



**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 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

|   | <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           |

## 6.2 Modell der Rückdeichung bei Lenzen

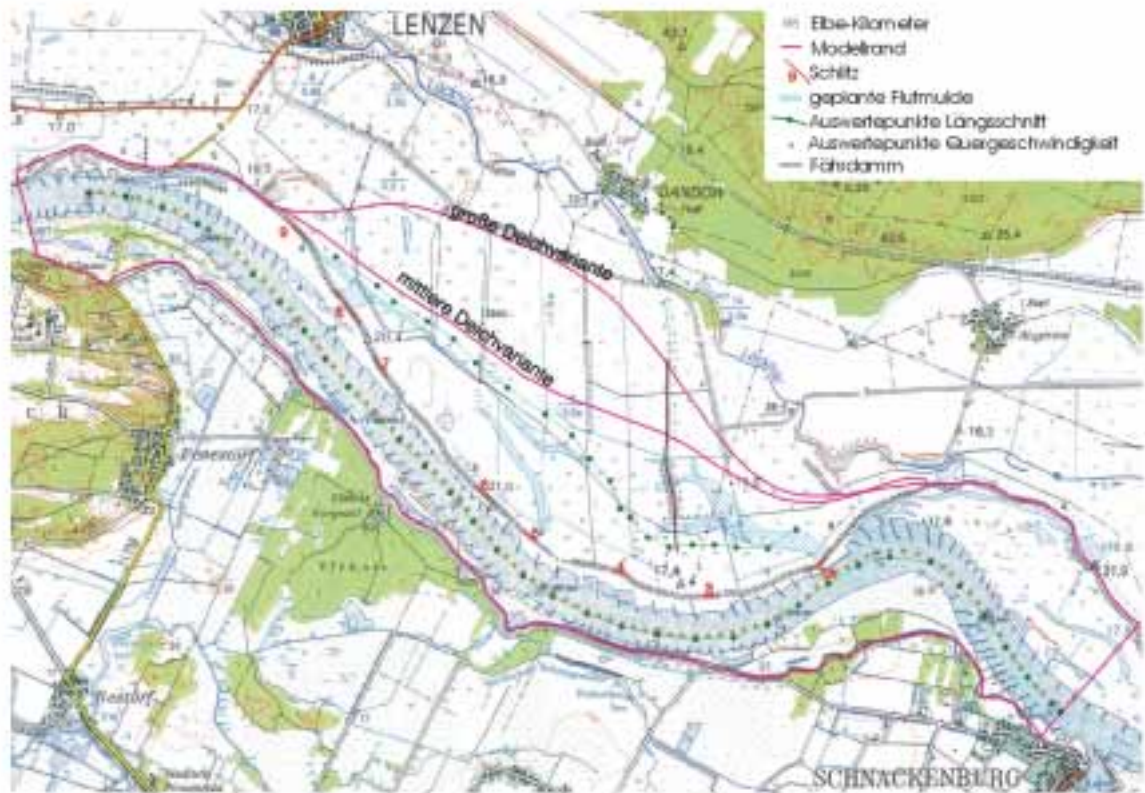
### 6.2.1 Modellbeschreibung

Das zweidimensionale hydraulisch-numerische (2D-HN) Modell für die Strecke El-km 475 – 485,5 diente dazu, Auskünfte über die Auswirkung verschiedener Rückdeichungsvarianten auf die Strömung in der Elbe und im künftigen Vorland im Nahbereich der Maßnahme zu geben und wurde bei der Optimierung verschiedener Planungsvarianten genutzt. Zwei verschiedene Linienführungen des künftigen Deiches fanden Berücksichtigung (siehe Abb. 6.5 und Tab. 6.5).

|                        | ausgedeichte Fläche | maximale Fließbreite |
|------------------------|---------------------|----------------------|
| große Deichvariante    | 660 ha              | 2,4 km               |
| mittlere Deichvariante | 420 ha              | 1,8 km               |

**Tab. 6.5: Parameter der untersuchten Rückdeichungsgebiete**

Es wurde ein 2D-HN-Modell ohne Berücksichtigung der Sohlenreaktion („feste Sohle“) eingesetzt, das mit der Methode der Finiten Elemente arbeitete und ein unstrukturiertes Gitter verwendete [BAW, 1997a]. Mit einem Netz von Drei- und Viereckselementen wurde die Topografie des Untersuchungsgebietes abgebildet (siehe Abb. 6.6 oben und Tab. 6.6). Der Bewuchs und der Fließwiderstand der Sohle wurden durch verschiedene Rauheitsklassen berücksichtigt (siehe Abb. 6.6 unten). Die ca. 200 Buhnen im Untersuchungsraum wurden aufgrund ihrer Vielzahl und der geplanten Nutzung der Modelle, für die Simulation von Hochwasserabflüssen und ohne Varianten mit Veränderung der Buhnen, nicht in ihrer Topografie nachgebildet, sondern in ihrer hydraulischen Wirkung ebenfalls durch eine spezielle Rauheitsklasse erfasst.



**Abb. 6.5: Untersuchte Linienführungen der Deichrückverlegung bei Lenzen**

|                                       | mittlere Elementgröße |               | Elementanzahl |
|---------------------------------------|-----------------------|---------------|---------------|
|                                       | Rückdeichungsbereich  | Flussschlauch |               |
| große Deichvariante (erstes Modell)   | 75 x 85m              | 30 x 40m      | 13700         |
| mittlere Deichvariante (neues Modell) | 20 x 33m              | 30 x 40m      | 20300         |

**Tab. 6.6: Modellnetze**

Mit dem 2D-HN-Modell wurden an jedem Knoten des Berechnungsgitters der Wasserspiegel, die über die Tiefe gemittelte Geschwindigkeit, die Wassertiefe und daraus abgeleitete Parameter (z.B. Schubspannung) berechnet. Dadurch waren flächendeckende Aussagen, aber auch die Erfassung interessanter Details, wie z.B. die Strömung im Einströmbereich, möglich (Abb. 6.7).



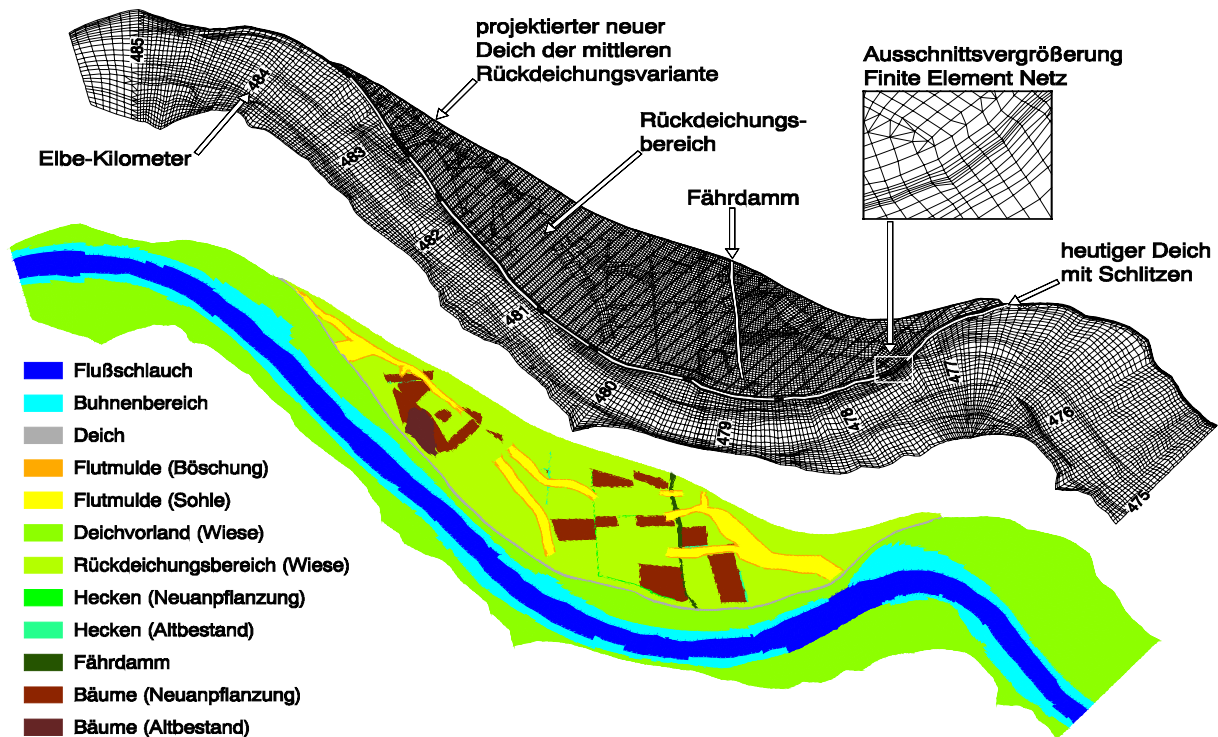


Abb. 6.6: Modellnetz, Bewuchszonen und Rauheitsbereiche

## 6.2.2 Untersuchte Varianten

In der ersten Phase der Untersuchungen im Bereich Lenzen im Auftrag des Landesumweltamtes Brandenburg ([BAW, 1997a], [Faulhaber, 1997]) wurde im 2D-HN-Modell für die große Rückdeichung die Gestaltung des verbleibenden Altdeichs optimiert und eine Vorzugsvariante mit dem Ziel einer möglichst naturnahen Flutung des Rückdeichungsgebietes bei geringstmöglicher Beeinträchtigung der Schifffahrt entwickelt. Es wurde untersucht, wie sich eine Absenkung des heutigen Deiches auswirkt, der als „künstliche Uferrehne“ bestehen bleiben soll. In weiteren Varianten wurde dieser Altdeich von Schlitzen durchbrochen, die eine frühere Einströmung in das Rückdeichungsgebiet ermöglichen. Dabei wurden Größe und Lage der Schlitze und der Einfluss der Höhe der Altdeichabschnitte zwischen den Schlitzen auf die Strömungsverhältnisse untersucht. Im Bereich der starken Krümmung bei Elbe-km 477 zeigte sich in Voruntersuchungen mit anderen Modellen (aerodynamisches und eindimensionale Modelle) bereits die Notwendigkeit, dass der derzeitige Deich in voller Höhe als Leitdeich erhalten bleiben muss, dessen Gestaltung untersucht wurde. Die Variation der Randbedingungen (unterschiedliche Vorlandrauheit des Bewuchses, Wirkung der Varianten der Gestaltung des Altdeiches) wurden für verschiedene Durchflüsse ( $HQ_{1.2} = 1500 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $HQ_{3.5} = 2300 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $HQ_{20.25} = 3250 \text{ m}^3/\text{s}$ ) vergleichend aufbereitet. Als Ergebnis wurde eine Vorzugsvariante der Altdeichgestaltung aus hydraulisch-morphologischer Sicht entwickelt, die in den nachfolgenden Untersuchungen nicht mehr grundsätzlich verändert wurde. Hydraulische Untersuchungen für Durchflüsse bei Bemessungshochwasser wurden mit eindimensionalen hydronumerischen Modellen in der ersten Phase [BAW, 1997a] durchgeführt.

Im Rahmen des Forschungsprojekts stand die Ermittlung abiotischer Parameter (Wasserspiegel, Geschwindigkeiten, Überflutungsgrenzen etc.) dieser Vorzugsvariante für weiterführende biotische Untersuchungen anderer Forschungsprojekte im Vordergrund (siehe auch [BAW, 1998c und 1999a]). Zu weiten Teilen wurden die Untersuchungen mit einer neuen, mittleren Deichlinie (Abb. 6.5) durchgeführt. Es wurde entsprechend neuer Befliegungsdaten (Stereoluftbilder) ein aktualisiertes, feiner aufgelöstes Geländemodell des künftigen Rückdeichungsgebietes eingebunden (Tab. 6.6) und mit dem ersten Modell verglichen ([BAW, 1999a], [HAPE, KATZUR, BLEYEL, 2000]). Entsprechend den Vorgaben der Landesanstalt für Großschutzgebiete Brandenburg (LAGS) wurden Flutmulden im zukünftigen Vorland im Modell realisiert, die auch den Fährdamm durchstießen, so dass dieser nicht mehr als Trennungsdamm bei der Durchströmung des künftigen Vorlandes wirkte. Für die meisten Berechnungen wurde der Bewuchs entsprechend einer Bewuchsprognose (Forschungsprojekt der Landesanstalt für Großschutzgebiete Brandenburg [LAGS, 1999]) angesetzt. Darin waren Teile des Rückdeichungsgebiets mit Wald bedeckt, während andere Bereiche als Wiese oder Weide verblieben (siehe Abb. 6.6 unten).

Da keine parametrisierten Optimierungskriterien aus „ökologischer“ Sicht hinsichtlich der zu erreichenden hydraulischen Parameter zur Verfügung standen, wurden die vorgegebenen Szenarien (Rauheit der Bewuchsentwicklung, Flutmuldengestaltung, Deichlinienführung) im Rahmen des Forschungsprojektes nicht mehr variiert, sondern die Prognose für die Vorzugsvariante (mittlere Deichlinie, Bewuchsprognose nach [LAGS, 1999], Flutmulden nach Vorgabe in Abb. 6.6, Altdeich entsprechend Ergebnis [BAW, 1997a]) erstellt. Die Wirkungen der verschiedenen Einflussgrößen der Szenarien (mittlere und große Deichrückverlegung, mit und ohne Flutmulden, verschiedene Altdeichhöhen zwischen den Schlitten usw.) wurden verglichen. Entsprechend neuer Fragestellungen wurden dabei auch die Ergebnisse früherer Untersuchungen in die Bewertung mit einbezogen.

Zur Untersuchung der Auswirkung der langfristig zu erwartenden Reaktion der Stromsohle auf die tiefengemittelt berechneten Strömungsparameter im Nahbereich der Maßnahme wurde für eine Variante die Differenz der mittleren Stromsohle, die mit einem eindimensionalen Feststofftransportmodell [HACK, 1996] prognostiziert worden war, zur Erstellung einer künftigen Topografie im Flussschlauch für das 2D-HN-Modell genutzt.

Für die meisten vergleichenden Untersuchungen wurden stationäre Berechnungen verwendet. Zur Bewertung des Einströmverhaltens im Verlauf einer Hochwasserwelle und zur Ermittlung der Überflutungsgrenzen bei verschiedenen Überflutungshäufigkeiten wurde die instationäre Berechnung einer Sommer-Hochwasserwelle (23.7.-12.8.1981) mit einem maximalen Durchfluss von 1980 m<sup>3</sup>/s (am Pegel Wittenberge) ausgewertet.

## **6.2.3 Ergebnisse**

### **6.2.3.1 Auswirkung der Rückdeichung auf das Gewässerbett**

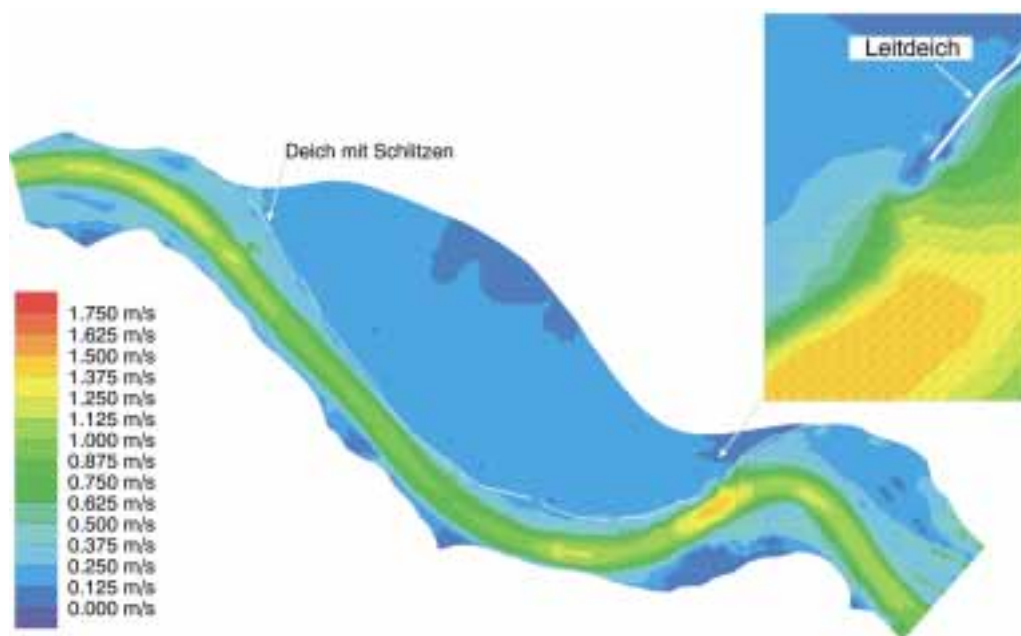
Nach realisierter Deichrückverlegung wurde im Hochwasserfall ein Teil des Abflusses nicht mehr im Fluss sondern über die Rückdeichungsfläche abgeführt. Bei der großen Rückdeichung betrug dieser

Anteil bis zu 43% des Gesamtabflusses bei einem 20-25-jährlichen Hochwasser und bei der mittleren Rückdeichung bis zu 38% (Tab. 6.7). Dadurch kam es parallel zum Rückdeichungsbereich im Fluss zu einer Absenkung des Wasserspiegels von bis zu 46 cm bei der großen Rückdeichung (siehe Abb. 9.4) und bis 36 cm bei der mittleren Rückdeichung (jeweils  $HQ_{20-25}$ ) und einer Verringerung der Fließgeschwindigkeiten gegenüber dem heutigen Zustand. Im Bereich der Krümmung bei km 477, in dem im aktuellen Zustand die größten Geschwindigkeiten im Flussbett auftraten, blieben die Geschwindigkeiten nahezu gleich (siehe Abb. 6.7 und Abb. 6.8). Die Absenkung des Wasserspiegels im Maßnahmenbereich wirkte sich weit nach Oberstrom aus (siehe Kap. 3.2) und führte dort zu einer Erhöhung der Fließgeschwindigkeit in allen Varianten gegenüber dem Istzustand.

Prinzipiell gilt: Je größer das Rückdeichungsgebiet und je geringer der Fließwiderstand des Bewuchses ist, um so größer ist der darüber abgeführte Abflussanteil. Dementsprechend ist die Wasserspiegel- und Geschwindigkeitsänderung im Fluss größer. Allerdings prägen Anordnung des Bewuchses, Altdieichgestaltung und ggf. geplante Flutmulden im zukünftigen Vorland die Strömung und damit die Abflussanteile des zukünftigen Vorlandes wesentlich.

| <b>Abfluss im Rückdeichungsbe-<br/>reich als Anteil des<br/>Gesamtabflusses</b> | HQ <sub>1-2</sub> (1500 m <sup>3</sup> /s) | HQ <sub>3-5</sub> (2300 m <sup>3</sup> /s) | HQ <sub>20-25</sub> (3250 m <sup>3</sup> /s) |
|---|--|--|--|
| mittlere Deichvariante (19)   | 9,9%                                       | 29,1%                                      | 38,2%  |
| große Deichvariante (33)  | 11,2%                                      | 31,8%                                      | 43,2%  |

**Tab. 6.7: Anteile des Gesamtabflusses für das Rückdeichungsgebiet**



**Abb. 6.7: Berechnete Geschwindigkeitsverteilung für HQ<sub>3.5</sub> bei großer Rückdeichung**

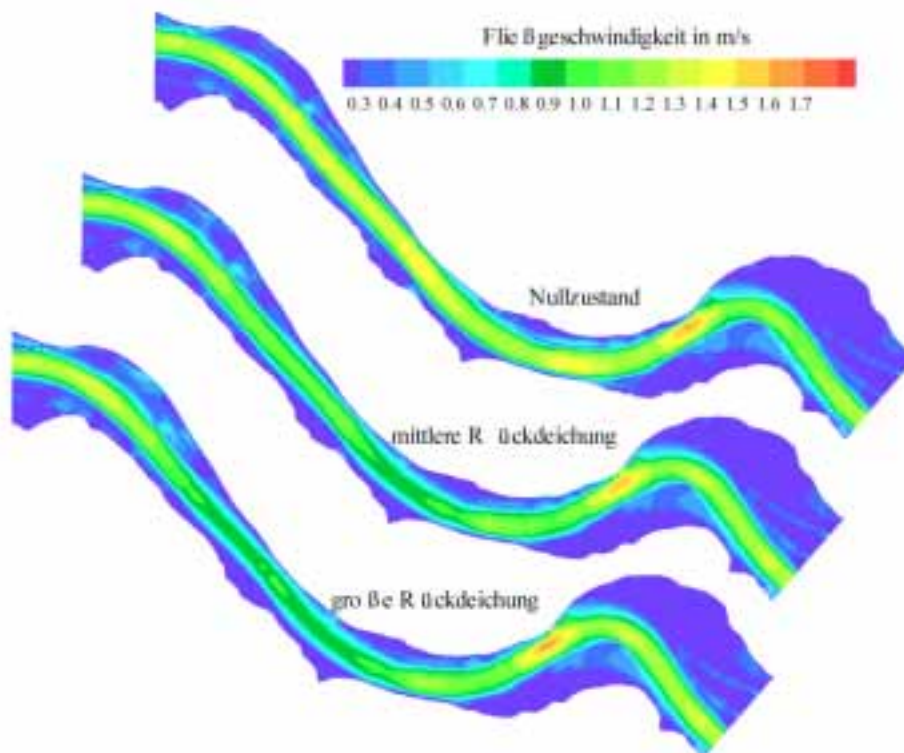


Abb. 6.8: Fließgeschwindigkeiten im Bereich zwischen den bestehenden Deichen bei HQ 3-4

### 6.2.3.2 Auswirkungen der Modifikation des Altdeiches

Um zu ermitteln, welchen Einfluss eine Variation der Rehnenhöhe zwischen den Schlitten auf die Strömung hat, wurden zwei Varianten der großen Rückdeichung mit abgesenktem Altdeich zwischen den Deichschlitten verglichen, die sich nur in der Höhe dieser künstlichen Rehnen zwischen den Schlitten unterschieden. In der einen Variante (21) orientierte sich die Rehnenhöhe am Wasserspiegel des Nullzustands bei einem Abfluss von  $1400 \text{ m}^3/\text{s}$  in der anderen Variante (24) entsprach dieser Abfluss  $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ , der Höhenunterschied betrug ca  $0,5 \text{ m}$ . Bei einem Abfluss von  $1500 \text{ m}^3/\text{s}$  lagen die maximalen Wasserspiegeldifferenzen bei  $3 \text{ cm}$  im Vorland und im Fluss bei  $2 \text{ cm}$ . Die Geschwindigkeitsverteilung im Flussschlauch und im Rückdeichungsbereich (ausserhalb des Rehnenbereichs) war für beide Varianten ähnlich. Der Abflussanteil, der über den Rückdeichungsbereich abgeführt wird, war für die Variante mit der niedrigeren Rehne ( $130 \text{ m}^3/\text{s}$ ) größer als für Variante mit der höheren Rehne ( $100 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Für größere Abflüsse, bei denen in beiden Varianten die Rehne überströmt wurde, waren die Unterschiede zwischen den beiden Varianten noch geringer.

In einem weiteren Vergleich wurden bei Vorlandrauheit „Wald“ abgesenkte und nicht abgesenkte Rehnen betrachtet. Die Rehnenhöhe der Variante 19 orientierte sich am Wasserspiegel des Nullzustands bei einem Abfluss von  $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ . In Variante 29 lagen die Deichabschnitte zwischen den Schlitten auf der Höhe des bestehenden rechten Deichs und damit Hochwasserfrei. In diesem Fall

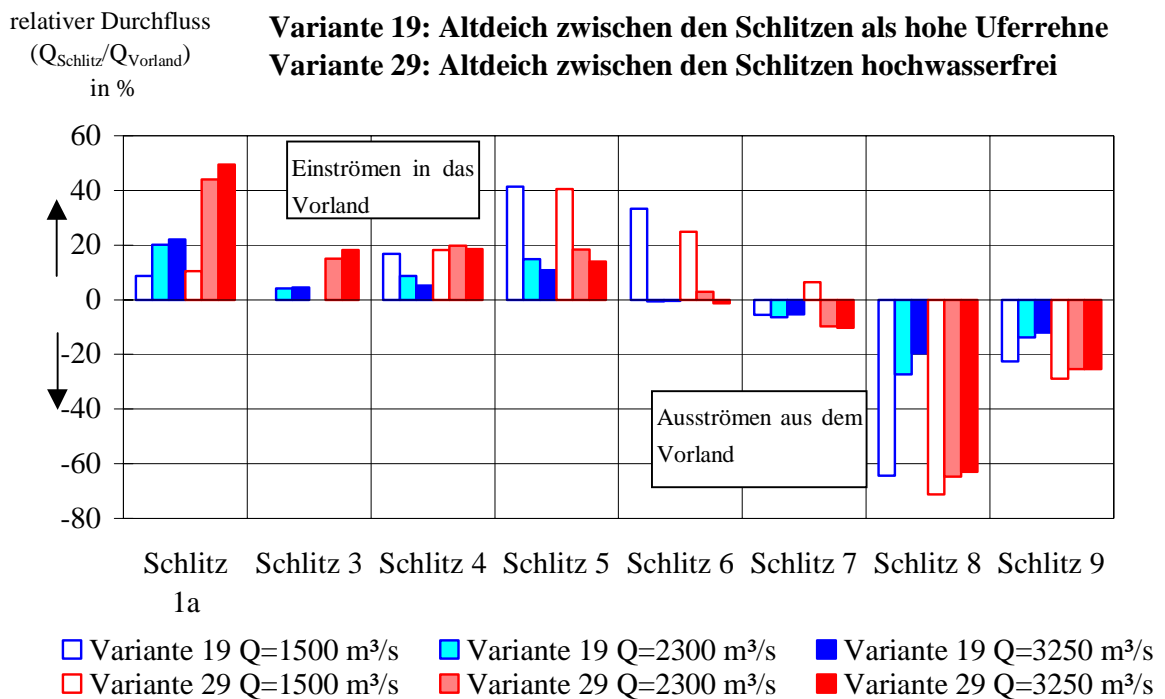
verringerte sich der Abflussanteil, der über das Rückdeichungsgebiet abgeführt wurde um 25-30% gegenüber dem für Variante 19 berechneten Anteil. Die Geschwindigkeiten in den Schlitzen waren bei Verwendung einer Rehne zwischen den Schlitzen geringer, sobald die Überströmung der Rehne einsetzte (siehe Tab. 6.8). Bei voller Deichhöhe zwischen den Schlitzen lag sie zwischen 5 und 150% höher. Eine Ausnahme bildete Schlitz 6, da dort die Strömung nahezu parallel zum Schlitz verlief und nur ein geringer Durchfluss vorlag. Die größten auftretenden Geschwindigkeiten sind für jeden Abfluss fett hervorgehoben.

| Variante   | Q=1500m <sup>3</sup> /s         |             |                              |             | Q=2300m <sup>3</sup> /s         |             |                              |             | Q=3250m <sup>3</sup> /s         |             |                              |             |
|------------|---------------------------------|-------------|------------------------------|-------------|---------------------------------|-------------|------------------------------|-------------|---------------------------------|-------------|------------------------------|-------------|
|            | V <sub>mittel</sub><br>in [m/s] |             | V <sub>max</sub><br>in [m/s] |             | V <sub>mittel</sub><br>in [m/s] |             | V <sub>max</sub><br>in [m/s] |             | V <sub>mittel</sub><br>in [m/s] |             | V <sub>max</sub><br>in [m/s] |             |
|            | 19                              | 29          | 19                           | 29          | 19                              | 29          | 19                           | 29          | 19                              | 29          | 19                           | 29          |
| Schlitz 1a | 0,18                            | 0,19        | 0,36                         | 0,36        | <b>0,52</b>                     | <b>0,66</b> | <b>1,02</b>                  | <b>1,17</b> | <b>0,78</b>                     | <b>0,83</b> | <b>1,40</b>                  | <b>1,51</b> |
| Schlitz 3  | -                               | -           | -                            | -           | 0,28                            | 0,47        | 0,35                         | 0,67        | 0,41                            | 0,50        | 0,46                         | 0,76        |
| Schlitz 4  | 0,31                            | 0,34        | 0,44                         | 0,47        | 0,23                            | 0,58        | 0,30                         | 0,74        | 0,27                            | 0,51        | 0,31                         | 0,71        |
| Schlitz 5  | <b>0,58</b>                     | <b>0,62</b> | <b>0,73</b>                  | <b>0,74</b> | 0,37                            | 0,50        | 0,41                         | 0,69        | 0,42                            | 0,37        | 0,44                         | 0,55        |
| Schlitz 6  | 0,51                            | 0,55        | 0,56                         | 0,69        | 0,31                            | 0,14        | 0,32                         | 0,22        | 0,40                            | 0,18        | 0,42                         | 0,27        |
| Schlitz 7  | 0,09                            | 0,11        | 0,11                         | 0,14        | 0,25                            | 0,40        | 0,26                         | 0,52        | 0,30                            | 0,50        | 0,32                         | 0,73        |
| Schlitz 8  | 0,13                            | 0,13        | 0,21                         | 0,24        | 0,26                            | 0,39        | 0,32                         | 0,67        | 0,33                            | 0,54        | 0,35                         | 0,92        |
| Schlitz 9  | 0,17                            | 0,15        | 0,22                         | 0,20        | 0,33                            | 0,40        | 0,39                         | 0,63        | 0,40                            | 0,55        | 0,47                         | 0,86        |

**Tab. 6.8: Mittlere und maximale tiefengemittelte Geschwindigkeiten in den Schlitzen**

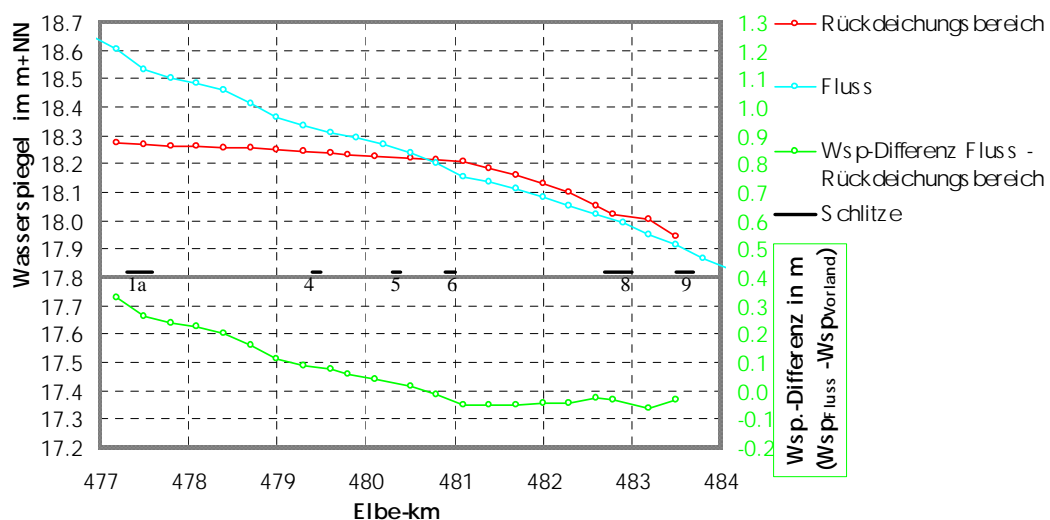
Für die Abflüsse 2300 und 3250 m<sup>3</sup>/s trat das Geschwindigkeitsmaximum in Schlitz 1a auf, der von oberstrom her gesehen als erster eine Einströmung in den Rückdeichungsbereich erlaubt. Eine Absenkung der Bereiche zwischen den Schlitzen führte zu geringeren Belastungen im Schlitzbereich, da bei größeren Hochwassern das Wasser auch gleichzeitig über die Uferrehne in den Rückdeichungsbereich einströmen kann und so die Schlitze entlastet werden. Die tiefengemittelten Geschwindigkeiten über den Rehnenabschnitten überschritten 0,7 m/s nicht.

Bei einem Abfluss von 2300 und 3250 m<sup>3</sup>/s erfolgte das Einströmen überwiegend durch Schlitz 1a (siehe Abb. 6.9). Der Hauptteil des ausströmenden Wassers floss durch Schlitz 8. Bei 1500 m<sup>3</sup>/s erfolgte die Haupteinströmung erst in Schlitz 5, da der Fährdamm nicht überströmt war und so ein Strömungshindernis für den östlichen Teil des Rückdeichungsbereichs darstellte. Im Ergebnis des Vergleiches der Strömungsbeaufschlagung der Schlitze im Altdeich wurden für die Vorzugsvariante die kaum durchströmten Schlitze 3 und 7 geschlossen.



**Abb. 6.9: Anteil der Schlitte am Vorlandabfluss bei großer Rückdeichung**

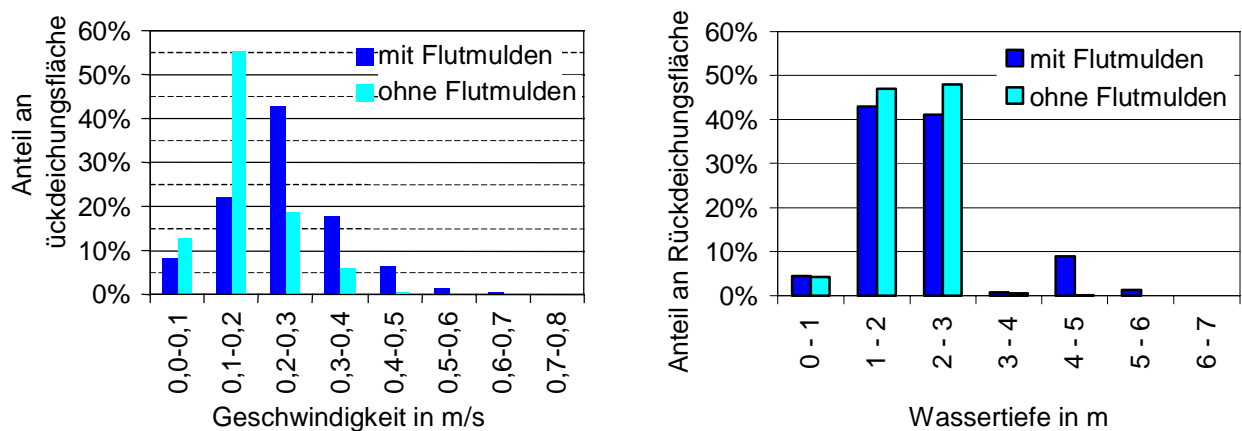
Wurden die Altdeichbereiche zwischen den Schlitten nicht überströmt, so stellte sich im Rückdeichungsgebiet ein erheblich geringeres Wasserspiegelgefälle als im Fluss ein. Am Beispiel der mittleren Rückdeichung (Variante 33 bei  $1850 \text{ m}^3/\text{s}$ ) zeigt Abb. 6.10 die unterschiedlichen Wasserstände in Flussachse und im Rückdeichungsgebiet. Erst bei Abflüssen, die so groß waren, dass die Bereiche zwischen den Schlitten überströmt wurden, glich sich das Gefälle im Rückdeichungsgebiet dem im Fluss an.



**Abb. 6.10: Wasserspiegel in Flussachse und Rückdeichungsgebiet bei Variante 33**

### 6.2.3.3 Einfluss verschiedener Maßnahmevariationen auf die Strömung im künftigen Vorland

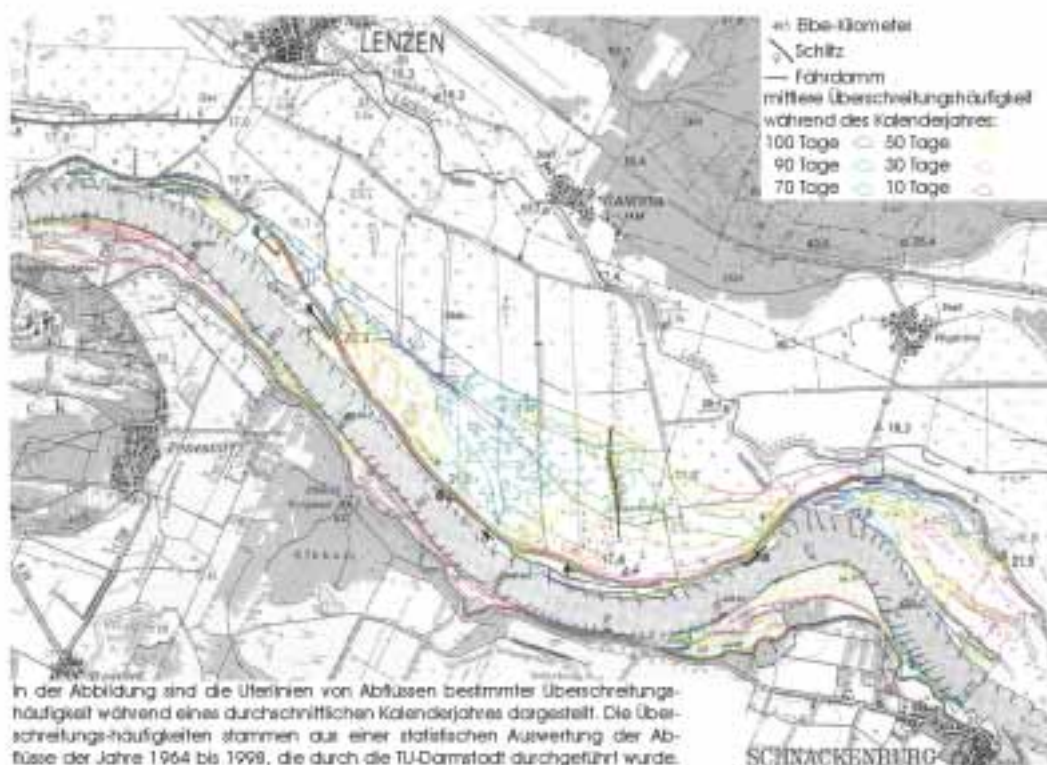
Da das Material zum Bau des neuen Deiches im Wesentlichen im Rückdeichungsgebiet gewonnen werden soll, ist die Anlage von **Flutmulden** geplant, die gleichzeitig zu einer stärkeren Strukturierung der künftigen Vorlandfläche führen sollen. Diese Flutmulden bewirken eine stärkere Durchströmung des Rückdeichungsbereiches, da das Wasser schneller abgeführt werden konnte. Der Abflussanteil des Rückdeichungsgebietes stieg durch die Flutmulden um 2,5% des Gesamtabflusses gegenüber der sonst gleichen Variante ohne Flutmulden. Die Strömungsvielfalt, gekennzeichnet durch Variation der Wassertiefen und Geschwindigkeiten, wurde durch die Flutmulden vergrößert (Abb. 6.11).



**Abb. 6.11: Flächenanteile der Geschwindigkeits- und Wassertiefenklassen im Rückdeichungsbereich bei mittlerer Rückdeichung, HQ<sub>3-5</sub>**

Der **Bewuchs** des Rückdeichungsgebiets hatte einen wesentlichen Einfluss auf die Änderung der Strömungsverhältnisse im Rückdeichungsbereich. Je geringer der Strömungswiderstand des Bewuchses im Rückdeichungsgebiet war, um so stärker waren die durch die Rückdeichung verursachten Veränderungen. Der über das Rückdeichungsgebiet abgeführte Abflussanteil schwankte um 15% des Gesamtabflusses, je nachdem, ob als Bewuchs im gesamten Rückdeichungsbereich Wald oder Grünland angenommen wurde.

Mittels einer instationären Berechnung wurde der Ablauf einer Hochwasserwelle und der dabei erfolgenden Füllung und Durchströmung des Rückdeichungsbereiches simuliert. Jedem Abfluss dieser Berechnung und somit auch den zugehörigen Uferlinien kann eine statistische Häufigkeit ihres jährlichen Auftretens zugeordnet werden. Daraus entstand eine Zuordnung der **Überflutungshäufigkeit** für verschiedene Bereiche (Abb. 6.12). Das Einströmen in das Vorland erfolgte zuerst durch Rückstau von Unterstrom durch Schlitz 8. Dann wurde Schlitz 9 angeschlossen, und das Wasser breitete sich auch ausserhalb der Flutrinnen aus. Bei Abflüssen, die ungefähr einem HQ<sub>1</sub> entsprechen, begann die Einströmung von Oberstrom durch Schlitz 1a, und es kam zu einer Durchströmung des Rückdeichungsgebietes. Die am höchsten gelegenen Flächen wurden ungefähr ab einem HQ<sub>2</sub> überströmt.



**Abb. 6.12: Uferlinien bei mittlerer Rückdeichung**

Für Biologen anderer Forschungsprojekte dienten die Karten der Überflutungshäufigkeiten als Grundlage für Prognosen der Entwicklung von Flora und Fauna im künftigen Vorland [LAGS, 1999]. Die berechneten Wasserspiegellagen im Rückdeichungsbereich wurden als Randbedingung für ein Grundwassermodell des Forschungsprojektes der Landesanstalt für Großschutzgebiete Brandenburg verwendet.

#### **6.2.4 Zusammenfassung**

Von den im Untersuchungsgebiet zur Verfügung stehenden Höhendaten (Laser-Scan-Daten, Daten aus Stereoluftbildern und topografischen Karten) waren die Daten aus Stereoluftbildern für die Modellierung am geeignetsten, da sie zum einen die beste Höhengenaugigkeit lieferten und zum anderen auch Bruchkanten erfassten. Unterschiedliche Höhenmodelle für den Rückdeichungsbereich bewirkten im Fluss eine maximale Wasserspiegeländerung von 1,5 cm, während es im Rückdeichungsbereich (mit abnehmender Tendenz bei steigenden Abflüssen) bis zu 7,5 cm waren.

Durch den erweiterten Fließquerschnitt bei einer Rückdeichung sank der Wasserspiegel in der Elbe im Bereich der Rückdeichung (maximal 9 bis 39 cm bei der mittleren und 4 bis 46 cm bei der großen Deichvariante, je nach Abfluss zwischen ein- und 25-jährlichem Wiederkehrintervall). Ebenso nahmen die Geschwindigkeiten im Flussschlauch im Maßnahmenbereich im Überflutungsfall ab, da ein erheblicher Anteil des Gesamtabflusses (bis um 40%) über das Rückdeichungsgebiet abgeführt wurde. So lange die Deichabschnitte zwischen den Schlitzen nicht überströmt wurden, und die Füllung des



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 Rückdeichungsgebiet aus. Je stärker das Rückdeichungsgebiet bewaldet war, um so geringer wurde der Abfluss und die Geschwindigkeiten im Rückdeichungsbereich. Flutmulden erhöhten den Abfluss im Rückdeichungsgebiet 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].