



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 -

BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU

Karlsruhe • Hamburg • Ilmenau

(B A W)

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 -

Gutachten für den Auftraggeber:

Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF)
Projektträger Biologie, Energie, Umwelt - BEO
Forschungszentrum Jülich GmbH
Wallstr. 17-22
10179 Berlin

Als Teilprojekt des Forschungsprojektes des BMBF:

Ökologische Forschung in der Stromlandschaft Elbe (Elbe-Ökologie)

Teilkonzept „Ökologie der Fließgewässer“

Förderkennzeichen des BMBF:	0339575
Förderzeitraum:	1.1.1997 – 31.12.1999
Aufgestellt von :	Abteilung: Wasserbau im Binnenbereich
	Referat: W2, Flusssysteme II
	Projektleiter: Dr.-Ing. Hans-Heinrich Witte
	Projektkoordinatorin: Dipl.-Ing. Petra Faulhaber

Karlsruhe, November 2000

Das Gutachten darf nur ungekürzt vervielfältigt werden. Die Vervielfältigung und eine Veröffentlichung bedürfen der schriftlichen Genehmigung der BAW

Zusammenfassung

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) erstellten Forschungskonzeptes zur „Ökologischen Forschung in der Stromlandschaft der Elbe (Elbe-Ökologie)“ wurde durch die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) im Teilbereich „Ökologie der Fließgewässer“ ein Forschungsprojekt mit dem Titel „Untersuchung der Auswirkung von Maßnahmen im Elbevorland auf die Strömungssituation und die Flussmorphologie am Beispiel der Erosionsstrecke und der Rückdeichungsgebiete zwischen Wittenberge und Lenzen“ (FKZ 0339575) durchgeführt. Das Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen finanzierte das von Januar 1997 bis Dezember 1999 laufende Projekt zu 50 %.

An der Elbe sind von unterschiedlicher Seite Veränderungen der Vorländer geplant, so z.B. Deichrückverlegungen aus Gründen der Auenregeneration oder des Hochwasserschutzes, Veränderung der Vorlandvegetation (z.B. Auwaldentwicklung), die Schaffung von Flutrinnen und Abtragung von Uferrehnen zur Erosionseindämmung im Mittelwasserbett. Die Auswirkungen auf die Strömungssituation und Morphologie wurden untersucht, wobei die zu betrachtenden Flussabschnitte aufgrund der Ausdehnung der Eingriffsgebiete sehr groß waren. Gleichzeitig wurden für die Ausführungsplanung und die Bewertung der Habitatbedingungen auch kleinräumige Angaben zu den abiotischen Parametern erwartet. Ein Hauptaugenmerk der Untersuchungen im Rahmen dieses Forschungsprojektes lag auf der Herausarbeitung der abiotischen Parameter des oberflächigen Durchflusses (z.B. Wasserstände, Fließgeschwindigkeiten, Sohlenhöhen, Feststofftransportgrößen) für weiterführende biotische Betrachtungen.

Es wurden zwei Strecken unterschiedlicher Charakteristik betrachtet, die jeweils durch starke morphologische Veränderungen gekennzeichnet sind. Während es in der sog. Erosionsstrecke (Elbe-km 120 – 230, Riesa bis Wittenberg/Lutherstadt) auch aktuell anhaltend zu großräumigen Sohleneintiefungen kommt, ist die Strecke zwischen Havelmündung und Gorleben (Elbe-km 438 - 495) durch starke Transportkörperbildung (wandernde Unterwasserdünen) bei gleichbleibender mittlerer Sohlenhöhe gekennzeichnet.

Für zwei an der Elbe typische Eingriffsszenarien (verschiedene Maßnahmen zur Erosionseindämmung und Realisierung einer Deichrückverlegung zur Auwaldentwicklung) wurden durch Anwendung verschiedener gegenständlicher und numerischer Modellarten (neun Modelle im Bereich der Erosionsstrecke, sieben Modelle im Raum Lenzen) die Wirkungen der Veränderungen von Geometrie und Bewuchs (Rauheit) im Vorland auf das Feststofftransportregime untersucht. Durch den Einsatz von Simulationsmodellen unterschiedlicher Auflösung und Abstraktionsgrade wurden Methoden zur effektiven Untersuchung von Eingriffsfolgen für großräumige Untersuchungsgebiete ermittelt.

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 Geschiebepositionsbeginn 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 Schlitten	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

1 Zielstellung und Untersuchungsmethodik

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) erstellten Forschungskonzeptes zur „Ökologischen Forschung in der Stromlandschaft der Elbe (Elbe-Ökologie)“ wurde durch die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) im Teilbereich „Ökologie der Fließgewässer“ ein Forschungsprojekt mit dem Titel „Untersuchung der Auswirkung von Maßnahmen im Elbevorland auf die Strömungssituation und die Flussmorphologie am Beispiel der Erosionsstrecke und der Rückdeichungsgebiete zwischen Wittenberge und Lenzen“ (FKZ 0339575) durchgeführt. Das Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen finanzierte das von Januar 1997 bis Dezember 1999 laufende Projekt zu 50 %.

Die Entwicklung der Strömungsverhältnisse und der Gestalt von Fluss und Aue stellen sich auf Grund unterschiedlicher Randbedingungen ein, die natürlich (u.a. Untergrund- und Gefälleverhältnisse, Talform und Flussgeometrie, Niederschlags- und Abflussverhältnisse im Einzugsgebiet) oder anthropogen bedingt sind. Die anthropogenen Eingriffe haben sehr vielgestaltige gewünschte und unerwünschte Wirkungen und sind den unterschiedlichen Nutzungsanforderungen geschuldet, z.B.:

- Veränderung der Durchflussflächen (Eindeichung oder Ausdeichung) : Früher - Vergrößerung der durch den Fluss nicht beeinflussten Flächen mit dem Ziel land- und forstwirtschaftlicher Nutzung, zur Schaffung von Siedlungsflächen, Gewerbegebieten und Verkehrsflächen; heute - Vergrößerung der durch den Fluss beeinflussten Flächen zum Hochwasserschutz und aus ökologischen Gründen (Erhalt der auetypischen Flora und Fauna).
- Veränderung der Abflussanteile von Flussbett und Vorland durch Einbauten im Vorland, Veränderung der Vorlandvegetation, Änderung der Bauwerke (z.B. Buhnen) im Gewässerbett (Kap. 8).

Die Auswirkungen anthropogener Eingriffe in das Vorland eines großen Fließgewässers, auf dessen Abflussverhalten, die Morphologie und deren Dynamik können derzeit nur unzureichend abgeschätzt werden.

Im Rahmen des Forschungsprojektes der BAW wurden Auswirkungen solcher Maßnahmen auf die Strömungssituation und Morphologie untersucht. Ein Hauptaugenmerk der Untersuchungen lag auf der Herausarbeitung der abiotischen Parameter des oberirdischen Durchflusses und seiner Wirkungen (z.B. Wasserstände, Fließgeschwindigkeiten, Sohlenhöhen, Feststofftransportgrößen) für weiterführende biotische Betrachtungen. Mit verschiedenen physischen (gegenständlichen) und numerischen (mathematischen) Modellen wurden unterschiedliche Szenarien des Umgangs mit dem Flussvorland analysiert, um hieraus optimierte Nutzungsvarianten ableiten zu können. Solche Szenarien sind u.a. Deichrückverlegungen zur Auenregenerierung, aus Hochwasserschutzgründen oder zur Erosionseindämmung, Veränderung der Vorlandvegetation zur Auwaldentwicklung sowie Vergrößerung des über die Vorländer abgeführten Durchflussanteils (Schaffung von Vorlandrinnen und Anbindung von Altgewässern sowie Abtragen von Uferreihen zur Verringerung der Sohlenerosion im Gewässerbett). Die Eingriffe der genannten Szenarien haben großräumige Auswirkungen, weshalb bei der Untersuchung entsprechend große Flussabschnitte betrachtet werden mussten. Andererseits waren zur Ab-

schätzung lokaler Eingriffsfolgen z.B. für weiterführende biotische Betrachtungen auch kleinskalige Untersuchungen von Teilabschnitten der Gesamtuntersuchungsgebiete mit Hilfe fein auflösender bzw. großmaßstäblicher Modelle erforderlich. Durch die Kopplung verschiedener Modelle unterschiedlicher Diskretisierung und Abstraktionsgrade (s. Tab. 1.1) wurden Methoden zur effektiven Untersuchung von Eingriffsfolgen für großräumige Untersuchungsgebiete ermittelt.

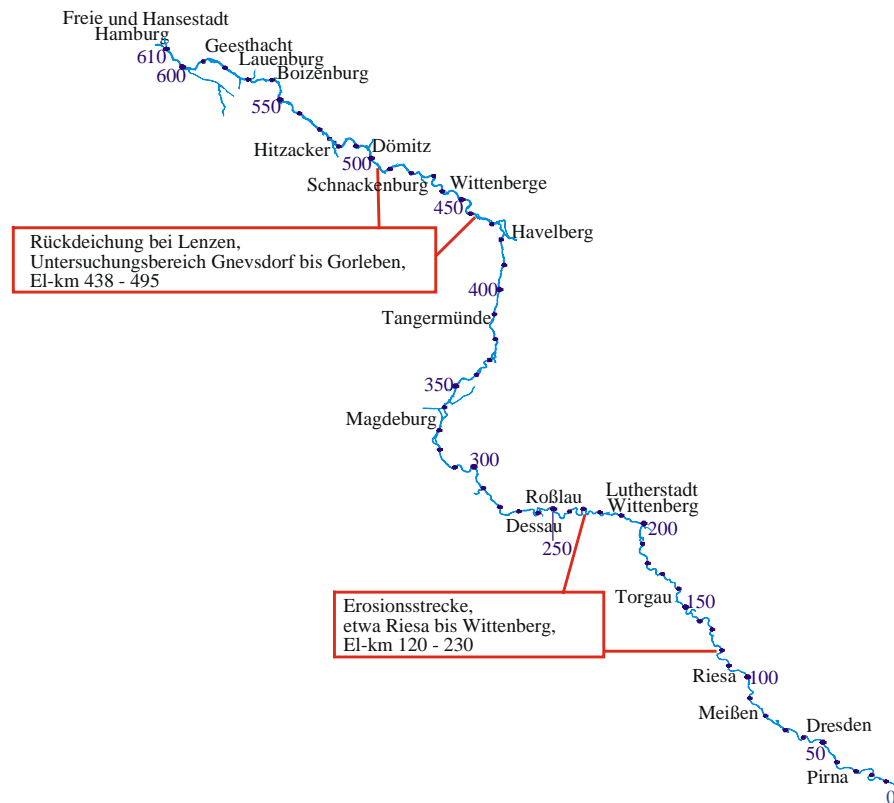


Abb. 1.1: Übersicht der Untersuchungsgebiete

Es wurden zwei Strecken unterschiedlicher Charakteristik betrachtet, die jeweils durch starke morphologische Veränderungen gekennzeichnet sind. Während es in der sog. „Erosionsstrecke“ etwa zwischen Riesa und Lutherstadt Wittenberg (Elbe-km 120 - 230) auch aktuell anhaltend zu großräumigen Eintiefungen der Flusssohle kommt, ist die Strecke zwischen Havelmündung und Gorleben (Elbe-km 438 - 495) durch starke Transportkörperbildung (wandernde Unterwasserdünen) bei im langjährigen Mittel etwa gleichbleibender mittlerer Sohlenhöhe gekennzeichnet.

In der Erosionsstrecke werden Maßnahmen zur Eindämmung der anhaltenden Sohleneintiefung im Auftrag der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in deren Zuständigkeitsbereich (Gewässerbett^{A1}) bereits intensiv untersucht. Möglichkeiten zur Minderung der Erosion durch gleichzeitige Veränderungen im Vorland (u.a. Berücksichtigung der vom Staatlichen Amt für Umweltschutz - StAU -

¹ Glossar als Endnoten

Dessau/Wittenberg vorgeschlagene Deichrückverlegung) und deren Auswirkungen auf Strömungs- und Feststofftransportverhältnisse wurden innerhalb des Forschungsprojektes geprüft.

Oberhalb von Lenzen ist eine Deichrückverlegung zur Auwaldentwicklung geplant. Um die weiträumigen Eingriffsfolgen analysieren zu können, umfasst das Untersuchungsgebiet für einige Modellarten den Bereich von der Havelmündung (Gnevsdorf) bis Gorleben (Elbe-km 438 bis 495).

Die zu untersuchenden Maßnahmen zielen auf die Entwicklung einer höheren Dynamik und naturnähere Verhältnisse in der Aue. Trotz der angestrebten Naturnähe können Zielkonflikte nicht nur bezüglich der unterschiedlichen Nutzungsformen, sondern auch bezüglich des Arten-, Biotop- und Landschaftsschutzes auftreten. Zur Klärung dieser Zielkonflikte wurden im Zuge dieses Projektes Analyse- und Prognoseinstrumente für die abiotischen Parameter eingesetzt. Einen wesentlichen Anteil der Arbeiten umfasste die methoden- und gebietsübergreifende Auswertung der Ergebnisse.

Die Ausdehnung der Einzelmodelle (Modellart entsprechend der Nummerierung in Tab. 1.1) ist der Übersicht in Tab. 1.2 zu entnehmen.

	Modellart	Ziel der Untersuchungen
	Numerische Modelle:	
1	eindimensional-hydrnumerisch, stationär, mit fester Sohle	Berechnung von stationären Wasserspiegelhöhen und über Breite und Tiefe gemittelten Strömungsparametern, auch für lange Untersuchungsabschnitte (bis über 100 km)
2	eindimensional-hydrnumerisch, instationär, mit fester Sohle	Berechnung des Wellenablaufs, hauptsächlich für lange Untersuchungsabschnitte (mit 2D-Zellen)
3	eindimensional-hydrnumerisch, quasistationär, mit Feststofftransport	Berechnung der langfristigen mittleren Veränderung von Wasserspiegel- und Sohlenhöhen sowie über Breite und Tiefe gemittelter Strömungsparameter für lange Untersuchungsabschnitte
4	Zweidimensional-hydrnumerisch, stationär und instationär mit fester Sohle	stationäre und instationäre Berechnung der flächenhaften, zeitabhängigen Verteilung der Wasserspiegelhöhen und tiefengemittelter Strömungsparameter für einen mittelgroßen Flussabschnitt (bis etwa 20 km)
	Gegenständliche Modelle:	
5	Aerodynamisch, stationär mit fester Sohle u. „Geschiebekoffer“ (bewegliche Sohle in einem Abschnitt des Flussschlauches)	Erhebung räumlicher Strömungsparameter für einen mittelgroßen Flussabschnitt und Ermittlung der Reaktion der Stromsohle über verschiedene Tracerverfahren
6	Hydraulisch, stationär, mit fester Sohle und Tracer	Erhebung räumlicher Strömungsparameter im engen Messraster für einen kleinen Flussabschnitt (bis etwa 5 km)

Tab. 1.1: Im Forschungsprojekt eingesetzte Modellarten

Modellart	Erosionsstrecke	Rückdeichung Lenzen
1	mehrere Modelle im Bereich km 120-235,6	mehrere Modelle im Bereich km 438-495
2	-	Modell El-km 438-495
3	mehrere Modelle im Bereich km 120-235,6	Gesamtmodell El-km 438-495
4	Modell für El-km 182-194	Betrieb eines bestehenden und eines neuen Modells El-km 475-485,5
5	Modell für El-km 187-191	Untersuchung am bestehenden Modell km 474,2-484,1 mit „Geschiebekoffer“
6	Modell für El-km 160,2-164	-

Tab. 1.2: Eingesetzte Modelle in den zwei Untersuchungsgebieten

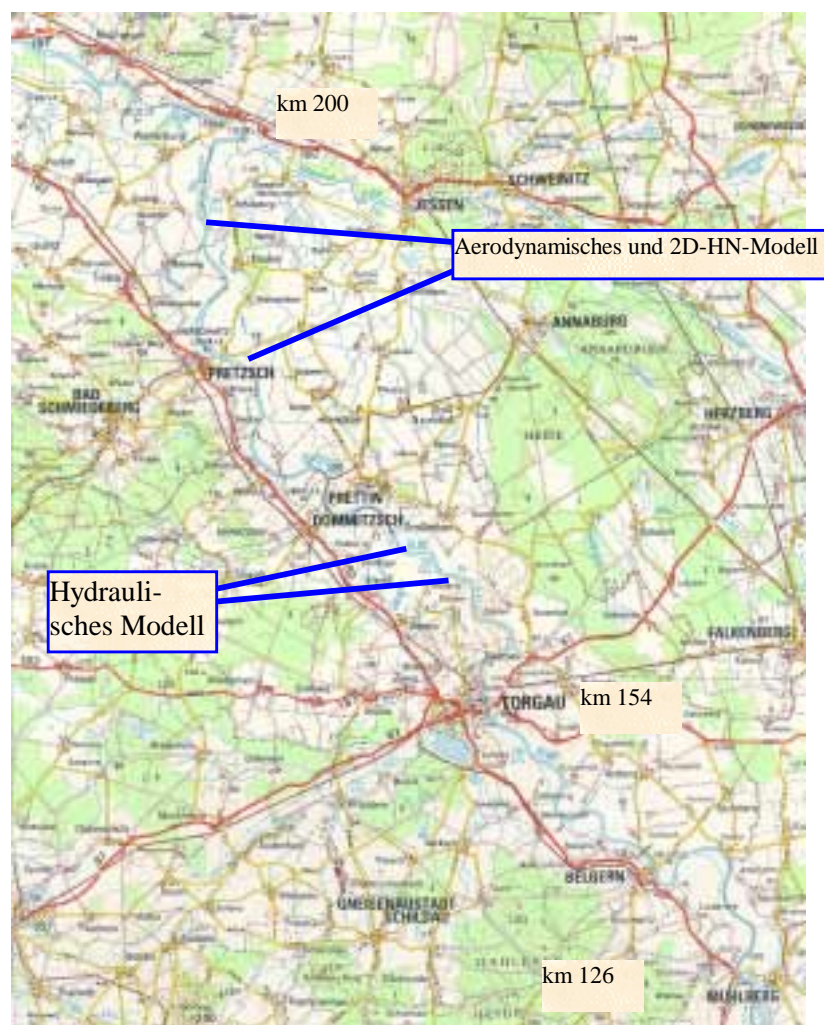


Abb. 1.2: Lage der kleinen und mittelgroßen Modelle in der Erosionsstrecke

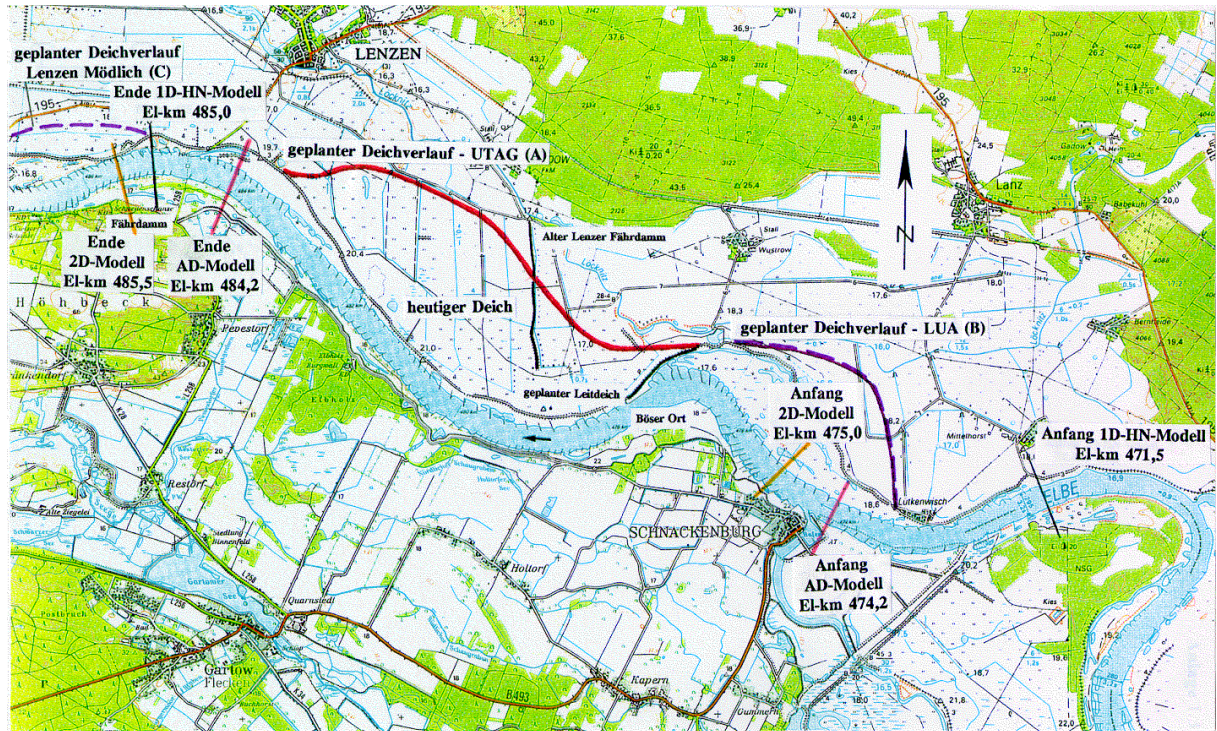


Abb. 1.3: Modelle mit mittelgroßem Untersuchungsbereich zur Rückdeichung Lenzen

	2D-HN Modell Klöden	Hydraulisches Modell Mockritz-Döbern
Abflussfläche bei $Q = 1220 \text{ m}^3/\text{s}$	246 m^2	55 m^2
Sohlbreite	70 m	5 m
Böschungsneigung	1:3	1:3
Vergleichsquerschnitt Elbe-km	190,0 (Engstelle)	163,1
Änderungen durch Rinne im Maßnahmenbereich		
Abfluss in der Rinne	172 m^3/s	59 m^3/s
Abflussanteil	14 %	5 %
ΔQ Hauptstrom	10,4 %	?
v_m Rinne	1,89 m/s	1,1 m/s
Δv_m Hauptstrom	-0,18	?
Δ WSP im Hauptstrom	-0,12 m in Engstelle - 0,17 m (max bei km 188,2)	

Tab. 9.3: Tabellarischer Vergleich der mittelgroßen Modelle mit Vorlandrinnen

10 Schlussfolgerungen aus den Untersuchungen im Forschungsprojekt

10.1 Erosionsstrecke

Die verschiedenen Untersuchungen in der Erosionsstrecke der Elbe, auch im Rahmen des Forschungsprojektes, zeigten, dass entsprechend der unterschiedlichen Strömungs- und Feststofftransportcharakteristik entlang der Erosionsstrecke Maßnahmen sorgfältig gewählt werden müssen, die hydraulisch-morphologisch, ökologisch und nicht zuletzt ökonomisch geeignet sind, die Sohleneintiefung im jeweiligen Abschnitt zu verringern. Dabei müssen sowohl lokale als auch großräumige sowie langfristige Wirkungen gleichermaßen bei der Entscheidungsfindung berücksichtigt werden.

Die außerhalb des Forschungsprojektes untersuchte Geschiebewardirtschaftung wird voraussichtlich das Standbein des Gesamtkonzeptes darstellen. Zwar führt – wie sich in der Elbe von der tschechisch-deutschen Grenze bis etwa Riesa zeigt - ein Geschiebedefizit nicht automatisch zu einer fortschreitenden Sohleneintiefung, jedoch etwa ab Torgau (und auch unterhalb der Erosionsstrecke) weist die Elbsohle eine Kornzusammensetzung auf, die bei fehlendem Geschiebeeintrag von Oberstrom bei den vorliegenden hydraulischen Verhältnissen zu einer anhaltenden Eintiefung der Flusssohle führte. Das bedeutet, dass das alleinige Anwenden von Maßnahmen zur Erhöhung des Sohlenwiderstandes oder zur Verringerung der Transportkraft innerhalb der Erosionsstrecke die Probleme der Sohlenerosion lediglich in die Unterstrom gelegene Strecke verlagerte.

- Im oberen Abschnitt der „Erosionsstrecke“ (etwa km 120 bis 154) steht grobes Sohlmaterial an ($d_m = 15 \text{ mm}$ bis 35 mm), welches erst bei höheren Durchflüssen (etwa $800 \text{ m}^3/\text{s}$) mobilisiert wird. Im

größten Teil dieses Abschnittes sind keine vordringlichen Maßnahmen zur Erosionsminderung nötig, da aktuell keine großen Eintiefungsgeschwindigkeiten auftreten. Wenn erforderlich, sind hier jedoch hauptsächlich Maßnahmen in den Vorländern zur Verringerung der Sohlenerosion im Flussbett vorzunehmen, da in erster Linie das Transportvermögen im Flussbett bei nahezu bordvollem Durchfluss verringert werden muss. Darüber hinaus sind in diesem Abschnitt ggf. Maßnahmen zum Gefälleausgleich erforderlich.

- Im unteren Abschnitt der Erosionsstrecke ist die Sohle bereits bei mittlerem Durchfluss voll in Bewegung ($d_m = 5$ bis 15 mm). Hier sind neben einer Geschiebemanagement kombinierte Maßnahmen im Flussbett und im Bereich des gerade ausufernden Durchflusses sinnvoll.
- Die Absenkung der Buhnen hat sich kleinräumig bei geeigneten Randbedingungen als eine sinnvolle Maßnahme zur lokalen Verminderung der Sohlenerosion erwiesen. Als Randbedingung müssen die benachbarten Strecken deutlich weniger erosionsgefährdet sein als der Maßnahmebereich, da ober- und unterstrom die Belastung der Sohle verstärkt wird. Die Buhnenabsenkung unter Beibehaltung der Strömungsverhältnisse bis Mittelwasser ist – ebenso wie die Maßnahmen im Vorland (Flutrinnen) – besonders in den Abschnitten der Erosionsstrecke der Elbe sinnvoll einsetzbar, in denen die Sohleneintiefung im Wesentlichen durch höhere Durchflüsse hervorgerufen wird. Im unteren Teil der Erosionsstrecke kann ggf. eine geringfügige Aufweitung des Durchflussquerschnittes auch unter Mittelwasser zur Erosionsminderung sinnvoll sein, sofern eine ausreichende Fahrwassertiefe vorhanden ist.
- Uferabgrabungen können in Abschnitten, in denen die Ausuferung ins Vorland durch Uferrehnen verhindert wird oder bei denen der Durchflussquerschnitt etwa bei zwischen mittleren Durchflüssen bis mittleren Hochwassern zu gering ist (z.B. enge Krümmungen), lokal erosionsmindernd wirken. Auch hier ergibt sich ggf. eine Verstärkung der Sohleintiefung in den benachbarten Strecken.
- Kleine Flutrinnensysteme oder Altarmverbindungen führen langfristig zur Erosionsminderung im Maßnahmebereich, allerdings ist die Gefahr einer kurzfristigen Anlandung am Rinneneinlauf und einer Erosion am Rinnenauslauf gegeben. Die negativen Begleiteffekte in den benachbarten Strecken können bei gleichen Durchflussanteilen der Rinnen durch Verzweigung der Rinnenein- und -ausläufe verringert werden.
- Ein flächiger Kolkverbau eignet sich zur Behebung lokaler Schwachstellen (z.B. zum Verbau von Kolken, die die Standsicherheit von Bauwerken gefährden), nicht als großräumige Regelungsmaßnahme.
- Deichrückverlegungen sind prinzipiell in Strecken, in denen hauptsächlich Hochwasser erosionsprägend sind, zur Erosionseindämmung geeignet. Die Erosionsgefährdung der angrenzenden Strecken erfordert eine sorgfältige Ausführungsplanung.
- Die untersuchten Maßnahmen zeigten keine negativen Auswirkungen auf den Hochwasserschutz.

Die jeweilige Maßnahme oder Kombination muss im Rahmen einer großräumigen Umsetzungsplanung an die entlang der Erosionsstrecke stark variierenden Verhältnisse angepasst werden. Voraussetzung ist eine Analyse der Strecke und der erosionsprägenden Durchflüsse. Derzeit wird durch eine Projektgruppe unter Leitung der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Ost das Gesamtkonzept ausgehend von den Ergebnissen der verschiedenen Untersuchungen (außerhalb und im Forschungsprojekt) unter Berücksichtigung der Kosten einzelner Maßnahmen und deren Wirksamkeit erarbeitet.

10.2 Deichrückverlegung

Durch Deichrückverlegungen verändert sich das Strömungsklima im Umfeld der Maßnahme deutlich. Zur Untersuchung der Linienführung des neuen Deiches, der Optimierung der Gestalt des Altdeiches und für eine aussagekräftige Prognose der Strömungsverhältnisse auch im Rückdeichungsbereich kam ein zweidimensionales hydrodynamisches Modell gekoppelt mit verschiedenen eindimensionalen Modellen (stationär, instationär, mit Berücksichtigung des Feststofftransports) und einem aerodynamischen Modell erfolgreich zum Einsatz. Mit den vorliegenden umfangreichen Ergebnissen kann die Wirkung verschiedener Einflussgrößen (Deichgestaltung, Linienführung des Deiches, Vorlandtopografie, Bewuchs usw.) bewertet werden, so dass für die Wahl der Ausführungsvariante eine Abwägung hinsichtlich der angestrebten Entwicklungsziele möglich ist.

Trotzdem konnten viele Fragestellungen noch nicht untersucht werden, da Entwicklungsziele und damit Optimierungskriterien nicht aus Sicht aller Funktionen des Untersuchungsraumes (Sozioökonomie, Ökologie, Infrastruktur) zur Verfügung standen. Eine gute Zusammenarbeit gab es mit anderen Fachgebieten im Maßnahmegebiet selbst. Problematisch erscheint, dass sich biotische Betrachtungen bei ökologisch begründeten Maßnahmen derzeit hauptsächlich auf das eigentliche Maßnahmegebiet konzentrierten, in dem die angestrebten „Verbesserungen“ des derzeitigen Zustandes erwartet wurden. Bei Maßnahmen mit großräumiger Auswirkung, wie sie große Deichrückverlegungsmaßnahmen darstellen, sind aber auch Grenzwerte für die zulässigen Änderungen in den Nachbarstrecken festzulegen, um schädliche Auswirkungen auf Flora und Fauna zu vermeiden.

Nach Entscheidung des Verfahrensträgers für eine Vorzugsvariante und Abstimmung der Randbedingungen bezüglich der verschiedenen Funktionalitäten werden noch Untersuchungen zur Ausführungsplanung erforderlich sein, die sich mit den zur Verfügung stehenden Modellen hinsichtlich der hydraulisch-morphologischen Bedingungen problemlos ergänzen lassen. Bei bestimmten Fragestellungen, wie z.B. den ggf. lokalen Anlandungsproblemen bei Ablauf von Hochwasserwellen, die zur Behinderung der Schifffahrt führen können, und der Verlandungsgefahr von Flutmulden sind Modelluntersuchungen nur bedingt möglich. Hier kann eine Risikoabschätzung klären, ob umfangreiche zusätzliche Untersuchungen erforderlich sind oder andere Gegenmaßnahmen vereinbart werden müssen.

10.3 Erfahrungen bei der interdisziplinären Zusammenarbeit und beim Einsatz verschiedener Modellarten

Im Forschungsprojekt wurden abiotische Parameter ermittelt, die auch für weiterführende biotische Betrachtungen weiter verwendet wurden. Es ergaben sich allerdings Anlaufprobleme aus verschiedenen Gründen:

- Bei den Untersuchungen, die mit Blick auf „ökologische“ Veränderungen durchgeführt wurden, fehlten parametrisierter Vorgaben für eine Optimierung der Eingriffe weitgehend. Oftmals sollten die entsprechenden Kriterien erst in den gerade laufenden biotischen Forschungsprojekten ermittelt werden. Im ersten Schritt wurden Sensitivitätsbetrachtungen angeboten, mit deren Hilfe die Spannbreite der möglichen Strömungsparameter in Abhängigkeit von der Variation der Varianten aufgezeigt wurde. Durch einen regen Austausch der Forschungsnehmer der unterschiedlichen Fachgebiete wurde letztendlich eine Variante vorgegeben, für die die sich einstellenden Strömungsverhältnisse prognostiziert wurden.
- Die Spezialisten verschiedener Fachgebiete mussten eine gemeinsame Sprache finden. Verfügbare Ergebnisse der hydraulisch-morphologischen Untersuchungen wurden z.B. anfänglich nicht genutzt, da sie für die Kollegen fremder Fachgebiete nicht in geeigneter Weise aufbereitet waren.
- Ein großes Problem stellte die interdisziplinäre Verständigung über notwendige bzw. erreichbare Genauigkeiten und Aussagemöglichkeiten bei verschiedenen Abstraktionsgraden der Modelle und unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Skalen dar.
- Die Bewertung der Zulässigkeit bzw. Eignung der untersuchten Varianten ist nur mit Hilfe eines Maßstabes, eines Leitbildes, möglich. Die Diskussion zum „Leitbild der Elbe“ ist nicht so weit vorangeschritten, dass auf abgestimmte Vereinbarungen zurückgegriffen werden konnte. Da eine Variantenoptimierung nur hinsichtlich konkreter Entwicklungsziele möglich ist, mussten für die Untersuchungen im Forschungsprojekt vorab Entwicklungsziele festgelegt werden.

Die Untersuchungen an verschiedenen Modellen unterschiedlicher Abstraktionsgrade zeigten, dass eine sorgfältige Versuchsplanung auf der Grundlage klar formulierter Anforderungen besonders bei Betrachtung größerer Gebiete hinsichtlich der Maßnahmewirkungen eine unabdingbare Voraussetzung für eine ökonomisch vertretbare Versuchsdurchführung ist.

- Naturuntersuchungen im Vorfeld, begleitend und nach der Maßnahme, sind unbedingt erforderlich und für den Erkenntniszuwachs von größtem Wert. Erst ausreichende Naturdaten gewährleisten auch die Qualität der Modellversuche. Naturuntersuchungen sind durch Modellversuche, die für die Planung der Maßnahmen und die Abschätzung der Eingriffsfolgen notwendig sind, nicht zu ersetzen.
- Für biotische Betrachtungen sind mitunter Mittelwerte und Spannweiten aus digitalen Geländemodellen gekoppelt mit den prognostizierten Wasserspiegellhöhen aus 1D-HN-Modellen zur Darstellung der Veränderung abiotischer Parameter (z.B. Wassertiefen) ausreichend, so dass ggf. auf den Einsatz aufwendiger, mehrdimensionaler numerischer oder gegenständlicher Modelle ver-

zichtet werden kann. Hier ist eine sorgfältige Analyse der für biotische Betrachtungen erforderlichen abiotischen Parameter und deren Genauigkeitsgrenzen zur Auswahl der geeigneten Verfahren (so genau wie nötig bei geringstmöglichem Aufwand) erforderlich.

- Bei den Untersuchungen führten ein- und mehrdimensionale numerische und gegenständliche Modelle zu gleichen Ergebnissen hinsichtlich der Veränderungen der Wasserspiegel in der Flusssachse und der mittleren Fließgeschwindigkeiten. Somit sind die eindimensionalen Modelle für die Planungsvorbereitung (Hochwasserschutz, Mittelwerte für z.B. biotische Betrachtungen) als ausreichend anzusehen.
- Mehrdimensionale numerische und gegenständliche Modelle sind erforderlich, wenn über Mittelwerte hinaus z.B. Strömungsrichtung, -geschwindigkeit, lokale Verteilung der Wassertiefen, Angaben zum lokalen Feststofftransportverhalten benötigt werden (Ausführungsplanung und detaillierte biotische Betrachtungen).

Durch die Untersuchungen im Forschungsprojekt konnten die Ergebnisse verschiedener hydraulisch-morphologischer Modelle in einem Untersuchungsraum gemeinsam bewertet werden, was die Sicherheit bei der Auswahl der geeigneten Modellierungsmethode künftig erhöhen wird. Gleichzeitig war ein Vergleich der Auswirkungen ähnlicher Maßnahmen in Flussabschnitten unterschiedlicher Charakteristik möglich. Wertvolle Erfahrungen wurden in der interdisziplinären Zusammenarbeit gesammelt. Bei zukünftigen Untersuchungen sollten trotz aller Schwierigkeiten vor Beginn der Einzeluntersuchungen verschiedener Fachgebiete gemeinsam Entwicklungsziele und parametrisierte Kriterien für eine Variantenoptimierung erarbeitet werden.