

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.

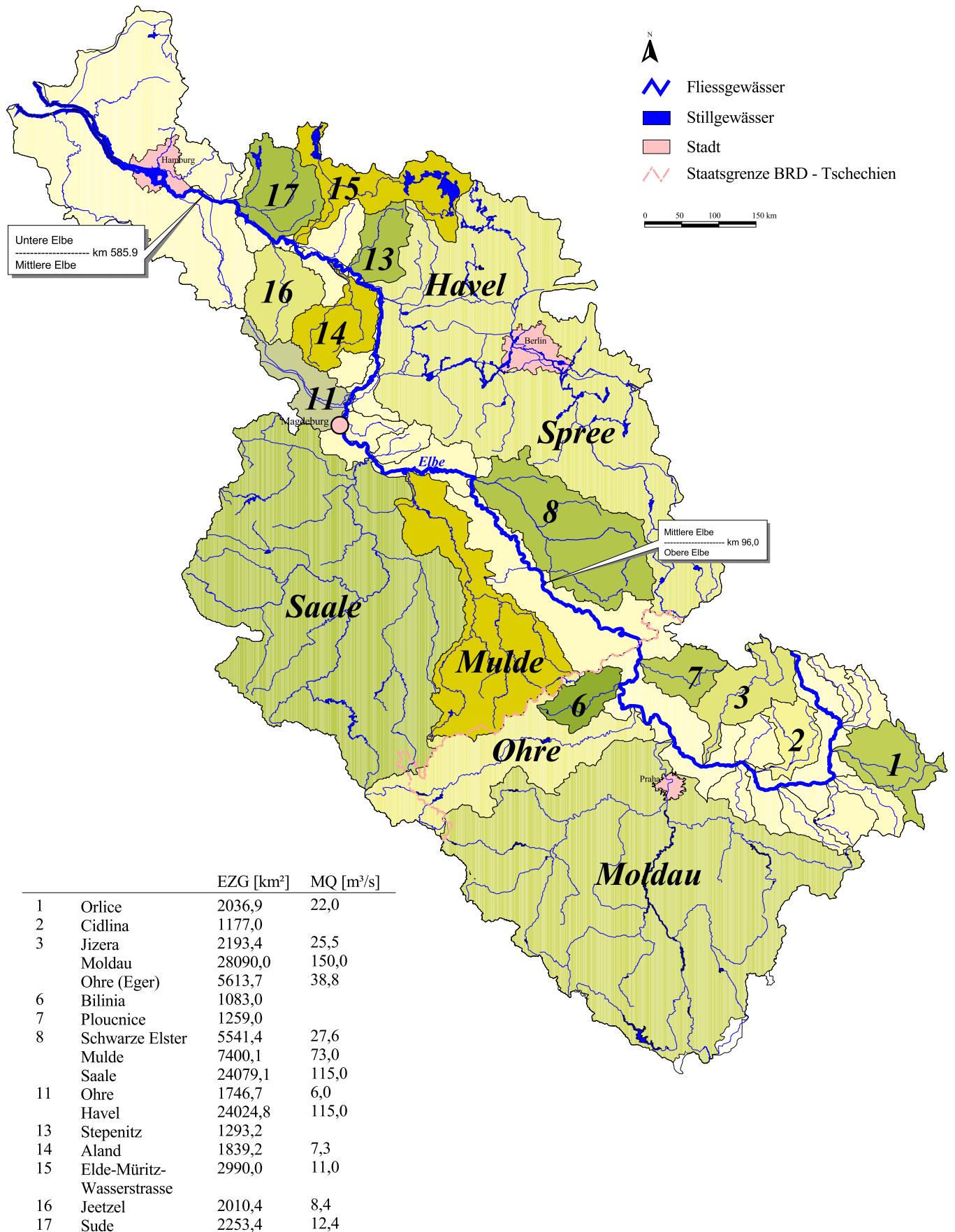
In dem zu untersuchenden freifließenden Elbeabschnitt von der deutsch – tschechischen Grenze bis zum Wehr Geesthacht münden etwa 100 größere Nebenflüsse in die Elbe, von denen 7 künstlich geschaffene Kanäle sind. Aus Gründen der weiteren Darstellungen zum Feststoffhaushalt der Elbe wurden die Elbeabschnitte 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								
Mittlere Elbe								
585,9								
Geesthacht 585,9		<i>Elbe-Seiten-Kanal</i> <i>Kateminer Mühlenbach</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								
		<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 Schwebstoffdauermeßstellen 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 Mittel-elbe 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.

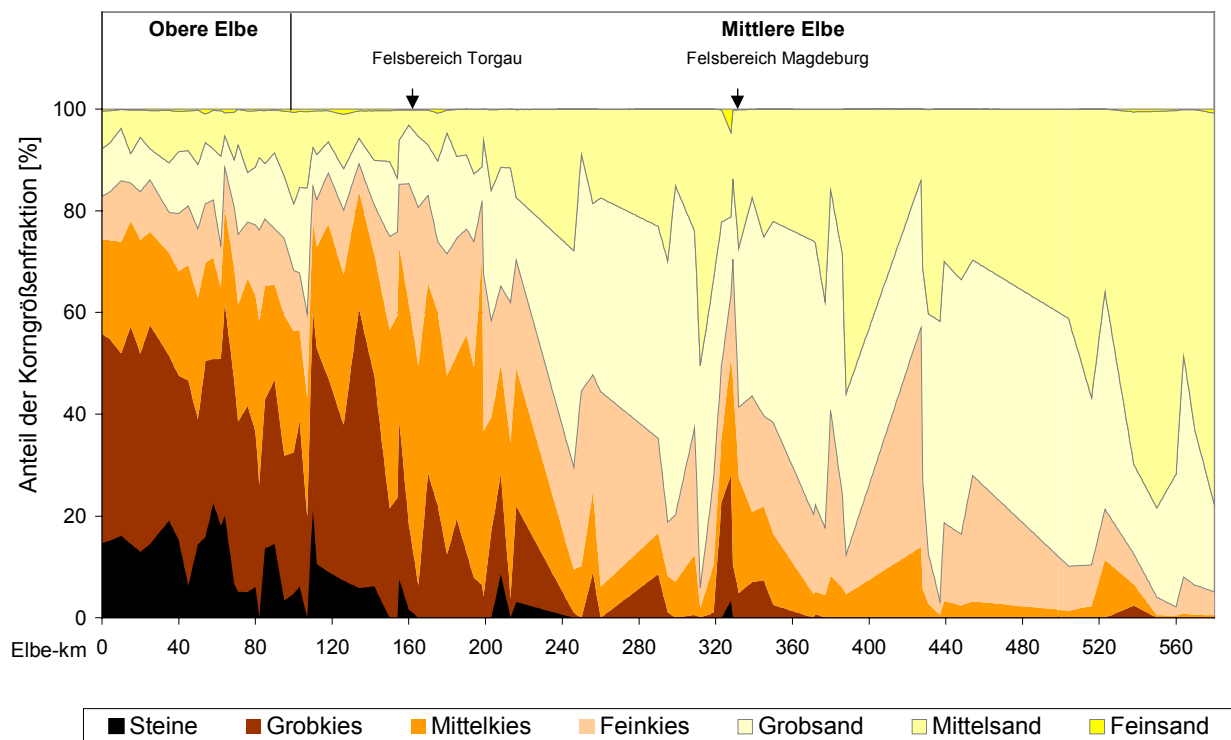


Abb. 2-1: Prozentuale Beteiligung der Korngrößenfraktionen am Sohlmaterial der Elbe im Längsschnitt von Elbe-km 0 bis 580 (nach BfG, 1994).

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 Mittelelbe, 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 Sohlimente 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 Mittel-Elbe 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, abgeplatteten 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).

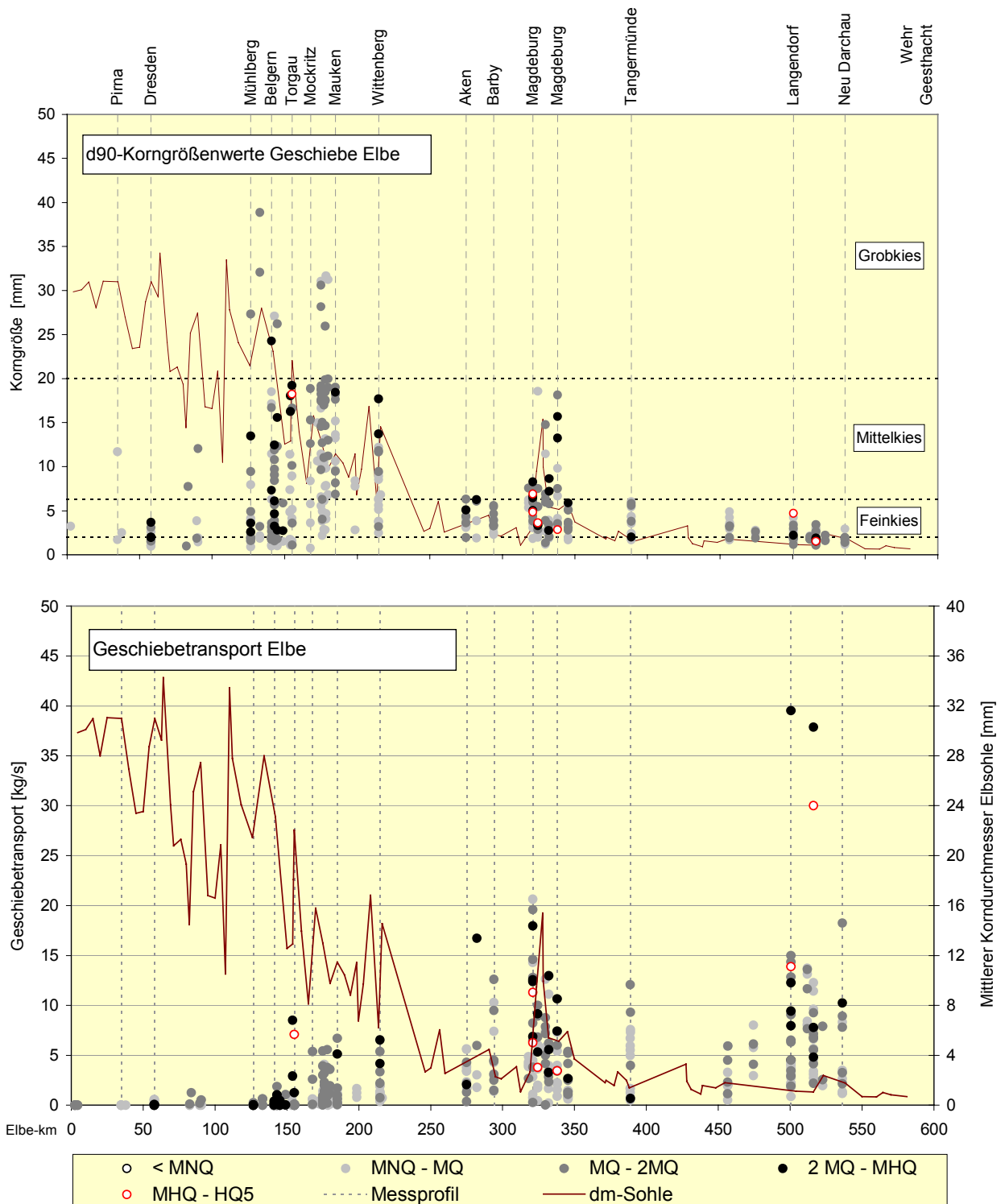


Abb. 2-2: Geschiebetransporte [kg/s] und transportierte Korngrößen [d90] im Zusammenhang mit der Sohlzusammensetzung [dm] im Längsschnitt der Elbe.

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 Mittelelbe.

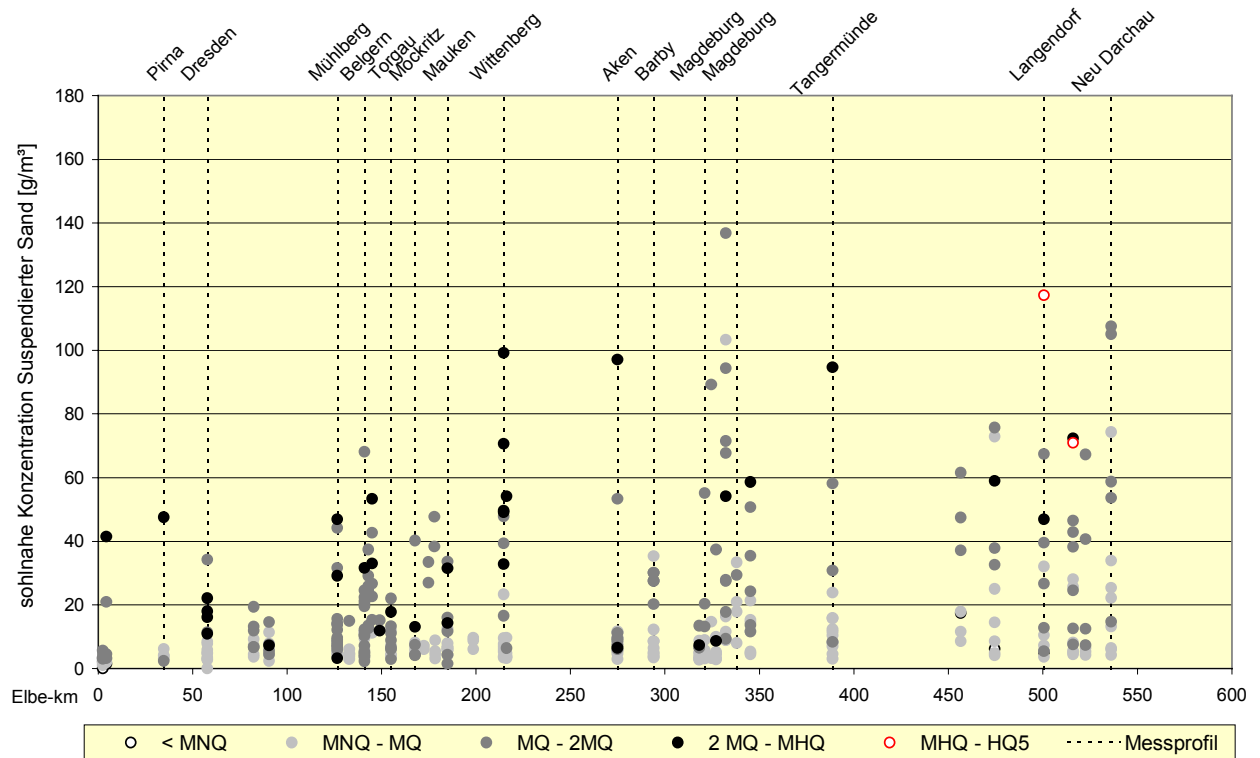


Abb. 2-3: Mittelwerte der sohnahen (30 cm ü. Sohle) Konzentration des suspendierten Sandes über alle Lotrechten eines Messprofils im Längsverlauf der Elbe (1995-1998).

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).

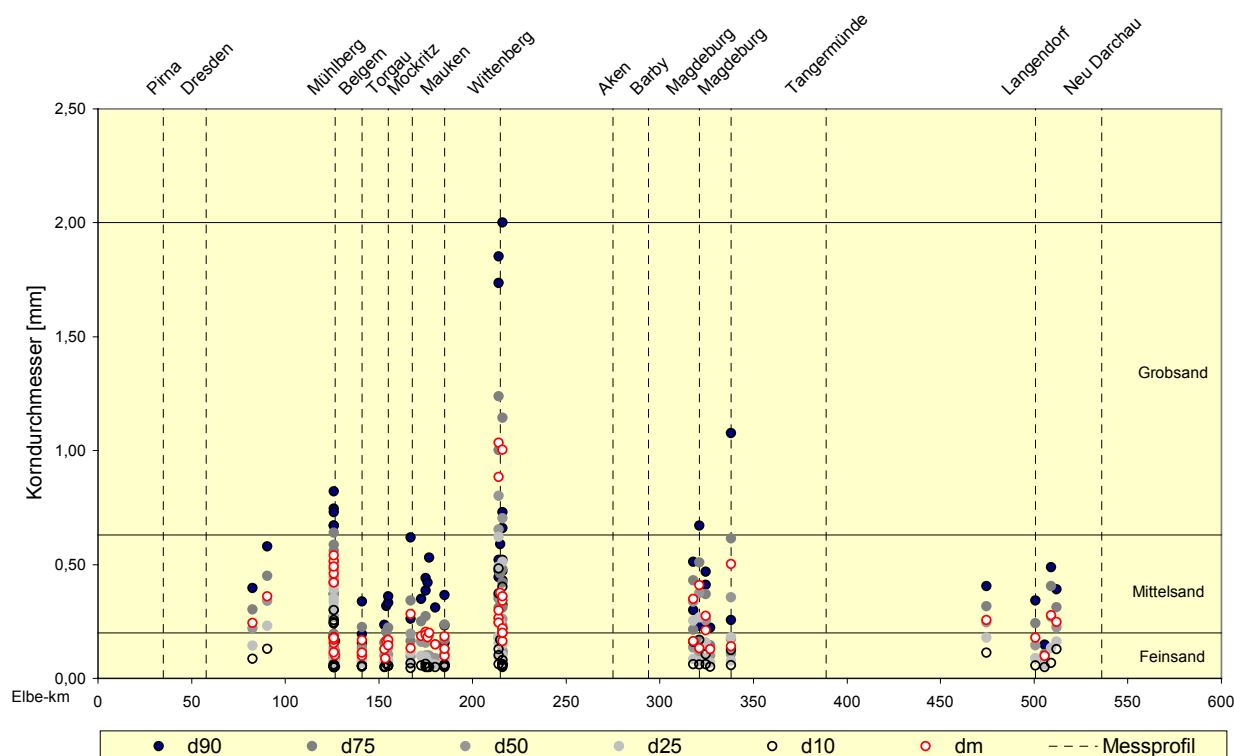


Abb. 2-4: Überblick über das Korngrößenspektrum des in Suspension transportierten Sandes im Längsverlauf der Elbe für den Zeitraum 1995-98.

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).

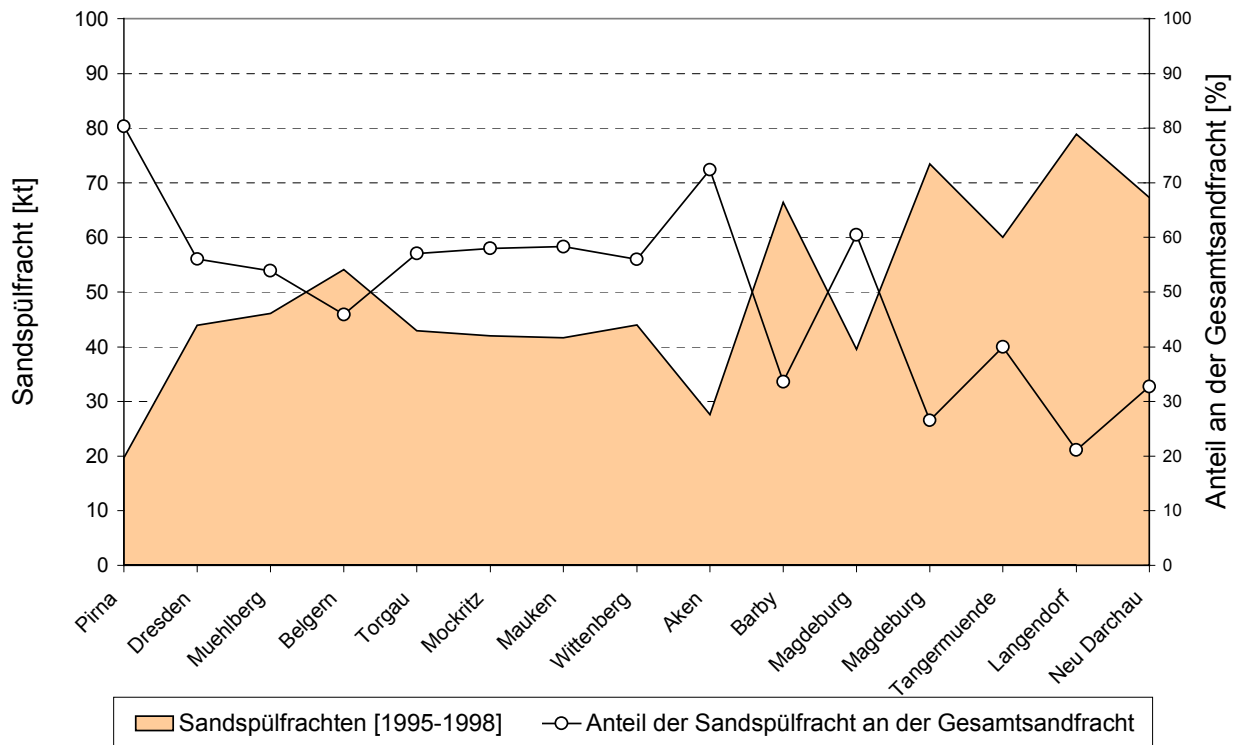


Abb. 2-5: Berechnete mittlere jährliche Sandspülfrachten [kt] und ihr prozentualer Anteil an der gesamten suspendierten Sandfracht in der Elbe im Zeitraum 1995 – 1998.

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.

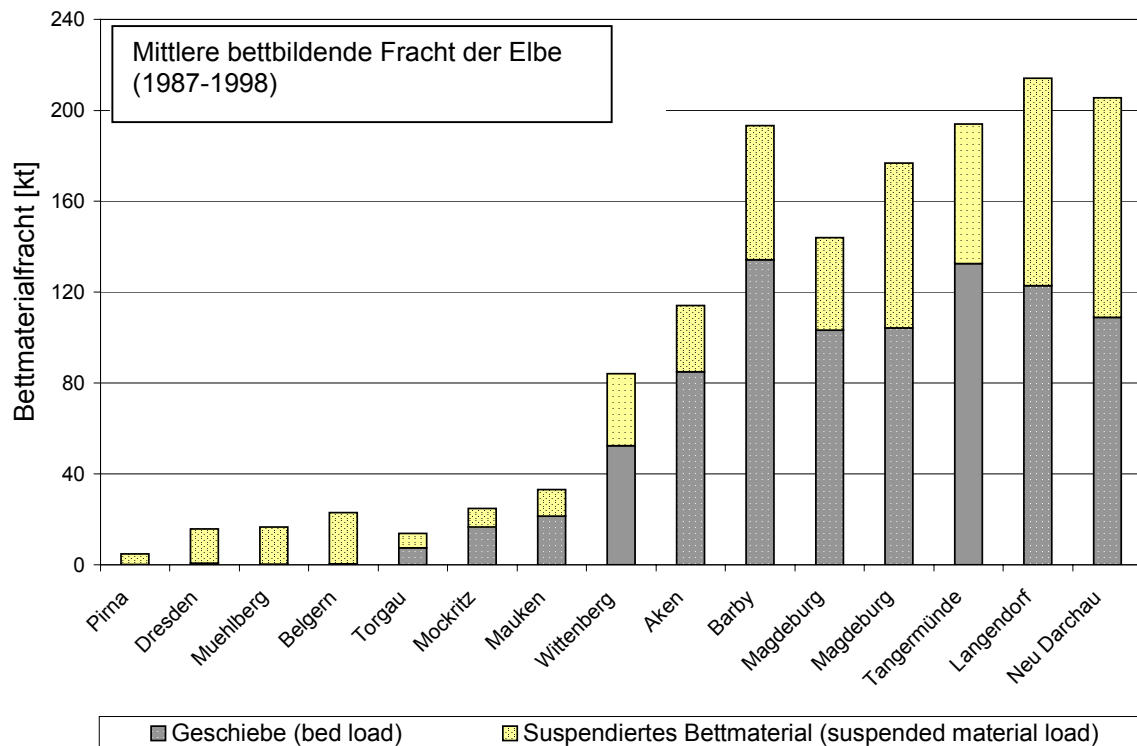


Abb. 2-6: Berechnete mittlere bettbildende Jahresfracht [kt] der Elbe für den Zeitraum 1987 – 1998 nach SAUER (2000b), geändert.

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).

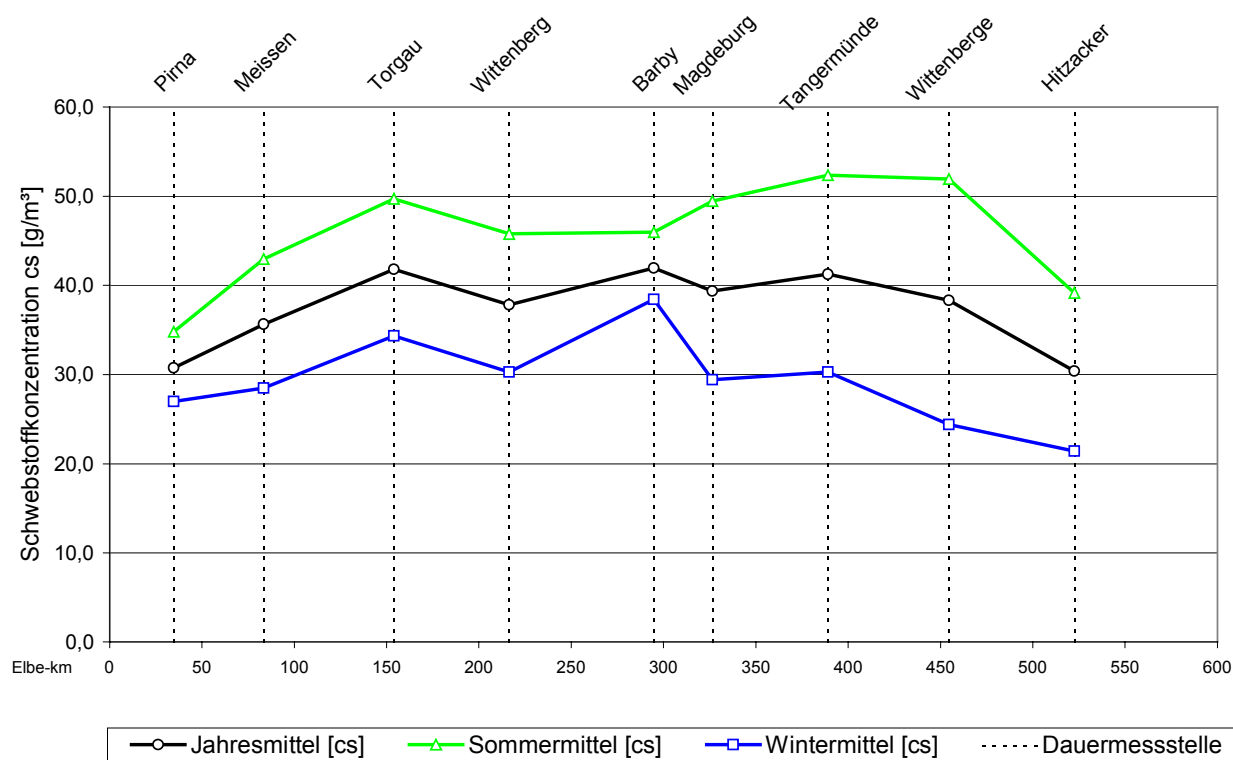


Abb. 2-7: Mittlere Schwebstoffkonzentration getrennt nach Sommer- und Winterhalbjahr im Längsschnitt der Elbe für den Zeitraum von 1992-97.

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.

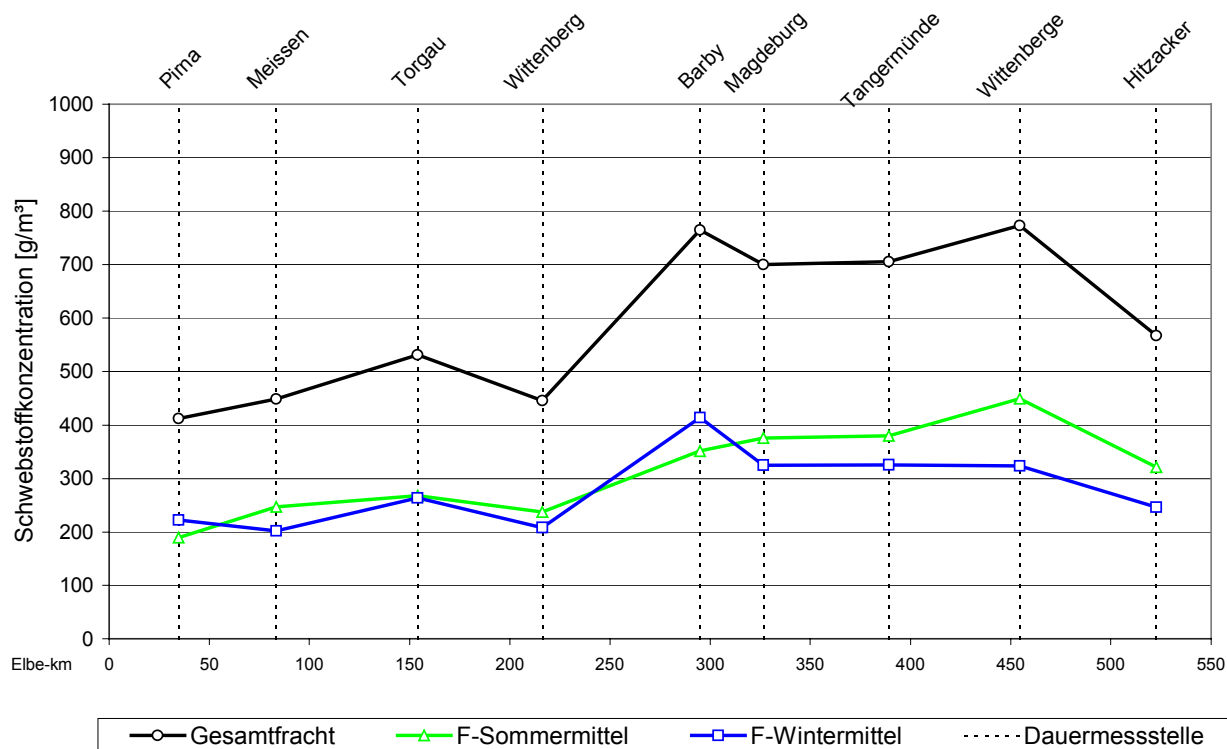


Abb. 2-8: Mittlere Schwebstoffjahresfracht getrennt nach Sommer- und Winterhalbjahr im Längsschnitt der Elbe im Zeitraum von 1992-97.

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.