



BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU

Karlsruhe · Hamburg · Ilmenau

BAW



**Untersuchung der Auswirkung von Maßnahmen
im Elbevorland auf die Strömungssituation
und die Flussmorphologie am Beispiel der
Erosionsstrecke und der Rückdeichungsbereiche
zwischen Wittenberge und Lenzen**

- Schlussbericht -

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Zielstellung und Untersuchungsmethodik	1
2 Struktur des Forschungsprojektes, Veröffentlichungen und Berichte, Bearbeiter und Zusammenarbeit mit anderen Stellen	5
3 Voraussetzungen	9
3.1 Erosionsstrecke der Elbe	9
3.2 Deichrückverlegung bei Lenzen	10
3.3 Charakterisierung der zu untersuchenden Grundszenarien	12
4 Allgemeine Fragestellungen	14
4.1 Entwicklungsziele	14
4.2 Untersuchungsrelevante Durchflüsse	15
4.3 Vergleich von ausufernden Durchflüssen in unterschiedlichen Untersuchungsräumen	20
4.4 Alternative Formen der Ergebnisdarstellung	23
5 Eindimensionale Modelle am Beispiel der Feststofftransportmodelle der Erosionsstrecke der Elbe	27
5.1 Allgemeines	27
5.2 Modelltopografie	27
5.3 Hydrologische Daten	29
5.4 Morphologische Daten	30
5.4.1 <i>Eigenschaften des Sohlenmaterials</i>	30
5.4.2 <i>Eintrag von Geschiebe- und Schwebstoffmengen</i>	31
5.5 Modellkalibrierung	33
5.5.1 <i>Hydraulische Kalibrierung</i>	33
5.5.2 <i>Sedimentologische Kalibrierung</i>	34
5.6 Ausblick	40
6 Zweidimensionale Modelle	41
6.1 Modell in der Erosionsstrecke bei Klöden	41
6.1.1 <i>Modellbeschreibung</i>	41
6.1.2 <i>Untersuchte Varianten</i>	43
6.1.3 <i>Ergebnisse</i>	45
6.1.4 <i>Schlussfolgerungen</i>	48
6.2 Modell der Rückdeichung bei Lenzen	50
6.2.1 <i>Modellbeschreibung</i>	50
6.2.2 <i>Untersuchte Varianten</i>	52

6.2.3	<i>Ergebnisse</i>	53
6.2.4	<i>Zusammenfassung</i>	59
7	Aerodynamische Modelle	60
7.1	Aerodynamische Modelle mit variabler Überhöhung	60
7.2	Aerodynamisches Modell in der Erosionsstrecke bei Klöden	65
7.3	Aerodynamisches Modell bei Lenzen	71
8	Hydraulisches Modell bei Mockritz/Döbern	78
8.1	Modellbeschreibung	78
8.2	Varianten	79
8.3	Ergebnisse	81
8.4	Schlussfolgerungen	85
9	Modellvergleiche	86
9.1	Vergleich von Modellen im Bereich Klöden	87
9.2	Vergleich von Modellen im Bereich der Rückdeichung Lenzen	91
9.3	Vergleich von Modellen mit Vorlandrinnen und Deichrückverlegung	94
10	Schlussfolgerungen aus den Untersuchungen im Forschungsprojekt	97
10.1	Erosionsstrecke	97
10.2	Deichrückverlegung	99
10.3	Erfahrungen bei der interdisziplinären Zusammenarbeit und beim Einsatz verschiedener Modellarten	100
11	Bibliografie	101
12	Glossar (Endnoten)	106

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb. 1.1: Übersicht der Untersuchungsgebiete	2
Abb. 1.2: Lage der kleinen und mittelgroßen Modelle in der Erosionsstrecke	4
Abb. 1.3: Modelle mit mittelgroßem Untersuchungsbereich zur Rückdeichung Lenzen	5
Abb. 3.1: Analyse der Sohleneintiefung an Hand von Geometriepeilungen und von auf Q_{GIW} normierten Wasserspiegelfixierungen (Darstellung der Differenzen bezogen auf 1961-65 bzw. 1959)	9
Abb. 4.1: Ermittlung des „bettbildenden Durchflusses“ für Torgau (BfG, Außenstelle Berlin)	17
Abb. 4.2: Ermittlung des „bettbildenden Durchflusses“ für Wittenberg (BfG, Außenstelle Berlin)	18

Abb. 4.3:	Vergleich der Anteile der Vorländer am Gesamtdurchfluss im Querschnitt	20
Abb. 4.4:	Veränderung der Vorlandanteile am Gesamtdurchfluss zwischen 60er und 90er Jahren (El-km 163-197)	21
Abb. 4.5:	Veränderung der mittleren Durchflussanteile für El-km 163 bis 197 von Flussbett und Vorländern zwischen 1960er und 1990er Jahren (60er Jahre = 100%)	22
Abb. 4.6:	Beispielhafte Darstellung des Strömungscharakters eines Gebietes: Summe der Teilflächen im Untersuchungsgebiet, die bei definierter Wassertiefe mit einer bestimmten Geschwindigkeit überströmt werden)	23
Abb. 4.7:	Bühnenvarianten im Bereich des zweiseitigen Ausbaus, Elbe-km 162,0 bis 162,4	25
Abb. 4.8:	Veränderung der Oberflächengeschwindigkeit durch Bühnenabsenkung (Modell Mockritz-Döbern)	26
Abb. 4.9:	Häufigkeit der Geschwindigkeitsklassen bei ausgewählten Varianten des hydraulischen Modells Mockritz-Döbern	26
Abb. 5.1:	Im Modell angesetzte und aus Geschiebemessungen ermittelte geschiebeführende Sohlenbreiten	29
Abb. 5.2:	Ganglinien, bestehend aus täglichen Abflusswerten und aus über verschieden lange Zeiträume gemittelten Abflüssen	30
Abb. 5.3:	Im Modell verwendete charakteristische Kornverteilungen	31
Abb. 5.4:	Geschiebetransport-Abfluss-Beziehung an der Messstelle Mühlberg	32
Abb. 5.5:	Schwebstofftransport-Abfluss-Beziehung an der Messstelle Mühlberg	32
Abb. 5.6:	Im Modell vorgegebene abflussabhängige Kornverteilungskurven des eingetragenen Geschiebematerials	33
Abb. 5.7:	Differenz zwischen den zu verschiedenen Zeitpunkten fixierten und den für die 1960er-Flussbettgeometrie berechneten Wasserspiegelhöhen	34
Abb. 5.8:	Gleitende Schnitte der beobachteten und berechneten Änderungen der mittleren Sohlenhöhe in der Erosionsstrecke der Elbe zwischen 1961 und 1993	38
Abb. 5.9:	Beobachtete und berechnete Wasserspiegeldifferenzen (um 130 m ³ /s)	39
Abb. 5.10:	Jährliche Frachten an Geschiebe, suspendiertem Sand und Feinschwebstoffen in der Erosionsstrecke der Elbe	39
Abb. 6.1:	Vergleich der Modellausdehnungen des 2D-HN- und des AD-Modells	43
Abb. 6.2:	Vergleich der Wasserspiegeldifferenzen in der Flussachse	47
Abb. 6.3:	Differenz der Strömungsgeschwindigkeiten bei Rückdeichung und Istzustand	48
Abb. 6.4:	Differenz der Strömungsgeschwindigkeiten im Flussschlauch bezogen auf den Istzustand	49
Abb. 6.5:	Untersuchte Linienführungen der Deichrückverlegung bei Lenzen	51
Abb. 6.6:	Modellnetz, Bewuchszonen und Rauheitsbereiche	52
Abb. 6.7:	Berechnete Geschwindigkeitsverteilung für HQ _{3,5} bei großer Rückdeichung	54
Abb. 6.8:	Fließgeschwindigkeiten im Bereich zwischen den bestehenden Deichen bei HQ _{3,5}	55
Abb. 6.9:	Anteil der Schlitze am Vorlandabfluss bei großer Rückdeichung	57
Abb. 6.10:	Wasserspiegel in Flussachse und Rückdeichungsbereich bei Variante 33	57
Abb. 6.11:	Flächenanteile der Geschwindigkeits- und Wassertiefenklassen im Rückdeichungsbereich bei mittlerer Rückdeichung, HQ _{3,5}	58
Abb. 6.12:	Uferlinien bei mittlerer Rückdeichung	59
Abb. 7.1:	Nebelfluidinjektion bei El-km 481,9 zur Strömungssichtbarmachung im Luftmodell	62

Abb. 7.2:	Vertikale Geschwindigkeitsverteilung in Natur und im Luftmodell	63
Abb. 7.3:	Querschnittsdarstellung bei variabler zusätzlicher Überhöhung	63
Abb. 7.4:	Blick auf das Luftmodell „Klöden“	65
Abb. 7.5:	Foto des Luftmodells „Erosionsstrecke“ (Gipsoberfläche, ohne Farbanstrich)	67
Abb. 7.6:	Sichtbarmachung der Sohlstromlinien mit Anstrichverfahren für Variante 1A – Deichrückverlegung (oben) und Istzustand (unten)	68
Abb. 7.7:	Linien gleicher Geschwindigkeiten für Variante 6 (Buhnenabsenkung) und Variante 5 (Buhnenabsenkung und kleine Uferabgrabung) sowie Nullzustand	70
Abb. 7.8:	Vergleich Variante 3 (große Uferabgrabung) und Nullzustand	71
Abb. 7.9:	Luftmodell Lenzen mit eingeebneter Geschiebesohle	72
Abb. 7.10:	Geländemodell des Luftmodells Lenzen für den Nullzustand (aus Laserabstandsmessung)	73
Abb. 7.11:	Sohle des Geschiebekoffers nach dem Langzeitversuch für den Nullzustand	74
Abb. 7.12:	Sohle des Geschiebekoffers nach dem Versuch mit geschlitztem Deich	75
Abb. 7.13:	Sohle des Geschiebekoffers nach dem Versuch ohne Deich	75
Abb. 7.14:	Vergleich der mittleren Sohle im bereich der beweglichen Sohlenbreite im AD-Modell Lenzen	76
Abb. 7.15:	Vergleich der Entwicklung der mittleren Sohlen bezogen auf die Prognose für 15 Jahre im Nullzustand bei feuchter Ganglinie	77
Abb. 8.1:	Hydraulisches Modell mit eingebauten Flutrinnen	78
Abb. 8.2:	Grundriss des Modells mit Lage der Untersuchungsvarianten	79
Abb. 8.3:	Untersuchte Maßnahmen im Querschnitt	80
Abb. 8.4:	Ausschnitt der verzweigten Rinne des rechten Vorlandes	82
Abb. 8.5:	Isotachenpläne für Istzustand und Varianten mit Buhnenmodifikation	83
Abb. 8.6:	Vertikale Geschwindigkeitsverteilung bei $Q = 580 \text{ m}^3/\text{s}$	84
Abb. 9.1:	Vergleich der Wasserspiegel in der Flussachse bei Klöden	88
Abb. 9.2:	Vergleich von 2D- und AD-Modell	89
Abb. 9.3:	Fließgeschwindigkeiten für den Nullzustand aus 2D-HN-Modell bei $1800 \text{ m}^3/\text{s}$	90
Abb. 9.4:	Wasserspiegeldifferenzen im Flussbett zwischen großer Deichvariante und Nullzustand aus langen 1D- und 2D-HN-Modellen bei HQ_{20-25}	92
Abb. 9.5:	Anteile des rechten Vorlandes am Gesamtdurchfluss für El-km 481,9 im Vergleich verschiedener Modelle und Varianten	93
Abb. 9.6:	Vergleich des ermittelten Wasserspiegelabsunks für verschiedene Modelle bei großer Rückdeichung	94

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tab. 1.1: Im Forschungsprojekt eingesetzte Modellarten	3
Tab. 1.2: Eingesetzte Modelle in den zwei Untersuchungsgebieten	4
Tab. 2.1: Modelle für die Untersuchungen in der Erosionsstrecke der Elbe	6
Tab. 2.2: Modelle für die Untersuchungen im Rückdeichungsbereich	6
Tab. 4.1: Untersuchungsrelevante Durchflüsse	16
Tab. 4.2: Durchfluss bei Geschiebebewegungsbeginn in den Untersuchungsräumen	19
Tab. 4.3: Vergleich von Wasserspiegel und mittleren Geschwindigkeiten im Flussschlauch	22
Tab. 4.4: Liste der jeweiligen Anteile an der Gesamtfläche (12,3 km ²), die bei definierter Fließtiefe mit bestimmter Geschwindigkeit überströmt werden	24
Tab. 6.1: Durchflüsse am Bezugspegel Torgau	44
Tab. 6.2: Durchfluss und Geschwindigkeit im Referenzprofil b (Abb. 6.3) bei El-km 190	45
Tab. 6.3: Maximaler Wasserspiegelabsenk in der Flussachse	46
Tab. 6.4: Durchfluss und Geschwindigkeit im Referenzprofil c) bei El-km 188,5	47
Tab. 6.5: Parameter der untersuchten Rückdeichungsgebiete	50
Tab. 6.6: Modellnetze	51
Tab. 6.7: Anteile des Gesamtabflusses für das Rückdeichungsgebiet	54
Tab. 6.8: Mittlere und maximale tiefengemittelte Geschwindigkeiten in den Schlitzten	56
Tab. 7.1: Vergleich von aerodynamischem und hydraulischem Modell	61
Tab. 7.2: Besonderheiten aerodynamischer Modelle im Vergleich mit hydraulischen Modellen	61
Tab. 7.3: Parameter der im Forschungsprojekt eingesetzten Luftmodelle	64
Tab. 8.1: Im hydraulischen Modell untersuchte Durchflüsse	79
Tab. 9.1: Nutzung verschiedener Modellarten bei Klöden	87
Tab. 9.2: Tabellarischer Vergleich der mittelgroßen Modelle mit Rückdeichung	96
Tab. 9.3: Tabellarischer Vergleich der mittelgroßen Modelle mit Vorlandrinnen	97

ser 2000“ in Berlin [FAULHABER, 2000b] vorgestellt. Im Internet sind Projektbeschreibungen, Poster und einige Veröffentlichungen in ELISE (<http://elise.bafg.de>) zu finden.

Model- lart	Eigenanteil/Vorleistung	Arbeiten im Forschungsprojekt
1	Einzelmodelle vorhanden: El-km 140-163 [ADAM, 1996], 140-185 [SINGH, 1996], 163-197 [BONNY, 1997], 220-235,6 [BAW, 1998a], Vergleich [REINPOLD, 1998], Zusammenstellung [Göbel, 1998]	<ul style="list-style-type: none"> • Betreiben der bestehenden Modelle für forschungsrelevante Fragestellungen, • Erstellen und Betrieb eines Begleitmodells (km 154-174) zum hydraulischen Modell, • Erstellen und Betrieb eines Gesamtmodells km 121 bis 235
2	-	-
3	Vorhandenes Modell El-km 140-163, Geschiebezugabe und Bauwerksänderungen im Mittelwasserbett wurden berechnet [BAW, 1997b], [BAW, 1998b]), [ALEXY, 1997 und 1998]	<ul style="list-style-type: none"> • Erstellen und Betrieb eines Begleitmodells (km 154-174) zum hydraulischen Modell [HIRSCHAUER, 1999], [HIRSCHAUER, 2000], • Erstellen eines Gesamtmodells km 121 bis 235 [ALEXY, 2000]
4	Geometriaufbereitungen basierend auf den Geländemodellen der bestehenden eindimensionalen Modelle	Modellerstellung und Untersuchung [BAW, 2001a], [GLANDER/FAULHABER, 2001]
5	Modellaufbau (km 187-191) und Kalibrierung,	Modelluntersuchungen [FAULHABER, 2001b]
6	Modellaufbau (El-km 160-164) [GOCHT, 1997] und Kalibrierung, Untersuchung von Varianten mit Veränderungen im Flussbett [BAW, 2000]	Modelluntersuchungen von Varianten mit Vorlandveränderung und kombiniert mit Veränderungen im Flussbett [BAW, 2000], [GOCHT, 2000], [GOCHT, 2001]

Tab. 2.1: Modelle für die Untersuchungen in der Erosionsstrecke der Elbe

Model- lart	Eigenanteil/Vorleistung	Arbeiten im Forschungsprojekt
1	Einzelmodelle im Bereich El-km 438-495, Modelluntersuchungen im Auftrag des LUA Brandenburg abgeschlossen [BAW, 1997a], [FAULHABER, 1997]	Betreiben der bestehenden Modelle für forschungsrelevante Fragestellungen
2	Modell El-km 438-495 [TSCHERNER, 1997], [BAW, 1997a], [FAULHABER, 1997]	-
3	Modell El-km 438-495 [HACK, 1996], [BAW, 1997a]	Nutzung des Modelles für Untersuchungen mit dem zweidimensionalen Modell
4	Modellaufbau und Variantenuntersuchung im Rahmen von [BAW, 1997a]	Verfeinerung des Geländemodells (neues Modell) [HAPE, KATZUR, BLEYEL, 2000] und Rechnung weiterer Varianten sowie detaillierte Auswertung bereits gerechneter Szenarien [BLEYEL, 1998], [BLEYEL, 2000], [BLEYEL, 2001a], [BLEYEL, 2001b]
5	Modellaufbau und Variantenuntersuchung (Modell mit fester Sohle) im Rahmen von [BAW, 1997a]	Untersuchung weiterer Varianten mit Geschiebekoffer (bewegliche Sohle) [FAULHABER, 2001c]
6	-	-

Tab. 2.2: Modelle für die Untersuchungen im Rückdeichungsbereich

Beim Herausgeber liegen darüber hinaus folgende Veröffentlichungen bereits vor:

[FAULHABER, 2001], [BLEYEL, 2001], [GLANDER/FAULHABER, 2001] und [GOCHT, 2001]. In der Wasserwirtschaft Wassertechnik werden voraussichtlich 2001 weitere Artikel zum Feststofftransportmodell und den aerodynamischen Modellen folgen.

Der vorliegende Schlussbericht 1999 fasst die Ergebnisse des Forschungsprojektes zusammen. Es existieren darüber hinaus umfangreiche Einzelberichte, die hier nur auszugsweise erwähnt werden können (s. Tab. 2.1 und Tab. 2.2). An den Forschungsträger bereits ausgeliefert wurden:

- Projektantrag [BAW, 1996b],
- Zwischenbericht 1997 [BAW, 1998c]
- Zwischenbericht 1998 [BAW, 1999a].

Folgende Bearbeiter waren im Forschungsprojekt tätig:

Dr.-Ing. Witte, Hans-Heinrich, während der Bearbeitungszeit stellvertretender Leiter der BAW, Abteilungsleiter Wasserbau, Hydraulik; LBDir, Projektleitung

Dipl.-Ing. Faulhaber, Petra, Referat Flusssysteme 2,

BAW, 76 187 Karlsruhe, Kußmaulstr. 17, Tel.: 0721/97 26-2630, Fax.: 0721/97 26-4710;

E-Mail: petra.faulhaber@baw.de

Arbeitsgebiete: Flussbau (numerische und experimentelle Modellierung), Projektkoordinierung

Teilprojekte:

Dipl.-Ing. Alexy, Matthias,

Referat Flusssysteme 2; BOR, Arbeitsgebiete: Morphologie (Feststofftransportmodellierung)

Dipl.-Ing. Glander, Boris

Referat Flusssysteme 2, wissenschaftlicher Mitarbeiter. Im Projekt: Zweidimensionales hydraulisch-numerisches Modell innerhalb der Erosionsstrecke der Elbe.

Dipl.-Ing. Bleyel, Birgit

Referat Flusssysteme 2, technische Mitarbeiterin, Arbeitsgebiet: Flussbau (numerische Modellierung). Im Projekt: Zweidimensionales hydraulisch-numerisches Modell im Bereich der Rückdeichung Lenzen.

Dipl.-Ing. Gocht, Martin

Referat Flusssysteme 2, technischer Mitarbeiter. Im Projekt: Hydraulisches Modell innerhalb der Erosionsstrecke der Elbe.

Die Arbeiten an den gegenständlichen Modellen wurden auf dem Gebiet der Messtechnik wesentlich durch Dipl.-Ing. (FH) Ralf Tüllner und Ing. Andreas Kieschnick geprägt. Der Modellbetrieb der Luft-

modelle lag im Wesentlichen in den Händen von Frau Augustin und Herrn Petratzek und Dipl.-Ing. Scholz.

Die Finanzierung des Forschungsprojektes durch das BMBF umfasste die Personalkosten für die zwei für das Projekt eingestellten Bearbeiter:

Dipl.-Ing. Boris Glander, 3 Jahre, 01/97-12/99 (höherer Dienst),

Dipl.-Ing. Martin Gocht, 2 Jahre, 08/97-07/99 (gehobener Dienst),

sowie Mittel für studentische Hilfskräfte und Verbrauchsmaterial.

Die **Zusammenarbeit mit anderen Stellen** gestaltete sich auf unterschiedliche Weise in den zwei Projektgebieten.

In der sog. Erosionsstrecke der Elbe werden an der BAW im Auftrag des Wasser- und Schifffahrtsamtes Dresden vielfältige Untersuchungen in Vorbereitung eines Konzeptes zur Verringerung der Eintiefung der Stromsohle durchgeführt. Diese Untersuchungen konzentrieren sich auf Maßnahmen innerhalb des Verantwortungsbereiches der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV). Die Verwaltung der Flussgebiete in Deutschland ist derart geregelt, dass für die Elbe als Schifffahrtsweg der Bund zuständig ist, für Hochwasser- und Naturschutz dagegen die jeweiligen Landesregierungen verantwortlich zeichnen. Im Rahmen des Forschungsprojektes bestand die Möglichkeit, auch Maßnahmen in die Untersuchungen einzubeziehen, die nicht allein durch die WSV realisiert werden können. Im Verlaufe des Forschungsprojektes wurden Kolloquien durchgeführt, bei denen zur Ergebnisdiskussion sowohl Vertreter der WSV als auch der Landes- und kommunalen Verwaltungen, u.a. Ländervertreter Sachsen (Staatliches Umweltfachamt Leipzig) und Sachsen-Anhalt (Landesamt für Umweltschutz Halle), StAU Dessau/Wittenberg, Biosphärenreservatsverwaltung „Mittelbe“, eingeladen wurden.

Im Gebiet der Deichrückverlegung Lenzen resultierte bereits aus den Voruntersuchungen im Auftrag des LUA Brandenburg - mit Hauptaugenmerk auf grundsätzliche Fragestellungen zur hydraulischen Wirkung verschiedener Deichrückverlegungen zwischen Wittenberge und Lenzen und zur prinzipiellen Ausführung der Rückdeichung Lenzen – eine intensive Zusammenarbeit mit der Landesanstalt für Großschutzgebiete (LAGS) Brandenburg, Naturpark Elbtalaue (später Biosphärenreservat Flusslandschaft Elbe – Brandenburg). Diese Zusammenarbeit wurde auf verschiedene Forschungsnehmer des Fördervorhabens der Landesanstalt für Großschutzgebiete Brandenburg (FKZ 0339571) ausgedehnt. So gab es nicht nur einen intensiven Datenaustausch, sondern auch vielfältige fachübergreifende Diskussionen.

Ursprünglich unabhängig vom Forschungsprojekt der BAW wurde die Zusammenarbeit mit dem Forschungsverbundvorhaben „Morphodynamik der Elbe“ (FKZ 0339566) organisiert, um Modelle, die bei der Bearbeitung originärer Aufgaben für die WSV durch die BAW eingesetzt werden, für das Forschungsverbundprojekt nachzunutzen. Dadurch sollte Doppelarbeit weitmöglichst vermieden werden. Diese Zusammenarbeit führte ebenfalls zu intensivem fachlichen Austausch. Somit wurden

nicht nur Daten von der BAW an das Verbundvorhaben übergeben, sondern in der zweiten Hälfte der Bearbeitungszeit des Verbundvorhabens konnten zunehmend auch Ergebnisse des Verbundvorhabens für Bearbeitungen der BAW u.a. auch im Forschungsprojekt genutzt werden.

3 Voraussetzungen

3.1 Erosionsstrecke der Elbe

Für die Erosionsstrecke der Elbe, in der eine langanhaltende, räumlich ausgedehnte Eintiefung der Stromsohle auch aktuell zu verzeichnen ist (s. Abb. 3.1 und z.B. [FAULHABER, 1998]), werden derzeit im Auftrag des Wasser- und Schifffahrtsamtes (WSA) Dresden in Zusammenarbeit der Bundesanstalten für Wasserbau (BAW) und Gewässerkunde (BfG) geeignete Maßnahmen für ein Gesamtkonzept zur Eindämmung der Sohlenerosion ermittelt. Zu diesem Untersuchungsprogramm gehören Analysen des vorhandenen Zustandes [z.B. BAW, 1996], Naturversuche (Geschiebezugabe [SCHMIDT/FAULHABER, 1998], [KÜHNE/SCHOßIG, 2000]) sowie numerische und gegenständliche Modelluntersuchungen an der BAW (z.B. [ALEXY, 1997]). Im Auftrag des WSA Dresden wurden in den Modellen Maßnahmen im Gewässerbett untersucht, während im Rahmen des Forschungsvorhabens die Eignung von Maßnahmen auf dem Vorland zur Verringerung der Tiefenerosion der Stromsohle geprüft wurde.

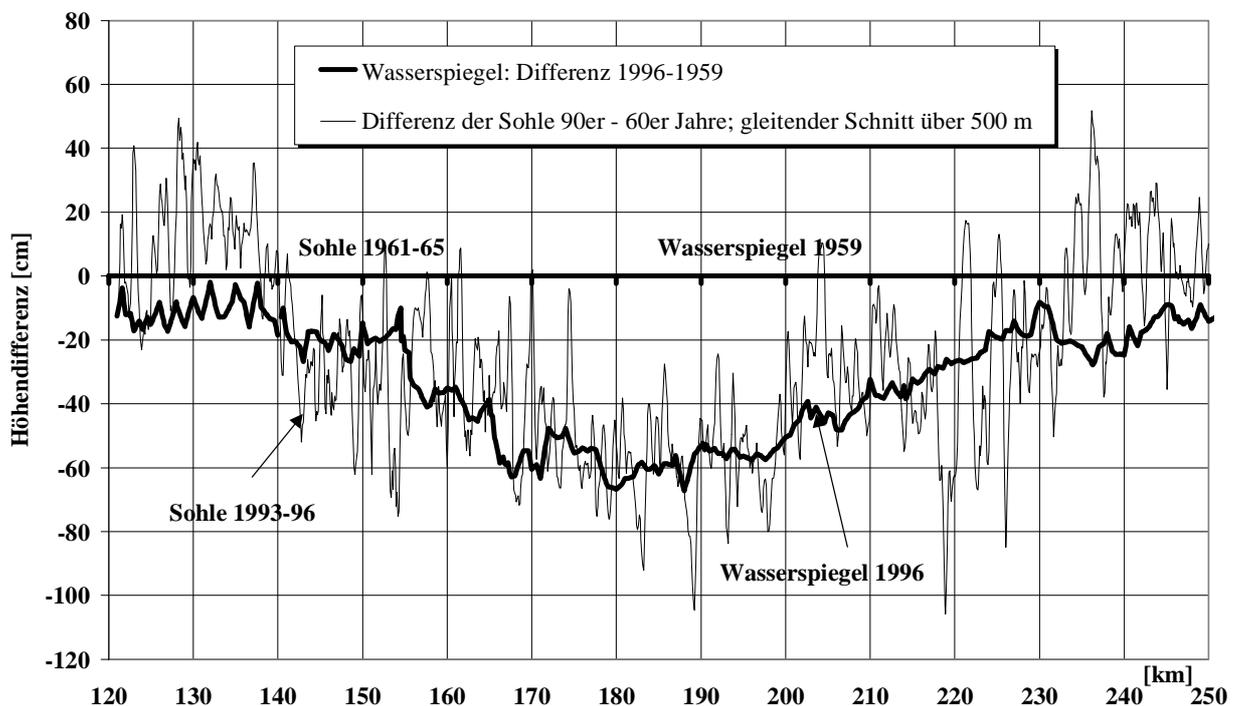


Abb. 3.1: Analyse der Sohleneintiefung an Hand von Geometriepeilungen und von auf Q_{GW}^F normierten Wasserspiegelfixierungen (Darstellung der Differenzen bezogen auf 1961-65 bzw. 1959)

Bei den Modelluntersuchungen stand das Ziel im Vordergrund, für den sich aktuell am stärksten eintiefenden (1 bis 2 cm jährlich) Bereich der Erosionsstrecke typische Abschnitte zu wählen, da generelle Kenntnisse über Maßnahmewirkungen und keine Sonderlösung für bestimmte Strecken gewonnen werden sollten. In die Erosionsstrecke wird bei allen Durchflüssen lediglich feines Material von Oberstrom eingetragen, so dass bei El-km 120 kein nennenswerter Geschiebetransport zu verzeichnen ist. Bei Wittenberg/L. (El-km 214) betragen die mittleren jährlichen sohlrelevanten Feststofffrachten (Geschiebe einschließlich bettbildendem Sandanteil) hingegen etwa 80000 t/a [SCHMIDT/FAULHABER, 1998]. Dieses Material wird zum größten Teil innerhalb der Erosionsstrecke aus der Sohle aufgenommen.

Die Besonderheit der Erosionsstrecke besteht darin, dass nicht lokal unterhalb einer Geschiebesperre (z.B. Staustufe) Erosion auftritt, sondern über einen langen Flussabschnitt bei tendenzieller Erosion sich die Sohle abschnittsweise eintieft oder auflandet. Die Stabilisierungsmaßnahmen müssen so gewählt werden, dass die Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs gewährleistet wird. Ziel der Untersuchungen im Forschungsprojekt war die Ermittlung geeigneter baulicher Veränderungen zur Verminderung der Strömungsbelastung der Flusssohle durch

- Maßnahmen im Flussbett (Veränderungen an der Flusssohle und an den Mittelwasserbauwerken),
- Maßnahmen im Flussvorland (Erhöhung des Durchflussanteils der Vorländer) und
- die Kombination dieser Maßnahmen.

Im Gesamtkonzept für die Erosionsstrecke werden ggf. folgende Maßnahmen in geeigneter Kombination Berücksichtigung finden:

Verminderung der Transportkraft im Flussschlauch durch

- Maßnahmen im Vorland: Rinnen, Altarmanschlüsse, Uferabgrabungen, Deichrückverlegungen,
- Maßnahmen im Flussbett: Modifikation der Mittelwasserbauwerke, Gefälleausgleich.

Erhöhung des Sohlenwiderstandes durch

- Sohlenabdeckung, flächigen Kolkverbau, Schwellen,
- Grobkornanreicherung bei Geschiebezugabe.

Erhöhung des Feststoffdargebotes durch

- künstliche Geschiebezugabe (Geschiebebewirtschaftung).

3.2 Deichrückverlegung bei Lenzen

Die BAW wurde 1995 vom LUA Brandenburg mit der hydraulisch-morphologischen Untersuchung von Rückdeichungsvarianten im rechten Elbevorland bei Lenzen beauftragt. Die Möglichkeit einer Rückdeichung ergibt sich im Untersuchungsraum aus der Notwendigkeit der Deichrekonstruktion, dem Wunsch nach Beseitigung hydraulischer Engstellen im Zuge der Deichrekonstruktion und der Umsetzung von

Großprojekten zur Auwaldrenaturierung und Wiederbelebung der Flussdynamik im Naturpark "Brandenburgische Elbtalau".

Im Untersuchungsraum bestehen keine akuten Hochwasserschutzprobleme, so dass eine Deichrückverlegung allein aus Gründen des Hochwasserschutzes nicht erforderlich ist. Noch immer ist die Naturausrüstung in diesem Abschnitt der Elbaue sehr vielfältig, sind typische Auenbiotope im Verbund erhalten. Allerdings sind die Bereiche, in denen freie Überschwemmungen wirken können, durch Eindeichungen stark eingeschränkt, und Auwälder fehlen fast vollständig. Im Untersuchungsraum besteht nun die Chance, Notwendigkeiten zur Deichrekonstruktion mit Naturschutzbelangen zu verknüpfen.

Im Rahmen der ersten Phase der Untersuchungen [FAULHABER, 1997] wurden die hydraulisch-morphologischen Veränderungen durch mehrere Rückdeichungen zwischen Lütkenwisch (El-km 474) und Mödlich (El-km 485) untersucht und eine Optimierung der Linienführung des neuen und der Gestaltung des alten Deiches vorgenommen. Mit Hilfe von eindimensionalen hydraulisch-numerischen Modellen wurden dazu großräumig (zwischen Gnevsdorf und Gorleben: El-km 438 bis 495) Veränderungen von Wasserspiegelhöhen, Gefälle und über Breite und Tiefe gemittelter Strömungsparameter (u.a. Fließgeschwindigkeit) sowie der zeitliche Ablauf von Hochwasserwellen und die langfristige Entwicklung der mittleren Sohlenhöhen im Flussbett für verschiedene Szenarien prognostiziert. Mit mehrdimensionalen Modellen (aerodynamisches Modell und zweidimensionales hydraulisch-numerisches Modell) konnten lokale, detaillierte Untersuchungen durchgeführt werden (Ermittlung der Strömungsrichtung und -größe, der Wassertiefen und anderer lokaler bzw. tiefengemittelter Parameter).

Eine Bewertung der Maßnahmen erfolgte unter Beachtung der Forderung, dass die Erhaltung des ordnungsgemäßen Zustandes für den Wasserabfluss und die Funktion als Bundeswasserstraße gewährleistet sein muss. Ökologische Forderungen prägten die Variantenauswahl bzw. führten zu Untersuchungen unterschiedlicher Szenarien als Grundlage für die Entscheidungsfindung.

Während in der ersten Untersuchungsphase bis 1996 wasserwirtschaftliche Fragen und prinzipielle Probleme der Ausführung im Mittelpunkt standen, wurden in der zweiten Phase im Rahmen des Forschungsprojektes ab 1997 bis 1999 spezifische Fragestellungen zu abiotischen Parametern für anschließende biotische Betrachtungen untersucht [BAW, 1999a]. In der ersten Phase wurde bei Lenzen (zwischen km 477 bis 484) die Linienführung der sog. „großen“ Deichrückverlegung untersucht, im Rahmen des Forschungsprojektes kam eine „mittlere“ Rückdeichung mit verfeinertem Geländemodell im künftigen Vorland, verschiedene Vorlandstrukturen, die intensive Auswertung von gerechneten Szenarien und die Kopplung mit dem eindimensionalen Feststofftransportmodell sowie alternative Ergebnisdarstellungen für das zweidimensionale Modell, Geschiebetransportuntersuchungen im aerodynamischen Modell und intensive Modellvergleiche hinzu.

3.3 Charakterisierung der zu untersuchenden Grundszenarien

Kennzeichnend für alluviale Fließgewässer ist die intensive Wechselwirkung zwischen dem fließenden Wasser und der Ausbildung des Flussbettes. Diese außerordentlich komplexe Wechselwirkung erschwert die Erfassung der Interaktion von Abflussvorgang und Feststofftransport und deren Auswirkungen auf die naturräumliche Ausprägung der Stromlandschaft. Alle Untersuchungsverfahren setzen einen erheblichen Abstraktionsgrad voraus, um durch Beschränkung auf jeweils wesentliche Phänomene überhaupt erst Untersuchungen mit vertretbarem Aufwand möglich zu machen. Diese notwendige Abstraktion macht eine sensible Auswahl und Anpassung verfügbarer Methoden für die konkreten Fragestellungen erforderlich.

Besonders problematisch ist die Untersuchung der Eingriffsfolgen bei Maßnahmen mit großräumiger Wirkung, bei denen eine analytische oder eindimensionale Betrachtung zur Abschätzung von Eingriffsfolgen **allein** nicht ausreichend ist. Solche großräumigen Betrachtungsweisen sind bei ausgedehnten Deichrückverlegungen oder anderen Eingriffen über lange Flussstrecken erforderlich.

Bei großräumigen Untersuchungen ergeben sich prinzipiell folgende Probleme:

- Die Eingriffe wirken sich über weite Flussstrecken aus und überlagern sich örtlich und zeitlich.
- Zur Untersuchung langer Flussabschnitte lassen sich aufgrund der großen Datenmengen bei stärkerer Diskretisierung der Modelle effektiv oft nur eindimensionale Modelle einsetzen. Diese erfordern einen hohen Abstraktionsgrad (viele Eingangsannahmen), welcher durch Erkenntnisse aus Naturbeobachtungen oder dem Betrieb feiner aufgelöster, mehrdimensionaler numerischer oder gegenständlicher Modelle (für kleinere Untersuchungsräume) plausibilisiert sein muss.
- Aufgrund der Notwendigkeit der Beschränkung der Datenmengen und der zu simulierenden Phänomene werden verschiedene Modellarten mit unterschiedlicher Zielsetzung angewendet. Diese Modelle müssen bei der Bearbeitung gekoppelt und zur Ergebnisinterpretation gemeinsam betrachtet werden.

Hochwasserproblematik:

Die Reaktivierung von natürlichen Überschwemmungsflächen durch Deichrückverlegungen wird in jüngster Zeit verstärkt in die Diskussion über mögliche Hochwasserschutzmaßnahmen einbezogen. Ihre Vorteile werden sowohl von wasserwirtschaftlicher als auch ökologischer Seite gesehen. Probleme, die sich für den Naturschutz und die verschiedenen Nutzungsarten ergeben können, müssen jedoch sorgfältig bei der Entscheidungsfindung berücksichtigt werden. Prinzipielle hydraulisch-morphologische Auswirkungen von Vergrößerung der Durchfluss- oder Retentionsfläche sind:

- Wasserspiegelabsenkung im Maßnahmebereich und Oberstrom.
- Verringerung des Anteiles des Flussbettes am Gesamtdurchfluss im Maßnahmebereich. Verringerung des Gefälles und der Fließgeschwindigkeiten im Maßnahmebereich (vermindertes Abtransportvermögen bezüglich Feststoff und Eis).

- Materialaufnahme durch den Fluss unterhalb der Maßnahme (da hier von Oberstrom geringere Feststoffmengen eingetragen werden).
- Erhöhung der Fließgeschwindigkeiten und des Gefälles oberhalb des Maßnahmebereiches (ggf. erhöhte Materialaufnahme).
- Verlängerung der Scheitellaufzeiten, Veränderung der Scheitelform, Reduzierung der Scheitelhöhe im Maßnahmebereich und unterhalb durch Retentionswirkung (in Abhängigkeit von der Gestaltung).
- Stärkere Grundwasserbildung, stärkere Verdunstung, Wasser steht länger in Vorlandbereichen (Qualmwasser), stärkere Eisbildung im Maßnahmebereich.
- Verringerung der Belastung des vom Flussschlauch weiter entfernt liegenden neuen Deiches. Ggf. Vergrößerung der Belastung des Altdeiches und der Geländesohle im Einströmbereich.
- Erhöhung der biotischen Potentiale im größeren Vorland (z.B. verstärkte Erosion und Sedimentation im Vorland, Rauheitsänderung).

Lokal und kurzzeitig kann es, besonders bei plötzlichen Querschnittsveränderungen, zu Problemen für verschiedene Nutzungsarten kommen (u.a. Auftreten von Querströmung und Anlandungen in der Fahrrinne als Problem für die Schifffahrt, Belastung von Sohle und Bauwerken im Einströmbereich am Ufer und ober- und unterhalb der Maßnahme). Es wird angestrebt, dass der Fluss langfristig ein neues morphologisches Gleichgewicht erreicht.

Bisherige Untersuchungen der BAW [BAW, 1997a] zeigten, dass nicht bewirtschaftete Retentionsflächen (ungesteuert) bei extremen Hochwasserereignissen keine wirksame Veränderung des Wellenablaufs bewirken (siehe auch großräumige Untersuchungen für mehrere Deichrückverlegungen durch Uni Karlsruhe [IHRINGER et al., 2000]).

Die Schaffung von großen Überschwemmungsflächen kommt der ökologischen Forderung nach einer Revitalisierung der Aue entgegen, da hiermit die Voraussetzungen für die Entwicklung und den Erhalt hochwassertoleranter Lebensgemeinschaften in der Flussaue geschaffen werden. Dazu müssen folgende Kriterien erfüllt sein:

- Naturnahe hydrologische Verhältnisse, d.h. periodische Überflutungen mit fließendem Wasser, wobei die Höhe der Wasserstände und die Dauer der Überflutung den Lebensgemeinschaften entsprechen muss.
- Sowohl Erosion als auch Sedimentation müssen in gewissem Umfang möglich sein.
- Für die Organismen sind möglichst viele Verbindungen zwischen dem Fluss und dem Überflutungsgebiet zu schaffen.

Das für die Auenlebensgemeinschaften wichtige Strömungsklima wird über die abiotischen Parameter definiert, um Prognosen des biologischen Entwicklungspotentials durchführen zu können. Aus ökologischer Sicht sind für die Bewertung der Habitatbedingungen im künftigen Vorland hauptsächlich

folgende Informationen zu abiotischen Parametern der fließenden Welle erforderlich: Überflutungsflächen, -höhen, -dauer, Strömungsgeschwindigkeiten.

Aussagen zu hydraulischen Parametern aus Untersuchungen unter Annahme einer unveränderlichen Sohle sind in alluvialen Fließgewässern nicht ausreichend, da durch die Wechselwirkung von fließendem Wasser und Flussbett, Variationen der hydraulischen Bedingungen Veränderungen im Feststofftransport hervorrufen, die wiederum auf die hydraulischen Bedingungen einwirken. Hier treten einerseits kleinräumige, kurzzeitige Veränderungen auf, die an hoch auflösenden Modellen untersucht werden müssen. Andererseits sind die großräumigen, langfristigen Veränderungen im Feststoffhaushalt mit stärker abstrahierenden und gröber auflösenden Modellen zu ermitteln.

Erosionsproblematik:

Andauernde, großräumige Sohleneintiefungen (hier als „Erosion“ bezeichnet) stellen sich als äußerst problematisch für die Lebensgemeinschaften in der Aue dar. Durch das fortschreitende Einschneiden des Flusses sinken die Wasserstände insbesondere bei niedrigen und mittleren Wasserständen und es kommt später zu einer Ausuferung bei höheren Abflüssen, als es vor dem Beginn des Eintiefungsprozesses der Fall war. Aufgrund des Absinkens des Grundwasserstandes und der verringerten Abflussdynamik (weniger Ausuferungen, geringere Überflutungshöhen und -weiten, oftmals nur leichte Überstauung statt der früheren Überströmung) ist der fortschreitenden Erosion aus ökologischer Sicht Einhalt zu gebieten. Die starke Bündelung des Abflusses im Gewässerbett auch bei hohen Abflüssen, begünstigt das Anhalten der Sohleneintiefung.

Gleichzeitig treten durch die Erosion Probleme für andere Nutzungsarten auf (z.B. Trinkwassergewinnung, Standsicherheit der Regelungsbauwerke). Die Stabilisierungsmaßnahmen müssen so gewählt werden, dass die Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs gewährleistet wird, was die Möglichkeiten der Zulassung von erhöhter Bettdynamik einschränkt.

Im Rahmen des Forschungsprojektes werden in der Erosionsstrecke Maßnahmen im Vorland untersucht (auch Kombination solcher mit Maßnahmen im Gewässerbett), die geeignet sind, die Sohleneintiefung im Flussschlauch zu verringern. Aussagen über Geländeänderungen in den Vorländern, wie sie aus ökologischer Sicht gewünscht sind, können hingegen nicht getroffen werden, so dass bei allen hier untersuchten Szenarien eine unveränderliche Geländeform der Vorländer angenommen wird.

4 Allgemeine Fragestellungen

4.1 Entwicklungsziele

Zur Auswahl geeigneter Szenarien bei der Untersuchung in den verschiedenen Modellen, wurden Vorüberlegungen zu realisierbaren Entwicklungszielen angestellt. Problematisch schien dabei, dass die Diskussion zum Leitbild der Elbe nicht soweit vorangeschritten war, dass hier auf abgestimmte Vereinbarungen zurückgegriffen werden konnte. Für die Untersuchung von Szenarien musste allerdings auf konkrete Entwicklungsziele Bezug genommen werden, wenn eine Variantenoptimierung erfolgen sollte. Hinderlich war dabei, dass aus ökologischer Sicht bisher kaum Randbedingungen oder

Indikator-Grenzwerte vorgegeben wurden. Bei den Untersuchungen im Rahmen des Forschungsprojektes wurden folgende Entwicklungsziele berücksichtigt:

- Stärkere Strukturierung des Flusses sowohl im Quer- als auch im Längsprofil.
- Erhöhung der Dynamik des Flusses (größere Strömungsdiversität) sowie häufigere und großräumigere Überströmungen von Vorländern.
- Eindämmung der Tiefenerosion; in der Erosionsstrecke: Anhebung der Wasserstände (außer bei Hochwasser).

Bei allen Untersuchungen wurde die Nutzung der Gesamtelbe für die Schifffahrt, sowie die Forderung nach Hochwasserneutralität der Maßnahmen berücksichtigt. Folgende Ziele wurden angestrebt:

Hydraulische Ziele bei Veränderung der Deichführung:

- Die Entfernung zwischen den Deichen soll groß sein (vor den historischen Eindeichungen lief das Hochwasser bis zu ca.10 km breit; heute beträgt der Abstand zwischen den Deichen im Mittel lediglich 1 km).
- Schardeiche sollten vermieden werden.
- Die Deiche rechts- und linksseitig des Flusslaufes sollten möglichst parallel verlaufen und keine plötzlichen Einengungen oder Erweiterungen (ohne Strömungsführung) aufweisen. Das Gefälle und die Fließgeschwindigkeit sollen keine starken Unstetigkeiten aufweisen.
- Die Vorländer sollen häufiger und stärker als bisher überströmt werden.

Hydraulische Ziele bei Maßnahmen zur Erosionseindämmung im Gewässerbett:

- Der Durchflussanteil im Gewässerbett soll verringert werden (mehr Abfluss über die Vorländer). Ungünstig sind zu hohe und kleine Vorländer, sowie starker Bewuchs bei zu geringer Durchflussfläche.
- Die Vorländer sollen bei geringeren Durchflüssen zu deren Abführung herangezogen werden als derzeit (Verringerung des Sohlenangriffs im Mittelwasserbett). Dies wird aktuell häufig durch hohe Uferwehre verhindert.
- Das Mittelwasserbett soll für Durchflüsse bis MQ kompakt bleiben (relativ großer hydraulischer Radius, d.h. möglichst große Tiefen).

4.2 Untersuchungsrelevante Durchflüsse

Zur Festlegung der Untersuchungsszenarien war für die stationären Untersuchungen die Auswahl geeigneter Durchflüsse erforderlich. Folgende Kriterien wurden für die Durchflussauswahl zu Grunde gelegt:

Hochwasserschutz
Bemessungshochwasser (BHQ) zur Ermittlung der Hochwasserneutralität der Maßnahmen,
10-25jähriges Hochwasser, da bei höheren Durchflüssen die Modellkalibrierung nicht möglich ist (keine Naturmesswerte verfügbar),
Biologisch relevant
Deutliche Überflutung der heutigen Vorländer,
Ereignis tritt jährlich bis höchstens alle 10 Jahre auf , Einströmverhalten beachten,
Unterscheidung in typische Ereignisse während und außerhalb der Vegetationsperiode. Ereignisdauer beachten.

Tab. 4.1: Untersuchungsrelevante Durchflüsse

Das Einströmverhalten konnte letztendlich nur bei instationären Untersuchungen näher betrachtet werden (eine ausgewählte Welle bei den zweidimensionalen Untersuchungen Lenzen). Hochwasserwellen wurden sonst nur für die Voruntersuchungen zum Wellenablauf bei Lenzen berücksichtigt.

An der Elbe sind Frühjahrshochwasser typisch (Länge im Mittel 40 Tage). Gelegentlich treten Sommerhochwasser auf. Aus der Literatur sind verschiedentlich Probleme durch Eishochwasser belegt. In den Untersuchungsräumen kann von deutlichen Überflutungen des heutigen Vorlandes (mittlere Tiefe etwa 1 bis 1,5 m) erst ab Durchflüssen von etwa 1800-2500 m³/s die Rede sein. Diese Hochwasserscheitelwerte treten mit einem Wiederkehrintervall zwischen 5 und 50 Jahren in der Erosionsstrecke und 2 bis 5 Jahren im Bereich der Rückdeichung Lenzen auf. Die Ausuferung beginnt in der Erosionsstrecke bei Durchflüssen von 1000 bis 1500 m³/s (0,8 bis 1,1·MHQ), im Nahbereich der Rückdeichung Lenzen zwischen 1200 und 2000 m³/s (0,6 bis 1,0·MHQ). Im Bereich Lenzen ufer die Elbe somit häufiger aus als in der Erosionsstrecke. Bei Wittenberg entspricht MHQ etwa dem 3,9fachen MQ, in Wittenberge dem 2,7fachen. In beiden Elbeabschnitten entspricht MHQ etwa einem Hochwasser mit zweijährlichem Wiederkehrintervall (HQ₂). Die langjährigen mittleren monatlichen Durchflüsse sind an der Elbe in den Monaten März und April am größten. Entlang der Erosionsstrecke sinkt die Wasserstands-differenz zwischen Talweg und HQ₅₀ von 13 m (El-km 143) auf 9 m (El-km 189,9). Im Bereich der Rückdeichung Lenzen gilt ebenfalls in etwa der letztgenannte Wert.

Morphologisch relevante Durchflüsse

Zur Betrachtung der Auswirkungen auf die Bettumbildung kann für Maßnahmen im Vorland kein generell zutreffender, stationärer, morphologisch relevanter Durchfluss angegeben werden. Grundsätzlich ist der Durchfluss, bei dem die langjährige mittlere tägliche Geschiebefracht transportiert wird, geeignet, um mit einem „bettbildenden Durchfluss“ Maßnahmewirkungen abzuleiten. Dies gilt allerdings nur dann, wenn die Eingriffe in Querschnittsbereichen durchgeführt werden, die beim ermittelten „bettbildenden Durchfluss“ strömungswirksam sind. Im Bereich der unteren Erosionsstrecke und im Umfeld der Deichrückverlegung bei Lenzen ist davon auszugehen, dass die langjährige mittlere

tägliche Geschiebefracht bei Durchflüssen um den langjährigen mittleren Durchfluss (MQ) transportiert wird. Der obere Abschnitt der Erosionsstrecke ist durch grobkornangereicherte bis abgeplattete Sohle gekennzeichnet. Hier beginnt die Sohlenumbildung erst bei Durchflüssen von etwa $2 \cdot MQ$, und es haben die hohen Durchflüsse für die Bettgestaltung wesentliche Bedeutung, bei denen die Abpflasterung aufgerissen wird. Dies äußert sich auch in der grafischen Auftrugungen der Produktfunktion aus Durchflughäufigkeit und Durchfluss-Geschiebefracht-Beziehung für einen Abschnitt mit Abpflasterung (Torgau Abb. 4.1) und einen Abschnitt mit bei allen Durchflüssen veränderlicher Sohle (Wittenberg Abb. 4.2). Diese Produktfunktion weist bei Torgau – im Gegensatz zu Wittenberg - kein deutliches Maximum auf, deutet aber auf die Prägung der Bettgestaltung bei Torgau durch hohe Durchflüsse hin. Bei der Bewertung von charakteristischen Größen für einen „bettbildenden Durchfluss“ muss die Unschärfe der eingehenden Geschiebefracht – Durchfluss - Beziehungen berücksichtigt werden.

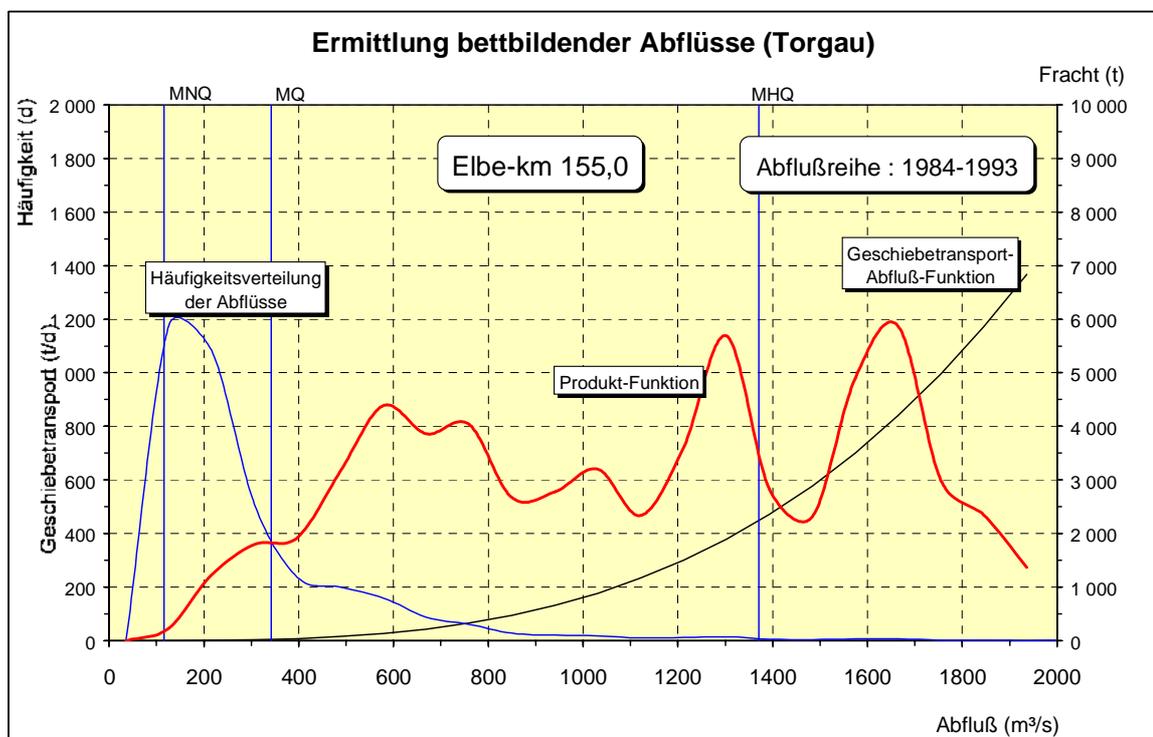


Abb. 4.1: Ermittlung des „bettbildenden Durchflusses“ für Torgau (BfG, Außenstelle Berlin)

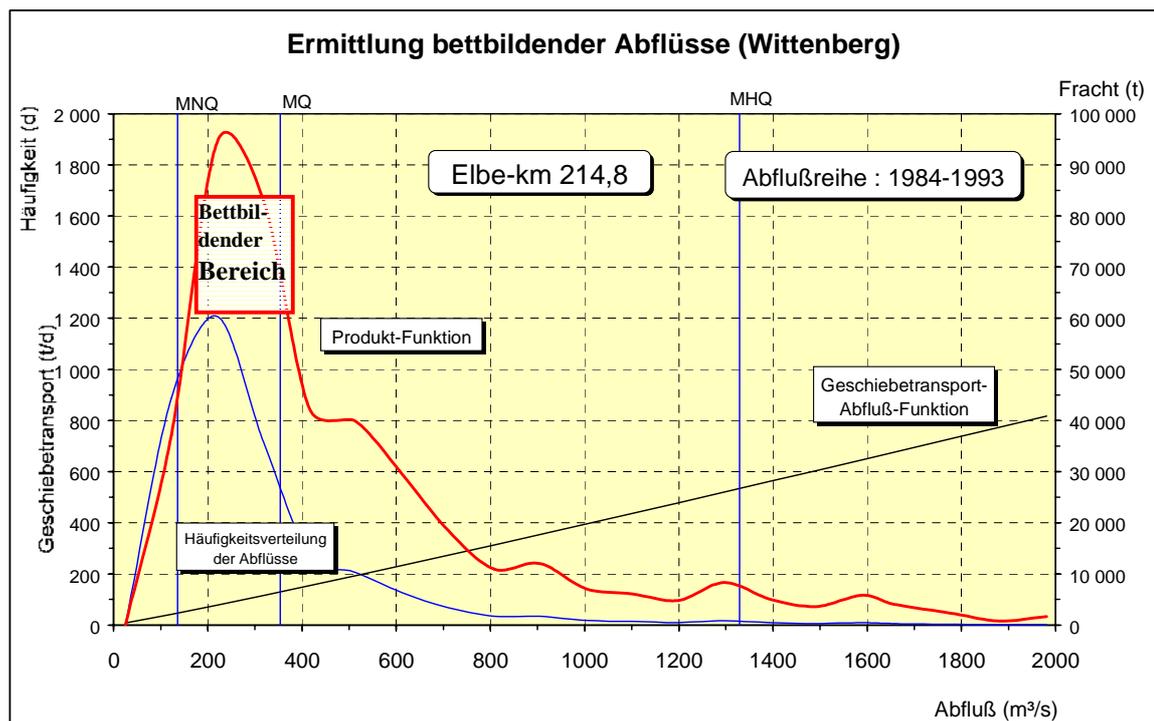


Abb. 4.2: Ermittlung des „bettbildenden Durchflusses“ für Wittenberg (BfG, Außenstelle Berlin)

In verschiedensten Untersuchungen entlang der Elbe wurden wiederholt Angaben zum Durchfluss bei Geschiebebewegungsbeginn und darüber hinaus zu den für die Bettbildung relevanten Durchflussereignissen abgeleitet. Beispielhaft wird hier für die Kennzeichnung des Geschiebebewegungsbeginnes eine Darstellung von GLAZIK in [BAW, 1996c] angeführt. Nach dieser Darstellung ergibt sich für Torgau (El-km 154) nach SCHOCKLITSCH² ein $Q_0 = 315 \text{ m}^3/\text{s}$ und für Wittenberg (hier El-km 222,5) ein $Q_0 = 42 \text{ m}^3/\text{s}$. Zum Vergleich wurde in Tab. 4.2 für die Untersuchungsräume an Hand von Mittelwerten der Durchfluss bei Geschiebebewegungsbeginn nach SCHOCKLITSCH² (als maßgebender Korndurchmesser wurde d_{50} eingesetzt) ermittelt. In den im Forschungsprojekt genutzten Feststofftransportmodellen (HEC-6) werden die Parameter zum Geschiebebewegungsbeginn für jede Kornfraktion exakt mit speziell implementierten Verfahren ermittelt (Kap. 5). Die hier angeführten überschlägigen Werte sollen lediglich die bekannte Tatsache verdeutlichen, dass am Beginn der Erosionsstrecke hauptsächlich eine grobkornangereicherte bis abgeplattete Sohle ansteht (s. [BfG, 1994]), wodurch erst ab Durchflüssen deutlich über MQ mit einem nennenswerten Geschiebetransport des anstehenden Materials zu rechnen ist. Am Ende der Erosionsstrecke ist selbst bei niedrigen Durchflüssen die Sohle in Bewegung, was auch auf den Abschnitt bei Wittenberge (Rückdeichung Lenzen) zutrifft.

² Formel von SCHOCKLITSCH in Fassung von 1943 [BOLLRICH, 1989] mit Dichte des Geschiebes $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$: $Q_0 = q_0 \cdot b$ $q_0 = 0,6 \cdot d_{40}^{3/2} \cdot I^{7/6}$, q_0 ...spezifischer Abfluss bei Beginn der Geschiebebewegung, b ...geschiebeführende Sohlenbreite, d ...maßgebender Korndurchmesser, I ...Gefälle.

El-km	d_{50} [mm]	I [‰]	b [m]	q_0 [m ³ /(s m)]	Q_0 [m ³ /s]
126	15	0,30	60	14	852
154,5	10	0,2-0,40	60	6-12,4	332-744
160	10	0,22	70	11	777
190	7	0,19	80	8	617
214	3	0,22	90	2	164
230	2	0,20	90	1	100
450-490	0,8	0,13	190	0,46	88

Tab. 4.2: Durchfluss bei Geschiebepositionsbewegung in den Untersuchungsräumen

Es ist davon auszugehen, dass extreme Hochwasserereignisse mit starkem Geschiebetransport auf Grund ihrer Seltenheit nur geringen Einfluss auf die langjährige mittlere Bettgestaltung haben. Lokal und kurzfristig sind die Wirkungen solcher Extremereignisse groß. Eingriffe auf hochliegenden Vorlandbereichen können aber bei der Untersuchung von Langfristwirkungen auf die mittleren Sohlenhöhen vernachlässigt werden. Maßnahmen, die keine Veränderung des Ausuferungsverhaltens bewirken (an der Elbe etwa $Q > \text{MHQ}$), haben langfristig i. Allg. nur geringen Einfluss auf die morphologischen Prozesse im Flussbett. Maßnahmen im Ausuferungsbereich bewirken auch aus ökologischer Sicht die größten Veränderungen (s. Entwicklungsziele). Für den Modellbetrieb lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- Bei der Nutzung eindimensionaler Feststofftransportmodelle (siehe Kapitel 5) mit quasistationärer Abbildung der Durchflussganglinie kann mit diskreten ΔQ -Schritten gearbeitet werden, die in der Größe etwas über dem langjährigen MNQ liegen, da bei diesen Ereignissen nur wenig Geschiebe transportiert wird, auch wenn sie relativ häufig auftreten.
- Die Tatsache, dass die Feststofffracht-Durchfluss-Beziehung für hohe Durchflüsse ($> \text{MHQ}$) nicht zuverlässig bekannt ist und dass Kalibriermöglichkeiten bei Hochwasser fehlen (kaum Wasserspiegelfixierungen, keine Kenntnis über die Abflussverteilung Fluss Schlauch-Vorland...) führt nicht zwangsläufig zu ungenauen Aussagen bei der Untersuchung der langfristigen hydraulisch-morphologischen Auswirkungen von wasserbaulichen Maßnahmen. Prägend für die langfristige Sohlenentwicklung sind Durchflüsse zwischen langjährigem MQ und MHQ. Als Ausnahme muss man Abpflasterungsstrecken ansehen, in denen hohe Durchflüsse wesentlich für die Bettgestaltung sind.
- Die interessierenden Veränderungen der Ausuferungsverhältnisse können für kleine bis mittlere Flussabschnitte durch zweidimensionale hydronumerische oder gegenständliche Modelle untersucht werden. Alle Modellarten stoßen bei geringen Überströmungstiefen an Grenzen der numerischen Modellierbarkeit, der Ähnlichkeit und der Messtechnik. In gegenständlichen Modellen (hydraulisch und aerodynamisch) können bei den realisierbaren Maßstäben für Vorlanduntersuchungen (große Modellflächen) Naturwassertiefen unter 1 m kaum untersucht werden.

- Kurzzeitige, lokale Veränderungen (instationäre Ereignisse) sind in Modellen nur schwer zu quantifizieren, da meist geeignete Naturdaten zur Modellkalibrierung fehlen. Für die Variantenoptimierung ist oft eine qualitativer Vergleich der Szenarien ausreichend.

4.3 Vergleich von ausufernden Durchflüssen in unterschiedlichen Untersuchungsräumen

Die Bennung von ausufernden Durchflüssen wird an dieser Stelle zum besseren Vergleich der Untersuchungsräume auf MHQ normiert. Bei diesen Betrachtungen war für Wittenberg vom MHQ 1951/90 = 1350 m³/s und für Wittenberge vom MHQ 1931/90 = 1910 m³/s ausgegangen worden. In beiden Untersuchungsräumen entspricht das MHQ etwa dem zweijährlichen, das 1,5fache MHQ etwa einem 10 jährlichen, das zweifache MHQ etwa einem 25 bis 50jährigen Hochwasser des hydrologischen Abflussjahres.

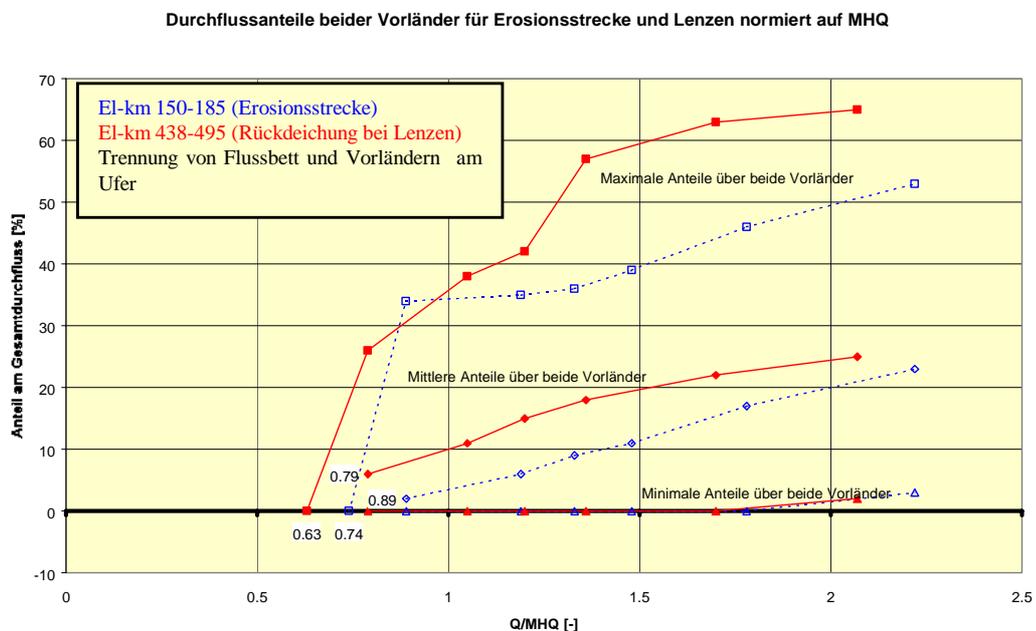


Abb. 4.3: Vergleich der Anteile der Vorländer am Gesamtdurchfluss im Querschnitt

Für die Vergleiche der über die Vorländer abgeführten Durchflussanteile in beiden Untersuchungsräumen (s. Abb. 4.3) wurde die Trennung zwischen Flussbett und Vorländern im Bereich der Ufer des Gewässerbettes vorgenommen. Die Angaben entstammen Neuberechnungen mit bestehenden eindimensionalen hydropnumerischen Modellen ([HACK, 1996], [SINGH, 1996]).

Es ist festzustellen, dass in beiden Untersuchungsräumen Bereiche ohne Vorländer (scharf liegende Deiche) auftreten. Allerdings sind in der Erosionsstrecke die Durchflussanteile der Vorländer geringer als in der Strecke um Lenzen. So werden bei dem 1,5-fachen MHQ in der Erosionsstrecke im Mittel etwa 10% (maximal 40%) und bei Lenzen im Mittel etwa 20% (maximal 60%) des Gesamtabflusses über die Vorländer abgeführt. Das lässt darauf schließen, dass in der Erosionsstrecke die fortschreiten-

de Eintiefung der Sohle im Mittelwasserbett bei stationärer Betrachtung (trotz gleichbleibender Charakteristik der in das Gebiet einlaufenden Wellen) zu einer deutlichen Veränderung der Abflussverhältnisse auch bei Hochwasser geführt hat. Angaben zur Sohleneintiefung seit den 1960er Jahren finden sich in Abb. 3.1. Die Sohle hat sich im Abschnitt des Modells El-km 163 bis 197 in 30 Jahren im Mittel 40-60 cm eingetieft.

Die Tatsache, dass durch die Eintiefung der Flusssohle größere Durchflussanteile im Bett zusammengefasst werden und es immer später zur Ausuferung kommt, wird auch durch einen Vergleich der Strömungsverhältnisse für die 1960er und 1990er Jahren in der Erosionsstrecke belegt (s. Abb. 4.4 und Abb. 4.5). In den Modellen wurden die Vorlandgeometrien für beide Zeiträume als konstant angenommen (keine Berücksichtigung z.B. ggf. auftretender Auflandungen oder Nutzungsänderungen), während die Flusssohle im Bereich der beweglichen Sohle entsprechend der ermittelten Sohlenveränderungen modifiziert wurde. Im vorliegenden Vergleich innerhalb der Erosionsstrecke wurde die Trennung zwischen Vorland und Flussbett an den Streichlinien^B (Bühnenköpfe) vorgenommen. Die so ermittelten Vorlandanteile am Gesamtdurchfluss haben in den 1990er Jahren um 10 bis 30% gegenüber den 1960er Jahren abgenommen. Die größten Veränderungen sind dabei für die biologisch relevanten Hochwasserdurchflüsse mit geringerer Jährlichkeit zu verzeichnen. So betrug in den 1960er Jahren der (ab Bühnenkopf und damit ohne Einzelausweisung der Anteile von tatsächlichem Vorland und Bereich über Bühnenrücken ermittelte) Vorlandanteil am Gesamtdurchfluss im Mittel 19 bis 40% (maximal 40-59%) während er in den 1990er Jahren auf 14 bis 37% im Mittel (maximal 30-56%) abgesunken ist.

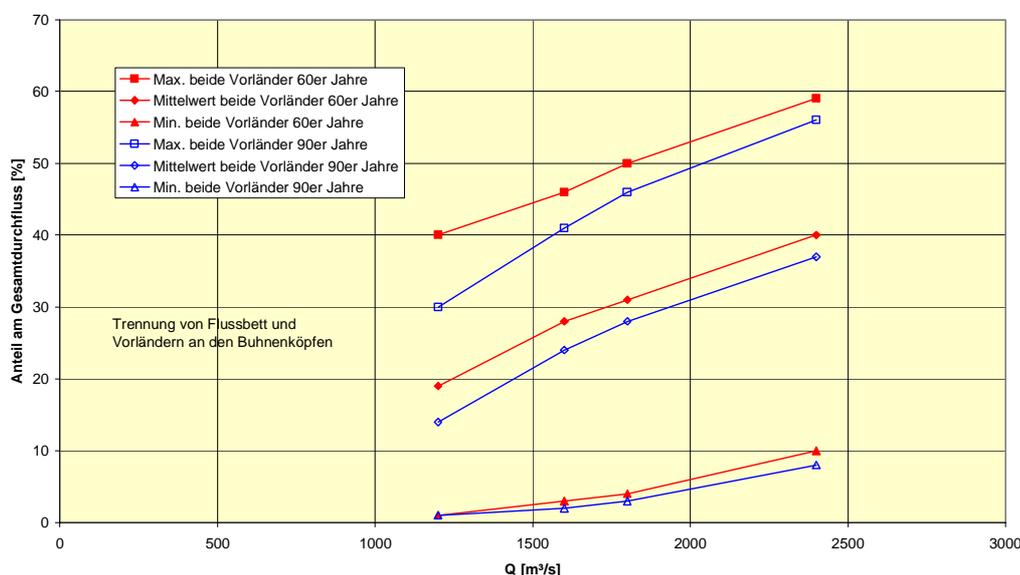


Abb. 4.4: Veränderung der Vorlandanteile am Gesamtdurchfluss zwischen 60er und 90er Jahren (El-km 163-197)

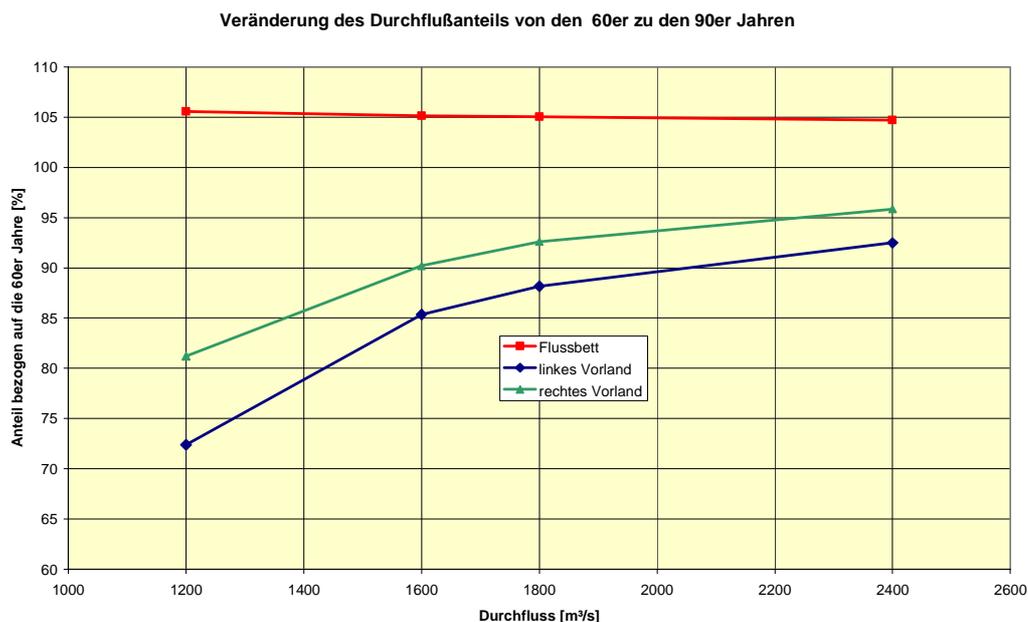


Abb. 4.5: Veränderung der mittleren Durchflussanteile für El-km 163 bis 197 von Flussbett und Vorländern zwischen 1960er und 1990er Jahren (60er Jahre = 100%)

Die Verringerung der Durchflussanteile der Vorländer geht einher mit einer Verringerung der Wasserspiegelhöhen für konstante Durchflüsse. Der Wasserspiegel folgt bei kleinen Durchflüssen nahezu der Sohle, d.h. Sohleintiefungen wirken sich bei geringen Durchflüssen am stärksten aus. Die Wirkung der Sohleintiefung nimmt mit steigendem Durchfluss ab, führt aber bei biologisch relevanten kleinen Hochwassern noch zur Verringerung der Wassertiefe um 1 bis 2 dm (s. Tab. 4.3) in 30 Jahren.

Die Verringerung der Durchflussanteile der Vorländer ist einerseits unter biologischen Aspekten von Nachteil, andererseits hat sie auch zur Folge, dass der Strömungsangriff auf die Sohle im Mittelwasserbett verstärkt wird. So erhöhte sich die mittlere Geschwindigkeit im Flussschlauch (innerhalb der Streichlinie) bei $Q = 1200 \text{ m}^3/\text{s}$ in den 1990er-Jahren um 3% gegenüber den 1960er-Jahren (s. Tab. 4.3).

Q [m³/s]	1200	1600	1800	2400
Wasserspiegel 1990er – 1960er-Jahre [cm]				
Mittel	-16	-10	-9	-7
Minimum	-12	-7	-7	0
Maximum	-28	-15	-12	-10
Mittlere Geschwindigkeiten 1990er-Jahre/1960er-Jahre [%]				
Mittel	103	102	102	101
Minimum	97	98	98	99
Maximum	121	110	106	104

Tab. 4.3: Vergleich von Wasserspiegel und mittleren Geschwindigkeiten im Flussschlauch

4.4 Alternative Formen der Ergebnisdarstellung

Alternativ zu den bisher verwendeten Darstellungen wie z.B. Diagrammen und Farbflächendarstellungen wurden für die vorliegenden Ergebnisse der Berechnungen des 2D-Modells Lenzen (Kap. 6.2) und der Untersuchungen im hydraulischen Modell (Kap. 8) weitere Darstellungsformen verwendet. Sie sollen Auskunft über den Strömungscharakter des Untersuchungsgebietes oder eines Ausschnittes davon geben.

Statistik der mit definierter Geschwindigkeit und Wassertiefe überströmten Flächen Variante 33 $Q=2300\text{m}^3/\text{s}$

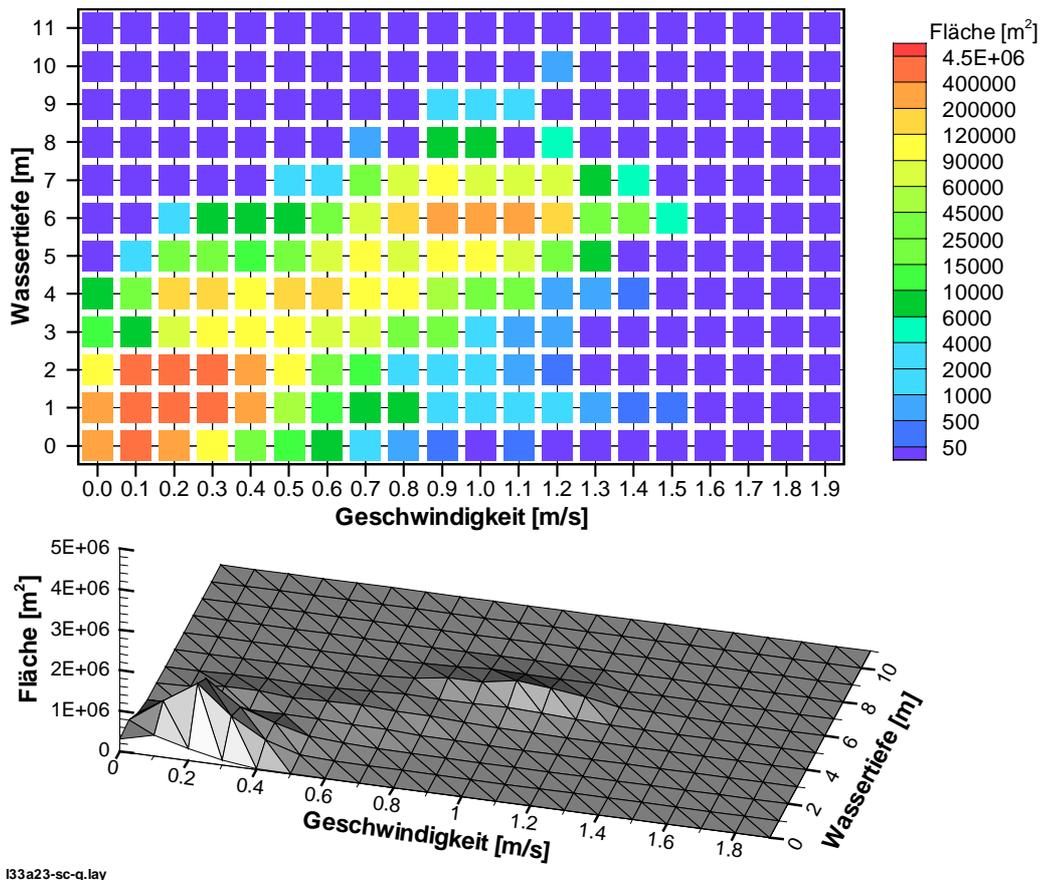


Abb. 4.6: Beispielhafte Darstellung des Strömungscharakters eines Gebietes: Summe der Teilflächen im Untersuchungsgebiet, die bei definierter Wassertiefe mit einer bestimmten Geschwindigkeit überström werden)

In Abb. 4.6 ist eine solche Auswertung als zwei- bzw. dreidimensionale Darstellung zu sehen. Jedem Knoten des 2D-Modellnetzes wird eine Teilfläche zugewiesen, die abhängig von der Größe der umliegenden Elemente ist. Alle Teilflächen werden entsprechend der am jeweiligen Knoten vorliegenden Fließgeschwindigkeit und Wassertiefe in Kategorien eingeteilt. Eine Kategorie erfasst alle Flächen, in denen für das berechnete Ereignis der Wasserspiegel und die Fließgeschwindigkeit innerhalb einer gewissen Bandbreite liegen. Zum Beispiel werden alle Flächen zusammengefasst, in denen bei einer Fließtiefe zwischen 1,0 m und 1,99 m die Fließgeschwindigkeit zwischen 0,30 m/s und 0,39 m/s liegt

(diese Kategorie ist in Tab. 4.4 hervorgehoben). Dargestellt wird dann die Summe aller Teilflächen, die der jeweiligen Kategorie zugeordnet ist. In der zweidimensionalen Darstellung sind die zugeordneten Flächen über entsprechende Farben kenntlich gemacht, während sie in der dreidimensionalen Darstellung durch die Höhe der Peaks abgebildet sind. Dadurch ist z.B. erkennbar, wie groß der Anteil flacher Gewässerbereiche mit geringer Fließgeschwindigkeit bzw. wie groß der Anteil tiefer Bereiche mit großer Fließgeschwindigkeit im Untersuchungsgebiet ist. In Tab. 4.4 sind die Daten aufgelistet, auf denen die Darstellungen in Abb. 4.6 basieren.

In diesem Beispiel wurde die Variante 33 (mittlere Rückdeichung, Kap. 6.2) bei einem Abfluss von 2300 m³/s betrachtet. Durch die in dieser Variante bereits realisierte Deichrückverlegung tritt ein Flächenpeak für Teilflächen mit geringer Wassertiefe und langsamer Strömung auf. Das Hauptgerinne wird durch den weiten Bereich mit großem Flächenanteil mit großer Fließtiefe bei schneller Strömung gekennzeichnet. Flache Bereiche mit schneller Strömung und tiefe Bereiche mit langsamer Strömung fehlen. Dabei muss angemerkt werden, dass in dem den Berechnungen zugrundeliegenden Modell Buhnen in der Modelltopografie nicht abgebildet werden, da ihre hydraulische Wirkung über entsprechende Rauheitsbeiwerte modelliert wird.

Flächen anteil [%]	Fließgeschwindigkeit [m/s]															
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	
0	2,5	4,2	2,4	0,9	0,1	0,1	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	
1	2,9	7,7	12,0	6,4	2,5	0,4	0,1	0,1	0,1	-	-	-	-	-	-	
2	0,9	3,8	9,6	4,9	2,6	0,8	0,3	0,1	-	-	-	-	-	-	-	
3	0,1	0,1	0,7	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6	0,2	0,2	-	-	-	-	-	
4	0,1	0,4	1,2	1,3	0,8	1,0	1,1	0,8	0,8	0,4	0,2	0,1	-	-	-	
5	-	-	0,3	0,3	0,1	0,2	0,5	0,9	0,7	0,8	0,9	0,6	0,3	0,1	-	
6	-	-	-	0,1	0,1	0,1	0,2	0,6	1,6	1,7	2,9	2,3	1,5	0,2	0,2	
7	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,5	0,9	0,7	0,7	0,7	0,1	-	
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	0,1	-	-	-	-	

Tab. 4.4: Liste der jeweiligen Anteile an der Gesamtfläche (12,3 km²), die bei definierter Fließtiefe mit bestimmter Geschwindigkeit überströmt werden

Diese Darstellungen dienen zu einer Beschreibung der Verteilung der Strömung anhand der Wassertiefen. Beim Variantenvergleich können vor allem großräumige Veränderungen beobachtet werden. Zudem wird bei dieser Art der Darstellung beschrieben, wie groß die Vielfalt der im Gebiet vorhandenen unterschiedlichen Strömungsbereiche ist, die wiederum Rückschlüsse darauf zulässt, wie groß die Vielfalt der Habitate unterschiedlicher Spezies ist. Die Darstellungen wurden angeregt durch Klassifizierungen von Fließgewässern bei z.B. Gewässerstrukturgütekartierungen (s. [DVWK, 1997]). Inwiefern solche Darstellungen abiotischer Parameter für die Bewertung biotischer Fragestellungen geeignet sind, muss in der interdisziplinären Fachdiskussion noch geklärt werden. Anregungen werden gerne aufgenommen.

Weitere ähnlich geartete Darstellungen wurden aus den Oberflächengeschwindigkeiten im hydraulischen Modell (s. Kap. 8) abgeleitet. Hier wurden nur Fließgeschwindigkeitsklassen gebildet und deren Häufigkeitsverteilung für verschiedene Varianten verglichen.

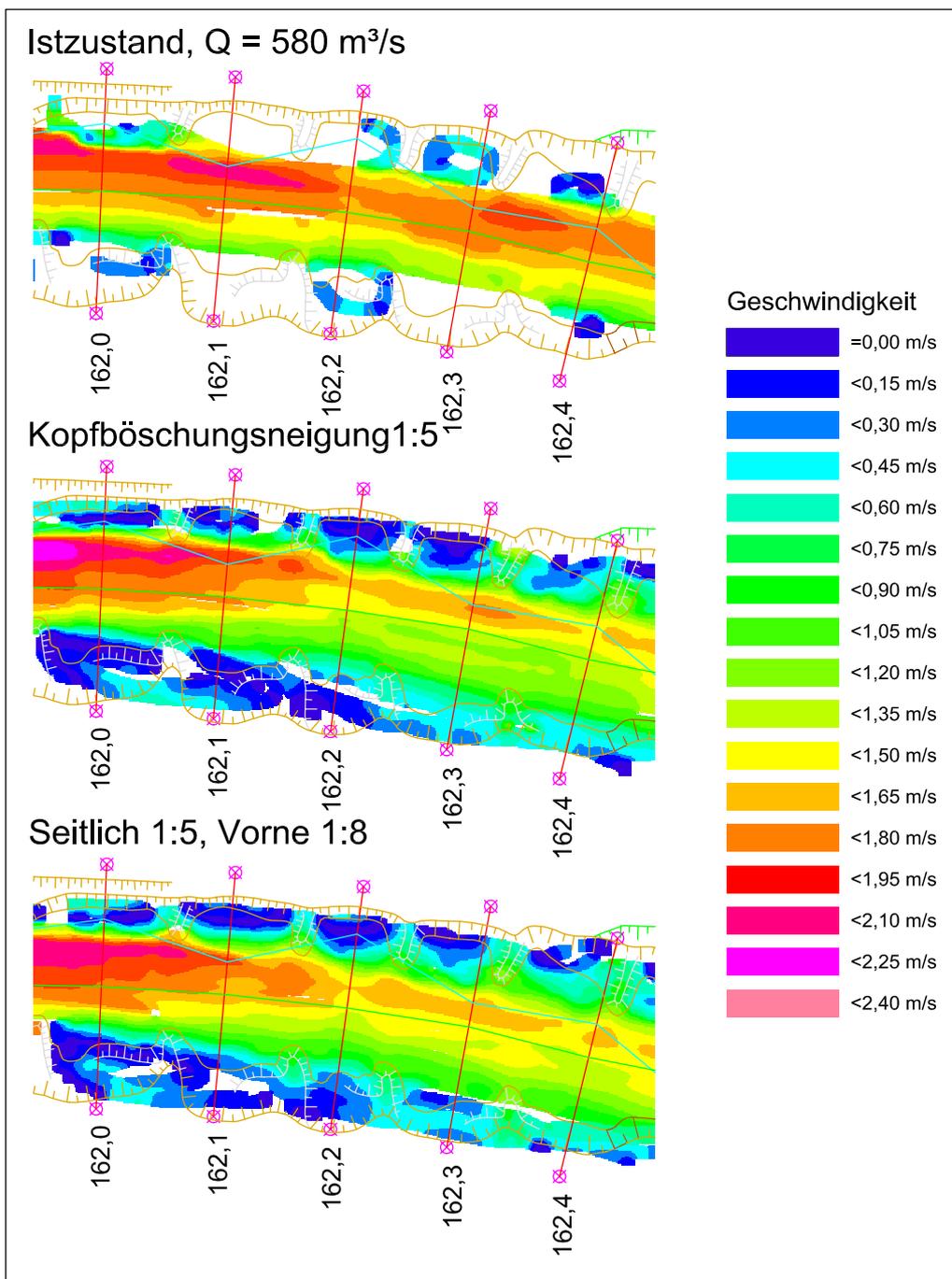


Abb. 4.7: Bunnvarianten im Bereich des zweiseitigen Ausbaus, Elbe-km 162,0 bis 162,4

Ausgehend von Farbflächengrafiken wie in Abb. 4.7 dargestellt, wurden zur besseren Bewertbarkeit dieser Darstellungen für signifikante Abschnitte Differenzen der Mittelwerte relevanter Parameter aufgetragen. So wurden in Abb. 4.8 beispielhaft die Differenzen der Oberflächengeschwindigkeiten in

sechs Filterbereichen für verschiedene Bühnenmodifikationen im Vergleich zum Nullzustand dargestellt.

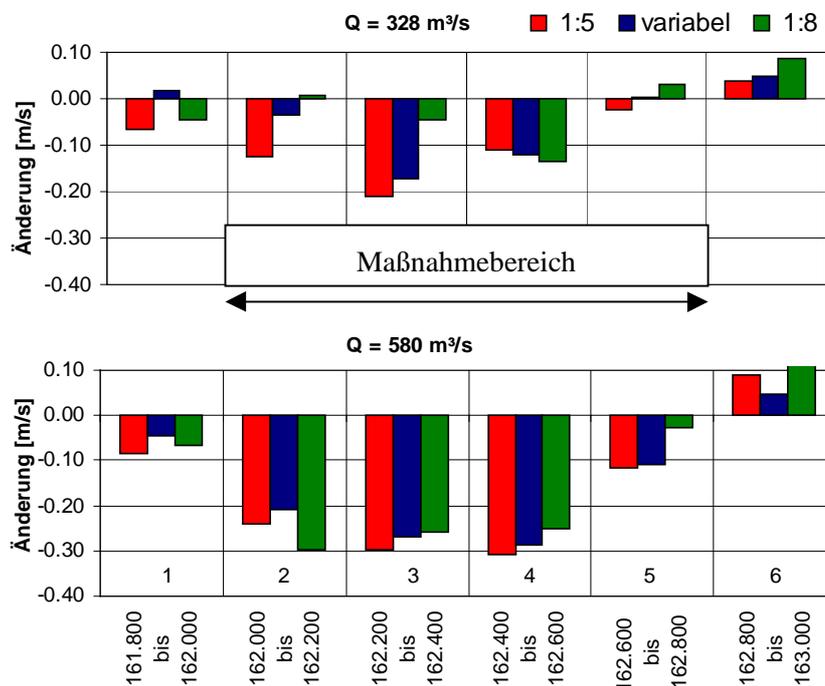


Abb. 4.8: Veränderung der Oberflächengeschwindigkeit durch Bühnenabsenkung (Modell Mockritz-Döbern)

In Abb. 4.9 sind dagegen die Häufigkeiten der Belegung verschiedener Geschwindigkeitsklassen dargestellt, was als Grundlage für die weiterführenden biotische Bewertung der Maßnahmen zur Ergebnisdarstellung angeboten wird.

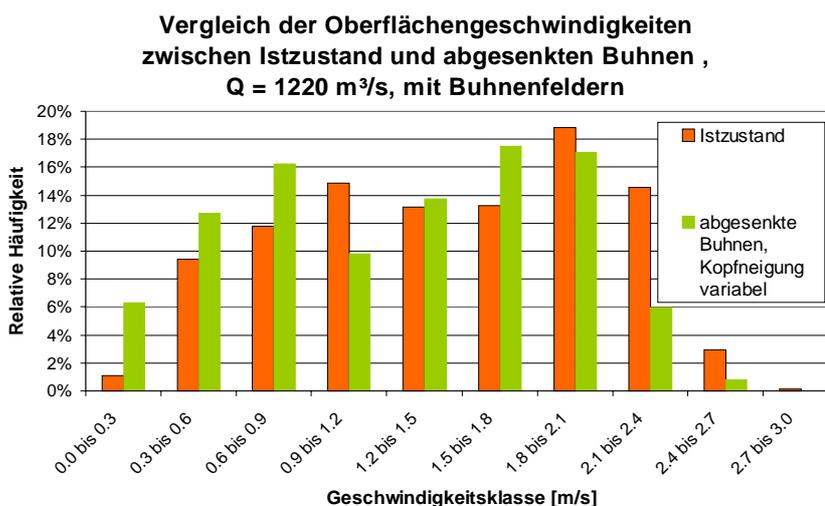


Abb. 4.9: Häufigkeit der Geschwindigkeitsklassen bei ausgewählten Varianten des hydraulischen Modells Mockritz-Döbern