

Hydraulisch-morphologische Grundlagen der Wechselwirkung Vorland-Flußbett, Analyse und Bewertung wasserbaulicher Maßnahmen

Petra Faulhaber

1 Charakterisierung der zu untersuchenden Grundszenarien

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

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

Bei großräumigen Untersuchungen ergeben sich prinzipiell folgende Probleme:

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

Hochwasserproblematik:

Die Reaktivierung von natürlichen Überschwemmungsflächen durch Deichrückverlegungen wird in jüngster Zeit verstärkt in die Diskussion über mögliche Hochwasserschutzmaßnahmen einbezogen. Ihre Vorteile werden sowohl von wasserwirtschaftlicher als auch ökologischer Seite gesehen. Prinzipielle hydraulisch-morphologische Auswirkungen von Vergrößerung der Durchfluß- oder Retentionsfläche sind:

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

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

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

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

Das für die Auenlebensgemeinschaften wichtige Strömungsklima wird über die abiotischen Parameter definiert, um Prognosen des biologischen Entwicklungspotentials

durchführen zu können. Aus ökologischer Sicht sind für die Bewertung der Habitatbedingungen im künftigen Vorland hauptsächlich folgende Informationen zu abiotischen Parametern der fließenden Welle erforderlich: Überflutungsflächen, -höhen, -dauer, Strömungsgeschwindigkeiten.

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

Erosionsproblematik:

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

Gleichzeitig treten durch die Erosion Probleme für andere Nutzungsarten auf (z.B. Trinkwassergewinnung, Standsicherheit der Regelungsbauwerke).

Die Besonderheit der Erosionsstrecke der Elbe besteht darin, daß hier an einem schiffbaren Fluß nicht lokal unterhalb einer Geschiebesperre (z.B. Staustufe) Erosion auftritt, sondern über einen langen Flußabschnitt bei tendenzieller Sohleintiefung lokal abschnittsweise Erosion und Anlandung auftreten. Die Stabilisierungsmaßnahmen müssen so gewählt werden, daß die Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs gewährleistet wird, was die Möglichkeiten der Zulassung von erhöhter Flußdynamik einschränkt. Grundsätzlich können folgende Maßnahmen zur Erosionseindämmung in der Elbe eingesetzt werden:

Erhöhung des Feststoffdangebotes im Fluß selbst (Geschiebezugabe).

Erhöhung des Sohlenwiderstandes: Sohlstabilisierung durch Schwellen mit und ohne Zwischenfeldverfüllung (z.B. lokal als Kolkverbau), künstliche Grobkornanreicherung bei Geschiebezugabe.

Verringerung des Transportvermögens:

- Anpassung vorhandener Regelungsbauwerke in Lage, Höhe und Konstruktion an die geänderten Verhältnisse (mit Ausgleichsmaßnahmen, die ggf. die Vergrößerung des Abflußanteils im Mittelwasserbett verhindern),
- Beseitigung von Starkgefällestrecken,

- Vergrößerung der abflußwirksamen Flächen auf den Vorländern (Altarmanschluß, Vorlandabgrabungen, Beseitigung von Uferrehnen, strömungsgünstige Deichverläufe, Deichrückverlegung).

Im Rahmen des Forschungsprojektes werden in der Erosionsstrecke Maßnahmen im Vorland untersucht (auch Kombination solcher mit Maßnahmen im Flußschlauch), die geeignet sind, die Sohleneintiefung im Flußschlauch zu verringern. Aussagen über Geländeänderungen in den Vorländern, wie sie aus ökologischer Sicht gewünscht sind, können hingegen nicht getroffen werden, so daß bei allen hier untersuchten Szenarien eine unveränderlichen Geländeform der Vorländer angenommen wird (Ausnahme: Sedimentationsprozesse im 2D-HN-Modell).

2 Entwicklungsziele und untersuchungsrelevante Durchflüsse

Zur Auswahl geeigneter Szenarien bei der Untersuchung in den verschiedenen Modellen, wurden Vorüberlegungen zu realisierbaren Entwicklungszielen angestellt. Problematisch ist dabei, daß die Diskussion zum Leitbild der Elbe nicht soweit vorangeschritten ist, daß hier auf abgestimmte Vereinbarungen zurückgegriffen werden kann. Für die Untersuchung von Szenarien muß allerdings auf konkrete Entwicklungsziele Bezug genommen werden, wenn eine Variantenoptimierung erfolgen soll. Hinderlich ist dabei, daß aus ökologischer Sicht bisher kaum Randbedingungen oder Indikator-Grenzwerte vorgegeben werden. Bei den Untersuchungen im Rahmen des Forschungsprojektes werden folgende Entwicklungsziele berücksichtigt:

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

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

Hydraulische Ziele bei Veränderung der Deichführung:

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

Hydraulische Ziele bei Maßnahmen zur Erosionseindämmung im Mittelwasserbett:

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

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

Tab. 1. Untersuchungsrelevante Durchflüsse

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

An der Elbe sind Frühjahrshochwasser typisch (Länge im Mittel 40 Tage). Gelegentlich treten Sommerhochwasser auf. Aus der Literatur sind verschiedentlich Probleme durch Eishochwasser belegt. In den Untersuchungsräumen kann von deutlichen Überflutungen des heutigen Vorlandes (mittlere Tiefe etwa 1 bis 1,5 m) erst ab Durchflüssen von etwa 1800-2500 m³/s die Rede sein. Diese Hochwasserscheitelwerte treten mit einem Wiederkehrintervall zwischen 5 und 25 Jahren in der Erosionsstrecke und 2 bis 5 Jahren im Bereich der Rückdeichung Lenzen auf. Die Ausuferung beginnt in der Erosionsstrecke bei Durchflüssen von 1000 bis 1500 m³/s (0,8 bis 1,1·MHQ), im Nahbereich der Rückdeichung Lenzen zwischen 1200 und 2000 m³/s (0,6 bis 1,0·MHQ). Im Bereich Lenzen uferf die Elbe somit häufiger aus als in der Erosionsstrecke. Bei Wittenberg entspricht MHQ etwa dem 3,9fachen MQ, in Wittenberge dem 2,7fachen. In beiden Elbeabschnitten entspricht MHQ etwa einem Hochwasser mit zweijährlichem Wiederkehrintervall (HQ₂). Die langjährigen mittleren monatlichen Durchflüsse sind an der Elbe in den Monaten März und April am größten. Entlang der Erosionsstrecke sinkt die Wasser-

standsdifferenz zwischen Talweg und HQ₅₀ von 13 m (El-km 143) auf 9 m (El-km 189,9). Im Bereich der Rückdeichung Lenzen gilt ebenfalls in etwa der letztgenannte Wert.

Morphologisch relevante Durchflüsse

Zur Betrachtung der Auswirkungen auf die Bettumbildung kann für Maßnahmen im Vorland kein generell zutreffender, stationärer, morphologisch relevanter Durchfluß angegeben werden. Grundsätzlich ist der Durchfluß, bei dem die langjährige mittlere tägliche Geschiebefracht transportiert wird, geeignet, um mit einem „bettbildenden Durchfluß“ Maßnahmewirkungen abzuleiten. Dies gilt allerdings nur dann, wenn die Eingriffe in Querschnittsbereichen durchgeführt werden, die beim ermittelten „bettbildenden Durchfluß“ strömungswirksam sind. Im Bereich der unteren Erosionsstrecke und im Umfeld der Deichrückverlegung bei Lenzen ist aber davon auszugehen, daß die langjährige mittlere tägliche Geschiebefracht bei Durchflüssen um den langjährigen mittleren Durchfluß (MQ) transportiert wird. Der obere Abschnitt der Erosionsstrecke ist durch grobkornangereicherte bis abgepflasterte Sohle gekennzeichnet. Hier beginnt die Sohlenumbildung erst bei Durchflüssen von etwa 2·MQ.

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

Für den Modellbetrieb lassen sich folgende Schlußfolgerungen ableiten:

- Bei der Nutzung eindimensionaler Feststofftransportmodelle mit quasistationärer Abbildung der Durchflußganglinie kann mit diskreten ΔQ -Schritten gearbeitet werden, die in der Größe etwas über dem langjährigen MNQ liegen, da bei diesen Ereignissen nur wenig Geschiebe transportiert wird, auch wenn sie relativ häufig auftreten.
- Die Tatsache, daß die Feststofffracht-Durchfluß-Beziehung für hohe Durchflüsse ($> \text{MHQ}$) nicht zuverlässig bekannt ist und daß Kalibriermöglichkeiten bei Hochwasser fehlen (kaum Wasserspiegelfixierungen, keine Kenntnis über die Abflußverteilung Flußschlauch-Vorland...) führt nicht zwangsläufig zu ungenauen Aussagen bei der Untersuchung der langfristigen hydraulisch-morphologischen Auswirkungen von wasserbaulichen Maßnahmen. Prägend für die langfristige Sohlenentwicklung sind Durchflüsse zwischen langjährigem MQ und MHQ.
- Die interessierenden Veränderungen der Ausuferungsverhältnisse können für kleine bis mittlere Flußabschnitte durch zweidimensionale hydronumerische oder gegenständliche Modelle (s. Tab.1 der Projekteinführung) untersucht werden. Alle Modellarten stoßen bei geringen Überströmungstiefen an Grenzen der numerischen Modellierbarkeit, der Ähnlichkeit und der Meßtechnik. In gegenständlichen Modellen (hydraulisch und aerodynamisch) können bei den realisierbaren Maßstäben

- für Vorlanduntersuchungen (große Modellflächen) Naturwassertiefen unter 1 m kaum untersucht werden.
- Kurzzeitige, lokale Veränderungen (instationäre Ereignisse) sind in Modellen nur schwer zu quantifizieren, da meist geeignete Naturdaten zur Modellkalibrierung fehlen. Für die Variantenoptimierung ist oft ein qualitativer Vergleich der Szenarien ausreichend.

3 Modellkoppelung am Beispiel der Rückdeichung Lenzen

In diesem Untersuchungsgebiet werden wie in der Erosionsstrecke verschiedene Modellarten gemeinsam eingesetzt. Die Untersuchungen begannen mit einem stationären eindimensionalen hydronumerischen (1D-HN) Modell mit fester Sohle im Nahbereich der Deichrückverlegung bei Lenzen (km 471,5-485). Da sich in den Untersuchungen zeigte, daß die Maßnahmewirkungen am oberstromigen Modellrand nicht abgeklungen waren (s. Abb. 2) und auch zusätzlich weitere Deichrückverlegungen (s. Abb. 4) 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 – s. Abb. 1) ermöglichte räumliche Untersuchungen im Bereich der Rückdeichung Lenzen für HQ₂₋₃. Mit diesem Modell wurde die Strömungsausbreitung 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 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 HQ₁, HQ₂₋₃ und HQ₂₀₋₂₅ optimiert.

Soweit basierten alle Untersuchungen auf der gleichen Datengrundlage und betrachteten die große Deichvariante (s. B. Bleyel). Im 2D-HN-Modell wurden dann aktuelle topographische 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.

Zusammenfassend ist festzustellen:

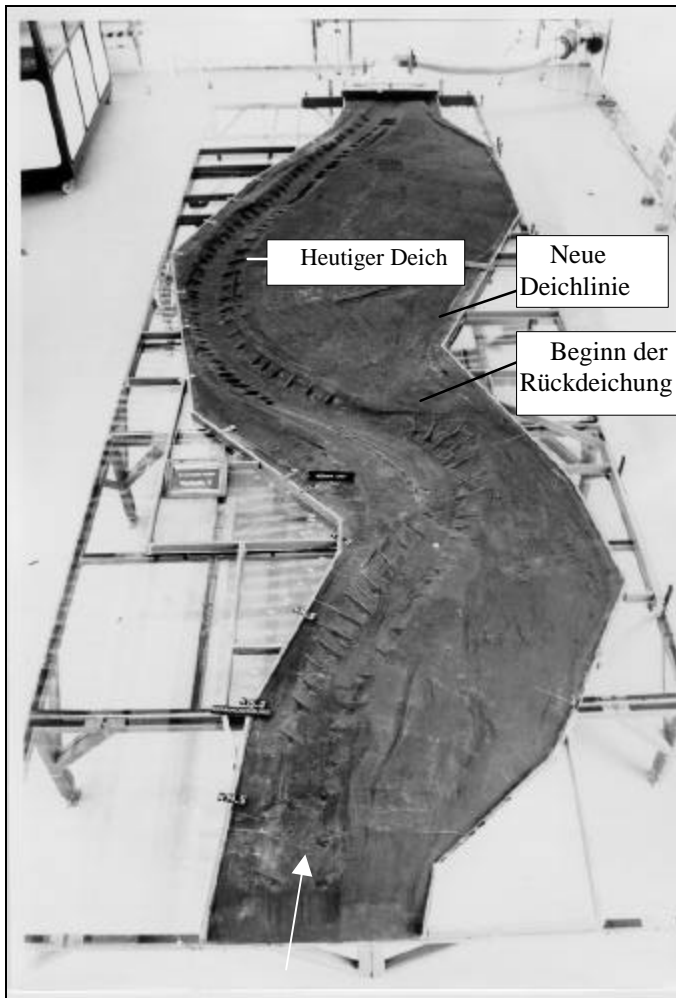


Abb. 1. Aerodynamisches Modell „Lenzen“

- Die Ergebnisse der ersten, stärker abstrahierenden Modelle konnten durch die feiner auflösenden Modelle bestätigt und ergänzt werden (s. Abb.2 und Abb. 3).
- Bei den Untersuchungen zur Deichrückverlegung führten ein- und mehrdimensionale numerische und gegenständliche Modelle zu gleichen Ergebnissen hinsichtlich der Veränderungen der Wasserspiegel in der Flußachse (s. Abb. 2). Somit sind die eindimensionalen Modelle für die Planungsvorbereitung (Hochwasserschutz, Mittelwerte für z.B. biotische Betrachtungen) als ausreichend anzusehen.

- Mehrdimensionale numerische und gegenständliche Modelle sind erforderlich, wenn über Mittelwerte hinaus z.B. Strömungsrichtung, -geschwindigkeit, lokale Verteilung der Wassertiefen, Angaben zum lokalen Feststofftransportverhalten benötigt werden (Ausführungsplanung und detaillierte biotische Betrachtungen).
- Die Aussagen aller Modelle werden unter der Einschränkung getroffen, daß für die Kalibrierung der Modelle keine Daten zur Abflußverteilung zwischen Vorland und Flußschlauch vorlagen.
- Die Untersuchungen zur langfristigen Entwicklung der Sohlenhöhen sind nur möglich, da im Elbeabschnitt derzeit von einem annähernden morphologischen Gleichgewicht ausgegangen werden kann. Es fehlen historischen Geometriedaten und ausreichende Feststofftransportmessungen zur Modellkalibrierung.

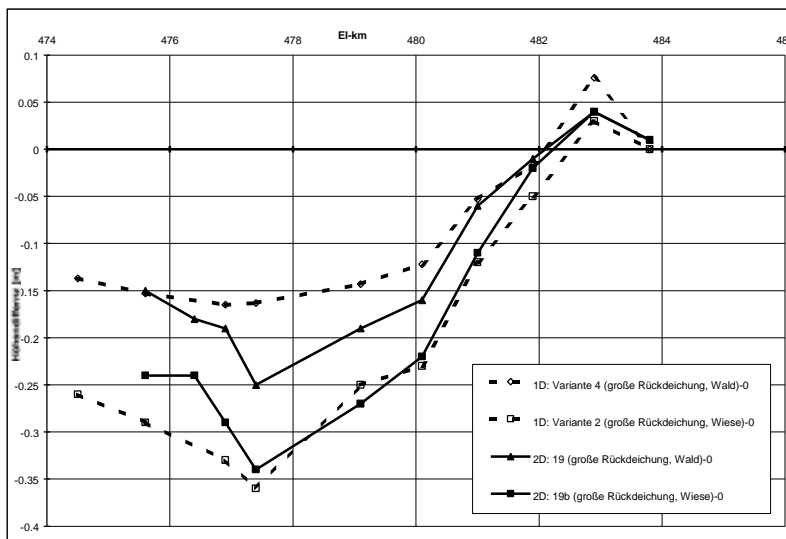


Abb.2. Wasserspiegeldifferenzen zwischen verschiedenen Rückdeichungsvarianten und Istzustand bei HQ_{2,3} für 1D- und 2D-HN-Modelle nur im Rückdeichungsbereich

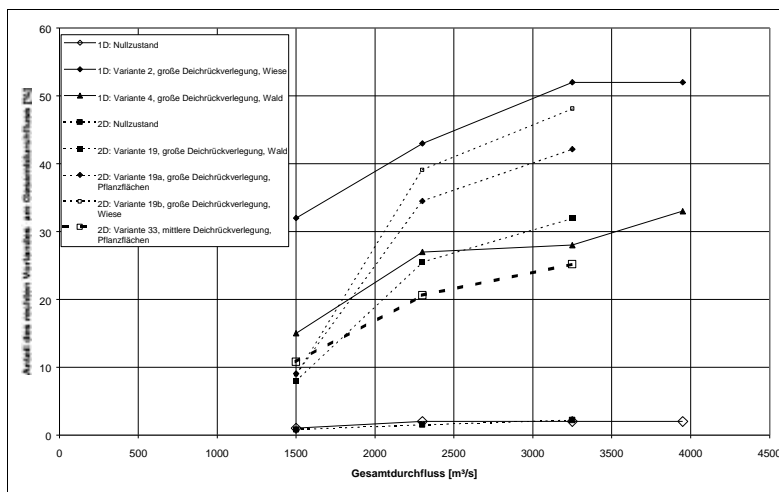


Abb. 3. Durchflußanteile des rechten Vorlandes bei El-km 481,9 für 1D- und 2D-HN Modelle zum Vergleich

- Eine Optimierung der Varianten erfolgte hinsichtlich hydraulisch-morphologischer Randbedingungen. Für die „ökologischen“ Untersuchungen wurde für die Grundvarianten der Strömungszustand prognostiziert, es fehlten „ökologische“ Optimierungskriterien.
- Wegen der oft mangelhaften Datengrundlage im Hochwasserbereich sind Absolutwerte von Wasserspiegellhöhen in allen Modellarten unsicher (Dezimeter-Bereich),

Differenzen von Nullzustand und Variante können mit ausreichender Genauigkeit ermittelt werden (Zentimeter-Bereich).

- Naturuntersuchungen im Vorfeld, begleitend und nach der Maßnahme sind unbedingt erforderlich und für den Erkenntniszuwachs von größtem Wert. Erst ausreichende Naturdaten gewährleisten auch die Qualität der Modellversuche. Naturuntersuchungen sind durch Modellversuche, die für die Planung der Maßnahmen und die Abschätzung der Eingriffsfolgen notwendig sind, nicht zu ersetzen.
- Da sich kurzzeitig und lokal auftretende Veränderungen (im Ablauf von Hochwasserwellen) der hydraulischen und morphologischen Parameter (z.B. Anlandungen im Bereich der Einleitung eines Teilabflusses ins Vorland) nur mit großem Aufwand quantifizieren lassen, ist die Abschätzung der Schadenspotentiale und ein Vergleich der ggf. auftretenden Kosten bei Schadensbeseitigung und vorsorgender Optimierung durch entsprechende Untersuchungen sinnvoll, um zu vermeiden, daß durch zu hohen Untersuchungsaufwand (hinsichtlich Zeit und Kosten) die Realisierung der Maßnahmen nahezu ausgeschlossen wird.
- Für biotische Betrachtungen sind mitunter digitale Geländemodelle gekoppelt mit den prognostizierten Wasserspiegelhöhen aus 1D-HN-Modellen zur Darstellung der Veränderung abiotischer Parameter (z.B. Wassertiefen) ausreichend, so daß ggf. auf den Einsatz aufwendigerer, mehrdimensionaler numerischer oder gegenständlicher Modelle verzichtet werden kann. Hier ist eine sorgfältige Analyse der für biotische Betrachtungen erforderlichen abiotischen Parameter und deren Genauigkeitsgrenzen zur Auswahl der geeigneten Verfahren (so genau wie nötig bei geringstmöglichem Aufwand) erforderlich.

Wasserspiegellagen (Rauheit wie Nullzustand)

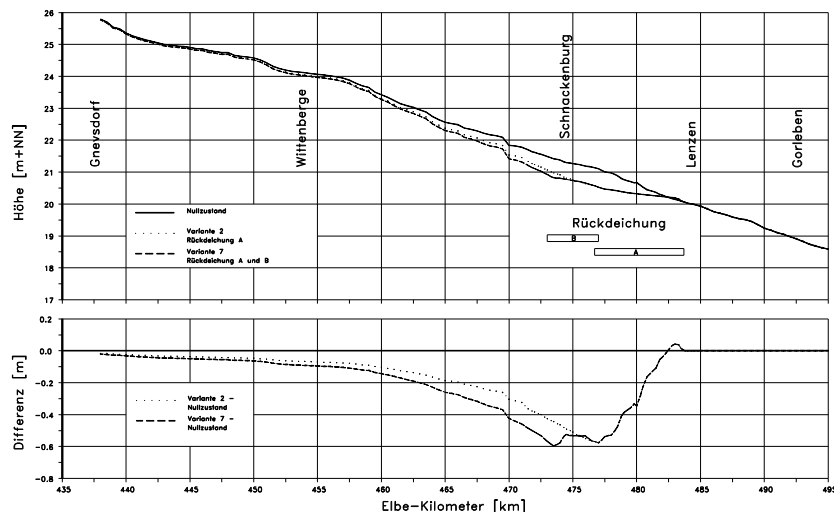


Abb. 4. Wasserspiegel für die große Rückdeichung bei Lenzen (A, Variante 2) und eine weitere Rückdeichung bei Lütkenwisch (B, Variante 7) bei BHQ (3950 m³/s), 1D-HN-Modell