

Hydro- und morphodynamische Modellierung und Nachweisführung im Rahmen von Renaturie- rungsmaßnahmen in der „Unteren Havelniede- rung“

Peter Milbradt

Die Untere Havelniederung ist eines der bedeutendsten Feuchtgebiete im Binnenland Mitteleuropas. Die Erhaltung und Verbesserung des ökologischen Zustandes ist Ziel des Gewässerrandstreifenprojektes „Untere Havelniederung zwischen Pritzerbe und Gnevsdorf“ in Trägerschaft des Naturschutzbundes Deutschland e. V. Mit der 2009 gestarteten Phase II werden konkrete Maßnahmen optimiert, geplant, beantragt und umgesetzt. Sowohl bei der Optimierung und Planung als auch bei der Beantragung müssen hydro- und morphodynamische Änderungen und Betroffenheiten prognostiziert werden. Im Beitrag wird das Konzept der wasserbaulichen Systemanalyse im Rahmen der hydro- und morphodynamischen Nachweisführung für Maßnahmen und –komplexe in der „Unteren Havelniederung“ dargestellt.

Stichworte: hydro- und morphodynamische Simulation, Untere Havelniederung

1 Veranlassung und Vorgehen

Die Untere Havelniederung hat als naturnahe Fluss- und Auenlandschaft im nordostdeutschen Tiefland eine herausragende überregionale Bedeutung und bildet zusammen mit den angrenzenden Niederungen das größte zusammenhängende Feuchtgebiet im Binnenland des westlichen Mitteleuropas. Der Schutz, die Entwicklung bzw. Wiederherstellung ihrer auentypischen Strukturen und damit verbunden die Verbesserung ihres ökologischen Zustandes ist Ziel des Gewässerrandstreifenprojektes „Untere Havelniederung zwischen Pritzerbe und Gnevsdorf“ in Trägerschaft des Naturschutzbundes Deutschland e. V. (NABU). Nicht zuletzt trägt die Sicherung des Retentionspotentials der Unteren Havelniederung zum Hochwasserschutz in der Region bei. In einer ersten Phase von 2005 - 2009 wurde ein Pflege- und Entwicklungsplan (PEP, *ARGE Untere Havel / NABU (2009)*) erarbeitet, der unter anderem den Nachweis der wasserwirtschaftlichen Machbarkeit der Gesamtmaßnahme erbrachte und zu einer Priorisierung der vorgeplanten Maßnahmen unter den wirkenden ökologischen, wasserwirtschaftlichen und sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen führte.

Die vorgesehenen Maßnahmen sind in insgesamt 15 Maßnahmenkomplexen (MK) zusammengefasst worden (siehe Abbildung 1).

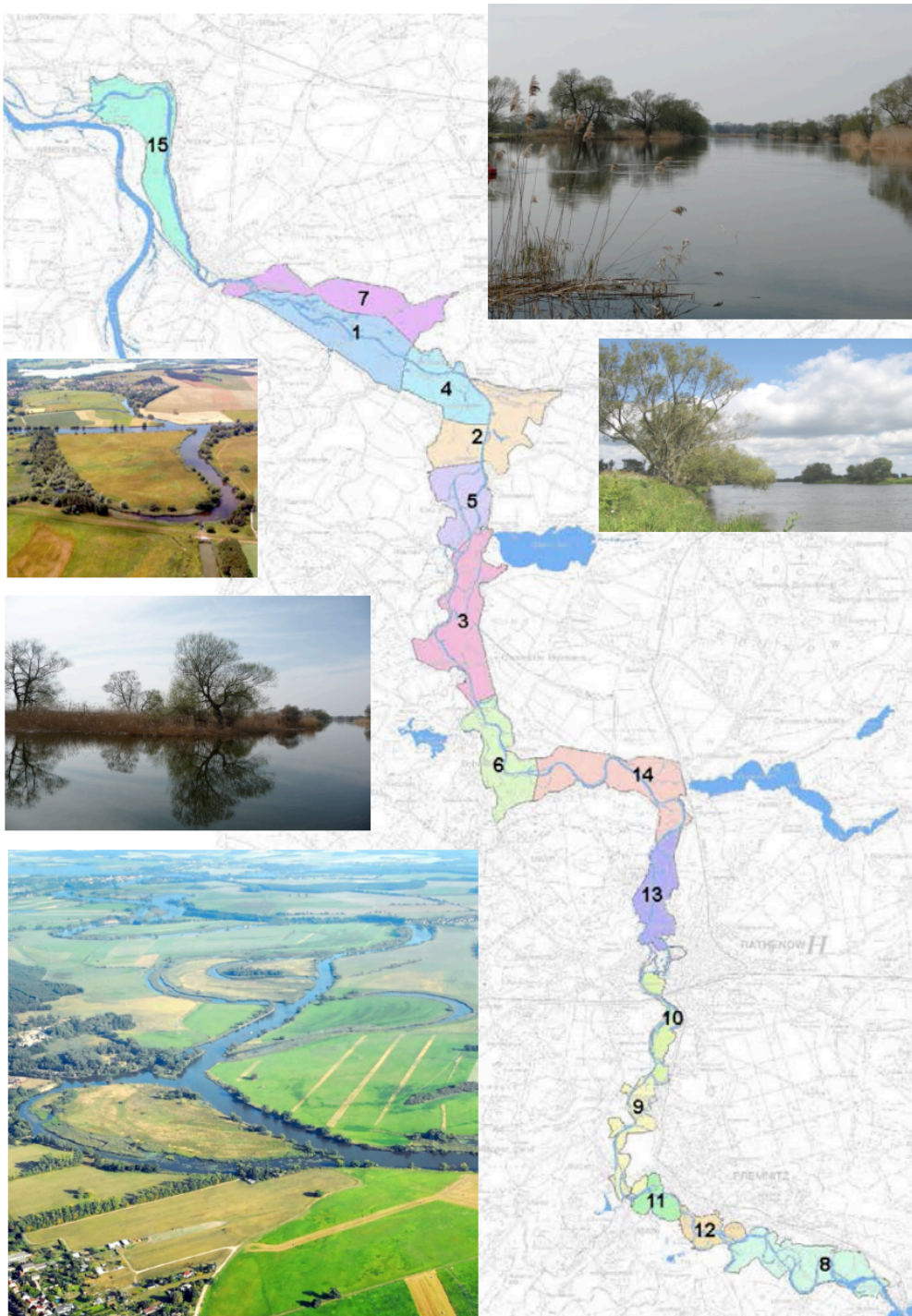


Abbildung 1: Übersicht der Maßnahmenkomplexe an der Unteren Havel [NABU]

In der 2009 gestarteten Phase II des Gewässerrandstreifenprojektes werden für die einzelnen Maßnahmenkomplexe die Planungen konkretisiert und wasserwirtschaftliche Genehmigungsverfahren geführt. Die umzusetzenden Einzelmaßnahmen können in folgende Gruppen aufgeteilt werden:

- Rückbau von Deckwerken
- Wiederanbindung von Altarmen
- Reaktivierung von Flutrinnen
- Anlage und Entwicklung von Auenwald
- Anpassung der Gewässerunterhaltung
- Optimierung des Wassermanagements

Erste Maßnahmenkomplexe werden bereits 2015 vollendet. In diesem Jahr wird die Region an der Unteren Havelniederung die Bundesgartenschau (BUGA) durchführen. Die Renaturierung ist eine der fünf tragenden Säulen des BUGA-2015-Konzeptes.

Der NABU als Träger des Gewässerrandstreifenprojektes organisiert und koordiniert die Planung, hydraulische und morphodynamische Modellierung und Umsetzung im Rahmen von Vergaben.

Die smile consult GmbH war an der Erstellung des PEP als Teil der ARGE "Untere Havel" beteiligt und wurde im Rahmen der Phase II mit den hydro- und morphodynamischen Modelluntersuchungen für zwei Maßnahmenkomplexe (MK 3 und 6) in der Stauhaltung Garz und den Untersuchungen bezüglich des Altarmanschlusses Schliepenlanke im Stadtgebiet Rathenow beauftragt.

Die Fachplanung für den MK 3 wurde durch das Ingenieurbüro IPP Hydro Consult GmbH (IHC) in Cottbus durchgeführt. Die derzeit laufenden Planungen im MK 6 erfolgen durch das Ingenieurbüro Ellmann&Schulze und für den Altarmanschluss Schliepenlanke durch das Ingenieurbüro Schimmelmann Consult.

In einem ersten Schritt geht es zunächst darum, durch numerische Modelluntersuchungen den Planer bei der Optimierung der Maßnahmen zu unterstützen.

In einem zweiten Schritt werden dann, im Zuge der (Genehmigungs-)Planung, alle Maßnahmen hinsichtlich ihrer hydraulischen und morphodynamischen Wirkungen sowie deren Auswirkungen auf das Fahrrinnenband der Unteren Havelwasserstraße (UHW) untersucht. Die Untersuchungen schließen in der Regel auch die kumulierenden Wirkungen angrenzender Maßnahmenkomplexe mit ein. Entsprechende Nachweise auf der Basis einer wasserbaulichen Systemana-

lyse werden für die Beantragung bzw. wasserwirtschaftlichen Genehmigungsverfahren erstellt.

Im Rahmen der wasserbaulichen Systemanalyse werden, wie bereits bei der Erarbeitung des PEP, die nachfolgend aufgeführten Systemzustände betrachtet:

- Ist-Zustand (IST)
- Zustand nach Abschluss der Baumaßnahmen (PLZ)
- Zustand nach Einstellung eines morphologischen Gleichgewichtszustandes (sowohl für den Ist-Zustand (MEI) als auch für den Planungszustand (MEV))

2 Basisdaten und Modellerstellung

Für den Aufbau hydro- und morphodynamischer Simulationsmodelle sowie für die Beurteilung von Veränderungen spielt die Güte der zusammengetragenen Basisdaten eine wesentliche Rolle. Die Wahl der räumlichen Modellauflösung wird so gewählt, dass sowohl die Basisdaten als auch die zu erwartenden simulierten physikalischen Parameter im Rahmen der Fragestellungen geeignet abgebildet werden können.

2.1 Topographische Basisdaten

Die Untere Havelniederung befindet sich zu Teilen in den Bundesländern Sachsen-Anhalt und Brandenburg. Die topographische Basis bilden die Produkte des Digitalen Geländemodells des Wasserlaufes (DGM-W) Elbe 2003, des DGM2 des Landes Brandenburg, jährliche Vermessungen des Wasser- und Schifffahrtsamtes Brandenburg (WSA Brandenburg; seit 2004) sowie die durch den NABU und die Fachplaner beigesteuerten Vermessungen von Nebenarmen, Gräben und Maßnahmenbereichen. Diese umfangreiche topographische Datenbasis wird mit räumlichen und zeitlichen Interpolationsverfahren verknüpft und datenbankbasiert verwaltet. Die Metadaten dieses datenbankbasierten Digitalen Geländemodells und das Berechnungsnetz sind in der Abbildung 2 dargestellt.

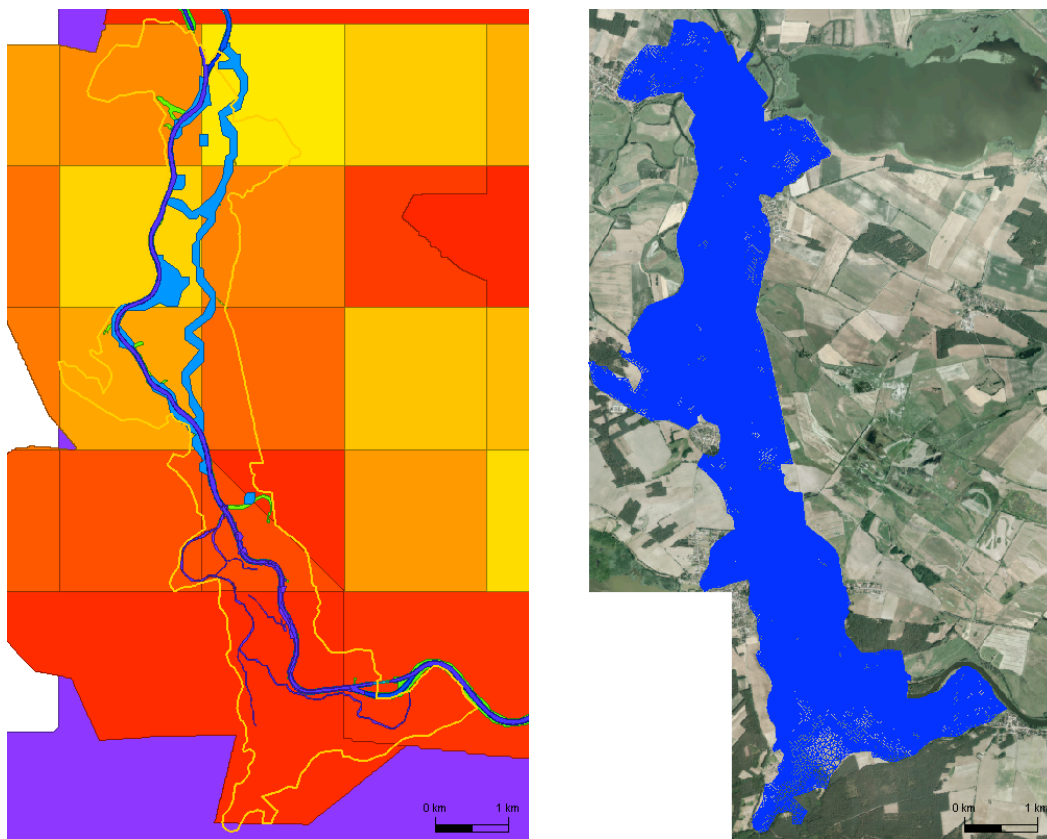


Abbildung 2: Metadaten der topographischen Vermessungen und Berechnungsnetz der Stauhaltung Garz

Das unter Einbeziehung ausgewählter Strukturpolygone (beispielsweise für Gräben und Wasserbauwerke) erstellte dreiecksbasierte Berechnungsnetz besteht für die Stauhaltung Garz aus ca. 183.000 Knoten. Die angestrebte Kantenlänge beträgt in der Stromhavel 5 - 6 m und liegt in Bereichen von Gräben teilweise unter 1 m.

2.2 Sedimentologische Basisdaten

Die bereits im PEP zusammengetragenen sedimentologischen Daten wurden durch Beprobungen im Rahmen der Maßnahmenplanung kontinuierlich ergänzt. Für die Stauhaltung Garz standen beispielsweise 137 Sedimentproben in unterschiedlicher Qualität (siehe Abbildung 3) zur Verfügung. Die Übertragung dieser punktuellen Informationen in die Fläche erfolgt auf der Basis prognostizierter Sedimentverteilung des morphodynamischen Simulationsmodells MARINA (*MARINA Handbuch* (2013)).

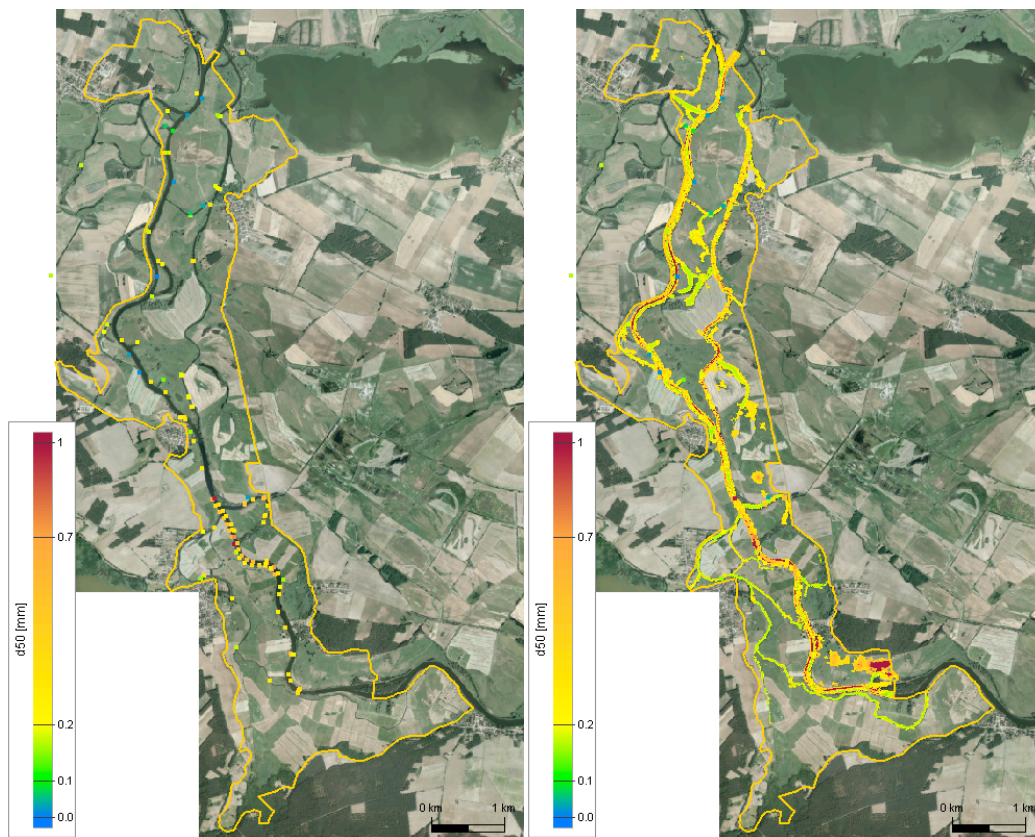


Abbildung 3: Sedimentproben und Sedimentbasismodell der SH Garz (Hintergrundbild Digitale Orthophotos des LGB)

Auf der Grundlage des Sedimentbasismodells, der Sedimentproben, Nutzungsinformationen aus der DBWK2 und Luftbilder wurde ein flächendeckendes Modell der Sedimentparameter der Geländeoberfläche erstellt. Ergänzt wird dieses sedimentologische Basismodell durch ein Modell der potentiellen Erosionstiefen, um nicht erodierbare Strukturen beschreiben zu können.

2.3 DBWK2

Für die Aktualisierung der Daten wird ebenfalls die zur Verfügung stehende Digitale Bundeswasserstraßenkarte (DBWK2) herangezogen. Während der Verwendung von Polygonen aus der DBWK2 findet ein ständiger Abgleich und eine Plausibilisierung mit den anderen Basisdaten statt.

2.4 Digitale Orthophotos

Zur Aktualisierung der Bewuchs- und Nutzungsflächen (z. B. Ackerflächen, Röhrichte etc.) und zur Plausibilisierung aller Modellierungsschritte konnten amtliche Digitale Orthophotos (DOP) als Web Map Service des Landesbetriebes Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg (LGB) herangezogen werden.

2.5 Biotoptypenkarte

Grundlage für die Festlegung von Rauheiten und äquivalenten Rauheiten im hydro- und morphodynamischen Modell bilden u. a. Kartierungen des Bewuchses und der Bebauung. Für die Aktualisierung stand die im Rahmen des PEP erstellte Biotoptypenkarte und die der Länder Brandenburg und Sachsen-Anhalt zur Verfügung.

Die Biotopinformationen und die DBWK2 in Verbindung mit den Luftbildern werden zum Aufbau eines Rauheitenmodells herangezogen. In der Regel werden zwei Rauheitenmodelle mit Sommer- und Wintervegetation betrachtet. Die sich im numerischen Simulationsmodell ergebende Modellrauheit setzt sich aus der Basisrauheit sowie der Korn- und Formrauheit des gekoppelten morphodynamischen Moduls zusammen.

3 Hydro- und morphodynamische Modellierung

Bei der wasserbaulichen Systemanalyse werden (numerische) Modelluntersuchungen verschiedener Systemzustände durchgeführt und durch Differenzbetrachtungen Veränderungen zwischen diesen prognostiziert. Die Basis dieser Modelluntersuchungen bilden zunächst validierte bzw. plausibilisierte Modelle des Ist-Zustandes.

3.1 Modellvalidierung

Hydrodynamische Modellkomponente

Die Validierung hydrodynamischer Simulationsmodelle stellt eine Standardaufgabe dar und wird auf der Basis von Wasserspiegelfixierungen bzw. -lagemessungen durchgeführt. Auf Grund der sehr guten topographischen Datenbasis konnten fast alle hydrodynamischen Validierungsrechnungen mit den zugehörigen räumlich-zeitlich interpolierten Tiefenverteilungen (*Milbradt* (2011)) berechnet werden. Hierdurch verbesserte sich die Übereinstimmung der Wasserspiegellagen wesentlich.

Eine besondere Herausforderung in der Unteren Havelniederung stellt die valide Abbildung der Durchflussverhältnisse in den unterschiedlichen Nebengewässern, wie den verschiedenen Vorflutern, Gräben und Altarmen, dar. Hierzu wurden vom NABU und den Fachplanern umfangreiche Vermessungen durchgeführt und zugehörige Wasserbauwerke dokumentiert. Strömungs- und Durchflussmessungen ergänzen die Datengrundlage zur Plausibilisierung und Validierung von Stromaufteilungen.

Morphodynamische Modellkomponente

Die Plausibilisierung morphodynamischer Modelle stellt auch heute noch eine Herausforderung dar. Zum einen sind die zur Plausibilisierung heranzuziehenden Daten mit recht großen Unsicherheiten verknüpft, zum anderen sind die morphodynamischen Modelle in der Regel noch nicht so ausgefeilt, wie dies bei den hydrodynamischen Modellen der Fall ist.

Die Plausibilisierung des morphodynamischen Simulationsmodells erfolgte in zwei Schritten. Im ersten Schritt wurde die Reaktion des Gewässerbodens auf einen sogenannten bettbildenden Abfluss betrachtet. Anschließend wurden unterschiedliche Idealisierungen der instationären Abflussverhältnisse über den Zeitraum von 2005 - 2010 betrachtet.

Stationäre Abflussverhältnisse

In einer ersten quasistationären morphodynamischen Simulation wurde die Plausibilität sowohl der gewählten Modellparameter als auch der morphodynamischen Modellreaktion geprüft. Hierzu wurde beginnend mit einer Tiefenverteilung von 2006 in der Haupthavel ein Abflussszenario mit leicht erhöhten mittleren Abflüssen, wie dieses der Wasserspiegellagenmessung vom 09. April 2009 entspricht (Abflussmenge von $105 \text{ m}^3/\text{s}$), gewählt. Nach dem ersten Jahr ergab sich eine Tiefenänderung wie in Abbildung 4 dargestellt.

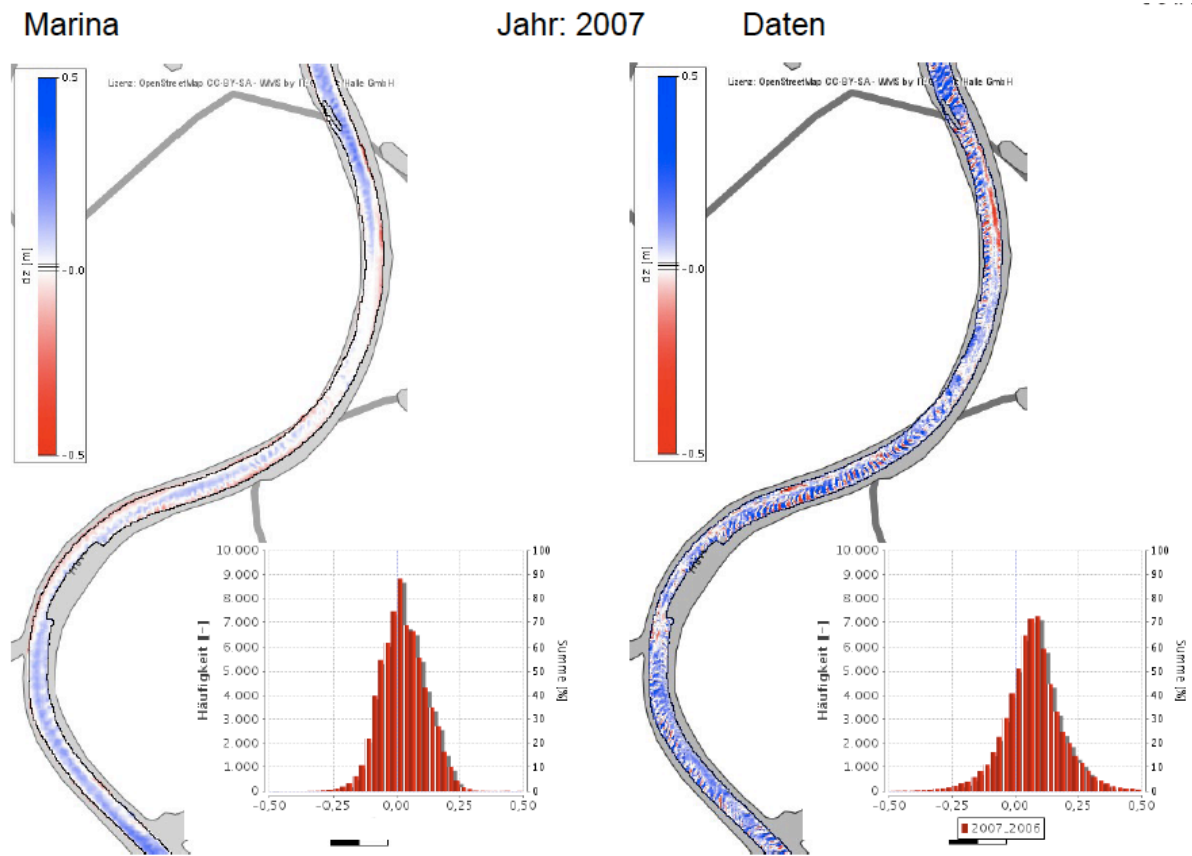


Abbildung 4: Tiefenänderung nach einem Jahr

Zunächst ist in der Abbildung 4 zu beobachten, dass kleine Strukturen in den Differenzen der Vermessungsdaten durch die Simulation mit MARINA nicht wiedergegeben werden können. Dies liegt im Wesentlichen an der Modellauflösung, die in der Havel zwischen 5 und 7 m liegt. Dünen, wie diese in der Havel vorzufinden sind, können durch das Berechnungsnetz nicht abgebildet werden. Um jedoch die hydro- und morphodynamische Wirkung solcher Bodenformen naturnah beschreiben zu können, ist in MARINA eine Dünenentwicklungsgleichung implementiert. In der Abbildung 5 sind die 2007 aus der Vermessung bestimmten und die durch Marina prognostizierten Dünenhöhen dargestellt.

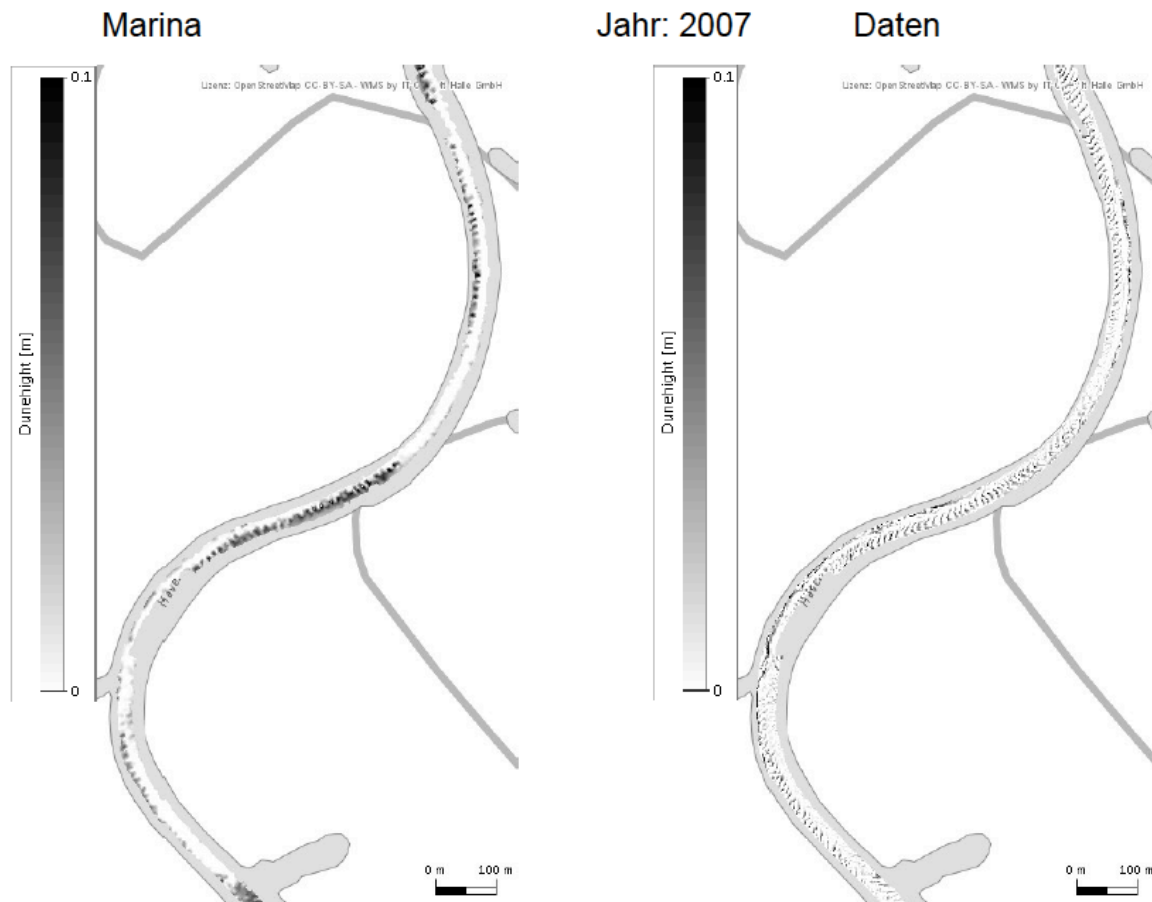


Abbildung 5: Berechnete und gemessene Dünenhöhenverteilung

Wird abschließend die zeitliche Entwicklung der volumetrischen Veränderungen über die Jahre betrachtet (Abbildung 6), so ist eine plausible Übereinstimmung in den volumetrischen Umsätzen sowie im zeitlichen Verlauf zu erkennen. Differenzen im zeitlichen Verlauf sind unter anderem auf die quasistationären Abflussverhältnisse und nicht berücksichtigte Baggerungen durch das WSA Brandenburg zurückzuführen.

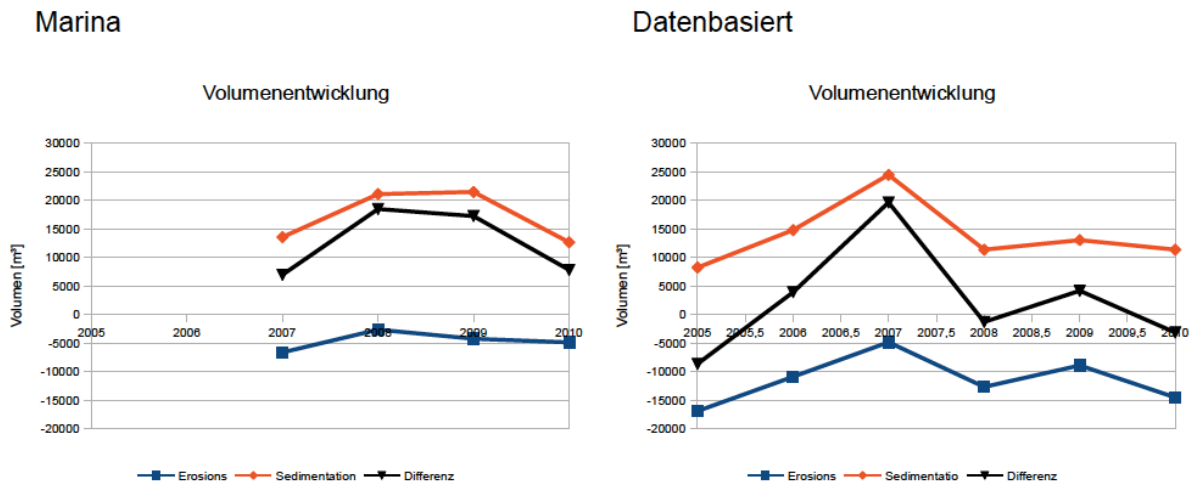


Abbildung 6: Simulierte und gemessene volumetrische Veränderungen in der Havel

Instationäre Abflussverhältnisse

Ausgehend von den beobachteten täglichen Mittelwerten der Wasserstände und Abflüsse für den Zeitraum von 2005 - 2010 wurden gleitende Mittel als Idealisierung über unterschiedliche Zeitfenster (Tag = 30, 182, 365, 1825) durchgeführt. Diese geglätteten Zeitreihen können in Verbindung mit entsprechenden morphologischen Faktoren (MF = 30, 182, 365, 1825) zur Steuerung herangezogen werden und geben im Ergebnis eine Abschätzung der Unterschiede einer kompletten morphodynamischen Jahressimulation zu einem bettbildenden Abfluss.

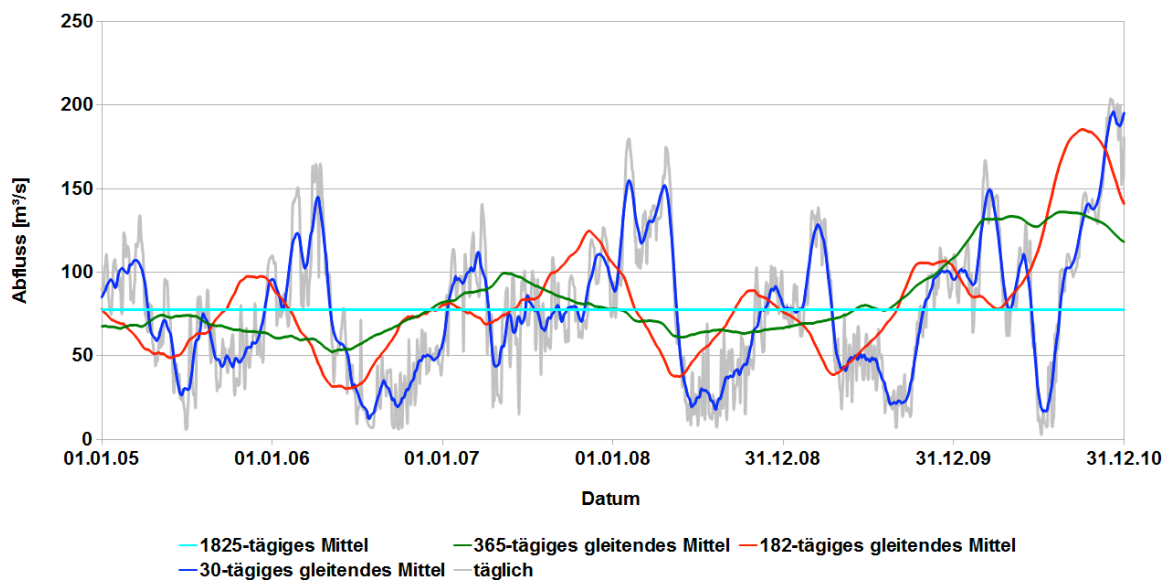


Abbildung 7: Gleitende mittlere Abflüsse am Pegel Albertsheim

Block 1 Saal 4
 Block 1 Saal 5
 Block 2 Saal 4
 Block 2 Saal 5
 Block 3 Saal 4
 Block 3 Saal 5
 Block 4 Saal 4
 Block 4 Saal 5
 Block 5 Saal 4
 Block 5 Saal 5
 Block 6 Saal 4
 Block 6 Saal 5

Für die Beurteilung langfristiger Veränderungen hat sich die Modellsteuerung mit einem bettbildenden Abfluss (gleitendes Mittel über mehrere Jahre) als geeignet erwiesen.

3.2 Maßnahmenoptimierung

Schon während der Planungs- und Präzisionsphase des Fachplaners sind numerische Simulationsmodelle ein wichtiges Ingenieurwerkzeug zur Ermittlung einer optimalen Maßnahmenkombination für den Planungszustand. Hierbei geht es insbesondere um die Anpassung und Präzisierung der Maßnahmengemetrie und –ausprägung, der Minimierung und Optimierung der notwendigen Sicherungsmaßnahmen sowie die Abschätzung der Wirkung einer geänderten Unterhaltung.

3.3 Hydraulische Nachweise

Im Rahmen der Nachweisführung für die Genehmigungsplanung werden für alle wasserwirtschaftlich relevanten Verhältnisse sowohl stationäre als auch instationäre Modelluntersuchungen durchgeführt. Schwerpunkte bilden

- der Nachweis der Hochwasserneutralität und der Niedrigwasserrobustheit
- Standsicherheitsnachweise auf der Basis von Schubspannungen
- die Änderung der Rauigkeit und hydraulischen Leistungsfähigkeit

Die Nachweise der hydrodynamischen Veränderungen werden auf der Basis der Zustände IST, PLZ, MEI und MEV durchgeführt.

3.4 Modellierung der Morphodynamik und des Sedimenttransportes

Ein wesentliches ökologisches Ziel des Gewässerrandstreifenprojektes ist die Entwicklung einer naturnahen Morphodynamik im Projektgebiet. Die Beurteilung von Veränderungen in der morphodynamischen Entwicklung erfolgt im Wesentlichen anhand der Zustände nach Einstellung eines dynamischen morphologischen Gleichgewichtszustandes sowohl für den Ist-Zustand (MEI) als auch für den Planungszustand (MEV). Hierzu werden morphodynamische Simulationen mit gleichen Randbedingungen über einen Zeitraum von 10 Jahren durchgeführt, wobei zum Erreichen des morphologischen Endzustandes IST (MEI) mit dem Ist-Zustand und für den morphologischen Endzustand Vorzugsvariante (MEV) mit dem Planungszustand gestartet wird. Werden die aus dem End- minus Anfangszustand bestimmbaren Erosions- und Sedimentationsraten ermittelt, so gibt eine Differenzbetrachtung zwischen diesen (MEI minus IST und MEV minus PLZ) Hinweise auf maßnahmeninduzierte Veränderungen in der Bodenevolution. Diese integrale Betrachtung der Morphodynamik ist wesentlich aussagekräftiger als Differenzbetrachtungen von Sedimenttransportraten

auf dem Ist- und Planungszustand, die nur eine Momentaufnahme darstellen und keine Reaktion von Hydro- und Morphodynamik erlauben.

3.5 Nachweis der Leichtigkeit und Sicherheit der Schifffahrt

Eine abschließende wesentliche Randbedingung bei allen umzusetzenden Maßnahmen ist die Gewährleistung der Leichtigkeit und Sicherheit der Schifffahrt im Rahmen der Binnenschifffahrtsstraßenordnung zur Unteren Havelwasserstraße. Hierzu wird die Beeinträchtigung des derzeitigen Fahrrinnenbandes auf der Basis der Zustände IST, PLZ, MEI und MEV analysiert.

4 Zusammenfassung

Die im Rahmen des Gewässerrandstreifenprojektes eingesetzten hydro- und morphodynamischen Simulationsmodelle haben sich als mächtiges Ingenieurwerkzeug zum morphodynamischen Design, zur Optimierung und wasserbaulichen Systemanalyse im Rahmen von wasserbaulichen Genehmigungsverfahren erwiesen. An dieser Stelle sei allen an der Planung und Umsetzung der Maßnahmenkomplexe beteiligten Partnern für die bisherige sehr gute und konstruktive Zusammenarbeit gedankt.

5 Literatur

- ARGE Untere Havel / NABU (2009): Pflege und Entwicklungsplan „Untere Havelniederung“, unveröffentlicht
Handbuch Marina (2013): www.smileconsult.de
Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg (LGB): www.geobasis-bb.de
Milbradt, P. (2011): Analyse morphodynamischer Veränderungen auf der Basis zeitvarianter digitaler Bathymetrien, in Die Küste, Heft 78, S. 33-58, ISSN 0452-7739
NABU – Projektbüro „Untere Havelniederung“ (2013): Leistungsbeschreibung Hydraulische und morphodynamische Modellierung des Maßnahmenkomplexes 6

Autor:

apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Milbradt

smile consult GmbH
Vahrenwalder Straße 4
30165 Hannover
Tel.: +49 (0)511 543617-42
Fax: +49 (0)511 543617-66
E-Mail: milbradt@smileconsult.de