



**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

	<b>Seite</b>	
<b>1</b>	<b>Zielstellung und Untersuchungsmethodik</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Struktur des Forschungsprojektes, Veröffentlichungen und Berichte, Bearbeiter und Zusammenarbeit mit anderen Stellen</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Voraussetzungen</b>	<b>9</b>
3.1	Erosionsstrecke der Elbe	9
3.2	Deichrückverlegung bei Lenzen	10
3.3	Charakterisierung der zu untersuchenden Grundszenarien	12
<b>4</b>	<b>Allgemeine Fragestellungen</b>	<b>14</b>
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
<b>5</b>	<b>Eindimensionale Modelle am Beispiel der Feststofftransportmodelle der Erosionsstrecke der Elbe</b>	<b>27</b>
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
<b>6</b>	<b>Zweidimensionale Modelle</b>	<b>41</b>
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
<b>7</b>	<b>Aerodynamische Modelle</b>	<b>60</b>
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
<b>8</b>	<b>Hydraulisches Modell bei Mockritz/Döbern</b>	<b>78</b>
8.1	Modellbeschreibung	78
8.2	Varianten	79
8.3	Ergebnisse	81
8.4	Schlussfolgerungen	85
<b>9</b>	<b>Modellvergleiche</b>	<b>86</b>
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
<b>10</b>	<b>Schlussfolgerungen aus den Untersuchungen im Forschungsprojekt</b>	<b>97</b>
10.1	Erosionsstrecke	97
10.2	Deichrückverlegung	99
10.3	Erfahrungen bei der interdisziplinären Zusammenarbeit und beim Einsatz verschiedener Modellarten	100
<b>11</b>	<b>Bibliografie</b>	<b>101</b>
<b>12</b>	<b>Glossar (Endnoten)</b>	<b>106</b>

---

## Abbildungsverzeichnis

	<b>Seite</b>
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 <sup>3</sup> /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 <sub>3,5</sub> bei großer Rückdeichung	54
Abb. 6.8:	Fließgeschwindigkeiten im Bereich zwischen den bestehenden Deichen bei HQ <sub>3,5</sub>	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 <sub>3,5</sub>	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 eingeebener 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

	<b>Seite</b>
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 <sup>2</sup> ), 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

## **9 Modellvergleiche**

Die verschiedenen Modellarten wurden neben der fachlichen Bewertung der untersuchten Varianten auch genutzt, um die Aussagen bei Modellen unterschiedlicher Auflösung und Abstraktionsgrade zu vergleichen. Dies erfolgte mit dem Ziel, zukünftig eine größere Sicherheit bei der Wahl der geeigneten Modellmethoden (so genau wie nötig bei geringstem Aufwand) zu erlangen und die Kopplungsmög-

lichkeiten der Modelle sicher zu stellen. Einige Ergebnisse dieser Vergleiche werden an dieser Stelle beispielhaft vorgestellt.

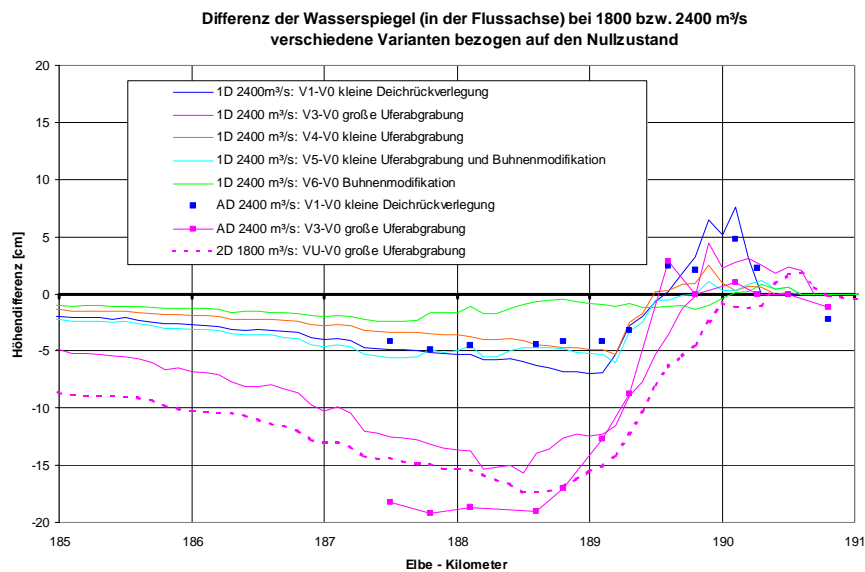
## 9.1 Vergleich von Modellen im Bereich Klöden

	Eindimensional-hydrnumerisches Modell	Zweidimensional-hydrnumerisches Modell	Aerodynamisches Modell
Untersuchte Maßnahmen	alle	Große Uferabgrabung, Altarmbindung mittels Flutrinne, große Deichrückverlegung	Kleine Deichrückverlegung, große und kleine Uferabgrabung, Bühnenmodifikation und Kombination von Bühnenmodifikation und kleiner Uferabgrabung
Abstraktionen	Berechnung von über Breite und Tiefe gemittelten Parametern, Geschwindigkeiten wurden senkrecht zum Profil errechnet (keine Quergeschwindigkeiten). Schwach durchströmte Bereiche mit stark von der Hauptströmung abweichender Richtung wurden im Modell ausgeschlossen, Querbauwerke (z.B. Bühnen) wurden als Schatten in den beeinflussten Querprofilen berücksichtigt	Berechnung von über die Tiefe gemittelten Parametern mit Angabe der horizontalen Richtungsvektoren, Bühnen wurden nicht in der Geometrie sondern über Rauheitsparameter berücksichtigt, weil nur Hochwasserabflüsse untersucht wurden. Aufwand für Modellerstellung und Rechnung ist höher, je feiner das Modellnetz gewählt wird und je größer das Untersuchungsgebiet ist.	Gegenständliches dreidimensionales Modell (Kontinuums-Analogiemodell), Messung der Parameter im Raum, Umrechnung der Modellmessdaten in Naturwerte über Ähnlichkeitsgesetze. Aus Platzersparnis wurde der Vorlandbereich des Altarmes, über dem nur ein geringer Durchflussanteil abgeführt wird, nicht modelliert. Mit vertretbarem Aufwand können nur wenige Durchflüsse untersucht werden.
Vorteil	Aufwand für Modellerstellung und Rechnung gering, Lange Strecken und das gesamte Durchflussspektrum können berechnet werden.	Vergleich vieler Varianten gut realisierbar	Parameter können im Raum mit Größe und Richtung gemessen werden.
Problem bei allen Modellen	Keine Geschwindigkeitsmessungen bei Hochwasser vorhanden, deshalb kann die Durchflussverteilung Vorland-Fluss nicht kalibriert werden.		
Speziell untersuchte Fragen, die mit anderen Modellen nicht betrachtet wurden konnten	Reichweite und Größenordnung der Auswirkungen der Maßnahmen nach Oberstrom, Untersuchung beliebiger Durchflüsse.	Tiefengemittelte Parameter der Strömung in weiten Vorändern nach Betrag und Richtung.	Vertikale Geschwindigkeitsverteilung, relativ kleine Veränderungen z.B. an Bühnen.

**Tab. 9.1: Nutzung verschiedener Modellarten bei Klöden**

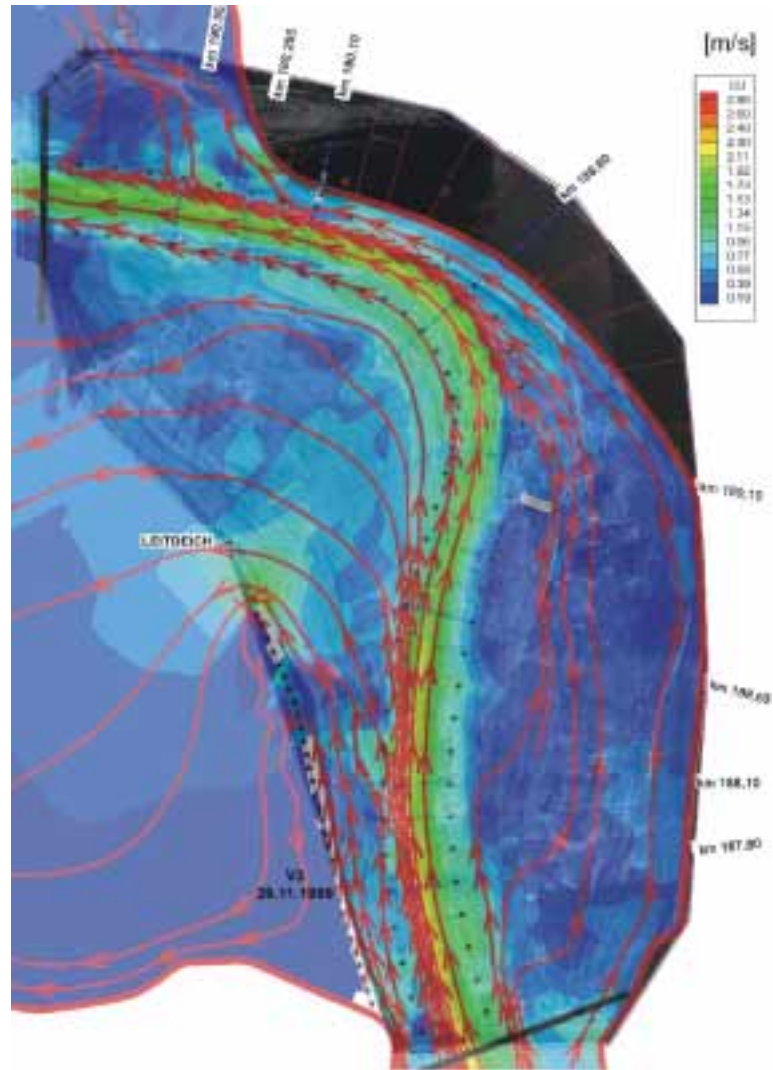
Der Vergleich verschiedener Modellmethoden zeigt, dass trotz unterschiedlicher Abstraktionsgrade die Prognosen vergleichbarer Parameter ausreichend nah beieinander lagen (siehe Abb. 9.1). Somit konnten die Ergebnisse zu Teilfragestellungen, die mit verschiedenen Modellen erhalten wurden, gemeinsam bewertet werden. Als Beispiel soll auf die Untersuchung der Uferabgrabungen in 1D-, 2D- und AD-Modellen (siehe einige Erläuterungen in Kap. 7.2) verwiesen werden.





**Abb. 9.1: Vergleich der Wasserspiegel in der Flussachse bei Klöden**

Für die Variante 3 (große Uferabgrabung) wurde ein Vergleich der sohlennahen Strömung im aerodynamischen Modell (unterlegtes Foto in Abb. 9.2) mit den Stromlinien (tiefengemittelt) aus dem zweidimensionalen Modell vorgenommen. Deutliche Unterschiede traten linksseitig unterhalb km 190,265 auf. Auf Grund der nur geringen Geschwindigkeiten in diesen Bereichen wirkte sich der Verzicht auf die exakte Modellierung dieser großen Vorlandgebiete im AD-Modell bei der Untersuchung von Maßnahmen im Flussbett oder im Ufernahbereich jedoch nicht negativ aus.



**Abb. 9.2: Vergleich von 2D- und AD-Modell**

Ein ähnlicher Vergleich wurde für das ein- und das zweidimensionale Modell durchgeführt. In Abb. 9.3 wurden die Begrenzungen des 1D-Modells (linkes Vorland im Altarmbereich im AD-Modell nicht modelliert) in das Gebiet des 2D-HN-Modells eingezeichnet. Die von diesen Linien ausgehenden Vektoren stellen den Strömungsanteil im 2D-Modell senkrecht zu der 1D-Begrenzung dar. An Hand der Stromlinien und Vektoren ist gut zu erkennen, dass die Vorlandbereiche hinter der 1D-Begrenzung keine Stillwassergebiete sind, sondern gering durchströmt werden und somit mehr oder weniger abflussrelevant sein können. Um den Abfluss über die 1D-Begrenzungen zu quantifizieren, wurde längs (von Oberstrom nach Unterstrom) der 1D-Begrenzungen der dazu senkrechte Durchflussanteil aufsummiert, wobei der Abfluss aus dem 1D-Gebiet heraus als negativ und in das 1D-Gebiet hinein als positiv betrachtet wurde.

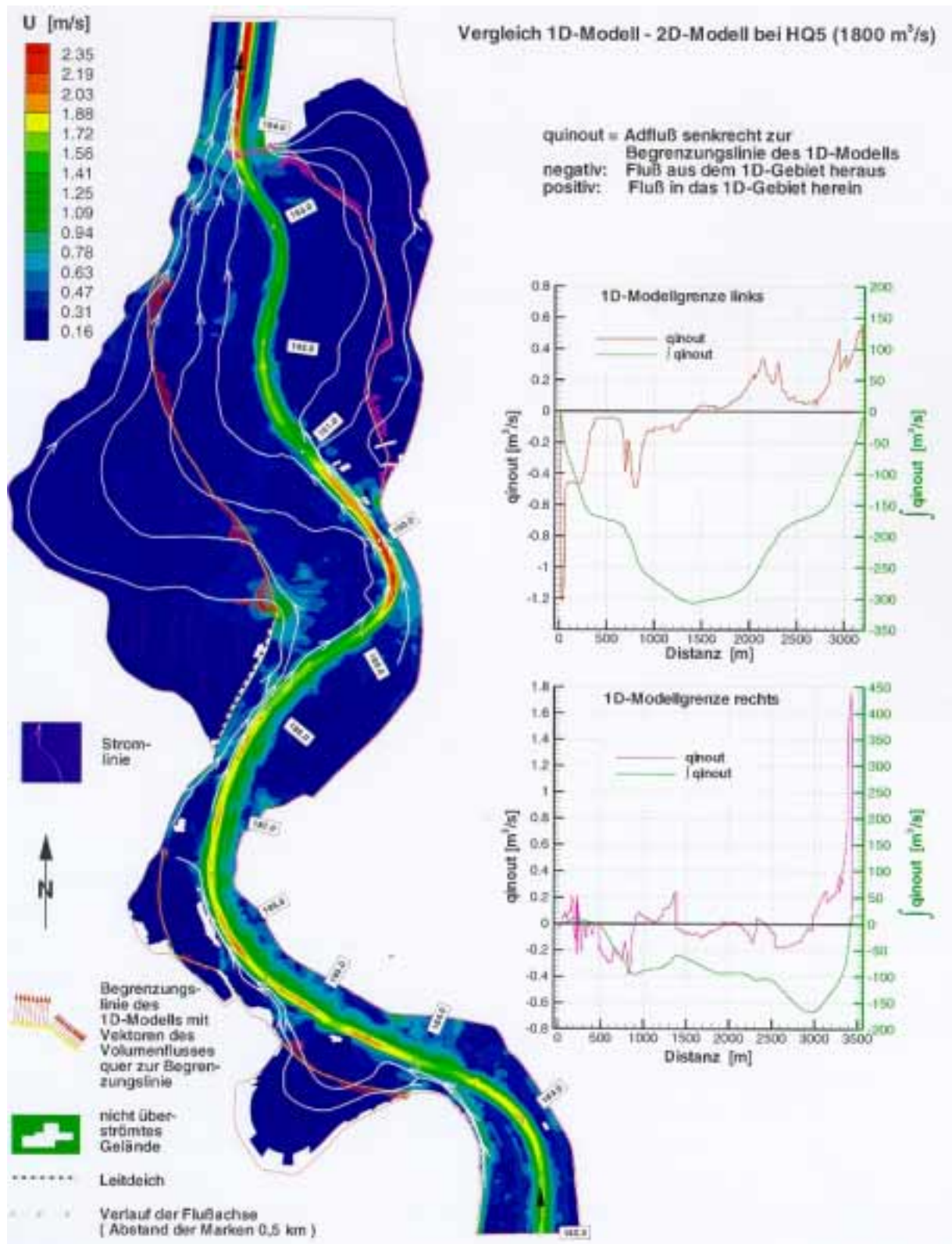


Abb. 9.3: Fließgeschwindigkeiten für den Nullzustand aus 2D-HN-Modell bei 1800 m³/s

Die Auswertungen [BAW, 2001a] für HQ<sub>5</sub> (Abb. 9.3) zeigen, dass zwischen El-km 189,5 und 192,5 bis zu 300 m³/s im linken Vorland außerhalb des 1D-Gebietes abfließen. Zwischen El-km 190,5 und

193,5 fließen bis zu  $170 \text{ m}^3/\text{s}$  im rechten Vorland außerhalb des 1D-Gebietes ab. Vergleicht man im Flussabschnitt El-km 189,5 bis 193,5 die Durchflussmenge, die im 2D-Modell zwischen den Begrenzungslinien abgeführt wird, mit der Menge zwischen den Begrenzungen des 1D-HN-Modells (=Gesamtdurchfluss), ist festzustellen, dass sie im 2D-Modell lokal um bis zu  $380 \text{ m}^3/\text{s}$  (ca. 20 % des Gesamtabflusses) geringer ist.

Allerdings stimmten die Durchflussanteile der Vorländer am Gesamtdurchfluss jeweils annähernd überein, so dass die großräumigen Prognosen des eindimensionalen Modells sich gut in die Ergebnisse der zweidimensionalen und aerodynamischen Untersuchungen einordneten. Da mit den eindimensionalen Modellen Mittelwerte für Querschnittsanteile (Vorländer links und rechts, Gewässerbett) errechnet werden, muss bei der Abstraktion von schwach durchströmten Gebieten lediglich sicher gestellt werden, dass naturähnliche Durchflussanteile gewährleistet werden. Dazu bedarf es Naturmessungen als Grundlage für die Modellkalibrierung, die im vorliegenden Fall auf Grund des weiten Vorlandes und der selten auftretenden Überströmung der Vorländer (Geschwindigkeitsmessungen sind erst gut auswertbar bei Wassertiefen über dem Vorland von ca. 1 m) nicht zur Verfügung standen. In den vorliegenden Untersuchungen traten wegen für alle Modelle fehlenden Naturmessungen lokal Abweichungen zwischen den Modellen auf, die auf die fehlenden Kalibriermöglichkeiten zurückzuführen sind. Für die Kalibrierung aller Modelle war von Nachteil, dass für Hochwasserereignisse keine Angaben über die Durchflussverteilung (Vorland, Gewässerbett) bzw. über die Fließgeschwindigkeiten vorlagen. Die absoluten Größen der Parameter (z.B. Wasserspiegelhöhe) sind deshalb besonders bei Hochwasserdurchflüssen unsicher (Dezimeterbereich), Differenzen von Nullzustand und Variante (Prognose) können jedoch mit ausreichender Genauigkeit ermittelt werden (mehrere Zentimeter).

## 9.2 Vergleich von Modellen im Bereich der Rückdeichung Lenzen

Im Bereich der Rückdeichung Lenzen wurden mehrere Modellarten eingesetzt (s. Tab. 2.2). Die verschiedenen Modelle waren erforderlich, da sie auf Grund der unterschiedlichen Abstraktionsgrade zur Beantwortung abweichender Fragestellungen geeignet sind. Im Rahmen der Untersuchungen wurden die Parameter verglichen, für die in allen Modellen Ergebnisse erzielt wurden. Die Bezeichnung der Deichrückverlegungen (A-C) bezieht sich auf Abb. 1.3 (siehe auch [BAW, 1998c]).

Die Untersuchungen begannen im Rahmen der Vorleistungen mit einem stationären eindimensionalen hydronumerischen (1D-HN) Modell mit fester Sohle im Nahbereich der Deichrückverlegung bei Lenzen (Rückverlegung A bei km 471,5-485). Da sich in den Untersuchungen zeigte, dass die Maßnahmwirkungen am oberstromigen Modellrand nicht abgeklungen waren und auch zusätzlich weitere Deichrückverlegungen (B und C) untersucht werden sollten, wurde das Modell bis km 438 und bis km 495 verlängert. Die Deichrückverlegungen wurden mit Sensitivitätsbetrachtungen (verschiedenen Annahmen zu durchströmten Bereichen und Rauheiten) für das gesamte Durchflussspektrum untersucht. Das lange 1D-HN-Modell diente sowohl als Grundlage für ein eindimensionales Feststofftransportmodell als auch für ein Wellenablaufmodell, so dass zwei weitere Phänomene berücksichtigt werden konnten. Das aerodynamische Modell (km 474,2-484,1) ermöglichte räumliche Untersuchungen im Bereich der Rückdeichung Lenzen für HQ<sub>2-3</sub>. Mit diesem Modell wurde die Strömungsaus-

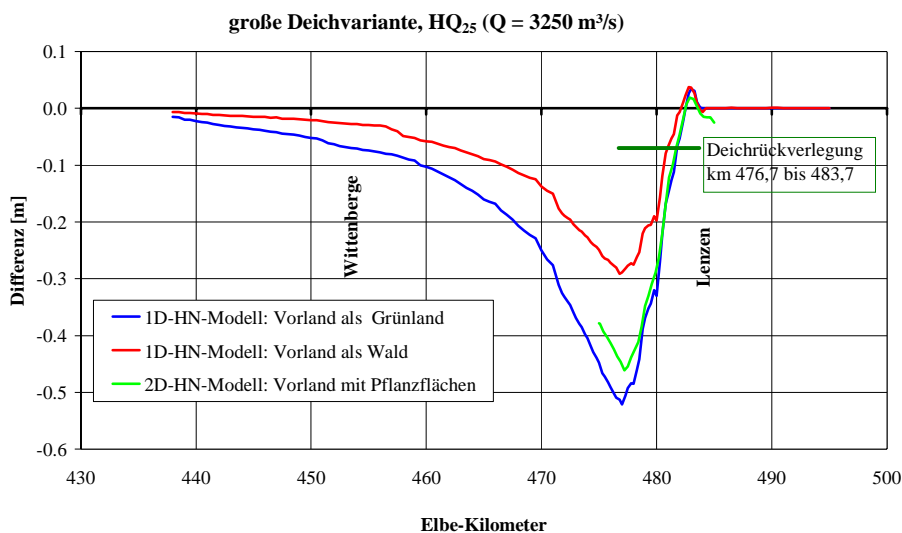
breitung im neuen Vorland untersucht und die Vorauswahl für die Gestaltung des verbleibenden Altdeiches vorgenommen. Die Güte der ursprünglich für die 1D-HN-Modelle getroffenen Annahmen zu nicht durchströmten Bereichen konnte mit dem aerodynamischen Modell als ausreichend bestätigt werden.

Bis zu diesem Stadium standen Probleme des Hochwasserschutzes, der langfristigen Entwicklung der mittleren Sohlenhöhen, der hydraulisch erforderlichen Strömungsführung und der zu erwartenden Größe der mittleren abiotischen Parameter im neuen Vorland (Wassertiefe, Geschwindigkeit, Strömungsrichtung) im Vordergrund. Mit dem stationären zweidimensionalen (2D-HN) Modell mit fester Sohle wurde der verbleibende Altdeich unter Berücksichtigung der Durchflüsse  $HQ_1$ ,  $HQ_{2-3}$  und  $HQ_{20-25}$  optimiert.

Soweit basierten alle Untersuchungen auf der gleichen Datengrundlage und betrachteten die große Deichvariante (s. [BAW, 1998c] bzw. [BAW, 1999a]). Im 2D-HN-Modell wurden dann aktuelle topografische Daten für das zukünftige Vorland und eine mittlere Deichvariante für weitere Untersuchungen mit verstärkter Ausrichtung auf aus ökologischen Gründen benötigten Daten (auch Flutungsverhalten im instationären Betrieb) berücksichtigt (s. Kap. 6.1.1).

### Veränderungen der Wasserspiegelhöhen durch die Deichrückverlegung

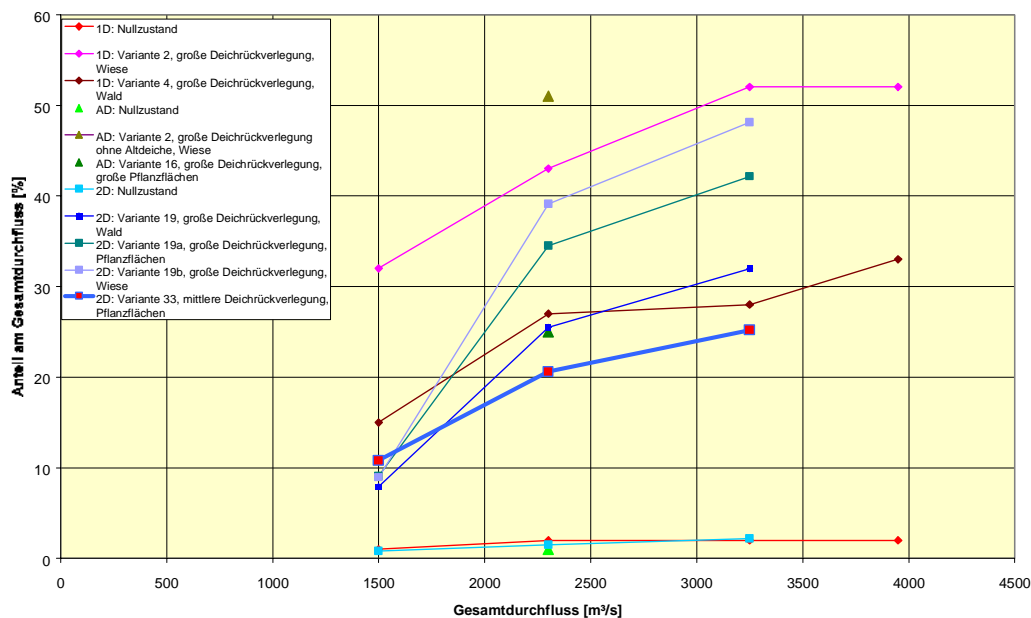
Am Beispiel der Veränderung der Wasserspiegel und der Durchflussanteile wird ein Einblick in den Vergleich der verschiedenen Modellarten gegeben (s. auch [BAW, 1998c]):



**Abb. 9.4:** Wasserspiegeldifferenzen im Flussbett zwischen großer Deichvariante und Nullzustand aus langen 1D- und 2D-HN-Modellen bei  $HQ_{20-25}$

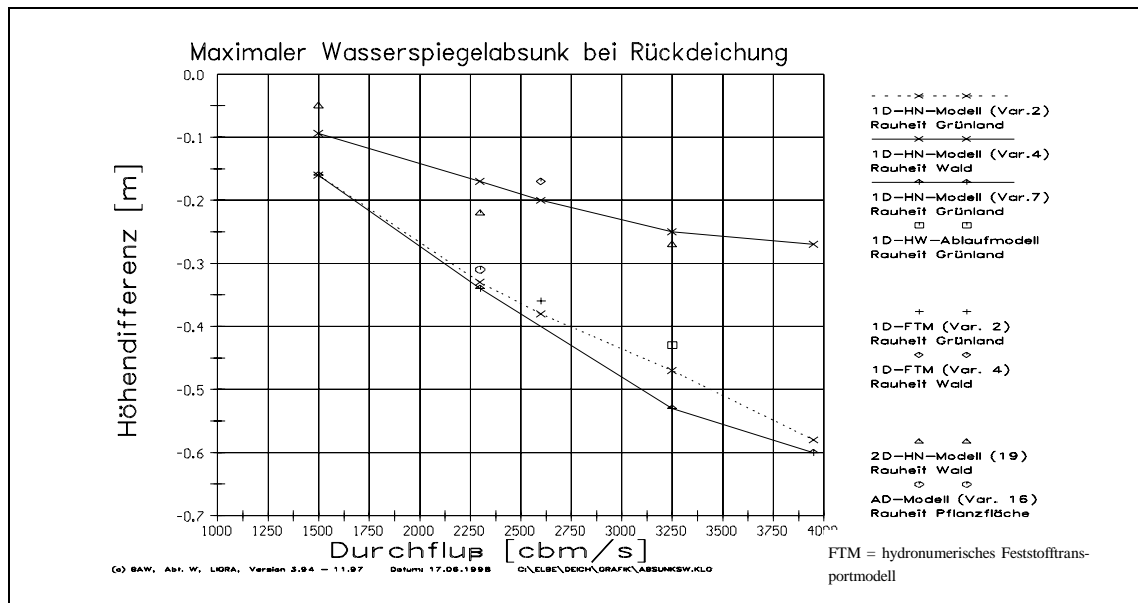
Obwohl in Abb. 9.4 die Ergebnisse verschiedener Modelle verglichen werden, ordnen sich die entsprechenden Darstellungen gut im Diagramm ein. Mit den 1D-Modellen wurden die ersten, abschätzenden Untersuchungen als Grenzwertbetrachtung durchgeführt, da diese Modelle wegen der geringeren Modellauflösung längere Untersuchungsabschnitte abdecken können.

Die vergleichende Betrachtung der Durchflussanteile (s. Abb. 9.5) und der Schlüsselkurven weist größere Unterschiede besonders im Bereich der gerade ausufernden Durchflüsse auf. In diesem Durchflussbereich unterscheiden sich die verschiedenen Modellarten am stärksten in ihren Abstraktionsgraden und damit in der detaillierten Strömungsabbildung.



**Abb. 9.5: Anteile des rechten Vorlandes am Gesamtdurchfluss für El-km 481,9 im Vergleich verschiedener Modelle und Varianten**

Durch die Deichrückverlegung kommt es zum Wasserspiegelabsenk gegenüber dem Nullzustand, der für verschiedene Deichlinien und Bewuchszustände im zukünftigen Vorland quantifiziert wurde. Dazu mussten in den verschiedenen Modellarten Annahmen zur künftigen Vorlandrauheit getroffen werden. Trotz der unterschiedlichen Abstraktionsgrade der Modellarten und der Unsicherheit in der Rauheitsprognose wurden ähnliche Absenkwerte erhalten (Abb. 9.6).



**Abb. 9.6: Vergleich des ermittelten Wasserspiegelabsunks für verschiedene Modelle bei großer Rückdeichung**

Das zweidimensionale hydonumerische und das aerodynamische Modell ergänzten sich auch bei der Untersuchung der Ausbildung des heutigen Deiches zur künstlichen Uferrehne. Mit dem zweidimensionalen Modell wurden für drei signifikante Durchflüsse flächig die tiefengemittelten Fließgeschwindigkeiten, Wasserstände und -tiefen errechnet, wobei sich besonders effektiv Differenzen darstellen ließen. Im Luftmodell konnten an ausgewählten Messlotrechten die vertikalen Geschwindigkeitsverteilungen gemessen werden, so dass z.B. im Bereich der starken Krümmung im Einlaufabschnitt der Rückdeichung lokale Strömungsverhältnisse quantifiziert werden konnten.

### 9.3 Vergleich von Modellen mit Vorlandrinnen und Deichrückverlegung

	2D-HN Modell Klöden	2D-HN-Modell Lenzen
<b>Ausdehnung Elbe-km</b>	182 - 194	475,0 – 485,5
<b>Geometrie allgemein</b>		
Mittleres Sohlgefälle	0,25‰	0,13‰
Breite zwischen den Deichen (Nullzustand)		
Maximal	ca. 3000	ca. 1300 m
Minimal	ca. 600	ca. 470 m
Im Mittel		600 m
Fließlänge	12 km	10,5 km
<b>Hydraulik allgemein</b>		
ab welchem Abfluss / Jährlichkeit wird der Rückdeichungsbe-	Keine instationäre Rechnung: bei 1220 m <sup>3</sup> /s (MHQ) im Null-	Beginn der Füllung durch

	2D-HN Modell Klöden			2D-HN-Modell Lenzen				
	reich eingestaut bzw. überströmt	zustand - Einstau von Unterstrom bei 1220 m³/s bei Deichrückverlegung Überströmung rechtsseitig, linksseitig geringerer Durchflussanteil als im Nullzustand			Rückstau: Q=820 m³/s (t <sub>Ü</sub> <sup>3</sup> : 100 Tage) Beginn Überströmung: Q=1130 m³/s (t <sub>Ü</sub> : 44 Tage)			
entlang der Linie der größten Geschwindigkeiten im Hauptstrom	MHQ <sub>v0</sub> : 1,25 bis 2,1 m/s HQ <sub>5 v0</sub> : 1,2 bis 2,3 m/s HQ <sub>50 v0</sub> : 1,32 bis 2,5 m/s			HQ <sub>1-2</sub> : 0,9 bis 1,4 m/s HQ <sub>3-5</sub> : 0,8 bis 1,6 m/s HQ <sub>20-25</sub> : 0,9 bis 1,7 m/s				
<b>Kenndaten der Rückdeichung</b>								
Maßnahmenbereich Elbe-km	185 - 190,3, rechts			477,5 bis 483,0, rechts				
Fließlänge	5,3 km			5,5 km				
maximale Breite der rückgedeichten Fläche	1450 m			1200 m				
mittlere Breite der rückgedeichten Fläche	460m			760				
Fläche Rückdeichungsgebiet	290 ha			420 ha				
Art des Zuflusses (ungehindert oder durch Schlitze oder ...)	Deich vollständig entfernt			Schlitze und Flutmulden				
Strömungshindernisse im Rückdeichungsbereich (Sommerdeich o.ä.)	keine			Fährdamm				
<b>Änderungen durch Rückdeichung</b>								
<b>- im Hauptstrom</b>								
Δv <sub>mittel</sub> Hauptstrom (Lenzen) Δv <sub>Talweg</sub> Hauptstrom (Klöden) (Δv=v <sub>Rückdeichungszustand</sub> -v <sub>Nullzustand</sub> )	MHQ : -0,29 bis 0,09 m/s HQ <sub>5</sub> : -0,58 bis 0,36 m/s HQ <sub>50</sub> : 1,32 bis 2,5 m/s			HQ <sub>1-2</sub> : -0,05 bis 0,05 m/s HQ <sub>3-5</sub> : -0,35 bis 0,15 m/s HQ <sub>20-25</sub> : -0,55 bis 0,15 m/s				
max. ΔW <sub>sp</sub> im Hauptstrom (ΔW <sub>sp</sub> =W <sub>sp</sub> <sub>Rückdeichungszustand</sub> -W <sub>sp</sub> <sub>Nullzustand</sub> )	MHQ : -0,17 m HQ <sub>5</sub> : -0,44 m HQ <sub>50</sub> : -0,65 m			HQ <sub>1-2</sub> : -0,10 m HQ <sub>3-5</sub> : -0,30 m HQ <sub>20-25</sub> : -0,40 m				
<b>- im Rückdeichungsbereich</b>								
Abflussanteil, der über den Rückdeichungsbereich abgeführt wird (Maximum)		Q rück [m³/s]	Q ges [m³/s]	%		Q rück [m³/s]	Q ges [m³/s]	%
	MHQ	218	1148	19	HQ <sub>1-2</sub>	129	1500	9
	HQ <sub>5</sub>	646	1727	37	HQ <sub>3-5</sub>	633	2300	28
	HQ <sub>50</sub>	1386	2824	45	HQ <sub>20-25</sub>	1171	3250	36
v Rückdeichungsbereich	MHQ : 0 bis 0,71 m/s HQ <sub>5</sub> : 0 bis 0,83 m/s HQ <sub>50</sub> : 0 bis 1,3 m/s			HQ <sub>1-2</sub> : 0 bis 0,4 m/s HQ <sub>3-5</sub> : 0 bis 0,5 m/s HQ <sub>20-25</sub> : 0 bis 0,6 m/s				
mittlere Wassertiefe und Schwankungsbereich im Rückdeichungsbereich in m	MHQ	0,94	0,3 - 1,3	HQ <sub>1-2</sub>	0,94	0 - 2,2		

<sup>3</sup> Anzahl der Tage, an denen dieser Abfluss in einem durchschnittlichen Jahr überschritten wird



	2D-HN Modell			2D-HN-Modell		
	Klößen			Lenzen		
	HQ <sub>5</sub>	1,47	0,8 - 1,8	HQ <sub>3-5</sub>	1,94	0,8 - 3,3
	HQ <sub>50</sub>	2,16	1,6 - 2,6	HQ <sub>20-25</sub>	2,94	1,8 - 4,3
<b>- nach oberstrom (im Hauptstrom)</b>						
$\Delta v$ 2,5 km oberhalb der Maßnahme ( $\Delta v = v_{\text{Rückdeichungszustand}} - v_{\text{Nullzustand}}$ ) [m/s]	MHQ: 0,023 HQ <sub>5</sub> : 0,036 HQ <sub>50</sub> : 0,034			HQ <sub>1-2</sub> : <0,05 HQ <sub>3-5</sub> : <0,05 HQ <sub>20-25</sub> : <0,1		
$\Delta W_{\text{sp}}$ 2,5 km oberhalb der Maßnahme ( $\Delta W_{\text{sp}} = W_{\text{spRückdeichungszustand}} - W_{\text{spNullzustand}}$ )	MHQ: -0,12 m HQ <sub>5</sub> : -0,216 m HQ <sub>50</sub> : -0,31 m			HQ <sub>1-2</sub> : -0,08 m HQ <sub>3-5</sub> : -0,23 m HQ <sub>20-25</sub> : -0,33 m		

**Tab. 9.2: Tabellarischer Vergleich der mittelgroßen Modelle mit Rückdeichung**

	2D-HN Modell	Hydraulisches Modell
	Klößen	Mockritz-Döbern
<b>Ausdehnung Elbe-km</b>	182 - 194	160,2 - 164,0
<b>Geometrie allgemein</b>		
Mittleres Sohlgefälle	0,25‰	0,2‰
Streichlinienabstand	100 m	100 m
Breite zwischen den Deichen		
Maximal	ca. 3000	900 m
Minimal	ca. 600	700 m
Im Mittel		800 m
Krümmungsradien	500 m (min)	800 - 960 m
Fließlänge	12 km	3,80 km
<b>Hydraulik allgemein</b>		
Charakteristik des Vergleichsabfluss $Q = 1220 \text{ m}^3/\text{s}$	Gerade ausufernd	1 m unter gerade ausufernd
$v_m$ Hauptstrom	2,07	1,6 m/s
Abfluss Vorland	4 %	0 %
Anspringen der Rinne bei	570 m <sup>3</sup> /s, MW + 1m	580 m <sup>3</sup> /s, MW + 1m
<b>Geometrie der Rinne</b>		
Maßnahmenbereich Elbe-km	Ab km 188,2 in Altarm übergehend	162,40 - 163,60
Fließlänge	2380 m	1050 m
Gefälle	?	0,2 ‰

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