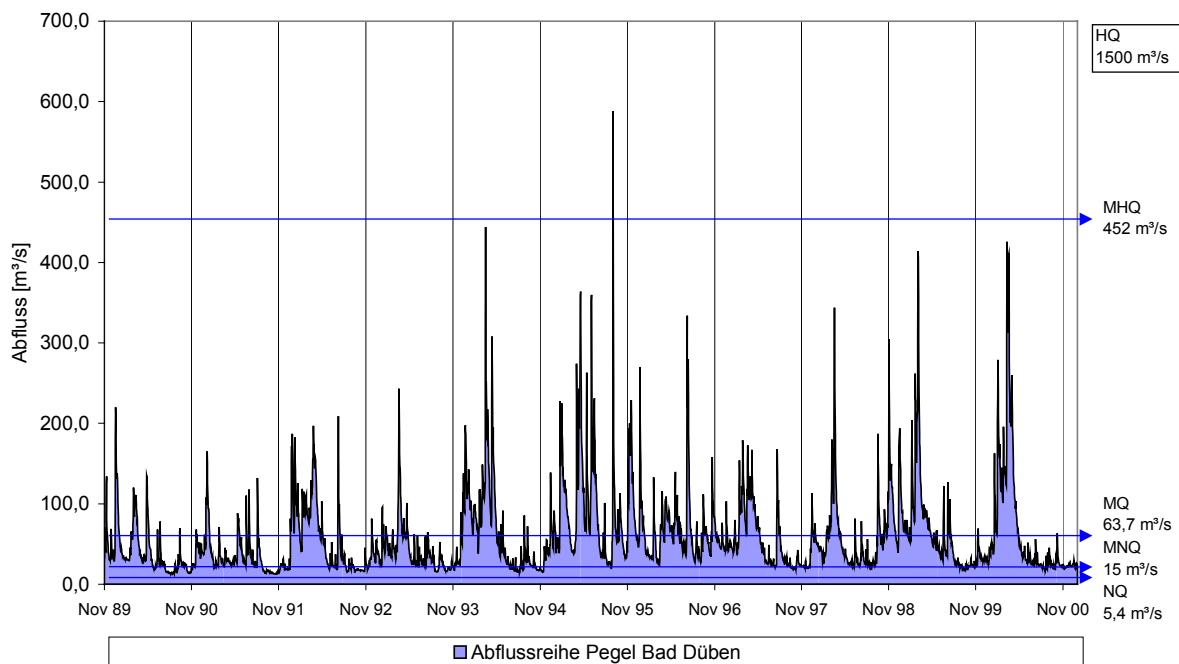


Abb. 10-2: Das Abflussgeschehen im Beobachtungszeitraum von 1990 bis 1999 in der Vereinigten Mulde (Bezugspegel Bad Düben).

Gewässer	Pegel	Abflussarme Jahre	Mittlere Abflussjahre	Abflussreiche Jahre
		MQ _{MJ} /MQ < 80 %	MQ _{MJ} /MQ 80 - 120 %	MQ _{MJ} /MQ > 120 %
Vereinigte Mulde	Bad Düben	1990 (66 %)	1992 (87 %)	1995 (139 %)
		1991 (58 %)	1994 (105 %)	
Freiberger Mulde	Erlln	1993 (65 %)	1996 (115 %)	1995 (134 %)
		1990 (65 %)	1997 (89 %)	
		1991 (55 %)	1998 (82 %)	
		1993 (74 %)	1999 (116 %)	
		1992 (89 %)		
Zwickauer Mulde	Wechselburg	1990 (81 %)	1992 (96 %)	1995 (147 %)
		1991 (72 %)	1994 (101 %)	
		1993 (73 %)	1997 (89 %)	
		1990 (81 %)	1998 (89 %)	
		1992 (96 %)		

Tab. 10-2: Einschätzung der Höhe der Abflussjahre von 1990 bis 1999 gemessen am Verhältnis des mittleren Jahresabflusses zum langjährigen MQ an Vereinigter-, Freiberger- und Zwickauer Mulde.

Die darauf folgenden Jahre waren wiederum durch mittlere Abflussverhältnisse gekennzeichnet, wobei die Jahre 1996 und 1999 nur in der Zwickauer Mulde zur einer Überschreitung des MQ um mehr als 20 % führten (Tab. 10-2).

10.2 Entwicklung der Gewässergüte im Beobachtungszeitraum

Die Gewässergüte im Mulde-EZG wird maßgeblich durch die intensive Bergbautätigkeit und den damit verbundenen Einträgen aus Altlasten und Sickerwässern von Bergbauhalden im Erzgebirge bestimmt. Hinzu kommen die bis 1990 erheblichen Belastungen des Gewässernetzes mit kommunalen Abwässern und vielfältigen Einleitungen aus der Papier- und Zellstoffindustrie, der metallverarbeitenden Industrie sowie der chemischen und photochemischen Produktionsanlagen.

Oberhalb von Freiberg konnte die **Freiberger Mulde** (Anlage 7) im Verlauf der 90-er Jahre als gering bis mäßig belastet eingestuft werden (StUFA Chemnitz, 1991; SLfUG, 1997b). Bis Berthelsdorf weist sie den Charakter eines Salmonidengewässers auf (Oberflussmeisterei Chemnitz, 1991). Belastet wird dieser Teilabschnitt noch durch die diffusen Stoffeinträge von Bergbauhalden. Durch den unterhalb von Freiberg einmündenden Münzbach und durch weitere zahlreiche Einleitungen verschlechtert sich die biologische und chemische Gewässergüte mit zunehmender Fließstrecke bis zur Vereinigung mit der Zwickauer Mulde. Bezüglich der Gehalte an Makronährstoffen war die Freiberger Mulde ab Nossen in den Jahren 1995 und 1997 als kritisch belastet einzuschätzen, was mit einer zunehmenden Entwicklung des aus den oberhalb liegenden Talsperren verfrachteten Phytoplanktons bis zum Zusammenfluss einherging (SLfUG, 1997b und 1997c). Die unterhalb von Döbeln einmündende **Zschopau** (Anlage 7) weist Belastungsschwerpunkte bei Tannenberg, Zschopau und Flöha auf. Die kurz vor ihrer Einmündung in die Freiberger Mulde gelegene Talsperre Kriebstein wirkt als Feststoff- und Nährstoffsene und besitzt einen polytrophen Charakter. Unterhalb der Talsperre traten in den Jahren 1995 und 1997 weiterhin Belastungen durch die Papierindustrie, gewerbliche sowie kommunale Einrichtungen auf (StUFA Chemnitz, 1991; SLfUG, 1997c), wodurch auch der Unterlauf der Zschopau als kritisch belastet eingestuft wurde.

Die **Zwickauer Mulde** (Anlage 7) ist in ihrem Oberlauf bis zur Talsperre Eibenstock durch eine sehr gute bis gute Wasserqualität gekennzeichnet. Problematisch ist in diesem Bereich die Versauerung des Gewässers (StUFA Plauen, 1991; Oberflussmeisterei Chemnitz, 1991; SLfUG 1997b und 1997c). Belastungsschwerpunkte bilden die kommunalen, industriellen und bergbaulichen Abwässer in dem Bereich der Schwarzwasser- und Chemnitzmündung und

des Ballungsgebietes Zwickau-Glauchau. Vor allem das Schwarzwasser trägt größere Mengen an schwebstoffgebundenem Arsen, Kupfer, Cobalt, Nickel und Uranium in das Gewässer ein (KLUGE et. al., 1994). Die Zwickauer Mulde erreichte 1995 und 1997 ebenso wie die Freiburger Mulde den Zusammenfluss im kritisch belasteten Zustand.

Bis 1990 war die **Vereinigte Mulde** (Anlage 7) durch die Abwässer der Zellstoff- und Chemieindustrie und des Ballungsraumes Bitterfeld/Wolfen stark belastet. Die Produktionsstilllegungen und der Bau von Kläranlagen bewirkten in den Jahren 1991 – 1993 eine spürbare Verbesserung der Gewässergüte. Zumindest bis 1997 wurde das Gewässer jedoch bis Eilenburg durch die Einleitungen von kommunalen Abwässern aus den Städten Grimma, Wurzen und Eilenburg als kritisch belastet eingestuft (SLfUG, 1997b und 1997c). Bis Gruna und weiter flussabwärts bis nach Bad Dübener See erfolgt eine allgemeine Verbesserung der Wasserqualität bis zur Güteklasse II. Die diffusen Einträge von Stickstoff und Phosphor führen allerdings mit zunehmender Fließstrecke zu Massenentwicklungen des Phytoplanktons (SLfUG, 1997c). Für die weitere Entwicklung der Wasserqualität besitzt, der sich unterhalb von Bad Dübener See anschließende Stausee Muldenstein ausschlaggebende Bedeutung. Die Flutung des Tagebaurestlochs (Volumen 118 Mio. m³, Fläche 6,05 km², mittlere Tiefe 19,5 m) erfolgte durch die Verlegung der Vereinigten Mulde im Jahr 1975, wodurch sich ihre Lauflänge um ca. 2 km verkürzte. Da das Auslaufbauwerk als breitflächige Überlaufschwelle konzipiert ist, bildet der Stauraum eine außergewöhnlich effektive Nähr-, Schwermetall- und Feststoffschenke, wodurch sich die Wasserbeschaffenheit der Vereinigten Mulde unterhalb wesentlich verbessert (FRÖBRICH J. & LEHMANN H., 1996; ARNOLD A. et. al., 1998; ZERLING L., 1998; OTTO, 2000). Der gegenwärtig eutrophe Muldestausee musste bis zur Stilllegung der Zellstoff- und Chemieindustrie im Jahr 1989/90 als polytroph charakterisiert werden (LAU Sachsen-Anhalt, 1991, 1993, 1994 und 1997). Unterhalb des Stausees bis zur Mündung der Mulde in die Elbe bildeten die Einleitungen der chemischen und photochemischen Industrie über die Fuhne und das Spittelwasser bis in die Mitte der 90-er Jahre wesentliche Belastungsschwerpunkte. Während die Mulde oberhalb des Muldestausees weitgehend unverbaut ist, wurden ihre Ufer bis in das Stadtgebiet von Dessau durch Steinschüttungen befestigt. Die Durchgängigkeit der Feststofftransporte wird neben dem Muldestausee noch durch die Wehre in Greppin, Jeßnitz, Raguhn und Dessau unterbrochen (LAU Sachsen-Anhalt, 1997; OTTO, 2000).

10.3 Schwebstoffhaushalt der Gewässer im Mulde-EZG

10.3.1 Schwebstoffmessstellen

Für die Interpretation der Schwebstofftransportverhältnisse der Gewässer im Einzugsgebiet der Mulde wurden 26 der 93 recherchierten Messstellen ausgewählt (Anlage 7; Band 2, Anhang C und F).

Messstelle	Fluß-km	Beobachtungszeitraum	Anzahl Messwerte/a	Bezugspegel	Zuständigkeit	
Vereinigte Mulde:						
Dessau	0,5	01.1992	12.1999	4 - 27	Priorau	STAU De/Wi
Retzau/Priorau	23	01.1992	12.1999	4 - 26	Priorau	STAU De/Wi
STAUsee Ablauf	43	01.1992	12.1999	4 - 26	Priorau	STAU De/Wi
STAUsee Zulauf	51	01.1992	12.1999	4 - 26	Bad Dübén	STAU De/Wi
Bad Dübén	68,1	01.1990	12.2000	4 - 17	Bad Dübén	StUFA_Leipzig
Gruna	82,5	01.1990	12.2000	4 - 17	Bad Dübén	StUFA_Leipzig
Eilenburg	95,7	01.1990	12.2000	4 - 17	Bad Dübén	StUFA_Leipzig
Canitz	105,4	01.1990	10.2000	6 - 21	Golzern	StUFA_Leipzig
Wurzen	112,9	01.1990	10.2000	6 - 21	Golzern	StUFA_Leipzig
Trebsen	123,3	01.1990	10.2000	6 - 21	Golzern	StUFA_Leipzig
Golzern	129	01.1990	10.2000	6 - 21	Golzern	StUFA_Leipzig
Grimma	134,5	01.1990	10.2000	6 - 21	Golzern	StUFA_Leipzig
Kössem	143,3	01.1990	10.2000	6 - 21	Golzern	StUFA_Leipzig
Zwickauer Mulde:						
Sermuth	0,5	01.1990	10.2000	4 - 17	Wechselburg	StUFA_Leipzig
Göhren		03.1994	12.2000	3 - 16		StUFA Chemnitz
oh. Glauchau		08.1994	12.2000	2 - 13	Pölbitz	StUFA Chemnitz
Schlunzig	83,8	01.1995	12.1999	11 - 14	Pölbitz	StUFA Plauen
Blauenthal		01.1995	12.1999	3 - 12		StUFA Plauen
Schönheide	141,6	01.1995	12.1999	2 - 14		StUFA Plauen
Freiberger Mulde:						
Erlin	0,3	01.1990	10.2000	9 - 21	Erlin	StUFA_Leipzig
Nossen	46	01.1994	11.2000	2 - 15	Nossen 1	StUFA Chemnitz
Obergruna	54	01.1994	11.2000	1 - 15		StUFA Chemnitz
Berthelsdorf	89,5	01.1994	12.2000	2 - 15	Berthelsdorf	StUFA Chemnitz
Zschopau:						
Pischwitz	0,35	01.1990	10.2000	6 - 13	Kriebstein	StUFA_Leipzig
Ringethal		01.1993	12.2000	2 - 13		StUFA Chemnitz
Hopfgarten	75	01.1993	12.2000	2 - 14	Hopfgarten	StUFA Chemnitz

Tab. 10-3: Zur Auswertung herangezogene Gewässergütemessstellen und Bezugspegel im Mulde-EZG.

Die erforderlichen Schwebstoffdaten wurden von den Staatlichen Umweltfachämtern Chemnitz, Leipzig und Plauen in Sachsen und dem Staatlichen Amt für Umweltschutz Dessau/Wittenberg in Sachsen-Anhalt zur Verfügung gestellt. Für die Frachtberechnungen

konnten die Abflussreihen von 10 Pegeln im EZG genutzt werden (Tab. 10-3). Für die Quantifizierung der Schwebstoffausträge sind die Messstellen Pischwitz an der Zschopau, ErlIn an der Freiburger Mulde, Sermuth an der Zwickauer Mulde sowie der Zulauf des Stausees Muldenstein von Bedeutung. Der Schwebstoffeintrag in die Elbe wurde über die mündungsnächste Messstelle in Dessau ermittelt.

10.3.2 Schwebstoffkonzentration

10.3.2.1 Freiburger Mulde

In der Freiburger Mulde traten im Beobachtungszeitraum von 1994 bis 2000 an den Messstellen Berthelsdorf, Obergruna, Nossen (1994 - 2000) und ErlIn (1990 – 2000) in der Regel Schwebstoffkonzentrationen von weniger als 20 mg/l auf (Band 2, Anhang F). Die Jahresmittelwerte der Schwebstoffgehalte sind für einen Konzentrationslängsschnitt wenig aussagekräftig, da Einzelereignisse, die nicht ausschließlich auf durchgehende Hochwasserwellen zurückzuführen sind, zu Extremwerten von z.B. am 3.5.1996 von 208 mg/l in Berthelsdorf und 790 mg/l in Obergruna führten und somit höhere Schwebstoffmittelwerte vortäuschen. Die Medianwerte zeigen jedoch eine prinzipielle Zunahme der suspendierten Feststoffgehalte bis Nossen und eine abnehmende Tendenz bis ErlIn an (Tab. 10-4).

	Freiburger Mulde				Zschopau		
Ms	ErlIn	Nossen	Obergruna	Berthelsdorf	Pischwitz	Ringethal	Hopfgarten
km	0,3	46	54	86	0,35	16	75
Mittel	18,9	17,6	20,2	11,4	10,9	17,1	11,6
Med	7,6	9,0	6,0	6,0	6,0	9,5	9,0
Max	545 09.07.96	135 01.08.96	790 03.05.96	208 03.05.96	100 03.04.95	230 07.07.99	58 02.11.98

Tab. 10-4: Kennwerte der Schwebstoffkonzentration an den Messstellen der Freiburger Mulde und der Zschopau (Band 2, Anhang F).

Generell sind an den untersuchten Messstellen keine signifikanten Beziehungen zwischen dem Abflussgeschehen und der Höhe der Schwebstoffkonzentration feststellbar. Ausnahmen bilden mitunter Einzelereignisse wie z.B. ein kurzfristiges Sommerhochwasser im Juli 1996 von 202 m³/s, dass in der auflaufenden Welle die höchste im Untersuchungszeitraum festgestellte Konzentration von 545 mg/l an der Messstelle ErlIn hervorrief.

Die festgestellte Abnahme der Schwebstoffkonzentration zwischen Nossen und ErlIn könnte durch die zwischen den Messstellen einmündende **Zschopau** hervorgerufen werden, da diese geringere Gehalte an Schwebstoff mit sich führt (Tab. 10-4). Für die Zschopau sind

Schwebstoffwerte von unter 20 mg/l und um 1,2 bis 1,4-fach erhöhte sommerliche Konzentrationen charakteristisch (Band 2, Anhang F). Auffällig ist der Konzentrationsrückgang um 40-50% zwischen den Messstellen Ringethal und Pischwitz, was durch Sedimentationsprozesse in der zwischengeschalteten Talsperre Kriebstein hervorgerufen werden könnte (Band 2, Anhang F).

10.3.2.2 Zwickauer Mulde

Der Oberlauf der Zwickauer Mulde ist von 1995 bis 2000 durch geringe Gehalte an suspendierten Feststoffen charakterisiert (Tab. 10-5). An der Messstelle oberhalb der Talsperre Eibenstock in Schönheide und unterhalb in Blauenthal wurden üblicherweise Konzentrationen von weniger als 10 mg/l bestimmt, wobei die Wintermittelwerte entsprechend der geringen Bioproduktivität höher ausfielen. Die Maxima der Monatsmittel > 15 mg/l traten im Dezember und von März bis Mai auf (Ms Schönheide; Band 2, Anhang F). Die Verschlechterung der Gewässergüte durch die kommunalen, industriellen und bergbaulichen Abwässer in dem Bereich der Schwarzwasser- und Chemnitzmündung und des Ballungsgebietes Zwickau-Glauchau drückt sich auch in höheren Schwebstoffbelastungen aus (Tab. 10-5). Diese steigen im Beobachtungszeitraum an den Messstellen Schlunzig, oberhalb Glauchau und Göhren beträchtlich an. In Göhren wurden an über 1/3 der Messtage Schwebstoffgehalte von über 20 mg/l bestimmt, wobei die Wintermittelwerte weiterhin signifikant mit etwa 33% über den Sommermitteln lagen (Band 2, Anhang F). Dieser Trend setzt sich bis zum Zusammenfluss mit der Freiburger Mulde fort.

Zwickauer Mulde						
Ms	Sermuth	Göhren	Oh. Glauchau	Schlunzig	Blauenthal	Schönheide
km	0,5	25	57	65	122	141,6
Mittel	28,6	32,7	25,3	20,4	6,9	11,5
Med	17,0	16,0	12,0	12,5	4,0	6,0
Max	436 23.06.97	518 26.08.97	300 29.08.96	184 23.01.96	54 12.06.96	93 12.06.96

Tab. 10-5: Kennwerte der Schwebstoffkonzentration an den Messstellen der Zwickauer Mulde.

10.3.2.3 Vereinigte Mulde

In dem Beobachtungszeitraum von 1990 bis 2000 wies die Zwickauer Mulde am Zusammenfluss höhere Schwebstoffgehalte als die Freiburger Mulde auf und prägte die Schwebstoffgrundlast in der Vereinigten Mulde daher stärker (Abb. 10-3). Ein Zusammenhang zwischen der Höhe der jährlichen Mediane des Schwebstoffgehaltes und dem

hydrologischen Geschehen ist in der Dekade kaum festzustellen. So wurden in den abflussreichen Jahren 1995, 1996 und 1999 nur 1995 in der Zwickauer Mulde höhere Schwebstoffgehalte festgestellt, die jedoch noch unter denen von 1994 lagen. Tendenziell niedrigere Schwebstoffkonzentrationen im Vergleich zu den höheren Belastungen zu Beginn der 90-er Jahre könnten auch im Zusammenhang mit der in Kapitel 10.2 dargelegten allgemeinen Verbesserung der Gewässergüte für die Zwickauer Mulde vermutet werden (Abb. 10-3).

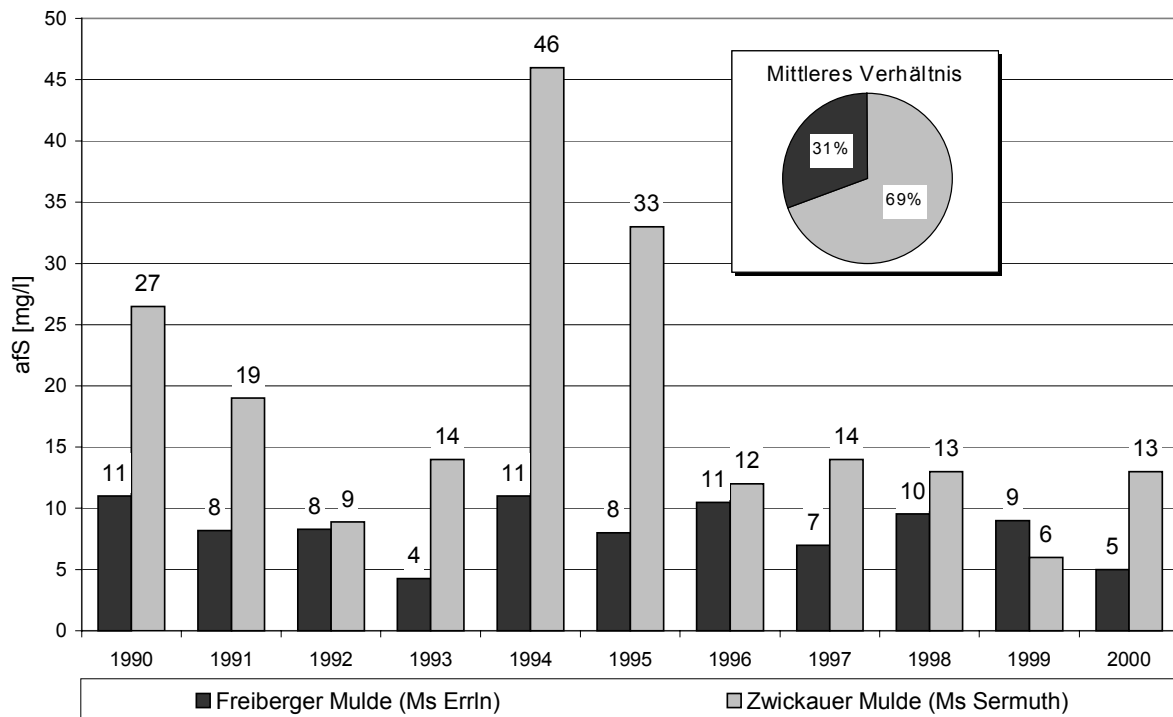


Abb. 10-3: Mediane der jährlichen Schwebstoffkonzentration am Zusammenfluss der Zwickauer und Freiberger Mulde im Beobachtungszeitraum von 1990 bis 2000.

In der Vereinigten Mulde traten im Verlauf der 90-er Jahre hohe Schwankungen der Jahresmittelwerte der Schwebstoffkonzentration auf, die ebenfalls nicht signifikant mit der Höhe der mittleren Jahresdurchflüsse verknüpft waren. Von Kössern bis zum Stausee Muldenstein wurden im Beobachtungszeitraum an über 1/3 der Messtage Konzentrationen von über 20 mg/l vorgefunden (Abb. 10-6; Band 2, Anhang F), wobei das Maximum in der Regel in dem abflussreichen Monat März (45 – 78 mg/l) und ein Nebenmaximum im November/Dezember auftrat (Abb. 10-4). Mit zunehmender Lauflänge entwickelt sich ab Eilenburg bzw. Gruna ein deutliches Nebenmaximum im Juli (Abb. 10-4), was auf eine zunehmende Bioproduktivität aufgrund der beschriebenen diffusen Nährstoffeinträge (Kapitel 10.2) zurückzuführen ist (WILHEM C. et. al., 2000).

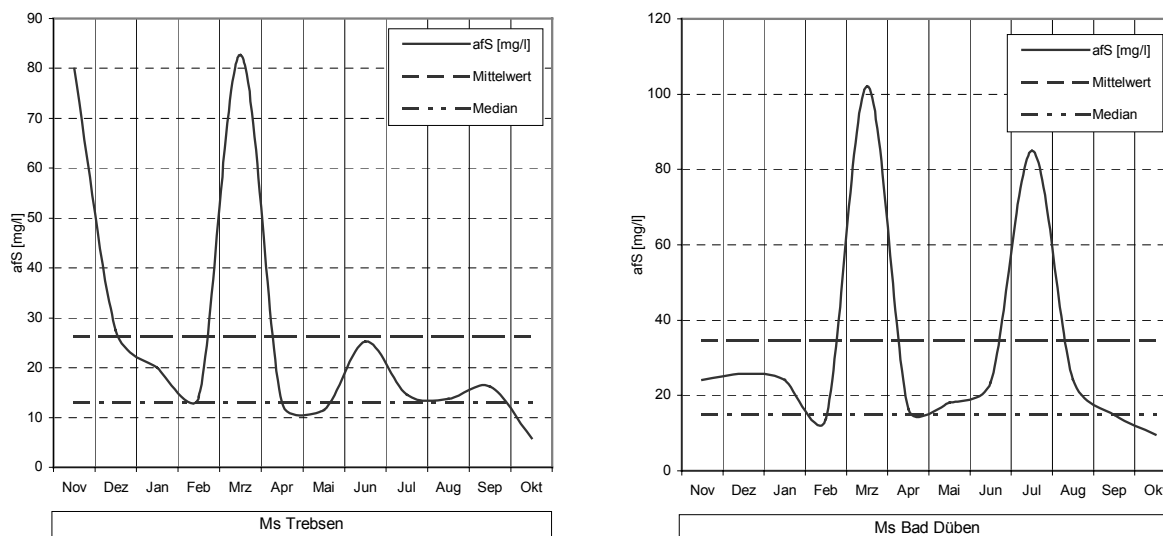


Abb. 10-4: Vergleich der mittleren Jahrgänge der Schwebstoffkonzentration an den Messstellen Trebsen (Fluss-km 123) und Bad Dübener (Fluss-km 68,1) in der Vereinigten Mulde.

Für die Messstellen an der Vereinigten Mulde lässt sich über die Konzentration–Abfluss-Beziehung durch die Bildung von Abflussklassen eine deutliche Abhängigkeit der Schwebstoffgehalte vom Durchfluss im Winterhalbjahr feststellen (Abb. 10-5). Die sommerlichen Schwebstoffkonzentrationen zeigen in ihrer Höhe dagegen eher den Charakter von abwasserbürtigen Stoffen. Die höheren Schwebstoffwerte bei geringeren Wasserständen sind vermutlich auf eine stärkere Erwärmung des Gewässers bei geringeren Fließgeschwindigkeiten und demnach günstigeren Entwicklungsbedingungen für Planktonorganismen zurückzuführen. Da die Nährstoffgehalte durch das Algenwachstum nicht beeinträchtigt werden, sehen WILHELM C. et. al. (2000) neben der Gewässertemperatur in erster Linie die lichtklimatischen Bedingungen als Hauptursache für das starke Wachstum des Phytoplanktons an.

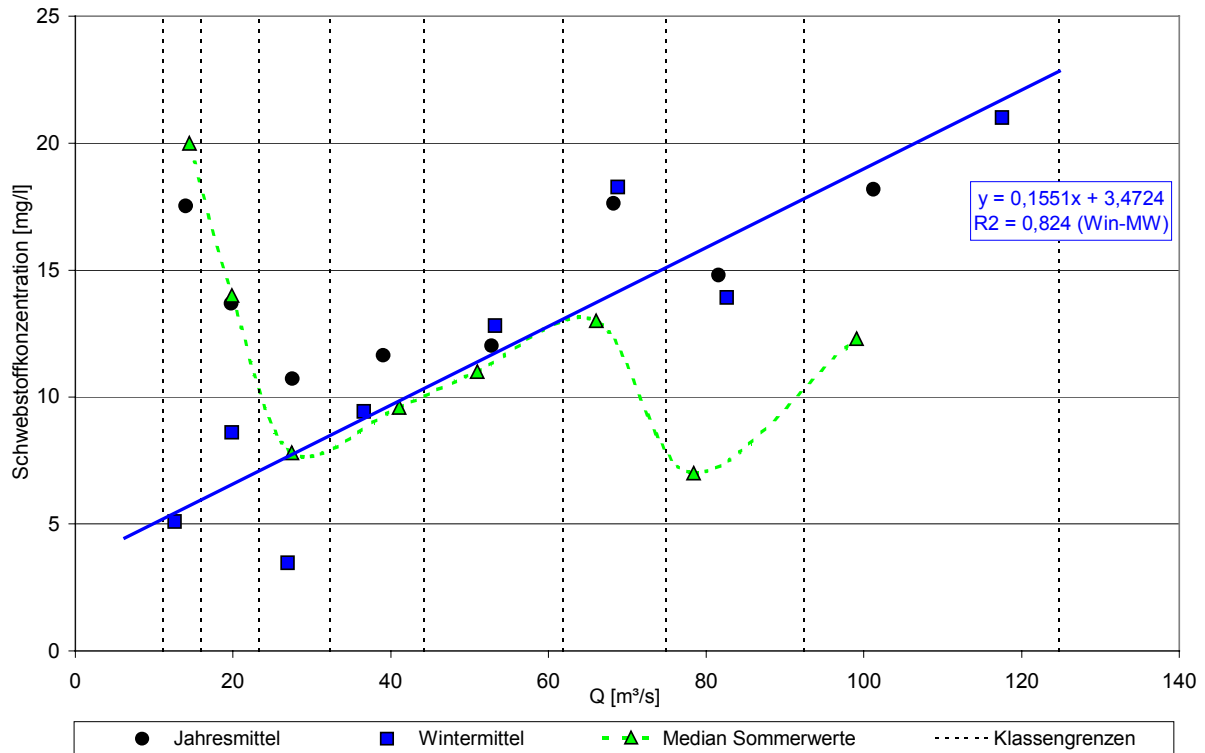


Abb. 10-5: Exemplarische Beziehung zwischen Schwebstoffgehalt und Abflusshöhe getrennt nach Sommer- und Winterhalbjahr in der Vereinigten Mulde zwischen Kössern und dem Zulauf am Stausee Muldenstein (Bsp. Messstelle Wurzen).

Die Vereinigte Mulde ist bei ihrem Eintritt in den Muldestausee als ausgesprochen schwebstoffreich zu charakterisieren. Der über den gesamten Beobachtungszeitraum gemittelte Schwebstoffgehalt an der Messstelle Bad Düben gehört mit 34,7 mg/l zu den 10 höchsten Schwebstoffmittelwerten, die an den 183 im Projekt untersuchten Messstellen im Elbe-EZG festzustellen waren. Dies ändert sich grundlegend durch die effektive Schwebstoffsedimentation im Muldestausee.

	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Zulauf [mg/l]	19,2	16,8	24,9	23,1	49,5	26,4	35,0	27,3	10
Verlust [%]	-86,0	-82,2	-86,4	-87,7	-93,8	-90,7	-91,3	-83,7	-83,8
Ablauf [mg/l]	2,7	3,0	3,4	2,8	3,1	2,5	3,0	4,5	1,6

Tab. 10-6: Absolute und prozentuale Abnahme des Schwebstoffgehaltes zwischen Zu- und Ablauf des Stausees Muldenstein.

Im Mittel nimmt die Schwebstoffkonzentration zwischen dem Zu- und Ablauf des Stausees Muldenstein um 87,3 % ab (Tab. 10-6). Im Gegensatz zur Messstelle Bad Düben finden sich die 3 Messstellen unterhalb des Stausees Ablauf Stausee (3,1 mg/l), Retzau/Priorau (4,5 mg/l)

und Dessau (5,5 mg/l) unter den 10 Messstellen im Elbe-EZG, welche die geringsten Schwebstoffmittelwerte im Beobachtungszeitraum aufweisen. An weit über 50 % der Messtage sind auf dieser Fließstrecke Schwebstoffgehalte von weniger als 5 mg/l charakteristisch (Abb. 10-6).

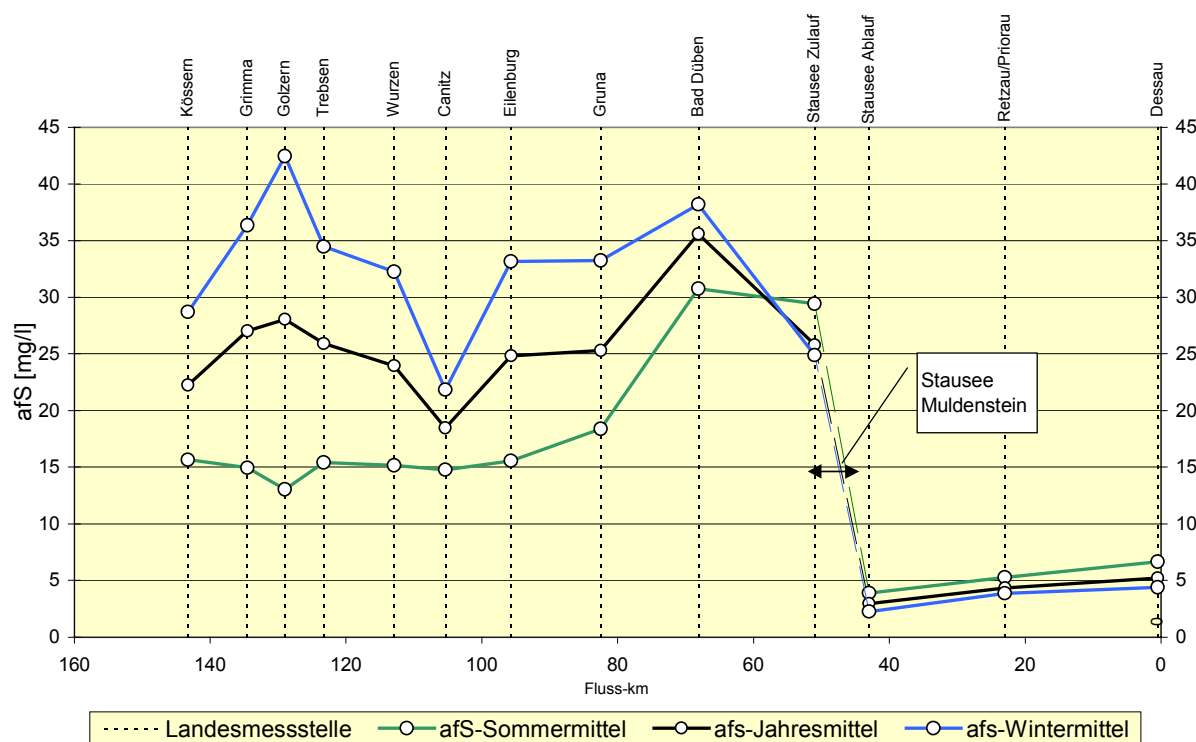


Abb. 10-6: Verlauf der mittleren Schwebstoffkonzentration im Längsschnitt der Vereinigten Mulde getrennt nach Sommer- und Winterhalbjahr im Beobachtungszeitraum von 1990 (1992) bis 2000.

10.3.3 Schwebstofffracht

Im Mulde-EZG konnten zahlreiche Messstellen für eine Quantifizierung des Schwebstofftransports genutzt werden. Von besonderen Interesse war die Bestimmung der Frachtanteile am Zusammenfluss von Freiburger und Zwickauer Mulde, die Schwebstofffrachtentwicklung im Längsverlauf der Vereinigten Mulde in Abhängigkeit vom mittleren Jahresabfluss, der Einfluss des Stausees Muldenstein als Feststoffsensenke und die Ermittlung des Schwebstoffeintrags in die Elbe. In den folgenden Kapiteln werden die Ergebnisse der Frachtberechnungen entsprechend zusammengefasst. Detaillierte messstellenbezogene Angaben zu berechneten Jahresfrachten, Extremwerten und funktionalen mathematischen Zusammenhängen zwischen Konzentration bzw. Transport und Abfluss sind in Band 2 Anhang F dargestellt.

10.3.3.1 Freiburger Mulde

Entsprechend der geringen Schwebstoffkonzentration traten im Beobachtungszeitraum von 1994 bis 2000 im Oberlauf der Freiburger Mulde geringe Schwebstoffjahresfrachten auf, die sich entsprechend der Zunahme des Abflusses im Längsverlauf kontinuierlich erhöhten (Tab. 10-7; Band 2, Anhang F). Obgleich an der Messstelle Nossen in der Regel höhere Schwebstoffkonzentrationen als an der unterhalb liegenden Messstelle Erlin gemessen wurden, führte der Zufluss der Zschopau zu einer deutlichen Zunahme der Jahresfracht in diesem Flussabschnitt. Etwaige Diskontinuitäten (Feststoffsinken etc.) wurden auch in Abhängigkeit von der Höhe des mittleren Jahresabflusses nicht festgestellt.

Hydrologische Jahre	Schwebstoffjahresfrachten [kt]					
	Freiburger Mulde				Zschopau	
	Berthelsdorf km 86	Obergruna km 54	Nossen km 46	Erlin km 0,3	Pischwitz km 0,35	Hopfgarten km 75
abflussarm	k.A.	k.A.	k.A.	6,3 - 8,6	k.A.	k.A.
mittel	1,0 - 1,3	2,1 - 3,1	5,0 - 7,2	10,4 - 12,7	7,9 - 8,5	2,8 - 3,4
abflussreich	1,3 - 1,6	5,2 - 6,4	6,3 - 7,4	30,3 - 33,4	k.A.	k.A.

Tab. 10-7: Berechnete Intervalle der Schwebstoffjahresfrachten in der Freiburger Mulde und in der Zschopau in Abhängigkeit vom mittleren Jahresabfluss. (k.A. = keine Angabe; wenn Frachtaberschätzung aufgrund fehlender Messwerte bzw. aufgrund von unberücksichtigten hydrologischen Ereignissen nicht möglich.)

10.3.3.2 Zwickauer Mulde

Für den Oberlauf der Zwickauer Mulde konnten aufgrund fehlender Durchflusswerte keine Frachtaberschätzungen vorgenommen werden. Der Anstieg der Schwebstoffjahresfracht im Unterlauf der Zwickauer Mulde spiegelt den Verlauf der Konzentrationsentwicklung wieder, zudem ist eine deutliche Frachtzunahme durch die zwischen den Messstellen einmündende Chemnitz zu erwarten (Tab. 10-8).

	Schwebstoffjahresfrachten [kt]	
	Zwickauer Mulde	
Hydrologische Jahre	Sermuth km 0,5	Schlunzig km 65
abflussarm	k.A.	k.A.
mittel	17,4 - 20,4	9,7 - 13,1
abflussreich	29,2 - 42,1	10,5 - 12,6

Tab. 10-8: Berechnete Intervalle der Schwebstoffjahresfrachten in der Zwickauer Mulde in Abhängigkeit von der Höhe des mittleren Jahresabflusses. (k.A. = keine Angabe; wenn Frachtaberschätzung aufgrund fehlender Messwerte bzw. aufgrund von unberücksichtigten hydrologischen Ereignissen nicht möglich.)

10.3.3.3 Verhältnis der Schwebstoffjahresfrachten am Zusammenfluss von Freiburger und Zwickauer Mulde

Das Verhältnis der Schwebstoffjahresfrachten am Zusammenfluss der Freiburger und Zwickauer Mulde (Abb. 10-7) wird durch die jeweiligen mündungsnächsten Messstellen Erlin und Sermuth charakterisiert.

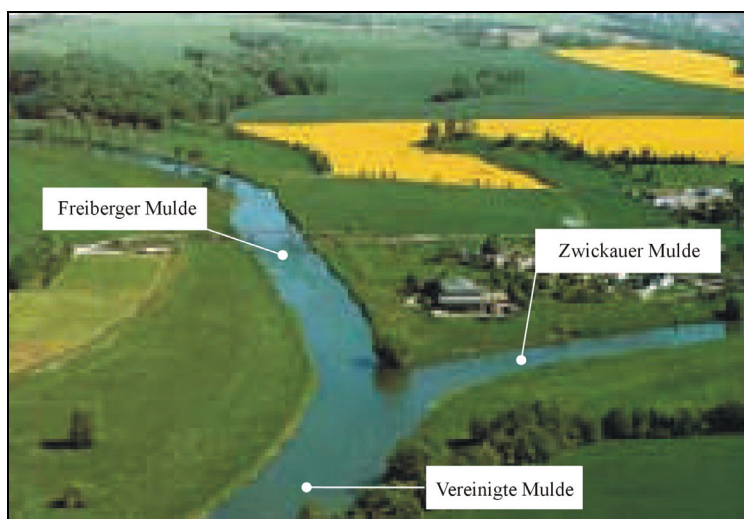


Abb. 10-7: Zusammenfluss der Freiburger und Zwickauer Mulde. Quelle: <http://www.lra-mtl.de/start.htm>

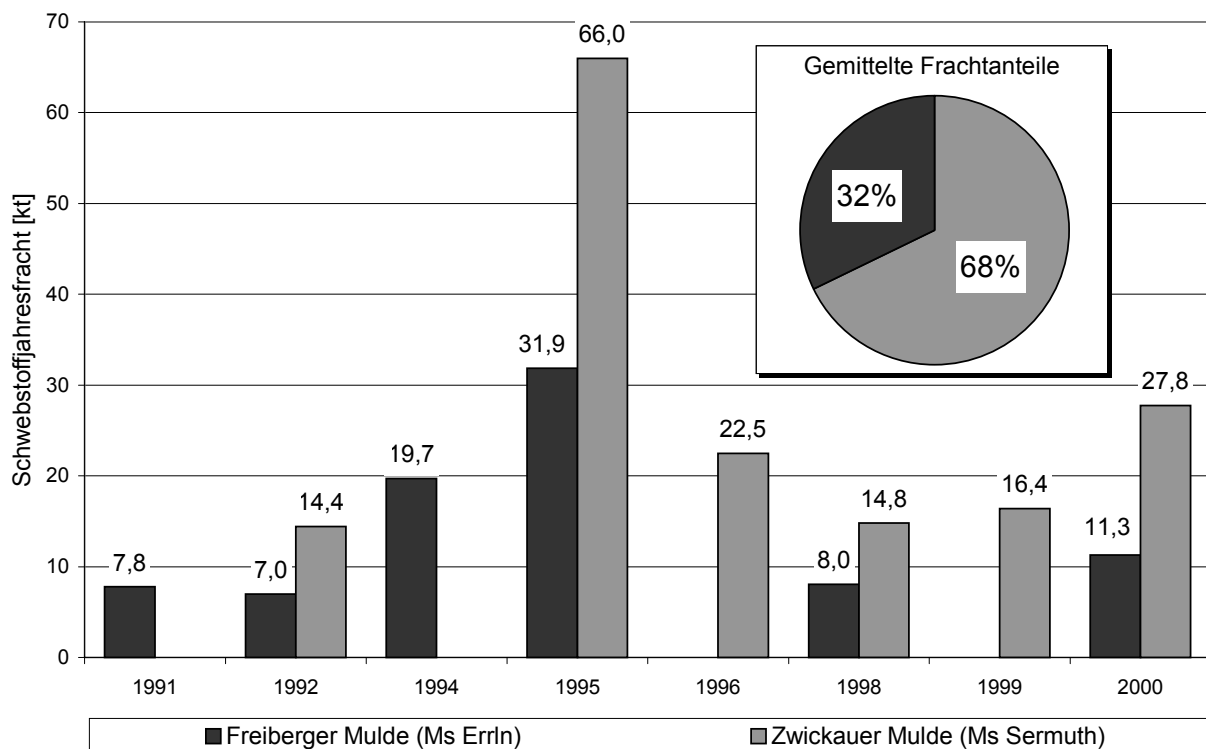


Abb. 10-8: Höhe und prozentuales Verhältnis der Schwebstoffjahresfrachten am Zusammenfluss der Freiburger und Zwickauer Mulde.

Im Beobachtungszeitraum von 1990 bis 2000 konnten in den Jahren 1992, 1995, 1998 und 2000 an beiden Flüssen Frachtabschätzungen durchgeführt werden, die einen Vergleich der Frachtanteile ermöglichen. Demzufolge führten die höheren Schwebstoffgehalte der Zwickauer Mulde zu zweimal höheren Jahresfrachten, obwohl der mittlere Jahresdurchfluss an der Freiburger Mulde bis auf das hydrologische Jahr 2000 höher als in der Zwickauer Mulde war. Die Zwickauer Mulde ist daher im Durchschnitt mit 68 % an der Bildung der Schwebstofffracht in der Vereinigten Mulde beteiligt.

10.3.3.4 Schwebstoffjahresfrachten im Längsschnitt der Vereinigten Mulde

Im Beobachtungszeitraum von 1990 bis 2000 konnte die Schwebstoffjahresfracht an maximal 11 Messstellen an der Vereinigten Mulde, sofern Messwerte in dem nach der Abflusshöhe charakterisierten hydrologischen Jahr vorhanden waren (Tab. 10-2), quantifiziert werden (Abb. 10-9). Da in allen Abflussjahren die Wirkung des Stausees Muldenstein als wesentliche Feststoffsänke im Flusslängsschnitt erkennbar ist, wird die Rolle des Stausees im anschließenden Kapitel gesondert besprochen, so dass sich alle weiteren Aussagen vorerst auf den Flussabschnitt der Vereinigten Mulde vom Zusammenfluss bis zur Mündung in den Stausee beziehen.

In den abflussarmen Jahren 1991 und 1993 zeigt sich eine kontinuierliche Zunahme der jährlichen Schwebstofflast mit zunehmender Lauflänge der Vereinigten Mulde von der Messstelle Golzern bis zum Stausee Muldenstein, wobei der Frachtzuwachs auf dieser Strecke in etwa 11,4 bis 14 kt betrug (Abb. 10-9). In mittleren und abflussreichen Jahren ist zwischen den Messstellen Wurzen und Eilenburg sowie zwischen Bad Dübener See und Stausee Zulauf jeweils eine Abnahme der Schwebstoffjahresfracht festzustellen. Diese Frachtabnahme könnte mit einer entsprechenden Sedimentation von Schwebstoffen im Flußschlauch bzw. bei höheren Wasserständen auf den Vorländern erklärt werden. Allerdings ändert sich zwischen den genannten Messstellen zum einen der Bezugspegel (Bp Golzern/Ms Wurzen zu Bp Bad Dübener See/Ms Eilenburg und zum anderen die Zuständigkeit (StUFA Leipzig Ms Bad Dübener See zu STAU Dessau-Wittenberg Ms Stausee Zulauf), so dass die Ursache für diese Diskontinuität auch in der zwischeneinzugsgebietskonformen Extrapolation der Durchflüsse bzw. in einer inkonsistenten Datenerfassung begründet sein kann. Eine endgültige Klärung dieser Frage ist nur mit einer entsprechenden Kenntnis der morphologischen und hydrologischen Bedingungen vor Ort zu erbringen und muss daher an dieser Stelle offen bleiben. Es ist jedoch davon auszugehen, dass auf der Fließstrecke der Vereinigten Mulde in mittleren und abflussreichen Jahren Schwebstoffjahresfrachten von über 90 kt transportiert werden. Hohe Schwebstoffjahresfrachten von über 100 kt sind ebenfalls nicht auszuschließen (Abb. 10-9).

Einen Beleg für die Intensität der Schwebstoffführung in der Vereinigten Mulde bietet beispielsweise die höchste von allen im Elbe-EZG berechneten Tagesfrachten von über 14 500 t, die am 16.03.1994 an der Messstelle Bad Dübén aufgetreten sein dürfte. Diese Tagesfracht bildet einen Anteil von 16 – 17 % an dem berechneten Jahresfrachtintervall in mittleren Abflussjahren an der Ms Bad Dübén und unterstreicht die Bedeutung von Einzelereignissen für die Frachtbildung.

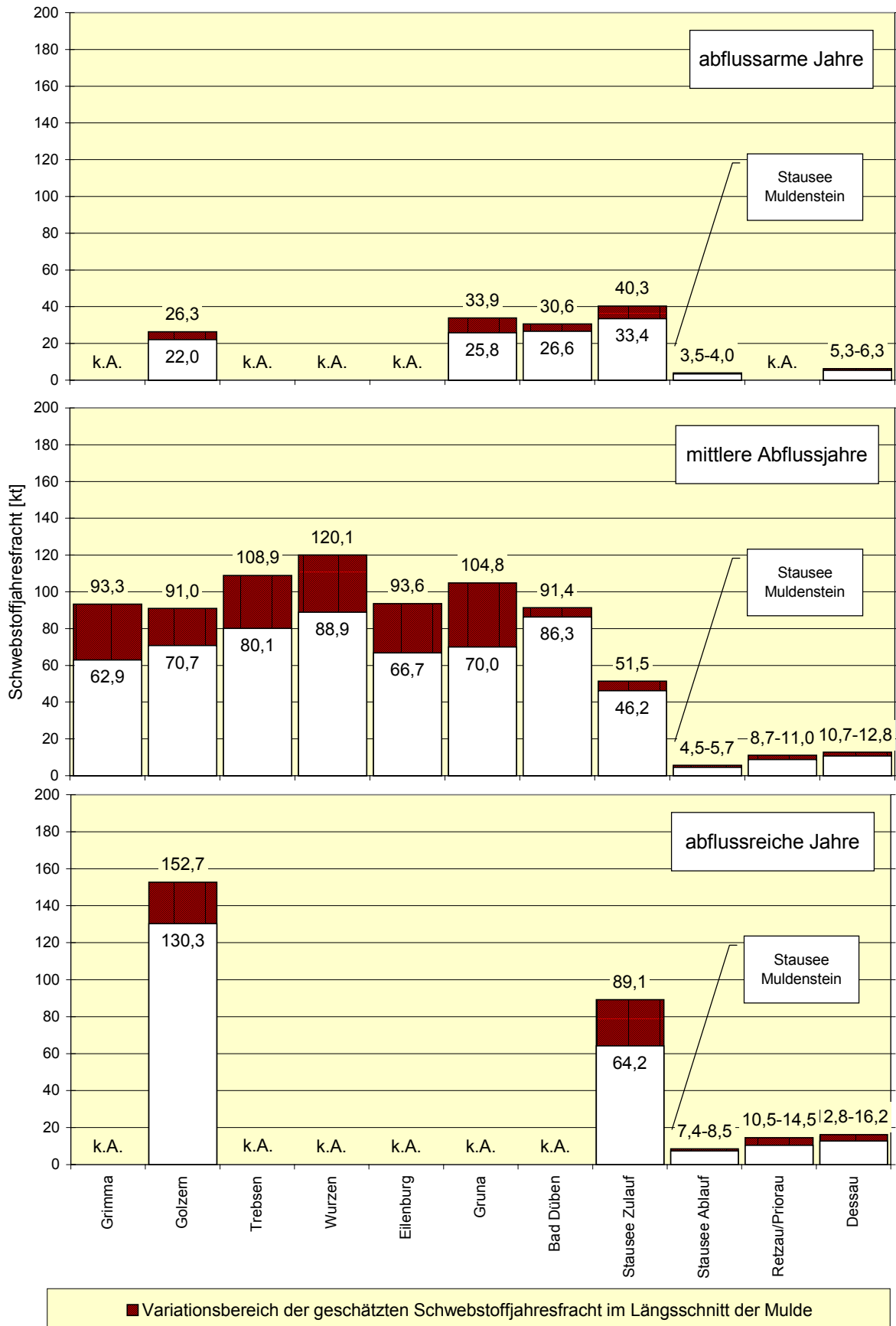


Abb. 10-9: Schwebstoffjahresfrachten im Längsschnitt der Vereinigten Mulde in abflussarmen, mittleren und abflussreichen Jahren im Zeitraum von 1990 bis 2000.

10.4 Die Bedeutung des Stausees Muldenstein als Feststoffslenke im Mulde-EZG

Die bereits festgestellte Abnahme der Schwebstoffkonzentration zwischen dem Zu- und Ablauf des Stausees Muldenstein um 87,3 % (Tab. 10-6) schlägt sich auch in einer deutlichen Reduzierung der transportierten Schwebstofffrachten in den jeweiligen hydrologischen Jahren nieder (Abb. 10-10).



Mündung Mulde in Stausee Muldenstein



Überlaufschwelle am Ablauf Stausee Muldenstein

1993	1994	1995	1997	1998	1999
Schwebstoffeintrag [kt] (Min - Max)					
33,4	36,2	64,2	47,3	55,2	63,7
-	-	-	-	-	-
40,3	42,9	89,1	54,1	57,4	91,3
Schwebstoffaustrag [kt] (Min - Max)					
3,5	5,2	7,6	4,4	3,9	8,8
-	-	-	-	-	-
4,0	7,3	8,7	4,8	5,0	11,0
Schwebstofffrachtbilanz [%] (Min - Max)					
-89,6	-83,1	-88,2	-90,7	-91,3	-86,2
-	-	-	-	-	-
-90,1	-85,5	-90,2	-91,2	-92,9	-87,9

Abb. 10-10: Schwebstofffrachtbilanz zwischen den Messstellen am Zu- und Ablauf des Stausees Muldenstein.

Es ist davon auszugehen, dass bedingt durch die Konzeption des Ablaufes als Überlaufschwelle (Abb. 10-10) im Mittel in abflussarmen 33 kt, in mittleren 50 kt und in abflussreichen Jahren 69 und bis zu 80 kt Schwebstoff im Stausee Muldenstein sedimentieren. Eine effektive Schwebstoffablagerung findet bereits an der Mündung der Vereinigten Mulde in den Stausee statt, was morphologisch durch die Bildung eines Mündungsdeltas belegt wird

(Abb. 10-10 und Abb. 10-11). Im Durchschnitt werden die Schwebstoffjahresfrachten zu 88 bis 90 % im Stausee zurückgehalten. Dies drückt sich auch in dem Stoffaustrag bezogen auf die Größe des EZG aus. Am Stauseezulauf beträgt dieser 6 – 20 kt/km²a und sinkt am Ablauf auf 0,5 – 1,5 kt/km²a (Band 2, Anhang F).



Abb. 10-11: Feststoffablagerung im Mündungsbereich der Mulde in den Stausee Muldenstein (15.05.01).

10.5 Schwebstoffeintrag der Vereinigten Mulde in die Elbe

Der effektive Schwebstoffrückhalt im Stausee Muldenstein führt dazu, dass sich die Vereinigte Mulde bei ihrer Einmündung verdünnend auf die Schwebstoffkonzentration der Elbe auswirkt. Obwohl der direkte Vergleich der Schwebstoffwerte aufgrund der unterschiedlichen Labormethodik der Bundesländer und der BfG nicht möglich ist (Kapitel 4.5), weisen die jeweiligen Jahresmittelwerte der Schwebstoffkonzentration an den Messstellen Wittenberg/Elbe (BfG) und Dessau/Vereinigte Mulde (STAU

Dessau/Wittenberg) deutliche Unterschiede und einen dementsprechenden Trend auf (Tab. 10-9).

	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Vereinigte Mulde (Ms Dessau)	7,5	4,3	5,1	4,2	5,6	5,5	6,4	6,2
Elbe (Ms Wittenberg)	42,6	33,4	44,8	43,1	47,0	35,8	30,2	25,6

Tab. 10-9: Mittlere Schwebstoffkonzentration an der Mündung der Vereinigten Mulde und der Elbe im Vergleich.

Zudem konnte der Verdünnungseffekt der linksseitig einmündenden Mulde direkt durch Messungen der Schwebstoffkonzentrationsverteilung in der Elbe ober- und unterhalb ihrer Mündung nachgewiesen werden (Abb. 10-12).

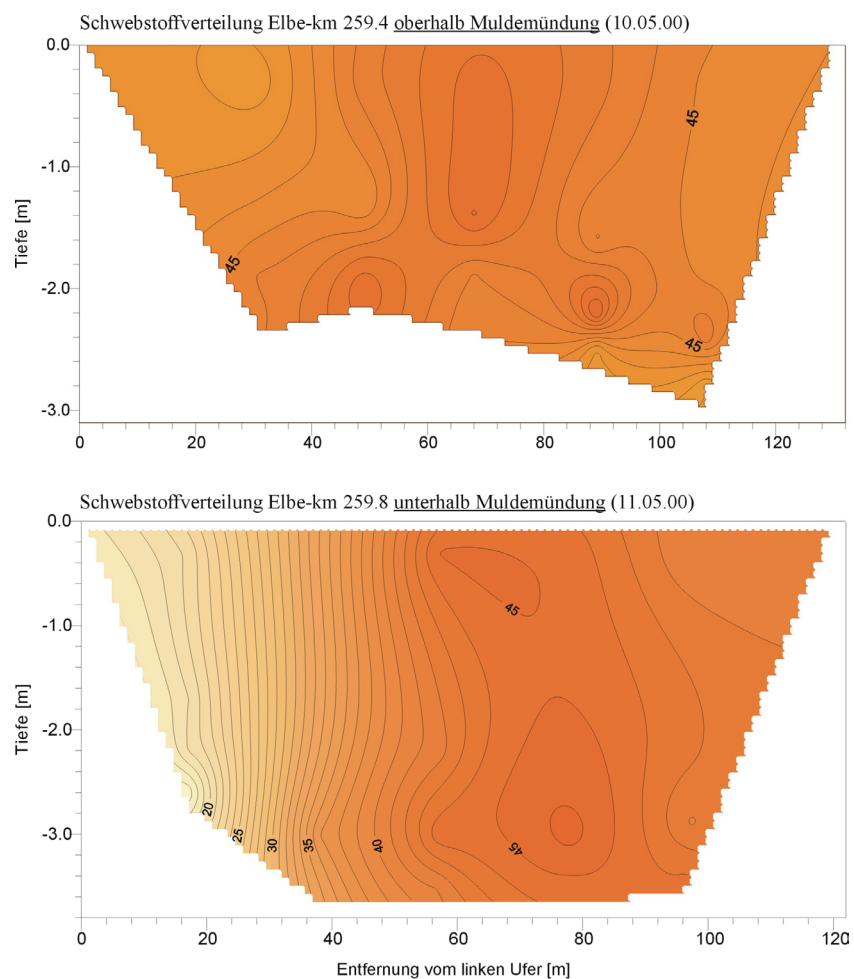


Abb. 10-12: Verdünnung der Schwebstoffkonzentration der Elbe durch die linksseitige Einmündung der Vereinigten Mulde. Vergleich der Schwebstoffverteilung durch Vielpunktmessungen mit dem Messschiff „Elbegrund“ oberhalb und unterhalb der Muldemündung (Analyse Schwebstoffgehalt nach DVWK Richtlinie DK 556.535.6).

Der relative Vergleich ist durch die Anwendung einer einheitlichen Labormethodik (DK 556.535.6) möglich. Der verdünnende Einfluss der Mulde auf die Schwebstoffkonzentration der Elbe ist unter bestimmten Bedingungen auch visuell wahrnehmbar (Abb. 10-13).



Abb. 10-13: Verdünnung der Schwebstoffkonzentration der Elbe durch die einmündende Vereinigte Mulde (Photo BURGHARDT, Arge Elbe).

Der Schwebstoffeintrag der Vereinigten Mulde in die Elbe kann über die 0,5 km von der Mündung entfernte Messstelle Dessau für den Beobachtungszeitraum von 1993 bis 1999 angegeben werden (Abb. 10-14). Im wesentlichen wird die Höhe der Schwebstofffracht vom Abfluss bestimmt, obgleich die Korrelation mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,58 nur schwach ausgeprägt ist (Band 2, Anhang F). Unter den gegenwärtigen Bedingungen trägt die Mulde in abflussarmen 5 - 6 kt, in mittleren 10,7 – 12,8 kt und in abflussreichen Jahren 12,8 – 16,2 kt Schwebstoff in die Elbe ein. Die Schwebstofffracht des Sommerhalbjahres ist gegenüber dem Winterhalbjahr leicht erhöht. Der maßgebliche Einfluss der Zwickauer Mulde auf die Höhe der Schwebstofffracht aus dem Mulde-EZG wird auch durch die Darstellung der mittleren prozentualen Anteile der Teileinzugsgebiete an der Bildung der Schwebstoffjahresfracht deutlich (Abb. 10-15).

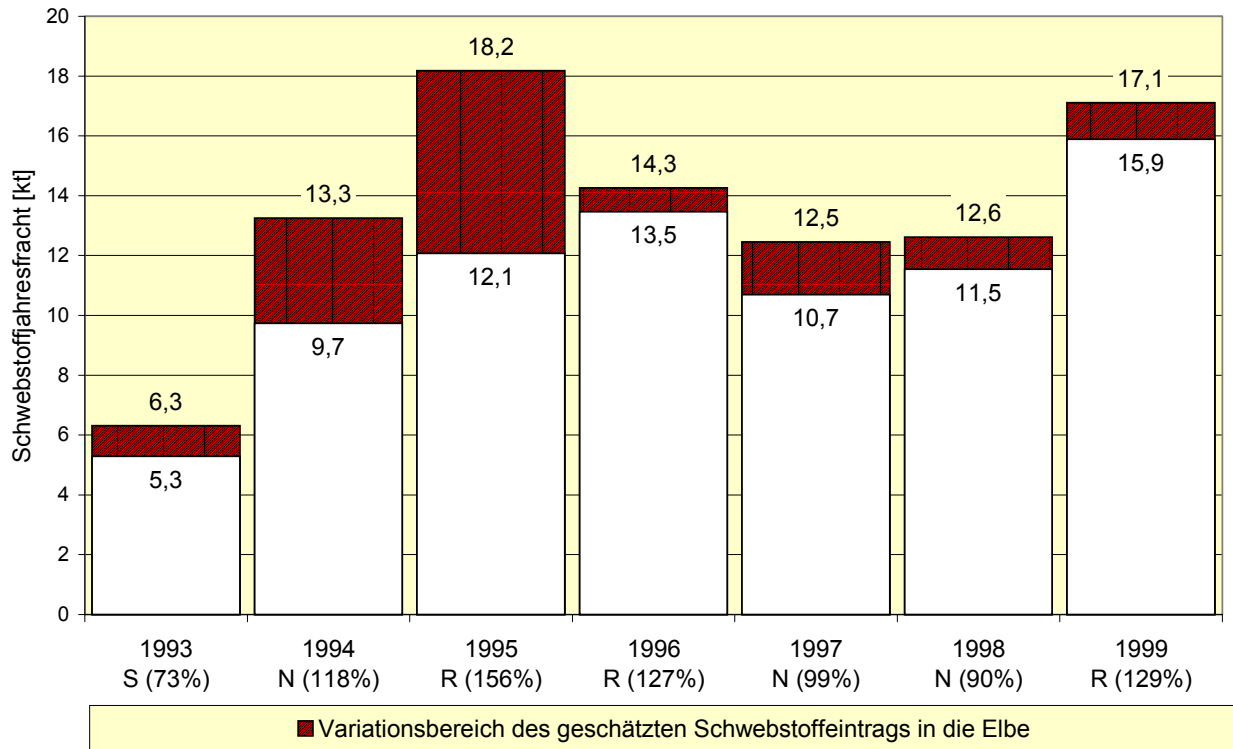


Abb. 10-14: Schwebstoffeintrag der Vereinigten Mulde im Beobachtungszeitraum (Messstelle Dessau) (S=abflussarm, N=mittleres Abflussjahr, R=abflussreich unter Angabe des prozentualen Verhältnisses von MQ Messjahr/MQ langjährig in Prozent).

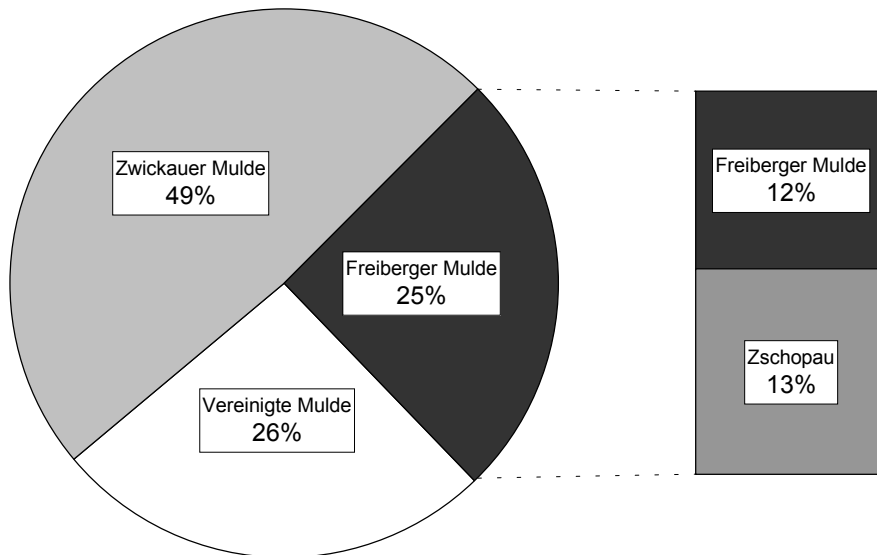


Abb. 10-15: Mittlerer prozentualer Anteil der Teileinzugsgebiete an der Schwebstoffjahresfracht der Mulde.

11 Das Einzugsgebiet der Saale

Das Gewässernetz der Saale bildet mit einer Fläche von 24079 km² das zweitgrößte Teileinzugsgebiet der Elbe. Die Saale entspringt südlich von Hof und fließt der Hauptabdachung der Mittelgebirge folgend zunächst in Richtung Nordwesten, wobei sie zahlreiche kleinere Mittelgebirgsflüsse, die das Voigtland, den Frankenwald und das Thüringische Schiefergebirge entwässern, aufnimmt (Tab. 11-1, Anlage 8). Anschluss an die Mittelgebirge Thüringer Wald, den Hainich, das Eichsfeld und den Unterharz, sowie an das Thüringer Becken erhält die Saale durch die linksseitigen Nebenflüsse Ilm (unterhalb Jena) und Unstrut (bei Naumburg). Im weiteren Verlauf sind die in Halle zur rechten einmündende Weiße Elster und die zur linken bei Bernburg und Nienburg einmündenden Nebenflüsse Wipper und Bode von Bedeutung (Tab. 11-1).

		EZG Größe	MQ Mündung
		[km ²]	[m ³ /s]
Saale		24079	116
Bode		3297	14
	Holtemme	278	1,3
	Selke	486	1,6
Fuhne		701	
Wipper		632	>2,4
Weiße Elster		5154	26
	Parthe	403	1,2
	Pleiße	1508	7,9
	Weida	459	2,6
	Göltsch	232	2,8
	Trieb	162	1,6
Unstrut		6364	>30
	Helme	1317	>7,6
	Wipper	649	>3,2
	Helbe	453	
	Gera	1092	>5,9
	Apfelstädt	370	
Ilm		1043	>5,9
Schwarza		508	>4,8
Loquitz		364	>3,9
Wisenta		176	>1,3
Selbitz		247	>2,2

Tab. 11-1: Hydrographische Gliederung des Saale EZG unter Angabe der wichtigsten Einzugsgebiete (Datenquelle ARGE ELBE, 2001).

11.1 Abflussverhältnisse im Saale-EZG

Die Hochlagen der einzugsgebietsbegrenzenden Mittelgebirge sind durch ein nivopluviales Abflussregime mit ganzjährigem Abflussreichtum gekennzeichnet. Der Oberlauf der Saale, der Weißen Elster und der Pleiße gehören dem Elster-Regime mit einem Hauptmaximum im Frühjahr und einem Nebenmaximum im Sommer oder Herbst an. Die Flüsse, welche die Harzhochlagen (Bode) und den Thüringer Wald (Schwarza, Ilm, Gera) entwässern werden dem Mulde-Regime mit nur einem ausgeprägten Abflussmaximum im Frühjahr zugerechnet. Die Unterläufe der genannten Flüsse, sowie die Unstrut sind durch einen abflussreichen Doppelmonat (Februar/März) und durch ein Abflussminimum bei geringer Austrocknung im Sommerhalbjahr gekennzeichnet (Abb. 11-1) (MARCINEK, 1991).

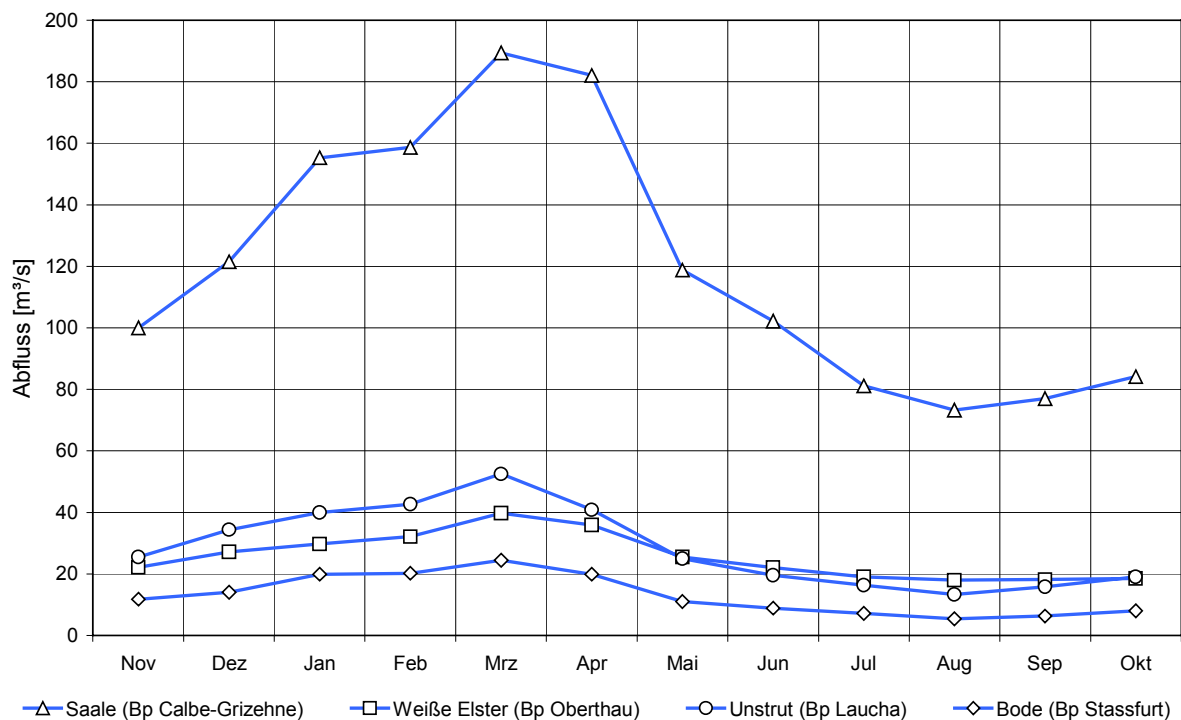


Abb. 11-1: Mittlerer langjähriger Abflussjahresgang der Saale, der Weißen Elster, der Unstrut und der Bode an den angegebenen Bezugspegeln.

Aufgrund der geomorphologischen Situation ist ein schneller Abfluss des Niederschlagswasser in den Mittelgebirgen gegeben. Dazu tragen vielerorts anstehende Gesteine mit geringer Speicherkapazität bei. Um die Abflussgeschwindigkeit zu verringern und somit das Wasserdargebot zu vergrößern, wurden zahlreiche Talsperren und Rückhaltebecken gebaut. Im Einzugsgebiet der Saale beeinflussen 81 Stauräume mit einem Volumen $> 0,3$ Mio. m^3 das Abflussverhalten der Gewässer (IKSE, 2001). Die Saale hat mit einem mittleren Durchfluss von $114 m^3/s$ am mündungsnahen Pegel Calbe-Grizehne (Tab.

11-2) einen maßgeblichen Einfluss auf das Abflussverhalten der Elbe. Dies wird auch durch den Anstieg des langjährigen mittleren Durchflusses nach der Einmündung der Saale von $437 \text{ m}^3/\text{s}$ am Pegel Aken auf $556 \text{ m}^3/\text{s}$ am Pegel Barby (HELMS M. et. al., 2000) deutlich. Auch die Saalenebenflüsse Weiße Elster und Unstrut können im Vergleich zu anderen Fließgewässern im Elbe-EZG als relativ abflussreich eingeschätzt werden. Der langjährige mittlere Durchfluss der beiden Gewässer entspricht in etwa dem, der direkt in die Elbe einmündenden, Schwarzen Elster (Tab. 11-2).

Gewässer	Pegel	A_{EO}	Lage	NQ	MNQ	MQ	MHQ	HQ
		[km^2]	[km]	[m^3/s]	[m^3/s]	[m^3/s]	[m^3/s]	[m^3/s]
Saale	Calbe-Grizehne	23719	17,6	11,5	43,6	114	372	716
Weiße Elster	Oberthau	4939	17	7,52	10,4	24,8	126	331
Unstrut	Laucha	6218	12,6	4,6	10,6	30,4	103	363
Bode	Hadmersleben	2758	46,9	0,46	3,96	14,4	55,8	123

Tab. 11-2: Hauptzahlen der hydrologischen Pegel Calbe-Grizehne, Oberthau, Laucha und Hadmersleben.

Der Beginn des Beobachtungszeitraums von 1990 bis 1993 ist im Vergleich zum langjährigen Mittel als abflussarm zu bezeichnen (Abb. 11-3, Tab. 11-3). Diese Trockenperiode wurde im Januar und März 1994 durch 2 ausgeprägte, lang anhaltende Hochwasser beendet. Während diese Ereignisse bereits zu geringfügigen Überschreitungen des langjährigen mittleren Hochwasserabflusses führten, setzten im April 1994 im gesamten Thüringer Raum langanhaltende Starkniederschläge ein, die von einem Abtauen der Restschneedecke in den höheren Lagen der Mittelgebirge begleitet wurden. Dies führte zu einem sprunghaften Ansteigen der Wasserführung in den Gewässern im Saalegebiet. In der Saale selbst traten die höchsten Hochwasserscheitel seit Inbetriebnahme des Talsperrensystems auf (Abb. 11-2).



Abb. 11-2: Hochwasser der Saale am 14.04.1994 bei Jena (li.) und an der Ilmmündung (re.) (Foto: D. Stremke, <http://www.tlug-jena.de/newwq/index.html>).

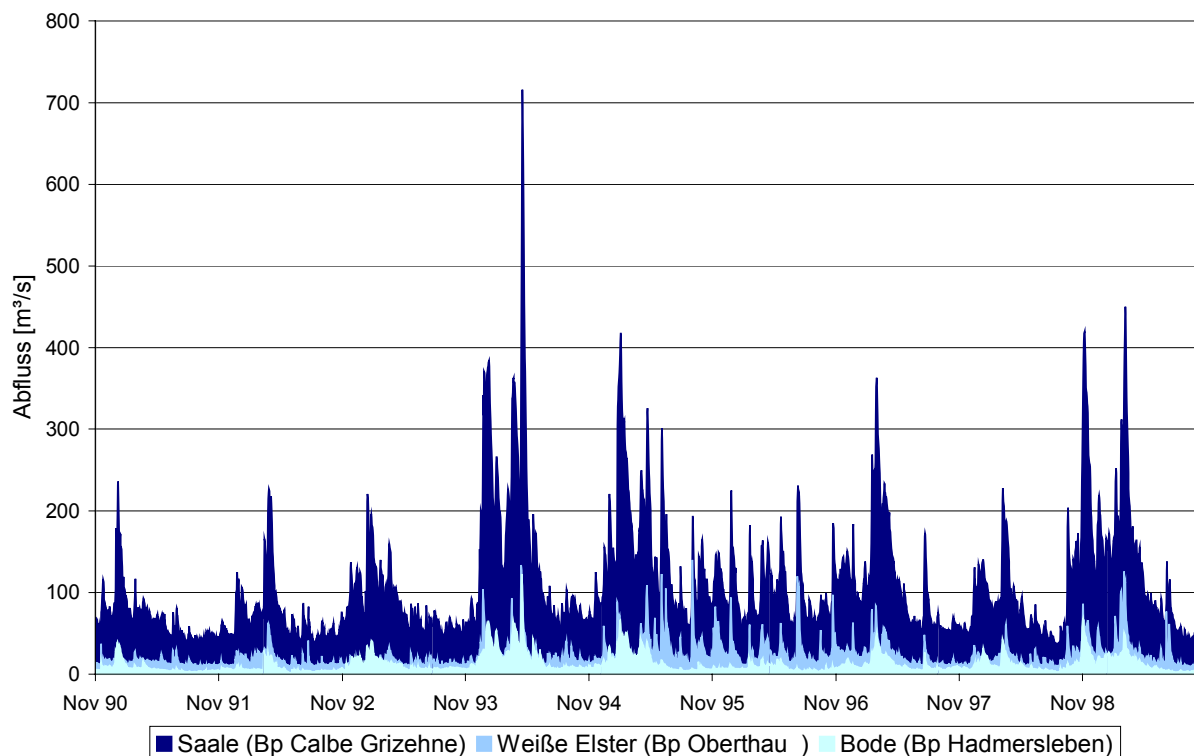


Abb. 11-3: Das Abflussgeschehen im Beobachtungszeitraum von 1991 bis 1999 in der Saale, der Weißen Elster und der Bode bezogen auf den angegebenen Bezugspegel.

Gewässer	Pegel	Abflussarme Jahre	Mittlere Abflussjahre	Abflussreiche Jahre
		MQ _{MJ} /MQ < 80 %	MQ _{MJ} /MQ 80 - 120 %	MQ _{MJ} /MQ > 120 %
Saale	Calbe Grizehne	1990 (72)	1996 (91) 1997 (100) 1999 (119)	1994 (143) 1995 (130)
		1991 (61)		
		1992 (62)		
		1993 (75)		
		1998 (78)		
Bode	Hadmersleben	1992 (46)	1993 (82) 1995 (117) 1997 (85) 1999 (97)	1994 (159)
		1996 (55)		
		1998 (77)		
Weiße Elster	Ammendorf	1990 (79)	1997 (108) 1998 (84)	1994 (122) 1995 (149) 1996 (132) 1999 (125)
		1991 (68)		
		1992 (76)		
		1993 (65)		
Unstrut	Laucha	1990 (68)	1993 (93) 1995 (113) 1997 (90) 1998 (101) 1999 (112)	1994 (159)
		1991 (56)		
		1992 (70)		
		1996 (69)		

Tab. 11-3: Einordnung der Abflussjahre im Beobachtungszeitraum gemessen am Verhältnis des mittleren Abflussjahresgangs zum MQ des Beobachtungszeitraumes in [%].

Auch an den Nebenflüssen Loquitz, Schwarza, Gera, Apfelstädt und Wipfra wurden Durchflüsse mit einem statistischen Wiederkehrintervall von über 100 Jahren erreicht. Das Abflussjahr 1994 ist demzufolge als abflussreich einzuschätzen. Dies gilt auch für das

anschließende Jahr, wobei höhere Durchflüsse in erster Linie in der Weißen Elster auftraten und sich in der unteren Saale fortsetzten (Abb. 11-3). Das Ende des Beobachtungszeitraums ist demgegenüber durch mittlere Abflussverhältnisse gekennzeichnet (Tab. 11-3, Abb. 11-3).

11.2 Entwicklung der Gewässergüte im Beobachtungszeitraum

Die Wasserbeschaffenheit der **Saale** (Anlage 8) wurde bis 1989/90 durch die Einleitung ungenügend gereinigter industrieller, kommunaler und landwirtschaftlicher Abwässer außerordentlich stark beeinträchtigt. Durch Betriebsstillegungen, Produktionsumstellungen und durch Kläranlagenbau konnte im Verlauf der 90er Jahre eine erhebliche Reduzierung der Belastung erreicht werden, wobei der stärkste Schad- und Nährstoffrückgang bis 1992 zu verzeichnen war (LAU Sachsen-Anhalt, 1998).

Bis 1998 wies die Saale bereits im Oberlauf infolge von kommunalen Abwassereinleitungen und durch Belastungen aus der Papier- und Zellstoffindustrie bei Blankenstein eine starke Verschmutzung (LAWA GK III) auf, die inzwischen durch den Bau von Kläranlagen bzw. durch Produktionsumstellungen weitgehend vermieden wird (TMUR, 1993; TMLNU, 1994; TLU Jena, 1998; LAWA, 2002). Infolge des hohen Selbstreinigungspotentials der unterhalb Blankensteins folgenden Bleiloch- und Hohenwarthe Talsperren verbessert sich die Gewässergüte weiter (GK II, TMUR, 1993; LAWA, 2002). Die Talsperren selbst werden aufgrund der hohen Sekundärbelastung (Algenblüten) jedoch als hypertroph eingestuft (TMLNU, 1994). Von Eichicht bis in den Bereich Saalfeld-Rudolstadt ist die Sohlbeschaffenheit der Saale fein- bis grobkiesig und durch umfangreichen Bestände von submersen Makrophyten gekennzeichnet. Die kommunalen und gewerblichen Abwässer von Saalfeld-Rudolstadt, sowie die einmündende Schwarza führten bis zur Anwendung von verschiedenen abwassertechnischen Maßnahmen im Jahre 1998 zur Verschlechterung der Gewässergüte (GK III bzw. II-III, TMUR, 1993; TMLNU, 1994; TLU Jena, 1998), die sich bis Bad Kösen nicht veränderte (LAU Sachsen-Anhalt, 1991, 1993, 1994, 1995, 1998). Der folgende Flussabschnitt bis Naumburg/Bad Dürrenberg ist durch naturnahe, heterogene Bett- und Uferstrukturen gekennzeichnet, die sich positiv auf das Selbstreinigungspotential der Saale auswirken und seit 1993 eine feststellbare Verbesserung der Gewässergüte verursachten (GK II, LAU Sachsen-Anhalt, 1994). Von Bad Dürrenberg bis zur Mündung in die Elbe ist die Saale zur Gewährleistung der Schiffbarkeit durch 21 Wehranlagen, Uferbefestigungen im Regelprofil ausgebaut (LAU Sachsen-Anhalt, 1995). Durch abwassertechnische Maßnahmen verbesserte sich die Wasserqualität der Saale jedoch auch im Raum Merseburg/Meuschau, so dass heute von den Saaletalsperren bis zur Mündung der Weißen Elster die

Gewässergüteklasse II (mäßig belastet) festgestellt werden kann (LAU Sachsen-Anhalt, 1998; LAWA, 2002). Die Einmündung der stark belasteten Weißen Elster sowie Abwassereinleitungen aus dem Ballungsgebiet Halle bewirken im weiteren Flussverlauf bis heute eine Verschlechterung der Gewässergüte zur GK II-III, die bis zur Einmündung der Saale in die Elbe bestehen bleibt (LAU Sachsen-Anhalt, 1991, 1993, 1994, 1995, 1998; LAWA, 2002).

Zu Beginn der 90er Jahre wies die **Ilm** (Anlage 8) bedingt durch kommunale Abwässer aus Stadtilm und Apolda überwiegend die Güteklasse II-III und schlechter auf (TMUR, 1993). Infolge von Sanierungsmaßnahmen kann inzwischen fast durchgehend die Güteklasse II festgestellt werden (TLU Jena, 1998; LAWA, 2002).

Durch den Bau von Kläranlagen konnte die Wasserqualität der **Unstrut** (Anlage 8) in den 90er Jahren schrittweise verbessert werden, so dass sie an ihrer Mündung in die Saale mit der GK II bewertet wurde. Bereits 1993 verringerte sich die Phosphatbelastung um 75 % (LAU Sachsen-Anhalt, 1993). Von der thüringischen Landesgrenze bis unterhalb von Karsdorf ist die Unstrut aus Gründen des Hochwasserschutzes in den 70er und 80er Jahren stark ausgebaut worden, so dass ein Großteil der Fließstrecke als kanalisiert bezeichnet werden muss und uferbegleitende Gehölze weitgehend fehlen. Der erosive partikelgebundene als auch der gelöste Stoffeintrag wird durch direkt an das Ufer angrenzende Ackerflächen begünstigt. Hohe Schwebstoffgehalte, die infolge von Hochwasserereignissen auftreten, sowie diffuse Stickstoffeinträge aus landwirtschaftlichen Nutzflächen haben daher einen erheblichen Einfluss auf die Gewässergüte (LAU Sachsen-Anhalt, 1995, 1998). Die Durchgängigkeit für Geschiebetransporte ist durch zahlreiche Wehre nicht gegeben. Die bei km 59,5 (MWT Sachsen-Anhalt, 2002) linksseitig einmündende **Helme** entwässert den südlichen Unterharz und weist durch die Regulierungs- und Ausbaumaßnahmen für den Hochwasserschutz und durch Querverbauungen morphologische Defizite auf. Ufergehölze sind nur auf 35 % der Fließstrecke vorhanden und landwirtschaftliche Nutzflächen grenzen direkt an das Gewässer (LAU Sachsen-Anhalt, 1995, 1998). Noch 1993 befand sich die **Gera** unterhalb von Arnstadt in der Güteklasse III-IV. Heute weist der Unstrutnebenfluss hier die Güteklasse II auf. Ursache für die frühere ungünstige Gütesituation war die Einleitung unzulänglich gereinigter kommunaler Abwässer von Arnstadt bei Ichtershausen. Dieser Belastungsschwerpunkt wurde mit der Inbetriebnahme der neuen Kläranlage Arnstadt 1994 beseitigt.

Aus Tschechien kommend weist die **Weißer Elster** (Anlage 8) die Güteklasse II-III auf, wobei ein Belastungsschwerpunkt bei Adorf eine weitere Verschlechterung bewirkt. Durch ein hohes Selbstreinigungspotential, das sich durch einen weitgehend naturbelassenen Flusslauf einstellt, verbessert sich die Beschaffenheit des Flusses jedoch rasch wieder (StUFA Plauen, 1991; SLfUG, 1997c). Die Abwasserlast aus dem Raum Oelsnitz wird weitgehend in der Talsperre Pirk abgebaut, die dadurch jedoch als polytroph einzustufen ist. Unterhalb der Talsperre tritt daher wieder die Güteklasse 2 auf. Die kommunalen und gewerblichen Abwässer aus Plauen werden bis zum Übertritt in das Bundesland Thüringen durch die einmündende Trieb verdünnt (SLfUG, 1997b). Weitere Belastungsschwerpunkte stellten bis 1997 die Abwassereinträge der Papier-, Chemie- und Textilindustrie im Raum Greiz (TMUR, 1993), die kommunalen Abwässer der Stadt Gera sowie die Gruben- und Haldenwässer der SDAG Wismut dar (TMLNU, 1994; TLU Jena, 1998). Die einmündende Weida führt durch die hohe Nährstoffbelastung des Talsperrensystems Weida-Zeulenroda zur Impfung der Weißen Elster mit Phytoplanktonorganismen. Auf dem weiteren Flussabschnitt treten weitere Belastungen durch Abwässer aus dem Leipziger Ballungsgebiet, durch die braunkohlenveredelnde Industrie und durch die einmündende Pleiße auf. Bis zur Mündung in die Saale bleibt daher die Güteklasse III bestehen (LAU Sachsen-Anhalt 1993, 1995, 1998; LAWA, 2002). Bergbaubedingt ist die Weiße Elster verlegt worden und weist zudem zahlreiche durch Querverbauungen rückgestaute Bereiche auf, die eine Verschlammung der Sohle und in Kombination mit der hohen Nährstoffbelastung die Bildung von Sapropeliten zur Folge hatten (LAU Sachsen-Anhalt, 1998, TLU Jena, 1998). Die **Pleiße** war bis 1990 eines der am stärksten belasteten Fließgewässer in Deutschland. Schon im Oberlauf musste die biologische Gewässergüte als kritisch belastet eingestuft werden (StUFA Plauen, 1991). Weitere Belastung mit kommunalen Abwässern, diffusen Einträgen aus der Landwirtschaft und aus der Textil- und metallverarbeitenden Industrie aus dem Raum Werdau-Crimmitschau führten zur weiteren Verschlechterung der Gewässergüte, die erst 1997 verbessert werden konnte (StUFA Plauen, 1991; SLfUG, 1997c). Zusätzliche Belastungsquellen bilden einmündende Nebenflüsse, wie z.B. das Meerchen aus Meerane, Abwässer der südlich von Leipzig angesiedelten carbochemische Industrie und die Talsperre Windischleuba, die in erster Linie hohe Phytoplanktongehalte in der Pleiße verursacht (SLfUG, 1997c). Der Braunkohleabbau war auch die Ursache für die Verlegung und Abdichtung des Flusses. In ihrem Unterlauf ist die Pleiße als stark ausgebaut zu bezeichnen. Der Geschiebetransport wird auch durch 22 Querverbauungen beeinträchtigt (ARGE ELBE, 2002). Mit dem Rückgang der Industrieabwässer und dem Ausbau kommunaler Kläranlagen verbesserte sich die

Wasserbeschaffenheit der unteren Pleiße von Gewässergüteklasse III bis IV (sehr stark verschmutzt) auf II bis III (kritisch belastet) (LAWA, 2002). Mit Beginn der Flutung der ehemaligen Tagebaue Espenhain und Witznitz entfallen die bisher in die Pleiße eingeleiteten Tagebausümpfungswässer. Damit steht dem Fluss künftig weniger Wasser zur Verfügung.

Die **Wipper** (Anlage 8) entwässert große Teile des Unterharzes und des östlichen Harzvorlandes. Das Gewässer weist sowohl naturnahe als auch ausgebaute und begradigte Abschnitte auf. Eine biologische oder morphologische Durchgängigkeit ist durch Querbauwerke nicht gegeben. Oberhalb der Talsperre Wippra ist eine geringe bis mäßige Belastung festzustellen (LAU Sachsen-Anhalt, 1993, 1995). Kommunale Abwassereinleitungen, morphologische Beeinträchtigungen und der Einfluss der metallurgischen Industrie führen unterhalb Hettstedt im folgenden zu einer erheblichen Verschlechterung der biologischen und chemischen Wasserbeschaffenheit, so dass an der Mündung in die Saale eine Güteklasse von II-III vorliegt (LAU Sachsen-Anhalt, 1993; LAWA, 2002).

Die **Bode** (Anlage 8) entwässert mit ihren Quell- und Zuflüssen (Warme Bode, Kalte Bode, Rappbode und Hassel) einen Großteil der Harzhochfläche. Ihr Oberlauf ist bis Thale durch geringe Belastungen (Güteklasse I-II) gekennzeichnet (LAU Sachsen-Anhalt 1991, 1993, 1994). Durch kommunale und industrielle Abwässer, der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung des Einzugsgebietes sowie durch die Zuflüsse **Holtemme**, **Selke** und Großer Graben erfährt die Wasserbeschaffenheit der Bode im weiteren Verlauf eine Verschlechterung. Ab der Messstelle Staßfurt wird daher nur die GK II-III erreicht, die bis zur Mündung in die Saale unverändert bestehen bleibt (LAU Sachsen-Anhalt 1998; LAWA, 2002).

11.3 Schwebstoffhaushalt der Gewässer im Saale Einzugsgebiet

11.3.1 Schwebstoffmessstellen

Am Saale-EZG haben die Bundesländer Bayern, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen Anteil, wobei die Zuständigkeit an Haupt- und Nebenfluss mehrfach wechseln kann. Insgesamt konnten 174 Messstellen (Anlage 8; Band 2, Anhang C und F) im Einzugsgebiet recherchiert werden, an denen der Parameter „Abfiltrierbarer Stoff“ über unterschiedlich lange Zeiträume und in wechselnder Messfrequenz erhoben wurde, so dass sich das Datenmaterial entsprechend heterogen darstellt. Für die Betrachtung des

Schwebstoffhaushalts wurden 61 relevante Messstellen ausgewählt, von denen wiederum 17 (Tab. 11-4) für die Quantifizierung von Schwebstofffrachten geeignet waren.

Gewässer	Messstelle	Beobachtungszeitraum		Anzahl Messwerte/a	Bezugspegel	Zuständigkeit
Saale	Gross Rosenberg	01.1992	12.1999	26	Calbe-Grizehne	StAU Magdeburg
Saale	Nienburg	01.1992	12.1999	26	Calbe-Grizehne	StAU Halle
Saale	Halle Trotha	01.1992	12.1999	26	Halle-Trotha UP	StAU Halle
Saale	Naumburg	01.1992	12.1999	25	Naumburg-Grochlitz	StAU Halle
Saale	Camburg-Stöben	01.1999	12.1999	21	Camburg-Stöben	TLU Jena
Saale	Rudolstadt	01.1999	12.1999	15	Rudolstadt	TLU Jena
Bode	Neugattersleben	01.1989	12.2000	26	Stassfurt	StAU Magdeburg
Bode	Stassfurt	01.1991	12.2000	26	Stassfurt	StAU Magdeburg
Bode	Hadmersleben	03.1992	12.2000	27	Hadmersleben	StAU Magdeburg
Holtemme	Nienhagen	01.1989	12.2000	26	Mahndorf	StAU Magdeburg
Selke	Hedersleben	06.1991	12.2000	27	Meisdorf	StAU Magdeburg
Wipper	Aderstedt	01.1992	12.1999	26	Gross-Schierstedt	StAU Dessau/Wittenberg
Weißer Elster	Ammendorf	01.1992	12.1999	28	Oberthau	StAU Halle
Weißer Elster	Schkeuditz	01.1990	09.2001	10 - 17	Oberthau	StUFA Leipzig
Weißer Elster	Grosszschocher	01.1990	10.2000	10 - 17	Kleindalzig	StUFA Leipzig
Pleiße	Markkleeberg	01.1990	10.2000	10 - 22	Böhlen	StUFA Leipzig
Unstrut	Freyburg	01.1992	12.1999	28	Laucha	StAU Halle

Tab. 11-4: Ausgewählte Gütemessstellen im Saale-EZG, an denen Schwebstofffrachten bestimmt werden konnten. Vollständige Auflistung der recherchierten Messstellen siehe Band 2-Anhang C und Anlage 8.

Im Zuständigkeitsbereich des Bundeslandes Thüringen beschränken sich die recherchierten Schwebstoffmesswerte generell auf das Jahr 1999, wodurch Aussagen zum Schwebstoffhaushalt nur begrenzt möglich sind. Dies betrifft die Oberläufe der Saale (ab Camburg-Stöben) und der Unstrut (ab Oldisleben) mit allen dazugehörigen Nebenflüssen, sowie Flussabschnitte der Weißen Elster und der Pleiße.

11.3.2 Schwebstoffkonzentration

11.3.2.1 Schwebstofflängsschnitt der Saale

Schwebstoffmesswerte von der Quelle bis zur Mündung liegen an der Saale nur für das Jahr 1999 vor (Abb. 11-4). In diesem Jahr zeigt sich eine deutliche Beeinflussung des Schwebstoffjahresgangs im Oberlauf der Saale durch die Talsperren Bleiloch und Hohenwarthe. Aufgrund der hohen Nährstoffbelastung der Talsperren beeinflusst vor allem die Bioproduktivität das Verhältnis der halbjährlichen Schwebstoffmittelwerte zugunsten des Sommerhalbjahres. In diesem Jahr trat im Juli ein ausgeprägtes Maximum der Schwebstoffbelastung auf, welches auf eine entsprechende Algenblüte zurückzuführen war. Unterhalb der Talsperre Hohenwarthe (Messstelle Eichicht), die über einen Grundablass verfügt, änderte sich die Schwebstoffführung grundlegend (Abb. 11-4).

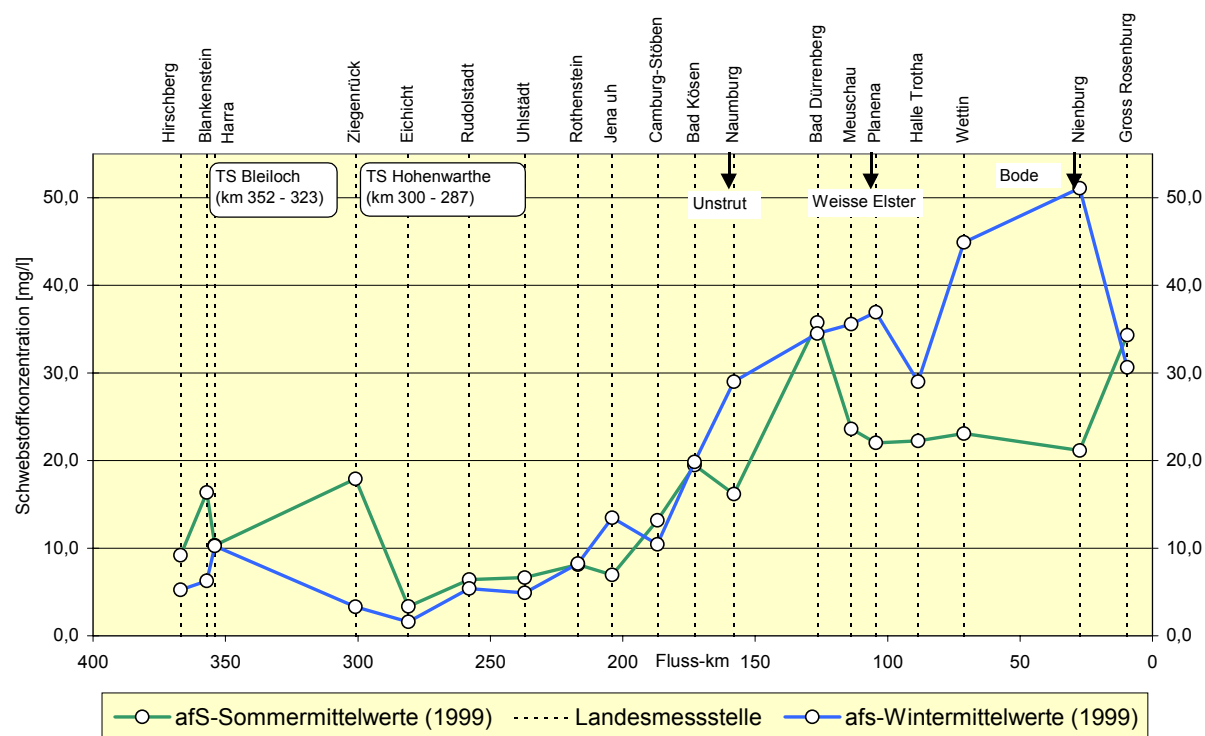


Abb. 11-4: Schwebstofflängsschnitt der Saale getrennt nach Sommer- und Winterhalbjahr für das Jahr 1999.

Der Rückgang der mittleren Schwebstoffkonzentration (1999) zwischen Ziegenrück und Eichicht von 12 auf 3 mg/l zeigt deutlich den hohen Partikelrückhalt in dem Talsperrensystem. Unterhalb der Talsperre Hohenwarthe glichen sich die sommerlichen und winterlichen Schwebstoffgehalte weitgehend an, um im weiteren Verlauf kontinuierlich anzusteigen. Dieser Trend setzte sich im Jahr 1999 bis Nienburg fort, wobei ab Meuschau die sommerlichen Werte weitgehend konstant blieben (Abb. 11-4). Zwischen Nienburg und Groß Rosenberg kehrten sich diese Verhältnisse um. Diese Umkehr ist, wie die längeren

Messreihen zeigen, jedoch nicht typisch. Im Zeitraum von 1992 bis 1999 steigt die Schwebstoffführung der Saale von Bad Kösen bis zur Mündung durchgängig, bis auf die, auch im Jahr 1999 aufgetretene, Diskontinuität an der Messstelle Halle-Trotha, an. In Groß Rosenberg (1992-1999) liegt das Wintermittel der Schwebstoffkonzentration bei 32 mg/l und das Sommermittel bei 28 mg/l. Im wesentlichen ist der Schwebstofflängsschnitt des Jahres 1999 mit dem des Zeitraums von 1992-1999 zwischen Bad Kösen und Groß Rosenberg gut vergleichbar, so dass die dargestellten Verhältnisse im Saaleabschnitt bis Camburg-Stöben auch allgemein zutreffend sein dürften. Der Einfluss der einmündenden Unstrut, Weißen Elster und Bode ist auf der Grundlage des Längsschnittes (1992-1999) nur schwer einzuschätzen, da sich zumindest ab Halle-Trotha die morphologischen und hydraulischen Verhältnisse in der Saale durch den Gewässerausbau ändern und sich demzufolge Schwebstoffeintrag und Sedimentation in Rückstaubereichen überlagern können. Aus diesem Grund werden im folgenden die Schwebstoffverhältnisse in den Nebenflüssen und insbesondere an den mündungsnächsten Messstellen betrachtet.

11.3.2.2 Saalenebenflüsse Selbitz, Loquitz, Schwarza, Orla und Ilm

Im Jahr 1999 wurden an den kleineren Nebenflüssen der Saale Selbitz, Loquitz, Schwarza und Orla Schwebstoffmessungen vorgenommen, die in der Regel Konzentrationen von weniger als 10 mg/l bzw. unter der Nachweisgrenze von 1 mg/l erbrachten. Nur in der Selbitz und der Orla traten sowohl im Winter als auch im Sommer Maxima von bis zu 130 mg/l auf. Des weiteren werden an der Ilm, die einige Kilometer unterhalb von Jena in die Saale mündet, an 4 Messstellen (Band 2, Anhang C und F) Schwebstoffgehalte bestimmt, wobei jedoch nur Schwellenwerte angegeben werden. Der Schwellenwert von < 20 mg/l wurde an keiner Messstelle im Jahr 1999 überschritten.

11.3.2.3 Unstrut

Im Einzugsgebiet der Unstrut wurden ebenfalls Gütemessstellen eingerichtet an denen der Parameter „Abfiltrierbarer Stoff“ erhoben wird. Allerdings liegt nur für die mündungsnächste Messstelle Freyburg eine längere Messreihe vor. Im Jahr 1999 wurden auch an den Unstrutnebenflüssen Wipfra, Helbe, Helme, Wipper und Gera Daten erhoben, allerdings wurden auch hier Schwellenwerte von 20 bzw. 10 mg/l eingeführt, bei deren Unterschreitung keine genauere Angabe der bestimmten Konzentration erfolgt. Eine Interpretation dieser Messwerte kann somit entfallen. Anhand der Datenreihe an der Messstelle Freyburg kann jedoch der Einfluss der Unstrut auf die Schwebstoffführung der Saale bestimmt werden. Demnach sind in der Unstrut von November bis März Schwebstoffgehalte von 30 – 50 mg/l charakteristisch. Bis auf ein weiteres Nebenmaximum im Mai (> 30 mg/l) liegen die

Konzentrationen unter 20 mg/l. Im Vergleich mit der Messstelle Bad Kösen, die sich oberhalb der Unstrutmündung befindet, bewirkt die Unstrut demnach einen deutlichen Schwebstoffkonzentrationsanstieg in der Saale im Winterhalbjahr, der sich auch in den Jahresmittelwerten niederschlägt (Tab. 11-5, Abb. 11-5).

	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Unstrut (Ms Freyburg)	13,4	31,4	19,5	21,7	37,0	23,8	25,3	29,5
Saale (Ms Bad Kösen)	9,8	10,8	9,9	13,8	42,4	12,3	19,2	19,6

Tab. 11-5: Vergleich der Jahresmittelwerte der Schwebstoffkonzentrationen der mündungsnahen Messstelle Freyburg (Unstrut) und der oberhalb der Einmündung gelegenen Messstelle Bad Kösen (Saale) im Zeitraum von 1992 bis 1999.

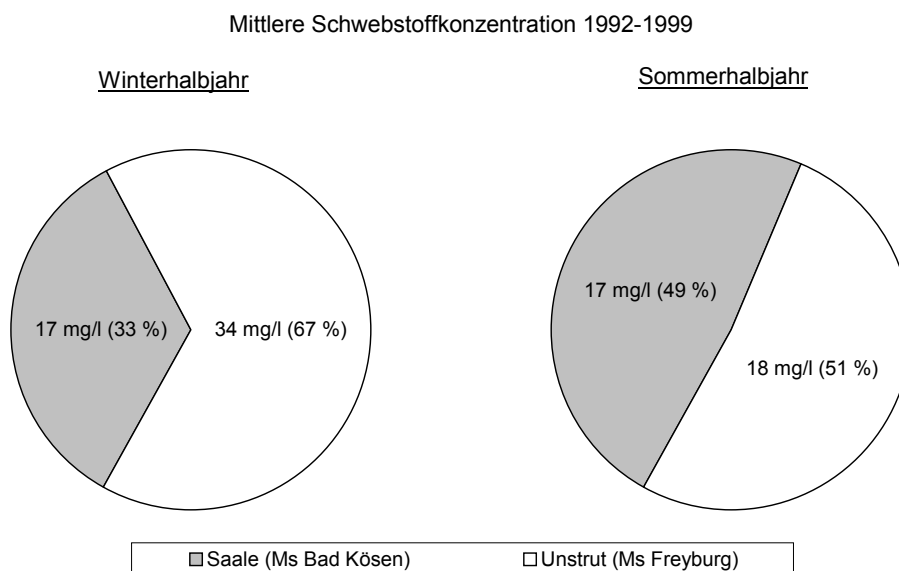


Abb. 11-5: Vergleich der Mittelwerte der Schwebstoffkonzentrationen der mündungsnahen Messstelle Freyburg (Unstrut) und der oberhalb der Einmündung gelegenen Messstelle Bad Kösen (Saale) im Zeitraum von 1992 bis 1999 getrennt nach Sommer- und Winterhalbjahr.

Der Einfluss der Unstrut lässt sich auch aus der Veränderung des Schwebstoffjahresgangs zwischen den Messstellen Bad Kösen und Naumburg ableiten. Dieser entspricht in Naumburg fast vollständig dem der Unstrut in Freyburg (Band 2, Anhang F).

Die auffällige Änderung des Verhältnisses zwischen winterlicher und sommerlicher Schwebstoffkonzentration an der Messstelle Naumburg im Längsschnitt der Saale (Abb. 11-4) lässt sich auf den Einfluss der Unstrut zurückführen.

11.3.2.4 Weiße Elster

Die Schwebstoffverhältnisse der Weißen Elster können im Oberlauf bis zur Messstelle Lochbauernmühle und im Unterlauf ab Grosszschocher anhand längerer Messreihen beschrieben werden. In dem dazwischen liegenden Abschnitt liegen nur Werte für das Jahr 1999 vor, die an dieser Stelle nicht näher diskutiert werden (Band 2, Anhang F). Im Oberlauf der Weißen Elster treten in der Regel Schwebstoffgehalte von 12 bis 14 mg/l (Median) auf. Diese steigen bis zur Messstelle Grosszschocher auf 18 und nach der Einmündung der stark schwebstoffbelasteten Pleiße (23 mg/l; Band 2, Anhang F) bis Schkeuditz auf 20 mg/l (Mediane) an. Ausgehend von der Gesamtbetrachtung der untersuchten Messstellen im Elbe-EZG (190) ist die Schwebstoffführung an diesen Messstellen als sehr hoch zu bewerten (Rang 10 bzw. 7). Bis zur Einmündung der Weißen Elster in die Saale tritt im Beobachtungszeitraum zwischen Schkeuditz und Ammendorf ein Rückgang der Schwebstoffkonzentration auf 16 mg/l (Median) ein, der u.U. auf die Stromspaltungen in Luppe u.a. im Mündungsbereich zurückzuführen ist.

	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Weißer Elster (Ms Ammendorf)	21,8	16,4	16,2	20,4	15,5	15,9	20,8	22,4
Saale (Ms Planena)	14,6	17,4	20,5	15,1	23,6	17,4	23,2	29,2

Tab. 11-6: Vergleich der Jahresmittelwerte der Schwebstoffkonzentrationen der mündungsnahen Messstelle Ammendorf (Weiße Elster) und der oberhalb der Einmündung gelegenen Messstelle Planena (Saale) im Zeitraum von 1992 bis 1999.

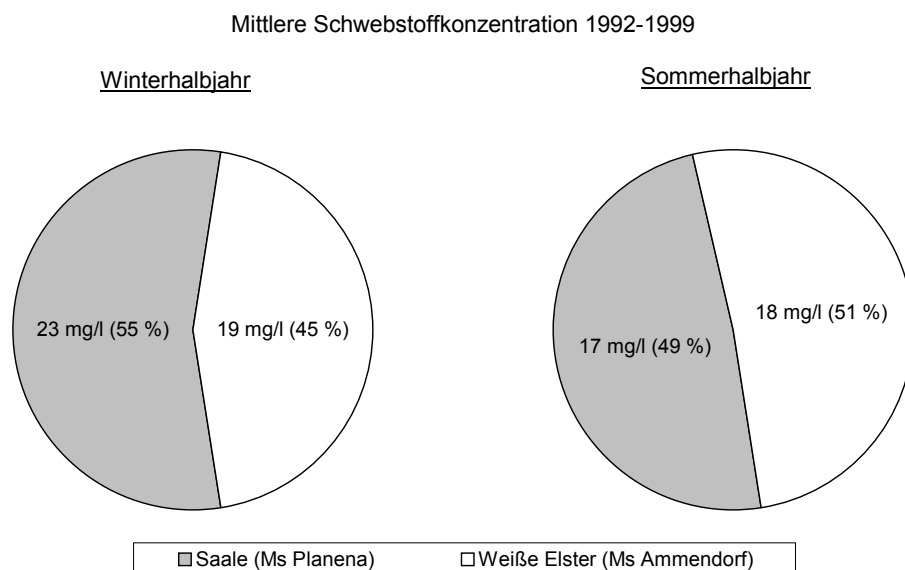


Abb. 11-6: Vergleich der Mittelwerte der Schwebstoffkonzentrationen der mündungsnahen Messstelle Ammendorf (Weiße Elster) und der oberhalb der Einmündung gelegenen Messstelle Planena (Saale) im Zeitraum von 1992 bis 1999 getrennt nach Sommer- und Winterhalbjahr.

Im Vergleich zur oberhalb der Mündung gelegenen Messstelle Planena beeinflusst die Weiße Elster nicht die Schwebstoffkonzentration in der Saale. Beide Gewässer sind in diesem Abschnitt als schwebstoffreich zu bezeichnen, wobei die Jahresmittelwerte aufgrund der höheren winterlichen Schwebstoffkonzentration in der Saale in der Regel geringfügig höher ausfallen (Tab. 11-6, Abb. 11-6).

11.3.2.5 Wipper

Die direkt in die Saale einmündende Wipper weist im Beobachtungszeitraum von 1992 bis 1999 im allgemeinen Schwebstoffgehalte von 5 bis 15 mg/l an der mündungsnächsten Messstelle Aderstedt auf. Auffällig sind jedoch die hohen Monatsmittelwerte im Winterhalbjahr von 40 bis 60 mg/l bzw. über 80 mg/l im Dezember, die die sommerlichen Schwebstoffgehalte (9-28 mg/l) bei weitem übertreffen.

	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Wipper (Ms Aderstedt)	20,9	28,4	56,3	23,2	32,0	24,8	34,2	31,7
Saale (Ms Wettin)	12,3	12,3	16,2	13,7	27,2	14,1	18,1	33,6

Tab. 11-7: Vergleich der Jahresmittelwerte der Schwebstoffkonzentrationen der mündungsnahen Messstelle Aderstedt (Wipper) und der oberhalb der Einmündung gelegenen Messstelle Wettin (Saale) im Zeitraum von 1992 bis 1999.

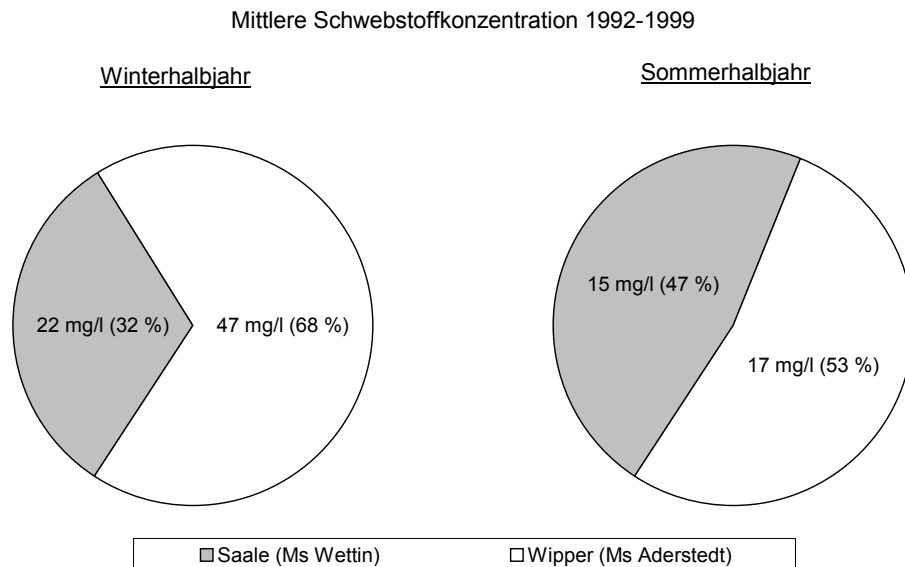


Abb. 11-7: Vergleich der Mittelwerte der Schwebstoffkonzentrationen der mündungsnahen Messstelle Aderstedt (Wipper) und der oberhalb der Einmündung gelegenen Messstelle Wettin (Saale) im Zeitraum von 1992 bis 1999 getrennt nach Sommer- und Winterhalbjahr.

Die winterlichen Schwebstoffgehalte der Wipper sind gegenüber der Saale (Ms Wettin) signifikant erhöht, was sich letztlich auch in höheren Jahresmittelwerten ausdrückt. Allerdings ist der mittlere Durchfluss der Wipper gering, so dass eine Beeinflussung der Schwebstoffführung der Saale durch die Wipper nicht gegeben sein dürfte.

11.3.2.6 Bode

Unterhalb der Rappbodetalsperren an der Messstelle Treseburg wies die Bode im Beobachtungszeitraum von 1991 bis 2000 an 95 % der Messtage eine geringfügige Schwebstoffführung von weniger als 10 mg/l auf. Auf der 50 km langen Flussstrecke bis zur nächstgelegenen Messstelle bei Hadmersleben münden die Selke (rechtsseitig, Fluss-km 80) und die Holtemme (linksseitig, Fluss-km 63) in die Bode. In beiden Nebenflüssen zeigt sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen Abfluss und Schwebstoffkonzentration (Methode 5, Band 2, Anhang F und H), so dass in den Wintermonaten erhöhte Schwebstoffgehalte zu verzeichnen sind. Aber auch kurzfristige Hochwasserabflüsse in den Sommermonaten führen zu einem sprunghaften Anstieg der Schwebstoffkonzentration. So sind die im Beobachtungszeitraum festgestellten Maxima in der Selke von 570 mg/l und in der Holtemme von 1300 mg/l auf ein Starkregenereignis am 21.07.1997 zurückzuführen. Unter mittleren Abflussbedingungen liegen die Schwebstoffgehalte im allgemeinen jedoch unter 20 mg/l. Die Abflussabhängigkeit der Schwebstoffführung sowie eine in den Wintermonaten signifikant

höhere Konzentration sind auch an den unterhalb der Selke- und Holtemmemündung gelegenen Gütemessstellen in der Bode charakteristisch (Abb. 11-8).

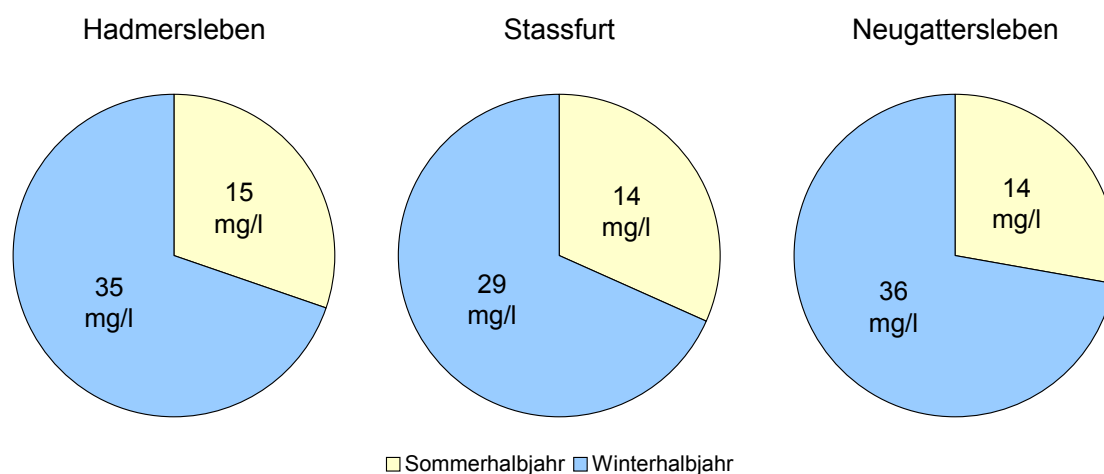


Abb. 11-8: Mittlere Schwebstoffkonzentration im Sommer- und Winterhalbjahr im Beobachtungszeitraum an den Messstellen Hadmersleben (Fluss-km 46,9), Stassfurt (Fluss-km 16) und Neugattersleben (Fluss-km 7).

Beim Vergleich der Schwebstoffführung von Bode (Messstelle Neugattersleben) und Saale (Messstelle Nienburg) zeigt sich, dass die Bode im Winterhalbjahr deutlich höhere Schwebstoffgehalte aufweist, ihr Einfluss im Sommerhalbjahr jedoch weitgehend zu vernachlässigen ist (Abb. 11-9). Dies begründet sich indirekt aus dem mittleren Jahresgang der Schwebstoffkonzentration in der Saale, der durch ein ausgeprägtes Nebenmaximum von Juni bis August gekennzeichnet ist und eine gegenüber der Bode erhöhte Bioproduktivität anzeigt (Band 2, Anhang F). Die Abhängigkeit des Schwebstoffgehaltes von der Höhe des Abflusses (Kapitel 5.2.5, Methode 5a) ist in beiden Flüssen nur im Winterhalbjahr mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,85 bzw. 0,97 an den Messstellen Nienburg (Saale) bzw. Neugattersleben (Bode) (Band 2, Anhang F und H) feststellbar. Die höheren winterlichen Schwebstoffgehalte der Bode führen bis auf die Abflussjahre 1996 und 1999 auch zu höheren Jahresmittelwerten (Tab. 11-8).

	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Bode (Ms Neugattersleben)	26,9	39,3	28,9	22,0	15,6	20,8	28,8	16,0
Saale (Ms Nienburg)	19,2	17,3	24,9	20,1	21,9	18,7	21,7	35,5

Tab. 11-8: Vergleich der Jahresmittelwerte der Schwebstoffkonzentrationen der mündungsnahen Messstelle Neugattersleben (Bode) und der oberhalb der Einmündung gelegenen Messstelle Nienburg (Saale) im Zeitraum von 1992 bis 1999 .

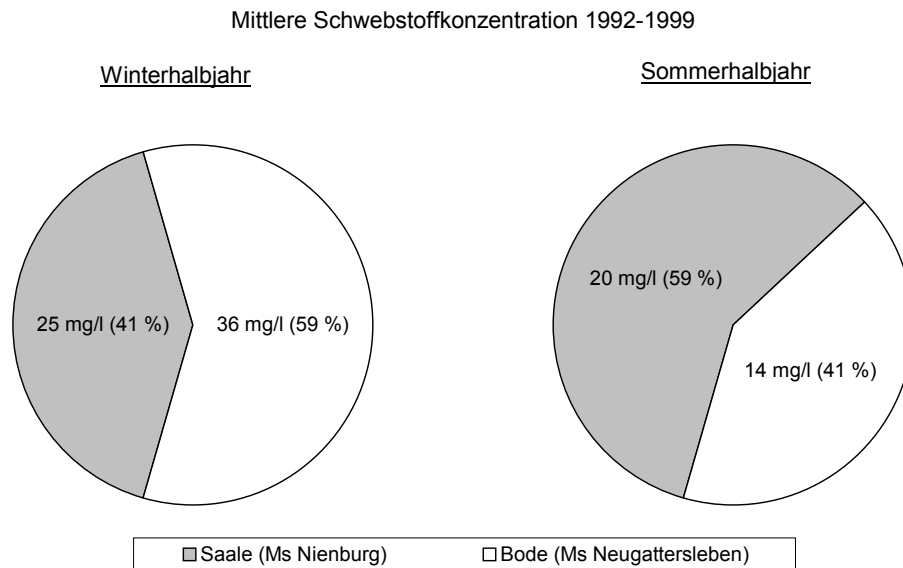


Abb. 11-9: Vergleich der Mittelwerte der Schwebstoffkonzentrationen der mündungsnahen Messstelle Neugattersleben (Bode) und der oberhalb der Einmündung gelegenen Messstelle Nienburg (Saale) im Zeitraum von 1992 bis 1999 getrennt nach Sommer- und Winterhalbjahr.

11.3.2.7 Schwebstoffjahresgang und mündungsnaher Schwebstoffkonzentration in der Saale

Aufgrund der getroffenen Aussagen zum Schwebstofflängsschnitt der Saale und den Schwebstoffverhältnissen an den Schnittstellen Nebenflusseinmündung und Hauptstrom, führen die linksseitigen Zuflüsse Unstrut, Wipper und Bode der Saale vor allem im Winterhalbjahr Schwebstoffe zu. Die rechtsseitig einmündende Weiße Elster ist hinsichtlich der Höhe und des Verlaufs der Schwebstoffführung mit der Saale vergleichbar. Die ausgeprägte Zweigipfligkeit des mittleren Schwebstoffjahresgangs der Saale mit einem abflussbedingten Maximum im Winterhalbjahr und einem Nebenmaximum im Sommerhalbjahr, welches ab der Messstelle in Bad Dürrenberg deutlich wird, ist demzufolge in erster Linie auf Prozesse im Hauptstrom zurückzuführen. Inwieweit daran eine erhöhte sommerliche Bioproduktivität beteiligt ist, die durch Rückstaueffekte an Wehren u.ä. begünstigt wird, lässt sich noch nicht abschließend beurteilen (Abb. 11-10).

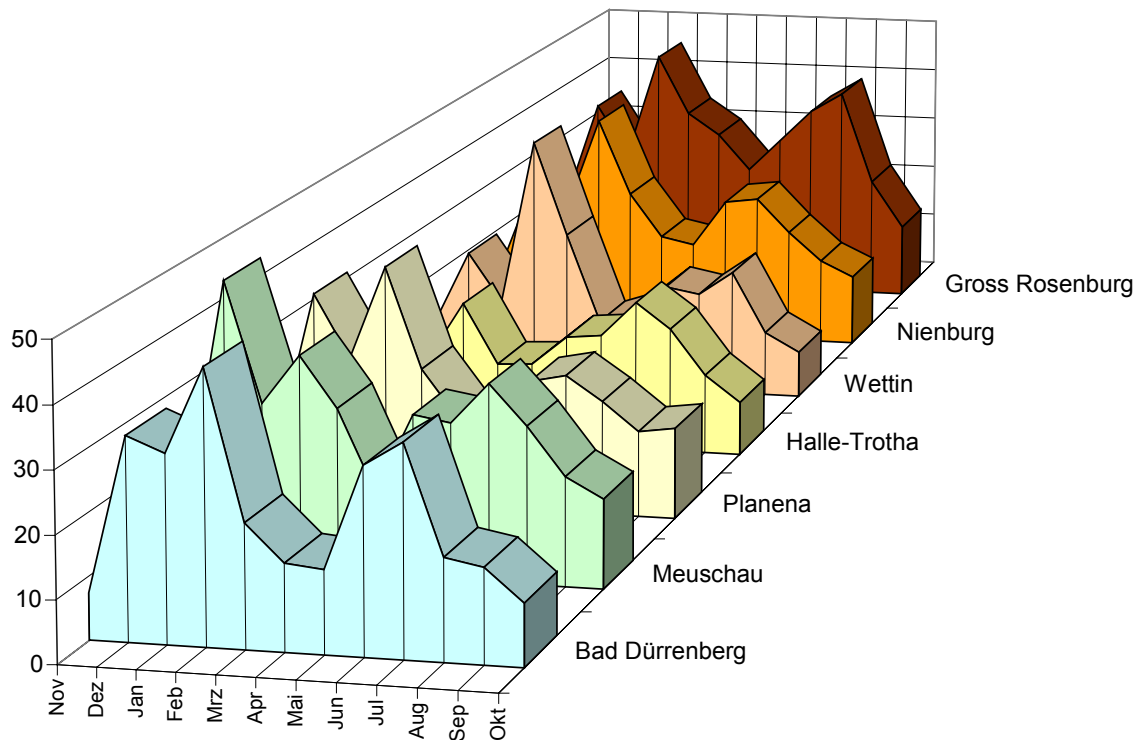


Abb. 11-10: Verlauf des mittleren Schwebstoffjahresgangs in der Saale von Bad Dürrenberg bis Groß Rosenberg.

Des weiteren ist der mittlere Jahresgang der Schwebstoffkonzentration an allen untersuchten Messstellen in der Saale durch 2 Minima der Schwebstoffführung im Frühjahr und im Herbst gekennzeichnet (Abb. 11.10). Dabei ist es unerheblich ob der Median oder der Mittelwert der Schwebstoffmesswerte im Beobachtungszeitraum für die Auswertung herangezogen wird. Ob diese niedrigen monatlichen Schwebstoffgehalte ebenfalls mit biologischen Prozessen (Klarwasserstadium), wie sie jedoch eher in Stillgewässern zu erwarten sind, begründet werden können, ist aus dem vorliegenden Datenmaterial nicht erschöpfend zu beantworten. Die winterlichen und sommerlichen Schwebstoffgehalte führen jedoch zu hohen Jahresmittelwerten, wodurch die Minima im Frühjahr und im Herbst kaum an Bedeutung gewinnen. Die Saale ist als schwebstoffreiches Gewässer zu charakterisieren.

	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Saale (Ms Gross Rosenberg)	33,8	26,9	33,8	29,2	26,7	25,2	30,1	32,5

Tab. 11-9: Jahresmittelwerte der Schwebstoffkonzentration an der mündungsnächsten Saalemessstelle Gross Rosenberg.

Von den untersuchten Elbezuflüssen weisen im Beobachtungszeitraum nur der Solkanal (47 mg/l), die Döllnitz (28 mg/l) und die Sülze (26 mg/l) höhere Schwebstoffgehalte (Median) als die Saale (24 mg/l) auf.

11.3.3 Schwebstofffracht

Von den 19 recherchierten Gütemessstellen an der Saale konnten die 4 Messstellen Naumburg, Halle-Trotha, Nienburg und Groß Rosenberg für die Quantifizierung von Schwebstoffjahresfrachten im Beobachtungszeitraum von 1993 bis 1999 genutzt werden. Für das abflussreiche Jahr 1999 lagen auch an den weiter oberhalb liegende Messstellen Camburg-Stöben und Rudolstadt Messwerte vor (Tab. 11-4). Des Weiteren wurden von den zuständigen Landesämtern Messreihen zur Verfügung gestellt, mit denen die Schwebstoffeinträge der Nebenflüsse Unstrut, Weiße Elster, Wipper und Bode abgeschätzt werden konnten. In dem folgenden Kapitel werden der Frachtlängsschnitt der Saale, der Beitrag ihrer Zuflüsse sowie der Schwebstoffeintrag der Saale in die Elbe betrachtet. Detaillierte Angaben zur Variabilität der Schwebstofftagesfrachten, zu den angewandten Berechnungsmethoden sowie zu weiteren quantifizierbaren Messstellen an den Nebenflüssen der Saale (Pleiße, Holtemme, Selke) sind in Band 2-Anhang F und H dargestellt.

11.3.3.1 Schwebstofffrachtlängsschnitt der Saale

Aus dem anhand der verschiedenen Frachtberechnungsmethoden geschätzten Schwebstofffrachtlängsschnitt der Saale wird deutlich, dass in abflussarmen und mittleren Jahren Diskontinuitäten im flussabwärts gerichteten Stofftransport auftreten (Abb. 11.11). Zwischen den Messstellen Naumburg und Halle-Trotha sowie Nienburg und Groß Rosenberg ergeben sich negative Frachtbilanzen, die auf eine Sedimentation von Schwebstoffen im Flussschlauch schließen lassen und durch den Gewässerrückstau an den Wehranlagen zwischen Bad Dürrenberg und Groß Rosenberg erklärbar sind. Diese Aussage deckt sich mit den Angaben des Wasser- und Schifffahrtsamtes Magdeburg (mündl. Mit., 07/2002) und mit RÜDIGER (1969), nach denen regelmäßige Baggerungen zur Freihaltung der Fahrrinne im Unterlauf der Saale notwendig werden. Im Mittel nimmt die Schwebstoffjahresfracht zwischen Naumburg und Groß Rosenberg in abflussarmen Jahren jedoch um 34 bis 39 kt und in mittleren Abflussjahren um 62 bis 68 kt zu (Abb. 11.11). Da die Wehranlagen bei höheren Wasserständen überströmt bzw. bei beweglichen Wehren die Wehrverschlüsse geöffnet werden, haben sie in abflussreichen Jahren weniger Einfluss auf den Schwebstofftransport. Dies wird in der Saale durch eine kontinuierliche Frachtzunahme im Längsschnitt deutlich.

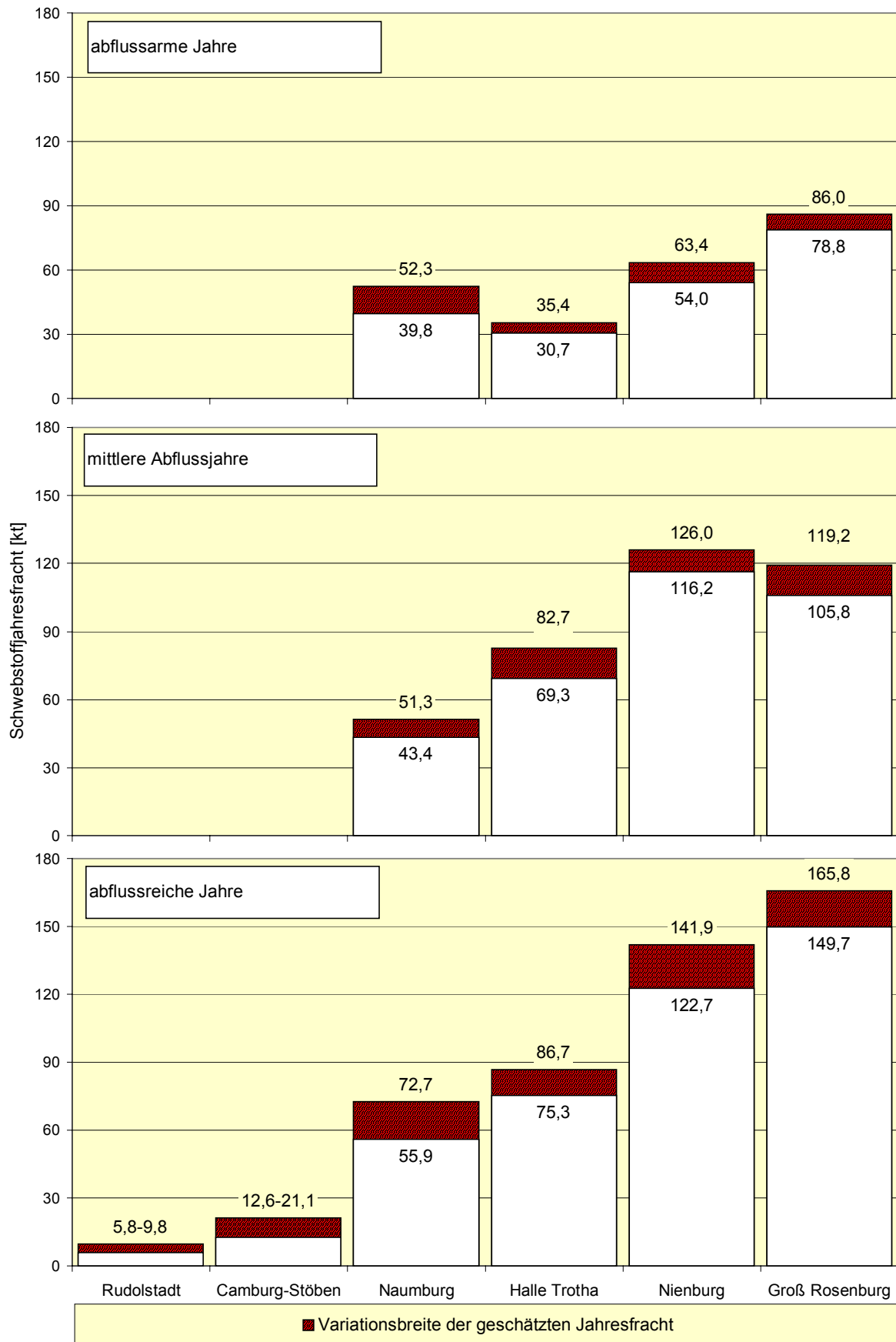


Abb. 11-11: Variationsbreite der geschätzten Schwebstoffjahresfrachten im Längsschnitt der Saale in Abhängigkeit von der Höhe des mittleren jährlichen Abflusses im Beobachtungszeitraum 1993-1999.

Unterhalb der Saaletalsperren und noch oberhalb der Einmündung größerer Zuflüsse (Ilm, Unstrut) betragen die transportierten Jahresfrachten (1999) weniger als 10 kt (Messstelle Rudolstadt) und maximal 21 kt (Messstelle Camburg-Stöben). Unterhalb der Unstrutmündung an der Messstelle Naumburg steigt die Schwebstofffracht in abflussreichen Jahren sprunghaft auf 56 bis 73 kt an und nimmt bis Groß Rosenberg nochmals um 93 bis 94 kt zu (Abb. 11.11). Unabhängig vom Abflussjahr ist die Schwebstofffracht der Saale im Winterhalbjahr deutlich höher als im Sommer. An den oberhalb von Bad Dürrenberg liegenden Messstellen beträgt der Anteil des Winterhalbjahres an der Jahresfracht 73 bis 75% und an den Messstellen im rückstaubeinflussten Flussabschnitt bis zur Mündung in die Elbe 62 bis 67%.

11.3.3.2 Unstrut

Ähnliche Verhältnisse liegen an der Messstelle Freyburg in der Unstrut vor. Die Schwebstofffracht des Winterhalbjahres bildet im Mittel 75% der Jahresfracht. Aufgrund der geringen Anzahl an armen (1) und mittleren (2) Abflussjahren und des relativ geringen Unterschieds in der Höhe des mittleren jährlichen Abflusses (22,8 [75%] bis 29,5 [97%] m³/s) unterscheiden sich die Schwebstoffjahresfrachten nur unwesentlich voneinander. Im abflussarmen Jahr 1998 wurden demnach 18 – 27 kt und in mittleren Abflussjahren 22 – 30 kt in die Saale eingetragen (Abb. 11-12).

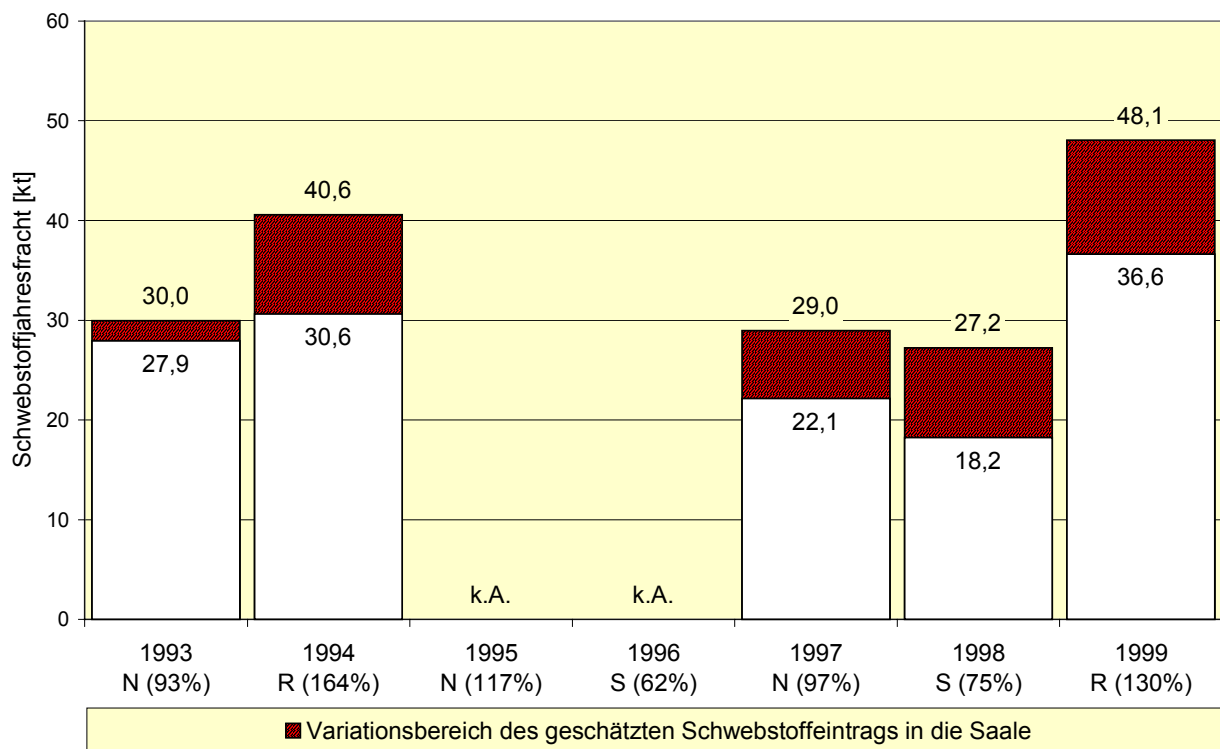


Abb. 11-12: Schwebstoffeintrag der Unstrut in die Saale von 1993 bis 1998 (S=abflussarm, N=mittleres Abflussjahr, R=abflussreich unter Angabe des prozentualen Verhältnisses von $MQ_{\text{Messjahr}}/MQ_{\text{langjährig}}$ in Prozent).

In abflussreichen Jahren können jedoch bis zu 48 kt Schwebstoff aus dem Einzugsgebiet der Unstrut ausgetragen werden. Bezogen auf die Messstelle Naumburg beträgt der prozentuale Anteil der Unstrut an der Schwebstoffjahresfracht in der Saale in armen, mittleren und reichen Abflussjahren 49, 57 und 60 %, womit die Bedeutung des Zuflusses unterstrichen wird.

11.3.3.3 Weiße Elster

Der Schwebstoffeintrag der Weißen Elster kann über die mündungsnächste Messstelle in Ammendorf bestimmt werden. Da in den Jahren 1991, 1992 und 1996 keine Frachtaberschätzungen aufgrund fehlender Messwerte bzw. nicht berücksichtigter hydrologischer Ereignisse vorgenommen werden konnten, wurde die weiter oberhalb gelegene Messstelle in Schkeuditz (Fluss-km 24) in die Auswertung einbezogen.

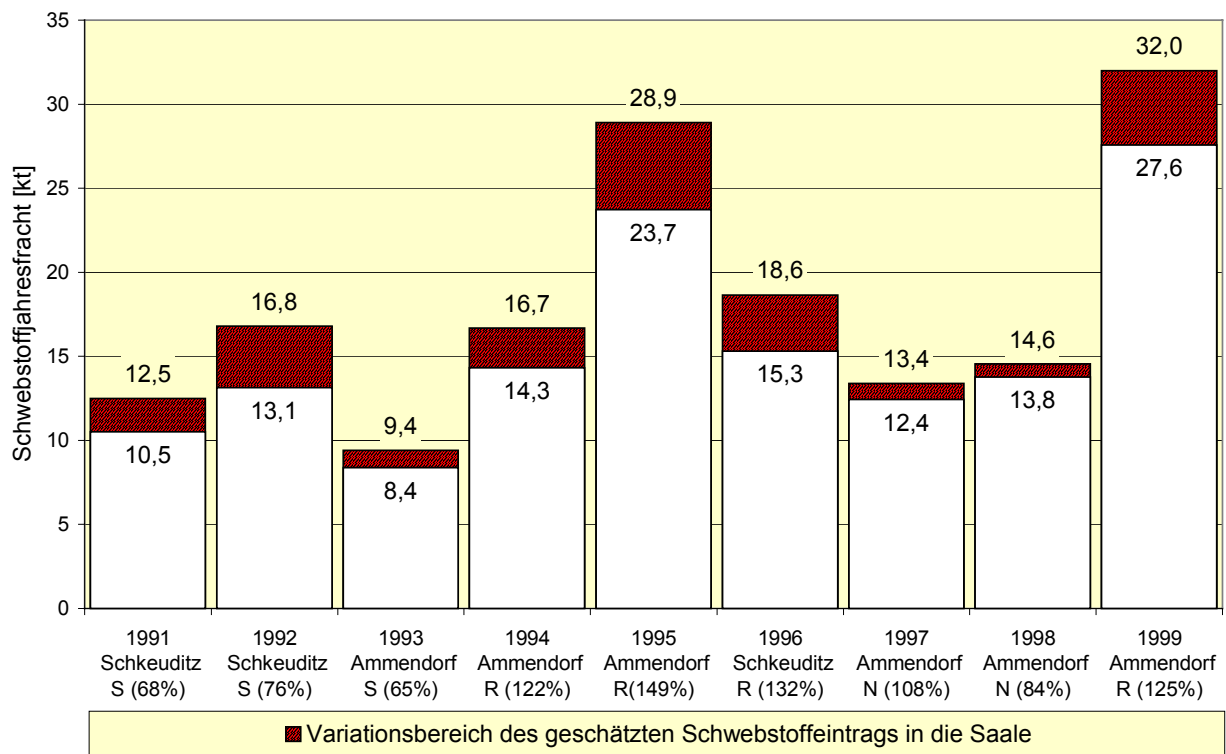


Abb. 11-13: Schwebstoffeintrag der Weißen Elster in die Saale von 1991 bis 1999 (S=abflussarm, N=mittleres Abflussjahr, R=abflussreich unter Angabe des prozentualen Verhältnisses von $MQ_{\text{Messjahr}}/MQ_{\text{langjährig}}$ in Prozent).

Wie bei der Beurteilung der mittleren Schwebstoffgehalte bereits festgestellt wurde, treten in der Weißen Elster zwischen Grosszschocher, Schkeuditz und Ammendorf Diskontinuitäten im Stofftransport auf, die sich in negativen Jahresfrachtbilanzen von bis zu 8 kt zwischen den Messstellen ausdrücken können (Band 2, Anhang F). Die Sedimentation von Schwebstoffen im Unterlauf der Weißen Elster wird durch die starke Verzweigung des Gewässernetzes in Leipzig begünstigt. Des weiteren zeigen Untersuchungen von HANISCH et. al. (2002), dass unter Hochwasserbedingungen Sedimente im Flussschlauch zwar remobilisiert werden, ein

Großteil jedoch auf den bestehenden Retentionsflächen als Hochflutsediment wieder abgelagert wird und demzufolge nicht in die Saale gelangt. Zu ähnlichen Aussagen kommt bereits FÜGNER (1969), der auf die notwendigen Baggermaßnahmen im Unterlauf der Weißen Elster hinwies. Die Abschätzung des tatsächlichen Schwebstoffeintrags der Weißen Elster in die Saale ist daher mit Schwierigkeiten behaftet. Aufgrund der noch zu Beginn der 90er Jahre hohen Abwasserbelastung des Gewässers traten in den abflussarmen Jahren von 1991 bis 1993 Schwebstoffjahresfrachten von 8 – 17 kt auf, deren Höhen mit den mittleren Abflussjahren 1997 und 1998 (12 – 15 kt) vergleichbar sind (Abb. 11-13). Für die abflussreichen Jahre wurden auf Grundlage der verschiedenen Berechnungsmethoden Schwebstofffrachten von bis zu 32 kt abgeschätzt. HANISCH et. al. (2002) bilanzierten ein zehntägiges Hochwasserereignis vom 21.-31.01.2002, während dessen bereits über 10 kt Schwebstoff transportiert wurden. Dies unterstreicht die Bedeutung kurzfristiger Ereignisse für die Bildung einer Jahresfracht. Bezogen auf die Messstelle Halle-Trotha (1993-1999) beträgt der prozentuale Anteil der Weißen Elster an der Schwebstoffjahresfracht in der Saale 19 bis 35 %.

11.3.3.4 Wipper

Die im Vergleich zur Saale wesentlich abflussärmere Wipper trägt nur unwesentlich zur Schwebstofffracht der Saale bei (Abb. 11.14). Bezogen auf die Messstelle Nienburg beträgt ihr Anteil 3 bis 5 %, wobei entsprechend der hohen Schwebstoffkonzentration im Winterhalbjahr durchschnittlich 80 % der Schwebstoffjahresfracht in diesem Zeitraum (Messstelle Aderstedt) gebildet werden.

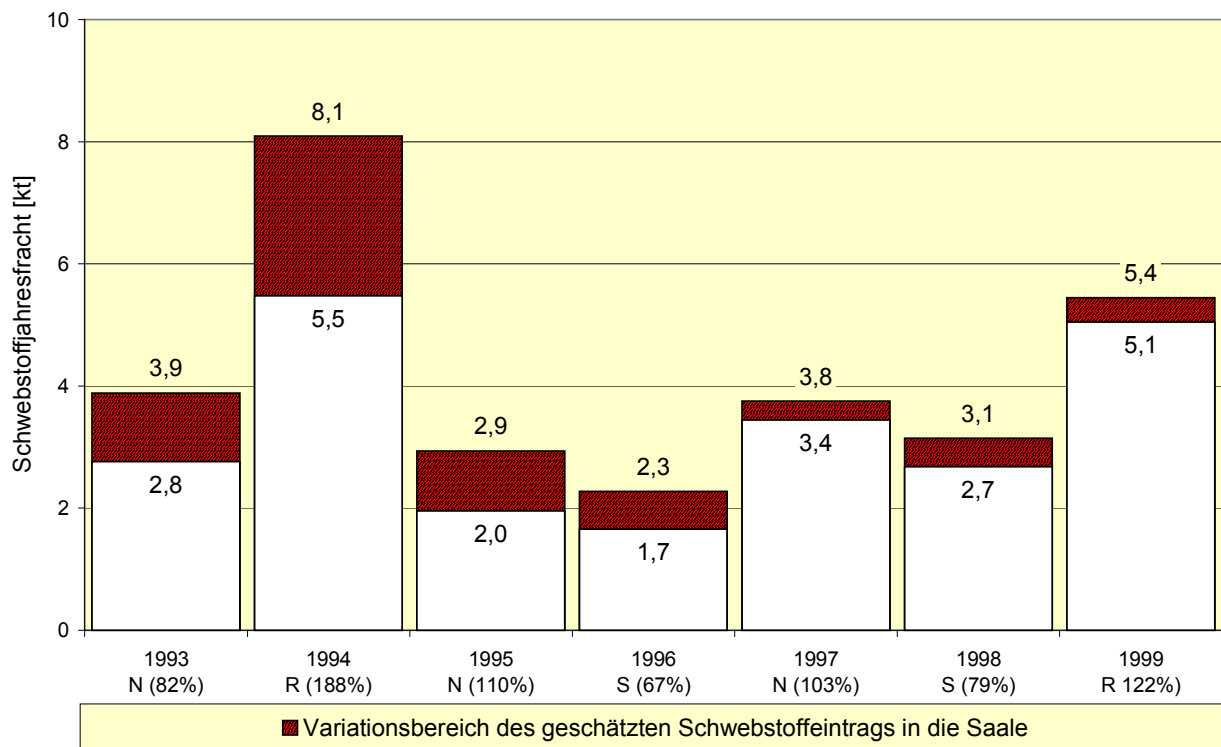


Abb. 11-14: Schwebstoffeintrag der Wipper in die Saale von 1993 bis 1999 (S=abflussarm, N=mittleres Abflussjahr, R=abflussreich unter Angabe des prozentualen Verhältnisses von $MQ_{\text{Messjahr}}/MQ_{\text{langjährig}}$ in Prozent).

11.3.3.5 Bode

Im Längsschnitt der Bode konnten die Messstellen Hadmersleben, Stassfurt und Neugattersleben für eine Quantifizierung des Schwebstofftransportes im Zeitraum von 1990 bis 2000 genutzt werden (Band 2, Anhang F). Im Ergebnis der Frachtabeschätzung zeigt sich eine Abnahme der Schwebstofffracht zwischen Hadmersleben und Stassfurt um 2 – 4 kt in abflussarmen und mittleren Jahren und um bis zu 10 kt in abflussreichen. Bis zur Mündung (Messstelle Neugattersleben) steigen die Frachten wieder um durchschnittlich 3 kt an. Worin die Schwebstoffsedimentation auf der 30 km langen Fließstrecke zwischen Hadmersleben und Stassfurt begründet ist, lässt sich nicht abschließend beurteilen, da auch Ungenauigkeiten in der Frachtabeschätzung nicht ausgeschlossen werden können. So sind zwar einige Wehranlagen und Stromspaltungen in der Fließstrecke zu verzeichnen, diese dürften sich jedoch in abflussreichen Jahren weniger auf das Sedimentationsgeschehen auswirken. Notwendige Baggermaßnahmen o.ä. sind ebenfalls nicht bekannt. Der Frachteintrag in die Saale vollzieht sich gemäß dem Schwebstoffjahrgang in erster Linie im Winterhalbjahr. Die halbjährlichen Schwebstofffrachten bilden nur in Ausnahmefällen weniger als 2 Drittel und in der Regel 80 bis 90 % der Jahresfracht (Messstelle Neugattersleben). Bezogen auf die Saalemessstelle Nienburg beträgt der prozentuale Anteil der Bode an der Schwebstofffracht der Saale in abflussarmen bzw. mittleren Abflussjahren mit 6 – 7 kt bzw. 11 – 14 kt 11 %. In

abflussreichen Jahren steigt der Anteil auf etwa 15 % an, wobei durchschnittlich 18 – 21 kt Schwebstoff in die Saale eingetragen werden (Abb. 11-15).

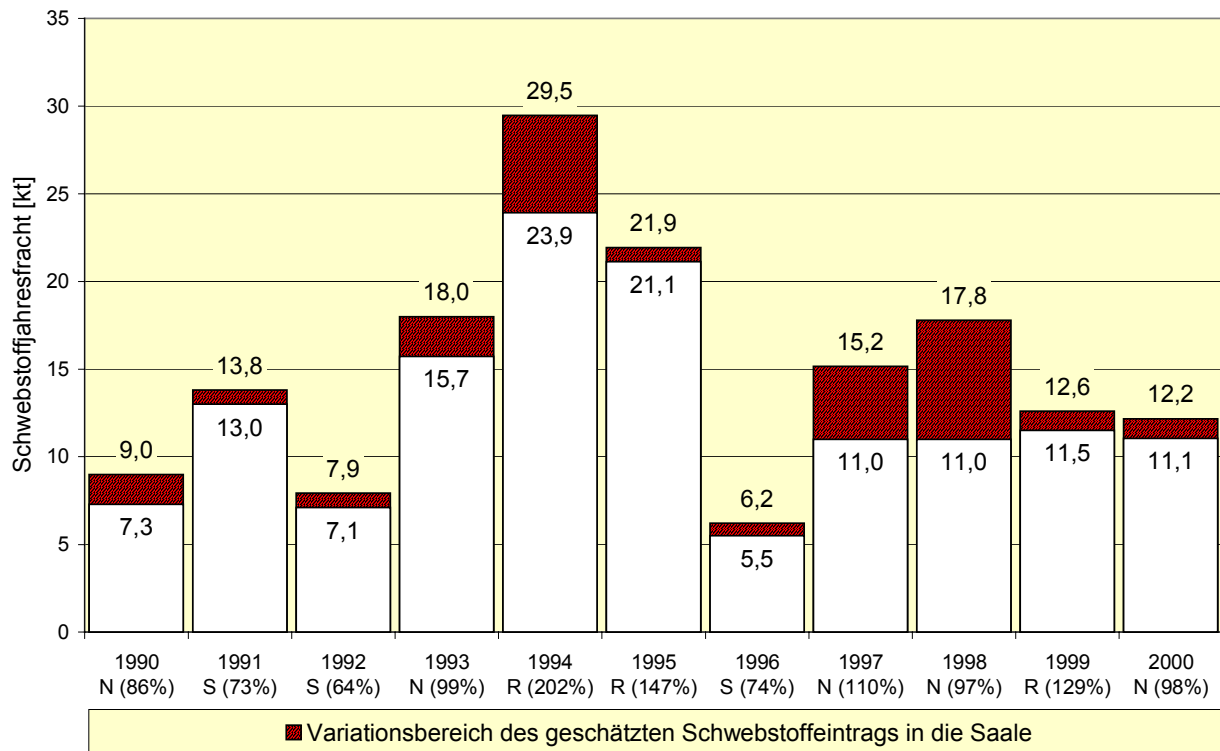


Abb. 11-15: Schwebstoffeintrag der Bode in die Saale von 1990 bis 2000 (S=abflussarm, N=mittleres Abflussjahr, R=abflussreich unter Angabe des prozentualen Verhältnisses von $MQ_{\text{Messjahr}}/MQ_{\text{langjährig}}$ in Prozent).

11.4 Schwebstoffeintrag der Saale in die Elbe

Der Schwebstoffeintrag der Saale in die Elbe kann über die Landesmessstelle Groß Rosenberg, die 9 km von der Mündung entfernt ist, ermittelt werden. Auf Grundlage der im Abstand von 2 Wochen durchgeführten Schwebstoffmessungen im Beobachtungszeitraum von 1993 bis 1999 und täglichen Abflusswerten (Bezugspegel Calbe-Grizehne) wurden anhand der verschiedenen Berechnungsmethoden (Kapitel 5) jährliche Schwebstofffrachten geschätzt. Im Ergebnis dieser Schätzung (Abb. 11.16) beträgt die durchschnittliche Fracht in abflussarmen Jahren 79 - 86 kt, in mittleren Abflussjahren 106 - 120 kt und in abflussreichen Jahren 150 - 166 kt. Die Höhe der Schwebstoffjahresfracht ist linear mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,97 vom mittleren Jahresabfluss abhängig (Band 2, Anhang F und H).

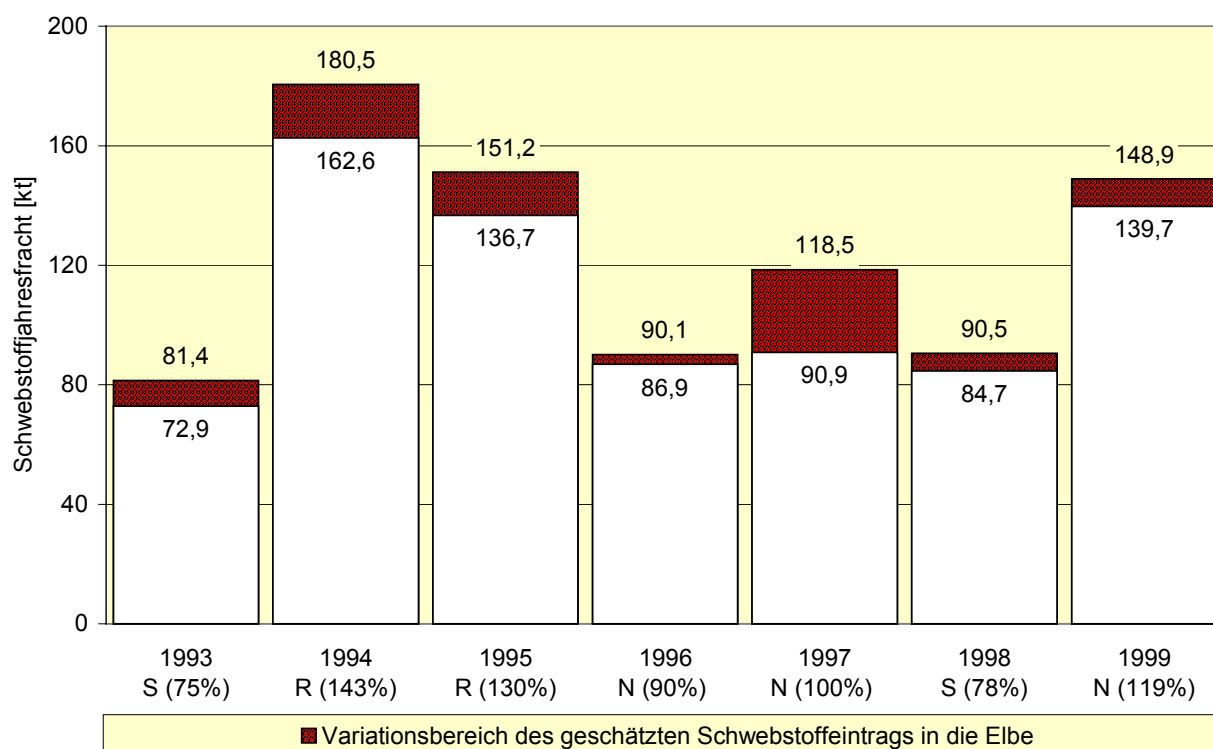


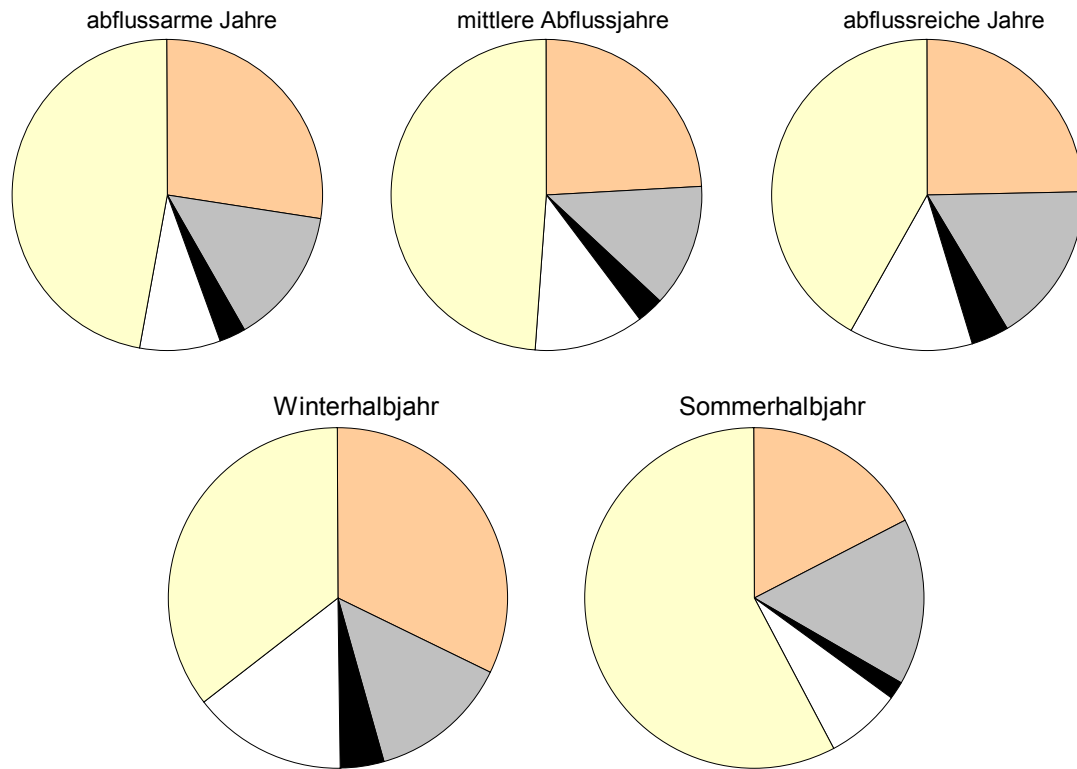
Abb. 11-16: Schwebstoffeintrag der Saale in die Elbe von 1993 bis 1999 (S=abflussarm, N=mittleres Abflussjahr, R=abflussreich unter Angabe des prozentualen Verhältnisses von $MQ_{\text{Messjahr}}/MQ_{\text{langjährig}}$ in Prozent).

Aufgrund der getroffenen Aussagen zum Schwebstoffeintrag der Saalezuflüsse ist davon auszugehen, dass die Unstrut im Mittel mit 25 %, die Weiße Elster mit 15 %, die Bode mit 11 % und die Wipper mit 3 % an der Bildung der Schwebstoffjahresfracht in der Saale bezogen auf die Messstelle Groß Rosenberg beteiligt sind (Abb. 11-17). Die prozentualen Frachtanteile unterliegen im Hinblick auf den mittleren Jahresabfluss einer geringen Variabilität (Tab. 11-10, Abb. 11-17).

	Abflussarme Jahre	Mittlere Abflussjahre	Abflussreiche Jahre	Winterhalbjahr	Sommerhalbjahr
Unstrut	28 %	24 %	25 %	32 %	17 %
Weiße Elster	14 %	13 %	17 %	13 %	16 %
Wipper	3 %	3 %	4 %	4 %	2 %
Bode	8 %	11 %	13 %	15 %	7 %
Saale u.a. Nebenflüsse	47 %	49 %	42 %	36 %	58 %

Tab. 11-10: Prozentuale Anteile der angegebenen Saalezuflüsse und der Saale selbst an der Bildung der Schwebstoffjahresfracht bezogen auf die Messstelle Groß Rosenberg in Abhängigkeit vom mittleren jährlichen Abfluss und getrennt nach Sommer- und Winterhalbjahr.

Die linksseitigen Nebenflüsse Unstrut, Wipper und Bode weisen im Winterhalbjahr höhere Schwebstoffgehalte als die Saale auf und tragen daher in dieser Jahreszeit hohe Frachten in den Hauptstrom ein, die auch den Schwebstoffeintrag der Saale in die Elbe zu 51 % bestimmen (Tab. 11-10, Abb. 11-17). Im Sommerhalbjahr geht der Einfluss dieser Nebenflüsse auf 26 % zurück und die Weiße Elster gewinnt an Bedeutung. In erster Linie sind es jedoch autochthone Prozesse in der Saale, die den Schwebstoffhaushalt im Sommerhalbjahr bestimmen. Zu diesen zählt vermutlich eine höhere Bioproduktivität in dem staugeregelten Flussabschnitt zwischen Bad Dürrenberg und Groß Rosenburg.



Gemittelte Schwebstofffrachtanteile über die Abflussjahre 1993 bis 1999

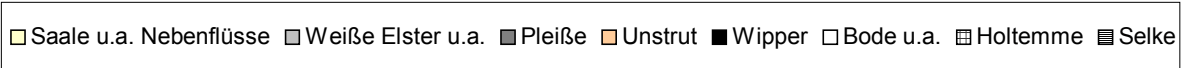
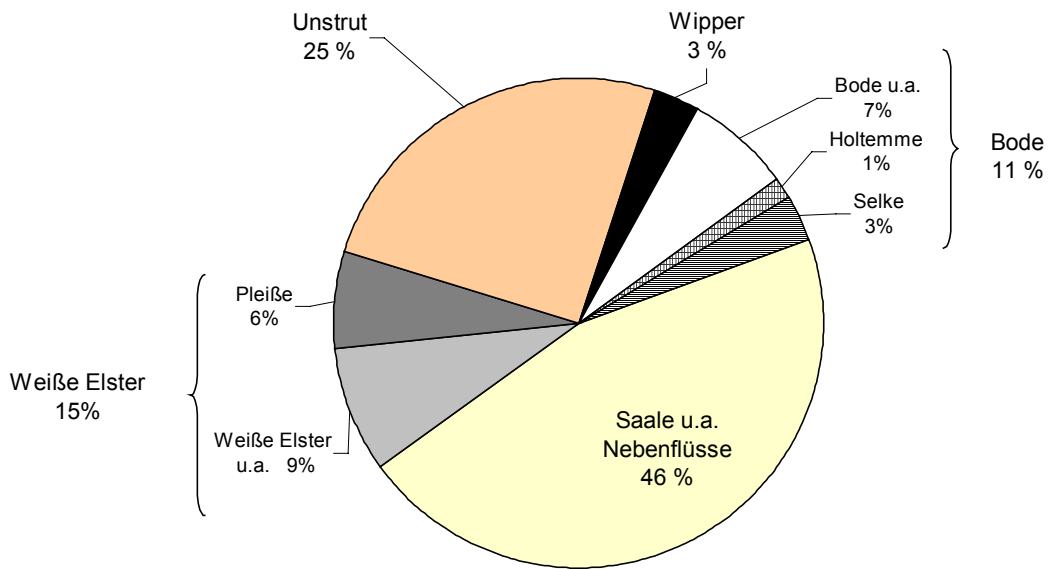


Abb. 11-17: Prozentuale Anteile der angegebenen Saalezuflüsse und der Saale selbst an der Bildung der Schwebstoffjahresfracht bezogen auf die Messstelle Groß Rosenberg in Abhängigkeit vom mittleren jährlichen Abfluss, getrennt nach Sommer- und Winterhalbjahr und im Beobachtungszeitraum von 1993 bis 1999.

12 Das Einzugsgebiet der Havel

Die Havel ist, neben der Saale, mit einer Einzugsgebietsgröße von 24 096 km² (Gnevsdorfer Vorfluter) der größte deutsche Zufluss in die Elbe. Sie entspringt in der südmecklenburgischen Seenplatte und mündet nach einer Lauflänge von 325 km am Elbekilometer 438 rechtsseitig in die Elbe (Anlage 9). Auf diesem Weg überwindet sie nur einen Höhenunterschied von 41 m (Havelquelle 62,6 m N.N.; Mündung 22 m N.N.). Der bedeutendste und am Zusammenfluss in Berlin auch abflussreichere Nebenfluss der Havel ist die Spree mit einer Einzugsgebietsfläche von 10 105 km² (Tab. 12-1).

Havel 24096 km² (Gnevsdorfer Vorfluter)

Nebenfluss [> 500 km ²]	Dosse	Rheinsberger Rhin	Plane	Nuthe	Spree
EZG Größe [km ²]	1268	2190	639	1935	10105

Tab. 12-1: Havelnebenflüsse mit einer Einzugsgebietsgröße > 500 km² (Anlage 9).

12.1 Abflussverhältnisse im Havel-EZG

Das Havel-EZG liegt im Übergangsbereich vom maritim zum kontinental beeinflussten Klima der gemäßigten Breiten. Kennzeichnend ist der abflussreichste Doppelmonat Februar/März und ein sommerliches Abflussminimum bei geringer Austrocknung (Topino-Regime; MARCINEK, 1991) (Abb. 12-1). Die Havel zeigt das typische Verhalten eines Flachlandflusses mit ausgeglichener Niedrigwasserführung und langanhaltenden nicht besonders stark ausgeprägten Hochwasserwellen. Extreme Hochwasserstände treten nur im Winter auf und sind durch einen langen, flach verlaufenden Hochwasserscheitel gekennzeichnet (LUA Brandenburg, 1995). Die das Abflussverhalten der Havel prägende Wasserhaushaltskomponente ist die Verdunstung. Sie übersteigt über freien Wasserflächen den mittleren jährlichen Gebietsniederschlag, so dass nur ca. 25 % des Niederschlags zum Abfluss kommen (LUA Brandenburg, 1995, S. 14). Charakteristisch für die Gewässermorphologie der Havel sind zudem zahlreiche Durchflusseen, Flussaufweitungen und kanalisierte Abschnitte, wodurch Wasserstände und Abflüsse nachhaltig beeinflusst werden und geringe Schwankungen aufweisen (LUA Brandenburg, 1995). In der Beobachtungsreihe von 1973-1995 betrug der langjährige mittlere Abfluss der Havel an der Einmündung in die Elbe (Bezugspegel Havelberg) 108 m³/s. Am Zusammenfluss mit der

Spree (Sophienwerder) trägt die Havel (Schleuse Spandau) weniger als 30 % zur mittleren Abflussbildung bei (Tab. 12-2).

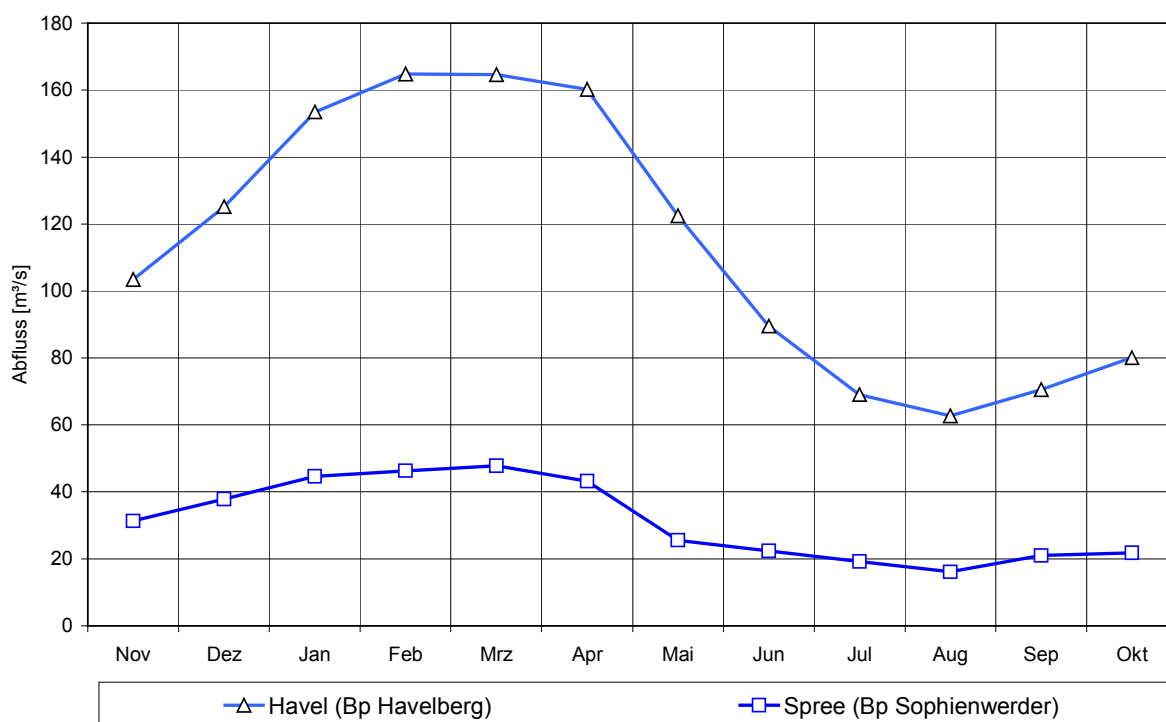


Abb. 12-1: Mittlerer langjähriger Abflussjahresgang der Havel (Bp Havelberg) und der Spree (Bp Sophienwerder).

Gewässer	Pegel	A_{EO}	Lage	NQ	MNQ	MQ	MHQ	HQ
		[km ²]	[km]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
Havel	Schleuse Spandau	3252	155	0,07	2,85	15,1	35,1	66,4
	Havelberg	24037	10	11,5	19,4	108	223	324
Spree	Cottbus	2269	231,5	7,48	9,76	19,2	46,3	127
	Sophienwerder	10104	0,6	1,21	7,83	38,3	96,3	134

Tab. 12-2: Hauptzahlen ausgewählter hydrologischer Pegel im Havel-EZG.

Der Wasserhaushalt der Spree wurde durch eingeleitete Sumpfungswässer des Braunkohlentagebaus über Jahrzehnte künstlich gestützt. In den 80er Jahren erreichte der Wasserzuschuss mit über 30 m³/s einen Höhepunkt. Seit der weitgehenden Stilllegung der Tagebaue zu Beginn der 90er Jahre bleibt dieses Zuschusswasser aus und Oberflächenwasser dringt in den weiträumigen Grundwasserabsenkungstrichter (Defizit 5-6 Mrd. m³ Grundwasser) im Bereich der Oberen Spree ein. Die Infiltrationsrate wird gegen Ende der 80er Jahre mit 8 m³/s angegeben (WASY, 1992b). Zudem wird im Rahmen eines großflächigen Wasserbewirtschaftungsplans Spreewasser zur Auffüllung der

Tagebaurestlöcher verwendet. Durch diese Umstellungen wurde das Wasserdargebot der Spree seit 1990 wesentlich erniedrigt, wobei eine noch weitergehende Absenkung des mittleren Jahresabflusses zu erwarten ist (Tab. 12-3).

	Zeitraum Zuschusswasser			Wegfall Zuschusswasser, Auffüllung Grundwasserabsenkungstrichter und Tagebaurestlöcher		
	1961-70	1971-80	1981-90	1991-00	Prognose	
					2001-05	2001-10
MQ [m³/s]	22,6	21,4	24,4	15,3	7,4	7,8

Tab. 12-3: Entwicklung und Prognose des mittleren jährlichen Abflusses in der Spree auf der Höhe von Leibsch (Quelle: FREUDE (2002), LUA Brandenburg Vortrag Fachtagung "Lebendige Spree", Cottbus).

In der Niedrigwasserperiode von April-August des Jahres 2000 traten am Pegel Sophienwerder in Berlin erstmals negative Tagesminima des Durchflusses auf, was bedeutet, daß Havelwasser in die Spree floss ("Rückwärtsfließen der Spree").

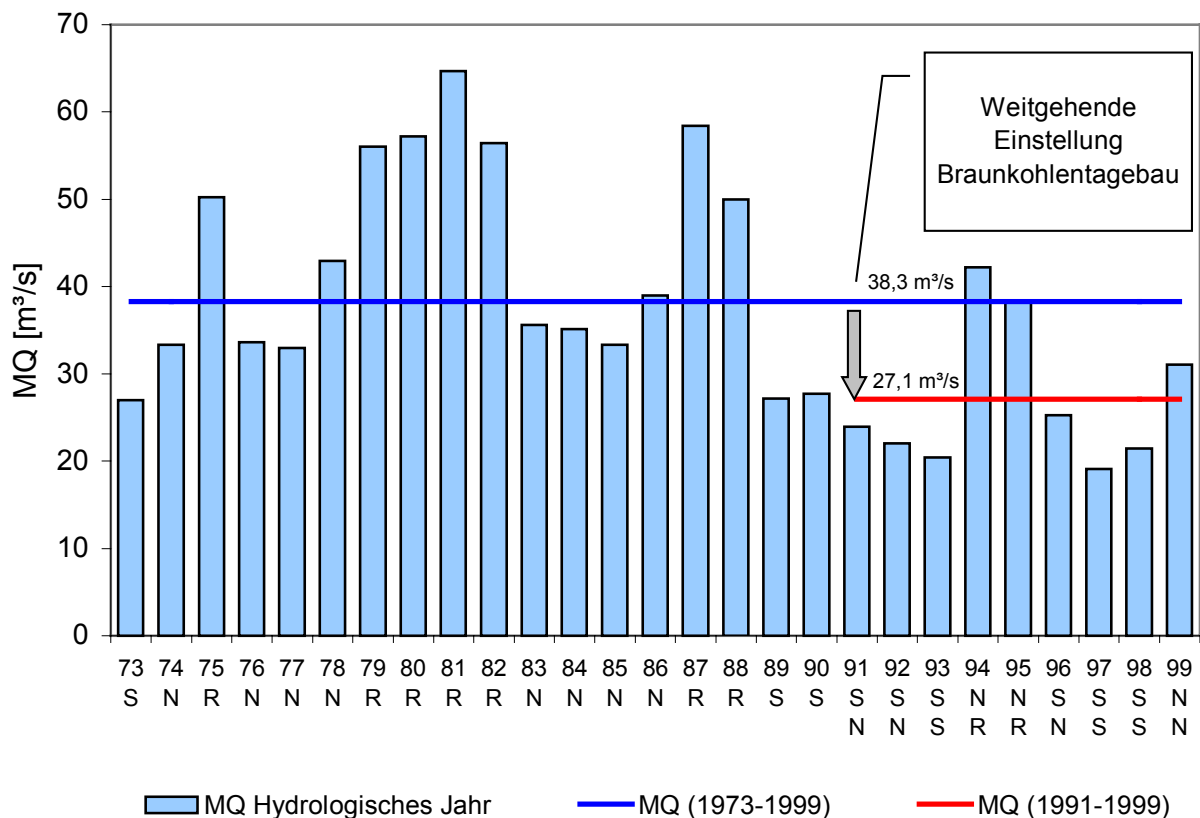


Abb. 12-2: Mittlerer jährlicher Abfluss (MQ) der Spree am Pegel Sophienwerder (Berlin) von 1973-1999. Auswirkung der Durchflussreduktion und die Einordnung der Abflussjahre für den Gesamtzeitraum und die Zeit ab 1990 (S=abflussarm, N=mittleres Abflussjahr, R=abflussreich unter Angabe des prozentualen Verhältnisses von $MQ_{\text{Messjahr}}/MQ_{\text{langjährig}}$ in Prozent).

Aufgrund dieser Entwicklung kann nicht der langjährige mittlere Abfluss der Spree bzw. der Havel zur Einordnung der Abflussjahre herangezogen werden, sondern der mittlere Abfluss im Zeitraum von 1990 – 1999 (Abb. 12-2). Unter dem Vorbehalt der statistischen Ungenauigkeit beträgt dieser in der Spree am Bezugspegel Sophienwerder 27,1 m³/s (MQ₁₉₇₃₋₉₉ 38,3 m³/s) und an der Havel am Bezugspegel Havelberg 86,9 m³/s (MQ₁₉₇₃₋₉₉ 108 m³/s). Da die Havel oberhalb der Spreemündung nicht von den Eingriffen in den Wasserhaushalt betroffen ist, wurde für die Schleuse Spandau der langjährige MQ beibehalten.

Gewässer	Pegel	Abflussarme Jahre	Mittlere Abflussjahre	Abflussreiche Jahre
		MQ _{M,J} /MQ < 80 %	MQ _{M,J} /MQ 80 - 120 %	MQ _{M,J} /MQ > 120 %
Havel	Schleuse Spandau	1991 (73) 1996 (65) 1997 (63) 1998 (76) 1999 (78)	1992 (93) 1993 (108)	1994 (180) 1995 (121)
Havel	Havelberg	1992 (75) 1997 (78)	1991 (89) 1993 (96) 1996 (100) 1998 (85) 1999 (108)	1994 (160) 1995 (139)
Spree	Sophienwerder	1993 (75) 1997 (71) 1998 (79)	1991 (88) 1992 (81) 1996 (93) 1999 (115)	1994 (156) 1995 (141)

Tab. 12-4: Einordnung der Abflussjahre im Beobachtungszeitraum von 1990 bis 1999 gemessen am Verhältnis des mittleren Abflusses 1990-1999 zum MQ des Messjahres in [%].

Bezogen auf den langjährigen mittleren Abfluss sind die Abflussverhältnisse in der Spree und der Havel unterhalb der Schleuse Spandau in den 90er Jahren durch die ausbleibenden Sumpfungswässer des Braunkohlentagebaus fast ausschließlich als abflussarm zu bezeichnen (Abb. 12-2). Durch die Neuberechnung ergibt sich dagegen ein differenzierteres Bild, dass mit dem hydrologischen Geschehen in den anderen Nebenflussgebieten der Elbe vergleichbarer ist. Demzufolge sind die Abflussjahre 1994 und 1995 auch im Spree-Havel-Gebiet als abflussreich zu charakterisieren. Der Beginn und das Ende der Dekade ist eher durch abflussärmere bzw. mittlere Verhältnisse gekennzeichnet (Abb. 12-2, Abb. 12-3, Tab. 12-4).

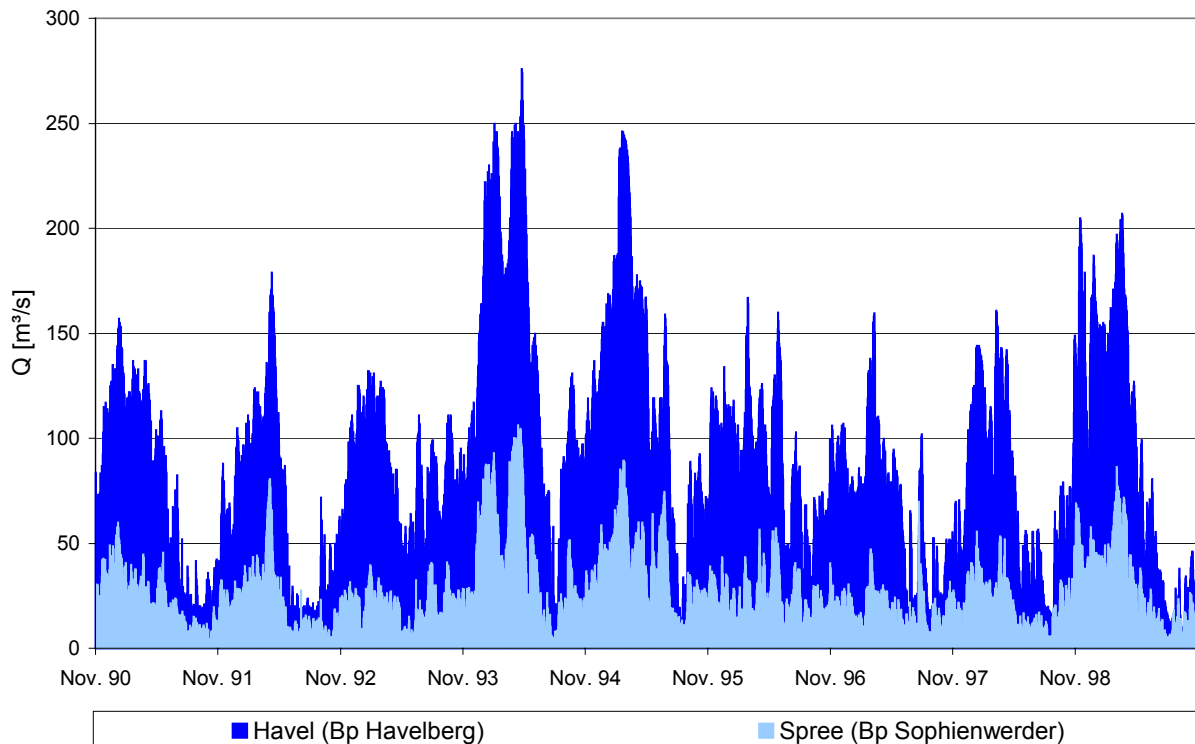


Abb. 12-3: Das Abflussgeschehen im Beobachtungszeitraum von 1990 bis 1999 in der Havel und der Spree bezogen auf den angegebenen Bezugspegel.

12.2 Entwicklung der Gewässergüte im Beobachtungszeitraum

Das geringe Gefälles der **Havel** (Anlage 9), die zahlreichen Flussaufweitungen und Durchflusseseen sowie das Fehlen von Frühjahrshochwässern begünstigen eine hohe Primärproduktion in der Havel. Durch den Abbau der autochthon gebildeten organischen Substanz wird der Sauerstoffhaushalt stark beansprucht, so dass gerade im Sommerhalbjahr, wenn die Durchflussrate durch Aufstau und hoher Verdunstung gegen Null tendiert, reduzierende Bedingungen am Wasser-Sediment-Kontakt auftreten und verstärkte Nährstofffreisetzungen aus dem Sediment stattfinden. Aufgrund dieser hohen Sekundärbelastung wird die Havel im Berliner Stadtgebiet der Güteklasse III (stark verschmutzt) und in den übrigen Abschnitten der Güteklasse II-III (kritisch belastet) zugeordnet (LAWA 2002). In den 90er Jahren mündete die Havel mit dieser Belastungsstufe in die Elbe (MUNL Sachsen-Anhalt, 1991; STAU Magdeburg, 1991; LAU Sachsen-Anhalt 1998). Die mit Hilfe des Modells MONERIS durchgeführte Nährstoffbilanzierung im Havel-EZG (BEHRENDT et. al. 1999a und b) zeigt eine deutliche Reduktion der Phosphoreinträge um 69 % und der Stickstoffeinträge um 36 % im Vergleich der Zeiträume 1983-87 und 1993-97.

Aufgrund der dichten Besiedlung und der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung ist die **Spree** (Anlage 9) bereits in ihrem Oberlauf bis zur TS Bautzen hohen Stoffeinträgen ausgesetzt, die einen Wechsel zwischen kritischer Belastung und sehr starker Verschmutzung (LAWA GK II-III bis GK III-IV) verursachen. Dieser Zustand wurde auch durch das Selbstreinigungspotential der TS Bautzen nicht verbessert, so dass die Güteklasse II-III bis zur Landesgrenze nach Brandenburg erhalten blieb (SLfUG 1997b, 1997c; SCHÖNFELDER et. al., 2002). Im Jahr 2000 konnte jedoch erstmalig eine Verbesserung der Gewässerqualität in diesem Flussabschnitt festgestellt werden (LAWA-GK II; LAWA, 2002). Seit 1996 hat sich durch eutrophierungshemmende Maßnahmen in der TS Spremberg, Kläranlagenneubau in Cottbus sowie durch Renaturierungsmaßnahmen auch die Gewässerbelastung auf brandenburgischem Gebiet verringert, so dass die Spree bis Leibsch der GK II zugeordnet werden konnte (LAWA, 2002; SCHÖNFELDER J. et. al., 2002). Ab Leibsch ist die Spree aus Gründen der Schiffbarkeit ausgebaut und staureguliert und durchfließt zudem den Neuendorfer und den Schwielochsee, wodurch sich eine hohe Sekundärbelastung durch den Abbau der Algenbiomasse ergibt. Im Großraum Berlin treten zusätzliche Gewässerbelastungen durch zahlreiche Einläufe der Trenn- und Mischwasserkanalisation auf. Die Spree ist daher auf diesem langen Gewässerabschnitt bis zur Einmündung in die Havel "kritisch belastet" (LAWA-GK II-III). Eine Ausnahme bildet nur die freifließende Müggelspree zwischen dem Wehr Große Tränke und dem Müggelsee, die der Güteklasse II (mäßig belastet) zugeordnet werden konnte (LAWA, 2002; SCHÖNFELDER J. et. al., 2002).

12.3 Schwebstoffhaushalt der Gewässer im Havel-EZG

12.3.1 Schwebstoffmessstellen

Der Parameter "abfiltrierbarer Stoff" wird im Havel-EZG entsprechend der Zuständigkeit im Rahmen der jeweiligen Ländermessprogramme erhoben. Die Messergebnisse liegen sowohl für unterschiedliche Beobachtungszeiträume als auch in abweichender Messfrequenz vor (Band 2, Anhang C und F).

Gewässer	Messstelle	Fluß- km	Beobachtungs- zeitraum		Anzahl Messwerte/a	Bezugspegel	Zuständigkeit
Havel	Toppel	7	01.1992	12.1999	22 - 26	Havelberg	LAU Halle
Havel	Havelberg	10	01.1996	12.1999	22 - 26	Havelberg	LUA Brandenburg
Havel	Brandenburg	100	03.1993	12.1999	27 - 47	Ketzin	LUA Brandenburg
Havel	Alt Töplitz	128	03.1993	12.1999	27 - 48	Caputh	LUA Brandenburg
Havel	Humboldt- brücke	148	01.1976	12.1999	27 - 53	Caputh/ Babelsberg	LUA Brandenburg
Havel	Schleuse Spandau	155	03.1973	12.1999	9 - 13	Tiefw./ Sophienw.	StadtUm-Berlin, ITOX
Havel	Hennigsdorf	168	03.1993	12.1999	27 - 46	Borgsdorf	LUA Brandenburg
Spree	Sophienwerder	0,6	03.1973	11.1999	8 - 13	Sophienwerder	StadtUm-Berlin, ITOX
Spree	Baumschulen- weg	23	01.1975	10.1999	12 - 51	Mühlendamm	StadtUm-Berlin, ITOX
Spree	Neuzittau	45	05.1993	10.1999	11 - 41	Grosse Tränke	LUA Brandenburg
Spree	Beeskow	119,9	05.1993	11.1996 (1999)	20	Beeskow	LUA Brandenburg
Spree	Leibsch	160,8	01.1989	11.1996 (1999)	21	Leibsch	LUA Brandenburg
Spree	Hartmannsdorf	175	01.1989	11.1996 (1999)	22	Lübben	LUA Brandenburg
Spree	Lübben	177,8	01.1989	11.1996 (1998-99)	4 - 21	Lübben	LUA Brandenburg
Spree	Burg Spreewald	210,1	01.1989	11.1996 (1999)	3 - 22	Schmogrow	LUA Brandenburg
Spree	Cottbus	231,5	01.1989	08.1999	10 - 25	Sandower Brücke	LUA Brandenburg
Spree	Spremberg Süd	259,6	11.1989	08.1999	11 - 23	Spremberg	LUA Brandenburg
Teltow- kanal	Nathanbrücke	k.A.	04.1971	11.1999	10 - 24	Kleinmachnow	StadtUm-Berlin, ITOX
Tegeler Fliess	Blankenberg Ch.	k.A.	05.1991	11.1999	11 - 20	St.Joseph Steg	StadtUm-Berlin, ITOX
Landwehr- kanal	oh Dovebr.	k.A.	03.1973	11.1999	10 - 13	Unterschleuse	StadtUm-Berlin, ITOX

Tab. 12-5: Ausgewählte Gütemessstellen im Havel-EZG, an denen Schwebstofffrachten bestimmt werden konnten. Vollständige Auflistung der recherchierten Messstellen siehe Band 2-Anhang C und F.

Insgesamt konnten 102 Messstellen im Einzugsgebiet recherchiert werden, von denen 44 relevante Messstellen für die Betrachtung des Schwebstoffhaushalts ausgewählt wurden (Anlage 9, Band 2, Anhang F). Für die Quantifizierung von Schwebstofffrachten waren 20 Messstellen geeignet (Tab. 12-5).

12.3.2 Schwebstoffkonzentration

12.3.2.1 Spree

Der über die 90er Jahre gemittelte Schwebstofflängsschnitt der Spree (Abb. 12-4) spiegelt sowohl den hydromorphologischen Charakter des Gewässers als auch die anthropogene Einflussnahme wieder. Er zeigt einen weitgehend ähnlichen Längsverlauf wie der von BEHRENDT (2002, S. 77) vorgestellte Trend der Gesamtposphatbelastung (Median) in der Spree. Der Abschnitt zwischen den Messstellen Zerre und Bühlow (oberhalb Stausee Spremberg), der noch zur Oberen Spree zählt, ist durch höhere winterliche Schwebstoffgehalte charakterisiert. Dies ist zum einen auf eingeleitete Grubenabwässer als auch auf Erosionsprozesse im EZG zurückzuführen. Die Schwebstoffgehalte liegen in diesem Abschnitt in der Regel zwischen 10 und 20 mg/l.

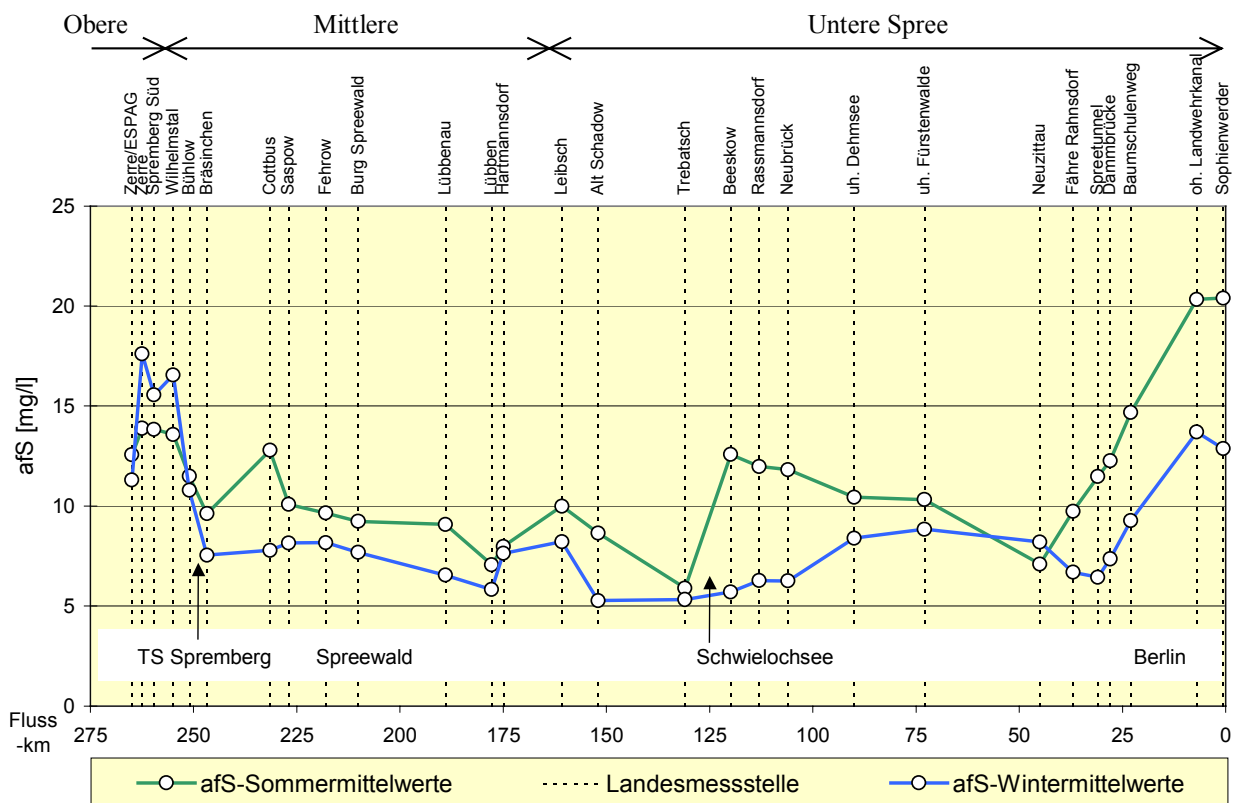


Abb. 12-4: Schwebstofflängsschnitt der Spree getrennt nach Sommer- und Winterhalbjahr für den jeweiligen Beobachtungszeitraum an den angegebenen Messstellen (Band 2, Anhang F).

Der beginnende Konzentrationsrückgang zwischen Wilhelmstal und Bühlow (Abb. 12-4) kann vermutlich auf die mit der Oxidation der Fe(II)- zu Fe(III)-Verbindungen einhergehende Fällung von Partikeln zurückgeführt werden. Die Partikelretention wird durch die Talsperre Spremberg zwischen Bühlow und Bräsinchen verstärkt. Der abnehmende Trend zwischen Fehrow und Lübben kann in Beziehung mit den zahlreichen Stromspaltungen im Spreewaldgebiet gesetzt werden. Der steile Anstieg der mittleren sommerlichen Konzentration unterhalb von Trebatsch ist auf die hohe Nährstoffbelastung und der daraus resultierenden Planktonproduktion in dem von der Spree durchflossenen Schwiellochsees zurückzuführen (Abb. 12-4). Die Mittlere und Untere Spree ist bis auf die weitgehend naturnahe Fließstrecke der Müggelspree (Messstelle Neu Zittau) durch höhere sommerliche Schwebstoffgehalte gekennzeichnet. Oberhalb des Großraums Berlin werden an den verschiedenen Messstellen üblicherweise (50-80% der Messtage) Schwebstoffkonzentrationen < 10 mg/l bestimmt, während die zahlreichen Einläufe der Trenn- und Mischwasserkanalisation und die Einmündung der Dahme im Großraum Berlin zu einem deutlichen Anstieg der Schwebstoffkonzentration führen, der nun auch das Winterhalbjahr betrifft. An 2/3 der Messtage liegt die Konzentration hier über 10 mg/l. Die hohe Nährstoffbelastung und die geringe Fließgeschwindigkeit der Spree bewirken einen deutlich von der Bioproduktivität abhängigen Schwebstoffjahresgang mit höheren sommerlichen Konzentrationen (Abb. 12-4, Abb. 12-7). Den direkten Zusammenhang zwischen Schwebstoffkonzentration und Chlorophyll-a Gehalt bzw. Wassertemperatur konnten GNAUCK et. al. (1997 und 1998) für verschiedene Messstellen im Berliner Stadtgebiet nachweisen (Abb. 12-7).

12.3.2.2 Verhältnis der Schwebstoffgehalte von Havel und Spree am Zusammenfluss

Die mittlere Schwebstoffkonzentration der Spree weist seit dem Beginn der 90er Jahre an ihrer Einmündung in die schwebstoffärmere Havel eine deutliche Abnahme auf, welche auf die zurückgehende Nährstoffbelastung und der daraus resultierenden Schwebstoffreduktion im Sommerhalbjahr zurückzuführen ist (Abb. 12-5).

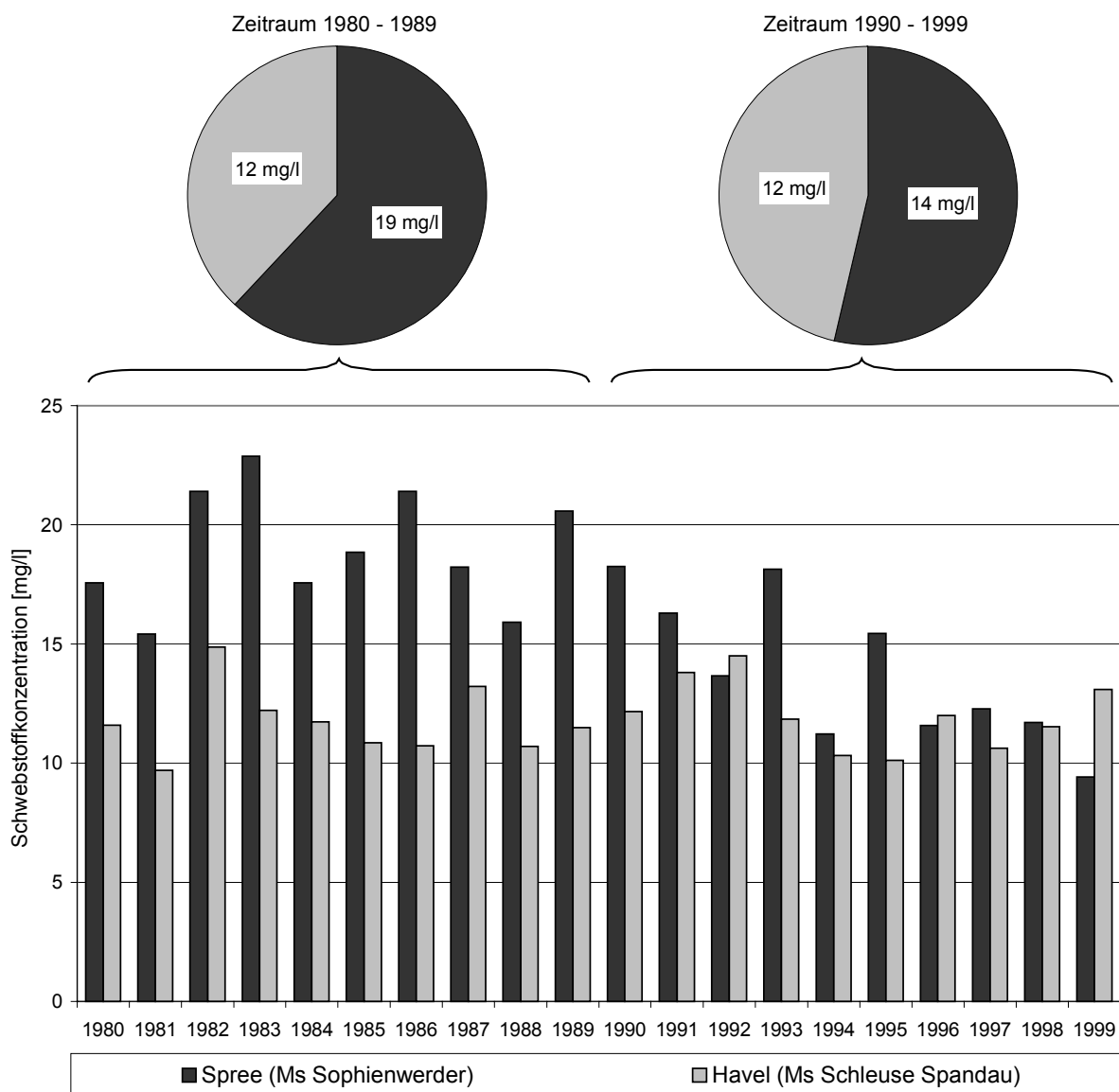


Abb. 12-5: Vergleich der Jahresmittelwerte der Schwebstoffkonzentration am Zusammenfluss von Spree (Messstelle Sophienwerder) und Havel (Messstelle Schleuse Spandau) von 1980 bis 1999.

12.3.2.3 Havel

Der hydromorphologische Charakter der Havel begünstigt eine hohe Primärproduktion in dem nährstoffbelasteten Gewässer (Kapitel 12.2), so dass nicht das Abflussverhalten sondern die Jahresdynamik der Planktonentwicklung prägend für den Schwebstoffhaushalt des Tieflandflusses ist (Abb. 12-7). Dies äußert sich in generell niedrigen Schwebstoffgehalten im Winterhalbjahr, die im Frühjahr (März-Mai, Abb. 12-7) durch die Vermehrung des Phytoplanktons ansteigen (Frühjahrsmaximum). Im Frühsommer werden die Primärproduzenten durch den Fraßdruck des sich entwickelnden Zooplanktons, den Nährstoffentzug und die Lichtlimitierung soweit dezimiert, dass sich die Sichttiefe des Gewässers verbessert (Klarwasserstadium) und demzufolge auch der Schwebstoffgehalt absinkt (Abb. 12-7). Im Sommer und im Herbst treten vor allem faden- und kettenförmige Algen auf, die vom Zooplankton nicht inkorporiert werden können und ein zweites Maximum der Phytoplanktonentwicklung bzw. des Schwebstoffgehaltes verursachen (SCHWOERBEL, 1999) (Abb. 12-7). Diese biologischen Prozesse sind so eng mit dem Schwebstoffhaushalt der Havel verbunden, dass an den Messstellen im Potsdamer Havelgebiet, die in längeren Messreihen vorliegende Secchi-Sichttiefe genutzt werden konnte, um den Schwebstoffgehalt des Gewässers rückwirkend zu berechnen (LUA Brandenburg, 1995).

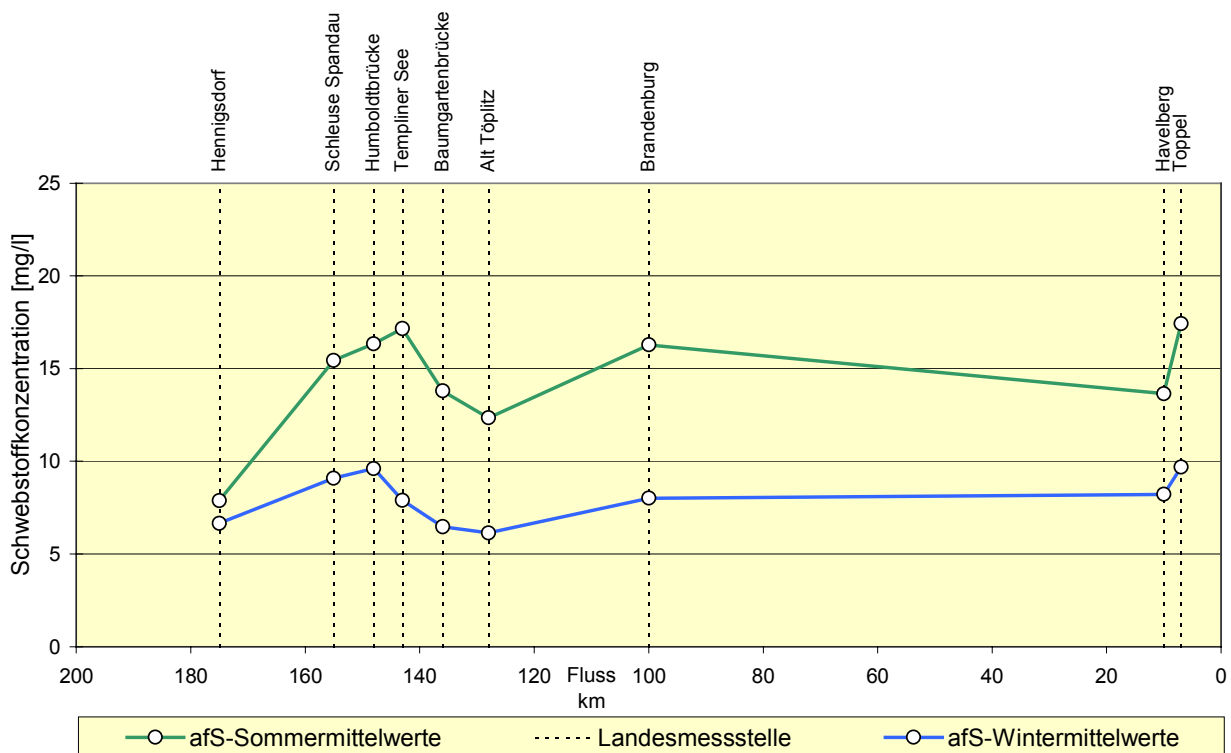
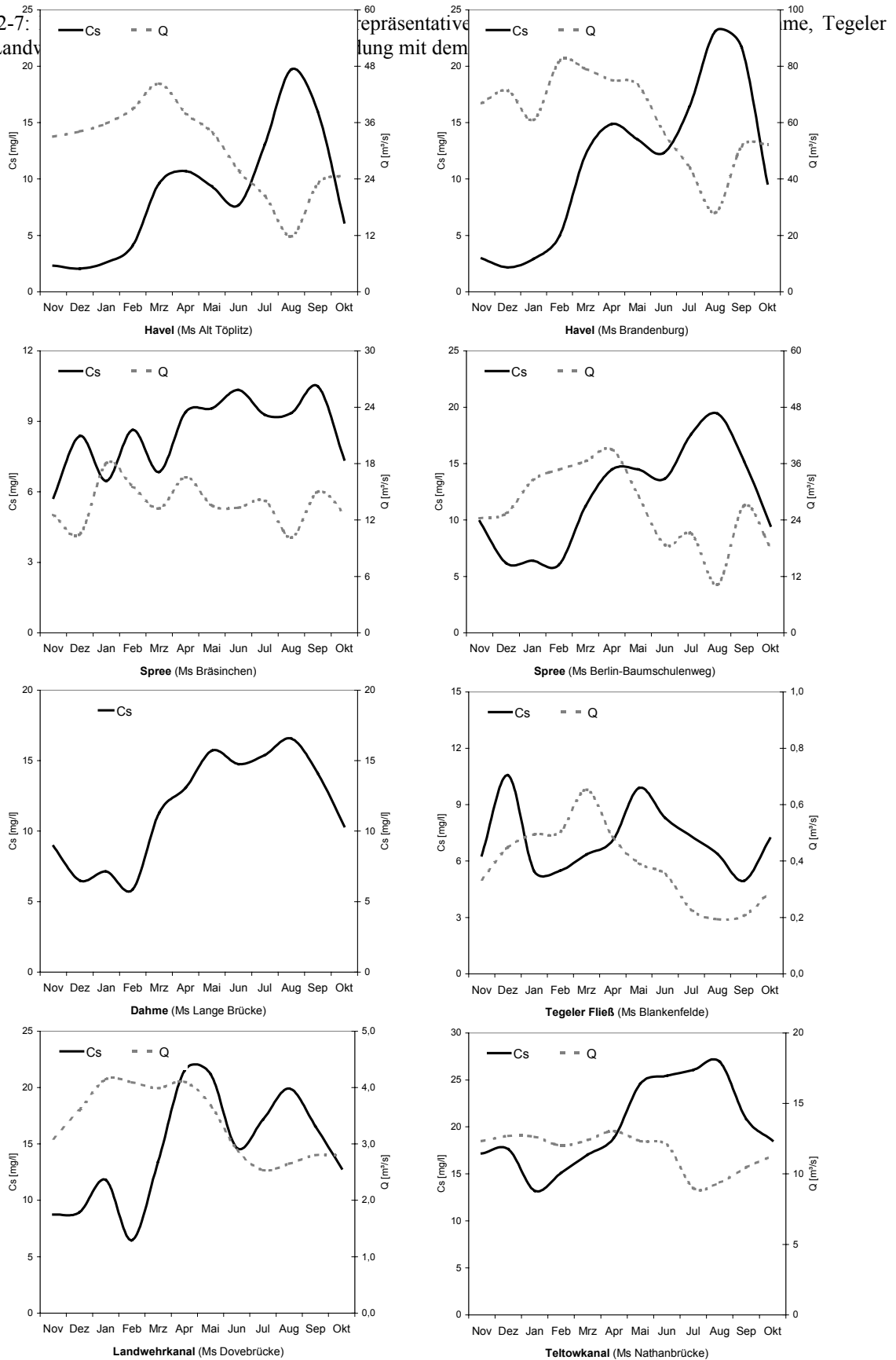


Abb. 12-6: Schwebstofflängsschnitt der Havel getrennt nach Sommer- und Winterhalbjahr für den jeweiligen Beobachtungszeitraum an den angegebenen Messstellen (Band 2, Anhang F).

Abb. 12-7:
Fließ, Landw



Die Schwebstoffgehalte in der Havel sind daher grundsätzlich im Sommer höher als im Winter (Abb. 12-6). Im Längsschnitt unterliegen sie nur geringen Variationen. Auffällig ist in erster Linie der Anstieg der mittleren Schwebstoffkonzentration im Stadtgebiet von Berlin zwischen den Messstellen Hennigsdorf und Schleuse Spandau, was auf die Nähr- und Schadstoffbelastung im Stadtgebiet zurückzuführen sein dürfte. Im Verlauf der 90er Jahre ist an allen untersuchten Havelmessstellen ein abnehmender Trend der Schwebstoffbelastung zu verzeichnen (Zeitreihenanalyse), was auf die Betriebsstillegungen in Industrie und Landwirtschaft als auch auf abwassertechnische Maßnahmen zurückzuführen ist. So traten im Bereich der Havelmündung (Messstelle Toppel) noch zu Beginn der 90er Jahre hohe Jahresmittelwerte der Schwebstoffkonzentration auf, die jedoch einer fast kontinuierlichen Abnahme unterliegen (Tab. 12-6).

Hydrologisches Jahr	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Jahresmittelwert afS [mg/l]	20,9	17,6	14,8	15,0	11,3	10,3	9,6	10,0

Tab. 12-6: Jahresmittelwerte der Schwebstoffkonzentration (afS) in der Havel an der mündungsnächsten Messstelle Toppel von 1992 – 1999.

12.3.3 Schwebstofffracht

Für die Abschätzung von Schwebstoffjahresfrachten konnten 10 Messstellen an der Spree und 7 Messstellen an der Havel genutzt werden (Tab. 12-5). Detaillierte Angaben zur Variabilität der Schwebstofftagesfrachten, zu den angewandten Berechnungsmethoden sowie zu den weiteren quantifizierbaren Messstellen am Landwehrkanal, Teltowkanal und Tegeler Fließ sind in Band 2-Anhang F und H dargestellt.

12.3.3.1 Spree

Aus dem anhand der verschiedenen Frachtberechnungsmethoden geschätzten Schwebstofffrachtlängsschnitt der Spree wird deutlich, dass unabhängig vom Abflussjahr Diskontinuitäten im flussabwärts gerichteten Stofftransport auftreten (Abb. 12-8). Des Weiteren werden die Schwebstofffrachten im wesentlichen durch die Höhe der Schwebstoffkonzentration und weniger durch das Abflussgeschehen bestimmt. Aus diesem Grund sind analog zu dem Konzentrationslängsschnitt auch die sommerlichen Schwebstofffrachten unterhalb der Talsperre Spremberg bis zur Mündung in die Havel höher als die Frachten des Winterhalbjahres.

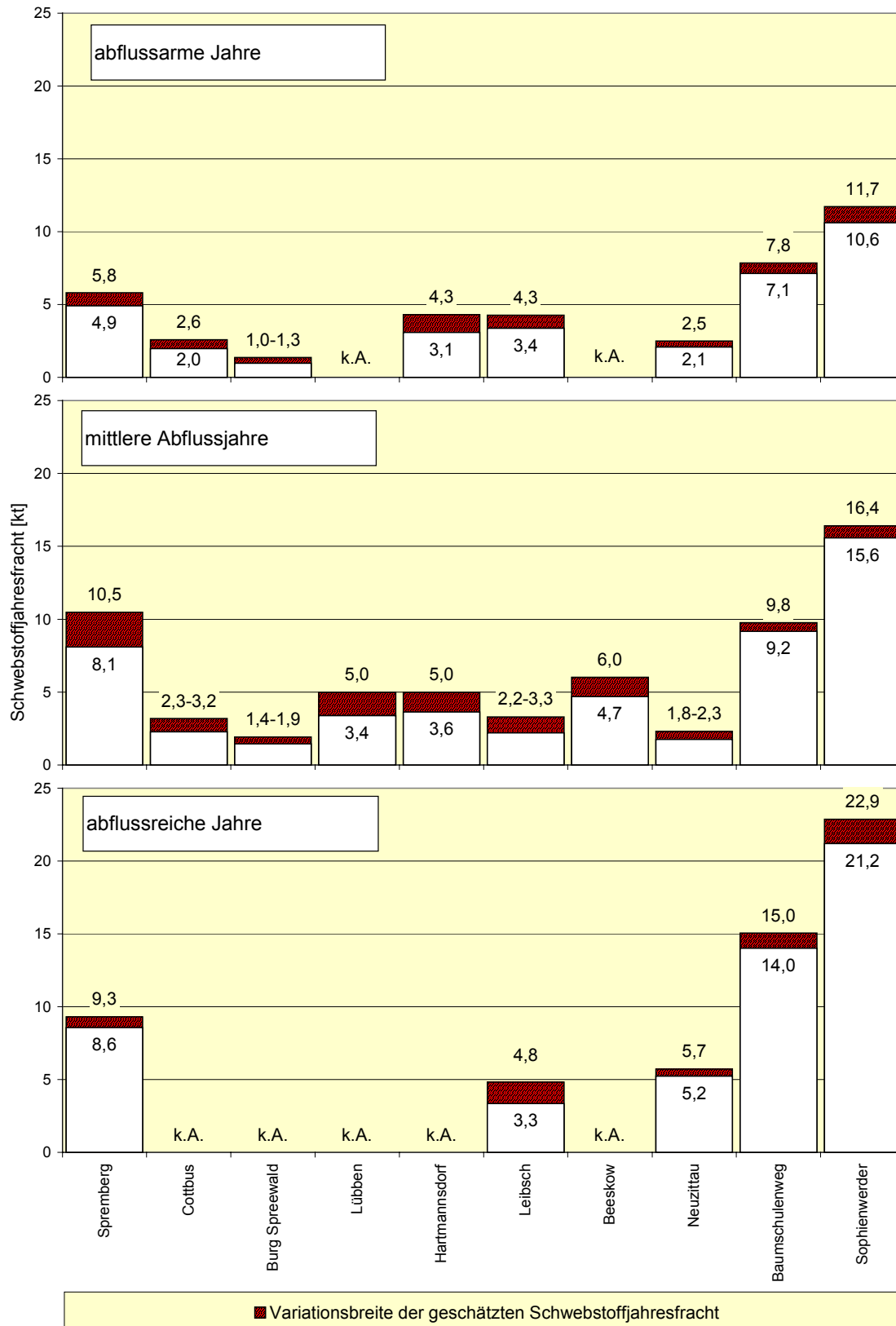


Abb. 12-8: Variationsbreite der geschätzten Schwebstoffjahresfrachten im Längsschnitt der Spree in Abhängigkeit von der Höhe des mittleren jährlichen Abflusses im vollständigen Beobachtungszeitraum (Tab. 12-5) an den jeweiligen Messstellen.

Nach HOELZMANN et. al. (1997 und 1998) tritt bereits im oberhalb der Messstelle Spremberg gelegenen Talsperrensystem Bautzen ein erheblicher Feststoffrückhalt auf, der

auch für die Talsperre Spremberg nachweisbar ist (Abb. 12-8). Demnach konnten in der Vorsperre Oehna (Talsperre Bautzen) hohe Sedimentationsraten von 12 bis 38,5 cm/a und in der Vorsperre Bülhlow (Talsperre Spremberg) von 50 cm/a festgestellt werden, die regelmäßige Baggerungen notwendig machen. Die geschätzten Jahresfrachten zeigen auch noch unterhalb der Talsperre Spremberg eine abnehmende Tendenz, was auf die Partikelretention im Spreewald zurückzuführen sein dürfte. Im Bereich von Cottbus gibt es zudem Hinweise auf wiederkehrende Anlandungen (RÜDIGER, 1969; Band 2, Anhang J). Aufgrund des hohen Eutrophierungspotentials des Schwielochsees und der damit verbundenen massenhaften Planktonentwicklung ist in mittleren Abflussjahren ein Anstieg der Schwebstoffjahresfracht zwischen den Messstellen Leibsch und Beeskow zu verzeichnen (Abb. 12-8). Ob die negative Frachtbilanz zwischen den Messstellen Hartmannsdorf und Leibsch bzw. Beeskow und Neu Zittau (Abb. 12-8) auf Sedimentations- oder Abbauprozesse zurückgeführt werden kann, ist aus dem Datenmaterial nicht schlüssig zu beantworten, da zwischen diesen Messstellen Oberflächenwasser der Spree über den Dahme-Umflut-Kanal bzw. über den Oder-Spree-Kanal zur Dahme abgeleitet wird. Der mit der Verschlechterung der Gewässergüte einhergehende Anstieg der Schwebstoffkonzentration im Berliner Stadtgebiet schlägt sich auch auf die Höhe der Schwebstofffrachten nieder. Zwischen den Messstellen Neu Zittau und Sophienwerder beträgt der gemittelte Frachtzuwachs in abflussarmen Jahren 9 kt, in mittleren Abflussjahren 14 kt und in abflussreichen Jahren 17 kt (Abb. 12-8).

12.3.3.2 Verhältnis der Schwebstofffrachten von Havel und Spree am Zusammenfluss

Der Schwebstoffeintrag der Spree in die Havel wird über die Messstelle Sophienwerder quantifiziert. Anhand des Vergleichs mit der oberhalb der Spreemündung gelegenen Messstelle Schleuse Spandau kann die Bedeutung der Spree für den Schwebstoffhaushalt der Havel abgeschätzt werden. Demnach trägt die Spree in Abhängigkeit vom Abflussjahr zwischen 11,2 und 22 kt Schwebstoff in die Havel ein (Abb. 12-9), wobei ihr Anteil an der Frachtbildung zwischen 75 - 80 % beträgt (Abb. 12-10). Das Verhältnis der halbjährlichen Frachten wird mit 76 % (Sommer) bzw. 81 % (Winter) ebenfalls von der Spree dominiert, wobei für beide Gewässer eine höhere Sommerfracht charakteristisch ist (Abb. 12-10). Aus dem Vergleich der abflussarmen Jahre 1990, 1993, 1997 und 1998 wird die rückläufige Schwebstoffbelastung der Spree deutlich. Demnach hat sich die Schwebstoffjahresfracht bei vergleichbarem mittleren Abfluss zwischen 1990 und 1998 halbiert.

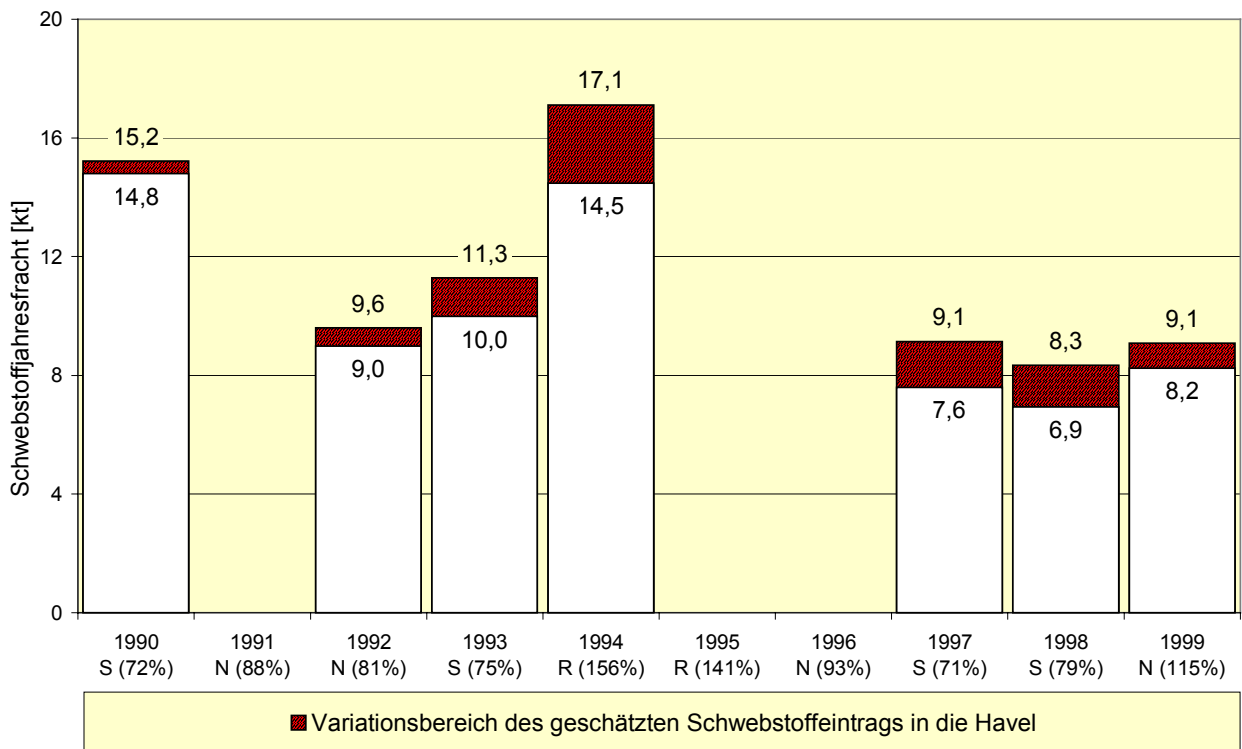


Abb. 12-9: Schwebstoffeintrag der Spree (Messstelle Sophienwerder) in die Havel von 1990 bis 1999 (S=abflussarm, N=mittleres Abflussjahr, R=abflussreich unter Angabe des prozentualen Verhältnisses von MQ Messjahr/MQ 1990-1999 in Prozent).

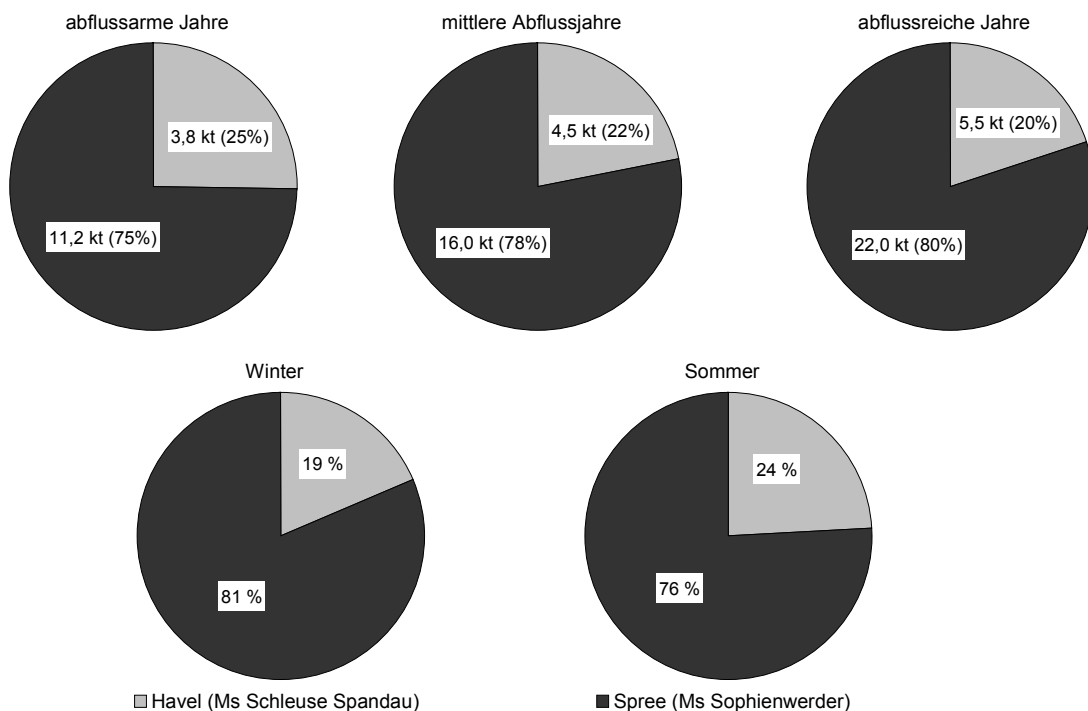


Abb. 12-10: Verhältnis der Schwebstofffrachtanteile von Spree und Havel am Zusammenfluss in Abhängigkeit vom Abflussjahr und im Sommer- und Winterhalbjahr.

12.3.3.3 Havel

Aus dem Frachtlängsschnitt der Havel wird deutlich, dass die Frachtzunahme zwischen Hennigsdorf und Alt Töplitz gering ist. Ein deutlicher Zuwachs der Schwebstofflast ist erst ab der Messstelle Brandenburg erkennbar (Abb. 12-12). Zudem ist die Frachtbilanz zwischen den Messstellen Sophienwerder (Spree), Schleuse Spandau (Havel) und Humboldtbrücke (Havel) nicht ausgeglichen. Die mittlere Schwebstoffjahresfracht der Havel im Zeitraum 1990 bis 1999 beträgt unterhalb des Zusammenflusses mit der Spree 14,9 kt. An der Messstelle Humboldtbrücke wurde im gleichen Zeitraum ein Frachtmittel von 6,1 kt auf der Basis der vorhandenen Schwebstoffmessreihe geschätzt, d.h. es tritt ein Defizit von durchschnittlich 8,8 kt/a auf. Dies ist mit der Sedimentation und dem Abbau von Schwebstoffpartikeln in den Berliner und Potsdamer Durchflusseen sowie mit der Ableitung von Oberflächenwasser in den Sacrow-Paretzer-Kanal zu begründen (Abb. 12-11).

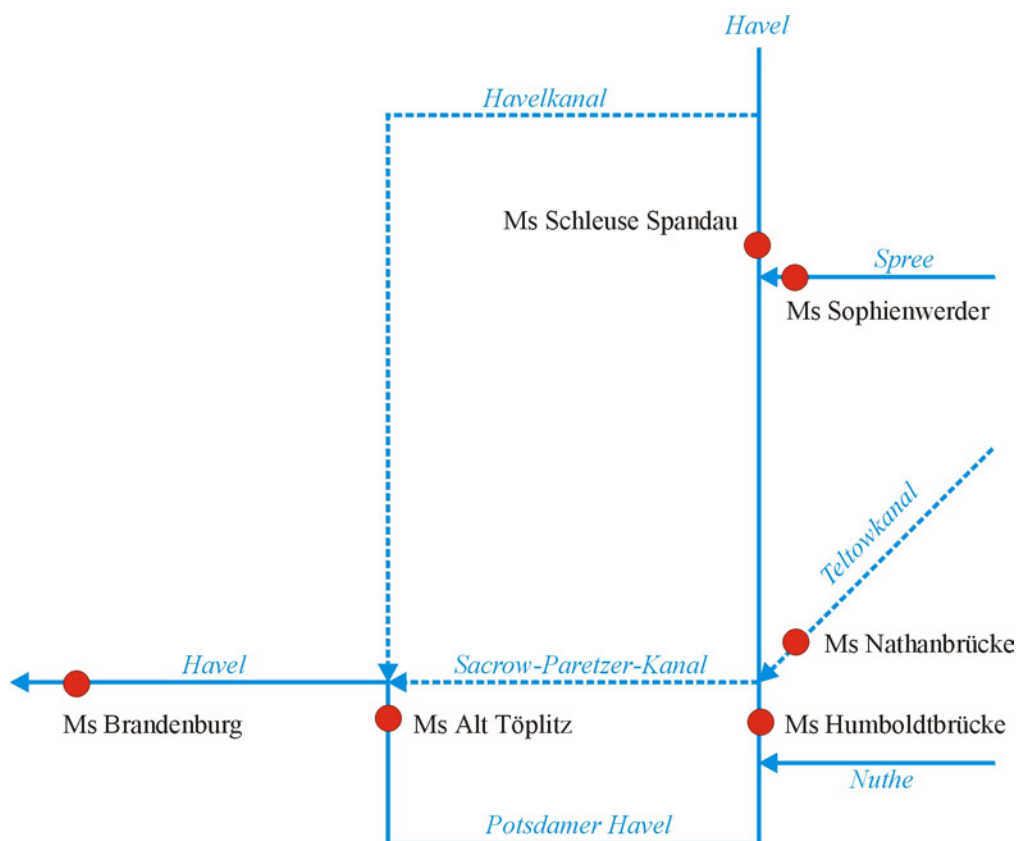


Abb. 12-11: Schematische Darstellung des Gewässernetzes der Havel im Raum Berlin-Brandenburg.

Aus der schematischen Darstellung des Gewässernetzes der Havel (Abb. 12-11) wird deutlich, dass die angegebenen Schwebstoffjahresfrachten an den Messstellen Humboldtbrücke und Alt Töplitz (Abb. 12-12) nur für die Potsdamer Havel gelten.

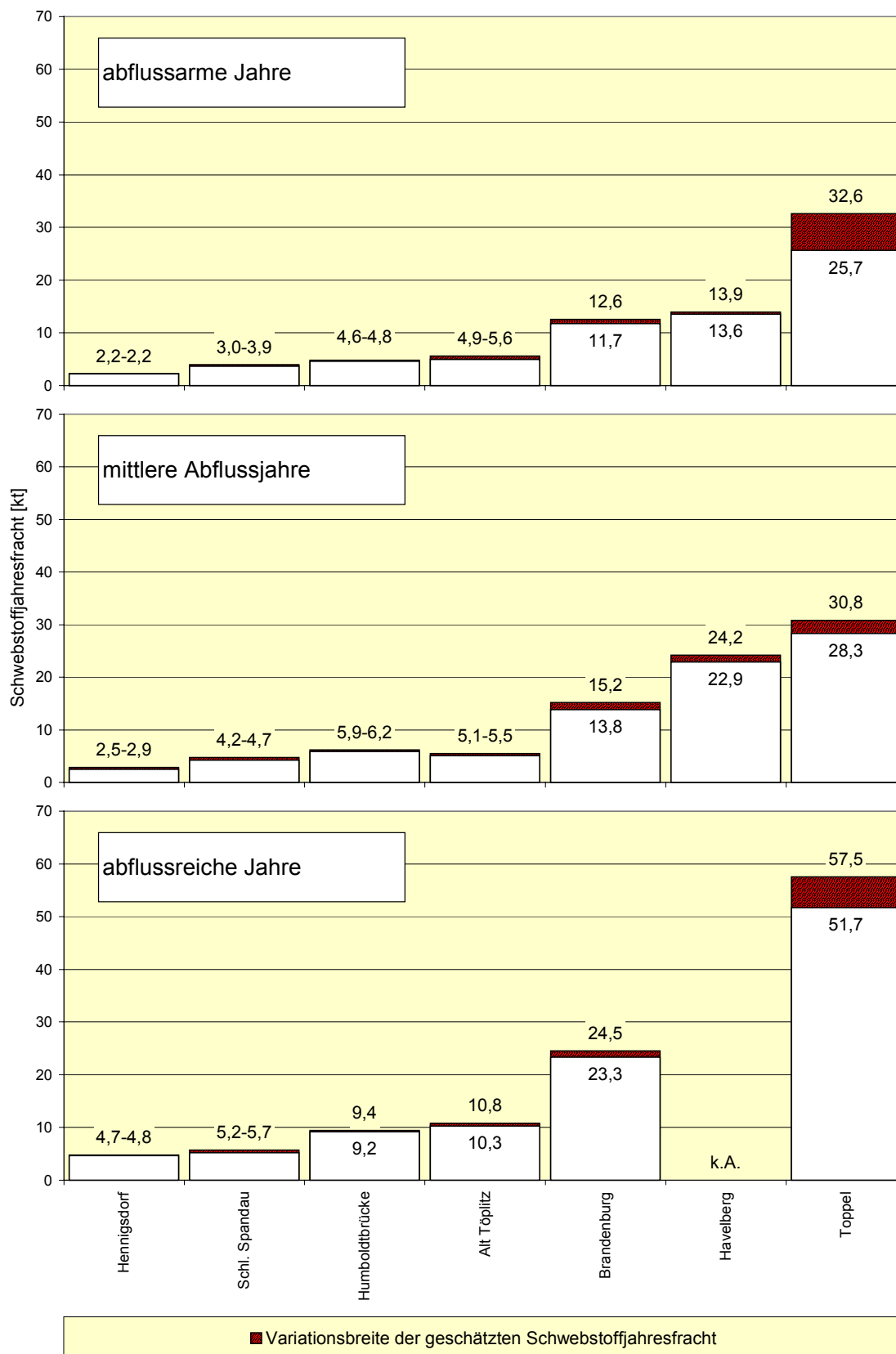


Abb. 12-12: Variationsbreite der geschätzten Schwebstoffjahresfrachten im Längsschnitt der Havel in Abhängigkeit von der Höhe des mittleren jährlichen Abflusses im vollständigen Beobachtungszeitraum (Tab. 12-5) an den jeweiligen Messstellen.

Eine verlässliche Abschätzung der Schwebstofffracht der Havel ist damit erst nach der Einmündung des Havelkanals und des Sacrow-Paretzer-Kanals bei Ketzin an der Messstelle Brandenburg möglich. Daraus erklärt sich auch die deutliche Frachtzunahme zwischen den Messstellen Alt Töplitz und Brandenburg, die unabhängig vom Abflussjahr auftritt und sich flussabwärts bis zur Einmündung in die Elbe fortsetzt (Abb. 12-12). Es ist allerdings mit vielfältigen Sedimentations- und Abbauprozessen auf diesem Flussabschnitt zu rechnen, da zahlreiche Flussaufweitungen auftreten und die Havel auf größeren Flussabschnitten rückgestaut ist. Die weiträumige Havelniederung, die früher als Hochwasserretentionsraum der Elbe fungierte, ist durch Deiche von der Elbe getrennt und der Zustrom der Havel in die Elbe wird über verschiedene Wehre reguliert. Dies führt bei Elbehochwasser zu einem Rückstau der Havel, der bis Brandenburg reichen kann. Nach Angaben der WSD OST (1999) und nach RÜDIGER (1969) sind in der Unteren Havel im Bereich von Schleusen und in der Fahrrinne regelmäßige Baggerungen notwendig. HOELZMANN et. al. (1997) stellten im Quenzsee bei Brandenburg hohe Sedimentationsraten von bis zu 7 cm/a in jüngerer Zeit fest.

12.4 Schwebstoffeintrag der Havel in die Elbe

Der Schwebstoffeintrag der Havel in die Elbe wird über die an der Messstelle Toppel im Gnevsdorfer Vorfluter (Abb. 12-13) gewonnenen Schwebstoffdaten geschätzt.

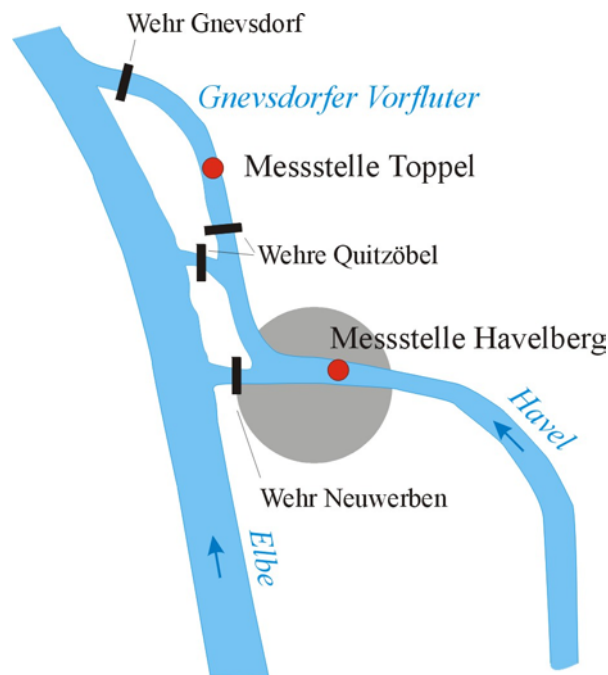


Abb. 12-13: Topografie und Messstellenanordnung im Bereich der Havelmündung.

Es kann nicht bestimmt werden inwieweit Frachteinträge über die anderen Havelarme erfolgen, die nicht durch die Messstelle Toppel erfasst werden. Allerdings sind die geschätzten Jahresfrachten an der Messstelle Havelberg mit den Frachtwerten in Toppel vergleichbar bzw. es findet noch ein weiterer Frachtzuwachs zwischen den Messstellen statt. Die Havel trägt demnach in abflussarmen Jahren und in mittleren Abflussjahren 26 – 33 kt Schwebstoff in die Elbe ein (Abb. 12-14). Dass die Höhe der Fracht scheinbar nicht vom Abfluss abhängig ist, erklärt sich aus den Veränderungen in der Gewässergüte im Verlauf der 90er Jahre. Die hohe Nährstoffbelastung der Havel führte demnach in dem abflussschwachen Jahr 1992 zu einer Schwebstofflast von 36,3 – 54,4 kt (Abb. 12-14), die in den mittleren Abflussjahren von 1996 bis 1999 bei weitem nicht mehr auftrat. In den abflussreichen Jahren 1994 und 1995 führte die Havel der Elbe im Mittel 52 - 58 kt Schwebstoff zu. Die Verringerung der Nährstoffbelastung in der Havel drückt sich in erster Linie in geringeren sommerlichen Schwebstoffgehalten aus, so dass ab 1998 die Winterfracht über der sommerlichen Schwebstofffracht lag. Bis 1997 betrug der Anteil der Sommerfracht an der Jahresfracht noch 56 %.

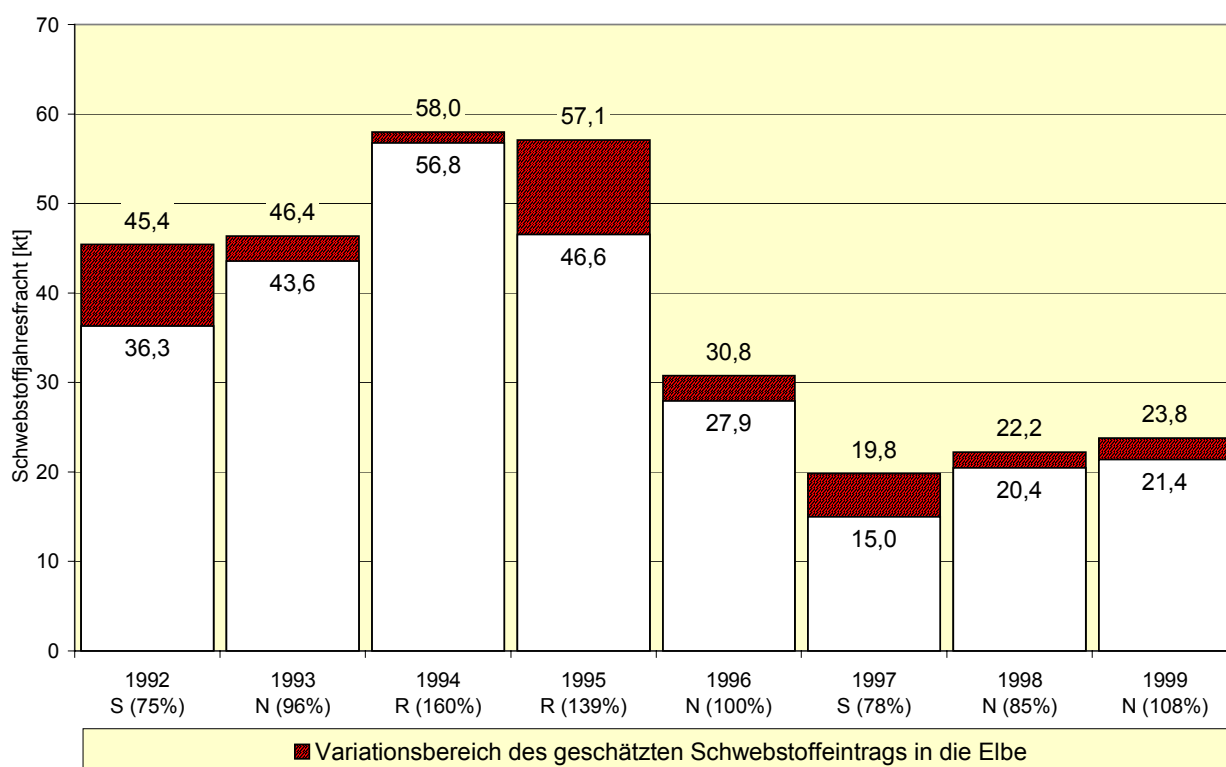


Abb. 12-14: Schwebstoffeintrag der Havel (Messstelle Toppel) in die Elbe von 1990 bis 1999 (S=abflussarm, N=mittleres Abflussjahr, R=abflussreich unter Angabe des prozentualen Verhältnisses von $MQ_{\text{Messjahr}}/MQ_{1990-1999}$ in Prozent).

13 Nebenflussgebiete der Unteren Mittelelbe

Das Zwischeneinzugsgebiet der Unteren Mittelelbe zwischen der Mündung der Havel und dem Wehr Geesthacht ist ohne das Haveleinzugsgebiet 12310 km² groß (Meteorologischer Dienst der DDR, 1968). Auf diesem ca. 148 km langem Elbeabschnitt münden ohne Flutrinnen und Altarme zu berücksichtigen in etwa 21 (ARGE ELBE, 2001) Nebengewässer unterschiedlichster Größe in den Hauptstrom. Von diesen dürfte nur denen mit einer minimalen Einzugsgebietsgröße von 100 km² eine Bedeutung für die Elbe zukommen. In absteigender Reihenfolge ihrer Größe sind dies die Elde-Müritz-Wasserstrasse, die Sude, die Jeetzel, der Aland, die Stepenitz, die Löcknitz (keine afS-Messwerte), die Seege und die Boize (Anlage 10 bis 15). Diese Nebenflussgebiete bilden über 95 % des Zwischeneinzugsgebietes (Tab. 9-1) und sind daher für die Beurteilung des Schwebstoffhaushaltes in Bezug auf die Elbe von Interesse.

Nebenfluss	Mündung		Nebenflusseinzugsgebiet		
	Position	Elbe-km	> 100 km ²	< 100 km ²	Weitere
<i>Wehr Geesthacht</i>		585,9			
Untere Mittelelbe	Horster Mühlenbach	rechts	564,2		65
	Sude/Boize	rechts	559,52	2253,4/189	
	Kateminer Mühlenbach	links	536,51		86
	Jeetzel	links	522,93	1928	
	Taube Elbe	links	519,4		59
	Löcknitz	rechts	513,15	937	
	Elde-Müritz-Wasserstraße	rechts	504,08	2990	
	Meetschower Hauptgraben	links	492,98		14
	Seege	links	489,6	324	
	Aland	links	474,66	1864	
	Stepenitz	rechts	454,9	1293	
<i>Havel (Gnevsdorfer Vorfluter)</i>		438,0			
Gesamtgröße Zwischen EZG			Größe der Teilgebiete		
[km ²]	12310		11778,4	224	307,6
[%]	100		95,7	1,8	2,5

Tab. 13-1: Lage und Größe der wichtigeren Nebenflussgebiete an der Unteren Mittelelbe zwischen der Mündung der Havel und dem Wehr Geesthacht (Meteorologischer Dienst der DDR, 1968; ARGE ELBE, 2001).

13.1 Langjähriges Abflussverhalten und hydrologisches Geschehen im Beobachtungszeitraum

Der Abflusscharakter der Elbenebengewässer an dem Elbeabschnitt zwischen km 438 und 585,9 wird im wesentlichen durch das Topino-Regime geprägt, welches durch den abflussreichsten Doppelmonat Februar und März und durch ein sommerliches Abflussminimum bei geringer Austrocknung gekennzeichnet ist (Abb. 13-1) (MARCINEK, 1991). Nur an den Oberläufen der Elde und der Stepenitz, die das Müritzgebiet berühren, ist der Jahresgang ausgeglichener (Mindel-Regime).

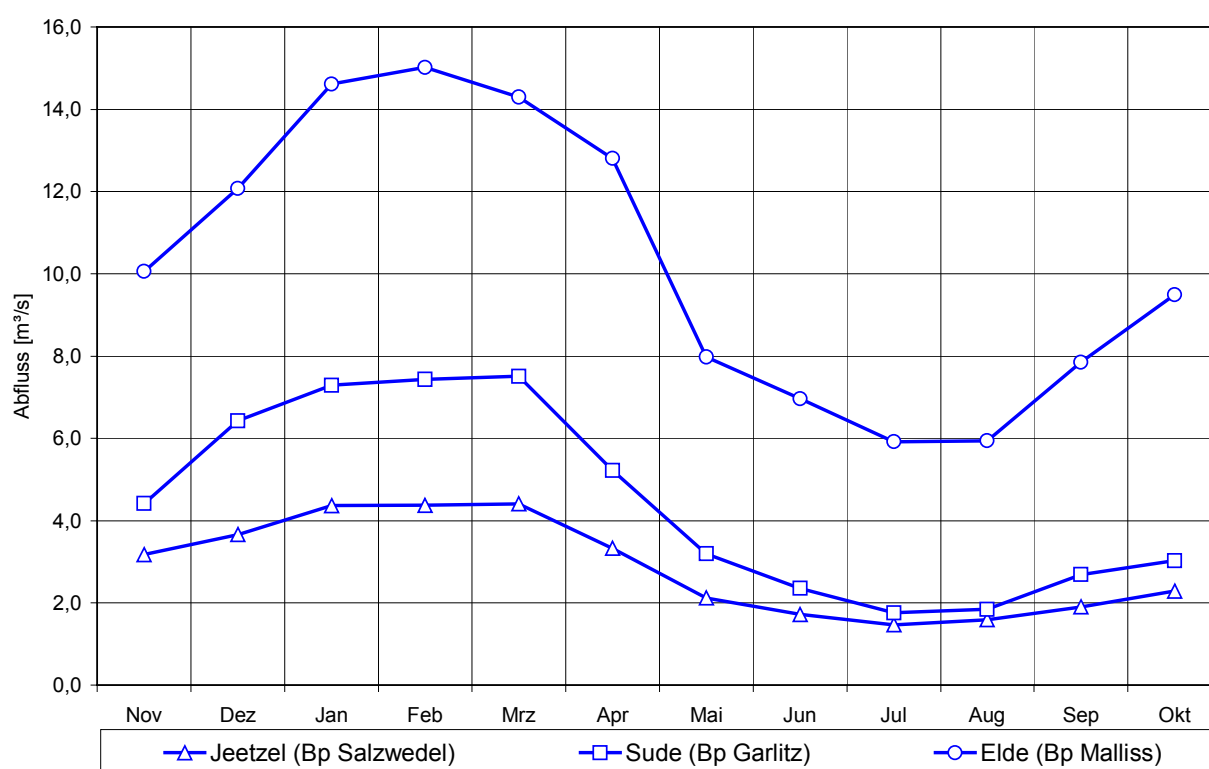


Abb. 13-1: Mittlerer langjähriger Jahresgang des Abflusses der Jeetzel (Bezugspegel Salzwedel), der Sude (Bezugspegel Garlitz) und der Elde-Müritz-Wasserstrasse (Bezugspegel Malliss).

Die langjährige mittlere Durchflusshöhe schwankt an den betrachteten Nebenflüssen zwischen 1 und 10 m³/s (Tab. 13-2) (Elbe MQ 672 m³/s Pegel Wittenberge; HELMS et. al., 2000). Entsprechend des Tieflandcharakters der Einzugsgebiete ist die gemessene Amplitude der Abflusshöhe gering. In der als Schifffahrtsstrasse ausgebauten und streckenweise aufgestauten Elde-Müritz-Wasserstrasse liegt der höchste im Beobachtungszeitraum gemessene Durchfluss nur 4mal und in der Stepenitz in etwa 15mal über dem langjährigen Mittel (Tab 2).

Gewässer	Pegel	Reihe	A_{EO}	PNP	NQ	MNQ	MQ	MHQ	HQ
			[km ²]	[m]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
Jeetzel	Salzwedel	1989-2000	676	17,35	0,23	1,06	3,15	9,38	28,2
	Lüchow	1998-2001	1300	12	0,321	1,32	6,28	31,5	62,9
Sude	Garlitz	1989-2000	735	8,19	0,21	1,06	4,54	15,3	24,7
Stepenitz	Wolfshagen	1984-2000	575	36,29	0,67	1,17	3,39	18,9	52,8
Elde-Müritz-Wasserstrasse	Malliss	1975-1999	2920	19,57	0	1,26	10,3	26,9	47
Boize	Schwartow	1988-2000	157	8,85	0,07	0,309	1,23	5,24	8,3

Tab. 13-2: Hauptzahlen ausgewählter und mündungsnächster Pegel in den Nebenflussgebieten der Unteren Mittelelbe.

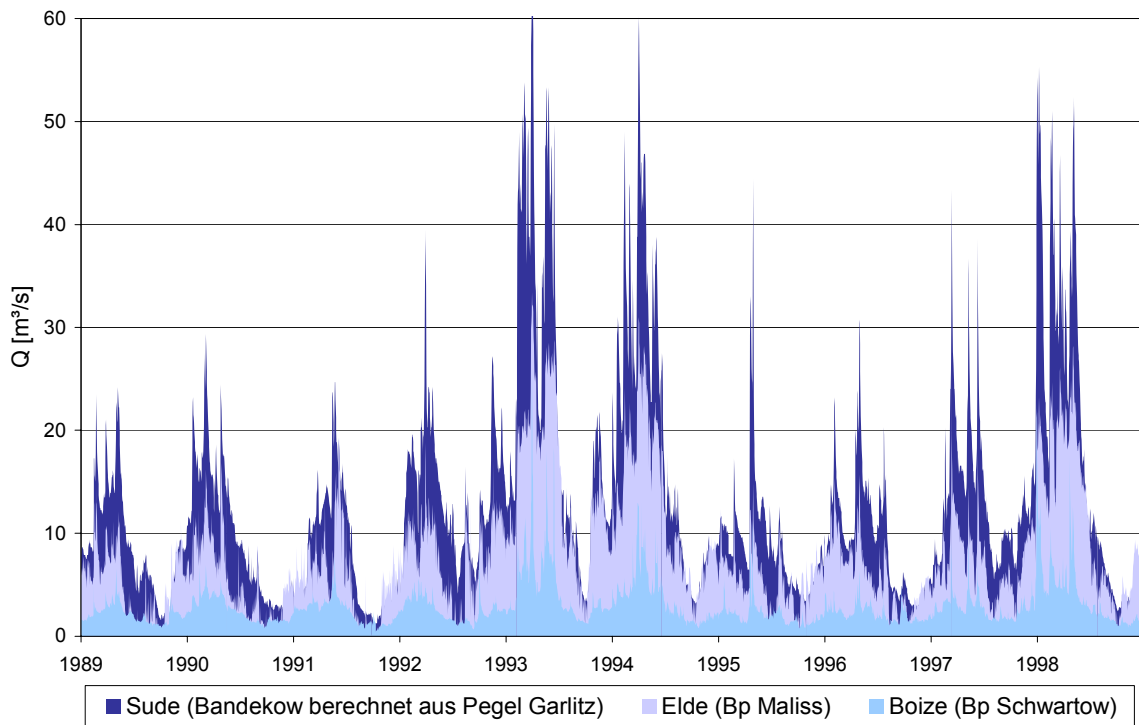


Abb. 13-2: Das Abflussgeschehen im Beobachtungszeitraum in den hydrologischen Jahren von 1989 bis 1998 in der Sude (Bandekow berechnet aus Pegel Garlitz), der Elde (Bezugspegel Maliss) und in der Boize (Bezugspegel Schwartow).

Im Untersuchungszeitraum von 1989 bis 2000 ist das Abflussverhalten der Nebenflüsse an der Unteren Mittelelbe direkt miteinander vergleichbar (Abb. 13-2). Aufgrund der geringen Niederschlagsmengen im Elbegebiet zu Beginn der 90er Jahre führten auch die norddeutschen Tieflandflüsse von 1989 bis 1993 relativ wenig Wasser im Vergleich zum langjährigen Mittel.

An einigen Pegeln wurde nur die Hälfte des langjährigen Mittelwasserabflusses gemessen, so dass dieser Zeitraum als abflussarm eingeschätzt werden kann. Diese Trockenperiode wurde im Dezember 1993 durch ein bis Mitte Februar anhaltendes und durch ein weiteres kurz darauf folgendes Hochwasser beendet. An allen Nebenflüssen wurden in diesem Zeitraum die mittleren jährlichen Hochwasserdurchflüsse mehrfach überschritten. Auch das darauffolgende hydrologische Jahr 1995 war durch anhaltend höhere Wasserstände während des gesamten Winterhalbjahres gekennzeichnet. Als abflussarm sind dagegen wiederum die sich anschließenden Jahre 1996 und 1997 zu charakterisieren. Am Ende der Dekade herrschten weitgehend normale Abflussverhältnisse.

An der Stepenitz wurde der Parameter „abfiltrierbarer Stoff“ nur in dem Zeitraum von 1985-1988 bestimmt. Die Abflussverhältnisse sind bis auf das hydrologische Jahr 1988 (abflussreich) als normal (mittlere Abflussjahre) zu bezeichnen.

Gewässer	Pegel	Abflussarme Jahre	Mittlere Abflussjahre	Abflussreiche Jahre
		MQ _{MJ} /MQ < 80 %	MQ _{MJ} /MQ 80 - 120 %	MQ _{MJ} /MQ > 120 %
Boize	Schwartow	1992 (75) 1996 (64) 1997(49)	1993 (84) 1998 (93) 2000 (109)	1994 (155) 1995 (146) 1999 (125)
Sude	Bandekow	1990 (66) 1991 (73) 1992 (55) 1996 (65) 1997(69)	1993 (102) 1998 (101) 2000 (106)	1994 (166) 1995 (142) 1999 (133)
Jeetzel	Salzwedel	1992 (76) 1996 (67) 1997(72)	1993 (82) 1998 (95)	1994 (148) 1995 (120) 1999 (121)
Elde	Maliss	1989 (56) 1990 (49) 1991 (52) 1992 (53) 1993 (75) 1996 (54) 1997 (58) 1998 (73)	1999 (115)	1994 (145) 1995 (124)
Stepenitz	Wolfshagen		1985 (102) 1986 (96) 1987 (115)	1988 (135)

Tab. 13-3: Einordnung der Abflussjahre im Beobachtungszeitraum gemessen am Verhältnis des mittleren Jahresabflusses des Messjahres zum langjährigen MQ in [%].

13.2 Entwicklung der Gewässergüte im Beobachtungszeitraum

Die **Stepenitz** (Anlage 10) weist einen sommerkühlen Charakter auf und ist weitgehend gering belastet (LAWA Güteklasse I-II). Sie mündet bei Wittenberge zusammen mit der Karthane in den Hafen von Wittenberge (LAWA, 2002). Ausbaggerungen an den Nebenflusseinmündungen aufgrund von Feststoffakkumulationen sind nicht notwendig (WSA Lauenburg, mündl. Mit.).

Der **Aland** (Anlage 11), linker Nebenfluss der Elbe, weist eine Einzugsgebietsgröße von 1 864 km² auf. Die Lauflänge wird mit 110 km angegeben (IKSE, 2001). Das Gewässersystem besteht aus der Milde und der Biese und trägt ab Seehausen bis zur Einmündung in die Elbe bei Schnackenburg (Elbe-km 474,7; ARGE ELBE, 2001) die Bezeichnung Aland. Das gesamte Gewässernetz ist durch Begradigungen, Regelprofile, Querverbauungen und fehlenden Uferbewuchs gekennzeichnet. Diese strukturellen Defizite als auch die diffusen Stoffeinträge aus den landwirtschaftlich genutzten Flächen des EZG bewirkten, dass sich im Verlauf der 90er Jahre die Wasserqualität nicht wesentlich verbesserte und weiterhin durch sommerliche Algenblüten gekennzeichnet ist. Das Gewässer wird demzufolge als kritisch belastet eingeschätzt (STAU Magdeburg, 1991; LAU Sachsen-Anhalt, 1993 und 1997; LAWA, 2002). Bessere Strukturverhältnisse zeigen sich nur unterhalb von Wanzer, wo der Fluss einen mäandrierenden Verlauf mit Ausbildung von Gleit- und Prallhängen aufweist. Die Alandniederung wird in diese Bereich durch ein Abschlusswehr vor dem Einströmen von Elbe-Hochwasser geschützt (LAU Sachsen-Anhalt, 2002). Der Aland mündet in den Hafen Schnackenburg, wobei nach Aussage des WSA Lauenburg keine Baggermaßnahmen notwendig werden.

Der Oberlauf der **Elde** (Anlage 13) ist durch zahlreiche Durchflusseseen charakterisiert. Nach ihrem Austritt aus der Müritz ist das Gewässer auf einer Strecke von 120 km bis zur Einmündung in die Elbe (Elbe-km 504,08; ARGE ELBE, 2001) durchgängig kanalisiert und für die Schifffahrt ausgebaut (UM Mecklenburg-Vorpommern, 1991, 1992). Dieser Flussabschnitt gehört zu den Bundeswassertrassen und wird als Elde-Müritz-Wasserstrasse bezeichnet. Aufgrund des Gewässerausbaus sind viele Abschnitte der Elde rückgestaut und werden zudem durch kommunale und gewerbliche Abwässer belastet. Obwohl im Verlauf der 90er Jahre wesentliche punktuelle Belastungsquellen beseitigt werden konnten (UM Mecklenburg-Vorpommern, 1992, 1998) ist die Gewässergüte der Elde durch Nährstofffreisetzung aus den sapropelitischen Sedimenten (UM Mecklenburg-Vorpommern,

1993) noch als kritisch belastet (Güteklasse II-III) einzuschätzen (LAWA, 2002). Verbesserungen stellen sich nur in abflussreicheren Jahren ein. Insgesamt dominieren die trophischen Prozesse die Gewässergüte der Elde, so dass das Fließgewässer vielmehr als hocheutropher See zu bezeichnen ist (UM Mecklenburg-Vorpommern, 1991, 1993).

Die rechtsseitig bei km 513,2 (ARGE ELBE, 2001) in die Elbe mündende **Löcknitz** (EZG 937 km², Länge 80 km) entsteht durch den Zusammenfluss von Westlicher und Östlicher Löcknitz. In den 60er Jahren wurde die Mündung des Gewässers aus Gründen des Hochwasserschutzes stromabwärts verlegt und die Elde-Müritz-Wasserstrasse gedükert. Größere Abwassereinleiter fehlen, so dass die Gewässergüte im allgemeinen mit der Klasse II beschrieben werden kann (UM Mecklenburg-Vorpommern, 1991; LAWA, 2002). Durch das der Mündung vorgeschaltete Abschlusswehr kann rückstaubedingt im Unterlauf der Löcknitz jedoch auch eine Verschlechterung der Gewässergüte eintreten (UM Mecklenburg-Vorpommern, 1992 und 1993).

Die **Jeetzel** (Anlage 14), bis unterhalb von Salzwedel als Jeetze bezeichnet, mündet am Elbe-km 522,9 (ARGE ELBE, 2001) linksseitig in die Elbe. Das 1928 km² große EZG ist kaum industrialisiert, so dass die Gewässerbelastungen in erster Linie auf kommunale Einleiter bzw. auf diffuse Nährstoffeinträge zurückzuführen sind (STAU Magdeburg, 1991). Dementsprechend konnte in den 90er Jahren durch den Bau von Kläranlagen die LAWA-Gewässergüteklasse von II-III (kritisch belastet) auf II (mäßig belastet) verbessert werden (STAU Magdeburg, 1991; LAU Sachsen-Anhalt, 1993 und 1997; LAWA, 2002). Kritische Belastungen entstehen im wesentlichen noch durch Einträge von organischem Material nach bzw. während Starkregenereignissen (NLÖ, 1995). Die Jeetzel ist vor allem in Ortslagen ausgebaut, streckenweise begradigt und eingedeicht und weist nur wenige naturnahe Abschnitte auf (NLWK Lüneburg, 2001). Die Längsdurchgängigkeit wird durch 29 Querbauwerke (ARGE ELBE, 2002) unterbrochen. Zur Grünlandgewinnung wurde der Jeetzel-Kanal zwischen Lüchow und Dannenberg angelegt, der auch das Hauptwasser abführt. Der Wasserhaushalt der verbliebenen Alten Jeetzel wird in diesem Abschnitt durch ein Abschlagbauwerk reguliert. Im Unterlauf durchfließt die Jeetzel die Elbaue und weist nur noch geringe Fließgeschwindigkeiten auf, was die Ausbildung von Wasserpflanzenbeständen begünstigt. Bei Hochwasserführung der Elbe erfolgt ein weiträumiger Einstau in den eingedeichten Gewässerlauf. Südlich von Hitzacker durchfließt die Jeetzel den künstlich

angelegten Hitzacker See, wo sie bei Niedrigwasser der Elbe durch einen Sohlabsturz aufgestaut wird. Hierdurch kommt es in Mündungsnähe zu Schlammablagerungen.

Die **Sude** (Anlage 15) hat ihren Ursprung im Dümmer See. An dem 2253 km² großen EZG haben die durch seenartige Erweiterungen charakterisierte und eutrophe Krainke, die weitgehend ausgebaute und begradigte Rögnitz, die Schaale und die bis zum Bau der Kläranlage bei Hagenow im Jahr 1995 belastete Schmaar Anteil (UM Mecklenburg-Vorpommern, 1991, 1992, 1993, 1994) (Tab. 13-4).

	Nebenflüsse der Sude				
	Sude	Krainke	Rögnitz	Schaale	Schmaar
EZG [km ²]	2253	101	285	504	103
Länge [km]	90	35	33	52	15

Tab. 13-4: Hydrographische Parameter des Sude EZG und ausgewählter Nebengewässer (Z1, 2, MP)

Im landwirtschaftlich genutzten Gebiet des Unter- und des Oberlaufs treten diffuse Stoffeinträge in die Sude auf. Die Gewässergüte wird durchgängig als mäßig belastet eingeschätzt (LAWA, 2002). Die Mündung der Sude wurde vom Elbe-km 557 um 2,5 km stromabwärts verlegt, so dass sie heute in die Hafeneinfahrt des Hafens Boizenburg (Elbe-km 559,5; ARGE ELBE, 2001) mündet. Die Mündung ist außerdem mit einem Abschlusswehr versehen. Unterhaltungsbaggerungen an der Hafeneinfahrt durch etwaige Feststoffeinträge im Mündungsbereich sind nicht notwendig (WSA Lauenburg 2001, mündl. Mit.).

Das 189 km² große EZG der südwestlich des Schaalsees entspringenden **Boize** unterliegt einer intensiven landwirtschaftlichen Nutzung, wobei der Flusslauf größtenteils begradigt und ausgebaut ist. Der Oberlauf ist daher weitgehend rückgestaut und in Zeiten geringerer Durchflüsse durch eine hohe eigenbürtige Bioproduktion gekennzeichnet. Als zusätzliche Belastung wirken Einleitungen der Stadt Boizenburg (UM Mecklenburg-Vorpommern, 1991, 1992, 1998). Nach einer Lauflänge von 30 km mündet die Boize in den Hafen Boizenburg (Elbe-km 559,5; ARGE ELBE, 2001). Nach Aussage des WSA Lauenburg (mündl. Mit.) sind keine Unterhaltungsbaggerungen durch eingetragene Feststoffe im Bereich der Boizemündung notwendig.

13.3 Schwebstoffhaushalt der Nebenflüsse der Unteren Mittelelbe

13.3.1 Schwebstoffmessstellen

Der Parameter abfiltrierbarer Stoff wird an den Nebenflüssen der Unteren Mittelelbe im Rahmen der Ländermessprogramme vom Staatlichen Amt für Umwelt Magdeburg, dem Staatlichen Amt für Umwelt und Natur Schwerin und dem Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft und Küstenschutz Lüneburg erhoben. Die Messergebnisse liegen sowohl für unterschiedliche Beobachtungszeiträume als auch in abweichender Messfrequenz vor (Tab. 13-5).

Nebenfluss	Messstelle	Fluß-km	Beobachtungszeitraum		Anzahl Messwerte/a	Bezugspegel	Zuständigkeit
Stepenitz	Wittenberge	k. A.	03.1985	11.1988	1 - 14	Wolfshagen	StAU Magdeburg
Aland	Schnackenburg	k. A.	05.1980	07.2000	1 - 13	k. A.	NLWK Lüneburg
Aland	Wanzer	4,9	01.1992	12.1999	19 - 26	k. A.	StAU Magdeburg
Stepenitz	Wittenberge	k. A.	03.1985	11.1988	1 - 14	Wolfshagen	StAU Magdeburg
Seege	Meetschow	k. A.	03.1985	06.2000	2 - 12	k. A.	NLWK Lüneburg
Seege	Nienwalde	k. A.	05.1980	10.1997	2 - 12	k. A.	NLWK Lüneburg
Elde	Dömitz	9,5	01.1989	11.1999	5 - 27	Malliss	StAU Schwerin
Jeetzel	Seerau	k. A.	01.1996	06.2000	6 - 12	k. A.	NLWK Lüneburg
Jeetzel	Lüggau	k. A.	09.1976	11.1997	1 - 25	k. A.	NLWK Lüneburg
Jeetzel	Teplingen	k. A.	08.1976	06.2000	1 - 24	k. A.	NLWK Lüneburg
Jeetzel	Salzwedel	5,0 (Jeetze)	01.1992	12.1999	22 - 27	Salzwedel	StAU Magdeburg
Sude	Sückau	k. A.	08.1993	11.1997	1 - 6	k. A.	NLWK Lüneburg
Sude	Bandekow	k. A.	01.1989	12.2000	4 - 26	Garlitz	StAUN Schwerin
Sude/Krainke	Besitz	k. A.	10.1993	11.1997	2 - 24	k. A.	NLWK Lüneburg
Sude/Krainke	Kaarssen	k. A.	08.1993	03.1998	2 - 6	k. A.	NLWK Lüneburg
Sude/Rögnitz	Rosien	k. A.	08.1993	11.1997	2 - 6	k. A.	NLWK Lüneburg
Boize	Boizenburg	k. A.	01.1992	12.2000	3 - 26	Schwartow	StAUN Schwerin

Tab. 13-5: Gewässergütemessstellen und zugeordnete Bezugspegel an den Nebenflüssen der Unteren Mittelelbe. (Detailliertere Angaben s. Band 2, Anhang C und F).

Da niedrige Schwebstoffgehalte für die Qualitätssicherung in der Gewässerüberwachung nur eine untergeordnete Rolle spielen, wurden in den 80er Jahren Schwellwerte von 20 mg/l und in den 90er Jahren von 10 mg/l vom NLWK Lüneburg festgelegt. Bei einer Unterschreitung des Wertes wird daher nur die Angabe < 20 bzw. <10 mg/l festgehalten. Da die originalen Analysedaten nicht mehr in dem Datenbestand des NLWK Lüneburg enthalten sind, musste

von einer Auswertung dieser Messstellen weitestgehend abgesehen werden (Tab. 13-5). Damit sind nur eingeschränkte Aussagen zum Schwebstoffhaushalt in der unteren Jeetzel, der oberen Sude (jeweils ab Landesgrenze Niedersachsen) und der Seege möglich. Dies trifft auch auf die Löcknitz zu, da dort keine Schwebstoffmessungen erfolgen. Der Zeitraum der Schwebstoffuntersuchungen beschränkt sich in der Stepenitz auf den Zeitraum von 1985 bis 1988 (Band 2, Anhang F).

13.3.2 Schwebstoffkonzentration

Die vorhandenen Schwebstoffmesswerte an der **Stepenitz** (Messstelle Wolfenhagen) zeigten im Untersuchungszeitraum von 1985 bis 1988 nur eine undeutliche exponentielle Korrelation mit dem Abflussgeschehen (Kap. 5.2.5; Band 2, Anhang F und H). Zudem war die Messfrequenz sehr gering und nicht an dem hydrologischen Geschehen orientiert, so dass einige Abflussklassen nicht mit Messwerten belegt waren. Dementsprechend sind die Möglichkeiten einer Interpretation des Schwebstoffhaushaltes stark eingeschränkt. An den insgesamt 48 Probenahmetagen trat 41mal ein Wert < 20 mg/l auf. Das Maximum der gemessenen Konzentration lag bei 102 mg/l.

An den Nebenflüssen **Aland**, **Boize**, **Elde**, **Jeetzel**, **Seege** und **Sude** ist der Messzeitraum von 1989 bis 2000 weitestgehend einheitlich, wobei jedoch die zumindest monatliche Probenahme in dem abflussreichen Jahr 1994 an Elde, Sude und Boize nicht gewährleistet werden konnte und an der Seege Schwebstoffkonzentrationen < 10 mg/l nicht genauer angegeben wurden. Auf der Grundlage des vorliegenden Datenmaterials sind an den Messstellen der Nebenflüsse an der Unteren Mittelelbe Schwebstoffgehalte von 5 bis 9 mg/l (Mediane) charakteristisch. Da keine größeren Konzentrationsschwankungen auftraten überschreiten auch die Mittelwerte des Beobachtungszeitraums kaum 10 mg/l. An der Messstelle Meetschow (Seege) wurden 29 % der Messwerte < 10 mg/l nicht weiter spezifiziert. Die Gehalte an abfiltrierbaren Stoffen scheinen in diesem Nebenfluss etwas höher auszufallen da über 50 % der Messwerte über 20 mg/l liegen. Der höchste gemessene Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen wurde jedoch an der Messstelle Salzwedel an der oberen Jeetzel, bzw. dort als Jeetze bezeichnet, mit 100 mg/l am 16.12.1997 bestimmt. Dieses Maximum trat unabhängig vom hydrologischen Geschehen auf und ist in dieser Höhe auch an der Jeetzel (Jeetze) eine Ausnahme. Wie die mittleren jährlichen Schwebstoffwerte aller Messstellen im Beobachtungszeitraum zeigen, treten an den Nebenflüssen nur geringe Variationen der Schwebstoffkonzentration auf (Abb. 13-3). Ein Trend einer Zu- oder Abnahme in Beziehung mit der Entwicklung der Gewässergüte in den 90er Jahren ist kaum feststellbar.

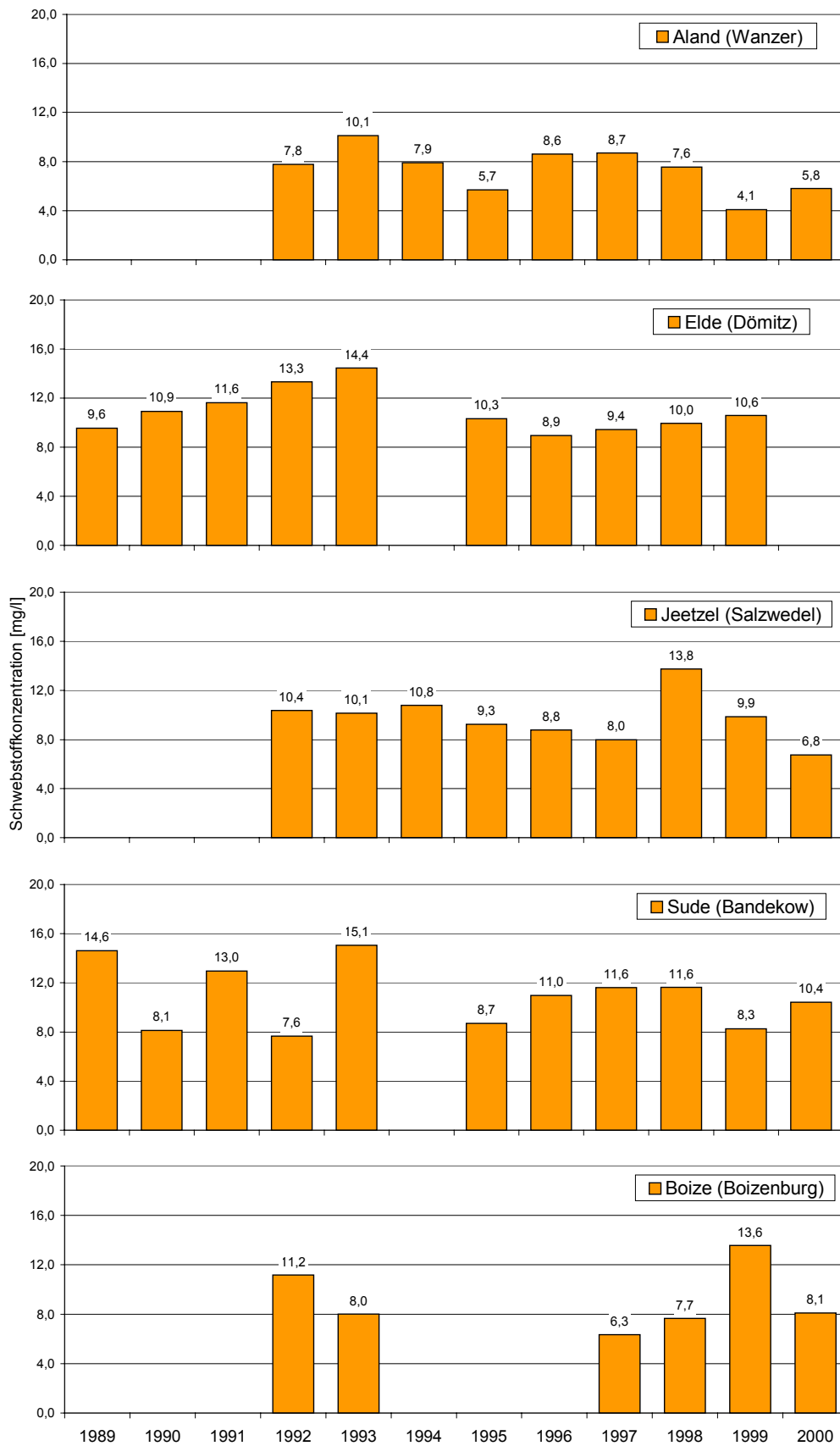


Abb. 13-3: Jahresmittelwerte der Schwebstoffkonzentration (mg/l) an den Messstellen der untersuchten Nebenflüsse an der Unteren Mittelelbe im angegebenen Beobachtungszeitraum.

Vergleicht man den Jahresgang der Schwebstoffkonzentration mit dem Jahresgang des Abflusses, so lehnt sich der Verlauf der Mittelwerte von 1997 bis 2000 in der Boize (Messstelle Boizenburg) gut an das Abflussgeschehen an (Abb. 13-3, Tab. 13-3). Zudem wird ein exponentieller Zusammenhang zwischen Schwebstoffkonzentration und Abfluss, gebildet über Abflussklassen (Band 2, Anhang F und H), durch einen Regressionskoeffizienten von 0,88 als deutlich (ZANKE, 1995) beschrieben.

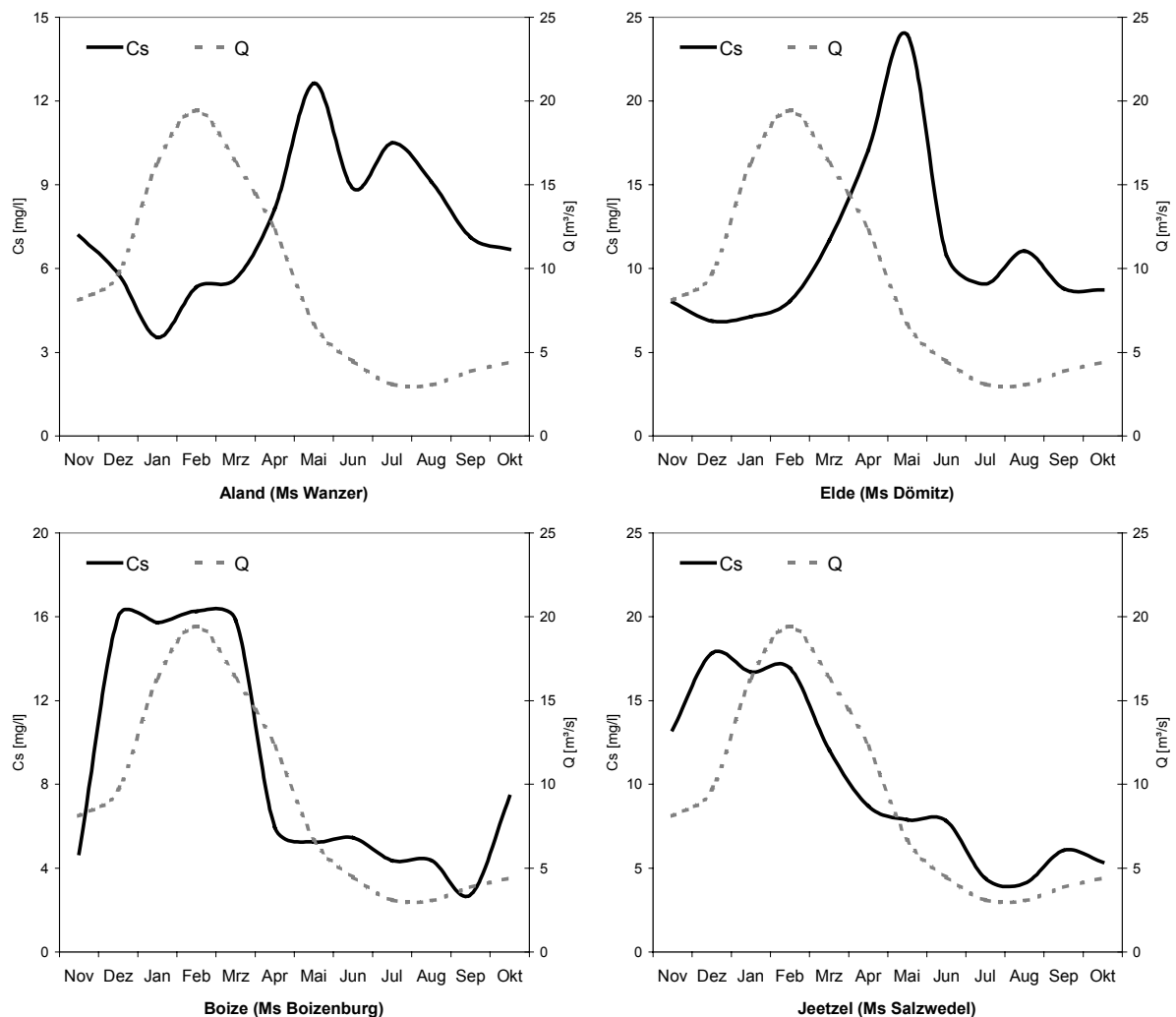


Abb. 13-4: Gemittelter Jahresgang der Schwebstoffkonzentration an den Nebenflüssen an der Unteren Mittelelbe bezogen auf den jeweiligen Beobachtungszeitraum (Tab. 13-5).

Die festgestellte Durchflussabhängigkeit der Schwebstoffkonzentration an der Messstelle Boizenburg lässt sich auch in der Jeetze an der Messstelle Salzwedel feststellen. Mathematisch wird dieser Zusammenhang hier durch exponentielle Regressionskoeffizienten (Band 2, Anhang F und H) von 0,88 bzw. 0,92 unterlegt. Dass sich dieser, nach ZANKE (1995) deutliche Zusammenhang nicht in einer Korrelation der Schwebstoffjahresmittelwerte

mit der Höhe des mittleren Abflusses der hydrologischen Jahre widerspiegelt, liegt an der Empfindlichkeit der Mittelwertbildung gegenüber Extremwerten. Der bereits angesprochene Maximalwert von 100 mg/l wird aufgrund der geringen Anzahl von Messwerten (25) zu stark gewichtet und führt zu einem überproportional hohen Jahresmittelwert in dem eigentlich als mittel einzuschätzenden hydrologischen Jahr 1998. Während der Schwebstoffgehalt an den Messstellen Boizenburg und Salzwedel abflussabhängig ist, dürfte an den Messstellen Wanzer (Aland) und Dömitz (Elde) vor allem die Höhe der Bioproduktivität den Verlauf der mittleren jährlichen Schwebstoffkonzentration zu bestimmen (Abb. 13-4). Dies drückt sich in einem zweigipfligen Maximum (Mai/Juli und Mai/August) sowie in dem vom Abflussgang unabhängigen Verlauf aus. Gestützt wird diese Aussage durch die in Kapitel 13.2 beschriebene Struktur- und Gewässergüte dieser Nebenflüsse, die durch Begradigungen und Rückstau sowie durch diffuse Nährstoffbelastungen aus den landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten bestimmt wird. Diese äußeren Randbedingungen lassen auf eine hohe Sekundärbelastung und auf eine Dominanz der eher stillgewässertypischen biologischen Prozesse schließen.

13.4 Schwebstoffeintrag in die Elbe

Da die Abschätzbarkeit von Schwebstoffjahresfrachten nicht nur von der Anzahl von Messwerten pro Jahr sondern auch von der Berücksichtigung hydrologischer Ereignisse abhängt, waren Frachtbestimmungen nicht in jedem Jahr des Beobachtungszeitraumes möglich.

Dies trifft auch für die Ms Wittenberge an der Stepenitz zu. Für den Messzeitraum von 1985 bis 1988 wurde nur für das abflussreiche Jahr 1988 eine Frachtabschätzung vorgenommen, deren Höhe von 1,2 kt nur nach Methode 1 (Kapitel 5) berechnet wurde und demzufolge mit einer hohen Unsicherheit behaftet ist (Band 2, Anhang F).

Im Beobachtungszeitraum von 1989 bis 2000 traten an der Messstelle Bandekow (Sude) die höchsten Schwebstoffjahresfrachten von allen untersuchten Nebenflüssen auf (Abb. 13-5). In abflussarmen Jahren wurde eine Fracht von 5 kt nicht überschritten, während in mittleren Jahren bis zu 7,3 kt (1993) transportiert wurden. Damit wird noch die Jahresfracht des abflussreichen Jahres 1999 überschritten, was vermutlich auf geänderte Randbedingungen, wie z.B. den Bau der Kläranlage bei Hagenow im Jahr 1995 (Kapitel 13.2) zurückzuführen ist. Auch an der Messstelle Dömitz (Elde) traten noch Jahresfrachten von bis zu 4,4 kt auf (Abb. 13-5). Im allgemeinen sind die Aussagen zu den maximal möglichen

Schwebstofffrachten im Beobachtungszeitraum jedoch durch das Fehlen von Messwerten in den eigentlich abflussreichsten Jahren 1994 und 1995 erschwert bzw. nicht möglich.

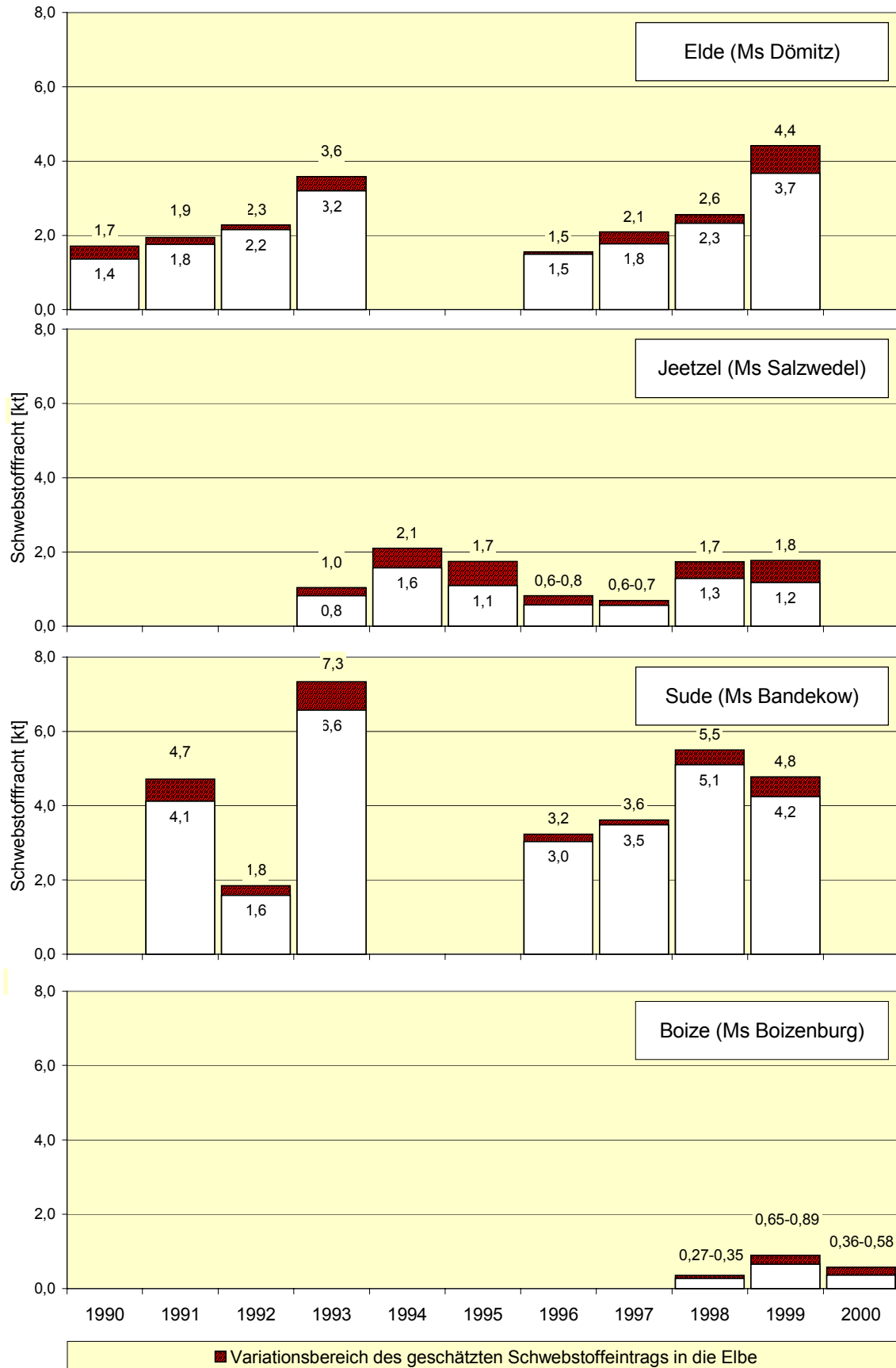


Abb. 13-5: Variationsbereiche der Schwebstoffjahresfrachten an den mündungsnächsten Messstellen (ausgenommen Messstelle Salzwedel/Jeetze) der Nebenflüsse an der Unteren Mittelelbe im Beobachtungszeitraum.

Durch Generieren einer künstlichen Schwebstoffjahresmessreihe über die Anwendung der Regressionsgleichung (Kapitel 5.2.5; Band 2, Anhang F und H) auf die täglichen Durchflüsse an der Messstelle Boizenburg würde sich für die Boize in den Jahren 1994 und 1995 eine Jahresfracht von 1 kt bzw. 0,95 kt ergeben. Für den Aland war aufgrund des Fehlens täglicher Durchflussdaten nur eine einfache Frachtaberschätzung über die Integration des Mittelwertes der Tagesfrachten über das Jahr mittels der Berechnungsmethode 2 (Kapitel 5) möglich. Die abgeschätzten Schwebstoffjahresfrachten unterliegen demzufolge einer hohen Unsicherheit und werden gesondert dargestellt (Tab. 13-6).

Hydrologisches Jahr	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Jahresfracht [kt]	1,23	2,02	3,43	1,57	1,31	1,6	1,7	0,7

Tab. 13-6: Abgeschätzte Schwebstoffjahresfrachten an der Messstelle Wanzer (Aland) durch einfache Integration des Mittelwertes der Tagesfrachten über das Jahr mittels der Berechnungsmethode 2 (Kapitel 5).

Neben der geringen Messdichte und dem Fehlen von täglichen Durchflüssen ist die Abschätzung des Schwebstoffeintrages der untersuchten Nebenflüsse an der Unteren Mittelbe jedoch noch mit weiteren Schwierigkeiten behaftet. So sind diese Flussgebiete aufgrund ihres Tieflandcharakters durch langanhaltende und weit zurückreichende Rückstauungen (>> 10 km) bei Elbehochwasser gekennzeichnet. Es ist daher nicht auszuschließen, dass ein Großteil der mitgeführten Schwebstoffe bereits auf den als Retentionsraum fungierenden Vorländern sedimentiert und nicht in die Elbe eingetragen wird. Diese Vermutung wird dadurch gestützt, dass Hochwasserereignisse in den Nebenflüssen in der Regel mit höheren Wasserständen in der Elbe zusammen treffen und der Zeitraum der maximalen Wasser- und Schwebstoffführung in den Nebenflüssen mit dem Rückstau einhergeht. Des weiteren sind den Nebenflussmündungen des Tanger, der Stepenitz/Karthane, der Sude und der Boize Hafenanlagen vorgeschaltet, in denen Sedimentationsprozesse dominieren. Allerdings werden nach Aussage der zuständigen Wasser- und Schifffahrtsämter in den Einmündungszonen keine Baggerungen aufgrund eines Sedimenteintrages in den Hafenbereich nach Aussage der zuständigen WSÄ notwendig (Band 2, Anhang J).



frei fließend



Seege bei Meetschow

Rückstau



frei fließend



Sude 1. Brücke vor Mündung

Rückstau

Abb. 13-6: Weitreichende Rückstaubeinflussung der Elbenebenflüsse an der Unteren Mittelelbe am Beispiel der Seege (Hochwasserretentionsfläche für die Elbe) und der Sude (Abschlusswehr).

Dies unterstützt einerseits die Vermutung einer frühzeitigen Sedimentation auf den Vorländern der Nebenflüsse zum anderen lässt dies generell auf eine geringe Feststofffracht der Nebenflüsse schließen. Für die Jeetzel ist eine Abschätzung des Materialeintrages aufgrund der Entfernung der Messstelle Salzwedel von der Mündung nur eingeschränkt möglich.

14 Zusammenfassung

14.1 Schwebstoffverhältnisse in den Gewässern des Elbe-EZG

14.1.1 Höhe der Schwebstoffführung

Für viele Güteparameter sind in den letzten Jahren verbindliche Grenzwerte festgelegt worden, auf deren Grundlage die Gewässergüte klassifiziert werden kann und sich somit eine bewertende Einschätzung der Belastungshöhe mit einem spezifischen Stoff problemlos formulieren lässt. Da die in der Regel geringen Schwebstoffgehalte der Fließgewässer unserer Breiten die Lichtverhältnisse und damit die Gewässergüte nur untergeordnet beeinflussen, wurde für diesen Parameter kein güteklassenbezogener Grenzwert aufgestellt. Als Richtwert für fischereiliche Nutzungen gelten im allgemeinen 25 mg/l, die nicht überschritten werden sollten. In dem Klassifikationssystem der Wasserbeschaffenheit der Fließgewässer der DDR wurde der Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen den verschiedenen Kriterien der Wasserbeschaffenheit zugeordnet (KLAPPER, 1992). Eine Überschreitung von 20 mg/l führt demnach zur Verschlechterung der Gewässergüteklasse von 2 auf 3.

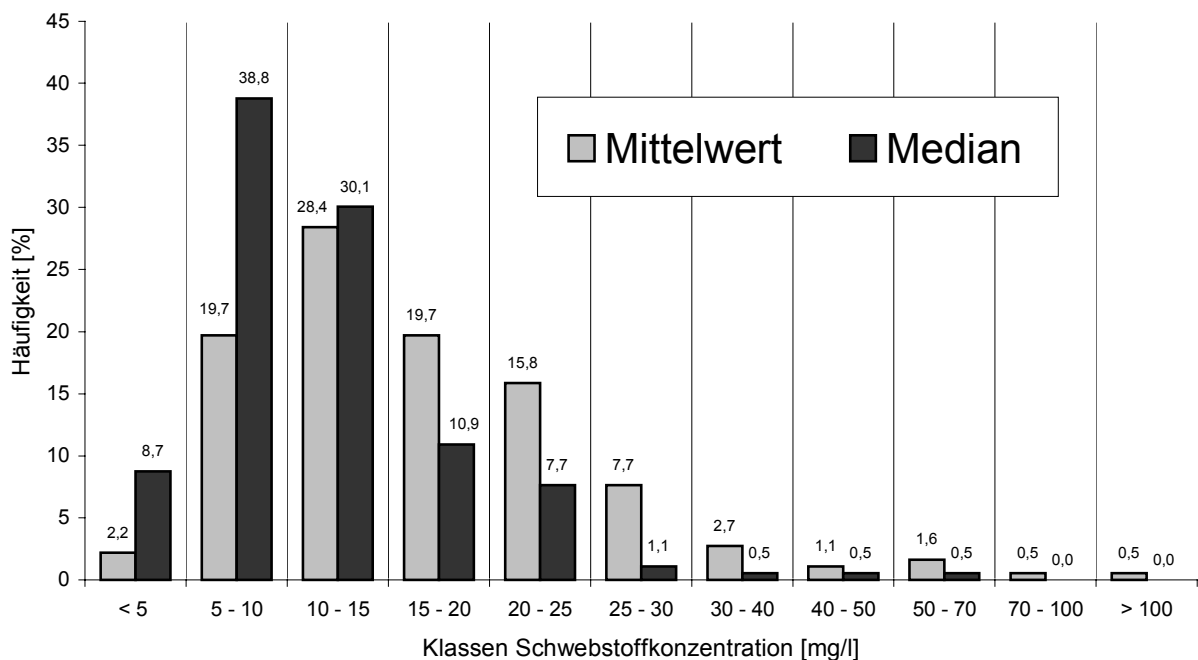


Abb. 14-1: Häufigkeit des Auftretens von Schwebstoffgehalten [%] an 183 Messstellen an den untersuchten Nebenflüssen der Elbe im Zeitraum von 1990 – 1999.

Aufgrund der Auswertung der 183 recherchierten Schwebstoffmessstellen im Elbe-EZG lassen sich für die Schwebstoffverhältnisse der Nebenflüsse im Beobachtungszeitraum von 1990 bis 1999 folgende allgemeine Aussagen treffen. Demnach sind in den Fließgewässern

mittlere Schwebstoffgehalte von 5 – 20 mg/l charakteristisch, wobei an über 75% der Messstellen in der Regel Werte unter 15 mg/l (Median) gemessen wurden (Abb. 14-1). Als besonders schwebstoffreich können daher die Gewässerabschnitte gelten, an denen Jahresmittelwerte von 25 mg/l oder ein Median von 20 mg/l an der zugeordneten Messstelle überschritten wird.

Dies trifft für die Gewässer Mittellandkanal und Solkanal, für den Unterlauf der Zwickauer Mulde, die gesamte Vereinigte Mulde bis zum Stausee Muldenstein und für den Unterläufe der Saale und ihrer bedeutenden Nebenflüsse Unstrut, Bode, Weiße Elster und Pleiße zu. Erhebliche Schwebstoffgehalte weisen zudem die Döllnitz und die Jahna, die das landwirtschaftlich intensiv genutzte mittelsächsische Lößhügelland mitentwässern, auf. An der Messstelle Ostrau/Jahna wurde die höchste bisher gemessene Schwebstoffkonzentration in den Nebenflüssen der Elbe von 12158 mg/l registriert.

Geringe Schwebstoffbelastungen von weniger als 5 mg/l im Jahresmittel sind in der Regel in den nährstoffarmen Oberläufen der Mittelgebirgsflüsse mit geringer anthropogener Nutzung im Einzugsgebiet und unterhalb von künstlich geschaffenen Feststoffsinken (Muldestausee) anzutreffen.

14.1.2 Jahresgang der Schwebstoffkonzentration

Die Höhe der Schwebstoffführung eines Fließgewässers wird durch natürliche autochthone (Erosion im Flussbett, Geschiebeabrieb, Ausfällung gelöster mineralischer Stoffe, Planktonentwicklung) und allochthone (Verwitterung, Erosion) Prozesse beeinflusst. Hinzu kommen die vielfältigen anthropogenen Einflüsse wie Einleitungen, Stauraumpülungen, Schiffsverkehr, Arbeiten in und am Flussbett sowie der Nährstoffeintrag über diffuse Quellen, der zur Erhöhung der Primärproduktion in den Gewässern beiträgt. Aufgrund der komplexen Wirkung dieser Faktoren lässt sich kein allgemeiner Verlauf des Schwebstoffjahresgangs für die Nebenflüsse der Elbe ableiten. Vielmehr ist die Schwebstoffführung von der spezifischen Charakteristik des Einzugsgebietes und den anthropogenen Nutzungen abhängig und erfährt im Längsverlauf unterschiedliche Veränderungen. Grundsätzlich können jedoch durch die Auswertungen der Schwebstoffjahresgänge an den Messstellen im Elbe-EZG zwei Typen unterschieden werden. Dies ist zum einen der abflussabhängige Jahresgang mit einem deutlichen Maximum der Schwebstoffführung im abflussreichsten Monat und einem Minimum in den Sommermonaten, wie er zum Beispiel in der Nuthe, die den südwestlichen Fläming entwässert, auftritt (Abb. 14-2). Eindeutig von diesem zu unterscheiden ist der Schwebstoffjahresgang, der in erster Linie durch die Bioproduktivität des Wasserkörpers

bestimmt wird und einen Verlauf aufweist, der dem Gang der Sichttiefe - Frühjahresmaximum der Phytoplanktonentwicklung, Klarwasserstadium, zweite Algenblüte im Hochsommer - in limnischen Gewässern ähnlich ist. Dieser Typ tritt daher in erster Linie in langsam fließenden, von Durchflusseen geprägten Flussabschnitten, wie z.B. der Havel auf (Abb. 14-2).

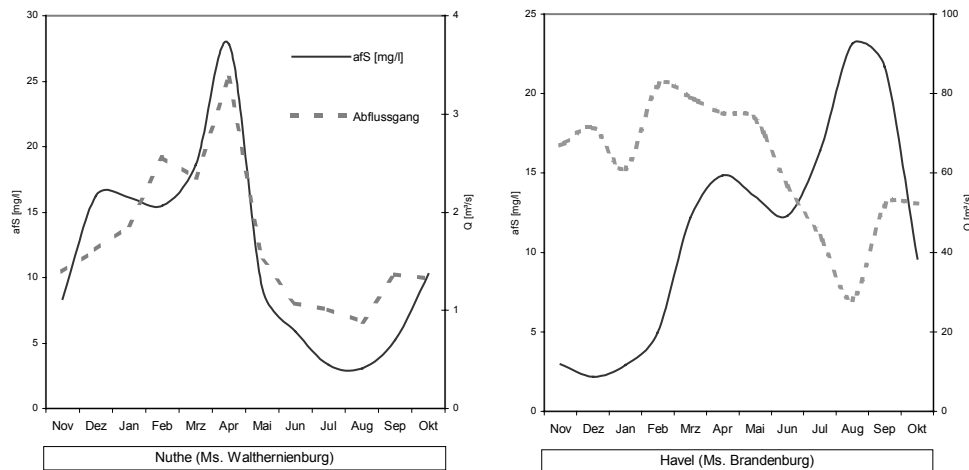


Abb. 14-2: Abflussabhängiger (Nuthe/Walthernienburg) und bioproduktivitätsbestimmter (Havel/Brandenburg) Jahresgang der Schwebstoffführung im Elbe-EZG.

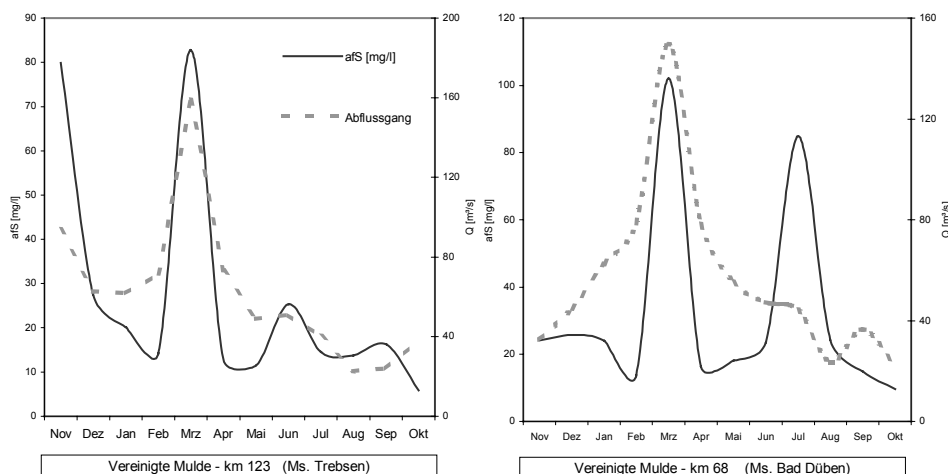


Abb. 14-3: Entwicklung eines bioproduktivitätsbestimmten Nebenmaximums der Schwebstoffkonzentration im Sommerhalbjahr mit zunehmender Lauflänge eines Fließgewässers (Bsp. Vereinigte Mulde).

Mit zunehmender Lauflänge und ansteigendem Eintrag von Nährstoffen aus diffusen Quellen aber auch unterhalb von gestauten Abschnitten ist oftmals eine Kombination dieser beiden Typen zu beobachten. Es entwickelt sich neben einem abflussabhängigen Maximum der Schwebstoffkonzentration im Winterhalbjahr ein weiteres Nebenmaximum im Sommer (Abb. 14-3). Es muss jedoch betont werden, dass diese Zusammenhänge aufgrund der Vielfalt der

Beeinflussungen nicht in jedem Fall eindeutig zu reproduzieren sind. So können höhere Schwebstoffkonzentrationen im Sommerhalbjahr bei geringen Durchflüssen durch fehlende Verdünnung hervorgerufen werden, also auch einen abwasserbürtigen Charakter anzeigen.

14.1.3 Verhältnis der Schwebstoffführung im Sommer- und Winterhalbjahr

Die Nebengewässer der Elbe weisen ein Abflussregime vom Regen-Schnee-Typ mit einem deutlichen Frühjahresmaximum des Abflusses auf. Demzufolge sind im ausgehenden Winterhalbjahr generell die höheren Schwebstofffrachten zu erwarten. Aufgrund des Verhältnisses der Frachtanteile und der Höhe der Schwebstoffgehalte in den Sommer- und Winterhalbjahren zueinander können die Aussagen zu den jeweiligen Frachttypen konkretisiert werden (Abb. 14-4).

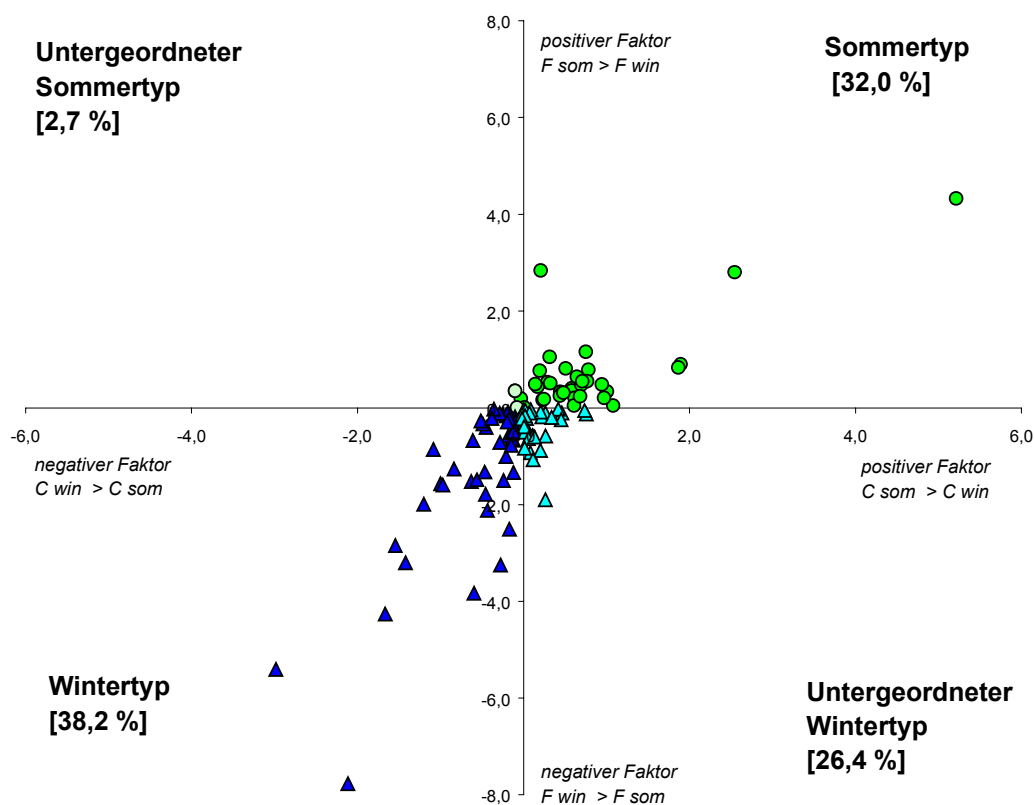


Abb. 14-4: Messstellenbezogene Frachttypen im Elbe-EZG auf der Grundlage des Verhältnisses der Frachtanteile und der Höhe der Schwebstoffgehalte in den Sommer- und Winterhalbjahren zueinander.

An den meisten der untersuchten Messstellen (64,6 %) überschreiten die Winterfrachten die Sommerfrachten. Dies ist an 38,2 % der Messstellen auch mit höheren Schwebstoffgehalten im Winterhalbjahr verbunden (Wintertyp, Abb. 14-4). Dem Wintertyp gehören eine Vielzahl von Messstellen in den Flussgebieten der Elbe insbesondere der Saale, der Vereinigten Mulde und der Schwarzen Elster an. Gemäß den getroffenen Aussagen zur Entwicklung der

Schwebstoffführung der Fließgewässer findet mit zunehmender Lauflänge oftmals ein Übergang zu dem "untergeordneten Wintertyp" statt. Dieser ist durch höhere mittlere Schwebstoffkonzentrationen im Sommerhalbjahr charakterisiert, wobei jedoch die Suspensionsfracht durchflussbedingt im Winterhalbjahr höher ausfällt (Abb. 14-4). Der Fall, dass die erhöhten sommerlichen Schwebstoffkonzentrationen auch zu höheren Frachten im Sommerhalbjahr führen (Sommertyp), tritt an 32 % der untersuchten Messstellen auf. Diese liegen fast ausschließlich an der Havel und der Spree (uh. Talsperre Spremberg). Dieser Frachttyp beschränkt sich somit auf das genannte Einzugsgebiet, tritt jedoch auch in der Vereinigten Mulde unterhalb des Stausees Muldenstein auf. Der untergeordnete Sommertyp findet sich nur an 3 Messstellen (Abb. 14-4) und ist nicht signifikant belegbar, was aufgrund des Abflussregimes im Elbe-EZG auch zu erwarten ist.

An 38 der 52 untersuchten Messstellen an Tieflandsflüssen sind die Sommermittelwerte gegenüber den Wintermittelwerten der Schwebstoffkonzentration im Beobachtungszeitraum erhöht. Dies lässt vermuten, dass der Schwebstoffhaushalt der Tieflandflüsse im Elbe-EZG im Gegensatz zu den Mittelgebirgsflüssen tendenziell weniger durch das Abflussverhalten sondern durch die Höhe der Bioproduktivität bestimmt wird. Von den 53 Messstellen an Flüssen mit Mittelgebirgscharakter weisen zumindest 56 % den Trend zu höheren Wintermittelwerten der Schwebstoffkonzentration auf. Der natürlicherweise abflussgeprägte Schwebstoffcharakter der Mittelgebirgsflüsse wird durch die vielfältigen anthropogenen Einflüsse (Nährstoffzufuhr, Stauhaltungen) anscheinend deutlicher als in Tieflandsflüssen verändert.

14.2 Bedeutung der Nebenflüsse für den Feststoffhaushalt der Elbe

14.2.1 Schwebstoffeintrag in die Elbe

Aufgrund der hohen Dichte der Schwebstoff- und Abflussmessstellen im EZG der Elbe war eine Beurteilung der Schwebstoffeinträge von 13 Nebenflüssen 1.Ordnung anhand des recherchierten Datenmaterials möglich. Diese Nebenflussgebiete decken 88,7 % des Elbe-EZG von der deutsch-tschechischen Grenze bis zum Wehr Geesthacht ab. Wie der Vergleich der im Elbe-EZG zum Einsatz kommenden Methoden ergab, weichen die an den Landesmessstellen und an den BfG-Messstellen gewonnenen Ergebnisse von Schwebstoffmessungen um den Faktor 2 bis 3 voneinander ab. Vor diesem Hintergrund macht es keinen Sinn, eine Gesamtbilanz unter Verwendung der Bfg-Daten (Elbe) und Daten der Bundesländer (Nebenflüsse) für die Elbe aufzustellen. Ebenso wenig ist die Bedeutung des Schwebstoff-

eintrags der Nebenflüsse für die Elbe direkt aus dem Verhältnis der Höhe der Schwebstoffkonzentrationen oder –frachten an den jeweiligen Einmündungen abzuleiten, sondern ergibt sich aus der relativen Einordnung der quantifizierbaren Schwebstofffrachten der Nebenflüsse untereinander (s. Abb. 14-5).

Die in Abb. 14-5 angegebenen Jahresfrachten beziehen sich auf die hydrologischen Jahre im Beobachtungszeitraum von 1990 bis 2000 (Stepenitz nur für das Jahr 1988) und geben ermittelte Schwankungsbreiten der Frachten in abflussarmen ($MQ_{\text{Messjahr}} < 80 \% MQ_{\text{langjährig}}$), mittleren ($MQ_{\text{Messjahr}} 80 - 120 \% MQ_{\text{langjährig}}$) und abflussreichen ($MQ_{\text{Messjahr}} > 120 \% MQ_{\text{langjährig}}$) Jahren der Dekade an der jeweils mündungsnächsten Messstelle des entsprechenden Gewässers wieder. Traten entsprechend hydrologisch charakterisierte Abflussjahre nicht auf bzw. waren nur ungenügend mit Messdaten belegt, entfällt die Angabe der Frachtwerte. Zusätzlich sind in der Darstellung die jeweiligen Minima und Maxima der berechneten Schwebstoffjahresfrachten aufgeführt.

Aufgrund der zu geringen Messfrequenz war in den Mittelgebirgszuflüssen der Oberen Elbe eine Abschätzung von Jahresfrachten anhand des vorhandenen Datenmaterials nicht möglich. Zudem ist die Ableitung oder Übertragbarkeit von Prognosen für eine zu erwartende Schwebstoffjahresfracht anhand der naturräumlichen Voraussetzungen, wie den Gefälleverhältnissen und dem Anteil der landwirtschaftlichen Flächennutzung auf erosionsgefährdeten Flächen im EZG nicht zu erbringen (SCHÖNHERR, 2001). Die Schwankungen der Schwebstofftagesfrachten sind in den Nebengewässern auf diesem Elbeabschnitt erheblich. An der überwiegenden Anzahl der Messtage wurden Frachten von weit weniger als 100 kg/d bestimmt. Kurzfristige hydrologische Ereignisse können jedoch Tagesfrachten, die im Bereich von abgeschätzten Jahresfrachten liegen, von 770 t/d in der Döllnitz (NAUMANN & MÖHLING, 2001) oder von 1367 t/d in der Jahna (03/2000) hervorrufen. Dies unterstreicht die grundsätzliche Schwierigkeit den Schwebstoffeintrag der zahlreichen Nebenflüsse in diesem Elbeabschnitt verlässlich zu quantifizieren.

Von den untersuchten Nebenflüssen der Mittleren Elbe haben nur die Schwebstoffeinträge der Saale und der Havel eine Bedeutung für die Elbe. Die Saale trägt mit durchschnittlich 117,5 kt die mit Abstand größte Menge an Schwebstoff in die Elbe ein. Die Havel, die eine vergleichbare Einzugsgebietsgröße aufweist, bringt im Mittel 41 kt, die Mulde 10,5 kt und die Schwarze Elster als viertgrößter Nebenfluss bereits nur noch weniger als 10 kt Schwebstoff in die Elbe ein (Abb. 14-5). Betrachtet man die Nebenflüsse höherer Ordnung (Abb. 14-5, in Klammern) so wird auch hier deutlich, dass die Nebengewässer im Saale, Havel und Mulde

Einzugsgebiet größere Schwebstoffmengen transportieren als zahlreiche Elbenebenflüsse 1. Ordnung.

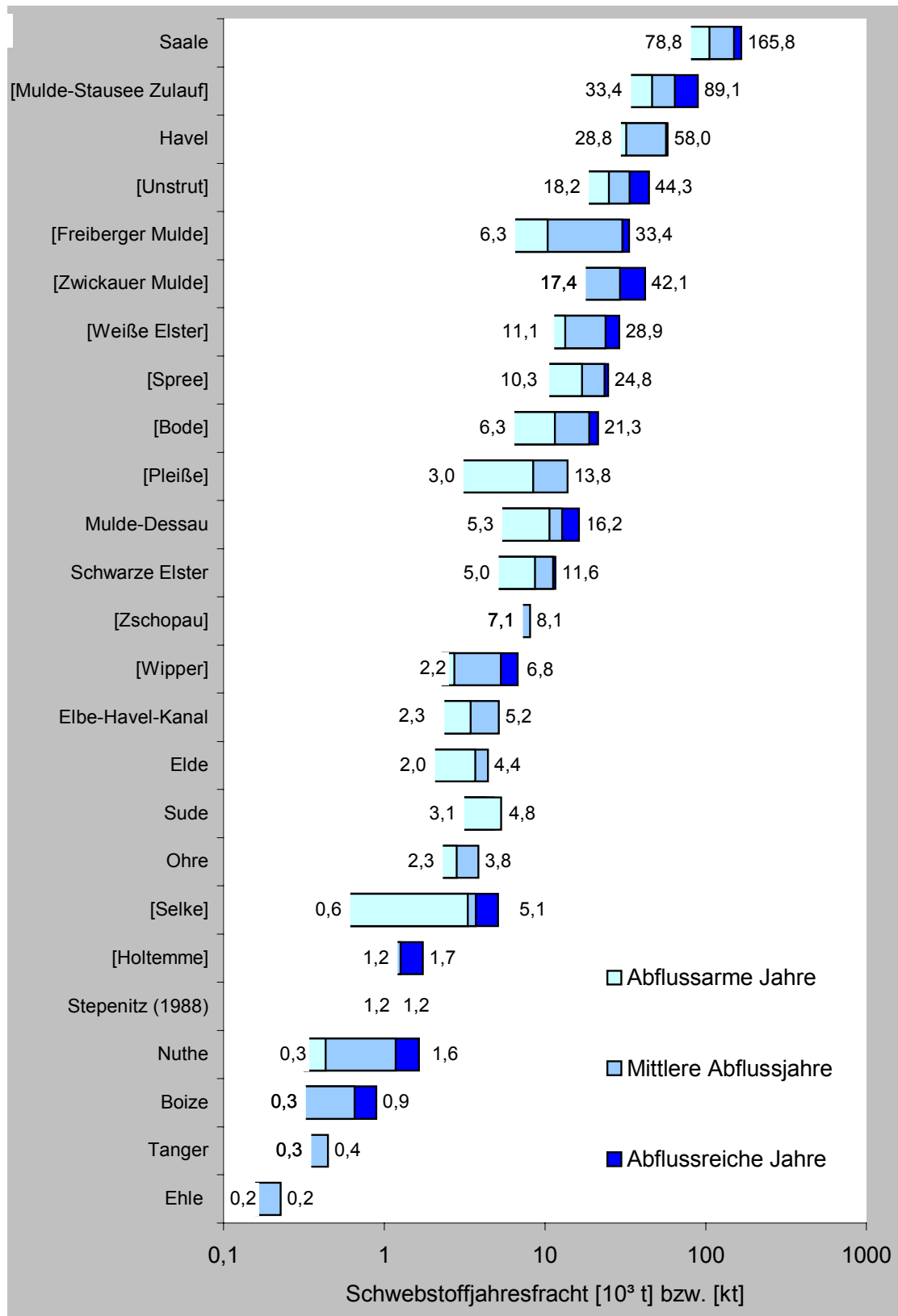


Abb. 14-5: Variationsbereich der Schwebstoffjahresfrachten an den mündungsnächsten Messstellen der Elbenebenflüsse im Beobachtungszeitraum von 1990 bis 2000 – Erläuterungen s. Text.

Die Summe der durch die untersuchten Nebenflüsse eingetragenen Schwebstoffmengen beläuft sich in abflussarmen auf 144 kt, in mittleren auf 198 kt und in abflussreichen Jahren auf 281 kt, wobei allein die Saale (ca. 60%) und die Havel (ca. 21 %) unabhängig von der Abflusshöhe mit ca. 81 % an dem Schwebstoffeintrag beteiligt sind. Alle anderen Nebenflüsse der Elbe (Mulde ca. 5 %, Schwarze Elster ca. 4 %) haben demnach keinen signifikanten Einfluss auf die Schwebstofftransportverhältnisse der Elbe.

Wäre der Stausee Muldenstein nicht der Muldemündung vorgeschaltet, würde der Schwebstoffeintrag der Mulde im Durchschnitt 53 kt/a betragen und die Gesamtschwebstoffzufuhr der Elbenebenflüsse in abflussarmen um 22 % und in abflussreichen Jahren um 32 % steigern. Dies unterstreicht die schon vielfach dokumentierte überregionale Bedeutung des Muldestausees als Nähr-, Schwermetall- und Feststoffsene im Einzugsgebiet der Elbe (FRÖBRICH J. & LEHMANN H., 1996; ARNOLD A. et. al., 1998; ZERLING L., 1998; OTTO, 2000).

Es bleibt festzuhalten, dass die hohen Jahresfrachten der Saale vor allem aus den hohen Abflüssen im Winterhalbjahr bzw. Frühjahr resultieren. Die winterliche Schwebstofffracht der Saale übertrifft die Sommerfracht in abflussreichen Jahren um ein Mehrfaches, so dass sich ihr Einfluss auf den Schwebstoffhaushalt der Elbe vor allem im Winter und im Frühjahr niederschlägt. Die Schwebstofftransporte in der Havel sind aufgrund ihres Tieflandcharakters und den zahlreichen Durchflüssen weniger durch das Abflussgeschehen sondern vielmehr durch die sommerliche Bioproduktion gekennzeichnet. Im Gegensatz zur Saale liegen an der Havel die sommerlichen Schwebstofffrachten etwas über den Winterfrachten, wobei aufgrund der Verringerung der Nährstoffbelastung seit 1998 ein entgegengesetzter Trend zu beobachten ist.

Eine signifikante Beeinflussung der Schwebstoffkonzentration in der Elbe durch einmündende Nebenflüsse ist aufgrund von Schwebstoffvielpunktmessungen unterhalb der Mündungen der Saale, der Mulde, der Schwarzen Elster und der Ohre nur für die Saale mit einer verstärkenden und für die Mulde mit einer verdünnenden Wirkung belegbar.

14.2.2 Geschiebeeintrag in die Elbe

Während Schwebstoffe in vielerlei Hinsicht Einfluss auf die Wasserbeschaffenheit ausüben und demzufolge in den Ländermessprogrammen erfasst werden, wird die Geschiebeführung in den Elbenebenflüssen nicht systematisch ermittelt. Die Fließgewässer im Elbe-EZG sind aus Gründen des Hochwasserschutzes, der Energiegewinnung, der Schiffbarkeit und der Be- und Entwässerung so umgestaltet worden, dass die Durchgängigkeit für Geschiebe stark reduziert ist. Zudem wird die Geschiebeaufnahme der Gewässer durch vielfältige Ufer- und Sohlensicherungen verhindert.

Bei der Mehrzahl der im Rahmen des Projektes durchgeführten Geschiebemessungen konnte demzufolge kein Geschiebetransport festgestellt werden. Bei höheren Durchflüssen wurden beispielsweise in der Schwarzen Elster mündungsnahe Geschiebetransporte von weniger als 100 g/s und in der Mulde bei Dessau einmalig ein Wert über 1 kg/s (1019g /5.04.00), wobei im wesentlichen Mittelkies transportiert wurde, festgestellt. Im Vergleich zu den Geschiebefrachten in der Elbe kann man die gemessenen Transportraten in den Nebenflüssen der Mittleren Elbe als marginal bezeichnen, wobei zur abschließenden Klärung ein weiterer Forschungsbedarf besteht. Nach Angaben der zuständigen Wasser-Schiffahrtsämter sind Baggermaßnahmen an der gesamten Mittleren Elbe und in den Häfen, in die Nebenflüsse einmünden, aufgrund etwaiger Geschiebeeinträge durch Nebenflüsse nicht notwendig. Nur im Bereich der Oberen Elbe werden Unterhaltungsbaggerungen im Intervall von 5-7 Jahren mit je 2-3000 m³ an den Einmündungen der sächsischen Nebenflüsse Biela, Pöhnbach, Amselgrundbach, Gottleuba, Wesenitz, Müglitz, Triebisch, Nieschützbach und Jahna durchgeführt. Wie erste Erhebungen des WSA Dresden gezeigt haben, ist nach den Extremereignissen des Sommers 2002 an den Einmündungen mit einem Mehrfachen des bisherigen Baggeraufwandes zu rechnen. Da die Hochwasserspitzen der Nebenflüsse dem Elbe-Scheitel vorauseilten, dürfte bereits ein großer Teil der eingetragenen Geschiebemassen durch das Elbe-Hochwasser abtransportiert worden sein.

Charakteristisch für die Elbe und Anlass für die Baggerungen sind Schüttkegel im Mündungsbereich der Nebenflüsse, deren Bildung in einem ursächlichen Zusammenhang mit höheren Wasserständen in der Elbe steht und die einen Geschiebeeintrag in die Elbe belegen. Im Frühjahr 2000 konnten Sedimentdepots, die sich während einer zweimonatigen Rückstauphase in den Nebenflüssen gebildet hatten, quantifiziert werden. Ihr Volumen betrug je nach Nebenflussgröße zwischen 145 und 2700 m³. Neben gelegentlich auftretenden kiesigen Lagen wiesen die Sedimentkörper im allgemeinen eine sehr gute Sortierung im Grobsandbereich auf. Mit ablaufendem Elbehochwasser und zunehmendem

Wiedereinströmen der Nebenflüsse wurden die unkonsolidierten Sedimente geräumt und auch bei geringen Fließgeschwindigkeiten und Durchflüssen in die Elbe vorgeschüttet. Die während dieser Phase festgestellten Geschiebefrachten variierten in den Nebenflüssen zwischen 2 und 50 t/d. Der tangentielle Eintrag und das durch den schnellen Hochwasserabfall unzureichende Transportvermögen der Elbe führten zur erneuten Schüttkegelbildung in den Nebenflussmündungen. Da in diesem Elbeabschnitt (km 0 bis 120) nur ein geringer mittlerer Geschiebetransport von 50 t/d (1992 bis 1997) festgestellt werden kann (GLAZIK, 1993; SCHMIDT & DRÖGE, 1999) ist davon auszugehen, dass die sächsischen Elbenebenflüsse zumindest zeitweilig Bedeutung als Geschiebelieferanten für die Elbe erlangen.

15 Literaturverzeichnis

- Arbeitsgruppe für operationelle Hydrologie (1987): Die mengenmässige Erfassung von Schwebstoffen und Geschiebefrachten – Erfahrungen und Empfehlungen. Mitteilung Nr.2,1-65.
- ARGE Elbe (1998): Schwarze Elster, Mulde und Saale – Fischartenspektrum und Schadstoffbelastung von Brassen, Aal und Zander in den Unterläufen der Elbenebenflüsse. Hamburg 1998, 1-67.
- ARGE ELBE (2001): Gesamtverzeichnis Fließgewässer der Elbe (Stand 31.12.01). Quelle: <http://www.arge-elbe.de/wge/Download/DTexte.html>.
- ARGE ELBE (2002): Querbauwerke und Fischaufstiegshilfen in Gewässern 1. Ordnung des deutschen Elbeeinzugsgebietes – Passierbarkeit und Funktionsfähigkeit -. Bearbeitung Ausschuss O und Wassergütestelle Elbe der ARGE ELBE. Hamburg.1-109.
- ARNOLD A., JENDRYSCHIK K. & MÜLLER A. (1998): Der Bitterfelder Muldestausee – eine bedeutende Schadstoffsinke im Einzugsgebiet der Elbe. In: Gewässerschutz im Einzugsgebiet der Elbe. 8. Magdeburger Gewässerschutzseminar. Stuttgart-Leipzig. 147-148.
- BEHRENDT H.; ECKERT B. & OPITZ D. (1999a): Bilanzen im Spree-/Havelgebiet. Die Havel als Belastungsquelle für die Elbe; die Senkenfunktion der stauregulierten Havelabschnitte. In: Zukunft Wasser. Dokumentation zum 2. Berliner Symposium Aktionsprogramm Spree/Havel 2000 vom 7. bis 8. Juli 1999 in Berlin. StadtUmwelt [Hrsg.]. Berlin. 33-39.
- BEHRENDT H. et. al.(1999b): Nährstoffbilanzierung der Flußgebiete Deutschlands. Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit-For.ber. 29625515, 1-322.
- BfG (1977): Schwebstoffe und Schlammablagerungen in Bundeswasserstraßen. In: BfG Jahresbericht Teil 1, 1977, Koblenz. 1-17.
- BfG (1994a): Zur Ermittlung von jährlichen Stofffrachten in großen Fließgewässern am Beispiel der IKSR-Zahlentafeln 1991. BfG Ber.-0827, 1-16.
- BfG (1994b): Kornzusammensetzung der Elbsohle von der tschechisch-deutschen Grenze bis zur Staustufe Geesthacht. Bericht der BfG-0834, Berlin 1994, 1-30.
- BfG (1997a): Feststoffhaushalt an Rhein, Weser, Elbe und Oder. In: BfG Jahresbericht 1997, Koblenz 1998, 26-32.
- BfG (1997b): Vergleich von Schätzmethode für jährliche Stofffrachten am Beispiel des IKSR - Meßprogrammes 1995. BfG Ber.-1078, 1-35.
- BfG 1228 (1999): Untersuchungen zum Abflussregime der Elbe. BfG-Bericht Nr. 1228, 1999.
- BÖGEHOLD, M. (2000): Methodenvergleich zur Schwebstoffmessung. Dipl.Arbeit Universität der Bundeswehr – München. München, 1-74.
- BÖHME, M. (2000): Sauerstoffkonzentration und Entwicklung der Phytoplanktonaktivität im Längsschnitt der Elbe. Poster auf der Wasser Berlin 2000, dem BMBF-Symposium Gewässerlandschaften und dem 9. Magdeburger Gewässerschutzseminar in Berlin, 23.-27.10.2000.
- BRAMER H. et. al. (1991): Physische Geographie - Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Sachsen, Thüringen. Gotha 1991, 1-619.
- BULLA, S. (1992): Untersuchungen zur Genauigkeit und Vergleichbarkeit gängiger Filtermethoden zur Bestimmung des Schwebstoffgehaltes in Fließgewässern. Unveröffentl. Dipl.Arbeit FH Aachen-Abt. Jülich, 1992.
- CROMMELIN R. D. & MAASKANT A. (1940): Sedimentpetrologische Untersuchungen im Stromgebiet der Weser und der Elbe. Sedimentpetrologische Onderzoekingen, V. S.3-18. 1940
-

- DEUMLICH D. (1996): Wassererosionsbedingte Stoffeinträge im Einzugsgebiet der Elbe in den Neuen Bundesländern und Strategien ihrer Vermeidung. In: Tagungsband Vorseminar – Gewässer und Informationssysteme- Budweis 1996, 21-25.
- Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch Elbegebiet Teil I – Von der Grenze zur CR bis zur Havelmündung. Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt – Halle (Saale) 1997.
- DIN 38409, Teil 2: Summarische Wirkungs- und Stoffkenngrößen (Gruppe H)- Bestimmung der abfiltrierbaren Stoffe und des Glührückstandes (H2), 03/1987.
- DRÖGE B. (1996): Gewässerökologie Mosel – Morphologie und Feststoffregime. In: BfG Mitteilungen Nr. 12, 28-31.
- DVWK Regeln (1986): Schwebstoffmessungen DK 556.535.6 Schwebstoff. DVWK Regeln 125/1986. Hamburg, 1-42.
- DVWK Regeln (1992): Geschiebemessungen. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft und Kulturbau [HRSG.]. In: Regeln zur Wasserwirtschaft 127/1992. 1-39.
- EISSMANN L. (1975): Das Quartär der Leipziger Tieflandsbucht und angrenzender Gebiete um Saale und Elbe- Modell einer Landschaftsentwicklung am Rand der europäischen Kontinentalvereisung. Schriftenreihe für Geologische Wissenschaften; **2**, 1-263.
- EISSMANN L. et. al. (1988): Die Schwerminerale im fluviatilen Quartär des mittleren Saale-Elbe-Gebietes. Altenburger naturwissenschaftliche Forschungen, **4**, 3-70.
- FAULHABER, P. (1998): Entwicklung der Wasserspiegel- und Sohlenhöhen in der deutschen Binnenelbe innerhalb der letzten 100 Jahre – einhundert Jahre „Elbestromwerk“. In: Geller et. al. (1998): Gewässerschutz im Einzugsgebiet der Elbe – 8. Gewässerschutzseminar. Stuttgart, Leipzig.
- FRÖBRICH J. & LEHMANN H. (1996): Schadstoffströme im Stausee Muldenstein und Grundlagen für ihre Reduzierung. In Wasser – Abwasser 137, Nr. 11. 607-611.
- FÜCHTBAUER H. (1988): Sedimente und Sedimentgesteine. Sediment-Petrologie Teil II. Stuttgart 1988, 779-876.
- FÜGNER D. (1972): Die Schwebstoffführung der Nebenflüsse der Elbe im Sächsischen Bergland. Dissertation Tu Dresden. Dresden.
- FÜGNER D. (1975): Anthropogener Einfluß auf die Schwebstoffführung fließender Gewässer. In: WWT, Jg 25, 1, 26-28.
- FÜGNER D. (1980): Zur mathematisch-statistische Analyse und zur regionalen Verallgemeinerung des Schwebstofftransports fließender Gewässer. In: Wasserwirtschaft - Wassertechnik Zeitschrift für ökologisches und umwelttechnisches Management. Berlin. 228-231.
- FÜGNER D. (1983): Ergebnisse von Schwebstoffmessungen in der Wasserwirtschaftsdirektion Obere Elbe-Neiße. In: WWT 1. 12-15.
- FÜGNER D. (1997): Hochwasserkatastrophen in Sachsen. In: RWTH Mitteilungen KÖNTEGER J. [Hrsg.] Hochwasser – Naturereignis oder Menschenwerk. Bd. 104. Aachen. 22-43.
- GANDRAß J. et. al. (1998): Aktuelle Trends der Wasser- und Sedimentbelastung im Elbeeinzugsgebiet: Stickstoff-/Phosphatpestizide und schwerflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe. GKSS-Forschungszentrum Geesthacht, 106-110.
- GENIESER K. (1962): Neue Daten zur Flussgeschichte der Elbe. Eiszeitalter und Gegenwart; **13**, 141-156.
- GHO (1987): Feststoffbeobachtung in schweizerischen Gewässern - Die mengenmässige Erfassung von Schwebstoffen und Geschiebefrachten. Bern 1987, 1-91.
-

-
- GLAZIK G. (1993): Zur Abschätzung der Sedimenttransportverhältnisse in der Elbe als Grundlage wasserbaulicher Maßnahmen. Wustrow 1993, 1-73.
- GNAUCK A. & HAAG E. (1997): Statistische Analyse von Wasserbeschaffenhheitsdaten des Berliner Gewässersystems. I.A. der Bundesanstalt für Gewässerkunde. Berlin. 1-40.
- GNAUCK A. & ROTHE K. (1998): Statistische Analyse von Wasserbeschaffenhheitsdaten des Berliner Gewässersystems. I.A. der Bundesanstalt für Gewässerkunde. Berlin. Kap. 1-9.
- GREIF A. (1994): Charakterisierung der Mulde hinsichtlich ihrer Schwermetallgehalte in Jahren 1992/93. In: Die Elbe im Spannungsfeld zwischen Ökologie und Ökonomie. 6. Magdeburger Gewässerschutzseminar. Internationale Fachtagung in Cuxhaven. Stuttgart-Leipzig. 408-411.
- GRÜNEWALD, U. (2001): Sanierung des Wasser- und Stoffhaushaltes in bergbaubeeinflussten Gewässereinzugsgebieten Ostdeutschlands - Probleme und Lösungsansätze. In: EG-Wasserrahmenrichtlinie und Bergbaufolgelandschaften. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Internationaler Workshop, 13.-15. März 2001, Leipzig, 23-38. (<http://www.bmu.de/download/dateien/workshopleipzig2.pdf>).
- HABERSACK, H. (1997): Raum-Zeitliche Variabilitäten im Geschiebehaushalt und dessen Beeinflussung am Beispiel der Drau. Wiener Mitteilungen Bd. 144, 1-295.
- HANISCH C. & ZERLING L. (2002): Selbstreinigung der Flüsse durch Verlagerung, Verdünnung und Austrag von schwermetallbelasteten Sedimenten. Vorabveröffentlichung von Beiträgen zum 10. Magdeburger Gewässerschutzseminar (21.10.–26.10.2002 – Spindlermühle). Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig. Quelle: <http://www.saw-leipzig.de/sawakade/10internet/umwelt/selbst.pdf>.
- HELLMANN U. (1986): Zum Problem der Frachtberechnung in Fließgewässern. In: Wasser-Abwasser-Forsch. 1986, 19, 133-139.
- HELMS M., BELZ S. & IHRINGER J. (2000): Analyse und Simulation von Abflußzeitreihen der Elbe. In: Fachtagung Elbe: Dynamik und Interaktion von Fluss und Aue. 24-39.
- HENDL et. al. (1988): Allgemeine Klima-, Hydro- und Vegetationsgeografie. In: Studienbücherei Geographie Bd 5. Gotha, 1988, 1-212.
- HOELZMANN P., RICKING M., SCHWARZ S. & PACHUR H.-J. (1997): Bestandsaufnahme der Schadstoffsituation insbesondere mit Schwermetallen in Havel/Spree und Schwarze Elster im Hinblick auf die zukünftige Gewässergüte. BMBF Forschungsprojekt 02-WT 9262/9. FU Berlin, Fb Geowissenschaften. Berlin. 1-100.
- HOELZMANN P. (1998): Bestandsaufnahme, Verteilungsmuster und Bewertung der Schwermetallkontamination der subhydrischen Sedimente von Spree und Havel. In: Die Erde. Bd. 129. Berlin. 211-228.
- HOFFMANN K. & K.D. MEYER (1997): Leitgeschiebezählungen von elster- und saalezeitlichen Ablagerungen aus Sachsen, sachsen-Anhalt und dem östlichen Niedersachsen. Leipziger Geowissenschaften Bd 5, 115-128.
- IfW (1986): Ausgewählte Methoden der Wasseruntersuchung. Chemische, physikalisch-chemische und physikalische Methoden. Institut für Wasserwirtschaft Berlin. 2. überarb. u. erw. Aufl., 1-517.
- IKSE (1991): Vereinbarung über die Internationale Kommission zum Schutz der Elbe. Amtsblatt nr. L 321 vom 23/11/1991.
- IKSE (1995): Die Elbe und ihr Einzugsgebiet. Internationale Kommission zum Schutz der Elbe. Magdeburg, 1995, 3-46.
- IKSR (1998): Vergleichsmessungen Messgeräte und Messmethoden – Feststoff im Rhein, 10 – 12 März 1998.
- IKSE (2001): Bestandsaufnahme des vorhandenen Hochwasserschutzniveaus im Einzugsgebiet der Elbe. Internationale Kommission zum Schutz der Elbe. Magdeburg, 2001, 1-73.
-

- KLAPPER H. (1992): Der ökologische Ansatz in den Standards zur Klassifizierung von Fließgewässern in der ehemaligen DDR. In: FRIEDRICH G. & LACOMBE J. [Hrsg.] Ökologische Bewertung von Fließgewässern. Stuttgart-New York, 130-138.
- KLUGE A., BEUGE P., GREIF A., HOPPE T., KLEMM W. & STARKE R. (1994): Bestandsaufnahme und Interpretation der Schwermetallbelastung in Wasser und Sediment der Mulde in den Jahren 1991-1993. In: Die Elbe im Spannungsfeld zwischen Ökologie und Ökonomie. 6. Magdeburger Gewässerschutzseminar. Internationale Fachtagung in Cuxhaven. Stuttgart-Leipzig. 78-83.
- LANGE K.-P. (2000): Ergebnisse der Untersuchung zur Wasserbeschaffenheit und zur Gewässergütemodellierung der Jahna als Grundlage für einen Bewirtschaftungsplan. In: Materialien zur Wasserwirtschaft 2000. StUfa Leipzig [Hrsg.] Ökologische Studie - Beiträge zur Entwicklung eines ökologischen Leitbildes für Flußlandschaften am Beispiel der Jahna, einem bedeutenden Nebenfluß der Elbe in Sachsen. Dresden. 1-22.
- LAU Sachsen-Anhalt (1991): Wassergütebericht 1991 des Landes Sachsen-Anhalt. Halle. 8-74.
- LAU Sachsen-Anhalt (1993): Gewässergütebericht Sachsen-Anhalt 1993. Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt. Halle. 1-479.
- LAU Sachsen-Anhalt (1994): Gewässergütebericht Sachsen-Anhalt 1994. Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt. Halle. 1-498.
- LAU Sachsen-Anhalt (1995): Gewässergütebericht Sachsen-Anhalt 1994. [Hrsg.] Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt. Halle. 7-498.
- LAU Sachsen-Anhalt (1998): Gewässergütebericht Sachsen-Anhalt 1997. Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt. Halle. 1-125.
- LAU Sachsen-Anhalt (2002): Hochwasserschutz in Sachsen-Anhalt. Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt. Halle. 1-53.
- LAWA & BMV (1991): Pegelvorschrift Anlage D – Richtlinie für das Messen und Ermitteln von Abflüssen und Durchflüssen. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser und Bundesministerium für Verkehr. 4. Aufl. Berlin, Bonn 1991, 3-99.
- LAWA & BMV (1997): Pegelvorschrift Stammtext. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser und Bundesministerium für Verkehr. 4. Aufl. Berlin, Bonn 1997, 3-99.
- LAWA (2002): Gewässergüteatlas der Bundesrepublik Deutschland. Biologische Gewässergütekarte 2000. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser [Hrsg.]. Hannover. 1-60.
- LUA Brandenburg (1995): Die Havel. In: Studien und Tagungsberichte. Bd. 8. Potsdam. 3-86.
- LUA Brandenburg (1997): Schwarze Elster - Ökologischer Zustand und Entwicklungsziele. In: Fachbeiträge des Landesumweltamtes Nr. 24, Cottbus 1997, 1-83.
- LUA Brandenburg (1998): Die sensiblen Fließgewässer und das Fließgewässerschutzsystem im Land Brandenburg. In: Studien und Tagungsberichte. Bd. 15. Potsdam. 3-131.
- LÜBBERT D. (1999): Zeitreihenstatistik. Internet: <http://www.luebbert.net/uni/zips/zr.zip>. 1999, 1-12.
- MANGELSDORF J. & SCHEURMANN K. (1980): Flußmorphologie. Ein Leitfaden für Naturwissenschaftler und Ingenieure. Wien. 1-224.
- MARCINEK J. (1991): Gewässer und Wasserhaushalt. In: Physische Geographie Mecklenburg-Vorpommern – Brandenburg – Sachsen-Anhalt – Sachsen – Thüringen. Gotha. 221-270.
- MATSCHULLAT J. et. al. (1995): Zur Schadstoffsituation der Schwarzen Elster in "Die Belastung der Elbe. Teil 1 - Elbenebenflüsse (Leitprojekt Elbe 2000) Statusberichte 1994 des BMBF", Karlsruhe 1995
-

-
- MATSCHULLAT J. et. al. (1997a): Hydro- und Sedimentgeochemie im Einzugsgebiet der Schwarzen Elster - aus dem Verbundprojekt "Elbenebenflüsse", Phase II, des BMBF" Heidelberger Beiträge zur Umwelt-Geochemie, 10 (1997), 80 S.
- MATSCHULLAT J. et. al. (1997b): Zur Sedimentbelastung und Elementfracht der Schwarzen Elster, einem Nebenfluß der Elbe" *Angewandte Geologie*, 43 (1997) 2.
- MERIAN, E. (1984): *Metalle in der Umwelt – Verbreitung, Analytik, biologische Relevanz*. Verl. Chemie, Weinheim.
- Meteorologischer Dienst der DDR (1968): *Flächenverzeichnis der Flussgebiete in der Deutschen Demokratischen Republik*. Anl. zu: Hydrographisches Kartenwerk der Deutschen Demokratischen Republik. Berlin. 1 – 294.
- MÜLLER G. & FURRER R. (1994): Schwermetalle in den Sedimenten der Elbe und ihrer Zuflüsse. In: *Die Elbe im Spannungsfeld zwischen Ökologie und Ökonomie*. 6. Magdeburger Gewässerschutzseminar. Stuttgart · Leipzig 1994, 69-77.
- MUNL Sachsen-Anhalt (1991): *Wassergütebericht 1991 Sachsen-Anhalt*. Ministerium für Umwelt und Naturschutz des Landes Sachsen-Anhalt [Hrsg.]. Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt. Magdeburg. 1-313.
- MWT Sachsen-Anhalt (2002): *Kilometrierung - Unstrut vom Rückhaltebecken Straußfurt bis zur Mündung in die Saale*. [Hrsg.] Ministeriums für Wirtschaft und Technologie Sachsen-Anhalt und Das Blaue Band in Sachsen-Anhalt[®], <http://www.blaues-band.de/unstrut/kilomet.htm>.
- NAUMANN et. al. (2001): *Wirkungsgrad gravimetrischer Labormethoden zur Schwebstoffbestimmung*. Vortrag Feststoffkolloquium BfG. i. Druck.
- NAUMANN S. & MÖHLING M. (2001): *Erkenntnisse zur Bedeutung der Nebenflüsse für den Feststoffhaushalt der Elbe*. In: *Feststoffeintrag, Laufentwicklung und Transportprozesse in schiffbaren Flüssen*. Koblenz 2002, 33-44.
- NLÖ (1995): *Gewässergütebericht 1995*. Niedersächsisches Landesamt für Ökologie. 1-25.
- NLWK Lüneburg (2001): *Morphologisch-struktureller Zustand ausgewählter Fließgewässer im Elbe-Einzugsgebiet*. Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft und Küstenschutz –Betriebsstelle Lüneburg. <http://www.lkharburg.de/>.
- OBERFLUßMEISTEREI CHEMNITZ (1991): *Die Wasserbeschaffenheit in den südwestsächsischen Gewässern*. Chemnitz. 1-39.
- OTTO (2000): *Der Muldestausee bei Bitterfeld –Folgen einer ungewöhnlichen Restlochflutung aus ökologischer Sicht*. In: *Bergbaufolgelandschaften: Chancen, Risiken, Konsequenzen* VDBiol - Rundbrief Nr. 2 / Januar 2000.13-16.
- PRAST, M. (2000): *Membranfilter contra Glasfaserfilter*. unveröffentl. Ber., BfG-Koblenz, 1-13.
- PRAZAN H. (1994): *Zur Ermittlung der Schwebstoffführung der Donau in Österreich*. In: *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*. Jg 46, 7/8, 181-194.
- ROMMEL J. (2000): *Studie zur Laufentwicklung der deutschen Elbe bis Geesthacht seit ca. 1600*. Bericht, i.A. der BfG, Koblenz.
- RÜDIGER A. (1969): *Ökonomische Untersuchungen und Vorschläge zur Aufnahme von Feststoffmessungen*. Institut f. Wasserwirtschaft, unveröff. Studie. Berlin 1969.
- SACHS L. (1993): *Statistische Methoden: Planung und Auswertung*. 7. überarb. Aufl., Berlin, Heidelberg, New York 1993, 1-221.
- SAUER W. (1999): *Messungen der Verteilung des suspendierten Sandes in der Elbe und Quantifizierung seines Anteils an der Sohlentwicklung*. In: *BfG Jahresbericht 1999*. Berlin-Koblenz, 23-26.
-

- SAUER, W. (2000): Quantifizierung sohlhöhenrelevanter Feststofftransportprozesse in der Elbe. Abschlussbericht der Teilprojekte II. 3 „Suspendierte Feststofffracht“ und I.6. „Hydrologisches Feststoff-Bilanz-Modell (HFBM)“. Berlin-Koblenz, 1-44.
- SCHEIDHAUER W. (1939): Gravitative Auslesevorgänge bei der Sedimentation von Sanden-Korngrößen- und Schwermineraluntersuchungen im Turon des Elbsandsteingebirges. In: Chemie der Erde, 12, 466-507.
- SCHILLING H. et. al. (1995): Schwermetalluntersuchungen in der Schwarzen Elster seit 1993" Jahrestagung der Wasserchemischen Gesellschaft - Fachgruppe in der GDCh 22.-24.05.1995 in Hitzacker.
- SCHMIDT A. & DRÖGE B. (1999): Feststofftransport in der Elbe. In: Fachtagung Elbe-Dynamik und Interaktion von Fluss und Aue. 4.-7.Mai 1999 Wittenberge. Karlsruhe 1999, 57-60.
- SCHMIDT, A. (1996): Überblick über den Schwebstofftransport in der Elbe In: 7. Magdeburger Gewässerschutzseminar. - Budweis, Tschechische Republik 1996, 100-105.
- SCHMIDT A. et. al. (1999): Quantitative Bewertung der Schwebstoffverhältnisse der Elbe. Abschl.ber. der Expertengruppe "Feststofftransport in der Elbe" der IKSE-Arbeitsgruppe HY. Berlin – Prag, 1999, 1-50.
- SCHMIDT R. (1997): Filtriermethoden zur Bestimmung des Schwebstoffgehalts. Dipl.Arbeit Technische Fachhochschule Berlin. Berlin, 1-56.
- SCHNEIDER K.-J. (1990): Bautabellen mit Berechnungshinweisen und Beispielen. 9. Aufl. Düsseldorf 1990.
- SCHÖNFELDER J., KÜCHLER L., HELLWIG G., MICHELS U. & REHFELD-KLEIN M. (2002): Klassifizierung der Gewässergüte der Spree. In: Die Spree Zustand, Probleme, Entwicklungsmöglichkeiten. Limnologie aktuell, Bd. 10. Stuttgart. 268-271.
- SCHREIBER W. & KRAUSS-KALWEIT I. (1999): Frachten von Wasserinhaltsstoffen in Fließgewässern – Einfluß der Probenahmestrategie auf die Ermittlung. In: Wasserwirtschaft 89, 1999, 520-529.
- SCHRÖDER W. et. al. (1984): Messungen des Feststofftransports von 2 norddeutschen Bächen. In: Wasserwirtschaft 74, 10, 480 – 486.
- SCHWOERBEL J. (1999): Einführung in die Limnologie. 8. Auflage. Stuttgart-Jena-Lübeck-Ulm. 1-370.
- SENITZ, S. (2000): Untersuchung kurzperiodischer Schwankungen des Grundwasserspiegels. Dipl. Arbeit Inst. F. Geowissenschaften der Friedrich-Schiller-Universität Jena. 1-114.
- SLfUG (1997a): Talsperren, Wasserspeicher und Rückhaltebecken im Freistaat Sachsen. In: Materialien zur Wasserwirtschaft 1997. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie [Hrsg.]. Dresden. 1-15.
- SLfUG (1997b): Gewässergütebericht der Hauptfließgewässer in Sachsen 1995. In: Materialien zur Wasserwirtschaft 1997. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie [Hrsg.]. Radebeul. 1-151. **Z4**
- SLfUG (1997c): Gewässergütekarte 1997 – Biologische Befunde der Gewässergüte sächsischer Fließgewässer mit Gewässergütebericht. In: Materialien zur Wasserwirtschaft 1997. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie [Hrsg.]. Dresden. 1-34.
- SLfUG (1997d): Hydrologisches Handbuch Teil7 Gewässerkundliche Hauptwerte. In: Materialien zur Wasserwirtschaft 1997. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie [Hrsg.]. Radebeul. 1-50.
- SPREAFICO, M.; LEHMANN, C.; SCHEMMER, H.; BURGENDORFFER, M.; KOS, T.L. (1996): Feststoffbeobachtung im Rhein, Beschreibung der Meßgeräte und Meßmethoden. Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes. Bericht der KHR II/11, Lelystad, 1-106.
- StadtUm (1998): Übersicht über die hydrologische Entwicklung der Gewässer in Berlin für den Zeitraum von August bis Oktober 1998. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie. Institut für Umweltanalytik und Humantoxikologie Berlin (ITOX). Berlin. 1-18.
-

- STARCK et. al. (1999): Darstellung und Bewertung von mesoskaligen Stickstoffmodellen. Studie für den Forschungsverbund Elbe-Ökologie - Mit. Nr.3. Berlin, 1999, 1-111.
- STAU Magdeburg (1991): Jahresbericht 1991 Teil Gewässergüte. Staatliches Amt für Umweltschutz Magdeburg. Magdeburg. 1-66.
- StUFA Chemnitz (1991): Fließgewässer – Wasserbeschaffenheit-Wassergüte 1991. Chemnitz. 10-24.
- StUFA Plauen (1991): Fließgewässer – Regionalbericht Wasserbeschaffenheit. Plauen. 5-27.
- SYMADER R.B. & STRUNK N. (1991): Die zeitliche Dynamik des Schwebstofftransportes und seine Bedeutung für die Gewässerbeschaffenheit. In: Vom Wasser, 77, 159-169.
- SYMADER W. (1988): Zur Problematik der Frachtermittlung. In: Vom Wasser, 71, 145-161.
- SYMADER W. et. al. (1991): Die zeitliche Dynamik des Schwebstofftransportes und seine Bedeutung für die Gewässerbeschaffenheit. In: Vom Wasser, 77, 159-169.
- TLU Jena (1994): Talsperren in Thüringen – Verzeichnis und Karte 1994. In: Schriftenreihe der Thüringer Landesanstalt für Umwelt Jena, Nr. W5/94. Jena. 1-31.
- TLU Jena (1997): Gewässergütebericht. In: Schriftenreihe der Thüringer Landesanstalt für Umwelt, Nr. 31/1997, Jena. 1-74.
- TLU Jena (1998): Gewässergütebericht 1998. In: Schriftenreihe der Thüringer Landesanstalt für Umwelt Jena, Nr. 31. Jena. 1-68.
- TMLNU (1994): Umweltbericht 1994. Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt. Erfurt. 1-274.
- TMUR (1993): Umweltbericht Thüringen 1992. Thüringer Ministerium für Umwelt und Raumplanung. Jena, 1-128.
- TÖDTEN H. & B. VETTER (1980): Untersuchungen zum Schwebstofftransport in natürlichen Gerinnen. In: Wasserwirtschaft 70,5, 197-201.
- UM Mecklenburg-Vorpommern (1991): Gewässergütebericht 1990. Gütezustand der Gewässer in Mecklenburg-Vorpommern. Umweltministerin des Landes Mecklenburg-Vorpommern [Hrsg.]. Stralsund. 4-195.
- UM Mecklenburg-Vorpommern (1992): Gewässergütebericht 1991. Gütezustand der oberirdischen Gewässer und der Küstengewässer in Mecklenburg-Vorpommern. Umweltministerin des Landes Mecklenburg-Vorpommern [Hrsg.]. Stralsund. 41-50.
- UM Mecklenburg-Vorpommern (1993): Gewässergütebericht 1992. Gütezustand der oberirdischen Gewässer und der Küstengewässer in Mecklenburg-Vorpommern. Umweltminister des Landes Mecklenburg-Vorpommern [Hrsg.]. Stralsund. 65-80.
- UM Mecklenburg-Vorpommern (1994): Gewässergütebericht 1993. Gütezustand der oberirdischen Gewässer und der Küstengewässer in Mecklenburg-Vorpommern. Umweltminister des Landes Mecklenburg-Vorpommern [Hrsg.]. Stralsund. 31-35.
- UM Mecklenburg-Vorpommern (1998): Gewässergütebericht 1996/1997. Zustand und Entwicklung der Gewässergüte von Fließ-, Stand- und Küstengewässern und der Grundwasserbeschaffenheit in Mecklenburg-Vorpommern. Umweltministerium des Landes Mecklenburg-Vorpommern [Hrsg.]. Schwerin. 13-50.
- WASY - Gesellschaft für wasserwirtschaftliche Planung und Systemforschung (1992a): Analyse des wasserwirtschaftlichen Systems im Einzugsgebiet der Schwarzen Elster. Unveröffentl. Ber., Berlin, 1992, 1-13.
-

- WASY - Gesellschaft für wasserwirtschaftliche Planung und Systemforschung (1992b): Analyse des wasserwirtschaftlichen Systems im Einzugsgebiet der Spree bis Neuhaus und der Dahme bis Neue Mühle. Unveröffentl. Ber., Berlin, 1992, 1-20
- WENDLAND F. & KUNKEL R. (1997): Gebietsumfassende Analyse von Wasserhaushalt, Verweilzeiten und Grundwassergüte zur naturräumlichen Klassifizierung und Leitbildentwicklung im Elbeeinzugsgebiet. Zw. Ber. Forschungszentrum Jülich GmbH. Jülich 1997, 2-39.
- WESTRICH B. (1987): Schwebstoffbilanzen – Illustration der Möglichkeiten und Grenzen. In DfG – Rundgespräch – Hydromechanische und chemische Aspekte des Schwebstofftransportes in (gestauten) Fließgewässern. 183-200.
- WESTRICH B. (1988): Fluvialer Feststofftransport-Auswirkung auf die Morphologie und Bedeutung für die Gewässergüte. In: Schriftenreihe gwf Wasser, Abwasser, Bd. 22. München, Wien, Oldenbourg. 1-150.
- WILHELM C., CARMENCKE I. & KÜCHLER L. (1999): Was bestimmt das trophische Potential der Mulde: Nährstoffe oder Licht?. In: Deutsche Gesellschaft für Limnologie e.V. Tagungsbericht 1999, Bd. 1, Rostock, 273-275.
- WILKEN R.-D. et al. (1991): Fakten und Hypothesen zum Schwebstoff- und Schadstofftransport in der Elbe. Sonderdruck GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH 91/E/35. Aus: Vom Wasser (1991), 76, 167-189.
- WISOTZKY F. (1994): Untersuchungen zur Pyritoxidation in Sedimenten des Rheinischen Braunkohlenreviers und deren Auswirkungen auf die Chemie des Grundwassers. In: Besondere Mitteilungen zum Gewässerkundlichen Jahrbuch Nr. 58, LAU Nordrhein-Westfalen, Essen 1994, 1-145.
- WSD OST (1992): Luftbilder der Elbe. Hansa Luftbild, Münster, 1992
- ZANKE, U. (1995): Übung zur Hydrologie, Wasserwirtschaft und landwirtschaftlichem Wasserbau. FH Kiel, unveröffentl. Ber.
- ZELLER J. (1985): Feststoffmessung in kleinen Gebirgseinzugsgebieten. In: Wasser, Energie, Luft-Eau, Energie, Air Heft7/8, 246-251.
- ZERLING L., ARNOLD A., HANISCH C., JENDRYSCHIK K. & LOHSE M. (1998): Der Einsatz von Sedimentfallen als Beitrag zur Schadstoffbilanzierung im Bitterfelder Muldestausee. In: Gewässerschutz im Einzugsgebiet der Elbe. 8. Magdeburger Gewässerschutzseminar. Stuttgart-Leipzig. 163-164.
- ZIMMERMANN-TIMM et. al. (2000): Strukturgebundener Stoffumsatz im Fließgewässer. Untersuchungen zur Bedeutung des mikrobiellen Nahrungsgefüges im Freiwasser und auf den Aggregaten der Mittelalbe. - Statusseminar Elbe-Ökologie, BFG-Berichte Nr. 6, 62-65.
-

Anlagen
