



**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 Zielstellung und Untersuchungsmethodik</b>	<b>1</b>
<b>2 Struktur des Forschungsprojektes, Veröffentlichungen und Berichte, Bearbeiter und Zusammenarbeit mit anderen Stellen</b>	<b>5</b>
<b>3 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 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 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 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

Rückdeichungsbereichs allein durch die Schlitze erfolgte, war das Wasserspiegelgefälle im Rückdeichungsbereich deutlich geringer als in der Flussachse. Die Querströmung wurde durch die im 2D-Modell untersuchten Rückdeichungsvarianten nicht wesentlich erhöht, so dass dadurch keine Behinderungen der Schifffahrt zu erwarten sind.

Die Gestaltung des rechten Altdeichs ebenso wie der Einsatz von Flutmulden oder der Bewuchs des Rückdeichungsbereichs wirkte sich auf die Durchströmung des Rückdeichungsbereichs, die Wasserspiegellage und Geschwindigkeiten aus. Die Verwendung von Schlitzen ermöglichte im Gegensatz zu einer Variante mit einer durchgehenden Uferrehne bereits bei geringeren Abflüssen ein Einströmen in das Rückdeichungsgebiet. Eine Höhenvariation des Bereichs zwischen den Schlitzen um ca. 50 cm wirkte sich nur geringfügig aus. blieb allerdings der Deich zwischen den Schlitzen in voller Höhe erhalten, so führte das zu erhöhten Geschwindigkeiten in den Schlitzen und der über das Rückdeichungsgebiet abgeführte Abflussanteil verringert sich um 25-30% (gegenüber der Variante mit etwa auf Höhe des aktuellen Wasserstandes bei 2000 m<sup>3</sup>/s abgesenkten „künstlichen Uferrehnen“ zwischen den Deichschlitzen).

Neben der Gestaltung des rechten Deichs wirkte sich auch die Verwendung von Flutmulden und der Bewuchs des Rückdeichungsbereichs auf die Strömungsverhältnisse in Fluss und Rückdeichungsbereich aus. Je stärker das Rückdeichungsgebiet bewaldet war, um so geringer wurde der Abfluss und die Geschwindigkeiten im Rückdeichungsbereich. Flutmulden erhöhten den Abfluss im Rückdeichungsbereich und die dort auftretenden Geschwindigkeiten und senkten den Wasserspiegel in Fluss und Rückdeichungsgebiet.

Die Ergebnisse der instationären Berechnung gaben Aufschluss über den Ablauf der Füllung und Durchströmung des Rückdeichungsgebiets während einer Hochwasserwelle und wurden zur Erstellung von Karten der Überflutungshäufigkeit im Rückdeichungsbereich genutzt.

Die Ergebnisse der Untersuchungen im Zweidimensionalen Modell wurden bisher bereits in den Zwischenberichten und verschiedenen Veröffentlichungen dokumentiert (siehe Kap. 2). Eine Zusammenstellung aller Ergebnisse in einem Gutachten ist für 2001 geplant [BLEYEL, 2001b].

## **7 Aerodynamische Modelle**

### **7.1 Aerodynamische Modelle mit variabler Überhöhung**

Als aerodynamische (AD) oder Luftmodelle bezeichnet man im flussbaulichen Versuchswesen Analogiemodelle, bei denen das strömende Medium "Wasser" durch "Luft" ersetzt wird. Somit wird das freie Wasserspiegelniveau der Naturströmung durch eine Abdeckung simuliert, damit die Modellströmung unter Druck erfolgen kann.

Die Einschränkungen bei der Wahl der geometrischen Maßstäbe hydraulischer Flussmodelle sind besonders auf die Grenzen der zulässigen Überhöhung der geometrischen Maßstäbe (Längenmaßstab  $L_r >$  Höhenmaßstab  $H_r$ ) und die Notwendigkeit, sowohl die Bedingung  $Fr_r = 1$  ( $Fr$  = Froude-Zahl) als auch  $Re_m > Re_{gr}$  ( $Re$  = Reynolds-Zahl) einhalten zu müssen, zurückzuführen. Deshalb ist ein Modellie-

ungsverfahren besonders verlockend, bei dem die erstgenannte Bedingung entfällt, da man die geometrischen Maßstäbe verkleinern kann, wenn die Froude-Zahl nicht als Ähnlichkeitskriterium berücksichtigt werden muss. Diese Möglichkeit ist gegeben, wenn die Freispiegelströmung durch eine Druckströmung ersetzt wird. Luftmodelle können deshalb mit deutlich kleineren Maßstabsverhältnissen aufgebaut werden, so dass wesentlich geringere Laborflächen ausreichen.

	Luftmodell aerodynamisches Modell	Wassermodell hydraulisches Modell
Strömungsmedium	Luft	Wasser
Strömung	Druckströmung	Freispiegelströmung
wesentliche Ähnlichkeitskriterien	Eu (Euler), Re	Fr, Re
Längenmaßstab	1:150 bis 1:2000	1:15 bis 1:200
Modellgeschwindigkeit	bis 50 m/s (10 bis 30 m/s)	bis 1m/s (0,05 bis 0,5 m/s)

**Tab. 7.1: Vergleich von aerodynamischem und hydraulischem Modell**

Für Untersuchungen zum Feststofftransport werden einerseits aerodynamische Modelle mit fester Sohle als „Tracermodelle“ eingesetzt, da über geeignete Methoden zur Strömungssichtbarmachung die für den Geschiebetransport maßgebende sohlennahe Strömung qualitativ analysiert werden kann. Andererseits werden auch Untersuchungen an Luftmodellen mit Geschiebetransport durchgeführt. Die Begehrlichkeit, aerodynamische Modelle zur Untersuchung des Geschiebetransport einzusetzen, entsteht daraus, dass bei diesen der Geschwindigkeitsmaßstab nicht direkt mit den geometrischen Maßstäben verbunden ist und somit in Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit das Modellsediment über den spezifischen Bewegungsbeginn gewählt werden kann.

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>– geringer Platzbedarf</li> <li>– geringerer Arbeitskräfte- und Material- und Zeitaufwand bei Auf- und Umbau</li> <li>– gleichzeitiger Betrieb mit fester und beweglicher Sohle im gleichen Grundmodell möglich</li> <li>– gute Übersichtlichkeit</li> <li>– gut mit numerischen Modellen zu koppeln</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Einzuhalten sind:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Luftdichtheit des Modells</li> <li>⇒ geringe Plattendurchbiegung</li> <li>⇒ hohe Genauigkeit</li> </ul> </li> <li>– Aufwendigere Aufbereitung hinsichtlich der Modellierung von verschiedenen Durchflüssen</li> <li>– keine instationären Vorgänge darstellbar</li> </ul>

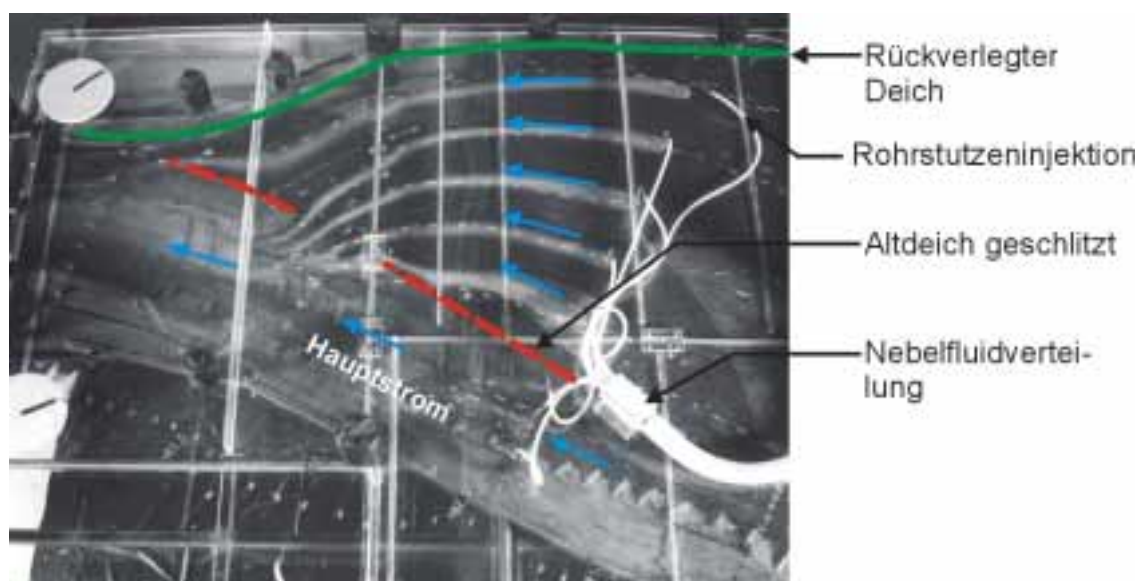
**Tab. 7.2: Besonderheiten aerodynamischer Modelle im Vergleich mit hydraulischen Modellen**

In der BAW werden Luftmodelle in der Regel als Modelle mit zwei Grundzielrichtungen betrieben: Dreidimensionale Modelle, bei denen neben der Geländegeometrie auch die vertikale Geschwindigkeitsverteilung naturähnlich abgebildet wird, dienen zur Simulation der räumlichen Strömungsverhältnisse. Als Übersichtsmodelle werden solche Luftmodelle mit dreidimensional abgebildeter Geometrie genutzt, bei denen entweder auf Grund der starken Überhöhung oder wegen der geringen Modellab-



messungen Abweichungen in der Ausbildung der vertikalen Geschwindigkeitsverteilung gegenüber der Naturströmung zu erwarten sind, so dass Untersuchungen nur in der Ebene ausgewertet werden. Übersichtsmodelle großflächiger Untersuchungsgebiete (oft Hochwassermodelle) dienen der Ermittlung der Strömungsrichtungen und signifikanter Fließgeschwindigkeiten (tiefengemittelt oder in repräsentativer Vergleichstiefe). Oft sollen mit diesen Modellen Untersuchungsgebiete abgebildet werden, die im hydraulischen Modell einer nicht verfügbaren Hallenfläche bedürfen. Zur parallelen Berechnung mit eindimensionalen hydronumerischen Modellen können die Luftmodelle z.B. nicht oder kaum durchströmte Bereiche aufzeigen und so einen sinnvollen Einsatz der stark abstrahierenden, aber effektiv zu betreibenden eindimensionalen Modelle sicher stellen (siehe Abb. 7.1).

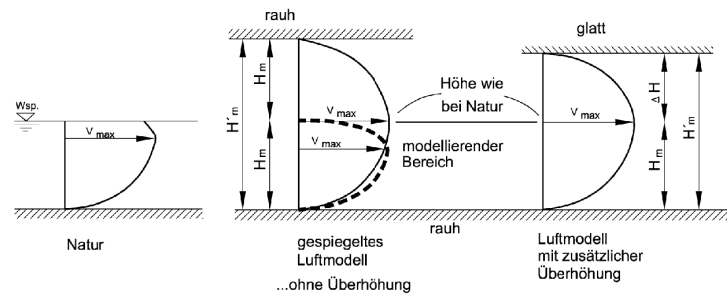
Zweidimensionalen hydronumerischen Modelle kommen zum Einsatz, wenn in der Fläche (hauptsächlich über dem Vorland) detaillierte Angaben zu den tiefengemittelten hydraulischen Parametern gefordert sind. Dies ist häufig bei biotisch orientierten Fragestellungen der Fall. Sollen jedoch z.B. lediglich die Änderungen der Wasserstände (Grenz- und Zielwerte) nach Eingriffen ermittelt werden (Schiffahrt, Hochwasserschutz) ist eine Untersuchung von eindimensionalem hydronumerischem in Verbindung mit einem aerodynamischen Modell oftmals effektiver und kostengünstiger.



**Abb. 7.1:** Nebelfluidinjektion bei El-km 481,9 zur Strömungssichtbarmachung im Luftmodell

Dreidimensionale Luftmodelle mit naturähnlicher Simulation der räumlichen Strömung kommen sowohl als großflächige Hochwassermodelle als auch als Modelle zur Untersuchung von Regelungsmaßnahmen im Flussschlauch zum Einsatz. Der Aufwand für die Modellkalibrierung dieser Modelle ist gegenüber den Übersichtsmodellen deutlich erhöht, da die Ähnlichkeit der lokalen, vertikalen Geschwindigkeitsverteilung gewährleistet werden muss. Bei der Kalibrierung werden im Luftmodell das Druckgefälle (zur Simulation des Wasserspiegelgefälles in der Natur) und die vertikale Geschwindigkeitsverteilung über die lokale Modellsohllrauheit modifiziert.

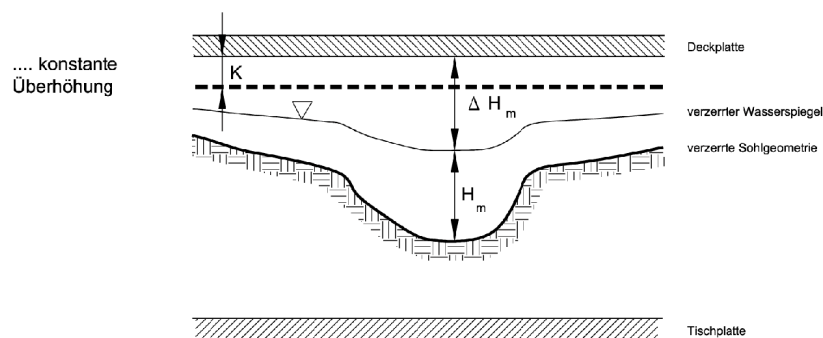
Für die Untersuchung von Veränderungen in den Vorländern kam in der BAW eine neue Methode der Modellierung mit sog. „variabler zusätzlicher Überhöhung“ zum Einsatz.



**Abb. 7.2: Vertikale Geschwindigkeitsverteilung in Natur und im Luftmodell**

In Luftmodellen kommt es durch die Modellabdeckung aus Acrylglas zu einer Verfälschung der vertikalen Geschwindigkeitsverteilung gegenüber der Naturströmung, da die Reibung an der Grenzfläche Luft/Deckplatte im Modell größer ist als die an der Grenzfläche Wasser/Luft in der Natur. Um diese Verfälschung auf Grund der unterschiedlichen Bedingungen bei Freispiegel- und Druckströmung auszugleichen, wird eine zusätzliche Überhöhung des Luftmodells vorgenommen (Abb. 7.2). Für das Luftmodell zur Untersuchung räumlicher Strömungen ist dabei im Gegensatz zum Übersichtsmodell größte Sorgfalt auf die naturähnliche Ausbildung der vertikalen Geschwindigkeitsverteilung zu legen, da die lokale Geschwindigkeit Ziel der Untersuchung ist. Die Naturähnlichkeit kann auf verschiedene Weise erreicht werden:

Am konsequentesten wäre der Einsatz eines am Wasserstand gespiegelten Modells. Da Spiegelmodelle äußerst aufwendig und handhabungsunfreundlich sind, finden sie bei den komplizierten Geometrien der flussbaulichen Untersuchungen keinen Einsatz. Die größte Vereinfachung durch eine konstante Überhöhung - Höherlegen der Modelldeckplatte gegenüber der Übertragung entsprechend des gewählten Höhenmaßstabes um einen festen Wert für das gesamte Modell - findet bei Flussabschnitten mit wenig differenzierter Geometrie oder bei stärker abstrahierenden Übersichtsmodellen Anwendung (in Abb. 7.3 gestrichelte Linie zum Vergleich mit variabler Überhöhung).



**Abb. 7.3: Querschnittsdarstellung bei variabler zusätzlicher Überhöhung**

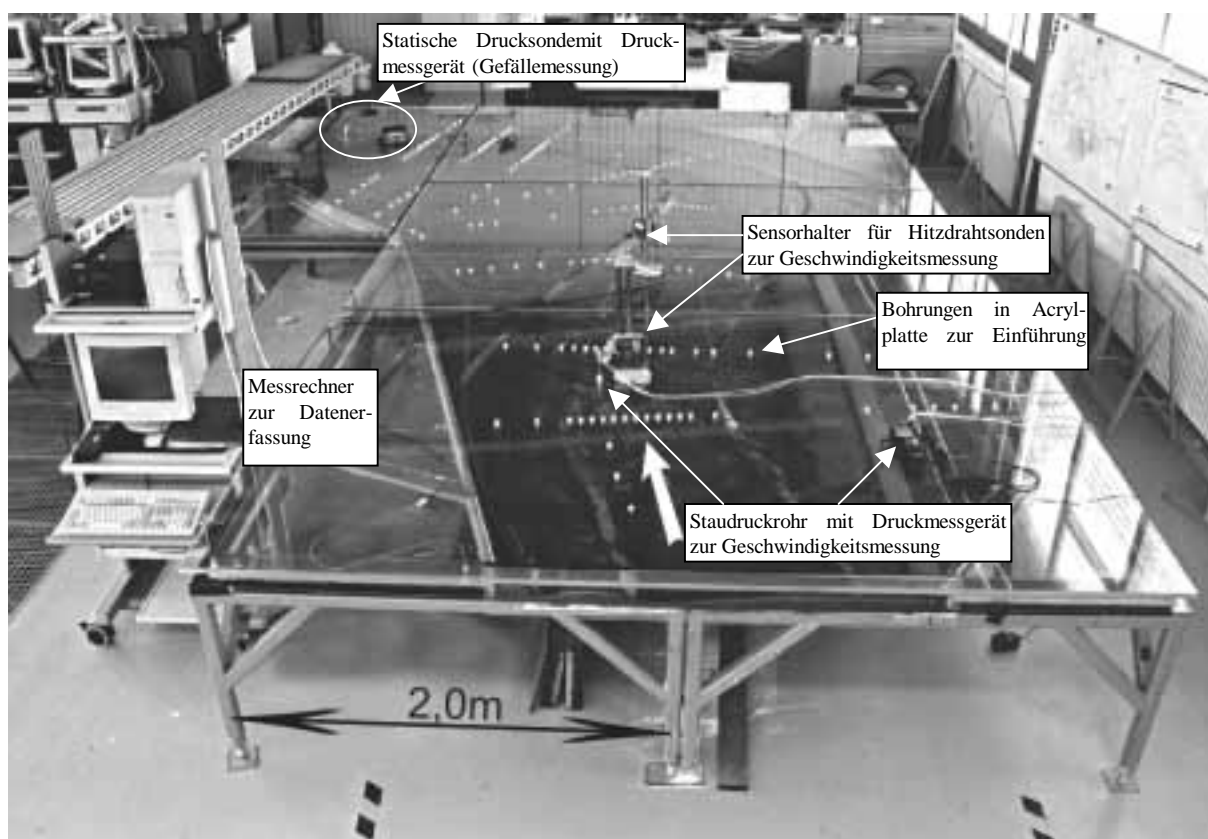
Bei stark strukturierten Querschnitten (z.B. bei Vorlandüberströmung) werden Luftmodelle mit variabler Überhöhung eingesetzt (s. Abb. 7.3), deren Nutzung nur mit rechentechnischer Unterstützung möglich ist. Dabei wird die Geometrie für den Aufbau des Luftmodells in der Weise verzerrt, dass, ausgehend von einer feststehenden ebenen Modellabdeckung, die den Naturabfluss modellierende, maßstäbliche Modelltiefe ergänzt durch die zusätzliche Überhöhung (zur Einhaltung der Ähnlichkeit der vertikalen Geschwindigkeitsverteilung) nach unten aufgetragen wird, um die Modellsohlpunkte zu erhalten. Da die zusätzliche Überhöhung entsprechend ihrer Abhängigkeit von Modellrauheit und -tiefe für jeden Profilpunkt errechnet wird, ist gewährleistet, dass das Geschwindigkeitsmaximum sich im Modell in der relativ gleichen Höhe ausprägt wie in der Natur, da tiefe Bereiche eine entsprechend größere absolute Überhöhung erhalten als flache. Dieses aufwendige Modellierungsverfahren ist bei gegliederten Querschnitten erforderlich, da bei einer konstanten Überhöhung die Durchflussverhältnisse verzerrt werden. Flache Geländeabschnitte erfahren durch die konstante Überhöhung gegenüber tiefen Bereichen eine zu große anteilige Durchflusserhöhung. Konstante und variable Überhöhung können bei Bedarf ergänzend angewendet werden.

<b>Modell</b>	<b>Lenzen</b>	<b>Klöden</b>
<b>Fluss-km</b>	474,2-484,1	187-191
<b>modellierte Länge</b>	9,9 km	4 km
<b>Modellfläche</b>	9 x 3 m <sup>2</sup>	6 x 4 m <sup>2</sup>
<b>Modell-material</b>	Gips mit Korundrauheit, lackiert	Gips, lackiert
	Feste Sohle, mit Geschiebekoffer	Feste Sohle
<b>Mittlere Tiefe</b>	Gesamte Modelltiefe (modellierend):	Gesamte Modelltiefe (modellierend):
<b>Bett</b>	35 (21) mm	32 (19) mm
<b>Vorland</b>	12 (7) mm	12 (7) mm
<b>Maßstab</b>		
<b>Länge</b>	1:1000	1:500
<b>Höhe</b>	1 : 500	1:250
<b>Zusätzliche Überhöhung</b>	variabel, 40 % der Gesamtmodelltiefe	
<b>Aufgabe</b>	Deichrückverlegung	Erosionseindämmung
<b>Durchfluss</b>	HQ <sub>3-4</sub>	HQ <sub>2</sub> , HQ <sub>25-50</sub>

**Tab. 7.3: Parameter der im Forschungsprojekt eingesetzten Luftmodelle**

## 7.2 Aerodynamisches Modell in der Erosionsstrecke bei Klöden

Im Zwischenbericht 1997 [BAW, 1998c] ist eine Kurzbeschreibung zur Maßstabswahl und Variantenplanung in Kap. 3.5.1 enthalten. In Anlage 5 [BAW, 1998c] sind einige Erläuterungen zu Modellaufbau und Messverfahren in aerodynamischen Modellen zusammengestellt. 1998 wurde das aerodynamische Modell der Erosionsstrecke wegen einer Standortverlagerung der BAW von Berlin nach Karlsruhe umgesetzt. Es wurde somit nach dem Wiederaufbau entsprechend der ersten Erfahrungen mit leicht modifizierten Kennwerten in Betrieb genommen. Ein detaillierter Ergebnisbericht ist in Vorbereitung [FAULHABER, 2001b].



**Abb. 7.4:** Blick auf das Luftmodell „Klöden“

Ziel der Untersuchungen an einem aerodynamischen Modell innerhalb der Erosionsstrecke (El-km 187 – 191) war die Koppelung der dreidimensionalen, kleinräumigen Untersuchungen im hydraulischen Modell (s. Kap. 8) mit den Untersuchungen mittelgroßer Untersuchungsgebiete am zweidimensionalen hydraulische numerischen Modell (s. Kap. 6.1). Am hydraulischen Modell „Mockritz-Döbern“ El-km 160,2 bis 164 wurden detailliert Veränderungen im Flussschlauch (Kolkverbau, Bühnenvariation) sowie kleinräumige Veränderungen im Flussvorland (Flutmulden) untersucht, deren prinzipielle Ergebnisse im AD-Modell bei der Variantenplanung berücksichtigt wurden. Im 2D-HN-Modell El-km 182 bis 194 wiederum wurden die Bühnen selbst nicht modelliert, sie fanden über Rauheitsbeiwerte Berücksichtigung. Dafür konnte in diesem Modell die Veränderung in einem ausgedehnten Vorland und eine Rückdeichung untersucht werden. Im AD-Modell wurden sowohl Veränderungen im Gewäs-

serbett als auch im Vorland in Gewässerbettnähe berücksichtigt. Mit Hilfe der verschiedenen Modellarten wurde geprüft, wie Modelle unterschiedlicher Abstraktion gekoppelt werden können und in welchen Grenzen sich die Ergebnisse gemeinsam bewerten lassen. Dazu wurden auch die Ergebnisse von eindimensionalen Untersuchungen (mit und ohne Berücksichtigung des Feststofftransports) in den Vergleich einbezogen. Für die praktische Bewertung der Maßnahmen in der Erosionsstrecke wurde das Wirkungsgefüge beispielhaft in verschiedenen Modellen verglichen, um zukünftig die Wahl geeigneter Modellarten in Abhängigkeit der Fragestellungen und Gebietscharakteristika zu erleichtern.

Aus diesen Zielstellungen ergab sich die Notwendigkeit der Untersuchung eines Abschnittes, der innerhalb des Untersuchungsraumes des 2D-HN-Modells liegt. Dieser wiederum wurde im Abschnitt aktuell stärkster Sohleneintiefung gewählt (Nahbereich Klöden).

Nach Auswertung der Querprofile und der hydrologischen Daten ergab sich als Schwierigkeit, dass die Ausuferung auch in den Abschnitten der Erosionsstrecke mit breiten Vorländern (z.B. unterhalb El-km 187 s. Abb. 3 und 4 in [BAW, 1998c]) und weniger kompakten Profilen erst spät erfolgt (ab 1000 bis 1500 m<sup>3</sup>/s) und eine Überströmung mit Tiefen um 1 bis 2 m im Vorland noch seltener ist (Q = 1800-2500 m<sup>3</sup>/s). Im Sommerhalbjahr treten letztere Abflüsse am Pegel Torgau (Jahresreihe 1936/95) alle 10 bis 50 Jahre, für das gesamte Durchflussjahr alle 5 bis 20 Jahre auf. Um einen biologisch noch relevanten Durchfluss zu untersuchen, wurde für die Modellkonzeption von einem Durchfluss von 1800 m<sup>3</sup>/s ausgegangen. Da bei diesem Durchfluss nur geringe Wassertiefen über den Vorländern zu verzeichnen waren, wurde im Verlaufe des Modellaufbaus entschieden, das Modell hauptsächlich für einen Durchfluss von 2400 m<sup>3</sup>/s zu betreiben. Einige Untersuchungen wurden für zweijährliches Hochwasser (ca. 1200 m<sup>3</sup>/s) durchgeführt.

Wegen der im Betrieb gerade noch zumutbaren Modellbreite konnte bei der Wahl des zu modellierenden Flussabschnittes von einer Modellgrundfläche von 6 m x 3 m ausgegangen werden, die durch zwei kleine Tische (je 1,5 m x 1 m) ergänzt wird (s. Abb. 10 in [BAW, 1998c]). Weiterhin wurde davon ausgegangen, dass die Überhöhung  $n$  ( $n = \text{Längenmaßstab } L_r / \text{Höhenmaßstab } HV_r$ ) nicht größer als 2 bis 3 sein sollte.

Aus den Rechnungen eines 1D-HN-Modells [BONNY, 1997] ergaben sich im Abschnitt El-km 184,4 bis 192,2 mittlere Tiefen bei Q = 1800 m<sup>3</sup>/s von:

linkes Vorland	1,12 m
Flussschlauch	4,33 m
rechtes Vorland	1,31 m
tiefster Punkt im Profil	7,00 m

Bei einer Vorlandtiefe von 1,2 m und einer modelltechnisch erforderlichen mittleren Modelltiefe von ca. 5 mm ließ sich ein Höhenmaßstab  $HV_r = 240$  annehmen. Bei zweifacher Überhöhung kann somit noch ein Längenmaßstab von  $L_r = 480$  toleriert werden.

Nach Überprüfung der Unterlagen zum Untersuchungsgebiet wurde die Untersuchungsstrecke zwischen El-km 187 und 191 und der Längenmaßstab  $L_r = 500$  gewählt. Auf die Modellierung des linksseitigen Altarmes bei Bösewig wurde verzichtet, da dieser Bereich als schwach durchströmt angenommen wurde. Damit können im Luftmodell keine Maßnahmen zum Anschluss dieses Altarmes wie im 2D-HN-Modell (s. Kap. 6.1) untersucht werden. Unter Berücksichtigung einer An- und Ablaufstrecke von ca. 300 m in der Natur (60 cm im Modell) können im Modell zwischen El-km 187,7 und 190,6 Untersuchungen durchgeführt werden (s. Abb. 7.5). Der Höhenmaßstab beträgt  $HV_r = 250$ . Aus den bisherigen Erfahrungen mit Luftmodellen für Untersuchungen an der Elbe wurde der Tiefenfaktor als Kriterium der variablen zusätzlichen Überhöhung zu  $F = 0,4$  gewählt (Höhenmaßstab für Gesamtmodelltiefe einschließlich variabler Überhöhung  $H_r = 150$ ). Zur Untersuchung des Durchflusses von  $2400 \text{ m}^3/\text{s}$  wurden die Abdeckplatten um 4 mm höher angeordnet als bei  $1800 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Abb. 7.5 zeigt das unlackierte Luftmodell in der Draufsicht. In Abb. 7.8 sind die Profile, in denen Geschwindigkeitsmessungen durchgeführt wurden gekennzeichnet. In Abb. 7.6 ist beispielhaft die Sichtbarmachung der sohlennahen Strömung (Tracer) für zwei Varianten (Nullzustand und kleine Deichrückverlegung) aufgezeigt.

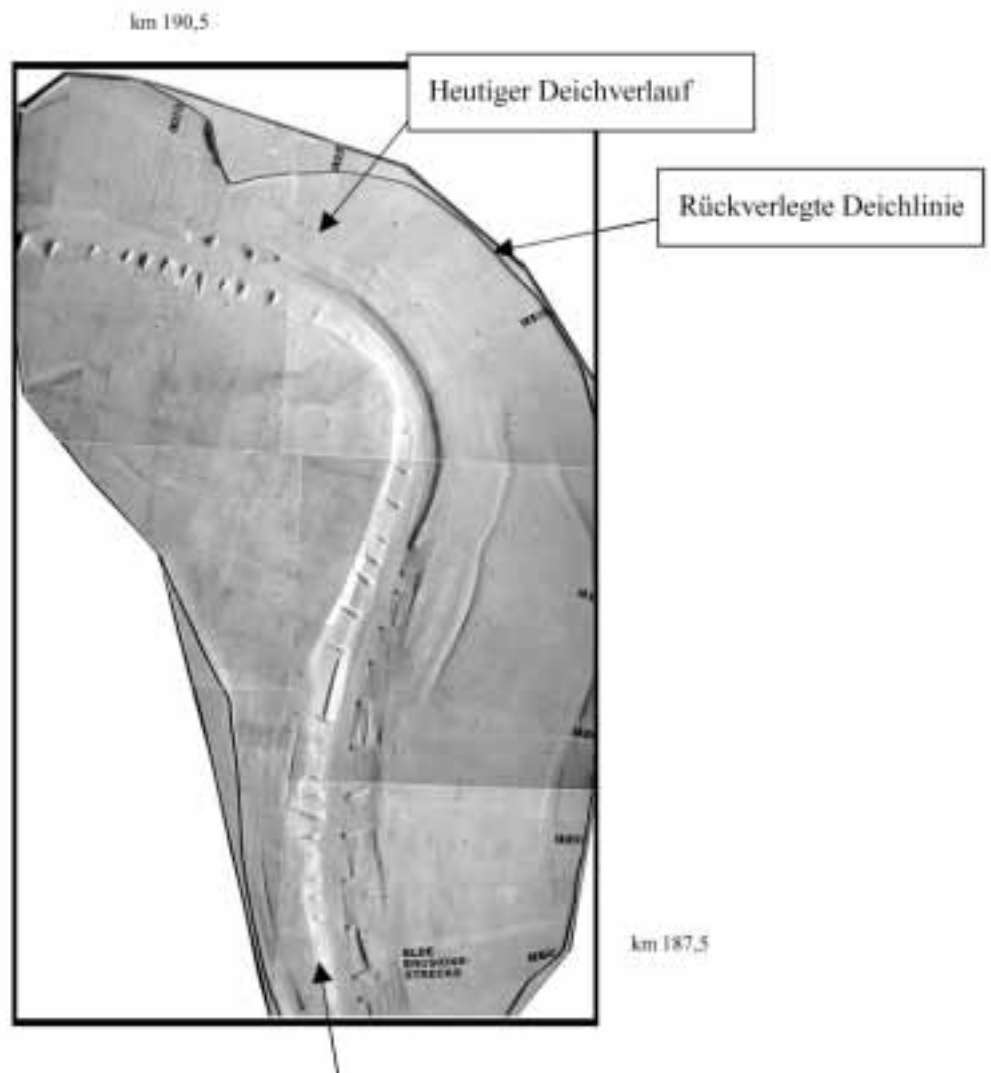
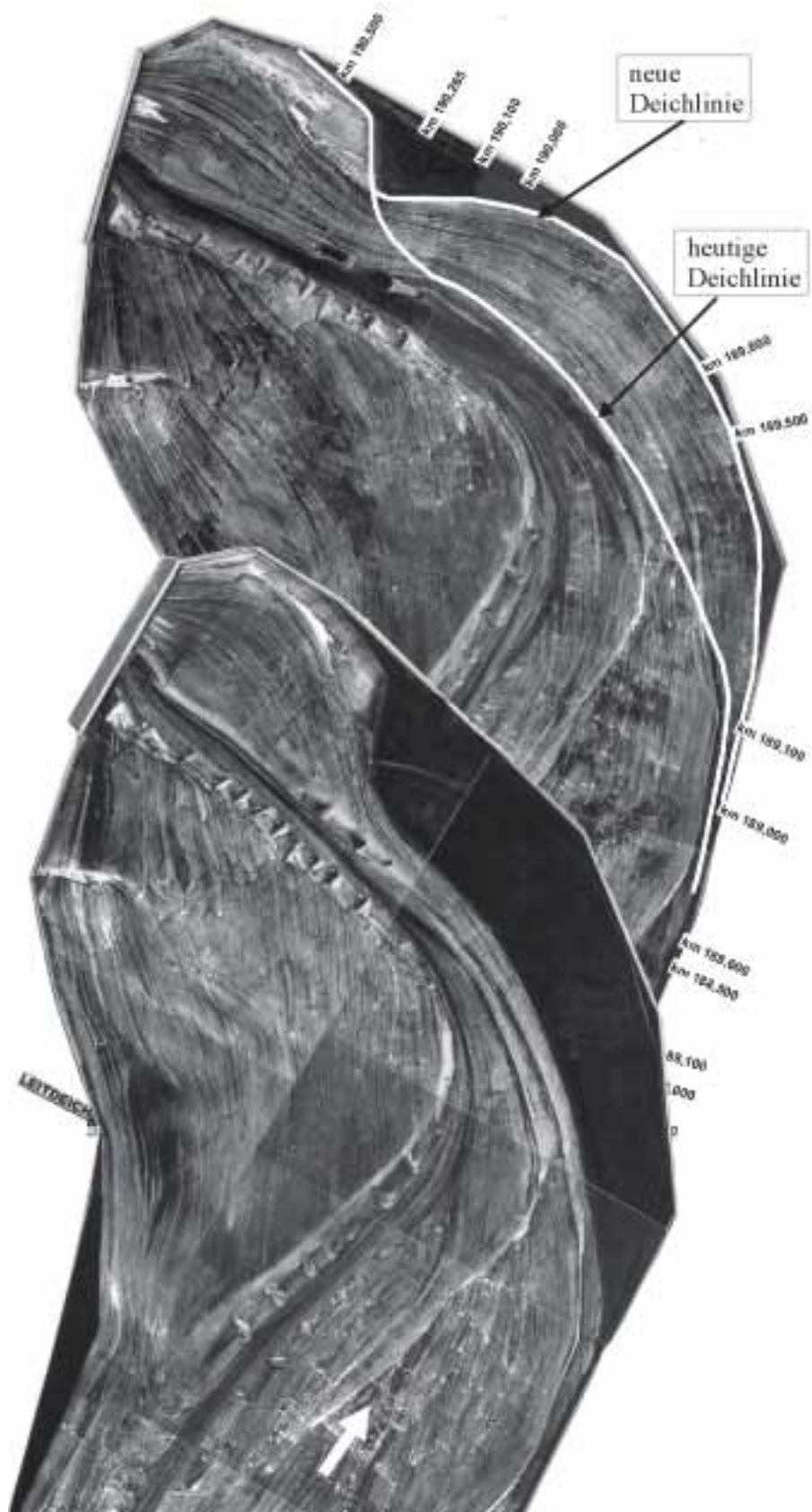


Abb. 7.5: Foto des Luftmodells „Erosionsstrecke“ (Gipsoberfläche, ohne Farbanstrich)



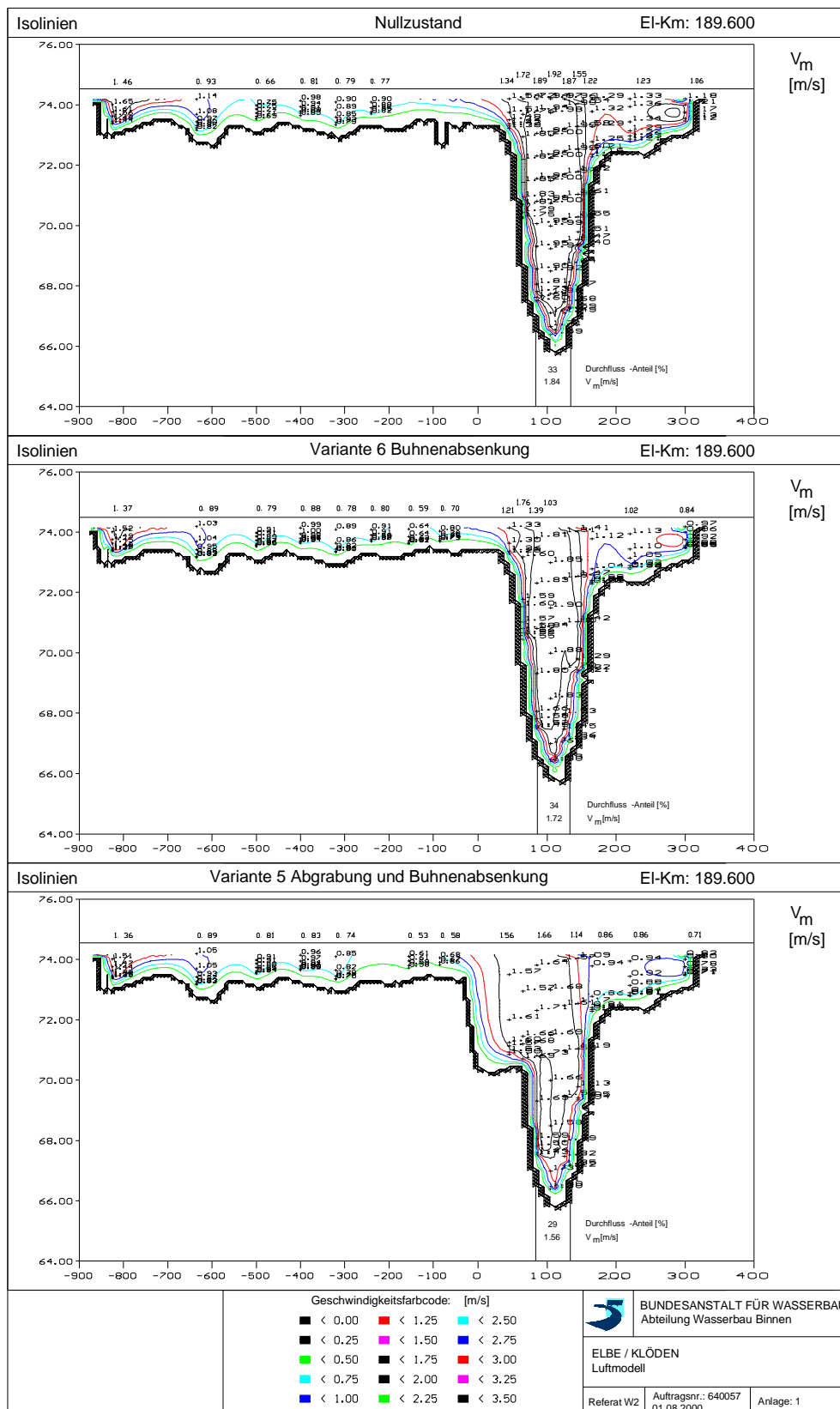
**Abb. 7.6:** Sichtbarmachung der Sohlstromlinien mit Anstrichverfahren für Variante 1A – Deichrückverlegung (oben) und Istzustand (unten)

Im Luftmodell wurde gegenüber dem 2D-HN-Modell (s. Kap. 6.1: große Deichrückverlegung zwischen El-km 185 und 190,3) nur eine **kleine Deichrückverlegung** (zwischen km 189,1 und 190,3) untersucht. Die rechtsseitige Deichrückverlegung wurde für die Grundsatzstudie in der Art ausgeführt, dass der bestehende Deich vollständig entfernt wurde. Durch das Altgewässer „Klödener Riß“ und die Ortslage Klöden konnte der Deich nicht unterhalb von km 190,3 zurück verlegt werden, so dass die Engstelle modifiziert bestehen blieb. Sowohl Luftmodell (Abb. 7.6) als auch 2D-HN Modell zeigten, dass das Wasser bereits bei km 190 aus dem rechten Vorland in den Flussschlauch wieder einströmte. Allerdings kam es am oberen Ende der großen Deichrückverlegung (km 185) zu einem extremen Wasserspiegelabsenk (s. Abb. 9.1), der bei der kleinen Deichrückverlegung nicht zu verzeichnen war. Zur Beseitigung der Engstelle bei km 190 sind kleine und große Deichrückverlegung nicht geeignet. Sollten sie aus ökologischen Gründen verfolgt werden, sind Untersuchungen zur Ausführungsplanung erforderlich, um eine Verstärkung der Sohleintiefung oberhalb der Maßnahme zu vermeiden.

Die **Modifikation der Buhnen** wurde im Luftmodell im Abschnitt km 187,8 bis 190,5 vorgenommen. Die Buhnen wurden unter Beibehaltung der Streichlinie im Mittel um 75 cm abgesenkt. Da in diesem Untersuchungsabschnitt das Sohlmaterial schon bei mittleren Durchflüssen mobilisiert wird und auch hier bei geringfügigem Wasserspiegelabsenk bis MQ die notwendige Fahrrinntiefe für die Schifffahrt noch gewährleistet war, wurde auf eine Kompensation der Querschnittsaufweitung wie im hydraulischen Modell (s. Kap. 8) verzichtet. Die Buhnenabsenkung allein brachte in der starken Krümmung bei km 190 keine ausreichende Verringerung des Sohlenangriffs, da links nur wenige kleine Buhnen und rechts ein Deckwerk vorhanden waren, das nicht verändert wurde. Dort, wo beidseitig hoch liegende Buhnen vorhanden waren, wurden ähnliche Ergebnisse wie in der Untersuchungsstrecke des hydraulischen Modells (s. Kapitel 8) erzielt. Da die kleine Uferabgrabung in diesem Abschnitt keine generelle Verbesserung der Vorlandüberströmung (frühere Überströmung, größere Strömungsvielfalt) brachte, ist eine Kombination von Uferabgrabung und Buhnenabsenkung hier unnötig, zumal die deutliche Entlastung des Mittelwasserbettes konsequenter durch die Uferabgrabung erreicht wird (siehe Durchflussanteile und Geschwindigkeiten in Abb. 7.7).

In Abb. 7.8 sind links die Ausdehnung der kleinen bzw. der großen Uferabgrabung und die Sohlstromlinien bei Variante 3 (große Uferabgrabung) dargestellt. Rechts werden die über die Tiefe gemittelten Geschwindigkeiten für Variante 3 (gelb) und Istzustand (magenta) verglichen. Diese Geschwindigkeiten wurden aus punktuellen Messungen mittels Hitzdrahtanemometer abgeleitet (analog zu Abb. 7.7). Aus Abb. 7.8 lässt sich sowohl die Verringerung der über die Tiefe gemittelten Geschwindigkeiten im Gewässerbett durch die Uferabgrabung feststellen, als auch der stärkere Durchflussanteil im Bereich der Abgrabung bei Variante 3 (s. Kap. 9.1). Im 2D-HN-Modell wurde eine sehr große **Abgrabung** am linken Ufer zwischen El-km 188,5 und 190,7 untersucht. Sie entsprach der großen Abgrabung im Luftmodell (s. Abb. 7.8, links). Die Abtragsbreite betrug im Mittel 200 m, die mittlere Abgrabungstiefe 1,7 m (auf Niveau des langjährigen MW + 1 m). Da die im AD-Modell ebenfalls untersuchte kleine Abgrabung zwischen km 189,2 und 190,4 genau im Bereich der engen Krümmung und des eng am Mittelwasserbett verlaufenden rechten Deiches gezielt eine Querschnittsaufweitung herbeiführte, konnte dort mit deutlich geringerem Aufwand als bei der großen





**Abb. 7.7:** Linien gleicher Geschwindigkeiten für Variante 6 (Bühnenabsenkung) und Variante 5 (Bühnenabsenkung und kleine Uferabgrabung) sowie Nullzustand

Abgrabung (gleiches Niveau wie bei großer Abgrabung, Abtragsbreite im Mittel 60 m) eine ausreichende Verringerung der Belastung der Stromsohle erreicht werden. Allerdings wurde mit der kleinen Abgrabung die Zuströmung zum dahinter liegenden linken Vorland nicht verbessert, da sie nicht den gesamten höher liegenden Geländezug durchstach.

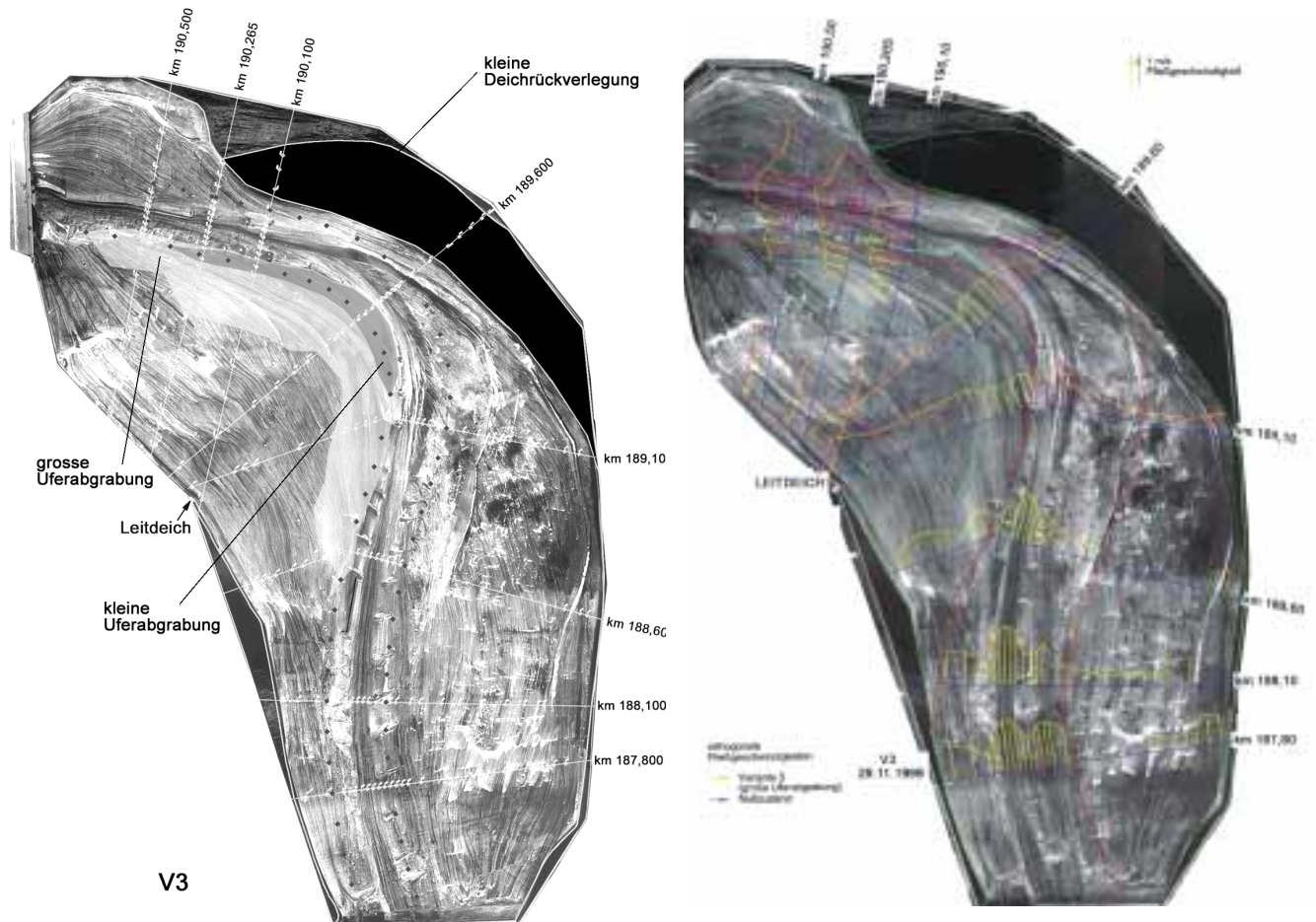


Abb. 7.8: Vergleich Variante 3 (große Uferabgrabung) und Nullzustand

### 7.3 Aerodynamisches Modell bei Lenzen

Im Gutachten zu den Vorlaufuntersuchungen des Forschungsprojekts im Bereich Lenzen [BAW, 1997a] wurde das Luftmodell (El-km 474,2 bis 484,1) mit fester Sohle beschrieben. Im Forschungsprojekt wurden einige weiterführende Untersuchungen an diesem Modell durchgeführt, die hauptsächlich in den Modellvergleich eingeflossen sind (Kap. 9.2, bzw. [BAW, 1998c] und [BAW, 1999a]). Der detaillierte Ergebnisbericht der Untersuchungen im Forschungsprojekt ist in Vorbereitung [FAULHABER, 2001c]).

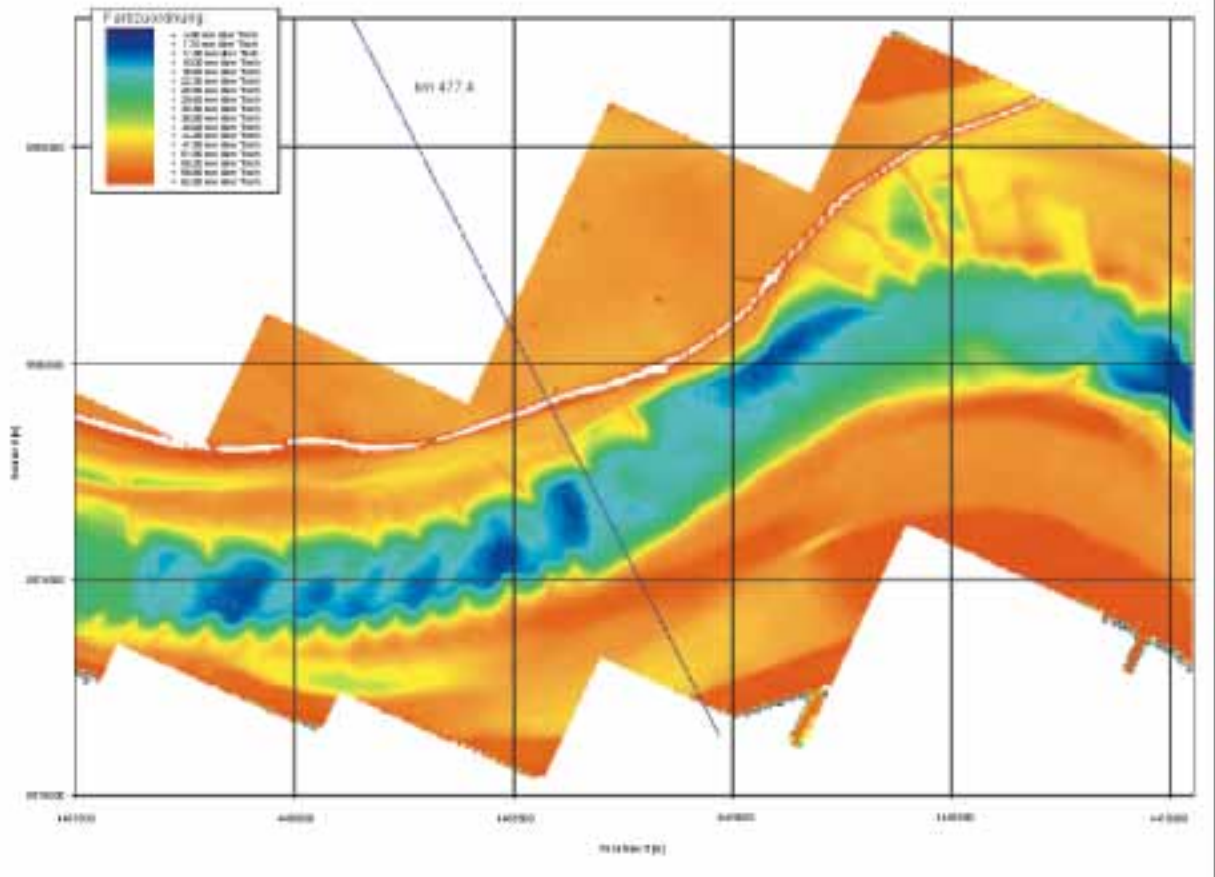
Wesentlich neu waren innerhalb des Forschungsprojektes die Untersuchungen am Modell mit Geschiebekoffer. Dazu wurde zwischen km 476 und 479 im Flussbett eine bewegliche Sohle eingebracht (Abb. 7.9). In Abb. 7.9 ist die eingeebnete Sohle beim ersten Versuch mit Korundmaterial zu sehen. Dieses Material hat sich im Verlauf der Untersuchungen als ungeeignet herausgestellt, da es zwar eine für Luftmodelle günstige, hohe Dichte ( $3,7 \text{ g/cm}^3$  gegenüber Sanddichte  $2,65 \text{ g/cm}^3$ ) besitzt, aber sehr scharfkantig ist. Diese Scharfkantigkeit führte im Zusammenhang mit einer gegenüber dem Naturmaterial unnatürlichen Kornform zu einer größeren Reibung zwischen den Korundteilchen als diese bei natürlichen Kies-Sand-Gemischen auftritt. Im weiteren Verlauf der Untersuchungen wurde deshalb mit Sand ( $d_m = 0,57 \text{ mm}$ ,  $U = 2,0$ ) als Geschiebematerial gearbeitet (Abb. 7.12). Zum Vergleich betragen diese Parameter für das Naturmaterial nach [BfG, 1994] etwa  $d_m = 1,13$  bis  $1,80 \text{ mm}$ ,  $U = 2,16$  bis  $3,53$ .



**Abb. 7.9: Luftmodell Lenzen mit eingeebneter Geschiebesehle**

Die Versuche wurden jeweils ausgehend von einer in Höhe der mittleren Sohle eingeebneten Sohle durchgeführt. Das Modell wurde so gefahren, dass deutlicher Geschiebetransport nur bei gleichzeitiger Materialzugabe stattfand. Bei den Kurzzeitversuchen wurde das Modell 20 Minuten mit insgesamt 5 kg Zugabe betrieben (anschließend 26 Minuten ohne Zugabe). Die Versuche wurden drei Mal wiederholt, und bei den Auswertungen die Mittel der drei Versuche betrachtet. Bei den Langzeitversuchen wurden bei 60 Minuten Versuchsdauer 9 kg Material zugegeben (anschließend 135 Minuten ohne Zugabe). Insgesamt befanden sich im Geschiebekoffer ca. 60 kg Sand. Im Anschluss an die Versuche wurde die Modellgeometrie mit Hilfe eines auf einem Messportal laufenden Laserabstandsmessers mit Linien- oder Flächenpeilung vermessen (in x-Richtung 1 mm Abstand, in y-Richtung 10 mm Ab-

stand bei Flächenpeilung - Abb. 7.9) und mit Farbflächengrafiken (Abb. 7.10) bzw. an Profilen orientiert (Abb. 7.14) ausgewertet.



**Abb. 7.10: Geländemodell des Luftmodells Lenzen für den Nullzustand (aus Laserabstandsmessung)**

Im Verlaufe des Versuches bildeten sich Riffel aus (Abb. 7.11), wodurch der Geschiebetransport im Modell wie in der Natur in dieser Elbestrecke als „verzögerte“ Bewegung in Transportkörpern ablief, obwohl in der Natur die prägenden Transportkörper Dünen und nicht Riffel sind [TRAU, 1999], [HENTSCHEL, 1999]. Detaillierte Auswertungen finden sich in [FAULHABER, 2001c].

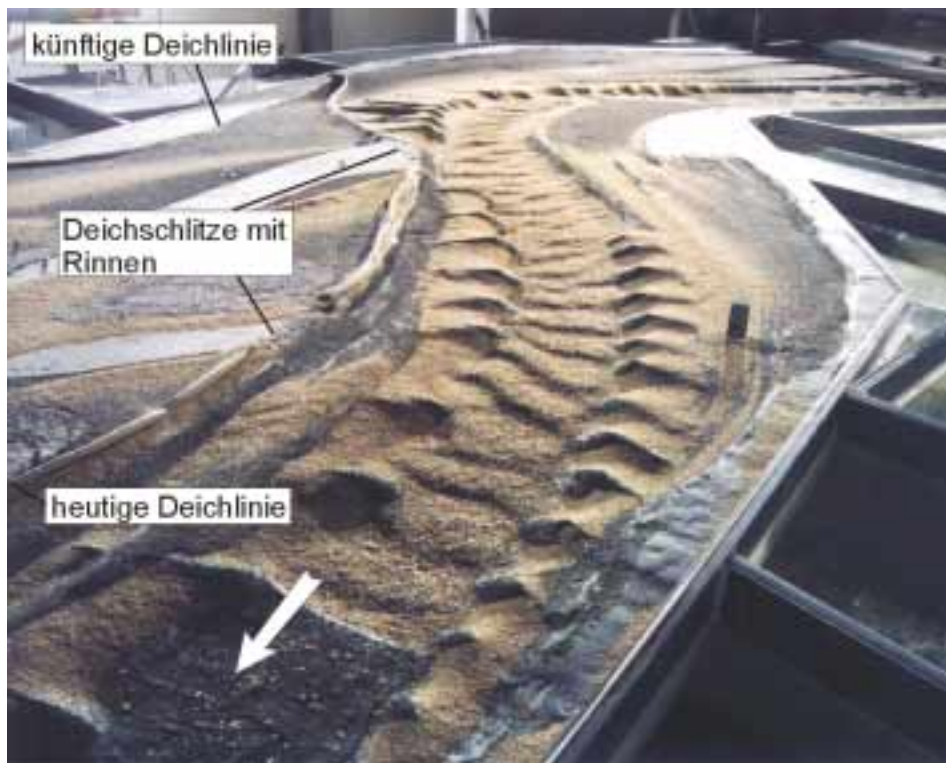


**Abb. 7.11:     Sohle des Geschiebekoffers nach dem Langzeitversuch für den Nullzustand**

Aus den Fotos Abb. 7.12 bis Abb. 7.11 ist bereits ohne Messungen ersichtlich, dass

- die Sohle im Geschiebekoffer im Nullzustand tiefer lag als bei Deichschlitzung und diese wiederum tiefer als beim Versuch ohne bestehenden Deich.
- die Transportkörper im Nullzustand länger und höher waren als die bei den Varianten mit Deichrückverlegung. (Vollständig ohne heutigen Deich waren die Transportkörper nur noch schwach zu erkennen - Abb. 7.13).

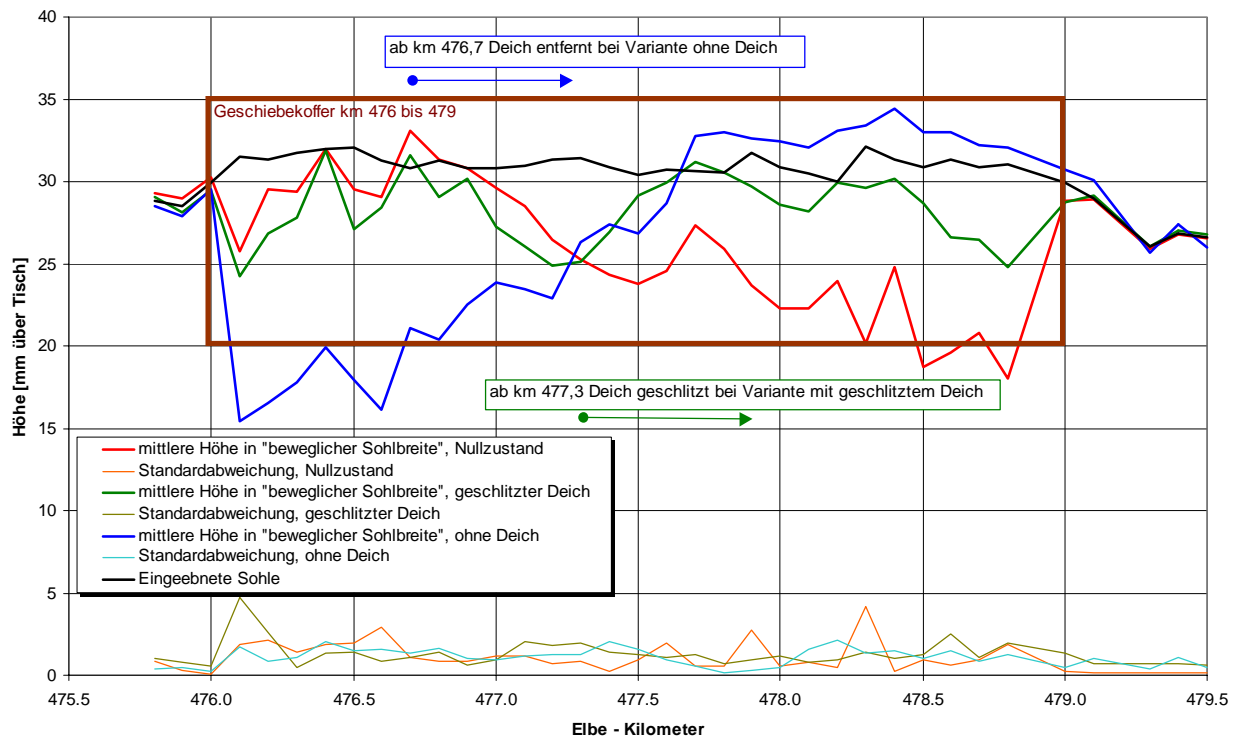
Diese ersten Eindrücke wurden durch entsprechende Auswertungen der Geländemodelle untersetzt. Da Luftmodelle mit beweglicher Sohle nur als qualitative Geschiebemodelle (siehe Kap. 7.1) betrachtet werden können, kann auch nach Auswertung der Geländemodelle keine Angabe über die absoluten Höhen oder die Differenzen der mittleren Sohlen auf Natur umgerechnet gemacht werden. In Abb. 7.14 sind die Mittelwerte für die Sohlenhöhe im Bereich der beweglichen Sohlenbreite (zwischen den Uferböschungs- bzw. Bühnenfüßen) aus den Kurzzeitversuchen (einschließlich Standartabweichung bei je drei Versuchen) aufgetragen.



**Abb. 7.12:** Sohle des Geschiebekoffers nach dem Versuch mit geschlitztem Deich



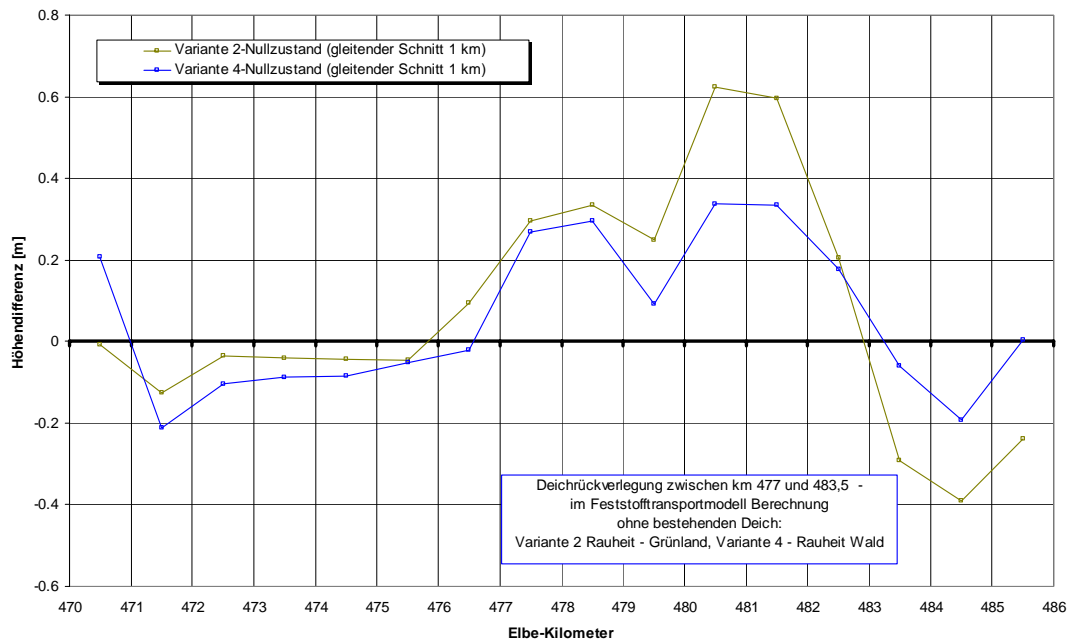
**Abb. 7.13:** Sohle des Geschiebekoffers nach dem Versuch ohne Deich



**Abb. 7.14: Vergleich der mittleren Sohle im Bereich der beweglichen Sohlenbreite im AD-Modell Lenzen**

Folgende Schlussfolgerungen lassen sich trotz weiterhin verbesserungsfähiger Versuchsabläufe ziehen:

- Ab km 477 war im Nullzustand bei Hochwasser eine Engstelle zu verzeichnen (scharf liegende Deiche). Dies zeigte sich im Versuch in der Eintiefungstendenz für den Nullzustand unterhalb km 477 gegenüber der eingeebneten Sohle.
- Bei Schlitzung des bestehenden Deiches traten in Höhe des ersten Schlitzes und oberhalb des Geschiebekofferendes (Übergang zur festen Sohle) Eintiefungen gegenüber der eingeebneten Sohle auf. Im Vergleich zum Nullzustand kam es durch die Schlitzung von km 477,3 bis zum Ende des Geschiebekoffers zu Auflandungen. Bezogen auf den Nullzustand kam es nach Entfernung des Altdeiches ab km 476,7 zu deutlichen Auflandungen.
- Durch die vollständige Entfernung des bestehenden Deiches wurde mehr Material aus dem Bereich direkt unterhalb der Geschiebedosierung (km 475,6) heraustransportiert als zugegeben werden konnte. Dies ist hauptsächlich auf den Wasserspiegelabsenk durch die Deichrückverlegung zurückzuführen, die sich nach Oberstrom nur langsam abbaut, weshalb bei verringerter Durchflussfläche eine größere Transportkraft wirkt. Das Material wurde zum Einen in das rechte Vorland eingetragen und lagerte sich zum Anderen im Gewässerbett im Bereich der Deichrückverlegung ab.



**Abb. 7.15: Vergleich der Entwicklung der mittleren Sohlen bezogen auf die Prognose für 15 Jahre im Nullzustand bei feuchter Ganglinie**

Zum Vergleich mit den Untersuchungsergebnissen des aerodynamischen Modells mit beweglicher Sohle konnten die Ergebnisse des eindimensionalen Feststofftransportmodells (FTM) herangezogen werden [HACK, 1996]. Obwohl das FTM für langfristige und großräumige Betrachtungen erstellt wurde, ergaben sich mit den kleinräumigen Untersuchungen am AD-Geschiebemodell vom Grundsatz her vergleichbare Aussagen (Abb. 7.15): Im Bereich der Deichrückverlegung ist gegenüber der Prognose für den Nullzustand mit Auflandung, direkt oberhalb mit Eintiefung zu rechnen.