



Bundesanstalt für Wasserbau
Kompetenz für die Wasserstraßen

BAWMitteilungen Nr. 97

Die Deichrückverlegung bei Lenzen an der Elbe

Karlsruhe Dezember 2013



BAWMitteilungen

Nr. 97

Die Deichrückverlegung bei Lenzen an der Elbe

Impressum

Herausgeber (im Eigenverlag):
Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)
Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe
Postfach 21 02 53, 76152 Karlsruhe
Telefon: +49 (0) 721 9726-0
Telefax: +49 (0) 721 9726-4540
E-Mail: info@baw.de, www.baw.de

Übersetzung, Nachdruck oder sonstige Vervielfältigung – auch auszugsweise – ist nur mit Genehmigung des Herausgebers gestattet.

ISSN 2190-9199

© BAW 2013

 Titelbild: Blick vom Lenzener Hafen stromauf beim Bau des neuen Deiches zwischen Wustrow und Lenzen (Foto: J. Purps, 2007)

Inhalt

Faulhaber, P. Charakteristik der Elbe zwischen Havelmündung und Dömitz	7
Damm, C. Deichrückverlegung Lenzen-Wustrow – Geschichte und Umsetzung im Rahmen eines Naturschutzgroßprojektes	23
Schmidt, R. Die Deichrückverlegung Wustrow-Lenzen – Planung und Umsetzung aus Sicht des Bauherrn	37
Faulhaber, P.; Bleyel, B.; Alexy, M. Übersicht der hydraulisch-morphologischen Modelluntersuchungen zwischen 1995 und 2010	49
Alexy, M. Numerische Modelluntersuchungen zu den Auswirkungen der Deichrückverlegung Lenzen und von geplanten Vorlandanpflanzungen	73
Schmid, R.; Niesler, H. Durchführung und Aufbereitung von Naturmessungen im Bereich der Deichrückverlegung Lenzen	99
Faulhaber, P. Zusammenschau und Analyse von Naturmessdaten	109
Montenegro, H. Untersuchung des Wirkungszusammenhangs zwischen Abflussdynamik und Grundwasser	135
Rommel, R. Anthropogen beeinflusste Ufer- und Vorlandentwicklung an der Unteren Mittel-elbe	149
Schneider, R. Historische Aspekte der wasserbaulichen Prägung des Abschnittes um Lenzen	171
Gesamtinhaltsverzeichnis aller bisher erschienenen Ausgaben	193



Vorwort

In den letzten Jahren war die Elbe häufig von extremen Hochwasserereignissen betroffen. Das katastrophale Hochwasser im Jahr 2002 wurde entlang der unteren Mittel-Elbe schon bald durch die Ereignisse von 2006 und 2011 übertroffen. Schließlich führte das jüngst abgelaufene Hochwasser vom Juni 2013 über weite Strecken der Mittel-Elbe nochmals zu deutlich höheren Wasserständen. Innerhalb von etwa einem Jahrzehnt wurden also an den Pegeln wiederholt die höchsten jemals gemessenen Hochwasserspiegel beobachtet. Vor diesem Hintergrund ist es nur verständlich, dass an der Elbe die Diskussionen über die Ursachen für die gehäufte Zahl extremer Hochwasserereignisse einerseits und die Möglichkeiten zur Verbesserung des Hochwasserschutzes andererseits besonders intensiv geführt werden.

Hochwasserschutz basiert heute auf drei Säulen: Natürlicher Wasserrückhalt, technischer Hochwasserschutz und Hochwasservorsorge. In der fachlichen Bewertung und in der öffentlichen Diskussion kommt vor allem dem Wasserrückhalt in der Fläche, und hier insbesondere in Flussauen und Rückhalteräumen, eine hohe Bedeutung zu. Großräumige Deichrückverlegungen sind Maßnahmen, die den vielfach geforderten Ansatz, dem Fluss mehr Raum zu geben, in besonderer Weise erfüllen.

Die Deichrückverlegung bei Lenzen an der Elbe, ca. 25 Kilometer stromab von Wittenberge gelegen, ist mit 420 Hektar die größte bisher umgesetzte Maßnahme ihrer Art in Deutschland. Seit der Schlitzung des Altdeiches im Jahr 2009 konnte sie ihre Wirksamkeit wiederholt unter Beweis stellen. Dies gilt insbesondere für das Hochwasser im Juni 2013. Dabei wurde die Deichrückverlegung in erster Linie als Bestandteil eines Naturschutzgroßprojektes und nicht allein unter Hochwasserschutzaspekten optimiert.

Der alleinige Blick auf die Hochwasserereignisse der vergangenen Jahre und den Hochwasserschutz wird

der Bedeutung der Elbe in keiner Weise gerecht. Die Elbe ist auch eine international bedeutende Wasserstraße in einer ökologisch hochwertigen Flusslandschaft. Ihre Einstufung im deutschen Abschnitt bis Geesthacht als natürliches Gewässer nach den Kriterien der Wasserrahmenrichtlinie unterstreicht die ökologische Bedeutung ebenso wie die zahlreichen Biosphärenreservate entlang des Flusslaufs. Die Sicherung der vielseitigen Funktionen der Elbe erfordert ein hohes Maß an Interdisziplinarität. Weder verkehrswasserbauliche, noch ökologische oder allein dem Hochwasserschutz untergeordnete Ziele können losgelöst voneinander verfolgt werden. Nur durch intensive Kooperation zwischen allen fachlich Beteiligten werden gemeinsam getragene und damit von Allen akzeptierte Lösungen erreicht.

Im Zusammenhang mit dem Biosphärenreservat Flusslandschaft Elbe-Brandenburg stehen auch die Initiierung, Entwicklung und Umsetzung des Naturschutzgroßprojektes Lenzener Elbtalaue, das in Form der Deichrückverlegung realisiert wurde. Erste Überlegungen zu einer Deichrückverlegung oberhalb von Lenzen liegen mittlerweile mehrere Jahrzehnte zurück, jedoch bekamen sie erst nach der deutschen Wiedervereinigung konkreten Schub.

Die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) ist seit 1995 an dem Projekt intensiv beteiligt. Ausgangspunkt war die Untersuchung verkehrswasserbaulich relevanter Fragestellungen, beispielsweise die Abflussaufteilung zwischen Elbe und Deichrückverlegungsgebiet sowie die Auswirkungen auf den lokalen Feststoffhaushalt in der Elbe. In der Folgezeit wurde auch die hydraulische Leistungsfähigkeit der Deichrückverlegung bei Hochwasser nachgewiesen und optimiert.

Für eine wissenschaftliche Einrichtung wie die BAW ist die Möglichkeit, an einem derart großen interdisziplinären

nären Projekt langfristig und eng eingebunden mitzuarbeiten, sehr attraktiv. Insbesondere die große Zahl der untersuchten Varianten und die große Bearbeitungstiefe haben das Prozessverständnis im Untersuchungsgebiet deutlich erhöht. Dies wiederum hat Eingang in die numerischen Berechnungsmodelle gefunden und diese weiter verbessert. Das langfristig angelegte Monitoring liefert Naturdaten, die für die weitere Validierung der Modellergebnisse herangezogen werden können. Vor allem aber geben sie umfassende Auskunft über den mit dieser Maßnahme erzielten Erfolg. Insofern ist das Projekt auch nach Abschluss der Bauarbeiten nicht beendet und der fruchtbare Dialog zwischen den am Projekt Beteiligten wird fortgesetzt.

Die vorliegenden BAWMitteilungen liefern eine umfangreiche Dokumentation über Planung und Realisie-

rung des Projekts sowie über die nach Fertigstellung durchgeführten Untersuchungen. Dabei wird der Fokus auf die ingenieurtechnischen Fragestellungen des Wasserbaus, der Oberflächen- und Grundwasserhydraulik sowie der Morphodynamik im Gewässerbett gelegt. Andere Aspekte, wie z. B. Naturschutz, Landwirtschaft und Soziologie, die im Projekt ebenfalls eine wichtige Rolle gespielt haben, wurden bereits in der Vergangenheit an anderer Stelle ausführlich publiziert.

Der Ruf nach weiteren Maßnahmen für den vorbeugenden Hochwasserschutz und die ökologische Reaktivierung von Flussauen ist deutlich zu vernehmen. Hierfür ist die Deichrückverlegung Lenzen an der Elbe ein hervorragendes Beispiel, das für vergleichbare Projekte auch an anderen Bundeswasserstraßen genutzt werden kann.

Karlsruhe, im Dezember 2013



Prof. Dr.-Ing. Christoph Heinzelmann
Leiter der Bundesanstalt für Wasserbau

Charakteristik der Elbe zwischen Havelmündung und Dömitz

Characteristics of the Elbe between the Mouth of the Havel and Dömitz

Dipl.-Ing. Petra Faulhaber, Bundesanstalt für Wasserbau

Oberhalb von Lenzen an der Elbe (El-km 484) wurde eine Deichrückverlegung umgesetzt, die im Mittelpunkt der folgenden Beiträge dieses Heftes steht. Lenzen liegt zwischen Havelmündung (El-km 438) und Dömitz (El-km 504). Hier fließt die Elbe auf ihren eiszeitlichen Ablagerungen. Trotz Ausbau des Hoch- und Mittelwasserbetts mit Verminderung der Überflutungsflächen und Festlegung der Ufer des Gewässerbetts durch Buhnen und Deckwerke behielt die Elbe teilweise ihre hydrologische und morphologische Dynamik. Der Fluss ufert regelmäßig aus. Sand und Kies wird in Form von Unterwasserdünen vom Fluss mit dem Wasser transportiert; die Flusssohle ist sehr veränderlich. Im Folgenden wird das Gebiet im Umfeld von Lenzen allgemein beschrieben. Eine Übersicht ausgewählter Charakteristika und ein kurzer Abriss zur Entwicklung des Flussabschnitts in der Kulturlandschaft sollen zum Verständnis der in den Beiträgen dieses Heftes erläuterten Untersuchungen beitragen.

The various contributions in this issue are mainly concerned with a dike relocation which has been realized upstream of Lenzen on the River Elbe (Elbe kilometer 484). Lenzen is situated between the mouth of the Havel (Elbe kilometer 438) and Dömitz (Elbe kilometer 504), where the Elbe flows over its glacial deposits. In spite of the fact that the flood plain and main channel have been developed, involving a reduction in the size of the inundation areas and the stabilization of the banks and the river bed by means of groynes and revetments, the Elbe has partially retained its hydrological and morphological dynamics. The river regularly overflows. Sand and gravel are transported by the Elbe together with the water in the form of underwater dunes; the river bed constantly changes. The area around Lenzen is described in general terms in the following. An overview of selected characteristics and a

brief outline of this river section's evolution in the cultural landscape are provided to assist the understanding of the investigations discussed in the contributions in this issue.

1 Geografische Kurzbeschreibung *Short geographical description*

Der Elbeabschnitt zwischen der Havelmündung und Dömitz (Bild 1) gehört zur unteren Mittelelbe. Ab Schnackenburg (El-km 475) verlief in der Elbe nach 1961 die innerdeutsche Grenze. Das führte zu besonderen Bedingungen, auch bei der Pflege der Infrastruktur im Grenzgebiet. Heute liegen auf diesem Elbeabschnitt vier Bundesländer (Tabelle 1). Die Bundesländer sind für Hochwasser- und Naturschutz an der Elbe, die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) für die Elbe als Verkehrsweg verantwortlich. Die Strecke liegt überwiegend im Zuständigkeitsbereich des Wasser- und Schifffahrtsamtes Magdeburg. Der Elbeabschnitt gehört zum UNESCO Biosphärenreservat Flusslandschaft Elbe.

Die Elbe fließt im betrachteten Abschnitt im eiszeitlich geprägten Diluvialtal (quartäre Ablagerungen). Die Sohle besteht aus Mittelsand bis Mittelkies mit einem mittleren Korndurchmesser von 1 bis 2 mm. Das Sohlenmaterial wird bereits bei geringen Abflüssen vom Fluss als „Geschiebe“ (in Kontakt mit der Sohle) in Unterwasserdünen unterschiedlicher Größe transportiert. In den Krümmungen entwickeln sich große Gleituferbänke. Das Talgefälle beträgt 0,1%, das mittlere Gefälle bei Mittelwasser etwa 0,13%. Der Elbeabschnitt wird im oberen Teil durch große Mäander geprägt. Einige Krümmungsradien sind gering (500 m). Unterhalb El-km 480 befinden sich lange, nahezu gerade Strecken.

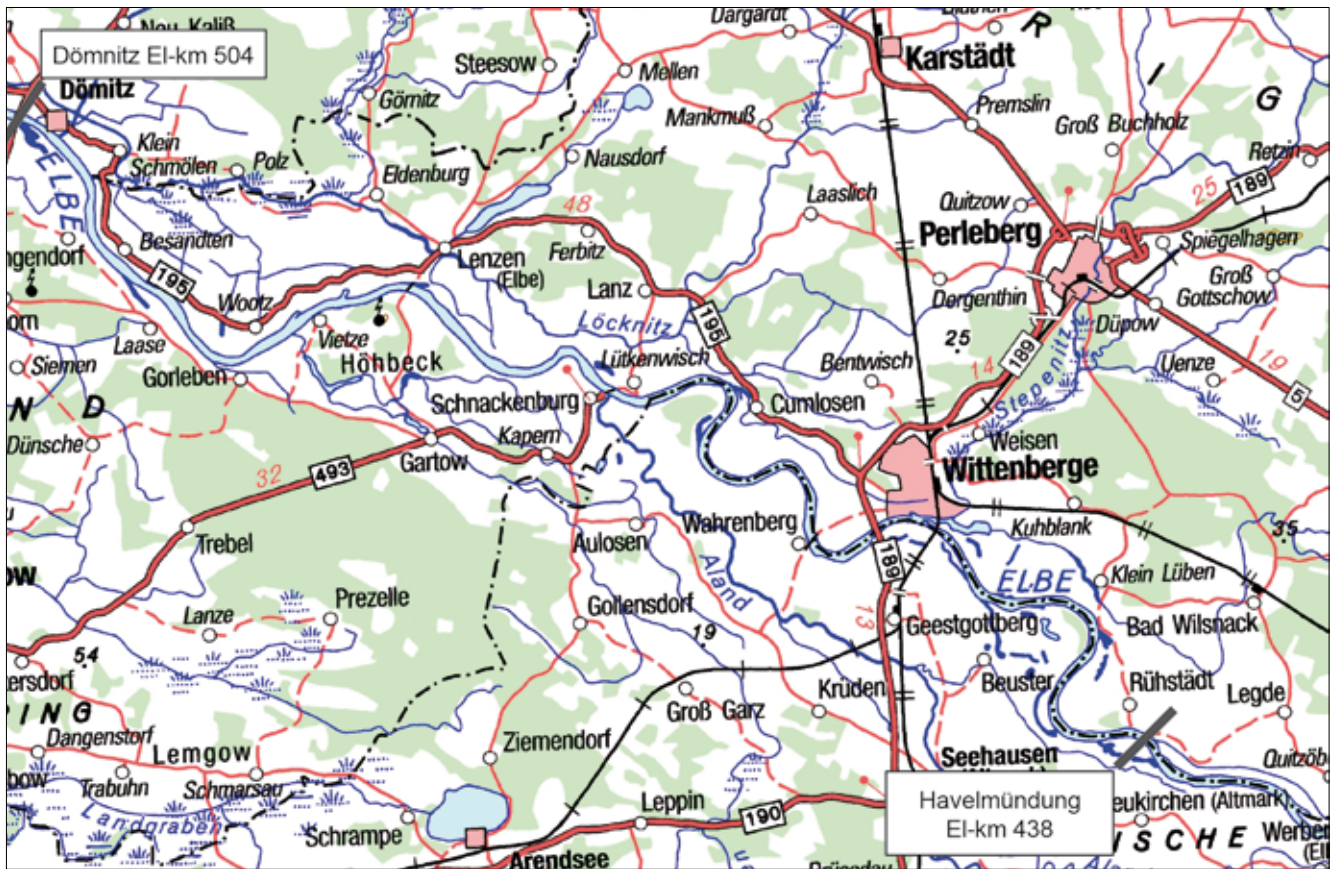


Bild 1: Die Elbe zwischen Havelmündung und Dömitz
Figure 1: The River Elbe between the mouth of the Havel and Dömitz



Bild 2: Elbe bei Beuster El-km 451 (Foto: Jünger, 18. Juli 2005)
Figure 2: The River Elbe near Beuster, Elbe kilometer 451 (photograph taken by Jünger on 18 July 2005)

Die Überflutungsflächen werden über weite Strecken durch Deiche begrenzt und überwiegend als Grünland landwirtschaftlich genutzt. Auf dem Vorland sind Altgewässer und Rinnen vorhanden, von denen einige längere Zeit im Jahr mit Wasser gefüllt sind. Einige sind dauerhaft mit dem Hauptstrom verbunden (siehe Bild 2). Das Gewässerbett wird durch Buhnen geprägt.

2 Die Entwicklung des Elbeabschnitts in der Kulturlandschaft

Evolution of the Elbe section in the cultural landscape

Die Elbe und ihr Einzugsgebiet sind seit Jahrhunderten durch menschliche Eingriffe verändert worden. Wesentliche Veränderungen, die im Untersuchungsraum vorgenommen wurden, werden hier angerissen, um die Maßnahme der Deichrückverlegung Lenzen in die Entwicklung der Kulturlandschaft einordnen zu können.

Zu den ersten für unsere Betrachtungen bedeutsamen Eingriffen zählen die hochmittelalterlichen großflächigen Waldrodungen und der etwa im 12. Jahrhundert beginnende Deichbau. Die häufigen Laufveränderungen nach Hochwassern erzeugten den Wunsch nach einem beständigen Flussbett. Bis etwa 1830 wurde das Gewässerbett hauptsächlich zum Uferschutz und zur Beseitigung von Stromspaltungen lokal verändert. „Durchstiche“ von Krümmungen zum Hochwasserschutz, die zur Verkürzung der Lauflänge und Erhöhung des Gefälles führen, sind im betrachteten Elbeabschnitt nicht nachweisbar.

Da sich ökologische Bewertungen des heutigen Zustandes der Elbe meist an einem früheren Referenzzustand orientieren, um die natürlichen Prozesse in der Flusslandschaft beschreiben zu können, soll hier grob die Elbe im 18. Jahrhundert beschrieben werden:

Wegen der häufigen Insel- und Bankbildungen im betrachteten Elbeabschnitt variierte der Lauf zwischen den Hochufern bzw. Deichen bis ins 18. Jahrhundert stark. Die Breite des Gewässerbettes schwankte zwischen ca. 150 m und 1000 m (Insel-Verzweigung). In gestreckten Abschnitten waren die Breitenunterschiede gering. Die Tiefen und Strömungsverhältnisse wechselten zwischen schmalen und seenartig erweiterten Flussbereichen. Neben Tiefwasserrinnen existierten

Flachwasserzonen oder gut durchströmte Nebenarme, deren Lage sich immer wieder veränderte. Bild 3 zeigt im Bereich El-km 476 bis 478 die typische Situation vor dem Mittelwasserausbau mit Inseln und Sandbänken. Der Deich verläuft rechts und links unterhalb der Krümmung schon sehr nah am Ufer. Der alte Fährdamm führt durch bewaldetes Gebiet. Erkennbar sind u. a. morphologische Strukturen (Inseln, Bänke, Rinnen), Einbauten zur lokalen Ufersicherung, durchgängige Deichlinien, Bracks (Relikte von Deichbrüchen). In der Karte wurden Wassertiefen (Maße in preußischem Fuß) eingetragen.

Weitere Erläuterungen zum früheren Erscheinungsbild der Elbe finden sich u. a. bei Rommel (2000) und im Beitrag von Schneider in diesem Heft.

Im 19. Jahrhundert setzte die Urbanisierung im Einzugsgebiet ein, die u. a. zur Reduzierung des flächigen Niederschlagsrückhaltes führte. Verschiedene Maßnahmen der Wasserbewirtschaftung im Einzugsgebiet veränderten den Abfluss. Siedlungs- und Gewerbeflächen rückten an den Fluss heran, auch wenn der Nutzungsdruck im betrachteten Abschnitt verglichen mit anderen Elbestrecken oder Flüssen gering blieb. Durch industrielle, landwirtschaftliche und kommunale Abwässer verschlechterte sich die Wasserqualität.

Um 1860 erfolgte die rechtliche Verankerung der Deichverbände im Preußischen Deichamtsgesetz. Auf der Grundlage dieses Gesetzes wurden in erheblichem Umfang Deiche instand gesetzt und neu gebaut. Der Elbe wurde seit Beginn der Eindeichung in ihrem Mittellauf im Bereich der neuen Bundesländer etwa 1,4 Mrd. m³ Retentionsraum durch Hochwasserschutzmaßnahmen entzogen. Demgegenüber wurden 0,5 Mrd. m³ Retentionsraum durch Talsperren im Einzugsgebiet der oberen Elbe geschaffen. Das ursprüngliche Retentionsgebiet der Mittel- und Unterelbe wird auf 617.200 ha geschätzt. Durch Hochwasserregelung wurde diese Fläche auf 83.654 ha (13,6 %) verringert (Simon, 1996). Der Hochwasserablauf änderte sich, da sich die Fließgeschwindigkeiten vergrößerten und die Hochwasserwellen heute schneller ablaufen. Die Hochwasserscheitel wurden durch das verringerte Retentionsvermögen (Deichbau) erhöht, durch Bewirtschaftung (Talsperren) und Sohlenerosion teilweise vermindert.

Über die Zeit änderte sich die landwirtschaftliche Nutzung mit verschiedenen Auswirkungen. Auwälder ver-



Bild 3: Ausschnitt der „General Carte von dem Elbe-Strohm“ aus dem Jahr 1724 am „Bösen Ort“ (El-km 477) oberhalb von Lenzen (Quelle: Niedersächsisches Hauptstaatsarchiv Hannover)

Figure 3: Section of the „General Map of the River Elbe“ published in 1724, showing „Böser Ort“ (Elbe kilometer 477) upstream of Lenzen (source: Lower Saxony Central State Archive, Hannover)

schwanden. Zusätzliche Anforderungen an den Hochwasserschutz führten zum Bau von Sommerdeichen. Viele Flächen wurden melioriert. Infolge intensiven Feldbaus statt extensiver Grünlandnutzung änderte sich die Vegetation in den Vorländern.

Ab ca. 1830 wurden neben den Belangen des Hochwasser- und Uferschutzes die der Schifffahrt verstärkt berücksichtigt. Der Ausbau zur Verbesserung der Schifffahrtsverhältnisse ist als fortschreitender Prozess zu verstehen. 1910 wurde der sogenannte Mittelwasserausbau verwaltungstechnisch abgeschlossen. Das Gewässerbett war durch ein System von Regelungsbauwerken (hauptsächlich Buhnen, Deckwerke) festgelegt. An den Ausbau des Mittelwasserbettes sollte sich die Optimierung des Niedrigwasserbettes anschließen (siehe auch Beitrag von Schneider in diesem Heft). Dieser Niedrigwasserausbau gliederte sich in einen „grobem“ Ausbau, der einen optimierten Mittelwasserausbau darstellt, und den eigentlichen „Feinausbau“ des Niedrigwasserbettes. Der Grobausbau wurde nicht überall beendet. Dies zeigt sich in zu großen Abständen aufei-

einander folgender Buhnen (es fehlen Zwischenbuhnen) und in zu großen Abständen der Streichlinien, insbesondere in Krümmungen. Das Niedrigwasserbett wurde nur lokal ausgebaut.

Der Mittelwasserausbau wurde um 1900 durch Überlegungen zur Optimierung des Hochwasserbettes hinsichtlich der Verbesserung von Abflussvermögen, Eisabfuhr und gleichmäßigem Geschiebetransport begleitet. Die Planungen des Hochwasserschutzkonzeptes der Elbstrombauverwaltung (1902) wurden jedoch nur vereinzelt umgesetzt (Beispiele finden sich im Beitrag von Rommel in diesem Heft). Es handelte sich u. a. um den Bau von Sommer- und Leitdeichen, Korrekturen des Deichverlaufs, Uferabgrabungen, Verfüllung von Altwässern und frei Halten des Vorlandes von Bewuchs. Untersuchungen zu Entwicklungen der Vorländer finden sich im Beitrag von Rommel in diesem Heft).

Durch mehrmalige Verlegung der Nebenflussmündungen wurde die Vorflut verbessert. Die Nebenflussniederungen wurden von der Elbe abgeriegelt. Durch

diese Maßnahmen änderten sich Retentionsvermögen sowie Höhe, Laufzeit und Form der Hochwasserwellen. In den 1970er Jahren begannen am linken Ufer auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland umfangreiche Deichsanierungen, die am rechten Ufer erst nach 1990 in Angriff genommen wurden.

Die endgültige Ausprägung des Gewässerbetts nach den verschiedenen Maßnahmen im Einzugsgebiet, im Hoch- und Gewässerbett sowie infolge von Veränderungen der Randbedingungen (z. B. Wasserbewirtschaftung) erfolgt in Flüssen mit beweglicher Sohle, wie im hier betrachteten Elbeabschnitt, durch den Fluss selbst. Wegen der Festlegung der Ufer (verhinderter Seitenschurf) führten die Anpassungsreaktionen des Flusses im betrachteten Abschnitt seit Ende des 19. Jahrhunderts bis heute zu einer Eintiefung der mittleren Sohle um bis zu 60 cm. Die mittlere Eintiefungsgeschwindigkeit beträgt ca. 0,5 cm/Jahr. Der Fluss passte sich jedoch lokal und zeitlich unterschiedlich an die veränderten Verhältnisse an. So kam es insbesondere im Abschnitt zwischen El-km 400 und 480 trotz umfangreicher Baggerungen mit dauerhafter Entnahme der Baggermassen aus dem Fluss zeitweilig zur Aufhöhung der Flusssohle bzw. deutlich geringerer Erosion als in den Nachbarstrecken. Vergleiche ausgewählter hydraulischer Parameter im historischen Vergleich finden sich in Faulhaber (2000, 2012, 2013a). Auch auf den Vorländern initiierten die verschiedenen Maßnahmen veränderte Entwicklungen von Topografie und Lebensräumen. So verlandeten Altgewässer und Bühnenfelder (siehe Beitrag von Schneider in diesem Heft).

Nach 1990 verbesserte sich die Wasserqualität sehr schnell. Ebenfalls änderte sich die Wasserbewirtschaftung. U. a. ging die Melioration zurück und die verminderte Einleitung von Sumpfungswasser aus Tagebauen veränderte den Abfluss in der Elbe. Die Pflege des Durchflussquerschnitts im Hochwasserbett wurde vernachlässigt.

Ab den 1990er Jahren wurden ökologische Bedingungen bei der verkehrlichen Unterhaltung der WSV stärker berücksichtigt und alternative Unterhaltungsmethoden getestet (z. B. Kerben in Bühnenrücken, Totholz Bühnen, Anbindung von Nebenrinnen). Seit 2000 erfolgt die wasserwirtschaftliche Unterhaltung durch die Länder auf Grundlage der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL). Nach dem Hochwasser

2002 wurde die verkehrliche Unterhaltung beschränkt und nur der Zustand vor dem Hochwasser 2002 (ohne Berücksichtigung notwendiger Anpassungen des Regelungssystems an aktuelle Bedingungen) erhalten. Ab 2008 übernahm die WSV als Eigentümer auch Pflichten der wasserwirtschaftlichen Unterhaltung nach EU-WRRL.

Nach dem Sommer-Hochwasser 2002 wurden von den Ländern intensiv die Deiche instand gesetzt und andere Maßnahmen zum Hochwasserschutz geplant und realisiert. Im Rahmen eines Naturschutzgroßprojektes wurde der rechte Deich oberhalb von Lenzen weiter ins Binnenland zurückverlegt. Die neue Vorlandfläche kann seit 2009 überflutet werden. Im Auftrag der Länder wurden nach 2002 verschiedene Untersuchungen zur Abflusskapazität bei Hochwasser durchgeführt (z. B. Reichhoff, 2008 und LWI, 2008), die helfen sollen, geeignete Bedingungen für die Unterhaltung der Vorländer für den Hochwasserschutz zu definieren.

3 Ausgewählte hydrologische Parameter

Selected hydrological parameters

Die Elbe gehört zu den Strömen des Regen-Schnee-Typs, deren Abflussverhalten vorwiegend durch Winter- und Frühjahrshochwasser geprägt wird. Hochwasser treten hauptsächlich in den Monaten Februar bis April auf, gelegentlich gibt es Sommerhochwasser (2002, 2013). Sommer und Herbst sind durch ausgedehnte Niedrigwasserperioden gekennzeichnet. Bild 4 zeigt eine charakteristische Jahres-Durchflussganglinie unterschiedlicher Percentile (z. B. Q90 – Durchfluss mit 90%iger Unterschreitungswahrscheinlichkeit am entsprechenden Kalendertag) im Vergleich mit den Hauptzahlen (z. B. MHQ – mittleres jährliches Hochwasser) für den Pegel Wittenberge.

Typisch sind zwischen Havelmündung und Dömitz lang anhaltende Hochwasser (10 Tage und mehr bei Hochwasser über MHW) und Hochwassergefahr infolge Eisgang, Eisstand (BfG, 2006). Trotz Eindeichung finden sich abschnittsweise noch breite, strukturierte Vorländer. Die Abstände zwischen Deich und Mittelwasserbett variieren erheblich. Die Überschwemmungsflächen sind zwischen 0,5 km und 3,7 km breit. Rechtsseitig ist der Abschnitt vollständig eingedeicht. Linksseitig wird

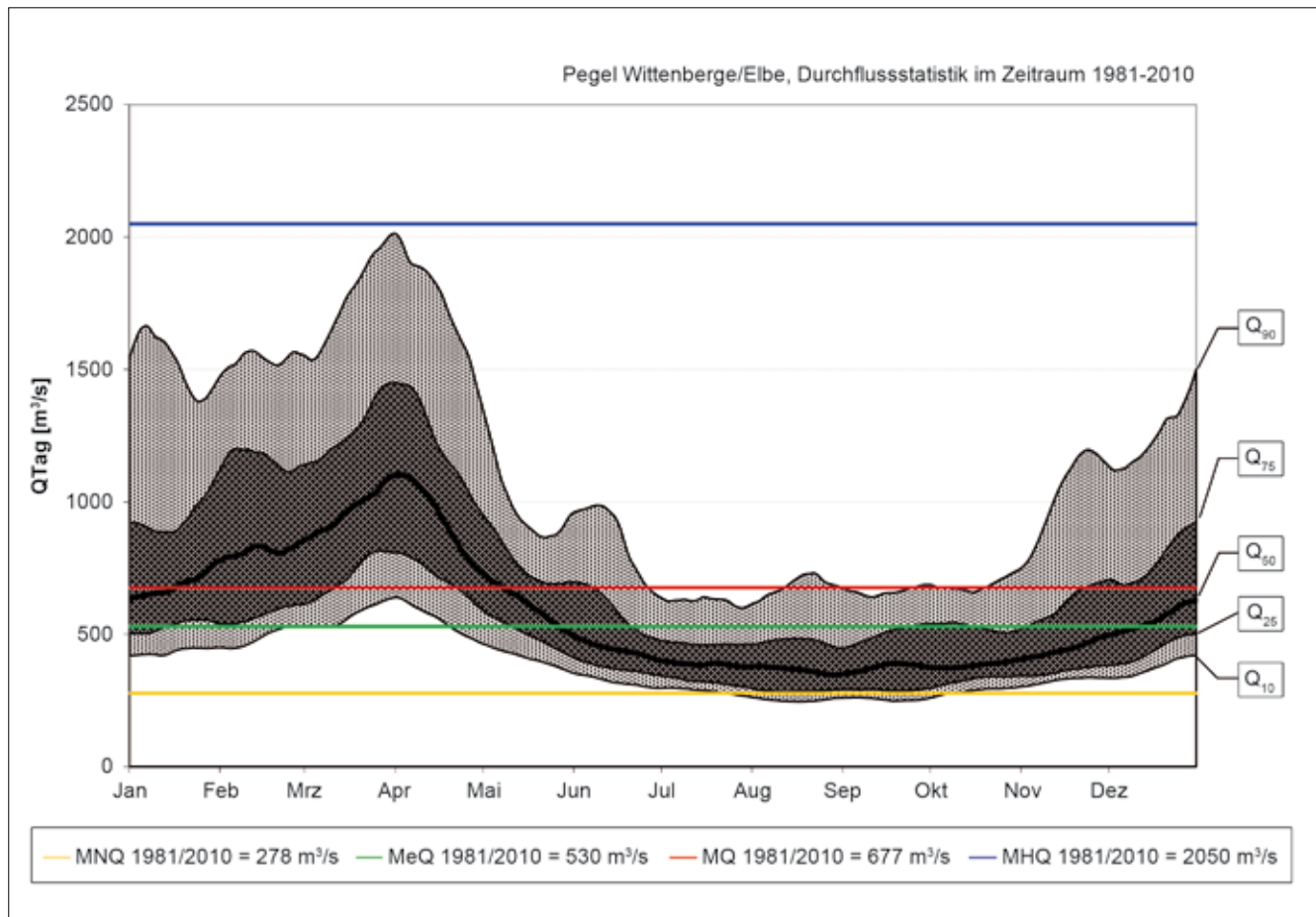


Bild 4: Statistische jährliche Ganglinien, Jahresreihe 1981/2010 (Daten der BfG)

Figure 4: Annual statistical hydrographs, annual series 1981/2010 (data from the German Federal Institute of Hydrology (BfG))

er auf 8,3 km Länge in drei Abschnitten durch Hochufer begrenzt (IKSE, 2005). Die Ausuferung erfolgt etwa ab doppeltem Mittelwasser (2MQ) meist von unterstrom aus über Vorlandrinnen. Ab MHQ wird das Vorland jeweils auch von oberstrom aus durchströmt.

Die Havel mündet bei El-km 438 in die Elbe. Über das Wehr Neuwerben kann ggf. bei Niedrigwasser schon bei El-km 427,9 das Havelwasser der Elbe zugeführt werden. Gleichzeitig dient die Havelniederung bei extremem Hochwasser als Rückhalteraum, indem Elbewasser der Havel zugeleitet wird (erfolgte 2002 und 2013 zur Kappung des Hochwasserscheitels). Unterhalb der Havel münden kleinere Nebenflüsse, die über längere Strecken parallel zur Elbe verlaufen, in die Elbe. Im Hafen von Wittenberge münden Stepenitz und Karthane, die große Teile der Prignitz entwässern.

Seit 1981 verhindert ein Absperrbauwerk in der Karthane bei Hochwasser den Rückstau der Elbe in die Karthane. Der Aland mündet linksseitig bei El-km 474,6

und wird seit 1991 ebenfalls bei Hochwasser von der Elbe abgesperrt. Ein Überleitungswehr soll künftig das Eigenwasser der Seege, die bei El-km 489,6 linksseitig in die Elbe mündet, in die Elbe überleiten. Bild 5 zeigt die Überflutungsflächen im Bereich von Lenzen vor der Deichrückverlegung beim Sommerhochwasser 2002 mit Rückstau im Bereich der Seege. Die Querprofile im 100 m Abstand sind annähernd zwischen den Elbedeichen eingetragen.

Bei El-km 504,1 mündet die zur Müritz-Elde-Wasserstraße ausgebaute Elde rechtsseitig in die Elbe. Die rechtseitig bei El-km 513,1 liegende Löcknitz-Mündung wurde letztmals 1967 bis 1972 zur Verbesserung des Hochwasserschutzes um 10,9 km Elbe-abwärts verlegt (IKSE, 2005).

Um die Untersuchungen in den folgenden Texten dieses Heftes besser einordnen zu können, werden einige hydrologische Parameter der Strecke angegeben. Die in Tabelle 1 aufgelisteten Pegel werden in diesem

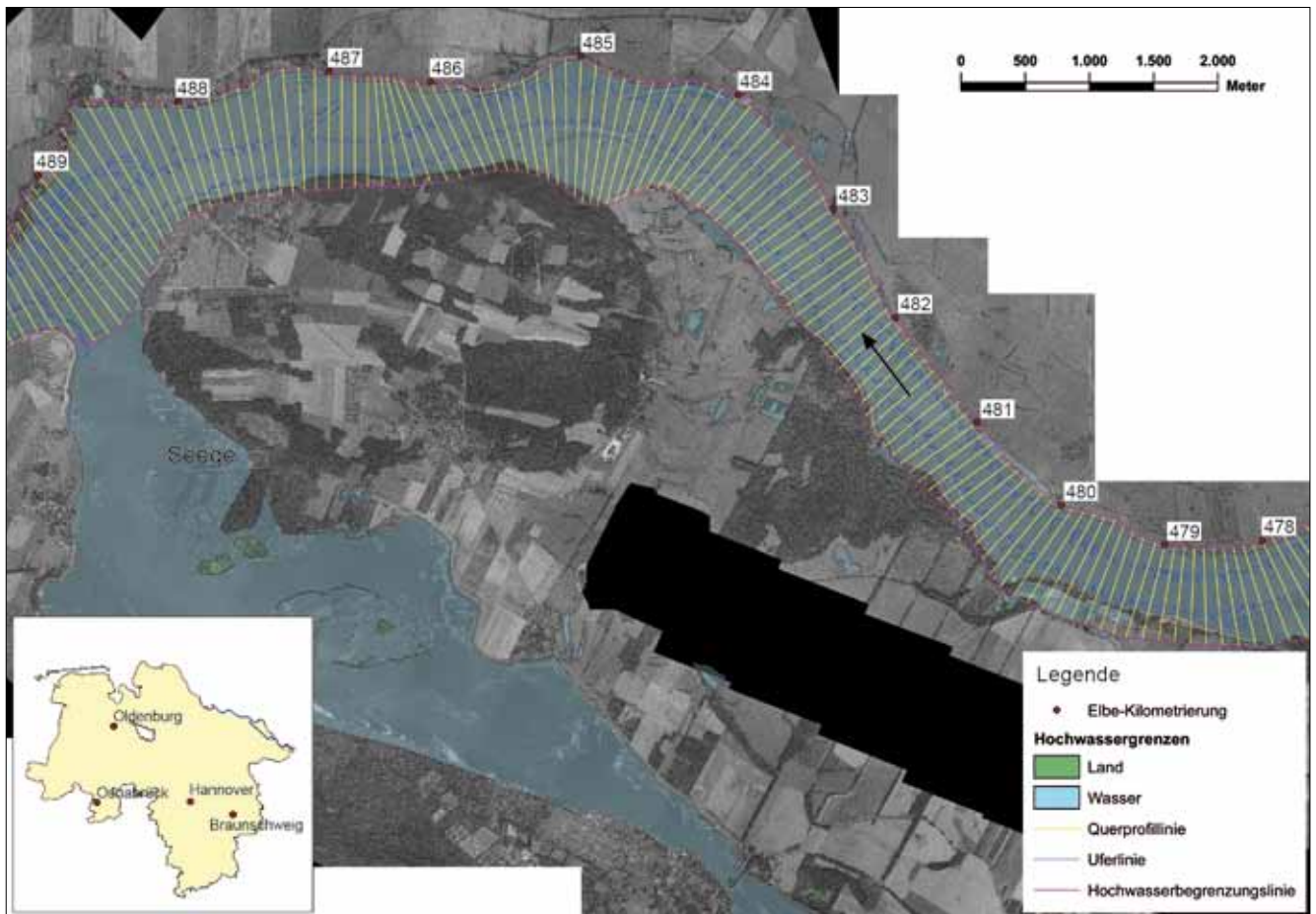


Bild 5: Überschwemmungsflächen beim Sommerhochwasser 2002, El-km 478 bis 490 (Luftbild / Quelle: WSD Ost 2002)
 Figure 5: Inundation areas during the 2002 summer flood, Elbe kilometers 478 to 490 (aerial photograph / source: Waterways and Shipping Directorate (WSD) East 2002)

Heft für verschiedene Betrachtungen herangezogen. Für Pegel der Gruppe a stehen Wasserstands-Durchfluss-Beziehungen zur Verfügung. Die Pegelnullpunkte werden in Tabelle 1 in den Höhensystemen DHNN12 (m+NN) und DHNN92 (m+NHN) angegeben. Dadurch wird ersichtlich, dass die beiden Höhensysteme im Gebiet kaum voneinander abweichen.

In Tabelle 2 werden Wasserstands-Hauptwerte der Jahresreihe 2001 bis 2010 zusammengestellt. Die Differenz zwischen niedrigem und hohem Wasserstand (NW und HW) beträgt beispielsweise bei Wittenberge 6,48 m. An den meisten Pegeln zwischen Tangermünde und Schnackenburg wurde im August 2002 das höchste ungehinderte (ohne Eis) Hochwasser (HHW) seit Beginn der Pegelaufzeichnungen gemessen. Zwischen Lenzen und Neu Darchau wurden diese HHW im April 2006 und erneut im Januar 2011 überboten. Beim Hochwasser im Juni 2013 wurden die bisherigen HHW im gesamten Untersuchungsraum deutlich überschritten. Die da-

nach gültigen HHW liegen bis zu 68 cm (Tangermünde) höher als die vor dem Juni-Hochwasser 2013 geltenden HHW.

Tabelle 3 fasst die Hochwasser von 2002, 2006 und 2011 zusammen. Simon (2012) erläutert, dass die hohen Wasserstände unterhalb des Pegels Lenzen bei den Hochwassern in den Jahren 2006 und 2011 gegenüber dem Sommerhochwasser 2002 wahrscheinlich auf die großen Zuflüsse aus den Nebenflüssen wegen Schneeschmelze bei gleichzeitigem Regen und starker Bodensättigung/-frost (keine Versickerung möglich) zurückzuführen sind. Ein Zusammenhang der hohen Wasserstände beim Hochwasser 2011 unterhalb von Lenzen wird von Simon mit der Deichrückverlegung bei Lenzen ausgeschlossen. Die Wirkung der Deichrückverlegung Lenzen auf den Pegel Schnackenburg beim Hochwasser 2011 wird in den nachfolgenden Texten verschiedener Autoren erläutert.

Pegel	Pegelgruppe	Bundesland	El-km	Lage	PNP m+NN	PNP m+NHN
Tangermünde	a	Sachsen-Anhalt	388,26	links	27,587	27,556
Storkau	b	Sachsen-Anhalt	396,11	links	25,90	25,875
Sandau	b	Sachsen-Anhalt	416,06	links	22,47	22,461
Scharleuk	b	Brandenburg	447,22	rechts	17,57	17,567
Wittenberge	a	Brandenburg	453,98	rechts	16,72	16,719
Müggendorf	b	Brandenburg	463,94	rechts	15,15	15,149
Schnackenburg	b	Niedersachsen	474,56	links	13,70	13,699
Lenzen	b	Mecklenburg-Vorpommern	484,70	rechts	12,43	12,425
Gorleben	b	Niedersachsen	492,95	links	11,33	11,328
Dömitz	b	Mecklenburg-Vorpommern	504,72	rechts	10,430	10,42
Damnatz	b	Niedersachsen	509,35	links	8,905	8,90
Hitzacker	b	Niedersachsen	522,92	links	7,392	7,39
Neu Darchau	a	Niedersachsen	536,440	links	5,677	5,677

Tabelle 1: Pegelstammdatensätze (Quelle: WSD Ost, 2010)

Table 1: Water level gauge data (source: Waterways and Shipping Directorate (WSD) East, 2010)

Pegel	regelmäßig beobachtet	Wasserstandshauptwerte 2001 bis 2010					NNW		HHW ungehindert Stand 2012		HHW ² Stand 2013
		seit (W)	NW	MN W	MW	MH W	HW	cm	Datum	cm	
Tangermünde	1883	118	152	295	593	768	86	23.09.1947	768	20.08.2002	836
Storkau		162	196	331	626	813	103	07.11.1947	816	20.01.1920	
Sandau		183	207	337	606	770	119	19.09.1911	770	20.08.2002	825
Scharleuk		100	140	293	574	723	100	17.08.2003	723	20.08.2002	769
Wittenberge	1848	86	124	277	572	734	45	29.09.1947	734	20.08.2002	785
Müggendorf		103	141	291	581	738	103	21.08.2003	738	20.08.2002	780
Schnackenburg	1945	93	133	287	585	751	64	25.09.1947	751	21.08.2002	779
Lenzen	1810	82	119	277	581	737	57	25.09.1947	747	02.04.1895	793
Gorleben		75	113	272	584	739	61	25.09.1947	842	23.03.1888	
Dömitz	1886	23	64	214	513	664	6	28.09.1947	664	08.04.2006	
Damnatz		124	160	304	602	762	107	04.09.1842	762	08.04.2006	
Hitzacker	1946	80	119	276	588	763	80	17.08.2003	763	09.04.2006	817
Neu Darchau ¹	1874	78	121	279	589	749	67	02.10.1947	749	09.04.2006 ³	792

¹ 1839 als Pegel Darchau (El-km 535,8 rechts) eingerichtet. 1874 bis 1993 regelmäßig beobachtet. Ab 1.11.1945 wurde Pegel Neu Darchau (links) beobachtet.

² vorläufige Werte des Juni-Hochwassers 2013 nach BfG (2013)

³ der häufig angegebene Wert 825 cm vom 24.3.1888 wurde bei Eis gemessen

Tabelle 2: Hydrologische Haupt- und Extremwerte der Wasserstände (Angaben der WSV)

Table 2: Main and extreme water levels (data from the Federal Waterways and Shipping Administration (WSV))

Zum Juni-Hochwasser von 2013 (letzte Spalte in Tabelle 2) können bisher nur vorläufige Scheiteldurchflüsse angegeben werden. In BfG (2013) werden für Strombrücke Magdeburg 5.100 m³/s und für Neu Darchau 4.190 m³/s benannt. Die vorläufigen Angaben der Fa. Schmid, die beim Juni-Hochwasser eine Wasserspiegel-Fixierung mit begleitenden Durchflussmessungen annähernd auf dem Scheitel durchführte, weisen für Wittenberge 4.160 m³/s und für Lenzen 4.200 m³/s aus. Das Hochwasser im Juni 2013 lief ab, als dieses Heft in der Endfertigung war. Die Ergebnisse von Messungen während dieses Hochwassers, das einen neuen HHW lieferte, konnten in den folgenden Artikeln des Heftes nicht mehr berücksichtigt werden.

Für die a-Pegel mit Wasserstands-Durchflussbeziehung werden in Tabelle 4 einige Durchflusshauptwerte und für den aktuellen Zustand zugehörige Wasserstände angegeben. Zusätzlich werden der für verkehrliche Unterhaltung relevante niedrige Bezugswasserstand GIW1989* (im Bereich des MNQ), der höchste Schifffahrtswasserstand HSW und der von der BfG 2008 empfohlene Durchfluss des Bemessungshochwassers (BHQ) aufgelistet. Nach dem Sommerhochwasser 2002 sollte ein neues Bemessungshochwasser festgelegt werden. Die Abstimmung der Elbeanrainerländer zum BHQ gestaltete sich kompliziert. Im Verlaufe der im Folgenden beschriebenen Untersuchungen wurden deshalb verschiedene Annahmen zum BHQ genutzt. Die

Pegel	2002			2006			2011		
	cm	Datum	m ³ /s	cm	Datum	m ³ /s	cm	Datum	m ³ /s
Tangermünde	768	20.08.	3.850	718	06.04.	3560	726	20.01.	3.670
Wittenberge	734 ¹	20.08.	3.830	723	08.04.	3720	730	22.01.	3.790
Müggendorf	738	20.08.			08.04.			22.01.	
Schnackenburg	751	21.08.		748	08.04.		724	22.01.	
Lenzen	734			737	08.04.		743	22.01.	
Gorleben	733			739	08.04.		745	22.01.	
Dömitz	657	21.08. ²		664	08.04.		672	22.01.	
Damnatz				762	08.04.				
Hitzacker	750	23.08.		763	09.04.		770	22.01.	
(Neu) Darchau	732	23.08.	3.420	749	09.04.		749	22.01.	3.600

¹ Kappung des Scheitels durch Flutung der Havelniederung

² danach an weiteren Tagen aufgetreten

Tabelle 3: Scheitelwerte der Hochwasser 2002, 2006 und 2011 (Angaben der WSV)

Table 3: Peak flood levels in 2002, 2006, and 2011 (data from the Federal Waterways and Shipping Administration (WSV))

	Q [m ³ /s]					W [cm]			
	MNQ*	MeQ	MQ	MHQ	BHQ**	GIW	W(MeQ)	W(MQ)	HSW***
	1971/ 2006	1971/ 2010	1971/ 2010	1971/ 2006	HQ100	1989* (20d)	1971/ 2010	1971/ 2010	
Tangermünde	238	449	570	1.890		164	273	325	620
Wittenberge	284	551	692	2.020	4.550	140	260	306	610
Neu Darchau	279	565	699	1.990	4.450	145	255	302	

Angaben überwiegend aus BAW/BfG (2012)

* keine offiziellen Daten des Pegelbetreibers

** Empfehlung der BfG (2009), für Wittenberge gerundet

*** Angaben aus ELWIS (Elektronisches Wasserstraßeninformationssystem der WSV, www.elwis.de)

Tabelle 4: Hydrologische Durchfluss-Hauptwerte und ergänzende Parameter

Table 4: Main hydrological discharge values and additional parameters

[m ³ /s]	HQ ₂	HQ ₅	HQ ₁₀	HQ ₂₀	HQ ₂₅	HQ ₅₀
Tangermünde	1.650	2.510	3.110	3.680	3.860	4.410
Wittenberge	1.850	2.560	2.960	3.320	3.420	3.730
Neu Darchau	1.800	2.500	2.910	3.280	3.380	3.700

Tabelle 5: Hochwasserabflüsse unterschiedlicher Jährlichkeit, Jahresreihe 1907 - 2005 (BfG, 2006)

Table 5: Flood discharges of different seasonality, annual series 1907 to 2005 (source: German Federal Institute of Hydrology (BfG), 2006)

entsprechenden Annahmen werden in den Einzelbeiträgen des vorliegenden Heftes benannt.

Untersuchungen von Hochwassern, wie sie zum Nachweis der Wirkung der Deichrückverlegung Lenzen durchgeführt wurden, orientieren sich an Angaben zum Wiederkehrintervall von Abflüssen (Jährlichkeit). In Tabelle 5 sind zur Einordnung von Abflüssen Angaben zu Jährlichkeiten aufgelistet. Diese Werte standen für die in den folgenden Beiträgen vorgestellten Untersuchungen noch nicht zur Verfügung, sodass dort unterschiedliche Werte zugrunde gelegt wurden.

Für das Juni-Hochwasser 2013 werden in BfG (2013) als (vorläufiges) Wiederkehrintervall 200 bis 500 Jahre für Magdeburg-Strombrücke bzw. 100 Jahre für Neu Darchau angegeben (Bezugsperiode 1931 bis 2013).

4 Ausgewählte hydraulische und morphologische Parameter

Selected hydraulic and morphological parameters

In den folgenden Beiträgen dieses Heftes werden verschiedene Themen mit Bezug zur Deichrückverlegung Lenzen ausgeführt. Die Deichrückverlegung wirkt für jeden vor Ort sichtbar auf die Strömungs- und Lebensraumbedingungen auf dem rechten Vorland ein. Da sich durch die Maßnahme aber auch die Strömung im Gewässerbett und der Transport von Geschiebe an der Sohle ändern, die weniger offensichtlich sind, wenn man am Fluss steht, soll hier ein kurzer Einblick in solche abiotische Charakteristika gegeben werden. Dabei können die unterschiedlichen Aspekte, die ggf. zu Konflikten hinsichtlich verschiedener Ziele (Naturschutz, Nutzungen) führen können, nur angerissen werden. Gleichwohl soll durch Hinweise auf Charakteristika der Strömung des Oberflächenwassers und des Geschiebetransports im Umfeld der Deichrückverlegung Len-

zen das Verständnis für Wirkungen, die sich aus der Änderung der Strömungsbedingungen ergeben können, erleichtert werden.

Das Mittelwasserbett wird durch Buhnen und in Krümmungen durch Deckwerke geprägt. Die Buhnen sind überwiegend inklinante Buhnen. Jedoch variieren die Formen der konkreten Bauwerke sehr stark (z.B. Hakenbuhnen unterschiedlicher Bauart, Buhnen mit angesetztem Parallelwerk – siehe Beitrag von Schneider in diesem Heft). Die planmäßige Breite des Mittelwasserbetts (Soll-Streichlinienabstand bei Mittelwasser) beträgt 196 m (EI-km 431,3 bis 474,6) bzw. 203 m (EI-km 474,6 bis 505,8). Tatsächlich ist das Mittelwasserbett oft breiter. Häufig ist der Abstand aufeinander folgender Buhnen so groß, dass die Strömung nicht ausreichend geführt wird. Der Anschluss der Buhnen an das Ufer kann infolge von Schäden durch Strömungsangriff, aber ggf. auch planmäßig (Buhnenkerben für eine größere Strömungsvielfalt) unterbrochen sein (siehe Bild 2).

Bild 6 zeigt einen Lageplan zwischen den Deichen für eine Elbestrecke im Umfeld der Deichrückverlegung (DRV) Lenzen. Es wird deutlich, dass über lange Strecken der Deich sehr nah am Gewässerbett verläuft. Nebenflussdeiche sind in Bild 6 nicht eingetragen. Die Übersichtskarte macht die Größe der durch die Deichrückverlegung Lenzen hinzugewonnenen Vorlandfläche gegenüber den sonstigen Vorlandflächen entlang der Strecke deutlich.

Die ehemals geringe Vorlandbreite im Bereich der Deichrückverlegung zeigt der Vergleich des Profils bis zum alten und neuen Deich bei EI-km 478,7 in Bild 7. Die Lage des Profils ist Bild 6 zu entnehmen. Es verläuft im neu geschaffenen Vorland über zwei angelegte Flutrinnenarme. Vor der Deichrückverlegung lag hier der Deich nahe am rechten Ufer. Die verschiedenen eingetragenen Profile aus Peilungen zwischen 2001 und 2007 geben einen Eindruck von der Veränderlichkeit der Sohle.

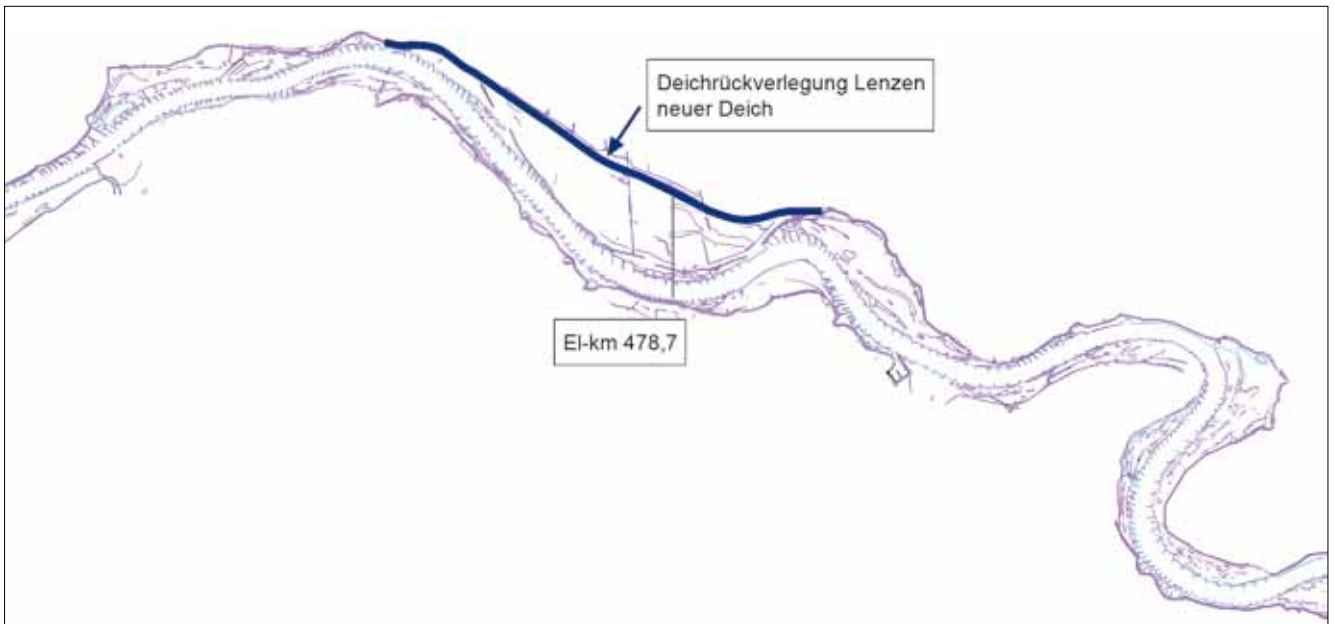


Bild 6: Lageplan El-km 465 bis 490 mit Deichrückverlegung Lenzen
 Figure 6: Survey map of Elbe kilometers 465 to 490 showing the Lenzen dike relocation

Das Querprofil zeigt darüber hinaus, dass die Bühnenköpfe unter dem eingetragenen langjährigen Mittelwasser $W(MQ1971/2010)$ liegen, das die aktuelle Bauwerkssollhöhe beschreibt. Zwischen El-km 435 und

485 liegen die Bühnen mehrheitlich unter dieser Bauwerkssollhöhe (Mittelwasser, rote Linie), wodurch bei Mittelwasser die Bühnen bereits überströmt werden – sie wirken nicht mehr vollständig als Mittelwasser-

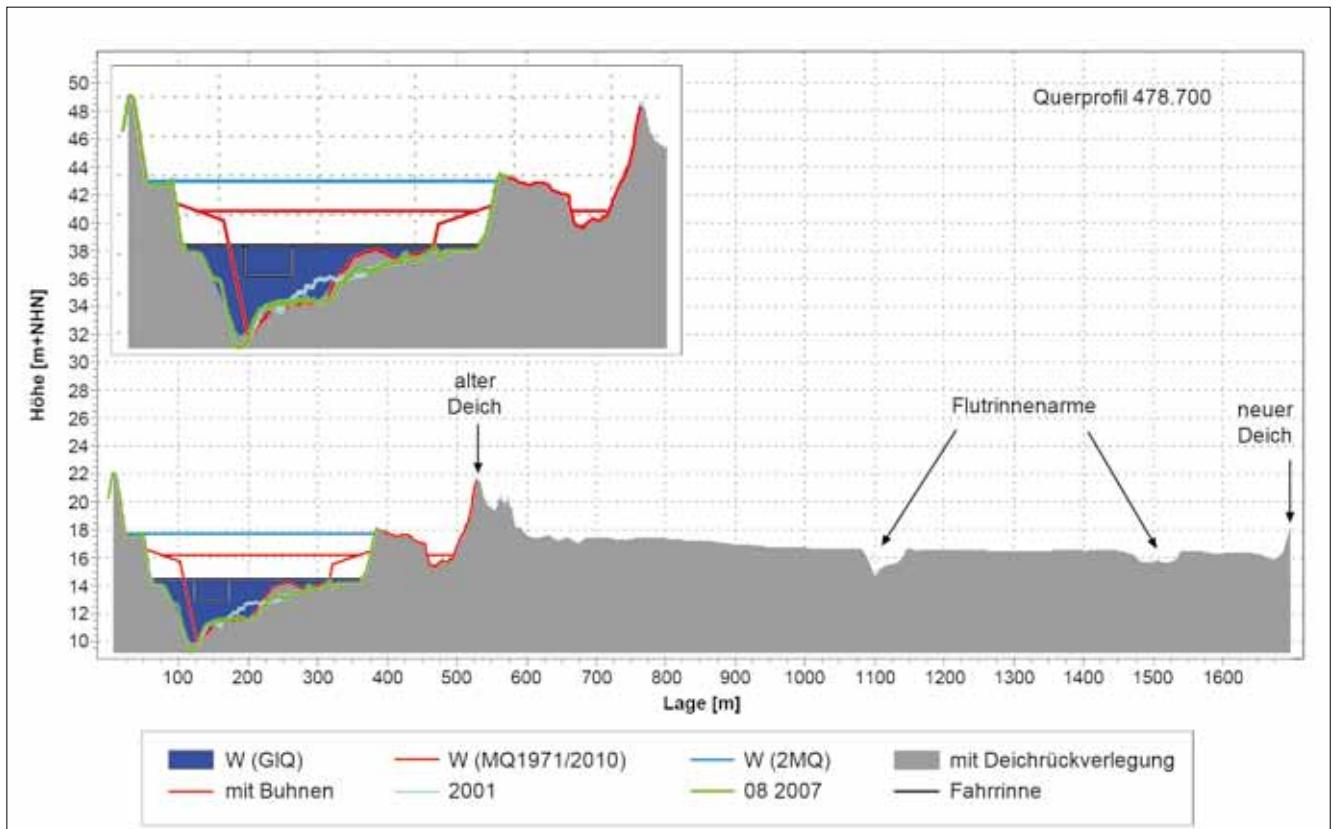


Bild 7: Querprofil bei El-km 478,7
 Figure 7: Cross-profile at Elbe kilometer 478,7

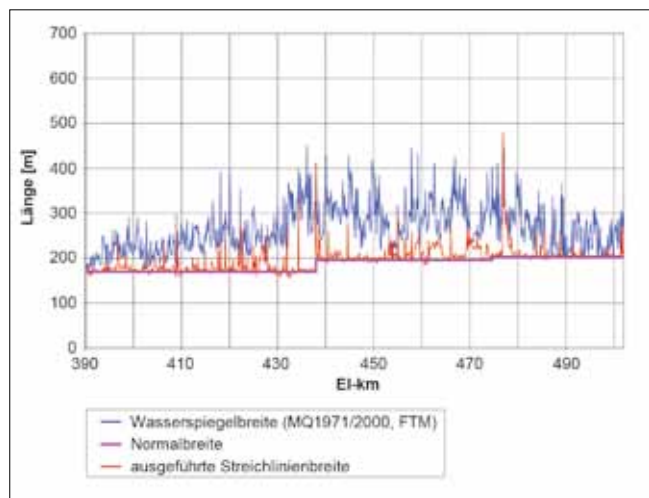


Bild 8: Verschiedene Breitenparameter bei Mittelwasser
 Figure 8: Width variability at mean water level

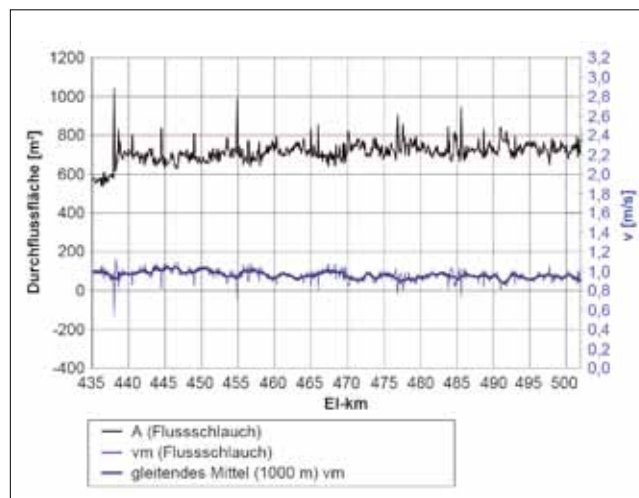


Bild 9: Durchflussfläche und mittlere vm Geschwindigkeiten im Flussschlauch bei Mittelwasser
 Figure 9: Discharge area and mean vm velocities in the main reach of the river at mean water level

bauwerke. Dadurch ergeben sich in Bild 8 bei Mittelwasser größere, durchströmte Wasserspiegelbreiten (blaue Linie), als der Sollwert (Normalbreite = Sollabstand zwischen linker und rechter Streichlinie, magenta) vorsieht. Die Bühnenköpfe wurden insbesondere in den Krümmungen nicht entsprechend der Normalbreite eingebaut, sondern hier ist der Abstand zwischen linker und rechter Streichlinie (Flussschlauch, braune Linie) oft größer als der Sollwert (magenta).

Infolge dieser Breitenvariabilität ergibt sich im Zusammenhang mit Gefälle und Durchflussfläche eine entsprechende Variabilität der mittleren Fließgeschwindigkeit entlang der Strecke (Bild 9). Diese hat wiederum Auswirkungen auf den Geschiebetransport. Bei höheren Geschwindigkeiten kann mehr Geschiebe transportiert werden als bei niedrigen, da genügend transportierfähiges Material in der Sohle vorhanden ist. Sinkt die Geschwindigkeit, wird in Bewegung befindliches Geschiebe angelandet. Allerdings wird der Geschiebetransport, insbesondere in den Krümmungen, nicht durch die Mittelwerte der Geschwindigkeiten allein geprägt.

Im Mittelwasserbett ist in Folge des Ausbaus für die Schifffahrt die Variabilität von Durchflussflächen und -breiten, und damit der Fließgeschwindigkeiten, trotz der Mängel im Regelungssystem deutlich geringer als im Hochwasserbett. Bei ausufernden Wasserständen ändern sich diese über die Strecke und über den Abfluss stark. Deshalb werden für die betrachteten Strecken in Tabelle 6 für Hochwasser Spannweiten der Parameter angegeben werden. Als Breite wird die durchströmte Breite angezeigt; der Abstand zwischen den Deichen weist größere Werte auf.

An einer konkreten Station steigen die mittleren Fließgeschwindigkeiten im Flussschlauch (zwischen den Bühnenköpfen) mit wachsendem Durchfluss bis zur Ausuferung an. Wegen der vergrößerten Durchflussfläche infolge der Einbeziehung von Vorländern sinkt die Fließgeschwindigkeit im Flussschlauch nach der Ausuferung. Sie steigt erst mit wachsendem Durchfluss bei großer Wassertiefe über den Vorländern wieder an.

El-km 438 bis 502	MNQ 297 m ³ /s	MQ 689 m ³ /s	HQ _{2,5} 2300 m ³ /s
Mittlere Fließgeschwindigkeit im Flussschlauch	0,73 m/s	0,96 m/s	0,8 bis 1,7 m/s
Mittlere durchströmte Wasserspiegelbreite	180 m	200 m	450 – 2500 m

Tabelle 6: Zusammenschau von Strömungsparametern
 Table 6: Synopsis of flow parameters



Bild 10: Elbe bei Müggendorf (El-km 464)
(Foto Meier (Rana) im Auftrag der BfG, 2003)

Figure 10: *The Elbe near Müggendorf (Elbe kilometer 464)*
(photograph taken by Meier (Rana) on behalf of
the German Federal Institute of Hydrology (BfG),
2003)

Die Geschwindigkeiten bei Hochwasser sind entlang der Strecke (siehe Beispieldarstellung in Bild 16 im Beitrag von Faulhaber et al. (2013) in diesem Heft und für verschiedene Durchflüsse (Tabelle 6) in Abhängigkeit von den Vorlandhöhen und -breiten sehr unterschiedlich.

Beim Untersuchungsbereich handelt es sich um einen Elbeabschnitt, der durch ein sandig-kiesiges Sohlensubstrat (ca. 80% Mittel- und Grobsand, 20% Fein- und Mittelkies, Ungleichförmigkeitsgrad 2 bis 3) gekennzeichnet ist. Das an der Sohle bewegte Material (Geschiebe) und das Sohlenmaterial unterscheiden sich nicht. Geschiebe wird bei allen Durchflüssen vom Fluss mitgeführt und bildet sogenannte Transportkörper (Riffel, Dünen, Bänke). Die Dünen kann man in Großdünen (Länge > 120 m und Höhe > 1,1 m) und Mitteldünen (Länge 10 bis 120 m und Höhe bis 1,1 m) unterteilen. Es treten alle Zwischengrößen auf. Die Riffel laufen über die Mitteldünen, die ihrerseits wieder auf Großdünen auflaufen. Nach Hochwasserereignissen finden sich mehr und höhere Dünen als nach langen Niedrigwasserperioden (siehe im Beitrag von Faulhaber (2013b) in diesem Heft). Die Sohlengestalt ist stark von der hydrologischen Vorgeschichte abhängig. Die Transportkörper wandern mit unterschiedlicher Geschwindigkeit um ca. 10 m/Tag.

In Abhängigkeit von der Linienführung des Flusses bilden sich in Flussmitte so genannte „falsche Übergänge“, die mit ihrer geringen Wassertiefe die mögliche Beladung der Schiffe begrenzen. Ein solcher flacher

Übergang bildet sich unterhalb der Krümmung „Böser Ort“ bei El-km 478 aus. Er wird durch die Kolkbildung in der Krümmung beeinflusst. Die Mittelwasserbauwerke fördern die Ausbildung von lokalen Kolken. So entstehen unterhalb der Bühnenköpfe sogenannte Bühnenkopfkolke. Auch im Nahbereich von Deckwerken bilden sich insbesondere in engen Krümmungen oft tiefe Kolke am Prallufer aus. An den Innenufern der Krümmungen haben sich – meist dauerhafte – Bänke abgelagert, die weit in den Fluss hineinreichen (siehe Bild 10). Der Elbeabschnitt in Bild 10 ist mit Bühnen und im Außenufer der Krümmung mit einem Deckwerk geregelt. Man erkennt unterschiedliche Verlandungssituationen in den Bühnenfeldern.

Die Jahresfracht des in Kontakt mit der Flusssohle transportierten Materials (Geschiebe und sohlenrelevanter Anteil des suspendierten Sandes) liegt in der Größenordnung von 200.000 bis 300.000 t/a. Als Schwebstoff werden im Jahresmittel ca. 600.000 t/a zusätzlich transportiert (BfG, 2004). Bei Hochwasser kann Geschiebe am Ufer als Uferwall (Rehne) abgelagert werden. In Bühnenfeldern sedimentiert Material und wird ggf. wieder mobilisiert. Der Schwebstoff wird mit dem Wasser auch in die Vorländer verfrachtet und sedimentiert in Bereichen geringer Fließgeschwindigkeiten. Vorlandgewässer verlanden deshalb zunehmend, wenn nicht bei extremen Hochwassern Material durch Erosionsprozesse wieder mobilisiert wird. Für die Nutzung der Vorländer und bei der Remobilisierung von Sedimenten stellt die Schadstoffbelastung ein Problem dar.

5 Fazit *Conclusions*

Zur Durchführung von Baumaßnahmen, die die Strömung in einem Flussabschnitt verändern, sind vielfältige Kenntnisse des bestehenden Zustandes erforderlich, um die Wirkungen auf die verschiedenen Prozesse im Gewässerbett und der Aue beschreiben zu können. Bereits zur Abschätzung der zu erwartenden Veränderungen der Oberflächenströmung sind unterschiedliche Betrachtungen erforderlich, die langfristige Mittelwerte hydrologischer Parameter an den Pegeln, Extremwerte und zeitlich differenzierte Angaben, z. B. zur Beschreibung von Hochwasserwellen, berücksichtigen. Zur genaueren Analyse des Strömungsklimas eines Elbeabschnittes sind zwischen den Pegeln Kenntnisse zu

hydraulischen Kenngrößen, wie z.B. Fließgeschwindigkeiten, erforderlich. Da im betrachteten Elbeabschnitt sich die Flusssohle durch die Strömung und in Abhängigkeit verschiedener Randbedingungen (u.a. Regelungsbauwerke, Deiche, Vorlandtopografie) stark verändert, sind auch Kenntnisse zum Geschiebe- und Schwebstofftransport erforderlich.

Stehen schon die Oberflächenströmung, der Geschiebe- und Schwebstofftransport sowie die Topografie in Wechselwirkung, so beeinflussen diese weiterhin die Grundwasserströmung und die sich ausprägenden Lebensräume. Diese wiederum wirken z. B. durch die Rauheitswirkung der Vegetation ihrerseits auf die Strömung zurück.

Dieser eingangs gegebene Überblick zu ausgewählten Charakteristika der Strömung und ein kurzer Abriss zur Entwicklung des Flussabschnittes in der Kulturlandschaft stimmen auf den Themenkreis der Deichrückverlegung Lenzen ein. In den folgenden Beiträgen dieses Heftes werden unterschiedliche Aspekte der Deichrückverlegung beleuchtet, die vielfältigen Einflüsse auf Planung, Umsetzung und Erfolgskontrolle erläutern.

6 Literaturverzeichnis *References*

BAW/BfG (2012): Pflege des niedrigen und mittleren Bezugswasserstandes der Elbe. GIW2010, Bauwerksollhöhe 2010, Bundesanstalt für Wasserbau und Bundesanstalt für Gewässerkunde, Karlsruhe, Koblenz (unveröffentlicht).

BfG (2004): Feststofftransport und Flussbettentwicklung der Elbe, Bundesanstalt für Gewässerkunde, BfG - 1497, Koblenz (unveröffentlicht).

BfG (2006): Das Hochwasser der Elbe im Frühjahr 2006. Bericht 1514 der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz.

BfG (2009): Einheitliche Grundlage für die Festlegung der Bemessungswasserspiegellagen der Elbe auf der frei fließenden Strecke in Deutschland. Bericht 1650 der Bundesanstalt für Gewässerkunde. Erstellt in Zusammenarbeit mit der FGG ELBE/ARGE ELBE, Koblenz (unveröffentlicht).

BfG (2013): Das Juni-Hochwasser des Jahres 2013 in Deutschland. Bericht 1793 der Bundesanstalt für Gewässerkunde, erstellt in Kooperation mit dem Deutschen Wetterdienst.

Elbstrombauverwaltung (1902): Generelles Regulierungs-Projekt des Hochwasserbettes vom 24.11.1902, Erläuterungsbericht und überschlägige Kostenberechnung, Magdeburg.

Faulhaber, P. (2000): Veränderung hydraulisch-morphologischer Parameter der Elbe. In Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau Nr. 82, S. 97 – 117.

Faulhaber, P. (2012): Vergleich der hydraulischen Verhältnisse im Mittelwasserbett der deutschen Binnenelbe vom 19. Jahrhundert bis heute. Schriften der Deutschen Wasserhistorischen Gesellschaft (DWhG) e. V., Band 20, Teil 2, DWhG – Zehn Jahre wasserhistorische Forschungen und Berichte, S. 487 – 500.

Faulhaber, P. (2013a): Wechselspiel von Geschiebetransport und Regelungssystem an der deutschen Binnenelbe. Veranstaltungen 3/2013, Bundesanstalt für Gewässerkunde, S. 88 – 100.

Faulhaber, P. (2013b): Zusammenschau und Analyse von Naturmessdaten In: BAW-Mitteilungen, Nr. 97, S. 109 – 134.

Faulhaber, P., Bleyel, B., Alexy, M. (2013): Übersicht der hydraulisch-morphologischen Modelluntersuchungen zwischen 1995 und 2010. In: BAW-Mitteilungen, Nr. 97, S. 49 – 72.

IKSE (2005): Die Elbe und ihr Einzugsgebiet. Ein geographisch-hydrologischer und wasserwirtschaftlicher Überblick. Bericht der Internationalen Kommission zum Schutz der Elbe, Magdeburg.

LWI (2008): Überprüfung der hydraulischen Leistungsfähigkeit der Unteren Mittelelbe in Niedersachsen. Bericht Nr. 965 des Leichtweißinstituts für Wasserbau der TU Braunschweig im Auftrag des Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz - NLWKN, Direktion Norden (unveröffentlicht).

Reichhoff (2008): Ermittlung der Veränderungen des Aufwuchses in den Vorländern der Elbeaue. LPR Landschaftsplanung Dr. Reichhoff GmbH im Auftrag des Landesbetriebes für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (unveröffentlicht).

Rommel, J. (2000): Laufentwicklung der deutschen Elbe bis Geesthacht seit ca. 1600, Studie im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde (unveröffentlicht).

Rommel, J. (2013) Anthropogen beeinflusste Ufer- und Vorlandentwicklung an der Unteren Mittel-elbe. In: BAW-Mitteilungen, Nr. 97, S. 149 – 170.

Schneider, R. (2013): Historische Aspekte der wasserbaulichen Prägung des Abschnittes um Lenzen. In: BAW-Mitteilungen, Nr. 97, S. 171 – 192.

Simon, M. (1996): Anthropogene Einflüsse auf das Hochwasserabflussverhalten im Einzugsgebiet der Elbe. In Wasser und Boden, 48. Jahrgang, Heft 2, S. 19 – 23.

Simon, M. (2012): Die Elbe im Raum Magdeburg. Darstellung der wasserwirtschaftlichen Verhältnisse. Fachbroschüre des Landesbetriebs für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft LHW Sachsen-Anhalt.

WSD Ost (2010): Fachkonzept für die Durchführung von gewässerkundlichen Messungen im Bereich der WSD Ost (unveröffentlicht).

Deichrückverlegung Lenzen-Wustrow – Geschichte und Umsetzung im Rahmen eines Naturschutzgroßprojektes

History and Implementation of the Lenzen-Wustrow Dike Relocation

Dr. rer. nat. Christian Damm, KIT-WWF Auen-Institut, Rastatt

Die Deichrückverlegung Lenzen-Wustrow hat eine längere Vorgeschichte, die zum einen auf die hydraulischen Probleme an der Elbe-Engstelle und der benachbarten engen Flussbiegung zurückgeht, später auf die regionalen Bestrebungen von Landwirtschaft und Naturschutz, nach der politischen Wende die Potenziale der Auenlandschaft im Biosphärenreservat Flusslandschaft Elbe-Brandenburg einvernehmlich zu entwickeln. Dieser von einigen wenigen begonnene und kontinuierlich ausgebaut Prozess verlief über diverse Förder- und Forschungsvorhaben, gewann über die Jahre immer mehr Zustimmung und führte letztlich auch zur Realisierung des bundesgeförderten Naturschutzgroßprojektes Lenzener Elbtalaue, welches die Deichrückverlegung bei Lenzen als zentrale Maßnahme beinhaltete. Nur durch diese Rückverlegung des Deiches konnte die angestrebte flächenhafte Wiederherstellung von Ausgangsbedingungen für eine naturnahe, funktional weitgehend intakte Auenlandschaft gelingen, in der dem Auwald besonderes Augenmerk geschenkt wurde. Damit konnten in diesem Projekt Ziele von Naturschutz, Hochwasserschutz, Landwirtschaft und weitere in beispielhafter Weise gemeinsam verwirklicht werden. Der vorliegende Artikel beschreibt die Geschichte des Projektes und seine Umsetzung im Rahmen und aus der Perspektive des Naturschutzgroßprojektes.

The relocation of the Lenzen-Wustrow dike has a long history. Originally, the hydraulic problems occurring at the Elbe bottleneck and the adjacent narrow river bend were the reasons for first considerations on the case. Subsequently, the political turnaround triggered regional activities in the field of agriculture and nature conservation with the aim to utilize and promote the development potential of the floodplains in the Biosphere Reserve "River Landscape Elbe-Brandenburg". The process of the relocation project was initiated by

a few individual regional actors, and was continuously extended, receiving support from various funding and research projects. Over the years it met with increasing approval and finally brought about the implementation of the federally funded large-scale conservation project in the Elbe valley floodplains near Lenzen. The dike relocation became the central measure of the project. It was by this measure only that the desired restoration of the floodplain to its original state and function could be achieved. Special attention was given to the re-establishment of alluvial forest. This project was exemplary in that it was a joint effort to realize the aims of nature conservation, flood protection and agriculture as well as other objectives. This paper gives a detailed description of the project history and its implementation as part of the large-scale conservation project.

1 Projektgeschichte *Project history*

Die Geschichte der Deichrückverlegung bei Lenzen beginnt im weitesten Sinne schon im Jahr 1898 mit der mahnenden Feststellung der königlichen Elbstromverwaltung, dass eine Deichengstelle zwischen der ehemaligen Lenzener Fähre (El-km 479,5) und dem Gartower Elbholz (El-km 483,5) besteht (Elbstromwerk, 1898). Die problematische flussnahe linksseitige Deichführung wurde in den 1950er-Jahren durch das Land Niedersachsen im Rahmen der Deichsanierung beseitigt. Zu weiteren Überlegungen einer Deichrückverlegung kam es erst viel später im Rahmen von Betrachtungen zur Kompensation von Wasserspiegelerhöhungen infolge des geplanten Abschlusses von Nebenflussmündungen. So wurden in den 1960er-Jahren in der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau (FAS) in Potsdam-Marquardt Überlegungen zu Deich-

rückverlegungen an der Elbe angestellt, in denen u. a. für den „Bösen Ort“ bei Lenzen eine ca. 70 Hektar große Rückverlegung des Deiches um ca. 200 m bis 250 m enthalten war (siehe Bild 1). Eine Realisierung ist aber vor allem aus finanziellen Gesichtspunkten nicht weiter verfolgt worden.

Erst knapp 30 Jahre später wurde das Thema, diesmal allerdings von anderer Seite, wieder aufgegriffen. In den turbulenten Zeiten nach dem Fall der Mauer konnten und mussten in vielen Regionen neue Wege beschrritten werden. In Lenzen trafen frühzeitig Vertreter aus Naturschutz und Landwirtschaft zusammen. Der örtliche landwirtschaftliche Großbetrieb (bewirtschaftete Fläche heute knapp 3.600 Hektar) ergriff die Chance, mit einer ökologischen Ausrichtung lokales wirtschaftliches Handeln und die naturschutzorientierten Bestrebungen der Regionalentwicklung in der Elbtalau zu verbinden und dieses mit fachkompetenten Experten aus Wissenschaft, Verwaltung sowie Landes- und Bundesbehörden zu diskutieren. Auch erste Ideen zur Entwicklung der Flusslandschaft wurden erörtert, wobei die Möglichkeiten zur Auwaldwiederherstellung und Deichverlegung unter anderem Erwähnung fanden. Es entstand in dieser Zeit auch der

damals noch zu Mecklenburg gehörende Naturpark Mecklenburgische Elbtalau (heute: Biosphärenreservat Flusslandschaft Elbe-Brandenburg). In enger Zusammenarbeit entwickelten dessen damaliger Leiter Dr. Frank Neuschulz (†) und der Landwirt und Vorsitzende des landwirtschaftlichen Großbetriebes, Horst Möhring, die genannten Ideen weiter. Auch der Präsident des brandenburgischen Landesumweltamtes (heute: LUGV – Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz), Prof. Matthias Freude, konnte ebenfalls schnell für das Vorhaben gewonnen werden.

Dabei wurde von vornherein die Entwicklung einer naturnahen Auenlandschaft als Integration von Kulturlandschaft und Naturlandschaft verstanden, was mit der Ausweisung von Naturpark und Biosphärenreservat konsequent fortgesetzt wurde. Der überregional weitgehend verloren gegangene Auenwald gehörte an zentraler Stelle zu den Überlegungen. Vor dem Hintergrund der sehr begrenzten Flächen an rezenter Aue war damit von Beginn an die Idee einer Deichrückverlegung verbunden.

Das so ungewöhnliche wie für das Projekt bedeutsame Engagement der Landwirtschaft für die Sache ging auch auf die lokale Erfahrung von 14.000 Hektar umfassender

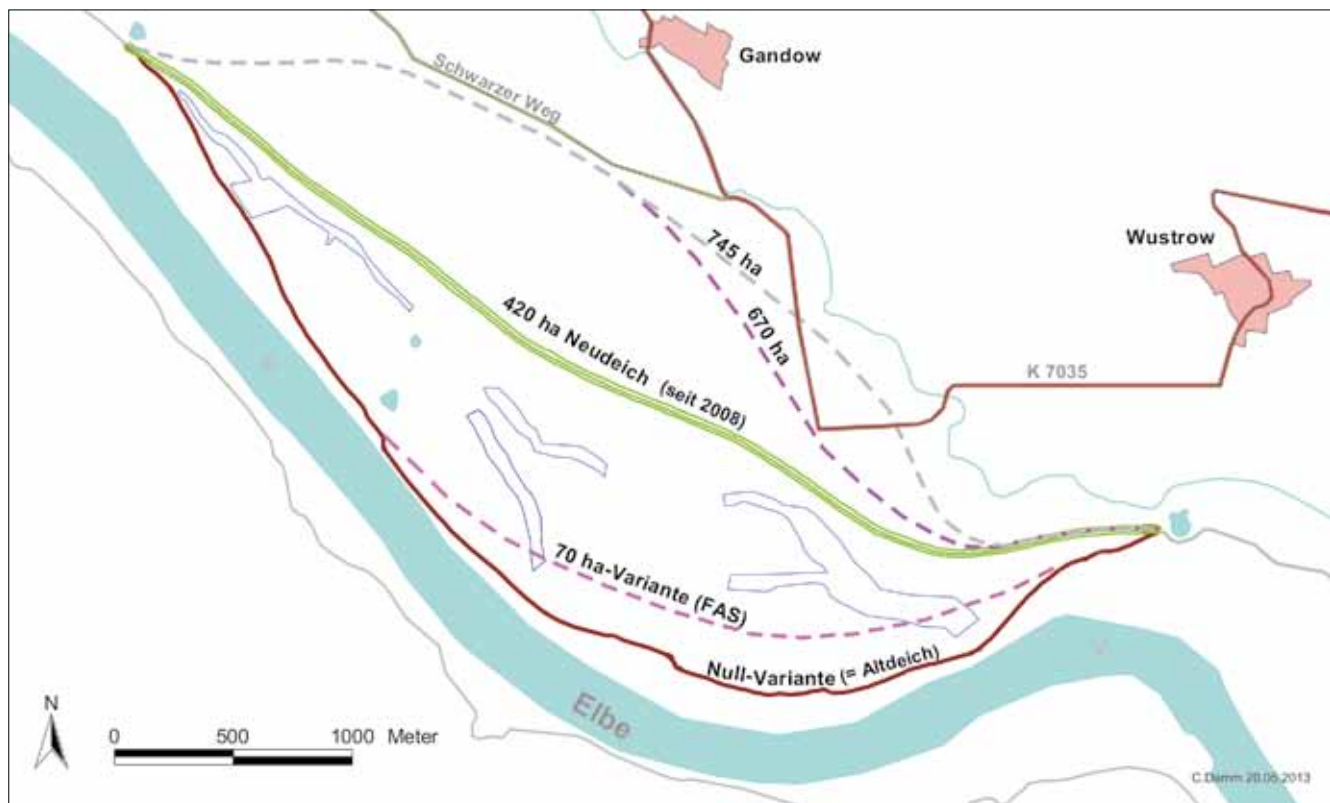


Bild 1: Varianten der rückverlegten Deichlinien im Verlauf der Projektgeschichte
 Figure 1: Dike route variants considered in the project's history

und bei Weitem nicht nur erfolgreicher Meliorationsmaßnahmen in den frühen 1970er Jahren v. a. in der benachbarten Lenzener Wische zurück. Diese staatlich angeordnete Maßnahme brachte eine strukturarme, von Grünlandnutzung geprägte Agrarlandschaft hervor, blieb aber trotz erheblichen Aufwandes weit hinter den angestrebten Zielen einer weitgehenden ackerbaulichen Erschließung der Auenflächen zurück. Der Lenzener Großbetrieb erkannte nach der politischen Wende, dass mit der landwirtschaftlichen Nutzung allein unter den Bedingungen der Marktwirtschaft in dieser strukturarmen Region die bisherige Beschäftigungsintensität langfristig nicht aufrechtzuerhalten war. Die folgende Diversifizierung des Betriebskonzeptes beinhaltete deshalb auch landschaftspflegerische und regionaltouristische Zweige, welche mit der Idee einer Deichrückverlegung und der Entwicklung einer naturschutzgeprägten Auenlandschaft gut zu ergänzen waren. Hieraus ging das langjährige und letztlich erfolgreiche Engagement des Betriebes für das Deichrückverlegungsprojekt hervor, welches für die Durchsetzung des Projektes in der Region unverzichtbar war.

Die Realisierung des Projektes ist vor allem dem kontinuierlichen Engagement der genannten Akteure über fast ein Jahrzehnt – von ersten Projektskizzen bis zum Beginn des Naturschutzgroßprojektes im Oktober 2002 – zu verdanken. Auch die als strategisch zu bewertende Initiierung der im Folgenden genannten Förder- und Forschungsprojekte geht auf Frank Neuschulz zurück. Viel Beharrungsvermögen und Überzeugungsarbeit im politischen, administrativen und öffentlichen Raum war erforderlich, zumal der Naturschutz in den Umbruchjahren besonders in dieser ehemaligen deutsch-deutschen Grenzregion einen schweren Stand hatte. Gegenwind kam auf breiter Front von der kommunalen Seite bis zu manchen Bereichen der höheren Landesverwaltung. Wie in anderen Regionen auch war auch in den Wasserbehörden eine lang andauernde Skepsis insbesondere gegenüber der Deichrückverlegungsidee verbreitet. Auch Privatleute versuchten, u.a. über eine Bürgerinitiative, die Entwicklung des Projektes zusammen mit anderen behördlichen Naturschutzbemühungen (u.a. Schutzgebietsregelungen) zu Fall zu bringen. Wie eine wissenschaftliche Befragung zur Akzeptanz regionaler Naturschutzmaßnahmen 1997 belegte, wurde dabei die landschaftsverändernde Auwaldwiederherstellung in der lokalen Bevölkerung überwiegend positiv be-

wertet, während einer Deichrückverlegung anfangs fast die Hälfte der Befragten eher skeptisch oder ablehnend gegenüberstand (Stelzig, 1999). Die geleistete Überzeugungsarbeit einiger weniger kann deshalb nicht hoch genug eingeschätzt werden. Sie wurde ab 2003 in der ersten Phase des Naturschutzgroßprojektes mit einem Moderationsverfahren und Öffentlichkeitsarbeit fortgeführt. Dass sich die Akzeptanzsituation im Projektverlauf grundlegend verändert hat, wurde in der Evaluation des Projektes eindeutig nachgewiesen (Luley und Peters, 2010). Die Entwicklung vom Zünden einer damals ungewöhnlichen Idee in einer ablehnenden Umgebung über viele Jahre zu einem erfolgreich vollendeten Projekt, dem inzwischen selbst viele ehemalige Gegner Respekt zollen, ist eine der großen Leistungen des Gesamtprojektes.

Die inhaltliche Ausgestaltung der Projektidee und ihre kontinuierliche Weiterentwicklung in den 1990er-Jahren wurden vor allem durch die Verwaltung des Naturparks und späteren Biosphärenreservates betrieben. Erste Projektideen wurden in einer Antragskizze für ein vom Flächen- und Finanzvolumen sehr umfangreiches EU-LIFE-Projekt bereits Ende 1992 niedergeschrieben. Auf Anraten der EU-Gutachter wurde daraus ein kleinerer, auf den Raum Lenzen (und ein Teilgebiet im Rühstädter Vorland/Gnevsdorfer Werder) beschränkter überarbeiteter Antrag erstellt, der 1994 zur Bewilligung des LIFE-Projektes „Renaturierung der Brandenburgischen Elbtalaue“ (LIFE94 NAT/D/000029, 1994-1998) führte (Lilje und Neuschulz, 1998). In diesem wurden vorbereitende Arbeiten zu einer Deichrückverlegung wie z.B. umfangreicher Flächenerwerb sowie die Anzucht und Auspflanzung autochthoner Auengehölze im Gebiet des späteren Naturschutzgroßprojektes gefördert (Lilje und Neuschulz, 1996).

Bereits 1993 bestätigte ein vom Naturpark in Auftrag gegebenes Gutachten die grundsätzliche wasserbauliche Machbarkeit einer Deichrückverlegung und lieferte erste Skizzen sowie technische Überlegungen zu Kosten und Massenbedarf einer Deichrückverlegung (UTAG, 1993). Auch eine Umweltverträglichkeitsstudie von 1995 zur Elbdeichsanierung von Wittenberge bis Wootz im Auftrag des Landesumweltamtes beinhaltete neben fünf weiteren Deichrückverlegungsstandorten den Lenzener Vorschlag, damals allerdings noch mit einer größeren Variante (IBS, 1995), siehe im nachfolgenden Text.

Von 1993 bis 1996 wurde ein von der Landesanstalt für Großschutzgebiete beauftragter Pflege- und Entwicklungsplan durch die so genannte „PEP-Arbeitsgruppe Elbtalaue“ erarbeitet, welcher Bestandsaufnahmen durchführte und Potenziale für die zukünftige Entwicklung des gesamten Naturparkes und späteren Biosphärenreservates Flusslandschaft Elbe-Brandenburg identifizierte. Der Plan beinhaltete auch eine erste Zielkonzeption für die Flächen der Deichrückverlegung im Raum Lenzen-Wustrow inklusive der Entwicklung von Auenlebensräumen (Arbeitsgruppe PEP-Elbtalaue, 1996).

Seit 1995 wurden vom Land Brandenburg auch im Projektgebiet Vertragsnaturschutzmittel für Grünlandextensivierung und Auwaldinitiierungen eingesetzt. Später wurden diese in zunehmendem Maße durch Mittel des Kulturlandschaftsprogrammes für Wiesenbrüterschutz, kleinflächige Mahd, naturschutzfachliche Zusatzmaßnahmen zur Grünlandextensivierung und für die Förderung von Sukzessionsflächen eingesetzt (Planland, 2005)

Auch die Förderung des „Zentrums für Auenökologie, Umweltschutz und Besucherinformation“, welches der Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND) e. V. in Kooperation mit der Stadt Lenzen und dem Landwirtschaftsbetrieb in einem Verein Trägerverbund Burg Lenzen e. V. seit 1995 vorantrieb, gehört zu den wichtigen Faktoren der Projektgeschichte. Der aufwändige Aus- und Umbau dieses wichtigen Denkmals und Wahrzeichens der Stadt Lenzen verschaffte dem Naturschutz in der Region Respekt. Wesentliche Förderung erfuhr das Umweltbildungszentrum vor allem durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), diverse weitere Stiftungen sowie verschiedene Ressorts des Landes Brandenburg. Der Trägerverbund übernahm später die Trägerschaft und damit die Durchführung des bundesgeförderten Naturschutzgroßprojektes.

Von großer Bedeutung für die genehmigungstechnische Bewilligung der Deichrückverlegung, die inhaltliche Ausgestaltung des Naturschutzgroßprojektes und besonders den dazu gehörenden Pflege- und Entwicklungsplan war die Durchführung des BMBF-Forschungsprojektes „Möglichkeiten und Grenzen der Auenregeneration und Auwaldentwicklung am Beispiel von Naturschutzprojekten an der Unteren Mittel Elbe (Brandenburg)“. Im Rahmen des Verbundvorhabens „Elbe-Ökologie“ des Bundesforschungsministeriums wurden

hier umfassende wissenschaftliche Grundlagen in den Bereichen Grundwasser, Qualmwasser, Bodenkunde, Vegetation, Zoologie, Forstwirtschaft, Landwirtschaft, Sozioökonomie und Akzeptanz durch diverse v. a. universitäre Forschungseinrichtungen gelegt. Diese in den Jahren 1996 bis 2000 durchgeführten Arbeiten machten die Deichrückverlegung zu einer der am besten untersuchten Maßnahmen dieser Art. Die große Datenfülle ist damit eine unschätzbare Grundlage für laufende und zukünftige wissenschaftliche Untersuchungen im Gebiet. Das Forschungsprojekt hat im Ergebnis auch die Umsetzung der Deichrückverlegung wesentlich erleichtert, da sie als solide wissenschaftliche Grundlage die fachliche Diskussion vor Ort sehr befördert und unterstützt hat.

Bereits ab 1995 hat die Bundesanstalt für Wasserbau zuerst im Auftrag des Landesumweltamtes (LUA) Brandenburg und dann im Teilbereich „Ökologie der Fließgewässer“ des BMBF-Forschungsprojektes Elbe-Ökologie Auswirkungen verschiedener Deichrückverlegungsvarianten für den Projektraum untersucht, welche an anderer Stelle in dieser Publikation ausführlich vorgestellt werden. Diese Arbeiten führten auch zur letztlich umgesetzten Rückverlegungsvariante. Aus den diversen untersuchten Varianten waren v. a. drei, die im Rahmen der Projektdiskussion eine Rolle spielten. Neben der Nullvariante waren es eine 420 Hektar große, sogenannte „mittlere Variante“ und eine mit 670 Hektar als „große Variante“ bezeichnete Ausführung. Eine noch größere, 745 Hektar große Variante (IBS, 1995), welche die Verlegung einer Kreisstraße erforderlich gemacht hätte, wurde nicht weiter verfolgt (siehe Bild 1). In Abstimmung zwischen der Landwirtschaft und dem Land Brandenburg wurde die mittlere Variante gewählt, da die große Variante aufgrund von Befürchtungen größerer Qualmwasserprobleme und des größeren Nutzflächenentzuges absehbar nicht mit breiter Akzeptanz rechnen konnte. Auch in dieser Größenordnung hatte das Projekt Pilotcharakter und das Betreten von Neuland hat die lokale Zustimmung sicher nicht beflügelt. Bis heute übertrifft diese Größenordnung alle in Deutschland und weit darüber hinaus bisher umgesetzten Projekte.

Um die benötigten Flächen, vor allem die Flächen der Deichrückverlegung in öffentlicher Hand arrondiert und rechtzeitig bereitzustellen, wurde bereits im Jahr 2000 ein sehr erfolgreiches Bodenordnungsverfahren durch

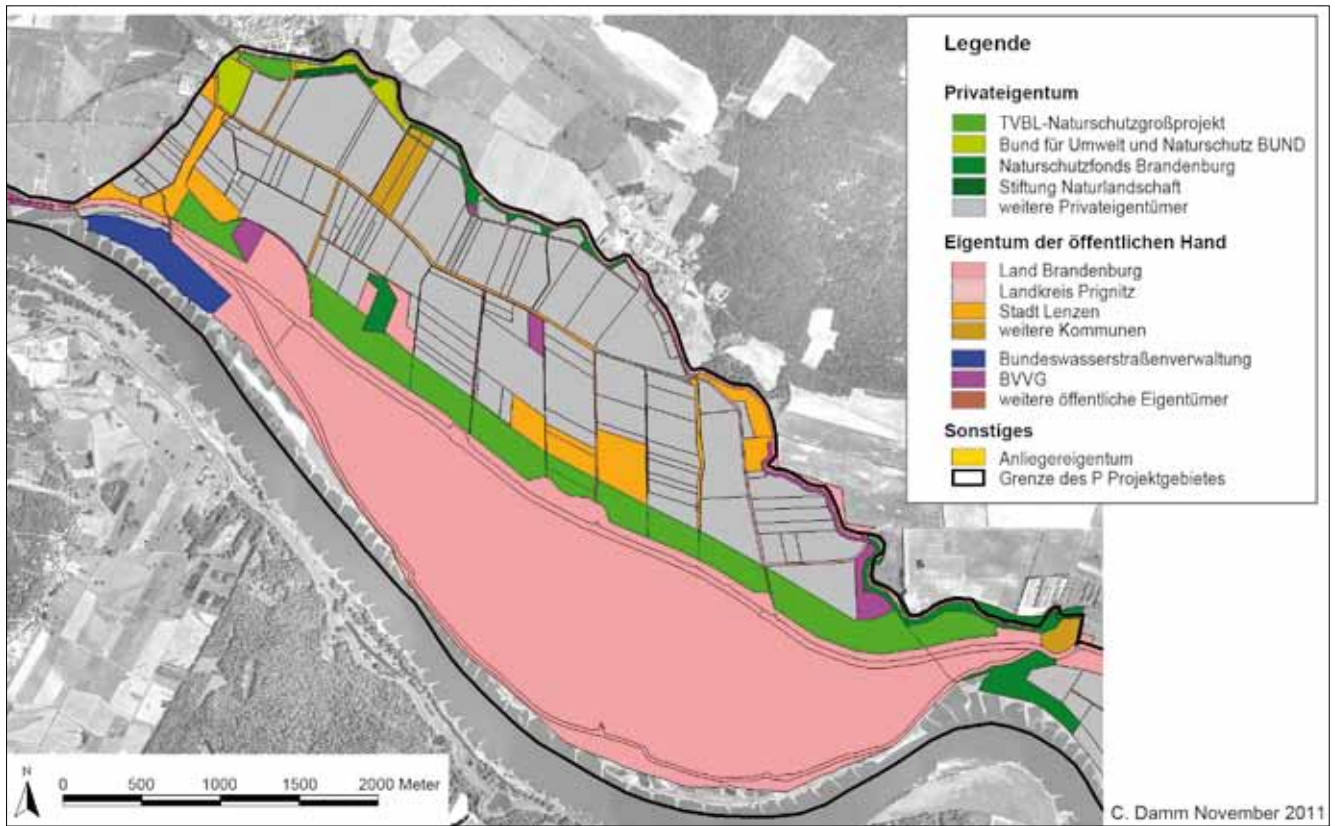


Bild 2: Eigentumsstrukturen im Deichrückverlegungsraum nach Durchführung des umfangreichen Bodenordnungsverfahrens
 Figure 2: Final property structure in the dike relocation area after implementation of a successful land consolidation scheme

das Amt für Flurneuordnung in Neuruppin begonnen. Dieses wurde vom Biosphärenreservat gemeinsam mit der Landwirtschaft beantragt, um eine Zusammenlegung von Flächen in Landeseigentum in der Rückverlegungsfläche zu erwirken (siehe Bild 2). Dies galt insbesondere für die im LIFE-Projekt in einem größeren Raum erworbenen Flächen. Auch sollten damit die an den rückverlegten Deich angrenzenden, zukünftig qualmwasserbeeinflussten Flächen in das Eigentum des Projektträgers kommen, um Nachteile durch Bewirtschaftungserschwernisse für andere Eigentümer zu minimieren. Gleichzeitig konnten in diesem vereinfachten Flurbereinigungsverfahren Beeinträchtigungen der landwirtschaftlichen Strukturen, die auch aufgrund der ehemaligen Grenzbewirtschaftung bestanden, beseitigt werden.

Neben den auf diese Weise erfolgreich durchgeführten Eigentumsregelungen war auch die Lage in den neuen Bundesländern sicher ein wesentlicher Faktor für die Projektrealisierung. So befanden sich die Flächen in der Nutzung eines einzigen landwirtschaftlichen Großbetriebes, dessen Leiter, wie oben beschrieben, dem Projekt in außergewöhnlicher Weise zugetan war.

Damit waren die Abstimmungen mit dem Flächennutzer auf einen Betrieb beschränkt, was den Prozess in erheblichem Maße vereinfachte. Hinsichtlich der wasserwirtschaftlichen und hochwasserschutztechnischen Belange sind die gebündelten Verwaltungsstrukturen in Brandenburg ein großer verfahrenstechnischer Vorteil gewesen, zumal mit dem Landesumweltamt eine einzige Landesbehörde Verfahren und inhaltliche Abstimmungen konzentrierte.

Die Realisierung des Projektes war trotz deutlicher Unterstützung durch die brandenburgische Landesregierung in der Vorbereitungsphase auch wegen der ungeklärten Finanzierung lange unsicher. Eine Übernahme der Mehrkosten einer umfangreichen Deichrückverlegung gegenüber der ohnehin geplanten Deichsanierung auf alter Trasse allein durch Hochwasserschutz- oder Naturschutzmittel des Landes war nicht absehbar. Aus Mitteln des Hochwasserschutzes wäre für die Beseitigung der hydraulischen Engstelle am „Bösen Ort“ bestenfalls eine kleine Rückverlegungsvariante ohne vergleichbare naturschutzfachliche Vorteile in Frage gekommen. Nachdem die Suche nach weiteren externen Finanzierungsquellen für die Mehrkosten der Rückver-

legung erfolglos verlaufen waren, eröffneten Konsultationen des Landes mit dem Bundesamt für Naturschutz die Möglichkeit, das Deichbauvorhaben zumindest teilweise in ein größeres, bundesgefördertes Projekt im Rahmen des „Förderprogrammes zur Errichtung und Sicherung schutzwürdiger Teile von Natur und Landschaft mit gesamtstaatlich repräsentativer Bedeutung – Naturschutzgroß-/Gewässerrandstreifenprojekte“ (BMU, 1993) aufzunehmen. Für die Aktivierung dieser Fördermittel war ein privater Projektträger erforderlich, welcher mit dem Trägerverbund Burg Lenzen e. V. lokal gewonnen werden konnte. Dieser stellte im Juli 2001 den in enger Zusammenarbeit mit der Biosphärenreservatsverwaltung entwickelten Antrag auf Bewilligung des Projektes beim Bundesamt für Naturschutz. Im August 2002 wurde der Bewilligungsbescheid vom damaligen Umweltminister Jürgen Trittin anlässlich des Jahrhunderthochwassers am „Bösen Ort“ bei Lenzen übergeben. Wie die oben dargelegte Geschichte zeigt, war das Elbehochwasser 2002 damit zwar Anlass, aber bei Weitem nicht Ursache für den Beginn dieses Projektes, das wirkungsvoll Hochwasserschutz und Naturschutz miteinander verbindet.

2 Projektziele

Project aims

Die Ziele des Naturschutzgroßprojektes wurden im Pflege- und Entwicklungsplan (PEPL) nach Zusammenführung der u. a. aus dem vorhergehenden BMBF-Forschungsprojekt vorhandenen Daten, wenigen ergänzenden eigenen Erhebungen, den Vorgaben des Projektantrages und den Diskussionen des Moderationsverfahrens definiert. Im Zentrum des Projektes stand dabei die Wiederherstellung des historisch für diesen Bereich der Elbtalaua belegten Auwaldes. Dies ist auch ein wesentliches Anliegen der für das Projekt genutzten Förderung des Bundesumweltministeriums, welche mit diesem Projekt die Wiederherstellung der nach der Flora-Fauna-Habitat Richtlinie (EU FFH-Richtlinie 1992) geschützten Lebensraumtypen des Hartholzauwaldes (91F0) und Weichholzauenwälder (91E0) befördern will. Diese ehemals weit verbreiteten Lebensraumtypen der mitteleuropäischen Flussauen sind heute an der unteren Mittel-Elbe wie auch an der gesamten Elbe bis auf wenige Restbestände durch anthropogene Eingriffe verschwunden (Elbstromwerk, 1898; Neuschulz et al., 1997; Neuschulz und Lilje, 1997).

Die Wiederherstellung von Auwald ist auf das Vorhandensein von überflutbaren Vorlandbereichen, der sogenannten rezenten Aue, angewiesen, wenn die natürlichen Bedingungen, in erster Linie die periodische Überflutbarkeit, umfassend reaktiviert werden sollen. An der Elbe wurden, wie an den meisten großen europäischen Flüssen, die natürlichen Überschwemmungsbereiche durch Eindeichungen stark reduziert. So gingen allein an der Mittel-Elbe zwischen Schwarzer Elster und Aland lt. Simon (Simon, 1994) bis 1990 86,4 % der Retentionsflächen verloren. Deshalb war von Beginn an die Möglichkeit einer Rückdeichung zur Vergrößerung der Vorlandbereiche im Projektgebiet als zentraler Baustein integriert worden. Mit 420 Hektar Größe ist diese Maßnahme die erste Deichrückverlegung dieser Größenordnung in Deutschland. Sie hat damit die Voraussetzungen für die Etablierung eines hydraulisch angeschlossenen und damit ökologisch funktionsfähigen Auwaldes geschaffen. Die Zielsetzung des Projektes geht über die Waldanteile hinaus und umfasst die Gesamtheit aller standörtlich typischen Lebensräume einer intakten Flusslandschaft. Ausgehend von einer landwirtschaftlich geprägten Grünlandkulisse hatte das Projekt damit einen weitgehenden Landschaftswandel – von der Agrarlandschaft zur Naturlandschaft – zum Ziel (Bild 3). Dabei war und ist der Prozessschutz wesentliche Strategie des Projektes: abgesehen von den Initialisierungspflanzungen sowie den erforderlichen Deichbauten und -umgestaltungen soll die Entwicklung der naturnahen Auenlandschaft den weitgehend ungesteuerten Wirkungen der Natur überlassen bleiben (Planland, 2005). Hierfür sind im Projektgebiet u. a. 160 Hektar Sukzessionsfläche über die Pflanzflächen hinaus vorhanden.

Ein weiteres Ziel des Naturschutzgroßprojektes liegt in der umfassenden Öffentlichkeitsarbeit. Der Projektträger Trägerverbund Burg Lenzen e. V. ist Betreiber des Umweltbildungszentrums Burg Lenzen sowie des darin angesiedelten Besucherzentrums des Biosphärenreservates Flusslandschaft Elbe-Brandenburg. In dieser Konstellation ist das Projekt die ideale Ergänzung als Vor-Ort-Beispiel für eine naturnahe Flussauenlandschaft, welche sich ausgehend von einer historischen Kulturlandschaft auf einem rasanten Entwicklungsweg befindet. Damit bietet sich die Möglichkeit, mitten in der wachsenden Tourismusregion Elbe Umweltbildungsinhalte mit dem direkten Naturerlebnis der Aue zu verknüpfen.

3 Umsetzung des Projektes *Project implementation*

Mit der Bewilligung des Naturschutzgroßprojektes „Lenzener Elbtalau“ im August 2002 durch das Bundesamt für Naturschutz war eine der größten Hürden für die Umsetzung der Deichrückverlegung genommen. Als glücklicher Umstand erwies sich, dass die laufende Sanierung der Deiche an der brandenburgischen Elbe auch für den betreffenden Deichabschnitt zwischen Wustrow und Lenzen anstand. Damit ergab sich die Möglichkeit, Ziele und einzusetzende Mittel des Hochwasserschutzes und des Naturschutzes in beispielhafter Weise zu kombinieren.

So wurde in der ersten Projektbewilligung die Finanzierung des neuen, rückverlegten Deiches etwa zur Hälfte durch die ohnehin einzusetzenden Mittel der erforderlichen Deichsanierung festgeschrieben. Die andere Hälfte sollte durch das zu 75 % bundesgeförderte Naturschutzgroßprojekt beigesteuert werden, womit eine konsensfähige Konstruktion für die Umsetzung des Projektes hergestellt war. Erst zu einem späteren Zeitpunkt wurde diese Finanzierungsaufteilung durch

Übernahme der gesamten Deichneubaukosten in Landesverantwortung geändert (s. u.).

Das Naturschutzgroßprojekt wurde als eines der ersten des BMU-Förderprogrammes als zweiphasiges Projekt bewilligt und begann zum 1. September 2002. Danach sollte in einer so genannten Orientierungsphase bis Ende 2004 zunächst die technische Deichbauplanung, die naturschutzfachliche Maßnahmenplanung (PEPL) sowie ein Moderationsverfahren in der Region durchgeführt werden. Letzteres hatte zum Ziel, die Akzeptanz für die Projektumsetzung in Bevölkerung, Behörden und anderen betroffenen Institutionen zu erhöhen und über Einbeziehung der Öffentlichkeit schon in den frühen Planungsprozess bestehende Skepsis abzubauen (Knierim, 2004). In enger Zusammenarbeit mit dem Moderationsverfahren wurden die naturschutzfachlichen Ziele des Projektes im PEPL definiert sowie Zustandsbeschreibungen und Maßnahmen erarbeitet. Für die Begleitung des Planfeststellungsverfahrens wurde das Moderationsverfahren ebenso wie die Bearbeitung des PEPL um ein Jahr verlängert, sodass letzterer noch um eine Detail- und Ausführungsplanung erweitert werden konnte.



Bild 3: Das Gebiet der Deichrückverlegung (2009) – das ehemalige Grünland lässt wieder eine Vielfalt von Auenstrukturen erkennen (Foto: K. Nabel)

Figure 3: The area of the dike relocation (2009) – former pasture land recovers its natural floodplain structures (photo: K. Nabel)

Ebenfalls Bestandteil der ersten Projektphase war die Erarbeitung der Genehmigungsplanung für die Deichbaumaßnahmen, welche das Landesumweltamt (heute: Landesamt für Umweltschutz, Verbraucherschutz und Gesundheit) im Werkvertrag für den Projektträger an das Ingenieurbüro PROWA-Eppler Wittenberge vergab. Damit konnte der Antrag auf Planfeststellung plangemäß Anfang 2004 gestellt werden und in einem sehr kurzen Verfahren von nur 13 Monaten Dauer wurde bis zum Februar 2005 der Planfeststellungsbeschluss erarbeitet.

Die Projektarbeit wurde mit der Eröffnung eines Projektbüros im November 2002, zunächst in der Biosphärenreservatsverwaltung in Rühstädt, wenige Monate später dann auf der Burg Lenzen, aufgenommen. Im Zentrum standen zunächst die Vergabe und Bearbeitung von Moderationsverfahren und Pflege- und Entwicklungsplan sowie die Betreuung der Projektbelange im laufenden Bodenordnungsverfahren, die Begleitung der technischen Deichplanung (in Verantwortung des Landesumweltamtes) und die Durchführung der Öffentlichkeitsarbeit. Eine Verlängerung der ursprünglich auf 15 Monate angelegten ersten Projektphase ergab sich durch die umfangreichen Abstimmungen.

4 Projektmaßnahmen

Project measures

Die zweite Phase des Projektes begann nach Vorliegen des Planfeststellungsbeschlusses, der Ausschreibung der Deichbauarbeiten und weiteren Abstimmungen im Oktober 2005 und endete erst nach mehreren Projektverlängerungen Ende September 2011. Zentrale und endlich sichtbare Maßnahme war der im September 2005 begonnene Bau des zurückverlegten Deiches (siehe Bild 4 und Ausführungen von R. Schmidt in diesem Heft). Der Deichbau als hoheitliche Aufgabe wurde in Verantwortung des Landesumweltamtes Brandenburg ausgeführt, wofür ein Vertragsverhältnis des Landes mit dem Projektträger und Empfänger der Naturschutzgroßprojektmittel, dem Trägerverbund Burg Lenzen e. V., erforderlich war.

Erst während der Projektlaufzeit wurde die Finanzierung der zwei Baulose des Neudeichbaus aus dem Naturschutzgroßprojekt herausgenommen und durch das Land Brandenburg aus Hochwasserschutzmitteln mit Bundesförderung (Förderung aus Gemeinschafts-

aufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ (GAK)) finanziert. Erst das dritte Baulos, die Öffnung des Altdeiches, wurde wieder aus dem Naturschutzgroßprojekt finanziert.

Alle weiteren Maßnahmen des Naturschutzgroßprojektes wurden durch den Projektträger und durch von diesem beauftragte Unternehmen ausgeführt. Zum Erreichen der Projektziele wurden verschiedenste Maßnahmen in den Bereichen Grunderwerb und Ausgleichszahlungen, Biotopeinrichtende Maßnahmen, Öffentlichkeitsarbeit und Projektevaluation durchgeführt.

Grunderwerb und Ausgleichszahlungen:

Wesentliche Voraussetzung für ein so flächenintensives Projekt war die Verfügbarkeit der Flächen zu Beginn der Umsetzungsphase. Dafür wurde seitens der Biosphärenreservatsverwaltung in Zusammenarbeit mit der Landwirtschaft ein vereinfachtes Flurneuordnungsverfahren initiiert, in dessen Verlauf die gesamte Rückdeichungsfläche inklusive der Deichflächen und eines landseitigen Streifens entlang des Neudeiches in Besitz des Landes bzw. zum kleinen Teil des Projektträgers kamen. Vorausgegangen war ein Flächenerwerb mit



Bild 4: Mit dem ersten Spatenstich am 12. September 2005 wurden die Bauarbeiten am neuen Deich offiziell begonnen (v. l. n. r.: Landrat Lange, Landesumweltminister Woidke, Ministerpräsident Platzeck, Bundesumweltminister Trittin, BfN-Präsident Vogtmann) (Quelle: Archiv Biosphärenreservat Flusslandschaft Elbe-Brandenburg)

Figure 4: *The official groundbreaking ceremony on September 12, 2005 marked the commencement of the construction works on the relocated dike (from left to right: Landrat Lange, State Environment Minister Woidke, Minister President Platzeck, Federal Environment Minister Trittin, and Prof. Vogtmann, Chairman of the Federal Agency for Nature Conservation (BfN)) (Source: Archive of the Biosphere Reserve Elbe River Landscape in Brandenburg)*

EU-Fördermitteln im vorhergehenden EU-LIFE-Projekt, welches zum Zweck der Deichrückverlegung 540 Hektar für das Land Brandenburg erworben hatte, die im oben beschriebenen Bodenordnungsverfahren in der Rücklegungsfläche arrondiert wurden. Ausgleichszahlungen wurden für die umfangreiche Flächenaufgabe durch den Landwirtschaftsbetrieb, dadurch bedingte betriebliche Anpassungen, die Ablösung laufender Pachtverhältnisse und Erschwernisse der Bewirtschaftung auf weiter genutzten Flächen gezahlt.

Auwaldinitialisierung:

Bereits in der ersten Phase des Projektes wurde 2004 mit ersten Auwaldpflanzungen im Projektgebiet begonnen, um für die jungen Pflanzungen noch möglichst lange in den Genuss des Deichschutzes zu kommen, der erst mit der Öffnung des alten Deiches im Jahr 2009 endete. Seit 2003 wurde in einem für Vorläuferprojekte eigens gegründeten Pflanzgarten autochthones Gehölzmaterial für die umfangreichen Pflanzungen

angezogen. Zwischen 2004 und 2008 wurden insgesamt knapp 77 Hektar Auwald auf Grünlandflächen gepflanzt (Bild 5). Den standörtlichen Gegebenheiten entsprechend wurden vor allem Hartholzauengehölze gepflanzt, aber auch Weiden und Schwarzpappeln kamen in niedrigeren Lagen zum Einsatz.

Die inzwischen abgeschlossene Erstevaluation kommt zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen. Vor allem in Abhängigkeit von den klimatischen Bedingungen, welche auf das jeweilige Pflanzjahr folgten, wurden gute oder auch schlechtere Anwuchserfolge erzielt. Andere Faktoren spielten nur eine untergeordnete Rolle (Purps, 2010). V.a. im Rahmen des vorher laufenden EU-LIFE-Projektes wurden im Projektgebiet bereits weitere 80 Hektar Auwald gepflanzt. Diese Pflanzungen ergänzen die Sukzessionsflächen gleicher Größenordnung und schaffen damit einen Auwaldbestand von weit über 300 Hektar. Sie dienen damit auch der Vernetzung der letzten regional vorhandenen Auwaldreste an der Elbe.

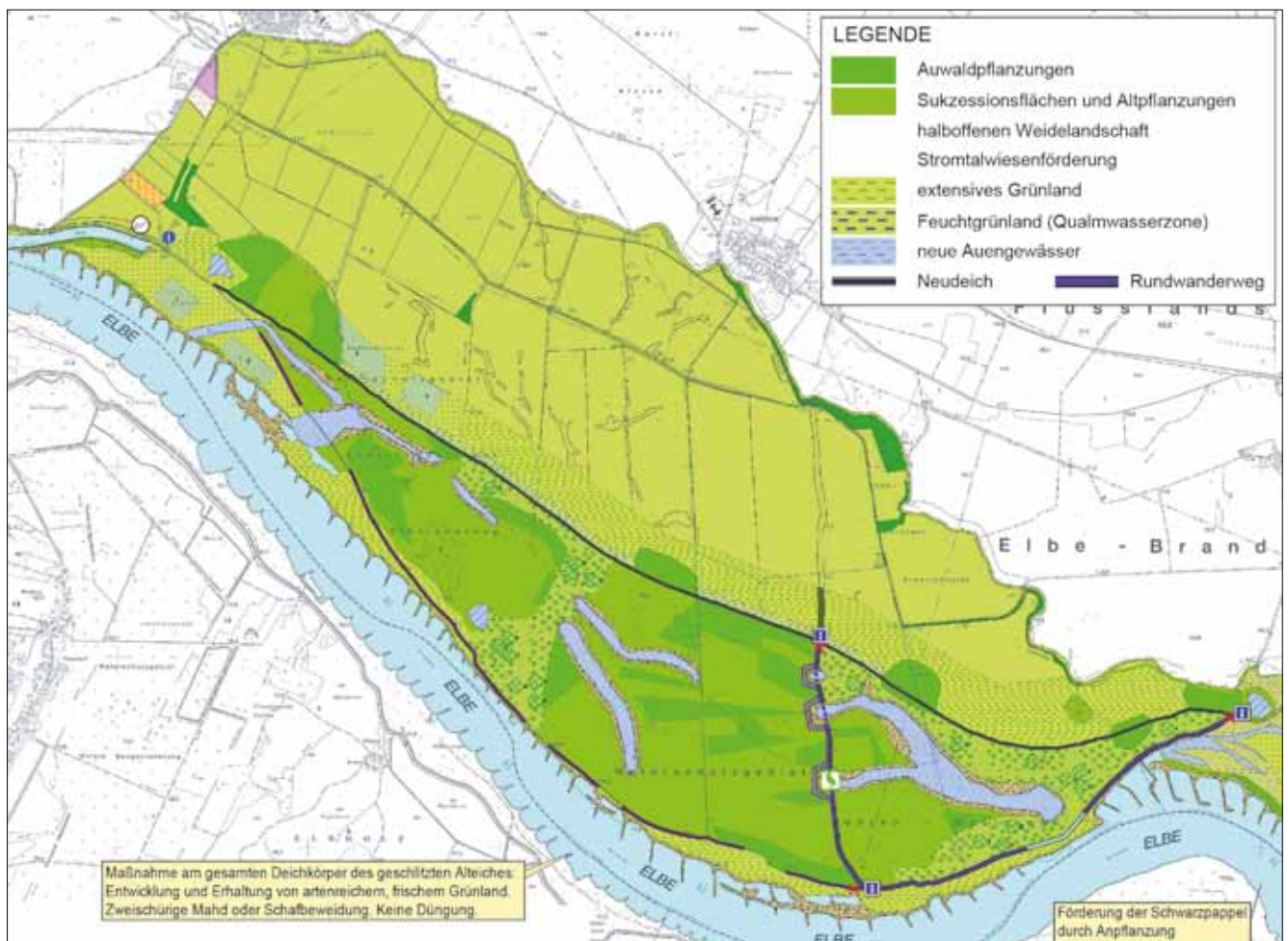


Bild 5: Maßnahmenkarte aus dem Pflege- und Entwicklungsplan (Ausschnitt, Legende vereinfacht)
 Figure 5: Map with project measures in the dike relocation area (map detail from project management plan, legend modified)

Einrichtung einer halboffenen Weidelandschaft:

Um die Vielfalt der entstehenden Auenlandschaft und der dort siedelnden Tiere und Pflanzen zu erweitern und einen Übergang von der benachbarten Kulturlandschaft in die neu entstehende Auenlandschaft zu gestalten, wurde auf einem Teil des Rückdeichungsgebietes eine sogenannte halboffene Weidelandschaft eingerichtet (Damm, 2009). Während der Auwald langfristig auf Pflanz- und Sukzessionsflächen des Gebietes den ursprünglichen Waldcharakter der Aue wieder herstellen wird, soll auf einem kleineren Teil der Flächen offenes Grünland durch extensive Beweidung erhalten werden. Viele Tier- und Pflanzenarten der Auen sind auf offene, unbewaldete Standorte angewiesen, die hier, zudem mit umfangreichen Übergangstrukturen zu Auengewässern und Feldgehölzen, langfristig entwickelt werden. Seit 1996 wird vom ansässigen Landwirtschaftsbetrieb eine Extensiv-Pferderasse, die rückgezüchteten Liebenthaler Wildlinge, erfolgreich in der Landschaftspflege eingesetzt. Diese gutmütigen und anspruchslosen, d.h. leicht zu haltenden Pferde haben sich in der Auenlandschaft sehr bewährt und sind zudem zu einer nicht zu unterschätzenden Bereicherung des Landschaftsbildes in der Region geworden (Bild 6).



Bild 6: Die extensive Beweidung der Offenlandschaft mit Liebenthaler Wildlingen sichert einen weiteren Baustein im Mosaik der Auenlebensräume

Figure 6: Extensive grazing of horses preserves open floodplain grasslands as another important habitat element in the river landscape

Förderung von Stromtalwiesen:

Artenreiche Grünlandbestände der wechselfeuchten, regelmäßig überschwemmten Auen waren ehemals an der Elbe weit verbreitet und sind heute selten geworden (Hölzel et al., 2006). Zur Förderung dieser so

genannten Stromtalwiesen, die Heimat vieler geschützter Gefäßpflanzen wie Brenndolde (*Cnidium dubium*), Blauweiderich (*Pseudolysimachion longifolium*) oder Gottesgnadenkraut (*Gratiola officinalis*) sind, wurde auf zwei Flächen eine Mahdgutübertragung durchgeführt. Dabei wurde frisch gemähtes Material von artenreichen Spenderflächen auf die verarmten Grünlandflächen aufgetragen, um den lokal verschwundenen Arten die Möglichkeit der Wiederansiedlung durch die Übertragung von Samen und Sprosstteilen zu geben.

Staubauwerke zur Qualmwasserregulierung:

Die landseits von Flussdeichen liegende Vernässungszone, in der bei Hochwasser unter Druck stehendes Grundwasser austritt und die deichgeschützten Flächen vernässt, ist ein seltener und ökologisch interessanter Lebensraum. In diesem Bereich extrem wechselhafter Umweltbedingungen leben in episodischen Gewässern an der Mittel- und Unterelbe viele geschützte Amphibien in überregional bedeutsamen Beständen. Hierzu gehören Arten wie der Moorfrosch (*Rana arvalis*) oder die Rotbauchunke (*Bombina orientalis*). Die hohen Abundanzen von Amphibien in diesem Bereich sind auch ein Grund für die noch vergleichsweise großen Weißstorchbestände an der Elbe. Auch die speziell angepassten, z.T. nur hier vorkommenden urzeitlichen Kiemenfußkrebse (*Branchiopoda*) sind auf diese Lebensräume angewiesen. Durch die Rückverlegung des Deiches wurden die ehemaligen Qualmwasserbereiche am Altdeich der Überflutung preisgegeben, wodurch erhebliche Lebensraumflächen stark verändert wurden.

Als Ersatz wurde landseits des neuen Deiches ein schmaler Bereich für die Entwicklung von wechsellässigen Grünland vorgesehen. Dieser 50 m breite Nassgrünlandstreifen wird durch einen deichparallelen „Qualmwasserentlastungsgraben“ vom weiter landseits gelegenen Wirtschaftsgrünland getrennt. Der Graben soll die oberflächliche Auenlehmdecke durchstoßen, damit den Grundwasserdruck entlasten und die weitere Vernässung der landseitigen Nutzflächen verhindern. Da im Rahmen der Deichbauplanung auf eine Regulierbarkeit dieses Grabens verzichtet wurde, wurde diese als naturschutzfachlich motivierte Maßnahme mit dem Bau von vier Staubauwerken (Jalousiestau) in das Naturschutzgroßprojekt aufgenommen. Diese werden in Abstimmung mit den Interessen der Landwirtschaft und des Hochwasserschutzes reguliert.

Besucherlenkung und Öffentlichkeitsarbeit:

Das Naturschutzgroßprojekt ist aufgrund seiner Pilotfunktion, des Umfangs insbesondere der Deichrückverlegungsmaßnahme, seiner Lage am zurzeit meistgenutzten deutschen Radfernweg (ADFC, 2011) und in unmittelbarer Nähe des Besucherzentrums und Auenökologischen Bildungszentrums der Burg Lenzen von großer Bedeutung für die regionale und überregionale Öffentlichkeit. Damit sind die Öffentlichkeitsarbeit und vor Ort die Besucherlenkung wichtige Projektbausteine. Die prognostizierte und inzwischen belegte Attraktivität für Besucher (Fachhochschule Eberswalde, 2010) macht zunehmend den Einsatz verschiedener Medien zur Besucherinformation und Besucherlenkung erforderlich. Zu diesem Zweck wurde im Projektgebiet ein System von Wegweisern sowie eine Vielzahl modern gestalteter Informationstafeln installiert, die dem Besucher den Inhalt des Naturschutzgroßprojektes unter besonderer Berücksichtigung des jeweiligen Standortes erläutern. Zudem wurde ein Rundwanderweg hergestellt, der den Besucher durch nahezu alle Lebensräume des Projektgebietes führt. Am berühmten „Bösen Ort“, der vor der Deichrückverlegung eine der am meisten gefährdeten Stellen der brandenburgischen Elbdeiche darstellte, wurde eine erhöhte Besucherinformationsplattform namens „Auenblick“ errichtet, die einen spektakulären Rundumblick über die Elbe, den Einlaufbereich des Rückdeichungsgebietes, die größte Flutmulde und die halboffene Weidelandschaft bietet (Bild 7).



Bild 7: Die Aussichtsplattform „Auenblick“ bietet einen spektakulären Rundumblick auf die Elbe, den Einstrombereich am „Bösen Ort“ und die Weidelandschaft im Rückdeichungsgebiet

Figure 7: An exposed observation deck offers a spectacular view of the Elbe River, the main inlet structure and the pastures in the dike relocation area

Die weitere Öffentlichkeitsarbeit hat das Projekt von Beginn an intensiv begleitet. In der ersten Phase war der regionale Planungsprozess mit dem Moderationsverfahren Schwerpunkt der Öffentlichkeitsarbeit. Mit der Umsetzung des Projekts rückte die Darstellung der Projektziele und -maßnahmen in den Mittelpunkt. Neben der direkten Präsentation durch viele Exkursionen mit verschiedensten Zielgruppen, Projektpräsentationen auf Workshops, Tagungen und Messen wurden Medien wie Flyer, Imagebroschüren, Projektfilme, Webseite und nicht zuletzt wissenschaftliche Publikationen erstellt (Damm, 2009; Purps et al., 2004; Purps et al., 2005).

5 Erfolgskontrollen

Project performance controls

Die Evaluation der durchgeführten Projektmaßnahmen ist ein fester Bestandteil im Förderprogramm der Naturschutzgroßprojekte. Dazu hat der Projektträger mit dem Fördermittelgeber des jeweiligen Bundeslandes und in Abstimmung mit dem Bundesamt für Naturschutz eine Evaluationskonzeption zu entwickeln, welche exemplarisch und repräsentativ die Wirksamkeit der durchgeführten Maßnahmen beurteilen soll. Die Untersuchungen sind bis zum Abschluss des Projektes durchzuführen und mit Folgeuntersuchungen über einen Berichtszeitraum zu komplettieren. Im vorliegenden Projekt wurden Evaluationsuntersuchungen zu den Bereichen Sozioökonomie (v. a. auf Grundlage von Befragungen), Auwaldpflanzungen, Monitoring der Avifauna, Bodenkunde, Erstbesiedlung der neuen AuenGewässer durch die Fischfauna, Hydraulik (Bau von vier Böschungspegeln) und Vegetationskunde (Entwicklung der Weide- und Stromtalwiesenflächen) durchgeführt. Weitere Untersuchungen werden auf den damit vorhandenen Daten aufbauen. Hierzu dienen neben der Fortführung der Evaluation durch den Projektträger und das Land auch die schon in der Projektlaufzeit begonnenen Einzelforschungsprojekte. Diese sollen in enger Zusammenarbeit zwischen dem Projektträger und dem Biosphärenreservat, der Bundesanstalt für Wasserbau, der Bundesanstalt für Gewässerkunde und anderen weitergeführt und ausgebaut werden. Nachdem ein dem vor dem Naturschutzgroßprojekt gelaufenen BMBF-Verbundforschungsvorhaben vergleichbares Gesamtforschungsprojekt leider bisher nicht initiiert werden konnte, kommt diesen Initiativen eine umso größere

re Bedeutung zu, um aus diesem einzigartigen „Labor in der Wirklichkeit“ den größtmöglichen Erkenntnisgewinn zu erzielen.

6 Danksagung *Acknowledgements*

Für viele wertvolle Hinweise und historische Informationen danke ich Herrn H. Möhring, Herrn G. Kalfak, Herrn R. Fritze, Frau U. Hastedt, Herrn D. Steyer sowie Herrn S. Lilje.

Für ihre Anmerkungen zum Manuskript danke ich Frau Prof. E. Schneider und Herrn J. Purps.

7 Literatur *References*

Arbeitsgruppe PEP-Elbtalaue (1996): Pflege und Entwicklungsplan für den Naturpark Brandenburgische Elbtalaue – Endbericht. Unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der Landesanstalt für Großschutzgebiete Eberswalde (LAGS).

ADFC (2011): ADFC-Radreiseanalyse 2011: 12. bundesweite Erhebung zum fahrradtouristischen Markt. Internationale Tourismus-Börse Berlin, <http://www.adfc.de/radreiseanalyse/ADFC-Radreiseanalyse-2011.pdf> (06.12.2011).

BMU (1993): Richtlinien zur Errichtung und Sicherung schutzwürdiger Teile von Natur und Landschaft mit gesamtstaatlich repräsentativer Bedeutung – einschließlich der Förderung von Gewässerrandstreifen (Förderrichtlinien für Naturschutzgroßprojekte). Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, URL: http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/frili_ngp.pdf (Zugriff 10.11.2011).

Damm, C. (2009): Flussdynamik und natürliche Beweidung in der Lenzener Elbtalaue. In: Offenlandmanagement außerhalb landwirtschaftlicher Nutzflächen: Referate und Ergebnisse der gleichnamigen Fachtagung an der Internationalen Naturschutzakademie Insel Vilm vom 23. bis 26. Juni 2008 / Peter Finck [Bearb.]; Uwe Riecken [Bearb.]; Eckhard Schröder [Bearb.], Münster, S. 67 – 74.

Elbstromwerk (1898): Der Elbstrom. Band III, 1. Abteilung, Königliche Elbstromverwaltung, Dietrich Reimer Verlag, Magdeburg.

EU FFH-Richtlinie (1992): Richtlinie 92/43/EWG vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen.

Fachhochschule Eberswalde (2010): Landwirtschaftliche und touristische Nutzungsänderungen im Naturschutzgroßprojekt „Lenzener Elbtalaue“ (2005-2009). Unveröffentlichter Evaluationsbericht.

Hölzel, N., Bissels, S., Donath, T., Handke, K., Harnisch, M., Otte, A. (2006): Renaturierung von Stromtalwiesen am hessischen Oberrhein. Naturschutz und Biologische Vielfalt 31, 263 S. + CD-ROM.

IBS (1995): Umweltverträglichkeitsstudie Rekonstruktion rechter Elbedeich Fährstraße Wootz – Hafen Wittenberge. Gutachten des Ingenieurbüros Schwerin für Landeskultur, Umweltschutz und Wasserwirtschaft im Auftrag des Landesumweltamtes Brandenburg Referat W 6.

Knierim (2004): Bericht zum Moderationsverfahren im Naturschutzgroßprojekt „Lenzener Elbtalaue“ über den Zeitraum Februar bis Dezember 2003. Unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag des Projektträgers.

Lilje, S., Neuschulz, F. (1996): EU-LIFE-Projekt zur Auenrenaturierung an der Unteren Mittelbe (Brandenburg). Tagungsband Ökosystem Elbe – Zustand, Entwicklung und Nutzung. 7. Magdeburger Gewässerschutzseminar, Int. Fachtagung in Budweis, S. 454 – 455.

Lilje, S., Neuschulz, F. (1998): EU-LIFE-Projekt „Renaturierung der Brandenburgischen Elbtalaue – eine Bilanz“. Auenreport 4/4, S. 39 – 47.

Luley, H., Peters, J. (2010): Bericht zu Evaluation der sozio-ökonomischen Auswirkungen des Naturschutzgroßprojekts „Lenzener Elbtalaue“ auf die Bereiche Landnutzung, Tourismus, Naherholung, Freizeit, sowie Kommunen und Organisationen. Fachhochschule Eberswalde, Fachbereich Landschaftsnutzung und Naturschutz.

Neuschulz, F., Purps, J., Hape, M. (1997): Möglichkeiten und Grenzen der Auenregeneration und Auenwaldentwicklung am Beispiel von Naturschutzprojekten an der

Unteren Mittelelbe (Brandenburg) – ein Forschungsprojekt des Bundesministeriums für Bildung, Forschung, Wissenschaft und Technologie (BMBF) im brandenburgischen Naturpark Elbtalaue. Auenreport / Beiträge aus dem Naturpark Brandenburgische Elbtalaue” 3, S. 52 – 57, Rühstädt.

Neuschulz, F., Lilje, S. (1997): Auenschutz und Rückentwicklung von Auwald in der brandenburgischen Elbtalaue. Laufener Seminarbeitr. 1/97, S. 125 – 136, Laufen/Salzach.

Planland (2005): Pflege und Entwicklungsplan für das Naturschutzgroßprojekt Lenzener Elbtalaue. Bietergemeinschaft Planland – Luftbild Brandenburg, Berlin – Königs Wusterhausen.

Purps, J. (2010): Evaluation der Auwaldinitialisierungen im Deichrückverlegungsgebiet Lenzen im Rahmen des Naturschutzgroßprojektes Lenzener Elbtalaue. Unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag des Trägerverbundes Burg Lenzen e. V.

Purps, J., Damm, C., Neuschulz, F. (2004): Naturschutzgroßprojekt Lenzener Elbtalaue, Brandenburg – Auenregeneration durch Deichrückverlegung an der Elbe. Natur und Landschaft 79 (9/10), S. 408 – 415.

Purps, J., Damm, C., Neuschulz, F. (2005): Re-establishing floodplain forests and dike relocation: a model project carried out at the Elbe River, Germany. Archiv für Hydrobiologie, Supplement, Large Rivers 155, S. 561 – 568.

Simon, M. (1994): Hochwasserschutz im Einzugsgebiet der Elbe. Wasserwirtschaft Wassertechnik 7, S. 25 – 31.

Stelzig, I. (1999): Befragung der Bevölkerung der Dörfer Gandow und Wustrow im Naturpark Elbtalaue / Brandenburg zur Auenwaldanpflanzung und Deichrückverlegung. Auenreport Sonderband 1, 5. Jahrg., S. 115 – 118, Rühstädt.

UTAG (1993). Deichtrassenstudie zur Deichrückverlegung zwischen Lenzen und Wustrow. 4. Ausführung 19.11.93. UTAG Consulting GmbH, Ingenieurbüro Wasser und Umwelt, unveröffentlicht.

Die Deichrückverlegung Wustrow-Lenzen – Planung und Umsetzung aus Sicht des Bauherrn

The Wustrow-Lenzen Dike Relocation – Project Planning and Implementation from the Perspective of the Awarding Authority

Dipl.-Ing. Robert Schmidt, Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg

Die Notwendigkeit zur Entschärfung der hydraulischen Gefahrenstelle am „Bösen Ort“ gepaart mit der dort ohnehin anstehenden Deichsanierung und dem Willen zur Entwicklung einer naturnahen Flussaue mündete in ein Kooperationsprojekt zwischen Hochwasser- und Naturschutz, in dem die Wünsche, Anforderungen und Belange beider Interessengruppen miteinander verknüpft werden konnten. Im Ergebnis von Variantenprüfungen wurde der vorhandene Deich nicht in der Alttrasse erhöht und verstärkt, sondern durch die Rückverlegung des Deiches eine neue Überschwemmungsfläche geschaffen. Zusätzlich zur lokalen Wasserspiegelabsenkung bei Hochwasser – als Folge der großräumigen Aufweitung des Fließquerschnittes – konnte im Rahmen des Naturschutzgroßprojektes ebenso die Entwicklung einer naturnahen dynamischen Auenlandschaft in der neu gewonnenen Vorlandfläche initiiert werden.

Nach gut einjähriger Laufzeit des Planfeststellungsverfahrens wurde die praktische Umsetzung der Deichrückverlegung im Jahr 2005 in Angriff genommen. Der 6,1 km lange Neudeich konnte nach drei Jahren Bauzeit eingeweiht werden. Den Abschluss fand das Projekt schließlich im August 2011 mit der Beendigung der Arbeiten zur Schlitzung (Öffnung) des Altdeiches.

Bauherr für die hier vorgestellte Deichrückverlegung Wustrow-Lenzen war das Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg (LUGV). Als Wasserwirtschaftsamt obliegt der Behörde die Verantwortung für den Hochwasserschutz im gesamten Bundesland. Der Autor dieses Artikels ist Projektleiter im Referat Hochwasserschutz, Wasserbau, Baudienststelle und in dieser Funktion für die bauliche Umsetzung des Vorhabens verantwortlich.

The dike relocation project involved several issues, e.g. solving the hydraulic problems in the hazard area at “Böser Ort” in combination with the projected dike rehabilitation, and the intention to develop a nature-like floodplain. To cater for the needs and interests of both stakeholder groups a flood protection and nature conservation cooperation project was set up. From the assessment of alternatives followed that the height of the dike was not to be increased and the dike not to be reinforced in the existing location; instead it was to be relocated to create a larger flood area. The large-scale enlargement of the flow cross-section leads to a local lowering of the water level during floods. In addition, the large-scale nature conservation project initiated the development of a nature-like floodplain landscape in the newly created overbank area.

After almost twelve months needed for the planning procedure to be completed the dike relocation works commenced in 2005. After three years of construction work the 6.1 km long new dike was officially opened. The project finally ended in August 2011 when the works on the slots for opening the old dike were completed.

The Wustrow-Lenzen dike relocation project was under the responsibility of the State Office for Environment, Health and Consumer Protection of the Federal State of Brandenburg which was the awarding authority for the project and, in its capacity as water management office, is responsible for flood protection in the entire federal state. The author of this contribution is project manager in the departmental section “Flood protection, hydraulic engineering, construction office” and is in charge of the implementation of this construction project.

1 Einleitung *Introduction*

Durch umfangreiche Strombauarbeiten, Eindeichungen sowie die Ausweitung landwirtschaftlicher Nutzflächen in den letzten Jahrhunderten sind an der Mittleren Elbe nördlich der Havelmündung nahezu 80 % bis 90 % der ehemals ausgedehnten Flussauen verloren gegangen (IKSE, 2005). Durch diese Maßnahmen wurden die Auen vom Fluss abgetrennt und für die Landwirtschaft, den Siedlungsbau und neue Verkehrswege nutzbar gemacht. Auch an der unteren Mittel-Elbe bei Lenzen sind nur noch Reste der ehemals ausgedehnten Überschwemmungsflächen vorhanden. Diese Böden unterliegen aufgrund ihrer Fruchtbarkeit einer starken landwirtschaftlichen Nutzung.

Die Bedeutung und Brisanz des vorbeugenden Hochwasserschutzes an der Elbe erlebte nach der Jahrhundertflut im Sommer 2002 eine neue Aktualität. Es verfestigte sich der politische Wille, den Flüssen wieder mehr Raum zu geben. Deutschlandweit war zu diesem Zeitpunkt aber allein die Deichrückverlegung Wustrow-Lenzen längst mehr als nur eine Idee. Diverse Studien und Vorplanungen hatten bereits zuvor gezeigt, dass die Entwicklung einer naturnahen Flussaue im Rahmen einer Deichrückverlegung einen positiven Effekt auf die Absenkung von Hochwasserscheiteln im unmittelbaren Projektgebiet hat.

Als zentrales Projektziel seitens des Naturschutzes steht die Wiederherstellung einer von Überflutungsdynamik geprägten naturnahen Auenlandschaft, wie sie für diesen Bereich der Elbtalau historisch belegt ist (Bundesumweltministerium, 2009). Durch den Bau eines rückverlegten neuen Deiches und die Öffnung des Altdeiches wurden 420 ha Überschwemmungsfläche für die Elbe zurückgewonnen. Auf diesem Areal entsteht im Ergebnis der Naturraumentwicklung ein Mosaik aus neugeschaffenen Flutmulden, halboffener Weideland-schaft und Auwald, dessen Ausdehnung durch Sukzession künftig auf ca. 300 ha anwachsen soll.

Aus der Sicht des Bauherrn (LUGV Brandenburg), der gleichzeitig als zuständiges Wasserwirtschaftsamt des Landes Brandenburg fungiert, ist die zentrale Maßnahme dieses Großprojektes die Rückverlegung des flussnahen Deiches um bis zu 1,3 km und die anschließende Öffnung des Altdeiches in sechs Abschnitten. Durch die

Schaffung des zusätzlichen neuen Überflutungsraums kann eine wesentliche Absenkung (Stauchung) der Scheitelwasserstände im Projektgebiet erreicht werden. Dieser positive Effekt setzt sich nach oberstrom mit zunehmender Entfernung vermindert fort.

Der Leitgedanke für dieses beispielhafte Partnerprojekt zwischen Hochwasser- und Naturschutz lässt sich daher wie folgt zusammenfassen:

Hochwasserschutz durch Auenreaktivierung

Die einzelnen Teilvorhaben im Naturschutzgroßprojekt und die jeweils Verantwortlichen sind in Bild 1 dargestellt. Die in diesem Artikel vorgestellte Umsetzung der Deichrückverlegung/Bau des Neudeiches wurde ausschließlich aus Hochwasserschutzmitteln der EU, des Bundes und des Landes Brandenburg finanziert. Die Schlitzung des Altdeiches und die Maßnahmen zur Flussaunenentwicklung dagegen wurden aus Mitteln des Naturschutzgroßprojektes finanziert. Die Förderung des Naturschutzgroßprojektes setzt sich aus 75 % Bundesmitteln, 18 % Mitteln des Landes Brandenburg und 7 % Eigenanteil des Trägerverbundes (TV) Burg Lenzen e. V. zusammen.

2 Projektgeschichte *Project history*

2.1 Das Problem – historischer Abriss/ Chronologie der Projektidee

The issue - project history in outline/ chronological development of the project idea

Der sog. „Böse Ort“ bei Lenzen (Brandenburg, Bild 2) hat als neuralgische Schwachstelle während des Elbehochwassers im Sommer 2002 besonderes mediales Interesse erfahren. Die Notsicherung des Deiches erfolgte durch den Aufbau massiver Sandsackstützpfiler (Bild 3), die zur Verstärkung am landseitigen Deichfuß angeordnet wurden. Der Deich konnte nur durch den beispiellosen Einsatz der Bundeswehr, der Feuerwehr, des Technischen Hilfswerks und unzähliger freiwilliger Helfer gehalten werden.

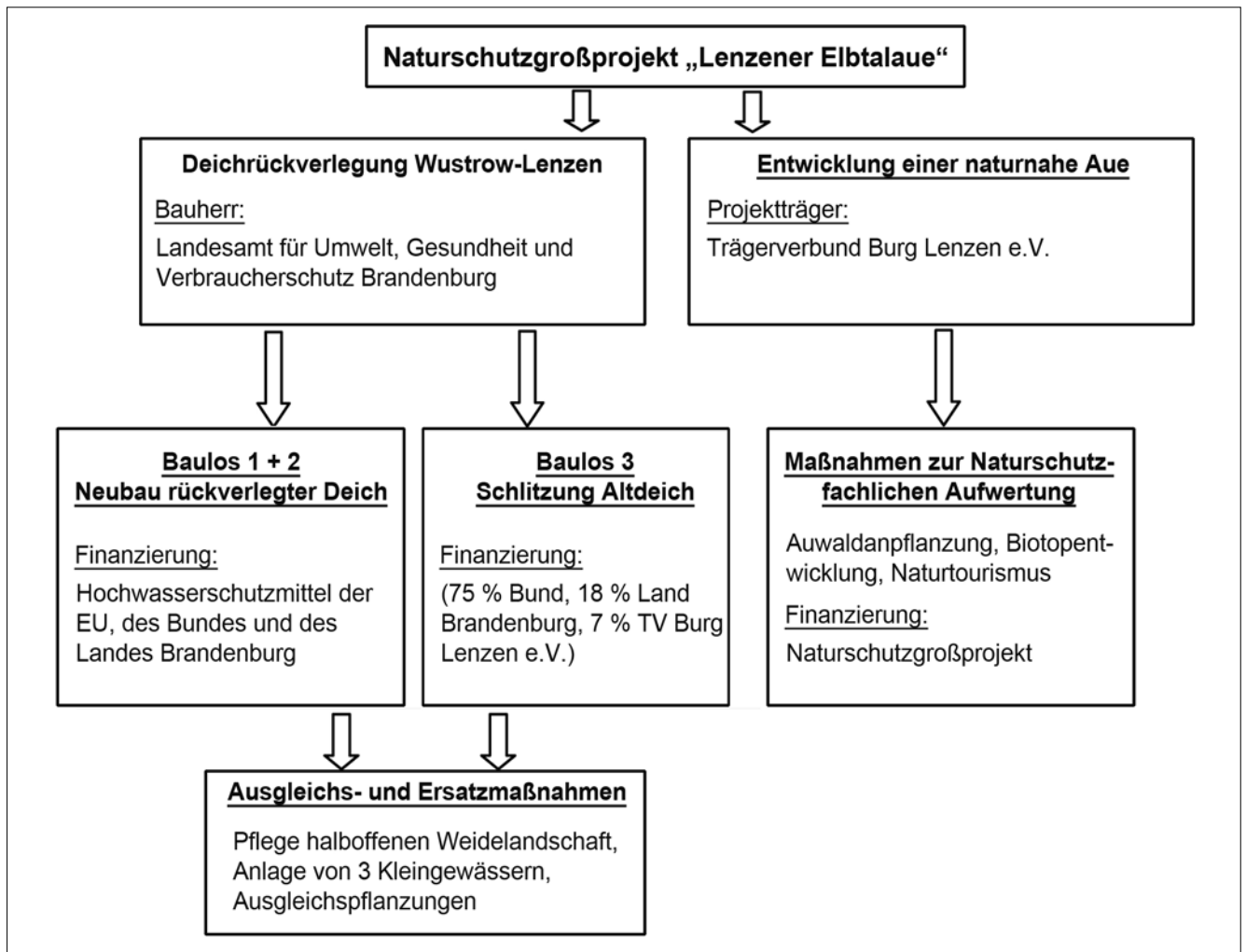


Bild 1: Teilprojekte des Naturschutzgroßprojektes

Figure 1: The large-scale nature conservation project and its sub-projects



Bild 2: „Böser Ort“ 2002 – Luftbild

Figure 2: “Böser Ort” 2002 – aerial photograph



Bild 3: „Böser Ort“ im Jahrhunderthochwasser 2002 –

landseitiger Sandsackverbau

Figure 3: “Böser Ort” during the record flood of 2002 –
landside sandbagging

Die Bezeichnung „Böser Ort“ hat allerdings andere Ursprünge. Sie stammt aus den Zeiten der Schleppzug-Schifffahrt vor 1900. In der starken Krümmung des Elbeverlaufes mussten bei jeder Fahrt in Richtung flussauf die Schleppzüge aufwändig geteilt und nach Passage der Kurve wieder zusammengesetzt werden. Diese Rangierarbeiten kosteten viel Zeit und Geld. Bei Niedrigwasser bestand zusätzlich die Gefahr, dass die Schiffe am flachen Gleitufer auf Grund liefen. Dadurch entstand bei den Schiffern die Bezeichnung „Böser Ort“.

Doch auch für den Deich selbst bestanden an dieser Stelle zwei beträchtliche Gefahren. Der Flusslauf macht hier eine 90°-Biegung, sodass das Hochwasser frontal auf den Deich prallt. Ein Umstand, der gerade in harten Wintern immer wieder zu schweren Eisversetzungen geführt hat. Zusätzlich verengt sich der Abflussquerschnitt zwischen den Deichen von ca. 1.200 m auf nur noch knapp 500 m. Dieser „Flaschenhalseffekt“ führt zu einer Erhöhung der Fließgeschwindigkeiten bei Hochwasser und einem lokal begrenzten Pegelanstieg infolge von Aufstau, wodurch die Deiche in diesem Abschnitt besonders stark belastet wurden.

Aus diesen Gründen wies die Königliche Elbstromverwaltung bereits im Elbstromwerk (1898) auf die dortige hydraulische Gefahrenstelle hin und empfahl deren wasserbauliche Entschärfung. 1963 führten Modelluntersuchungen erneut zu der Empfehlung, den Deich auf rund 4 km um ca. 200 m (80 ha) zurückzulegen. Diese Überlegungen konnten jedoch bis zur politischen Wende 1990 nicht umgesetzt werden. Das lag einerseits am Status als innerdeutsches Grenzgebiet und andererseits an mangelnden Baukapazitäten.

Anfang der 1990er Jahre wurde die Rückverlegungs-idee von der damaligen Naturparkverwaltung Elbtalau wieder aufgegriffen und um ökologische Aspekte aufgewertet und erweitert. Mit der Rückverlegung des Elbedeiches zwischen „Bösen Ort“ und Sportboothafen Lenzen sollte einerseits die hydraulische Engstelle beseitigt werden und andererseits eine möglichst große Retentionsfläche sowie ein aus landschaftsökologischer Sicht wertvoller Auenüberflutungsraum entstehen.

Zur Realisierung dieses ehrgeizigen Zieles wurde das Naturschutzgroßprojekt (NGP) „Lenzener Elbtalau“ ins Leben gerufen. Mit der Koordinierung wurde der eigens dafür gegründete Trägerverbund Burg Lenzen e. V. be-

traut. Dieser setzt sich aus Vertretern des Bundes für Umwelt und Naturschutz e. V. (BUND), der Stadt Lenzen (Elbe), dem Amt Lenzen-Elbtalau und der Gesellschaft für Wirtschaftsförderung Lenzen zusammen.

Die entscheidende Aufmerksamkeit und Beschleunigung erfuhr das Projekt dann schließlich nur eine Woche nach dem Scheiteldurchgang des Jahrhunderthochwassers der Elbe 2002. Unter dem Eindruck der Flutereignisse übergab der damalige Bundesumweltminister Jürgen Trittin den Fördermittelbescheid für das Naturschutzgroßprojekt am 28. August. Der Startschuss für das bis dahin beispiellose Projekt war gefallen.

3 Projektplanung *Project planning*

3.1 Das Projektgebiet *The project area*

Das Projektgebiet der Deichrückverlegung Wustrow-Lenzen (Bild 4) liegt im nordwestlichsten Teil Brandenburgs, im Landkreis Prignitz, eingebettet in das Biosphärenreservat Flusslandschaft Elbe-Brandenburg. In diesem „Vierländereck“ grenzen Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern an der rechten Elbeseite und Sachsen-Anhalt und Niedersachsen am linken Elbeufer aneinander.

Es ist geprägt durch eine weitläufige Ebene mit leichten Senken sowie fluvialen Reststrukturen. Das Gelände fällt generell von der Elbe in Richtung Löcknitz sowie

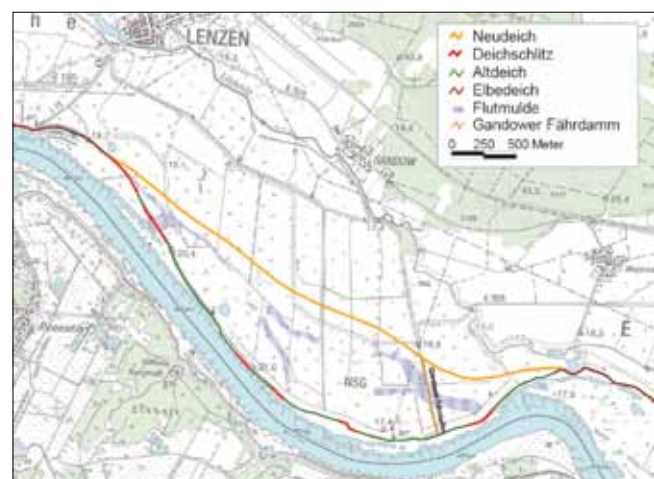


Bild 4: Übersichtskarte Projektgebiet
Figure 4: Overview map of the project area

von Ost nach West mit dem Elbstrom ab. Die Geländehöhen im Trassenbereich des Neudeiches liegen zwischen 15,8 m und 16,4 m ü. NN.

Der vom Umbau betroffene Altdeichabschnitt erstreckt sich auf rund 7,2 km zwischen dem Rodderangbrack bei Wustrow bis zum Sportboothafen Lenzen in nordwestlicher Richtung parallel zum Elbelauf. Nördlich der Deichrückverlegung verläuft die Löcknitz nahezu parallel der Elbe. Diese bildet den zentralen Vorfluter, über den die anliegenden Grünlandflächen be- bzw. entwässert werden.

3.2 Die Vorbereitung – Studien, Vorarbeiten, Konzept der Deichrückverlegung *Preparations – studies, pre-studies, dike relocation concept*

Der konkreten planerischen Umsetzung gingen eine Fülle von Gesprächen, Diskussionen, Vor- und Variantenuntersuchungen sowie Informationsveranstaltungen voraus.

So wurden mit dem EU-Life-Projekt „Renaturierung der Brandenburgischen Elbtalaue“ (1994-1998) vorbereitende Arbeiten zur Deichrückverlegung und zum Auenenschutz gefördert. Durch die damalige Naturparkverwaltung konnten erste Flächenankäufe (ca. 550 ha) getätigt und Auwaldinitialpflanzungen im Projektgebiet vorgenommen werden.

Im 1995 fertig gestellten Generalplan „Hochwasserschutz Elbe im Landkreis Prignitz“ des Landesumweltamtes Brandenburg (heute LUGV) wurden für den Abschnitt zwischen Wustrow und Lenzen zwei Varianten für eine Deichrückverlegungen aufgezeigt. Das war zum einen die „kleine“ Variante aus dem Jahr 1963 (ca. 80 ha) und als zweite Variante die von Dr. Neuschulz (Naturparkverwaltung) vorgeschlagene „große“ Rückverlegung von 670 ha, die von einer Umweltverträglichkeitsstudie des Landesumweltamtes gestützt wurde.

Seit 1995 wurden ebenfalls eine Reihe von Modelluntersuchungen durch die Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe unter Beteiligung der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung durchgeführt (siehe Beitrag von Faulhaber, Bleyel und Alexy in diesem Heft). Das waren u. a.:

- Bundesanstalt für Wasserbau (1997): Rückdeichung Lenzen, Gutachten über Hydraulische Untersuchungen der Rückdeichung Lenzen. Berlin (unveröffentlicht).
- Bundesanstalt für Wasserbau (2002): Gutachten über die Untersuchung der Rückdeichung bei Lenzen mit einem zweidimensional-hydrodynamisch numerischen Modell. Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe (unveröffentlicht).
- Bundesanstalt für Wasserbau: Deichrückverlegung bei Lenzen (2004): Hydraulische Bemessung von Durchstichen im Gandower Fährdamm. Im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz, Karlsruhe (3.02.10093.00, unveröffentlicht).
- Bundesanstalt für Wasserbau: Deichrückverlegung an der Elbe bei Lenzen (2009): Auswirkung der Querschnittsaufweitung sowie geplanter Vorlandanpflanzungen auf die Hochwasserlagen. Im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz, Karlsruhe (unveröffentlicht).

Fragestellungen zum Grundwasser wurden im Rahmen der Elbeökologie-Forschung untersucht (siehe Beitrag von Montenegro in diesem Heft):

- Auenregeneration durch Deichrückverlegung – Endbericht – Teilprojekt 1: Grundwasser, Untersuchung der Auswirkungen wasserbaulicher Eingriffe auf die Grundwasserdynamik in Flussauen: TU Darmstadt, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft (2000).

Zur konkreten baulichen Umsetzung der Deichrückverlegung und der Altdeichschlitzung wurden folgende Untersuchungen und Erkundungen durchgeführt:

- Geophysikalische Vorerkundungen mit anschließenden Baugrundaufschlüssen zur Feststellung der Eignung des in den späteren Flutmulden anstehenden Aushubbodens für den Neudeich.
- Qualmwassermodellierung: TU Darmstadt.
- Machbarkeitsstudie zur besten technischen Lösung für die Umgestaltung des Altdeiches (Variantenabwägung zwischen der Umwandlung in eine Uferrehne oder Deichschlitzung): BAW.

Zur Sicherung der Flächen wurde im Jahr 2000 ein vereinfachtes Flurbereinigungsverfahren gemäß § 86 Flurbereinigungsgesetz i. V. m. § 56 Landwirtschaftsanpassungsgesetz mit dem Ziel initiiert, die von der

Deichrückverlegung beanspruchten Flächen einheitlich in Landeseigentum zu überführen. Es erfolgte die Aufteilung des Vorhabensgebietes in Aue-, Deich- und Qualmwasserbereiche. Diese landseitig des rückverlegten Deichs liegenden qualmwasserbeeinflussten Flächen wurden dem Land Brandenburg zugeordnet, um Nachteile in der Bewirtschaftung zu minimieren.

Einen wichtigen Platz nahm die Öffentlichkeitsarbeit zur Akzeptanzsteigerung für das Naturschutzgroßprojekt bei der Bevölkerung ein. Die Veranstaltungen dazu wurden vorrangig durch den Trägerverbund Burg Lenzen e. V. abgehalten.

In der Auswertung der zahlreichen Vorarbeiten und der Abwägung aller Interessen wurde das Projekt hinsichtlich der zu schaffenden Auenfläche von 670 ha („große“ Variante) auf 420 ha reduziert. Dabei spielten zum Beispiel die verhaltene Verkaufsbereitschaft der Flächeneigentümer für die „große“ Variante und die befürchtete Veränderung der Grundwasserdynamik (als Folge von Drängewasser) in der „Stadtnähe“ von Lenzen eine wesentliche Rolle.

3.3 Die Planung *The planning process*

Nachdem fest stand, dass die Deichrückverlegung Wustrow-Lenzen machbar ist, einen absenkenden Effekt auf die Hochwasserscheitel in der Region hat und die Trasse des Neudeichs von allen Entscheidungsträgern Bestätigung fand, begann die eigentliche technische Planung zur Umsetzung des Vorhabens. Die Deichrückverlegung auf 6,1 km Länge bot dabei erstmalig die Gelegenheit, ein Neubauprofil in diesem Ausmaß zu realisieren.

Als Eckpunkte für die Planung wurden folgende Parameter formuliert:

- Errichtung eines neuen DIN-gerechten Deiches im Hinterland inklusive Baugrunderkundung der Neubaustrasse.
- Planung der Lage und der Ausdehnung von vier Flutmulden im Überschwemmungsgebiet zur Lenkung der Strömung einerseits und zur Materialgewinnung für das Neudeichprofil andererseits.
- Komplettrückbau des Altdeiches ist nach Untersuchungen der BAW Karlsruhe nicht sinnvoll, daher Umgestaltung des Altdeiches so, dass einerseits das Ein- und Ausströmen des Hochwassers in die Fläche schadlos erfolgt und andererseits die Wirkung als Leitdeich erhalten bleibt.
- Füllung der Fläche der Deichrückverlegung durch rückwärtigen Einstau von Unterstrom vor dem Beginn des Einströmens von Hochwasser von Oberstrom.
- Das Abschlagen von Wasser aus dem Hauptstrom in die Rückverlegungsfläche unterhalb des Mittelwasserstandes der Elbe ist zu verhindern (Gewährleistung der Schiffbarkeit).

Im Rahmen der technischen Planung wurde das folgende Konzept erarbeitet und seitens des Bauherrn zur Ausführung freigegeben.

Der **Neudeich** wird entlang der abgestimmten Trasse als 3-Zonen-Deich errichtet. Der Deichquerschnitt wird dabei entsprechend des bewährten Doppeltrapezprofils gestaltet (siehe Bild 5). Die Deichkrone mit ihrer Breite von 3,0 m nimmt den Internationalen Elberadweg auf, der auf einer Spurweite von 1,60 m asphaltiert wird. Landseitig, 2,0 m unterhalb der Krone, wurde eine

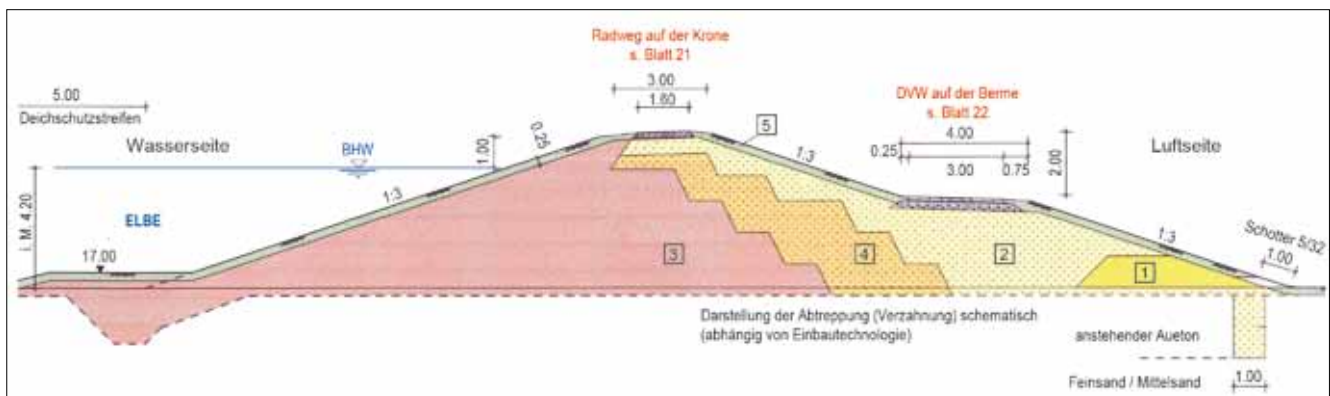


Bild 5: Querprofil des Neudeiches
Figure 5: Cross-profile of the new dike

4,0 m breite Berme angeordnet. Auf dieser befindet sich der 3,0 m breite Deichverteidigungsweg (DVW), dessen Aufbau nach den „Richtlinien für den landwirtschaftlichen Wegebau“ für schwere Belastung bemessen wurde. Aufgrund der Lage des Bauabschnitts im Naturschutzgroßprojekt kam es zu der Übereinkunft, nur einen Asphaltweg auf dem Deich anzuordnen. Daher wurde der DVW in Betonsteinpflaster befestigt, wobei die mittlere Spur als Rasenkammerstein zur Minimierung der Versiegelung ausgeführt wurde.

Die wasser- wie auch die beiden landseitigen Böschungen wurden gemäß DIN 19712 mit einer Neigung von 1 : 3 projektiert, was neben einer Erhöhung der Standicherheit auch die spätere Deichunterhaltung erleichtert.

Ein Hauptziel des Naturschutzgroßprojektes war neben der Wiederherstellung einer autotypischen Vegetation die Anlage von 45 ha Auengewässern (Flutrinnen und -mulden). Neben der strömunglenkenden Funktion der Flutrinnen konnte durch deren Aushub ein entscheidender Synergieeffekt erzielt werden. Die Abgrabetiefen in den Flutmulden wurden so gewählt, dass Auelehm und Mischboden in ausreichender Menge in nur geringer Entfernung zum Neubauprofil anfallen. 65% der benötigten Erdbaustoffe konnten so vor Ort gewonnen werden. Der Auelehm macht dabei etwa 50% des Deichprofils aus. Er wurde als Dichtung auf der Wasserseite des zukünftigen Deiches eingebaut. Der Mischboden war zum Einbau in den Deichkern vorgesehen. Die Anfuhr der restlichen 35% Erdbaustoffe beschränkte sich auf Stützkörper- und Filtermaterial aus offiziellen Kiestagebauten der näheren Umgebung. Damit konnte die Belastung durch Schwerlastverkehr für die an den Transportstrecken liegenden Gemeinden erheblich minimiert werden.

Durch den Neudeich wurden sieben landwirtschaftliche Vorfluter, die sowohl zur Be- als auch zur Entwässerung des ehemaligen Grünlandes dienten, unterbrochen. Zur Aufrechterhaltung ihrer Funktion für die im Hinterland verbliebenen landwirtschaftlichen Flächen wurde im Abstand von 50 m, parallel zum landseitigen Deichfuß ein Verbindungsgraben auf 3,4 km Länge geschaffen. Neben der Funktion als landwirtschaftlicher Vorfluter dient der Graben außerdem zur Begrenzung der Qualmwasserzone bei Hochwasser. Das anfallende Drängewasser wird zur Löcknitz abgeleitet. Die-

se Begrenzung des durch Qualmwasser beeinflussten Bereiches entstammt einer Forderung der Landwirtschaft. Da diese große Teile ihrer Flächen bereits für die Deichrückverlegung zur Verfügung stellte, waren die Bewirtschafter nicht bereit, auch noch auf den Flächen hinter dem Neudeich weitere Benachteiligungen und Einschränkungen hinzunehmen.

Der **Fährdamm** als ehemaliger Weg zu einer historischen Elbefähre durchzieht die Maßnahmenfläche wie ein Querriegel. Um das neu gewonnene Vorland dennoch vollständig und effektiv fluten zu können, musste dieser (vgl. Bild 4) an drei Stellen durchbrochen werden. Bis dato existierte nur ein maroder Kastendurchlass. Ohne diese Durchstiche wäre das Überschwemmungsgebiet in zwei hydraulisch getrennte Flächen geteilt worden, das gleichmäßige Durchströmen des Gebietes wäre stark behindert gewesen.

Nachdem der rückverlegte neue Deich im Schutz des Altdeichs fertig gestellt war, sah die Planung vor, den Altdeich an sechs Stellen zu öffnen (schlitzen). Dieser erstreckt sich vom Rodderangbrack bei Wustrow bis zum Sportboothafen Lenzen und hat eine Länge von 7.189 m. Durch die Rückverlegung verkürzt sich die Hochwasserverteidigungslinie um gut einen Kilometer.

Im Bereich der sechs **Schlitze** wurde der Deichkörper jeweils komplett bis auf Geländeneiveau abgetragen. Die Länge der Schlitze variiert zwischen 200 m und 500 m. Die absoluten Höhen der Schlitzzohlen wurden in Fließrichtung abnehmend ausgeführt. Das heißt, der oberste Schlitz Nr. 1 am „Bösen Ort“ weist die größte Sohlenhöhe auf, der unterste Schlitz Nr. 6 in der Nähe des Hafens Lenzen die niedrigste. Das hat zur Folge, dass der neue Überschwemmungsraum von unten her entgegen der Elbefließrichtung durch Rückstau geflutet wird. Der Einstau in den in Fließrichtung der Elbe gesehenen untersten Schlitz Nr. 6 beginnt etwa ab einem Wasserstand von 3,60 m am Pegel Wittenberge ($\cong 900 \text{ m}^3/\text{s}$). Als letztes wird Schlitz Nr. 1 bei Wasserständen im Bereich von 4,10 m am Pegel Wittenberge überströmt ($\cong 1.200 \text{ m}^3/\text{s}$). Dies ist auch der Zeitpunkt, ab dem sich die Strömungsverhältnisse in der neu gewonnenen Polderfläche umkehren. Die Aue wird nun nicht mehr durch Rückstau überflutet, sondern ein großer Anteil des Elbedurchflusses tritt durch Schlitz Nr. 1 am „Bösen Ort“ in die Retentionsfläche, durchströmt diese und fließt durch Schlitz 5 und 6 wieder dem Elbehauptstrom zu.

Diese Reihenfolge bei der ungesteuerten Polderflutung wurde gewählt, damit die ohnehin schon hohe hydraulische Belastung im Bereich des „Bösen Ortes“ nicht zu Schäden, wie z. B. Auskolkungen, führt. Das durch den Rückstau in der Fläche bereits entstandene Wasserpolster kompensiert zu einem gewissen Teil die Fließenergie des über den Schlitz Nr. 1 einströmenden Wassers.

Schlitz Nr. 1 ist daher auch der Einzige, der eine massive Befestigung aus Betondeckwerksteinen erhielt. Die Untersuchungen der BAW im Vorfeld hatten ergeben, dass hier am „Bösen Ort“ die hydraulische Belastung am Größten ist. Die errechneten Fließgeschwindigkeiten und Schleppspannungen in den restlichen fünf Schlitzen erfordern keine gesonderten Befestigungsmaßnahmen. Hier ist eine gut ausgebildete Grasnarbe ausreichend.

Die Lage der Schlitze korrespondiert im Übrigen mit den im Zuge des Deichneubaus angelegten Flutmulden. Das dabei verfolgte Ziel ist die möglichst effektive Lenkung der Strömung im Rückverlegungsgebiet.

3.4 Das Planfeststellungsverfahren

The planning procedure

Nach Abschluss der umfangreichen wissenschaftlichen Voruntersuchungen und Planungen wurden im Dezember 2003 die Unterlagen zur Planfeststellung durch das Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg als Vorhabensträger/Bauherr bei der Oberen Wasserbehörde eingereicht.

Im Verfahren der Beteiligung der Träger öffentlicher Belange gingen Stellungnahmen von 19 Fachbehörden, dem Landkreis Prignitz, dem Amt Lenzen-Elbtal, fünf Verbänden und sechs Vereinen ein.

Im Rahmen der öffentlichen Planauslegung wurden insgesamt 112 private Einwendungen vorgebracht.

Nach 13-monatiger Bearbeitungszeit wurde am 11. Februar 2005 der Planfeststellungsbeschluss (LUVG, 2005) für den damals geltenden Bemessungshochwasserstand (7,45 m am Pegel Wittenberge) erteilt. Planfestgestellt wurden die Entwurfs- und Genehmigungsplanung sowie der Landschaftspflegerische Begleitplan.

Die vorläufige Besitzeinweisung des LUGV Brandenburg in die für den Deichbau notwendigen Flächen erfolgte im März 2005. Damit gingen Besitz, Verwaltung und Nutzung dieser Grundstücke an den Bauherrn über.

In der Anfangsphase der Bauausführung im Herbst 2005 kam es per Ministeriumserlass zu einer Anhebung des Bemessungshochwasserstandes für die Elbe im Land Brandenburg. Nach den Hochwasserereignissen August 2002 und Januar 2003 wurde erkennbar, dass die Deichhöhe, die sich bislang an einem Pegelstand von 7,45 m am Pegel Wittenberge bemaß, keinen ausreichenden Schutz vor einem Hochwasser mit 100-jährigem Wiederkehrintervall bieten würde. Vor diesem Hintergrund wurde im September 2005 seitens des Ministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg (MUGV) entschieden, den Bemessungshochwasserstand auf 8,15 m am Pegel Wittenberge zu erhöhen. Um diesen Erlass noch während des laufenden Baugeschehens umzusetzen, stellte der Bauherr umgehend den Antrag auf Planänderung.

(Anm. des Autors: Zwischenzeitlich haben sich die Elbeanrainer per Beschluss der Staatssekretäre vom 19. November 2008 auf einen Bemessungshochwasserstand von 7,99 m am Pegel Wittenberge geeinigt. Der letztendlich seit dem 15. Oktober 2009 vorliegende Bericht der Bundesanstalt für Gewässerkunde „Einheitliche Grundlagen für die Festlegung der Bemessungswasserspiegellagen der Elbe auf der frei fließenden Strecke in Deutschland“ ist die verbindliche Bemessungsgrundlage für die Hochwasserschutzanlagen an der Elbe.)

Da sich der Gegenstand des Planänderungsverfahrens nur auf die veränderten Teile des Vorhabens (neue Deichhöhe, breitere Aufstandsfläche) bezog, entschied die Planfeststellungsbehörde, dass eine erneute öffentliche Auslegung des geänderten Plans und ein Erörterungstermin nach § 76 Abs. 3 VwVfGBbg entfallen können. Es wurden nur die Betroffenen und die Behörden beteiligt, deren Belange erstmals bzw. stärker als bisher berührt wurden.

Um die laufenden Arbeiten nicht unterbrechen zu müssen, erteilte die obere Wasserbehörde im Mai 2007 die „Zulassung zum vorzeitigen Baubeginn“ für die neue Deichhöhe. Der rechtskräftige Planänderungsbeschluss wurde schließlich im April 2008 an den Bauherrn ausgereicht.

4 Projektrealisierung *Project implementation*

4.1 Neudeich (Baulos 1 und 2) *New dike (contract sections 1 and 2)*

Die Leistungen für den Bau des neuen Deiches wurden in zwei gleich großen Baulosen EU-weit öffentlich ausgeschrieben. Den Zuschlag erhielten jeweils regionale mittelständische Bauunternehmen.

Der 1. Spatenstich fand am 12. September 2005 (Baulos 1) bzw. am 18. Oktober 2005 (Baulos 2) statt. Um den Baufortschritt nicht durch unkalkulierbare wasserstandsbedingte Unterbrechungen zu gefährden, wurde der Neudeich im Schutz des Altdeiches errichtet. Trotzdem wurden die Arbeiten durch das Frühjahrshochwasser 2006 das erste Mal weit zurückgeworfen. Durch den starken Drängewasseranfall war das bereits fertig gestellte Planum des Neudeiches so stark aufgeweicht und verschlammmt, dass es komplett ausgetauscht werden musste.

In den Jahren 2006 und 2007 erfolgte der lagenweise Aufbau des neuen Deichkörpers mit dem aus den Vorlandflutmulden gewonnenen Material und dem angelieferten Stützkörper (Bild 6).



Bild 6: Profilierung des Neudeiches
Figure 6: Shaping of the new dike

Insgesamt wurden für die Kubatur des neuen Deiches rund 1,7 Mio. Tonnen Erdstoff bewegt. 1,1 Mio. Tonnen davon stammen allein aus dem Aushub der durchschnittlich 2,0 m tiefen Flutmulden. Die klassifizierten Materialien – Stützkörper, Filterkies – wurden per Achse zur Baustelle transportiert, wobei nicht mehr Massen angefahren wurden, als man ohnehin für die Sanierung

des Altdeiches gebraucht hätte. Durch diese optimierte Massenbilanz konnten ca. 44.000 LKW-Fahrten über das öffentliche Straßennetz eingespart werden.

Trotzdem formierten sich Bürgerinitiativen zum Widerstand gegen die gewählten Transportrouten. Nach über einjähriger Dauer zäher Verhandlungen, Anhörungen und Proteste verfügte die Verkehrsbehörde des Landkreises schließlich die zu benutzende Transportstrecke. Die Behörde schrieb einen Richtungsverkehr vor, sodass die Ortschaften nur mit den leeren LKW durchfahren werden durften.

Die enormen Mengen verbauten Erdstoffs spiegeln sich eindrucksvoll in den Dimensionen des neuen Deichquerschnittes wider. Die Basisbreite am Deichfuß beträgt etwa 45 m. Die Deichhöhe über dem umgebenden Gelände beläuft sich im Mittel auf 6,0 m. Daraus ergibt sich eine Kubatur von ca. 160 m³ pro laufendem Meter Deich.

Zum Jahreswechsel 2007/2008 führten starke und lang anhaltende Niederschläge zu erhöhten Elbewasserständen. In deren Folge kam es zu einem Einstau in der neuen Vorlandfläche verursacht durch einen starken Qualmwasseranfall. Da der Altdeich noch nicht geöffnet war, konnte das gesammelte Wasser nach Rückgang des Elbepegels nicht wieder abfließen. Die Arbeiten am Neudeich wurden dadurch jedoch nicht behindert. Dieser hatte bereits eine ausreichende Höhe und die noch herzustellenden Einbauebenen lagen über dem Einflussbereich des Wasserspiegels. Allerdings war dieser Einstau die erste Bewährungsprobe für die schon durchgeführten Auwaldpflanzungen des Trägerverbundes Burg Lenzen e. V.

4.2 Öffnung Altdeich (Baulos 3) *Opening of the old dike (contract section 3)*

Nach der Fertigstellung des rückverlegten Deiches als neue Hochwasserverteidigungslinie Ende 2008 wurde 2009 mit den Arbeiten zur Schlitzung des Altdeiches an sechs Stellen begonnen.

Die gesamte Länge aller sechs Schlitzte beträgt rund 2,1 km. Das bedeutet, dass rund 137.000 m³ Aushubboden aus dem Deichrückbau anfielen. Dieses Aushubmaterial wurde jedoch nicht abtransportiert, sondern dient zur Verstärkung des Altdeiches in sechs „Anschüttungsbereichen“, wobei für deren Anordnung naturschutz-

fachliche Belange Beachtung fanden. So wurden z. B. Gebiete mit Trockenrasen erhalten und nicht überbaut. Der Aushubboden wurde landseitig als Berme an den vorhandenen Altdeich angeschüttet und verdichtet. Das führte in Teilabschnitten zu einer Verbreiterung um bis zu 20 m. Auf diese Weise konnte ein Massenausgleich erreicht werden, dessen Vorteile klar auf der Hand liegen. Die Bodenabfuhr aus der Baustelle hätte sowohl zu einer erheblichen Kostensteigerung als auch zu einer zusätzlichen Belastung der Anwohner durch LKW-Verkehr geführt.

Erschwerend wäre hinzugekommen, dass für die Altdeichschlitzung nur zwei Baustellenzufahrten zur Verfügung standen, jeweils eine am Bauanfang und eine am Bauende. Dies war ohnehin eine Herausforderung für die Material- und Gerätezuführung innerhalb der Baustelle, da zeitraubende Längstransporte zur Erreichung der mittleren Schlitzte und Anschüttungsbereiche die Folge waren.

Der Deichrückbau (Erdbau) in den sechs Schlitzbereichen konnte bereits im August 2009 fertig gestellt werden (Bild 7). Die räumliche Trennung von Elbe und Aue war damit aufgehoben. Dieser historische Moment wurde im großen Rahmen mit Vertretern aus Politik, Bau und Projektförderern am 12. August 2009 feierlich begangen.

Die sich daran anschließenden aufwändigen Arbeiten zur Befestigung des Schlitzes Nr. 1 konnten jedoch aufgrund der schlechten Witterung im Herbst nicht

mehr bis zum Jahresende 2009 fertig gestellt werden. Durchgängig hohe Wasserstände Anfang 2010 (Bild 8), die eine nahezu permanente Überflutung des Schlitzes Nr. 1 zur Folge hatten, verhinderten die Wiederaufnahme der Arbeiten bis Mitte Juni desselben Jahres. Als dann die Arbeiten wieder aufgenommen werden sollten, meldete die Baufirma Insolvenz an. Es mussten umgehend neue Ausschreibungsunterlagen erarbeitet und veröffentlicht werden. Durch die nachfolgende Firma waren neben den ausstehenden Restleistungen vor allem die am Schlitz Nr. 1 aufgetretenen Schäden zu beseitigen. Aufgrund der bis dahin nicht fertig gestellten Befestigung der Sohle verursachten die Überströmungen des Schlitzes Nr. 1 im Jahr 2010 großflächige Unterspülungen des schon verbauten Pflasters.

Allerdings konnte auch das neue Bauunternehmen die Arbeiten im September 2010 nicht mehr aufnehmen, da die Wasserstände der Elbe wieder so hoch anstiegen, dass es zur vollständigen Flutung des Baustellenbereiches kam. Im Baulos 3 war somit im gesamten Jahr 2010 keinerlei Bautätigkeit zu verzeichnen.

Das Januarhochwasser 2011, mit seinem Scheitelwert von 7,30 m am Pegel Wittenberge, verursachte eine Vergrößerung der schon 2010 am Schlitz Nr. 1 aufgetretenen Schäden. Dieser unfreiwillige Praxistest bewies eindrucksvoll das Erfordernis zur massiven Befestigung des Schlitzes Nr. 1.

Mit der Abnahme des Bauloses 3 im August 2011 wurde die Deichrückverlegung Wustrow-Lenzen (Deichneu-



Bild 7: Deichschlitz Nr. 1 nach Fertigstellung der Erdarbeiten

Figure 7: Dike slot no. 1 after completion of earthworks



Bild 8: Überströmung des Deichschlitzes Nr. 1, Blick nach Unterstrom, links: Elbe, rechts: neue Überschwemmungsfläche

Figure 8: Flooding of dike slot no. 1, view to downstream area, left-hand side: the river Elbe, right-hand side: new flood area

bau und Altdeichschlitzung) schließlich vollendet und abgeschlossen.

5 Auswertung des Elbehochwassers 2011

Evaluation of the Elbe flood of 2011

Wie die Zusammenstellung in Tabelle 1 zeigt, handelt es sich bei dem im Januar 2011 abgelaufenen Elbehochwasser – bezogen auf den Wasserstand – um das zweithöchste Ereignis nach der Flut von 2002 in den letzten zehn Jahren. Im Unterschied zu den vorangegangenen Hochwässern wurde jedoch die neue Überflutungsfläche der Deichrückverlegung das erste Mal hydraulisch wirksam durchströmt.

Datum	Scheitelwasserstand am Pegel Wittenberge	Elbedurchfluss während Hochwasserscheitel
20.08.2002	734 cm	3.830 m ³ /s
12.01.2003	674 cm	3.210 m ³ /s
08.04.2006	723 cm	3.730 m ³ /s
22.01.2011	730 cm	3.790 m ³ /s

Tabelle 1: Gegenüberstellung Scheitelwasserstände und zugehörige Durchflusswerte der Elbehochwasser über 670 cm a. P. Wittenberge (Richtwert der Alarmstufe IV) seit 2002

Table 1: *Comparison of peak water levels and related discharge values for the Elbe floods exceeding 670 cm at the Wittenberge gauge (reference value of alert stage IV) since 2002*

Der Vergleich des gemessenen Pegelhöchststandes mit den gemäß der Scheitellinie des Bemessungshochwassers zu erwartenden Werten (ohne Einfluss der Deichrückverlegung) ergibt, dass eine deutliche Absenkung nachweisbar ist. Laut ersten Messungen der BAW Karlsruhe während des Hochwassers sind etwa 30 % des Elbewassers durch das Deichrückverlegungsgebiet abgeflossen (siehe Beitrag von Faulhaber in diesem Heft).

6 Fazit

Conclusions

Die Rückverlegung des Deiches bei Lenzen hat zwei hydraulische Probleme entschärft. Zum einen kann das Elbehochwasser auf einer größeren Breite (ungeregelter Polder) abfließen, was regional zu einer Wasserspiegelabsenkung führt, zum anderen prallt die Elbe nicht mehr frontal auf den Deich am „Bösen Ort“, sondern

fließt durch den Schlitz Nr. 1 in die neu gewonnene Vorlandfläche.

Die herausragende Bedeutung der Reaktivierung natürlicher Überschwemmungsgebiete als ein wichtiger Baustein des vorsorgenden Hochwasserschutzes konnte nachgewiesen werden. Die beim Hochwasser 2011 beobachteten Werte der lokalen Absenkung des Wasserspiegels gegenüber dem Zustand vor der Deichrückverlegung müssen allerdings unter den Vorbehalt gestellt werden, dass sich der in der Rückverlegungsfläche angepflanzte Auwald erst im Initialstadium befindet. Mit zunehmender Wuchshöhe und -dichte dürften auch die erreichbaren Wasserspiegelabsenkungen aufgrund der Erhöhung der hydraulischen Rauigkeit und der Fließwiderstände abnehmen.

Vor dem Hintergrund der über 10-jährigen Vorbereitungszeit und den Gesamtbaukosten von rd. 13,3 Mio. Euro sollte man sich stets darüber im Klaren sein: *„Deichrückverlegungen dieser Größenordnung sind Projekte der besonderen Art. Sie benötigen Zeit, Ausdauer und eine sehr integrative Herangehensweise. Für Schnellschüsse nach Hochwasser sind sie wenig geeignet.“* (Dr. Frank Neuschulz)

7 Literatur

References

Alexy, M. (2013): Numerische Modelluntersuchungen zu den Auswirkungen der Deichrückverlegung Lenzen und von geplanten Vorlandpflanzungen. In: BAWMitteilungen Nr. 97, S. 73 – 98.

Bundesumweltministerium (2009): Auenzustandsbericht – Flussauen in Deutschland.

Elbstromwerk (1898): Der Elbstrom, Band III. 1. Abteilung, Königlicher Elbstromverwaltung, Dietrich Reimer Verlag, Magdeburg.

Faulhaber, P. (2013): Zusammenschau und Analyse von Naturmessdaten. In: BAWMitteilungen Nr. 97, S. 109 – 134.

Faulhaber, P.; Bleyel, B.; Alexy, M. (2013): Übersicht der hydraulisch-morphologischen Modelluntersuchungen zwischen 1995 und 2010. In: BAWMitteilungen Nr. 97, S. 49 – 72.

Internationale Kommission zum Schutz der Elbe (2005):
Die Elbe und ihr Einzugsgebiet.

LUVG (2005): Planfeststellungsbeschluss für den X. BA
der Sanierung des rechten Elbedeiches: Deichrück-
verlegung Wustrow – Lenzen von Deich-km 41,200 bis
Deich-km 48,389. Landesumweltamt Brandenburg, Ge-
nehmigungsverfahrensstelle, Reg.-Nr.: oWB-PFB-HWS-1/
2005.

Montenegro, H. (2013): Untersuchung des Wirkungszu-
sammenhangs zwischen Abflussdynamik und Grund-
wasser. In: BAWMitteilungen Nr. 97, S. 135 – 148.

Übersicht der hydraulisch-morphologischen Modelluntersuchungen zwischen 1995 und 2010

Overview of Hydraulic Morphological Model Studies Conducted between 1995 and 2010

Dipl.-Ing. Petra Faulhaber, Dipl.-Ing. (FH) Birgit Bleyel, Dipl.-Ing. Matthias Alexy,
Bundesanstalt für Wasserbau

Die Bundesanstalt für Wasserbau begleitete seit 1995 die Planungen und Umsetzung der Deichrückverlegung Lenzen mit Modelluntersuchungen. Ziel war zum einen das Aufzeigen der regionalen Wirkungen der Deichrückverlegung auf Wasserspiegel, Wellenablauf und Feststofftransport. Zum anderen dienten die Untersuchungen der Analyse der lokalen Wirkungen hinsichtlich Strömungsausprägung und Geschiebetransport sowie der Bereitstellung von Daten zur Ableitung von Habitatbedingungen. Die Entscheidungsfindung für die Gestaltung der Deichrückverlegung wurde durch die Ergebnisse der Modelluntersuchungen unterstützt. Die Zusammenschau der Untersuchungen zeigt, dass auf dem Weg der Erkenntnisfindung die unterschiedlichen Modelle ihren wertvollen Beitrag leisteten.

Since 1995 the Federal Waterways Engineering and Research Institute has conducted model studies to support the planning and implementation process of the Lenzen dike relocation project. One objective of these activities was to demonstrate the impact of the dike relocation on water levels, flood routing and sediment transport in the region. The investigations also served to analyze the local effects regarding flow pattern and sediment transport as well as to provide data for the deduction of habitat conditions. The results from the model studies helped in the decision making process for the dike relocation design. The synopsis of tests and investigations shows that the different models made valuable contributions to gaining relevant knowledge.

1 Untersuchungen der BAW von 1995 bis 1997

Studies conducted by the BAW between 1995 and 1997

1.1 Rahmenbedingungen, Aufgabenstellung, Modellarten, Varianten

Overall conditions, task, model types, alternatives

Seit den 1990er Jahren wurde an der Elbe bei Lenzen durch das Land Brandenburg eine Deichrückverlegung (DRV) geplant und umgesetzt. Die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) wurde vom damaligen Landesumweltamt (LUA) Brandenburg mit der Untersuchung von Rückdeichungsvarianten im rechten Elbevorland bei Lenzen beauftragt. Die Möglichkeit einer Rückdeichung ergab sich im Untersuchungsraum aus der Notwendigkeit der Deichrekonstruktion, dem Wunsch nach Beseitigung hydraulischer Engstellen im Zuge dieser Deichrekonstruktion und der Umsetzung von Großprojekten zur Auwaldrenaturierung und Wiederbelebung der Flussdynamik im Naturpark „Brandenburgische Elbtalaue“.

Der umfangreichste Rückdeichungsbereich mit Auwaldinitiiierung sah nach den ersten Planungen (UTAG Consulting GmbH, 1993) innerhalb des Untersuchungsgebietes oberhalb von Lenzen zwischen Elbe (El)-km 476,7 und 483,7 die Ausdeichung von etwa 700 ha unbesiedelter Fläche ins Deichvorland vor. Der gesamte Ausdeichungsbereich sowie einige Qualmwassergebiete sollten in Reservate mit Auwäldern und Überflutungsröhrichten zurückverwandelt werden. Eine Deichrückverlegung dieses Ausmaßes stellte eine neuartige Aufgabe dar, die unter verschiedenen Aspekten sorgfältig

vorbereitet und begleitet werden musste. Im Rahmen der ersten Untersuchungen der BAW von 1995 bis 1997 (BAW, 1997) wurden die hydraulisch-morphologischen Veränderungen durch drei Rückdeichungen untersucht. Eine Bewertung der Maßnahmen erfolgte durch die BAW unter Beachtung der Forderung, dass die Erhaltung des ordnungsgemäßen Zustandes für den Wasserabfluss und die Funktion als Bundeswasserstraße gewährleistet werden muss.

Im Untersuchungsraum selbst bestanden keine drängenden Hochwasserschutzprobleme, obgleich oberhalb von Lenzen ein Bereich mit geringen Abständen der Deiche (Deichenge) zu einem lokalen Aufstau bei Hochwasser führte. Die Elbaue im Untersuchungsraum zeichnete sich durch eine verbliebene vielfältige Naturausrüstung aus. Allerdings waren die Bereiche, in denen freie Überschwemmungen wirken, durch Eindeichungen eingeschränkt und Auwälder fehlten fast vollständig.

Wenn Auwälder im bestehenden Flussvorland wieder angesiedelt werden, steigen die Wasserstände bei Hochwasser. Um den bisherigen Hochwasserschutz zu gewährleisten, war eine Vergrößerung der Überflutungsflächen erforderlich. Das sollte durch eine Verle-

gung der Deichlinie erreicht werden. Im Untersuchungsraum bestand somit die Chance, Notwendigkeiten zur Deichrekonstruktion mit Naturschutzbelangen zu verknüpfen. Deshalb wurden vom Land Brandenburg verschiedene Linienführungen für die Deichrückverlegung bei der Deichsanierung in die Überlegungen einbezogen.

Der Auftrag an die BAW sah die vorrangige Untersuchung einer großen Rückdeichung zwischen „Böser Ort“ und Lenzen (Rückdeichung A, siehe Bild 1) vor. Weitere Rückdeichungen wurden gemäß der Angaben im Konzept einer Umweltverträglichkeitsstudie IBS (1995) bei Untersuchungen mit großräumigen eindimensionalen (1D) numerischen Modellen berücksichtigt. Dabei handelt es sich um die Rückdeichungsbereiche zwischen Lütkenwisch und „Böser Ort“ (EI-km 473 bis 477 – Rückdeichung B) und zwischen Lenzen und Mödlich (EI-km 485 bis 487 – Rückdeichung C, siehe Bild 1).

Für die Deichrückverlegung A lagen zu Untersuchungsbeginn Entwürfe vor (UTAG Consulting GmbH, 1993), die neun Schlitze im Altdeich und ein Absenken des Altdeiches als Uferrehne (Uferwall) vorsahen.



Bild 1: Rückdeichungsbereiche A bis C und Untersuchungsräume der kurzen Modelle
 Figure 1: Dike relocation areas A to C and study areas of the short models

Zu folgenden Fragen hinsichtlich der Deichrückverlegungen sollten die Untersuchungen der BAW Aufschluss geben:

- Veränderung von Wasserspiegel und Gefälle sowie des zeitlichen Ablaufs von Hochwasserwellen (inklusive der Dauer, Häufigkeit der Vorlandüberflutungen).
- Veränderung von Strömungsrichtung und -größe mit Auswirkung auf den Geschiebetransport (z. B. in Bezug auf lokale Anlandungen im Flussbett).

Fragen zu Qualmwasser hinter den neu geschaffenen Deichen (Vernässung), den Eisverhältnissen und Sedimentations- und Erosionsvorgängen im neuen Vorland wurden nicht näher betrachtet.

Die Untersuchungen der BAW lieferten aus hydraulischer Sicht Aussagen zum günstigen Deichverlauf, zur Art der Umwandlung des alten Deiches in einen künstlichen Uferwall (Rehne), zur Gestaltung des zukünftigen Vorlandes und zur Bandbreite der Veränderungen der mittleren Strömungscharakteristika für verschiedene Rückdeichungsvarianten und Vegetationsentwicklungen. Die Untersuchungen der BAW ermöglichten hinsichtlich der Abschätzung der hydraulischen und mor-

phologischen Auswirkungen der Deichrückverlegung erste generelle und in Teilabschnitten lokal detaillierte Aussagen.

Für die Untersuchungen kamen entsprechend der verschiedenen Fragestellungen mehrere Modellarten mit unterschiedlichen Abstraktionsgraden zum Einsatz (Tabelle 1). Das aerodynamische (AD-) Modell ist im Zustand mit fester Sohle in Bild 2 zu sehen.

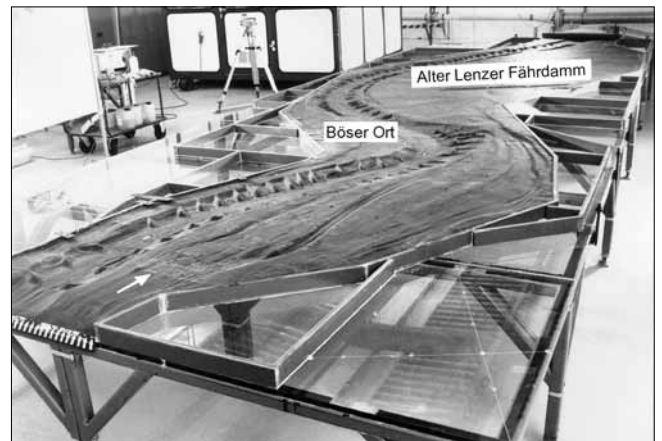


Bild 2: Blick auf das aerodynamische Modell (mit großer Rückdeichung A) ohne Abdeckplatten
 Figure 2: View on the aerodynamic model (with large-scale dike relocation A) without cover plates

Kurzbez.	Modellart	Untersuchungsumfang
1D-HN kurz, lang (Reinpold, 1996)	eindimensional hydronumerisch, stationär, feste Sohle, kurzes Modell (Länge = 13,5 km) und lange Modelle (57 km), El-km 471,5 bis 485 mit Profilabstand 100 m El-km 438 bis 495 mit Querprofilabstand 200-500 m	Berechnung von stationären Wasserspiegellagen und über Breite und Tiefe gemittelten Strömungsparametern
1D-FTM (Hack, 1996)	1D-HN, quasistationär, Feststofftransportmodell, El-km 438 bis 495 mit Querprofilabstand 200 bis 500 m (Länge = 57 km)	Berechnung der langfristigen Veränderung von Wasserspiegel- und Sohlenlagen sowie von über Breite und Tiefe gemittelten Strömungsparametern (langer Untersuchungsabschnitt)
HW (Tscherner, 1997)	1D-HN-instationär, mit fester Sohle (hydraulisches Wellenablaufmodell), El-km 438 bis 495 mit Querprofilabstand 200 bis 500 m (Länge = 57 km)	Berechnung der Veränderung des Wellenablaufs mit Hilfe eindimensionaler Betrachtungen ergänzt durch 2D-Zellen zur Darstellung der Rückdeichungsflächen
2D-HN (BAW, 1997; 2000; 2002)	zweidimensional hydronumerisch (2D-HN), stationär und instationär, feste Sohle, „2D 1995“ El-km 475,0 bis 485,5, 13.700 Elemente (Finite Elemente), Länge 10,5 km	Berechnung der flächenhaften Verteilung der Wasserspiegellagen und tiefengemittelter Strömungsparameter für einen mittelgroßen Flussabschnitt
AD (BAW, 1997; 2000)	aerodynamisch (AD), stationär, feste Sohle, Sensitivitätsuntersuchungen mit beweglicher Sohle El-km 474,2 bis 484,1 (Länge 9,9 km); Längenmaßstab 1 : 1000 Höhenmaßstab 1 : 333,33 Modellausdehnung: 9,0 m x 3,0 m	Erhebung räumlicher Strömungsparameter für einen etwa 3- bis 4-jährlichen Hochwasserabfluss ($Q = 2.300 \text{ m}^3/\text{s}$) in einem mittelgroßen Flussabschnitt

Tabelle 1: Eingesetzte Modellarten bei Untersuchungen 1995 bis 2002
 Table 1: Model types used in the studies conducted from 1995 to 2002

Die Methode der aerodynamischen Modellierung wird in Faulhaber (2007) erläutert. Da später noch verschiedene zweidimensionale hydronumerische (2D-HN-) Modelle genutzt wurden, wird das erste 2D-Modell im folgenden Text als „2D 1995“ bezeichnet.

Die Untersuchungen wurden entsprechend der jeweiligen Zielstellung für das Einzelmodell für unterschiedliche Durchflüsse durchgeführt. Die eindimensionalen Modelle mit fester Sohle (stationär) deckten das gesamte Durchflussspektrum zwischen mittlerem Niedrig-

wasser (MNQ) und damaligem Bemessungshochwasser (BHQ = 3.950 m³/s) ab. Das 1D-HN Wellenablaufmodell berücksichtigte neben kleineren, aber häufigeren Hochwasserwellen auch extreme Ereignisse. Die stärker auflösenden Modelle (AD- bzw. 2D-HN-Modell) wurden hauptsächlich für ein Hochwasserereignis mit einem nach damaliger Kenntnis 3- bis 4-jährlichen Wiederkehrintervall mit stationärem Q = 2.300 m³/s betrieben. Im 2D-HN-Modell wurden zusätzlich Untersuchungen für stationäre Durchflüsse Q = 1.500 und 3.250 m³/s sowie instationär für eine Welle mit 3- bis 4-jährlichem

Varianten	Erläuterung	Modellart	Bemerkungen
0	Istzustand	alle	unterschiedliche Abstraktionsgrade entsprechend Modellart
nur Rückdeichung A			
1-5 2,4 2	alter Deich vollständig entfernt	1D FTM AD	verschiedene Annahmen zur Durchströmung der Vorländer und zur Rauheit in 1D-HN-Modellen
6	alter Deich vollständig entfernt, Leitdeich bis El-km 478	1D	Vorlandrauheit für Grünland in Variante 6 Vorlandrauheit für Wald in Variante 6a nichtdurchströmte Bereiche definiert
9	UTAG-Variante ohne Schlitzung, alter Deich als Uferrehne (niedrig)	2D	ohne Leitdeich Vorlandrauheit Wald
10, 12	UTAG-Variante mit Schlitzung, alter Deich als Uferrehne (niedrig)	2D	ohne und mit Leitdeich in voller Höhe bis El-km 477,5 Vorlandrauheit Wald
14	UTAG-Variante mit Schlitzung, Einlaufbereich modifiziert, alter Deich als Uferrehne (niedrig)	AD	niedrige Uferrehne bis El-km 477,4 im Anschluss Schlitz 1a, ab Schlitz 2 wie UTAG-Entwurf, Vorland ohne aufgebrauchte Rauheit
15,16	UTAG-Variante mit Schlitzung, Einlaufbereich modifiziert, alter Deich als Uferrehne (niedrig)	AD	Leitdeich in voller Höhe bis El-km 477,35 Schlitz 1a umfasst teilweise auch Schlitz 2, ab 477,8 wie UTAG-Entwurf, Variante 16 mit höherer Vorlandrauheit und Leitdeichrundung
19, 22, 24, 26, 27, 28	wie Variante 12, alter Deich als Uferrehne (hoch)	2D	Leitdeich- und Schlitzmodifikationen im Einlaufbereich Vorlandrauheit Wald
20, 21, 23	wie Variante 12, alter Deich als Uferrehne (niedrig)	2D	Leitdeich- und Schlitzmodifikationen im Einlaufbereich Vorlandrauheit Wald
11, 13, 17, 18, 25	nicht belegt		
29	wie Variante 19, Altdeich in Höhe belassen	2D	Wasseraustausch nur durch Schlitze
30	Ausgehend vom UTAG-Entwurf (siehe Varianten 10, 12, 15)	HW	Deichverlauf und Schlitzung entsprechend UTAG-Entwurf (Schlitzung den Modellmöglichkeiten angepasst), alter Deich in voller Höhe belassen
31	wie Variante 30, nur ein Schlitz	HW	keine Durchströmung des zukünftigen Vorlandes
Rückdeichung A kombiniert mit Rückdeichung B bzw. C			
7	Variante 2 mit Rückdeichung B kombiniert	1D FTM	Vorlandrauheit für Grünland in Variante 7, Vorlandrauheit für Wald in 7a im kurzen 1D-HN-Modell
8	Variante 7 mit Rückdeichung C kombiniert	1D	Vorlandrauheit durchgängig für Grünland (nur langes Modell)

Tabelle 2: Übersicht der zwischen 1995 und 1997 untersuchten Varianten
 Table 2: Overview of the alternatives examined between 1995 and 1997

Wiederkehrintervall betrieben. Die untersuchten Varianten sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Ergebnisse wurden im Auenreport des Naturparks „Brandenburgische Elbtalaue“ (Faulhaber, 1997), im Rahmen der Berichte und Tagungen zum „Elbe-Ökologie-Forschungsprojekt“ (u. a. BAW, 2000) und in Bleyel (2001) veröffentlicht.

Die Ergebnisse dieser ersten Untersuchungen für die große Variante der Deichrückverlegung A, B und C werden hier im Überblick gezeigt, um einen Eindruck des Erkenntnisfortschritts im Rahmen der Vorplanung und Umsetzung zu geben.

Es ist zu berücksichtigen, dass zu Beginn der Untersuchungen nur wenige Daten zu großen Hochwassern verfügbar waren, da zwischen Mitte und Ende des 20. Jahrhunderts solche Ereignisse kaum aufgetreten waren. Die Untersuchungsergebnisse wurden genutzt, um die zu erwartenden Wirkungen zu beschreiben und Empfehlungen für die Umsetzung zu geben. Darüber hinaus wurden Daten für andere Nutzer bereitgestellt.

Die folgenden Erläuterungen zu den Wirkzusammenhängen können auch heute noch helfen, diese besser zu begreifen, auch wenn die Deichrückverlegung gegenüber den ersten Varianten letztendlich modifiziert umgesetzt wurde. Sie werden deshalb hinsichtlich der grundsätzlichen Wirkungen und nicht mit Fokus auf die konkreten Varianten beschrieben.

Die hydraulischen Auswirkungen der Rückdeichungen (Veränderung der Wasserspiegel, Fließgeschwindigkeiten, Schubspannungen) wurden für den ersten Überblick mit den stationären eindimensionalen hydronumerischen Modellen berechnet. Frühzeitig flossen die Ergebnisse des aerodynamischen und 2D-HN-Modells 1995 in die Beschreibung der Wirkung ein. Mit den Ergebnissen des Wellenablaufmodells wurden die instationären Wirkungen beschrieben. Die langfristigen morphologischen Veränderungen wurden mit dem eindimensionalen Feststofftransportmodell ermittelt.

1.2 Beschreibung der Wirkung der Deichrückverlegung auf Wasserspiegelhöhen

Description of the impact of the dike relocation on water level heights

Die Rückdeichungen A bis C führen zu deutlichen Wasserspiegelabsenkungen im Rückdeichungsnahbereich (Bild 3), die sich für die unterschiedlichen Modellarten in etwa gleicher Größe ergaben (Bild 20). Lage und Höhe des Maximums des Wasserspiegelabsinks variieren mit der konkreten Ausführung der Deichrückverlegung und dem Durchfluss. Das Maximum liegt für die Rückdeichung A bei El-km 477,1 für alle Abflüsse $Q > 2.300 \text{ m}^3/\text{s}$ und wird bei drei- bis fünfjährlichen Hochwassern und bei Auwaldentwicklung in nur wenigen Pflanzflächen ca. 35 cm, bei $3.950 \text{ m}^3/\text{s}$ (damaliges BHQ) 58 cm betragen. Bei zusätzlicher Ausführung der Rückdeichung B liegt das Maximum der Absenkungen bei El-km 473,5 und beträgt bei BHQ 60 cm. Bei geringen Ausuferungen (z. B. $Q = 1.500 \text{ m}^3/\text{s}$) liegt das Maximum der Absenkungen bei El-km 479,5 und beträgt 16 cm. Die rechnerischen Wasserspiegelabsenkungen betragen bei BHQ erst 30 km oberhalb der Rückdeichungen weniger als 5 cm.

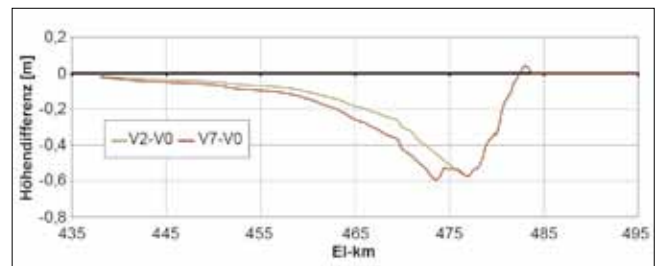


Bild 3: Wasserspiegellagen bei BHQ aus dem langen 1D-HN-Modell

Figure 3: Water levels at design flood level (BHQ) in the long 1-dimensional hydro-numerical model

Die Annahme, die Rauheit des zukünftigen Vorlandes wie im Istzustand als Grünland (Wiese) mit vereinzelt Bäumen und Sträuchern anzusetzen, ist für den Anfangszustand der Auwaldentwicklung gerechtfertigt, da die Bepflanzungsflächen nur einen geringen Anteil der Vorlandfläche umfassen.

Durch die langfristige Rauheitserhöhung, wenn das Vorland der Sukzession überlassen wird, wird sich in Zukunft die Wasserspiegelabsenkung in Abhängigkeit vom Durchfluss und von der Vegetationsentwicklung um ca. 20 cm verringern (Bild 4), siehe auch Kap. 2. Langfristig wird sich durch Anlandungen im Flussbett

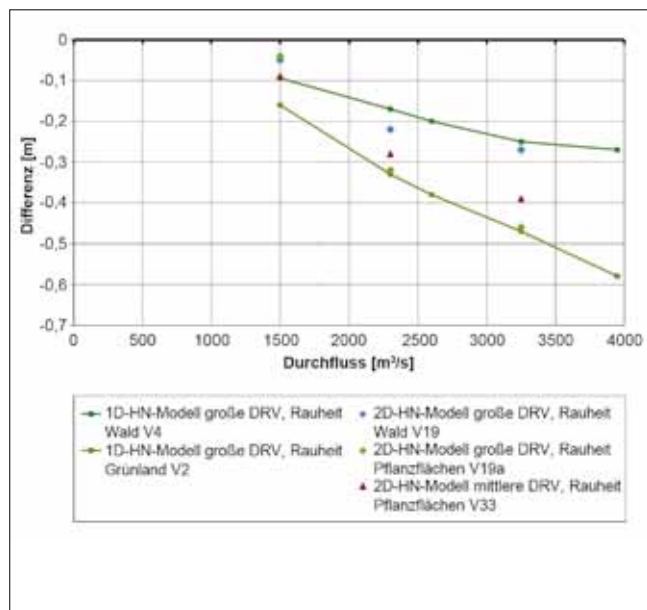


Bild 4: Zusammenstellung des mit den verschiedenen Modellarten errechneten maximalen Wasserspiegelabsinks

Figure 4: Overview of the maximum water level drawdown calculated with the different model types

im direkten Rückdeichungsbereich eine weitere Minderung der Wasserspiegelabsenkung um ca. 5 cm ergeben.

Es wurde deshalb empfohlen, die errechneten Absinkbeträge nicht bei der Bemessung der Deichhöhen vermindern zum Ansatz zu bringen, da langfristig die Wasserstände vor der Maßnahme nur im kurzen Abschnitt zwischen El-km 470 und 480 merklich (bei BHQ etwa 15 cm bis 35 cm) verringert werden und außerdem weitere Einflussgrößen (z.B. höhere Windwellenbelastung wegen größerer Wellenauflängen) abzuschätzen wären.

Die Wasserspiegelabsenkungen resultieren aus einer Strömungsteilung im Rückdeichungsbereich, sodass sich der Durchflussanteil, der im Flussbett abgeführt wird, deutlich verringert. Beträgt dieser Durchflussanteil im Istzustand zwischen El-km 477 und 486 nahezu 100%, so werden im Bereich der Rückdeichung A etwa 30% bis 40% über das zukünftige rechte Vorland abgeführt werden. Die Prognosen der Durchflussanteile der Vorländer unterschieden sich für die verschiedenen Modellarten je nach Rauheitsannahme (Bild 5, rechtes Vorland ab Ufer betrachtet – nicht ab Streichlinie).

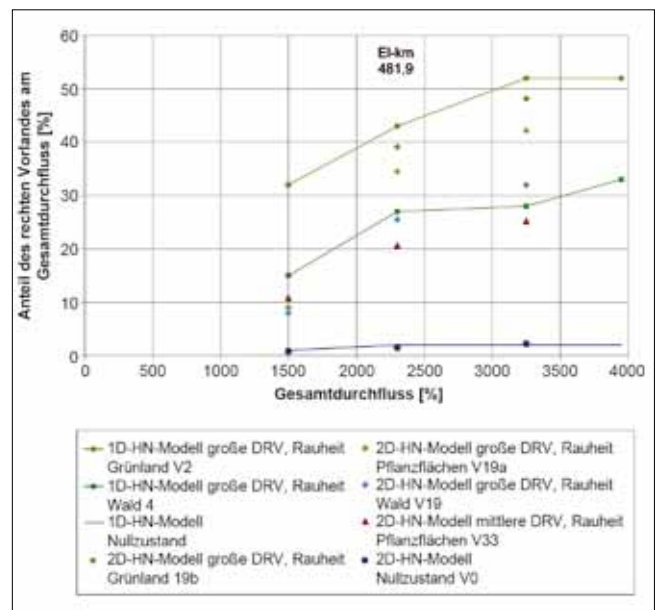


Bild 5: Durchflussanteil des rechten Vorlandes in Abhängigkeit vom Gesamtdurchfluss für El-km 481,9

Figure 5: Percentage of flow rate accounted for by the floodplain on the right-hand side in relation to total flow rate at Elbe kilometer 481.9

1.3 Beschreibung der Wirkung der Deichrückverlegung auf den Wellenablauf Description of the impact of the dike relocation on flood routing

Die Untersuchungen zum Wellenablauf ergaben, dass durch die geplanten Rückdeichungen A bis C (große Rückdeichung A) keine merkliche Retentionswirkung erreicht wird. Veränderungen der Scheitelhöhe (Stauung) wurden für den Bereich der jeweiligen Rückdeichung prognostiziert. Sie wirken sich nach oberstrom aus. Die Größen der maximalen Wellenstauungen entsprachen den weiter oben angegebenen Wasserspiegelabsenkungen.

Auswirkungen für die Unterlieger bei großer Rückdeichung A:

Da der mögliche Rückhalteraum nur einen Bruchteil des Wellenvolumens ausmacht (bei der Welle von 1981 mit einem Scheiteldurchfluss von etwa 3.250 m³/s ca. 0,5%), wird die Welle unterhalb der Rückdeichung kaum gedämpft. Bei El-km 495 betrug die Verzögerung nur etwa 1,5 Stunden (bei einer Wellendauer von 86 Tagen) und die Retention nahezu 0 m³/s. Somit wurde von der Gestaltung des Altdeichs kein wesentlicher Einfluss auf die Durchflusssituation unterhalb der Rückdeichung er-

wartet. Unabhängig von der Schlitzausführung bewirkt die neu geschaffene Vorlandfläche bei Hochwasser keine nennenswerte Speicherung von Wasservolumen und deshalb auch keine Wellenverformung oder Scheitelabminderung unterhalb der Rückdeichung.

Auswirkungen im direkten Rückdeichungsbereich A:

Die lokale Strömungssituation wird im Nahbereich der Rückdeichung jedoch durch die Veränderung des Wellenablaufs beeinflusst. Unterschiedliche Wellen erfahren hier eine unterschiedliche Verformung entsprechend ihrer Wellencharakteristika. So wird die Rückdeichung z. B. die Sohlenbelastung im Flussbett unterhalb der Einströmung ins zukünftige Vorland besonders bei steilen Wellen im MHQ-Bereich vermindern, da der steile Wellenanstieg durch die Rückdeichung gedämpft wird.

Auswirkungen für die Oberlieger bei Rückdeichungen:

Eine Durchströmung des zukünftigen Vorlandes wurde aus ökologischen Gründen angestrebt. Sie ist auch aus wasserwirtschaftlicher Sicht insofern sinnvoll, als so kleinräumig Hochwasserwellen gedämpft werden. Wenn hingegen eine spürbare großräumige Verbesserung der Hochwassersituation erreicht werden soll, müssen viele Deichrückverlegungen entlang der Elbe umgesetzt werden. Dabei wäre es außerdem zur optimalen Kappung der Hochwasserscheitel notwendig, eine gesteuerte Füllung zu ermöglichen. Eine Optimierung der Deichrückverlegung bei Lenzen hinsichtlich maximaler Hochwasserschutzwirkungen war entsprechend des Zieles des Naturschutzprojektes nicht gefordert.

Trotz der geringen großräumigen wasserwirtschaftlichen Effekte muss jedoch die kleinräumige Gestaltung von Rückdeichungen hinsichtlich der Strömungsführung und der damit verbundenen hydraulischen und morphologischen Auswirkungen sorgfältig geplant werden.

1.4 Beschreibung der hydraulisch-morphologischen Auswirkungen der Rückdeichungen

Description of the hydraulic-morphological impact of the dike relocations

Durch die oben erwähnte Durchflussaufteilung zwischen Flussbett und rechtem Vorland und die daraus resultierenden Wasserspiegelabsenkungen kommt es im Umfeld jeder Rückdeichung zu Veränderungen des Wasserspiegelgefälles, der Fließgeschwindigkeiten und damit zu einer Beeinflussung des Geschiebetransportes.

Auswirkungen für den direkten Rückdeichungsbereich:

Durch die Strömungsaufteilung verringert sich der im Flussbett abzuführende Durchflussanteil bei Hochwasser; es sinken die Wasserspiegel und die Fließgeschwindigkeiten im Flussbett gegenüber dem Istzustand. Durch die Verringerung des Durchflussanteils des Flussbettes von 100 % auf 60 % bis 70 % kommt es zu einer Verringerung der mittleren Fließgeschwindigkeiten im Flussbett um bis zu 25 % bei einer Rauheit des zukünftigen Vorlandes mit Auwaldeinzelflächen und bis zu 50 % bei einer Rauheit des zukünftigen Vorlands wie im Istzustand (Wiese). Dies wiederum führt zu einer Verringerung des Transportvermögens des Flusses im Flussbett und zu einer langfristigen Veränderung der Feststofftransportverhältnisse.

Der enge Flussabschnitt zwischen „Böser Ort“ und Lenzen ist im derzeitigen Zustand als leicht erosiv einzuschätzen. Abschnitte, die im Istzustand im „Gleichgewicht“ sind, sind nach der Rückdeichung anlandungsgefährdet. Wenn sich auf dem zukünftigen Vorland in einem Flächenanteil von unter 30 % Auwaldbereiche entwickeln, sind langfristig im ursprünglich erosiven Bereich Anlandungen im Flussbett zu erwarten. Das Feststofftransportmodell berechnete entlang des Rückdeichungsbereichs eine um ca. 5 % verminderte Feststoff-Jahresfracht. Der Fluss wird sein Bett langfristig den neuen Bedingungen anpassen.

Hinsichtlich der Gewährleistung der Leichtigkeit des Schiffsverkehrs muss die Veränderung jedoch lokal in einigen Bereichen als problematisch eingeschätzt werden. Zu diesen Strecken zählt z. B. der Bereich der

Rückdeichung B, da hier bereits im Istzustand Material angelandet wird.

In den Abschnitten, in denen lokal starke Anlandungen zu erwarten sind (unterhalb von Schlitz 1 der Rückdeichung A), muss die Möglichkeit der Verbesserung der Strömungsführung bei Hochwasser überprüft werden, sofern nicht das Baggern nach Hochwassern, die die Sedimentation anfachen, toleriert wird. Zumindest muss im Bereich der Rückdeichung die strömungsführende Wirkung der Buhnen durch ausreichende Unterhaltung unbedingt gewährleistet werden, um die Wanderung des Geschiebes durch die Strecke zu erleichtern.

Auswirkungen auf den oberstromigen Bereich:

Die Wasserspiegelabsenkungen, die ihr Maximum am oberstromigen Rand der Rückdeichungen aufweisen, klingen erst allmählich nach oberstrom ab. Da in den oberhalb gelegenen Abschnitten keine zusätzliche Durchflussfläche bereitgestellt wird, führt der Wasserspiegelabsenkung zu einer Vergrößerung von Gefälle und Fließgeschwindigkeiten gegenüber dem Istzustand. Direkt oberhalb der Rückdeichungen steigt deshalb das Transportvermögen des Flusses. Da sich direkt oberhalb der Rückdeichung A im Ist- (Ausgangs-) Zustand hauptsächlich Anlandungsbereiche befinden, verringert sich hier die Sedimentation.

Auswirkungen auf den unterstromigen Bereich:

Obwohl der Wellenablauf für den Bereich unterhalb der Rückdeichungen nicht verändert wird, wird sich die veränderte Geschiebetransportsituation unterhalb der Rückdeichungen auswirken. Durch die Querschnittsaufweitung im direkten Rückdeichungsbereich sinkt hier das Transportvermögen des Flusses. Nach dem Zusammenströmen von Vorland- und Flussbettanteil am Ende der Rückdeichung steht wieder die volle Transportkraft des Flusses zur Verfügung. Deshalb wird unterhalb der Rückdeichung Material aus der Sohle vom Fluss aufgenommen, weil es von oberstrom nur vermindert herantransportiert wird. Es kommt daher zur Erosion. Maßnahmen zur Verringerung der Anlandung im direkten Rückdeichungsbereich senken auch die Erosionsgefahr unterhalb. Sollte bei auftretenden lokalen Anlandungen im direkten Rückdeichungsbereich gebaggert werden, muss das Material direkt unterhalb der Rückdeichung dem Fluss wieder zugeführt werden.

1.5 Lokale Untersuchungen zur Gestaltung der Rückdeichung

Local studies on the dike relocation design

Kleinräumige Angaben zu Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten im zukünftigen Vorland und im Flussbett wurden für die Rückdeichung A aus den Ergebnissen des aerodynamischen (AD-) Modells (Bild 2) und später des 2D-HN-Modells mit fester Sohle ohne Berücksichtigung der Anpassungsreaktionen des Flusses (morphologischer Nachlauf) abgeleitet.

Wesentliches Ergebnis dieser Untersuchungen war die Optimierung der Ausführung der Rückdeichung A in diesen feiner auflösenden Modellen (AD und 2D-HN). Bild 6 zeigt beispielhaft eine Sichtbarmachung der Strömung mit Hilfe von Nebelfluidinjektion im Bereich der Altdeichschlitze oberhalb des Hafens Lenzen (Bereich der Rückströmung aus dem Vorland in das Flussbett). Mit Hilfe solcher Sichtbarmachungen der Strömung im AD-Modell wurde u. a. die Lage der Schlitze optimiert. Die Linienführungen der Rückdeichungen B und C wurden nicht verändert.

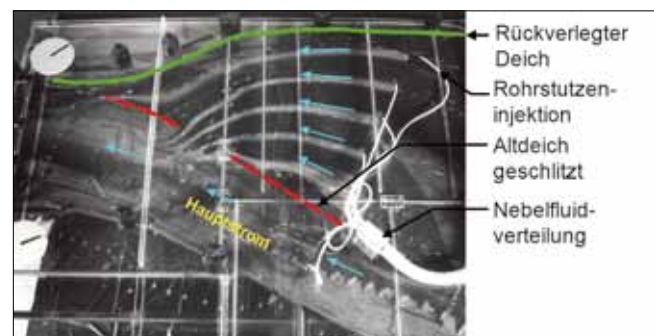


Bild 6: Elbe bei Lenzen: Nebelfluidinjektion zur Strömungssichtbarmachung im Flussvorland

Figure 6: *Elbe near Lenzen: injection of smoke fluid to make the floodplain flow visible*

Neben diesen qualitativen Angaben zur Strömungsrichtung wurden Fließgeschwindigkeiten in Querprofilen und in den Deichschlitzen gemessen (Bild 7).

Es zeigte sich, dass die Linienführung des neuen Deiches im Bereich der Rückdeichung A bei der geplanten weiträumigen Deichrückverlegung lediglich im Ein- und Ausströmbereich sorgfältig gestaltet werden muss. Im Mittelbereich (etwa El-km 479 bis 482) der Rückdeichung A wirken sich Veränderungen im Nahbereich (200 m bis 600 m) der vorgeschlagenen Deichlinie nur

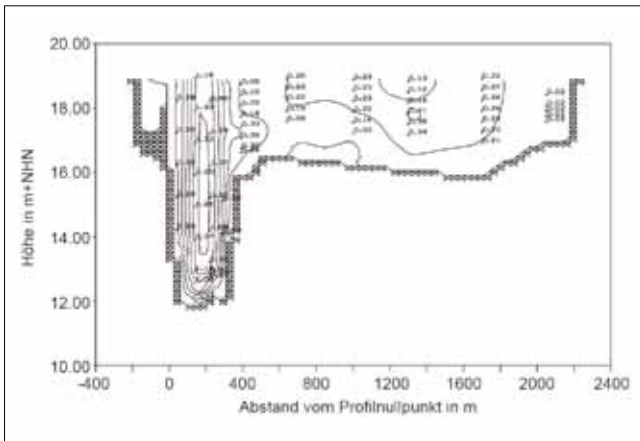


Bild 7: Fließgeschwindigkeiten [m/s] in Querprofil El-km 481,0 bei 2300 m³/s bei Variante 16, AD-Modell
 Figure 7: Flow velocities [m/s] in cross-profile, Elbe kilometer 481.0, at 2300 m³/s for alternative 16, aerodynamic model

unwesentlich auf die Ausbildung der Strömung aus, da diese Bereiche relativ schwach durchströmt werden (Bild 9).

Für die Gestaltung des Einströmbereiches wurden folgende Randbedingungen berücksichtigt:

- Eine Durchströmung des zukünftigen Vorlandes wird über die Länge der gesamten Rückdeichung A gewünscht (keine ausschließliche Füllung des Vorlandes von unterstrom bei El-km 480 bis 484).
- Das Einströmen von Wasser in das zukünftige Vorland soll aus ökologischen Gründen häufig (für mehrere Tage jährlich) erfolgen können. Da der alte Deich zur Strömungsführung als abgesenkte, künstliche Uferrehne bestehen bleiben soll, muss ein Fluten des Vorlandes durch Schlitze im Altdeich ermöglicht werden.

Die Modelluntersuchungen zeigten, dass in der Krümmung „Böser Ort“ eine Führung der Strömung bei jedem Hochwasser erhalten bleiben muss. Dadurch soll verhindert werden, dass Eis vorrangig in das zukünftige Vorland geleitet wird und das Geschiebetransportvermögen des Flusses im Bereich der Sandbank am „Bösen Ort“ plötzlich verringert wird. Weiterhin ließen sich die beiden folgenden Randbedingungen ableiten:

- Die Strömung soll nicht über die langen Buhnen vor El-km 477,25 sondern über das rechtsseitige Deckwerk bei El-km 477,25 bis 477,6 in das Vorland einströmen.

- Die durch die Deichführung und die Deckwerksgestaltung hervorgerufene Engstelle bei El-km 477,5 ist mit Hilfe der Schlitzgestaltung aufzuweiten.

Die aus den Untersuchungen abgeleitete Vorzugsvariante sah einen Haupteinströmungsschlitz 1a im Anschluss an einen Leitdeich (bestehender Deich in voller Höhe belassen) von El-km 477,3 bis 477,6 vor (Bild 9). Damit liegt der stark beaufschlagte Schlitz im Bereich eines Deckwerkes und einer Engstelle bei Hochwasser. Für den Schlitz 1a wurden die ursprünglich geplanten Schlitze 1 und 2 nach Untersuchungen im AD-Modell modifiziert zusammen gefasst (siehe Tabelle 2).

Da erkennbar war, dass hinter dem ursprünglich abgerundeten Leitdeich und dem Fährdamm ein Bereich schwacher Durchströmung entstehen wird, wurde dem Auftraggeber freigestellt, in diesem Bereich die neue Deichlinie bei Bedarf zu modifizieren.

Lokale, morphologische Probleme, die sich aus der Rückdeichung A ergeben, wurden im AD-Modell mit Geschiebekoffer untersucht (Bild 8). Sie können jedoch nicht sicher prognostiziert werden, sodass die Ergebnisse als Sensitivitätsuntersuchungen zu werten sind.



Bild 8: Sohle des Geschiebekoffers nach dem Versuch mit geschlitztem Deich (Rückdeichung A) im AD-Modell
 Figure 8: Bottom of the movable bed part after test with the dike with slots (dike relocation A) in the aerodynamic model

Ausgehend von den ersten Untersuchungsergebnissen des AD-Modells wurden Detailuntersuchungen am 2D-HN-Modell 1995 durchgeführt. Einige der Ergebnisse werden hier zur Erläuterung der unterschiedlichen Strömungswirkungen einzelner Maßnahmen beschrieben.

Kurzbeschreibung des 2D-HN-Modells 1995

- Die Deichlinie entspricht der großen Rückdeichung (660 ha) (siehe Bild 11).
- Es gibt acht Schlitze (siehe Bild 11).
- Der rechtsseitige Deich im Bereich des „Bösen Orts“ wurde in voller Höhe als Leitdeich erhalten (siehe Bild 9). Daran schließt sich Schlitz 1a an.
- Der Altdeich wurde zwischen den Schlitzen zu einer künstlichen Uferrehne abgesenkt. Es wurden zwei Höhen der Uferrehne untersucht (Rehnenhöhe entspricht dem Wasserspiegel bei 1.400 m³/s (niedrig) bzw. bei 2.000 m³/s (hoch) im Istzustand).
- Das Gitter im Rückdeichungsbereich ist grob aufgelöst. In diesem Bereich stammen die Höhen aus topografischen Karten.
- Als Bewuchs des Rückdeichungsbereichs werden die zwei Extremfälle betrachtet: nur Wiese oder nur Wald.

Variante 19 (Tabelle 2) stellte sich im Ergebnis der Untersuchungen als Vorzugsvariante heraus.

Verlauf der Überflutung des Rückdeichungsbereichs

Die Füllung des Rückdeichungsbereichs beginnt mit einem Einstau von unterstrom (durch die Schlitze 8 und 9 siehe Bild 11) ab 900 m³/s und ab etwa 1.200 m³/s kommt es zur Einströmung von oberstrom hauptsächlich durch Schlitz 1a. Der Alte Lenzener Fährdamm wird etwa ab Q = 1.700 m³/s überströmt. Bei geringeren Abflüssen kommt es zu einem deutlichen Aufstau oberhalb des Fährdamms. Bei voll entwickeltem Auwald werden im Rückdeichungsbereich auf dem Vorland Wassertiefen bis 1,8 m (bei HQ₁₋₃ = 1.500 m³/s) bzw. von 1,8 m bis 4,1 m (HQ₂₀₋₂₅ = 3.250 m³/s) prognostiziert.

Abfluss im Rückdeichungsgebiet und in den Schlitzen

Je geringer der Strömungswiderstand des Bewuchses im Rückdeichungsgebiet war, umso größer war der über das Rückdeichungsgebiet abgeführte Abflussanteil und umso stärker die durch die Rückdeichung verursachten Veränderungen. Der Abflussanteil des Rückdeichungsgebiets schwankt z. B. bei einem HQ₃₋₄ = 2.300 m³/s je

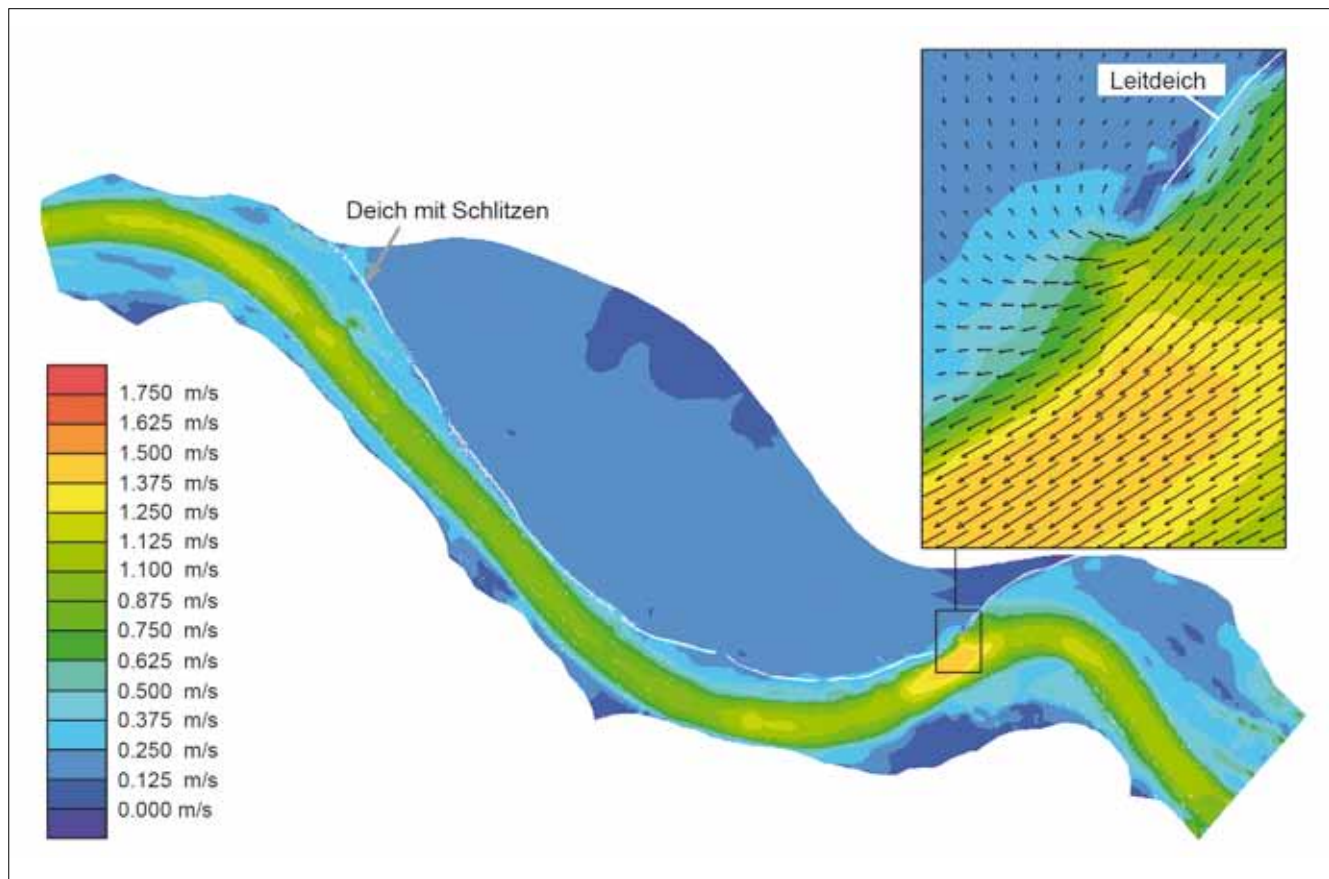


Bild 9: Geschwindigkeiten im Einstrombereich der Variante 19 bei einem Durchfluss von 2.300 m³/s (2D-HN-Modell 1995)
 Figure 9: Velocities in the water inflow area of alternative 19 with a flow rate of 2,300 m³/s (2-dimensional hydro-numerical model 1995)

nach Bewuchs zwischen 28% und 40% des Gesamtabflusses.

Bleibt der Altdeich zwischen den Schlitzen in voller Höhe erhalten (Variante 29), so verringert sich der über das Rückdeichungsgebiet abgeführte Durchflussanteil um 25 % bis 30 % gegenüber den Varianten mit abgesenktem Altdeich der Variante 19 (Bild 10) und führt zu erhöhten Geschwindigkeiten in den Schlitzen. In der letztendlichen Realisierung der Deichrückverlegung verblieb der Altdeich zwischen den Schlitzen in voller Höhe.

Da die Schlitze 3 und 7 im AD-Modell wenig durchströmt wurden, wurden sie in den weiterführenden Untersuchungen geschlossen.

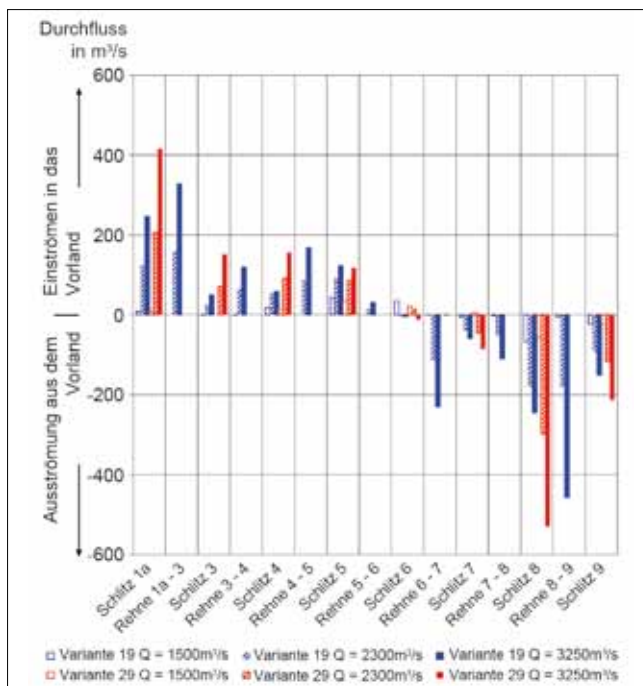


Bild 10: Ein- bzw. ausströmende Wassermengen bei Variante 19 (Rehne zwischen den Schlitzen) bzw. Variante 29 (volle Deichhöhe zwischen den Schlitzen)

Figure 10: Water inflow and exit for alternative 19 (natural levee between the slots) and/or alternative 29 (full dike height between the slots)

2 Untersuchungen der BAW von 1998 bis 2002 mit dem 2D-HN-Modell

Studies conducted by the BAW between 1998 and 2002 using the 2-dimensional hydro-numerical (2D HN) model

2.1 Rahmenbedingungen und Aufgabenstellung

Overall conditions and task

Die Untersuchungen ab 1998 fanden im Rahmen der „Elbeökologie-Forschung“ (BMBF, 1995) in einem Forschungsprojekt der 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“ (BAW, 2000) statt. Dabei lag das Hauptaugenmerk auf den Strömungsverhältnissen im Rückdeichungsbereich (Wasserspiegel, Wassertiefen, Geschwindigkeiten, Überflutungsgrenzen etc.) als Grundlage für weiterführende biotische und abiotische Untersuchungen des Verbundprojekts „Auenregeneration durch Deichrückverlegung“ (LAGS, 1999). Neben üblichen Farbflächengrafiken (z. B. Bild 16) wurden spezielle Auswertungen (z. B. Bild 15 und Bild 17) zur Verfügung gestellt.

Die berechneten Wasserspiegellagen im Rückdeichungsbereich wurden außerdem als Randbedingung für ein Grundwassermodell (siehe Beitrag von Montenegro in diesem Heft) verwendet.

2.2 Beschreibung des 2D-HN-Modells 2000 (Variante 33)

Description of the 2D HN model 2000 (Alternative 33)

Das Rechennetz ist im Bereich zwischen den Deichen des Istzustands identisch mit dem des 2D-HN-Modells 1995. Für den Rückdeichungsbereich und den Altdeich ergaben sich folgende Änderungen des neuen Rechengitters zu dem bisher genutzten 2D-HN-Modell 1995 (siehe auch Tabelle 7):

- Das Rechengitter im Rückdeichungsbereich ist feiner aufgelöst (siehe Bild 12 oben) als im 2D-HN-Modell

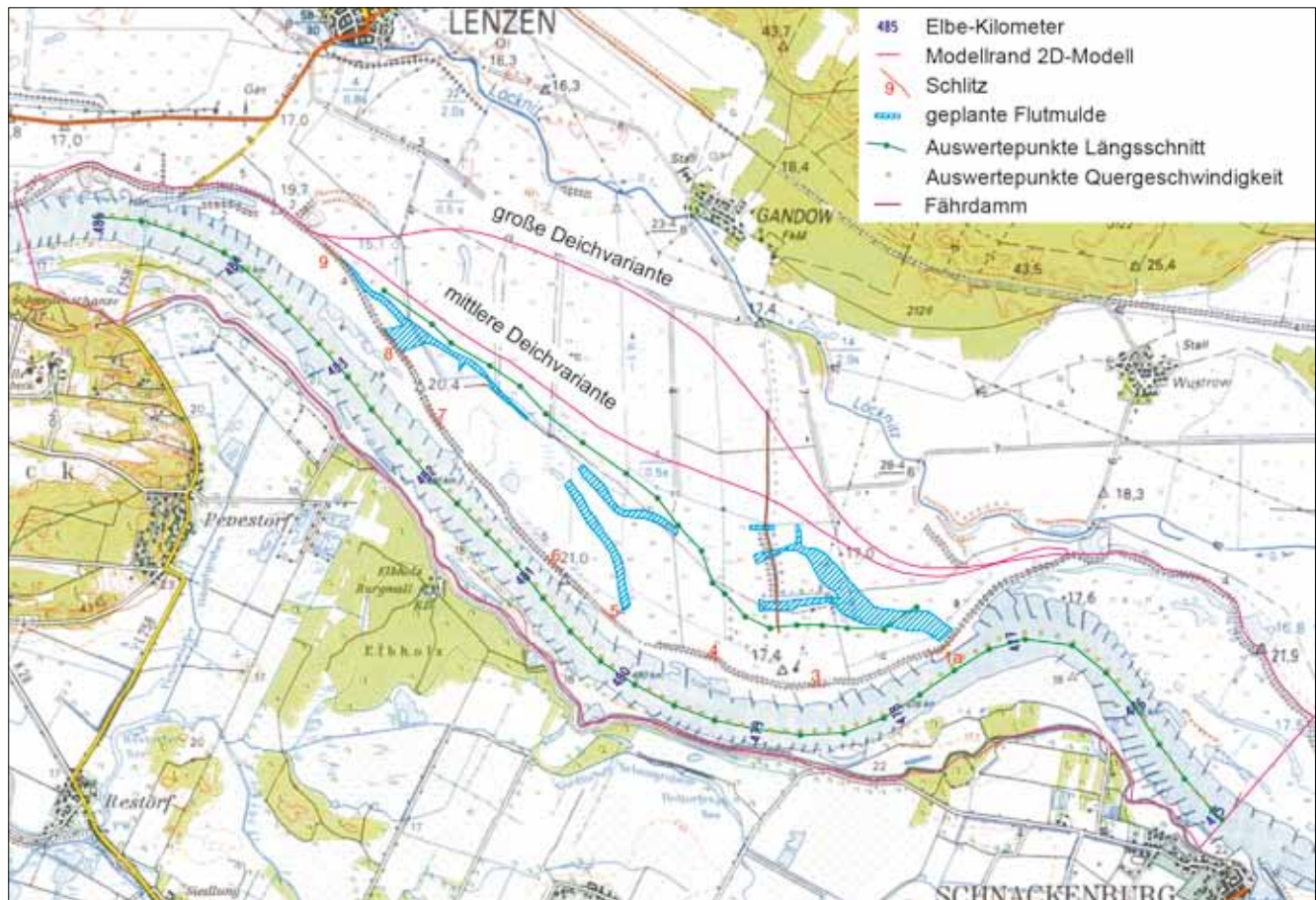


Bild 11: Untersuchte Linienführungen der Deichrückverlegung bei Lenzen
 Figure 11: Assessment of the proposed dike alignments for the Lenzen dike relocation

1995, sodass Geländekanten und unterschiedliche Rauheitszonen entsprechend der Bewuchsprognose abgebildet werden (siehe Bild 12 unten).

- Die Rauheiten des neuen Vorlands im Rückdeichungsbereich entsprechen der Bewuchsprognose der Landesanstalt für Großschutzgebiete Brandenburg (LAGS).
- Die Höhen im Rückdeichungsbereich stammen aus Stereo-Luftbildern der Befliegung von 1996.

Die mit diesem Modell untersuchte Variante 33 kann folgendermaßen beschrieben werden:

- Die neue Deichlinie entspricht der mittleren Deichrückverlegung (420 ha) (siehe Bild 11).
- Die Schlitz 3 und 7 (siehe Bild 11) fallen weg.
- Zur stärkeren Strukturierung der künftigen Vorlandfläche wurden im Rückdeichungsbereich Flutmulden eingebaut.

Flutmulde:

- Trapezförmiges Querprofil,
- im Mittel liegt die Sohle 2,5 m unterhalb des umgebenden Geländes,
- Sohlneigung entspricht der Sohlneigung im Flussbett (0,18 ‰),
- Böschungsneigung im Ein- und Auslaufbereich 1 : 20,
- Böschungsneigung an den Seiten 1 : 5.

In Tabelle 6 sind die verschiedenen 2D-HN-Modelle einander gegenübergestellt.

Wie im 2D-HN-Modell 1995 wurden Buhnen über Rauheiten abgebildet, da keine Varianten mit Veränderung der Buhnen begutachtet und nur Hochwasserabflüsse untersucht wurden. Die 2D-HN-Modelle haben alle eine feste Sohle, d.h. sie berücksichtigen die Reaktion der Sohle auf Strömungsereignisse nicht. Als Rechenprogramm wurde das Programm Rismo der RWTH Aachen verwendet.

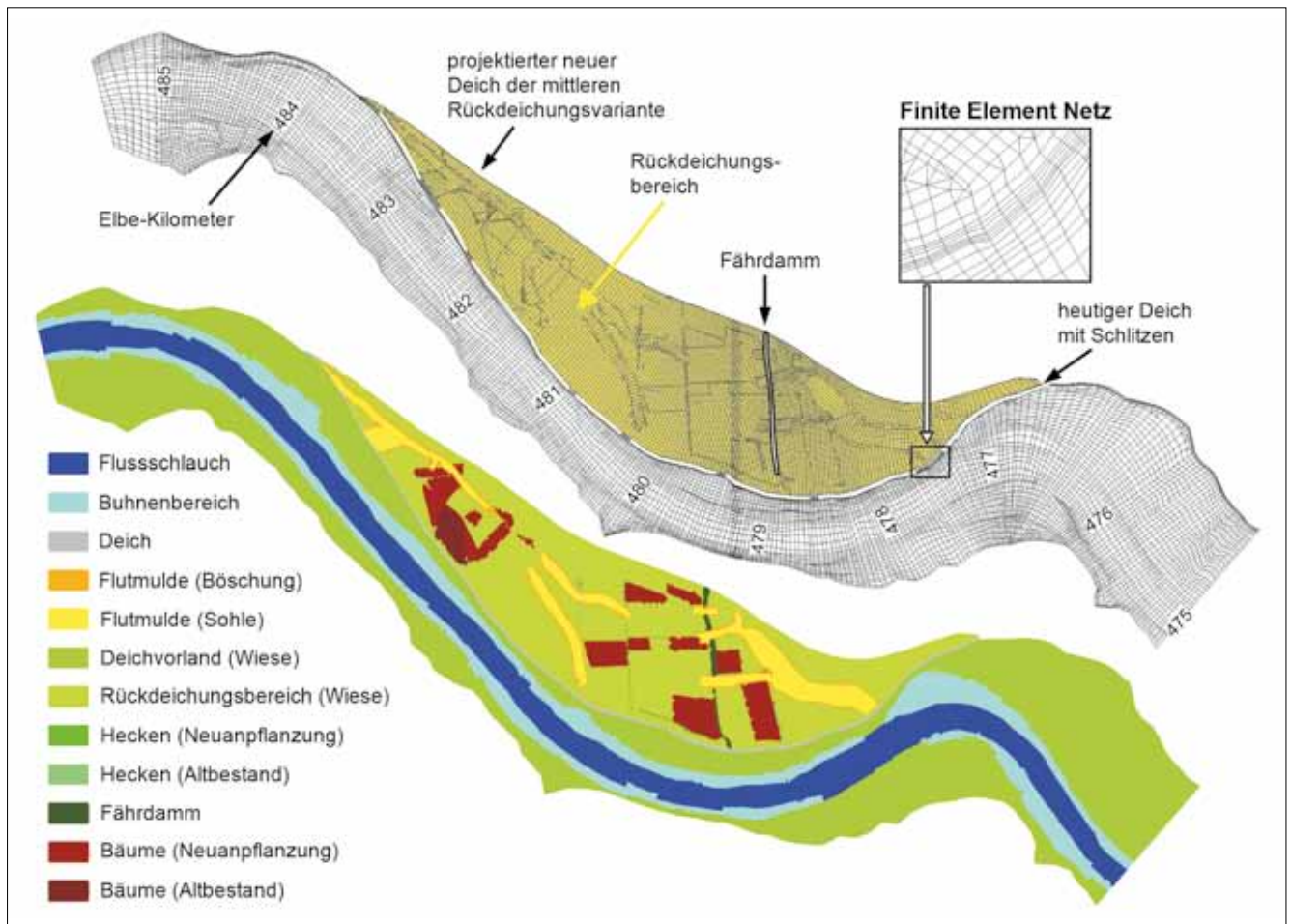


Bild 12: Einteilung der Bewuchszonen und Rauheitsbereiche in Variante 33
 Figure 12: Division of the area into vegetation zones and roughness zones in alternative 33

Für die Untersuchungen wurden folgende Abflussereignisse verwendet:

- Stationäre Abflüsse: 1.500 m³/s, 2.300 m³/s und 3.250 m³/s,
- Sommerhochwasser (23. Juli bis 12. August 1981) mit einem maximalen Durchfluss von 1.980 m³/s (am Pegel Wittenberge).

Im Folgenden werden einige Schwerpunkte der Untersuchungen vorgestellt.

2.3 Einfluss der Topografie des Rückdeichungsbereichs auf die Rechenergebnisse *Influence of the dike relocation area's topography on calculation results*

Im 2D-HN-Modell 1995 stammten die Höhendaten des Rückdeichungsbereichs aus topografischen Kar-

ten 1 : 10000, während sie im 2D-HN-Modell 2000 auf Höhendaten einer Befliegung von 1996 basierten. In Tabelle 3 sind die Wasserspiegeldifferenzen dieser zwei Modelle, die sich nur in den Höhen des Rückdeichungsbereichs unterscheiden, aufgelistet.

Mit zunehmendem Durchfluss nimmt der Einfluss der Topografie des Rückdeichungsbereichs auf den Wasserspiegel ab. Er ist am größten, wenn der Rückdeichungsbereich nur zum Teil überflutet ist, da dann die lokalen Unterschiede am stärksten zum Tragen kommen. Da die Wassertiefe einen starken Einfluss auf die Geschwindigkeit hat, gibt es lokal deutliche Unterschiede in den Geschwindigkeiten.

Des Weiteren wurden Höhenmodelle unterschiedlicher Erhebungsverfahren bei der Befliegung (Laserscan und Stereophotogrammetrie) auf ihre Eignung hin getestet.

Maximale Wasserspiegeldifferenz in cm	Fluss	Rückdeichungsbereich	
		östlich des Fährdamms	westlich des Fährdamms
HQ ₁₋₂ (1.500m ³ /s)	-1 bis +1,5	-7,5 ^a bis -5	-5 bis +1
HQ ₃₋₅ (2.300m ³ /s)	-1,5 bis 0	-3 bis -1,5	-2,5 bis +1,5
HQ ₂₀₋₂₅ (3.250m ³ /s)	-1,5 bis 0	-2,5 bis -1	-1,5 bis +1
		^a lokal größere Differenzen, da Überflutungsbereiche nicht gleich sind	

Tabelle 3: Wasserspiegeldifferenzen in Folge der Verwendung unterschiedlicher Höhendaten im Rückdeichungsbereich
 Table 3: Different water levels resulting from the use of different height data in the dike relocation area

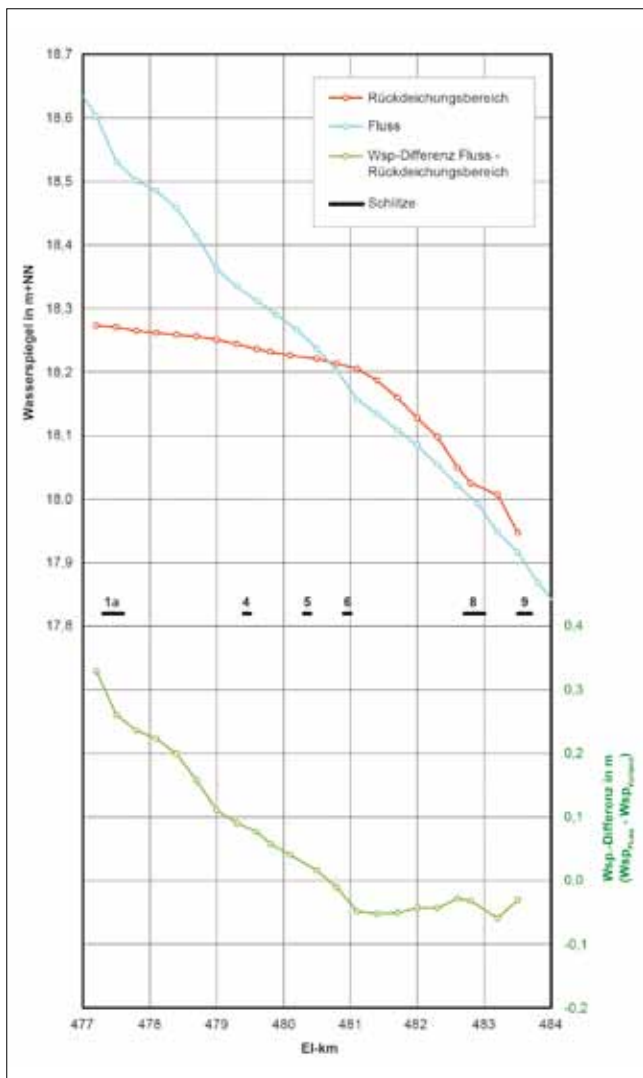


Bild 13: Wasserspiegel in Flussachse und im Rückdeichungsbereich Variante 33, Q = 1.850 m³/s
 Figure 13: Water level in the stream centerline and in the dike relocation area, alternative 33, Q = 1,850 m³/s

2.4 Wasserspiegeldifferenz Rückdeichungsbereich – Fluss

Difference between water levels in the dike relocation area and the river

Solange der Wasseraustausch des Rückdeichungsbereichs mit dem Fluss nur durch die Schlitze erfolgt, stellt sich im Rückdeichungsgebiet ein anderer Wasserspiegel und ein erheblich geringeres Wasserspiegelgefälle als im Fluss ein (siehe Bild 13). Die Daten in Bild 13 wurden entlang der Längsschnitte in Bild 11 (grüne Punkte) ausgewertet.

Da der Fährdamm ein Strömungshindernis im Rückdeichungsgebiet darstellt, verstärkt sich die Wasserspiegeldifferenz, wenn keine Flutmulden (Durchstiche durch den Fährdamm) vorhanden sind. Wird auch der abgesenkte Altdeich überströmt, so gleicht sich das Wasserspiegelgefälle im Rückdeichungsgebiet dem im Fluss an.

2.5 Änderung der Strömung im Flussschlauch

Change of flow in the main section of the river

Durch die Rückdeichung verringert sich bei Beginn der Einströmung in den Rückdeichungsbereich der Abfluss im Flussschlauch. Daher sind die Geschwindigkeiten entlang des Deichrückverlegungsbereichs für die Rückdeichungsvarianten bis zu 0,6 m/s geringer als im Istzustand (siehe Bild 14). Dementsprechend ist dort mit geringerem Geschiebetransport zu rechnen.

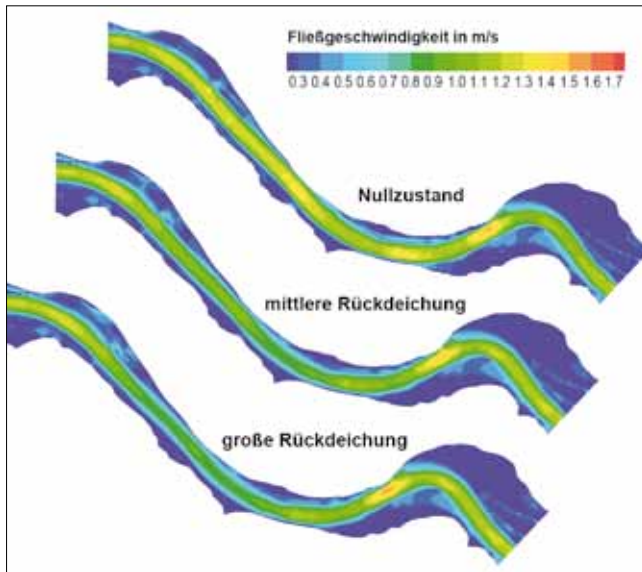


Bild 14: Fließgeschwindigkeiten im Bereich zwischen den bestehenden Deichen bei HQ₃₋₅

Figure 14: Flow velocities in the area between the existing dikes at HQ₃₋₅

2.6 Überflutungsbereiche und Strömungsverhältnisse im Rückdeichungsbereich

Flooded areas and flow characteristics in the dike relocation area

Für Biologen wurden Karten der Überflutungshäufigkeiten als Grundlage für Prognosen der Entwicklung von Flora und Fauna im künftigen Vorland (LAGS, 1999) bereitgestellt.

Mit Variante 33 wurde der Ablauf einer Hochwasserwelle und der dabei erfolgenden Füllung und Durchströmung des Rückdeichungsbereiches berechnet. Jedem Durchfluss dieser Berechnung und somit auch den zugehörigen Uferlinien wurde eine statistische Häufigkeit ihres jährlichen Auftretens zugeordnet. Daraus entstand eine Zuordnung der Überflutungshäufigkeit für verschiedene Bereiche (Bild 15).

Die Einströmung in das Vorland erfolgt zuerst durch Rückstau von unterstrom durch Schlitze 8. Dann wird

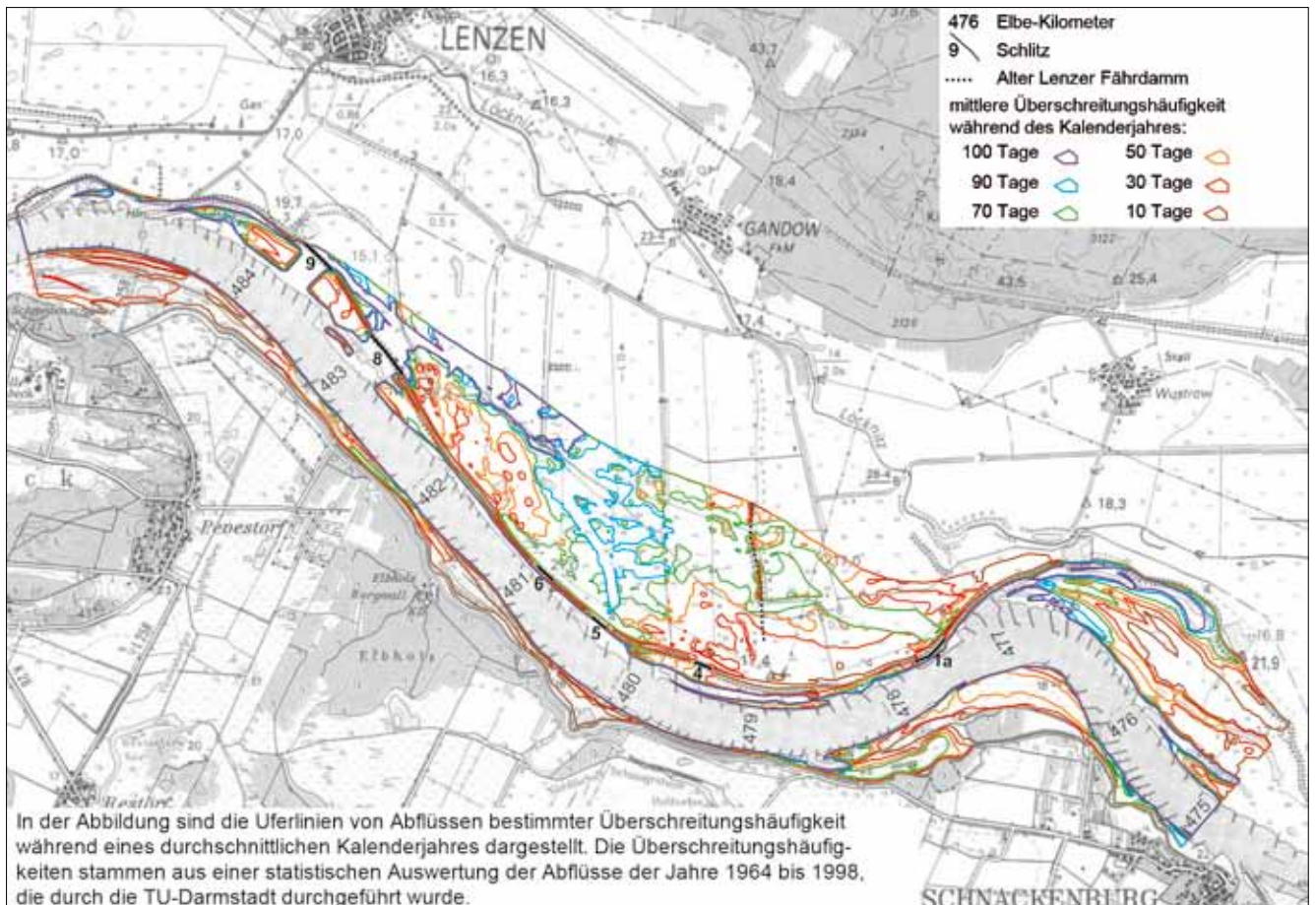


Bild 15: Uferlinien bei mittlerer Rückdeichung (Variante 33)

Figure 15: Bank lines in the medium-scale dike relocation scenario (alternative 33)

Schlitz 9 angeschlossen, und das Wasser breitet sich auch außerhalb der Flutrinnen aus. Bei Abflüssen, die ungefähr einem HQ_1 entsprechen, beginnt die Einströmung von oberstrom durch Schlitz 1a, und es kommt zu einer Durchströmung des Rückdeichungsgebietes. Die am höchsten gelegenen Flächen werden ungefähr ab einem HQ_2 überströmt.

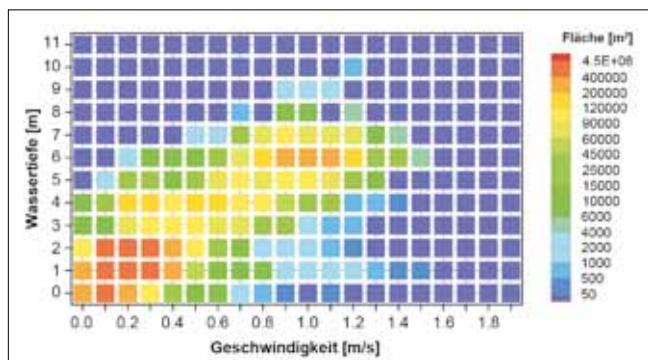
Die (tiefengemittelten) Fließgeschwindigkeiten wurden neben den üblichen Farbflächendarstellungen (Bild 9 und Bild 16) auf unterschiedliche Weise mit Blick auf die weitere Nutzung ausgewertet. Zur weitergehenden Beschreibung der Strömungsverhältnisse im Rückdeichungsbereich wurden Darstellungen wie Bild 17 eingesetzt. Darin ist zu erkennen, welche Strömungsverhältnisse (Kombination aus Wassertiefe und Geschwindigkeit) häufig oder selten im Rückdeichungsgebiet auftreten und wie groß die Vielfalt unterschiedlicher Strömungsverhältnisse ist.

Vereinfachend wurden für Variante 33 folgende (Tabelle 4) prägenden (im größten Anteil des Rückdeichungsbereichs herrschende) Wasserspiegel und Wassertiefen ermittelt:

Durchfluss	Wassertiefe in m	v in m/s
1.500 m ³ /s (HQ ₁₋₂)	< 1	< 0,1
2.300 m ³ /s (HQ ₃₋₅)	2 - 3	0,2 – 0,3
3.250 m ³ /s (HQ ₂₀₋₂₅)	3 - 4	0,3 - 0,4

Tabelle 4: Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten im neuen Vorland bei Variante 13

Table 4: Water depth and flow velocities in the new flood plane, alternative 33



Dargestellt wird die Summe der Teilflächen im Untersuchungsgebiet, die bei definierter Wassertiefe mit einer bestimmten Geschwindigkeit überströmt werden.

Bild 17: Strömungscharakteristik des Vorlands, Variante 33, 2.300 m³/s

Figure 17: Flow characteristics of the floodplain, alternative 33, 2,300 m³/s

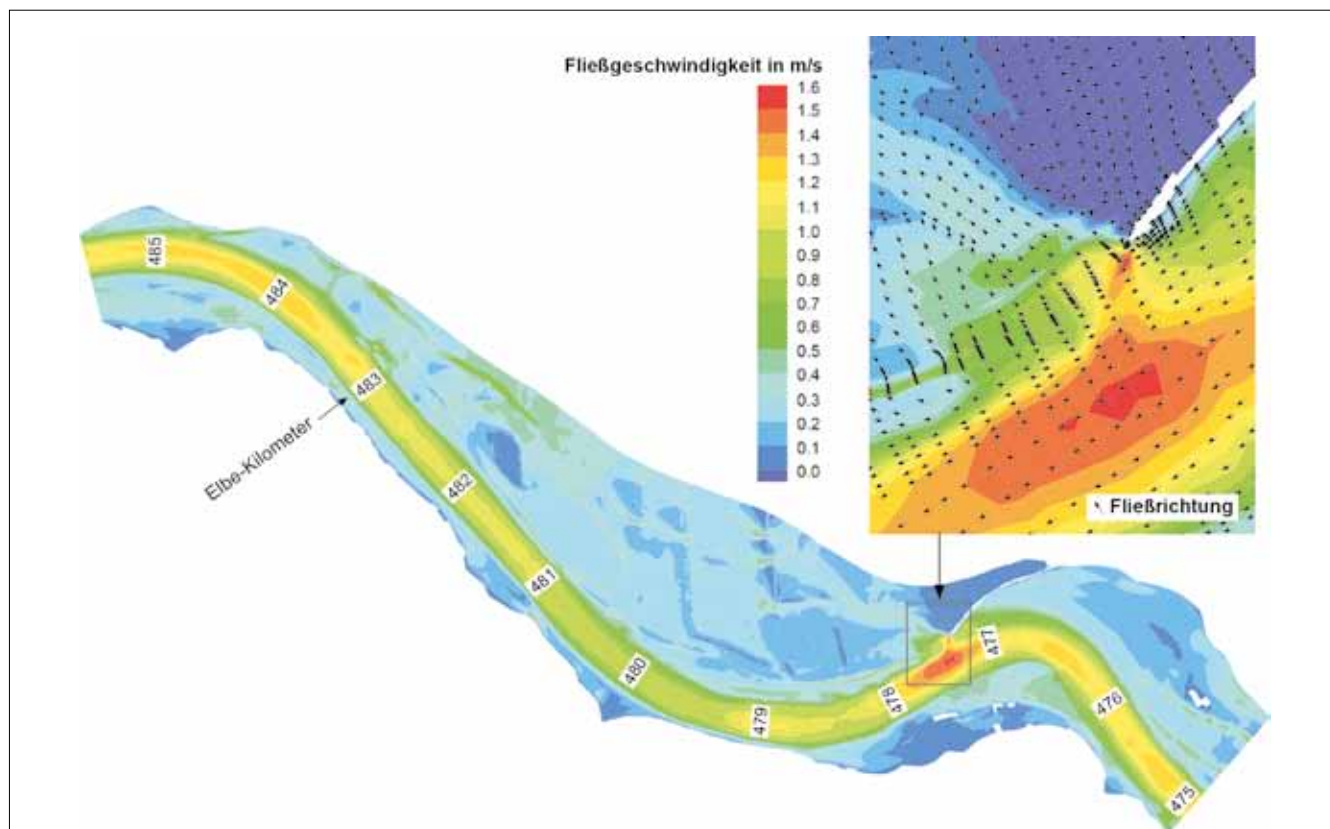


Bild 16: Fließgeschwindigkeiten für HQ₃₋₅ Variante 33

Figure 16: Flow velocities for HQ₃₋₅, alternative 33

Die maximalen Geschwindigkeiten im Rückdeichungs-bereich zeigt Tabelle 5. Die Werte in Klammern beziehen sich auf die Geschwindigkeiten außerhalb der Flutmulden.

2.7 Einfluss der Flutmulden auf die Strömungsverhältnisse im Rückdeichungs-bereich

Influence of flood channels on flow characteristics in the dike relocation area

Die Flutmulden bewirken eine stärkere Durchströmung des Rückdeichungsbereiches (siehe Bild 18 und Tabelle 5), da das Wasser schneller abgeführt wird.

Der Durchflussanteil des Rückdeichungsgebietes steigt durch die Flutmulden um 2,5% des Gesamtdurchflusses.

Die Strömungsvielfalt, gekennzeichnet durch Variation der Wassertiefen und Geschwindigkeiten, wird durch die Flutmulden vergrößert.

3 Untersuchungen der BAW mit dem 2D-HN-Modell 2004

Studies conducted by the BAW using the 2D-HN model 2004

Ab dem Jahr 2004 wurde die BAW vom Bundesamt für Naturschutz (BfN) um Amtshilfe bei ergänzenden Untersuchungen hinsichtlich der hydraulischen Bemessung der Durchstiche im Gandower (Alter Lenzer) Fährdamm gebeten. Abweichend vom bisherigen Planungszustand sollte der Fährdamm Fußgängern und Radfahrern auch bei höheren Wasserständen das Erreichen des alten Elbe-deiches ermöglichen. Dazu waren die hydraulischen Auswirkungen von im Bereich der Durchstiche und des südlichen Teiles des Fährdammes vorgesehenen Holzstegen bzw. Aufschüttungen zu ermitteln. Da sich im Rahmen der Planung seit den Untersuchungen bis 2002 Veränderungen ergeben hatten, musste die Modellgeometrie für neue Untersuchungen angepasst werden. So waren entsprechend der bisherigen Empfehlungen nur noch sechs Schlitze vorgesehen (siehe Tabelle 6). Der Altdeich sollte nicht mehr als Uferrehne abgesenkt werden, sondern blieb in seiner ursprünglichen Höhe erhalten. Die Variante 1 entsprach

maximale Geschwindigkeiten im Rückdeichungsbereich in m/s	HQ ₁₋₂ = 1.500 m ³ /s	HQ ₃₋₅ = 2.300 m ³ /s	HQ ₂₀₋₂₅ = 3.250 m ³ /s
Variante 33 (mittlere DRV)	0,55 (0,35)	0,7 (0,5)	0,75 (0,6)
Variante 19a (große DRV)	0,25	0,4	0,5

Tabelle 5: Geschwindigkeitsmaxima im Rückdeichungsbereich
 Table 5: Maximum velocities in the dike relocation area

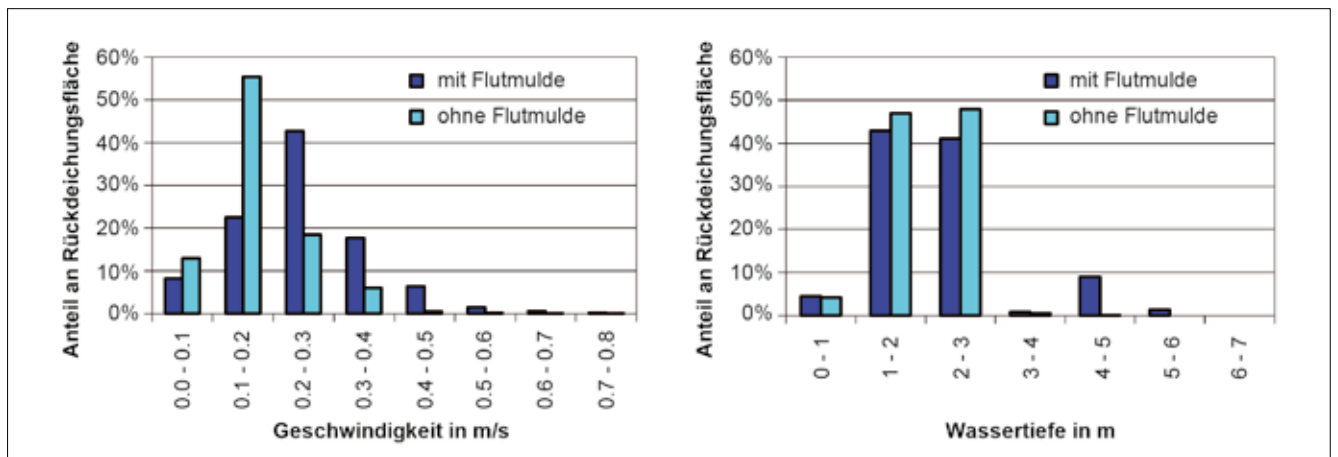


Bild 18: Flächenanteile der Geschwindigkeits- und Wassertiefenklassen im Rückdeichungsbereich bei mittlerer Rückdeichung, HQ₃₋₅

Figure 18: Percentage of the dike relocation area accounted for by velocity and water depth categories for the medium-scale dike relocation scenario, HQ₃₋₅

	2D-HN-Modell 1995 Variante 19, 19a	2D-HN-Modell 2000 Variante 33	2D-HN-Modell 2004 Varianten 1 (1a, 1b, 2, 2a, 2b)	2D-HN-Modell 2009 Variante 0 (-3)
Rückdeichungs- fläche [ha]	große 660	mittlere 420	mittlere 420	mittlere 420
El-km von – bis	475,0 – 485,5	475,0 – 485,5	470,0 – 489,5	470,0 – 489,5
Höhendaten neues Vorland	Topografische Karten 1 : 10 000	Stereo-Befliegung 1996	Stereo-Befliegung 1996	DGM-W 2007
Flutmulden	ohne	mit Flutmulden- Entwurf nach LAGS, 1999	mit Flutmulden und überbrückten Durch- stichen im Fährdamm	mit Flutmulden und Durchstichen im Fährdamm
Altdeich	Altdeich abgetragen, Schlitze 1a, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	Altdeich abgetragen, Schlitze 1a, (3), 4, 5, 6, (7), 8, 9 Gelände in Nähe der Schlitze ggf. auf Schlitzhöhe abge- senkt	Altdeich verbleibt in Höhe, nur geschlitzt 1a,(3),4,5,6,(7),8,9 als Schlitze 1,2,3,4,5,6	Altdeich verbleibt in Höhe, nur geschlitzt (6 Schlitze)
Bewuchs	Wiese/Wald in Pflanzflächen (19a), Wald (19)	Bewuchsprognose 20 Jahre LAGS (LAGS, 1999)	Bewuchsprognose 20 Jahre LAGS (LAGS, 1999)	Bewuchszustand 2009 (Prognosen für den Bewuchszustand 2030 und 2090 von Trägerverbund)
Rechenkern	BCE (stationär), RISMO (instat.) Finite Elemente Verfahren	RISMO Finite Elemente Verfahren	Telemac Finite Elemente Verfahren	UnTRIM Finite Volumen Verfahren
Modellauflösung	grob	fein	fein	sehr fein

Tabelle 6: Beschreibung der 2D-HN-Modelle
Table 6: Description of the 2D HN models

damit weitgehend der im späteren 2D-HN Modell 2009 (siehe Beitrag von Alexy in diesem Heft) beschriebenen Variante. Das Modell wurde für das Rechenprogramm Telemac aufbereitet.

Es wurden verschiedene Varianten mit Brücken und Aufschüttungen des Fährdamms bei $Q = 1.500 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q = 2.300 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q = 3.250 \text{ m}^3/\text{s}$ und $Q = 3.670 \text{ m}^3/\text{s}$ untersucht. Für alle Varianten zeigten sich nur geringfügige Unterschiede hinsichtlich Wasserspiegel und Durchflussaufteilung gegenüber der Variante ohne Fährdammüberbauung. Die Varianten beeinflussten die lokalen Strömungsverhältnisse am Fährdamm selbst, insbesondere die Fließgeschwindigkeiten in den Durchstichen im Fährdamm. Insgesamt zeigten die Abweichungen von der ursprünglichen Bauplanung geringere Auswirkungen auf die Strömungsverhältnisse als durch die Effekte der Vegetationsentwicklung auftreten können (BAW, 2004).

In Bild 19 werden beispielhaft die Durchflussanteile in Deichschlitzen und Fährdammdurchstichen bei einem

1- bis 2 jährlichen Hochwasserereignis mit einem Abfluss von $1.500 \text{ m}^3/\text{s}$ dargestellt (Variante 1 siehe Tabelle 8).

4 Vergleich ausgewählter Modelle und Untersuchungsergebnisse

Comparison of selected models and study results

Da die Untersuchungen in Vorbereitung, begleitend zur Umsetzung und im Nachgang mit verschiedenen 2D-HN-Modellen durchgeführt wurden und werden, beschreiben Tabelle 6 und Tabelle 7 diese Modelle anhand wesentlicher Attribute. Erläuterungen zu den Rechenkernen finden sich in den entsprechenden Originalberichten.

Das hier ebenfalls erwähnte 2D-HN-Modell 2009 (BAW, 2009) wird im Beitrag von Alexy in diesem Heft beschrieben.

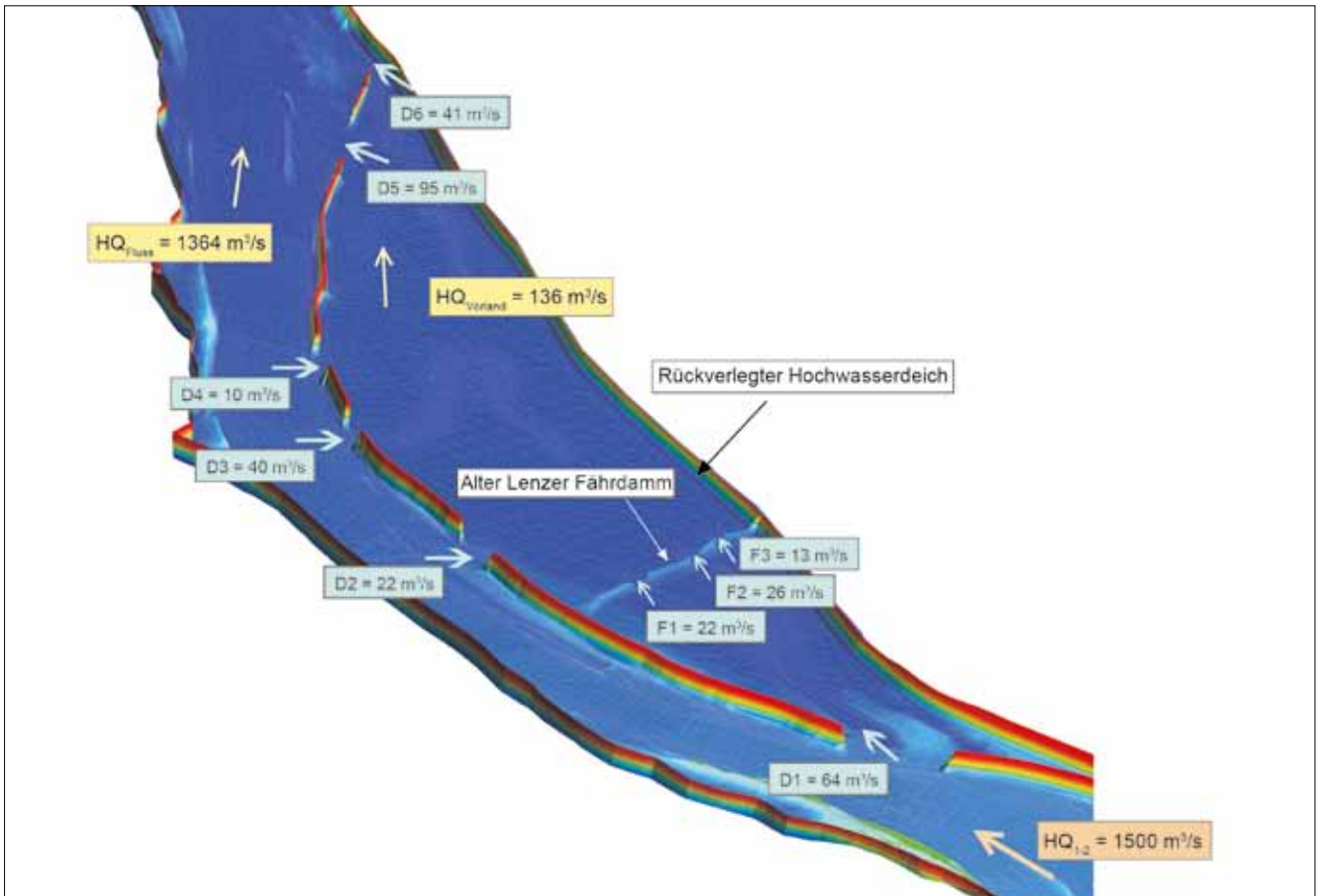


Bild 19: Durchflussaufteilung für Variante 1 bei 1.500 m³/s
 Figure 19: Distribution of flow rate for alternative 1 at 1,500 m³/s

	ausgedeichte Fläche	maximale Fließbreite	mittlere Elementgröße		Elementanzahl
			Rückdeichungs-bereich	Flussschlauch	
2D (1995) Variante 19	660 ha	2,4 km	75 x 85 m	30 x 40 m	13.700
2D (2000) Variante 33	420 ha	1,8 km	20 x 33 m	30 x 40 m	20.300
2D (2004) Variante 1, 2	420 ha	1,8 km	20 x 33 m	30 x 40 m	29.500
2D (2009) Variante 0-3	420 ha	1,8 km	2 x 2 bis 10 x 10 m	2 x 2 m	3,7 Mio.

Tabelle 7: Kenndaten der Modellnetze
 Table 7: Characteristics of model networks

Im Folgenden zeigen die Vergleiche der verschiedenen Varianten unterschiedlicher Modelle die Spannweite der erwarteten Veränderungen.

In Tabelle 8 werden die Anteile des Durchflusses über das neue Vorland am Gesamtdurchfluss für verschiedene Varianten und 2D-HN-Modelle verglichen. Bei allen Varianten wurde eine Vegetation gemischt aus Grünland und Wald (in unterschiedlicher Ausprägung, siehe Tabelle 6) angenommen. Die in Tabelle 8 ff.

angegebenen Jährlichkeiten orientieren sich an den zum Beginn der Untersuchungen verfügbaren Werten.

Bild 20 zeigt die mit verschiedenen Modellen für unterschiedliche Varianten im Verlaufe der Untersuchungen prognostizierten Wasserspiegelabsenkungen. Der Vergleich verdeutlicht die Entwicklung der Varianten, aber auch die verschiedenen Abstraktionen und die sich im Verlaufe der Untersuchungen verbessernde Datenlage. Die in Bild 20 dargestellten Ergebnisse der eindimensi-

Durchfluss im Rückdeichungsbereich als Anteil des Gesamt-Durchflusses	HQ ₁₋₂ 1.500 m ³ /s	HQ ₃₋₅ 2.300 m ³ /s	HQ ₂₀₋₂₅ 3.250 m ³ /s	HQ ₅₀ 3.750 m ³ /s
große Deichvariante 19a, Altdeich abgesenkt, 8 Schlitze, ohne Flutmulden, Rauheit Pflanzflächen 2D (1995)	11,2%	31,8%	43,2%	
mittlere Deichvariante 33, Altdeich abgesenkt, 6 Schlitze, mit Flutmulden, Rauheit nach 20 Jahren 2D (2000)	9,9%	29,1%	38,2%	
mittlere Deichvariante V1, Altdeich in Höhe belassen, 6 Schlitze, mit Flutmulden und Fährdamm- durchstichen, Rauheit nach 20 Jahren 2D (2004)	9,1%	25,4%	35,7%	38,1% (3.670 m ³ /s)
mittlere Deichvariante V1 Altdeich in Höhe belassen, 6 Schlitze, mit Flutmulden und Fährdamm- durchstichen, Rauheit 2009 2D (2009)	11,1%	25,5%	31,6%	33,9%

Tabelle 8: Über das Rückdeichungsgebiet abgeführte Durchflussanteile für verschiedene Varianten und Modelle
 Table 8: Percentage of flow rate routed through the dike relocation area per model and alternative

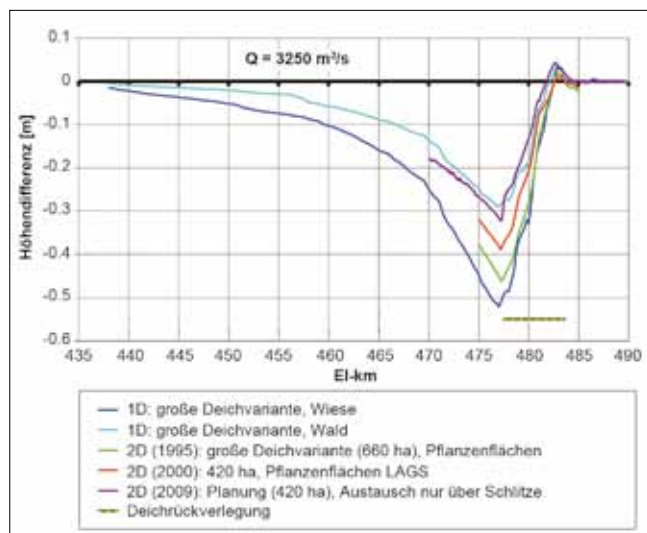


Bild 20: Vergleich von Wasserspiegeldifferenzen entlang der Flussachse mit und ohne Deichrückverlegung für verschiedene Modelle und Varianten

Figure 20: Comparison of different water levels along the stream centerline with and without dike relocation, shown for different models and alternatives

onalen Modelle wurden für die große Deichrückverlegung (ohne Flutmulden) bei vollständiger Beseitigung der Altdeiche ermittelt. Dem neuen Vorland wurde zur Abschätzung der Größenordnungen zum einen die Rauheit von Grünland (Wiese, blaue Linie) und zum anderen von Wald (hellblaue Linie) zugewiesen.

Die 2D-Berechnung für die große Deichrückverlegung sah im neuen Vorland ohne Flutmulden Grünland mit Wald-Pflanzflächen vor (Variante 19a, grüne Linie). Der Altdeich verblieb als abgesenkte Uferrehne mit 8 Schlitzen. Die prognostizierte Wasserspiegelabsenkung lag zwischen den Ergebnissen der eindimensionalen Berechnungen. Die 2D-Berechnungen für die mittlere Deichrückverlegung mit Flutmulden bei abgesenktem Altdeich mit 6 Schlitzen (Variante 33, rote Linie) ergab geringere Wasserspiegelabsenkungen als Variante 19a. Die Berechnungen mit dem 2D-Modell von 2009 für die mittlere Deichrückverlegung mit Flutmulden und Bewuchs 2009 im neuen Vorland zeigten wiederum geringe Wasserspiegelabsenkungen (lila Linie). Einerseits führten Durchstiche im alten Fährdamm zu einer besseren Durchströmung des neuen Vorlandes, andererseits konnte der Wasseraustausch jetzt nur durch die Schlitze stattfinden, da der Altdeich in seiner Höhe belassen wurde. Dadurch verminderte sich der Durchflussanteil des neuen Vorlandes.

In Tabelle 9 sind die maximalen Wasserspiegelabsenkungen für verschiedene Varianten zusammen gestellt. Es ist zu beachten, dass die maximalen Werte bei den verschiedenen Varianten an unterschiedlichen Orten auftreten können. Die Orte der maximalen Wasserspiegelabsenkung variieren ebenfalls mit dem Durchfluss.

Maximale Wasserspiegeldifferenz im Flussbett [cm]	HQ ₁₋₂ 1.500 m ³ /s	HQ ₃₋₅ 2.300 m ³ /s	HQ ₂₀₋₂₅ 3.250 m ³ /s	HQ ₅₀ 3.750 m ³ /s
große Deichvariante 19a 2D (1995)	14	34	47	
mittlere Deichvariante 33 2D (2000)	9	28	39	
mittlere Deichvariante V1 2D (2004) Absenkung bei El-km 477,2	7	24	36	40 (3.670 m ³ /s)
mittlere Deichvariante V1 2D (2009)	13	26	34	36

Tabelle 9: Maximale Wasserspiegeldifferenzen zum Istzustand für verschiedene Varianten und Modelle

Table 9: Maximum differences between water level at present and water levels of different models and alternatives

Anteil am Gesamtdurchfluss [%]	HQ ₃₋₅ 2.300 m ³ /s						HQ ₂₀₋₂₅ 3.250 m ³ /s						HQ ₅₀ 3.750 (3.670) m ³ /s					
	1 (1a)	2 (4)	3 (5)	4 (6)	5 (8)	6 (9)	1	2 (4)	3 (5)	4 (6)	5 (8)	6 (9)	1	2 (4)	3 (5)	4 (6)	5 (8)	6 (9)
Deichschlitznummer neu (alt)																		
mittlere Deichvariante 2D (2000) V33	12	1	4	-4	-7	-5	13	0	4	-1	-6	-5						
mittlere Deichvariante 2D (2004) V1	17	5	3	-4	-16	-5	27	6	2	-7	-22	-7	30	6	2	-7	-24	-7
mittlere Deichvariante 2D (2009) V1	19	3	3	-6	-13	-7	24	5	3	-6	-17	-9	26	5	3	-6	-18	-10

Tabelle 10: Anteile am Gesamtdurchfluss in den Schlitzen für verschiedene Varianten und Modelle

Table 10: Percentage of total flow rate accounted for by the slots in different models and alternatives

Die Durchflussanteile der Schlitze am Gesamtdurchfluss zeigen deutliche Unterschiede in Tabelle 10. Wesentlichen Einfluss hat das Belassen der Altdeiche in voller Höhe bei den Untersuchungen nach 2004 gegenüber denen davor. Da in den früheren Varianten Wasseraustausch zwischen Gewässerbett und neuem Vorland auf der gesamten Deichlänge erfolgen konnte, kam es zu einer gleichmäßigeren Ein- und Ausströmung mit weniger Rückstauwirkungen. Damit zeigen die verworfenen Varianten auch Optimierungspotenziale, wenn an der aktuell umgesetzten Situation Veränderungen gewünscht werden. Um die Unterschiede zwischen Varianten mit abgesenktem Altdeich und in der Höhe belassenem Altdeich (wie letztendlich ausgeführt) aufzuzeigen, können die Varianten 19 und 29 (große Deichrückverlegung siehe u.a. Bild 10) verglichen werden.

5 Fazit *Conclusion*

Der Vergleich der Ergebnisse verschiedener Modellarten zeigt, dass die zu Beginn der Untersuchungen genutzten 1D-HN-Modelle zutreffende Prognosen z. B. hinsichtlich der Wasserspiegel im Gewässerbett liefern. Damit standen Angaben zur Größenordnung der zu erwartenden Veränderungen durch die Maßnahme zur Verfügung. Spezielle Aussagen zur Strömungsausprägung im Vorland und den Schlitzen waren mit den einfachen Modellen selbstverständlich methodisch bedingt nicht möglich.

Die mit dem aerodynamischen Modell vorgenommene Optimierung der Schlitze wurde durch die 2D-HN-Modelle bestätigt und vervollkommen. Der Einsatz von weniger aufwändigen Modellen am Projektbeginn und detaillierten Modellen in der Projektumsetzung hat sich bewährt. Die detaillierten, lokalen Ergebnisse, die aus 2D-HN-Modellen gewonnen werden können, zeigt für das aktuelle 2D-HN-Modell der BAW der Beitrag von

Alexy (in diesem Heft). Da in diesem Modell bisher die Planungsvorgaben eingebaut wurden, bedarf es jetzt, nach der Umsetzung der Maßnahmen, einer erneuten Aktualisierung. Nach Vorliegen der Abschlussmessungen kann dieses Modell auf den tatsächlich ausgeführten Zustand hin im Geländemodell angepasst werden. Darüber hinaus müssen ggf. die Angaben zum aktuellen Bewuchszustand entsprechend der tatsächlichen Vegetationsentwicklung angepasst werden.

Einige Vergleiche von Naturmessungen und Prognosen finden sich für das 2D-HN-Modell 2009 in dem Beitrag von Alexy (in diesem Heft). Zur Gegenüberstellung von Prognosen und Messergebnissen nach der Realisierung der Deichrückverlegung können darüber hinaus die Auswertungen der Naturmessungen im Beitrag von Faulhaber (in diesem Heft) genutzt werden.

Die Vergleiche der Naturmessungen mit den Modellprognosen zeigen, dass die Modelle den künftigen Zustand gut beschreiben. Die konkreten Wirkungen ändern sich mit Modellabstraktionen, Datengüte und Varianten. Die Wirkungen von Maßnahmen können umso exakter prognostiziert werden,

- je genauer die Modelle die maßgebliche Physik beschreiben,
- je umfangreicher erforderliche Naturdaten zur Verfügung stehen, um im Modell Geometrie und Strömung nachzubilden.

Gleichwohl können auch mit einfachen Modellen sinnvolle Ergebnisse zur grundsätzlichen Wirkung erhalten werden. Da in der Regel am Projektbeginn nur wenige Naturdaten zur Verfügung stehen, ist es ausreichend, anfangs einfache Modelle (hoher Abstraktionsgrad) einzusetzen. Mit der besseren Verfügbarkeit detaillierter Naturdaten und einer Konkretisierung der Projektanforderungen können bei Bedarf komplexere Modelle zum Einsatz kommen. Der Untersuchungsablauf bei Lenzen zeigt die Erfolge dieses Vorgehens.

Auch wenn man sich nur auf die Beschreibung des Oberflächenabflusses und den dadurch initiierten Feststofftransport beschränkt, sind mehrere Modellarten erforderlich, da Modelle unterschiedlicher Abstraktionen für verschiedene Phänomene zum Einsatz kommen. Durch die Konzentration auf einzelne Phänomene kann man sich bei den Modellen auf die jeweils wesentlichen

Zusammenhänge beschränken und diese effektiv untersuchen. Deshalb kann es auch dann, wenn bei Projektbeginn detaillierte Naturdaten zur Verfügung stehen, sinnvoll sein, mehrere Modellarten einzusetzen.

6 Literaturverzeichnis *References*

Alexy, M. (2013): Numerische Modelluntersuchungen zu den Auswirkungen der Deichrückverlegung Lenzen und von geplanten Vorlandanpflanzungen. In: BAW-Mitteilungen, Nr. 97, 2013, S. 73 – 98.

Bleyel, B: (2001): Zweidimensionales hydraulisch-numerisches Modell „Lenzen“. In: Wasserwirtschaft Wassertechnik, Nr. 8, 2001, S. 24 – 28.

Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) (1997): Gutachten über hydraulische Untersuchungen der Rückdeichung Lenzen. Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, Berlin, 1997 (unveröffentlicht).

Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) (2000): Untersuchungen der Auswirkungen von Maßnahmen im Elbevorland auf die Strömungssituation und die Flussmorphologie am Beispiel der Erosionsstrecke der Elbe und der Rückdeichungsbereiche zwischen Wittenberge und Lenzen. Schlussbericht, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, November 2000, (FKZ0339575 in elise.bafg.de).

Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) (2002): Gutachten über die Untersuchung der Rückdeichung bei Lenzen mit einem zweidimensional-hydrodynamisch numerischen Modell. Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, 2002 (unveröffentlicht).

Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) (2004): Deichrückverlegung bei Lenzen – Hydraulische Bemessung von Durchstichen im Gandower Fährdamm. Im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, 2004 (3.02.10093.00, unveröffentlicht).

Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) (2009): Deichrückverlegung an der Elbe bei Lenzen – Auswirkung der Querschnittsaufweitung sowie geplanter Vorlandanpflanzungen auf die Hochwasserlagen. Im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, 2009 (3.02.10121-01, unveröffentlicht).

Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) (1995): Forschungskonzeption „Ökologische Forschung in der Stromlandschaft Elbe (Elbe-Ökologie)“, Bonn 1995.

Faulhaber, P. (1997): Hydraulisch-morphologische Untersuchung von Rückdeichungen bei Lenzen (Elbe) (Auszug). In: Auenreport – Beiträge aus dem Naturpark „Brandenburgische Elbtalau“ 3/1997, Landesanstalt für Großschutzgebiete, Rühstätt, S. 66 – 81.

Faulhaber, P. (2007): Neue Methoden der aerodynamischen Modellierung flussbaulicher Fragestellungen. In: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau, Nr. 90, 2007, S. 47 – 74.

Faulhaber, P. (2013): Zusammenschau und Analyse von Naturmessdaten In: BAW-Mitteilungen, Nr. 97, 2013, S. 109 – 134.

Hack, A. (1996): Untersuchung einer Deichrückverlegung an der Elbe zwischen der Havelmündung (El-km 438) und Gorleben (El-km 495) mit Hilfe eines eindimensionalen hydronumerischen Feststofftransportmodells. Universität Gesamthochschule Paderborn, Abt. Höxter, Fachbereich 8, Technischer Umweltschutz, Diplomarbeit angefertigt an der BAW, Außenstelle Berlin, Berlin 1996.

Ingenieurbüro Schwerin (IBS) (1995): Konzept zum Variantenvorschlag im Rahmen der Umweltverträglichkeitsstudie, Rekonstruktion rechter Elbedeich von Fährstraße Wootz bis Hafen Wittenberge, 12. Juli 1995.

Landesanstalt für Großschutzgebiete des Landes Brandenburg (LAGS) (1999): Verbundprojekt „Auenregeneration durch Deichrückverlegung“. In: „Dynamik und Interaktion von Fluss und Aue, Fachtagung Elbe, Forschungsverbund „Elbeökologie“, Mai 1999, Universität Karlsruhe, Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik, Karlsruhe (Hrsg.), 1999.

Montenegro, H.: Untersuchung des Wirkungszusammenhangs zwischen Abflusssdynamik und Grundwasser. In: BAW-Mitteilungen, Nr. 97, 2013, S. 135 – 148.

Reinpold, F. (1996): Untersuchung einer Deichrückverlegung zwischen Lütkenwisch und Lenzen. Vertiefungsarbeit (Universität Karlsruhe) an der Bundesanstalt für Wasserbau, Außenstelle Berlin, Karlsruhe, 1996.

Tscherner, C. (1997): Untersuchung des Wellenablaufs der Elbe zwischen Gnevsdorf und Gorleben für den Istzustand und für Veränderungen durch Deichrückverlegungen mit Hilfe eines eindimensionalen instationären hydrodynamisch-numerischen Modells. Universität GH Paderborn, Abteilung Höxter, Technischer Umweltschutz, Diplomarbeit angefertigt in der BAW, Außenstelle Berlin, 1997.

UTAG-Consulting GmbH, Ingenieurbüro Wasser und Umwelt (1993): Deichtrassenstudie zur Deichrückverlegung zwischen Lenzen/Elbtalau und Wustrow. 4. Ausführung, Wittenberge, 19. November 1993.

Numerische Modelluntersuchungen zu den Auswirkungen der Deichrückverlegung Lenzen und von geplanten Vorlandanpflanzungen

Numerical Model Tests to Evaluate the Impact of the Lenzen Dike Relocation and of Projected Floodplain Planting Areas

Dipl.-Ing. Matthias Alexy, Bundesanstalt für Wasserbau

Bei der Ausführung der Deichrückverlegung Lenzen-Wustrow hatten sich gegenüber der den früheren Untersuchungen der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) zugrunde liegenden Planung einige Änderungen ergeben. So wurden der Verlauf des um 70 cm erhöhten Hochwasserdeiches verändert und die Flutrinnen im Vorland verkleinert. Außerdem ist die Lage und Struktur der Auwaldpflanzungen im Rückdeichungsgebiet modifiziert worden. Deshalb bat das Bundesamt für Naturschutz (BfN) im November 2006 um Amtshilfe bei der Untersuchung der hydraulischen Auswirkungen der nunmehr unter geänderten Randbedingungen ausgeführten Deichrückverlegung.

Die Untersuchungen wurden mit dem hydronumerischen Verfahren UnTRIM durchgeführt. Wegen der in den hier speziell zu untersuchenden Vorland- bzw. Rückdeichungsbereichen vernachlässigbaren Sekundärströmungseffekte kam ein 2D-tiefengemitteltes Modell zum Einsatz.

Durch die Vergrößerung der Abflussflächen kommt es infolge der Deichrückverlegung bei Hochwasserereignissen zu einer deutlichen Absenkung der Wasserspiegellagen, welche für ein 100-jährliches Hochwasser am ersten Einlaufschlitz (El-km 477) 0,35 m beträgt. Am unterstromigen Rand des Deichrückverlegungsgebietes ergibt sich gegenüber dem Zustand ohne rückverlegten Hochwasserdeich ein Wasserspiegelanstieg von maximal 0,06 m im Bereich El-km 483.

Unter der Annahme einer im Jahr 2090 voll entwickelten Vegetation kommt es bei einem 100-jährlichen Hochwasser zu einer maximalen Wasserspiegelanhebung im oberstromigen Bereich des Rückdeichungsgebietes in der Größenordnung von etwa 0,12 m gegenüber dem Bewuchszustand 2009. Damit liegt der Wasserspiegel

dann immer noch bis zu ca. 0,25 m unter dem Wasserspiegel für den Zustand ohne die Rückdeichung.

When the Lenzen-Wustrow dike relocation was carried out, the original planning data on which the former investigations by the Federal Waterways Engineering and Research Institute (BAW) had been based were subject to some modifications. For instance, the course of the dike whose height is increased by 70 cm has been altered and the size of the flood channels in the floodplain has been reduced. The changes also affect the location and structure of the floodplain forests planted in the dike relocation area. For this reason, the Federal Agency for Nature Conservation (BfN) requested the assistance by another administration in 2006 when it had to assess the hydraulic impact of the dike relocation under the new boundary conditions.

The investigations were made using the hydrodynamic numerical UnTRIM model. There are only minor secondary flow effects in the floodplain and dike relocation areas which are specifically examined here and therefore a two-dimensional depth-averaged model was used.

As a result of the dike relocation there is a clear decrease of water levels during floods because of the enlarged area available for water runoff: for a 100-year flood, the water level at the first slot (Elbe kilometer 477) decreases by 0.35 m. On the downstream boundary of the dike relocation area the water level increase in the zone of Elbe kilometer 483 is 0.06 m at maximum as compared to a scenario where the location of the dike remains unchanged.

Assuming that the vegetation planted will be fully established by the year 2090, a 100-year flood will lead to a water level increase in the upstream part of the dike

relocation area of at most 0.12 m as compared to the growth state in 2009. Thus, the water level will still be up to approx. 0.25 m below that observed prior to the dike relocation.

1 Einführung Introduction

Seit 1995 begleitete die BAW die Planungen und die Umsetzung der Deichrückverlegung Lenzen mit verschiedenen Modelluntersuchungen. Ziel war das Aufzeigen der regionalen Wirkungen der Deichrückverlegung auf Wasserspiegel, Wellenablauf und Feststofftransport sowie der lokalen Wirkungen hinsichtlich Strömungsausprägung, Geschiebetransport und die Bereitstellung von Daten zur Ableitung von Habitatbedingungen.

Mit dem hier vorgestellten Modell wurden die hydraulischen Auswirkungen der Deichrückverlegung unter Berücksichtigung der gegenüber den vorhergehenden Planungszuständen vorgenommenen Änderungen untersucht. Außerdem war der Einfluss der sich im Deichrückverlegungsgebiet entwickelnden Vegetation auf die Strömungsverhältnisse Gegenstand der Untersuchungen. Weiterhin wurden mit dem Modell im Rahmen des KLIMZUG-Nord-Projektes 3.2 Szenarienrechnungen zum Einfluss klimabedingter Abfluss- und Vegetationsänderungen auf die Wasserstände in der Elbe durchgeführt.

2 Datengrundlage Data basis

Die Modellgeometrie basiert auf dem im Jahr 2004 von der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) beauftragten und im Jahr 2007 zur Nutzung übergebenen digitalen Geländemodell des Wasserlaufes (DGM-W) (BfG, 2008). Das digitale Geländemodell liegt für den untersuchten Elbeabschnitt (El-km 470-489,5) in einem 2 m-Raster (Tripeldaten) im Gauss-Krüger-System 42/83 (Ellipsoid Krassowski, Projektion GK4) vor.

Für die Modellierung des Rückdeichungsgebietes sind folgende Daten verwendet worden:

- Unstrukturierte Tripeldaten für das Rückdeichungsgebiet ohne die Flutmulden aus BfG (2008),

- Topografie der Flutmulden Ost, Mitte und West entsprechend aktualisierter Planungen,
- Topografie der drei Durchstiche im Gandower Fährdamm entsprechend aktualisierter Planungen,
- Lage und Größe der im bestehenden Deich vorgesehenen Schlitze entsprechend aktualisierter Planungen.

Die Daten für das Rückdeichungsgebiet liegen im Bezugssystem ETRS 89 (Ellipsoid WGS 84, Projektion UTM Zone 33) sowie im Höhensystem DHHN 92 (Deutsches Haupthöhennetz 92) vor.

Zur Berücksichtigung des durch die bestehenden und geplanten Pflanzungen hervorgerufenen Fließwiderstandes war es erforderlich, die Lage und Struktur des Auwaldes zu kennen. Der bestehende Pflanzenbestand konnte durch die aus dem Jahr 2003 stammenden Luftbilder sowie im Rückdeichungsbereich auch durch Umfassungspolygone (ESRI-Shape-Dateien) des Projektträgers (Trägerverbund Burg Lenzen (Elbe) e. V., 2009) identifiziert werden. Außerdem enthalten diese ESRI-Shape-Dateien Polygonzüge, welche die Lage der im Rückdeichungsgebiet geplanten Auwaldpflanzungen beschreiben.

Im Lütkenwischer und Mödlicher Werder, welche sich ober- bzw. unterstrom der Deichrückverlegung befinden, sind lineare Galeriewaldpflanzungen auf der Uferrehne und deichnahe Auwaldpflanzungen („Deichschutzpflanzungen“) geplant. In der landschaftlich bedeutenden Solitäreichenlandschaft im Mödlicher Werder sind außerdem verstreute Baumgruppen vorgesehen. Angaben zur Lage und Struktur dieser Pflanzungen wurden ebenfalls durch den Projektträger übermittelt.

Alle Umfassungspolygone zur Lagebeschreibung der bestehenden und geplanten Auwaldpflanzungen lagen im Bezugssystem ETRS 89 (Ellipsoid WGS 84, Projektion UTM Zone 33) vor.

Tabelle 1 zeigt die von der BfG zur Verfügung gestellten Hauptwerte der Jahresreihe 1971-2000 sowie die vorläufigen Hochwasser-Hauptwerte (Wiederkehrintervalle) HQ(T) (Bundesländer, 2004) für den Pegel Wittenberge/Elbe. Für die Hochwasser-Hauptwerte existieren jeweils zwei verschiedene Werte der Bundesländer Brandenburg und Sachsen-Anhalt. Für die Varianten-

Hauptwerte (1971-2000)	NQ	MNQ	MQ	MHQ	HQ	HHQ	
Q [m ³ /s]	195	296	689	1.891	3.280	3.830	
Hochwasser-Hauptwerte	HQ2	HQ5	HQ10	HQ20	HQ50	HQ100	HQ200
Q [m ³ /s]	1.860	2.560	2.940	3.320	3.710	4.020	4.290

Tabelle 1: Hauptwerte der Jahresreihe 1971-2000 und vorläufige Hochwasser-Hauptwerte des Landes Sachsen-Anhalt für den Pegel Wittenberge/Elbe

Table 1: Main values for the annual series 1971-2000 and preliminary main values for floods in the state of Saxony-Anhalt for the Wittenberge/Elbe gage

rechnungen wurden die ebenfalls in Tabelle 1 aufgeführten Abflussangaben des Landes Sachsen-Anhalt gewählt, welche 20 m³/s bis 30 m³/s höher als die des Landes Brandenburg liegen.

Alle für die Kalibrierung und Validierung verwendeten, insgesamt neun Wasserspiegelfixierungen sind in Bild 1 mit den für die Rechnungen genutzten Abflusszuordnungen dargestellt.

Die bei geringen Abflüssen gemessenen Wasserstände werden durch die zum Zeitpunkt der Fixierung vorhandene Sohlentopografie beeinflusst. Durch langfristige morphologische Entwicklungen und die unmittelbare

hydrologische Vorgeschichte können so bei gleichen oder ähnlichen Abflusswerten mehr oder weniger stark voneinander abweichende Wasserspiegellagen gemessen werden. Deshalb wurden zur Modellkalibrierung und -validierung möglichst aktuelle Fixierungen herangezogen. Gleichwohl passen die Fixierungen bei Hochwasser nicht zur im Modell eingebauten Sohlengeometrie, die bei niedrigen Wasserständen aufgenommen wurde. Hier ist jeweils ein Kompromiss erforderlich, sodass sich daraus ergebende Ungenauigkeiten durch die Kalibrierung aufgefangen werden müssen.

Bei Hochwasserereignissen herrschen in der Regel ausgeprägte instationäre Strömungsverhältnisse. Es

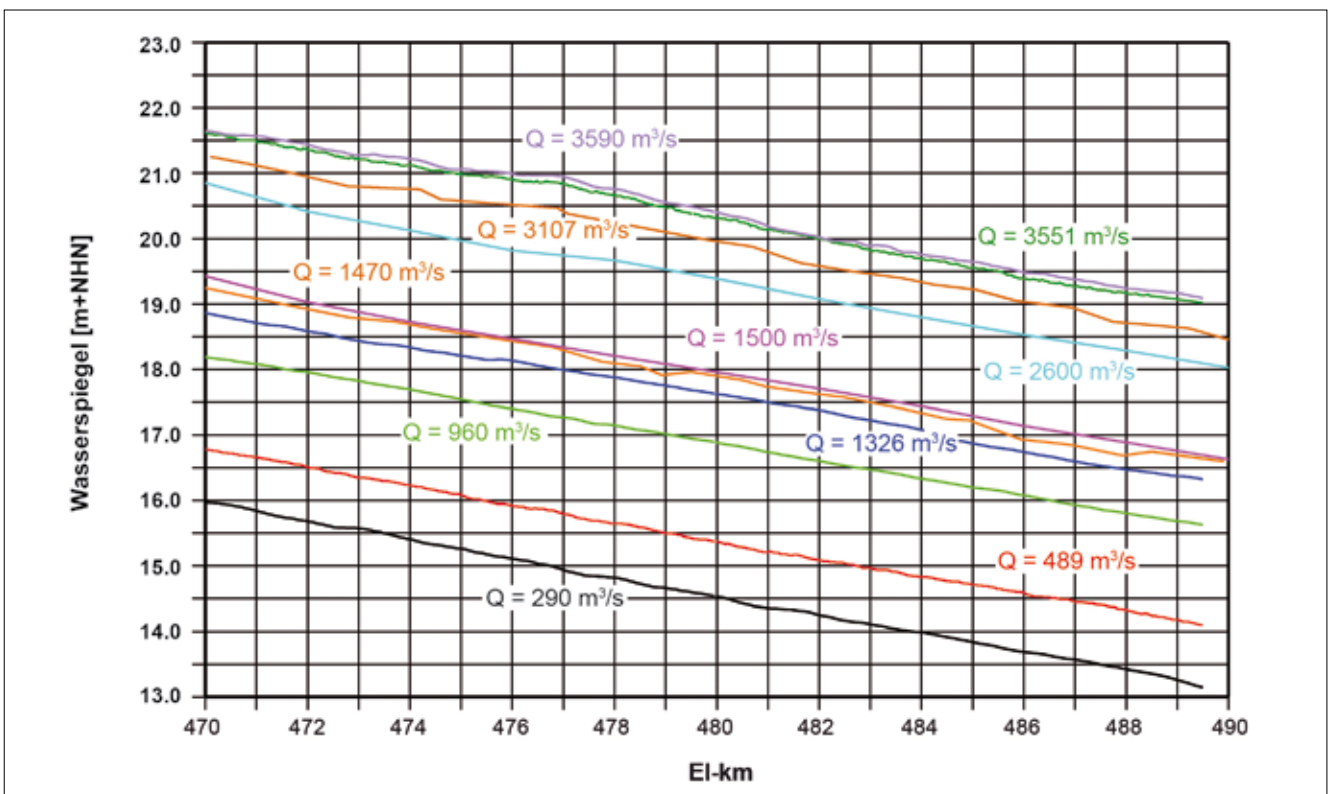


Bild 1: Für die Kalibrierung und Validierung des Modells verwendete Fixierungen

Figure 1: Water surface levelling used for the calibration and validation of the model

läuft eine Hochwasserwelle ab. Die Abflüsse weichen deshalb zum Zeitpunkt der Fixierung an verschiedenen Stellen der Untersuchungsstrecke unter Umständen erheblich voneinander ab. Da das Modell unter stationären Abflussverhältnissen betrieben wird, wurden deshalb Hochwasser-Fixierungen gewählt, die relativ geringe Abflussschwankungen aufweisen. Weiterhin ist zu beachten, dass die Abflussmessungen bei Hochwasser eine höhere Ungenauigkeit aufweisen können.

3 Zweidimensionales tiefengemittelttes hydronumerisches Modell

Two-dimensional depth-averaged hydrodynamic numerical model

3.1 Modellverfahren und -aufbau

Method and structure of the model

Zur Anwendung kommt das hydronumerische Verfahren UnTRIM, welches in der BAW seit April 2007 in einer MPI-parallelierten Version vorliegt (Casulli & Zanolli, 2002; Jankowski, 2009). UnTRIM ist ein semi-implizites Finite-Volumen-Verfahren zur Lösung der 3D-Flachwasser- und Transportgleichungen, welches auf einem unstrukturierten Gitter arbeitet. In den hier speziell zu untersuchenden Vorland- bzw. Rückdeichungsbereichen ist der Einfluss von Sekundärströmungseffekten vernachlässigbar, sodass der Ansatz einer gleichförmigen vertikalen Geschwindigkeitsverteilung gerechtfertigt ist. Deshalb und weil es sich um ein relativ großes, hoch aufgelöstes Modell mit einem entsprechenden Rechenzeit- und Speicherplatzbedarf handelt, kommt ein 2D-tiefengemittelttes Modell zum Einsatz.

Der Aufbau des Rechengitters von El-km 470 bis 489,5 erfolgte im Auftrag der BAW durch die Firma Smile Consult auf der Basis der weiter oben dargestellten Datengrundlage (Smile Consult, 2009).

Es wurden insgesamt zwei hoch aufgelöste Gitternetze erstellt. Das erste bildet den Ist-Zustand mit dem derzeitigen Deichlinienverlauf ab. Das zweite Rechengitter stellt den Ausbau-Zustand mit dem rückverlegten Hochwasserdeich, den Flutrinnen im Vorlandbereich, den Durchstichen im Gandower Fährdamm sowie den Schlitzen im Altdeich dar. Das beim Schlitzen des Altdeiches angefallene Material wurde an der Binnen-

seite des bisherigen Hochwasserdeiches angeschüttet. Da dieser Bereich zum Zeitpunkt der Projektbearbeitung noch nicht vermessen war, konnten diese Anschüttungen bei den Modellrechnungen nicht berücksichtigt werden.

Die Abbildung kleinerer Strukturen wie der Bühnenkörper erfolgte durch die Verwendung einer hohen Gitterauflösung im Bereich des Flussbettes (Viereckselemente mit 2 m Kantenlänge), sodass die hydraulische Wirkung der Bühnen erfasst wird, ohne dass die Elementkanten gezielt auf die Bauwerksgeometrie ausgerichtet werden mussten. Auch im Vorland wurde in Hinblick auf eine effizientere Gitternetzgenerierung auf die Ausrichtung der Gitterkanten auf Geländestrukturen weitgehend verzichtet. Um die hydraulische Wirkung der Flutrinnen, Durchstiche und Deichschlitze trotzdem zu erfassen, wurden auch in diesen Bereichen Viereckelemente mit einer Kantenlänge von 2 m eingebaut.

Bild 2 zeigt das Rückdeichungsgebiet (El-km 476,7 bis 483,7) als Ausschnitt aus dem Gesamtmodell. Neben den sechs im bisherigen Hochwasserdeich angeordneten Schlitzen ist der quer durch das Rückdeichungsgebiet verlaufende Gandower Fährdamm zu sehen. Insgesamt drei Durchstiche (FD1 bis FD3) sorgen dafür, dass dieser Damm im Hochwasserfall ausreichend Wasser passieren lässt. Neben der östlichen Flutmulde, welche den Anschluss der mittleren und südlichen Fährdamm-Durchstiche an den oberstromigen Deichschlitz DS1 gewährleistet, wurden zur Verbesserung der Abflussverhältnisse im Rückdeichungsgebiet drei weitere Flutmulden angelegt.

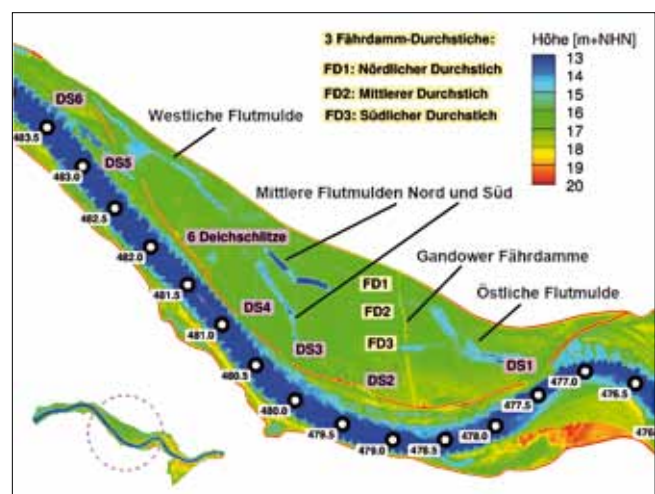


Bild 2: Überblick über das Rückdeichungsgebiet
 Figure 2: Overview of the dike relocation area

3.2 Kalibrierung und Validierung des Modells für den Zustand vor der Deichrückverlegung

Calibration and validation of the model for the state before the dike relocation

Die Kalibrierung des Modells erfolgte auf der Grundlage von fünf ausgewählten Wasserspiegelfixierungen (290 m³/s, 489 m³/s, 960 m³/s, 1.500 m³/s und 3.670 m³/s), welche auch in Bild 1 dargestellt sind. Beginnend mit den niedrigen Abflüssen wurden zunächst die Rauheitswerte k_s [m] (nach Nikuradse) für den Flussschlauch, die Uferbereiche und schließlich für die Vorländer festgelegt. Diese Rauheitswerte beinhalten neben der Kornrauheit auch die sogenannte Formrauheit. Die Kornrauheit wird durch die Oberflächenreibung an der Gerinnewandung verursacht und lässt sich mit einer repräsentativen Länge eines Rauheitselementes (z. B. Sohlenkorndurchmesser) relativ gut korrelieren. Die Formrauheit wird durch Unregelmäßigkeiten der Gerinnewandung hervorgerufen. Sie wird z.B. verursacht durch im Gewässerbett auftretende Sohlenformen (Sandbänke, Dünen, Riffel) oder den Pflanzenbewuchs auf den Vorländern. Soweit diese Unregelmäßigkeiten nicht durch die Modelltopografie abgebildet werden bzw. die Auswirkungen dieser Unregelmäßigkeiten durch das gewählte Modellverfah-

ren (z.B. Einschränkungen durch Tiefenmittelung) nicht zu erfassen sind, müssen die dadurch bedingten Fließwiderstände durch eine Anpassung der Rauheitswerte Berücksichtigung finden. Das betrifft im vorliegenden Modell insbesondere den Bewuchs auf den Vorländern. Hier wurde auf Erfahrungswerte aus der Literatur zurückgegriffen. Tabelle 2 (siehe Folgeseite) zeigt eine entsprechende Zusammenstellung von Rauheitswerten nach Habersack (2007/2008).

Dabei erfolgte die Umrechnung der Strickler-Werte (k_{st}) in die für die Modellrechnungen erforderlichen Rauheitswerte nach Nikuradse (k_s) über die folgende Formel:

$$k_s = \frac{14,84 \cdot h}{10^{\left(\frac{k_{st} \cdot h^{1/6}}{17,72}\right)}} \quad [m] \quad (1)$$

mit: h – Wassertiefe [m]

Beginnend mit den bei niedrigen und mittleren Abflüssen durchgeführten Wasserspiegelfixierungen wurden Rauheiten für das Flussbett und die Uferbereiche festgelegt. Der in Bild 3 dargestellte Vergleich zwischen den gemessenen und berechneten Wasserspiegeln zeigt eine gute Übereinstimmung (Abweichung < 10 cm) für diesen Abflussbereich.

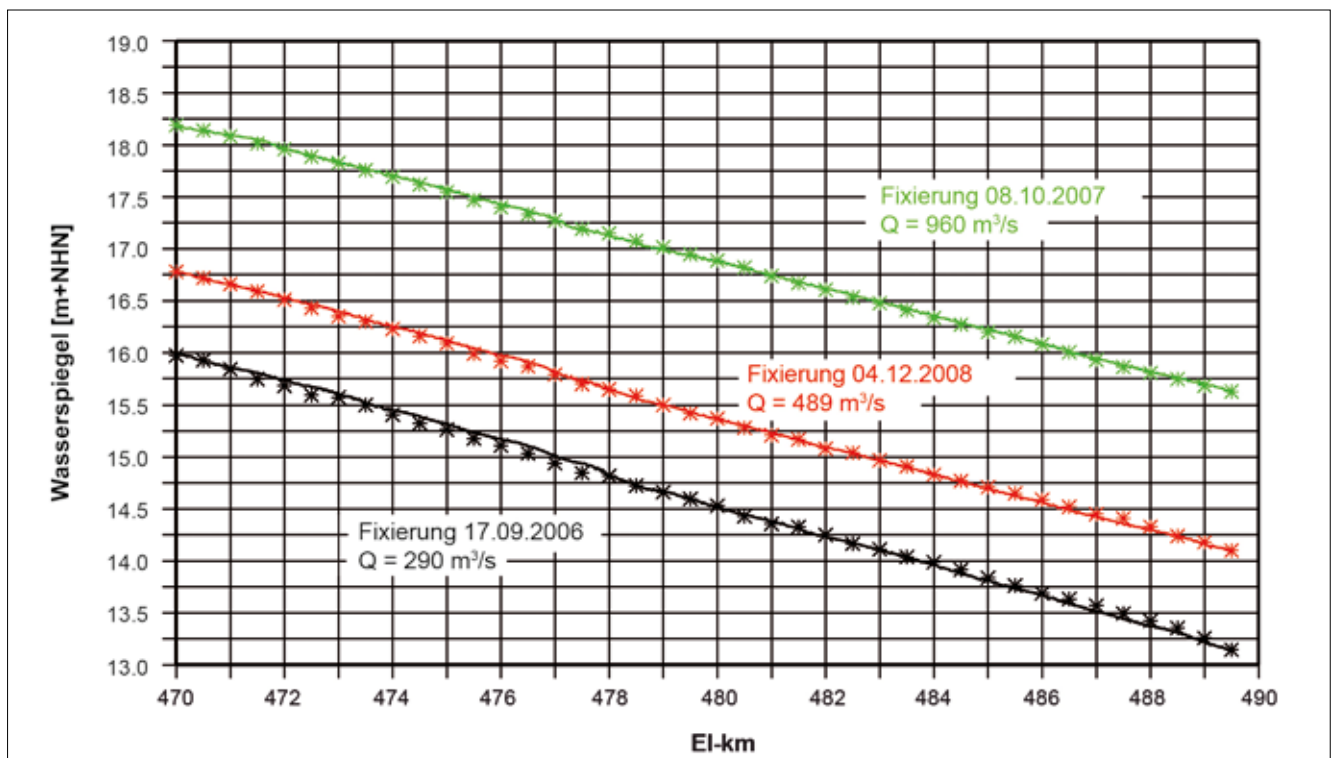


Bild 3: Modellkalibrierung für den Mittel- und Niedrigwasserbereich
 Figure 3: Model calibration for mean and low water levels

		Mittelwert	h = 1 m	h = 2 m	h = 3 m
1	Hauptabflussquerschnitt	$k_{st} [m^{1/3}/s]$	$k_s [m]$	$k_s [m]$	$k_s [m]$
a.	gerade, gering strukturiert, keine Kolke	33	0,20	0,24	0,26
b.	wie a., jedoch höherer Grobsteinanteil und/oder Verkräutung	29	0,34	0,43	0,48
c.	gewunden, gering strukturiert, einige Kolke und Furte	25	0,58	0,77	0,90
d.	wie c., jedoch höherer Grobsteinanteil und/oder Verkräutung	22	0,85	1,20	1,44
e.	wie d., geringere Wassertiefen, mehr unwirksame Abflussbereiche	21	0,97	1,39	1,68
f.	wie d., jedoch sehr hoher Grobsteinanteil	20	1,10	1,61	1,96
g.	sehr langsam fließende Bereiche, verkräutet, tiefe Kolke	14	2,41	3,85	5,01
h.	sehr starke Verkräutung, Kolke, Flutmulden mit dichtem Bewuchs	10	4,05	6,90	9,35
2	Vorländer				
a.	Wiese, Acker				
a1.	kurzes Gras, Acker ohne Bewuchs	30	0,30	0,37	0,41
a2.	hohes Gras	20	1,10	1,61	1,96
	Gras mit Stauden	23	0,75	1,04	1,23
b.	Landwirtschaftlich genutzte Flächen				
b1.	keine Feldfrucht	33	0,20	0,24	0,26
b2.	reifes Getreide (Reihensaat)	20	1,10	1,61	1,96
b3.	reifes Getreide (flächig)	18	1,43	2,15	2,68
b4.	Mais	6	6,81	12,37	17,45
c.	Gebüsch				
c1.	vereinzelt, starke Krautschicht	20	1,10	1,61	1,96
c2.	Gebüsch geringer Dichte, im Winter	15	2,11	3,33	4,29
c3.	Gebüsch geringer Dichte, im Sommer	12	3,12	5,16	6,84
c4.	Gebüsch mittlerer bis hoher Dichte, im Winter	10	4,05	6,90	9,35
c5.	Gebüsch mittlerer bis hoher Dichte, im Sommer	8	5,25	9,24	12,78
d.	Bäume				
d1.	Kahlschlag	25	0,58	0,77	0,90
d2.	Kahlschlag mit starkem Wurzelaustrieb	17	1,63	2,49	3,14
d3.	dichter Wald, wenig umgestürzte Bäume	10	4,05	6,90	9,35
d4.	wie d3., jedoch Abfluss bis in Asthöhe	8	5,25	9,24	12,78
d5.	dichte Weiden, Sommer, gerade	7	5,98	10,69	14,93

Tabelle 2: Rauheitswerte für natürliche Fließgewässer nach Habersack (2007/2008)

Table 2: Roughness coefficients for natural watercourses according to Habersack

Zur Festlegung der Rauheitszonen für die Vorlandbereiche wurden die bestehenden Bewuchsstrukturen anhand von Luftbildern identifiziert. Die im Deichrückverlegungsgebiet bis 2002 erfolgten sowie die geplanten Pflanzungen sind ebenfalls mit Hilfe von Luftbildauf-

nahmen sowie durch vom Projektträger zur Verfügung gestellte Umfassungspolygone (Trägerverbund Burg Lenzen (Elbe) e. V., 2009) im Modell markiert worden. Weiterhin konnten vom Projektträger Angaben zur Lage und Struktur der im Lütkenwischer und Mödlicher Wer-

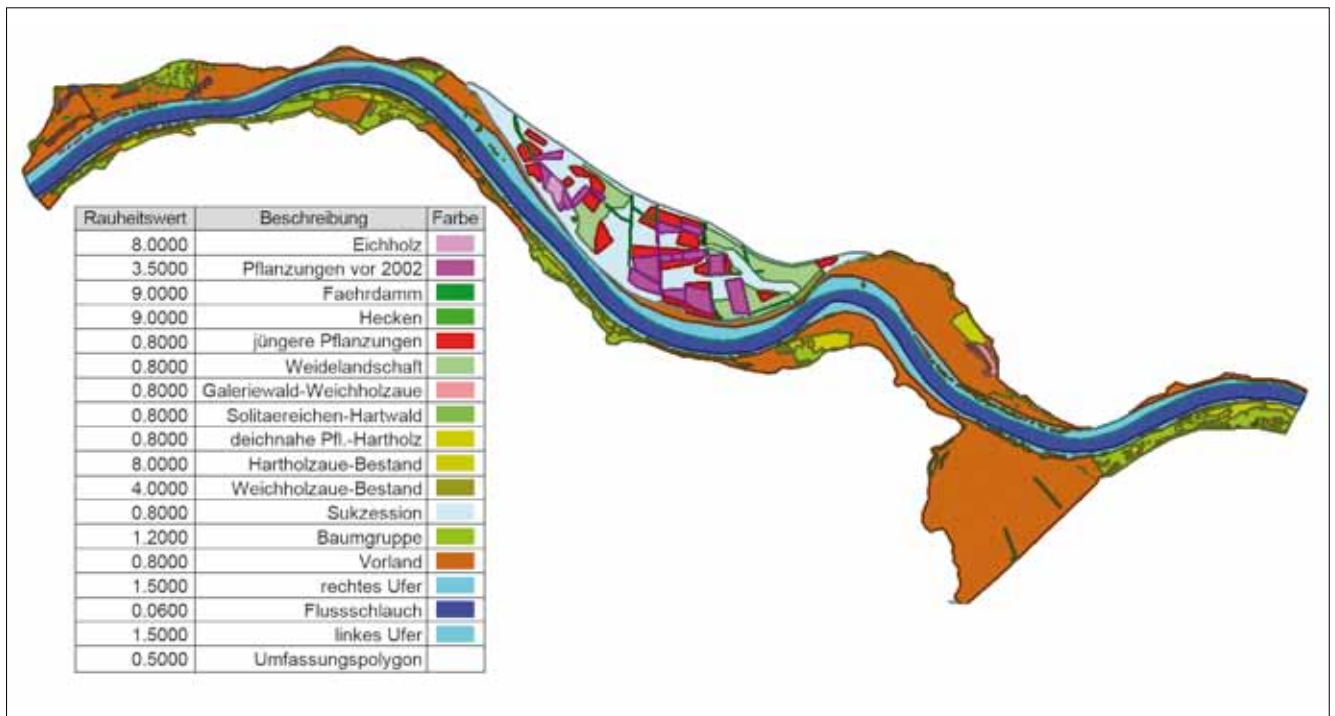


Bild 4: Im hydronumerischen Modell definierte Rauheitszonen und zugeordnete Rauheitswerte [m]
 Figure 4: Roughness zones defined in the hydrodynamic numerical model and associated roughness coefficients [m]

der vorgesehenen Pflanzungen zur Verfügung gestellt werden. Bild 4 zeigt einen Überblick über die im Modell definierten Rauheitszonen für den aktuellen Bewuchsstand.

Auf der Grundlage der Rauheitswerte erfolgte die Modellkalibrierung für ausufernde Wasserstände. Dabei blieben die im Zuge der Mittel- und Niedrigwasserkalibrierung festgelegten Rauheitswerte für das Flussbett und die Uferbereiche unverändert. Keine Berücksichtigung fand bei den Berechnungen natürlich das zum Zeitpunkt der Fixierungen nicht vorhandene und damit nicht abflusswirksame Deichrückverlegungsgebiet.

Der in Bild 5 dargestellte Vergleich zwischen den berechneten und den gemessenen Wasserspiegellagen zeigt auch für den Hochwasserbereich eine gute Übereinstimmung. Die maximalen Abweichungen liegen im 10 cm-Bereich.

Zu beachten ist bei diesen Berechnungen, dass bei überströmten Vorländern die jahreszeitliche Ausprägung der Vegetation, welche im Modell nicht berücksichtigt wurde, einen starken Einfluss auf die Hochwasserspiegellagen und speziell im Deichrückverlegungsgebiet auch auf die Ein- und Ausströmvorgänge hat.

Am Modelleinlauf liegen die für Hochwasserabflüsse berechneten Wasserspiegel regelmäßig unter den Fixierungswasserständen. Ursache ist die durch das Modellverfahren vorgegebene gleichmäßige Verteilung des zuströmenden Wassers auf den gesamten Querschnitt. Dadurch strömt am oberstromigen Rand des Modells zunächst zuviel Wasser über die Vorländer und zuwenig durch den Flussschlauch, wodurch in Strommitte ein zu niedriger Wasserspiegel berechnet wird. Nach einigen hundert Metern stellt sich durch das in den Flussschlauch zurückströmende Wasser ein gleichmäßiges Strömungsprofil ein und der Wasserspiegel im Flussschlauch steigt auf einen realen Wert an. Dieser Effekt tritt am stärksten bei gerade ausufernden Abflüssen auf und nimmt mit zunehmendem Wasserstand wieder ab. In solchen An- und Abströmbereichen werden die Modellergebnisse nicht bewertet.

Zur Validierung dieses über das gesamte Abflussspektrum geeichten Modells wurden weitere, nicht für die Kalibrierung verwendete Abflussereignisse nachgerechnet. Der in Bild 6 dargestellte Vergleich zwischen den berechneten und den gemessenen Wasserspiegellagen zeigt auch hier eine gute Übereinstimmung. Alle Fixierungen lagen zeitlich vor der Ende 2009 vollendeten Deichrückverlegung.

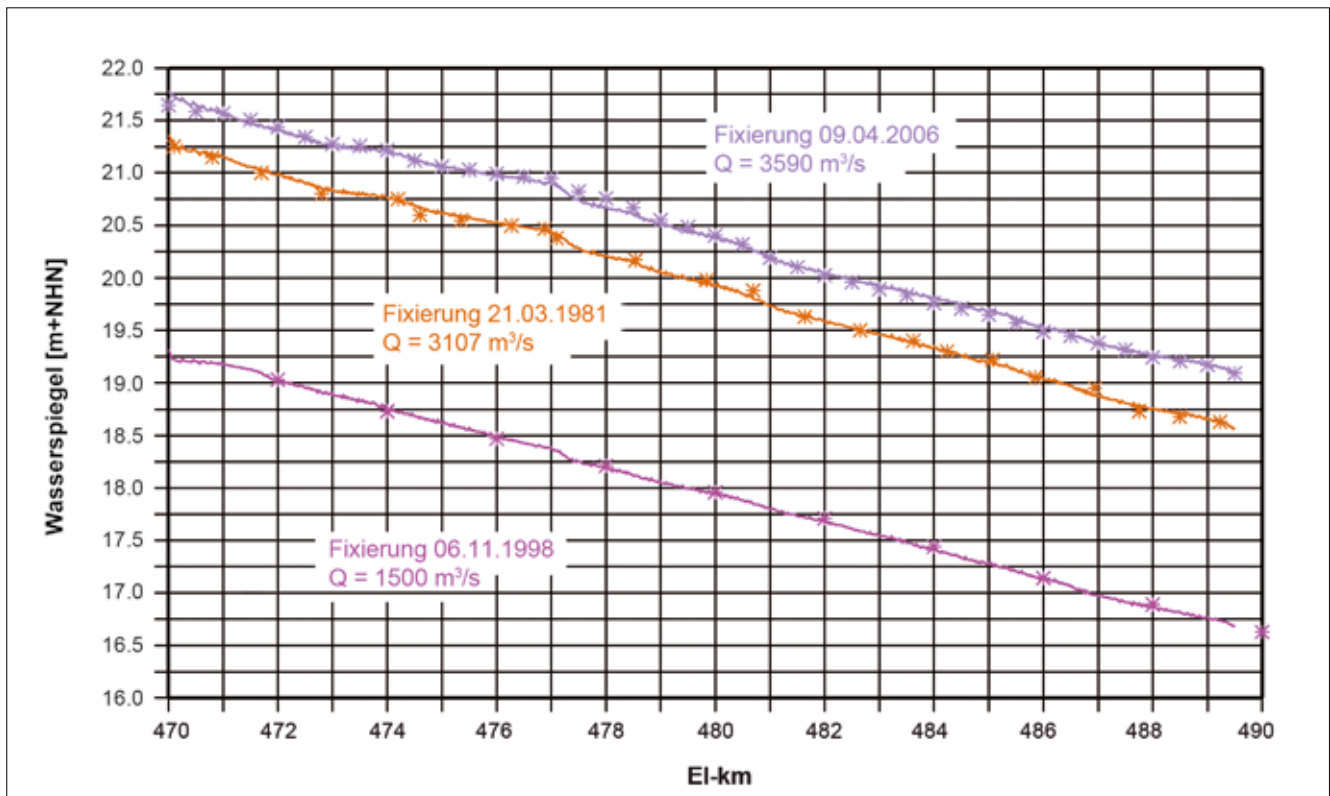


Bild 5: Modellkalibrierung für den Hochwasserbereich
 Figure 5: Model calibration for high water levels

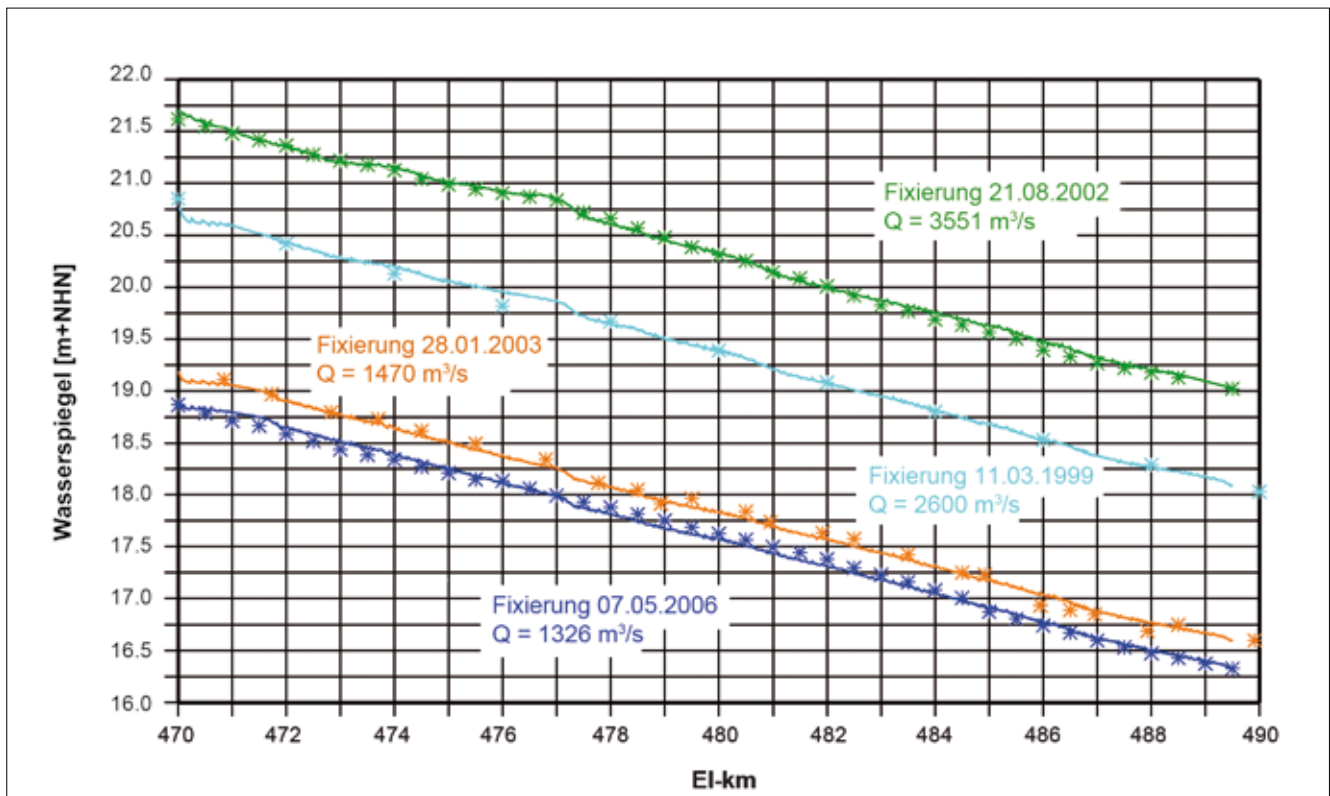


Bild 6: Modellvalidierung für verschiedene Abflussereignisse
 Figure 6: Model validation for different discharges

4 Prognoserechnungen für die Deichrückverlegung

Forecast calculations for the dike relocation

4.1 Zustand 2009

Situation in 2009

Mit der 2009 erfolgten Schlitzung des alten Hochwasserdeiches wird das durch einen neuen Hochwasserdeich begrenzte Vorland zwischen El-km 476,7 und 483,7 abflusswirksam. Zur Simulation des durch den aktuellen Bewuchszustand hervorgerufenen Fließwiderstandes wurden die in Bild 4 dargestellten Rauheitszonen mit den dort aufgeführten Rauheitswerten belegt. Bild 7 zeigt die für einen Abfluss von $HQ(100) = 4.020 \text{ m}^3/\text{s}$ berechneten Strömungsvektoren.

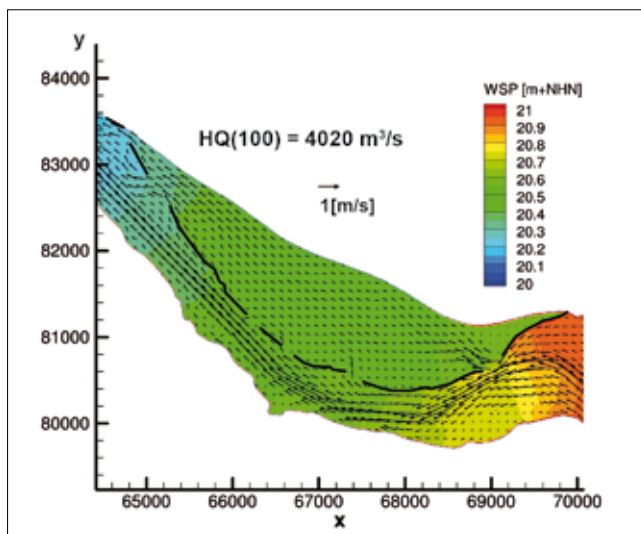


Bild 7: Strömungsvektoren bei einem Abfluss von $HQ(100) = 4.020 \text{ m}^3/\text{s}$

Figure 7: Flow vectors at a high-water discharge of $HQ(100) = 4.020 \text{ m}^3/\text{s}$

Bild 8 zeigt die berechneten Wasserspiegellagen in der Stromachse für die Zustände ohne und mit Deichrückverlegung. Durch die Vergrößerung der Abflussflächen kommt es infolge der Deichrückverlegung bei Hochwasserereignissen zu einer deutlichen Absenkung der Wasserspiegellagen. Für ein 100-jährliches Hochwasser mit einem Abfluss von $4.020 \text{ m}^3/\text{s}$ beträgt der Abfall des Wasserspiegels maximal 0,35 m am ersten Einlaufschlitz (Schlitz 1) und erreicht an der oberstromigen Modellgrenze bei El-km 470,0 immer noch einen Wert von 0,2 m. Am unterstromigen Rand des Deichrückverlegungsgebietes ergibt sich gegenüber dem Zustand

ohne rückverlegten Hochwasserdeich ein Wasserspiegelanstieg von maximal 0,06 m im Bereich El-km 483. Die Ursache für diese lokale Erhöhung des Hochwasserspiegels liegt darin begründet, dass ca. 85 % des über das Deichrückverlegungsgebiet abgeführten Abflusses von $1.385 \text{ m}^3/\text{s}$ auf relativ engem Raum durch die Schlitze 5 und 6 wieder in den Hauptstrom gelangen. Im Vergleich zum Zustand ohne Rückdeichung wird aber im Flussschlauch deutlich weniger Wasser abgeführt ($-1.170 \text{ m}^3/\text{s}$), sodass dort auch geringere Fließgeschwindigkeiten herrschen. Mit dem lokal durch die Schlitze 5 und 6 aus dem Rückdeichungsgebiet zuströmenden Wasser steigt der Abfluss plötzlich wieder auf $4.020 \text{ m}^3/\text{s}$ an. Die zusätzliche Wassermenge kann wegen der geringeren Fließgeschwindigkeit zunächst nur über eine Vergrößerung des Fließquerschnittes und damit die Erhöhung der Wasserspiegellagen abgeführt werden. Erst nach einer Beschleunigung der Strömung über das durch den Aufstau hervorgerufene stärkere Wasserspiegelgefälle werden die ursprünglichen Wasserstände unterhalb des Rückdeichungsgebietes schließlich wieder erreicht.

Bild 9 zeigt eine flächenhafte Darstellung der Wasserspiegeldifferenzen für die Varianten ohne und mit Deichrückverlegung für den Bewuchszustand 2009. Im Vergleich zu der in Flussmitte ermittelten Wasserspiegeldifferenz (Bild 8) zeigen sich hier im Nahbereich der Schlitze noch etwas größere Wasserspiegeldifferenzen. Im Bereich des linken Hochwasserdeiches wird der maximale Wasserspiegellagenanstieg von 0,06 m nicht überschritten.

Gleichzeitig ergibt sich im Nahbereich des ersten Schlitzes ein im Vergleich zum Zustand ohne Deichrückverlegung wesentlich größerer Wasserspiegelabsenk als in Flussmitte. Hier liegt die Ursache in den relativ hohen Strömungsgeschwindigkeiten im Bereich des Schlitzes in der Größenordnung von mehr als 1,4 m/s, sodass hier niedrige Wassertiefen zu verzeichnen sind.

Bild 10 zeigt eine flächenhafte Darstellung der Wasserspiegellagen für das Modell mit rückverlegtem Hochwasserdeich für ein hundertjährliches Hochwasser ($HQ_{100} = 4.020 \text{ m}^3/\text{s}$). In dem im Bild 10 nicht dargestellten oberstromigen Bereich liegen die Wasserspiegel im Deichrückverlegungsgebiet niedriger als im Flussschlauch, sodass das Wasser in das neu geschaffene Vorland einströmt. Ab etwa El-km 480,5 kehrt sich

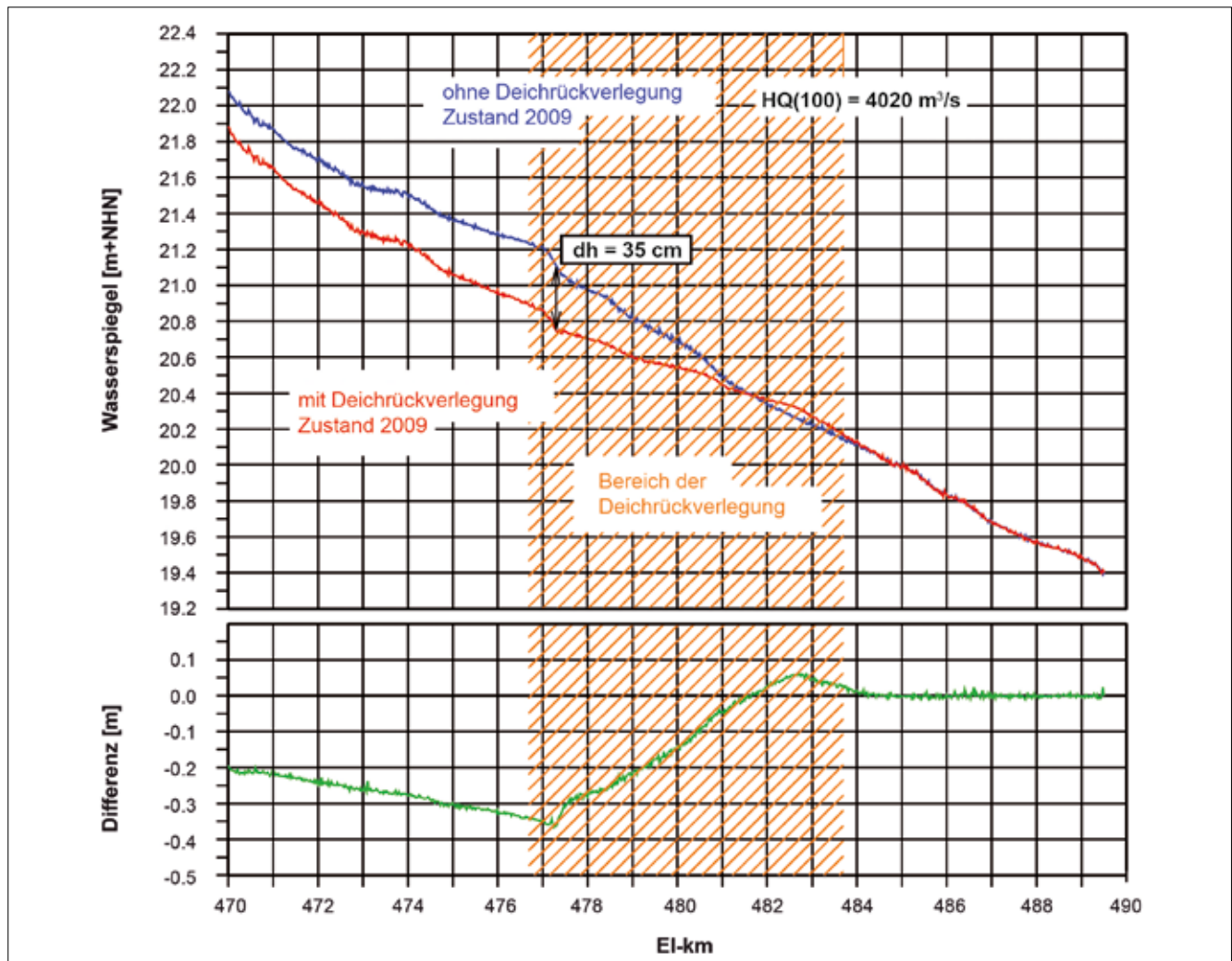


Bild 8: Wasserspiegellagen in der Flussachse mit und ohne Deichrückverlegung für den Bewuchszustand 2009 bei einem Abfluss von $HQ_{100} = 4.020 \text{ m}^3/\text{s}$

Figure 8: Water levels in the stream centerline with and without dike relocation for the vegetative stand in 2009 at a discharge of $HQ_{100} = 4,020 \text{ m}^3/\text{s}$

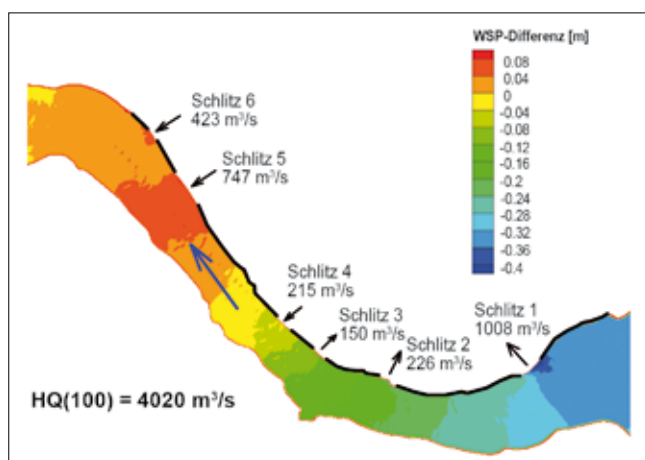


Bild 9: Flächenhafte Darstellung der Wasserspiegeldifferenzen für das $HQ(100)$ zwischen den Varianten mit und ohne Deichrückverlegung für den Bewuchszustand 2009

Figure 9: Extensive plot of water level differences for $HQ(100)$ between the scenarios with and without dike relocation for the vegetative stand in 2009

dieses Verhältnis um. Durch das sich verengende Vorland kann das hauptsächlich durch den Schlitz 1 in das Vorland eingeströmte Wasser nur mit höheren Fließgeschwindigkeiten über die Schlitze 5 und 6 wieder dem Hauptstrom zugeführt werden. Deshalb muss sich ein stärkeres Gefälle in diesem Bereich einstellen, was zu einem entsprechenden Rückstau im unterstromigen Bereich des Deichrückverlegungsgebietes führt. Zur Verringerung dieser Wasserspiegelahebung müsste die Größe der Schlitze und ggf. das Vorlandrelief (Flutmulden) modifiziert werden.

Zusätzlich sind in Bild 10 die Wasserspiegelquerschnitte am EI-km 481,8 für die Varianten mit und ohne Deichrückverlegung dargestellt. Der sich auf Grund des lokal konzentrierten Zustroms des Wassers durch die Schlitze 5 und 6 im Hauptstrom bildende Rückstau (0,06 m

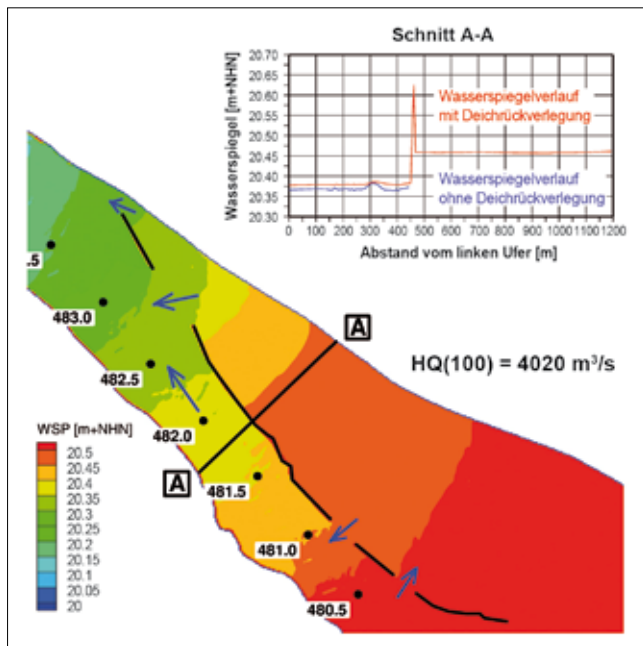


Bild 10: Wasserspiegellagen für HQ(100) (Zustand 2009) im unterstromigen Bereich des Deichrückverlegungsgebietes mit Wasserspiegelquerprofilen am El-km 481,8

Figure 10: Water surface profiles for HQ(100) (vegetative stand in 2009) in the downstream part of the dike relocation area with water level cross-profiles on Elbe kilometer 481,8

am El-km 483) wird bis zu dieser Stelle weitgehend abgebaut und erreicht noch etwa 0,02 m. Ein deutlicher Unterschied besteht zwischen den Wasserspiegellagen im Hauptstrom und im rückgedeichten Vorland. Die Differenz beträgt ca. 0,08 m. Im Vergleich zum Zustand vor der Deichrückverlegung liegt der Wasserspiegel am El-km 481,8 sogar um ca. 0,10 m höher. Das ist die Differenz zwischen den Wasserspiegellagen im alten Flussbett vor und im neuen Vorland nach der Rückdeichung.

Der durch die Rückdeichung bedingte Anstieg der Hochwasserspiegel im Flussschlauch im Bereich der Schlitze 5 und 6 ließe sich durch eine Vergleichmäßigung der in das und aus dem Vorland strömenden Wassermengen verringern. Die beste Wirkung hinsichtlich der Absenkung der Hochwasserspiegellagen würde man allerdings durch einen Abtrag des Altdeiches bis auf eine Höhe, welche die Überströmung ab einem Abfluss von ca. 1400 m³/s zulassen würde, erreichen.

4.2 Simulation verschiedener Bewuchsszenarien für die Jahre 2030 und 2090 *Simulation of different vegetation growth scenarios for 2030 and 2090*

Der Einfluss der verschiedenen Bewuchsszenarien auf die Hochwasserspiegellagen wurde für einen Hochwasserabfluss von $HQ_{100} = 4.020 \text{ m}^3/\text{s}$ untersucht. Das erste Szenario bezieht sich auf das Jahr 2030 und beruht auf der Annahme, dass keine weiteren Anpflanzungen im Lütkenwischer und Mödlicher Werder erfolgen. Der Fließwiderstand erhöht sich hierbei trotzdem durch die bereits im Rückdeichungsgebiet angelegten, sich weiter entwickelnden Pflanzungen. Ein zweites Szenario umfasst zusätzlich die Ausführung der im Lütkenwischer und Mödlicher Werder geplanten linearen Galeriewald- und deichnahen Auwaldpflanzungen sowie die Pflanzung verstreuter Baumgruppen im Mödlicher Werder. Das dritte Szenario bildet schließlich die Weiterentwicklung der im zweiten Szenario berücksichtigten Pflanzbereiche sowie der Sukzessionsflächen bis zum Jahr 2090 ab.

Die Simulation der durch die verschiedenen Bewuchsszenarien verursachten Fließwiderstände erfolgte auf der Grundlage der in der Tabelle 3 zusammengestellten Rauheitswerte, welche den in Bild 4 dargestellten Rauheitszonen zugewiesen wurden. Diese Rauheitswerte sind aus den in Tabelle 2 dargestellten Werten abgeleitet worden.

Bild 11 zeigt die für die verschiedenen Szenarien für einen Abfluss von $HQ(100) = 4.020 \text{ m}^3/\text{s}$ berechneten Wasserspiegellagen. Im Bereich unterhalb des Deichrückverlegungsgebietes wirkt sich der durch die Pflanzungen hervorgerufene zusätzliche Fließwiderstand positiv auf die sich einstellenden Hochwasserspiegellagen aus. Der durch die Deichrückverlegung verursachte Aufstau im Bereich der Schlitze 5 und 6 wird etwas geringer, weil durch den größeren Fließwiderstand im rückgedeichten Gebiet weniger Wasser über das Vorland strömt. Außerdem wird der Schlitz 4 stärker durchströmt, sodass sich das in den Hauptstrom zurückströmende Wasser besser verteilt.

Die im Mödlicher und im Lütkenwischer Werder geplanten Pflanzungen haben praktisch keinen Einfluss auf die sich einstellenden Wasserspiegellagen. In der Grafik wird deshalb die magentafarbene Linie auch fast vollständig von der grünen Linie überdeckt.

Szenario – Nr.	0	1	2	3
Name	2009	2030: ohne Anpflanzungen in den Werdern	2030 mit allen geplanten Anpflanzungen	2090 mit allen geplanten Anpflanzungen
	k_s [m]	k_s [m]	k_s [m]	k_s [m]
Eichholz	8	8	8	8
Pflanzungen vor 2002	3.5	6	6	8
Fährdamm	9	9	9	9
Hecken	9	9	9	9
Jüngere Pflanzungen	0.8	5	5	8
Weidelandschaft	0.8	0.8	0.8	0.8
Galeriewald-Weichholzaue	0.8	0.8	3	4
Solitaereichen-Hartholz Solitär	0.8	0.8	5	8
Deichnahe Pflanzen-Hartholz	0.8	0.8	5	8
Hartholzaue-Bestand	8	8	8	8
Weichholzaue-Bestand	4	4	4	4
Sukzession	0.8	2.5	2.5	8
Baumgruppe	1.2	1.2	1.2	1.2
Vorland	0.8	0.8	0.8	0.8
Rechtes Ufer	1.5	1.5	1.5	1.5
Flussschlauch	0.06	0.06	0.06	0.06
Linkes Ufer	1.5	1.5	1.5	1.5
Umfassungspolygon	0.8	0.8	0.8	0.8

Deichrückverlegungsgebiet	übrige Flächen
geplante Pflanzungen in den Werdern	Bestand
Bewuchs im Vorland	Planung/Entwicklung

Tabelle 3: Den Bewuchsszenarien zugeordnete Rauheitswerte für die im Modell definierten Rauheitszonen
 Table 3: Roughness coefficients associated with the vegetation growth scenarios for the roughness areas defined in the model

Bild 12 zeigt dazu eine flächenhafte Darstellung der Wasserspiegeldifferenzen sowie der durch die Schlitze ein- und ausströmenden Wassermengen. Verglichen wurden hier die Zustände der Jahre 2009 und 2030 mit allen im Deichrückverlegungsgebiet sowie dem Lütkenwischer und Mödlicher Werder geplanten Pflanzungen. Im Vergleich zu der Darstellung der Wasserspiegeldifferenzen in Flussmitte zeigt sich hier, dass es für den Zustand im Jahr 2030 zu stärkeren lokalen Wasserspiegelanhebungen im unmittelbaren Bereich der Pflanzungen kommt. So kann dieser lokale Anstieg des Wasserspiegels im Bereich des Deichrückverlegungsgebietes bis zu 0,06 m betragen. Damit liegt der Wasserspiegel aber immer noch deutlich unter dem Wert für den Zustand ohne Rückdeichung.

Die maximalen Änderungen treten im Jahr 2090 auf, wenn sich die Vegetation voll entwickelt hat. Hier ergeben sich bei einem hundertjährigen Hochwasser Wasserspiegelanhebungen im Bereich des Deichrückverlegungsgebietes von bis zu 12 cm (Bild 13). Da sich der durch die Deichrückverlegung bedingte Wasserspiegelverfall in diesen Bereichen am stärksten auswirkt, ergibt sich im Vergleich zum Zustand ohne Rückdeichung immer noch eine deutliche Reduzierung der Hochwasserspiegellagen in der Größenordnung von 0,25 m.

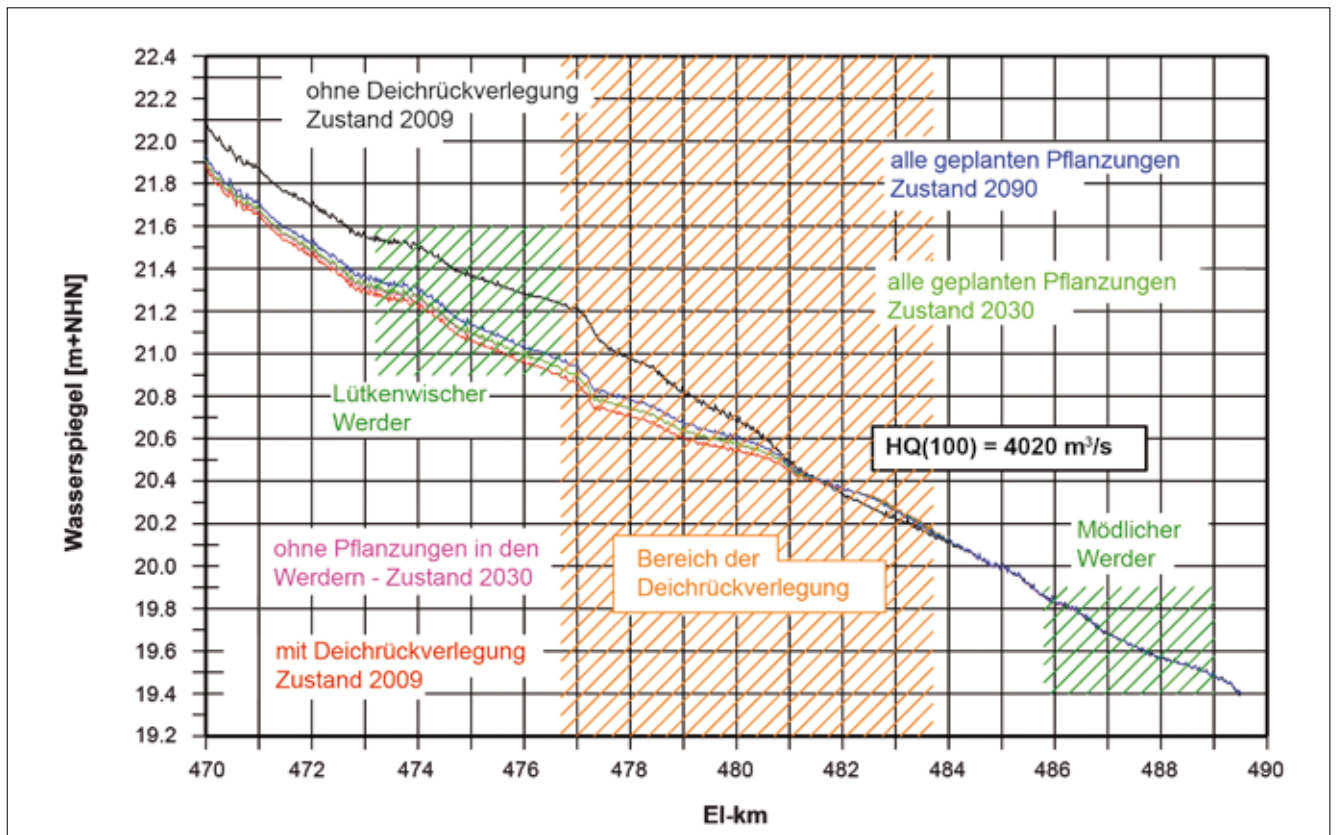


Bild 11: Wasserspiegellagen in der Flussmitte für die Zustände ohne und mit Deichrückverlegung sowie verschiedene Bewuchsszenarien für ein HQ(100)

Figure 11: Water surface elevations in the mid-stream for scenarios with and without dike relocation and different vegetation growth scenarios for an HQ(100)

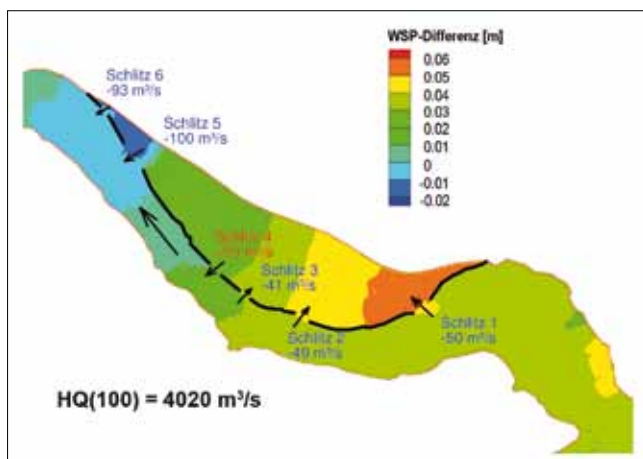


Bild 12: Differenzen der Wasserspiegel und der in das Deichrückverlegungsgebiet ein- und ausströmenden Wassermengen zwischen den Bewuchszuständen der Jahre 2009 und 2030 mit allen geplanten Pflanzungen für ein HQ(100)

Figure 12: Differences between the water levels and the inflowing and outflowing volume of water in the dike relocation area in the period between the vegetative stand in 2009 and 2030, including all projected plantations, for an HQ(100)

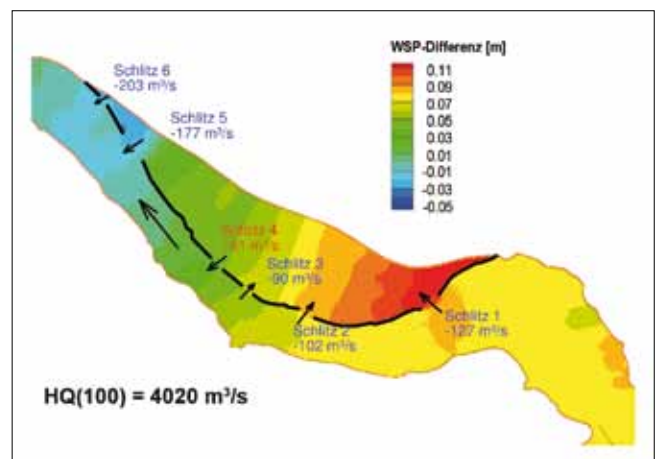


Bild 13: Differenzen der Wasserspiegel und der in das Deichrückverlegungsgebiet ein- und ausströmenden Wassermengen zwischen den Bewuchszuständen der Jahre 2009 und 2090 mit allen geplanten Pflanzungen für ein HQ(100)

Figure 13: Differences between the water levels and the inflowing and outflowing volume of water in the dike relocation area in the period between the vegetative stand in 2009 and 2090, including all projected plantations, for an HQ(100)

5 Modellvalidierung anhand aktueller Naturmessungen

Model validation based on current field measurements

5.1 Überblick

Overview

Nach dem Ende des Jahres 2009 vollendeten Baumaßnahmen ist das rückgedeichte Vorland erstmals im März 2010 durchströmt worden. Dieses sowie das Hochwasserereignis vom Oktober 2010 hat die BAW zum Anlass genommen, die Firma Schmid mit der Durchführung von Wasserspiegelfixierungen und Durchflussmessungen zu beauftragen (Ingenieurbüro Schmid, Mai 2010 bzw. November 2010). Weitere Messungen wurden während des Hochwassers vom Januar 2011 durchgeführt (Ingenieurbüro Schmid, 2011). Außerdem sind über einen längeren Zeitraum Wasserstandsmessungen an drei Messstellen im Deichrückverlegungsgebiet sowie an einer oberstromig gelegenen Messstelle im Lütkenwischer Werder durchgeführt worden. Die so erhobenen Naturdaten (siehe Beitrag von Faulhaber in diesem Heft) boten die Möglichkeit, das numerische Modell zu validieren.

5.2 Hochwasser vom März 2010

Flood in March 2010

Anlässlich eines Hochwassers im März 2010 wurden von der Firma Schmid Sondermessungen im Bereich El-km 432 bis 490 durchgeführt (Ingenieurbüro Schmid, März 2010). Damit standen die ersten Naturmessungen nach der Ende des Jahres 2009 beendeten Deichrückverlegung für eine Modellvalidierung zur Verfügung. Neben der Wasserspiegelfixierung vom 7. März 2010 und den Abflussmessungen in der Elbe selbst wurden am 8. März 2010 Durchflussmessungen in den Schlitzen des Altdeiches (Zu- und Ablauf des Rückdeichungsgebietes) und in einem Profil unterhalb des Fährdamms (Rüster Drift) durchgeführt (siehe Beitrag von Schmid und Niesler in diesem Heft).

Bild 14 zeigt einen Vergleich zwischen den am 7. März 2010 gemessenen und den mit dem kalibrierten Modell ermittelten Wasserspiegellagen. Die Berechnungen wurden mit dem am 14 km oberhalb der Modellstrecke

gelegenen Pegel Wittenberge (El-km 456,6) registrierten Abfluss (Tagesmittelwert) von 1.760 m³/s durchgeführt. Weil zwischen dem 7. März (Wasserspiegelfixierung) und dem 8. März (Abflussmessungen in den Schlitzen) der Hochwasserscheitel durch das Modellgebiet gelaufen ist, traten in diesem Zeitraum nur geringe Abflussänderungen auf, was auch durch die am unterhalb der Modellstrecke gelegenen Pegel Neu-Darchau (El-km 536,2) registrierten Abflüsse bestätigt wurde. Die am 7. März von der Fa. Schmid durchgeführten Durchflussmessungen bei El-km 484,6 wiesen im Vergleich zu den an den Pegeln Wittenberge und Neu-Darchau registrierten Werten einen um ca. 130 m³/s niedrigeren Abfluss aus, was im Bereich der üblichen Messungenauigkeiten liegt.

Bis auf die bereits beschriebenen modelltechnisch bedingten Abweichungen am oberen Modellrand gibt es eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Rechnung und Messung. Neben der nach der Deichrückverlegung erfolgten Fixierung vom März 2010 werden zum Vergleich die mit dem kalibrierten Modell berechneten Wasserspiegellagen für den Zustand vor der Deichrückverlegung dargestellt. Hier ist deutlich die wasserspiegelsenkende Wirkung der Maßnahme in einer Größenordnung von etwa 18 cm im Bereich des ersten Schlitzes bei El-km 477,3 zu erkennen.

Bild 15 zeigt einen Vergleich zwischen den berechneten und gemessenen Durchflüssen in den Schlitzen und über dem Fährdamm. Prinzipiell werden für die drei Einlaufschlitze etwas größere Wassermengen berechnet, wobei für den zweiten Schlitz bei El-km 479 keine Messwerte vorhanden waren, sodass der Wert ($Q_{\text{Bil}} = 24 \text{ m}^3/\text{s}$) über eine Bilanzierung der ein- und ausströmenden Wassermengen ermittelt wurde. Im Bereich des ersten Schlitzes, durch den das meiste Wasser in das Vorland strömt, lagerten zum Zeitpunkt des Hochwassers Paletten mit Pflastersteinen, welche den Zufluss in den Schlitz beeinflussten. Die Berechnungen ergaben für den Schlitz 5 größere und für den Schlitz 6 geringere ausfließende Wassermengen als die Messungen.

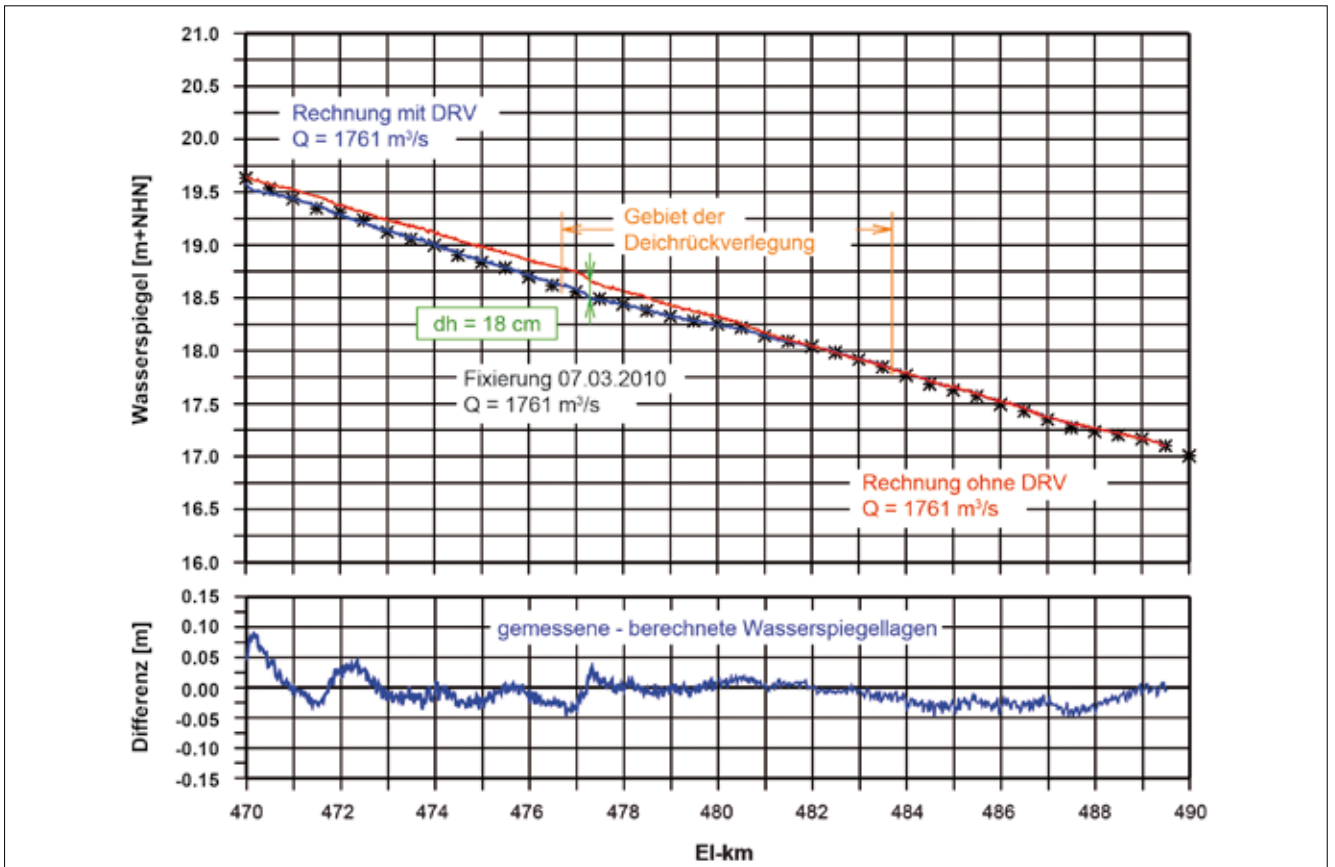


Bild 14: Modellvalidierung: Im März 2010 gemessene (*) und berechnete Wasserspiegellagen für ein Abflussereignis nach erfolgter Deichrückverlegung im Vergleich mit Berechnungen für das Szenario ohne Deichrückverlegung
 Figure 14: Model validation: water surface profiles measured (*) and calculated for a discharge in March 2010 after completion of the dike relocation in comparison to calculations for the scenario without dike relocation

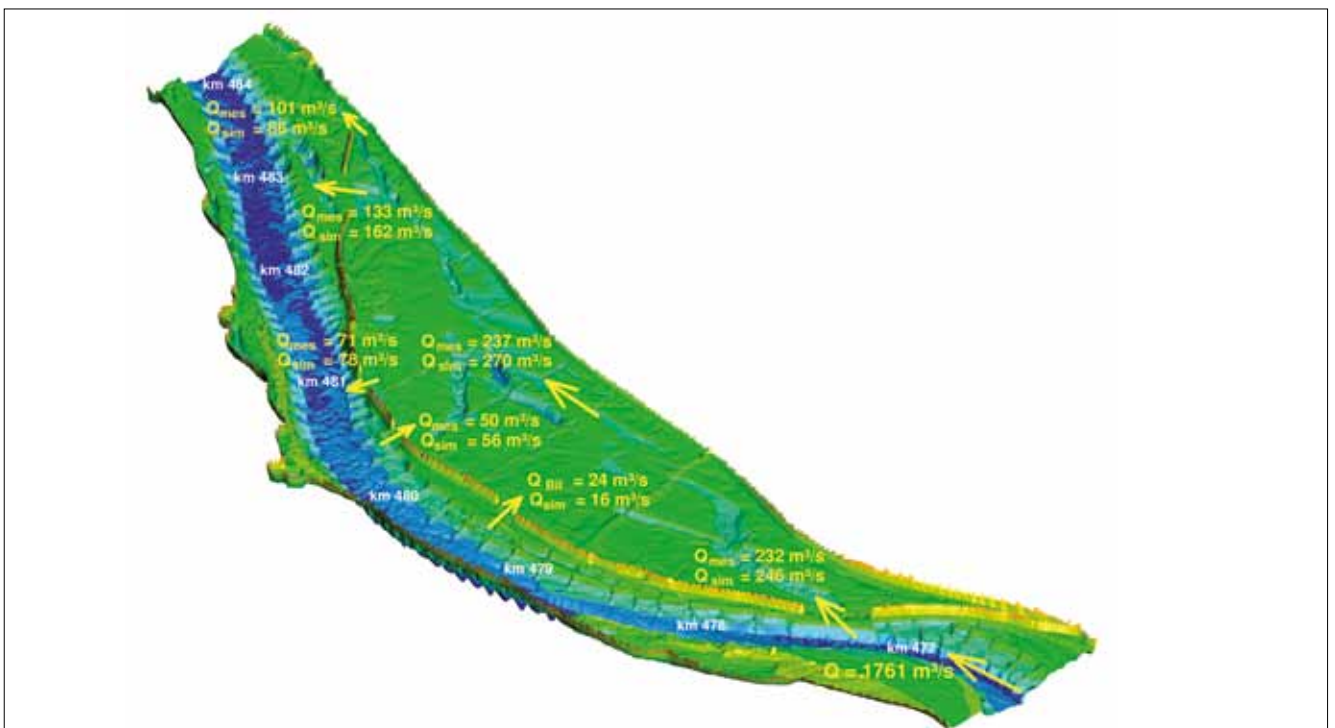


Bild 15: Für das Abflussereignis im März 2010 gemessene und berechnete Abflüsse durch die Schlitzte und über das rückgedeichte Vorland
 Figure 15: Discharges through the slots and across the overbank area (with relocated dike) calculated and measured in March 2010

5.3 Hochwasser vom Oktober 2010 *Flood in October 2010*

Die im Oktober durchgeführten Fixierungen (Ingenieurbüro Schmid, November 2010) erfassten nur einen Teil der Untersuchungsstrecke. Bild 16 zeigt einen Vergleich zwischen den am 8. Oktober 2010 fixierten Wasserspiegellagen im Bereich El-km 481,7 bis 484,6 und den Simulationsergebnissen für einen Abfluss von 2.035 m³/s. Auch hier ergibt sich, wie schon bei den Messungen vom März 2010, eine gute Übereinstimmung zwischen den berechneten und den beobachteten Wasserspiegellagen.

Bild 17 zeigt analog zu der Darstellung in Bild 15 eine Gegenüberstellung der berechneten und gemessenen Abflüsse durch die Schlitze und über das rückgedeichte Vorland. Auch hier ergibt sich bis auf den Schlitze 2 eine

gute Übereinstimmung zwischen den beobachteten und gemessenen Werten. Der Schlitze 2 war im Oktober stark zugewachsen, sodass die Abflussmessungen erschwert wurden und die Ergebnisse stark schwankten. Ein Vergleich mit den Messungen vom März ist nicht möglich, da wegen der geringeren Wasserstände im März keine Messungen im Schlitze 2 durchgeführt werden konnten.

Nach Auskunft der Firma Schmid war es auch nach Augenschein so, dass nur sehr wenig Wasser in den Schlitze 2 strömt. Außerdem waren die Messungen durch den Bewuchs tatsächlich stark behindert. Für zukünftige Untersuchungen erscheint es deshalb sinnvoll, die örtlichen Gegebenheiten im Schlitze 2 nochmals näher zu betrachten.

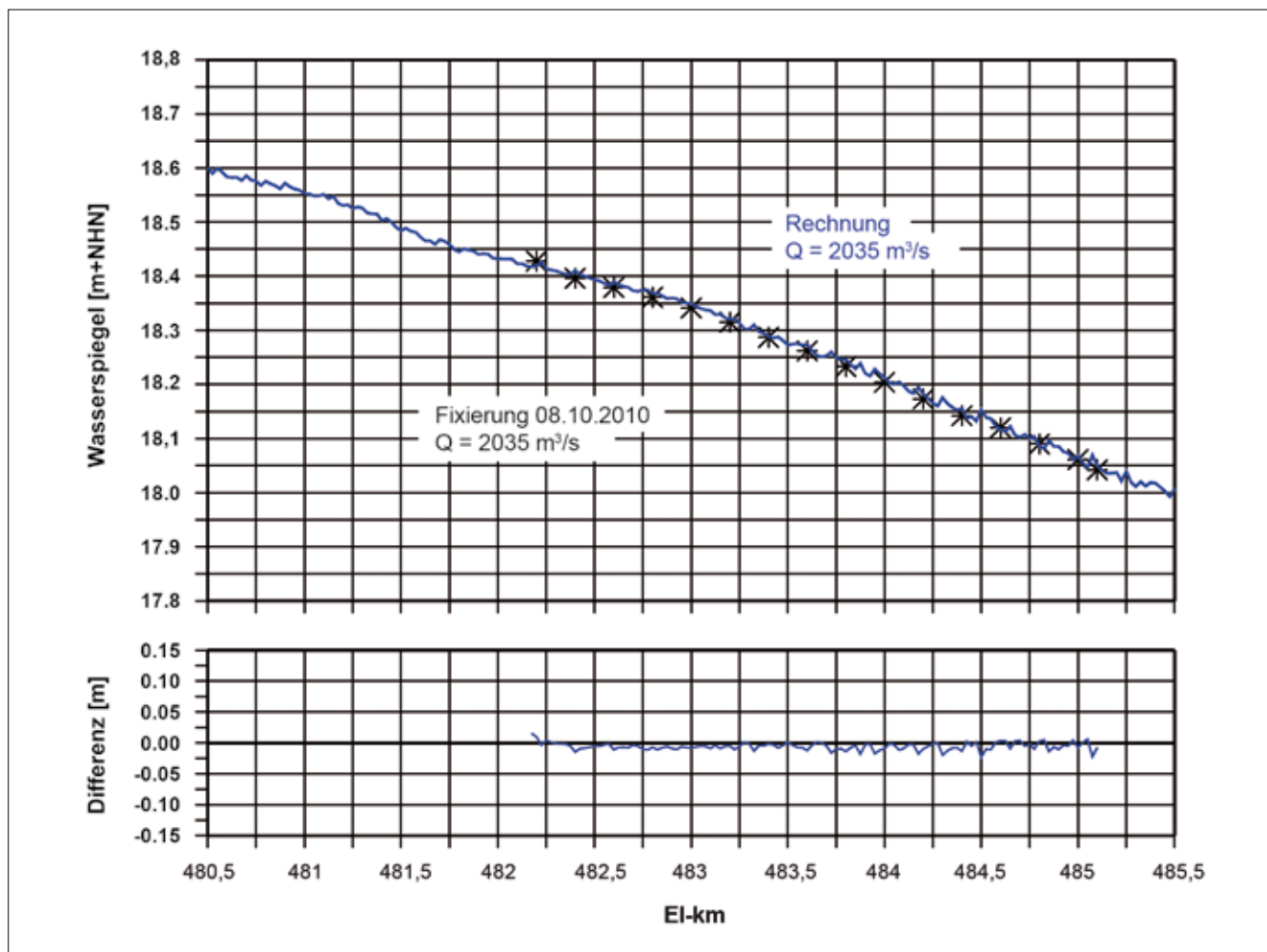


Bild 16: Modellvalidierung: Im Oktober 2010 gemessene (*) und berechnete Wasserspiegellagen für ein Abflussereignis nach erfolgter Deichrückverlegung

Figure 16: Model validation: water surface profiles measured (*) and calculated in October 2010 for a discharge after completion of the dike relocation

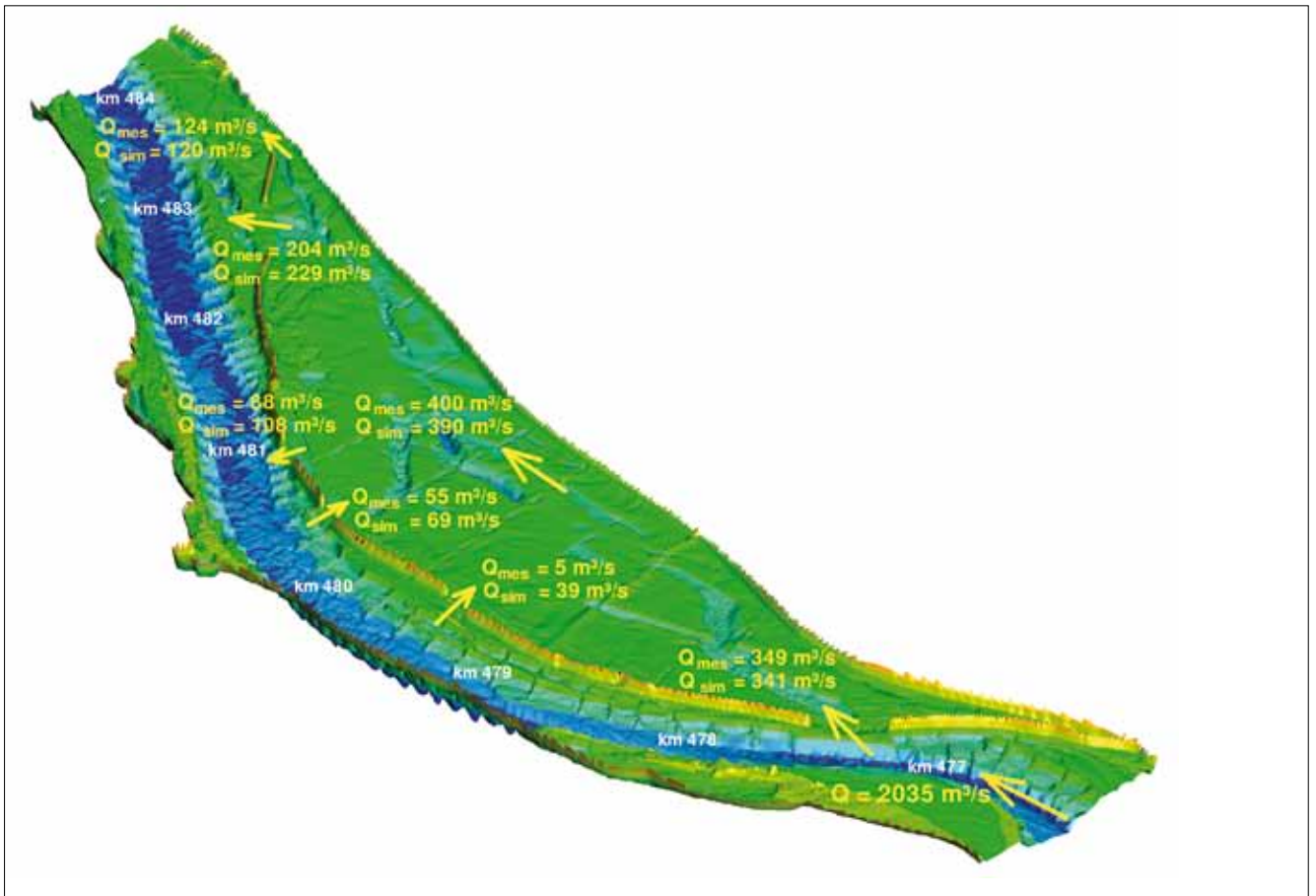


Bild 17: Berechnete und im Oktober 2010 gemessene Abflüsse durch die Schlitze und über das rückgedeichte Vorland
 Figure 17: Discharges through the slots and across the overbank area (with relocated dike) calculated and measured in October 2010

Der Unterschied zwischen den gemessenen (ca. 410 m³/s) und den gerechneten (ca. 450 m³/s), über das Vorland abfließenden Wassermengen ergibt sich vor allem aus den für die Schlitze 2 bis 5 bestehenden Durchflussdifferenzen. Hier wird empfohlen zu prüfen, inwieweit der Abfluss durch die Schlitze durch aufkommende Vegetation behindert wird und gegebenenfalls Pflegemaßnahmen zur Freihaltung der Schlitze und damit zur Gewährleistung der vorgesehenen Abflüsse zu ergreifen sind.

5.4 Hochwasser vom Januar 2011 Flood in January 2011

Im Januar kam es zu einem weiteren Hochwasserereignis mit einem Scheiteldurchfluss von 3.790 m³/s am Pegel Wittenberge. Zum Zeitpunkt der Modellvalidierung wurde der Scheitelwert noch mit 3.750 m³/s angenommen. Bild 18 zeigt einen Vergleich zwischen den am 24. Januar 2011 fixierten und den mit Hilfe des Modells für

einen Abfluss von 3.443 m³/s (Messung Schmid am 24. Januar 2011 bei El-km 482,7) berechneten Wasserspiegellagen. Außerdem sind die für diesen Abfluss berechneten Wasserstände für den früheren Zustand ohne den zurückverlegten Hochwasserdeich dargestellt. Die maximale Differenz beträgt in Höhe des ersten Einlaufschlitzes bei El-km 477,3 ca. 34 cm.

Die mit dem hydronumerischen Modell berechneten Wasserspiegellagen liegen durchgängig um durchschnittlich 5 cm höher als die gemessenen. Die Ursache dürfte in der zum Zeitpunkt des Hochwassers vorhandenen Wintervegetation liegen. Diese weist gegenüber der für die Kalibrierung des Modells zugrunde gelegten Sommervegetation einen geringeren Fließwiderstand auf. Damit ergeben sich im Winter bei gleichem Abfluss geringere Wasserspiegellagen.

Nach Ablauf des Hochwassers erfolgte eine Rekonstruktion des Scheitelwasserstandes am Brandenburger Elbedeich auf der Grundlage der Aufmessung

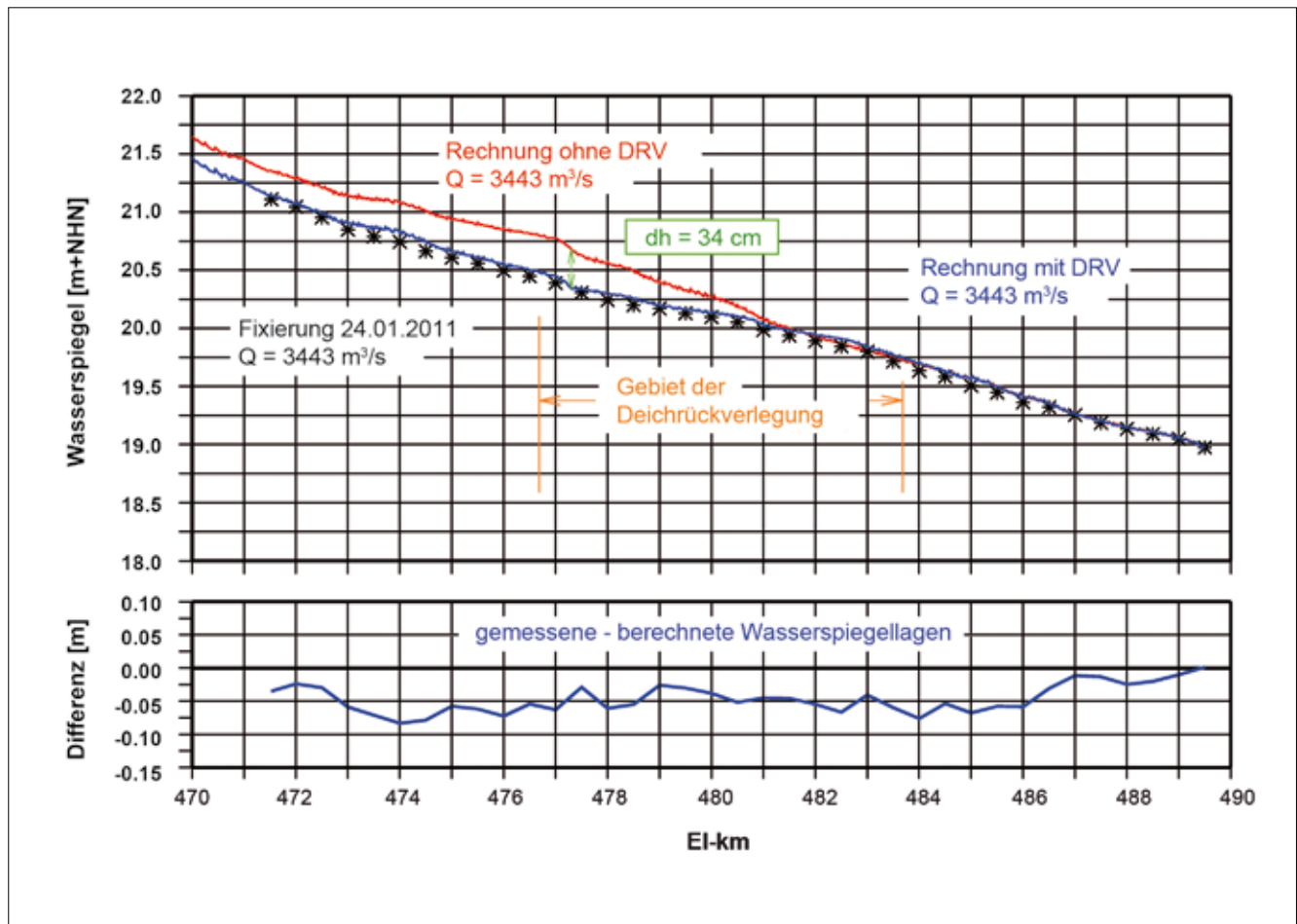


Bild 18: Modellvalidierung: Im Januar 2011 gemessene (*) und berechnete Wasserspiegellagen für ein Abflussereignis nach erfolgter Deichrückverlegung im Vergleich mit Berechnungen für das Szenario ohne Deichrückverlegung
 Figure 18: Model validation: water surface profiles measured (*) and calculated in January 2011 for a discharge after completion of the dike relocation in comparison to calculations for the scenario without dike relocation

des Wasserspiegels am 22./23. Januar 2011 über die Geschwemmsellinie. Diese Vermessung wurde an Hand der Daten der Schreibpegel der WSV (www.pegelonline.wsv.de) auf die Höhe des Scheiteldurchganges angepasst (LUGV-Brandenburg et al., 2011). Damit ergab sich die Möglichkeit, die am rechten Deich berechneten Wasserstände, speziell auch im Bereich des rückgedeichten Vorlandes, mit Naturmessungen zu vergleichen. Bild 19 zeigt die bei dem Scheitelabfluss von 3750 m³/s am Deich berechneten und gemessenen Wasserstände sowie die für die Flussmitte mit dem Modell erhaltenen Wasserspiegellagen. Da die Fixierung im Flusschlauch erst am 24. Januar 2011 durchgeführt wurde (siehe auch Bild 18), liegen für den am 22. Januar 2011 aufgetretenen Scheitelabfluss keine Messwerte vor.

Das Diagramm zeigt die im Vergleich zum Flusschlauch erheblich niedrigeren Wasserspiegellagen im Vorland im Bereich des ersten Einströmschlitzes sowie die höheren Vorlandwasserstände im Rückströmungsbereich, wobei sich die Verhältnisse etwa bei EI-km 480,5 umkehren. Der Vergleich zwischen den am rechten brandenburgischen Deich berechneten und den gemessenen Wasserständen zeigt eine sehr gute Übereinstimmung.

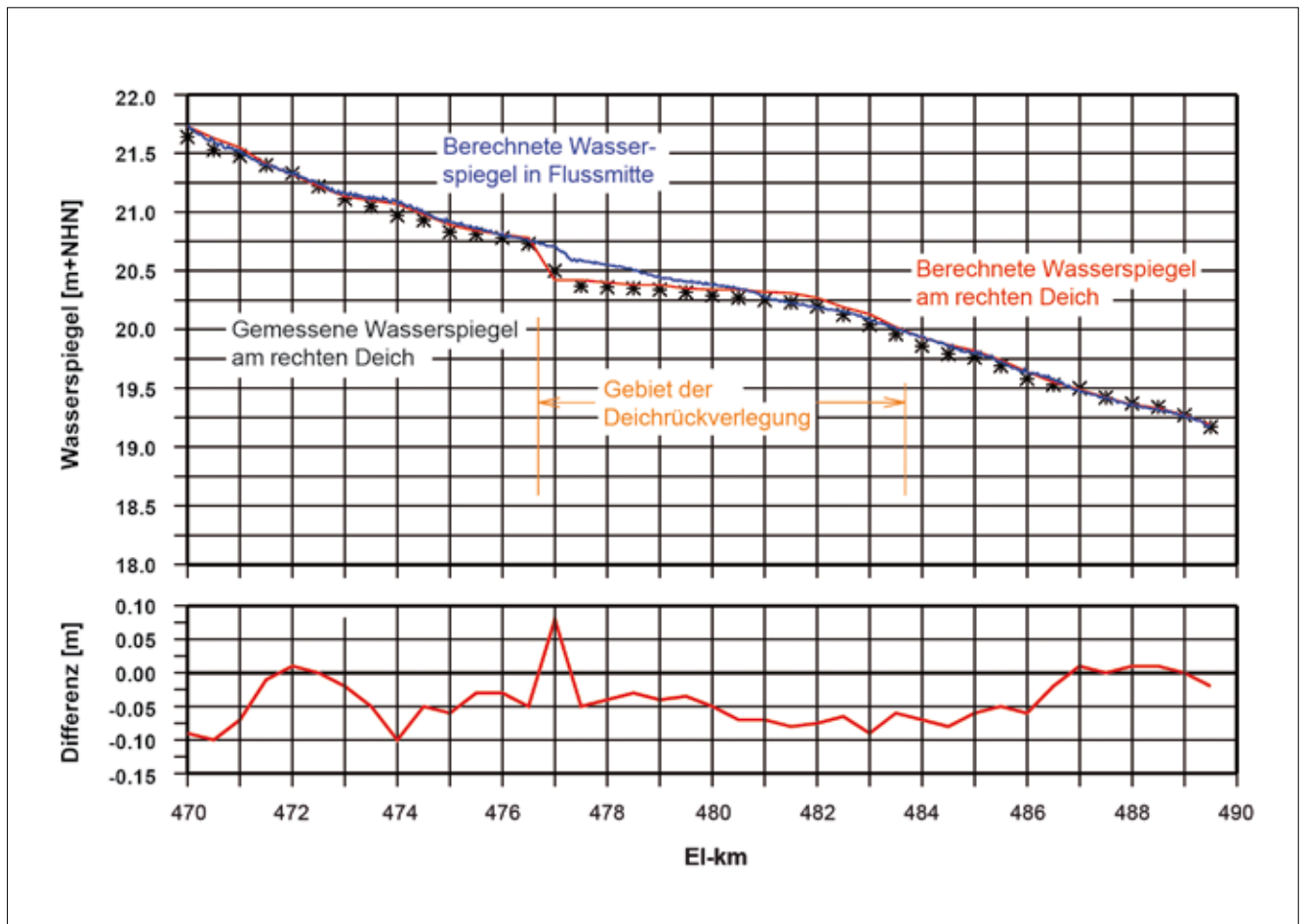


Bild 19: Modellvalidierung: Vergleich der nach dem Hochwasser vom Januar 2011 eingemessenen Geschwemmsellinie mit den für den Scheitelabfluss von $3.750 \text{ m}^3/\text{s}$ berechneten Wasserspiegellagen in Flussmitte

Figure 19: Model validation: comparison of debris line measured after the flood of January 2011 with the water surface elevations in the mid-stream for the peak discharge of $3.750 \text{ m}^3/\text{s}$

5.5 Modellvalidierung anhand von instationären Wasserstandsaufzeichnungen im Vorland

Model validation using non-stationary water level recording in the floodplain

5.5.1 Überblick *Overview*

In den Zeiträumen vom 24. Februar bis 12. Mai 2010 sowie vom 4. Juni bis 14. Juli 2010 erfolgten an den in Bild 20 dargestellten Orten Wasserstandsmessungen (Firma ELANA, 2010). Drei der vier Messstellen befanden sich im Bereich des Deichrückverlegungsgebietes. Der vierte Messpunkt lag am unterstromigen Rand des Lütkenwischer Werders. Neben der Messung der Wasserstände über der Geländehöhe wurde auch die Temperatur erfasst. Die Aufzeichnungen erfolgten stündlich.

Die hydrologische Randbedingung für die Simulationsrechnungen bildeten die am Pegel Wittenberge gemessenen Abflüsse. Aus technischen Gründen wurde der Zeitraum für die Rechnungen in drei Abschnitte unterteilt. Nachfolgend werden die an drei Messstellen beobachteten Wasserstandsentwicklungen diskutiert. Auf die Darstellung der Ergebnisse der Messstelle Eichwald-1 wurde verzichtet, weil die Messungen nur über einen kurzen Zeitraum erfolgten und keine wesentlichen neuen Erkenntnisse erbrachten.

Mit den vorliegenden Wasserstandsaufzeichnungen konnte überprüft werden, inwieweit das instationär betriebene Modell die zeitliche Veränderung der Wasserstände im Rückdeichungsgebiet richtig wiedergibt.

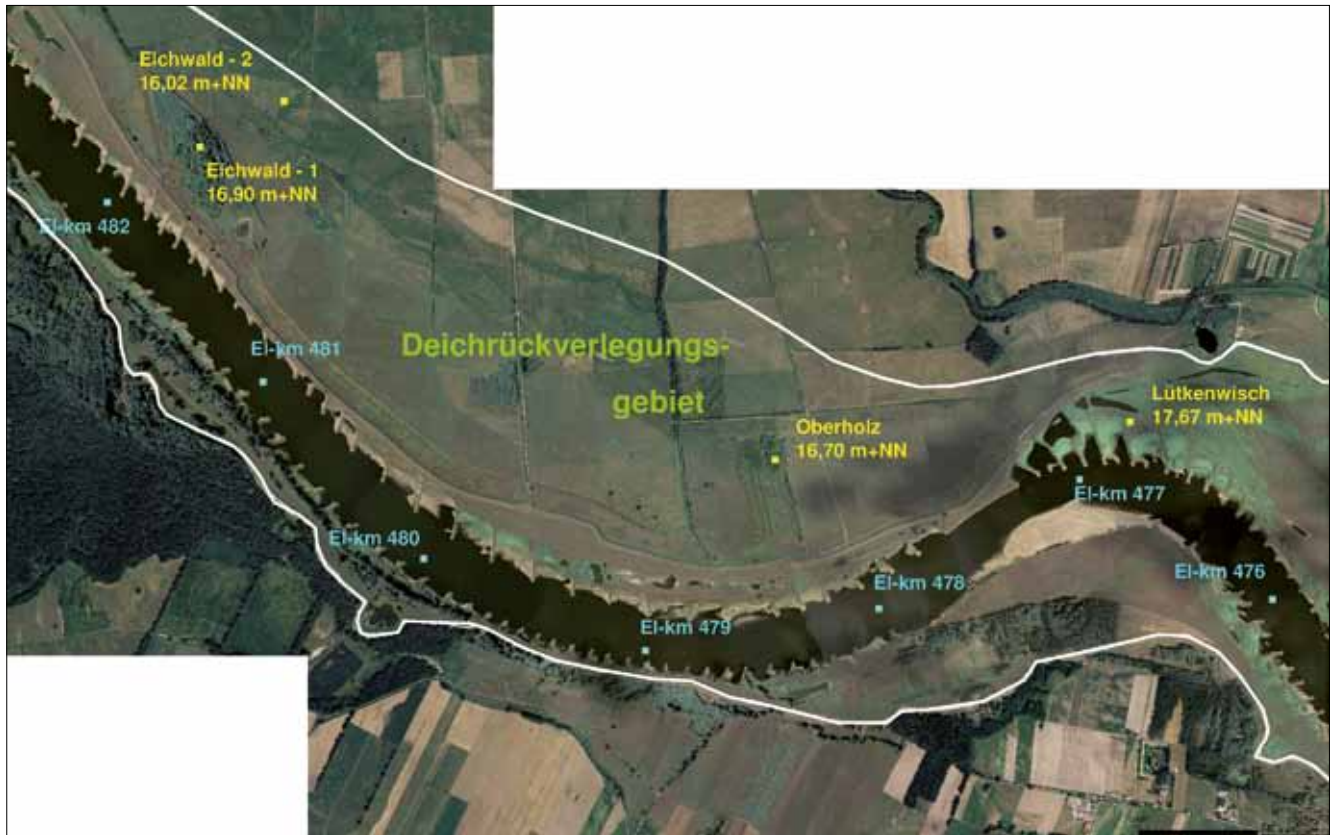


Bild 20: Lageplan der Messstellen (Luftbildaufnahme der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes 2003)
Figure 20: Survey map of the measuring stations (aerial photograph taken by the Federal Waterways and Shipping Administration in 2003)

5.5.2 Messstelle Lütkenwisch *Measuring station Lütkenwisch*

Bild 21 zeigt einen Vergleich zwischen den an der Messstelle Lütkenwisch im Zeitraum vom 24. Februar bis 12. Mai 2010 beobachteten und gemessenen Wasserständen.

An dieser stromnah gelegenen Messstelle stimmen die berechneten und gemessenen Wasserstände gut überein. Auch der zum Vergleich dargestellte zeitliche Verlauf der im Flussschlauch der Elbe auf Höhe der Messstelle ermittelten Wasserspiegellagen entspricht den an der Messstelle selbst berechneten Wasserständen. Bei ansteigendem Wasserspiegel zeigt sich eine Differenz zwischen den an der Messstelle beobachteten und den berechneten Wasserspiegellagen. Mögliche Ursachen für diese Abweichungen werden bei der Betrachtung der folgenden Messstellen diskutiert.

Bild 22 zeigt die zeitlichen Verläufe der an der Messstelle Oberholz beobachteten und berechneten Wasserstände sowie der im Flussschlauch der Elbe auf Höhe der Messstelle ermittelten Wasserspiegellagen.

5.5.3 Messstelle Oberholz *Measuring station Oberholz*

Die Messstelle Oberholz liegt in einer Eintiefung in der Nähe des südlichen Durchstiches durch den Gandower Fährdamm. Die Entfernung zum Fluss beträgt etwa 700 m. Der Wasserstand ist in der Elbe auf Höhe der Messstelle im Vergleich zum Wasserstand an der Messstelle selbst etwas höher, sodass durch die in diesem Abschnitt gelegenen Schlitze Wasser in das Deichrückverlegungsgebiet fließen kann.

Die insbesondere bei steigenden Abflüssen zu beobachtende Differenz zwischen den gemessenen und den berechneten Wasserständen könnte teilweise darauf zurückzuführen sein, dass im Modell die in der Natur stattfindende Versickerung des Wassers nicht nachgebildet wird. Aus diesem Grund bleibt auch einmal in Senken eingelaufenes Wasser im Modell stehen, während es in der Natur nach Ablauf des Hochwassers versickern und verdunsten kann. An der in einer Eintiefung gelegenen Messstelle Oberholz wird deshalb im Modell nach Ablauf des Hochwassers auch nicht wieder der

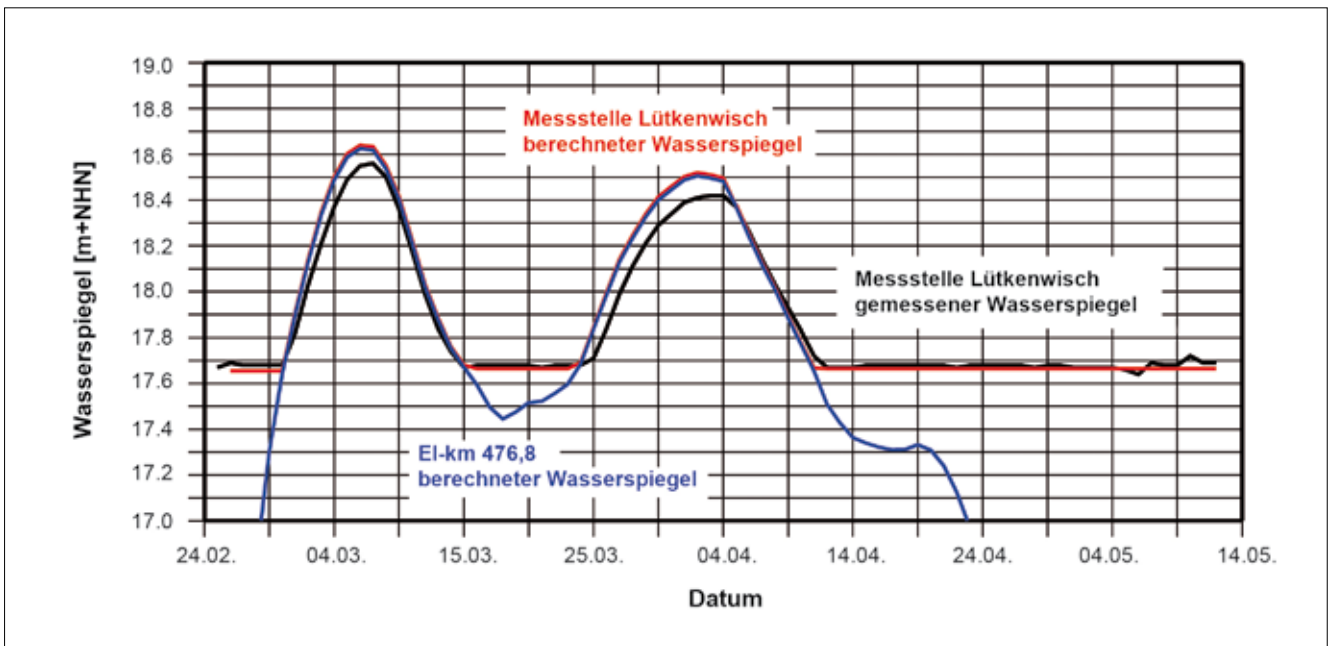


Bild 21: Zeitlicher Verlauf der an der Messstelle Lütkenwisch gemessenen und berechneten Wasserspiegellagen sowie der auf der Höhe der Messstelle im Flussschlauch (El-km 476,8) berechneten Wasserspiegellagen
 Figure 21: Chronological sequence of the water levels measured and calculated at the measuring station Lütkenwisch and of the water levels calculated at the location of the measuring station in the main channel (Elbe kilometer 476.8)

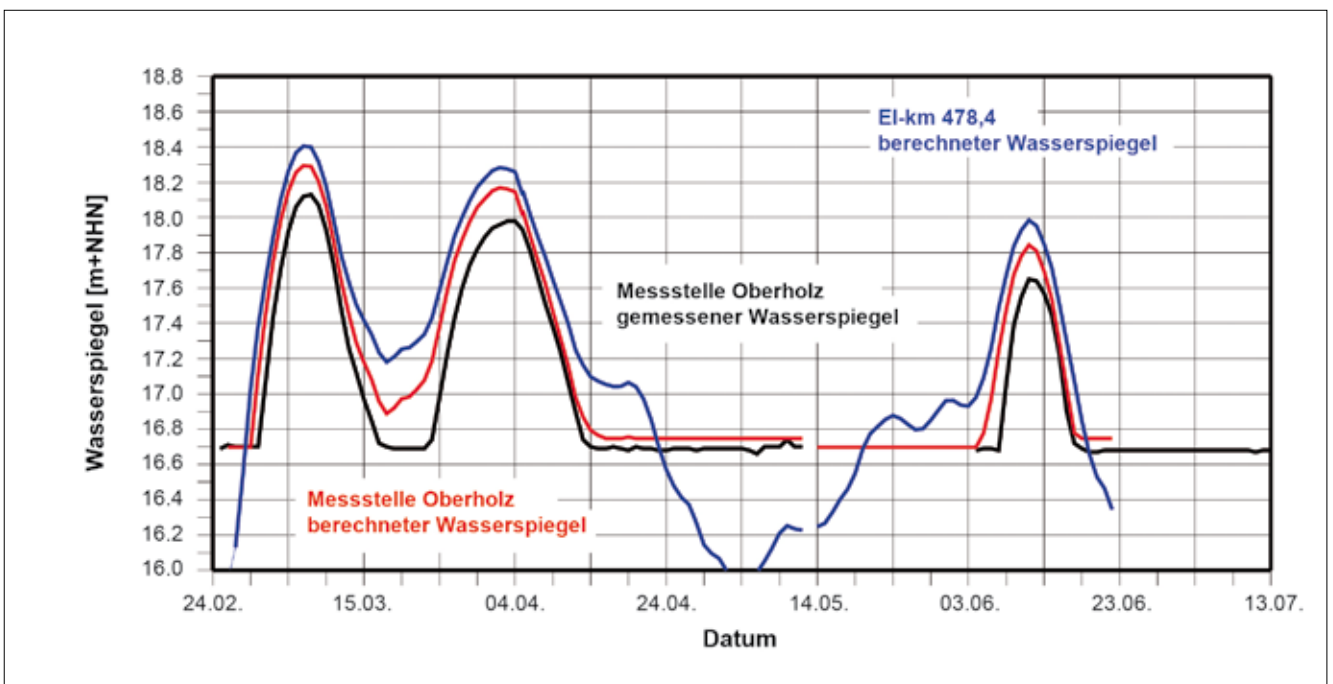


Bild 22: Zeitlicher Verlauf der an der Messstelle Oberholz gemessenen und berechneten Wasserspiegellagen sowie der auf der Höhe der Messstelle im Flussschlauch (El-km 478,4) berechneten Wasserspiegellagen
 Figure 22: Chronological sequence of the water levels measured and calculated at the measuring station Oberholz and of the water levels calculated at the location of the measuring station in the main channel (Elbe kilometer 478.4)

ursprüngliche, der Geländehöhe an der Messstelle entsprechende Wasserspiegel erreicht. Erst mit dem Neustart der Simulation am 14. Mai 2010 kann wieder ein der Geländehöhe entsprechender Wasserstand ausgewiesen (Bild 22) werden. Eine weitere Ursache für die

an allen Scheitelpunkten um ca. 20 cm abweichenden Wasserspiegellagen könnte darin zu suchen sein, dass die Höhenlage der Messdosen nicht exakt eingemessen werden konnte, sondern über die Gauß-Krüger-Koordinaten der Messstellen aus dem Digitalen Gelän-

demodell (BfG, 2008) entnommen wurde. Speziell bei stärkeren Geländegradienten sind Abweichungen der Höhenwerte in der bei den Messungen beobachteten Größenordnung nicht ungewöhnlich.

5.5.4 Messstelle Eichwald-2 *Measuring station Eichwald-2*

Bild 23 zeigt die zeitlichen Verläufe der an der Messstelle Eichwald-2 beobachteten und berechneten Wasserstände sowie der im Flussschlauch der Elbe auf Höhe der Messstelle ermittelten Wasserspiegellagen. Die Messstelle Eichwald-2 liegt ebenfalls in einer Senke im Bereich der mittleren Flutmulde. Die Entfernung zum Flussufer beträgt etwa 800 m. Im Gegensatz zur Messstelle Oberholz müssen die Wasserstände in der Elbe hier niedriger als an der Messstelle selbst liegen, weil das Wasser durch die in diesem Streckenabschnitt liegenden Schlitze aus dem Vorland in die Elbe strömt. Auch hier läuft das Wasser im Modell schneller und höher auf als in der Natur. Der Grund könnte auch hier teilweise in der im Modell nicht nachgebildeten Versickerung zu suchen sein, wobei in der Natur durch die Schaffung der Flutmulden eine große Sickerfläche vorhanden ist. Eine weitere Erklärung für die Abwei-

chungen zwischen Messung und Rechnung wäre, wie an den anderen Messstellen, die nicht exakte höhenmäßige Einmessung der Messdosens. Außerdem strömt im Modell möglicherweise zu viel Wasser über das Vorland, weil die Schlitze 2 bis 5 tatsächlich nicht so leistungsfähig sind, wie im Modell angenommen. Die Ursachen könnten neben einer den Abfluss behindernden Vegetation weiterhin in einer nicht nach ursprünglichen Planungen hergestellten Schlitzgeometrie zu suchen sein.

6 Untersuchung des Einflusses klimabedingter Abfluss- und Vegetationsänderungen auf die Wasserstandsentwicklung in der Elbe *Investigation of the influence of climate-related changes of discharge and vegetation on the water level development in the River Elbe*

Da für die Szenarien zu den klimabedingten Extremhochwässern zum jetzigen Zeitpunkt noch keine entsprechenden Abflussprojektionen vorliegen, wurde bis zur voraussichtlichen Bereitstellung dieser Daten im Jahr 2012 mit den in der Tabelle 4 aufgeführten Abflüs-

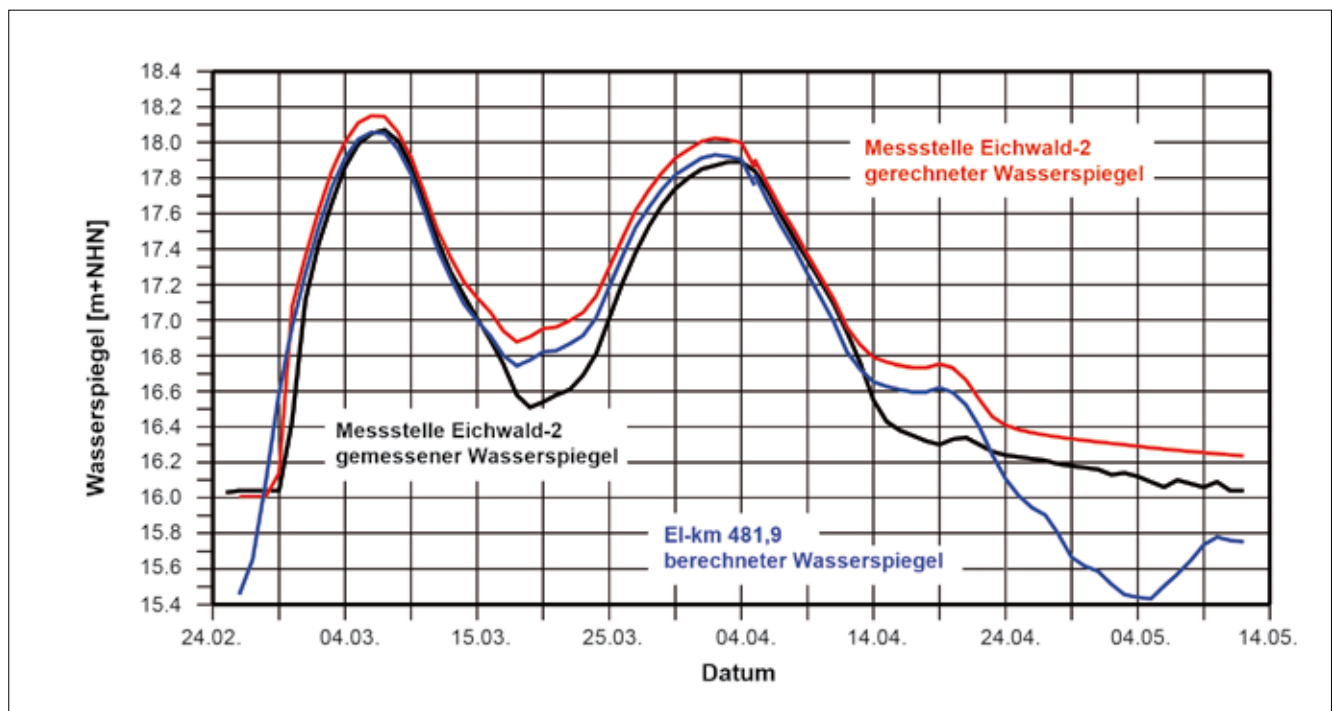


Bild 23: Zeitlicher Verlauf der an der Messstelle Eichwald-2 gemessenen und berechneten Wasserspiegellagen sowie der auf der Höhe der Messstelle im Flussschlauch (El-km 481,9) berechneten Wasserspiegellagen

Figure 23: Chronological sequence of the water levels measured and calculated at the measuring station Eichwald-2 and of the water levels calculated at the location of the measuring station in the main channel (Elbe kilometer 481.9)

Variante	1	2	3	4a	4b	4c	4d
	NQ50	MQ	HQ100	HQ _{Klima1}	HQ _{Klima2}	HQ _{Klima3}	HQ _{Klima4}
Q [m ³ /s]	149	704	4.020	4.700	4.800	4.900	5.000

Tabelle 4: Vorläufige, klimabedingte Extremabflüsse für die Szenarienrechnungen

Table 4: Preliminary, climate-related extreme discharges for the scenario calculations

sen (Varianten 4a-d) gerechnet (Biosphärenreservatverwaltung Niedersächsische Elbtalau, 2010).

Weil zu den klimabedingten Änderungen der Vegetation ebenfalls noch keine Aussagen gemacht werden konnten, wurde zunächst mit dem auf der aktuellen Biotoypverteilung basierenden Rauheitsmodell gearbeitet.

Bild 24 zeigt die berechneten Wasserspiegellagen für das HQ100 (4.020 m³/s) sowie für vier darüber liegende Abflüsse. Gegenüber dem HQ100 steigt der Was-

serspiegel bei dem höchsten betrachteten Abfluss von 5.000 m³/s um bis zu 75 cm an.

Zusätzlich wurde für den maximal angenommenen Abfluss von 5.000 m³/s eine Simulationsrechnung für den früheren Zustand ohne Deichrückverlegung durchgeführt. Damit würden sich Wasserstände ergeben, welche bis zu 45 cm über dem aktuellen Zustand mit dem zurückverlegten Hochwasserdeich liegen.

Zum Vergleich wurden weiterhin die Höhen des linkselbischen Hochwasserdeiches eingetragen (BfG, 2009).

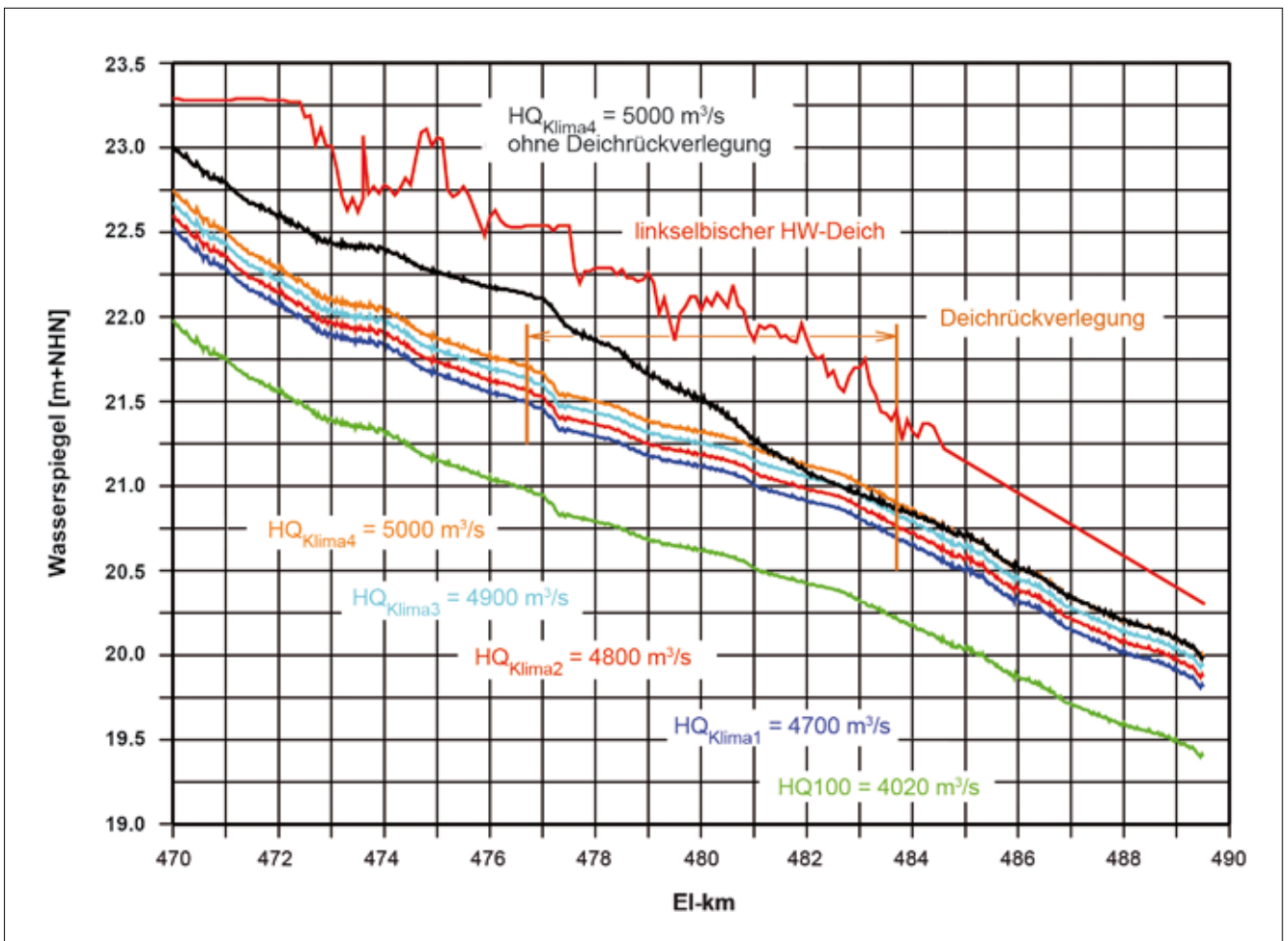


Bild 24: Szenarienrechnungen für verschiedene Hochwasserereignisse für den Ist-Zustand mit rückgedeichtem Vorland sowie für den Zustand ohne Rückdeichung für HQ_{Klima4} = 5.000 m³/s

Figure 24: Scenario calculations for different flood events for the actual scenario with dike relocation and for the scenario without dike relocation for HQ_{Climate4} = 5,000 m³/s

Bei einem angenommenen Hochwasserabfluss von $5000 \text{ m}^3/\text{s}$ beträgt der Freibord nur noch 50 bis 70 cm. Ohne die Deichrückverlegung ergäben sich in diesem Abschnitt noch geringere Freibordhöhen.

7 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Conclusions and recommendations

Infolge der vergrößerten Abflussflächen kommt es durch die Deichrückverlegung zu einer deutlichen Absenkung der Hochwasserspiegellagen. Für ein 100-jährliches Hochwasser mit einem Abfluss von $4.020 \text{ m}^3/\text{s}$ beträgt der Abfall des Wasserspiegels maximal 0,35 m am ersten Einlaufschlitz (El-km 477) und erreicht an der oberstromigen Modellgrenze (El-km 470) immer noch einen Wert von 0,2 m.

Der für ein 100-jährliches Hochwasser ermittelte Anstieg der Wasserspiegellagen durch den sich mit den geplanten Bepflanzungen entwickelnden Bewuchs ist bezogen auf den Zustand 2009 für alle Szenarien relativ gering. Dort wo er am stärksten ist, fällt der durch die Deichrückverlegung bedingte Wasserspiegelverfall um ein vielfaches größer aus, sodass durch die Anpflanzungen im Vergleich zum Zustand ohne die Deichrückverlegung keine größere Hochwassergefahr zu erwarten ist. Das betrifft insbesondere die Auswirkungen der Pflanzungen im rückgedeichten Gebiet und oberstrom davon im Lütkenwischer Werder. Der für das Jahr 2090 angenommenen Zustand einer voll entwickelten Vegetation führt bei einem 100-jährlichen Hochwasser zu einer maximalen Wasserspiegellanhebung im oberstromigen Bereich des Rückdeichungsgebietes in der Größenordnung von etwa 0,12 m. Damit liegt der Wasserspiegel immer noch ca. 25 cm niedriger als für den Zustand ohne die Rückdeichung.

Die Wasserspiegellagen im Mödlicher Werder werden durch die Deichrückverlegung nicht beeinflusst. Die hier vorgesehenen Pflanzungen (Galeriewald auf der Uferrehne, verstreute Baumgruppen auf dem Vorland) weisen einen sehr geringen Fließwiderstand auf, sodass die Wasserspiegellanhebungen rechnerisch an der Nachweisgrenze liegen. Im Vergleich zum Zustand ohne Deichrückverlegung ergibt sich durch die vorgesehenen Pflanzungen auch nach vielen Jahrzehnten keine Vergrößerung der Hochwassergefahr.

Am unterstromigen Rand des Rückverlegungsgebietes kommt es gegenüber dem Zustand ohne rückverlegten Hochwasserdeich zu einem Wasserspiegellanstieg von maximal 0,06 m (El-km 483) bei einem Abfluss von $4.020 \text{ m}^3/\text{s}$. Die Ursache für diese lokale Erhöhung der Hochwasserspiegellagen liegt darin begründet, dass ca. 85% des über das Deichrückverlegungsgebiet abgeführten Abflusses von $1.385 \text{ m}^3/\text{s}$ auf relativ engem Raum durch die Schlitz 5 und 6 wieder in den Hauptstrom gelangen. Im Vergleich zum Zustand ohne Rückdeichung wird aber im Flussschlauch deutlich weniger Wasser abgeführt ($-1.170 \text{ m}^3/\text{s}$), sodass dort auch geringere Fließgeschwindigkeiten herrschen. Mit dem lokal durch die Schlitz 5 und 6 aus dem Rückdeichungsgebiet zuströmenden Wasser steigt der Abfluss plötzlich wieder auf $4.020 \text{ m}^3/\text{s}$ an. Die zusätzliche Wassermenge kann wegen der geringeren Fließgeschwindigkeit zunächst nur über eine Erhöhung der Wasserspiegellagen abgeführt werden. Erst nach einer Beschleunigung der Strömung über das durch den Aufstau hervorgerufene stärkere Wasserspiegelgefälle werden unterhalb des Rückdeichungsgebietes die ursprünglichen Wasserstände wieder erreicht. Deshalb stellt sich auch im unterstromigen Bereich des Deichrückverlegungsgebietes ein zusätzlicher Aufstau ein, der dazu führt, dass der Wasserspiegel bis zu 0,08 m höher als im Hauptstrom liegt.

Zur Verringerung des durch die Deichrückverlegung bedingten Wasserspiegellanstiegs im Vorland müssten die Größe der Schlitz 5 und ggf. das Vorlandrelief (Flutmulden) modifiziert werden. Der Anstieg der Hochwasserspiegel im Flussschlauch im Bereich der Schlitz 5 und 6 ließe sich ebenfalls durch eine Vergleichmäßigung der aus dem Vorland strömenden Wassermengen verringern. Die beste Wirkung hinsichtlich der Absenkung der Hochwasserspiegellagen würde man allerdings durch einen Abtrag des Altdeiches bis auf eine Höhe, welche die Überströmung ab einem Abfluss von ca. $1.400 \text{ m}^3/\text{s}$ zulassen würde, erreichen. Derartige Varianten mit abgetragenem Altdeich waren bereits Gegenstand früherer Untersuchungen (BAW, 2002).

Das Teilprojekt T3.2 „Anpassungsstrategien im Biosphärenreservat Niedersächsische Elbtalaue am Beispiel der Auenlebensräume“ zielt innerhalb des KLIMZUG NORD-Verbundvorhabens darauf ab, ein klimaangepasstes integriertes Flussauenmanagement zu entwickeln. Unter Verwendung von Klimaszenarien soll dazu

an dem hier vorgestellten Modell simuliert werden, wie sich die Wasserstände der Elbe unter veränderten Abfluss- und Vegetationsbedingungen entwickeln.

Da für die Szenarien zu den klimabedingten Extremhochwässern zum jetzigen Zeitpunkt noch keine entsprechenden Abflussprojektionen vorliegen, wurde bis zur geplanten Bereitstellung dieser Daten im Jahr 2012 mit vorläufigen Abflusswerten von bis zu 5.000 m³/s gerechnet. Für den maximalen Abfluss liegt der Freibord der linkselbischen Deiche bei teilweise nur noch 50 cm.

Die Berechnungen erfolgten für den Ist-Zustand mit dem auf der aktuellen Biotoptypverteilung basierenden Rauheitsmodell. Klimabedingte Vegetationsänderungen mit den sich daraus ergebenden modifizierten Rauheitsverteilungen werden gegenwärtig untersucht und zu gegebener Zeit in die Simulationsrechnungen einfließen.

8 Literaturverzeichnis

References

Biosphärenreservatverwaltung Niedersächsische Elbtalaue (2010): Vorgabe von Abflusswerten für die Szenarienrechnungen. E-Mail vom 12. Mai 2010.

Bundesanstalt für Wasserbau (2002): Gutachten über die Untersuchung der Rückdeichung bei Lenzen mit einem zweidimensional-hydrodynamisch numerischen Modell, unveröffentlicht.

Bundesanstalt für Gewässerkunde (2008): Auswertung digitaler Fernerkundungsaufnahmen des Elbe-Wasserlaufes (FE-Datenauswertung Elbe), unveröffentlicht.

Bundesanstalt für Gewässerkunde (2009): Deichhöhenpunkte aus dem Projekt „Einheitliche Grundlage für die Festlegung der Bemessungswasserspiegellage der Elbe auf der frei fließenden Strecke in Deutschland“, Stand 02.2009.

Bundesländer (2004): Protokoll über die 1. Sitzung der Abstimmungsgruppe „Erstellung einer länderübergreifenden Hochwasserstatistik für die Elbe“ am 20. Dezember 2004 in Magdeburg.

Casulli, V., Zanolli, P.: Semi-implicit numerical modelling of non-hydrostatic free-surface flows for environmental problems. In: *Mathematical and Computer Modelling*, 2002, Nr. 36, S. 1131 – 1149.

Fa. ELANA Boden Wasser Monitoring, Falkenberg, (2010): Messbericht zu bodenkundlichen Untersuchungen im Rahmen der Deichrückverlegung Lenzen, unveröffentlicht.

Habersack, H. M.: Vorlesung Computerunterstützte Gewässermodellierung. TU Wien, Wintersemester 2007/2008.

Ingenieurbüro Schmid, Kapsweyer, (Mai 2010): Bericht zu den Sondermessungen auf der Elbe bei HW in Messabschnitten im Bereich Elbe-km 432 bis 490 – Messungen vom März 2010, unveröffentlicht.

Ingenieurbüro Schmid, Kapsweyer, (November 2010): Bericht zu den Sondermessungen auf der Elbe in Messabschnitten im Bereich Elbe-km 438 bis 485, Schwerpunkt Bühnenfelder und Vorländer – Messungen vom Oktober 2010, unveröffentlicht.

Ingenieurbüro Schmid, Kapsweyer, (Februar 2011): Bericht zu den Sondermessungen auf der Elbe bei HW in Messabschnitten im Bereich Elbe-km 432 bis 493 – Messungen vom Januar 2011, unveröffentlicht.

Jankowski (2009): Parallel implementation of a non-hydrostatic model for free surface flows with semi-Lagrangian advection treatment. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 2009, Nr. 59, S. 1157 – 1179.

LUGV-Brandenburg, Vermessungsbüro Münster und Graf GbR (2011): Rekonstruktion des Scheitelwasserstandes des Hochwassers 01/2011 am Brandenburger Elbedeich auf Grundlage der Aufmessung des Wasserspiegels am 22./23.01.2011, unveröffentlicht.

Schmid, R., Niesler, H. (2013): Durchführung und Aufbereitung von Naturmessungen im Bereich der Deichrückverlegung Lenzen. In: *BAWMitteilungen* Nr. 97, S. 99 – 108.

Fa. Smile Consult (2009): Erstellung von Gitternetzen für das Modellverfahren UNTRIM. Kurzbericht für das Modellgebiet Elbe/Lenzen.

Trägerverbund Burg Lenzen (Elbe) e. V. (2009): Naturschutzgroßprojekt „Lenzener Elbtalaue“, E-Mail vom 7. Juli 2009.

Durchführung und Aufbereitung von Naturmessungen im Bereich der Deichrückverlegung Lenzen

Conducting and Processing Field Measurements in the Lenzen Dike Relocation Area

Dipl.-Ing. Roland Schmid, Dipl.-Ing. Harald Niesler, Ingenieurbüro Schmid, Kapsweyer

Naturdaten leisten zum Systemverständnis des Strömungsgeschehens und zur Beurteilung wasserbaulicher Maßnahmen einen wichtigen Beitrag. Darüber hinaus sind sie für die Kalibrierung und Validierung von Modellen unverzichtbar. Die Qualität der Naturdaten hängt entscheidend von der Sorgfalt während der Erhebung und Aufbereitung ab. Dieser Beitrag behandelt die Erfassung und Aufbereitung von Naturdaten, wobei im Wesentlichen auf die in der Natur erhobenen Strömungsdaten eingegangen wird. Es wird die Messtechnik erläutert, die Durchführung beschrieben und die Datenaufbereitung erklärt. An Hand von Beispielen im Bereich der Deichrückverlegung Lenzen werden Ergebnisse vorgestellt und es werden die Schwierigkeiten bei Naturuntersuchungen angesprochen.

Field data make an important contribution to understanding the system of flow patterns and to assessing the effects of hydraulic engineering measures. Moreover, they are indispensable for the calibration and validation of models. The care exercised when collecting and processing field data has a decisive impact on their quality. This paper discusses the collection and processing of field data, the main focus being on flow data collected in the field. The paper describes the measurement technology, how measurements are taken and the method used for data processing. Results are presented, showing examples from the Lenzen dike relocation project and illustrating the difficulties incurred in field examinations.

1 Einleitung *Introduction*

Das Ingenieurbüro Schmid ist spezialisiert auf die Durchführung von Naturmessungen in und an Gewässern. Hierzu zählen neben der Bestimmung der Wasser-

spiegellagen und Sohlenpeilungen v. a. Strömungsmessungen. Für Strömungsmessungen wird ein Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) eingesetzt. Die ADCP-Technik hat sich in den letzten Jahren bei der Erhebung von Naturdaten etabliert. Ein Vorteil der ADCP-Messtechnik ist, dass in kurzer Zeit eine hohe Messwertdichte und -güte erreicht werden kann. Neben der Bestimmung von Durchflussmengen und hieraus abgeleiteten Wasserstands-Abfluss-Beziehungen gibt es eine Vielzahl weiterer Einsatzmöglichkeiten für ADCP-Messungen. Beispielsweise können aus punktuellen Langzeitbeobachtungen lokale Parameter wie Sohlenschubspannungen und damit Rauheiten abgeleitet werden. Ein weiterer Einsatzbereich ist die großflächige Geschwindigkeitsaufnahme, um Aussagen über das Strömungsverhalten z. B. in Bühnenfeldern zu erhalten.

Das Ingenieurbüro Schmid führte in den letzten 12 Jahren eine Vielzahl von Messkampagnen im Bereich der Deichrückverlegung Lenzen im Auftrag der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) durch. Es wurden Wasserspiegelfixierungen in der Fahrrinne mit begleitenden Sohlenpeilungen und Geschwindigkeitsmessungen zwischen Niedrigwasser (NW) und Hochwasser (HW) durchgeführt. Begleitend wurden die Gesamtdurchflussmengen in festgelegten Querprofilen erfasst. Ab dem Jahr 2009 wurden die Strömungsverhältnisse und Topografie in mehreren Bühnenfeldern im Bereich des Untersuchungsgebietes bei unterschiedlichen Wasserständen flächig erfasst. In den Jahren 2010 und 2011 wurden während höherer Wasserstände die Durchflussanteile in den Altdeichschlitzen bestimmt.

Dieser Beitrag gibt zunächst einen Einblick in die Messtechnik. Anschließend wird an Beispielen verschiedener Messkampagnen im Bereich der Deichrückverlegung Lenzen auf die Durchführung und Auswertung

von Durchflussmessungen, großflächigen Geschwindigkeitsaufnahmen in Bühnenfeldern, Wasserspiegelfixierungen und Sohlenpeilungen eingegangen.

2 Messtechnik

Measurement technology

2.1 Ortung der Messung

Location of measuring station

Für die Qualität der Messung ist die genaue Kenntnis des Ortes der Messung sowohl zur Orientierung während der Durchführung als auch für den Ortsbezug bei der späteren Aufbereitung der Messdaten von entscheidender Bedeutung. Hierfür wird das globale Positionssystem mit Differentialsignal (DGPS) eingesetzt.

Zur Erhebung der erforderlichen Korrekturdaten werden zeitgleich zur Messung im Gewässer Referenzstationen an Land betrieben (Bild 1) und die SAPOS-Stationen der deutschen Landesvermessungsämter einbezogen. Die Auswertung erfolgt im Postprocessing-Verfahren.



Bild 1: Temporäre Referenzstation am 9. September 2010 an der Elbe auf einem Hektometerstein

Figure 1: Temporary reference station on a milestone next to River Elbe on September 9, 2010

2.2 Messtechnik des ADCP

The ADCP method

Zur Bestimmung von Fließgeschwindigkeiten wird ein Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) des Herstellers Teledyne RD Instruments eingesetzt. Der ADCP

misst die Fließgeschwindigkeiten nach dem Doppler Prinzip. Er sendet Ultraschallimpulse aus, die von Partikeln im Wasser, z. B. Schwebstoffen, reflektiert und als Echo wieder empfangen werden. Bewegen sich diese Partikel relativ in Richtung des Schallstrahls, so weisen die Echos eine Frequenzverschiebung, die sogenannte Dopplerverschiebung, auf. Aus der Dopplerverschiebung wird die Geschwindigkeit der Partikel berechnet. Das Messprinzip geht davon aus, dass sich die Partikel im Mittel mit der gleichen Geschwindigkeit bewegen, wie das sie umgebende Fluid. Über die Laufzeit der Echosignale werden die Geschwindigkeitsinformationen einer bestimmten Tiefe zugeordnet. Die Geschwindigkeitsinformationen werden in Tiefenzellen zusammengefasst und gemittelt. Für jede Tiefenzelle wird ein dreidimensionaler Geschwindigkeitsvektor bestimmt. Als Ergebnis wird ein lotrechtes Geschwindigkeitsprofil ausgegeben, welches als Ensemble bezeichnet wird (Bild 2).

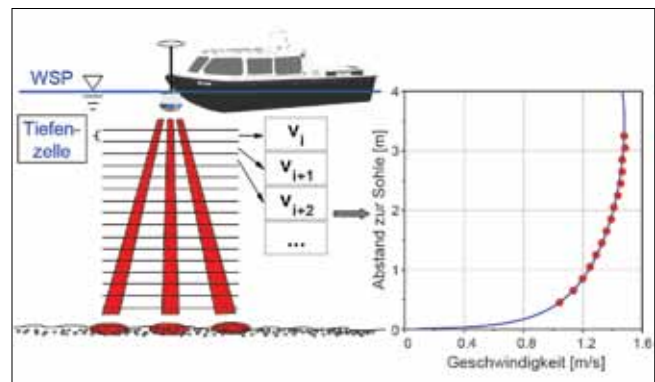


Bild 2: Schematische Darstellung des Messprinzips des ADCP mit Aufteilung der Messwerte in Tiefenzellen. Je Tiefenzelle wird ein dreidimensionaler Geschwindigkeitsvektor erfasst.

Figure 2: Diagrammatic view of the ADCP measurement principle with division of measured values into depth cells. For each depth cell, a 3-dimensional velocity factor is recorded.

Im Nahbereich der Ultraschallsensoren werden keine Fließgeschwindigkeiten erfasst (Blanking Distance), da hier das Zeitintervall zwischen Sendepuls und Echoempfang zu klein ist. Auch im Nahbereich der Sohle werden keine Fließgeschwindigkeiten erfasst. Der Grund hierfür ist, dass die Signale der Sohlenechos und der Partikelechos durch die Geräteelektronik nicht hinreichend genau getrennt werden können. Die Größe der nicht erfassten Randbereiche kann durch die Konfiguration des ADCP beeinflusst werden. Zur Bestimmung der Gesamtdurchflussmenge müssen diese Bereiche berücksichtigt werden. Daher werden die

Messwerte mit einem geeigneten Verfahren zur Sohle und zum Wasserspiegel hin extrapoliert. Der Hersteller bietet hierfür unterschiedliche Verfahren getrennt für beide Randbereiche an.

Zur Erfassung der Fließgeschwindigkeiten ist eine bestimmte Wassertiefe notwendig. Die erforderliche Wassertiefe ergibt sich aus der Größe der Tiefenzellen, der Größe der Randbereiche und der Eintauchtiefe des ADCP. Ein speziell entwickelter Flachwasser-ADCP erlaubt Messungen ab einer Wassertiefe von ca. 40 cm.

Der ADCP misst die Geschwindigkeiten relativ zu sich selbst. Bei einer ortsfesten Messung sind diese Geschwindigkeiten gleich den Fließgeschwindigkeiten. Wird der ADCP bewegt, so müssen die gemessenen Geschwindigkeiten vektoriell um die Geschwindigkeit des Gerätes korrigiert werden. Hierfür wurde vom Hersteller das sogenannte Bottom-Track Verfahren entwickelt. Es werden spezielle Ultraschallimpulse zur Sohle ausgesendet (sog. Bottom-Track-Pings), durch die der ADCP seine Bewegung über Grund bestimmt. Die Fließgeschwindigkeiten werden um den Bewegungsvektor des Gerätes korrigiert und direkt ausgegeben. Bei bewegter Sohle (z. B. durch Geschiebe) kann das Bottom-Track Verfahren zu verfälschten Ergebnissen führen. Die Bewegung der Sohle wird vom Messgerät als eine stromauf gerichtete Bewegung des Gerätes interpretiert. Die ausgegebenen Geschwindigkeitsvektoren sind in diesem Fall kleiner als die tatsächlichen Fließgeschwindigkeiten (Orlovius und Henning, 2005). Eine Möglichkeit der Korrektur der Geschwindigkeiten bietet der Einsatz von DGPS. Der Bewegungsvektor des Gerätes wird hierbei mittels DGPS bestimmt und zur Berichtigung der Fließgeschwindigkeiten verwendet.

Eine ausführlichere Beschreibung der ADCP-Messtechnik findet sich u. a. bei Simpson (2001).

Wie bei jedem Messsystem sind auch die Messdaten des ADCP mit Fehlern behaftet. Viele Fehlerquellen können jedoch durch die richtige Konfiguration, eine sorgfältige Messdurchführung und fachkundiges Personal vermieden werden. Umfangreiche Vergleiche von ADCP-Messungen mit Flügelmessungen, durchgeführt vom U.S. Geological Survey, kommen zu dem Schluss, dass ADCP-Messungen maximal 5 % Differenz zu Flügelmessungen aufweisen (Morlock, 1996). Ein Anwendertreffen zur Qualitätskontrolle von ADCP, durch-

geführt von der Bundesanstalt für Gewässerkunde im Jahr 2007, kam zu Abweichungen von unter 3 % im Vergleich zu Flügelmessungen (Adler, 2008).

2.3 Durchführung von ADCP-Messungen

Making ADCP measurements

ADCP-Messungen werden im Moving Boat Doppler Verfahren durchgeführt. Hierbei wird der ADCP an einer absenkbaren Halterung am Bug des Bootes angebracht und ein vorgegebener Bootskurs abgefahren. Zur Ortung und Referenzierung der Fließgeschwindigkeiten wird eine DGPS-Antenne in der Achse des ADCP angebracht.

Die augenblickliche Position des ADCP wird dem Bootsführer in Echtzeit auf einem Bildschirm dargestellt (Realtime Messung, siehe Bild 3). Auf dem Bildschirm kann auch eine Strecke oder ein Kurs eingegeben werden, den der ADCP nehmen soll, beispielsweise ein Quer- oder Längsprofil oder ein Raster im Gewässer. Es werden dem Bootsführer ständig seine Entfernung zum Ufer, die lotrechte Entfernung zur vorgegebenen Strecke und/oder seine Entfernung zu einer vorgewählten Markierung, einem Punkt im Fluss oder an Land, auf dem Bildschirm angezeigt. Darüber hinaus können digitale Karten hinterlegt werden, was insbesondere bei Hochwassermessungen mit überströmten Vorländern unverzichtbar ist.

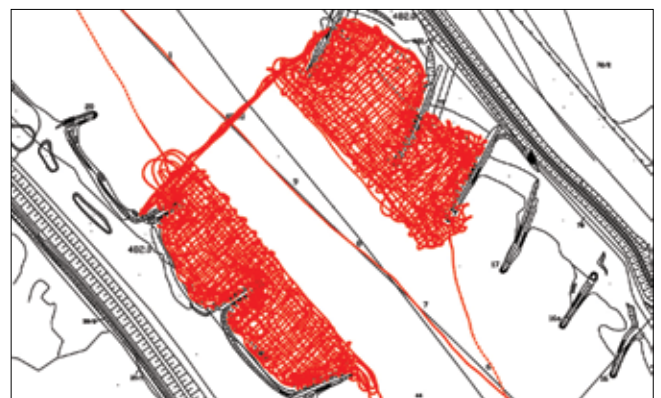


Bild 3: Realtime-Darstellung der Fahrspur für eine flächige Geschwindigkeitsaufnahme in Buhnenfelder bei Elbe-km 482,0, Messung am 16. September 2010

Figure 3: Real time presentation of the lane for two-dimensional velocity measurement in groyne fields, at Elbe kilometer 482.0; measurement taken on September 16, 2010

Für die Durchführung einer Durchflussmessung wird ein Querprofil vorgegeben und dieses mindestens viermal langsam befahren. Bei einer flächigen Geschwindigkeitsaufnahme wird das Untersuchungsgebiet in einem vorgegebenen Raster befahren und die Strömungsgeschwindigkeiten kontinuierlich aufgezeichnet. Bei einer punktuellen Geschwindigkeitsaufnahme wird das Messboot über eine längere Dauer quasi ortsfest in der Strömung gehalten und die Fließgeschwindigkeit kontinuierlich aufgezeichnet. Mit Hilfe der Realtime-Darstellung am Bildschirm kann vom Bootsführer üblicherweise ein maximaler Abstand von ± 2 m vom Sollpunkt, d. h. dem Ort des zu messenden vertikalen Geschwindigkeitsprofils, eingehalten werden.

Entsprechend der Aufgabenstellung wird der vorgegebene Bootskurs mit Hilfe der Realtime-Darstellung abgefahren. Dies stellt hohe Ansprüche an die Fähigkeiten des Bootsführers, da der Fluss einerseits mit möglichst geringer Bootsgeschwindigkeit gequert werden muss und andererseits die Abweichung von der vorgewählten Strecke so gering wie möglich gehalten werden soll. Die unterschiedlich hohen Fließgeschwindigkeiten in Ufernähe, in Bühnenfeldern und im Flussschlauch erfordern von dem Bootsführer große Geschicklichkeit und gute Beherrschung des Bootes.

2.4 Fixierung der Wasserspiegelhöhen

Determining water level heights

Die kontinuierliche Bestimmung der Wasserspiegelhöhen entlang einer Längsachse wird als Wasserspiegelfixierung bezeichnet. Üblicherweise erfolgt eine Wasserspiegelfixierung in der Fahrrinnenmitte. Die Messungen der Wasserspiegelhöhen erfolgt mit der DGPS-Antenne, die im Schwerpunkt des Messbootes angebracht ist. Auf diese Weise kann der Einfluss der Bootsbewegungen, bedingt durch Wellenbewegungen, auf die Messergebnisse minimiert werden. Während einer Wasserspiegelfixierung wird das Messboot in der Fahrrinnenmitte zu Tal gefahren. Der Antrieb wird auf ein Mindestmaß reduziert, um das Messboot manövrierfähig zu halten. Kommt es bei einer Wasserspiegelfixierung zu Begegnungen mit einem Schiff oder Überholungen durch ein Schiff, werden die Messungen unterbrochen und erst dann an der letzten Messposition wieder aufgenommen, wenn keine Schiffsbeeinflussung mehr zu erwarten ist. Bei Brückendurchfahrten

kommt es, bedingt durch die Abschattung, zu Abrissen des DGPS-Empfangs. Um die entstehende Lücke zu minimieren, wird unterstrom der Brücke aufgestoppt und gewartet, bis wieder ausreichend Satelliten empfangen werden. Durch diese Vorgehensweise ist eine nahezu durchgehende, störungsfreie Wasserspiegellinie in Fahrrinnenmitte über die gesamte Messstrecke gewährleistet.

2.5 Sohlenpeilungen

River bed sounding

Für eine Sohlenpeilung wird ein 200 kHz Doppelschwinger Echolot der Fa. Fahrenholz eingesetzt. Die Messgenauigkeit des Gerätes wird mit 1 cm angegeben. Die Abtastrate beträgt ca. 18 Hz, der Öffnungswinkel 2° und die Mindestmesstiefe 20 cm. Aufgrund des geringen Tiefganges des Messbootes sind auch ufernahe Peilungen möglich und es kann die Bühnen- oder Leitwerksgeometrie aufgenommen werden. Zur Positionierung wird in der Achse des Echolotes eine DGPS-Antenne installiert. Die Kombination der Daten des Echolotes und der DGPS-Anlagen erfolgt über die Uhrzeit. Die Steuerungssoftware des Echolots speichert zeitgleich die gemessene Wassertiefe und die Uhrzeit der angeschlossenen GPS-Anlage. Hierdurch werden systematische Fehler aufgrund eines Zeitversatzes ausgeschlossen. Bei Flächenpeilungen wird ein vorgegebenes Raster mit Hilfe der Realtime Darstellung abgefahren und die Tiefenwerte kontinuierlich aufgezeichnet. Die Maschengröße des Aufnahmerasters ist von der Aufgabenstellung abhängig.

3 Messungen im Bereich von Lenzen an der Elbe

Measurements in the area of Lenzen on the River Elbe

In den letzten 12 Jahren wurde eine Vielzahl von Messkampagnen mit unterschiedlichen Zielsetzungen in der Elbe durchgeführt. Bis zum Jahr 2007 lag der Schwerpunkt der Untersuchungen in der Fixierung der Wasserspiegelhöhen bei unterschiedlichen Wasserständen zwischen mittlerem Niedrigwasser und Hochwasser (MNW und HW). Ab dem Jahr 2009 verlagerte sich der Schwerpunkt auf die Erfassung der Strömungsverhältnisse und Topografie in Bühnenfeldern der Binnenelbe

in einer Langzeit-Messkampagne. Ziel war es, die Veränderlichkeit der Topografie in den Bühnenfeldern zu ermitteln.

Im Bereich der Deichrückverlegung Lenzen erfolgten nach der Öffnung des Altdeichs mehrere Messkampagnen zur Bestimmung der Durchflussanteile in den Altdeichschlitzen bei höheren Wasserständen. In Tabelle 1 ist ein Überblick aller Messkampagnen zwischen den Jahren 2004 und 2011 im Maßnahmensgebiet zusammengestellt.

Zur Einordnung der hydrologischen Verhältnisse werden in Tabelle 2 Angaben für den Pegel Lenzen (Quelle WSD Ost, 10. Januar 2012) gemacht.

Die meisten Messeinsätze sind von bestimmten Wasserständen abhängig, bei deren Erreichen die Durchführung sehr kurzfristig erfolgen muss. Dies setzt voraus, dass das gesamte Messequipment flexibel gehandhabt und ständig einsatzbereit vorgehalten wird. Naturuntersuchungen stellen immer eine Herausforderung dar und trotz sorgfältiger Vorplanung kann die örtliche Situation eine Anpassung des Messprogramms und -ablaufs er-

Datum	Durchgeführte Messungen	Pegelstand Lenzen
August 2011	WSP-Fixierung, Bestimmung der Gesamtdurchflussmengen, flächige Aufnahme der Geschwindigkeiten und Sohltopographie in den Bühnenfeldern Elbe-km 482,0	317 cm
Januar 2011	Bestimmung der Durchflussaufteilung in den Schlitzprofilen während einer HW-Welle und zeitnahe Zweitmessung bei deutlich gefallenem Wasserständen, jeweils mit begleitender WSP-Fixierung, Bestimmung der Gesamtdurchflussmengen, flächige Aufnahme der Geschwindigkeiten und Sohltopographie in den Bühnenfeldern Elbe-km 482,0	740 cm / 652 cm
Oktober 2010	Bestimmung der Durchflussaufteilung in den Schlitzprofilen, WSP-Fixierung, Bestimmung der Gesamtdurchflussmengen, flächige Aufnahme der Geschwindigkeiten und Sohltopographie in den Bühnenfeldern Elbe-km 482,0	570 cm
September 2010	WSP-Fixierung, Bestimmung der Gesamtdurchflussmengen, flächige Aufnahme der Geschwindigkeiten und Sohltopographie in den Bühnenfeldern Elbe-km 482,0	343 cm
März 2010	Bestimmung der Durchflussaufteilung in den Schlitzprofilen während einer HW-Welle	506 cm / 529 cm
März 2009	WSP-Fixierung, Bestimmung der Gesamtdurchflussmengen, flächige Aufnahme der Geschwindigkeiten und Sohltopographie in den Bühnenfeldern Elbe-km 482,0	527 cm
Oktober 2007	WSP-Fixierung, Bestimmung der Gesamtdurchflussmengen	383 cm
September 2006	WSP-Fixierung, Bestimmung der Gesamtdurchflussmengen	147 cm
Mai 2006	WSP-Fixierung, Bestimmung der Gesamtdurchflussmengen	461 cm
April 2006	WSP-Fixierung, Bestimmung der Gesamtdurchflussmengen	521 cm / 734 cm
November 2005	WSP-Fixierung, Bestimmung der Gesamtdurchflussmengen	167 cm
Juni 2005	WSP-Fixierung, Bestimmung der Gesamtdurchflussmengen	227 cm
September 2004	WSP-Fixierung, Bestimmung der Gesamtdurchflussmengen	128 cm
Mai 2004	WSP-Fixierung, Bestimmung der Gesamtdurchflussmengen	323 cm

Tabelle 1: Übersicht verschiedener Messkampagnen im Untersuchungsgebiet ab dem Jahr 2005
 Table 1: Overview of different measurement campaigns in the examined area since 2005

NW	MNW	MW	MHW	HW	NNW		HHW ungehindert		HHW gehindert	
cm	cm	cm	cm	cm	cm	Datum	cm	Datum	cm	Datum
82	119	277	581	737	57	25.09.1947	747	02.04.1895	749	14.02.1862

Tabelle 2: Wasserstandshauptzahlen (2001/2010) und Extremwerte am Pegel Lenzen
 Table 2: Main water level figures (2001/2010) and extreme values measured at the Lenzen gage

forderlich machen. Hier sind v. a. Ausnahmesituationen wie z. B. ein Hochwasserereignis zu nennen.

Beispielsweise zeigte sich während der Messungen am 5. März 2010, dass trotz erheblicher Bemühungen die Wasserstände zu gering waren, um die Schlitzprofile 1 und 2 zu befahren. Daher musste die Bestimmung der Durchflussmengen über Differenzbildung erfolgen. Bei den Folgemessungen am 8. März 2010 waren die Wasserstände um ca. 20 cm gestiegen und damit ausreichend um die Messstellen zu befahren, jedoch wurden die Messungen durch mehrere abgestellte Steinpaletten im Messprofil behindert (Bild 4).



Bild 4: Abgestellte Pflastersteinpalette im Schlitzprofil 1 am 8. März 2010

Figure 4: Pallet of paving stones placed in vertical slot 1 on March 8, 2010

Im Januar 2011 konnte Schlitzprofil 1 aufgrund von starkem Bewuchs und sehr turbulenter Strömung nicht direkt befahren werden. Um den Gesamtdurchfluss vollständig zu erfassen, wurde ein Ausweichprofil ca. 200 m unterhalb von Schlitzprofil 1 bemessen. In diesem Profil wurden die Messungen weit ins rechte Vorland bis zum neuen Deich ausgedehnt (Bild 7).

4 Auswertung Evaluation of data

4.1 Auswertung der Fließgeschwindigkeiten Evaluation of flow velocity data

Zunächst erfolgt die Positionierung der Fließgeschwindigkeiten über die zeitgleich durchgeführte DGPS-Messung. Die Koordinaten der DGPS-Messungen werden

den Ensembles der ADCP-Messungen über den Zeitkanal zugewiesen. Bei der Verknüpfung erhält jeder Geschwindigkeitsvektor eine Lage- und Höhenkoordinate im entsprechenden Bezugssystem.

Einzelne Messwerte einer ADCP-Messung stellen immer eine zeitlich hochaufgelöste Momentaufnahme dar, die aufgrund von Turbulenzen eine relativ hohe Streubreite aufweisen. Um ein repräsentatives Strömungsbild wiederzugeben, wird eine Mittelung der Messwerte durchgeführt. Durch die Mittelung nähern sich die einzelnen Ensembles einem resultierenden mittleren Geschwindigkeitsprofil an.

In Bild 5 sind die Ergebnisse einer punktuellen Langzeitaufnahme schematisch dargestellt. Es ist zu erkennen, dass sich mit größer werdender Anzahl der Ensembles das mittlere Geschwindigkeitsprofil einer stetigen Funktion annähert. Als Referenz wurde ein mittleres Geschwindigkeitsprofil, welches sich aus über 2000 Ensembles berechnete, in die Darstellung übernommen.

Bei der Mittelung werden örtlich naheliegende Ensembles zusammengefasst. Hierzu wird das Untersuchungsgebiet in Segmente eingeteilt und alle Ensembles innerhalb eines Segmentes gemittelt. Bei der Profilmessung erfolgt die Segmentierung entlang des Profils und bei flächigen Geschwindigkeitsaufnahmen werden quadratische Segmente (Gitterzellen) erzeugt.

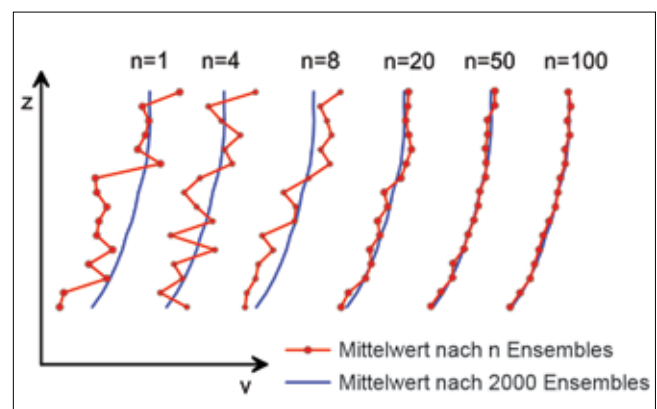


Bild 5: Schematische Darstellung zur Bildung eines lotrechten mittleren Geschwindigkeitsprofils unter Einbeziehung einer größer werdenden Anzahl einzelner Ensembles. Dargestellt sind die Fließgeschwindigkeiten (v) über dem Abstand zur Sohle (z).

Figure 5: Diagrammatic view to create a vertical medium velocity profile including the influence of an increasing number of individual ensembles. The diagram shows the flow velocities (v) in relation to the distance to the river bed (z).

Die Mittelwertbildung der Ensembles innerhalb eines Segmentes/Gitterelementes wird wie folgt durchgeführt (siehe Bild 6):

- Bestimmung einer gemittelten Sohlen- und Wasserspiegelhöhe,
- Einteilung des Mittelungssegmentes in Tiefenzellen,
- Einführung einer Sohlenabstandscoordinate z_i für jeden Messwert,
- Projektion der Messwerte auf die gemittelten Sohlenhöhe,
- Arithmetische Mittelwertbildung aller Messwerte innerhalb einer Tiefenzelle.

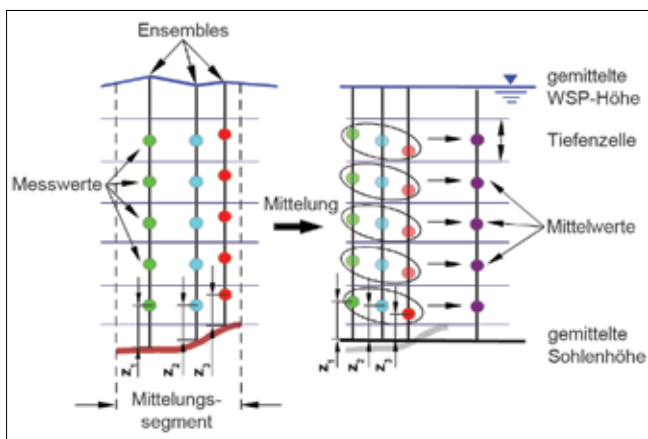


Bild 6: Schematische Darstellung der Mittelwertbildung eines Segmentes mit Zuordnung der Messwerte in Tiefenzellen

Figure 6: Diagrammatic view of the creation of an average value with allocation of the measured values to depth cells

Zur Bestimmung der Gesamtdurchflussmengen oder zur Ableitung hydraulischer und morphologischer Parameter müssen die gemittelten Messwerte zur Sohle und zum Wasserspiegel hin extrapoliert werden. Basierend auf den Untersuchungen nach Chen (1991) wird ein Potenzgesetz angewendet, welches in seiner vereinfachten Form lautet:

$$v(z) = a z^b$$

Hierin bedeuten z die Höhe über der Sohle und $v(z)$ die Geschwindigkeit in einem Abstand z . Für den Exponent b wird $1/6$ vorgeschlagen. Der Koeffizient a berechnet sich aus dem gemessenen mittleren Bereich. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt in der mathematischen Robustheit. Die extrapolierten Geschwindigkeiten stellen jedoch nur eine grobe Approximation dar und werden ausschließlich zur Durchflussberechnung verwendet. Zur Ableitung hydraulischer und morphologischer Parameter sind sie nicht geeignet.

Als Ergebnis von Mittelung und Extrapolation wird ein gemitteltes lotrechtes Geschwindigkeitsprofil für jedes Segment erhalten. Extrapolierte Bereiche sind gekennzeichnet, um sie ggf. für weitere Auswertungen auszublenken.

Zur zweidimensionalen Darstellung der Strömung werden die lotrechten Geschwindigkeitsprofile eines Segmentes über die Tiefe gemittelt. Des Weiteren wird bei Profilmessungen eine Durchflussberechnung durchgeführt. Hierfür wird für jedes Segment eine Teildurchflussmenge bestimmt und durch Addition aller Teildurchflussmengen die Gesamtdurchflussmenge berechnet.

4.2 Auswertung der Wasserspiegelfixierung *Evaluation of determined water level heights*

Zunächst werden alle Koordinaten des Messbootes dargestellt und Unterbrechungen der Wasserspiegelmessungen entfernt. Die gemessenen Höhen werden um den Abstand der DGPS-Antenne zum Wasserspiegel korrigiert und die Lagekoordinaten der Flusstationierung zugeordnet. Als Ergebnis wird eine durchgehende störungsfreie Koordinatendatei der Wasserspiegelhöhen erhalten. Zum Ausgleich von Wellenbewegungen werden die gemessenen Höhen mit einem gewichteten gleitenden Mittel geglättet. Dieses Ausgleichsverfahren hat sich seit 12 Jahren bei einer Vielzahl von Messkampagnen auf verschiedenen Binnengewässern bewährt. Im Rahmen dieser Glättung werden auch kleinere Lücken bedingt durch Brückendurchfahrten durch Interpolation geschlossen.

4.3 Auswertung der Flächenpeilung *Evaluation of bottom sounding*

Aus den Messwerten der Echolotpeilungen werden unter Berücksichtigung der Eintauchtiefe, der Wassertemperatur und des Salzgehaltes die Wassertiefen berechnet. Die Wassertiefen werden mit den Koordinatendateien über den Zeitkanal verknüpft und die Sohlenhöhen in Höhen des entsprechenden Bezugssystems berechnet. Anschließend werden die Sohlenhöhen mit einem gewichteten gleitenden Mittel geglättet. Zur Auswertung einer Flächenpeilung wird ein Gitter mit wählbarer Maschengröße erzeugt und alle Tiefenwerte

eines Gitterelementes in einem Mittelwert zusammengefasst. Gitterelemente ohne Tiefenwerte wurden interpoliert. Für die Mittelwertbildung wird das sog. Krigingverfahren angewendet (Cressie, 1991).

5 Ergebnisse Results

Nachfolgend werden die Ergebnisse beispielhaft für die Messkampagne im Januar 2011 vorgestellt. Die Bezeichnung der Schlitze und Lage der Messprofile kann Bild 11 des Beitrags Faulhaber „Zusammenschau und Analyse von Naturmessdaten“ in diesem Heft entnommen werden. Es wurden die Durchflussmengen in den Schlitzprofilen während und nach einer Hochwasserwelle bestimmt. Begleitend wurden Wasserspiegelfixierungen durchgeführt und die Gesamtabflussmengen ermittelt.

In Tabelle 3 und Tabelle 4 sind die Ergebnisse der Durchflussmessungen zusammengefasst. Am 23. Januar 2011 erfolgten die Messungen zum Zeitpunkt des Scheiteldurchgangs der Hochwasserwelle und am 27. Januar 2011 bei deutlich gefallenem Wasserständen. Positive Durchflüsse bezeichnen den Zufluss ins Vorland und negative Werte die Rückströmung ins Gewässerbett. Der Gesamtabfluss der Elbe wurde bei km 482,70 bestimmt. Neben dem Mittelwert der sechs Einzelmessungen ist die berechnete Durchflussmenge aus dem gemittelten Geschwindigkeitsprofil eingetragen.

Am 23. Januar 2011 wurde der Gesamtzufluss ins Vorland mit 1.174 m³/s ermittelt und der Gesamtabfluss aus dem Vorland mit 1.221 m³/s. Am 27. Januar 2011 wurde der Gesamtzufluss ins Vorland mit 805 m³/s ermittelt und der Gesamtabfluss aus dem Vorland mit 825 m³/s. Der Unterschied zwischen Zu- und Abfluss von ca. 47 m³/s am 23. Januar und 20 m³/s am 27. Januar wurden durch starken Bewuchs verursacht, liegen jedoch im Rahmen der Messgenauigkeit des ADCP.

Profil	Messdauer	1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung	5. Messung	6. Messung	Mittelwert	berech. Durchfluss
	[min]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
km 482.700	59	3.783,8	3.696	3.758,1	3.700,2	3.819,9	3.767,4	3.754	3.729
Schlitz 01	38	976,6	997,3	1007,4	991,7	981,3	998,9	992	997
Schlitz 02	18	138,5	142,7	137,6	136,3	134,7	141,5	139	135
Schlitz 03	15	45,4	46,7	42,5	46	41,3	39,5	44	41
Schlitz 04	20	-230,7	-222,5	-222,8	-236,2	-221,2	-228,5	-227	-232
Schlitz 05	36	-620,9	-585,9	-629,3	-587,6	-620,1	-612,6	-609	-619
Schlitz 06	13	-378,6	-386,4	-381,9	-390,8	-387,1	-385,3	-385	-383
Fährdamm	63	1.235,4	1.275	1.208,2	1.267,7	1.224,9	1.239,6	1.242	1.174

Tabelle 3: Ergebnis der Durchflussbestimmung, Messung am 23. Januar 2011, Pegelstand Lenzen 740 cm

Table 3: *Flowmeter results, measurements taken on January 23, 2011, Lenzen gage height 740 cm*

Profil	Messdauer	1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung	5. Messung	6. Messung	Mittelwert	berech. Durchfluss
	[min]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
km 482.700	47	2.760,1	2.882	2.782,2	2.856,5	2.758,4	2.864,3	2.817	2.799
Schlitz 01	48	657,2	668,5	666,8	702	658,4	676,1	672	670
Schlitz 02	22	88,3	81,9	86,1	89,4	86,9	84,6	86	85
Schlitz 03	16	46	47,6	44,1	49,5	48,5	46	47	43
Schlitz 04	19	-162,5	-158,7	-164,3	-164,3	-150,1	-160,4	-160	-166
Schlitz 05	30	-406,9	-430,7	-412,6	-420,7	-405,7	-435,1	-419	-424
Schlitz 06	12	-247	-241,6	-247	-254,1	-242,8	-245,8	-246	-247
Fährdamm	69	810,5	846,7	809,2	840,1	803,1	846,1	826	775

Tabelle 4: Ergebnis der Durchflussbestimmung, Messung am 27. Januar 2011, Pegelstand Lenzen 652 cm

Table 4: *Flowmeter results, measurements taken on January 27, 2011, Lenzen gage height 652 cm*

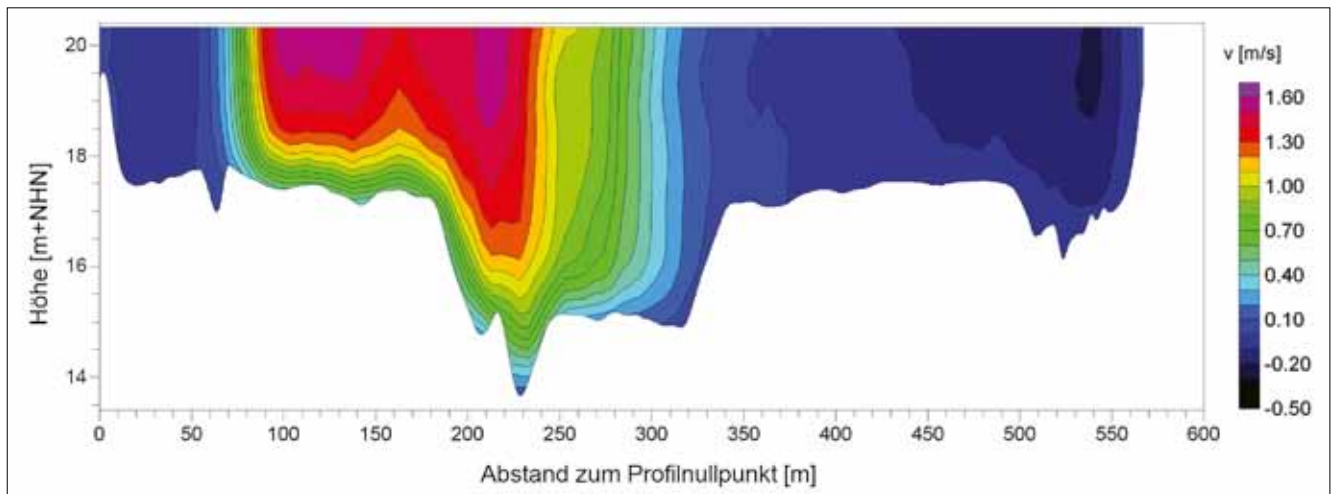


Bild 7: Isotachenplan der Geschwindigkeitsmessung im Ausweichprofil unterhalb Schlitzprofil 1, Messung am 23. Januar 2011
 Figure 7: Isovel plot of velocity measurement in by-pass profile below slot profile 1, measurement taken on January 23, 2011

Beispielhaft ist in Bild 7 die Geschwindigkeitsverteilung im Ausweichprofil unterhalb des Schlitzprofils 1 am 23. Januar 2011 dargestellt. Die Ausdehnung des Profils reicht vom alten Deich bis zum neuen Deich, sodass der Gesamtdurchfluss ermittelt wurde. Der Hauptströmungsbereich, Bereiche mit Rückströmung und Übergangsbereiche sowie die Größenordnung der maximalen/minimalen Geschwindigkeiten sind deutlich ersichtlich.

In Bild 8 sind die Ergebnisse einer flächigen Geschwindigkeitsaufnahme in zwei Buhnenfeldern am rechten Ufer dargestellt. Die Buhnen waren vollständig überströmt und konnten mit dem Messboot überfahren werden. Dargestellt sind die Geschwindigkeitsvektoren und farblich kodiert die Beträge der tiefengemittelten Geschwindigkeiten. Zu erkennen sind die erhöhten Strömungsgeschwindigkeiten im Bereich der Buhnenköpfe und ein landseitiger Stillwasserbereich im unteren Buhnenfeld.

Zur Kontrolle der Ergebnisse einer Wasserspiegelfixierung werden die relevanten Pegel verwendet. Es werden

die ermittelten Höhen während der Passage eines Pegels mit den Pegelaufzeichnungen verglichen (Tabelle 5).

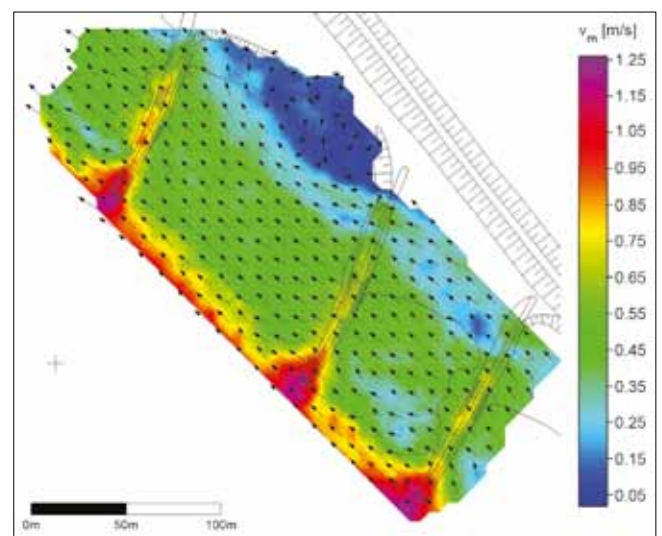


Bild 8: Über die Tiefe gemittelte Geschwindigkeitsvektoren in zwei Buhnenfeldern bei Elbe-km 481,90, rechtes Ufer, Messung am 8. März 2010

Figure 8: Velocity vectors, averaged over depth, in two groyne fields at Elbe kilometer 481.90, right-hand bank, measurements taken on March 8, 2010

Name des Pegels	km	Datum	Uhrzeit MEZ	WSP-Höhe der Fixierung [m+NHN]	Pegelwert [cm]	Pegelnullpunkt [m+NHN]	Pegelwert [m+NHN]	Abweichung [m]
Lenzen	484,60	23.01.2011	07:38	19,80	738	12,430	19,810	-0,010
Schnackenburg	474,60	24.01.2011	12:06	20,65	692	13,700	20,620	0,026
Lenzen	484,60	24.01.2011	13:03	19,56	714	12,430	19,570	-0,012
Scharleuk	447,20	28.01.2011	16:26	23,49	591	17,567	23,477	0,010

Tabelle 5: Vergleich der Wasserspiegelhöhen aus den Pegelwerten und der Fixierung
 Table 5: Comparison of water level heights obtained from gage values and from pre-determined values

Die hier beispielhaft aufgezeigten Ergebnisse der unterschiedlichen Messungen werden von der BAW für weitere Analysen und zur Kalibrierung bzw. Validierung von Modellen verwendet (siehe Beiträge von Faulhaber bzw. Alexy in diesem Heft).

6 Fazit

Conclusion

Sorgfältig erhobene und aufbereitete Naturmessdaten stellen einen wertvollen und unverzichtbaren Fundus für die Beschreibung der Strömungsverhältnisse, der Maßnahmewirkungen, für Erfolgskontrollen und Modellerstellung dar. In diesem Zusammenhang ist die ADCP-Technik ein wichtiges Instrument, um Strömungsdaten in entsprechender Qualität in kurzer Messdauer und hoher Messwertdichte zu erhalten. Jedoch ist neben der Messtechnik eine Vielzahl weiterer Einflussgrößen für die Qualität der Naturdaten entscheidend. Zunächst muss im Vorfeld eine genaue und rechtzeitige Abstimmung der Messziele erfolgen. Für eine sorgfältige Messdurchführung ist sachkundiges, erfahrenes Messpersonal mit lokaler Streckenkenntnis erforderlich. Für die anschließende Datenaufbereitung sind gute Auswertemethoden notwendig, die einzelne Arbeitsschritte transparent gestalten und durch verschiedene Kontrollmechanismen absichern. Letztlich ist für den gesamten Prozess einer Messkampagne von der Planung bis zur Aufbereitung eine enge Zusammenarbeit zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer wichtig für gute Ergebnisse.

Zukünftige Messungen im Bereich der Deichrückverlegung Lenzen stellen hierbei eine besondere Herausforderung dar. Die Erfahrungen haben gezeigt, dass trotz intensiver Vorplanung die lokalen Bedingungen den Erfolg einer Messkampagne bestimmen. Die Bewuchsentwicklung, die Erreichbarkeit der Messstellen, das Strömungsgeschehen im Nahbereich der Schlitzes und weitere mögliche Unwägbarkeiten zeigen sich erst vor Ort und werden nicht selten eine Anpassung des Messprogramms erfordern. Die Herausforderung zukünftiger Messungen im Maßnahmengebiet besteht in der Erfüllung der Messziele unter Berücksichtigung aller örtlich vorherrschenden Gegebenheiten.

7 Literatur

References

Adler, M. (2008): 5. ADCP Anwendertreffen zur Qualitätssicherung von Abflussdaten vom 11.-13. September 2007 in Koblenz, Bericht 1586 der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz.

Alexy, M. (2013): Numerische Modelluntersuchungen zu den Auswirkungen der Querschnittsaufweitung sowie von geplanten Vorlandanpflanzungen im Rahmen der Deichrückverlegung Lenzen. BAWMitteilungen Nr. 97, S. 73 – 98.

Chen, C. L. (1991): Unified Theory on Power Laws for Flow Resistance. *Journal of Hydraulic Engineering*, Bd.17, American Society of Civil Engineers, S. 371 – 389.

Cressie, N. A. C. (1991): *Statistics for Spatial Data*, John Wiley and Sons, Inc., New York, 900 pp.

Faulhaber, P. (2013): Zusammenschau und Analyse von Naturmessdaten. BAWMitteilungen Nr. 97, S. 109 – 134.

Morlock, S. E. (1996): Evaluation of Acoustic Doppler Current Profiler Measurements of River Discharge. In: *Water-Resources Investigations Report 95-4218*, U.S. Geological Survey.

Orlovius, A., Henning, M. (2005): Auswertungen von ADCP Daten zur Kalibrierung von Strömungsmodellen – Anforderungen und Randbedingungen; Akustische Doppler Geräte in der Hydrometrie: Möglichkeiten und Perspektiven einer innovativen Technik. Beiträge zum Seminar am 28./29. September 2005 in Koblenz, Forum für Hydrologie und Wasserwirtschaft, Heft 12.05, Koblenz.

Simpson, M. R. (2001): *Discharge Measurements Using a Broad-Band Acoustic Doppler Current Profiler*. Open File Report 01-1, United States Geological Survey, Sacramento, CA USA, URL <http://pubs.usgs.gov/of/2001/ofr0101/>

Zusammenschau und Analyse von Naturmessdaten

Synopsis and Analysis of Field Data

Dipl.-Ing. Petra Faulhaber, Bundesanstalt für Wasserbau

Die Deichrückverlegung Lenzen bietet als eine große, realisierte Maßnahme an der Elbe die einmalige Gelegenheit, die Wirkung in der Realität zu dokumentieren und die Güte der Vorhersagen der eingesetzten Modelle zu überprüfen. Darüber hinaus können Modelle mit Naturdaten verbessert werden. Der vorliegende Text konzentriert sich auf Naturmessungen zum Oberflächenabfluss und zur Geometrie der Flusssohle. Zur Erfolgskontrolle der Deichrückverlegung, zur Validierung von Modellen und um grundsätzliche Kenntnisse über die Wechselwirkung von Topografie, Strömung und Geschiebetransport zu sammeln, wurden Naturmessungen ausgewertet. Im Folgenden wird eine Übersicht der von der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) zusammengetragenen Daten gegeben. Beispielhafte Auswertungen mit Schwerpunkt auf den Nachweis der Wirkung der Deichrückverlegung zeigen Möglichkeiten und Grenzen der Nutzung dieser Naturdaten auf.

The Lenzen dike relocation is a large-scale project that has been realized on the Elbe and as such offers the unique opportunity to document the actual impact of the measure and to verify the quality of forecasts made by the models used. Moreover, field data can be used to improve models. This paper focuses on field measurements regarding runoff and the geometry of the river bed. The field measurements were evaluated to monitor the success of the dike relocation, validate models and gather basic knowledge about the interactions between topography, flows and sediment transport. In the following, the data collected by the Federal Waterways Engineering and Research Institute (BAW) are presented in an overview. The opportunities and limits of using such field data are shown by evaluation examples with a focus on documenting the impact of the dike relocation.

1 Einführung *Introduction*

Von der BAW wurden zur Planung und Umsetzung der Deichrückverlegung Lenzen vielfältige Modelluntersuchungen zur Oberflächenströmung und zum Geschiebetransport durchgeführt (siehe Beitrag von Faulhaber, Bleyel und Alexy in diesem Heft). Die Umsetzung der Deichrückverlegung bietet die Möglichkeit, die Prognosen der bei diesen Untersuchungen genutzten Modelle an Naturdaten zu überprüfen. Die Erfolgskontrolle des Projektträgers umfasst jedoch nur wenige abiotische Aspekte. Gleichwohl benötigen anknüpfende biotische Untersuchungen und Erfolgskontrollen abiotische Datengrundlagen. Die BAW wurde zusätzlich von der Wasser- und Schifffahrtsdirektion (WSD) Ost mit der fachlichen Begleitung der Analyse der Einflüsse auf die Schifffahrt im Rahmen eines Langzeitmonitoring zur „Deichrückverlegung Wustrow-Lenzen“ beauftragt. Zur Erfüllung dieser unterschiedlichen Anforderungen waren ergänzende Messungen bezüglich Oberflächenabfluss und Geometrie der Flusssohle und deren Auswertungen erforderlich.

Im vorliegenden Beitrag wird ein kurzer Überblick über den vorliegenden Fundus an Naturdaten gegeben. Darüber hinaus werden ausgewählte Ergebnisse von Auswertungen vorgestellt und damit beispielhaft beschrieben, wie diese zur Erfüllung unterschiedlicher Zielsetzungen Verwendung finden können. Untersuchungen zum Grundwasser werden im Beitrag von Montenegro in diesem Heft thematisiert. Einige Überprüfungen der Modellprognosen mit Hilfe der hier vorgestellten Naturdaten finden sich im Beitrag von Alexy in diesem Heft.

Eine Erfolgskontrolle des Naturschutzgroßprojektes „Deichrückverlegung Lenzen“ erfordert neben den biotischen auch viele abiotische Daten, die die Strömung und den Feststofftransport beschreiben, um

- die Wirkung der Maßnahme aufzuzeigen,
- abiotische Randbedingung für biotische Zustandsbeschreibungen und
- Basisdaten für Strömungs-, Feststoff- und Habitatmodellierung

bereitzustellen.

Vom Projektträger wurden vier Deichpegel gesetzt, die bisher von der BAW noch nicht für Vergleiche ausgewertet werden konnten. Daten der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV), die für die Erfolgskontrolle nutzbar sind, werden in Amtshilfe dem Land Brandenburg zur Verfügung gestellt. Für die Auswertungen der BAW wurden folgende WSV-Daten genutzt:

- Pegeldaten,
- Wasserspiegelfixierungen,
- Sohlenpeilungen.

Neben Messungen, die die WSV an Standardmessstellen (Pegeln) oder im Rahmen anderer Aufgaben (Wasserspiegel, Sohlenhöhe) durchführt, wurden auch einige Sondermessungen im Auftrag der BAW speziell zur Erfolgskontrolle der Deichrückverlegung durch das Wasser- und Schifffahrtsamt (WSA) Magdeburg ausgeführt.

Um darüber hinausgehende Aussagen zu lokalen Wasserspiegeln, Durchflussanteilen, Fließgeschwindigkeiten und der Wirkung auf die Gewässerbettgestalt treffen zu können, waren zusätzliche Naturdaten erforderlich. Die BAW beauftragte deshalb hydraulische Messungen des Oberflächenabflusses in Ergänzung zu den Messungen der WSV.

Einige Messungen wurden bereits vor Umsetzung der Deichrückverlegung ausgeführt, sodass Vergleichsdaten des Ausgangszustandes zur Verfügung standen.

Mit den Auswertungen der Naturdaten werden von der BAW für die verschiedenen Monitoringaufgaben folgende Ziele verfolgt:

1. Großräumige Analyse der Wirkung der Deichrückverlegung auf die Wasserspiegelhöhe bei Hochwasser.
2. Analyse der Oberflächenströmung, von Änderungen der Flussbettgestalt und des Geschiebetransports im Nahfeld der Deichrückverlegung.
3. Prüfung von Auswirkungen der Deichrückverlegung auf nutzbare Wassertiefen für die Schifffahrt.
4. Großräumige und langfristige Analyse des Geschiebetransports und der Sohlenentwicklung.

Die kurzfristige Analyse der Strömungsverhältnisse und Topografieänderungen für die Ziele 1) bis 3) kann basierend auf Messungen bei Hochwasserereignissen sofort nach Realisierung der Deichrückverlegung Angaben zur Wirkung der Deichrückverlegung auf

- Wasserspiegel in Längs- und Querschnitten (z.B. entlang der Flussachse, des Deiches),
- Durchflussanteile (z.B. in den Altdeichschlitzen, im Vorland),
- Fließgeschwindigkeiten (z.B. im Flussbett, in Flutrinnen und Altdeichschlitzen) und
- lokale Veränderung des Gewässerbetts (im Flussbett)

liefern. Erste Ergebnisse wurden im Jahr 2011 von Alexy und Faulhaber veröffentlicht und werden hier für verschiedene Auswerteziele aufgezeigt.

Darüber hinaus werden die Messdaten genutzt, um anhand geeigneter Parameter Wirkungszusammenhänge im Gebiet zu beschreiben. Dazu zählen Angaben zur Höhe von Transportkörpern (Unterwasserdünen) in Abhängigkeit von Örtlichkeit und Durchfluss. Erste Ergebnisse dieser Untersuchungen werden im folgenden Text vorgestellt.

Langfristige Analysen mit Berücksichtigung der morphologischen Entwicklung betreffen die Auswerteziele 3) und 4). Sie können jedoch erst nach längerer Zeit der Maßnahmewirkung Nachweise zum Einfluss der Deichrückverlegung auf den Feststofftransport und die Sohlenentwicklung liefern.

Solche Epochenvergleiche werden routinemäßig im Auftrag der WSV an der Elbe durchgeführt. Unter anderem werden Sohlenhöhenänderungen analysiert, um rechtzeitig Trends in der Sohlenentwicklung zu entdecken und ggf. Gegenmaßnahmen einzuleiten. Dazu

werden von der WSV regelmäßig Sohlenpeilungen bei mittleren oder niedrigen Wasserständen und Wasserspiegelfixierungen im Bereich des mittleren Niedrigwassers durchgeführt.

Die Auswertungen dieser Messungen werden hier nur ansatzweise vorgestellt, da in der kurzen Zeit seit der Deichrückverlegung noch keine Wirkungen sicher der Deichrückverlegung zugeschrieben werden können.

2 Fotodokumentation *Photo documentation*

Ergänzend zu den Messdaten soll hier auf eine Fotodokumentation beim ersten Einströmen von Wasser in das Deichrückverlegungsgebiet hingewiesen werden.

Im März 2010 wurde nach der Schlitzung des Altdeiches im Jahr 2009 das Deichrückverlegungsgebiet erstmals

überströmt. Aus diesem Anlass wurde am 7. und 10. März 2010 während des Scheiteldurchgangs der Hochwasserwelle von der BAW eine Luftbildbefliegung über dem Deichrückverlegungsgebiet bei Lenzen veranlasst.

Die mit Geodaten versehenen Fotos wurden in einem Bericht (BAW, 2010) dokumentiert und anderen Nutzern zur Verfügung gestellt. In Bild 5 ist die Wasserstandsganglinie des Pegels Lenzen mit den Befliegungstagen dargestellt.

Das in Bild 1 hinterlegte Luftbild zeigt am rechten Ufer einen Zustand aus dem Jahr 2009. Die Flutmulden sind infolge Qualmwasserandrang gefüllt, obwohl der Altdeich noch nicht vollständig geschlitzt war (siehe Beitrag von Schmidt in diesem Heft). Die Kamerastandorte 1 bis 6 sind eingetragen.



Bild 1: Übersicht der Kamerapositionen bei Befliegung mit „Flugdrohne“ im März 2010
Figure 1: Locations of cameras recorded by a “drone” in March 2010

Während der Befliegung wurden Geodaten von der GPS-Einheit der Flugdrohne (Bild 2) aufgezeichnet. Die Fotos wurden im Postprocessing mit den Geodaten verknüpft.

Bild 3 zeigt den Blick auf Deichschlitz (DS) 1. Die Befestigung im Schlitz war noch nicht fertig gestellt.

Bild 4 gibt einen Eindruck der Größe der Wasserfläche, die bei Hochwasser nach der Deichrückverlegung entstehen kann.



Bild 2: Flugdrohne (Quelle: www.rent-a-drone.de)
Figure 2: Drone (Source: www.rent-a-drone.de)



Bild 3: Altdeichschlitz 1 (Position 1)
Figure 3: Slot 1 made through the old dike (location 1.1)



Bild 4: Blick stromauf vom Hafen Lenzen (Position 6)
Figure 4: View upstream from Lenzen Port (location 6)

3 Wasserspiegelmessungen *Water level measurements*

3.1 Messmethoden und -kampagnen *Measurement methods and campaigns*

Aus den vorhandenen Messnetzen der WSV können die Wasserstände an Pegeln zur Analyse des Oberflächenabflusses herangezogen werden. Die **Pegelwasserstände** erlauben jedoch nur eine punktuelle Auswertung für diese Pegelstandorte. Die im Umfeld der Deichrückverlegung betriebenen Pegel sind im Beitrag von Faulhaber „Charakteristik der Elbe zwischen Havelmündung und Dömitz“ in diesem Heft aufgelistet. An den Pegeln stehen die Wasserstände u. a. als 15-Minuten-Werte, Tagesmittel und Extremwerte (Scheitel) zur Verfügung.

Um Angaben zu den **Wasserständen in den Pegel-Zwischenstrecken** machen zu können, sind andere Messmethoden erforderlich. Bei Wasserspiegelmessungen, sog. Fixierungen, werden entlang des Flusses auch außerhalb der Pegelstandorte die Wasserspiegel erfasst. Der Name „Fixierung“ ist auf die früher übliche Pflöckchenmethode zurückzuführen, bei der über lange Strecken möglichst gleichzeitig ein festgehaltener („fixierter“) Wasserspiegel am Ufer gemessen wurde. Eine Wasserspiegelfixierung ist in der Regel eine einem bestimmten Durchfluss zugeordnete Messung der Höhenlage des Wasserspiegels im Längsschnitt. Sie liefert ein Abbild der momentanen Wasserspiegelhöhe zum Zeitpunkt der Messung. Wasserspiegelfixierungen sollen möglichst bei stationären Abflusszuständen (sog. Beharrungswasserständen oder auf dem Hochwasserscheitel) erfolgen. Dies lässt sich in der Praxis nur eingeschränkt realisieren.

Wasserspiegel werden in Strecken zwischen den Pegeln mit verschiedenen Methoden gemessen, von denen drei zum Einsatz kamen:

- Pflöckchenmethode: Erfassung des Wasserstandes am Ufer.
- Geschwemmselaufnahme: Einmessung des abgelagerten Treibgutes nach ablaufendem Hochwasser meist zur Rekonstruktion der Scheitellinie.
- Durch präzise dreidimensionale Satellitenortung (DGPS) gestützte Erfassung der Wasserspiegellage vom Messschiff aus.

Seit einiger Zeit werden Messungen der Wasserspiegel hauptsächlich mit Schiffen, die sich in Gewässern nahezu mit Fließgeschwindigkeit bewegen, durchgeführt. Die Lage- und Höhenmessungen erfolgen mit Hilfe präziser dreidimensionaler Satellitenortung. Begleitend werden Durchflussmessungen basierend auf Geschwindigkeitsmessungen nach dem Doppler-Verfahren (ADCP) durchgeführt (siehe Beitrag von Schmid und Niesler in diesem Heft).

Beim Vergleich von Wasserspiegelfixierungen bei Hochwasser sind Ungenauigkeiten zu erwarten, da unter schwierigen Bedingungen gemessen wird. Sie sind im Untersuchungsgebiet auf folgende Gründe zurückzuführen:

- Im Gewässerbett ist ein starker Geschiebetransport in Form von Transportkörpern (Unterwasserdünen) zu verzeichnen. Dadurch ändert sich im Verlauf der Messung der Messquerschnitt. Für Messungen über beweglicher Sohle sind besondere Messverfahren einzusetzen (siehe Beitrag von Schmid und Niesler in diesem Heft).
- Bei Hochwasser mit geringer Überströmung der Vorländer kann über diesen der Durchfluss nur unvollständig gemessen werden, da die ADCP-Messgeräte Bereiche nahe des Wasserspiegels und der Sohle nicht erfassen (siehe Beitrag von Schmid und Niesler in diesem Heft).
- Im günstigsten Fall kann man allgemein von einer Ungenauigkeit der Durchflussmessung von ca. 5 % ausgehen. Bei $3.000 \text{ m}^3/\text{s}$ ergeben sich daraus Ungenauigkeiten von $150 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. 15 cm.
- Bei Hochwasser treten außerdem bei gleichem Wasserstand unterschiedliche Durchflüsse auf (Hysterese). So stellen sich bei steigendem Durchfluss ge-

ringere Wasserstände als bei fallendem Durchfluss ein. Die üblichen Messungen reichen bisher nicht aus, die Hysterese entlang des Untersuchungsgebietes mit Daten zu belegen. Dieses Phänomen wird in den Wasserstands-Durchfluss-Beziehungen für die Pegel deshalb auch nicht abgebildet. Wenn begleitend zu den Wasserspiegelfixierungen keine belastbaren Durchflussmessungen zur Verfügung stehen, können Durchflusszuweisungen über Wasserstands-Durchfluss-Beziehungen Hysterese nicht berücksichtigen.

Für die Güte der Vergleiche der Wasserspiegel vor und nach der Deichrückverlegung aus Naturmessungen ist eine exakte Durchflussangabe für die Wasserspiegelmessungen ausschlaggebend. Die Durchflusszuordnung für lange Fixierungen bleibt bei Hochwasser unsicher, weil der Durchfluss über Ort und Zeit veränderlich ist. Auch in Abschnitten ohne seitliche Zuflüsse können entlang langer Fixierungsstrecken die Durchflüsse variieren, insbesondere wenn nicht auf dem Scheitel gemessen werden konnte.

In Tabelle 1 sind die Wasserspiegelmessungen mit Annahmen zum Messdurchfluss aufgelistet, die für Vergleiche bei Hochwasser zur Verfügung standen. Die Messungen vor dem Jahr 2002 fehlen in Tabelle 1. Kurze Messungen begleitend zu Bühnenmessungen (kursiv gekennzeichnet) werden in die folgenden Vergleiche nicht einbezogen.

Um die Messungen der verschiedenen Jahre besser den hydrologischen Ereignissen zuordnen zu können, sind in Bild 5 die Messkampagnen im Vergleich mit den jeweiligen Wasserstands-Ganglinien der Hochwasser für den Pegel Lenzen dargestellt. Die Wasserstände aus 15-Minuten-Werten werden jeweils ab dem in der Legende bezeichneten Starttermin aufgezeigt.

Die Vergleiche der Wasserspiegel vor und nach der Deichrückverlegung werden für

- große Hochwasser ($> \text{ca. HQ}_{25} = 3.420 \text{ m}^3/\text{s}$ am Pegel Wittenberge (siehe Beitrag von Faulhaber „Charakteristik der Elbe zwischen Havelmündung und Dömitz“ in diesem Heft)),
- kleine Hochwasser ($< \text{ca. HQ}_2 = 1.850 \text{ m}^3/\text{s}$) durchgeführt.

Datum	Durchfluss [m ³ /s]	von km	bis km	Messart	Durchfluss am Pegel
21.08.2002	3.670	432,888	501,983	DGPS	Wittenberge
09.04.2006	3.630	439,825	502,175	DGPS	Wittenberge
26.04.2006	1.510	387,800	454,875	DGPS	Tangermünde
27.04.2006	1.670	454,025	502,175	DGPS	Wittenberge
18.12.2007	1.660	438,500	457,475	DGPS	Wittenberge
12.03.2009	1.690	446,220	451,420	DGPS	Wittenberge
13.03.2009	1.750	446,125	451,425	DGPS	Wittenberge
14.03.2009	1.810	481,235	484,890	DGPS	Wittenberge
07.03.2010	1.760	450,820	493,500	DGPS	Wittenberge
08.10.2010	1.980	481,665	484,620	DGPS	Wittenberge
10.10.2010	1.630	445,620	451,420	DGPS	Wittenberge
21.01.2011	3.720	422,850	502,200	DGPS	Wittenberge
22./23.1.2011	3.790 (Scheitel)	435,000	504,000	rek. Scheitellinie	Wittenberge
24.01.2011	3.500 ¹	471,510	493,530	DGPS	Wittenberge
¹ abweichend vom Tagesmittelwert = 3360 m ³ /s					

Tabelle 1: Wasserspiegelfixierungen bei Hochwasser
 Table 1: Water level measurements during floods

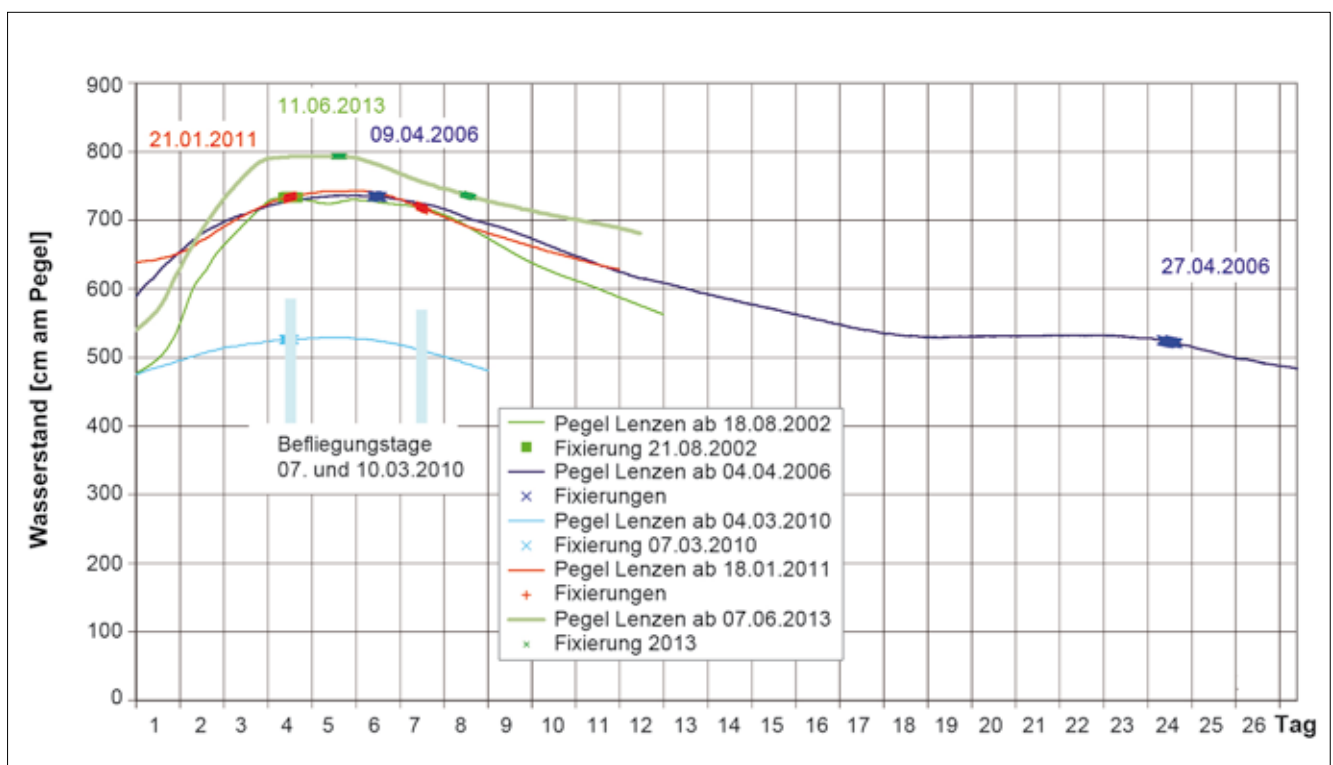


Bild 5: Wasserstandsganglinie (Pegel Lenzen) für Hochwasser in den Jahren 2002, 2006, 2010, 2011
 Figure 5: Flood hydrograph (Lenzen gage) for floods in the years 2002, 2006, 2010, 2011

Große Hochwasser zeigen die Wasserspiegelunterschiede, die für den Hochwasserschutz bedeutsam sind. Kleine Hochwasser können Unterschiede der Ein- und Ausströmungssituationen aufzeigen und sind ökologisch bedeutsam.

3.2 Wasserspiegelvergleich für große Hochwasser

Comparison of water levels for major floods

Für den Vergleich der Wasserspiegel vor und nach der Deichrückverlegung bei großen Hochwassern bieten sich in der Natur insbesondere die Hochwasser (HW) vom April 2006 (vor der Deichrückverlegung) und Januar 2011 (nach der Deichrückverlegung) an. Beide Hochwasser liefen im Winterhalbjahr und bei ähnlichem Durchfluss am Pegel Wittenberge (Scheitelwerte 2006: 3.720 m³/s und 2011: 3.790 m³/s) ab. Das Sommerhochwasser im August 2002 hatte einen Scheiteldurchfluss von 3.830 m³/s.

Zur ersten Beschreibung der Wirkung der Deichrückverlegung zwischen EI-km 476,7 und 483,7 auf den Wasserspiegel werden die bestehenden **Pegel** genutzt. Entsprechend der vorab erstellten Modell-Prognosen der **Wasserstände** wurde nur für den ca. 2 km oberhalb der Maßnahme gelegenen Pegel Schnackenburg (EI-km 474,56) direkt nach Umsetzung der Deichrückverlegung eine messbare Auswirkung erwartet. Theoretisch zeigten die Modelle bis zum Pegel Wittenberge (EI-km 453,92) einen geringen Wasserspiegelabsenk (wenige Zentimeter). Kleine Differenzen lassen sich in der Natur jedoch nicht nachweisen, da sie von Einflüssen unterschiedlicher Randbedingungen und Messungenauigkeiten überlagert werden.

Die punktuelle Auswertung der Pegelwasserstände in Bild 6 zeigt den aus dem Prognosemodell erwarteten (grauer Balken, Modellbeschreibung siehe Beitrag von Alexy in diesem Heft) im Vergleich mit dem eingetretenen Wasserspiegelabsenk (schwarzer und weißer Balken).

Wasserspiegelfixierungen in Scheitelnähe bei vergleichbaren großen Hochwassern liegen für weite Abschnitte der Elbe aus den Jahren 2002, 2006 und 2011 vor. Diese Hochwasser hatten bei Lenzen einen ähn-

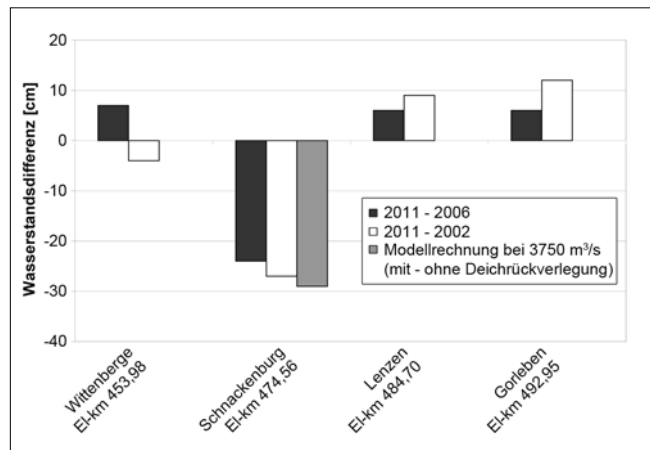


Bild 6: Differenz der gemessenen Scheitelwasserstände des Hochwassers im Jahr 2011 gegenüber dem Hochwasser in den Jahren 2006 bzw. 2002 und Differenz aus einer Modellrechnung

Figure 6: *Difference between the recorded peak water levels of the flood in 2011 and the floods in the years 2006 and 2002, and difference obtained from a model calculation*

lichen Scheitel, wobei die Hochwasser 2006 und 2011 eine größere Fülle aufwiesen als das Hochwasser von 2002 (BfG, 2006). Das Sommerhochwasser 2002 war unterhalb von Wittenberge sowohl infolge von oberstromigen Deichbrüchen als auch von planmäßigen Flutungen der Havelniederung in seiner Scheitelhöhe abgeschwächt worden.

Da insbesondere in den Jahren 2006 und 2011 bei sehr ähnlichen Verhältnissen scheinbar gemessen wurde (Bild 5), werden für den Vergleich der Wasserspiegelmessungen bei diesen großen Hochwassern die Messdaten ohne nachträgliche Umrechnung auf stationäre Situationen genutzt.

Weil die Durchflusszuordnungen für längere Fixierungen unsicher sind, werden in Bild 7 zum Vergleich vereinfacht die Durchfluss-Tagesmittelwerte am Pegel Wittenberge angegeben.

Gegenüber der punktuellen Pegelauswertung in Bild 6 kann in Bild 7 der Wasserspiegel auf der gesamten Strecke (hier zwischen EI-km 460 und 490) für die Zustände mit und ohne Deichrückverlegung verglichen werden. Durch die Deichrückverlegung wird – wie prognostiziert – der Scheitelwasserstand abgesenkt (Bild 8) und das Gefälle bei Hochwasser ausgeglichen (Bild 7, grüne Linien gegenüber blauen Linien). Die Differenzen im Bereich der Pegel Schnackenburg (ca. -30 cm) und Lenzen (ca. 0 cm) bestätigen im Rahmen der Genauigkeiten der

verschiedenen Mess- und Auswerteverfahren die Differenzen aus Pegelwerten in Bild 6.

Zusätzlich zu den Messungen mit Messschiffen wurde vom Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (LUGV) Brandenburg die Auswertung einer Messung der Wasserstände am Deich vom Hochwasser 2011 zur Verfügung gestellt (Linie in Magenta in Bild 7). Auf den ersten Blick weicht diese Messung von den anderen Messungen in Bild 7 ab. Die Wasserspiegelmessungen der Firmen Schmid und Nodic sowie des WSA Magdeburg (Messschiff Elbegrund) wurden mit Booten in Flussmitte (DGPS) ausgeführt. Dagegen wurde die in Bild 7 für den Januar 2011 dargestellte Scheitellinie (Scheitellinie Deich Brandenburg) auf Grundlage von Messungen des Wasserspiegels am 22./23. Januar 2011 am rechten Deich rekonstruiert. Die Messung wurde mit Hilfe der Pegelraten auf Höhe des Scheiteldurchganges angepasst (LUGV Brandenburg, 2011). Die Messungen erfolgen somit an unterschiedlichen Messorten (Flussmitte, rechter Deich). Dadurch erklären sich die Unterschiede zur Messung vom 21. Januar 2011 (WSA Magdeburg) oder 24. Januar 2011. Insbesondere in Flusskrümmungen, im „Deichzwickel“ (neuer Deich ab El-km 476,7 bis zum ersten Deichschlitz bei El-km 477,3)

und im weiten Rückdeichungsabschnitt unterscheiden sich die Wasserstände in der Flussmitte und am Deich stark. Ein nachträglicher Vergleich der „Scheitellinie Deich Brandenburg“ mit dem Wasserspiegel am rechten Deich aus dem aktuellen numerischen Modell (Bild 18 im Beitrag von Alexy in diesem Heft) zeigt eine gute Übereinstimmung der rekonstruierten Scheitellinie mit der Modellrechnung am rechten Deich. Somit ergänzt diese „Scheitellinie Deich Brandenburg“ das Wissen über die räumlich unterschiedliche Ausprägung der Wasserspiegel sehr gut.

Die Differenzen der Wasserspiegelmessungen mit Schiffen in der Flussachse vor (2006) und nach der Deichrückverlegung (2011) nehmen nach oberstrom ab und sind oberhalb El-km 470 (siehe Bild 8) nur noch gering. Da die maßnahmebedingten Differenzen von den Ungenauigkeiten des Mess- und Auswerteverfahrens überlagert werden, können sie oberhalb El-km 470 nicht interpretiert werden. Das gilt ebenfalls für die Wasserspiegeldifferenzen unterhalb der Deichrückverlegung, die überwiegend auf Ungenauigkeiten des Mess- und Auswerteverfahrens zurückzuführen sind. Zur ergänzenden Erläuterung sollen folgende Beschreibungen dienen:

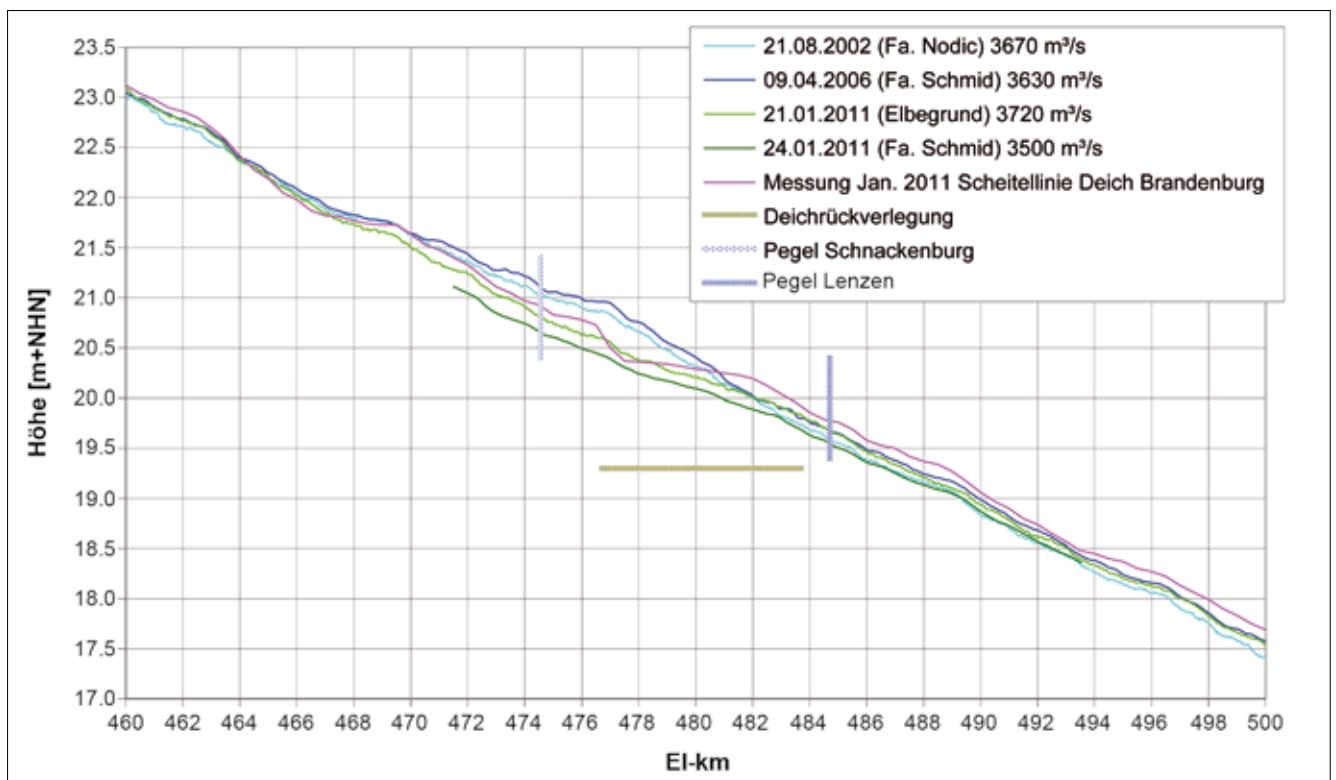


Bild 7: Wasserspiegelmessungen der Hochwasser in den Jahren 2002, 2006 und 2011
 Figure 7: Water level measurements of the floods in 2002, 2006 and 2011

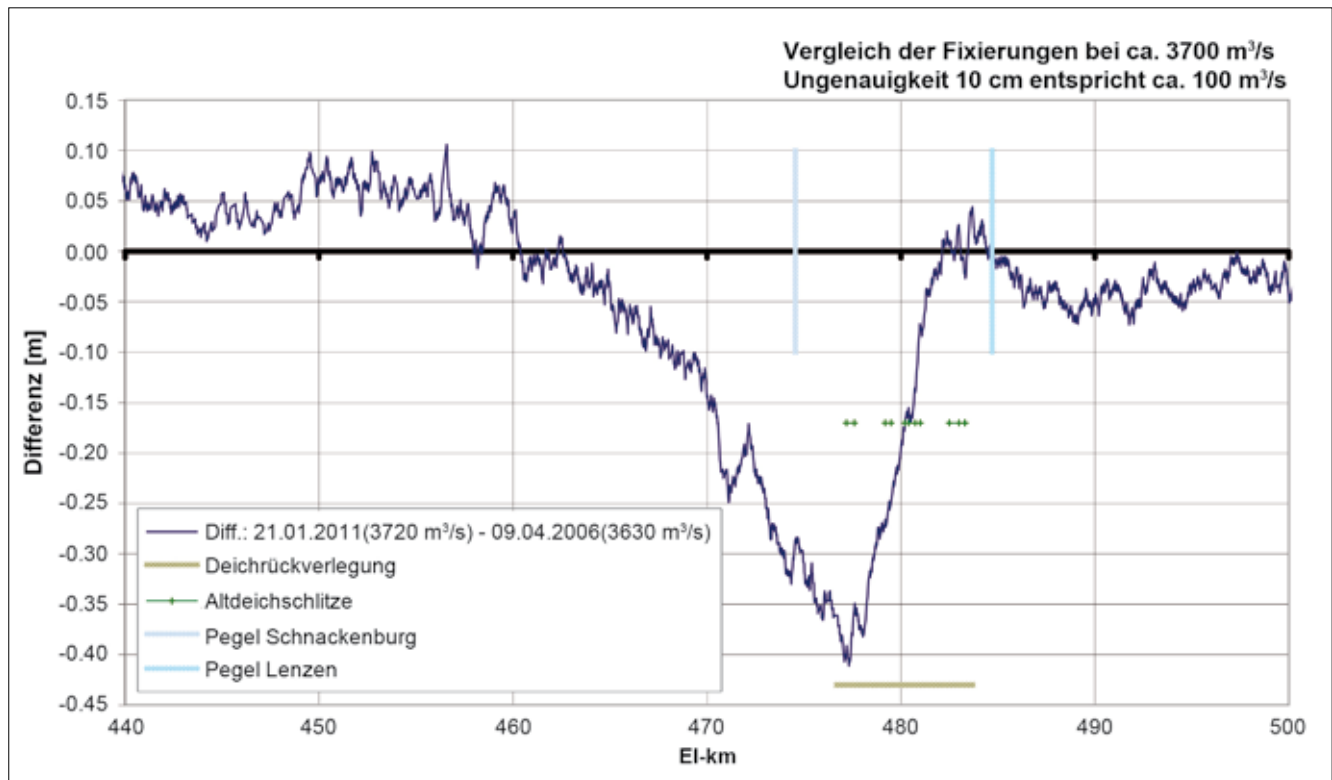


Bild 8: Differenz der Wasserspiegelmessungen in den Jahren 2011 und 2006
 Figure 8: Difference between the water level measurements in 2011 and 2006

Die Messungen am 9. April 2006 und am 21. Januar 2011 dauerten zwischen EI-km 460 und 500 ca. vier Stunden. Gemessen wurde am 9. April 2006 nach und am 21. Januar 2011 vor dem Durchgang des Scheitels. So lag bei Schnackenburg am 9. April 2006 der Fixierungsmesswert 12 cm und am 21. Januar 2011 10 cm unterhalb des Scheitels. Am 9. April 2006 lag der Fixierungs-Wasserspiegel am Standort des Pegels Lenzen 14 cm und am 21. Januar 2011 18 cm unter dem Scheitel.

3.3 Wasserspiegelvergleich für kleine Hochwasser

Comparison of water levels for small floods

Ein weiterer Vergleich wird für die schwierigeren Verhältnisse bei kleinen Hochwasserereignissen in Bild 9 aufgezeigt, wobei wiederum Durchflüsse als Tagesmittelwerte am Pegel Wittenberge angegeben werden. Die Messung im dargestellten Flussabschnitt dauerte ca. neun Stunden (27. April 2006) bzw. fünf Stunden (7. März 2010). Die Wasserstands-Ganglinien für den Pegel Lenzen sind basierend auf 15-Minuten-Werten in Bild 5 aufgezeigt. Da die Messung am 27. April 2006 nicht

auf dem Scheitel sondern bei fallendem Wasserstand durchgeführt wurde, wurde eine Umrechnung auf stationäre Verhältnisse (Scheitel) entsprechend der Messzeiten und Wellenausbreitung (ohne Berücksichtigung der Hysterese) vorgenommen (Ingenieurbüro Schmid, 2008; rote Linie in Bild 9). Diese Umrechnung ermöglicht jedoch auch keinen Nachweis der Wirkung der Deichrückverlegung.

Der Wirkungsnachweis gestaltet sich bei kleinen Hochwassern deshalb so schwierig, weil die Einflüsse aus der Instationarität und unterschiedlichem Einströmverhalten (Füllung des Gebietes von unterstrom, noch keine Durchströmung) die Wirkungen der Maßnahme überlagern.

Die Messungen bei kleinen Hochwassern sind jedoch zur Überprüfung der Modelle sehr wertvoll. Die Unterschiede der Wasserstände können dann aus gut kalibrierten Modellen mit definierten Randbedingungen belastbarer abgeleitet werden als aus dem Vergleich von Naturmessungen ähnlicher Ereignisse mit doch unterschiedlichen Randbedingungen.

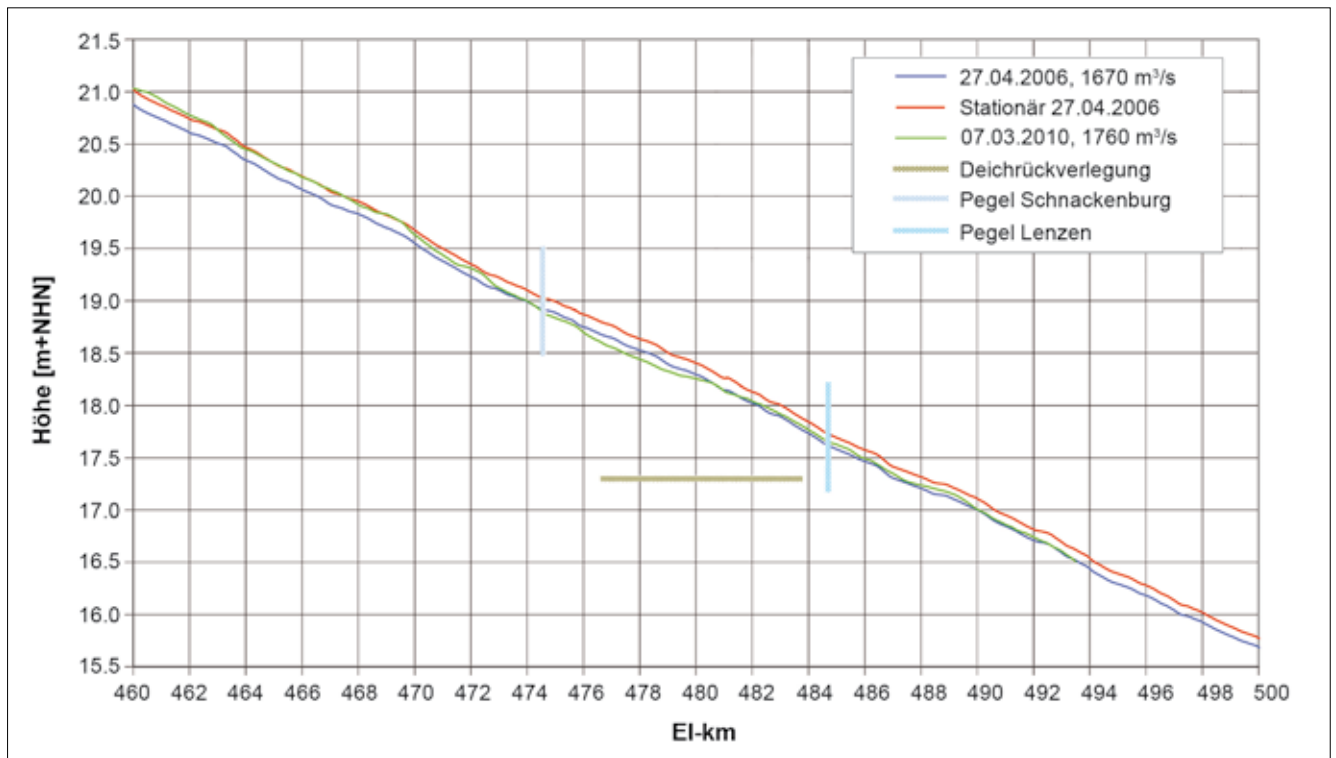


Bild 9: Wasserspiegelmessungen bei kleinem Hochwasser in den Jahren 2006 und 2010

Figure 9: Water level measurements during small floods in 2006 and 2010

4 Strömungsmessungen Flow measurements

Als Strömungsmessungen werden Messungen von Geschwindigkeiten bezeichnet, die zum einen zur Ermittlung von Durchflüssen in Querschnitten und Querschnittsteilen dienen. Zum anderen werden die gemessenen Geschwindigkeiten selbst ausgewertet, z. B. um Rückschlüsse auf die Strömungsbelastung an der Sohle (in Deichschlitzen oder im Flussschlauch) zu ziehen. So können Aussagen zur Standsicherheit und zum Geschiebetransport gemacht werden. Bei Strömungsmessungen werden unterschiedliche Parameter gleichzeitig erhoben (Sohlenhöhe, Wasserspiegel, Fließgeschwindigkeit). Die Messmethoden werden im Beitrag von Schmid und Niesler in diesem Heft näher erläutert.

Die Strömung kann in der Natur infolge der großen Wasserflächen im Rückdeichungsgebiet nicht flächendeckend sondern nur in ausgewählten Messprofilen gemessen werden. So wurden Fließgeschwindigkeiten in den Schlitzen und unterhalb des Fährdamms (Rüster Drift bei EI-km 479,5) sowie in einigen ausgewählten Querprofilen gemessen (Bild 10).

Die in Tabelle 2 dargestellten Strömungsmessungen stehen zur Verfügung (siehe Folgeseite; vgl. auch Tabelle 1 im Beitrag von Schmid und Niesler in diesem Heft).

Die in Tabelle 2 genannten Sondermessungen von Bühnenfeldern werden unabhängig von der Erfolgskontrolle der Deichrückverlegung Lenzen durchgeführt und sind auf eine Langzeituntersuchung ausgelegt. Sie sollen eine Datenbasis über die Strömungsverhältnisse in Bühnenfeldern und die Veränderlichkeit der Topografie schaffen. Es werden entlang der Elbe mehrere Bühnenfelder untersucht. Im Maßnahmegebiet werden vier Bühnenfelder bei EI-km 482 (Bild 10, kleines Bild mit unterlegtem Luftbild 2003) im Messprogramm berücksichtigt. Diese Messdaten werden künftig im Rahmen der Erfolgskontrolle genutzt.

Eine Zusammenschau der verfügbaren Strömungsmessungen und Sohlenpeilungen gibt Bild 11. Die Messtage sind der Durchflussganglinie des Pegels Wittenberge zugeordnet.

Die Strömungsmessungen können auf vielfältige Weise ausgewertet werden. Im Folgenden werden einige

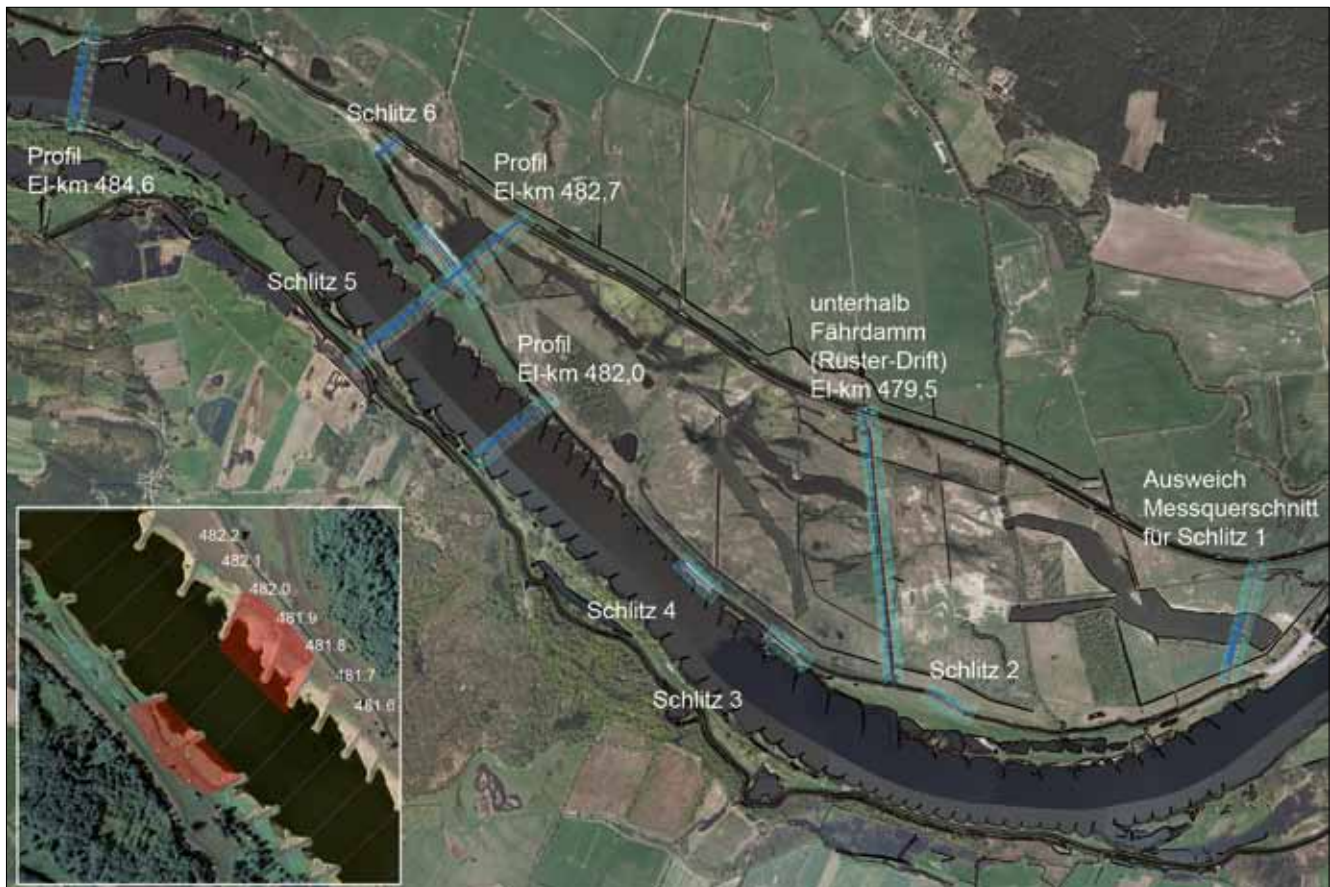


Bild 10: Untersuchte Buhnenfelder bei El-km 482 und Beispiel für Messquerschnitte
 Figure 10: Examined groyne fields at Elbe kilometer 482 and example of measurement cross sections

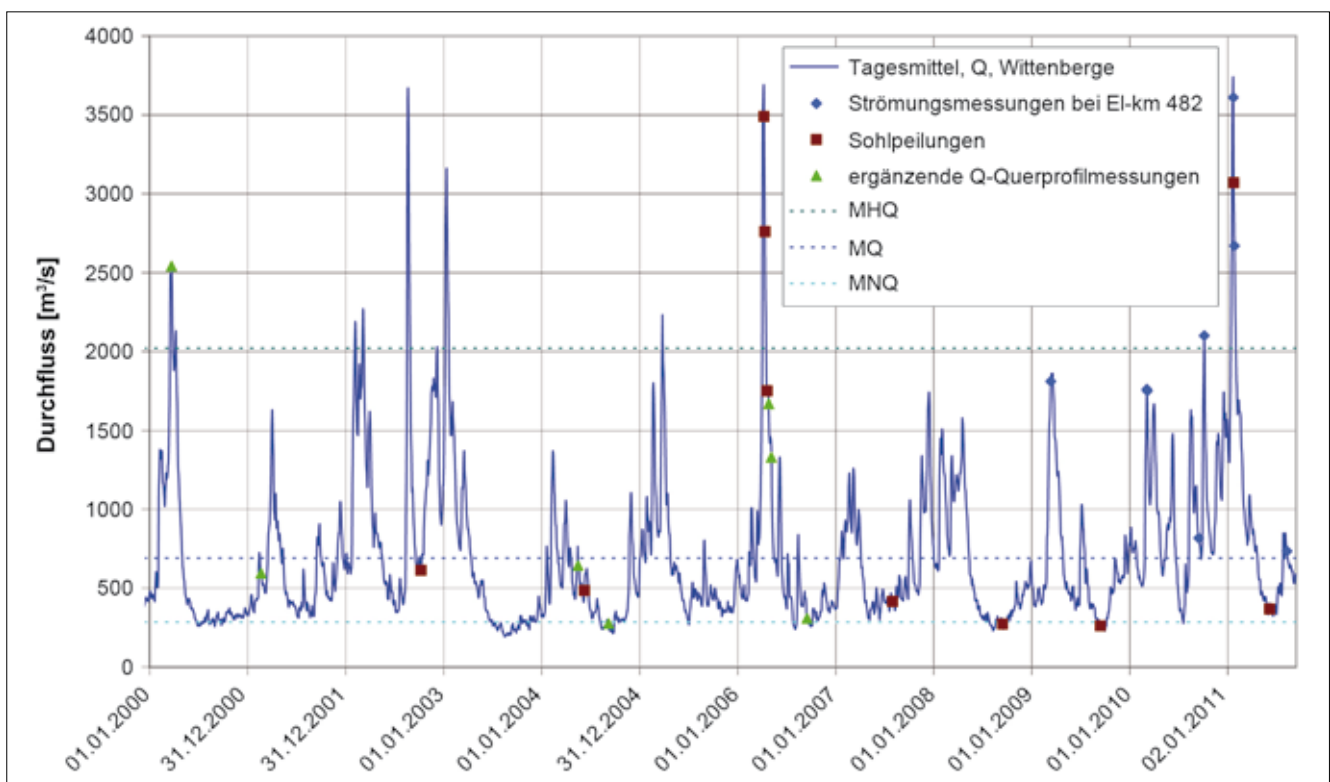


Bild 11: Übersicht der Strömungsmessungen und Peilungen, Hauptwerte der Jahre 1971/2010
 Figure 11: Overview of flow measurements and sounding results, main values for 1971/2010

Messzeit		Messaufgaben	Bemerkungen
2003 bis 2007		verschiedene	Einzelergebnisse
14.3.2009		Buhnenfelder	Ingenieurbüro Schmid: Bericht zu den Sondermessungen auf der Elbe in Messabschnitten im Bereich Elbe-km 180 bis 586, Schwerpunkt Buhnenfelder – Messungen vom März 2009, Kapsweyer, Mai 2009 (unveröffentlicht)
5. bis 9.3.2010	HW	Deichrückverlegung Lenzen, Buhnenfelder	Ingenieurbüro Schmid: Bericht zu den Sondermessungen auf der Elbe bei HW in Messabschnitten im Bereich Elbe-km 432 bis 490 – Messungen vom März 2010, Kapsweyer, Mai 2010 (unveröffentlicht)
16.9.2010	MW	Buhnenfelder	Ingenieurbüro Schmid: Bericht zu den Sondermessungen auf der Elbe in Messabschnitten im Bereich Elbe-km 180 bis 573 – Messungen bei MQ vom September 2010, Kapsweyer, November 2010 (unveröffentlicht)
7./8.10.2010	HW	Deichrückverlegung Lenzen, Buhnenfelder	Ingenieurbüro Schmid: Bericht zu den Sondermessungen auf der Elbe in Messabschnitten im Bereich Elbe-km 438 bis 485, Schwerpunkt Buhnenfelder und Vorländer – Messungen vom Oktober 2010, Kapsweyer, November 2010 (unveröffentlicht)
23. bis 27.1.2011	HW	Deichrückverlegung Lenzen, Buhnenfelder	Ingenieurbüro Schmid: Bericht zu den Sondermessungen auf der Elbe bei HW in Messabschnitten im Bereich Elbe-km 432 bis 493 – Messungen vom Januar 2011, Kapsweyer, Februar 2011 (unveröffentlicht)
11.8.2011	MW	Buhnenfelder	Ingenieurbüro Schmid: Bericht zu den Sondermessungen auf der Elbe bei MW in Messabschnitten im Bereich Elbe-km 188 bis 542, Schwerpunkt Buhnenfelder – Messungen vom August 2011, Kapsweyer, September 2011 (unveröffentlicht)

Tabelle 2: Zusammenschau der vorhandenen Strömungsmessungen

Table 2: *Synopsis of existing flow measurements*

Auswertungen vorgestellt, die zum einen Angaben zu den Fließgeschwindigkeiten selbst nutzen und zum anderen Durchflussanteile ausweisen.

Beispielhaft für die gewonnenen Angaben zu den Fließgeschwindigkeiten in Schlitz und auf dem neuen Vorland werden für einige Profile (siehe Bild 10) Farbflächengrafiken (Finite Differenzen-Verfahren nach Hentschel, 2007) angegeben (z. B. Bild 12, oben). Über die Tiefe gemittelte Geschwindigkeiten wurden für die hier betrachteten Auswertungen mit der Methode nach Pegelvorschrift (LAWA/BMV, 1991) abgeleitet (z. B. Bild 13).

Durch Schlitz 1 strömt bei großen Hochwassern der größte Durchflussanteil in das neue Vorland ein. Entsprechend groß sind hier die Geschwindigkeiten. Probleme ergaben sich besonders bei den Messungen in Schlitz 1 durch Bewuchs und zeitweilige Hindernisse. In Bild 12, oben, wird die Fließgeschwindigkeit senkrecht zum Querschnitt als Ausströmung ins Vorland positiv dargestellt. Die untere Darstellung zeigt einen Lage-

plan im Bereich des Schlitzes 1 am Deckwerk (die alte Deichlinie ist zur Orientierung eingetragen) mit zwei Angaben zu über die Tiefe gemittelten Fließgeschwindigkeiten (lila Vektoren und lila Linie aus den Geschwindigkeiten senkrecht zum Profil in m/s) vom 7. Oktober 2010 bei Schlitzdurchfluss 349 m³/s und Gesamtdurchfluss 1.950 m³/s und dem rot gekennzeichneten Sohlenprofil (Rasterangaben in Meter).

Im Ausweichprofil zu Schlitz 1 (siehe Bild 7 im Beitrag von Schmid und Niesler in diesem Heft) erreichten die Geschwindigkeiten am 23. Januar 2011 bei einem Durchfluss im Messprofil von 1.240 m³/s und einem Gesamtdurchfluss von 3.600 m³/s bis zu 1,8 m/s. Einige Bereiche weisen Rückströmungen auf.

Die Geschwindigkeiten im Querschnitt Rüster Drift (El-km 479,5) unterhalb des Fährdamms sind gegenüber den Schlitzgeschwindigkeiten klein. Hier traten auch beim Hochwasser 2011 Geschwindigkeiten nur bis 0,6 m/s auf. Die über die Tiefe gemittelten Geschwin-

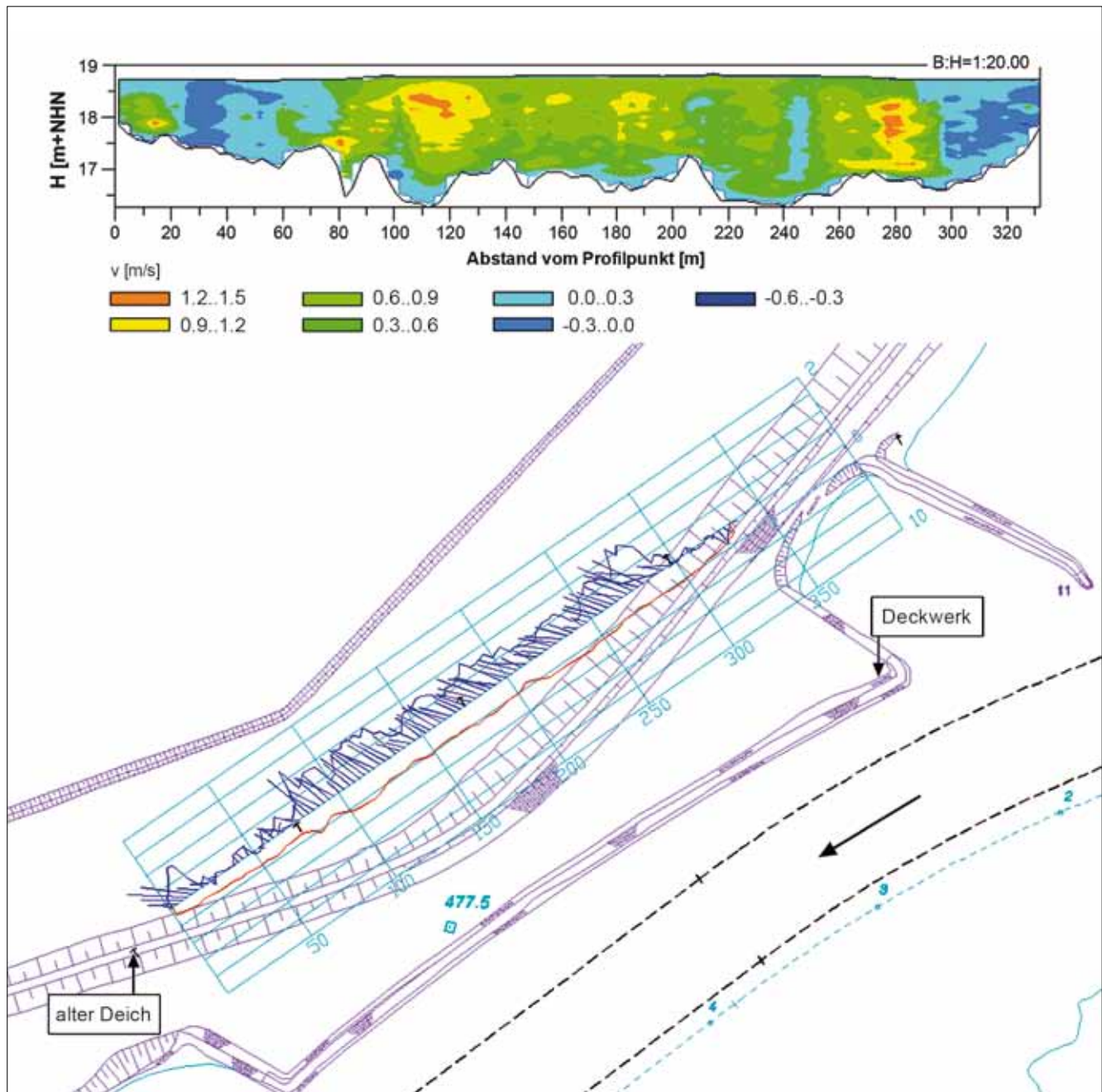


Bild 12: Fließgeschwindigkeiten senkrecht zu Schlitz 1 (oben) und über die Tiefe gemittelte Fließgeschwindigkeiten (unten) am 7. Oktober 2010

Figure 12: Flow velocities vertical to slot 1 (top) and flow velocities averaged over depth (bottom) on October 7, 2010

digkeiten senkrecht zum Profil sind dem oberen Teil von Bild 13 für den 27. Januar 2011 bei Querschnittsdurchfluss $826 \text{ m}^3/\text{s}$ und Gesamtdurchfluss $2.820 \text{ m}^3/\text{s}$ zu entnehmen. Im unteren Teil der Grafik sind die Wassertiefen (Sohle) und Messrasterpunkte eingetragen, um einen Eindruck von der Messdichte zu geben.

In Bild 17 werden für den Querschnitt El-km 482,7 die Ergebnisse auf verschiedene Art dargestellt. Zur Bewertung der Geschwindigkeiten selbst können die obere

Darstellung mit den Farbflächen grafiken der Geschwindigkeiten senkrecht zum Profil und die untere Darstellung im Lageplan mit über die Tiefe gemittelten Geschwindigkeiten genutzt werden. Aus den Grafiken wird ersichtlich, dass die Strömung im Schlitz 5 einen großen Anteil parallel zum Schlitz hat (am 24. Januar 2011 bei $3.270 \text{ m}^3/\text{s}$ Gesamtabfluss mit Geschwindigkeiten bis zu $0,9 \text{ m/s}$), obwohl der größte Anteil des Durchflusses aus dem neuen Vorland über diesen Schlitz in den Fluss zurückströmt (siehe Bild 19).

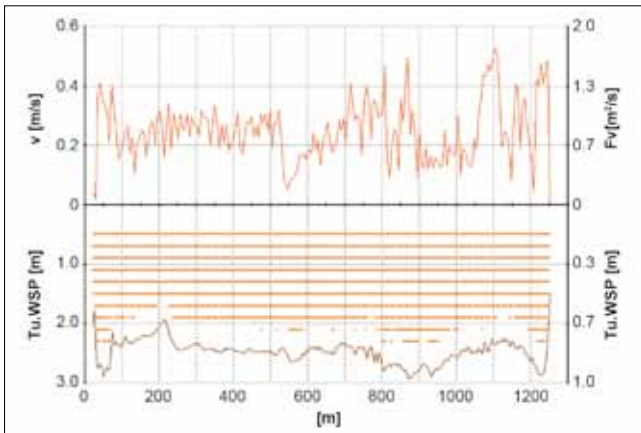


Bild 13: Über die Tiefe gemittelte Fließgeschwindigkeiten im Querschnitt unterhalb des Fährdamms 27, Januar 2011

Figure 13: Flow velocities averaged over depth in cross section downstream of the Fährdam, January 27, 2011

In Bild 14 sind die Geschwindigkeiten senkrecht (oben) und parallel (unten) zum Schlitzprofil 5 am 23. Januar 2011 bei 604 m³/s Rückfluss aus dem Vorland in den Fluss dargestellt. Im oberen Bild ist die Ausströmung aus dem Vorland in den Fluss, im unteren Bild die Strömung entgegen des Abstandes vom Profilnullpunkt (nach rechts) negativ bezeichnet.

Für den am Ende der Deichrückverlegung gelegenen Schlitz 6 (siehe Bild 10) wird in Bild 15 die Geschwindigkeit senkrecht zum Schlitzprofil für zwei Durchflüsse dargestellt. Über den gesamten Schlitzquerschnitt strömt das Wasser mit Geschwindigkeiten bis zu 1,5 m/s

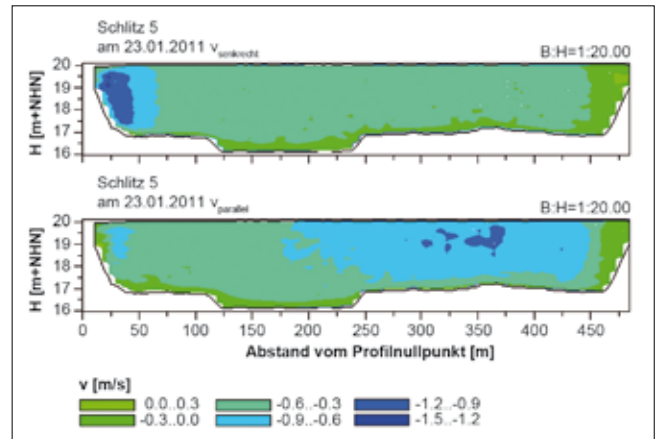


Bild 14: Fließgeschwindigkeiten im Schlitz 5 bei 3.600 m³/s Gesamtdurchfluss

Figure 14: Flow velocities in slot 5 at a total flow rate of 3,600 m³/s

(23. Januar 2011, Schlitzdurchfluss 285 m³/s) in den Fluss zurück. Obgleich der Durchflussanteil, der über diesen Schlitz dem Fluss wieder zuströmt, geringer ist als bei Schlitz 5, sind die maximalen Fließgeschwindigkeiten (und damit die Belastung der Sohle im Schlitz) hier über einen längeren Schlitzbereich größer. Der Schlitzquerschnitt 5 ist größer als Schlitzquerschnitt 6, wird aber lokal sehr unterschiedlich belastet.

Infolge der in Bild 18 dargestellten durch die Deichrückverlegung hervorgerufene Minderung des Durchflussanteils im Flussschlauch bei El-km 482,7 verringern sich dort die mittleren Fließgeschwindigkeiten bei großen

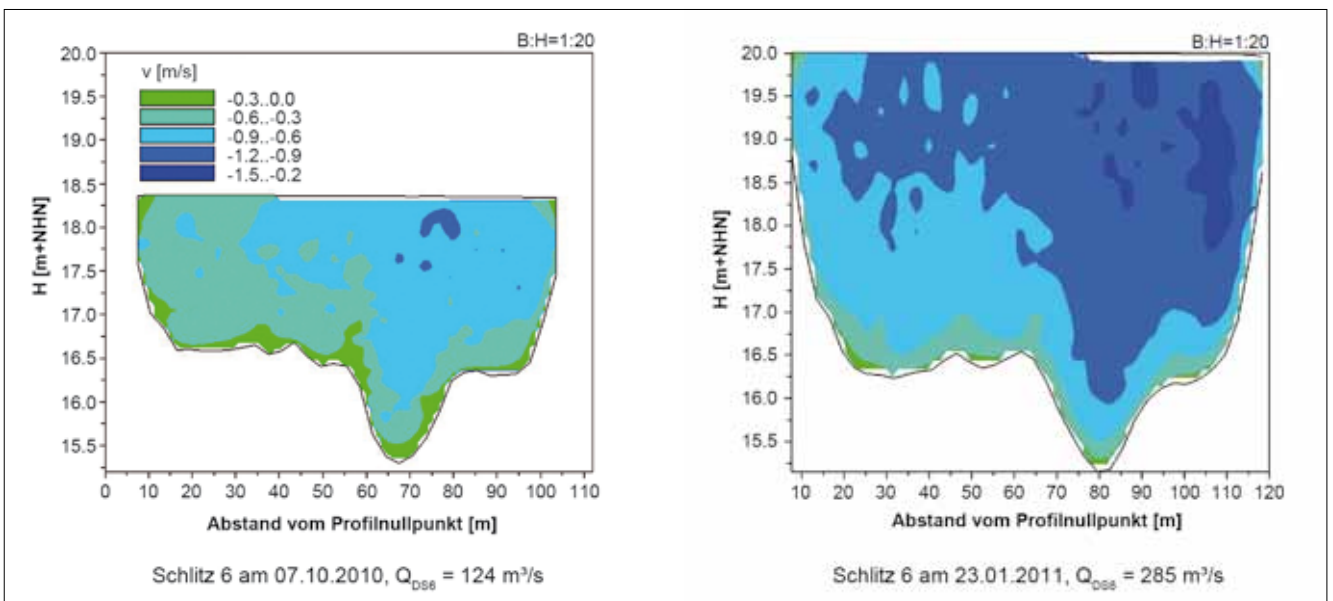


Bild 15: Fließgeschwindigkeiten im Schlitz 6 bei 1.950 m³/s und 3.600 m³/s Gesamtdurchfluss

Figure 15: Flow velocities in slot 6 at total flow rates of 1,950 m³/s and 3,600 m³/s respectively

Hochwassern um ca. 0,2 m/s. Bei El-km 482 liegen Vergleichsmessungen vom 14. März 2009 und 7. März bzw. 8. Oktober 2010 vor, die bei kleineren Durchflüssen (1.750 m³/s bis 1.950 m³/s) noch eine Verringerung der mittleren Fließgeschwindigkeit im Flussschlauch nach der Deichrückverlegung um ca. 0,1 m/s zeigen. Durch die verringerten mittleren Fließgeschwindigkeiten ist nach der Deichrückverlegung ein verlangsamer Geschiebetransport gegenüber dem Ausgangszustand zu erwarten.

Vergleicht man die Messungen am 27. Januar 2011 (nach der Deichrückverlegung, El-km 482,7 mit 2.690 m³/s) mit der am 23. März 2000 (vor der Deichrückverlegung, El-km 482,8 mit 2.440 m³/s), so wird in diesem Flussquerschnitt, der Schlitz 5 schneidet, die Verlagerung der Strömung zum Schlitz am rechten Ufer hin sichtbar. In Bild 16 wird die Differenz der Geschwindigkeiten senkrecht zum Querprofil (27. Januar 2011 bis 23. März 2000) gezeigt. Die Messquerschnitte liegen 100 m auseinander, die Durchflüsse der Messungen unterscheiden sich um 9 %. Trotzdem zeigt der Vergleich die grundsätzliche Veränderung auf: Die Buhnen am rechten Ufer sind in den Schlitzbereichen nach der Deichrückverlegung einer deutlich stärkeren Strömungsbelastung ausgesetzt als vorher. Sie müssen deshalb regelmäßig überprüft und instand gehalten werden.

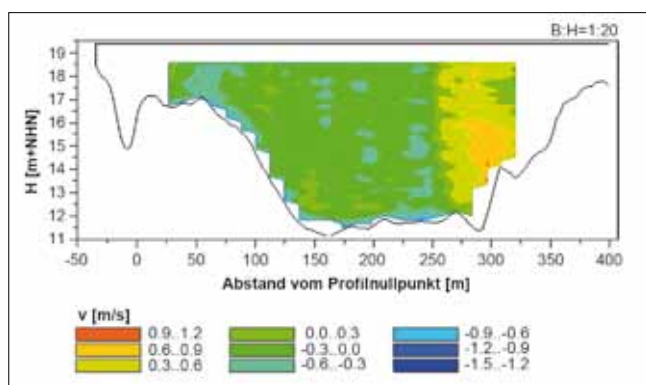


Bild 16: Differenz der Geschwindigkeiten bei El-km 482,7 nach und vor der Deichrückverlegung

Figure 16: Velocities at Elbe kilometer 482.7, after and before the dike relocation

In Bild 17 werden weitere Berechnungen von Durchflussanteilen, ausgehend von den gezeigten Auswertungen der Messungen der Fließgeschwindigkeiten in Querprofilen, dargestellt. In Bild 17 (oben) sind auszuwertende Querschnittsbereiche eingetragen. Bild 17 unten gibt Auskunft über Größe und Richtung der Fließge-

schwindigkeiten. Das Luftbild zeigt am rechten Ufer die Situation im Jahr 2009, am linken Ufer die Situation bei Niedrigwasser im Jahr 2003 und macht so die Geländestrukturen deutlich. Das Profil bei El-km 482,7 verläuft durch den Schlitz 5 (Lage am Ende der Deichrückverlegung, siehe Bild 10).

Für die Ermittlung der **Durchflussanteile** der Querschnittsbereiche

1. linkes Vorland (VL): links der Streichlinie (Bühnenkopf),
2. Mitte: Flussschlauch zwischen den Streichlinien (Bühnenköpfen),
3. rechtes Vorland bis Altdeich und
4. rechtes, neues Vorland,
5. rechtes Vorland, gesamt (Summe von 3 und 4)

wurde das BAW-eigene Programm <FlieGe> genutzt (Hentschel, 2007). Die damit ermittelten Gesamtdurchflüsse unterscheiden sich geringfügig von den von der Fa. Schmid ausgewiesenen Ergebnissen (siehe auch Beitrag von Schmid und Niesler in diesem Heft). Die Unterschiede sind auf verschiedene Verfahren zur flächigen Interpolation der Messdaten zurückzuführen. Um Durchflüsse für den Gesamtquerschnitt aus diskreten Messdaten abzuleiten, müssen geeignete Interpolationsverfahren verwendet werden, die außerdem in Bereichen ohne Messwerte (nahe der Gewässerberandung und des Wasserspiegels) extrapolieren. Verschiedene Verfahren sind hierfür geeignet, führen aber – je nach konkreter Messsituation – zu Durchflussunterschieden im Bereich von ca. 5 %.

Der gemessene Gesamtdurchfluss betrug am 24. Januar 2011 3.480 m³/s (Mittelwert, Standardabweichung aus sechs Messfahrten = 1% entsprechend der Messauswertung der Fa. Schmid). Die Auswertung der BAW für das Messprofil 482,7 aus den Messdaten ergibt einen Gesamtdurchfluss von 3.270 m³/s (6% Abweichung zum Mittelwert der Fa. Schmid).

Bei Naturmessungen liegen nur selten Messungen bei gleichem Durchfluss und Messort vor. Gleichwohl können die Messungen vom 23. März 2000 (El-km 482,8) und 27. Januar 2011 (El-km 482,7) trotz Durchflussunterschied von 250 m³/s zum Vergleich bei großem Hochwasser herangezogen werden. In Bild 18 wird zusätzlich noch das deutlich größere Hochwasser vom 24. Januar

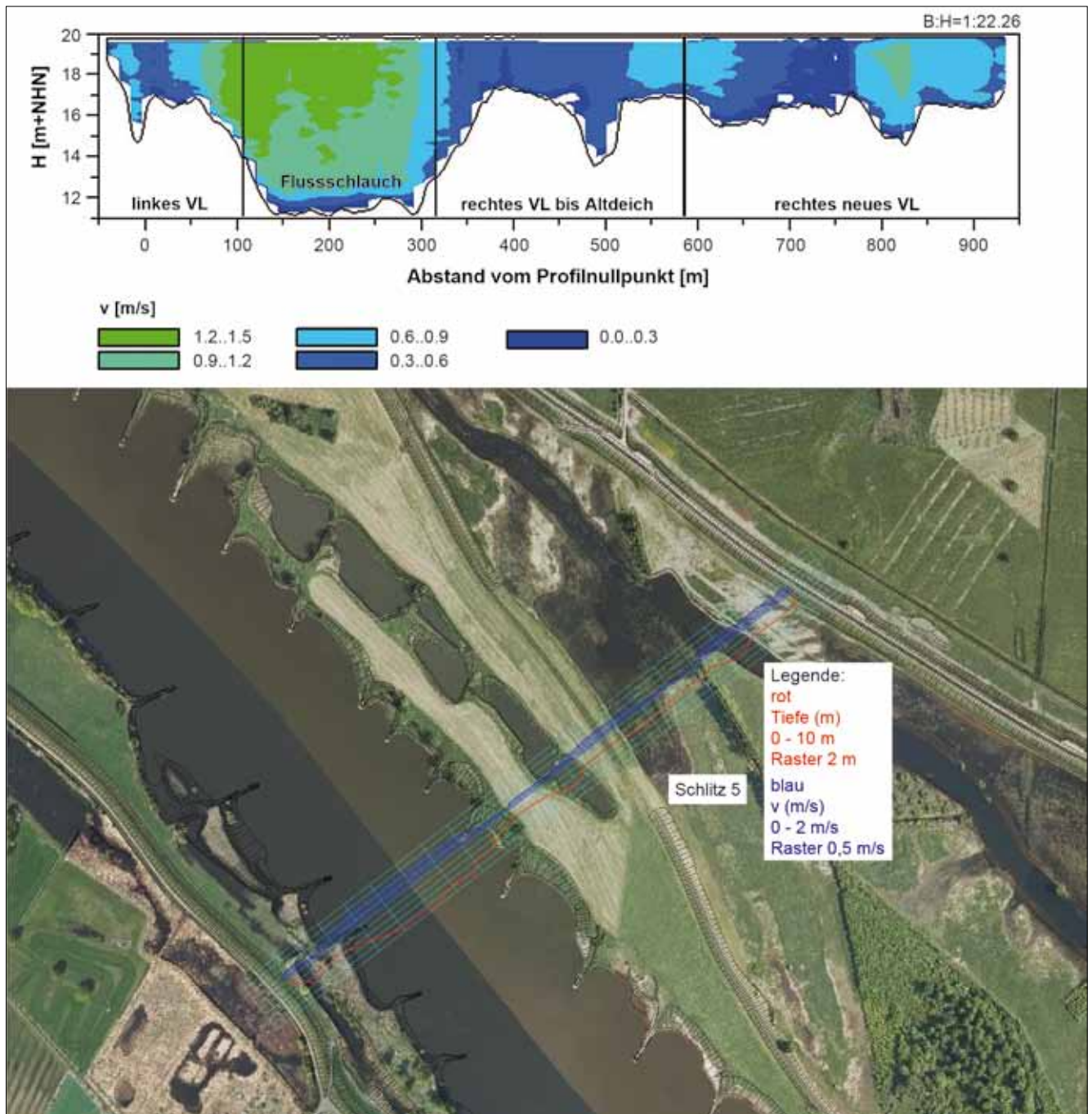


Bild 17: Auswertung von Strömungsmessungen bei El-km 482,7 am 24. Januar 2011
 Figure 17: Evaluation of flow measurements at Elbe kilometer 482.7 on January 24, 2011

2011 (El-km 482,7; 830 m³/s mehr als am 23. März 2000) abgebildet. Vergleiche bei identischen Bedingungen sind nur in Modellen möglich und werden im Beitrag von Alexy in diesem Heft aufgezeigt.

Die Auswertungen der Anteile am Gesamtdurchfluss in Bild 18 zeigen, dass bei großem Hochwasser nach der Deichrückverlegung bei El-km 482,7 nur noch 50 % bis 60 % des Gesamtdurchflusses im Flussschlauch abge-

führt werden gegenüber > 70 % vor der Deichrückverlegung (El-km 482,8).

Bei der Auswertung der Messungen hinsichtlich der Durchflussanteile ist zu berücksichtigen, dass sich durch die bei verschiedenen Gesamtdurchflüssen unterschiedlichen Ein- und Ausströmdurchflüsse in den Altdeichschlitzen die Durchflussanteile mit dem Gesamtdurchfluss und entlang der Fließstrecke ändern.

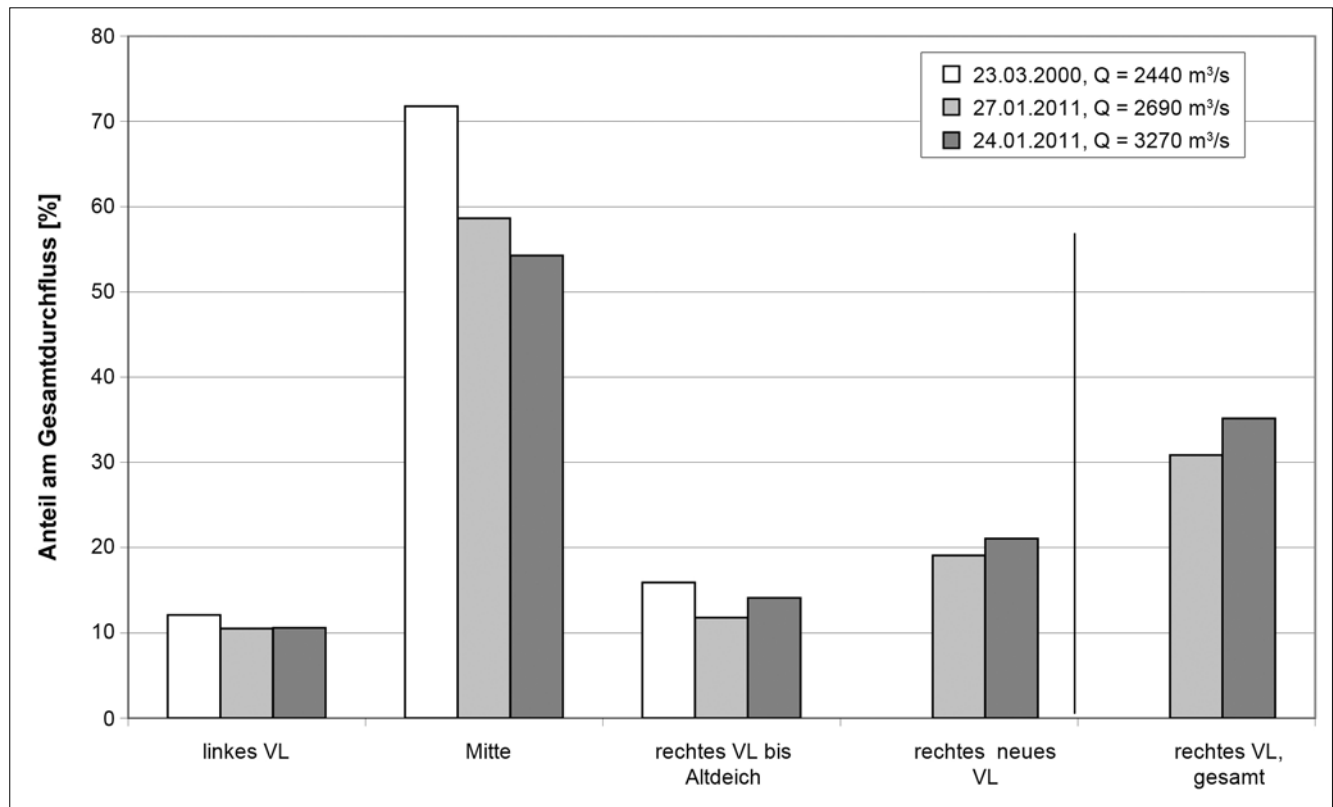


Bild 18: El-km 482,7 und 482,8, Bereichsanteile am Gesamtdurchfluss
 Figure 18: Elbe kilometers 482.7 and 482.8, contribution of each area to the total flow rate

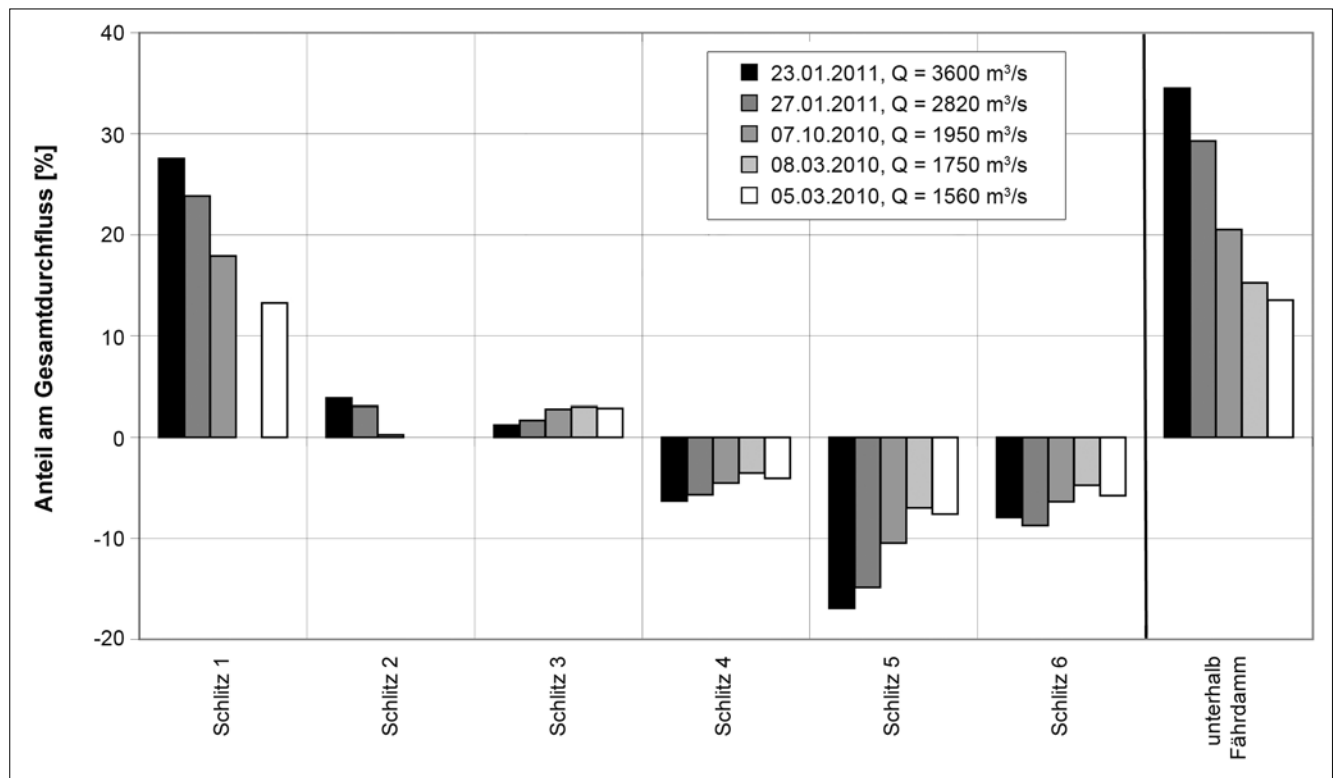


Bild 19: Anteile des Durchflusses der Schlitz im Altdeich und über das rechte Vorland (unterhalb Fährdamm bei Rüster Drift) am Gesamtdurchfluss
 Figure 19: Contribution to the total flow rate by the flow rates of the slots in the old dike and the flow rates over the flood plain on the right-hand side (downstream of the Fährdamm, near Rüster Drift)

Über das rechte, neue Deichvorland werden bei El-km 482,7 noch ca. 20 % des Gesamtdurchflusses abgeführt. Ein Teil des durch die Schlitze 1 bis 3 in das Vorland eingeströmten Wassers ist vor dem Messprofil El-km 482,7 durch die Schlitze 4 und 5 bereits wieder in den Fluss zurückgeströmt (siehe Bild 19).

Mit dieser Auswertemethode können aus den Messungen in den Altdeich-Schlitzen und im Messquerschnitt unterhalb des Fährdamms in der Rüster Drift El-km 479,5 (siehe Bild 10) ebenfalls die Anteile am Gesamtdurchfluss ermittelt werden. In Bild 19 bezeichnen positive Werte die Einströmung ins Vorland, negative Werte die Rückströmung ins Gewässerbett. Im März 2010 konnte in den Schlitzen 1 (nur am 5. März 2010 gemessen) und 2 nicht gemessen werden. Am 23. Januar 2011 wurde ein Ausweichprofil für Schlitz 1 gemessen (siehe Bild 10). Am 23. Januar 2011 enthielten die Messungen der Fa. Schmid bei El-km 482,7 einige Lücken im Flussschlauch, sodass der in Tabelle 2 im Beitrag von Schmid und Niesler (in diesem Heft) angegebene Gesamtdurchfluss auf 3.600 m³/s reduziert wurde.

Hauptsächlich strömt bei großen Hochwassern dieses durch den Schlitz 1 ins Vorland. Die Rückströmung aus dem Vorland in den Flussschlauch verteilt sich auf die Schlitze 4 bis 6. Über das neu gewonnene Vorland wurden bei El-km 479,5 bis zu 35 % des Gesamtdurchflusses abgeführt. Der Durchflussanteil nimmt mit steigendem Durchfluss zu. Eine Bilanzierung (z. B. Abfluss-

anteile Schlitz 1 + 2 = Abflussanteil unterhalb Fährdamms bei Rüster Drift) zeigt einige Ungenauigkeiten, gleichwohl ist eine grundsätzliche Beschreibung der Durchflussanteile möglich.

5 Peilungen der Sohlengeometrie im Flussbett

Sounding of the river bed geometry

Die WSV peilt die Sohle im Fahrwasser in der Regel bei Durchflüssen, die für die Bewertung der Schifffahrtsbedingungen relevant sind. Dies sind niedrige bis mittlere Durchflüsse. In Bild 11 sind die Flächenpeilungen mit dem Peilschiff „Domfelsen“ verzeichnet, die hier in die Auswertungen eingeflossen sind.

In den Jahren 2006 und 2011 wurden vom WSA Magdeburg auch bei Hochwasser Peilungen durchgeführt, um zusätzlich Kenntnisse zu den Einflüssen der Deichrückverlegung auf die Sohlentopografie zu sammeln. Diese wenigen Peilungen bei Hochwasser sind nicht geeignet, um exakt den Einfluss der Deichrückverlegung auf die Gestalt der Flusssohle zu beschreiben, da sich diese sehr zufällig ausprägt und stark von der hydrologischen Vorgeschichte abhängig ist. Gleichwohl können schon aus diesen wenigen Messungen Rückschlüsse auf die Mechanismen der Sohlenveränderung gezogen werden und es liegt Datenmaterial für die Bewertung von Modellen vor.



Bild 20: Bank am „Böser Ort“ bei Niedrigwasser, Luftbild WSD Ost, August 2003

Figure 20: Bar at “Böser Ort” during low water, aerial photograph taken by the WSD East, August 2003

Die Sohlengestalt ändert sich im Bereich Lenzen stark in Abhängigkeit vom Durchfluss. Der Geschiebetransport erfolgt hauptsächlich durch die Bewegung von Transportkörpern (Unterwasserdünen). Die Deichrück-

verlegung beginnt im Scheitel einer starken Krümmung. Der Abschnitt bei El-km 477 trägt den Namen „Böser Ort“. Am linken Ufer reichte der Deich ehemals weit an den Fluss heran. 1952 wurde der Deich landeinwärts

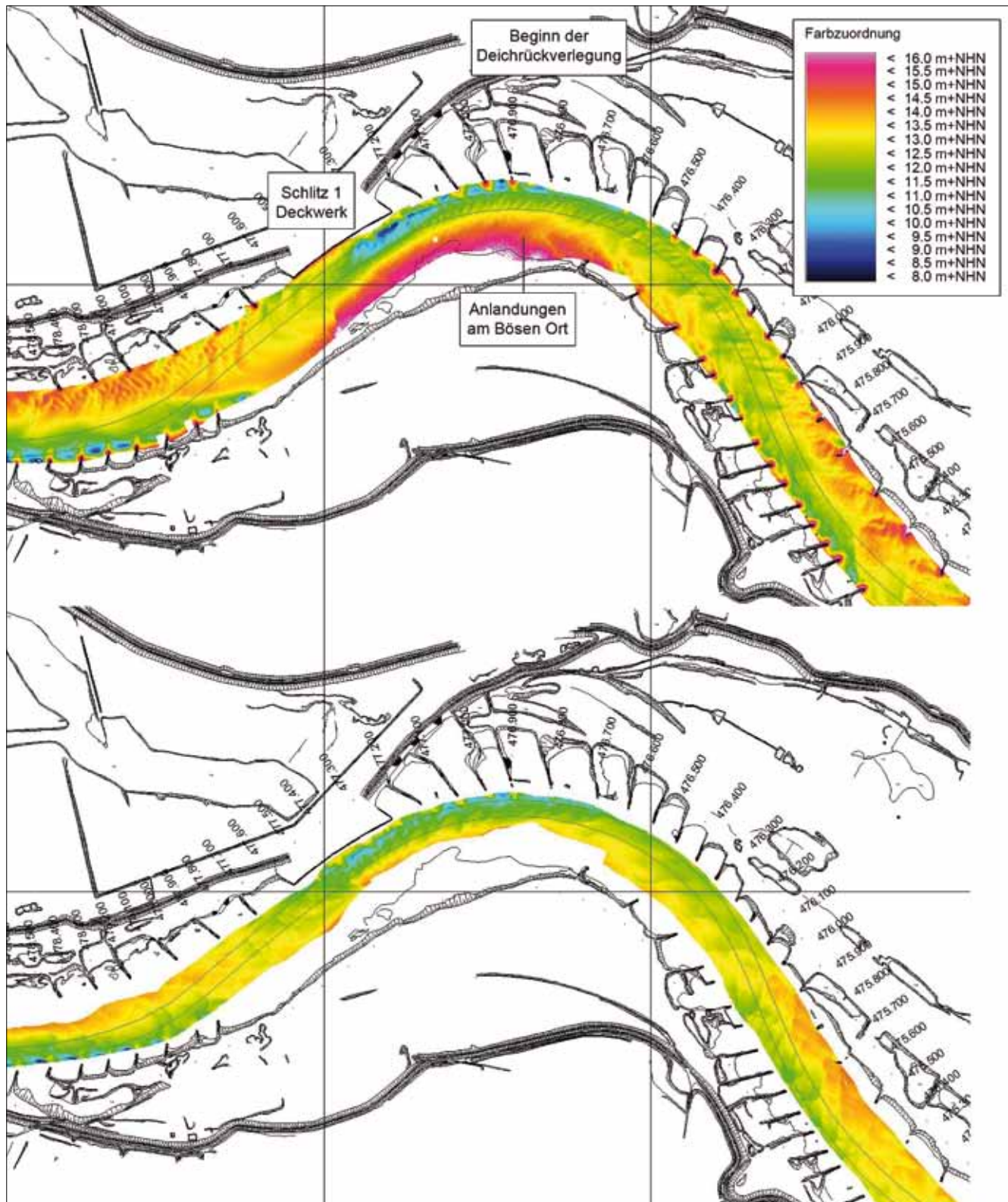


Bild 21: Sohlenpeilung am 25. Januar 2011 bei Hochwasser (oben) und am 8. Januar 2001 am „Böser Ort“
 Figure 21: River bed sounding during flood (top) on January 25, 2011 and at „Böser Ort“ on January 8, 2001

verlegt und das Vorland abgetragen. Es verblieb eine enge Krümmung mit starken Sand-Kies-Anlandungen am Gleitufer. Der Kolk am rechten Ufer wird insbesondere bei Hochwasser ausgeräumt. Das Material lagert der Fluss direkt unterhalb wieder ab. Dieser flache Übergang, in dem die Schifffahrt von den tiefen Bereichen des rechten zum linken Ufer wechseln muss (grüne Fahrinne in Bild 21, unten), wird vom Fluss erst in den Zeiten mittlerer (MW) und niedriger Wasserführung (MNW – mittleres Niedrigwasser) nach und nach abgetragen. Die unzureichende linksseitige Strömungsführung (Bild 20) führt zu einer Querschnittsaufweitung, wodurch auch bei Niedrigwasser dieser Übergang für die Schifffahrt tiefenbestimmend bleibt. Der erste Schlitz im Altdeich wurde u. a. im Bereich des bestehenden Deckwerkes angeordnet, weil somit die Strömungsaufteilung im Bereich der Hochwasserengstelle erfolgt.

Die unterschiedliche Ausprägung der Sohle bei Hoch- und Niedrigwasser ist in Bild 21 gut zu sehen. Die Peildaten (Ausgangsdaten ca. im 1 m Raster) werden hier in einem quadratischen Raster (1,5 m) dargestellt. Insbesondere bei Hochwasser (Bild 21, oben) fällt auf, dass große Transportkörper von kleinen überlagert werden. Oberhalb der Krümmung fallen dreidimensionale Transportkörper unterschiedlicher Größe auf.

Die größte Veränderlichkeit über die Zeit („Dynamik“) ist an der Sohle im Bereich des Deckwerkes bei Schlitz 1 zu verzeichnen. Berechnet man die Standardabweichung (über die Zeit) für jeden Rasterpunkt der Flächendaten über alle verfügbaren neun Peilungen im Flussschlauch zwischen den Jahren 2004 und 2011, so beträgt diese in der Gesamtstrecke im Mittel 0,3 m, während sie im

Bereich der Flusssohle am Deckwerk im Mittel 0,5 m und maximal 1,3 m beträgt.

Der Vergleich von **mittleren Sohlenhöhen** für Flächen (50 x 50 m) entlang der Fahrinne verdeutlicht als Mittelwert über alle Peilungen diesen Unterschied der Sohlenhöhen bei MNW/MW und HW (Bild 22).

Durch die oben erwähnte veränderte Durchflussaufteilung zwischen Flussbett und rechtem Vorland nach realisierter Deichrückverlegung und die daraus resultierenden Wasserspiegelabsenkungen kommt es im Umfeld der Rückdeichung zu Veränderungen des Wasserspiegelgefälles, der Fließgeschwindigkeiten und damit zu einer Beeinflussung des Geschiebetransportes.

Dies kann langfristig zu Veränderungen der mittleren Sohlenhöhe führen. Derzeit zeigen die Naturmessungen ausgewählter Querschnitte im Abschnitt zwischen Schlitz 1 und 5 bei Hochwasser eine Verminderung der mittleren Geschwindigkeit im Flussschlauch um 10 % bis 20 %. Welche Auswirkungen das auf die Ausprägung der Sohlengestalt hat, kann aus den bisherigen Messungen noch nicht geschlussfolgert werden. Bild 23 zeigt einen Vergleich der mittleren Sohlen aus Peilungen im April 2006 (vor der Deichrückverlegung, blaue Linien) zu einer Peilung im Januar 2011 (nach der Deichrückverlegung, grüne Linie). Die Altdeichschlitze weisen für die Zeit nach der Deichrückverlegung auf die Bereiche mit Einströmung ins Vorland (Schlitze 1-3) und Rückströmung ins Flussbett (Schlitze 4-6) hin. Der Vergleich unterstreicht die Notwendigkeit, die Sohle im Bereich der Deichrückverlegung und direkt unterhalb künftig genauer zu beobachten.

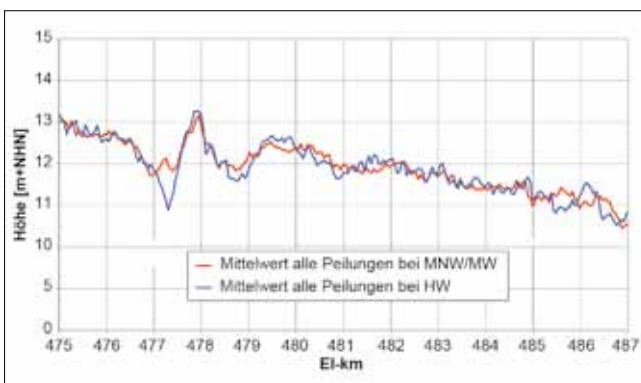


Bild 22: Vergleich mittlerer Sohlenhöhen bei mittlerem Niedrig- / mittlerem Wasserstand und Hochwasser
 Figure 22: Comparison of medium river bed levels during mean low water / mean water and high water levels

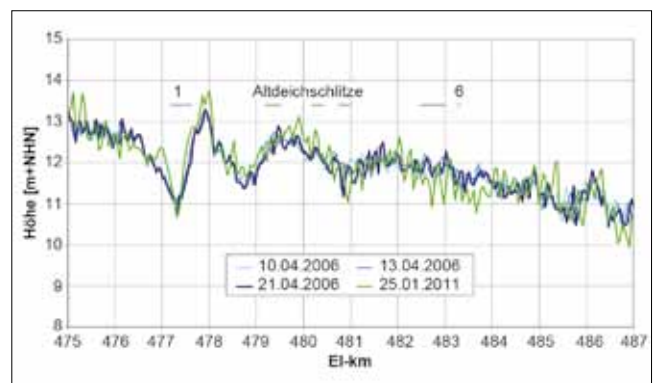


Bild 23: Vergleich der mittleren Sohle bei Hochwasser
 Figure 23: Comparison of the medium bed levels during flood

Die Sohlenpeilungen wurden auch hinsichtlich der Größe der **Transportkörper** (Unterwasserdünen) ausgewertet. Bisherige Auswertungen von Transportkörpern (Aberle et al., 2011) führen in erster Linie in geraden Strecken zu belastbaren Ergebnissen. Allerdings besteht auch dort eine Schwierigkeit darin, dass sich verschiedene Dünengrößen überlagern und andere Effekte (Buhnen, Kolke, Bänke) die Ergebnisse beeinflussen können. Versucht man, die Dünengröße mit dem Durchfluss zu korrelieren, muss zusätzlich beachtet werden, dass der Geschiebetransport des Flusses träge auf die hydrologische Situation reagiert. Somit wird die aktuelle Bettgestalt stark von der hydrologischen und morphologischen Vorgeschichte beeinflusst. Gleichwohl sollen hier einige Ergebnisse aus Untersuchungen gezeigt werden.

Bisher übliche Auswertungen nutzen Längsschnitte zur Ermittlung der Dünenparameter und gehen dabei davon aus, dass sich die Transportkörper hauptsächlich entlang des Längsschnittes bewegen. Diese Annahme ist im Untersuchungsgebiet auch in den nahezu geraden Streckenabschnitten (EI-km 480 bis 484) nicht vollständig erfüllt.

Die Höhe der Dünen muss auf eine Referenzhöhe bezogen werden. In der hier gezeigten Auswertung wurde eine Referenzebene (mittlerer Höhe) ermittelt, indem das digitale Geländemodell (DGM) geglättet wurde. Die Originalhöhe wurde als Differenz des Ur-DGM zu dieser Referenzebene aufgetragen. Aus diesem Differenzen-DGM wurde für Bild 24 ein Längsschnitt in der Flussachse herausgeschnitten. Die Standardabweichung („Heterogenität“) beträgt im Abschnitt EI-km 480 bis 484 für die Peilung am 10. April 2006 $\sigma = 0,40$ m. Nach Coleman

et al. (2011) kann daraus eine mittlere Dünenhöhe mit $H_D = 2,2 \sigma = 0,88$ m abgeleitet werden.

Unter der Annahme, dass die in geeigneten Flächen für eine Peilung ermittelte Standardabweichung („Heterogenität“) ebenfalls die Höhe der Transportkörper kennzeichnet, wurde diese aus dem Geländemodell im 1,5 m x 1,5 m-Raster für Flächen von 50 m Länge und 50 m Breite entlang der Flussachse ermittelt. Mit der Flächengröße sollte der Fokus auf Klein- und Mitteldünen gesetzt werden. Von Buhnen beeinflusste Randbereiche wurden durch die geringe Auswertebreite von 50 m bei 203 m Soll-Streichlinienabstand ausgeschlossen. Gleichwohl führen in Krümmungen die „Dreiecksprofile“ zwischen Gleit- und Prallufer dazu, dass die Standardabweichung eher diese Struktur beschreibt, als die Dünenhöhe. Beispielfhaft wird für die Peilungen vom Juni 2011 (bei MNW / MW) und Januar 2011 (bei HW) in Bild 25 das Ergebnis als gleitender Mittelwert (Schrittweite 50 m) aufgezeigt. In der geraden Strecke zwischen EI-km 480 und 484 ergeben sich Standardabweichungen zwischen 0,1 m und 0,45 m. Unterschiedliche Längen (100 m bis 300 m) und Breiten (50 m bis 100 m) der Flächen zur Berechnung der Standardabweichung führten bei Lenzen im Bereich EI-km 480 bis 484 zu ähnlichen Standardabweichungen σ zwischen 0,1 m und 0,5 m. Damit ergeben sich aus dieser Auswertemethode mit $H_D = 2,2 \sigma$ zwischen EI-km 480 bis 484 für Klein- und Mitteldünen Höhen zwischen 0,2 m und 1,1 m.

Bei einer anderen Auswertung für die Gerade zwischen EI-km 480 und 483 wurden Längsprofile aus dem gefällebereinigten Geländemodellen, die zwischen den Jahren 2002 und 2011 bei unterschiedlichen Durchflüssen aufgenommen wurden, ausgeschnitten (LWI, 2012). Für

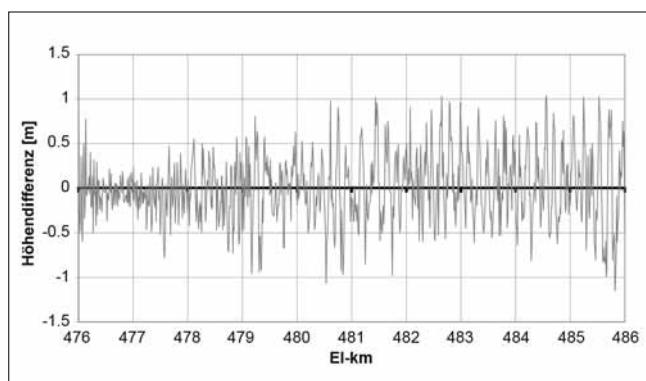


Bild 24: Längsschnitt durch ein Differenzen-DGM, Peilung am 10. April 2006
 Figure 24: Longitudinal section through DTM differences, sounding on April 10, 2006

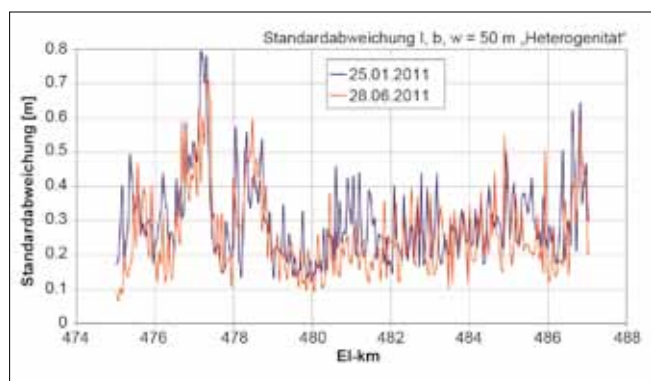


Bild 25: Standardabweichung aus flächenhafter Auswertung der Geländemodelle
 Figure 25: Standard deviation from surface evaluation of the terrain models

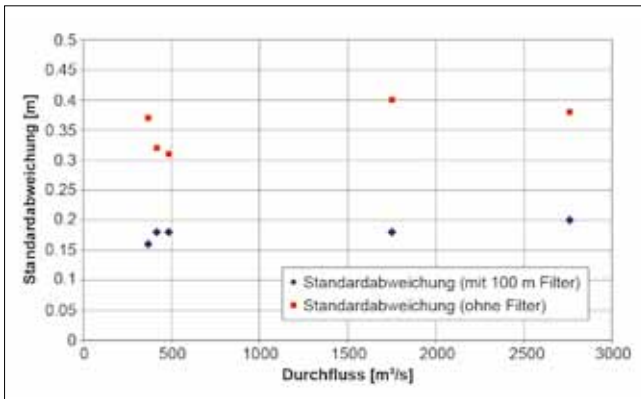


Bild 26: Standardabweichung aus Längsprofil-Auswertung für El-km 480 bis 483

Figure 26: Standard deviation from evaluation of longitudinal section for Elbe kilometers 480 to 483

die Auswertung wurden zuvor mit einem Hochpassfilter alle Wellenlängen > 100 m eliminiert, um auf Klein- und Mitteldünen zu fokussieren (Bild 26). Die mit Hochpassfilter ermittelten Standardabweichungen zwischen 0,16 m und 0,21 m sind geringer als die ohne diesen Filter ermittelten Werte und entsprechen Dünenhöhen zwischen 0,35 m und 0,46 m. Aus den so ausgewerteten wenigen Messungen kann in Bild 26 bisher nur eine schwache Abhängigkeit der Dünenhöhen vom Durchfluss aufgezeigt werden.

Die Auswertung von Dünenhöhen in natürlichen Flüssen ist bisher noch nicht standardisiert. Geeignete

Methoden, die auch in Strecken mit nicht entlang von Längsprofilen laufenden Transportkörpern automatisiert eingesetzt werden können, sind noch nicht verfügbar. Die hier dargestellten Auswertungen werden mit verschiedenen Methoden und in unterschiedlichen Naturstrecken fortgeführt.

6 Messungen über Bühnenfeldern bei Lenzen

Measurements in groyne field areas near Lenzen

Die Messungen im Bereich von vier Bühnenfeldern am linken und rechten Ufer bei El-km 482 (Bild 10) sind Teil einer Langzeit-Messkampagne. Hier soll nur ein Eindruck der verfügbaren Daten vermittelt werden. Im Rahmen der Messkampagnen seit dem Jahr 2009 wurden in den Bühnenfeldern bei Hoch- oder Mittelwasser flächig Geschwindigkeiten und Sohlentopografie gemessen (siehe Beitrag von Schmid und Niesler in diesem Heft).

In Bild 27 sind Vektoren der über die Tiefe gemittelten Geschwindigkeiten bei umströmten Bühnen (800 m³/s) und deutlich überströmten Bühnen (3.000 m³/s) über dem Luftbild vom August 2003 bei Niedrigwasser (WSD Ost) eingetragen.



Bild 27: Über die Tiefe gemittelte Geschwindigkeit [m/s] auf Luftbild aus dem Jahr 2003

Figure 27: Velocity averaged over depth [m/s] via aerial photograph in 2003

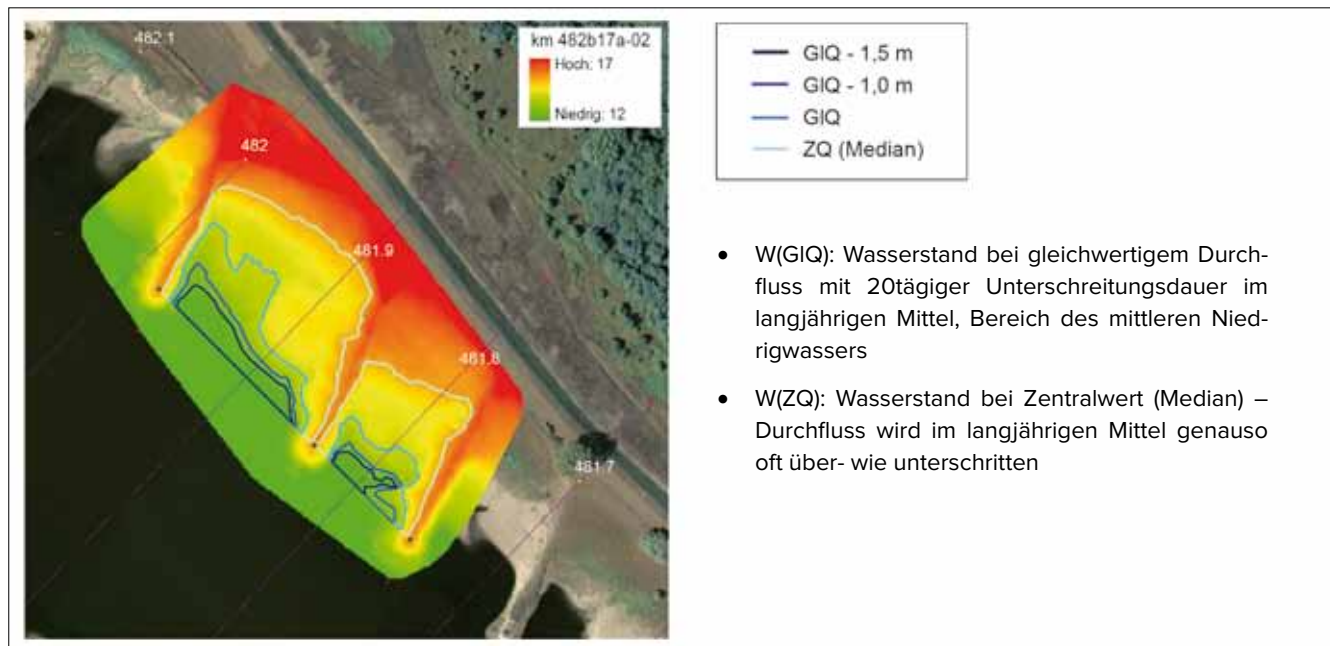


Bild 28: Digitales Geländemodell vom Januar 2011 [m+NHN] und Uferlinien bei ausgewählten Durchflüssen
 Figure 28: Digital terrain model of January 2011 [m+NHN (elevation above mean sea level)] and waterlines at specific flow rates

Die Sohlenpeilungen wurden u. a. hinsichtlich der Uferlinien bei unterschiedlichen Bezugswasserständen ausgewertet. Die Bezugswasserstände wurden im Bereich von sehr niedrigen Wasserständen (1,5 m unter einem mittleren Niedrigwasser (hier W(GIQ)) und einem mittleren Wasserstand (hier W(ZQ) gewählt. Bei GIQ fallen in Folge der Verlandung der Bühnenfelder große Teile der Bühnenfelder trocken. In den beiden Bühnenfeldern von Bild 28 verringert sich die Wasserfläche bei GIQ gegenüber ZQ um ca. 60 %. Diese Auswertungen können als Grundlage für die Bewertung von Habitateigenschaften herangezogen werden.

Künftig sind neben den Analysen der Messungen zur Situationsbeschreibung auch Auswertungen zur Veränderlichkeit der Sohlentopografie über die Zeit geplant. Diese Untersuchungen ergänzen die Betrachtungen im Bereich der Deichrückverlegung Lenzen.

7 Ausblick Outlook

Die bisherigen Auswertungen der Naturdaten erlauben Bewertungen der Wirkung der Deichrückverlegung Lenzen auf Wasserspiegel, Fließgeschwindigkeiten und Durchflussaufteilungen. Eine Beschreibung der Strömung sowohl im Gewässerbett als auch in den

Vorländern ist damit möglich. Rechenmodelle können mit diesen Daten validiert werden. Die Messungen von Wasserspiegel, Geschwindigkeit und Durchfluss in ausgewählten Profilen und Sohlenpeilungen werden künftig ergänzt und hinsichtlich verschiedener Aspekte weiter ausgewertet.

Das Rechenmodell spiegelt bisher den Planungszustand wider. Zur korrekten Beschreibung der jeweiligen Naturzustände müssen sowohl aktuelle Daten zur Topografie als auch zum Bewuchs aufgenommen werden. Das Rechenmodell kann dann hinsichtlich der in der Natur realisierten Situation aktualisiert werden.

Derzeit ergeben sich bei den Vergleichen von Naturmessungen und Modellergebnissen (siehe Beitrag von Alexy in diesem Heft) Abweichungen auch aus der im Modell abweichend von der Natur abgebildeten Situation. Wenn diese Abweichungen verringert werden, können Natur und Modell nicht nur unter der Annahme stationärer Verhältnisse sondern auch speziell für die Ein- und Ausströmsituation verglichen werden. Im Jahr 2012 wurden Oberflächen- und Grundwassermessstellen im neuen Vorlandbereich der Deichrückverlegung eingerichtet, die für Vergleiche der zeitlichen Entwicklung der Wasserstände in Modell und Natur künftig zur Verfügung stehen.

Zur Entwicklung der Flusssohle (Epochenvergleich) müssen viele Messungen über lange Zeiträume zur Verfügung stehen, ehe künftig eine aussagekräftige Bewertung vorgenommen werden kann.

Lokale Sohlenveränderungen werden weiterhin beobachtet, um in Problembereichen Gegenmaßnahmen einleiten zu können.

Zur Ableitung von Transportkörperparametern werden weitere Auswertungen durchgeführt. Untersuchungen zum Geschiebetransport im Flussbett sind langfristig mit Untersuchungen zum Verlandungs- und Erosionsverhalten im Vorland zusammenzuführen.

Der Datenaustausch zwischen verschiedenen Institutionen im Rahmen der Erfolgskontrolle und Forschung ermöglicht eine breite Nutzung der mit unterschiedlichen Zielen erhobenen Daten. Eine Fortführung dieser Zusammenarbeit ist deshalb auch in Zukunft wünschenswert.

8 Literaturverzeichnis

References

Aberle, J., Nikora, V. I., Henning, M., Ettmer, B. and Hentschel, B. (2010): Statistical characterization of bed roughness due to bed forms: A field study in the Elbe River at Aken, Germany, *Water Resour. Res.* 46, W03521, DOI:10.1029/2008WR007406.

Alexy, M., Faulhaber P. (2011): Hydraulische Wirkung der Deichrückverlegung Lenzen an der Elbe. *Wasserwirtschaft Heft 12*, S. 17 – 22.

Alexy, M. (2013): Numerische Modelluntersuchungen zu den Auswirkungen der Deichrückverlegung Lenzen und von geplanten Vorlandanpflanzungen. In: *BAWMitteilungen Nr. 97*, 2013, S. 73 – 98.

BAW (2010): Deichrückverlegung Lenzen – Rückdeichung Lenzen: Luftbildbefliegung bei Einstromung Luftbildbefliegung bei Einstromung, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, (3.02.10105.01, unveröffentlicht).

BfG (2006): Das Hochwasser der Elbe im Frühjahr 2006. Bericht 1514 der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz (unveröffentlicht).

Coleman, S. E., Nikora, V. I., Aberle, J. (2011): Interpretation of alluvial beds through bed-elevation distribution moments. *Water Resources Research*, Vol. 47, W11505, DOI: 10.1029/2011WR010672.

Faulhaber, P., Bleyel, B. und Alexy, M. (2013): Übersicht der hydraulisch-morphologischen Modelluntersuchungen zwischen 1995 und 2010. In: *BAWMitteilungen Nr. 97*, 2013, S. 49 – 72.

Faulhaber, P. (2013): Charakteristik der Elbe zwischen Havelmündung und Dömitz. In: *BAWMitteilungen Nr. 97*, 2013, S. 7 – 22.

Hentschel, B. (2007): Ein Finite-Differenzen-Verfahren zur Strömungsanalyse. *Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau Nr. 90*, S. 101 – 105.

Ingenieurbüro Schmid (2008): Dokumentation zur Umrechnung von Wasserspiegelfixierungen auf der Elbe, Oder und Donau auf stationäre Bedingungen, Kapsweyer (unveröffentlicht).

LAWA/BMV (1991): Pegelvorschrift, Anlage A und D – Richtlinie für das Messen und Ermitteln von Abflüssen und Durchflüssen. Herausgegeben von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser und dem Bundesminister für Verkehr, Hamburg und Bonn.

LUGV-Brandenburg, Vermessungsbüro Münster und Graf GbR (2011): Rekonstruktion des Scheitelwasserstandes des Hochwassers 01/2011 am Brandenburger Elbedeich auf Grundlage der Aufmessung des Wasserspiegels am 22./23.01.2011 (unveröffentlicht).

LWI (2012): Bestimmung von Dünenparametern aus Naturmessungen im Bereich der Dreichrückverlegung Lenzen/Elbe. Unveröffentlichter Bericht Nr. 1030 (im Auftrag der BAW) Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Braunschweig 2012.

Montenegro, H. (2013): Untersuchung des Wirkungszusammenhangs zwischen Abflussdynamik und Grundwasser. In: *BAWMitteilungen Nr. 97*, 2013, S. 135 – 148.

Schmid, R., Niesler, H. (2013): Durchführung und Aufbereitung von Naturmessungen im Bereich der Deichrückverlegung Lenzen. In: *BAWMitteilungen Nr. 97*, 2013, S. 99 – 108.

Schmidt, R. (2013): Die Deichrückverlegung Wustrow-Lenzen – Planung, Umsetzung und Wirkungen aus Sicht des Bauherrn. In: BAWMitteilungen Nr. 97, 2013, S. 37 – 48.

Untersuchung des Wirkungszusammenhangs zwischen Abflusssdynamik und Grundwasser

Investigation of the Causal Relationship between Discharge Dynamics and Groundwater

Dr.-Ing. Hector Montenegro, Bundesanstalt für Wasserbau

Flussauen werden im Uferbereich durch die Überflutungsdynamik und mitunter bis weit ins Hinterland durch die Grundwasserdynamik geprägt. Aus den für Flussauen typischen geringen Flurabständen, den vergleichsweise großen Grundwasserschwankungen sowie dem atypischen Bodenaufbau, bestehend aus einer gering durchlässigen Auelehmedecke auf gut durchlässigen Sedimenten, ergeben sich spezifische Anforderungen an die Grundwasserströmungsmodellierung. Für das Untersuchungsgebiet Lenzen wurde vor der Deichrückverlegung ein instationäres 2D-Grundwasserströmungsmodell aufgestellt und anhand von Grundwassermessungen kalibriert. Im Nachlauf hierzu wurden mit diesem Modell Prognosen über die Auswirkungen der Deichrückverlegung auf die Grundwasserdynamik berechnet. Die im Jahr 2009 erfolgte Deichrückverlegung eröffnet nun die Möglichkeit, den komplexen Wirkungszusammenhang zwischen Oberflächengewässer und Grundwasser im Naturmaßstab zu beobachten und somit die derzeit verwendeten Modellansätze kritisch zu überprüfen. Zur Quantifizierung der Potenzialgradienten zwischen ober- und unterirdischem Wasserkörper vor, während und nach einer Einströmung, wurden Oberflächenwassermessstellen zusätzlich zu den vorhandenen Grundwassermessstellen eingerichtet. Diese erlauben eine räumlich und zeitlich gut aufgelöste Erfassung der oberirdischen Wasserstände. Auf Grundlage der gemessenen ober- und unterirdischen Wasserstände sowie der Modellrechnungen soll der Zusammenhang zwischen Einströmungsbedingungen und Austauschdynamik im Naturmaßstab analysiert werden.

The riparian zones of river floodplains are influenced both by inundation dynamics and groundwater dynamics, the impact of the latter sometimes extending far into the hinterland. River floodplains are usually char-

acterized by a low depth to groundwater, relatively high groundwater fluctuations and a typical soil structure consisting of a layer of alluvial loam of low hydraulic conductivity on high-conductive sediments. Consequently, there are specific requirements for groundwater flow modeling in such hydrogeological settings. Prior to the dike relocation, a two-dimensional groundwater flow model was set up for the investigation area of Lenzen and calibrated by groundwater observations. Following this, the model was used to predict the impact of the dike opening on groundwater dynamics. The dike relocation which was implemented in 2009 allows now to observe the complex exchange patterns between surface water and groundwater at a relevant scale and thus critically assess the model approaches currently used. To quantify the hydraulic potential gradients between surface water and groundwater before, during and after the inundation, surface water stage measuring stations were installed in addition to the existing groundwater measuring stations. They enable the recording of surface water levels with a good spatial and temporal resolution. Based on the surface-sub-surface water level measurements as well as on model calculations, the causal correlation between the inflow conditions and the water exchange dynamics is to be analyzed at the relevant scale.

1 Einleitung *Introduction*

Flussauen stellen die Schnittstelle zwischen dem aquatisch geprägten Lebensraum eines Fließgewässers und dessen Einzugsgebiet dar. Diese artenreichen Lebensräume weisen eine große Strukturvielfalt auf und sind geprägt durch die Überflutungsdynamik im Uferbereich und durch die Grundwasserdynamik im Hinterland. In

diesen Ökosystemen spielt die hydraulische Verbindung zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser eine zentrale Rolle. Änderungen der Abflussverhältnisse oder des hydraulischen Anschlusses in der Gewässer- sohle wirken sich unmittelbar auf die Grundwasserdynamik und letztlich auf den Wasserhaushalt der Aue aus. Durch Unterhaltungs- bzw. Ausbaumaßnahmen an Bundeswasserstraßen können sowohl die Abflussdynamik als auch die Beschaffenheit der Flusssohle (z.B. durch veränderte Sedimentation/Erosion) beeinflusst werden, was sich auf den hydraulischen Anschluss zwischen Fluss und Grundwasser auswirken kann. Die Belastbarkeit von Prognosen zur ökologischen Entwicklung infolge Änderungen der Abflussverhältnisse und/oder der Sohlenstruktur hängt von der Güte der Abbildung der ober- und unterirdischen Strömungsprozesse ab. Hierbei ist der hydraulische Austausch zwischen den Wasserkörpern für die Prognose der Grundwasserdynamik in Auen von großer Bedeutung.

2 Voruntersuchungen im Deichrückverlegungsgebiet

Preliminary studies in the dike relocation area

Eine Bewertung des baulichen Zustands des Deiches im Bereich Lenzen (El-km 476,5 bis 483,7) wies auf erhebliche Sanierungsmaßnahmen hin. Die Option einer neuen Deichtrassierung eröffnete die Möglichkeit, die Engstelle am „Bösen Ort“ zu entschärfen, wo die Elbe nahezu im rechten Winkel von nordwestlicher in südwestliche Richtung abknickt. Dieser Deichabschnitt wurde bei Hochwasser durch die nahezu frontale Anströmung erheblich belastet. Aus ökologischer Sicht zeichnet sich die Elbaue im Bereich Lenzen durch eine vergleichsweise große Naturnähe aus. Wie fast überall sind die Bereiche, in denen freie Überschwemmungen wirken können, durch Eindeichungen stark eingeschränkt und Auwälder fehlen fast vollständig. Aus naturfachlicher Sicht boten oben erwähnte Planungen zur Deichsanierung Möglichkeiten zur Auwaldrenaturierung durch eine Wiederanbindung der Aue an die Flussdynamik im Naturpark „Brandenburgische Elbtalaue“ (siehe Beitrag von Damm in diesem Heft).

Im Rahmen des BMBF-Verbundprojekts „Elbeökologie“ (FKZ 0339571) wurden im Jahr 1998, lange bevor konkrete Aussicht auf die Realisierung dieser Maßnahmen

bestand, wissenschaftliche Einrichtungen der Disziplinen Bodenkunde, Botanik, Forstwissenschaft, Landwirtschaft u. a. beauftragt, den bestehenden Zustand zu erfassen und Projektionen zu den Auswirkungen nach der Deichrückverlegung zu erarbeiten. Der Autor dieses Beitrags war seinerzeit für das Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU Darmstadt tätig und verantwortlich für die Untersuchung der Auswirkungen der geplanten Deichrückverlegung auf die Grundwasserhältnisse der Aue und des neuen Hinterlands (Montenegro et al., 1999 und 2000).

3 Grundwasserhydraulische Aspekte in Flussauen

Geohydraulic aspects in river floodplains

Im Untersuchungsgebiet liegen für ein Flussauensystem in Mitteleuropa charakteristische hydrogeologische Gegebenheiten vor. So besteht ein ausgeprägter hydraulischer Kontakt zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser über gut durchlässige Sande und Kies-sande an der Flusssohle. Unter natürlichen Verhältnissen fließen der Aue laterale Randzuflüsse zu und geben so die generelle Fließrichtung vom Einzugsgebiet zum Fluss vor (Aue als Grundwasserentlastungsgebiet). Als Folge kulturtechnischer Maßnahmen weisen eingedeichte Flussauen eine andere Charakteristik auf. Durch ein Grabensystem, Wehre sowie ein Schöpfwerk können der Wasserstand und die Wasserführung im Deichhinterland so gesteuert werden, dass der eingedeichte Bereich über das Grabensystem bei geringen Fluss- und Grundwasserständen bewässert und bei hohen Fluss- und Grundwasserständen entwässert werden kann.

Typisch für Flussauen ist weiterhin die Auelehmdecke (dunkelbraun in Bild 1 und 2), die auf der gut durchlässigen Talfüllung (hellbraun in Bild 1 und 2) aufliegt. Die Schichtung aus gering durchlässigem Auelehm über gut durchlässigen Sanden kann zu gespannten Grundwasserbereichen führen. Im Verlauf eines Hochwasserereignisses bietet der Deich Schutz vor einströmendem Flusswasser. Aufgrund der hydraulischen Anbindung zum Grundwasser steigen jedoch die Grundwasserstände mit dem Flusswasserstand stark an. Erreicht die Grundwasserdruckfläche die Geländeoberkante kommt es zum Wasseraustritt und es können sich in

Mulden und Senken temporäre Flachgewässer bilden. Bei Fehlen einer Deckschicht erfolgt der Wasseraustritt „brodelnd“ bzw. „qualmend“, was eine Folge von rückschreitender Erosion aufgrund hoher hydraulischer Gradienten ist. An welchen Stellen das Grundwasser die Bodenoberfläche als „Qualmwasser“ durchdringt, hängt vom lokalen hydraulischen Gradienten, aber auch von dem Vorhandensein und der Beschaffenheit von Störungen und Fehlstellen in der Deckschicht ab.

Die Grundwasserstandsänderungen infolge Flusswasserstandsschwankungen gehen vom Flussufer aus. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit dieser Grundwasserstandsänderungen sowie deren Reichweite ins Deichbinnenland hängen vom Füllungsgrad des Grundwasserleiters ab. Unter gespannten Verhältnissen ist der Porenraum des gut durchlässigen Grundwasserleiters vollständig mit Wasser gefüllt und Wasserstandsänderungen pflanzen sich sehr schnell in das Gebiet fort. Unter ungespannten Verhältnissen machen sich Flusswasserstandsänderungen aufgrund des Speichervermögens des zunächst nicht wassergefüllten Porenraums oberhalb des Grundwasserspiegels nur gedämpft und zeitlich verzögert im Hinterland bemerkbar (siehe Bild 1).

Nach der Wiederherstellung der hydraulischen Anbindung zwischen Fluss und Aue durch Deichschlitze und

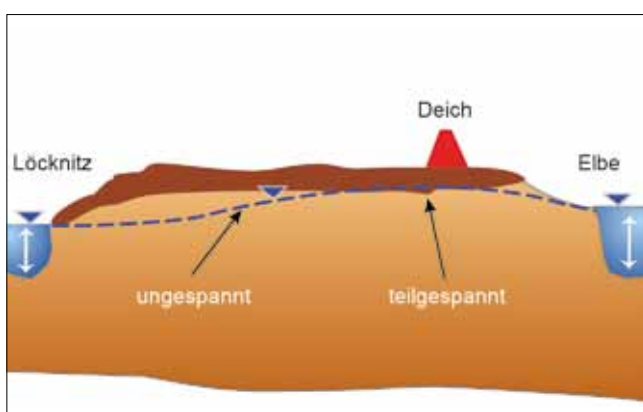


Bild 1: Schematischer Schnitt durch das Deichrückverlegungsgebiet im Bereich Lenzen vor der Deichrückverlegung. Je nach Flusswasserständen ergeben sich gespannte oder ungespannte Grundwasserverhältnisse.

Figure 1: Diagrammatic section showing the dike relocation area near Lenzen before the relocation. Depending on the water levels in the river, the groundwater is confined or unconfined.

Flutrinnen stellen sich komplexere Grundwasserströmungsverhältnisse ein, wie in einem Schnitt quer durch die Flussaue in Bild 2 skizzenhaft dargestellt. Bei auflaufendem Hochwasser, noch bevor eine Einströmung erfolgt, kann das ebenfalls ansteigende Grundwasser in die neu geschaffenen Flutrinnen exfiltrieren. Die Ausbreitung von Wasserstandsänderungen erfährt im Vergleich zum Zustand ohne Flutrinnen eine Dämpfung. Ab bestimmten Abflüssen findet eine Einströmung zu den Flutrinnen über die Deichschlitze statt, was die hydraulischen Potenziale im Bereich der Flutrinnen umkehrt. Es kommt nun zu einer Infiltration an der Flutrinnensohle und letztlich zu einer lokalen Erhöhung der Grundwasserpotenziale, was sich auch auf die Grundwasserzuströmung über das Flussufer auswirken kann. Diese Infiltration kann lange andauern, da nach dem Ablauf der Hochwasserwelle nicht sämtliches Wasser im Flutmuldensystem oberflächlich in die Elbe abfließen kann.

4 Charakterisierung der Grundwasserdynamik

Characterizing groundwater dynamics

Auenökosysteme werden in der Nähe zum Gewässer vom Überflutungsregime geprägt. Die Flusswasserstandsschwankungen können sich über das Grund-

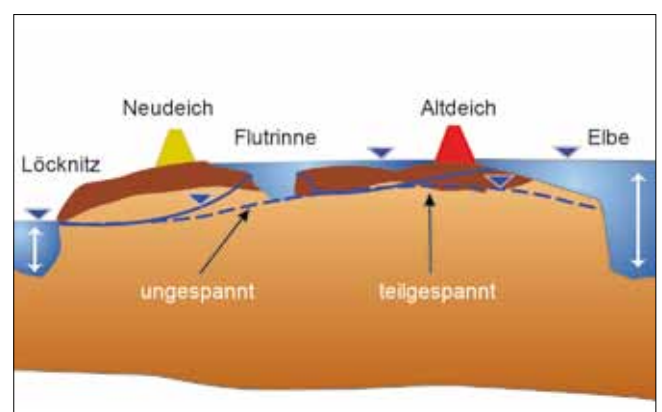


Bild 2: Schematischer Schnitt durch das Deichrückverlegungsgebiet bei Überflutung des neuen Vorlandes. Grundwasseroberfläche vor (gestrichelt) und nach (durchgezogen) Einströmung. Die hydraulischen Anschlüsse über das Flussufer sowie über die Flutrinnen erzeugen komplexe Grundwasserströmungsverhältnisse.

Figure 2: Diagrammatic section showing the dike relocation area during flooding of the new floodplain. Groundwater surface before (dashed line) and after (solid line) water inflow. The hydraulic connections via the river bank and the flood chutes create complex groundwater flow patterns.

wasser mitunter bis weit ins Hinterland ausbreiten. Die Auswirkungen auf den Naturhaushalt sind vielfältig. In den grundwassergeprägten Bereichen induzieren Grundwasserstandsänderungen einen periodischen Wechsel zwischen oxischen und anoxischen Bodenbedingungen, was die Löslichkeit vieler bodenbürtiger (Nähr-)Stoffe beeinflusst. Die Phasen mit anoxischen Bedingungen (hohe Grundwasserstände) können für bestimmte Pflanzen ein erhebliches Stresspotenzial darstellen. Stresspotenzial kann sich auch in Niedrigwasserperioden einstellen, die häufig in Verbindung mit geringen Niederschlagsmengen auftreten. Gerade in Auenökosystemen mit dem geschichteten Bodenaufbau kann die Dauer und Intensität des hydraulischen Anschlusses der lehmig-sandigen Oberböden an das Grundwasser von großer Relevanz für den Bodenwasserhaushalt sein. Die Auelehmschicht ist aufgrund ihrer Porengrößenverteilung in der Lage, länger Wasser für die Vegetation zur Verfügung zu halten bzw. kapillar nachzuliefern. Reißt bei niedrigen Grundwasserständen der hydraulische Anschluss für längere Zeit ab, so kann unter Umständen nicht hinreichend Grundwasser für die Evapotranspiration nachgeliefert werden und die Saugspannungen können in den Bereich des permanenten Welkepunkts gelangen. Ökosystemare Fragestellungen im grundwasserbeeinflussten Bereich erfordern daher Prognosen des zeitlichen Verlaufs der den Wasserhaushalt beeinflussenden Grundwasserstände. Um die Grundwasserdynamik zu charakterisieren sind Kenngrößen erforderlich, wie Extremgrundwasserstände, die Dauer bestimmter Grundwasserstände, deren Wiederkehrhäufigkeiten, Schwankungsbreiten usw.

4.1 Grundwassermodellierung im Kontext ökosystemarer Fragestellungen

Groundwater modeling in the context of ecosystem issues

Im Gegensatz HN-Berechnungen sind Grundwasserströmungsmodelle aufgrund der einfacheren Strömungsprozesse, die sie abbilden, deutlich effizienter und es ist grundsätzlich möglich, die Grundwasserdynamik über lange Zeiträume hinweg zu berechnen. Montenegro et al. (1999) unternahm den Versuch, aus Langzeitsimulationen der Grundwasserströmung für spezifische vegetationskundliche Fragestellungen die Grundwasserdynamik charakterisierenden Parameter

zu definieren und diese in ihrer räumlichen Verteilung darzustellen. Ausgehend von einem kalibrierten Grundwassermodell (Zustand vor der Deichrückverlegung) wurde die Grundwasserdynamik im Untersuchungsgebiet für einen Zeitraum von 35 Jahren, für den Wasserstandsdaten der Modellränder an Elbe und Löcknitz vorlagen, berechnet. Konzeptionell handelte es sich hier nicht um eine (in die Zukunft gerichtete) „Prognose“, vielmehr um eine Langzeitbetrachtung auf Grundlage historischer Daten. In dieser hypothetischen Studie wurde der Grundwasserstand gesucht, der während der Vegetationszeit an drei Viertel des gesamten Berechnungszeitraumes (hier 35 Jahre) nicht überschritten wird. Im Nachlauf zur Langzeitsimulation wurde der zeitliche Verlauf der Grundwasserstände an jedem Modellknoten ausgewertet, um die interessierenden Kenngrößen zu bestimmen. Hierzu wurden für jedes Jahr die Grundwasserstände aus dem Zeitintervall der Vegetationszeit separiert und daraus die dritte Quartile (charakteristisch für die Überschreitung an drei Viertel des Betrachtungszeitraumes) berechnet. Je nach Entfernung von den Flussrändern (große Grundwasserstandsschwankungen) oder den Entwässerungsgräben (ausgeglichene Grundwasserdynamik) ergeben sich für jeden Modellknoten unterschiedliche Quartilwerte. Der Mittelwert für die hier ausgewählte Kenngröße lag bei ca. NN +15,4 m. Dieser Grundwasserstand wurde also im Mittel während der Vegetationszeit an drei Viertel des Betrachtungszeitraumes (hier 35 Jahre) nicht überschritten.

Durch Interpolation ließen sich die Knotenwerte dieser Kenngröße in ihrer räumlichen Verteilung darstellen. Die sichtbar gewordenen räumlichen Muster waren durchaus plausibel. So lagen die Quartilwerte im von der Elbe beeinflussten süd-östlichen Bereich ca. 1,5 m über mittlerem Niveau. Im nordwestlichen Unterwasserbereich des Löcknitz-Wehrs, wo die Flusswasserstände durch die Wehrsteuerung weitgehend geregelt werden, lagen die Quartilwerte ca. 1,5 m unter dem mittleren Niveau. Gut erkennbar war ferner die ausgleichende Wirkung des Grabensystems über den größten Teil des Modellgebiets. Durch Be- und Entwässerung im Grabensystem wird die Grundwasserdynamik in der Umgebung des Grabensystems deutlich gedämpft. Entsprechende Langzeitberechnungen wurden für ein Szenario nach der Deichrückverlegung durchgeführt. Aufgrund des vom Neudeich getrennten Grabensystems sowie der angelegten Flutrinnen ergaben sich deutlich ande-

re räumliche Verteilungen der hier ausgesuchten Kenngröße.

Die Beurteilung des Einsatzes von Grundwassermodellen im Kontext ökosystemarer Fragestellungen hängt von der für die jeweilige Fachdisziplin erforderliche Genauigkeit ab. Für vegetationskundliche Fragestellungen sind nicht die Grundwasserstände sondern eher die Flurabstände maßgebend, die aus einer Verschneidung der Grundwasserstände mit der Topografie gewonnen werden. Topografische Daten liegen in einer Auflösung von wenigen Metern vor, während die Grundwasserstände in einem Finite-Elemente-Netz mit einer Kantenlänge von 20 m bis 100 m berechnet werden. Im Grundwassermodell Lenzen konnten die Grundwasserbeobachtungen trotz unterschiedlicher hydrologischer Bedingungen infolge von Hoch- und Niedrigwasserperioden gut (aus geohydraulischer Sicht) abgebildet werden. „Gut“ bedeutet für den Berechnungszeitraum von zwei Jahren eine mittlere Abweichung zwischen Messung und Berechnung von ca. 1 dm bis 2 dm und an manchen Messstellen eine Über- oder Unterschätzung von Extremwasserständen von bis zu 0,5 m. Bedenkt man den oben skizzierten Einfluss der Grundwassernachlieferung vom hydraulischen Anschluss des Grundwassers an die Auelehmschicht, so könnte diese „Unschärfe“ für die Prognose der Entwicklung bestimmter Pflanzenarten jedoch zu groß sein.

4.2 Modellzuverlässigkeit

Model reliability

Untersuchungen über lange Zeiträume hinweg werfen Fragen nach der Belastbarkeit der Ergebnisse auf. Für Langzeitsimulationen muss man davon ausgehen, dass die Abweichungen zwischen Modell und Messung sich mit dem Berechnungszeitraum vergrößern, weil sich Modell- und Datenfehler addieren. Langzeitmodellierungen setzen genaue Prognosen der die Grundwasserdynamik antreibenden Randbedingungen voraus, wie z. B. die Abflussdynamik der Elbe, den Verlauf der kulturtechnischer Maßnahmen im Rückdeichungsgebiet (Löcknitzwasserstände zur Be- und Entwässerung) sowie die Niederschlagsverteilung (Bild 3). Belastbare Grundwasserberechnungen erfordern somit belastbare Prognosen der Abflussdynamik auf mindestens Tagesbasis. Darüber hinaus ist es wichtig, systematische Modellfehler im Grundwasserströmungsmodell

zu identifizieren. Der Austausch zwischen ober- und unterirdischen Wasserkörpern spielt bei der Grundwassermodellierung von Flusssystemen eine wesentliche Rolle. Diese Prozesse werden jedoch mit einem simplen Leakage-Ansatz abgebildet, der möglicherweise den Wirkungszusammenhang unter instationären Bedingungen nicht ausreichend beschreibt.

5 Grundwassermodellierung vor der Deichrückverlegung

Groundwater modeling prior to the dike relocation

Die ersten geohydraulischen Berechnungen wurden mit einem Finite-Elemente-Modell zur Berechnung der instationären Grundwasserströmung durchgeführt. Mit diesem wird für diskrete Netzknoten der zeitliche Verlauf des Grundwasserstandes im gesamten Untersuchungsgebiet berechnet, aus dem sich andere Größen (z. B. Flurabstände, hydraulische Gradienten, Fließgeschwindigkeiten) ableiten lassen. Im Bereich Lenzen bot es sich an, die Modellränder an den Ufern der Elbe und der Löcknitz zu setzen (siehe Bild 3). Da diese Gewässer mit dem Grundwasser hydraulisch verbunden sind, kann man sich die Randpotenziale aus den jeweiligen Flusswasserständen ableiten. Es waren lediglich im Westen und Osten Modellränder festzulegen, die in Ermangelung von Kenntnissen über etwaige Randzuflüsse als Randstromlinien angenommen wurden. Das Untersuchungsgebiet wurde durch ein örtlich verfeinertes FE-Dreiecksnetz mit Kantenlängen von etwa 20 m bis 100 m diskretisiert, was eine hinreichende Abbildung der Gebietsgeometrie und des Grabensystems erlaubt (siehe Bild 4).

5.1 Berücksichtigung der Übergänge zwischen gespanntem und ungespanntem Grundwasser

Accounting for transitions between confined and unconfined groundwater

Die oben dargestellten Aspekte des Übergangs von gespanntem zu ungespanntem Verhältnissen erfordern eigentlich eine räumliche Betrachtung der Strömungsprozesse. Der Einsatz eines 3D-Modells wurde aufgrund der beträchtlichen Anforderungen an die Rechenleistung bei den ersten Langzeitberechnungen verworfen.

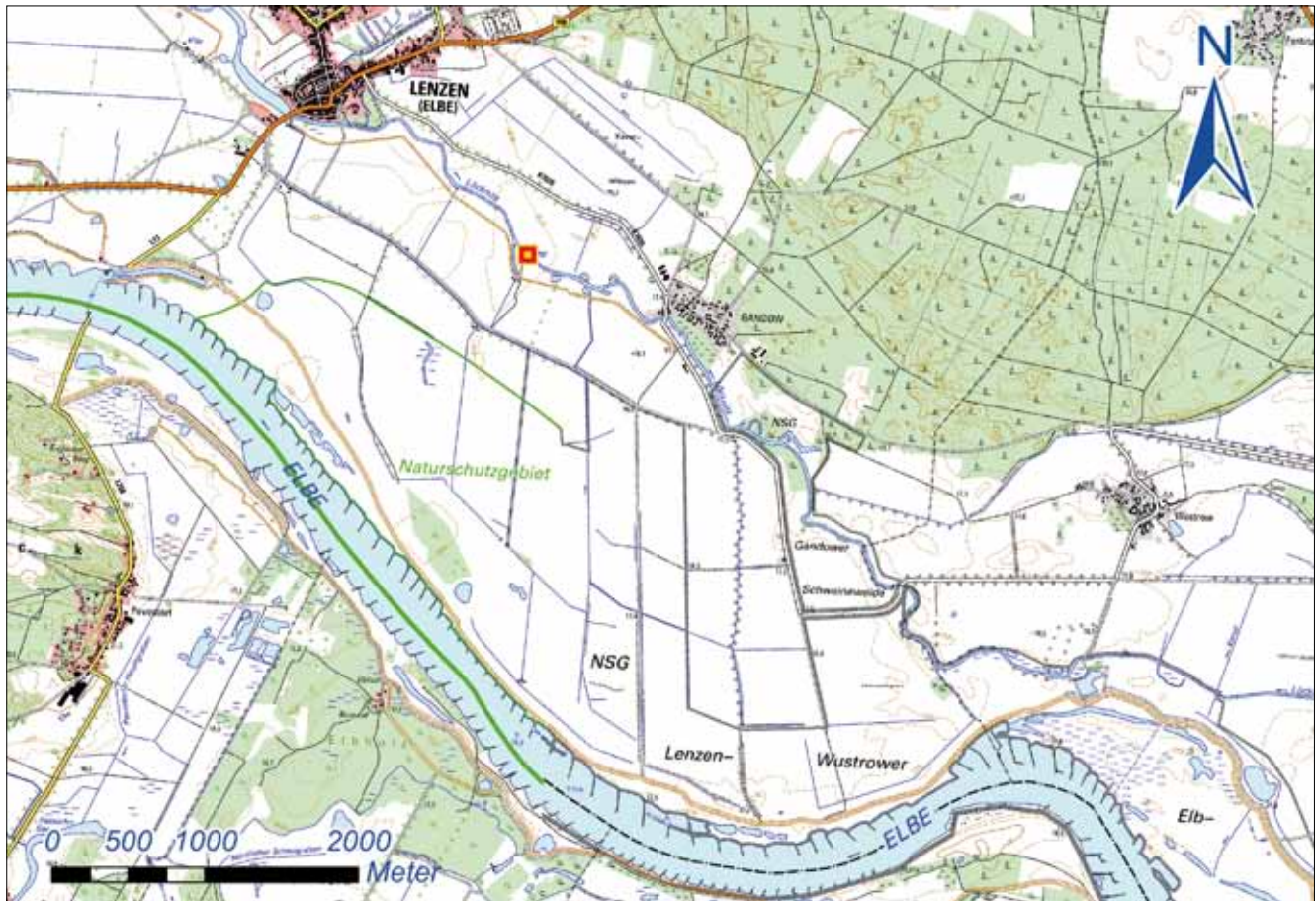


Bild 3: Lage des Untersuchungsgebiets mit Grabensystem (blau) (Symbol Löcknitzwehr)
 Figure 3: Location of the study area with ditch system (blue) (symbol Löcknitz weir)

Stattdessen wurde ein 2D horizontal-ebenes Modell eingesetzt, mit dem sich allerdings die Übergänge zwischen gespannten und ungespannten Grundwasserverhältnissen adäquat beschreiben lassen. Im gespannten Fall wird der Speicherterm lediglich durch die Kompressibilität von Wasser und Korngerüst bestimmt, während im ungespannten Fall die Speicherwirkung sich aus dem Porenraum oberhalb der freien Grundwasseroberfläche ergibt (siehe Bild 1 und 2). Der Speicherterm bei ungespannten Verhältnissen ist um Größenordnungen größer als bei gespannten Verhältnissen. Numerisch hat die Differenzialgleichung der Grundwasserströmung im Fall eines kleinen Speicherterms einen elliptischen und bei großem Speicherterm einen parabolischen Charakter, was beim Übergang von einem Zustand zum anderen Konvergenzprobleme mit sich bringt. Der in die Differenzialgleichung eingehende effektive Speicherkoeffizient setzt sich aus der Summe der Speicherterme unter und oberhalb des freien Grundwasserspiegels zusammen. Bei vollständig gesättigtem Grundwasserleiter wird dieser aus dem Produkt von Mächtigkeit und spezifischem Speicherterm bestimmt. Sinkt das Grundwasserpoten-

zial unterhalb der Deckschichtunterkante, steigt der Wert des effektiven Speicherkoeffizienten schlagartig auf den (um mehrere Zehnerpotenzen größeren) Betrag der strömungswirksamen Porosität. Odenwald (1994) formulierte den Übergang zwischen gespanntem und ungespanntem Aquiferzustand über die Beschreibung der gesättigten Aquifermächtigkeit in Abhängigkeit vom Abstand des Grundwasserspiegels zur gering durchlässigen Deckschicht. Durch die Vorgabe eines physikalisch fundierten funktionellen Verlaufs der Aquifermächtigkeit als Funktion des Abstandes zwischen Grundwasseroberfläche bzw. -druckfläche und Deckschichtunterkante war es möglich, numerisch stabile Berechnungen beim Übergang von gespannten zu ungespannten Verhältnissen zu erzielen (Odenwald, 1994). Dieser Ansatz ist inzwischen Stand der Technik und ist beispielsweise im weit verbreiteten Programmsystem zur Grundwasserströmungsberechnung FEFLOW implementiert.

Für den Bereich Lenzen lagen zahlreiche Daten mit Angaben zur Deckschichtmächtigkeit vor, die beim Anlegen des Grabensystems erhoben wurden

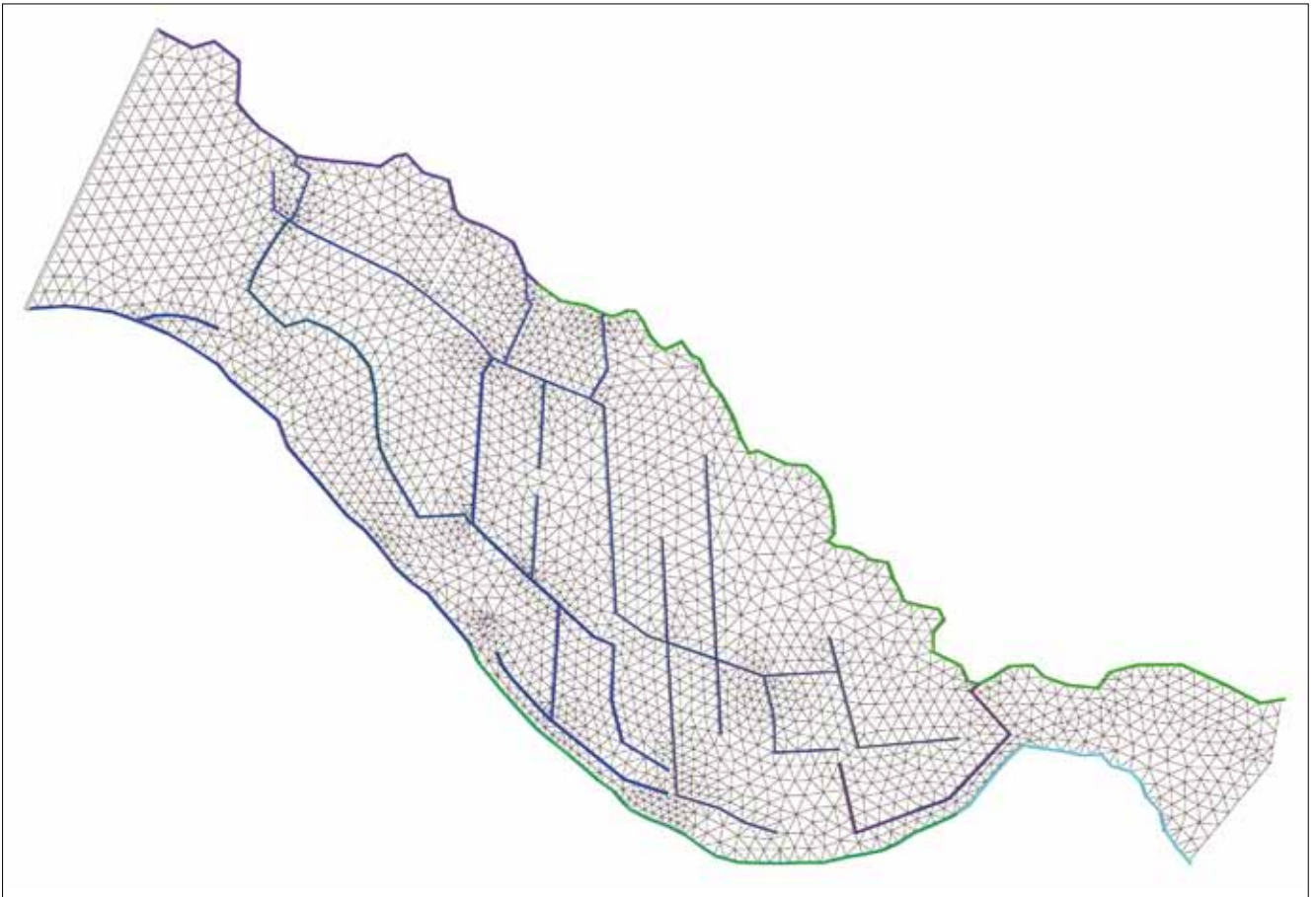


Bild 4: FE-Diskretisierung des Grundwasserströmungsmodells (Grabensystem: dunkelblaue Linien) für den Zustand vor der Rückdeichung (Montenegro et al., 1999)

Figure 4: FE discretization of the groundwater flow model (ditch system: dark blue line) for the situation before the dike relocation (Montenegro et al., 1999)

(Schwartz, 2001). Durch Interpolation dieser Punktwerte und Verschneidung mit einem Geländemodell konnte man die räumliche Verteilung der Deckschichtunterkante im Untersuchungsgebiet konstruieren. Die Datenlage bezüglich der Deckschichtmächtigkeit im Bereich Lenzen ist ungewöhnlich gut. Im Allgemeinen wird man dagegen die Lage der „mittleren“ Deckschichtunterkante aus einer in der Regel geringen Anzahl von Bohrungen abschätzen müssen.

5.2 Erfassung der Grundwasserstände

Recording groundwater levels

Bei einer ersten Ortsbegehung im Jahre 1998 wurde für das Untersuchungsgebiet ein Beobachtungsnetz bestehend aus 13 Grundwassermessstellen als ausreichend für eine flächenorientierte Erfassung der Grundwasserdynamik im Untersuchungsgebiet angesehen. Bei der Festlegung der Standorte für die Grundwas-

sermessstellen wurden Anforderungen anderer Forschungsgruppen (Bodenkunde, Botanik) nach Erfassung der Grundwasserverhältnisse in der Nähe der jeweiligen Untersuchungsstandorte berücksichtigt. Eine ortsansässige Bohrfirma wurde mit der Errichtung der Grundwasserbeobachtungsmessstellen beauftragt. Hierbei war die im Mittel ca. 5 m mächtige Deckschicht zu durchbohren. Der hydraulische Anschluss an die quartären Sande erfolgte über 1 m lange Kiesbelagfilter. Elf Messstellen konnten mit automatischen Datenloggern bestückt werden, was eine zeitlich hinreichend aufgelöste Erfassung (Messintervall acht Stunden) der Grundwasserstandsdynamik zuließ.

5.3 Grundwasserneubildung

Groundwater recharge

Die räumliche und zeitliche Verteilung der Grundwasserneubildung stellt grundsätzlich eine Eingangsgröße

für ein Grundwassermodell dar. In Flussauensystemen mit Auelehmschichten spielt diese Wasserhaushaltskomponente aufgrund der mächtigen aber gering durchlässigen Auelehmdeckschichten eine eher untergeordnete Rolle. Im Modell wurde eine jahreszeitlich verteilte Grundwasserneubildung (130 mm/a bis 200 mm/a) vorgegeben, die auch noch entsprechend der Deckschichtmächtigkeit räumlich verteilt wurde (Montenegro et al., 1999).

5.4 Hydraulische Interaktion Oberflächengewässer – Grundwasser

Hydraulic interaction between surface water body and groundwater

Die hydraulische Interaktion der Oberflächengewässer (Flüsse, Grabensystem, Flutmulden) mit dem Grundwasser sowie der Wasseraustritt an der Geländeoberfläche (in Zeiträumen mit arthesisch gespannten Verhältnissen) wurden mit einem Leakageansatz abgebildet, bei dem der Wasseraustausch zwischen Oberflächen- und Grundwasser durch die Wasserstandsdifferenz und einen Leakagefaktor als hydraulischen Widerstandsbeiwert beschrieben wird.

5.5 Geohydraulische Eigenschaften

Geohydraulic properties

Beim Einsatz eines instationären Grundwassermodells sind die Durchlässigkeits- sowie die Speichereigenschaften vorzugeben. Erstere konnten aus älteren Pumpversuchen zu einer mittleren Durchlässigkeit von ca. $3 - 5 \cdot 10^{-4}$ m/s abgeschätzt werden. Die Speicherparameter und Leakagekoeffizienten (Austausch Fluss – Grundwasser) sind direkt kaum bestimmbar. Sie wurden im Rahmen einer manuellen Modellkalibrierung invers bestimmt.

5.6 Kalibrierung und Validierung des Modells

Calibration and validation of the model

Im Rahmen einer Modellkalibrierung für einen Zeitraum mit einem markanten Hochwasserereignis (1. Mai bis 31. Oktober 1998) wurden die Modellparameter (Transmissivitäten, durchflusswirksame Porositäten und Leakagefaktoren) bestimmt. Die mittlere Abweichung zwischen

den mit dem Grundwassermodell berechneten und den an den Messstellen gemessenen Grundwasserständen betrug ca. 0,1 m, was im Verhältnis zu den teilweise sehr großen Grundwasserstandsänderungen im Kalibrierungszeitraum von über 2 m ein gutes Modellergebnis darstellt. Zur Überprüfung der Zuverlässigkeit des Modells wurde anschließend eine Simulationsrechnung für einen weiteren Zeitraum (22. Juli 1997 bis 1. Mai 1998), der andere hydraulische Randbedingungen aufwies, durchgeführt. Ohne Modifizierung der invers bestimmten Aquiferparameter konnten die Grundwassermessungen trotz unterschiedlicher hydrologischer Bedingungen infolge von Hoch- und Niedrigwasserperioden nicht so gut wie im Kalibrierungsfall, aber dennoch sehr plausibel abgebildet werden. Eine ausführliche Darstellung der Parameterbestimmung und der Modellvalidierung wird in Montenegro et. al. (1999) wiedergegeben.

6 Grundwassermodellierung nach der Deichrückverlegung

Groundwater modeling after the dike opening

Für den Zustand vor der Deichrückverlegung konnte mit dem Grundwassermodell eine gute Beschreibung der Grundwasserdynamik im Untersuchungsgebiet Lenzen erzielt werden. Offensichtlich gelang es, mit den vereinfachten Modellannahmen eines horizontal-ebenen Modells sowie mit dem Leakageansatz die Auswirkungen der Flusswasserstandsänderungen auf das Grundwasser in dem eingedeichten Bereich gut abzubilden.

Auf Grundlage des Modells wurden im Jahr 1999 weitere Grundwasserberechnungen bei Überflutung des Vorlands nach Öffnung des Altdeichs durchgeführt. Hierzu wurden die geplanten Flutrinnen in das Modell implementiert, denen man eine vergleichsweise gute hydraulische Anbindung (hohe Leakagewerte) an oberirdische Wasserkörper zuwies. Für die Flutrinnen wurden Speicheransätze in Form von Volumen-Wasserstandsbeziehungen entwickelt, mit denen das Auffüllen infolge Grundwasserexfiltration sowie das Entleeren der aufgefüllten Flutmulden infolge Versickerung abgebildet werden kann. Die hydraulischen Randbedingungen während der Ein- und Ausströmung wurden aus den instationären HN-Berechnungen der BAW abgeleitet (Faulhaber, 1997, Bleyel, 2001). Hier-

bei wurden aus HN-Berechnungen der BAW Wasserstandsganglinien während der Flutung an drei Stellen im Vordeichsland (in etwa senkrecht zu El-km: 477,6; 481,1; 482,9) herausgesucht und für jeden Zeitpunkt der Flutung die Wasserstände dieser Referenzganglinien im gesamten neuen Überflutungsbereich linear interpoliert. Nach Unterbrechung des hydraulischen Anschlusses zwischen Fluss und Vorland konnte das Wasser in den überfluteten Flächen nur durch Infiltration (abzüglich einer Evapotranspirationsrate) in das Grundwasser abströmen.

Erwartungsgemäß zeigten diese Berechnungen eine deutlich veränderte Grundwasserströmungscharakteristik infolge der nunmehr möglichen Einströmung durch Deichschlitze und Flutmulden. Die Flutrinnen hatten hierbei einen markanten Effekt, sowohl vor dem Auflaufen als auch nach Ablauf des Hochwassers aufgrund ihrer Fähigkeit, Wasser zu speichern und verzögert abzugeben. Obwohl diese Modellergebnisse durchaus plausibel erschienen, müssen sie als hypothetisch bewertet werden, denn eine Überprüfung dieser Ergebnisse und letztlich der im Modell verwendeten Ansätze

anhand von Feldbeobachtungen konnte bislang nicht erbracht werden.

7 Umsetzung der Deichrückverlegung

Implementation of the dike relocation and opening

Im Jahr 2009 erfolgte die Ausdeichung eines mehr als 420 ha umfassenden Ausschnitts der Elbaue bei Lenzen. Für die Disziplinen Wasserbau und Wasserwirtschaft eröffnet die Deichrückverlegung in Lenzen, die in dieser Größenordnung im nationalen und europäischen Maßstab zu den größten Vorhaben dieser Art zählt (siehe Bild 5), eine einzigartige Möglichkeit, die komplexen ober- und unterirdischen Strömungsprozesse im Naturmaßstab zu beobachten und somit das bestehende Modellinstrumentarium für HN- und GW-Berechnungen zu überprüfen. Aus geohydraulischer Sicht liegt der Fokus in der Untersuchung des Wirkungszusammenhangs zwischen Abflusssdynamik im Oberflächengewässer und Grundwasserdynamik.



Bild 5: Flutung des neuen Deichvorlands (Luftbild K. Nabel, 2012)

Figure 5: Flooding of the new floodplain (aerial photograph by K. Nabel, 2012)

7.1 Erfassung der Überflutungsdynamik nach Deichöffnung

Recording inundation dynamics after dike opening

Im März 2010 erfolgte die erste Einströmung nach der baulichen Umsetzung der Deichrückverlegung. Um die komplexen Strömungsvorgänge zu erfassen, ist eine räumlich und zeitlich hinreichend aufgelöste Messung der hydraulischen Potenziale im ober- und unterirdischen Wasserkörper notwendig. Zur Erfassung der Grundwasserverhältnisse wurden die im Jahr 1998 erstellten Grundwassermessstellen mit Druckaufnehmern und Datenloggern instrumentiert. Um die Einströmung in das neue Deichvorland zeitlich und räumlich besser zu erfassen, wurden mit Unterstützung der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) Oberflächenwassermessstellen eingerichtet. Die Anordnung

der Grundwasser- und Oberflächenwassermessstellen sowie das Relief im Untersuchungsgebiet sind in Bild 6 dargestellt.

7.2 Anforderungen an die Datenerfassung

Requirements for data collection

Die Messdatenerfassung in einem Naturschutzgebiet geht, zumindest phasenweise, mit nicht zu unterschätzenden Restriktionen einher. Beispielsweise wurde dort eine Vielzahl geschützte Vogelarten erfasst, deren Hauptbrutzeiten Einschränkungen hinsichtlich der Zugänglichkeit des Gebietes erfordern. Diese Zugangsbeschränkungen begrenzen die mögliche Aufenthaltszeit von Personen im Schutzgebiet auf max. eine Stunde während sensibler Zeiten, was wiederum eine weitgehende Abstimmung mit anderen Projektbeteiligten er-

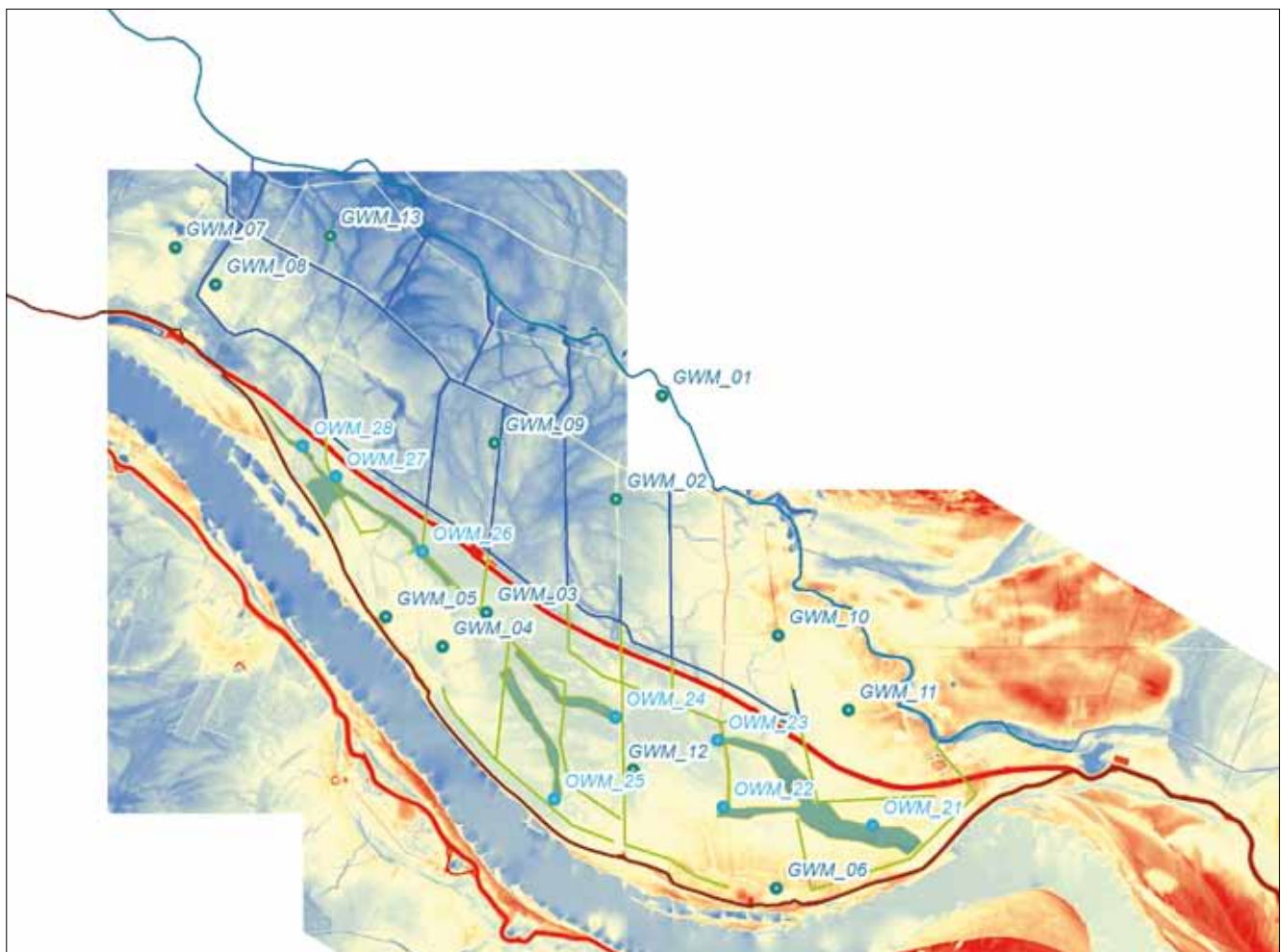


Bild 6: Relief (rot: hoch, blau: tief), Flutmulden und Lage der Grundwassermessstellen (GWM) und der Oberflächenwassermessstellen (OWM) im Untersuchungsgebiet

Figure 6: Surface relief (red: high, blue: low), flood chutes and location of the groundwater measuring stations (GWM) and the surface water measuring stations (OWM) in the study area

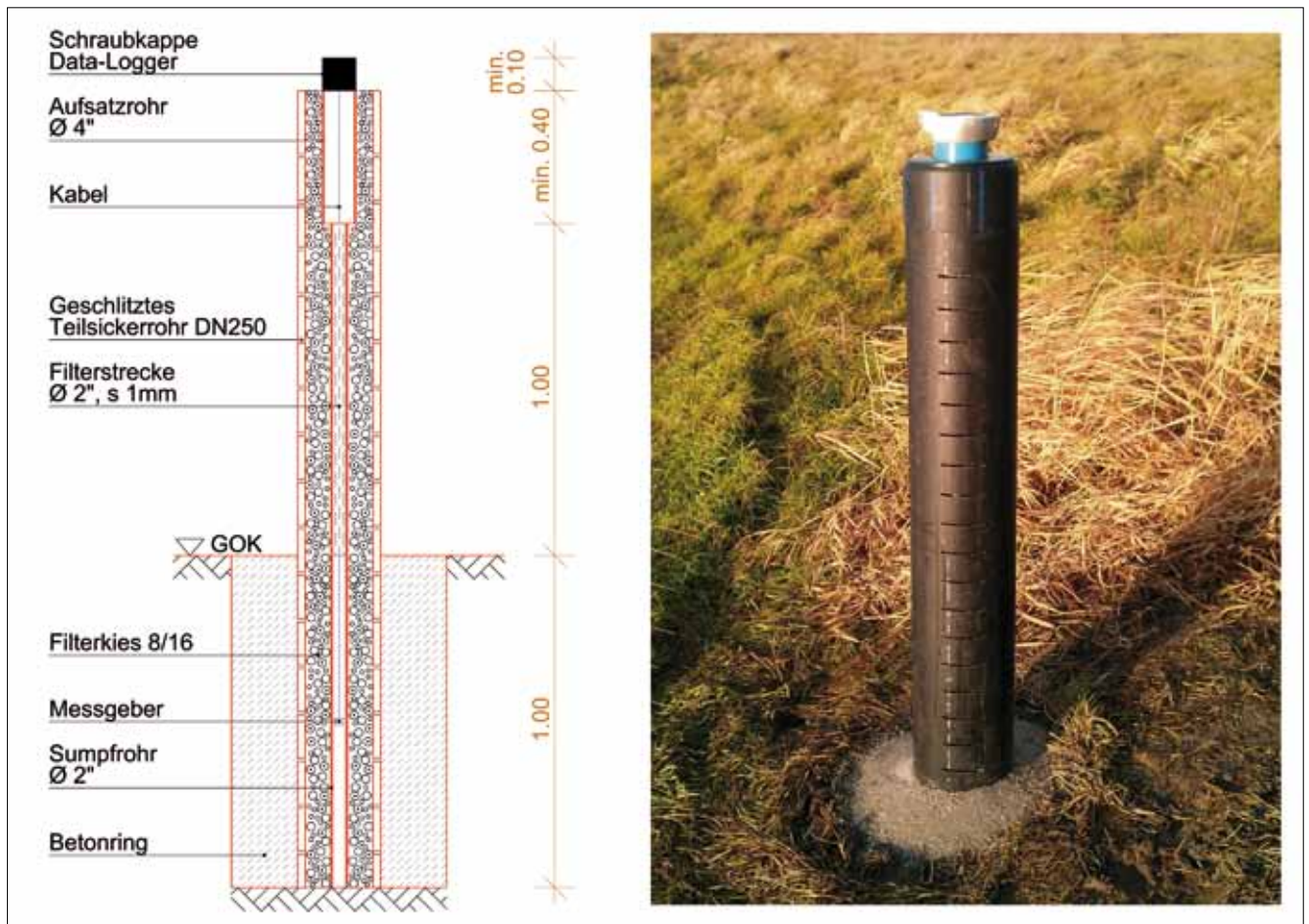


Bild 7: Systemskizze einer Messstelle zur Erfassung der Wasserstände bei Überflutungsereignissen
 Figure 7: Sketch of a measuring station system used for recording surface water levels during floods

fordert. Um diese Restriktionen einzuhalten, wurde ein Datenerfassungssystem mit Datenfernübertragung eingesetzt. Der Batteriestand des Messsystems lässt sich per Fernabfrage ermitteln, was eine vorausschauende Planung der Wartungsarbeiten ermöglicht. Um Energie einzusparen, ist es ferner möglich, den Messtakt an die tatsächlichen Strömungsereignisse per Fernübertragung anzupassen. So reichen bei mittlerem Abfluss Tagesmittelwerte vollkommen aus. Ein Einströmungsereignis erfordert hingegen eine deutlich höhere zeitliche Auflösung.

Da die Oberflächenwassermessstellen möglichst lange den Wasserstand aufzeichnen und übertragen sollen, sind die Fernübertragungsmodule möglichst hoch über Gelände anzubringen. Auf der anderen Seite sind bei Einströmungsereignissen erhebliche Strömungskräfte zu erwarten. Hieraus ergaben sich besondere Anforderungen an die Robustheit der Oberflächenwassermessstellen (siehe Konstruktionszeichnung links in Bild 7). Die Oberflächenwassermessstelle besteht aus

einem dickwandigen perforierten Rohr, das in einem 1 m tiefen Betonfundament fixiert ist. Innerhalb des äußeren Rohres befindet sich ein weiteres Filterrohr, in das der Druckaufnehmer eingehängt wird. Zur Erhöhung der Gesamtstabilität ist der Zwischenraum mit an die Filterschlitzweite beider Rohre angepasstem Filterkies verfüllt, der zudem den übermäßigen Eintrag von Schwebstoffen verhindert. Die Druckgeber müssen unter Geländeoberkante eingehängt werden, um ständig unter Wasser zu stehen und bei Frost nicht beschädigt zu werden.

Die Wasserstandsganglinien der Oberflächenwassermessstellen (OWM) im ersten Halbjahr 2012 sind in Bild 8 dargestellt. Dieser Zeitraum war geprägt von drei zeitlich kurz aufeinander auflaufenden Hochwasserereignissen, die zu einer Durchströmung des neu eröffneten Vorlandes führten. Die Messungen geben nun Aufschluss über die Wasserstände im Verlauf der Ein- und Durchströmung und des sich verändernden Fließgefälles. Diese Feldbeobachtungen sind wertvoll

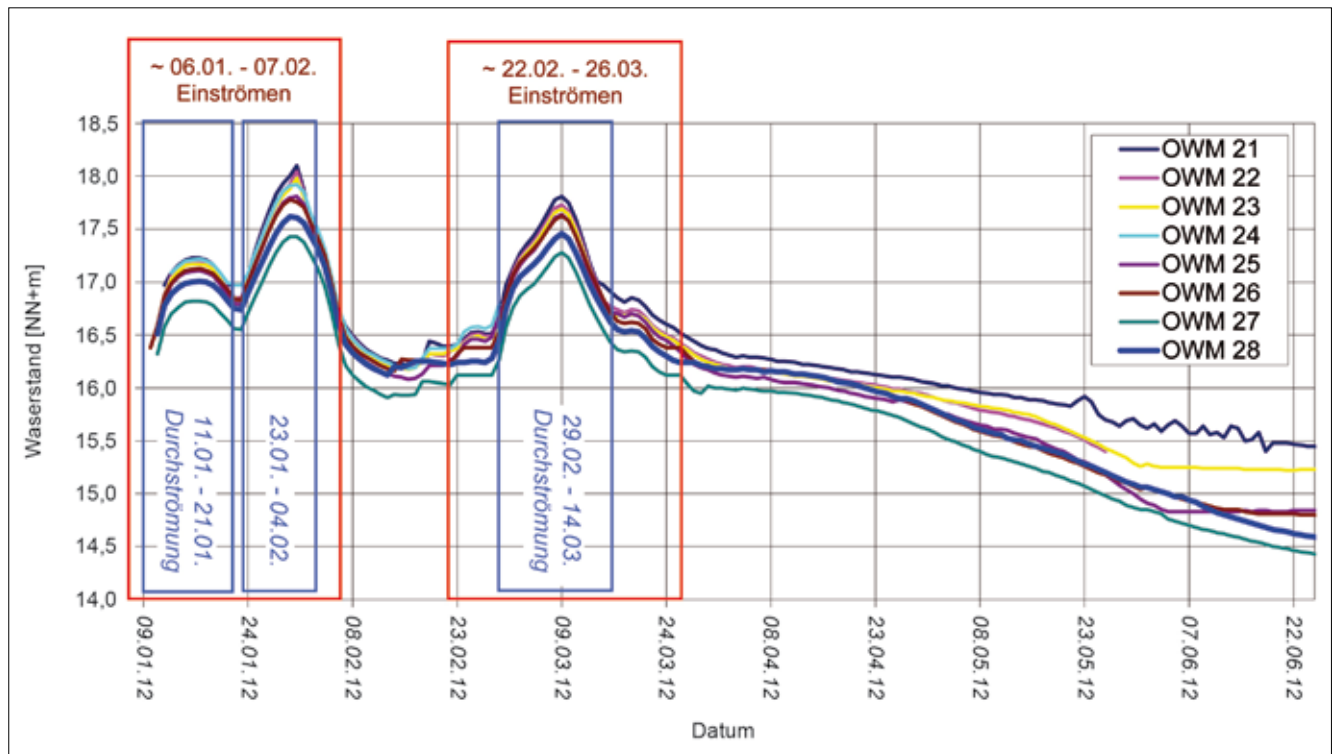


Bild 8: Wasserstandsganglinien der OWM im ersten Halbjahr 2012

Figure 8 Flood hydrographs of the surface water measuring station OWM in the first half of 2012

im Kontext der Validierung der HN-Modellergebnisse. In Bezug auf eine Validierung der Grundwasserberechnungen sind insbesondere die Zeiträume bedeutsam, in denen keine hydraulische Anbindung zwischen den Flutmulden und der Elbe besteht. Wasserstandsänderungen in den Flutmulden in diesen Zeiträumen hängen nur noch mit Niederschlag, Evaporation sowie In- und Exfiltration zusammen.

8 Ausblick Outlook

Die Deichrückverlegung in Lenzen eröffnet die Möglichkeit, die komplexen ober- und unterirdischen Strömungsvorgänge im Feldmaßstab zu untersuchen. Die umfangreichen Voruntersuchungen und die relativ klar definierten Brandungen für die Oberflächenwasserströmung (Deichschlitze und Neudeich) sowie für die Grundwasserströmung (Löcknitz und Elbe) machen dieses Untersuchungsgebiet besonders attraktiv, um bestehende Modelle zu validieren. Das eingerichtete Messsystem für ober- und unterirdische Wasserstände stellt eine gute Voraussetzung hierfür dar. Für eine verlässliche Identifikation der maßgebenden Wirkungszusammenhänge sind weitergehende Messprogramme

erforderlich, wie beispielsweise Feldmessungen von Fließgeschwindigkeit und Durchfluss in ausgewählten Profilen. Sehr wichtig erscheint die Erfassung des Verlandungs- und Erosionsverhaltens. Diese Messungen würden erlauben, Stofftransportansätze gängiger hydronumerischer Verfahren zu überprüfen und gleichzeitig helfen, den Wirkungszusammenhang von Erosion – Sedimentation und hydraulischer Anbindung zwischen Oberflächen- und Grundwasser besser zu verstehen.

9 Literatur References

- Bleyel, B. (2001): Zweidimensionales hydraulisch-numerisches Modell „Lenzen“. In Wasserwirtschaft Wassertechnik Nr. 8, 2001, S. 24 – 28.
- Faulhaber, P. (1997): Hydraulisch-morphologische Untersuchung von Rückdeichungen bei Lenzen (Elbe) (Auszug) in Auenreport - Beiträge aus dem Naturpark „Brandenburgische Elbtalau“ 3/1997, Landesanstalt für Großschutzgebiete, Rühstädt, S. 66 – 81.
- Montenegro, H., Holfelder, T., Wawra, B. (1999): Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Oberflächege-

wässer und Grundwasser in Flussauen. In: Auenreport – Beiträge aus dem Biosphärenreservat Flusslandschaft Elbe – Brandenburg. Sonderband 1, S. 27 – 40.

Montenegro, H., Holfelder, T., Wawra, B. (2000): Modellierung der Austauschprozesse zwischen Oberflächenwasser- und Grundwasser in Flußauen. In: Friese, K., Wlitter, B., Miehl, G., Rode, M. (Hrsg.): Stoffhaushalt von Auenökosystemen. Böden und Hydrologie, Schadstoffe, Bewertungen. S. 89 – 98. Springer Verlag, Berlin.

Odenwald, B. (1994): Parameteridentifizierung bei numerischen Grundwasserströmungsmodellen. Dissertation. Institut für Hydromechanik der Universität Karlsruhe (TH). Fortschritt-Berichte VDI Reihe 15, Nr. 125. VDI-Verlag Düsseldorf.

Schwartz, R. (2001): Die Böden der Elbaue bei Lenzen und ihre möglichen Veränderungen nach Rückdeichung. Hamburger Bodenkundliche Arbeiten, 48, Dissertation, 391 S.

Anthropogen beeinflusste Ufer- und Vorlandentwicklung an der Unteren Mittelelbe

Anthropogenically Induced Changes in the Riparian Zones and Floodplains of the Lower Middle Elbe

Dipl.-Geol. Jochen Rommel, Geowissenschaftliches Büro, Eschach

Entlang der Unteren Mittelelbe, zu der die Deichrückverlegungsstrecke bei Lenzen zählt, fixierte und verengte der Verkehrswasserbau im 19./20. Jahrhundert den Flusslauf vorwiegend durch Bühnenbauwerke. Dies ging in den letzten 150 Jahren mit Sohlenerosion, der Verlandung von Bühnenfeldern und der Bildung erhöhter Uferreehen einher. Dazu werden für Untersuchungsstandorte im räumlichen Umfeld der Deichrückverlegung Sedimentationswerte anhand von Altvermessungen und Geländebestimmungen vorgelegt. Für die mit Bezug zum Wasserspiegel höherliegenden Sedimentationsbereiche lässt sich eine Abhängigkeit der Verlandung von der Geländehöhe feststellen. Sie hat zu einer Höhenangleichung im Längs- und Querschnitt des Hochwasserbettes geführt. In der Folge des mehrstufigen Uferausbaus kam es zu morphologischen Anpassungsreaktionen mit wesentlichen Veränderungen in den ersten 20 bis 40 Jahren ab der jeweiligen Änderung. Durch Verfüllungen und Baggerungen beziehungsweise Bodenentnahmen ist auch die weitere Entwicklung in teils verdeckter Weise anthropogen beeinflusst. Erosion und Sedimentation weisen hohe Schwankungsbreiten auf. Eine stark vereinfachende Gegenüberstellung der Abflusswirksamkeit von Sohlenerosion und Auenauflandung ergab für eine 20 km lange Flussstrecke in den letzten 100 Jahren keine Verschlechterung der Kapazität zur Hochwasserabfuhr.

In the 19th and 20th centuries, waterways engineering measures implemented on the Lower Middle Elbe (including the reach in the Lenzen dike relocation area) mainly consisted of groyne structures. These aligned and narrowed the course of the river. As a result, the past 150 years witnessed river bed erosion, the buildup of sediments in groyne fields and the formation of natural levees. This development is illustrated by sedimen-

tation data obtained from former measurements and terrain evaluations at study sites in the dike relocation area. In the zones of sediment buildup which are elevated with reference to the water level, the sedimentation process is dependent on ground elevation. Sediment buildup has evened out the difference between elevations in the longitudinal and cross sections of the flood bed. In the 20 to 40 years following each stage of river bank development significant changes caused by morphological adaptation occurred. Anthropogenic activities such as excavations and backfilling and/or extractions of soil had also a – partly invisible - impact on the further development of the area. Erosion and sedimentation rates are characterized by high fluctuations. A simplified comparison of the influence of bed erosion and the influence of floodplain deposition on discharge capacity, carried out for a 20 km reach, showed no decrease in flood discharge capacity for the past 100 years.

1 Einführung *Introduction*

An der Mittelelbe (Elbe-km 96 bis 586) überfluten die Hochwasser (HW) derzeit maximal 24% der Fläche des natürlichen Überschwemmungsgebietes (IKSE, 2005). Zwischen den Deichen beziehungsweise den natürlichen Hochufern der Unteren Mittelelbe hat sich das Gelände durch Hochflutabsatz über einen Zeitraum von bis zu 900 Jahren seit der Eindeichung allmählich erhöht. Vor den Baumaßnahmen der Deichrückverlegung Lenzen lag beispielsweise das rechtselfische Überschwemmungsgebiet von Elbe-km 472 bis 485 zwischen der alten und zurückverlegten neuen Deichlinie um durchschnittlich 0,75 m tiefer als vor der alten ufernahen Deichlinie (Schwartz et al., 2003).

Auch nach den Eindeichungen hat der Fluss über Seitenschurf seinen Lauf im verbliebenen Entwicklungskorridor deutlich verändert (Rommel, 2000), dabei eigene Ablagerungen wieder erodiert und somit der Auenauflandung entgegengewirkt (rechts in Bild 1). Seit der verkehrswasserbaulichen Fixierung des Elblaufs im 19. Jahrhundert sind diese Uferabbrüche räumlich eng begrenzt und es erhöhen sich Sedimentrücken entlang der Ufer (Rehnen oder Uferwälle, siehe Bereiche über

MW + 2 m in Bild 1 links), die kleiner auch an unverbauten Fließgewässern auftreten. Zusätzlich wurden mit dem an der Unteren Mittelelbe meist durch Buhnen realisierten Uferverbau strömungsberuhigte Bereiche geschaffen, die seitdem als Buhnenfelder verlanden bzw. verfüllt wurden, wodurch ein kompaktes Mittelwasser (MW) – Bett entstand. Die dortige Morphologie ist unter anderem Gegenstand der Beiträge von Faulhaber in diesem Heft.

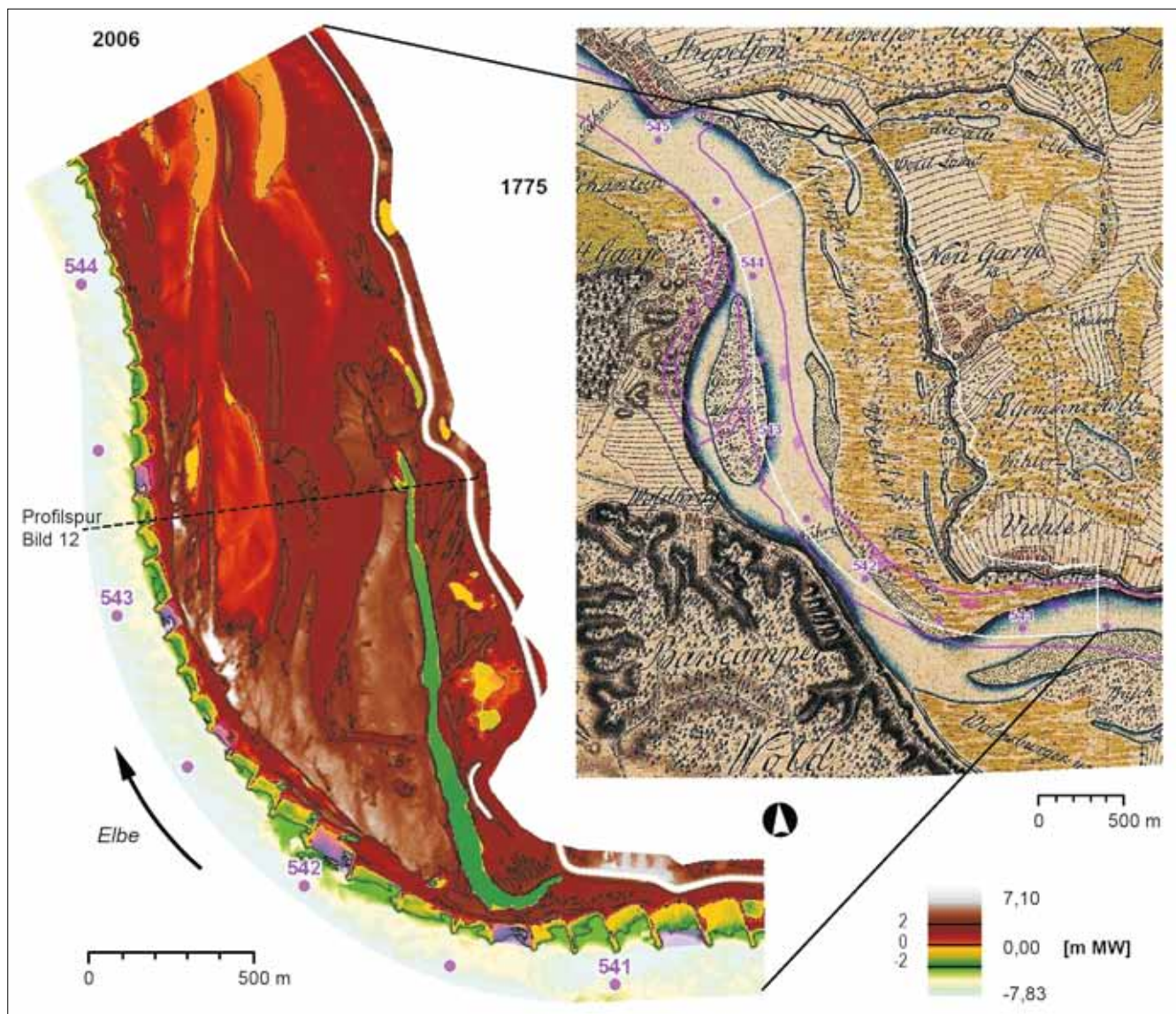


Bild 1: Vorlandhöhenstruktur 2006 und Elbe im Jahr 1775 mit Ufer 2000 bei Elbe-km 541 bis 545 (Musterstrecke 6 in Bild 2). Lage Auswahlbuhnenfelder (violette Flächen: Peilung 1935); siehe auch Bilder 4 bis 7 und Bild 10. Daten links: Geländehöhenmodell von 2006, bezogen auf Mittelwasserstand (MW 1966 bis 1988) mit Höhenlinienauswahl. Daten rechts: Kurhannoversche Karte, Blatt 69 von 1775 (Ausschnitt). Violett: MW-Ufer im Jahr 2000 zeigt Uferverschiebungen. Weiß umrandet: Bereich Geländehöhenmodell.

Figure 1: Height map of the floodplain in 2006 and River Elbe in 1775 with river bank 2000 at Elbe kilometers 541 to 545 (test reach 6 in Figure 2). Location of selected groyne fields (purple areas: sounding conducted in 1935); see also Figures 4 to 7 and Figure 10. Data on the left-hand side: digital elevation model of 2006, referenced to the mean water level (MW 1966 to 1988) with selected height contour lines. Data on the right-hand side: Map of the Electorate of Brunswick and Lunenburg (Kurhannoversche Karte), Sheet 69, 1775 (section). Purple: mean water level river bank in the year 2000 shows bank shifting. Circled in white: digital elevation model area.

Der Ausbau der Elbeufer erfolgte schwerpunktmäßig in der zweiten Hälfte des 19. und gegen Mitte des 20. Jahrhunderts (Bild 3). Bereits um 1900 erkannte man Nachteile einer durch Uferreihen und Schardeiche beschränkten Ausuferung ins Hochwasserbett und legte ein ehrgeiziges Programm zur Hochwasserregulierung der Elbe auf (Preußische Elbstrombauverwaltung, 1902), das vor allem uferparallele Bodenabträge und Altwasserverfüllungen an den Deichen, aber auch Deichverlegungen, vorsah und im Zeitraum bis 1940 teilweise realisiert wurde (Bild 13). Zur Planung dieser Maßnahmen wurden im Abstand von ca. 450 m Querprofile des Hochwasserbettes vermessen, die für die gesamte Untere Mittel-elbe überliefert sind (Datengrundlage 1902 in Bild 12 und 13 von Kapitel 5).

In den letzten Jahrzehnten stehen bezüglich der Morphodynamik die Betrachtungen zur Sohlenerosion der Elbe (Faulhaber, 1998; Projektgruppe Erosionsstrecke Elbe, 2009) und die Schadstoffbelastung ihrer Sedimente (Heise, 2007) im Vordergrund. Das überwiegend sandige Geschiebe der Unteren Mittel-elbe führt zu einer hohen Mobilisierbarkeit der Feststoffe (BfG, 2004), wodurch trotz eines geringen mittleren Talbodengefälles von $\leq 0,1\text{‰}$ (Koenzen, 2005) auch bei Niedrigwasserabfluss umfangreicher Geschiebetransport stattfindet (BfG, 2004), sich Großtransportkörper im Bereich der Niedrigwassersohle ausbilden und Sandablagerungen am Ufer begünstigt werden. Im uferfernen Vorland und auf Altwassersohlen sedimentieren stattdessen vorwiegend Anteile der quantitativ bedeutenderen Schwebstofffracht des Flusses. Geringe Sedimentationsraten auf den Vorländern und zeitlich wechselnde Ein- und Austräge am Flussufer lassen Entwicklungstrends erst bei ausreichend langen Auswertungszeiträumen erkennen. Für die hier vorgestellten Ergebnisse betragen sie maximal 150 Jahre (Bild 3).

Im Anschluss an die Vorstellung von Anlass, Themen und Gebieten der diesem Aufsatz zugrunde liegenden Untersuchungen (Rommel, 2005; Rommel, 2010) in Kapitel 2 enthalten die Kapitel 3 bis 5 eine Ergebnis-Auswahl nach den morphologischen Haupträumen der Ufer- und Vorlandsedimentation. Aufgeführt werden sie von der Wasser- zur Landseite (Bühnenfelder, Uferreihen, uferfernes Vorland (mit Altgewässern)). Das Kapitel 6 gilt der Höhenänderung im gesamten Hochwasserabflussbett unter dem Gesichtspunkt der Abflusswirksamkeit. Zusammenfassende Schlussfolgerungen stehen in Kapitel 7.

2 Themen und Gebiete *Areas and topics*

Nach dem extremen Elbehochwasser 2002 wurden im Auftrag der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) im Anschluss an eine Machbarkeitsstudie (Rommel, 2003) Größenordnungen durchschnittlicher Auenauflandung ermittelt, wobei zwei der Musterstrecken Nr. 1 bis 5 (Rommel, 2005) die Untere Mittel-elbe betrafen (Bild 2). Es ergab sich, dass die Geländeerhöhung durch Vorlandsedimentation der letzten 100 Jahre großräumig betrachtet nur wenig zur Erhöhung von Hochwasserständen beitragen kann: Es gingen rund 3% bis 14% der Abflussquerschnittsfläche verloren, die ein fünfjähriges Hochwasserereignis beansprucht. Bei für den Hochwasserschutz kritischen über 20-jährlichen Abflussereignissen verringert sich der Verlandungsanteil entsprechend, dem außerdem die Sohlenerosion

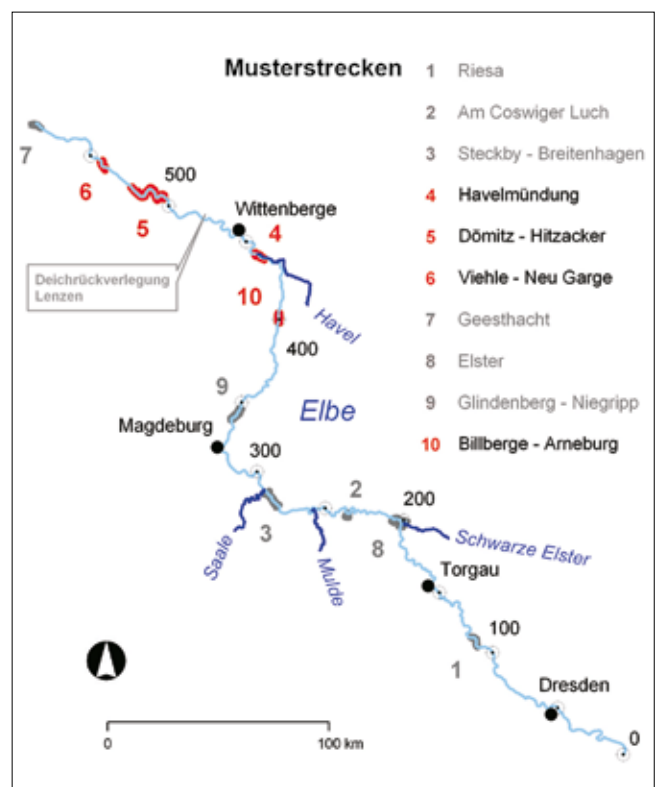


Bild 2: Lage der Untersuchungsgebiete an der Deutschen Binneneibe im Bereich Elbe-km 108 bis 586. Musterstrecken 1 bis 5 (Rommel, 2005), Musterstrecken 5 bis 10 (Rommel, 2010). Rot: im Aufsatz behandelte Gebiete im Umfeld der Deichrückverlegung Lenzen

Figure 2: Location of the study areas on the German Binneneibe at Elbe kilometers 108 to 586. Test reaches 1 to 5 (Rommel, 2005), test reaches 5 to 10 (Rommel, 2010). Red: areas in the surroundings of the relocated Lenzen dike which are discussed in this paper.

gegenübersteht (Kapitel 6). Die räumliche Konzentration von Feststoffablagerungen entlang der Ufer (Buhnenfeldverlandung, Bildung von Uferrehnen) ist jedoch problematisch aus ökologischer und morphologisch-wasserbaulicher Sicht, aufgrund der Folgewirkungen einer verzögerten Ausuferung in das Hochwasserbett.

Eine weiterführende Untersuchung fokussierte daher die Entwicklung der Uferbereiche der Elbe (Rommel, 2010). Die Festlegung der im Umfeld zur Deichrückverlegung Lenzen untersuchten Musterstrecken (Bild 2) orientierte sich an Interessensgebieten der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) (Strecke 5) bzw. der Elbeökologieforschung (Strecke 4) (Rommel, 2005) und der Verfügbarkeit von Altvermessungen (Strecken 6 und 10). Der vorliegenden Aufsatz behandelt Ergebnisse der Musterstrecken 5 bei Dömitz-Hitzacker und 6 bei Viehle-Neu Garge (nahe Neu Darchau). Zusätzlich genannt werden Einzelerkenntnisse der Musterstrecken 4 und 10.

Aufgrund eines heterogenen Altdatenfundus' konnte die Thematik an den Musterstrecken nicht einheitlich abgedeckt werden und die Untersuchungen beschrän-

ken sich in der Regel auf eine Ufer- bzw. Vorlandseite (Tabelle 1).

Das gesamte Hochwasserabflussprofil wurde nur in der Musterstrecke 5 untersucht. Betrachtet wurde auch der anthropogene Einfluss auf die morphologische Entwicklung durch Regelungsbauwerke, Bodenabträge und Verfüllungen. Methodisch sind Altvermessungen aus dem Zeitraum um 1820 bis 1975 mit aktuellen Karten und Höhen des Digitalen Geländemodells „Elbe-W“ von 2003 bis 2006 (BfG, 2008) verglichen worden. Diese Daten standen in der Studie von Rommel zur Untersuchung der Musterstrecke 4 (Havelmündung) (Rommel, 2005) noch nicht zur Verfügung, sodass auf terrestrisch vermessene Hochwasserbettprofile von 1993 zurückgegriffen werden musste.

Zusätzlich wurden punktuell Schichtstärken im Gelände ermittelt, um anhand einer zeitlich fixierbaren Schichtbasis Sedimentationsraten abzuleiten. Die hier vorgestellten Ergebnisse beziehen sich vorwiegend auf die Musterstrecken 5 und 6 der Untersuchung (Rommel, 2010) (Tabelle 1).

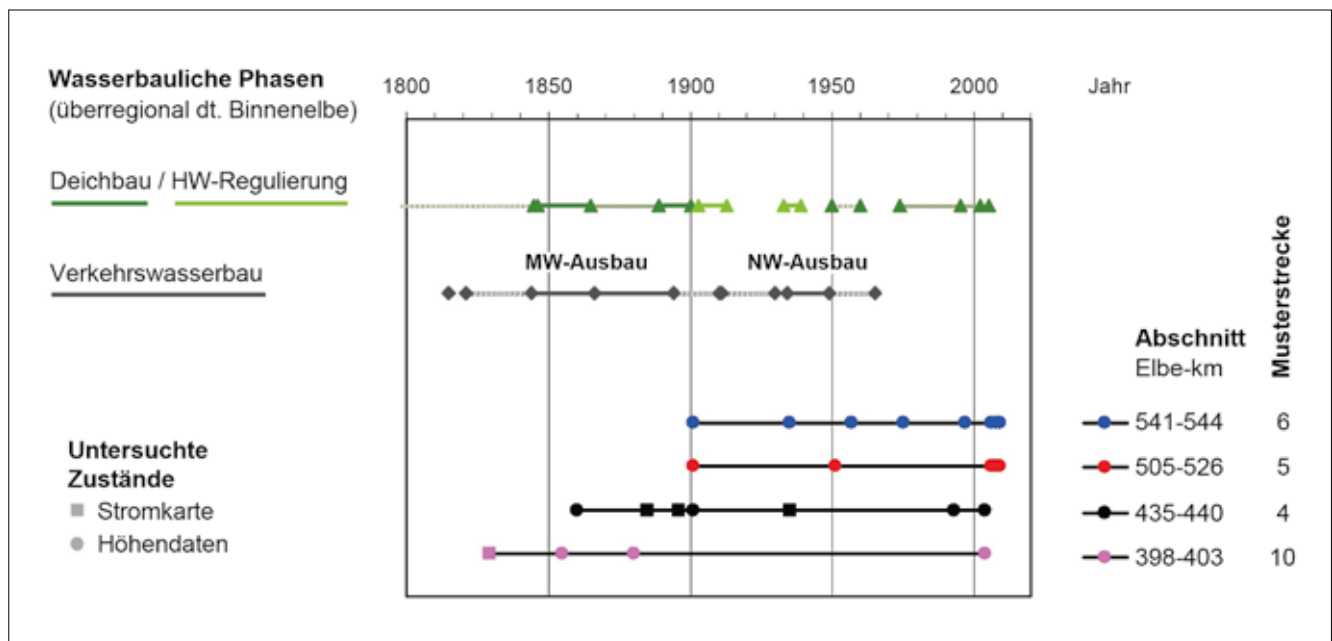


Bild 3: Einordnung der untersuchten Geländezustände im Umfeld der Unteren Mittel-elbe in überregionale wasserbauliche Phasen seit 1800 an der deutschen Binnenelbe. Hochwasser (HW-) Regulierung gemäß Preußische Elbstrombauverwaltung (1902). Gliederung Verkehrswasserbau in Mittelwasser (MW-) bzw. Niedrigwasser (NW-) Ausbau. Phasen nachrangiger Bautätigkeit punktiert.

Figure 3: Examined terrain conditions in the region of Lower Middle Elbe and their assignment to periods of waterways engineering measures regarding the German Binnenelbe implemented across the regions since 1800. Flood (HW) regulation according to Preußische Elbstrombauverwaltung (1902). Waterways engineering organized in two development phases: mean water level (MW-) and low water level (NW-). Construction phases of minor importance represented by dotted lines.

Musterstrecke Lage u. Ufer-seiten mit Quantifizierung	Betrachtete Zeitspanne	Hauptsächliche Untersuchungsthemen	Siehe Darstellung
4 – Havelmündung El-km 435 bis 440 – <i>v.a. links</i>	1902-1993 (bis 2004)	Mittlere Vorlandhöhenänderung; Methodik zur Bestimmung von Sedimentauflagen über anthropogenen Befestigungen	Bild 11
5 – Dömitz – Hitzacker El-km 505 bis 525,5 – <i>beidseitig</i>	1902-2008	Geländehöhenbilanz Gesamtquerschnitt; Vorlandmaßnahmen; Effekt später Buhnenbau (um 1960); aktuelle Morphodynamik (HW 2006)	Bild 8, Bild 13, Bild 15 Tab. 3 u. 5
6 – Viehle – Neu Garge El-km 541 bis 544 – <i>rechts</i>	(1775 bis) 1902-2009	Laufentwicklung; Buhnenfeldverlandung Zeitliche Entwicklung der Buhnenfelder; Buhnenfeldeingriffe; Uferrehnenbildung	alle übrigen Darstellungen
10 – Billberge – Arneburg El-km 398,5 bis 403 – <i>links</i>	(1830er bis) 1855-2004	Laufentwicklung; Uferrehnenerhöhung seit 1855; Vorlandabtrag 1937	Bild 9 Tab. 4

Tabelle 1: Die Musterstrecken im Umfeld der Unteren Mittel-elbe und ihre Untersuchungsthemen
 Table 1: Test reaches in the region of Lower Middle Elbe and related topics of investigation

3 Buhnenfeld-Sedimentation *Sediment buildup in groyne fields*

3.1 Einflussfaktoren und Prozess *Determining factors and process*

Bisher liegen nur zeitlich und räumlich begrenzte Einzeluntersuchungen zur Änderung der Topografie in Buhnenfeldern der Elbe vor. Die Buhnenfelder der Unteren Mittel-elbe weisen eine hohe Verfügbarkeit als Sedimentationsraum auf. In einer detaillierten Analyse von Buhnenfeldern zwischen Elbe-km 418 und 453 im Zeitraum 1998 bis 2002 kommt Wirtz (2004) zu dem Ergebnis, dass Sedimenteinträge überwiegend in Niedrigwasserzeiten erfolgen. Diese übertreffen die geringeren und nicht durchgängigen Sedimentausträge durchschnittlicher Winterhochwasser. Die an einzelnen Buhnenfeldern beim extremen Elbehochwasser 2002 ermittelten Sohlschubspannungen lassen zeitweilig im gesamten Buhnenfeld Erosion erwarten Wirtz (2004), wodurch auch feinkörnig-bindige Ablagerungen teilweise resuspendiert werden (Schwartz und Kozerski, 2004). Dahingegen zeigen aktuell fortgeführte Untersuchungen der BAW im Bereich Elbe-km 440 bis 443 für den Zeitraum 2001 bis 2005 (Henning und Hentschel, 2006), dass das Hochwasser 2002 insbesondere in flachen Bereichen der untersuchten Buhnenfelder die Sedimentation befördert hat. Da Einzelereignisse morphologische Änderungen maßgeblich prägen können, sind übliche Angaben zur Kennzeichnung der Veränderung

als mittlere Höhendifferenz/Zeitabschnitt [cm/Jahr] eine starke aber hilfreiche Vereinfachung.

Die Buhnenfeldtopographie passt sich mit Kolken und Sedimentrücken an das vorherrschende Strömungsmuster an (Sukhodolov et al., 2002), das unter anderem von der Laufkrümmung (Gleit- und Prallufer), der Geometrie der Buhnenfelder, ihrem Bewuchs und dem Verlauf der Durchflüsse abhängt. Dabei fördern im Verhältnis zu ihrer Länge engständige Buhnen die Verlandung, da die Hauptströmung bei unterdurchschnittlichen Abflüssen nicht auf die Ufer trifft (Przedwojski, 1995). Darüber hinaus beeinflusst die Breite des (Deich-)Vorlandes das Ausmaß der Buhnenfeldverlandung. Beispielsweise finden sich häufig gering verlandete Buhnenfelder an Schmalstellen des Hochwasserbettes (Schardeich), sofern die Deichlinie im unterstromigen Anschluss von der Uferlinie zurückspringt (Hentschel, 2011).

Viele Buhnenfelder der Unteren Mittel-elbe entstanden in einer mehrstufigen Baugeschichte, welche Buhnenverlängerungen, die Einschaltung von Zwischen- bzw. Hakenbuhnen und örtlich begrenzt den Ausbau zu Uferdeckwerken sowie Buhnenverkürzungen umfasst (Metschies, 1939). Derartige Baumaßnahmen greifen in die Buhnenfeldtopographie ein, wie anhand von Bild 6 im Abschnitt 3.3 erläutert wird. Darüber hinaus sind Buhnen zum Bauwerkserhalt im Mindestabstand von 20 bis 70 Jahren instand zu setzen, woraus weitere Beeinflussungen benachbarter Buhnenfeldbereiche resultieren.

3.2 Sedimentationsraten und Ausbau

Sedimentation rates and river development

Auf der linken Seite des geraden Elblaufs bei Hitzacker (Elbe-km 521,25 bis 522,0) ließ sich anhand von 250 Messpunkten in sechs Bühnenfeldern der Musterstrecke 5 aufzeigen, wie sich die Verlandung der letzten 50 Jahre im neugebauten Bühnenfeldbereich konzentriert. Zwischen den Anfang der 1960er Jahre vorgestreckten Bühnen beträgt die Sedimentationsrate 167 % der zeitgleichen Erhöhung im älteren, bereits seit 1884 existierenden Bereich auf der Landseite der Bühnenfelder. Zur hohen mittleren Sedimentationsrate von 1,7 cm/Jahr über beide Bereiche lässt sich anführen:

- Erstens wird aufgrund andauernder Fahrrinnenbaggerungen im oberstromigen unvollständig ausgebauten Flussabschnitt (der sogenannten „Reststrecke“) Feststoff mobilisiert und kann verstärkt in die Bühnenfelder ausgetragen werden oder Baggergut

wurde direkt in dafür geeigneten Bühnenfeldern verklappt (Hentschel, 2011).

- Zweitens handelt es sich um die zuletzt ausgebaute Flussstrecke der Unteren Mittel-elbe, wodurch der betrachtete Zeitraum 1954 bis 2004 die morphologische Reaktion auf den Ausbauschnitt voll erfasst.

Demgegenüber wurde im nahezu gleichen Bilanzzeitraum (1957 bis 2006) 20 km unterstrom an sechs Bühnenfeldern des rechten Neutral- und Gleitufers der Musterstrecke 6 eine Erhöhung von lediglich 0,63 cm/Jahr ermittelt (Näheres hierzu in den Abschnitten 3.4 und 3.5). Der Niedrigwasser-Ausbau erfolgte dort 1935, sodass die wesentliche morphologische Umformung (erster Zeitraum in Bild 7) bereits abgeklungen war und nicht in die letztgenannte Sedimentationsrate seit 1957 einging. Bild 6 zeigt links die auf Mittelwasser bezogenen Höhen eines dieser Bühnenfelder kurz nach den Baumaßnahmen – hier Verlängerung von Kurzbühnen aus dem Jahr 1876 um etwa 40 m (Metschies, 1939). Die buhnenparallelen Rinnen wurden wahrscheinlich

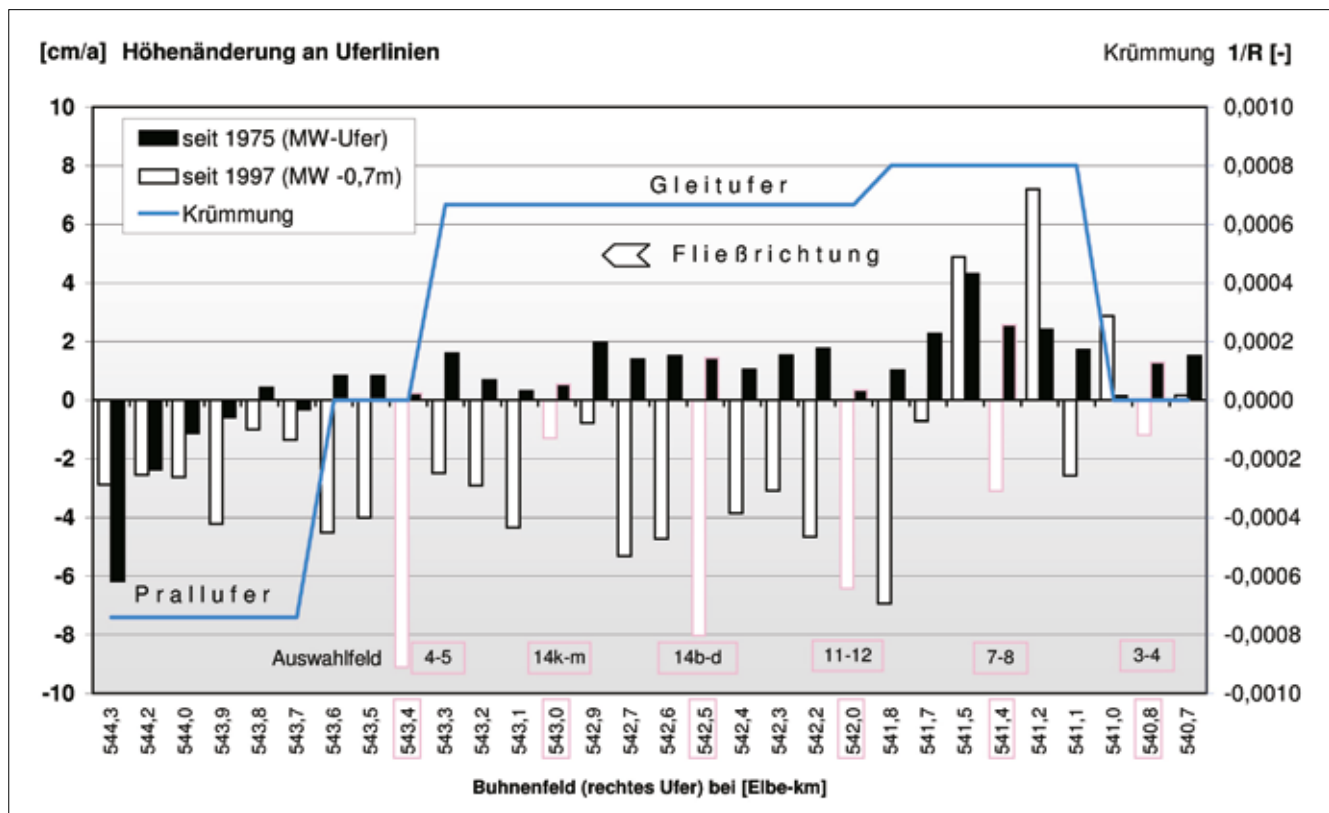


Bild 4: Längsschnitt der Höhenänderungsraten von 1975 bzw. 1997 bis 2003/06 in Mittelwasser (MW)-Höhe bzw. MW minus 0,7 m an Uferlinien der Musterstrecke 6. Mittelwerte für 30 Bühnenfelder Elbe-km 540,6 bis 544,3 – rechtes Ufer, mit Laufkrümmung (Kehrwert Krümmungsradius). Auswahlfelder hervorgehoben, Lage siehe Bild 1.

Figure 4: Longitudinal profile for elevation change rates in the period from 1975 and/or 1997 to 2003/06 at mean water level (MW) height and/or mean water level minus 0.7 m on the bank lines of test reach 6. Mean values for 30 groyne fields, Elbe kilometers 540.6 to 544.3 – right bank, with flow curvature (reciprocal value curvature radius). Selected groyne fields are highlighted; see Figure 1 for their location.

als Liegeplätze für Arbeitsschiffe gebaggert (Metschies, 1939) und fehlen im Zustand 2006. Diese Vertiefungen wirkten offenbar als Sedimentfallen.

3.3 Längsschnitte von Sedimentationsraten nach Geländehöheniveau

Longitudinal profiles for sedimentation rates according to terrain elevation

In der Musterstrecke 6 wurde ein rund 3 km langer rechtselbischer Uferabschnitt bezüglich der Sedimentation genauer untersucht. Es lagen Bühnenfeld-Beilungen von 1957 und in sechs Auswahlfeldern zusätzlich von 1935 vor (farbig markierte Vermessungsflächen in Bild 1; Kennzeichnungen Bild 4 und Bild 5). Außerdem konnten Uferlinien der Jahre 1975 bzw. 1997 herangezogen werden. Anhand der Wasserstände am Befliegungsdatum wurde ihnen ein Geländehöhenverlauf zugewiesen und dieser mit den Höhen des Geländehöhenmodells Elbe-W von 2003/06 verglichen (Bild 4). Dabei entsprach das 1975-

Ufer einer Mittelwasserhöhe, das 1997-Ufer einer Höhe zwischen Mittel- und Niedrigwasser (MW -0,7 m).

Am MW-Ufer ergab sich über 30 Jahre ab 1975 eine Höhenänderung, die der Laufkrümmung folgt (z. B. Erosion am Prallufer in Bild 4). Bei der im Gesamten negativen Höhenänderungsrate am MW-0,7 m-Ufer über sechs Jahre ab 1997 ist dies nicht der Fall: Hier fielen die stärksten Eintiefungen auf das Gleitufer; neutrale Ufer und die Mittelwerte zeigen stärkere Ausschläge. Als Erklärung hierfür bietet sich der fünffach kürzere und durch die extremen Hochwasser von 2002/2003 geprägte Bilanzzeitraum an, neben der zur Strömung exponierten Lage der Uferlinie.

Allerdings zeigt auch eine tiefer als MW-0,7 m in mittleren Bühnenfeldgeländehöhen ansetzende Höhen datenauswertung über 46 Jahre ab 1957 (Bild 5) einen teilweise gleichartigen Verlauf der Sedimentationsraten im Uferlängsschnitt wie die in Bild 4 weiß dargestellte kurzfristige Änderung seit 1997. Es wird daher ange-

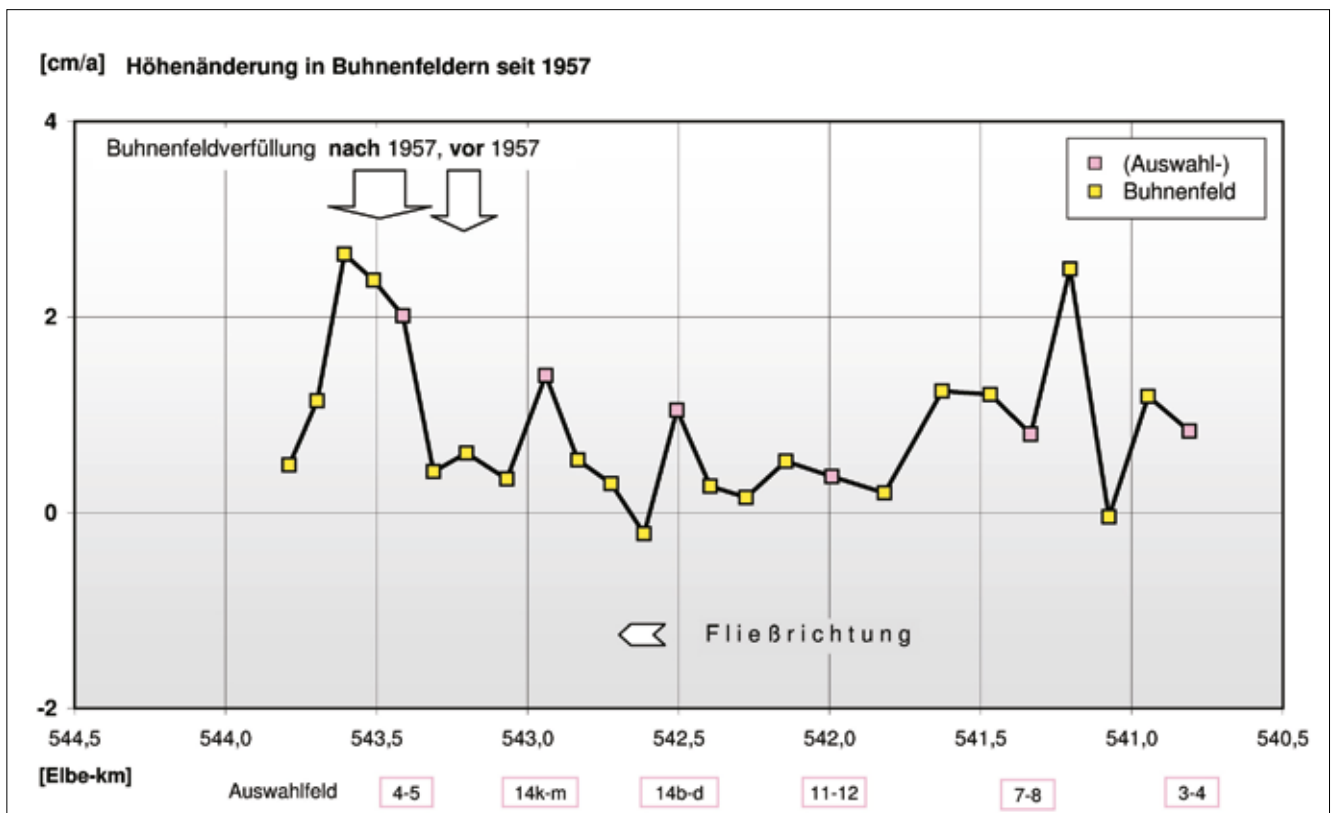


Bild 5: Höhenänderungsraten 1957 bis 2003 in Bühnenfeldern des rechten Ufers der Musterstrecke 6 (Durchschnitt für Höhenbereich 2,15 m bis 0,5 m unter MW), vergleiche Bild 4; Gesamtmitel: 0,89 cm/Jahr; Mittel hervorgehobene Auswahlfelder: 1,08 cm/Jahr

Figure 5: Elevation change rates 1957 to 2003 in groyne fields on the right bank of test reach 6 (mean value for elevation range of 2.15 m to 0.5 m below MW), see Figure 4 for comparison; overall mean: 0.89 cm/year; mean for highlighted selected groyne fields: 1.08 cm/year

nommen, dass sich hierin vom Auswertungszeitraum und Besonderheiten der Abflussganglinie abgehobene Randbedingungen äußern. Beispielsweise fallen geringe Sedimenteinträge bzw. Hochwassererosion am zentralen Gleitufer in der Mitte von Bild 4 und Bild 5 mit einer Mittelhochwasserenge ab Elbe-km 541,7 zusammen (sedimentationshemmende Strömungsbündelung zwischen hohen Uferrehnen). Sprünge der Sedimentationsraten im Längsschnitt auf der linken Seite der Darstellung in Bild 5 können stattdessen als Effekt von Bühnenfeldverfüllungen interpretiert werden.

Auffälligkeiten im Kartenvergleich und der Sedimentationsgeschichte im Zeitraum 1880 bis 1989 lassen darauf schließen, dass in 10 von 30 Bühnenfeldern Verfüllungen am rechten Ufer des Abschnittes Elbe-km 540,6 bis 544,3 stattfanden. Solche Auffüllungen mit Baggergut aus der Fahrrinnenunterhaltung bleiben insbesondere verborgen, falls sie nicht befestigt wurden und sich dadurch morphodynamisch weiterentwickeln konnten. Ein Beispiel dafür gibt Bild 12 bei der Querlage 200. Das Querprofil verläuft dort durch einen Bühnenfeldkolk, der bereits im schwarz dargestellten Zustand 1902 bestand. Der Kolk ist durch eine Sedimentrippe vom Niedrigwasserbett getrennt, die sich – wie es scheint – bis 2006 um gut 1 m erhöht hat. Tatsächlich war das Bühnenfeld jedoch vor dem Jahr 1957 auf 1 m unter MW verfüllt worden und der verfüllte Kolk hat sich seitdem erosiv in alter Lage wieder eingestellt. Dieses und benachbarte Bühnenfelder zwischen Elbe-km 543,0 und 543,5 zeigen in Bild 5 daher unterdurchschnittliche Sedimentationsraten.

3.4 Höhendifferenzierte Sedimentation

Occurrence of sedimentation at different elevations

Um die Herausbildung heutiger Bühnenfeldhöhen seit den letzten Ausbaumaßnahmen aufzuzeigen, wurde der Schnittbereich der Altvermessungen von 1935 und 1957 von sechs Auswahlbühnenfeldern bei Elbe-km 541 bis 543 (siehe Bild 1) übergreifend nach der Geländehöhenlage in Meter-Schichten ausgewertet. Es handelt sich um den zentralen Abschnitt der Felder (blauer Rahmen in Bild 6) mit $\leq 20\text{-}30$ m Abstand von den Bühnenachsen, der im Mittel 43 % der zwischen den Bühnenköpfen und -wurzeln aufgespannten Bühnenfeldfläche abdeckt. In Bild 7 sind die Sedimentationsraten der zwei

Teilzeiträume 1935 bis 1957 und 1957 bis 2006 in MW-bezogenen Höhenschichten dargestellt, wobei links die Höhenverteilung im Ausgangszustand 1935 und rechts im vorläufigen Endzustand 2006 zugrunde liegt. Eine systematische Verteilung der Sedimentationsraten in der Abfolge der Höhenschichten ergibt sich nur für die jeweils zeitlich angrenzenden Zeiträume:

- Ausgehend vom 1935er-Zustand (links in Bild 7) erhöhten sich die vorliegenden Bühnenfeldbereiche unter MW-3 m mit stark überdurchschnittlichen Sedimentationsraten (violette Balken), die zu höherem Gelände hin sukzessive abnehmen.
- Im aktuellen Zustand 2006 tiefliegende Bereiche wurden seit 1957 (orange Balken rechts in Bild 7) im Mittel eher von Erosion, hoch liegende Bereiche von durchschnittlicher Sedimentation geprägt.

Aus der Kombination beider Diagramme kann gefolgert werden, dass sich die morphologische Struktur der Bühnenfelder seit 1935 grundlegend verändert hat: Alte Hoch- und Tiefagen wurden überwiegend ausgeglichen. Die Anpassung der Höhenstruktur an die neuen Ausbauverhältnisse ist vor allem in den ersten 22 Jahren eingetreten (Mittlere Rate von 3,21 cm/Jahr).

In den folgenden 49 Jahren (Mittel 0,38 cm/Jahr) stand die Verteilung von Erosion/Sedimentation im Einklang mit der Höhenstruktur und die bestehenden Höhengegensätze im Bühnenfeld haben sich verstärkt.

3.5 Natürliche und anthropogen verstärkte Sedimenteinsparung

Natural sedimentation and anthropogenically increased sediment loads

Zur Ableitung der Sedimenteinsparung in Kubikmeter pro Jahr und Bühnenfeld wurden für die Werte der Tabelle 2 die Geländehöhen in fünf der sechs in Abschnitt 3.4 genannten Auswahlbühnenfelder über die gesamte jeweilige Altdatenabdeckung mit aktuellen Höhen verglichen (im Unterschied zur Auswertung der Schnittfläche beider Vermessungen im Vorkapitel und Bild 7). Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Peilungen 1935 bzw. 1957 unterschiedliche Bereiche und nicht die Gesamtfläche der Bühnenfelder abdecken. Die Auswertungszeiträume sind überlappend.

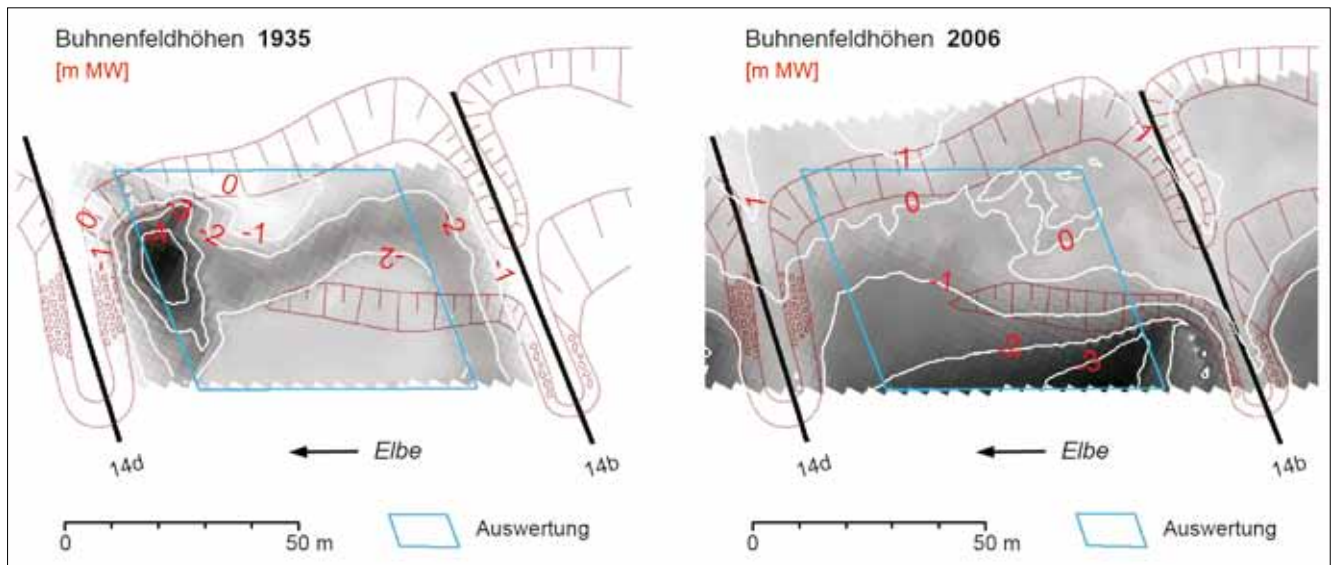


Bild 6: Höhenverteilung eines Auswahlbuhnenfeldes der Musterstrecke 6 im Jahr 1935 bzw. 2006 ; Bezug: Mittelwasser (1966 bis 1988); Darstellung 2006 in dunklerer Schattierung – bitte Linien gleicher Höhe beachten; Lage bei Elbekm 542,5 rechts siehe Bild 1; mit Böschungen 1997 und Auswertungsbereich zur Verlandung in Höhenschichten (Bild 7)

Figure 6: Elevation distribution for a selected groyne field in test reach 6 in 1935 and 2006; reference: mean water level (1966 to 1988); the year 2006 is shown in a darker shade – attention should be paid to lines indicating the same elevation; location at Elbe kilometer 542.5 right bank, see Figure 1; with slopes in 1997 and area evaluated for sediment buildup in elevation layers (Figure 7)

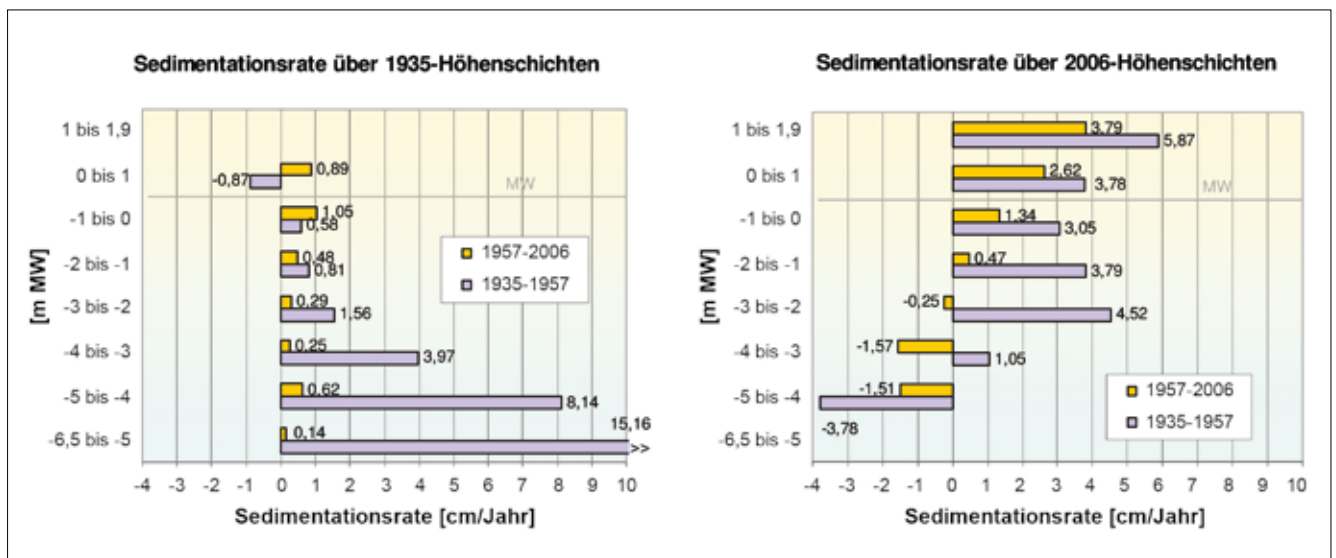


Bild 7: Jährliche Sedimentationsraten 1935 bis 1957 und 1957 bis 2006 im Zentrum von sechs Auswahlbuhnenfeldern der Musterstrecke 6, differenziert nach Höhenschichten im Jahr 1935 (links) bzw. 2006 (rechts) – vgl. Beispiel in Bild 6; Bezug: Mittelwasser (1966 bis 1988); beide Seiten stellen die gleichen Daten dar.

Figure 7: Annual sedimentation rates 1935 to 1957 and 1957 to 2006 in the center of six selected groyne fields of test reach 6, differentiated according to elevation layers in 1935 (left-hand side) and 2006 (right-hand side) – cf. example in Figure 6; reference: mean water level (1966 to 1988); both sides depict the same data.

Für die Bildung der Durchschnittswerte der mittleren natürlichen Verlandung sind Buhnenfelder mit zunehmender anthropogener Verfüllung ausgeschlossen worden, die in den geklammerten Werten in Tabelle 2 noch enthalten sind (dort reale Erhöhung inklusi-

ve anthropogener Teilverfüllung). Das Ergebnis einer natürlichen Einlagerungsrate von 72 m³ pro Jahr und Buhnenfeld seit dem Niedrigwasserausbau von 1935 ist um ca. 9 m³ zu ergänzen, die für einen getrennt bewerteten 10 m-Streifen beiderseits der Buhnenachsen

hochgerechnet wurden. Die Summe von 81 m³ pro Jahr und Bühnenfeld seit 71 Jahren stellt eine untere Grenze der Sedimentation dar, da die Auswertungsbereiche nur etwa 60 % bis 70 % der sechs Bühnenfeldflächen repräsentieren. In der zugehörigen Datenabdeckung von 1935 fehlt landseitig ein etwa 12 m bis 20 m breiter Streifen unter Einschluss der Uferböschung.

Die mit 30,5 m³ pro Jahr mehr als halbierte natürliche Sedimenteinträge seit 1957 (untere Zeile in Tabelle 2) unterstreicht den bereits angesprochenen, gemäßigten Fortgang der Bühnenfeldverlandung im Anschluss an die morphologische Umformung nach dem Ausbau (Bild 7).

In den Bühnenfeldpeilungen von 1957 fehlt allerdings das weitere Bühnenumfeld und dadurch ein Teil der überproportionalen Verlandung der ausbaubedingten Bühnenparallelen Rinnen (siehe Abschnitt 3.2). Die Datenaufnahme 1935 reichte demgegenüber bis an die neuerrichteten Bühnenabschnitte heran (schattierter Datenbereich in Bild 6 links).

Generell ist zu beachten, dass Mittelwerte die Morphodynamik der Elbufer nur unvollkommen kennzeichnen, da die Standardabweichungen die ermittelten Änderungsraten teils deutlich übersteigen (Werte in Tabelle 2). Die Feststoffeinträge und -remobilisierung innerhalb der Bühnenfelder erfolgen aufgrund wechselnder Abflüsse und Feststofffrachten zeitlich diskontinuierlich und räumlich differenziert.

4 Uferrehnen-Sedimentation *Natural levee sedimentation*

4.1 Ausbildung von Uferrehnen *Formation of natural levees*

Bild 1 links zeigt eine typische Vorlandhöhenstruktur mit oberstromig bei Elbe-km 542 erhöhtem Gelände (>MW+2 m) und einem nach unterstrom zunehmenden Anteil von Rinnen unter Mittelwasserniveau. Bei Hochwasser feststoffreich in die Aue übertretendes Wasser hat Ablagerungen entlang der Ufer hervorgerufen. Solche Uferrehnen sind an unverbauten Auenfließgewässern der laufverlegenden Seitenerosion unterworfen und in ihrer zeitlichen und räumlichen Entwicklung begrenzt. Die Seitenerosion hat im Beispiel nach 1775 (Bild 1 rechts) Uferverschiebungen der Elbe von im Durchschnitt maximal 6 m/Jahr hervorgerufen bis zu dem etwa 1880 erreichten durchgängigen Uferverbau. Seitdem ist der Elblauf der Musterstrecke 6 lagefixiert, die Ufererosion ist temporär und die fluvialen Uferrehnen können sich dauerhaft fortentwickeln. Bei geringer Vegetationsbedeckung und feinkörnigem Sediment sind darüber hinaus wahrscheinlich äolisch überprägte Uferrehnen feststellbar. Sie erreichen lokal Geländehöhen über Hochwasserdeichniveau (weiße Darstellung um Elbe-km 543 in Bild 1 links; siehe Altrehne im Querprofil von Bild 12).

Eine derart ausgeprägte Laufveränderung wie in Bild 1 rechts angedeutet, war allerdings nicht überall zu verzeichnen. Beispielsweise stagniert der Elblauf der

Durchschnittswerte zur Verlandung in fünf Bühnenfeldern der Musterstrecke 6				
Auswertungszeitraum	Einlagerung [m ³ /Jahr]	Sedimentationsrate [cm/Jahr]	Standardabweichung der Sedimentationsrate [cm/Jahr]	Geländeerhöhung [m/71 bzw. /49 Jahre]
1935 – 2006 ¹	72,0 (99,8) ³	1,35 (1,88)	1,35 (1,42)	0,96 (1,33)
1957 – 2006 ²	30,5 (37,8) ³	0,44 (0,63)	1,21 (1,29)	0,22 (0,31)

¹ Durchschnitt ohne Bühnenfeld 3-4 (aufgrund von nur 34 % Auswertungsfläche – ansonsten 64 % der Gesamtfläche)

² Durchschnitt ohne Bühnenfeld 11-12 (Dateninkonsistenz 1957),

³ Bühnenfeldverfüllungen anzunehmen im Zeitraum 1935-1957 (Feld 7-8) bzw. 1957-1989 (Feld 4-5) (Geklammerte Durchschnittswerte) einschließlich im Bilanzzeitraum verfüllter Bühnenfelder.

Tabelle 2: Durchschnittswerte zur Verlandung in fünf von sechs Bühnenfeldern^{1,2} 1935 bzw. 1957 bis 2006. Elbe-km 540,8 bis 543,4; Lage der bewerteten Auswahlfelder siehe Bild 1

Table 2: Mean values representing sediment buildup in five out of six groyne fields^{1,2} for the period from 1935 and/or 1957 to 2006. Elbe kilometers 540.8 to 543.4; see Figure 1 for the location of the evaluated selected groyne fields

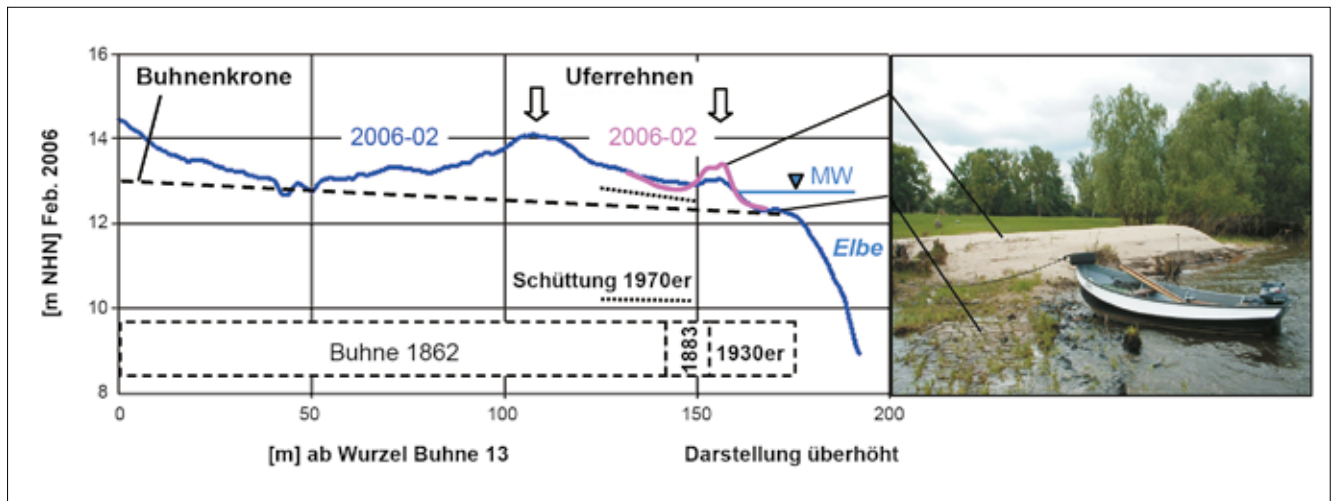


Bild 8: Auflandung einer Buhnenkronen mit Rehnen, Elbe-km 506,95, Gleitufer links. Oben: Geländehöhenprofil mit Umformung durch das Frühjahrshochwasser 2006. Unten: Ausbaustufen der Buhne. (Foto: Rommel, Mai 2006 nach Hochwasserdurchgang)

Figure 8: Formation of natural levees on a groyne crest, Elbe kilometer 506.95, convex bank, left-hand side. Upper half: elevation profile with changes in shape caused by the 2006 spring flood. Lower half: groyne development stages. (Photograph taken by Rommel, May 2006 after flooding)

Musterstrecke 10 bereits seit etwa 1855, wo sich das Mittelwasserbett bei Elbe-km 399 bis 403 stattdessen bis zur Gegenwart unter wasserbaulichem Einfluss um durchschnittlich 21 % (rd. 0,5 m/Jahr) verschmälert hat.

Im Bereich langer Buhneneinbauten entwickeln sich zur Gewässermittle versetzt neue Uferrehnen, was insbesondere am Gleitufer zur Untergliederung von Buhneneinbauten führen kann (Bild 8). Hinter kurzen Buhnen ist dagegen die Fortentwicklung bestehender Altuferrehnen zu erwarten.

Diese zwei Entwicklungswege äußern sich im Längsschnitt der Rehnenhöhe für die Jahre 1855 und 2004 von Bild 9. Im Bild links weicht der Höhenverlauf der beiden Alterszustände der Rehnen (Uferwälle) voneinander ab, rechts verlaufen die Graphen annähernd parallel. Dort am Prallufer haben sich bereits 1855 existierende Uferrehnen fortentwickelt, während am Gleitufer (links in Bild 9) die heutigen Rehnen bis zu 300 m elbseitig der Altrehnen neu entstanden.

Für den Kamm einer am linken Gleitufer bei Elbe-km 506,907 in der Musterstrecke 5 neugebildeten Uferrehne wurden in den ersten 40 Jahren und folgenden 104 Jahren ab 1862 mittlere Sedimentationsraten von 3,4 bzw. 0,19 cm/Jahr ermittelt. Dieser starke Rückgang kann durch verschiedene Ablagerungsmechanismen erklärt werden, wonach der Sandkern der Uferrehne in einer ersten Phase als Transportkörper bei starken

Hochwassern in wenigen Jahrzehnten neu gebildet wird. Anschließend verbreitert sich der Höhenrücken durch Anlagerung von Sand und Schwebstoffabsatz in verringerten Raten. Ein Beispiel für das Nebeneinander beider Entwicklungsphasen geben zwei Uferrehnen in Bild 8. Die linke höhere und breitere Rehne wird hier als Anpassungsreaktion auf den Buhnenbau von 1862 interpretiert. Sie ist im Foto rechts grasbewachsen im Hintergrund zu sehen und befindet sich in der zweiten Phase. Die rechte kleinere und steilwandige Rehne entsteht erst als sandiger Transportkörper mit beträchtlicher Erhöhung im Verlauf des extremen Frühjahrshochwassers 2006 (Phase 1). Ihre Position könnte mit einer Buhnenverlängerung in den 1930er-Jahren zusammenhängen. Ein solcher Entstehungszusammenhang von Uferrehnen und Buhneneinbauten war an Gleituferecken in mehreren Musterstrecken zu erkennen.

4.2 Höhenentwicklung von Uferrehnen und Auenabschirmung

Development of natural levee elevation and its effect in shielding floodplains from the water

Die in Bild 9 zur Musterstrecke 10 eingetragenen Mittelwasser- und Mittelhochwasser (MHW)-Linien lassen erkennen, dass die Kammlagen der Uferrehnen stärker in Fließrichtung geneigt sind als die Wasserspiegel (oberstromiger Sedimentationsschwerpunkt).

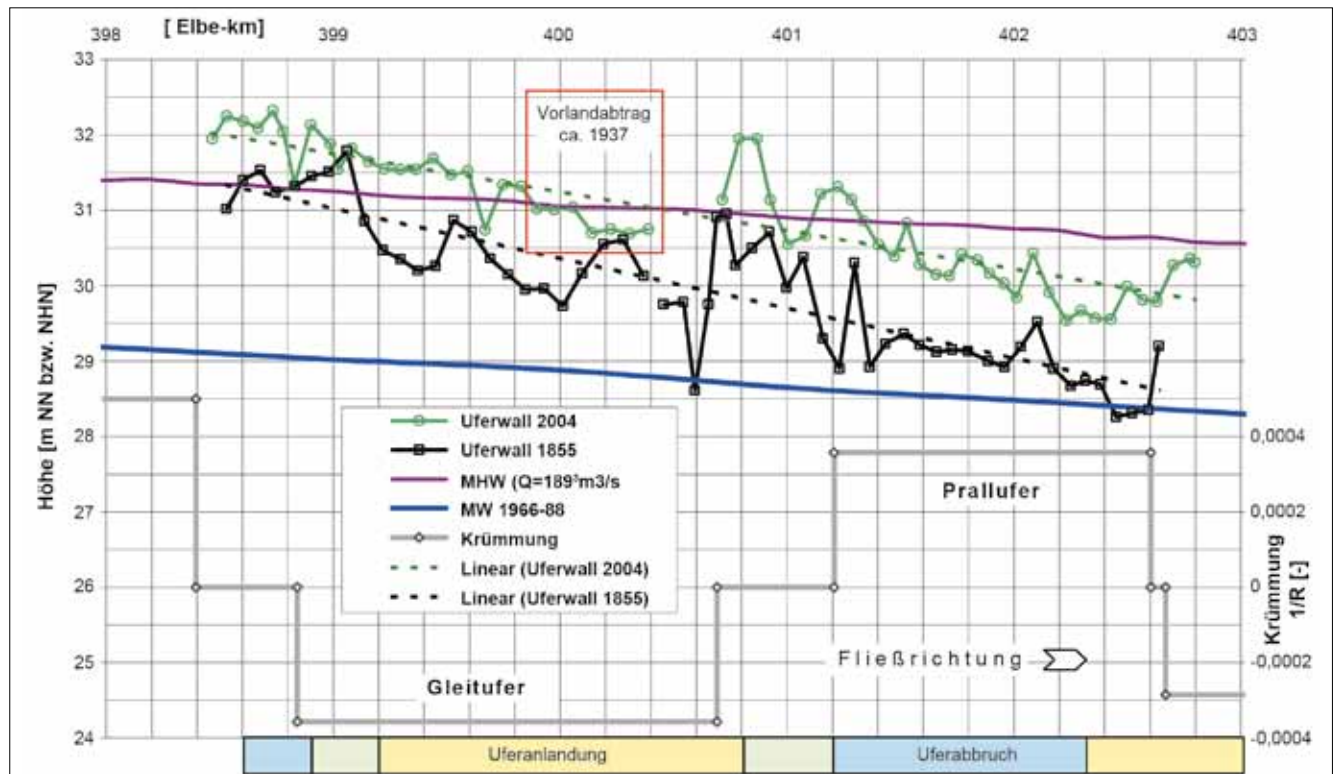


Bild 9: Höhen der Uferreihen und Uferanlandungsband 1855/2004 in der Musterstrecke 10 bei Arneburg – linkes Ufer mit Wasserspiegeln, Laufkrümmung und Ufermorphodynamik.

Figure 9: Elevations of natural levees and bank accretion zone 1855/2004 in test reach 10 near Arneburg – left bank with water levels, flow curvature and morphodynamics of the river bank

Die 1855 am höchsten liegenden Uferreihen-Abschnitte fallen mit den Krümmungswechseln der Gewässerachse zusammen. Die seltenere Überflutung dieser Hochlagen ging mit einer Verlagerung der Sedimentation nach unterstrom einher. Unter den Bedingungen festgelegter Ufer hat das in Fließrichtung dargestellte Gefälle der Uferreihen dadurch abgenommen (Bild 9: gestrichelte Trendlinien).

Bezüglich der Abschirmung der Aue vom Fluss lässt sich sagen, dass in dem Gewässerabschnitt 1855 noch ein bei Mittelwasser unterstromig an die Elbe angebundenes Altwasser vorlag und von oberstrom signifikante Ausuferung ab MW+0,5 bis 1 m (1966 bis 1988) zu erwarten war. Im Jahr 2004 tritt die Ausuferung erst

ab MW+1,5 m ein und bei Mittelwasser besteht keine Wasserverbindung zur Aue mehr. Die Kammlagen der Uferreihen haben sich in dem Zeitraum um durchschnittlich 0,64 cm/Jahr erhöht. Dort, wo man bei Elbe-km 400 das linke Vorland um das Jahr 1937 abgetragen hat (rot in Bild 9), bilden sich die Rehen seitdem mit erhöhten Sedimentationsraten von 0,85 cm/Jahr neu aus.

Im Abschnitt Elbe-km 505 bis 526,5 der Musterstrecke 5 wurden 46 Querprofile im Zustand 1902 bzw. 2006 daraufhin gesichtet, wie häufig die erste wesentliche Erhebung landseitig des Mittelwasserufers zugleich die höchste Erhebung der jeweiligen Vorlandseite darstellt, als Maß der Vorlandabschirmung durch Uferreihen (Tabelle 3).

Musterstrecke	Zustand	Anteil von Querprofilen mit ufernaher Erhebung als höchster Vorlanderhebung		
		Gesamt	Linkes Vorland	Rechtes Vorland
5	1902	16 %	22 %	9 %
	2006	30 %	24 %	35 %

Tabelle 3: Verstärkung der Vorlandabschirmung durch Uferreihen in der Musterstrecke 5 (Elbe-km 505 bis 526,5) zwischen 1902 und 2006 (46 Querprofile = 100 %)

Table 3: From 1902 to 2006 natural levees have formed in test reach 5 (Elbe kilometer 505 to 526.5), increasingly shielding the floodplains from water (46 cross sections = 100 %)

Durch Sedimentation der letzten rund einhundert Jahren hat sich der Anteil dominierender Uferrehnen auf 30 % nahezu verdoppelt.

Insbesondere auf der rechten Elbeseite ist die – abgesehen vom Anstieg zum Deich bzw. Dünen – höchste Vorlanderhebung an den Uferrand gerückt, was auf einen Ausgleich der Rehnenhöhen beider Uferseiten hinwirkte.

Als Voraussetzungen einer starken Rehnenenerhöhung wurden in der Musterstrecke 5 identifiziert:

- Weite Buhnevorstreckung mit Bildung einer elbparallelen Randrinne vor dem alten Ufer,
- Übergang vom Gleit- zum Prallufer,
- Vergleichsweise tiefliegende Vorländer mit entsprechend häufiger Ausuferung.

4.3 Breite von Uferrehnen und Sedimentationsraten

Width of natural levees and sedimentation rates

In der Musterstrecke 6 ließ sich anhand abgestufter Sedimentationsraten des rechten Deichvorlands von 1957 eine mittlere Breite der Uferrehne von 25 m ab der Uferoberkante ableiten, deren Breitenentwicklung abschnittsweise durch das Vorliegen hoher Altrehnen begrenzt wird (Bild 1).

Bild 10 zeigt ein Längsprofil des Uferrehnen-Geländestreifens am rechten Ufer der Musterstrecke 6. Die Uferauflandungen sind von der durch bauliche Eingriffe geprägten Höhe der Uferoberkante im Ausgangszustand 1957 umgekehrt abhängig (oberes Profil in Bild 10). Die Sedimentationsrate auf der Uferrehne steigt in Fließrichtung der Elbe an. Sprünge zu höheren Sedimentationsraten sind jeweils im Anschluss an Abschnitte mit

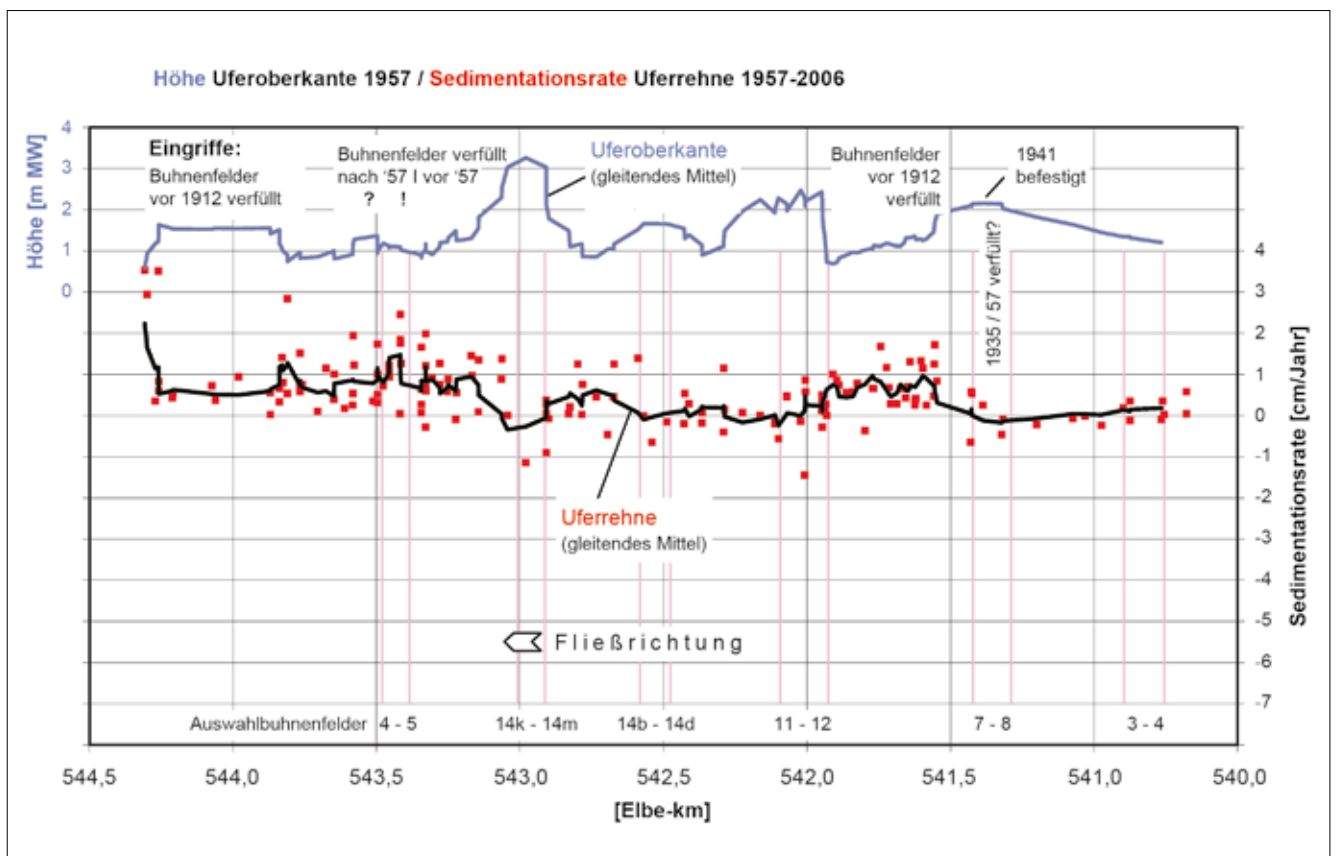


Bild 10: Längsprofil der Sedimentationsraten auf der Uferrehne über 49 Jahre vor 2006. Höhe der Uferoberkante 1957 und anthropogene Eingriffe (oben) Auswertung Uferrehne auf 25 m breitem Streifen ab der Uferoberkante. Trendlinien: Gleitende Mittel (5 Perioden).

Figure 10: Longitudinal profile for sedimentation rates on the natural levee in the 49 years preceding 2006. Elevation of the top of the river bank in 1957 and anthropogenic interferences (upper part of the diagram). Evaluation of levee data for a strip of 25 m, starting from the top of the river bank. Trend lines: running means (5 periods).

relativ hochliegender Uferoberkante festzustellen. Darin äußert sich eine verringerte Feststofftransportkapazität an Erweiterungen im Hochwasserabflussquerschnitt. Hinter unbefestigt verfüllten Bühnenfeldern um Elbe-km 543,5 haben sich die Uferrehnen ebenfalls stark erhöht (lokale Umlagerung). Dies wird auch im längerfristigen Geländehöhenabgleich 1902/2006 im Querprofil Bild 12 bei Querlage 250 deutlich.

Die durchschnittliche Sedimentationsrate in dem 3,7 km langen und 25 m breiten Uferrehnenstreifen der Musterstrecke 6 (Bild 10) betrug 0,57 cm/Jahr und damit etwa 2/3 der im mittleren Tiefenbereich der Bühnenfelder festgestellten Sedimentationsrate (Bild 5).

In der Geländehöhenstruktur landseitig des beschriebenen Uferstreifens fallen Altrehnen auf, die wahrscheinlich äolisch überformt sind (weiße Darstellung in Bild 1, links), doch in den letzten 100 Jahren nahezu lagestabil waren (Bild 12).

Die höchsten Altrehnen befinden sich oberstromig von Vorlandtieflagen, wo diese Rinnen zur Elbe anbinden. Es handelt sich um die Uferstrecke ab Elbe-km 542,5, die 1775 noch zum Mittelwasserbett der Elbe zählte (Bild 1 rechts bei Ufersandbank), was auf extreme Sedimentationsraten schließen lässt. Vermutlich ergab sich dort maximale Sandakkumulation seit dem 19. Jahrhundert im Bereich konzentrierter auf die Vorlandtieflagen gerichteter Querströmung.

4.4 Methode zur Bestimmung der Sedimentationshöhe an Uferdeckwerken

Method for determining the height of sediments deposited on bank revetments

Die durch Uferabbrüche asymmetrische Querprofilform einer zur Landseite unbeschränkt entwickelten Uferrehne ist aus Bild 11 zu ersehen. Es handelt sich um die Geländebestimmung der Auflandungshöhe seit dem Bau eines Uferdeckwerks auf der linken Elbeseite bei Elbe-km 439,5 im Jahr 1896 (Musterstrecke 4).

Dabei wurde methodisch ausgenutzt, dass offenbar Fragmente der Bruchsteinabdeckung der Deckwerkshinterfüllung in das angrenzende Vorland ausgeschwemmt worden waren und sich in landwärts systematisch verringernder Korngröße in Bohrungen nachweisen ließen.

Eine geringe Streubreite der Fundtiefe gab Grund zu der Annahme, dass die Abschwemmung des Befestigungsmaterials nur in einem kleinen Zeitfenster nach dem Bau erfolgt ist und dadurch als Zeitmarke dienen kann.

Es wurde bislang nicht näher untersucht, ob die anzunehmende Ausschwemmung von Deckwerksschotterfragmenten eine lokale Besonderheit darstellt oder als methodische Grundlage zur Bestimmung bauwerksnaher Sedimentationshöhen auf andere Standorte übertragbar wäre.

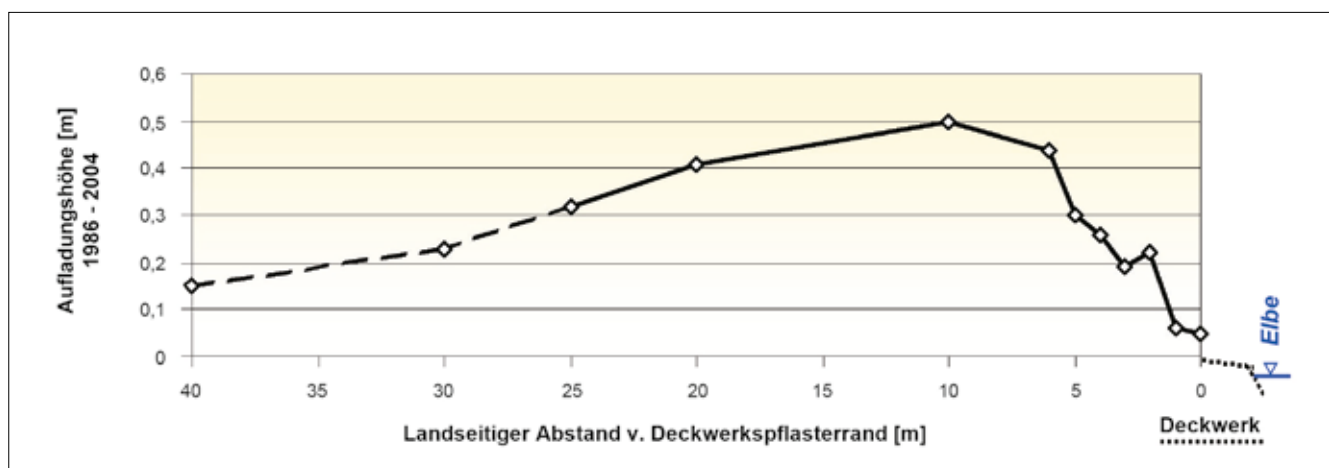


Bild 11: Typische Form einer Tieflands-Uferrehne nach ca. 100 Jahren der Auflandung (Asymmetrie durch flussseitigen Auflandungsschwerpunkt und Uferabbrüche). Fundtiefe von Deckwerksschotterfragmenten als Auflandungsreferenz bei Elbe-km 439,5 – linkes Ufer. Überhöhte Darstellung.

Figure 11: Typical shape of a lowland natural levee after approximately 100 years of sediment buildup (asymmetric shape due to sediment buildup mainly occurring on the side facing the river and due to bank collapses). Depth where rip rap fragments were found as a point of reference for sediment buildup at Elbe kilometer 439.5 – left bank. Super-elevated curve.

5 Vorland-Sedimentation *Floodplain sedimentation*

Die Sedimentation auf dem uferfernen Vorland, womit der zwischen den Uferreihen und dem Hochwasserdeich bzw. natürlichem Auenrand liegende Bereich gemeint ist, stand nicht im Fokus der vorgestellten Untersuchung. Methodisch ist die uferferne Vorland-Sedimentation schwer zu fassen, da sehr geringe Sedimentationsraten vorherrschen (Krüger et al., 2006).

5.1 Voraussetzungen für Sedimenteinträge in das Vorland

Preconditions for sediment transport to floodplains

Abgesehen von äolischem Feststofftransport (Windverblasung) werden Feststoffe nur bei Überflutung in das Vorland eingetragen. Am Beispiel der Musterstrecke 6 in Bild 1 wird erläutert, dass die Struktur der Vorlandgeländehöhen hierbei verschiedene Ausuferungswege vorgibt und Korngrößen selektiert. Bei Hochwassern, die nicht über MW + 2 m hinausgehen wird das Gebiet nur durch das Grundwasser bzw. gegen die Fließrichtung von unterstrom benetzt. Auf diesem Transportweg gegen die allgemeine Fließrichtung werden vor allem Schwebstoffe in die Rinnen und tiefliegenden Vorlandareale eingetragen, da ein unterstromiger und damit geringerer Hochwasserstand maßgeblich ist für die Überflutungshöhe. Erst bei annähernd mittleren Hochwassern (MHW) erfolgt die Ausuferung auch von oberstrom und auf diesem Weg können neben der Schwebstofffracht auch schluffig/sandige Korngrößen bis in mittlere Vorlandhöhenbereiche gespült werden, weil nun der oberstromige Hochwasserstand der Elbe dominiert. Dabei teilt sich der Hochwasserstrom bei Elbe-km 541,5 um ein V-förmiges höher gelegenes Vorlandareal und durchströmt ein langgestrecktes deich-

paralleles Altwasser mit morphodynamisch aktiver Sohle (Kapitel 5.3). Lediglich seltene Hochwasser über MHW überfluten das zwischen der Elbe und diesem Altwasser gelegene mehr als MW+3 m hohe Vorland der Musterstrecke 6 (Bild 1). Offenbar hat die für das zentrale rechte Elbevorland festzustellende Abschirmung gegenüber dem direkten Hochwasserzutritt von oberstrom dazu geführt, dass dort auch für Geländehöhen unter MHW nach 100 Jahren nahezu unveränderte Geländehöhen vorliegen (Bild 12). Solche Verhältnisse bestehen vielerorts an der Unteren Mittelbe, wo sich Vorland-Hochlagen durch langjährige Akkumulation zwischen früh errichteten Deichlinien bilden konnten oder als Relikte einer früheren Morphodynamik erhalten sind. Aufspaltungen im Hochwasserstrom, wie geschildert, und die Förderung der Auenüberflutung von oberstrom waren Gesichtspunkte bei den in diesem Heft vorgestellten Modelluntersuchungen zur Ausgestaltung der Deichrückverlegung Lenzen von Faulhaber et al. und Alexy. Der Bericht von Alexy erläutert dabei zahlreiche Besonderheiten der Vorlandüberströmung an wechselnden Fließquerschnitten, die wahrscheinlich mit morphodynamischen Effekten einhergehen.

5.2 Sedimentationsraten und Vorlandhöhen *Sedimentation rates and floodplain elevations*

Die im Bereich der Unteren Mittelbe untersuchten Deichvorländer sind in der Summe beider Uferseiten zwischen etwa 700 m und 2000 m breit. In 200 m bis 300 m Entfernung vom Mittelwasserufer der Musterstrecken 6 und 10 wurden Sedimentationsraten $\leq 0,1$ cm/Jahr ermittelt (Tabelle 4).

In den Musterstrecken 4 und 5 ergaben sich auf etwa 75 % der Vorlandbreite durchschnittliche Verlandungen der letzten 100 Jahre von ca. 0,2 cm/Jahr (Rommel,

Lage [El-km]	Musterstrecke	Sedimentationsrate [cm/Jahr]	Bewertungszeitraum	Höhen vor-/ nachher [m MW] ¹	Abstand zu MW-Ufer [m]	Datenbasis [n]
400,2	10	0,06 bis 0,1	67 J. ab 1937	1,49 / 1,55	280	2
541-544	6	0,05	49 J. ab 1957	1,92 / 1,95 (Spanne 0,6-2,9)	200-260	23

¹ Höhenbezug: Mittelwasserspiegel (1966-1988)

Tabelle 4: Beispiele von Sedimentationsraten und Erhöhungen im uferfernen Deichvorland
Table 4: Examples of sedimentation rates and elevations in the floodplain between the natural levee and the dike

2005). Sie beziehen sich auf den Bereich zwischen dem Mittelwasserufer und der Benetzungslinie 5-jähriger Hochwasser und integrieren somit die Uferreehen. In dieser Auswertung von Hochwasserbettquerprofilen fehlen Abschnitte des deichnahen Vorlands und Altwassersohlen infolge von Datenlücken.

In der Musterstrecke 5 wurde im oben genannten Vorlandauswertungsbereich zwischen Elbe-km 505 und 525,5 eine Abhängigkeit der Auenauflandung von der durchschnittlichen Geländehöhe im Ausgangszustand 1902 festgestellt (Tabelle 5). Wegen unterschiedlicher Auflandung der bei Elbe-km 515,5 abgegrenzten Laufabschnitte hat sich ihre Höhendifferenz von gut 0,6 m im Jahr 1902 zu knapp 0,4 m im Jahr 2006 angeglichen. Es lässt sich somit die gleiche Tendenz zum Höhenausgleich im Gewässerlängsprofil beobachten, die in Kapitel 4.1 (Bild 9) für die Uferreehen festgestellt wurde.

5.3 Morphodynamik der Vorlandrinnen

Morphodynamics of floodplain channels

Je nach Lage und Orientierung nehmen Mulden und Rinnen der Überflutungsauwe ganz verschieden an der Morphodynamik teil. Neben besonders elbufernah stark verlandenden Altwässern existieren solche, die als Flutrinnen ausreichend durchströmt werden, um über mehrere Jahrhunderte hinweg erhalten zu bleiben. Dazu zählt das genannte rechtselbische Altwasser der Musterstrecke 6 (Bild 1) für das Uferabbrüche und Sohlenerosion historisch und aktuell belegbar sind (Querlage 1000 in Bild 12).

Das bei stärkeren Hochwassern in der Rinne erodierte Material wird teilweise dem angrenzenden Vorland aufgespült (Auflandungsrosette über MW +2 m am Nordende des Altwassers auf Bild 1 und Querlage 800-

900 in Bild 12). Morphologisch aktive Altwässer bilden dadurch eigene Uferreehen aus und sind auch im weiteren Umfeld durch erhöhte Sedimentationsraten gekennzeichnet. Zur Darstellung des beschriebenen Altwassers in Bild 1 links ist anzumerken, dass aufgrund von dort verfahrensbedingt fehlenden Laserscan-Daten im Geländemodell (BfG, 2008) die Altwassersohle naturfern interpoliert wurde und zu hoch liegt.

5.4 Anthropogene Eingriffe in das Vorland

Anthropogenic interference in floodplains

Aufgrund ihrer Rinnentiefe und Lage deichgefährdende Altwässer, sind in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts im Einzelfall beseitigt worden. Der Materialbedarf von rund 300 000 m³ zur Verfüllung einer deichnahen Altwasserrinne linksseitig bei Elbe-km 510 bis 511 wurde durch Vorlandababträge gedeckt und war mit der Abholzung von Auwald verbunden (Bild 13).

Die Altwässerverfüllung sollte auch Probleme mit Qualmwasser verringern (Aufdringen gespannten Grundwassers – siehe Beitrag von Montenegro in diesem Heft – auf der Landseite des nachträglich vorverlegten Deiches am linken Rand von Bild 13). Dieses in (Puffahrt, 1996) beschriebene Projekt ist als Extrembeispiel einer 1:1-Umsetzung zum Hochwasser-Regulierungsentwurf anzusehen (Preußische Elbstrombauverwaltung, 1902).

Der Querprofilhöhenvergleich 1902/2006 ergab in der Musterstrecke 5 zahlreiche weitere Standorte anthropogener Bodenbewegungen, die überwiegend lokale Kolkverfüllungen und Rehenabträge bedeuten, aber auch als flächige Planierungen in Erscheinung treten (beispielsweise linkselbisch km 517,35 bis 518,95 und rechtselbisch km 524,9 bis 525,6). Darüber hinaus las-

Abschnitt [El-km]	Vorlandhöhe [m MW]		Auflandung [m]	Höhendifferenz [m]		Profilanzahl [n]
	1902	2006		1902	2006	
505,0 – 515,5	1,12	1,25	0,13	0,61	0,37	21
515,5 – 525,5	0,51	0,88	0,37			19

Tabelle 5: Auflandung 1902 bis 2006 und Höhendifferenz im Vorland der Musterstrecke 5 in zwei Abschnitten unterschiedlicher Geländehöhe (1902) Vorlandhöhen auf Mittelwasser (1966-1988) bezogen. Auswertungsbereich Elbe-km 505 bis 525,5 siehe Text

Table 5: *Sediment buildup between 1902 and 2006 and difference in floodplain elevations for test reach 5 in two reaches of different terrain elevation (1902); mean water level (1966 to 1988) used as a reference for floodplain elevations. Area evaluated: between Elbe kilometer 505 and kilometer 525.5; see text*

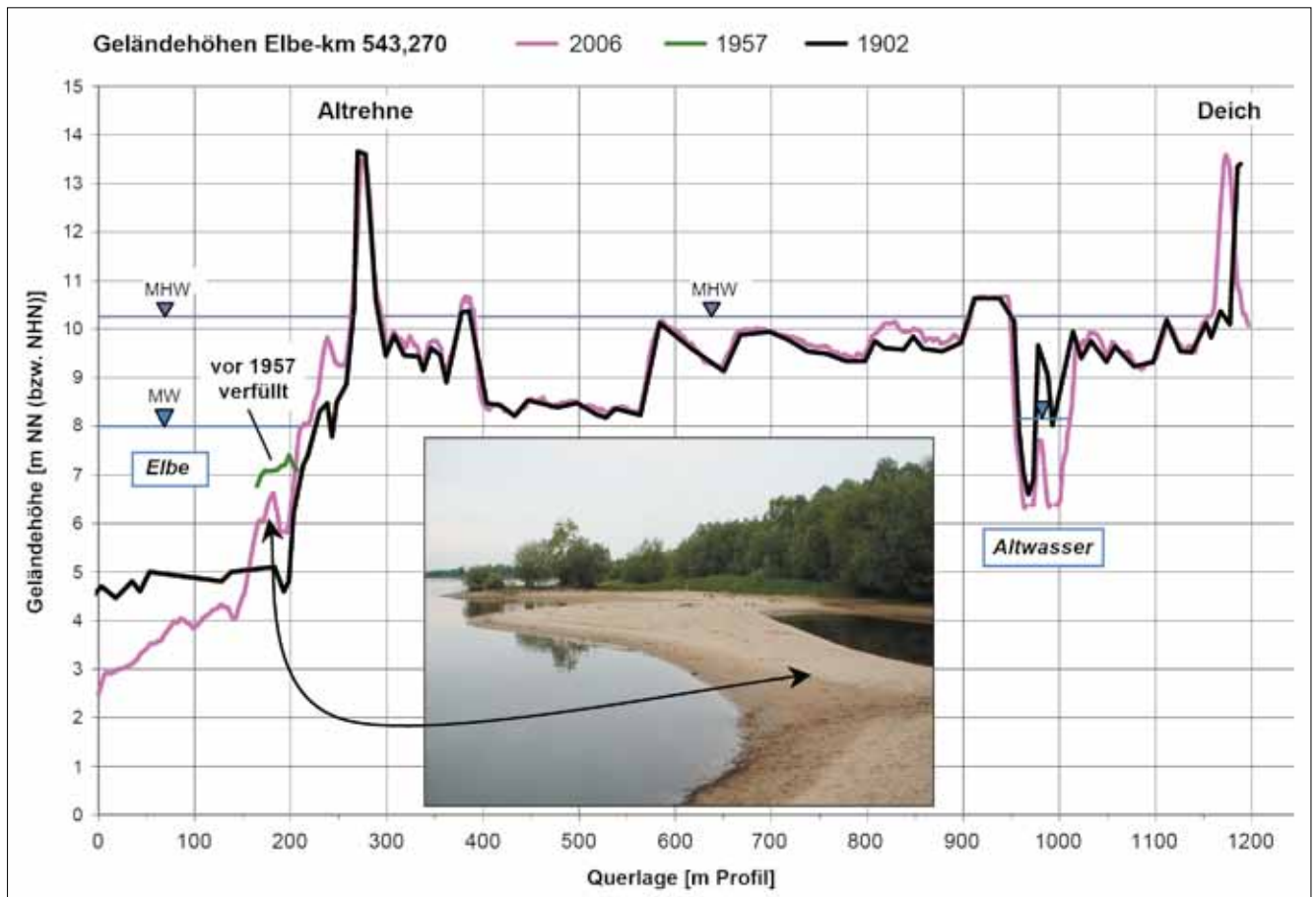


Bild 12: Hochwasserbettprofil Elbe-km 543,270 – Zustände 2006, 1957 (Buhnenfeld) und 1902 von Teilen der Mittelwassersohle und rechtem Vorland. Buhnenfeld (Streichlinie bei Querlage 165): vor 1957 verfüllt und später teilerodiert; Sedimentrippe (Foto: Rommel, 2007-05 bei NW). Vorland: Höhenkonstanz durch Abschirmung (äolisch erhöhte Uferrehne, Querlage 270): Erosives Altwasser (2006-Sohle zur Tiefe hin unvollständig).

Figure 12: Flood bed profile at Elbe kilometer 543.270 – conditions of parts of the mean water level bed and right-bank floodplain in 2006, 1957 (groynes field) and 1902. Groyne field (boundary flow line for horizontal position 165): backfilled prior to 1957, later partially eroded; sediment rib (photograph taken by Rommel during low water in May 2007). Floodplain: constant elevations due to shielding effect (natural levee elevated due to aeolian deposits, transversal position 270): erosion effects in old arm (2006 – bed incomplete at greater depths).

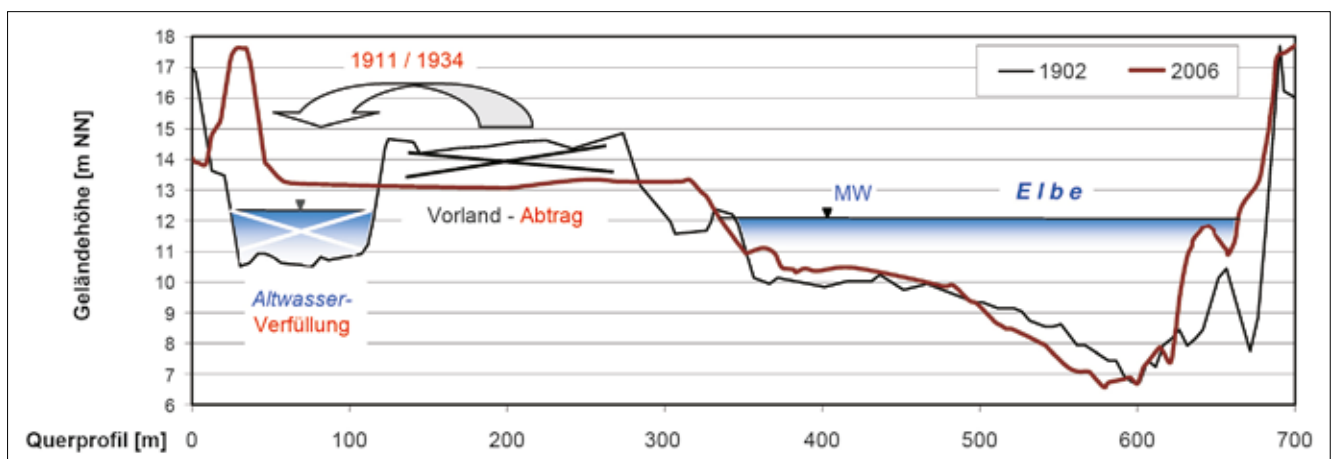


Bild 13: Umsetzungsbeispiel zum Hochwasserregulierungsprojekt der Elbstrombauverwaltung (Preußische Elbstrombauverwaltung, 1902), Höhenquerprofil Elbe-km 510,976 (Musterstrecke 5). Darstellung aus (Rommel, 2008), verändert.

Figure 13: Project implementation example: flood regulation project of the Construction Administration for the River Elbe (Elbstrombauverwaltung) (Preußische Elbstrombauverwaltung, 1902), transverse profile at Elbe kilometer 510.976 (test reach 5). Presentation from (Rommel, 2008), with modifications.

sen sich Geländemulden der Gewinnung von Deichbaumaterial und Ziegellehm zuordnen.

Eliminiert man aus den 40 im Abschnitt Elbe-km 505 bis 525,5 bewerteten Hochwasserbettquerprofilen 12 stark anthropogen geprägten Profile, so steigert sich die durchschnittliche Vorlanderrhöhung von 0,19 m auf 0,21 m in 100 Jahren. Das heißt, der anthropogene Einfluss auf die Geländehöhen des Deichvorlands der Musterstrecke 5 macht sich in der Summe als Bodenentnahme bemerkbar.

6 Höhenänderung im gesamten Hochwasserabflussbett

Changing elevations in the flood bed as a whole

Anhand von 11 Querprofilen der gut 20 Flusskilometer langen Musterstrecke 5 konnte die Geländehöhenänderung auf ganzer Hochwasserbreite, d. h. inklusive

der Elbesohle bewertet werden. Verrechnet man die Erhöhung der Vorländer und Bühnenfeldstreifen mit der Sohlenerosion der letzten 100 Jahre, so reduziert sich die Erhöhung von +0,19 m auf +0,11 m.

Mit dem Faktor der jeweiligen Breiten der Abflussbereiche lassen sich die Höhenänderungen im Hochwasserquerschnitt zu einem Verlust von insgesamt 110 Quadratmetern Abflussfläche bilanzieren, die dem Fluss wegen Verlandung nicht mehr zur Verfügung steht (Bild 14 links).

Allerdings tragen die genannten Bereiche aufgrund der Wassertiefen und Oberflächenrauigkeit ganz unterschiedlich zum Hochwasserabfluss bei, sodass eine 1:1-Verrechnung aus diesem Blickwinkel ungeeignet erscheint. Daher wurden aus Naturmessungen von Fließgeschwindigkeiten bei Hochwasser Wichtungsfaktoren abgeleitet (rechts in Bild 14), um die hydraulische Wirksamkeit der Höhenänderungen in den Bereichen abzuschätzen.

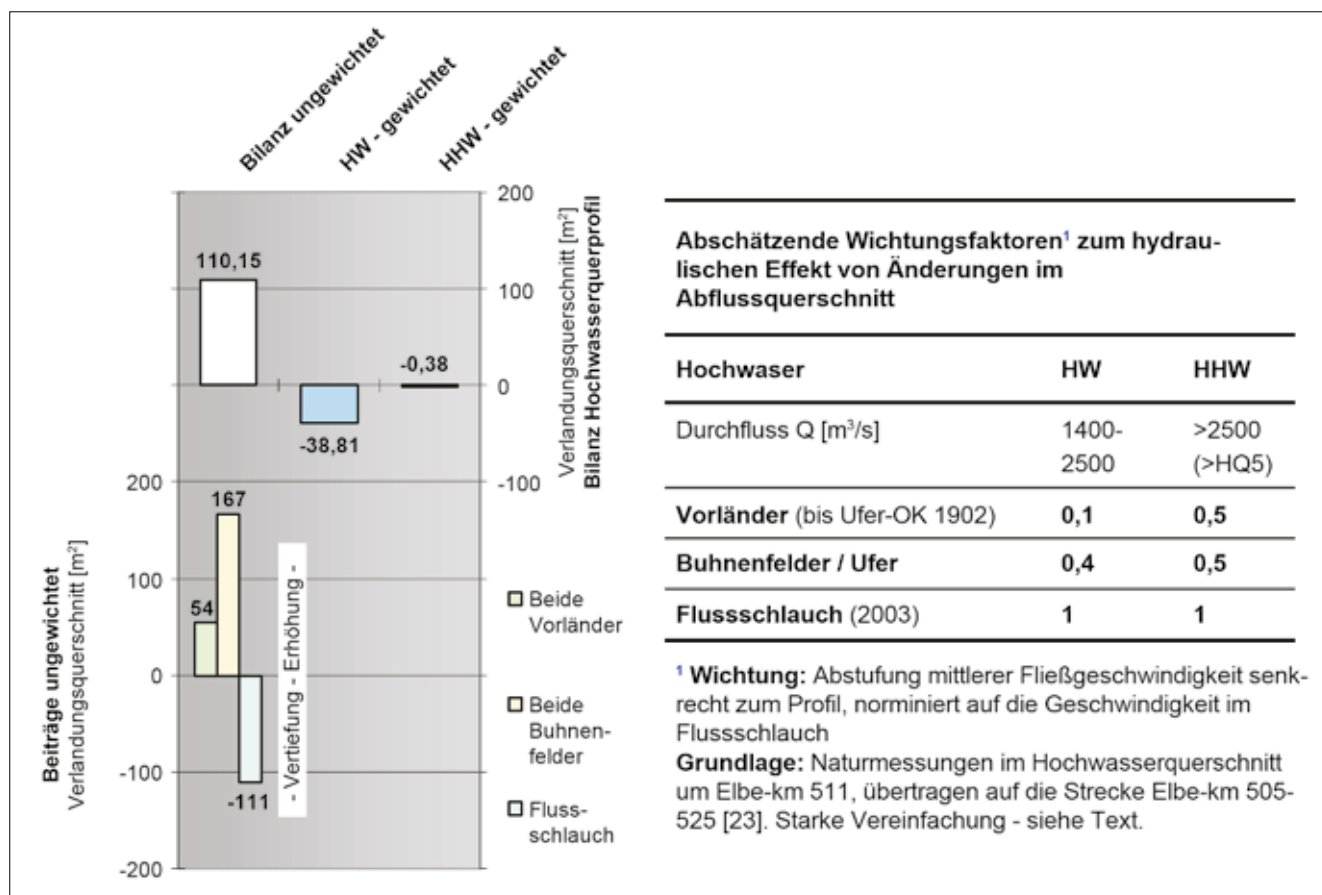


Bild 14: Mittlere Verlandungsbilanz aus Höhenänderung 1902 bis 2003/06 im Hochwasserbett; rechts: Ableitung von Wichtungsfaktoren aus der Abstufung von Fließgeschwindigkeiten

Figure 14: Mean sedimentation balance resulting from changes in elevation occurring between 1902 and 2003/06 in the flood bed; right-hand side: deduction of weighting factors from the gradation of flow rates

Zu unterscheiden sind demnach die Verhältnisse bei häufigen Hochwassern ab $1400 \text{ m}^3/\text{s}$ (beginnende Ausuferung) von Abflüssen über $2500 \text{ m}^3/\text{s}$, bei denen die Vorländer komplett überflutet sind. Bis zu $2500 \text{ m}^3/\text{s}$ (ca. fünfjährliches Hochwasser) ist der Beitrag der Vorländer zum Abfluss gering (Faktor 0,1), d. h. der hydraulische Effekt dortiger Höhenänderungen ist als unwesentlich einzustufen. Bei den höheren Hochwassern ergeben sich für Bühnenfelder/Ufer und Vorländer gleiche Gewichtungen (Faktor 0,5 – halbe Abflussleistung gleicher Querschnittsflächen gegenüber dem Flussschlauch) (Faulhaber, 2008).

Die entsprechende Wichtung der Höhenänderungen modifiziert die Höhenbilanz (Bild 14): Die hydraulische Leistungsfähigkeit – allein durch Ufer/Vorlandverlandung und Sohlenerosion – hat sich bei häufigen Hochwassern bis zu statistisch fünfjähriger Wiederkehr geringfügig erhöht (Gesamtsumme – 39 m^2) und blieb bei hohen Hochwassern seit 1902 unverändert (Gesamtsumme $\pm 0 \text{ m}^2$). Für häufige Hochwasserereignisse dominiert demnach die durchflusssteigernde Sohlenerosion im Flussschlauch und sie gleicht bei noch höheren Abflüssen mit entsprechend größerem Vorlandbeitrag die Durchflussbehinderung dortiger Erhöhungen zumindest aus.

Diese Betrachtung ist stark vereinfachend, da die gut dokumentierten Fließgeschwindigkeitsverhältnisse einer Querprofilage bei Elbe-km 511 auf einen 25 km langen Laufabschnitt übertragen und von zahlreichen anderen Beeinflussungen des Hochwasserabflusses abstrahiert wurde, wie etwa unterschiedliche Rauigkeiten der Zustände 1902 bzw. 2006. Dennoch ist anzunehmen, dass die abflussgewichtete Betrachtung den Effekt der Höhenänderung auf den Hochwasserabfluss besser annähert als eine ungewichtete Höhenbilanz.

7 Zusammenfassende Schlussfolgerungen

Conclusions

Vor dem Hintergrund der geologisch langfristigen Entwicklung von Fluss und Auen an der Unteren Mittelelbe bedeutet deren Eindeichung seit ca. 900 Jahren und mehr noch die erst seit etwa 150 Jahren wirksame wasserbauliche Lagefixierung des Flusslaufs Sonderbedingungen der Morphodynamik. Hochflutsedimen-

tation konzentriert sich auf den Bereich zwischen den Deichlinien; die vorherrschenden Bühneneinbauten haben als neuartigen Sedimentationsraum die Bühnenfelder hervorgerufen. Fortexistierende Formtypen wie Uferrehnen und Altwasserrinnen werden nicht mehr in dem Maß erosiv verjüngt, wie das unter den Normalbedingungen einer laufdynamischen Elbe der Fall war. Zur anthropogenen Veränderung der morphodynamischen Randbedingungen kommen direkte Eingriffe in die Geländehöhenverhältnisse in erster Linie durch Verfüllungen von Bühnenfeldern bzw. Bodenentnahmen im Deichvorland.

Den Anlass für die Untersuchungen (Rommel, 2003; Rommel, 2005; Rommel, 2010) gaben Fragen des Hochwasserschutzes. Hierzu konnte in vereinfachender Weise für den Elbeabschnitt km 505 bis 525 unterstromig der Deichrückverlegung Lenzen ermittelt werden, dass die morphodynamische Höhenänderung der letzten 100 Jahre im gesamten Hochwasserabflussprofil für sich betrachtet zu keiner Verschlechterung der Abflussleistung geführt hat, wenn man die unterschiedliche Abflusswirksamkeit der Bereiche bei Hochwasser berücksichtigt (Kapitel 6).

Geländehöhen und Sedimentationsraten der Bühnenfelder, Uferrehnen und Vorländer wurden vorwiegend anhand von Altvermessungsdaten aus dem Zeitraum seit 1855 und einem Höhenmodell des Überschwemmungsgebietes für Zustände um 2005 (BfG, 2008) abgeleitet. Oberhalb der Uferböschung haben sich die Geländehöhen im Quer- und Längsprofil der Elbe (Höhenbezug MW-Spiegel) aneinander angeglichen (Kapitel 4.2, 4.3 und 5.2). Die Verfügbarkeit der Ablagerungsräume bei Hochwasser erscheint wesentlich für die Sedimentationsraten der Uferrehnen und des uferfernen Vorlands. Diese Verfügbarkeit (Überflutungsdauer mit feststoffführendem Elbewasser) hängt zumeist von einer geringen Geländehöhe ab, wie der genannte Höhenausgleich durch verstärkte Auflandung der Tieflagen belegt. Allerdings können tiefliegende Vorlandbereiche durch Uferrehnen gegenüber dem Sedimenteintrag abgeschirmt sein (Kapitel 5.1 und Bild 12).

Unter den Bedingungen des stagnierenden Elblaufs werden morphodynamisch keine neuen Altgewässer mehr ausgebildet. Die bestehenden Auenrinnen verlanden jedoch nicht zwangsläufig, wie sich am Beispiel eines Altwassers bei Elbe-km 542 in Kapitel 5.3 aufzei-

gen lässt, das als Flutrinne fungiert und sich bei starken Hochwassern verjüngt. Das an der Unteren Mittelelbe in der Regel vergleichsweise enge Hochwasserabflussbett kann also vermutlich zum Fortbestand von Altwassern beitragen. Ein weiterer Aspekt ist der Sedimenteintrag in Altgewässer, der durch ihre Wiederanbindung an den Fluss tendenziell befördert wird. Es empfiehlt sich bei derartigen Projekten in der Abwägung mit anderen Kriterien eine einseitige Anbindung von unterstrom zu prüfen, die den Sedimenteintrag wirksam begrenzen kann (siehe Diskussion in Kapitel 5.1).

Zwischen den in Kapitel 3 bis 5 angesprochenen Ablagerungsräumen bestehen Beziehungen, die auf Sedimentumlagerung schließen lassen, beispielsweise von einer Altwassersohle auf das unterstromige Vorland (Kapitel 5.3). Bei verfüllten Bühnenfeldern sind häufig erhöhte Sedimentationsraten auf dem benachbarten Uferwall zu verzeichnen (Bild 10). Sofern Bühnenfeldverfüllungen nicht befestigt werden, sind diese in nachfolgenden Zeiträumen teilweise der Erosion unterworfen (Erläuterungen zu Bild 5 und Bild 12), wobei sich zeitlich vor der Verfüllung bestehende Rinnenstrukturen im Einzelbeispiel wieder eingestellt haben. Umgekehrt verlandeten im Zuge von Ausbaumaßnahmen gebaggerte buhnenparallele Rinnen (links in Bild 6) innerhalb weniger Jahrzehnte.

Beide Vorgänge lassen vermuten, dass sich durch Sedimentation und Erosion eine Bühnenfeldtopographie bevorzugt einstellt, die den örtlich dominierenden hydraulischen Bedingungen entspricht. Allerdings weisen diese Bedingungen aufgrund der Abflussganglinie eine Bandbreite auf. Falls die Hypothese einer charakteristischen Topographie zutrifft, so wäre es bei einer geplanten Verjüngung von Bühnenfeldern durch Baggerungen ratsam, die Sedimententnahmen an örtlich vorliegenden bzw. historisch belegbaren Mustern auszurichten. Andernfalls wäre es denkbar, dass die anthropogene Änderung morphodynamisch stark überprägt wird, möglicherweise unter gravierender Sedimenteintragerung.

Im Unterschied zu den Uferrehnen und dem uferfernen Vorland (für das in Kapitel 5.2 Sedimentationsraten von unter 0,1 cm/Jahr bestimmt wurden) sind die Bühnenfelder bei einem größeren Abflussspektrum bis in den Niedrigwasserbereich in die Morphodynamik der Elbe einbezogen und meist nur teilweise bewachsen. Des-

halb finden dort in zeitlich und räumlich engem Wechsel Sedimentablagerung und -remobilisierung statt. Die Ursachen für die Differenzierung der Sedimentationsraten sind komplexer als in den anderen beschriebenen Ablagerungsräumen. Der generelle Trend zur Bühnenfeldverlandung kann durch hydrologische Besonderheiten verdeckt sein (z. B. Erosion seit 1997 in Bild 4) und zeichnet sich erst über Auswertungszeiträume von mehreren Jahrzehnten eindeutig ab (Bilder 5 und 7 in Kapitel 3.3).

Der Verkehrswasserbau nimmt beim Ausbau und Unterhalt von Bauwerken jedenfalls Einfluss auf die Morphologie des Uferstreifens. Die baulich veränderten Randbedingungen des Sedimenttransports rufen dabei eine erhebliche morphologische Anpassungsreaktion mit starkem Sedimenteintrag in den folgenden ca. 20 bis 40 Jahren hervor. Daran schließt sich eine langandauernde stark verringerte Sedimentation (vermutlich unter Beibehalt der topografischen Struktur) an, was sowohl für Uferrehnen als auch Bühnenfelder gefunden wurde.

Bezüglich der im Mittel 25 bis 30 m breiten Uferrehnen wurde festgestellt, dass sich hinter kurzen Buhneneinbauten Altuferrehnen fortentwickeln, während lange Bühnen – jedenfalls am Gleitufer – dazu führen, dass sich zum Gewässer versetzt neue (die Bühnen querende) Uferrehnen ausbilden (Kapitel 4.1). Diese Neuausformung von Rehnen nach dem Ausbau beginnt offenbar durch die Schüttung von Feststofftransportkörpern bei starken Hochwassern und setzt sich mit einer Anlagerung von Feinsediment in stark reduzierten Raten fort (Rückgang auf unter 6 % im Einzelfall bei Elbe-km 506,9).

Es ist anzunehmen, dass sich die Rehnen zur Höhe auf eine Stagnation hin entwickeln, aufgrund sukzessive verringerter Überflutung. In den letzten 50 bis 150 Jahren ergaben sich in den Musterstrecken 6 und 10 auf den Rehnen mittlere Sedimentationsraten von rund 0,6 cm/Jahr. Nach anthropogenen Bodenabträgen (Bild 9) erhöhte sich die Sedimentationsrate, da die Rehnen-sedimentation auf niedrigliegende Uferpartien bzw. auf die oberstromige Anbindung von Vorlandrinnen konzentriert ist (Kapitel 4.3). Mit diesem Effekt muss bei Uferrehnenabträgen zur Verbesserung der Durchgängigkeit zwischen Fluss und Aue gerechnet werden.

Der Rückgang der Sedimentationsraten mit zeitlichem Abstand von Ausbaumaßnahmen lässt sich auch für die

Buhnenfelder der Unteren Mittel-
elbe nachvollziehen. Im zentralen Bereich von sechs Feldern der Muster-
strecke 6 sank die Sedimentationsrate nach einer Buhnen-
vorstreckung im Jahr 1935 von 3,21 cm/a bis 1957 auf
0,38 cm/a bis 2006 und betrug damit im letzten Zeit-
raum nur noch 12 % der anfänglichen Rate (Bild 7 und
Kapitel 3.4). Da der Ausbau der Elbeufer seit über 70
Jahren weitgehend abgeschlossen ist, befinden wir uns
nach den hier vorgestellten Befunden mit der gegen-
wärtigen Buhnenfeldsedimentation in der Phase ver-
ringert abklingender Raten. Unter Einschluss anthropo-
gener Einwirkungen wurden an der Unteren Mittel-
elbe für die letzten rund 50 Jahre Sedimentationsraten von
0,6 bzw. 1,7 cm/Jahr ermittelt (Kapitel 3.2).

Abgeleitet von der Sedimenteintrahlung seit 1957 (Ta-
belle 2) ist in der Gegenwart im vorrangig untersuchten
Neutral- und Gleituferabschnitt der Musterstrecke 6 bei
Elbe-km 542 eine durchschnittliche Einlagerung von
unter 30 m³ pro Jahr und Buhnenfeld zu erwarten, je-
doch kein Stillstand der Buhnenfeldsedimentation. In
der Zukunft lässt die Uferschutzwirkung der Buhnen mit
dem Vorbau der Buhnenfeldverlandungskörper nach
und steilere Böschungen sind absehbar. Das begünstigt
Uferabbrüche und Umlagerungen, wodurch sich die
Buhnenfelder episodisch stärker verjüngen können, als
dies bei den Uferreihen der Fall ist.

Insbesondere im Bereich der Buhnenfelder liegt ein
nicht ohne weiteres identifizierbarer anthropogener An-
teil der langfristigen Sedimentationsrate wegen Verfüll-
ungen vor (siehe erhöhte (geklammerte) Werte in der
Tabelle 2 von Kapitel 3.5). Auf den Vorländern dominie-
ren stattdessen Bodenentnahmen zur Baustoffgewin-
nung oder neuerdings zur Rückgewinnung von Auen-
strukturen wie auch bei Lenzen.

Das Deichrückverlegungsprojekt (siehe Beitrag von
Schmidt in diesem Heft) zeigt unmissverständlich, dass
der Einfluss menschlicher Bodenbewegungen auf die
Auentopographie nicht vernachlässigbar ist. Unter Aus-
schluss anthropogen geprägter Messbereiche ergeben
sich in ausgewählten Buhnenfeldern der genannten
Musterstrecken etwa 40 % geringere, auf den Vorlän-
dern inklusive Uferreihen um 11 % höhere Sedimenta-
tionsraten.

8 Literatur *References*

Alexy, M. (2013): Numerische Modelluntersuchungen
zu den Auswirkungen der Deichrückverlegung Lenzen
und von geplanten Vorlandanpflanzungen. In: BAWMit-
teilungen Nr. 97, 2013, S. 73 – 98.

Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) (2004): Fest-
stofftransport und Flussbettentwicklung der Elbe, Be-
richt BfG-1431. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Kob-
lenz, 2004.

Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) (2008): Aus-
wertung digitaler Fernerkundungsaufnahmen des Elbe-
Wasserlaufes. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Kob-
lenz, 2008.

Faulhaber, P. (1998): Entwicklung der Wasserspie-
gel- und Sohlenhöhen in der deutschen Binnene-
lbe innerhalb der letzten 100 Jahre – Einhundert Jahre
„Elbestromwerk“. In: Tagungsband 8. Magdeburger Ge-
wässerschutzseminar (1998), S. 217 – 220.

Faulhaber, P. (2008): Ansatz zur Nutzung von Naturmess-
daten (Abstufung Fließgeschwindigkeit) zur hydrau-
lischen Wichtung veränderter Geometrie im Hochwas-
serabflussprofil. Unveröffentlicht, Karlsruhe, 2008.

Faulhaber, P. (2013): Charakteristik der Elbe zwischen
Havelmündung und Dömitz. In: BAWMitteilungen Nr. 97,
2013, S. 7 – 22.

Faulhaber, P. (2013): Zusammenschau und Analyse von
Naturmessdaten. In: BAWMitteilungen Nr. 97, 2013,
S. 109 – 134.

Faulhaber, P., Bleyel, B., Alexy, M. (2013): Übersicht der
hydraulisch-morphologischen Modelluntersuchungen
zwischen 1995 und 2010. In: BAWMitteilungen Nr. 97,
2013, S. 49 – 72.

Heise, S. et al. (2007): Bewertung der Risiken durch
feststoffgebundene Schadstoffe im Elbeeinzugsge-
biet. Im Auftrag der Flussgebietsgemeinschaft Elbe und
Hamburg Port Authority, erstellt vom Beratungszentrum
für integriertes Sedimentmanagement (BIS/TuTech) an
der TU Hamburg-Harburg, Hamburg, 2007.

Henning, M. & Hentschel, B. (2006): Morphodynamik in Bühnenfeldern – Naturuntersuchungen an der Elbe. Wasserbaukolloquium 2006: Strömungssimulation im Wasserbau. Dresdener Wasserbauliche Mitteilungen (2006) Heft 32.

Hentschel, B. (2011): Persönliche Mitteilungen zu Randbedingungen der Bühnenfeldverlandung. Karlsruhe, September 2011.

IKSE (2005): Die Elbe und ihr Einzugsgebiet. Ein geographisch-hydrologischer und wasserwirtschaftlicher Überblick. Internationale Kommission zum Schutz der Elbe (IKSE), Magdeburg, 2005.

Koenzen, U. (2005): Fluss- und Stromauen in Deutschland – Typologie und Leitbilder. Im Auftrag des Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg. Angewandte Landschaftsökologie, Heft 65, 2005.

Krüger, F.; Schwartz, R; Kunert, M. & Friese, K. (2006): Methods to calculate sedimentation rates of floodplain soils in the middle region of the Elbe River. In: Acta hydrochimica et hydrobiologica, 34 (3) (2006), S. 175 – 187.

Metschies, W. (1939): Der Ausbau der Elbe zum schiffbaren Strom. In: Die Bautechnik, 45 (1939), S. 577 – 582.

Montenegro, H. (2013): Untersuchung des Wirkungszusammenhangs zwischen Abflussdynamik und Grundwasser. In: BAWMitteilungen Nr. 97, 2013, S. 135 – 148.

Preußische Elbstrombauverwaltung (1902): Generelles Regulierungs-Projekt des Hochwasserbettes der Elbe vom 24. November 1902 – Erläuterungsbericht und überschlägliche Kostenberechnung, Magdeburg, 1902.

Projektgruppe „Erosionsstrecke Elbe“ (2009): Sohlstabilisierungskonzept für die Elbe von Mühlberg bis zur Saalemündung. Magdeburg, Dresden, Koblenz, Karlsruhe, 2009.

Przedwojski, B. (1995): Bed topography and local scour in rivers with banks protected by groynes. In: Journal of Hydraulic Research, 2, 1995, S. 257 – 273.

Puffahrt, O. (1996): Aus der Geschichte von Damnatz, Barnitz und Landsatz. Damnatz, 1996.

Rommel, J. (2000): Laufentwicklung der deutschen Elbe bis Geesthacht seit ca. 1600. Im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, 2000.

Rommel, J. (2003): Machbarkeitsstudie zur Quantifizierung hochwasserbeeinflussender Veränderungen im Vorland der freifließenden deutschen Elbe. Im Auftrag der Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, unveröffentlicht, 2003.

Rommel, J. (2005): Quantifizierung der Geländehöhen-Veränderungen im Vorland der freifließenden deutschen Elbe. Im Auftrag der Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, unveröffentlicht, 2005.

Rommel, J. (2008): Astonishing present – The 1902-project on flood regulation of the german Elbe. In: Tagungsband Magdeburger Gewässerschutzseminar 2008, S. 218.

Rommel, J. (2010): Aspekte der Ufer- und Vorlandhöhen-änderung entlang der freifließenden deutschen Elbe. Im Auftrag der Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, unveröffentlicht, 2010.

Schmidt, R. (2013): Die Deichrückverlegung Wustrow-Lenzen Planung, Umsetzung und Wirkungen aus Sicht des Bauherrn. In: BAWMitteilungen, Nr. 97, 2013, S. 37 – 48.

Schwartz, R., Kozerski, H.-P. (2004): Bestimmung des Gefahrenpotentials feinkörniger Bühnenfeldsedimente für die Wasser und Schwebstoffqualität der Elbe sowie den Stoffeintrag in Auen. In: Geller, W., Ockenfeld, K., Böhme, M., Knöchel, A. [Hrsg.] Schadstoffbelastung nach dem Elbe-Hochwasser 2002. Endbericht Ad-hoc-Verbundprojekt, Leipzig, 2004, S. 258 – 274.

Schwartz, R. et al. (2003): Schwebstoffrückhalt der unteren Mittel-elbe in Fluss und Aue. In: Mitteilungen der deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 2003, S. 25 – 26.

Sukhodolov, A., Uijtewaal, W. S. J., Engelhardt, C. (2002): On the correspondence between morphological and hydrodynamical pattern a groyne field. In: Earth Surface Processes and Landforms, 2002, S. 289 – 305.

Wirtz, C. (2004): Hydromorphologische und morphodynamische Analyse von Bühnenfeldern der unteren Mittel-elbe im Hinblick auf eine ökologische Gewässerunterhaltung. Dissertation Freie Universität Berlin, 2004.

Historische Aspekte der wasserbaulichen Prägung des Abschnittes um Lenzen

Historical Aspects of Hydraulic Engineering Measures in the Lenzen Section

Dipl.-Ing. (FH) Roland Schneider, Wasser- und Schifffahrtsamt Magdeburg

Die heutige Kulturlandschaft wurde durch den Menschen über eine lange Zeit gestaltet. Die deutsche Mittelelbe ist grundlegend durch den Wasserbau im 19. / Anfang 20. Jahrhundert geprägt. Für den Elbeabschnitt zwischen Havelmündung und Gorleben, in dem die Deichrückverlegung Lenzen ausgeführt wurde, werden im Folgenden wesentliche wasserbauliche Maßnahmen im Mittelwasserbett hinsichtlich Planungszielen, Bauausführung und Wirkungen auf die Strömung und den Geschiebetransport erläutert. Hierbei werden schwerpunktmäßig Beispiele im Streckenbereich ober- und unterhalb der Stromkrümme am „Bösen Ort“, der sich innerhalb des Abschnitts der Deichrückverlegung Lenzen befindet, betrachtet. Da der Fluss auf wasserbauliche Maßnahmen nur langsam reagiert, ist das Wissen um die Ziele und die Art von Umgestaltungen der Flusslandschaft in der Vergangenheit wichtig, um heute Prozesse und Probleme zu verstehen. Für die aktuelle Entscheidung hinsichtlich von Maßnahmen sind die Kenntnisse vergangener Entwicklungen unerlässlich.

The modern-day cultural landscape has been shaped by human intervention over a long period of time. The German Middle Elbe was fundamentally influenced by hydraulic engineering measures in the 19th and early 20th centuries. The planning objectives, construction methods, and repercussions for the current as well as for sediment transport of the principal hydraulic engineering measures in the main channel are described in the following for the section of the Elbe between the mouth of the Havel and Gorleben, including the Lenzen dike relocation. Particular consideration is given to examples in the reaches upstream and downstream of the bend in the river at „Böser Ort“, which is situated in the same part of the river as the Lenzen dike relocation. Since the Elbe only reacts slowly to hydraulic engineering measures, an awareness of how the river

landscape has been restructured in the past and why is essential in order to understand the processes and problems of the present. A knowledge of its historical evolution constitutes a crucial basis for decisions regarding future measures.

1 Einleitung *Introduction*

In diesem Beitrag wird der Prozess der wasserbaulichen Fixierung des Mittelwasserbettes in der zweiten Hälfte des neunzehnten Jahrhunderts beschrieben und mit ausgewählten Fallbeispielen inhaltlich untersetzt. Diese Fallbeispiele beziehen sich auf den Streckenabschnitt zwischen der alten Havelmündung bei El-km 431,3 und Gorleben bei El-km 493,0. Hierbei wird unter Berücksichtigung der Deichrückverlegung Lenzen der Streckenbereich ober- und unterhalb der Stromkrümme am „Bösen Ort“ schwerpunktmäßig betrachtet. Der Streckenbereich zwischen der alten Havelmündung und Gorleben ist in besonderem Maße dafür geeignet, die wasserbaulichen Zusammenhänge im Verlauf der Mittelwasserregelung zu erklären. Dies hängt vor allem damit zusammen, dass in diesem Streckenbereich der Mittelelbe die höchste Variantenvielfalt an Regelungsbauelementen vorhanden ist (vergl. Bild 5).

In verschiedenen historischen Publikationen wurde wiederholt auf die sogenannten „wandernden Sänder“ (Klaus, 1949; Arp und Hirsch, 1935; Arp, 1930) und die daraus resultierende, teilweise instabile und stark veränderliche Lage des Talweges hingewiesen.

Die grundsätzlichen Veränderungen im Gewässerbett zwischen nicht ausgebauter Elbe, Mittelwasser- und Niedrigwasserausbau zeigt Bild 1.

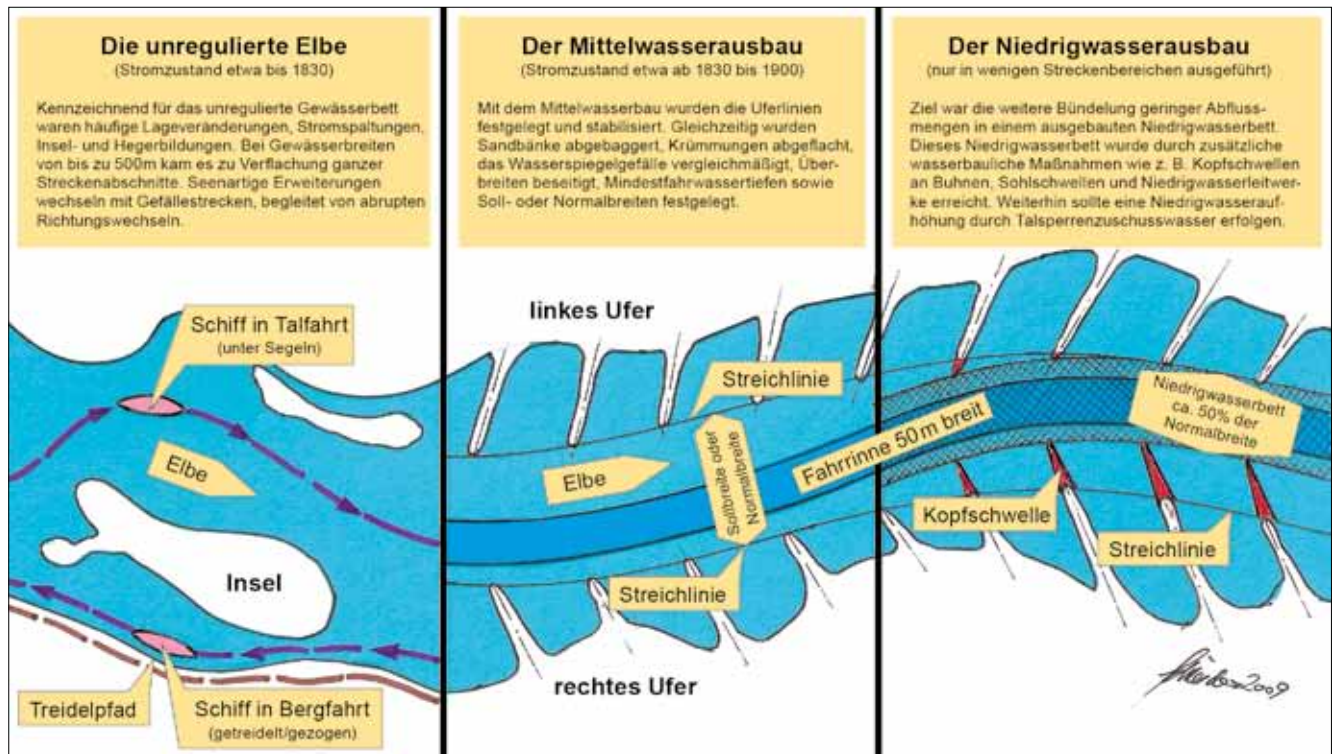


Bild 1: Unterschiedliche Ausbauzustände – schematisch
 Figure 1: Diagrammatic comparison of development statuses

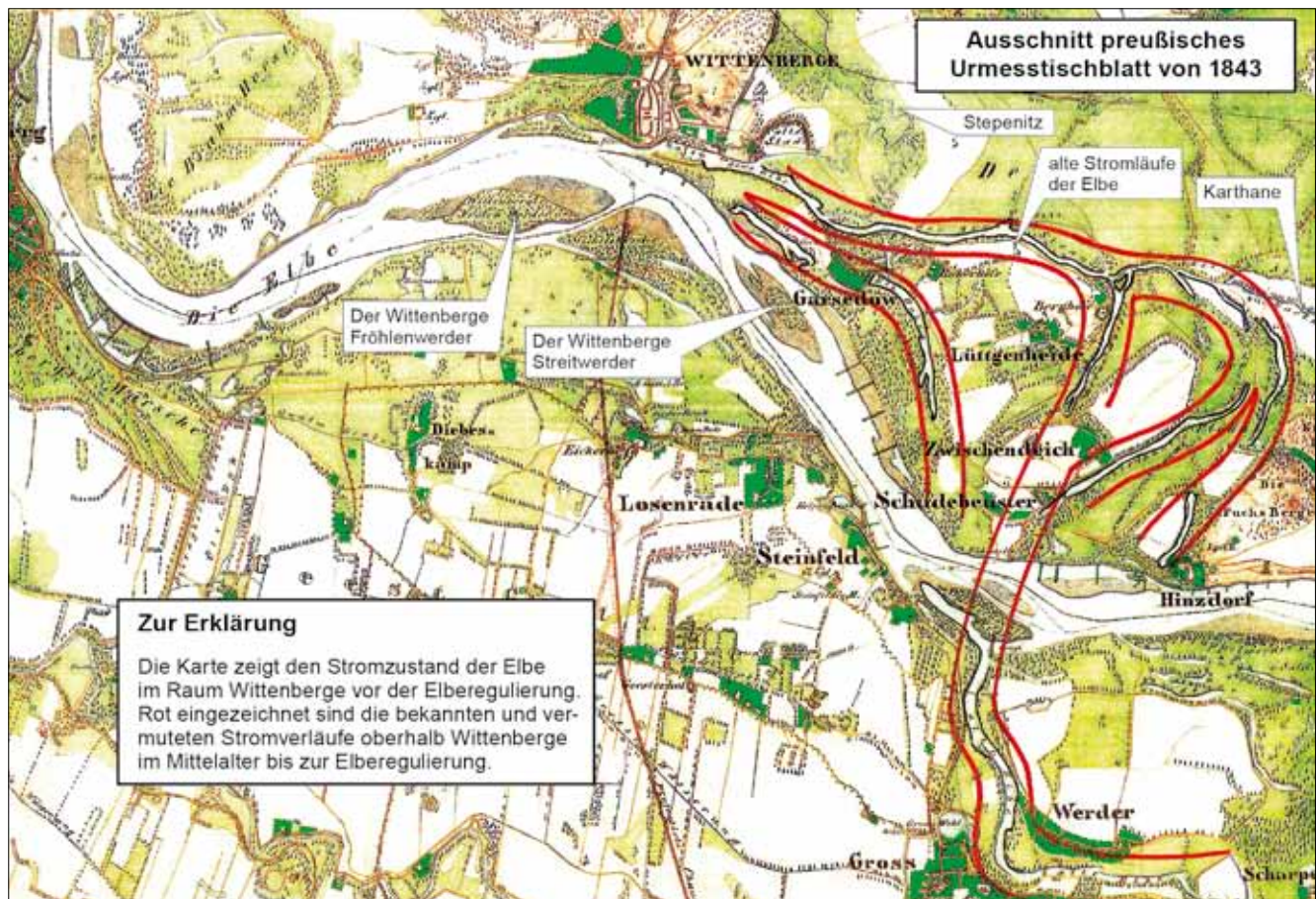


Bild 2: Preußisches Urmesstischblatt von 1843 (Quelle: Staatsbibliothek zu Berlin – Preußischer Kulturbesitz / bearbeitet von Schneider/Schatton)
 Figure 2: Original Prussian plane table map dated 1843 (source: Potsdam City and State Library / edited by Schneider/Schatton)

Die Karte in Bild 2 zeigt den Stromzustand der Elbe in einem Streckenabschnitt bei Wittenberge in einem noch nahezu unregelmäßigen Zustand. Nur an wenigen Stellen oberhalb des Streitwerders sind erste Bühnen erkennbar. Auf der rechten Bildseite rot markiert sind frühere bekannte oder vermutete Elbverläufe.

Hier ist erkennbar, dass sich die Dörfer Garsedow, Zwischendeich und Schadebeuster zumindest zeitweise linkselbisch befunden haben. Erst etwa ab 1850 werden die Ufer umfassend so gestaltet, dass das Gewässerbett dauerhaft in seiner Linienführung festliegt. Der oberhalb von Wittenberge gelegene Streitwerder, eine Insel mitten im Strom, wird im Verlauf des Elbeausbaus zur Halbinsel und verschwindet später gänzlich. Der Wittenberger Fröhlenwerder, damals ebenfalls eine Insel, ist heute linkselbisch. Die Beseitigung der starken Veränderlichkeit der Elbläufe hat das Wirtschaftsleben vereinfacht. Die ökologisch wertvolle Dynamik wurde jedoch durch die Festlegung der Elbufer vermindert.

2 Der Mittelwasserausbau *Extension of the main channel*

Die Hauptphase der „Mittelwasserregulierung“ ist in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts einzuordnen, wobei ca. 70% aller Bühnen, also der weitaus überwiegende Teil aller Bauwerke, im Zeitraum von 1860 bis 1890 errichtet wurde. Die Landvermesser und Zeichner historischer Stromkarten vermerkten in der Regel das Baujahr der Bühnen auf den Stromkarten.

Die frühesten Eintragungen zeigen die Jahreszahl 1828, zumindest für den Bereich der Prignitz. Aus historischen Überlieferungen geht hervor, dass Bühnen oder bühnenartige Bauwerke (Stackwerke) schon deutlich früher errichtet wurden, jedoch dienten sie eher der Landsicherung oder -gewinnung. Etwa ab 1850 waren infolge der allgemeinen Industrialisierung und Technisierung in Deutschland Erkenntnisse auf dem Gebiet der Hydrologie und Hydromechanik soweit verfügbar, dass sie bewusst für die Stromregelung in Anwendung gebracht werden konnten.

Der historische Kartenausschnitt in Bild 3 zeigt eine Rechts- und eine anschließende Linkskrümmung im sog. Rühstädter Bogen. Die Doppelkrümmung war für diesen relativ frühen Zeitraum um 1843, im Vergleich mit ande-

ren Streckenabschnitten, schon sehr gut befestigt. Die starke hydromechanische Beanspruchung, vor allem der einbuchtenden Ufer (Prallhang), war ganz offensichtlich der Grund für eine zielstrebige Fixierung des Gewässerbettes. Weiterhin wollte man ein Mäandrieren des Stromes an dieser Stelle nachhaltig unterdrücken. Dies geschah auch zum Schutz gegen Landverlust und diente damit dem Eigentumserhalt der Landwirte.

Der unmittelbare Bereich des Krümmungswechsels am Uhlenkrug war und ist noch immer ein Schwachpunkt für die Bildung von Eisversetzungen. Ungünstige Sedimentablagerungen (Mittelsänder) an dieser Stelle waren in der Vergangenheit oft der Ausgang für Eisversetzungen. Der rote Punkt (Uhlenkrug) bezeichnet die Lage einer ehemaligen Treidlerstation. Zum überwiegenden Teil verlief der ca 1,5 m breite Treidlerpfad (Leinpfad) am linken Ufer.

Beim direkten Vergleich der beiden Stromzustände im Bereich Lenzen (1855 bis 1900, Bild 4) offenbart sich die ganze Komplexität und Tragweite der Gewässerbett umgestaltenden, wasserbaulichen Eingriffe.



Bild 3: Preußisches Urmesstischblatt von 1843 – Streckenbereich Gnevsdorf und Hinzdorf (etwa El-km 438 bis 450) (Quelle: Staatsbibliothek zu Berlin – Preußischer Kulturbesitz / bearbeitet von Schneider)

Figure 3: Prussian plane table map dated 1843 – reach between Gnevsdorf and Hinzdorf (roughly Elbe kilometers 438 to 450) (source: Potsdam City and State Library / edited by Schneider)

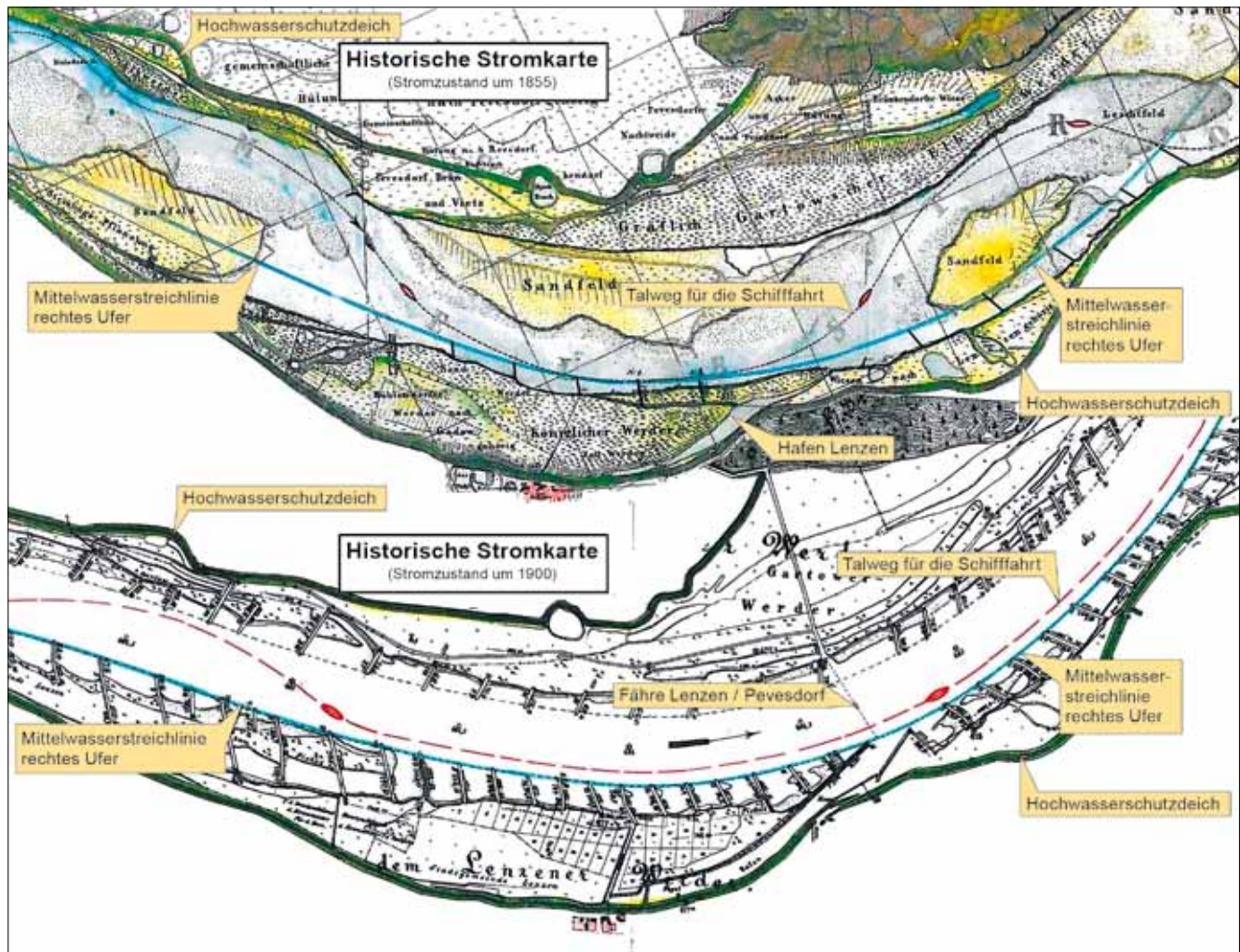


Bild 4: Stromabschnitt bei Lenzen vor und nach der Elberegelung (Quelle: WSA Magdeburg / bearbeitet von Schneider)
 Figure 4: Reach near Lenzen before and after regulation of the Elbe (source: Waterways and Shipping Office Magdeburg / edited by Schneider)

Als maßgebendes Kriterium zur Bewertung des Ausbauszustandes gilt die Soll- oder Normalbreite, auch Streichlinienbreite, wobei hier noch zwischen der Mittelwasser- und der Niedrigwasserstreichlinienbreite zu unterscheiden ist. Theoretisch gäbe es sogar noch eine dritte Form, nämlich die der Hochwasserstreichlinienbreite. Betrachtet man die vorhandenen Streichlinienbreiten bei Mittelwasser zwischen der alten Havelmündung und Gorleben, dann weist zum Beispiel ein ca. 17 km langer Streckenabschnitt unterhalb Wahrenberg bis unterhalb der Stromkrümme am „Bösen Ort“ (El-km 461,3 bis 478,5) örtlich begrenzte Streichlinienüberbreiten von bis zu 25 m auf. Hinzu kommt, dass häufig die Zwischenbuhnen (a-Buhnen) fehlen, sodass zumindest partiell eher die Merkmale eines unverdichteten, lückenhaften Mittelwasserausbaues vorliegen. Die Zwischenbuhnen wurden nach der abgeschlossenen Grundfixierung des Mittelwasserbettes zeitver-

setzt, etwa 20 bis 30 Jahre später, im Zuge der weiteren Verdichtung des Mittelwasserausbaues errichtet. Unter Zugrundelegung früherer Ausbauentwürfe ergibt sich für den Streckenabschnitt El-km 422,8 bis 502,2 ein Fehlbestand von 103 Zwischenbuhnen. Dies würde einer Quote von etwa 8 % entsprechen. Problematisch für die Stabilität der Fahrrinne wird es immer dann, wenn eine Kombination von Überbreiten und fehlenden Zwischenbuhnen auftritt. Die dadurch entstehenden lokalen Aufweitungen des Abflussquerschnittes führen fast immer zu unerwünschten Geschiebeablagerungen und damit zur Verminderung der möglichen Abladetiefen für die Schifffahrt.

Dass es gerade in diesem Streckenabschnitt zu einer doch erheblichen Häufung von Ausbaurückständen gekommen ist, hat mehrere Ursachen. Zum einen ist der ausbaurelevante Wasserbau ab 1939 fast vollstän-

dig zum Erliegen gekommen, was hier insofern problematisch war, als der Ausbau nicht so weit fertig gestellt war, wie in den Elbeabschnitten oberhalb der Havelmündung. Zum anderen sind nach Kriegsende durch die schwache Wirtschaftskraft der DDR und die Hemmnisse der innerdeutschen Grenz-elbe Ausbauziele nicht mehr konsequent verfolgt worden. Ab 1990 waren die politischen Rahmenbedingungen für eine weitere Verdichtung der Regelungsbaugeräte nicht mehr gegeben.

Bild 5 stellt beispielhaft eine Auswahl der wasserbaulichen Werkzeuge der Stromregelung dar, so wie sie in Kombinationen oder in Mischformen von Quer- und Längsbaugeräten (das klassische Parallelwerk und Deckwerk fehlen in Bild 5) vor allem im Bereich der

unteren Mittel-elbe zur Ausführung gekommen sind. Zusätzlich sind verschiedene Schwellenarten (Regelungsbaugeräte im Bereich der Flusssohle) zu erwähnen.

Kopfschwellen (siehe Bild 21) sind Werkzeuge der Niedrigwasserregelung und wurden nur in einem etwa 3 km langen Streckenabschnitt unterhalb Lenzen im Jahr 1937 realisiert. Grundswellen sind Bestandteil früherer Planungsunterlagen zum Verbau von Übertiefen im Bereich scharfer Stromkrümmen, in der Regel im Zusammenhang mit Deckwerken. Im Streckenbereich El-km 422,8 bis 502,2 ist eine Errichtung von Grundswellen jedoch nicht nachweisbar. Selbst hoch auflösende Flächenechogramme geben keinen Hinweis auf eventuell vorhandene Reststrukturen. Dies ist insofern bemerkenswert, weil einem Bericht

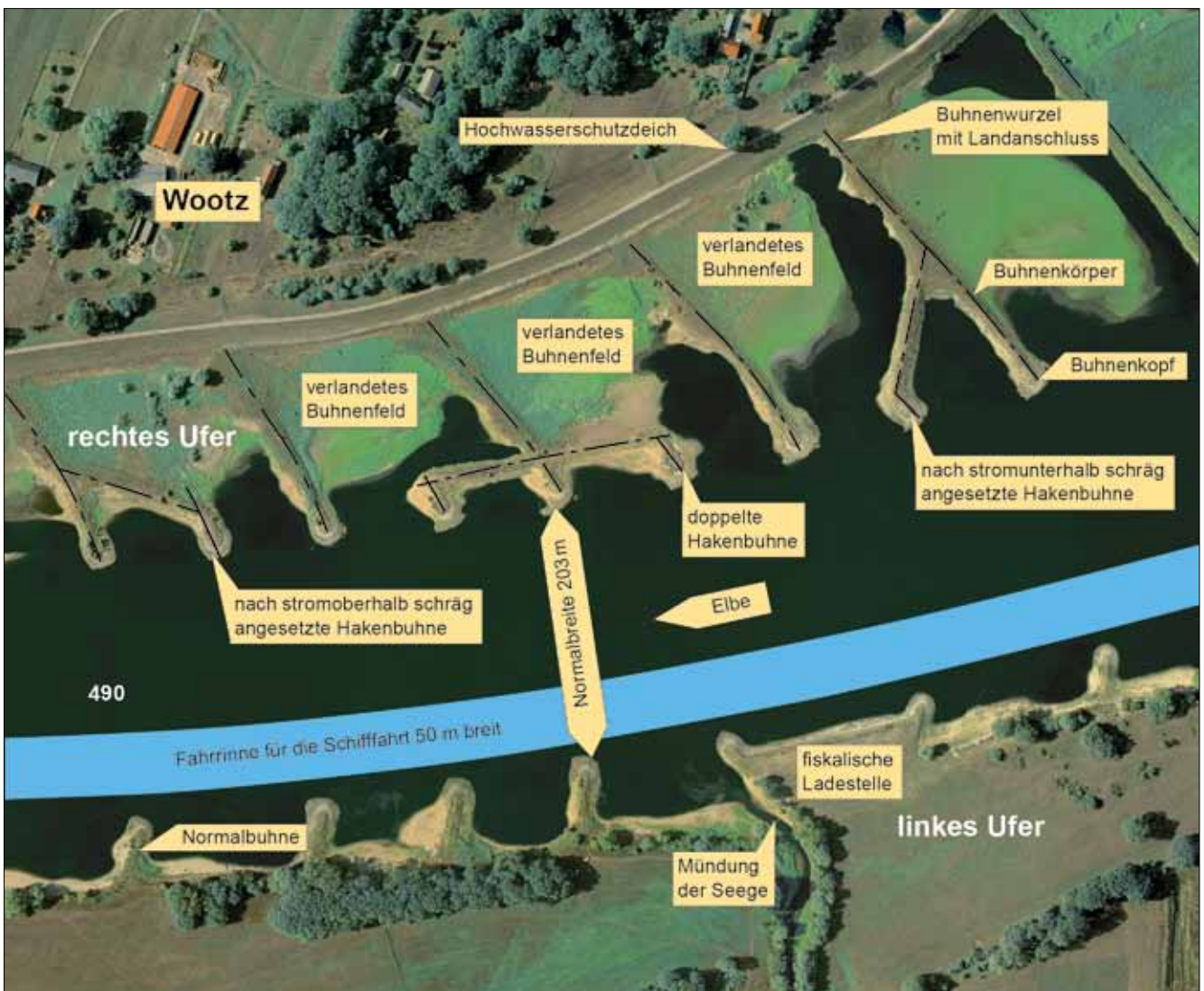


Bild 5: Unterschiedliche Buhnenformen bei Wootz / Luftbild (Quelle: WSA Magdeburg / bearbeitet von Schneider)
 Figure 5: Various types of groyne near Wootz / aerial photograph (source: Waterways and Shipping Office Magdeburg / edited by Schneider)

der Elbstrombauverwaltung aus dem Jahr 1895/96 konkrete Hinweise zur Errichtung von Grundschwellen zu entnehmen sind.

Wenn beim Ausbau die Errichtung sehr langer Buhnen notwendig wurde, hat man aus Gründen der Wirtschaftlichkeit versucht, die Anzahl der Uferanbindpunkte zu reduzieren. Hieraus entstanden Sonderbauformen wie einfache oder doppelte Hakenbuhnen (Bild 5). Das Luftbild von einem Streckenabschnitt bei Wootz (El-km 490) zeigt sehr anschaulich unterschiedliche Ausführungsformen von Hakenbuhnen.

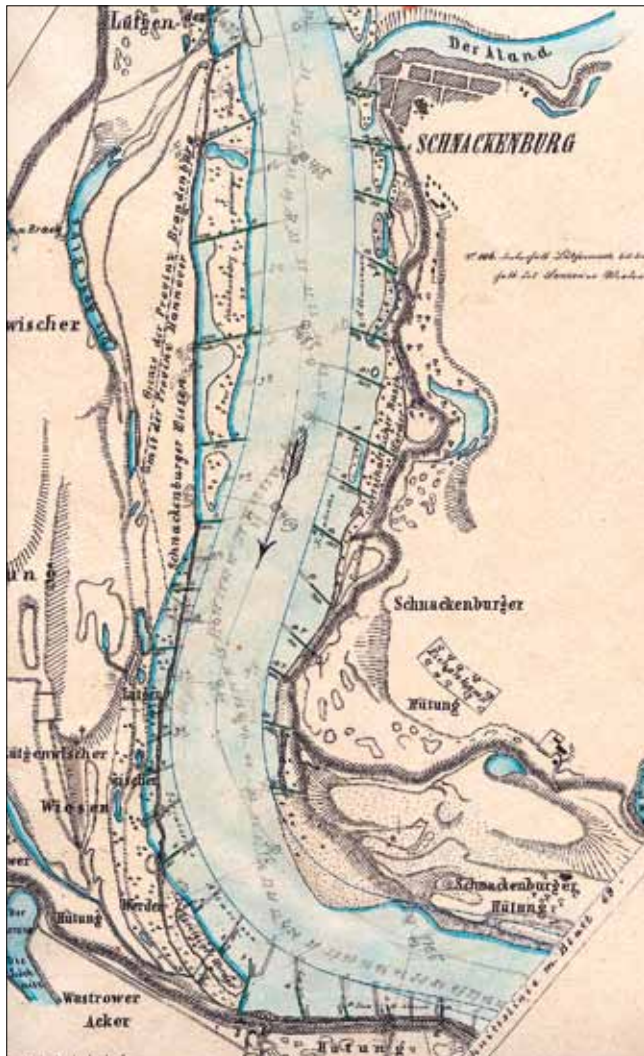


Bild 6: Historischer Handatlas ehem. Wasserbauinspektion Lenzen (Quelle: WSA Magdeburg)

Figure 6: Historical hand atlas published by the former Water Inspection office in Lenzen (source: Waterways and Shipping Office Magdeburg)

Bild 6 zeigt einen Ausschnitt aus einem Stromkartenhandatlas der ehemaligen Wasserbauinspektion Lenzen. Es ist ein etwa drei Kilometer langer Elbeabschnitt von Schnackenburg bis zum Ausgang der Stromkrümme am „Bösen Ort“. Die Karte stellt etwa den Stromzustand von 1870 dar.

Die mit Bleistift handschriftlich geführten Einträge zeigen die Ergebnisse einer Stockpeilung (Peilstiche) bei der Suche nach einem günstigen Fahrrinnenverlauf (Talweg). Die eingezeichneten Zwischenbuhnen und Buhnavorstreckungen deuten auf einen geplanten Sollausbauzustand hin. Die Streichlinienbreite liegt bei diesem Entwurf etwa bei 245 m.

Bis etwa 1890 wird eine weitere Einschränkung der Streichlinienbreite unterhalb der Alandmündung auf 203 m erfolgen. Oberhalb der Alandmündung wird sie auf 196 m festgelegt werden. Die Art und Weise der Einträge, sowie die kartierten Mittelwasserstreichlinien, lassen die Vermutung zu, dass sie von Wasserbaumeister Alexander Wilberg (Salomon) ausgeführt wurden. Alexander Wilberg war von 1861 bis 1871 Wasserbaumeister in Lenzen und hat maßgeblich den Elbeausbau in diesem Zeitraum organisiert. Insgesamt wurde in diesem Streckenabschnitt der Mittelwasserausbau nicht konsequent zu Ende geführt. Speziell am Ausgang der Stromkrümme bei El-km 478 bestehen nach wie vor partielle Streichlinienüberbreiten.

Der Vergleich der linken und rechten Seite von Bild 7 verdeutlicht sehr anschaulich 40 Jahre Wasserbaugeschichte (1866 bis 1906). Es handelt sich um einen etwa zwei Kilometer langen Elbeabschnitt von Schnackenburg bis zum oberen Eingang in die Stromkrümme am „Bösen Ort“. Die stärksten wasserbaulichen Aktivitäten zur Fixierung des Gewässerbettes sind hier zwischen 1860 und 1890 zu verzeichnen. Der Baufortschritt in diesen 30 Jahren war so groß, dass die Darstellungen in den historischen Karten oftmals den realen örtlichen Verhältnissen zeitlich hinterherhinken.



Bild 7: Historischer Stromkartenausschnitt bei Schnackenburg (ca. El-km 475) von 1866 (links) bzw. 1906 (rechts) (Quelle: WSA Magdeburg) / bearbeitet von Schneider)

Figure 7: Section of a historical river map at Schnackenburg (roughly Elbe kilometer 475) dated 1866 (left) resp. dated 1906 (right) (source: Waterways and Shipping Office Magdeburg / edited by Schneider)

3 Bauweisen Construction methods

Buhnen wurden an der Elbe als Mittelwasserbauwerke erstellt. Das bedeutet, dass die Buhnenköpfe in Höhe des langjährigen Mittelwassers ausgeführt wurden. Die mittlere Bauhöhe der Buhnen von der Gewässersohle bis zur Bauwerksoberkante beträgt etwa 3 m. Am Prallhang (in der Grube) wurden bei Übertiefen aber Bauhöhen von bis zu 6 m erreicht. Im 79,4 km langen Streckenabschnitt der E 8 zwischen Havelberg und Dömitz (El-km 428,2 bis 502,2) befinden sich 1.247 Buhnen mit einer mittleren, hydraulisch noch wirksamen Bauwerkslänge von 64,7 m. Die wirksame Buhnenlänge ist mit der wasserbaulich zu unterhaltenden Länge des Buhnenkörpers identisch. Die ursprünglichen Bauwerkslängen der Buhnenkörper (auch Bauwerkssolllänge) bis zum Buhnenwurzelstein waren natürlich im Errichtungsstadium deutlich größer. Buhnenkörperlängen von mehr als 250 m waren durchaus keine Seltenheit. Würde man alle wirksamen Buhnenkörper im Streckenbereich der E 8 hintereinander aufreihen, ergäbe sich eine Gesamtlänge von 80,6 km (1.247 Buhnen x 64,7 m). Die verlandeten Buhnenkörper im Elbevorland sind als Reststrukturen teilweise nur mit geschultem Auge oder in hochauflösenden Luftbildern auszumachen.

63% der Buhnen in diesem Streckenbereich haben auch heute noch ihre ursprünglichen, in Sandstein oder Granit gepflasterten Buhnenköpfe (Bild 8). Diese tradi-

tionelle Befestigungsart ist besonders widerstandsfähig gegen Eisschurf und Eisschub. Das Großpflaster aus Sandstein oder Granit wurde in der Art einer Gewölbedecke von unten nach oben zusammengefügt, sodass sich durch das Eigengewicht eine Grundspannung im Pflasterverbund aufbaut. Das Alter der gepflasterten

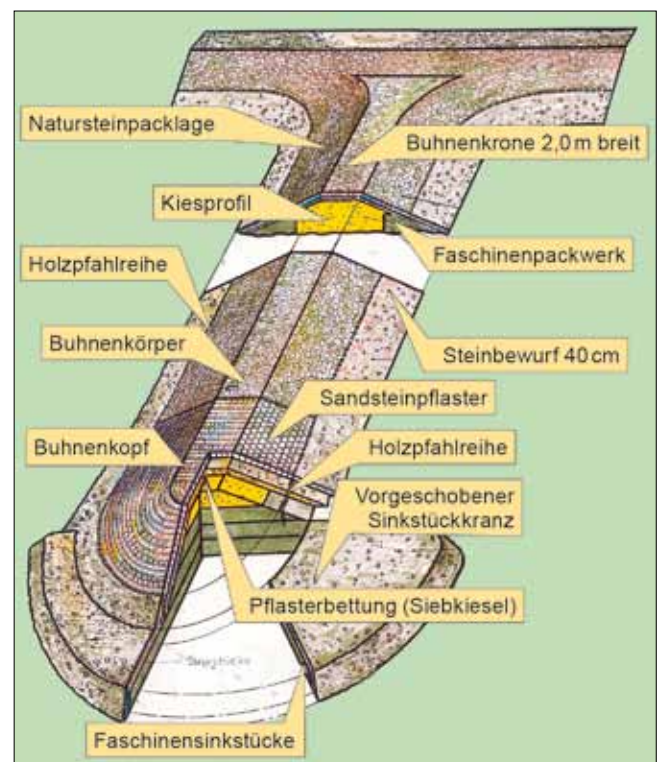


Bild 8: Traditionell gepflasterter Buhnenkopf
Figure 8: Traditional paved groyne head



Bild 9: Die historische Faschinensinkstück- und Packwerksbauweise
Figure 9: *Ballasted fascine mat and revetment methods formerly uses*

Buhnenköpfe beträgt bis zu 150 Jahre. Sie haben die geometrische Form eines Ellipsoidenstumpfes. Die Pflasterfugen übernehmen auch eine Filterfunktion und durch sie erfolgt der Druckaustausch bei rasch steigenden oder fallenden Wasserständen. Bei Instandsetzungen werden die Fugen deshalb vorzugsweise mit Kies der Körnung 8/16 mm ausgefüllt.

Schätzungsweise 80% aller Buhnen an der Mittelelbe sind in Faschinensinkstück- und Packwerksbauweise errichtet (Bild 9). Sie stellt für den Zeitraum der Mittelwasserregelung (etwa 1830 bis 1900) die Standardbauweise dar. Wie schon der Name beschreibt, waren Faschinensinkstücke und -packwerk die Hauptbaustoffe

und bildeten das Fundament und Rückgrat der Buhne. Sie waren in der technologischen Reihenfolge beim Bauablauf auch die ersten Baustoffe, die in das Bauwerk eingebracht wurden.

Die Sinkstücke hatten die Abmessungen von etwa 8,0 x 6,0 x 1,5 m. Bei der Herstellung der Sinkstücke gab es zwei Varianten. Eine Herstellungsform war die Vorfertigung an zentraler Stelle an Land (vgl. Bild 10), die andere war die schwebende Herstellung direkt über der Einbaustelle. In beiden Fällen wurden die Sinkstücke durch Steinwurf zum Absinken gebracht. Manchmal wurden in Anpassung an die örtlichen Verhältnisse auch beide Herstellungsformen kombiniert.



Bild 10: Arbeitsprozess der Sinkstückvorfertigung an Land
Figure 10: *Pre-fabrication of the fascine mats on land*

Bild 11 stellt einen kurzen Streckenabschnitt oberhalb Wittenberge im Stromzustand um 1900 dar. Dieser Bereich ist deshalb erwähnenswert, weil hier erhebliche Veränderungen des Stromverlaufes besonders deutlich nachvollziehbar werden (vgl. hierzu auch Bild 2 im Zustand von 1843). Die Strukturen des früheren Verlaufes sind am linken Ufer durch die sog. „Alte Elbe“ und am rechten Ufer durch weitere Restwasserflächen erkennbar. Im Zeitraum von 2007 bis 2009 wurden hier vier sog. Totholzbuhnen (Bilder 12 und 13) errichtet, jeweils zwei am rechten und linken Ufer. Mit der Errichtung der Totholzbuhnen erfolgte ein zielgerichteter Lückenschluss im Regelungssystem. Bis zu diesem Zeitpunkt bestanden hier erhebliche navigatorische Probleme für die Schifffahrt durch einen sog. „falschen Übergang“ mit einhergehender Minderung der Fahrrinntiefe. Die fehlenden Buhnen (auch a-Buhnen) führten hier zu einer lokal begrenzten Aufweitung im Abflussquerschnitt und in dessen Folge zu unerwünschten Geschiebelagerungen in der Fahrrinne. Mit der Fertigstellung der vier

Totholzbuhnen konnte die Schwachstelle im Fahrrinnenverlauf erfolgreich und dauerhaft beseitigt werden. Das als Experimentalbau und Pilotmaßnahme initiierte Projekt wurde fachlich durch die Bundesanstalten für Wasserbau (BAW) und Gewässerkunde (BfG) begleitet. Verschiedene Einrichtungen führen von Beginn bis in die Gegenwart Untersuchungen sowie faunistische und floristische Bestanderhebungen am Objekt durch.

Mit der Errichtung der vier Totholzbuhnen wurde zugleich bewiesen, dass sich mit Mitteln eines sanften, ökologisch ausgerichteten Wasserbaues äquivalente hydraulische Effekte erzielen lassen. Die leichte Durchlässigkeit und Hinterläufigkeit der Bauwerke führt nur zu einer geringen Einbuße an Regelungswirkung. Das Projekt Totholzbuhne wurde insgesamt von dem Leitgedanken getragen, dass Totholz zur Naturausstattung der Elbe gehört und somit einen Baustoff darstellt, der von der Natur selbst hergestellt und geliefert wird.

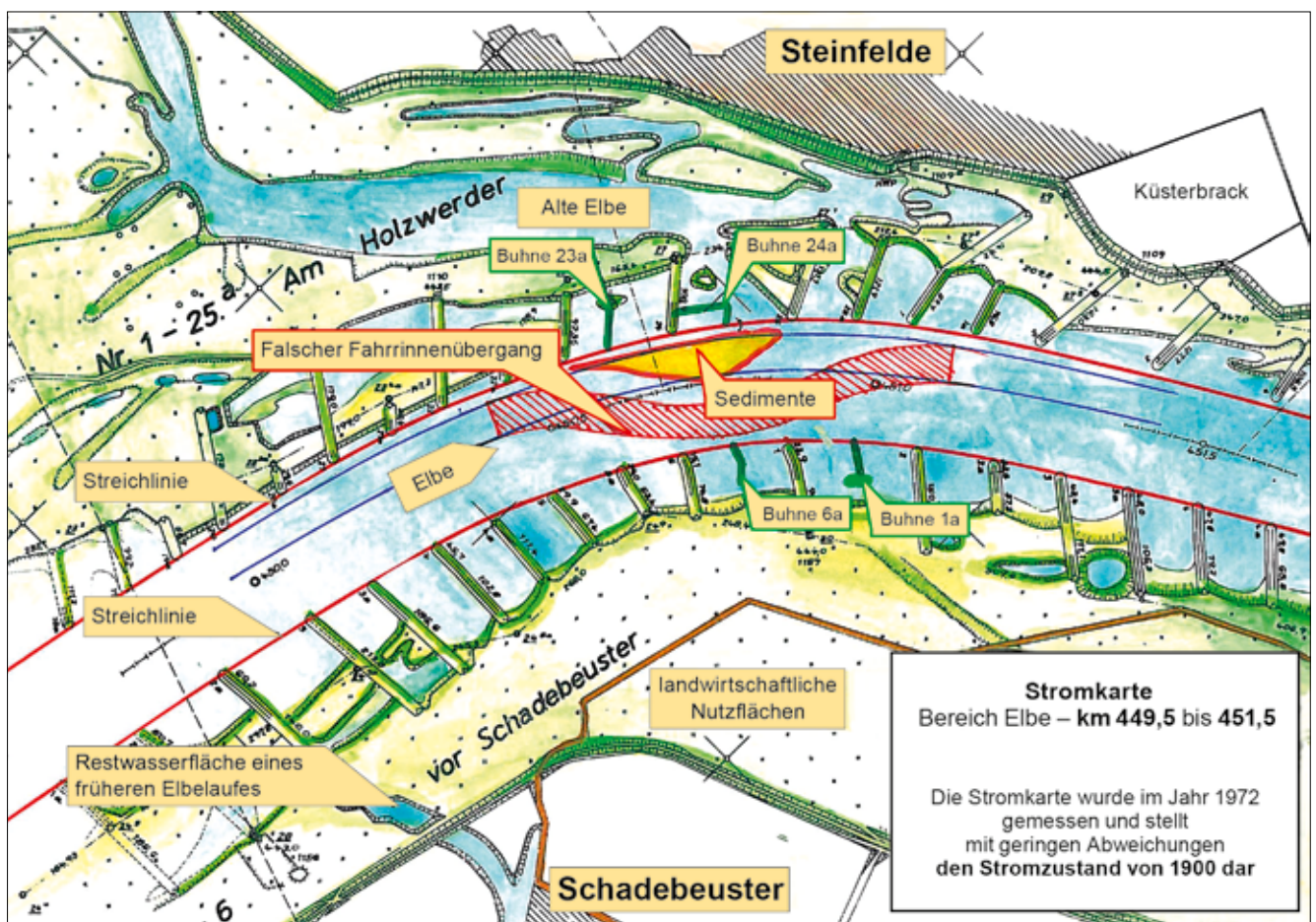


Bild 11: Elbe bei Steinfelde – Stromzustand um 1900 (Quelle: WSA Magdeburg, bearbeitet durch Schneider)

Figure 11: The Elbe near Steinfelde – river status around 1900 (source: Waterways and Shipping Office Magdeburg / edited by Schneider)

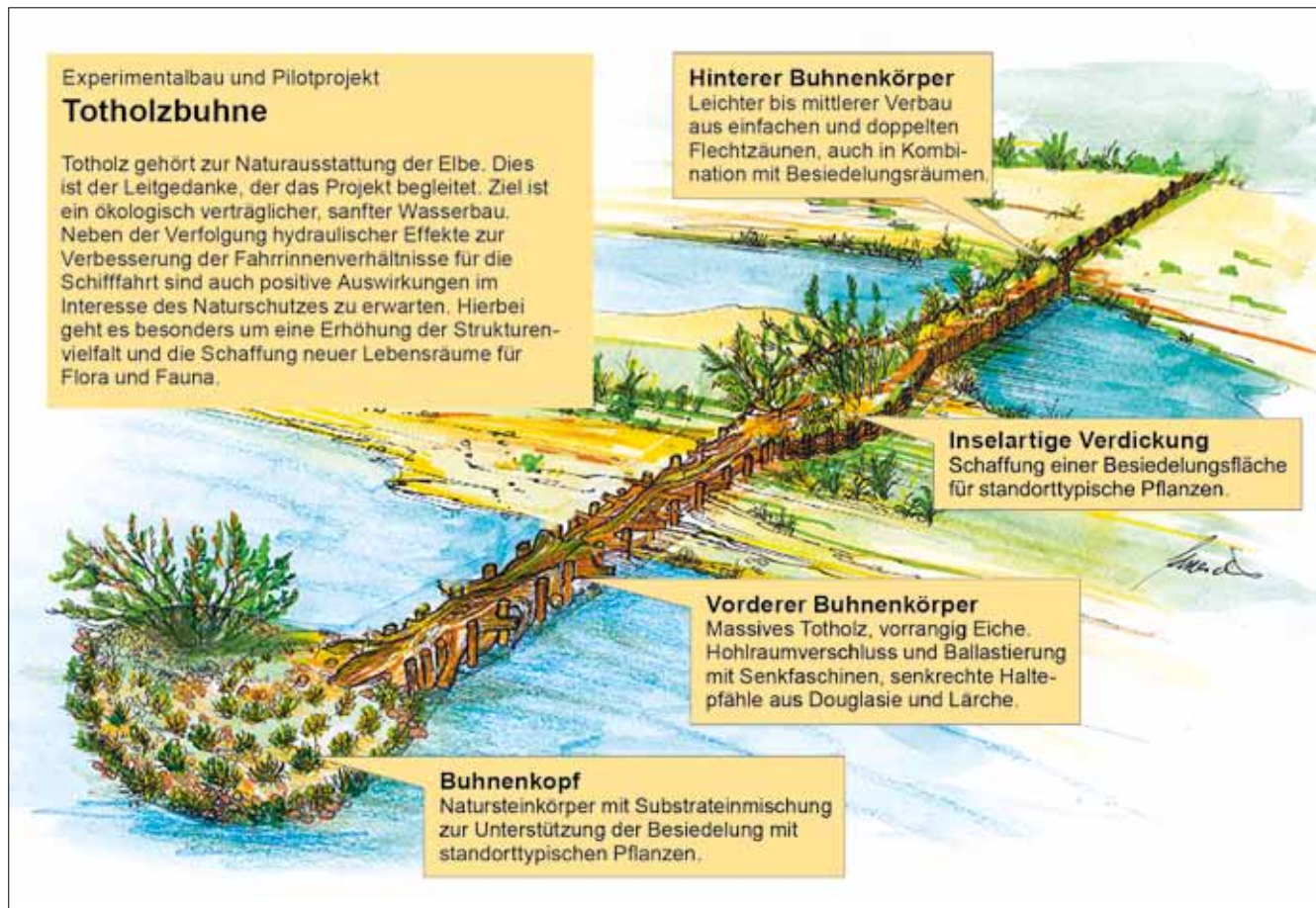


Bild 12: Experimentalbau und Pilotprojekt Totholzbuhne
Figure 12: Experimental structure and pilot project involving a groyne made from decayed wood



Bild 13: Bühne 23a El-km 450,55 linkes Ufer / 2009
Figure 13: Groyne 23a, Elbe kilometer 450.55, left bank / aerial photograph dated 2009

Auch bei der Unterhaltung bestehender Buhnen werden zunehmend ökologische Anforderungen berücksichtigt. Die Zeichnung in Bild 14 zeigt in einem Halbschnitt die Zustände vor und nach der Instandsetzung. Grundlage bildet hierbei das Minimierungsgebot für die wasserbaulichen Eingriffe und Handlungen. Der weitgehende Erhalt der traditionellen Buhnenkopfpflasterungen aus Sandstein bis hin zu einer schonenden Uferanbindung, falls diese überhaupt nötig wird, ist allgemeine Praxis bei der Regel-

unterhaltung der Bauwerke. Fallweise wurden auch unter Berücksichtigung verschiedener Randbedingungen ehemalige Buhnendurchrisse zu Flutmulden mit begrenztem Durchflussquerschnitt umfunktioniert. Hierdurch soll die Strömungsvarianz in den Buhnenfeldern erhöht werden. Die Instandsetzungen erfolgen vom Wasser aus, sodass die sensiblen Uferbereiche nicht durch Baufahrzeuge geschädigt werden. Teilweise werden die Steinabdeckungen überkiest, um eine schnellere Begrünung der Buhnenkör-

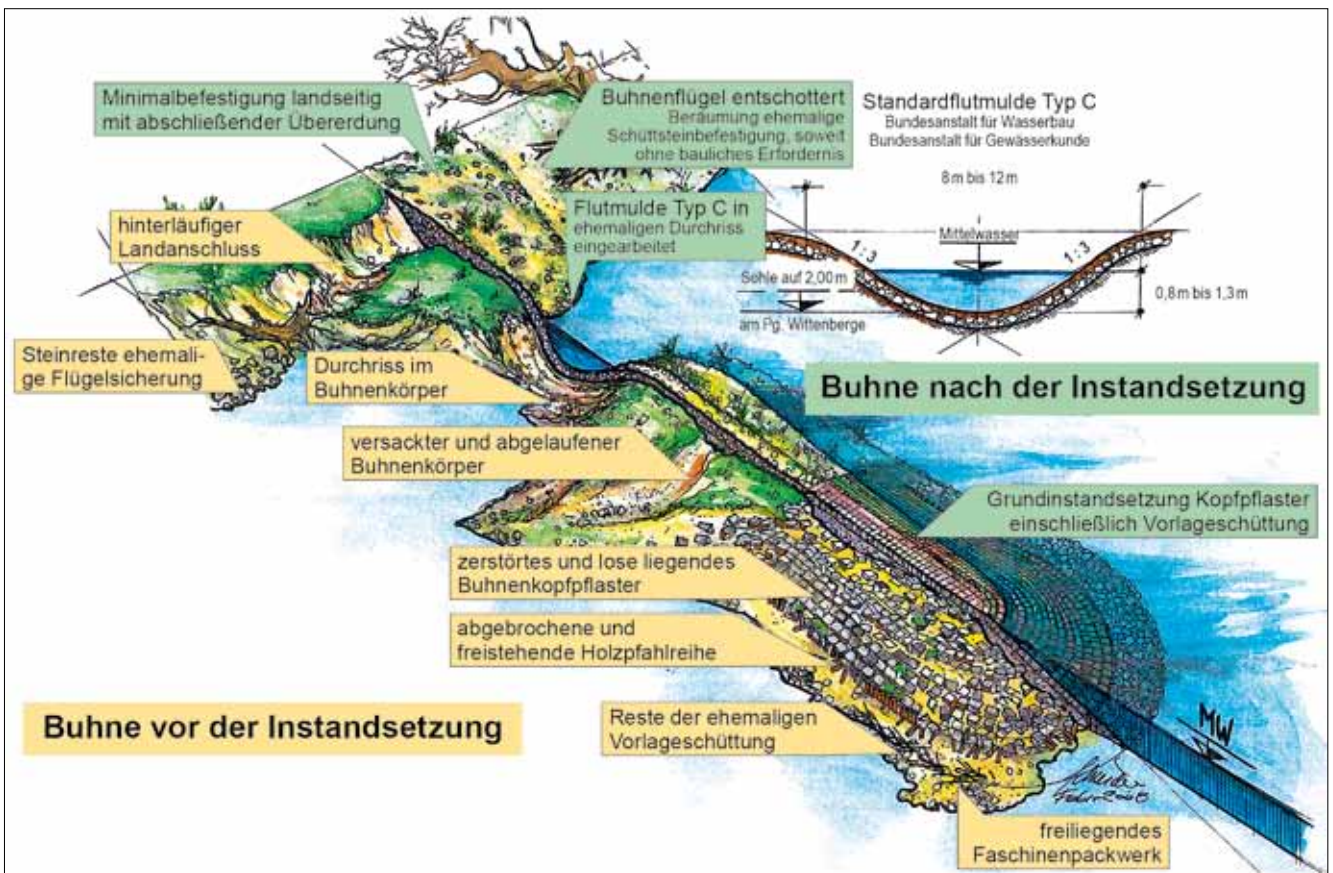


Bild 14: Ökologisch ausgerichtete Buhneninstandsetzung
 Figure 14: Groyne repair according to ecological principles



Bild 15: Buhne nach Grundinstandsetzung in Schüttbauweise
 Figure 15: Concrete groyne following major repair

per zu unterstützen. Bild 15 zeigt zum Vergleich eine geschüttete Regelbuhne.

4 Festlegung der Fahrrinne *Definition of a fairway*

Zur Abrundung der bisherigen Ausführungen zum Mittelwasserausbau werden an dieser Stelle noch einige Ausführungen zur geschichtlichen Entwicklung der Fahrrienerkundung und -festlegung ergänzt. Hierzu wird in Bild 16 ein repräsentativer Streckenabschnitt oberhalb Wittenberge vorgestellt. Das Beispiel verdeutlicht recht anschaulich den Prozess der Festlegung des Mittelwasserbettes im Zeitraum von 1848 bis 1887 in diesem Streckenbereich. Wenn man bedenkt, dass zu dieser Zeit getreidelt wurde, also die Schiffe mit bloßer Muskelkraft von Hamburg bis nach Dresden gegen den Strom gezogen wurden, dann wird die ganze Dimension dieses Abenteuers begreiflich.

Bei der im oberen Bildteil dargestellten historischen Stromkarte handelt es sich um einen Entwurf, welcher strombaulich den Bau der Eisenbahnbrücke bei Wittenberge (1847 bis 1851) begleiten sollte. Die Planung des Brückenbauwerkes machte nun auch die endgültige Fixierung des Mittelwasserbettes erforderlich. Mit blauer Doppellinie in der alten Stromkarte wurden bereits im Stadium der Entwurfsplanung die Mittelwasser-Sollstreichlinien, also der zukünftige Stromverlauf, kartiert. Ebenfalls bereits erkennbar ist die Anordnung erster Regelungsbauwerke (Buhnen), die in der Karte als rote Striche von der Mittelwasserstreichlinie landwärts gerichtet, ansetzen. Es sind so genannte Querbauwerke, die im Winkel von 72° gegen die Fließrichtung geneigt sind. Direkt oberhalb der Eisenbahnbrücke befindet sich in Form einer Halbinsel der „Wittenberger Streitwerder“. Eine Fahrrinne nach unserem heutigen Verständnis war noch nicht vorhanden. Bemerkenswert ist die Festlegung des Talweges auf Grundlage der Quer-

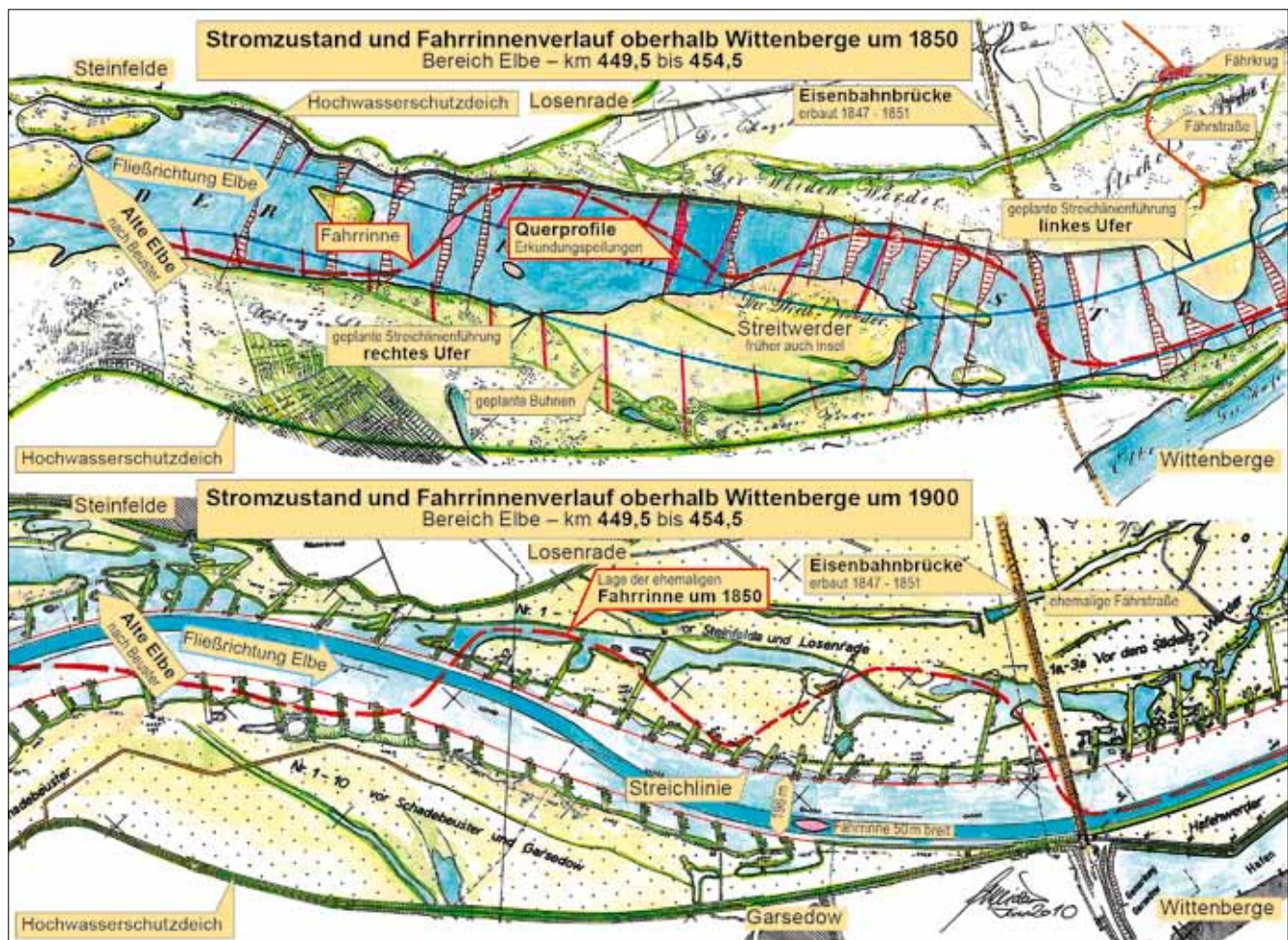


Bild 16: Stromzustand und Fahrrienenverlauf oberhalb Wittenberge (Quelle: WSA Magdeburg, bearbeitet und koloriert durch Schneider)

Figure 16: River status and fairway course upstream of Wittenberge (source: Waterways and Shipping Office Magdeburg / edited and coloured by Schneider)

profile. Trotzdem handelt es sich hier nur um eine Momentaufnahme bei der Zustandserfassung des Gewässerbettes mit einer Verfallszeit weniger Wochen oder Monate.

Der untere Teil von Bild 16 zeigt den Elbeverlauf nach abgeschlossener Fixierung des Mittelwasserbettes etwa um 1900. Diese Darstellung ist mit dem heutigen Zustand nahezu identisch. Zum Vergleich mit dem früheren Stromzustand ist die Talweglinie aus dem oberen Teil der Abbildung eingezeichnet (dicke rote, gestrichelte Linie). Sie verläuft dort, wo heute nur noch Nebengewässer zu finden sind. Schwer vorstellbar, dass in früherer Zeit dort Schiffe fuhren. Das blaue Band im Stromverlauf markiert die heutige Fahrrinne. Zwischen dem oberen und dem unteren Teil der Abbildung liegen rund 50 Jahre erfolgreicher Wasserbaugeschichte.

In der späten Phase des Mittelwasserausbaues wurden die wasserbaulichen Aktivitäten fast ausschließlich auf die Erlangung der festgelegten Soll- oder Normalbrei-

ten und einer Vergleichmäßigung bzw. Harmonisierung der Krümmungsradien ausgerichtet. Durch die Anreicherung von Erfahrungen aus der Vergangenheit war man zu der Erkenntnis gekommen, dass einer Optimierung der Krümmungsradien eine besondere Bedeutung zufällt. Theoretisch würde der Strom bei einer Abfolge optimierter Radien (z.B. 1.200 m) (Klaus, 1949) nahezu von allein einen stabilen Fahrrinnenverlauf ausbilden, was natürlich in der Praxis aus vielerlei Gründen nicht umsetzbar ist. Zumindest lag es in der Absicht der damaligen Entwurfsplanung, die Anzahl der Fahrrinnenübergänge von einem zum anderen Ufer, die fast immer mit Flachstellen in Zusammenhang zu bringen sind, zu halbieren (Klaus, 1949).

Der Streichlinienentwurf in Bild 17 zeigt einen Sollausbauzustand unterhalb Wahrenberg, der auch umgesetzt wurde. Ausbaumaßnahmen bestanden in der Phase der Optimierung des Regulationssystems aus einer Kombination von Bühnenvorstreckungen (gelb) und -verkürzungen (rot). Die bestehende Bauwerkssubstanz

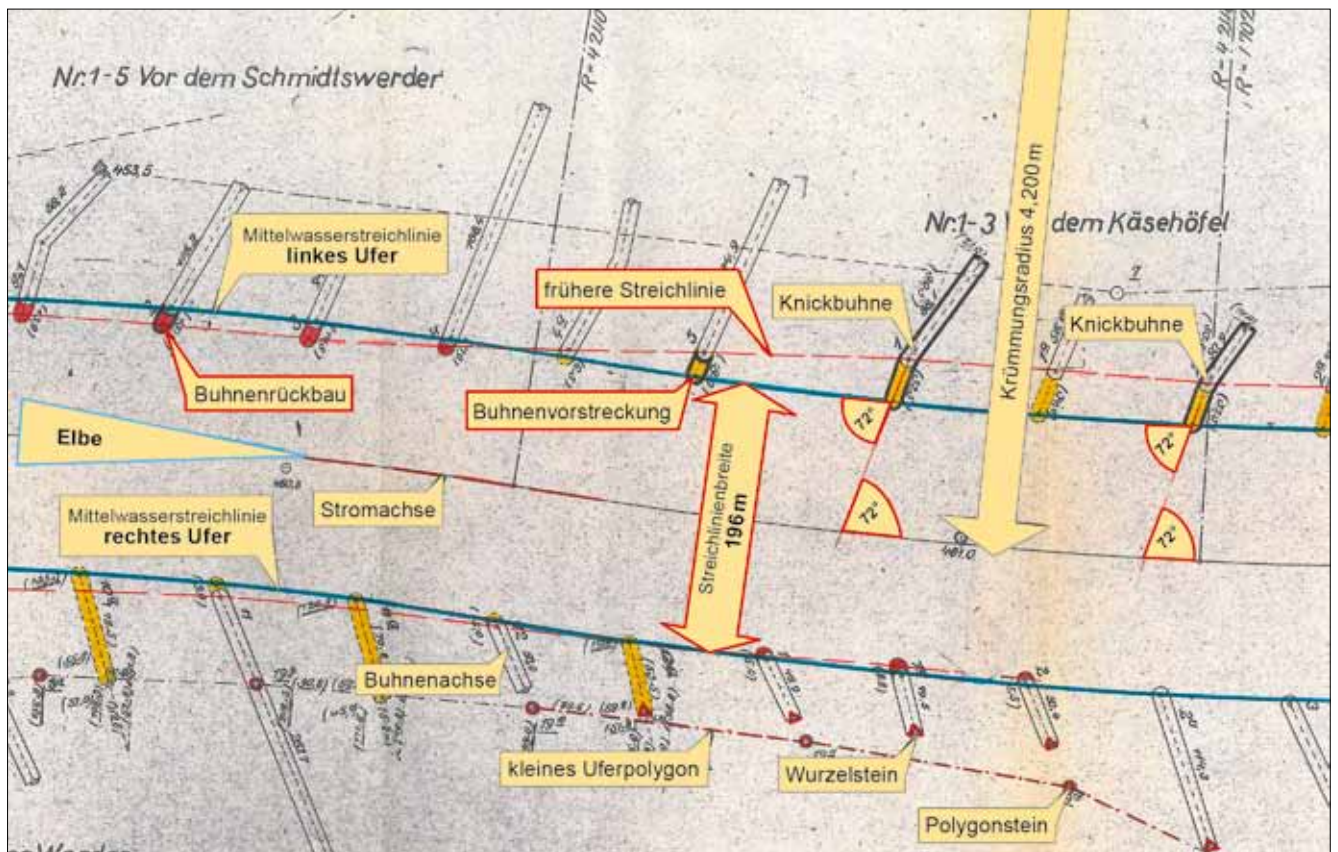


Bild 17: Historischer Streichlinienentwurf für einen Streckenabschnitt unterhalb Wahrenberg (Quelle: WSA Magdeburg, bearbeitet durch Schneider)

Figure 17: Historical draft of a streakline for a reach downstream of Wahrenberg (source: Waterways and Shipping Office Magdeburg / edited by Schneider)

sollte aus ökonomischen Gründen optimal in den Ausbauentwurf integriert werden.

Bei der Überarbeitung bereits bestehender Streichlinienpläne wurden auch Korrekturen der Anstellwinkel der Buhnenachse zur Stromachse vorgenommen (inklinante Form). Hier erklärt sich das Entstehen der sogenannten Knickbuhnen, wie im Bild 17 oben rechts zu erkennen ist.

5 Anpassung des Flusses an neue Randbedingungen am Beispiel von Buhnenfeldern

Adaptation of the river to new boundary conditions taking groyne fields as an example

Aus dem Vergleich von Karten verschiedener Epochen wird bereits deutlich, dass die Bauwerke zur Gestaltung des Mittelwasserbettes den Fluss gezwungen haben,

sich ein Bett zu formen, das den Anforderungen der Schifffahrt nach ausreichender Wassertiefe und verlässlicher Lage der Fahrrinne entsprach. Dabei formte der Fluss jedoch auch Uferbereiche um. So war die Landgewinnung durch den Bau von Buhnen ursprünglich gewünscht. Heute stellen Buhnenfelder Ersatzbiotope für verlorene Lebensräume in der Aue dar. Eine weitere Verlandung ist deshalb nicht erwünscht.

Bild 18 zeigt lange und kurze Buhnen oberhalb von Wahrenberg. Die großen Buhnenfelder zwischen den langen Buhnen am linken Ufer sind stark verlandet und teilweise bewachsen, während die kleinen Buhnenfelder am rechten Ufer (kurze Buhnen) noch weitgehend offene Wasserflächen zeigen. Der Verlandungsgrad der großen Buhnenfelder beträgt 80% bis 90% bezogen auf die ursprüngliche Fläche von der ehemaligen Buhnenwurzel (in der früheren Uferlinie vor dem Ausbau) bis zum Buhnenkopf in der Mittelwasserstreichlinie. Die drei rot markierten Standorte fehlender Zwischen-

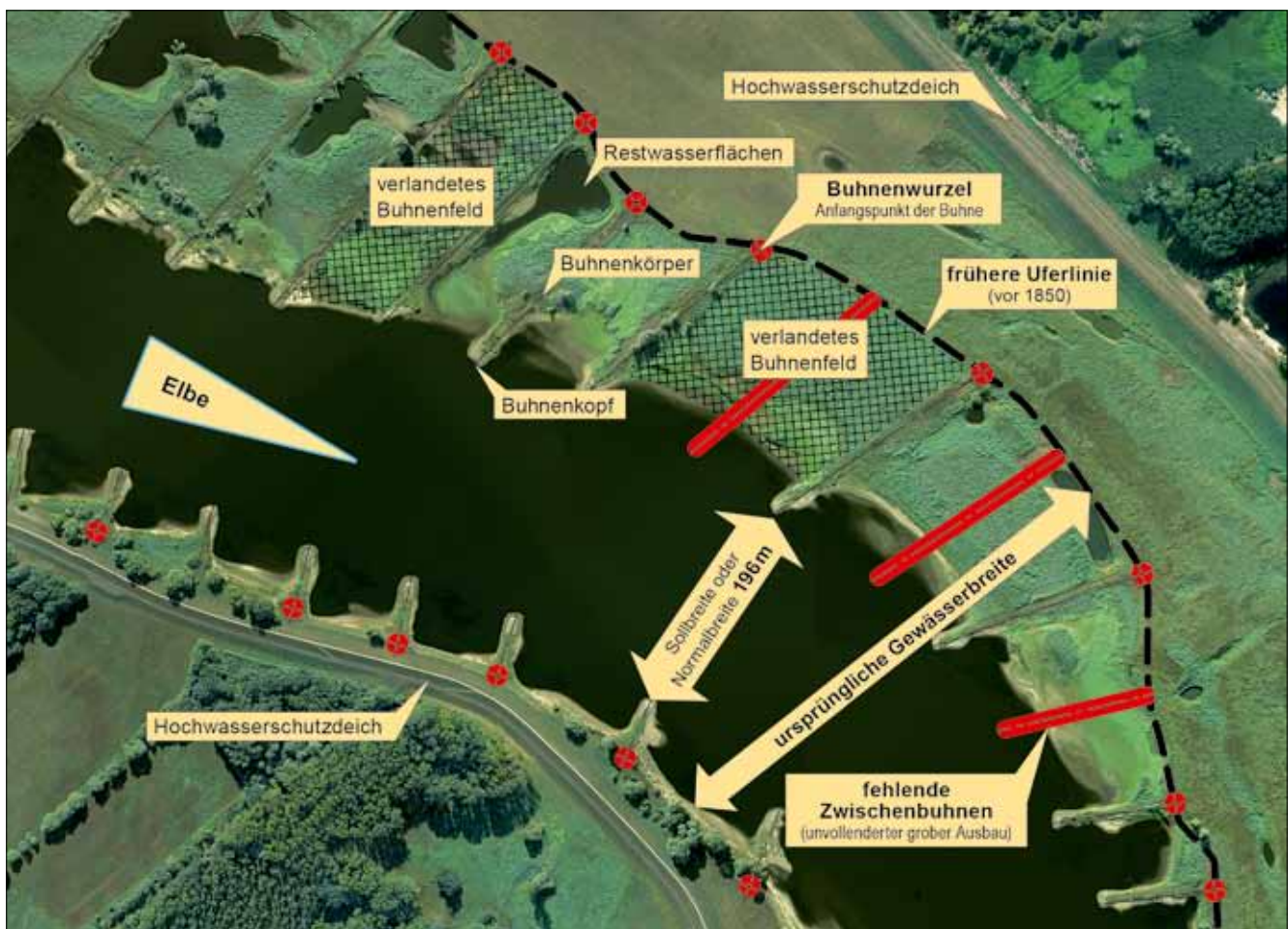


Bild 18: Buhnenfeldverlandung (Quelle: WSA Magdeburg / bearbeitet von Schneider)

Figure 18: Sediment buildup in groyne fields (source: Waterways and Shipping Office Magdeburg / edited by Schneider)

buhnen dokumentieren den lückenhaft ausgeführten Mittelwasserausbau (grober Ausbau).

Die Zeichnung in Bild 19 erklärt die Bedeutung der Zwischenbuhnen oder a-Buhnen für einen ungehinderten Geschiebetransport. Im mittleren Teil der Grafik ist erkennbar, dass sich durch ein ungünstiges Verhältnis von Breite und Länge der Buhnenfelder kein zentraler Strömungswirbel mehr aufbaut. Fast immer bilden diese Bereiche kausale Zusammenhänge mit Minderungen der Fahrrinntiefe. Zu nennen wäre hier beispielhaft ein Streckenbereich unterhalb der alten Havelmündung von El-km 432 bis 434. Aus dieser Erkenntnis leitet sich zwangsläufig das Erfordernis der Ganzheitlichkeit des Regelungssystems ab.

Bild 20 verdeutlicht den prinzipiellen Verlandungsprozess der Buhnenfelder basierend auf dem Vergleich von Stromkarten, Luftbildern, Zeichnungen und Naturbeobachtungen. Direkt nach dem Mittelwasserausbau (hier ab 1850) verlanden die Buhnenfelder schnell (steil aufsteigende Kurve). Nachdem sich der Fluss weitge-

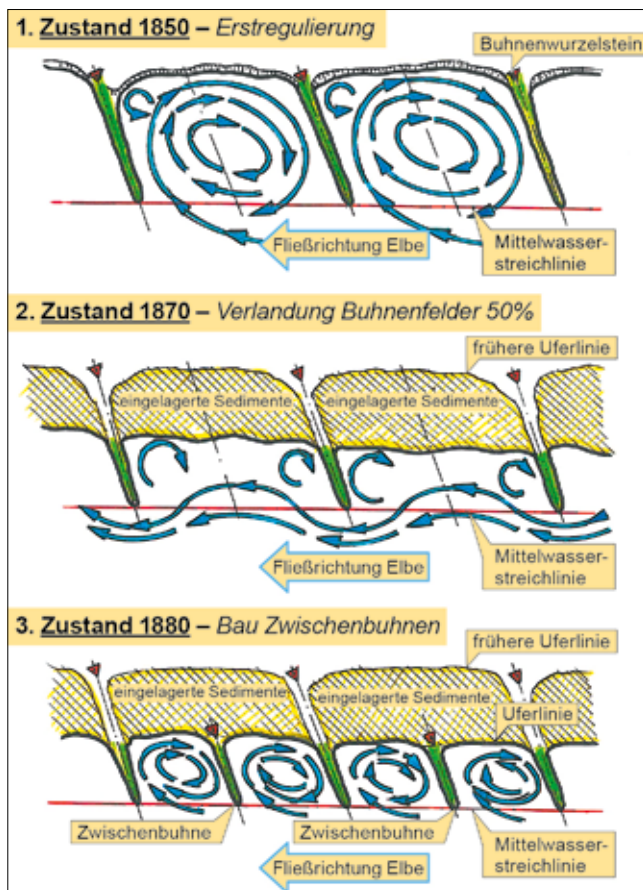


Bild 19: Strömungsausprägung bei umströmten Buhnen
Figure 19: Flow patterns around groynes

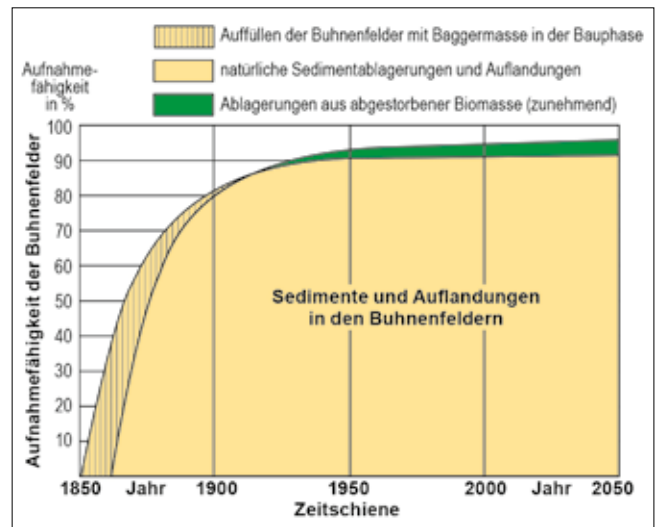


Bild 20: Die Buhnenfeldverlandung
Figure 20: Sediment buildup in groyne fields

hend an die Buhnenregelung angepasst hat, verlangsamt sich der Verlandungsprozess etwa ab 1900. Die gelbe Fläche stellt den Teil der Sedimentation in den Buhnenfeldern dar, welcher infolge des geplanten Geschiebeentzuges entstanden ist. Am Anfang der Stromregelung wurden die Buhnenfelder (und einige Nebengewässer) auch mit Baggermassen aus dem Abtrag von Inseln und Hegern verfüllt (schwarze Schraffur). Etwa ab 1930 verstärken Ablagerungen aus abgestorbener Biomasse die Verlandung. In verlandeten Buhnenfeldern kann auch Material durch den Fluss remobilisiert werden.

6 Der Niedrigwasserausbau *Extension of the minor channel*

Mit den Planungsvorhaben zur Niedrigwasserregelung der Elbe wurden neben der Optimierung des Mittelwasserbettes (Grobausbau) ehrgeizige Ziele zur Vergrößerung der schiffahrtlich nutzbaren Wassertiefen bei Niedrigwasser durch Schaffung eines kompakten Niedrigwasserbettes und Nutzung von Zuschusswasser aus Talsperren verfolgt (Klaus, 1949; Hansmann und Hirsch, 1932; Hirsch, 1944; Metschies, 1939) Noch vor 1900 war der Mittelwasserausbau der Elbe in seinen wesentlichen Grundzügen abgeschlossen, sodass man weitergehende wasserbauliche Maßnahmen zur Verbesserung der Fahrwassertiefen bei Niedrigwasser ins Auge fasste. An dieser Stelle wird absichtlich in der Vergangenheit gesprochen, weil die eigentliche Niedrigwasserregelung (Feinausbau) bis auf wenige expo-

nierte Streckenabschnitte, Versuchs- und Pilotprojekte im Bereich der Mittelelbe nicht zur Ausführung gekommen ist. Allerdings sah der Grobausbau im betrachteten Elbeabschnitt viele Maßnahmen zur Optimierung des Mittelwasserbettes vor, die ebenfalls nicht vollständig umgesetzt wurden.

Eine Niedrigwasserregelung sollte in einem zeitlich angemessenen Abstand nach einer Mittelwasserregelung erfolgen. Mit zeitlich angemessen sind mehrere Jahre bis Jahrzehnte gemeint, da der Strom nach beendeter Mittelwasserregelung Zeit brauchte, um sich an die neuen Bedingungen anzupassen. Auch wollte man den Prozess der gewollten Sohlenvertiefung vollständig abwarten und abschließend bewerten. Die latente Gefahr einer möglichen „Über- oder Unterregulierung“ sollte weitestgehend ausgeschlossen werden. Hierzu wurden die komplexen hydraulischen und morphologischen Veränderungen des Gewässerbettes umfassend vermessungstechnisch erfasst (siehe Arp und Hirsch, 1935).

Von den zwei Ausbautwürfen zur Niedrigwasserregulierung der Elbe soll nur auf den letzten eingegangen werden. Die Ausbautwürfe hierzu finden sich inhaltlich in den „Leitsätzen zur Niedrigwasserregulierung der Elbe“ aus dem Jahr 1935 (Wasserstraßendirektion Magdeburg, 1951) wieder. Diesen ehrgeizigen Ausbautwürfen lagen die Bemessungswasserstände RW 29 und ERW 29 zugrunde. Der RW 29 war ein errechneter Bezugswasserstand, welcher auf kleinste Abflussmengen des Niedrigwassers von 1904 und dem Stromzustand des Jahres 1929 aufbaute. Der rechnerische Bezugswasserstand ERW 29 bezog sich auf eine Kombination der wasserbaulichen Herrichtung des Niedrigwasserbettes und einer künstlichen Wasserstandsaufhöhung durch Zuschusswassergaben (Hirsch, 1931) aus Talsperren und Pumpspeicherbecken. Hierbei ging man von Zuschusswassermengen in einer Größenordnung von $60 \text{ m}^3/\text{s}$ aus den oberen Saaletalsperren Hohenwarthe und Bleiloch, sowie $28 \text{ m}^3/\text{s}$ aus einem Pumpspeicherbecken bei Pirna aus.

Für die Niedrigwasserregelung ist ein speziell ausgeformtes Niedrigwasserbett erforderlich, dessen Sohlenbreite etwa die Hälfte der Mittelwasserstreifenbreite beträgt. In Kombination mit der ursprünglich vorgesehenen Wasserstandsaufhöhung durch Talsperrenzuschusswasser sollte der RW 29 an der

Saalemündung um 45 cm künstlich zum ERW 29 erhöht werden. Diese Wasserstandsaufhöhung sollte dann allmählich bis zur Flutgrenze bis auf 30 cm abnehmen. Das Zuschusswasser wurde nie zur Verfügung gestellt, weshalb auch aus diesem Grund die geplanten Wassertiefen bei Niedrigwasser nicht erreicht werden konnten.

Die in Tabelle 1 aufgeführten Fallbeispiele mit Kopfschwellausbau wurden im Zeitraum von 1907 bis 1937 realisiert (unterhalb der Havelmündung, Schnackenburg und unterhalb von Lenzen) und vermitteln ein unterschiedliches Erscheinungsbild in der Gegenwart. In den Ausbauregelwerken der 30er Jahre des vorigen Jahrhunderts wurde die Kopfschwelle als „das wasserbauliche Werkzeug der Niedrigwasserregulierung“ dargestellt. Andere Wasserbaufachleute äußerten Bedenken hinsichtlich der hohen Baukosten, einer schwierigen Unterhaltung und der Schadensanfälligkeit bei Eisversetzungen und Eisgang/Eisstand. Die Befürworter und die Bedenkenräger sollten, wie die ausgewählten Fallbeispiele zeigen, beide Recht behalten.

Die Echografenaufnahme in Bild 21 zeigt den Zustand der Gewässersohle in einem Streckenabschnitt unterhalb Lenzen. Es ist ein Teilstück des in der Tabelle 1 vorgestellten Streckenabschnittes (El-km 484,9 bis 488,0). Die grünen und blauen Farbtöne weisen auf gute Fahrrinntiefen für die Schifffahrt und die gelben, roten und grauen Farbtöne auf weniger gute oder sonstige Flachstellen hin. Dieser Streckenabschnitt wurde im Jahr 1937 im Rahmen einer Versuchsstrecke mit Kopfschwellen ausgebaut, d.h. hier wurde der Niedrigwasserausbaubau vollzogen. Im Echogramm gut zu erkennen sind die den Bühnenköpfen vorgelagerten Kopfschwellen, auch wenn diese nicht mehr die ursprüngliche Ausdehnung haben. Diese ehemalige Problemstrecke wurde durch den Kopfschwellenanbau im Interesse eines günstigen und sicheren Fahrrinnenverlaufes nachhaltig positiv gestaltet. Insofern kann dies als gelungenes Beispiel für einen Niedrigwasserausbaubau mit Kopfschwellen gewertet werden.

Nachfolgend wird vergleichsweise ein Streckenabschnitt bei Schnackenburg vorgestellt (Tabelle 1), der als ein wenig nachhaltiges Projekt zum Ausbau mit Kopfschwellen zu werten ist. Um die hydromechanischen und geomorphologischen Zusammenhänge besser verständlich zu machen, wird nachfolgend eine

besondere Fahrrinnenanomalie bei El-km 475 etwa in Höhe der Ortslage Schnackenburg (Alandmündung) etwas ausführlicher beschrieben. Es ist ein sogenannter falscher Fahrrinnenübergang, der bereits schon vor

mehr als 80 Jahren die Planer der Niedrigwasserregelung beschäftigt hat und bis in die Gegenwart Probleme bereitet. Obwohl hier die Elbe eine sanfte Rechtskrümmung beschreibt und die Talweglinie normalerweise

Steckenabschnitt <i>Ortslage</i> Länge Baujahr	Begründung und Anlass des Buhnensausbaues mit Kopfschwellen	Gegenwärtiger Zustand
433,2 bis 435,7 <i>Unterhalb der Havelmündung</i> 2,5 km ca 1907	Besonders instabile Fahrrinnenverhältnisse durch wandernde Sänder in diesem Streckenabschnitt. Es handelte sich um eine Versuchsstrecke zur Überprüfung der Wirksamkeit und Nachhaltigkeit von Kopfschwellen.	Heute nicht mehr nachweisbar. Vermutlich wurden die Kopfschwellen im Zuge der Havelumverlegung und der damit verbundenen Verringerung der Normalbreite in diesen Streckenabschnitt von 196 m auf 170 m überbaut .
473,5 bis 476,0 <i>Schnackenburg</i> 2,5 km 1926 bis 1928	Schwierige Fahrrinnenverhältnisse im Bereich der Alandmündung bis zum Eingang in die Stromkrümme am „Bösen Ort“, auch im Zusammenhang mit sogenannten falschen Fahrrinnenübergängen.	Heute nicht mehr nachweisbar! Infolge mehrerer Eisversetzungen oberhalb der Stromkrümme „Böser Ort“ zerstört , danach keine Instandsetzung mehr.
484,9 bis 488,0 <i>unterhalb Lenzen</i> 3,1 km 1937	Schwierige Fahrrinnenverhältnisse im Bereich unterhalb Lenzen. Es handelte sich um eine Versuchs- oder Pilotmaßnahme zum sog. Feinausbau aus dem Jahr 1937.	Heute noch vorhanden. Sehr gute Fahrrinnenverhältnisse. Die Kopfschwellen weisen allerdings nach fast 75 Jahren erhebliche Substanzverluste auf – insgesamt positive Effekte!

Tabelle 1: Übersicht der Strecken mit Kopfschwellen
 Table 1: Overview of sections with head sills

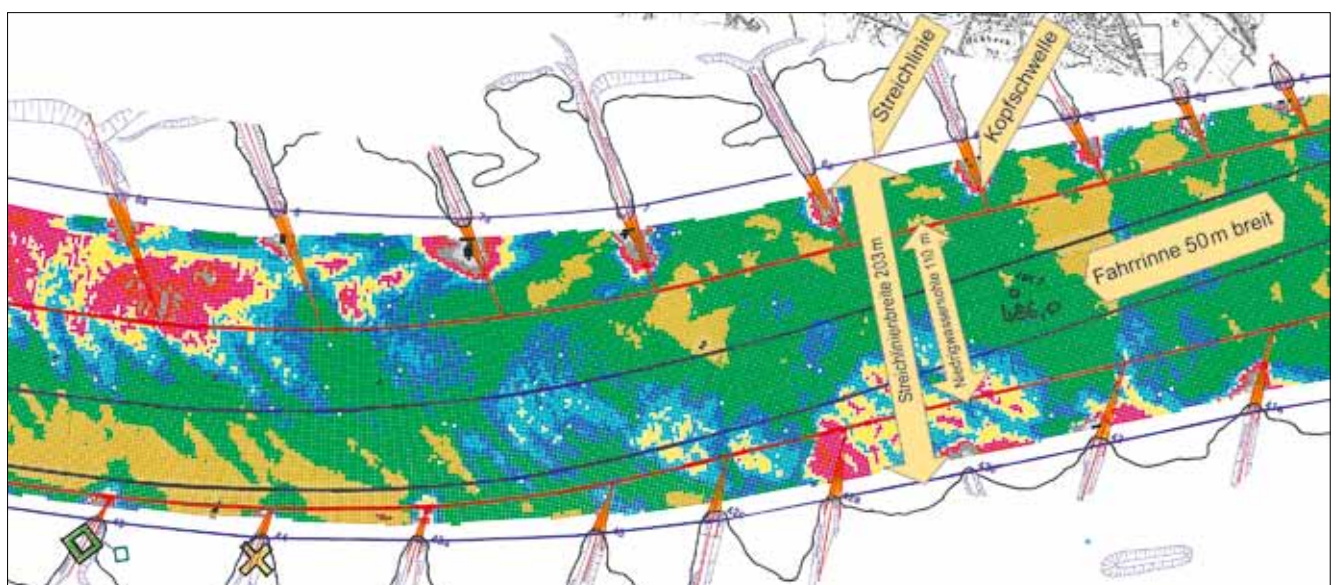


Bild 21: Echografenaufnahme mit sichtbaren Kopfschwellen (Quelle: WSA Magdeburg / bearbeitet von Schneider)
 Figure 21: Echographic image with head sills visible (source: Waterways and Shipping Office Magdeburg / edited by Schneider)

am linken Ufer verbleiben sollte, entfernt sich diese vom linken und verläuft über eine kurze Strecke am rechten Ufer.

Der obere Teil von Bild 22 mit der hellblau eingefärbten Wasserfläche zeigt die erstrebte Lage des Talweges als rote Linie und die gegenwärtige Lage des Talweges (Fahrinne) als dunkelblaue Linie. Im unteren Teil mit der gelb eingefärbten Wasserfläche sind als gestrichelte Linien die unterschiedlichen Talwege für den Beobachtungszeitraum von 1926 bis 2010 dargestellt. Gegenüber der Stadt Schnackenburg sind am rechten Ufer die in den Jahren 1926 bis 1928 in Verlängerung der Bühnenachsen errichteten Kopfschwellen markiert. Durch die Kopfschwellen wollte man das hydraulische Strömungszentrum und damit auch die Talweglinie an

das linke Ufer verlagern, was nur kurzzeitig gelang. In einem Beitrag machten Hansmann und Hirsch über diese Problemstelle und den Verlauf der Bauarbeiten folgende Ausführungen:

„...Der Erfolg entsprach den Erwartungen, allerdings dauerte es einige Jahre bis die gewollte Umbildung der Querschnitte im Wesentlichen beendet war. Der an der Alandmündung linksseitig liegende Heger, dessen Bildung mutmaßlich auch mit der an dieser Flussmündung beim Hochwasserablauf zeitweise einsetzenden stärkeren Querströmung zusammenhängt, bestand aus verhältnismäßig grobem, außerordentlich fest gelagerstem Geschiebe. Baggerungen zur Beschleunigung der Querschnittsumbildung wurden an diesem Heger nur in sehr beschränktem Umfang vorgenommen, schon

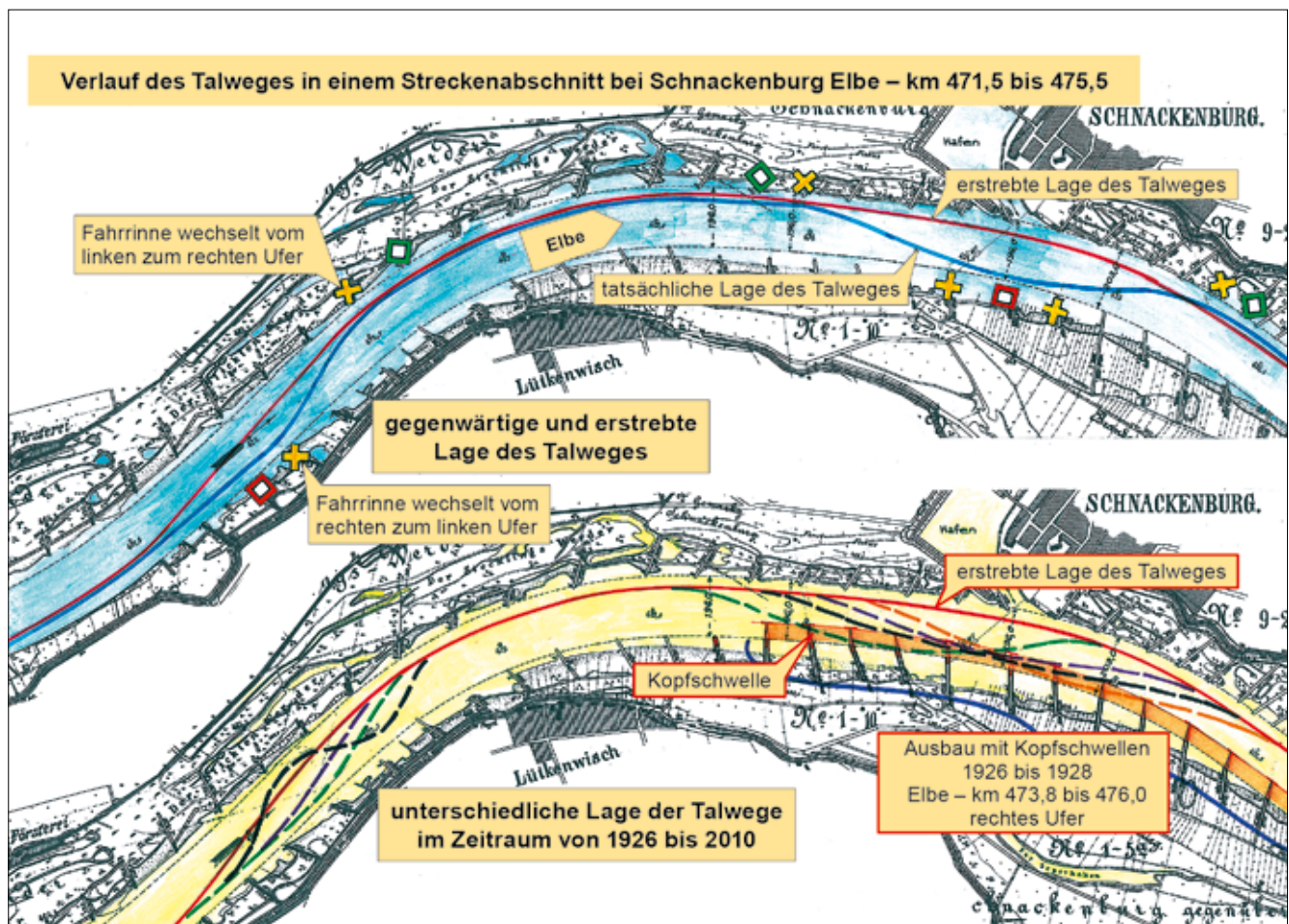


Bild 22: Historische Talweglinien in einem Streckenabschnitt bei Schnackenburg (Quelle: WSA Magdeburg / bearbeitet von Schneider)

Figure 22: Historical talweg lines in a section near Schnackenburg (source: Waterways and Shipping Office Magdeburg / edited by Schneider)

um ungewollte Gefälleänderungen zu vermeiden, die auch nicht eingetreten sind. Bis zum Jahr 1930 war ein breiter Fahrwasserschlauch entstanden eine örtliche starke Eisversetzung, die von einer unterhalb gelegenen scharfen Stromkrümme ihren Ausgang nahm, hat allerdings an den Kopfschwellen erhebliche Schäden angerichtet. Eine weitere Verbesserung der Fahrwasserverhältnisse konnte daher seit 1930 nicht mehr beobachtet werden, da die Kopfschwellen wegen der knappen Unterhaltungsmittel und anderweitiger dringender Arbeiten noch nicht wieder hergestellt werden konnten.“ (Hansmann und Hirsch, 1932)

Die Echographenaufnahme in Bild 23 zeigt aktuelle Geschiebeablagerungen im Verlauf der erstrebten Fahrrinne. Im Grunde genommen hat sich an der von Hansmann und Hirsch beschriebenen Situation von vor rund

80 Jahren bis zur Gegenwart nichts geändert.

Die mit roter Farbe markierten Kopfschwellen deuten die Position an, wo sie sich im Zeitraum von 1926 bis 1929 befunden haben.

Erstaunlich ist, dass im Flächenechogramm keine Reste der ehemaligen Kopfschwellen erkennbar sind.

Die untere blaue Doppellinie vor dem rechten Ufer stellt den aktuellen Fahrinnenverlauf dar, der nur für einen kurzen Zeitraum im Jahr 1930 in die erstrebte Lage der Fahrrinne gebracht wurde.

Dieses Beispiel zeigt sehr anschaulich und überzeugend, dass es nicht immer gelingt, den Fluss in gewünschtem Maße zu beeinflussen.

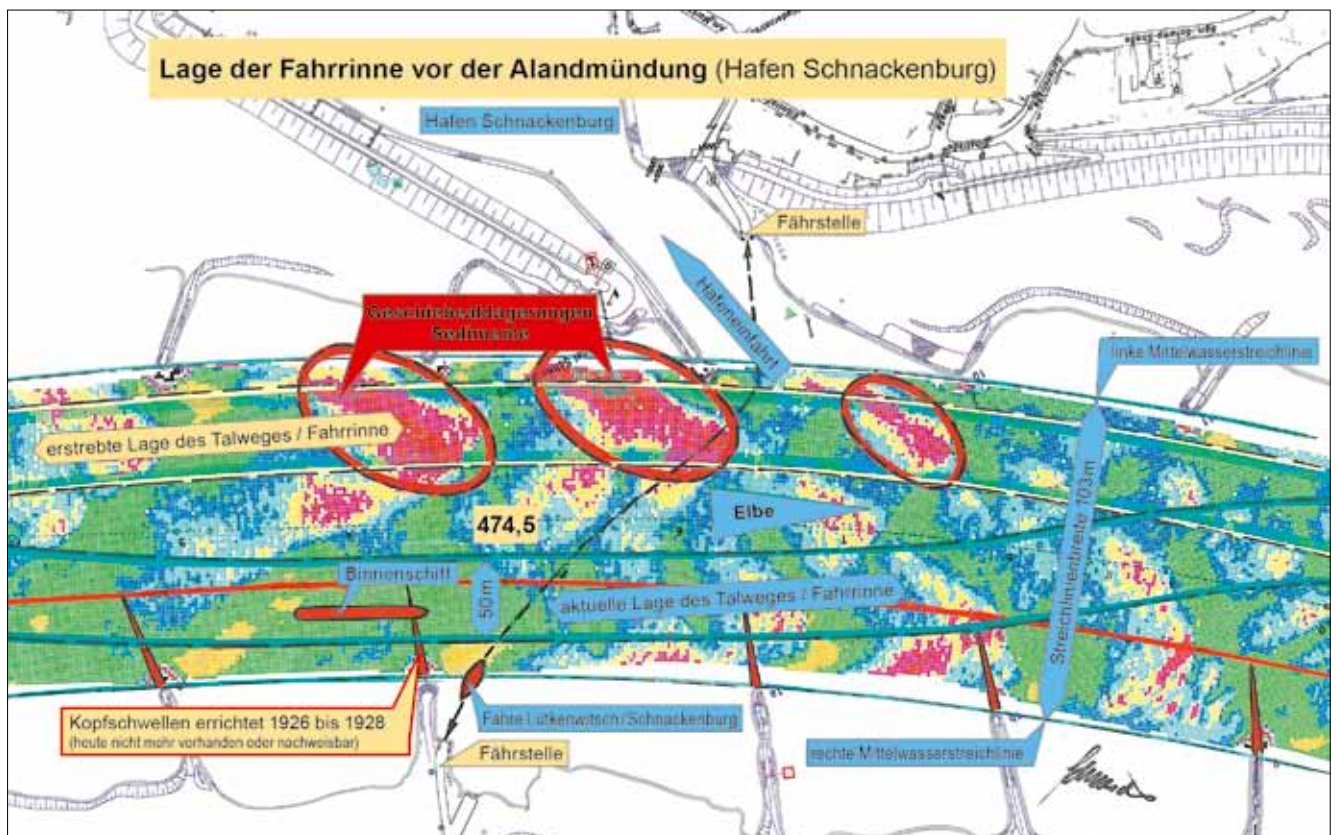


Bild 23: Echographenaufnahme (Messschiff „Domfelsen“) (Quelle: WSA Magdeburg / bearbeitet von Schneider)

Figure 23: Echographic image (“Domfelsen” inspection ship) (source: Waterways and Shipping Office Magdeburg / edited by Schneider)

Die Situation in der Stromkrümme am Bösen Ort mit dem oberen Einströmbereich (Schlitz 1 über dem Deckwerk) in das Rückdeichungsgebiet zeigt Bild 24 und das Luftbild in Bild 20 im Beitrag Faulhaber „Zusammenschau und Analyse von Naturmessdaten“ in diesem Heft. Infolge des unvollendeten Mittelwasserausbaus bestehen am unteren Ausgang der Krümme Streichlinienüberbreiten (El-km 478 linkes Ufer). Hierdurch kommt es ganzjährig zu unerwünschten Geschiebeablagerungen über die gesamte Gewässerbreite.

Das Echogramm in Bild 24 verdeutlicht die Lage und Ausdehnung der Sedimente im Bereich des Fahrrinnenüberganges bei El-km 478. Das Mittelwasser ist etwa 260 m breit, wohingegen die Sollstreichlinienbreite 203 m beträgt. Mit Mitteln der Geschiebebewirtschaftung ließen sich in der Vergangenheit, wenn überhaupt, nur kurzzeitige Verbesserungen erzielen. Der Strom

stellt innerhalb weniger Tage wieder den Ursprungszustand her. Wegen der hohen Kosten und der geringen Nachhaltigkeit sind daher Maßnahmen der Geschiebebewirtschaftung ganz allgemein nur in Ausnahmefällen gerechtfertigt.

Bild 25 zeigt im direkten Vergleich zu den Bildern 22/23 den Entwurf von 1935 zum Sollausbauzustand im Bereich der Stromkrümme.

Speziell der am linken Ufer komplett fehlende Mittelwasserausbau wirkt sich aktuell nachteilig auf einen stabilen Verlauf des Talweges aus. Besonders während oder nach ablaufendem Hochwasser sind die Anlandungen hier erheblich. Bei El-km 478 reicht die Kraft der fließenden Welle nicht aus, um die bei Hochwasser entstandenen Anlandungen in für die Schifffahrt ausreichendem Maße abzutragen.

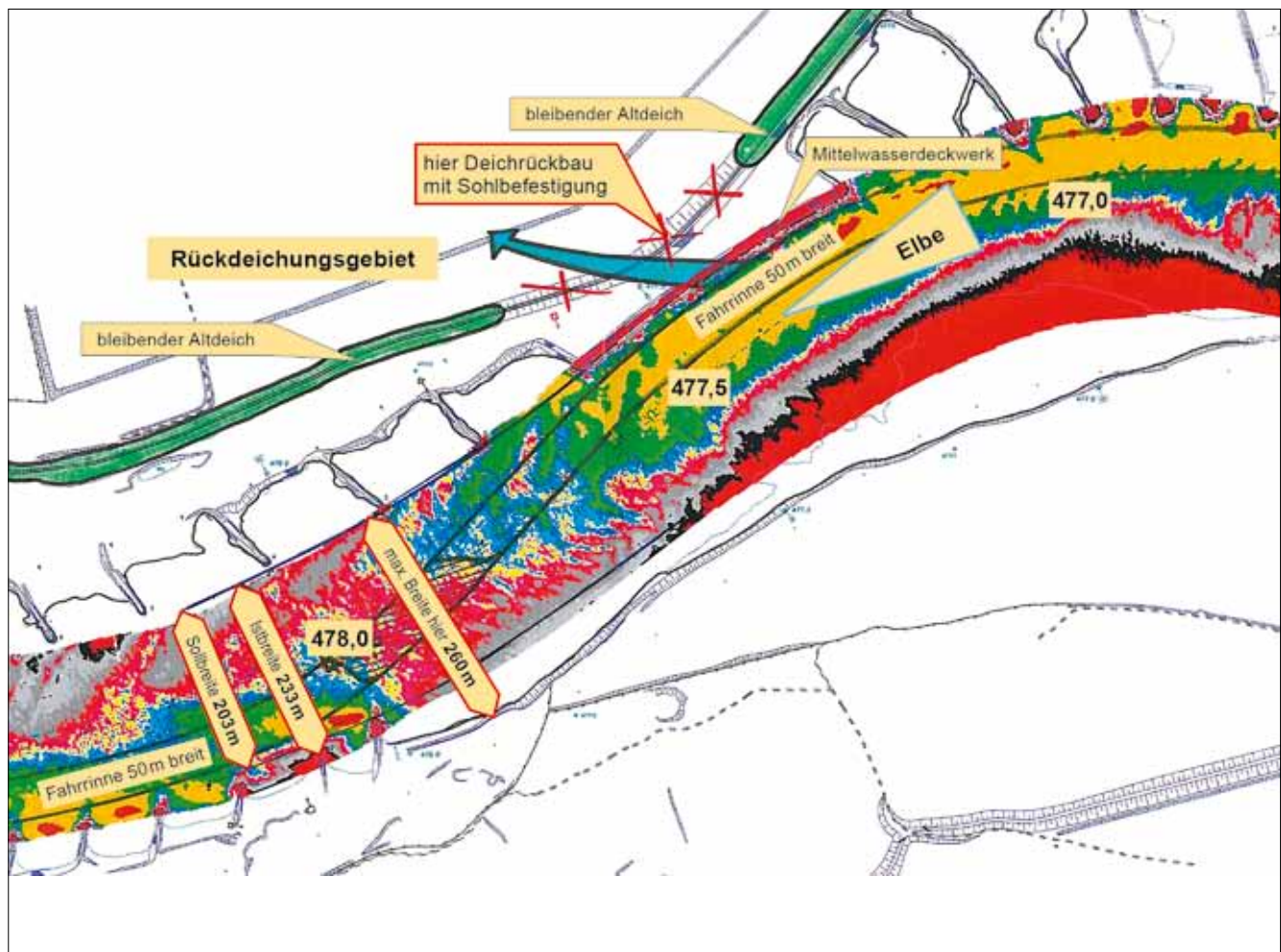


Bild 24: Echographenaufnahme durch das Messschiff „Domfelsen“ (Quelle: WSA Magdeburg / bearbeitet von Schneider)
 Figure 24: Echographic image measured by inspection ship „Domfelsen“ (source: Waterways and Shipping Office Magdeburg / edited by Schneider)

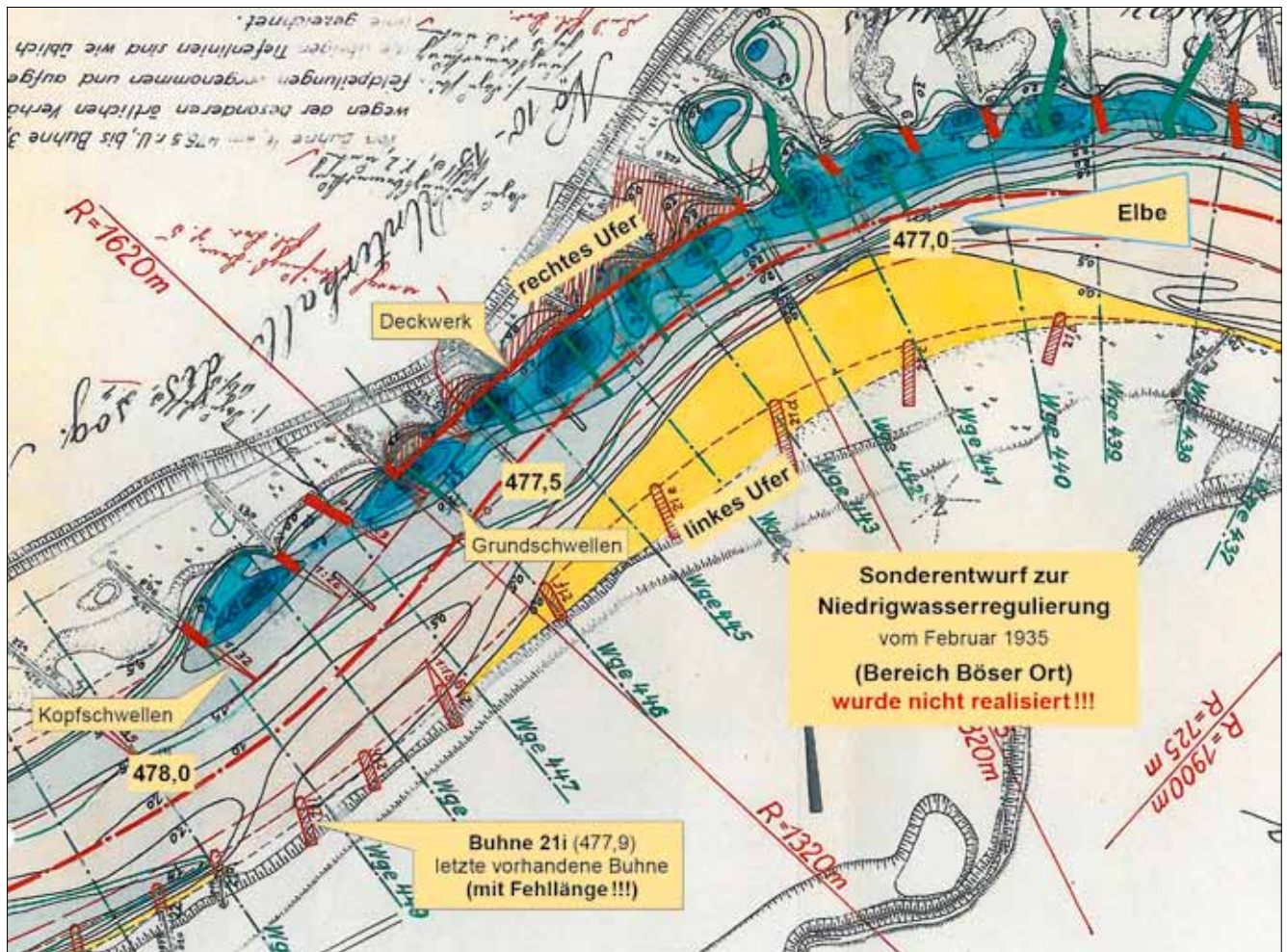


Bild 25: Ausschnitt des Sonderentwurfs zur Niedrigwasserregulierung – Februar 1935 (Quelle: WSA Magdeburg)
 Figure 25: Section of the special draft for low water regulation – February 1935 (source: Waterways and Shipping Office Magdeburg)

7 Fazit Conclusions

Der Ausbau für die Schifffahrt erfolgte in einem langen Prozess, bei dem frühere Erfahrungen im nächsten Schritt berücksichtigt wurden. Ausgehend vom bereits modifizierten Hochwasser- und Mittelwasserbett wurden Mittel- und Niedrigwasserbett in verschiedenen Etappen verändert. Dieser Ausbau blieb im betrachteten Gebiet unvollständig. Aus dieser Unvollständigkeit ergeben sich häufig aktuelle Probleme hinsichtlich der Schifffahrtsbedingungen, zumal der ursprüngliche Ausbau für andere als die heute verkehrenden Schiffe konzipiert wurde. Das Mittelwasserregelungssystem der Elbe bestehend aus Buhnen und Längswerken befindet sich in weiten Teilen in einem guten bautechnischen Unterhaltungszustand. Grundsätzliche Mängel im Regelungssystem selbst wurden jedoch seit

langem nicht mehr behoben. Es wurde an Beispielen gezeigt, dass Baumaßnahmen in Abhängigkeit von den konkreten Streckenbedingungen mehr oder weniger erfolgreich zum Ziel führen können. Es zeigt sich auch, dass ohne teilweise aufwändige Pflege der Bauwerke die Regelungswirkung nicht dauerhaft erhalten bleibt. Der Fluss passt sich in unterschiedlichem Maße an die durch Ausbau geschaffenen Bedingungen an. Diese Anpassungen müssen bei der Pflege des Regelungssystems berücksichtigt werden. Die heutige Situation kann nur basierend auf dem Wissen um die früheren wasserbaulichen Maßnahmen und ihre Wirkungen auf die Strömung und die Bettgestalt verstanden und weiter gestaltet werden. Die hier vorgestellten beispielhaften Erläuterungen zu Maßnahmen und deren Wirkung im Umfeld der Deichrückverlegung Lenzen verbessern das Verständnis für aktuelle Entwicklungen.

8 Literatur *References*

Arp (1930): Die Pläne der Reichswasserstraßenverwaltung zur Niedrigwasserregulierung der Elbe. In: Zeitschrift für Binnenschifffahrt, Heft 11, S. 513.

Arp; Hirsch, A. (1935): Die Pläne zur Niedrigwasserregulierung der Elbe von der Reichsgrenze bis Hamburg. In: Deutsche Wasserwirtschaft, 30. Jahrgang, Heft 11, S. 226, 231.

Hansmann, G.; Hirsch, A. (1932): Zur Niedrigwasserregulierung der Elbe (El-Km 395,0 - 573,8). In: Die Bautechnik, 10. Jahrgang, Heft 51, S. 660.

Hirsch, A. (1931): Zur Frage der Aufbesserung der Niedrigwasserstände der Elbe unterhalb der Saale-Mündung durch Talsperrenzuschusswasser. In: Die Bautechnik. 9. Jahrgang, Heft 16, S. 227.

Hirsch, A. (1944): Grundsätzliches zur Mittel - und Niedrigwasserregulierung unserer Ströme. In: Die Bautechnik, Jahrgang?, Heft 9/14, S. 54.

Klaus, O. (1949): Die Niedrigwasserregulierung der Elbe. In: Die Bautechnik, 26. Jahrgang, Heft 11, S. 340.

Metschies, W. (1939): Der Ausbau der Elbe zum schiffbaren Strom. In: Die Bautechnik, 17. Jahrgang, Heft 45.

Salomon, H.: Entstehung, Entwicklung und Ende des Wasserstraßenamtes Wittenberge. (unveröffentlichter Aufsatz).

Wasserstraßendirektion Magdeburg (1951): Leitsätze für die Niedrigwasserregulierung der Elbe, S. 16.

Gesamtinhaltsverzeichnis aller bisher erschienenen Ausgaben

Hinweis: Die erste Zahl steht für die fortlaufende Nummerierung, die zweite Zahl für das Erscheinungsjahr, danach werden Autor und Titel des Beitrages aufgeführt.

Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau: ISSN 0572-5801

1/53	Jambor Burghart Türk Zweck Canisius Liebs Schleiermacher Boos	Erhöhung der festen Wehrschwelle bei gleicher hydraulischer Leistung Die Verteilung der Abflußmenge über den Querschnitt Untersuchung über die Geschiebebewegung in Flüssen und Stauanlagen. Das elektro-akustische Geschiebe-Abhörverfahren Flach- und Pfahlgründungen in weichem tonigem Schluff Aus der Arbeit der Bundesanstalt Ausbau der Unteren Hunte Sicherung der Schifffahrtsrinne in der Donau im Bereich der Innmündung bei Passau Vom wasserbaulichen Versuchswesen in England
2/53	Canisius Pichl Burghart/Gehrig Davidenkoff Sagawe Zweck	Technische Entwicklung im Wasserbau Der Ortungstachygraph und seine Anwendung Beitrag zur Frage der Geschwindigkeitsverteilung in offenen Gerinnen Grundwasserzufluß zu Brunnen und Gräben Der Dehnungsmeßstreifen als Meßelement bei erd- und wasserbaulichen Modellversuchen Zur Ermittlung der Tragfähigkeit von Pfählen (I)
3/54	Canisius Wehrkamp Liebs Schleiermacher Zweck Meenen	Die Bodenmechanik im Dienste des Wasserbaues Ein neues Flußprofilmeßgerät Abzweigung einer verhältnismäßigen Teilwassermenge an einem Meßwehr Gestaltung schräg angeströmter Brückenpfeiler Zur Ermittlung der Tragfähigkeit von Pfählen (II) Reiseeindrücke von einem Einsatz der Bundesanstalt in Venezuela
4/54	Jambor Herr Wehrkamp Davidenkoff Zweck	Die Gestaltung von Kanalabzweigungen unter besonderer Berücksichtigung von Schwingungen im Kanal Spülvermögen bei Verschlämzung und Geschiebeablagerung in einem Wehrfeld mit höckerartig erhöhter Wehrschwelle Das Flußprofilzeichengerät von Dr. Fahrentholz Gefährdung der Stauwerke bei Unterströmung Zur Ermittlung der Tragfähigkeit von Pfählen (III)
5/55	Canisius Niebuhr Schleiermacher Gehrig Poggensee	Die Bundesanstalt für Wasserbau. Ein Rückblick auf ihre Entwicklung 1948 -1955 Kritische Betrachtungen zur Frage der Modellrauhigkeit (I) Wasserspiegelaufnahmen in Flußkrümmungen und Wasserspiegelquergefälle Überprüfung hydrographischer Angaben durch den Modellversuch Die Grundformel zur Bestimmung der Schleusenleistung

5/55	Zweck/Davidenkoff	Die versuchstechnischen Verfahren zur Berechnung des Netzes einer Grundwasserströmung
6/56	Schleiermacher Gehrig Wigand	Geschwindigkeits-Verlagerung in Querschnitten mittels Bühnen oder Leitwerken Messung und Berechnung von Kräften an Schiffen im Modell Verhinderung von Geschiebeablagerungen vor den unteren Schleusenvorhöfen und Staustufen
	Zweck/Davidenkoff Poggensee	Über die Zusammensetzung von Filtern Anwendung und Kritik von Rammformeln
7/56	Gehrig Zweck/Davidenkoff	Strömungsmessung mit einem Kreiszyylinder Untersuchung von Sicherungsmaßnahmen an Flußdeichen durch Modellversuche
	Schleiermacher	Einfache Darstellung des zeitlichen Ablaufes von Anschwellungen in Wasserläufen
	Niebuhr	Beitrag zur Erfassung der Räumkraft einer ungleichförmigen Strömung unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse im Tidegebiet
	Davidenkoff	Angenäherte Ermittlung des Grundwasserzuflusses zu einer in einem durchlässigen Boden ausgehobenen Grube
	Liebs Jambor	Abflußbeiwerte für grasbewachsene Deiche Formgebung des Trennpfeilers in Flußkraftwerken
8/57	Yalin Davidenkoff	Die theoretische Analyse der Mechanik der Geschiebebewegung Durchsickerung durch Deiche und Erddämme (I)
9/57	Zweck/Davidenkoff Davidenkoff Schleiermacher	Auftrieb unter Wehren auf durchlässigem Grund Wirkung der Sickerströmung auf die Standsicherheit eines Erddammes (II) Versuch einer morphologischen Begründung von Rauigkeits-Beiwerten für die Berechnung des Wasserspiegel-Gefälles
	Yalin	Ermittlung des Querschnittes mit maximalem Geschiebetransportvermögen
10/58	Magens	Untersuchung der Ursachen und des Vorganges der Verschlickung der Schleusenvorhöfen zu Brunsbüttelkoog
11/58	Rubbert Gruhle Gehrig Davidenkoff	Die Vertiefung der Tideflüsse und ihre Problematik Verformungsmessungen an den Spundwänden der Schleuse Friedrichsfeld Der Verbau von Übertiefen und die Erhaltung des Fahrwassers Durchsickerung durch Deiche und Erddämme (Schluß aus 8 und 9)
12/59	Zweck/Dietrich Zweck Rubbert	Zur Ermittlung der Verteilung des Coulomb'schen Erddruckes Versuchsergebnisse über die Zusammensetzung von Filtern Die Tiderechnung als Problem der Numerischen Analysis
13/59	Zweck/Dietrich	Die Berechnung verankerter Spundwände in nicht bindigen Böden nach ROWE
	Felkel Steinfeld	Der Schwellbetrieb der Flußkraftwerke Über den Erddruck an Schacht- und Brunnenwandungen
14/60	Felkel	Walzenbucht und Ringgraben als Mittel zur Verminderung der Schwebstoffablagerungen in Flußhäfen
	Davidenkoff	Neue Forschungsarbeiten über die Konsolidierung wassergesättigter bindiger Böden

14/60	Gehrig/Herr	Beitrag zur Ermittlung des Wasserdruckes auf gekrümmte Flächen
15/60	Jambor Felkel Felkel	Lage und Gestaltung der Schleusen und ihrer Zufahrten Wasserspiegelmessungen an einer festen Wehrschwelle Gemessene Abflüsse in Gerinnen mit Weidenbewuchs
16/61	Felkel Davidenkoff Dietrich	Die Modelluntersuchungen für zehn Moselstaustufen Sickerverluste bei Durch- und Unterströmung von Deichen Schnittgrößen und Randspannungen in der Sohlfuge einer Kaimauer oder Stützmauer von rechteckigem Querschnitt
17/62	Kleinschmidt/Schröder	Sonderheft Korrosionsversuche
18/62	Felkel Vollmer Felkel Davidenkoff	Der Einsatz frei fahrender Modellschiffe beim flußbaulichen Versuch Erfahrungen an einem Tidemodell mit beweglicher Sohle und Vergleich zwischen Modell- und Naturmessungen Ein einfaches Rundbecken zum Mischen von Wasser und Koagulieren von Schmutzstoffen Über die Berechnung der Sickerverluste aus Kanälen
19/63	Zweck/Dietrich Jansen Felkel Jänke	Modellversuche mit steifen Dalben in bindigen Böden bei plötzlicher Belastung Die Neukonstruktion von Fahrstühlen für Kraftmessungen an Modellschiffen Die Neckartalplanung im Raume Heilbronn Überprüfung der Brauchbarkeit von Pfahlformeln anhand von Probebelastungen und Messungen an Stahlpfählen
20/64	Franke	Die Strömungsvorgänge bei unvollkommenen Brunnen
21/64	Naujoks Dietrich Liebs Franke	Untersuchungen zum Nachweis eines spezifischen Sättigungsgrades Zur Berechnung der Tragfähigkeit starrer Dalben in homogenen Böden Die Abschirmung von Seehäfen gegen Seegang Der Einfluß des Neigungswinkels der wasserführenden Schicht und einer partiellen Auskleidung des durchlässigen Brunnenschachtes auf die Zuflußmenge zu einem artesischen Brunnen
22/65	Rubbert Jambor Davidenkoff/Franke	Tidewellenberechnungen nach dem Universalprogramm der BAW „Anwendung zur Berechnung der Tidebewegung der Oberelbe“ Schutz der Sohle in Flüssen Untersuchung der räumlichen Sickerströmung in eine umspundete Baugrube in offenen Gewässern
23/66	Dietrich Ruck Dietz Felkel/Canisius	Modellversuche mit biegsamen langen Dalben unter wiederholten Belastungen im Sand Untersuchungen der Sandwandungsverhältnisse im Küstenbereich zwischen Stohl und Brauner Berg Einfluß der Saugschlauchbeaufschlagung bei Kaplansturbinen auf die Schiffahrtsverhältnisse im Unterwasser von Staustufen Elektronische Berechnung von Wasserspiegellagen
24/66	Völpel/Samu Schnoor	Reliefänderungen in der Tidestromrinne des Wangerooger Fahrwassers im Verlaufe einer Sturmperiode und in der darauf folgenden Periode mit ruhigeren Wetterlagen Über neue Verfahren zur Berechnung des Reflexionsdruckes von Wasserwellen auf senkrechte Wände

24/66	Zweck	Baugrunduntersuchungen mit Sonden gem. DIN 4094 mit Auswertungsmöglichkeiten
	Davidenkoff/Franke	Räumliche Sickerströmung in eine umspundete Baugrube im Grundwasser
25/67	Schnoor	Über verschiedene Verfahren zur Berechnung der Wellenangriffskräfte nicht brechender Wellen auf senkrechte Pfähle und Wände
	Davidenkoff	Dimensionierung von Brunnenfiltern
	Franke	Die Wirkungen des Wassers auf die Standsicherheit von Böschungen
	Schulz/Ruck	Die Sandwanderungsverhältnisse an der Nordküste der Insel Fehmarn zwischen Westermarkelsdorf und Puttgarden
	Lambert	Die Erscheinung der Gezeiten und ihre Erklärung
26/68	Schnoor	Über verschiedene Verfahren zur Berechnung der Wellenangriffskräfte auf senkrechte Pfähle und Wände
	Samu	Ergebnisse der Sandwanderungsuntersuchungen in der südlichen Nordsee
	Ruck	Auswirkung der geologischen Verhältnisse im Küstengebiet auf Baumaßnahmen im Wasserbau
27/68	Schäle/Kuhn/ Schröder/Hofmann	Kanal- und Schiffsversuche Bamberg 1967
28/69	Jänke	Untersuchungen der Zusammendrückbarkeit und Scherfestigkeit von Sanden und Kiesen sowie der sie bestimmenden Einflüsse
	Felkel	Der Weg zum vollständigen mathematischen Flußmodell
29/69	Dietz	Kolksickerung durch Befestigungsstrecken für das Eidersiel
	Dietz	Kolksicherung am Elbewehr Geesthacht
30/70	Franke/Manzke Franke Felkel	Zwei interessante Beispiele von den Erdbauaufgaben am Elbe-Seitenkanal Einige Beispiele zur Strömungsdruckwirkung des Grundwassers Ideestudie über die Möglichkeiten der Verhütung von Sohlenerosionen durch Geschiebezufuhr aus der Talauflage ins Flußbett, dargestellt am Beispiel des Oberrheins
	Jurisch	Beitrag zur Verwendung von Durchflußgleichung bei Dreieck-Überfällen
	Sindern/Rohde	Zur Vorgeschichte der Abdämmung der Eider in der Linie Hundeknöll-Vollerwiek
	Harten	Abdämmung der Eider; Modellversuche im Tidemodell
	Dietz	Abdämmung der Eider; Modellversuche für das Sielbauwerk
31/72	Giese/Teichert/Vollmers Dorer Dietz	Das Tideregime der Elbe - Hydraulisches Modell mit beweglicher Sohle Berechnung der nichtstationären Abflüsse in nicht-prismatischen offenen Gerinnen Ausbildung von langen Pfeilern bei Schräganströmung am Beispiel der BAB-Mainbrücke Eddersheim
	Dietz	Systematische Modellversuche über die Pfeilerkolkbildung
32/72	Niebuhr	Einfluß der Seitenwände bei hydraulischen Versuchen in einer rechteckigen Glasrinne
	Ache	Ergebnisse von Sondierungen neben einem eingespülten Gründungskörper einer Leuchtbake
	Franke/Ache	Ein Verfahren zur Berechnung eingespannter gedrungener Gründungskörper
	Franke/Garbrecht/ Kiekbusch	Meßfehler infolge unvollkommener Volumenkonstanz von Porenwasserdruckgebern beim Scherversuch

32/72	Franke/Bernhard Felkel Giese	Erddruckansatz bei trogförmigen Bauwerken und Wechselwirkung zwischen Erd- und Sohldruck am Beispiel des Schiffshebewerkes Lüneburg Das Sohlenkorn des Rheins zwischen Straßburg und Bingen Fahrwasserumbildungen in der Unter- und Außenelbe
33/72	Rohde/Meyn Ruck Dietz Hein	Untersuchungen über das hydrodynamische Verhalten oberflächenmarkierten Sandes und über die Einbringmethode bei Leitstoffuntersuchungen Erfahrungen beim Präparieren von Sand für Leitstoffuntersuchungen Kolksicherung am Störsperwerk Verhalten von Rost unter nicht absolut dichten Beschichtungen bei Anlegen von kathodischem Schutz im Stahlwasserbau
34/73	Hovers	Der Einfluß von Strombauwerken auf die morphologische Entwicklung der Stromrinnen im Mündungsgebiet eines Tideflusses, untersucht am Beispiel der Außenweser
35/73	Davidenkoff Tödten Hein Jurisch Pulina Dietz List	Anwendung von Bodenfiltern im Wasserbau Beitrag zur Energiedissipation von Tosbecken im Modellversuch Sulfatangriff des Meerwassers auf Beton? Ein Beitrag zur Klärung der Frage, warum Meerwasser trotz hohen Sulfatgehaltes Beton nicht angreift Messung der Momentangeschwindigkeiten mit Hilfe der Laser-Doppler-Anemometrie Geschwindigkeitsmessungen an einer Bootsgasse Modelluntersuchung der Schleusenvorhöfen an der Rheinstaustufe Iffezheim Untersuchungen von instationär belasteten Kunststoff-Filtern für den Wasserbau
36/74	Dietz Felkel Dietz/Pulina	Hydraulische Probleme bei der Planung von Staustufen Modellversuche mit Grundswellen und Schifffahrt Wahl der Wehrverschlüsse beim Ausbau der Saar zur Schifffahrtsstraße
37/75	Tödten Schuppener Harten/Knieß Dietz	Untersuchung der Strömungsvorgänge an Buhnen Erddruckmessungen am Schiffshebewerk Lüneburg Eiderdamm – Natur- und Modellmessungen Wellenmessungen im Hafen Travemünde - Vergleich zwischen Natur und Modell
38/75	Schuppener Felkel Samu	Der Erddruck einer rolligen Hinterfüllung auf eine unverschiebliche Stützwand infolge der Verdichtung Untersuchungen der Veränderungen der Höhenlage der Sohle des Oberrheins Beitrag zur morphologischen Entwicklung der Außenjade
39/76	Dietz/Pulina	Modelluntersuchungen zur Gestaltung der Hauptbauwerke an der Rheinstaustufe Iffezheim
40/76	Dietz/Pulina Knieß Annuß/Dehm/ Hein/Schröder Dietz/Pulina Dietz	Zur Wahl des Zugsegmentes als Wehrverschluß bei Ausbau der Saar Eiderdamm – Wiederauffüllung von Baggerlöchern im Watt Korrosion an Spundwänden – Wand-Dickenmessungen mit Ultraschall Zur Problematik der Querströmungen in Vorhafenzufahrten und ihre Untersuchung im Modell Zur Frage der Nachbildung von Kolkvorgängen im Modell
41/77	Armbruster Döscher	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstände am Beispiel Kehl Die Suspensionswand

41/77	Feddersen Franke/Garbrecht Franke/Schuppener Hauß Kiekbusch Ruck Sagawe Schulz	Querbelastete Verankerungen Drei Serien von Probelastungen an Großbohrpfählen in Sand-Ziel-Methode -Ergebnisse Besonderheiten beim Gründungsgutachten für ein flachgegründetes off-shore-Bauwerk Beispiele für die Anwendung statistischer Methoden in der Bodenmechanik Elektrisches Messen von Volumenänderungen beim Triaxialversuch Sondierungen zur Erkundung unterhalb der Gewässersohle von schwimmender Arbeitsplattform Kraft- und Spannungsmessungen an der Containerkaje in Bremerhaven Überlegungen zur Führung des Nachweises der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge
42/77	Hein Knieß Hein	Untersuchung über den Korrosionsablauf an wetterfesten Stählen in Abhängigkeit von der Entfernung zum Meer Bemessung von Schüttstein-Deckwerken im Verkehrswasserbau; Teil I: Lose Steinschüttungen Zum Korrosionsverhalten von Zink in salzhaltigen Wässern
43/78	Dietz Knieß	Strömungsabweiser und/oder durchbrochene Trennmole als Mittel zur Verminderung der Querströmung in oberen Vorhafenzufahrten am Beispiel der neuen Mainstaustufe Krotzenburg Belastungen der Böschung des NOK durch Schiffsverkehr - Ergebnisse von Naturmessungen
44/79	Pulina Jurisch	Modelluntersuchungen für die Saarstaustufe Rehlingen Untersuchungen über die Abflußverhältnisse im Bereich einer Grundschwelle
45/79	Dietz/Pulina Dorer/Siem Hou Lie	Zur Frage des Wehrschwellenprofils beim Zugsegment Schwall- und Sunkberechnungen mit impliziten Differenzenverfahren
46/80	Garbrecht Liebig Franke Armbruster	Auswertung von Setzungsmessungen - zwei Beispiele - Stabilitätsuntersuchungen von Mehrfachregelkreisen an hydraulischen Modellen im wasserbaulichen Versuchswesen Studie zur Frage des Einflusses von Meereswellen auf die Größe des Sohlwasserdruckes unter Offshore-Flachgründungen Die Sickerwasserströmung im Bereich der Stauanlage Kulturwehr Kehl - Teil I: Unterströmung und Standsicherheit im Endzustand
47/80	Felkel	Die Geschiebezugabe als flußbauliche Lösung des Erosionsproblems des Oberrheins
48/80	Giese Schulz/Feddersen/ Weichert	Das Tideregime der Elbe – Hydraulisches-Modell mit beweglicher Sohle Zwängungskräfte infolge Sohlreibung
49/81	Pulina/Voigt	Hydrodynamische Belastung der Wehrverschlüsse an den Saarstufen Rehlingen, Mettlach und Schoden sowie Abflußleistungen bei spezifischen Betriebsfällen – Modelluntersuchungen
50/81	Schulz Gehrig Knieß	Zur Festigkeit überverdichteter Tone Die Berechnung des Geschiebetriebanfanges Schütten von Steinen unter Wasser

50/81	Wulzinger	Sedimenttransport und Sohlausbildung im Tidemodell der Elbe mit beweglicher Sohle
51/82	Pulina/Voigt Kemnitz Hein/Klein	Einfluß der Randbedingungen auf die Abflußleistung unterströmter Wehrverschlüsse Beitrag zur Verringerung der Quergeschwindigkeiten im unteren Schleusenvorhafen einer Staustufe Untersuchung über den Temperatureinfluß auf das Korrosionsverhalten von ungeschütztem Stahl im Emders Hafengewässer
52/83	Pulina/Voigt Knieß	Neubau eines Wehres im Zitadellengraben Berlin-Spandau Untersuchung zum Nachweis der Wirtschaftlichkeit von Uferdeckwerken an Wasserstraßen
53/83	Knieß	Kriterien und Ansätze für die technische und wirtschaftliche Bemessung von Auskleidungen in Binnenschiffahrtskanälen
54/84	Dorer	Ähnlichkeit bei flußbaulichen Modellen
55/84	Knieß Wagner Hein Hallauer Abromeit Knieß/Köhler Kellner/Annuß/ Kretschmer	Untersuchung und Begutachtung alter Massivbauwerke an Wasserstraßen Die Untersuchung von Stahlwasserbauten Korrosion über und unter dem Wasserspiegel Grundsätzliche Betrachtungen über den Schutz und die Instandsetzung von Betonbauwerken Anwendung von geotextilen Filtern bei Uferdeckwerken von Wasserstraßen in der BRD Untersuchung gebundener Steinschüttungen auf Flexibilität, Verbundfestigkeit und Wasserdurchlässigkeit Kurzberichte über Arbeiten des Referats „Meßtechnik“
56/85	Schulz Schuppener Köhler	Die Ermittlung des Seitendrucks in überkonsolidierten Tonen mit Hilfe von Laborversuchen Verformungsmessungen im Erd- und Grundbau Modellversuche für die Dimensionierung von Deckwerken an Wasserstraßen – Stabilität loser Steinschüttungen
57/85	Armbruster Pulina/Voigt	Messungen, Inspektion und Kontrolle an Dämmen Lastbeanspruchungen langgestreckter Bauwerke in der Wasserstraße
58/86	Dorer Schulz Hallauer Eißfeldt Reiner/Schuppener Knieß	Stabilitätsformeln für lose Deckschichten von Böschungs- und Sohlenbefestigungen Kompressibilität und Porenwasserüberdruck - Bedeutung für Gewässersohlen Vergußstoffe für Uferdeckwerke Standortsicherheitsbeurteilung alter Hafenanlagen am Beispiel der Woltmann Kaje Cuxhaven Gründungsbeurteilung und Sicherung des Weserwehres in Bremen Verfahren zur Untersuchung von Spanngliedern
59/86	Samu Armbruster/Venetis Müller/Renz	Ein Beitrag zu den Sedimentationsverhältnissen im Emders Fahrwasser und Emders Hafen Der Einfluß von zeitweilig überstauten Polderflächen auf das Grundwasser Erfahrungen bei der Untersuchung von Dükern und Durchlässen

59/86	Hein	Über das Korrosionsverhalten von Stahlspundwänden im Mittellandkanal
60/87	Rohde Dietz Kiekbusch Schuppener Manzke Schuppener/Eißfeldt Alberts Harten Giese Fahse Samu Jensen	25 Jahre Außenstelle Küste Untersuchungen in den Tidemodellen der Außenstelle Küste Entwicklung des Hamburger Bodenmechanischen Labors der BAW Erfahrungen mit Bodenmechanischen Laborversuchen an Klei Erd- und grundbauliche Beratung beim Bau des Elbeseitenkanals Stand sicherheitsbeurteilung der Gründungen alter Wasserbauwerke Wanddickenmessungen an Stahlspundwänden Das Staustufenmodell Weserwehr bei Bremen Aufbau eines hydraulischen Tidemodells für das Lagunengebiet von Abu Dhabi Traceruntersuchungen in der Natur Geomorphologische Untersuchungen im Bereich der Brammerbank und des Krautsander Watts in der Unterelbe Überlegung zur künftigen Entwicklung der Sturmflutwasserstände an der Nordseeküste
61/87	Teil I: Beiträge zum Ehrenkolloquium für Herrn Prof. Gehrig am 27. März 1987	
	Lohrberg Garbrecht Mosonyi Vollmers Nestmann/Bachmeier	Prof. W. Gehrig und seine Bedeutung für die Entwicklung des Modellversuchswesens in der WSV Erosion, Transport, Sedimentations-Probleme und Überlegungen im Altertum Geschiebeprobeme bei Hochdruckwasserkraftwerken Probleme bei der praktischen Berechnung des Geschiebebetriebs Anwendung von Luftmodellen im strömungsmechanischen Versuchswesen des Flußbaus
	Teil II:	
	Haferburg/Müller	Instandsetzung der Mittellandkanalbrücke 144 b über die Weser in Minden
62/88	Weichert	Kenngrößen von Bentonit-Zement-Suspensionen und ihre Bedeutung für die Eigenschaften von Dichtungswandmaterialien
63/88	40-Jahre Bundesanstalt für Wasserbau	
64/88	Rohde-Kolloquium am 9. Mai 1988	
	Keil Holz Vollmers	Zur Untersuchung von Naturvorgängen als Grundlage für Ausbau und Unterhaltung der Bundeswasserstraßen im Küstenbereich Moderne Konzepte für Tidemodelle Reflexionen über Modelle mit beweglicher Sohle
	Festakt „40 Jahre Bundesanstalt für Wasserbau“ am 8. November 1988	
	Knieß Knittel Lenk	Einführungsansprache beim Festakt zur 40 Jahr-Feier der BAW am 08.11.88 Ansprache anlässlich des 40jährigen Jubiläums der BAW in Karlsruhe am 08.11.88 Verantwortungsprobleme im Wasserbau
	Vortragsveranstaltung „Umwelt und Wasserstraßen“ am 8. November 1988	
	Zimmermann/Nestmann Schulz	Ströme und Kanäle als Ingenieurbauwerke oder gestaltete Natur Stand sicherheiten, Bemessungskriterien und Normen - Kontraindikationen eines naturnahen Flußbaus?

64/88	Lankenau	Technische Zwänge, Entwicklungen und Notwendigkeiten bei modernen Wasserstraßen	
	Reinhardt	Rechtliche Zwänge, Entwicklungen und Notwendigkeiten bei modernen Wasserstraßen	
	Kolb	Grundsätze der Landschaftsplanung bei der Gestaltung von Wasserstraßen	
	Larsen Kennedy	Notwendiges Umdenken beim Ingenieur in Ausbildung und Praxis Sediment, flood-control and navigation aspects of the Three Gorges Project, Yangtse river, China	
65/89	Schröder Flach Litzner	Auswirkung der Harmonisierung des EG-Binnenmarktes auf das Bauwesen Normung für das Bauwesen im Rahmen eines europäischen Binnenmarktes Welche Auswirkungen haben die vorgesehenen europäischen Regelungen auf die deutschen Stahlbeton-Bestimmungen	
	Hallauer Bayer	Die Entwicklung der Zusammensetzung von Beton für Wasserbauten Einsatz der Betonbauweise bei Offshore-Bauwerken	
	Lamprecht Rasmus Roehle	Verwendung von Beton bei Wasserbauten in der Antike Entwicklung des Stahlbrückenbaus am Nord-Ostsee-Kanal (NOK) Der technische Fortschritt bei der Konstruktion und betrieblichen Ausbildung von Stahlwasserbauverschlüssen	
	Wagner	Untersuchung von Stahlwasserbauverschlüssen, vergleichende Auswertung und Folgerungen	
	66/89	Mühring	Entwicklung und Stand der Deckwerksbauweisen im Bereich der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Mitte
		Bartnik	Entwicklung und Stand der Deckwerksbauweisen im Bereich der Wasser- und Schifffahrtsdirektion West
		Paul, W. Paul, H. J.	Deckwerksbauweisen an Rhein, Neckar, Saar Deckwerke unter ausführungstechnischen Gesichtspunkten
		Möbius Saggau Lastrup	Abrollen von Geotextilien unter Wasser Deichschlußmaßnahme Nordstrander Bucht Dünensicherungsmaßnahmen an der dänischen Nordseeküste
		de Groot Oumeraci Richwien	Allgemeine Grundlagen zur Standsicherheit des Untergrundes unter Deckwerken Zur äußeren Beanspruchung von Deckschichten Seegang und Bodenmechanik - Geotechnische Versagensmechanismen von Seedeichen
		Köhler Bezuijen Sparboom	Messungen von Porenwasserüberdrücken im Untergrund Wasserüberdruck bei Betonsteindeckwerken Naturmaßstäbliche Untersuchungen an einem Deckwerk im Großen Wellenkanal
Heerten Hallauer Saathoff Schulz		Analogiebetrachtungen von Filtern Baustoffe für Deckwerke Prüfung an Geotextilien Überblick über neue nationale und internationale Empfehlungen	
67/90		Hein Kunz Pulina/Voigt	Zur Korrosion von Stahlspundwänden in Wasser Risikoorientierte Lastkonzeption für Schiffsstoß auf Bauwerke Untersuchungen beim Umbau und Neubau von Wehranlagen an Bundeswasserstraßen
		Zimmermann	Zur Frage zulässiger Querströmungen an Bundeswasserstraßen

67/90	Tsakiris	Kombinierte Anwendung der Dezimalklassifikation und von Titelstichwörtern zur Inhaltserschließung von Dokumenten
68/91	Knieß Alf/Theurer Schulz Ehmann Hamfler Hauß Köhler/Feddersen	Erweiterte Bundesanstalt für Wasserbau Prognose zur Entwicklung des Ladungspotentials für die Binnenschifffahrt in den neuen Bundesländern Zur Mobilisierung von Bewehrungskräften in nichtbindigen Böden Bauwerksmessungen am Beispiel des Weserwehres Temperatur- und Dehnungsmessungen während der Erhärtungsphase des Betons Verwendbarkeit von Waschbergen im Verkehrswasserbau Porenwasserdruckmessungen in Böden, Mauerwerk und Beton
69/92	Ohde Themenkreise	Nachdruck seiner Veröffentlichungen zu „Bodenmechanischen Problemen“ Bodenmechanische Kennwerte, Erddruck, Standsicherheit, Sonstige Probleme und Gesamtdarstellungen
70/93	Knieß Pulina Köhler u. a. m. Kuhl Siebert Nestmann	90 Jahre Versuchsanstalt für Wasserbau Bestimmung der zulässigen Strömungsgröße für seitliche Einleitungsbauwerke an Bundeswasserstraßen Wellenamplitudenmessungen mittels videometrischer Bildverarbeitung Die Geschiebezugabe unterhalb der Staustufe Iffezheim von 1978 - 1992 Simulation von Erosion und Deposition mit grobem Geschiebe unterhalb Iffezheim Oberrheinausbau, Unterwasser Iffezheim
71/94	Nestmann/Theobald Dietz/Nestmann	Numerisches Modell zur Steuerung und Regelung einer Staustufenkette am Beispiel von Rhein und Neckar Strömungsuntersuchungen für das Eider-Sperrwerk
72/95	Vorträge zum OHDE-Kolloquium „Praktische Probleme der Baugrunddynamik“ am 14. September 1995 Fritsche Huth Holzlhöner Schuppener Palloks/Zierach Haupt Zerrenthin/Palloks Palloks/Dietrich Huber Achilles/Hebener	Modellversuche zur Bestimmung des dynamischen Verhaltens von Fundamenten Modellierung des zyklischen Materialverhaltens von Lockergestein Einfluß des Bodens beim Schiffsstoß auf Bauwerke Eine Proberammung vor einer Stützwand mit unzureichender Standsicherheit Zum Problem der Prognose von Schwingungen und Setzungen durch Pfahlrammungen mit Vibrationsrammbären Sackungen im Boden durch Erschütterungseinwirkungen Beiträge zur Prognose von Rammerschütterungen mit Hilfe von Fallversuchen Erfahrungen mit Lockerungssprengungen für das Einbringen von Spundbohlen im Mergelgestein Ein Beitrag zur Erschütterungsausbreitung bei Zügen Untersuchungen der Erschütterungsemission für den Ausbau von Straßenbahnstrecken mit angrenzender historischer Bebauung
73/95	Westendarp Dietz	Untersuchungen und Instandsetzungsmaßnahmen an den Massivbauteilen des Eidersperrwerkes Strömungsverhältnisse, Kolkbildung und Sohlensicherung am Eider-Sperrwerk

- 73/95 Heibaum** Sanierung der Kolke am Eidersperwerk - Geotechnische Stabilität von Deckwerk und Untergrund
- 74/96 Vorträge zum BAW-Kolloquium „Flußbauliche Untersuchungen zur Stabilisierung der Erosionsstrecke der Elbe“ am 9. März 1995**
- Faist** Langfristige Wasserspiegelsenkungen und Grundsätze der Strombaumaßnahmen in der Erosionsstrecke der Elbe
- Glazik** Flußmorphologische Bewertung der Erosionsstrecke der Elbe unterhalb von Mühlberg
- Faulhaber Schmidt** Flußbauliche Analyse und Bewertung der Erosionsstrecke der Elbe
Ergebnisse neuerer Untersuchungen zu Gewässersohle und Feststofftransport in der Erosionsstrecke
- Alexy** Hydronumerische Untersuchungen zur Felsabgrabung und zum Einbau von Grundswellen in der Elbe bei Torgau
- Fuehrer Schoßig** Untersuchungen der Einsinktiefe von Bergfahrern im Stromabschnitt Torgau
Sohlenstabilisierung der Elbe km 154,62 - 155,70 im Bereich der Torgauer Brücken – praktische Durchführung -
- Kühne** Sohleninstandsetzung im Stromabschnitt Klöden (El-km 188,8 - km 192,2)
- 75/97 Abromeit** Ermittlung technisch gleichwertiger Deckwerke an Wasserstraßen und im Küstenbereich in Abhängigkeit von der Trockenrohdichte der verwendeten Wasserbausteine
- Alberts/Heeling** Wanddickenmessungen an korrodierten Stahlspundwänden -
Statistische Datenauswertung zur Abschätzung der maximalen Abrostung -
- Köhler** Porenwasserdruckausbreitung im Boden, Messverfahren und Berechnungsansätze
- 76/97 Vorträge zum BAW-Kolloquium zur Verabschiedung von LBDiR a. D. Prof. Dr.-Ing. Schulz und zur Amtseinführung von LBDiR Dr.-Ing. B. Schuppener am 18. Oktober 1996**
- Krause Schwieger** Ansprache anlässlich der Verabschiedung von Prof. Dr.-Ing. Schulz
Monitoringsystem zur Überwachung der Fugendichtigkeit an der Schleuse Uelzen
- Köhler** Boden und Wasser - Druck und Strömung
- Armbruster-Veneti** Leckageortung an Bauwerken der WSV mittels thermischer Messungen
- Schulz** Rückblick auf 23 Jahre Geotechnik in der BAW
- Schuppener** Gedanken zu den zukünftigen Aufgaben der Geotechnik in der BAW
- 77/98 Armbruster-Veneti et al. Fuehrer** Das Schawan-Wehr in Karelien - Zustand und Lebensdauer
Untersuchungen zur hydraulischen Beanspruchung der Wasserstraßen durch die Schifffahrt
- Jurisch** Untersuchung der Genauigkeiten von Tachymeter- und DGPS-Ortungen zur Ermittlung hydraulischer und hydrologischer Daten in Flüssen
- Lasar/Voigt** Gestaltung des Allerentlastungsbauwerkes I am MLK
- 78/98 50 Jahre Bundesanstalt für Wasserbau**
- 79/98 Vorträge zum gemeinsamen Kolloquium von BAW und BfG „Eisbildung und Eisauflauf auf Binnenwasserstraßen“ am 26. Mai 1998**
- Heinz Barjenbruch** Konzeptionelle Überlegungen zur Nutzung der Wasserstraßen bei Eis
Wärmehaushalt von Kanälen

- 79/98** **Klüssendorf-Mediger** Prognose von Eiserscheinungen auf ostdeutschen Wasserstraßen
Brydda Chancen eines garantierten Ganzjahresverkehrs auf mitteleuropäischen Kanälen
- Busch** Eissituation an den Wasserstraßen der WSD Süd
Voß Eisbildung und Eisauflauf auf den Binnenwasserstraßen der WSD Ost
Rupp Eisbrechende Fahrzeuge und deren Einsatzmöglichkeiten bei Eisbedeckung
- Kaschubowski** Eisfreihaltung mit Luftsprudelanlagen
Sachs Tauchmotorpropellerpumpen zur Eisfreihaltung von Stemmtoren
Alexy Eisdruck auf Kanalbrücken
Alexy Optimierung der Eisabführung an Brücken
- 80/99** **Vorträge zum BAW-Kolloquium „Donauausbau Straubing-Vilshofen / vertiefte Untersuchungen“ am 14. Oktober 1999**
- Kirchdörfer** Donauausbau Straubing - Vilshofen - vertiefte Untersuchungen - Ziele, Varianten, Organisationsstruktur
- Hochschopf** Donauausbau Straubing - Vilshofen - vertiefte Untersuchungen - Baumaßnahmen Naturversuch Sohlendeckwerk
- Jurisch/Orlovius** Durchführung und Rohdatenauswertung
Strobl Steinschlaguntersuchungen zur Ermittlung vertikaler Sicherheitsabstände in der Schifffahrt
- Zöllner** Fahrdynamische Untersuchungen der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e. V., Duisburg, zum Donauausbau Straubing - Vilshofen
- Neuner** Untersuchungen zu den horizontalen Sicherheitsabständen in einem mit Buhnen geregelten Flussabschnitt
- Nestmann** Luftmodelluntersuchungen zu Kolkverbaumaßnahmen
Kellermann Donauausbau Straubing - Vilshofen - vertiefte Untersuchungen - 1D-Modellverfahren - Modelltechnik, 3D-Untersuchungen, Buhnen, flussmorphologische Änderungen
- Söhngen** Fahrdynamische Modelluntersuchungen
Roßbach/Kaupfert Physikalischer Modellversuch Isarmündung
- 81/00** **Dienststelle Ilmenau**
- Beuke** Festvortrag - Bauinformatik als Verbundstelle zwischen Bauingenieurwesen und Informatik
- Siebels** Wie kam es zum Standort Ilmenau
KSP Engel und Zimmermann Architekten Neubau der Dienststelle der Bundesanstalt für Wasserbau in Ilmenau
Siebels Kunstwettbewerb für den Neubau der Dienststelle der Bundesanstalt für Wasserbau in Ilmenau
- Paul** Erwartungen der WSV an die BAW-Dienststelle in Ilmenau
Bruns Informations- und Kommunikationstechnik - Perspektiven und Visionen -
Bruns Zur Geschichte der Datenverarbeitung in der BAW
Fleischer Zur Begutachtung der Standsicherheit alter, massiver Verkehrswasserbauten
Palloks Die Entwicklung der Aufgaben des Referats Baugrunddynamik (BD)
Palloks Bericht über das BAW - Kolloquium „Setzungen durch Bodenschwingungen“ in der Außenstelle Berlin am 29. September 1999

82/00	<p>Oebius</p> <p>Zöllner</p> <p>Rieck/Abdel-Maksoud/ Hellwig</p> <p>Fuehrer/Pagel</p> <p>Willamowski</p> <p>Söhngen/Heer</p> <p>Abromeit</p> <p>Alexy</p> <p>Faulhaber</p> <p>Hentschel/Kauther</p> <p>Gladkow/Söhngen</p> <p>Glazik</p>	<p>Charakterisierung der Einflussgrößen Schiffsumströmung und Propellerstrahl auf die Wasserstraßen</p> <p>Schiffbauliche Maßnahmen zur Reduzierung der Sohlbeanspruchung</p> <p>Numerische Berechnung der induzierten Geschwindigkeiten eines Binnenschiffes im Flussbett bei Bergfahrt</p> <p>Formparameter- und Tiefgangseinflüsse auf die erreichbare Schiffsgeschwindigkeit und schiffsinduzierte Sohlströmung im allseitig begrenzten Fahrwasser – Ergebnisse der 3D-Modellierung der Schiffsumströmung nach FANKAN</p> <p>Anwendung hydraulischer und fahrdynamischer Bewertungskriterien zur Beurteilung der Befahrbarkeit von Flüssen am Beispiel der Unteren Saale</p> <p>Einfluss des mittleren Rückströmungsfeldes auf den Geschiebetransport am Beispiel des Rheins bei Westhoven</p> <p>Deckwerksschäden durch Verockerung des geotextilen Filters und Sanierungsmethode</p> <p>Ermittlung der Kolkiefen und der erforderlichen Sohlenbefestigung im Bereich einer Brückenbaustelle in der Elbe</p> <p>Veränderung von hydraulischen Parametern der Elbe in den letzten 100 Jahren</p> <p>Hochgeschwindigkeitsvideokamera im wasserbaulichen und geotechnischen Versuchswesen</p> <p>Modellierung des Geschiebetransports mit unterschiedlicher Korngröße in Flüssen</p> <p>Historische Entwicklung des wasserbaulichen Modellversuchswesens in den Versuchsanstalten Berlin-Karlshorst und Potsdam</p>
83/01	<p>Vorträge zum BAW-Kolloquium „Instandhaltung der Wasserbauwerke - eine Kernaufgabe der WSV?“, Abschiedskolloquium für Herrn LBDir R. Wagner am 22. März 2001</p> <p>Aster</p> <p>Hermening</p> <p>Kunz/Bödefeld</p> <p>Westendarp</p> <p>Strobl/Wildner</p> <p>Meinhold</p> <p>Binder</p> <p>Beuke</p>	<p>Bauwerksinstandsetzung und Kernaufgaben - Ein Widerspruch?</p> <p>Anforderungen der WSV an die BAW bezüglich der Beratung bei der Instandhaltung der Anlagen</p> <p>Von der Bauwerksinspektion zum Bauwerksmanagement</p> <p>Betoninstandsetzung - Neue Anforderungen und Entwicklungen</p> <p>Injektion mit hydraulischem Bindemittel im porösen Massenbeton</p> <p>Instandsetzungsmöglichkeiten und -grenzen für Stahlwasserbauten</p> <p>Arbeits- und Umweltschutz bei Korrosionsschutzarbeiten</p> <p>Gestalterische Aspekte bei der Modernisierung der Schleuse Woltersdorf</p>
84/02	<p>10 Jahre deutsch-russische Kooperation im Bereich der Binnenwasserstraßen 1991-2001, Vorträge aus Symposien 9. September 2001 in Sankt Petersburg und 11. Dezember 2001 in Karlsruhe (in deutscher und russischer Sprache)</p> <p>Butow</p> <p>Armbruster</p> <p>Kljujew</p> <p>Ogarjow/Koblew</p> <p>Radionow</p>	<p>Zusammenarbeit der Sankt-Petersburger Staatlichen Universität für Wasserkommunikationen mit der Bundesanstalt für Wasserbau</p> <p>Ausgewählte Aspekte der Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Geotechnik</p> <p>Deformationen der Schleusen-kammerwände an der Wolga-Ostsee-Wasserstraße</p> <p>Zustand und Entwicklungsperspektiven der Kaspi-Schwarzmeer-Wasserstraße</p> <p>Rekonstruktion des Moskau-Kanals</p>

- 84/02**
- Bödefeld** Auswertung der Bauwerksinspektion
Dettmann/Zentgraf Pegelabhängige Fahrspurberechnung in fließenden Gewässern
Kemnitz Modellierung des Geschiebetransports in Flüssen
Kemnitz Untersuchung von Schleusenfüllsystemen am Beispiel der neuen Hafenschleuse Magdeburg
Lausen Numerische 3D-Simulation der Moselstaustufe Lehmen
Odenwald Prüfung und Beurteilung der Baugrubenabdichtung für den Schleusenneubau Uelzen II im Elbe-Seitenkanal
Paul Donauausbau Straubing - Vilshofen
Stenglein Unterhaltungskonzept für den freifließenden Rhein
- 85/02**
- Oberflächendichtungen an Sohle und Böschung von Wasserstraßen**
Empfehlungen zur Anwendung von Oberflächendichtungen an Sohle und Böschung von Wasserstraßen
Kolke an Gründungen / Scour of Foundations - Workshop 5 der XV. Internationalen Tagung über Bodenmechanik und Geotechnik in Istanbul im August 2001 (in deutscher und englischer Sprache)
- Annandale et al.** Fallstudien zur Kolkbildung / Scour Case Studies
Heibaum Geotechnische Aspekte von Kolkentwicklung und Kolkenschutz / Geotechnical Parameters of Scouring and Scour Countermeasures
Richardson et al. Praktische Berechnungen zu Kolken an Brücken in den USA / United States Practice for Bridge Scour Analysis
- Schiffbautechnisches Kolloquium der Bundesanstalt für Wasserbau am 24./25. April 2002**
- Bielke** Funktionale Leistungsbeschreibung bei der Ausschreibung von Wasserfahrzeugen
Dobinsky/Sosna Einsatz dieselelektrischer Schiffsantriebe
Lenkeit/Stryi Modernisierung der Fähren entlang des NOK
Stumpe Verlängerung MzS MELLUM
Garber Entwicklung eines Sandhobels
Claußen Entwicklung und Einsatz von flachgehenden Aufsichts- und Arbeitsschiffen (Typ Spatz)
Kühnlein Modellversuchswesen im Schiffbau
Germer Antifouling (TBT-Alternativen)
Christiansen Umweltverträgliche Schmierstoffe und Hydrauliköle
Hoffmann Fächerlot- und Sonarsysteme
Preuß Einsatz von AIS/VDR an Bord
- 86/03**
- Themenschwerpunkt: Wasserbau im Küstenbereich**
- Jürges/Winkel** Ein Beitrag zur Tidedynamik der Unterems
Lang Ein Beitrag zur Tidedynamik der Innenjade und des Jadebusens
Schüttrumpf/Kahlfeld Hydraulische Wirkungsweise des JadeWeserPorts
Schubert/Rahlf Hydrodynamik des Weserästuars
Boehlich Tidedynamik der Elbe
Seiß/Plüß Tideverhältnisse in der Deutschen Bucht
Winkel Das morphologische System des Warnow-Ästuars
Rudolph Sturmfluten in den deutschen Ästuaren
Liebethuth/Eißfeldt Untersuchungen zur Nautischen Sohle
Uliczka/Kondziella Dynamisches Fahrverhalten extrem großer Containerschiffe unter Flachwasserbedingungen

86/03	Bielke/Siebeneicher Heyer Lang Weilbeer Malcherek Vierfuss	Entwicklung, Planung und Neubau von Wasserfahrzeugen Zur Bedeutung mathematischer Modelle im Küstenwasserbau Analyse von HN-Modell-Ergebnissen im Tidegebiet Zur dreidimensionalen Simulation von Strömungs- und Transportprozessen in Ästuaren Vom Sohlevolutions- zum vollständigen Morphologiemodell: Eine Road Map zur SediMorph-Entwicklung Seegangmodellierung in der BAW
87/04	Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen	
88/05	Principles for the Design of Bank and Bottom Protection for Inland Waterways (Englische Fassung des Mitteilungsblatts Nr. 87/2004)	
89/06	Massive Wasserbauwerke nach neuer Norm	
	Kunz Westendarp Allers/Maier/Fleischer Bödefeld Becker Lünsmann/Linse; Bödefeld Westendarp Literatur	Bemessungsphilosophie für massive Wasserbauwerke Expositionsklassen von Wasserbauwerken Vergleichende Beispielrechnung Schleuse Sülfeld Bemessungsbeispiel Schleuse Hohenwarthe Bemessungsbeispiel für einen Durchlass (Stever-Durchlass) nach neuem Regelwerk Bemessungsbeispiel Wehranlage Raffelberg Hinweise zu Beton und Betonausführung bei Wasserbauwerken
90/07	Wasserbauliches Versuchswesen	
	Grimm/Kemnitz/ Seiter/Sengstock/Voigt Hentschel Faulhaber Maas/Mulsow/Putze Weitbrecht/Muste/ Creutin/Jirka Henning/Sahrhage/ Hentschel Hentschel Ettmer Wenka/Köhler Söhngen/Dettmann/ Neuner	Entwicklungsstand der physikalischen Modelluntersuchung von Schleusen und Wehren Hydraulische Flussmodelle mit beweglicher Sohle Neue Methoden der aerodynamischen Modellierung flussbaulicher Fragestellungen Verfahren der optischen Triangulation zur räumlich-zeitlich aufgelösten Bestimmung von Wasserspiegelhöhen in hydraulischen Modellen Geschwindigkeitsmessungen mit Particle-Image-Velocimetry: Labor- und Feldmessungen 3D-PTV – Ein System zur optischen Vermessung von Wasserspiegellagen und Fließgeschwindigkeiten in physikalischen Modellen Ein Finite-Differenzen-Verfahren zur Strömungsanalyse Physikalische Modellierung von Kolkprozessen Simultane Druck- und 3D-Geschwindigkeitsmessungen im Porenraum einer Kiessohle Modelluntersuchungen zur Ermittlung der erforderlichen horizontalen Sicherheitsabstände von Binnenschiffen zu Uferböschungen
91/07	Einsatz von Schlauchwehren an Bundeswasserstraßen	
	Gebhardt Gabrys	Stand der Schlauchwehrtechnik, Anwendungsbeispiele und Betriebserfahrungen Bemessung und Konstruktion der Verankerungen von Schlauchwehren

91/07	Maisner	Werkstoffe für Schlauchmembrane
	Gebhardt/Kemnitz	Hydraulische Bemessung von Schlauchwehren
	Meine	Bundeswasserstraße Aller – Schlauchverschlüsse für das Allerwehr Marklendorf; Bau- und Funktionsbeschreibung, erste Erfahrungen
	Reuter	Ersatzneubau Wehr Bahnitz – Varianten, Planung und Bau eines Schlauchwehres
	Kamuf	Untersuchungen zur Beschädigung durch Vandalismus
92/10	Gebhardt/Stamm	Analyse von Schadensfällen an bestehenden Schlauchwehranlagen
	Poligot-Pitsch/Moreira	The French Experiment of an Inflatable Weir with Steel Gates
	Bödefeld	Rissmechanik in dicken Stahlbetonbauteilen bei abfließender Hydratationswärme

BAWMitteilungen: ISSN 2190-9199

93/11	Bautechnische und geotechnische Aspekte beim Schleusenbau	
	Reschke	Instandsetzung unter Betrieb mit einem schnell erhärtenden Spritzbeton - Probemaßnahme Schleuse Feudenheim
	Meinhold	Kollisionsbeanspruchungen im Stahlwasserbau – Untersuchungen zum Schiffsstoß auf Schleusentore und abzuleitende Maßnahmen
	Steffens/Anna/Enders	Schleusen-Stemmtore in faserverstärkter Kunststoff-Bauweise
	Bödefeld/Reschke	Verwendung von Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen bei Verkehrswasserbauten
94/11	Herten/Saathoff	Geotechnische Aspekte bei der Planung und beim Bau der neuen Schleuse Bolzum am Stichkanal Hildesheim
	Montenegro/Hekel	Wasserhaltung für die Baugrube der neuen Schleuse in Bolzum – Anwendung der Beobachtungsmethode in einem Kluftgrundwasserleiter
	Geohydraulische Aspekte bei Bauwerken der WSV	
94/11	Odenwald	Vom Schadensfall am Elbe-Seitenkanal zum Merkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen
	Schuppener	Das Normen-Handbuch zu Eurocode 7 und DIN 1054:2011 – Grundlagen von Dämmen an Bundeswasserstraßen
94/11	Odenwald	Neuerungen im Merkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD), Ausgabe 2011
	Laursen	Nachweis gegen Fugenerosion gemäß dem Merkblatt „Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen“
94/11	Odenwald	Numerische Berechnung der Dammdurchströmung
	Ratz/Odenwald	Dränagen zur Erhöhung der Standsicherheit von Bauwerken in Kanaldämmen
94/11	Fuchs	Dränagen unter der Asphaltabdichtung des Main-Donau-Kanals
	Laursen/Odenwald	Grundwassermessungen an der Mainschleuse Eddersheim
94/11	Nuber/Lensing	Untersuchung der Trockenlegung der Schleusen Kammersdorf und Neue Mühle
	Lensing/Laier	Grundsätze für eine Grundwasserbeweissicherung von Baumaßnahmen der WSV

95/12 „Johann-Ohde-Kolloquium“, Karlsruhe, 7./8. Mai 2012

Heinzelmann	Begrüßung und Einführung
Kayser	Dimensionierung von Ufersicherungen mit Deckwerken unter Beachtung der Belastungsintensität
Fleischer/Eisenmann	Möglichkeiten und Grenzen pflanzlicher Ufersicherungen an Wasserstraßen
Mittelbach/Pohl	Böschungsdeckwerke unter Wellenbelastung
Zerrenthin	Erschütterungen und Setzungen bei Rammarbeiten
Wegener/Herle	Ermittlung von Scherdehnungen durch Schwingungsmessungen und numerische Berechnungen
Mittelbach/Konietzky/ Baumgarten	Ultraschallmessungen bei Triaxialversuchen – Laborversuche und numerische Simulation
Nitzsche/Herle	Vergleich von gemessenen und numerisch nachgerechneten Verformungen bei spannungspfadgesteuerten Triaxialversuchen
Nacke/Hleibieh/Herle	Mechanisches Verhalten von Rüttelstopfsäulen in weichen Böden
Baumbach	Ergebnisse axial-zyklischer Belastungsversuche unter Schwell- und Wechsellasten an Mikropfählen in Ton
Bergholz/Herten	Proberammungen und Probelastungen von Spundwänden am DEK-Nord
Hekel/Odenwald	Bohrlochversuche zur Bestimmung der Gebirgsdurchlässigkeit von Fels
Schober/Odenwald	Der Einfluss eines Auflastfilters auf die Bruchmechanik beim hydraulischen Grundbruch

96/12 Automatisierte Abfluss- und Stauzielregelung

Schmitt-Heiderich	Motivation zum FuE-Vorhaben „Optimierungsverfahren für die Parametrisierung von Reglern der automatisierten Abfluss- und Stauzielregelung (ASR)“
Hörter	Anforderungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung an die automatisierte Abfluss- und Stauzielregelung (ASR)
Arnold/Schmitt-Heiderich/ Sawodny	Parametrisierung von Reglern zur automatisierten Abfluss- und Stauzielregelung (ASR) – Stand von Wissenschaft und Technik
Schmitt-Heiderich/ Gebhardt/Wohlfart	Der Einfluss der Stellorgane auf die Abfluss- und Stauzielregelung (ASR)
Schmitt-Heiderich/ Gebhardt	Der Einfluss der Regelstrecke Stauhaltung auf die Abfluss- und Stauzielregelung (ASR)
Gebhardt/Schmitt- Heiderich/Zhang	Einfluss von Messgrößen auf die Regelgüte und Möglichkeiten zur Filterung relevanter Informationen
Wohlfart/Gebhardt	Automatisierung der Abfluss- und Stauzielregelung durch Model-Based Design und automatische Codegenerierung
Schmitt-Heiderich/ Belzner	Verfahren zur Parametrisierung von PI-Reglern einer automatisierten Abfluss- und Stauzielregelung
Gebhardt/Wohlfart	Die automatische Regelung einer Stauhaltungskette – Von den Voruntersuchungen bis zur Inbetriebnahme der automatisierten Modelstaustrufen

97/13 Die Deichrückverlegung bei Lenzen an der Elbe

Faulhaber	Charakteristik der Elbe zwischen Havelmündung und Dömitz
Damm	Deichrückverlegung Lenzen-Wustrow – Geschichte und Umsetzung im Rahmen eines Naturschutzgroßprojektes

Schmidt	Die Deichrückverlegung Wustrow-Lenzen – Planung und Umsetzung aus Sicht des Bauherrn
Faulhaber/Bleyel/Alexy	Übersicht der hydraulisch-morphologischen Modelluntersuchungen zwischen 1995 und 2010
Alexy	Numerische Modelluntersuchungen zu den Auswirkungen der Deichrückverlegung Lenzen und von geplanten Verlandanpflanzungen
Schmid/Niesler	Durchführung und Aufbereitung von Naturmessungen im Bereich der Deichrückverlegung Lenzen
Faulhaber Montenegro	Zusammenschau und Analyse von Naturmessdaten Untersuchung des Wirkungszusammenhangs zwischen Abflussdynamik und Grundwasser
Rommel	Anthropogen beeinflusste Ufer- und Vorlandentwicklung an der Unteren Mittelbe
Schneider	Historische Aspekte der wasserbaulichen Prägung des Abschnittes um Lenzen

