

**Abflussverbessernde Maßnahmen  
an der Unteren Mittelalbe  
Rahmenplan**

**Teil Niedersachsen**

# **Anlage 1**

**2D – Modellierung an der Unteren  
Mittelalbe zwischen Wittenberge und  
Geesthacht**

**Bundesanstalt für Gewässerkunde**

**2015**

BfG-1848

## Bericht

# 2D-Modellierung an der unteren Mittelelbe zwischen Wittenberge und Geesthacht

Beschreibung der Strömungsverhältnisse und  
Wirkung von abflussverbessernden Maßnahmen  
auf Hochwasser der Elbe

Bearbeitung:

Dr.-Ing. Markus Promny  
Dipl.-Ing. Matthias Hammer  
Dipl.-Geoökol. Marcus Hatz  
Dipl.-Met. Norbert Busch

Kooperationspartner:

- Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz
- Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Mecklenburg-Vorpommern
- Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein

BfG-SAP-Nr.: M39610204029

Kooperationsvertrag vom 16.08.2012 und 1. Änderungsvertrag vom 11.02.2014

**Koblenz, den 27.07.2015**

Ministerium für Energiewende,  
Landwirtschaft, Umwelt  
und ländliche Räume  
des Landes Schleswig-Holstein



**Mecklenburg  
Vorpommern**   
Ministerium für Landwirtschaft,  
Umwelt und Verbraucherschutz



Niedersächsisches Ministerium  
für Umwelt, Energie und Klimaschutz

**DOI: 10.5675/BfG-1848**

**URL: <http://doi.bafg.de/BfG/2015/BfG-1848.pdf>**

*Zitiervorschlag:*

Promny, M., M. Hammer, M. Hatz und N. Busch (2015): 2D-Modellierung an der unteren Mittelelbe zwischen Wittenberge und Geesthacht - Beschreibung der Strömungsverhältnisse und Wirkung von abflussverbessernden Maßnahmen auf Hochwasser der Elbe. Bericht der Bundesanstalt für Gewässerkunde BfG-1848, Koblenz. URL: <http://doi.bafg.de/BfG/2015/BfG-1848.pdf>

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	5
Tabellenverzeichnis.....	8
Glossar und Abkürzungsverzeichnis.....	9
1    Veranlassung und Zielsetzung.....	11
2    Methode für 2D-Simulationsberechnungen.....	15
2.1    Vorlandrauheiten.....	17
2.2    Rauheiten im Hauptgerinne.....	21
3    Pilotmodelle für die Strecke Dömitz bis Hitzacker.....	23
3.1    Modelleigenschaften.....	23
3.2    Kalibrierung der Pilotmodelle.....	23
3.3    Validierung der Pilotmodelle.....	26
3.4    Rechenzeiten und Festlegung der Modellauflösung des Gesamtmodells.....	28
4    Gesamtmodell von Wittenberge bis Geesthacht.....	31
4.1    Modelleigenschaften.....	31
4.2    Kalibrierung des Gesamtmodells.....	32
4.3    Validierung des Gesamtmodells.....	35
4.4    Beschreibung des Referenzzustandes.....	39
4.5    Bewertung der Modellgüte des Gesamtmodells.....	39
5    Berechnung der Strömungssituation bei HQ <sub>100</sub> im Referenzzustand.....	41
6    Vegetationsbezogene Maßnahmen der Bundesländer und ihre Wirkung auf Hochwasserstände bei HQ <sub>100</sub> .....	45
6.1    Vorgezogene Maßnahmen 2014 und Rückschnitt 2013/2014.....	45
6.2    Kohärenzmaßnahmen.....	48
6.3    Gesamte geplante Vegetationsmaßnahmen.....	50
7    Topografiebeeinflussende Maßnahmen der Bundesländer und ihre Wirkung auf Hochwasserstände bei HQ <sub>100</sub> .....	53
8    Kombinierte Maßnahmen (Vegetation und Topografie) der Bundesländer und ihre Wirkung auf Hochwasserstände bei HQ <sub>100</sub> .....	57
9    Wasseranschlagslinie bei HQ <sub>100</sub> im Bezug zur Deichkrone (Freibordanalyse).....	61
9.1    Vorteile einer 2D-Modellierung für die Freibordanalyse.....	61

9.2	Freibordanalyse auf Basis der 2D-Modellergebnisse .....	64
10	Identifikation und Bewertung von Engstellen .....	69
11	Berechnung von Wasserspiegellagen für gewässerkundliche Haupt- und Extremwerte des Abflusses.....	77
11.1	Wasserspiegellagen für gewässerkundliche Hauptwerte .....	78
11.2	Wahl der unteren Modellrandbedingung .....	82
11.3	Extrapolation von Abflusskurven im Extrembereich .....	84
11.4	2D-Wasseroberflächen und Strömungsvektoren .....	85
12	Zusammenfassung der Ergebnisse, Empfehlungen und Ausblick.....	87
	Literatur .....	91
	Anhänge .....	95
	Übersicht der Anhänge.....	97
	Verzeichnis der Abbildungen im Anhang.....	98
	Verzeichnis der Tabellen im Anhang.....	102
	Anhang 1: Betrachtete vegetationsbezogene und topografiebeeinflussende Maßnahmen .....	103
	Anhang 2: Darstellung des Strömungsbildes bei $HQ_{100}$ .....	107
	Anhang 3: Sensitivitätsstudie zur maximalen Rauheitswirkung der Vegetation auf die Wasserspiegellage bei einem stationären Abfluss von $HQ_{100}$ und Vergleich mit 1D-Simulationsergebnissen.....	137
	Anhang 4: Sensitivitätsstudie zur maximalen Rauheitswirkung der Vegetation auf den Hochwasserwellenablauf (instationär).....	141
	Anhang 5: Auswirkung der Deichrückverlegung Lenzen auf das Hochwasser 2013 .....	151
	Anhang 6: Deichhöhen, Wasserstände am Deich und Freiborde entlang der Untersuchungsstrecke.....	155
	Anhang 7: Analyse zur Identifikation von Engstellen.....	161
	Anhang 8: Beurteilung der hydrologischen Situation an der unteren Mittelbe im Zeitraum 1980 bis 2013.....	195
	Anhang 9: Bilder der Bereisung vom Januar 2013 .....	205

# Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Vorland bei Dömitz im Zustand 1990 .....	11
Abb. 2:	Vorland bei Dömitz im Zustand 2011 .....	11
Abb. 3:	Übersichtskarte des Modellgebietes der unteren Mittelbe von Wittenberge bis Geesthacht; Gesamtmodell, Pilotstrecke und Pegel an der Elbe .....	13
Abb. 4:	Ausschnitt des digitalen Geländemodells im Bereich Hitzacker.....	16
Abb. 5:	Ausschnitt des unregelmäßigen triangulierten Höhenmodells im Bereich Hitzacker als Schummerungsbild.....	16
Abb. 6:	Ausschnitt der interpolierten Modellhöhen sowie der Bruchkanten im Bereich Hitzacker .....	17
Abb. 7:	Ausschnitt der Rauheitsdaten im Bereich Hitzacker .....	21
Abb. 8:	Pilotmodellstrecke mit Abschnittsgrenzen unterteilt an Gefällewechslern für das Hochwasser 2011 und an Pegeln.....	24
Abb. 9:	Differenz zwischen modellierter und gemessener Wasserspiegellage für das HW 2011 und das MW 2005 für das Pilotmodell mit 25 m-Gitter.....	26
Abb. 10:	Gemessene Wasserspiegellagen aller Kalibrierungs- und Validierungsereignisse und Bühnenkopfhöhen für die Pilotstrecke im Längsschnitt.....	27
Abb. 11:	Rechenzeiten der Pilotmodelle in Abhängigkeit von der Gitterweite für das gewählte Szenario.....	29
Abb. 12:	Aufteilung der Modellstrecke Wittenberge-Geesthacht in vier Abschnitte (Domains).....	31
Abb. 13:	Rauheitsabschnitte des Gesamtmodells (oberer Teil) unterteilt an Gefällewechslern für das HW 2011.....	33
Abb. 14:	Rauheitsabschnitte des Gesamtmodells (unterer Teil) unterteilt an Gefällewechslern für das HW 2011.....	33
Abb. 15:	Differenz der Wasserspiegellagen in Gewässermitte für die beiden Kalibrierungsereignisse für das Gesamtmodell sowie für das Pilotmodell mit 25 m-Gitterweite.....	35
Abb. 16:	Differenz der Wasserspiegellagen in Gewässermitte für die beiden Validierungsereignisse .....	36
Abb. 17:	Aufsicht auf das Höhenmodell im Bereich der Deichrückverlegung Lenzen mit Verortung der Geschwindigkeitsmessung am Schlitz 1 und Lage der Schlitze .....	38
Abb. 18:	Reproduktion der beim HW 2013 unterhalb von Schlitz 1 in der DRV Lenzen gemessenen tiefengemittelten Strömungsgeschwindigkeiten mit dem numerischen Modell .....	38
Abb. 19:	Abflusslängsschnitt entlang der Modellstrecke bei $HQ_{100}$ .....	41
Abb. 20:	Modellierte Wasserspiegellage entlang der Modellstrecke bei $HQ_{100}$ und gemessene Wasserspiegellage aufgrund der Wasserspiegelfixierung beim Hochwasser 2013 .....	42
Abb. 21:	Strömungsvektoren im Bereich Hitzacker bei $HQ_{100}$ .....	43

Abb. 22:	Berechneter Tiefenlinienplan im Bereich Hitzacker für HQ <sub>100</sub> .....	44
Abb. 23:	Modellierte Wasserspiegeldifferenzen bei HQ <sub>100</sub> für die vorgezogenen Maßnahmen 2014 in NI und MV .....	47
Abb. 24:	Modellierte Wasserspiegeldifferenzen bei HQ <sub>100</sub> für die vorgezogenen Maßnahmen 2014 und zusätzliche Wirkung des Rückschnitts 2013/2014 im Landkreis Lüchow-Dannenberg .....	48
Abb. 25:	Modellierte Wasserspiegeldifferenzen bei HQ <sub>100</sub> für die Kohärenzmaßnahmen zu den vorgezogenen Maßnahmen (vollständige Bewaldung der Suchräume).....	50
Abb. 26:	Modellierte Wasserspiegeldifferenzen bei HQ <sub>100</sub> für die geplanten vegetationsbezogenen Maßnahmen in NI .....	51
Abb. 27:	Modellierte Wasserspiegeldifferenzen bei HQ <sub>100</sub> für die geplanten vegetationsbezogenen Maßnahmen in MV .....	52
Abb. 28:	Modellierte Wasserspiegeldifferenzen bei HQ <sub>100</sub> für die geplanten vegetationsbezogenen Maßnahmen in NI und MV .....	52
Abb. 29:	Modellierte Wasserspiegeldifferenzen bei HQ <sub>100</sub> für die geplanten topografiebeeinflussenden Maßnahmen in NI.....	54
Abb. 30:	Modellierte Wasserspiegeldifferenzen bei HQ <sub>100</sub> für die geplanten topografiebeeinflussenden Maßnahmen in MV .....	54
Abb. 31:	Modellierte Wasserspiegeldifferenzen bei HQ <sub>100</sub> für geplanten topografiebeeinflussenden Maßnahmen in NI und MV .....	55
Abb. 32:	Schnitt durch das digitale Geländemodell und eine gemeldete Maßnahme bei Dömitz .....	56
Abb. 33:	Modellierte Wasserspiegeldifferenzen bei HQ <sub>100</sub> für die geplanten vegetationsbezogenen und topografiebeeinflussenden Maßnahmen in NI.....	58
Abb. 34:	Modellierte Wasserspiegeldifferenzen bei HQ <sub>100</sub> für die geplanten vegetationsbezogenen und topografiebeeinflussenden Maßnahmen in MV .....	58
Abb. 35:	Modellierte Wasserspiegeldifferenzen bei HQ <sub>100</sub> für die geplanten vegetationsbezogenen und topografiebeeinflussenden Maßnahmen in NI und MV .....	59
Abb. 36:	Zusammenhang von Maßnahmenfläche und -wirkung bei HQ <sub>100</sub> für die untersuchten Vegetationsmaßnahmen je Bundesland sowie die Szenarien „nur Gras“ und „nur Wald“ .....	60
Abb. 37:	Querprofil bei Elbe-km 567,5 mit Wasserspiegellagen aus der 1D-Berechnung bei MQ, MHQ und HQ <sub>100</sub> .....	62
Abb. 38:	Kurvenlage des Querprofils aus Abb. 37 bei Elbe-km 567,5 .....	62
Abb. 39:	2-dimensional modellierte, quergeneigte Wasserspiegellage bei HQ <sub>100</sub> im Querprofil bei Elbe-km 567,5 .....	63
Abb. 40:	Modellierte (HQ <sub>100</sub> ) und gemessene (HW 2013) Wasserspiegellagen für rechtes und linkes Ufer sowie die Gewässermite von Elbe-km 566,5 bis 568,5; Deichhöhen und Freibord am linken Ufer für HQ <sub>100</sub> .....	64
Abb. 41:	Vorgehensweise zur Verknüpfung von Wasserspiegellagen (WSV-Stationierung) und Deichkronenhöhen (Deich-Stationierung).....	65
Abb. 42:	Exemplarische Darstellung der Deichhöhen und Freiborde für das linke Ufer im Bereich von Elbe-km 504,1 bis 506,1 .....	67
Abb. 43:	Wasserspiegellage am linken Deich sowie die Deichkronenhöhe für Elbe-km 450 bis 525 (linkes Ufer) .....	67
Abb. 44:	Wasserspiegellage am linken Deich sowie die Deichkronenhöhe für Elbe-km 525 bis 585 (linkes Ufer) .....	68
Abb. 45:	Wasserspiegellage am rechten Deich sowie die Deichkronenhöhe für Elbe-km 500 bis 570 (rechtes Ufer).....	68

Abb. 46: Engstelle bei Barförde/Horst-Lauenburg .....	70
Abb. 47: Gefälledifferenz entlang der Gewässerstrecke sowie Lage der Engstellen laut Liste vom 11.09.2014.....	71
Abb. 48: Geschwindigkeitsdifferenz entlang der Gewässerstrecke sowie Lage der Engstellen laut Liste vom 11.09.2014.....	72
Abb. 49: Breitendifferenz entlang der Gewässerstrecke sowie Lage der Engstellen laut Liste vom 11.09.2014.....	73
Abb. 50: Engstellenindikator $P_{Gesamt}$ entlang des Modellgebietes.....	74
Abb. 51: Berechnete Wasserspiegellagen für neun stationäre Abflusszustände für den Streckenbereich zwischen Wittenberge und Elbe-km 520 .....	79
Abb. 52: Berechnete Wasserspiegellagen für neun stationäre Abflusszustände für den Streckenbereich zwischen Elbe-km 510 und Geesthacht .....	79
Abb. 53: Differenzen zwischen den berechneten Wasserspiegellagen gleicher Abflusszustände aus dem 1D- und dem 2D-Modell .....	80
Abb. 54: Differenzen zwischen den berechneten Wasserspiegellagen für HQ <sub>100</sub> (2D-Modell minus 1D-Modell).....	81
Abb. 55: Für die 2D-Modellierung der stationären Wasserspiegellagen gewählte untere Randbedingung als W-Q-Beziehung und Sturmflutbemessungswasserstand SFB2085A.....	83
Abb. 56: Erhöhung der Wasserstände für ein HQ <sub>100</sub> bei Berücksichtigung des Sturmflutbemessungsszenarios SFB2085A als untere Randbedingung des 2D-Modells .....	83
Abb. 57: Möglichkeiten der Extrapolation von Abflusskurven auf Basis von 2D-Modellergebnissen.....	84
Abb. 58: Tiefenlinienplan für einen stationären Abfluss von HQ <sub>100</sub> auf Basis von 2D-Modellergebnissen .....	86
Abb. 59: Tiefengemittelte Strömungsvektoren für einen stationären Abfluss von HQ <sub>100</sub> auf Basis von 2D-Modellergebnissen.....	86

# Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Übersetzung der ATKIS OBA-Codes in Rauheitsklassen.....	18
Tab. 2:	Zuordnung der Rauheitswerte nach Nikuradse $k$ in [m] zu den Rauheitsklassen .....	18
Tab. 3:	Zuordnung der Parameter zu den Bewuchsrauhheitsklassen.....	20
Tab. 4:	Kombinierte Rauheitsklassen .....	20
Tab. 5:	Abschnitte konstanter Rauheiten im Hauptgerinne für die Pilotmodellstrecke.....	24
Tab. 6:	Randbedingungen der Kalibrierungsereignisse für die Pilotmodellstrecke.....	25
Tab. 7:	Ermittelte $A$ -Werte für die fünf Gitterauflösungen der Pilotmodelle .....	25
Tab. 8:	Randbedingungen der Validierungsereignisse für die Pilotstrecke .....	26
Tab. 9:	Mittlere Abweichungen (Rechnung-Messung) der Wasserspiegellagen der Kalibrierung und Validierung für alle fünf Gitterauflösungen der Pilotmodelle.....	27
Tab. 10:	Randbedingungen der Kalibrierungsereignisse für die Gesamtmodellstrecke .....	32
Tab. 11:	Abschnitte konstanter Rauheiten im Hauptgerinne und Kalibrierungsparameter $A$ als Resultat der Kalibrierung des Gesamtmodells .....	34
Tab. 12:	Übersicht über die erreichte Abbildungsgenauigkeit jeweils für zwei Kalibrierungsereignisse .....	35
Tab. 13:	Randbedingungen der Validierungsereignisse für die Gesamtmodellstrecke .....	36
Tab. 14:	Übersicht über die erreichte Abbildungsgenauigkeit für die zwei Validierungsereignisse .....	37
Tab. 15:	Vorgezogene Maßnahmen laut Liste vom 07.04.2014.....	46
Tab. 16a:	Suchräume für Kohärenzmaßnahmen zum Ausgleich der vorgezogenen Maßnahmen laut Liste vom 07.04.2014.....	49
Tab. 16b:	Optimierte Flächen der Kohärenzmaßnahmen laut Datenbereitstellung vom 12.12.2014.....	49
Tab. 17:	Deichhöhen, Wasserstände am Deich und Freiborde für das linke und rechte Ufer im Bereich Elbe-km 502,0 bis 506,4 .....	66
Tab. 18:	Liste der Engstellen vom 11.09.2014 mit dem jeweils höchsten Wert für den Engstellenindikator $P_{Gesamt}$ im Suchbereich sowie die jeweils höchsten Einzelwerte der Indikatoren $P_{Gefälle}$ , $P_{Geschwindigkeit}$ und $P_{Breite}$ .....	75
Tab. 19:	Abflüsse für gewässerkundliche Haupt- und Extremwerte an der unteren Mittel- elbe .....	78

# Glossar und Abkürzungsverzeichnis

A	Kalibrierungsparameter in Gleichung [3]
ATKIS	Amtliches topographisch-kartographisches Informationssystem (AdV, 2015)
BASELINE	GIS-Datenbank und -Anwendung zur Speicherung und Prozessierung von Geobasisdaten als Grundlage für Modellierungen u. a. in SOBEK und Delft3D. Ursprünglich von Rijkswaterstaat für die Niederlande entwickelt, wird es seit 2000 auch von der BfG für die Abflussmodellierung an Bundeswasserstraßen eingesetzt
BAW	Bundesanstalt für Wasserbau
BB	Brandenburg
BfG	Bundesanstalt für Gewässerkunde
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
BRV	Biosphärenreservat Niedersächsische Elbtalaue
BWaStr	Bundeswasserstraße
C	Chezy-Rauheitsbeiwert
$C_b$	Chezy-Rauheitsbeiwert der Geländesohle
$C_D$	Strömungswiderstand
DGM	digitales Geländemodell (aus Höhenpunkten auf einem Gitter bestehend)
DGM-W	digitales Geländemodell des Wasserlaufs
DLM-DE2009	digitales Landbedeckungsmodell für Deutschland (Referenzjahr 2009)
DRV	Deichrückverlegung: Verschiebung der Deichlinie mit dem Ziel, ehemalige Überflutungsflächen als Rückhalteraum (ungesteuert) wiederzugewinnen
FLYS	Online-Fachdienst der BfG
g	Erdbeschleunigung
HQ <sub>x</sub>	Abfluss der Jährlichkeit x (tritt statistisch im Mittel einmal in x Jahren auf)
h	Wassertiefe
$h_v$	Bewuchshöhe
HW	Hochwasser
HWRM-RL	Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken

HW xxxx	Hochwasser des Jahres xxxx
instationär	bei instationärer Modellierung sind die Strömungsparameter zeitlich variabel, bspw. wird der konkrete zeitliche Ablauf einer HW-Welle modelliert, Gegenteil → stationär
k	Rauheit nach Nikuradse
LfULG Sachsen	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
LTV	Landestalsperrenverwaltung Sachsen
MQ	Mittelwasserabfluss
MV	Mecklenburg-Vorpommern
MW xxxx	Mittelwasserfixierung des Jahres xxxx
n	Bewuchsdichte
NHN	Normalhöhennull, Bezugsfläche für das Nullniveau der Höhen über dem Meeresspiegel im Deutschen Haupthöhennetz 1992
NI	Niedersachsen
NLWKN	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
stationär	bei stationärer Modellierung sind die Strömungsparameter zeitlich unveränderlich, bspw. entsprechend dem Scheitelabfluss bei einem HW-Ereignis, Gegenteil → instationär
SH	Schleswig-Holstein
ST	Sachsen-Anhalt
StALU WM	Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt Westmecklenburg
TIN	unregelmäßiges trianguliertes Höhenmodell (aus Dreiecksflächen bestehend, im Gegensatz zum → DGM)
Trachytopen	Zonen gleicher strömungs- und bewuchsabhängiger Rauheitsparameter
WSA	Wasser- und Schifffahrtsamt
WSV	Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes

# 1 Veranlassung und Zielsetzung

Die untere Mittelbe zwischen Wittenberge und Geesthacht weist zwischen den bestehenden Deichlinien bzw. Hochufern stark wechselnde Breiten- und Bewuchsverhältnisse auf. Bei Hochwasser kommt dem Abfluss über die Vorländer und dessen Beeinflussung durch die Vegetationsrauheiten sowie sich ändernde Querschnittsgeometrien eine besondere Bedeutung für die sich einstellenden Wasserspiegellagen zu. Infolge von Änderungen in Landnutzung und Bewirtschaftung haben sich die Vegetationsverhältnisse in den vergangenen Jahrzehnten teilweise signifikant geändert. Diese Entwicklung wird in der Öffentlichkeit häufig als Verbuschung bezeichnet und z. T. mit Veränderungen der Hochwasserspiegellagen bei den jüngeren Ereignissen in Verbindung gebracht. Eine fachlich umfassende Beurteilung der Situation sowie eine Quantifizierung möglicher Managementmaßnahmen standen jedoch bisher aus. Zur Illustration zeigen Abb. 1 und Abb. 2 exemplarisch die Bewuchssituation bei Dömitz im Zustand 1990 bzw. 2011. Visuell erkennbar ist die Zunahme von Gehölzen auf dem linken Vorland.



Abb. 1: Vorland bei Dömitz (ca. Elbe-km 505,7) im Zustand 1990, Blick stromauf (Quelle: Norbert Busch)



Abb. 2: Vorland bei Dömitz (ca. Elbe-km 505,7) im Zustand 2011, Blick stromauf (Quelle: Grundig, 2011)

Am 23.11.2011 wurde in Hitzacker auf einer Besprechung der Abteilungsleiter Wasserwirtschaft der Elbeländer Niedersachsen (NI), Sachsen-Anhalt (ST), Mecklenburg-Vorpommern (MV), Brandenburg (BB) und Schleswig-Holstein (SH) vereinbart, im Rahmen der Umsetzung der EU-Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (HWRM-RL) gemeinsam ein 2D-Modell der unteren Mittelbe von Wittenberge (Elbe-km 451,1) bis Geesthacht (Elbe-km 585,9) aufzubauen und zukünftig als Analyse- und Planungsinstrument einzusetzen. Ziel von angestrebten hydraulischen Modellierungen ist, die Wirkung von Maßnahmen zur Veränderung der Vegetationsverhältnisse und der Topografie im Vorland auf die Wasserstands- und Strömungssituation an der unteren Mittelbe festzustellen und hinsichtlich der Erstellung eines wasserwirtschaftlichen Rahmenplans zu bewerten. Sowohl aus fachlichen Gründen, als auch im Hinblick auf Synergieeffekte mit vorhandenen Modellen und Untersuchungen haben sich die vorgenannten Bundesländer verständigt, die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) durch den Abschluss eines Kooperationsvertrages als Partner zu gewinnen, um auf dieser Basis ein 2D-Modell der unteren Mittelbe zu erstellen.

In der Folge unterzeichneten die Bundesanstalt für Gewässerkunde, das Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Mecklenburg-Vorpommern, das Niedersächsische Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz und das Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein am 16.08.2012 eine Kooperationsvereinbarung mit dem Ziel:

- die bisherigen Grundlagen für Untersuchungen betreffend die Elbe zwischen Wittenberge und Geesthacht zu aktualisieren,
- ein numerisches 2D-Modell der Elbe zwischen Wittenberge und Geesthacht für Untersuchungen zur Wirkung abflussverbessernder Maßnahmen auf den Vorländern zu erstellen, zu kalibrieren und zu validieren,
- vereinbarte Lastfälle mit dem erstellten 2D-Modell zur Beurteilung der Wasserstands- und Strömungsverhältnisse im Vorlandbereich mit unterschiedlichen Vegetationsverhältnissen und Vorlandtopographien für die Elbestrecke zwischen Wittenberge und Geesthacht zu berechnen sowie
- Entscheidungshilfen für Aussagen zur Pflege des Vorlands der Elbe zwischen Wittenberge und Geesthacht für die Wasserwirtschaft zu erarbeiten.

Das hydraulische Modell spielt dabei eine zentrale Rolle bei der Suche nach dauerhaften Lösungen, die sowohl die Belange des Hochwasserschutzes für die Elbanlieger berücksichtigen als auch den hohen Stellenwert, der dem Naturschutz in der Elbtalaue in diesem rechtlich besonders geschützten Gebiet zukommt. Ziel ist es mit Hilfe des 2D-Modells als sinnvoll identifizierte Maßnahmen hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Wasserspiegellagen zu überprüfen.

Da im Laufe der Untersuchungen bedeutende Erkenntnisse zur Strömungssituation an der unteren Mittelbe gewonnen wurden, die zu neuen Fragen führten und weiteren Untersuchungsbedarf veranlassten, vereinbarten die vier Partner am 11.02.2014 eine Verlängerung der Kooperation bis Ende Februar 2015. Die Ergebnisse der 2D-Modellierungen sollen gemäß Zielsetzung zur Umsetzung der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie im nächsten Zyklus herangezogen werden.

Im vorliegenden gemeinsamen Bericht der vier Kooperationspartner werden die wesentlichen Projektergebnisse dokumentiert. Der Bereich des Untersuchungsgebietes und des dafür erstellten Gesamtmodells entlang der ca. 135 km messenden Strecke der unteren Mittel-  
elbe ist in Abb. 3 in rot gekennzeichnet. In Kapitel 2 dieses Berichtes erfolgt eine kurze Beschreibung der zu Grunde liegenden Methode für die durchgeführten 2D-Simulationsberechnungen. Zur Bestimmung einer optimalen Gitterweite wurden in einer Pilotphase zunächst für die Strecke zwischen Dömitz und Hitzacker (Modellränder bei Elbe-km 496 bzw. 532) fünf Rechengitter mit unterschiedlicher mittlerer Gitterweite erstellt. Der Bereich, in dem sich die Pilotmodelle befinden, ist in Abb. 3 grün umrandet. Die Ergebnisse der Pilotphase sind bereits umfangreich im Zwischenbericht (BfG, 2013a) dargestellt und werden in Kapitel 3 nur nochmals kurz zusammengefasst.

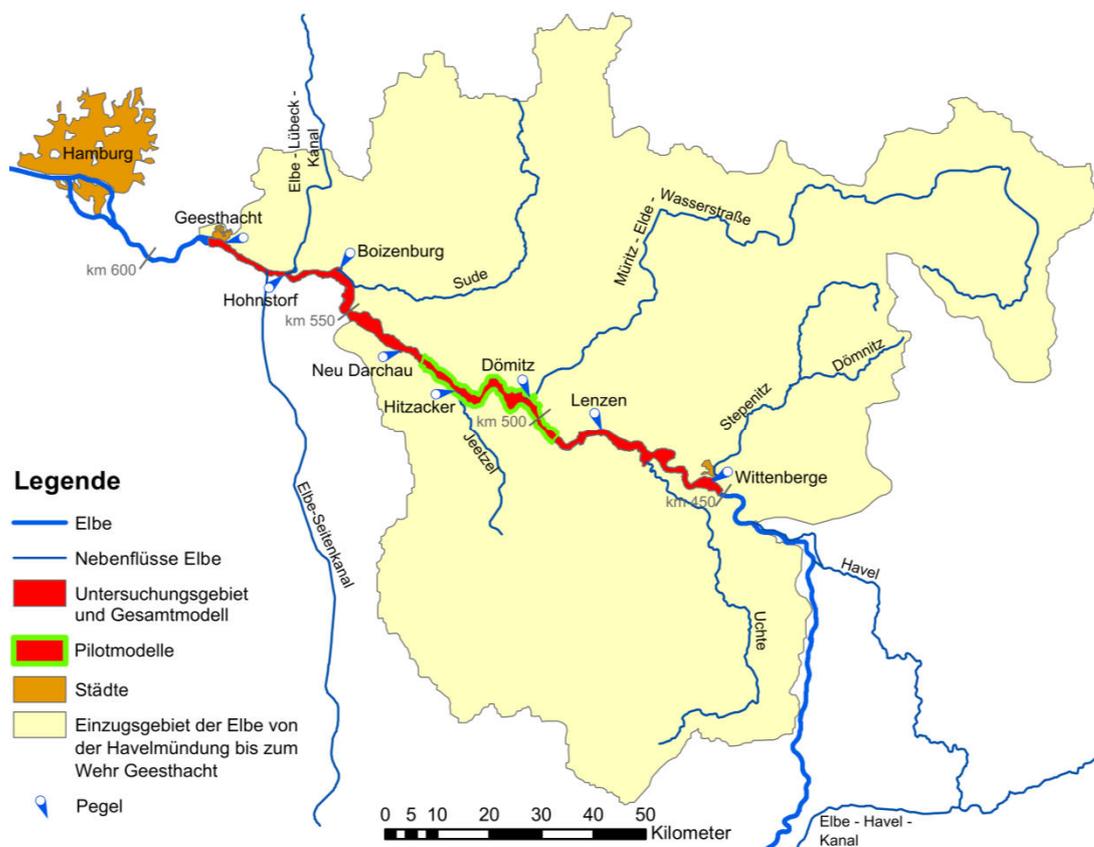


Abb. 3: Übersichtskarte des Modellgebietes der unteren Mittel-  
elbe von Wittenberge bis Geesthacht; Gesamtmodell (rot), Pilotstrecke (grün umrandet) und Pegel an der Elbe

Aus den Erkenntnissen zur Erstellung der Pilotmodelle wurde die optimale Auflösung für das Gesamtmodell des Projektgebietes Wittenberge (Modellrand bei Elbe-km 451,1) bis Geesthacht (Modellrand bei Elbe-km 585,9) unter Berücksichtigung der gegensätzlichen Anforderungen zur Berechnungsgeschwindigkeit und Abbildungsgenauigkeit ermittelt. Als optimale Auflösung hat sich eine mittlere Rechengitterweite von 25 m herausgestellt. Die Beschreibung des Gesamtmodells folgt in Kapitel 4. Es wird gezeigt, dass die für das Untersuchungsprogramm erzeugten 2D-Modelle geeignet sind, die Strömungsvorgänge im betreffenden Elbeabschnitt adäquat zu beschreiben. Insbesondere lassen sich in ihren Anwendungen die

Auswirkungen abflussverbessernder Maßnahmen wie Gehölzmanagement, Eingriffe in die Geometrie der Vorländer und die Rückverlegung von Deichen auf Wasserspiegellagen bei  $HQ_{100}$  an der Elbe ermitteln.

In den weiteren Kapiteln sowie in den Anhängen werden die mit dem Gesamtmodell durchgeführten Untersuchungen dargelegt und umfassend ausgewertet. Zunächst erfolgt in Kapitel 5 die Berechnung der Strömungssituation bei  $HQ_{100}$  im Referenzzustand, welche die Grundlage für die weiteren Auswertungen darstellt. Anschließend werden die Wirkungen von vegetationsbezogenen und topografiebeeinflussenden Maßnahmenvorschlägen berechnet (Kapitel 6 bis 8). Kapitel 9 beinhaltet die Analyse der bestehenden Freiborde entlang der Deiche im Bereich der Untersuchungsstrecke. Die vorhandenen hydraulischen Engstellen werden in Kapitel 10 identifiziert und bewertet.

Nicht im unmittelbaren Zusammenhang von Maßnahmenuntersuchungen stehen die abschließenden, stationären Berechnungen mit dem 2D-Modell Wittenberge-Geesthacht für gewässerkundliche Haupt- und Extremwerte des Abflusses der Elbe. Hierin wurden umfangreiche raumbezügliche Datensätze geschaffen, die als verbesserte Grundlage für eine Beschreibung und Analyse der heutigen gewässerkundlichen Ist-Situation an der unteren Mittel-  
elbe von diversen Fachdisziplinen (Gewässerkunde, Gewässermorphologie, Naturschutz, Wasserwirtschaft, Schifffahrt usw.) nachgenutzt werden können. Diese Untersuchungen werden in Kapitel 11 dokumentiert. Die vorgenommenen Simulationsberechnungen für stationäre Abflusszustände basieren auf den Abflüssen der Elbe, die bereits in einem früheren Projekt der FGG-Elbe festgelegt wurden, um auf Basis von 1D-Modellberechnungen eine „Einheitliche Grundlage für die Festlegung der Bemessungswasserspiegellage der Elbe auf der frei fließenden Strecke in Deutschland“ zu schaffen (BfG, 2009). Da die hier vorgenommenen 2D-Modellberechnungen von identischen hydrologischen Randbedingungen der Elbe ausgehen, stehen somit weitere Grundlagendaten für diesen Elbeabschnitt zur Verfügung, die insbesondere zur Beurteilung der Hochwassersituation und zur Festlegung von Bemessungswasserständen bedeutsam sind. Die so berechneten Wasserspiegellagen, Überschwemmungsflächen (inkl. Tiefenlinienplänen) sowie Strömungsbilder für gewässerkundliche Haupt- und Extremwerte des Abflusses sollen zur nachhaltigen Nutzung über den Online-Fachdienst FLYS der BfG (BfG, 2013c) den Projektpartnern, hydrologischen Dienststellen und weiteren Interessierten zur Verfügung gestellt werden.

Eine Zusammenfassung und abschließende Bewertung der Berechnungsergebnisse sowie Empfehlungen finden sich in Kapitel 12.

## 2 Methode für 2D-Simulationsberechnungen

Gemäß Vorhabensbeschreibung kommt im Projekt das Modellierungssystem Delft3D (Version 5.00.10.2105) zum Einsatz, welches unter anderem wegen der Open-Source-Strategie des niederländischen Entwicklers Deltares eine breite internationale Anwendergemeinschaft sowie eine aktive Diskussionsplattform im Internet hat ([oss.deltares.nl](http://oss.deltares.nl)). Delft3D ist eine mehrdimensionale hydrodynamische Modellierungssoftware zur stationären oder instationären Berechnung von Strömungsvorgängen. Erfolgreiche, international beachtete Modellierungen großer Flüsse umfassen unter anderem den niederländischen Rhein (van Vuren und Havinga, 2012) und den Gelben Fluss in China (Liu et al., 2002). Für die Modellierung der unteren Mittelbe wird das System aufgrund der untergeordneten Bedeutung mehrdimensionaler Effekte im zweidimensionalen, tiefengemittelten Modus eingesetzt. Die numerische Lösung der Flachwassergleichungen erfolgt nach dem Finite-Differenzen-Verfahren auf einem gekrümmten Rechteckgitter (Deltares, 2011).

Mit der ArcGIS-Extension BASELINE (Version 5.2.2) steht der BfG eine Umgebung für die Datenhaltung und die Aufbereitung der Modelldaten (Preprocessing) zur Verfügung (Hoefstoot et al., 1999). Alle im Folgenden beschriebenen Geometrie- und Rauheitsdaten werden darin verwaltet und prozessiert.

Das als Grundlage für alle Modelle verwendete digitale Geländemodell des Wasserlaufs (DGM-W) des Bundes und der Bundesländer besteht aus Vorlanddaten, gewonnen aus Befliegungen bis 2006, und Gerinnepeilungen aus dem Jahr 2004 (BfG, 2008). Die Gerinnepeilungen wurden stellenweise auf Aktualität überprüft. Lokale Aktualisierungen im Vorland aufgrund durchgeführter Baumaßnahmen betreffen die Deichrückverlegungen Lenzen (mit Vermessungsdaten des Landes Brandenburg aus 2011), Neu Bleckede (mit Planungsdaten des Landes Niedersachsen aus 2010) und Mahnkenwerder (mit Daten des Landes Mecklenburg-Vorpommern aus einer Befliegung in 2009). Die Rasterweite des DGM-W beträgt 2 m x 2 m. Ein Ausschnitt des DGM-W ist in Abb. 4 für einen ausgewählten Bereich bei Hitzacker (ca. Elbe km 521,7 bis 523,1) dargestellt. Deutlich zeichnen sich darin die zahlreichen Bühnen, Bühnenfelder, die Geländestrukturen im Vorland sowie der rechtselbische Deich ab.

Um die Datenmenge des DGM-W für die nachfolgende Projizierung der Höhen auf das Rechengitter handhabbar zu machen, wurde als Zwischenschritt aus dem DGM-W ein unregelmäßiges trianguliertes Höhenmodell (TIN) erstellt, welches in Abb. 5 für den gleichen Ausschnitt im Bereich Hitzacker dargestellt ist.

2D-Modellierung an  
der unteren Mittelelbe  
zwischen Wittenberge  
und Geesthacht

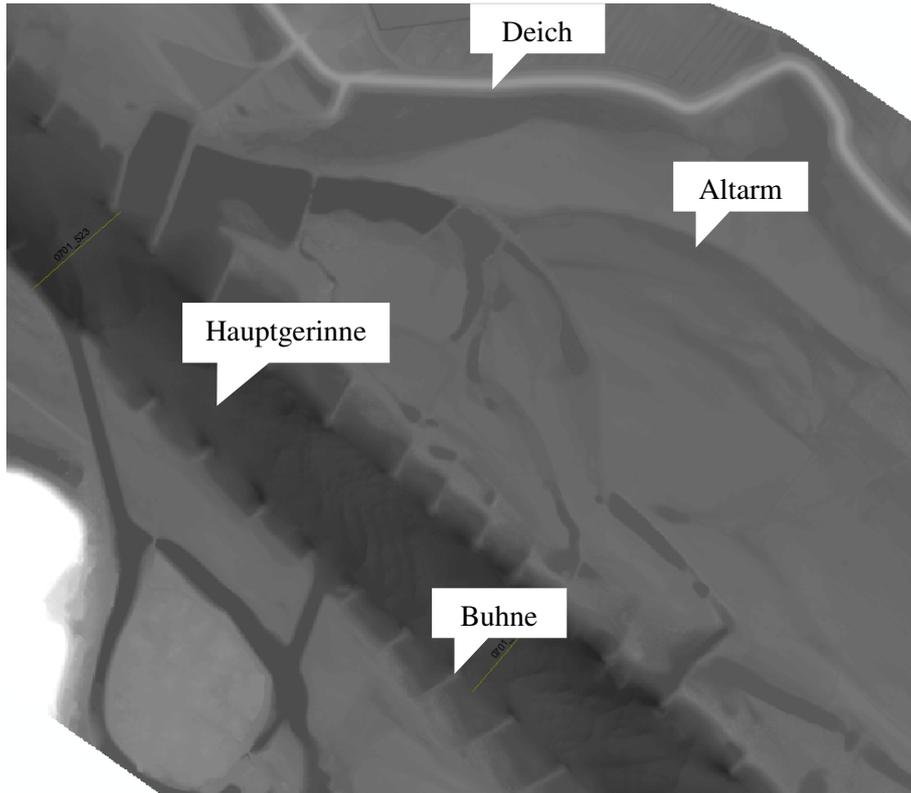


Abb. 4: Ausschnitt des digitalen Geländemodells im Bereich Hitzacker

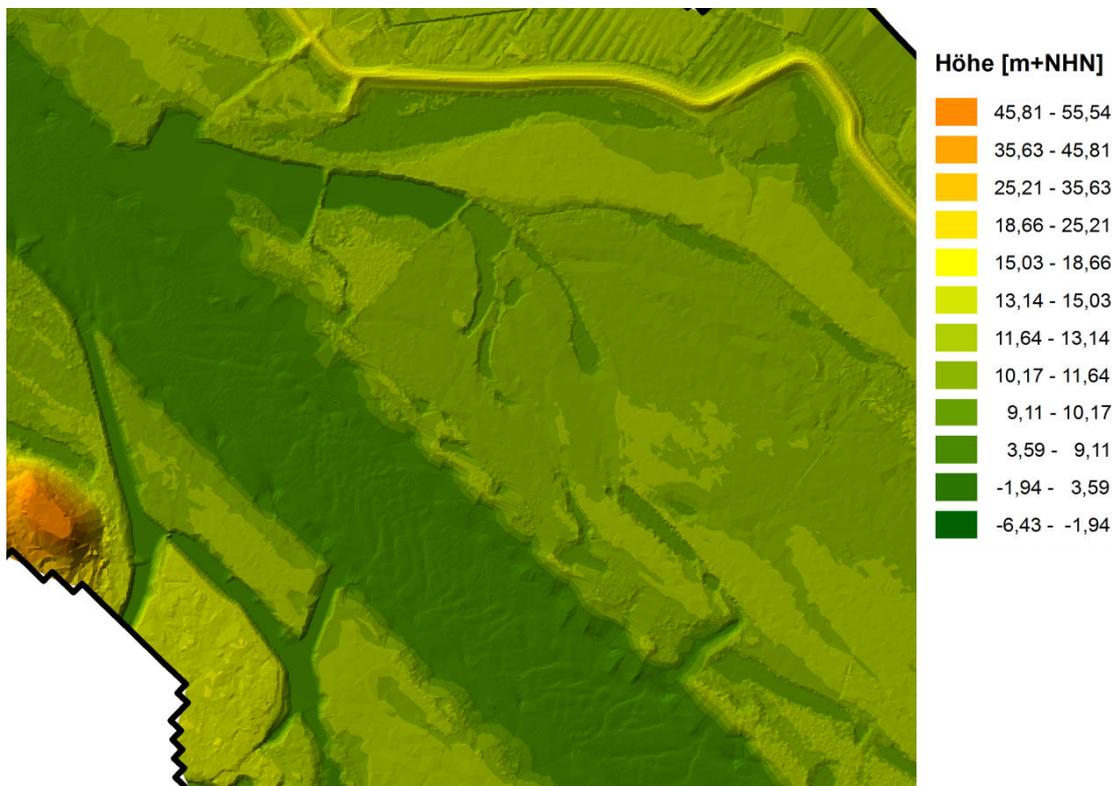


Abb. 5: Ausschnitt des unregelmäßigen triangulierten Höhenmodells (TIN) im Bereich Hitzacker als Schummerungsbild

Die Modellhöhen wurden aus dem TIN auf das Rechengitter interpoliert. Strukturen, deren geometrische Eigenschaften nicht mit der Modellauflösung abbildbar sind, wurden als Linienelemente entsprechend ihrer wahren Höhen auf die jeweils nächstgelegenen Modellkanten abgebildet. Dies betrifft vor allem Bühnen und Deiche. Weiterhin wurden entlang von starken Geländeneigungen, welche infolge der Interpolation im Modell weniger ausgeprägt abgebildet werden, mittels eines automatisierten BASELINE-Verfahrens ebenfalls Linienelemente eingefügt. Damit werden an diesen Stellen zusätzliche Energieverluste erzeugt, welche den Verlusten infolge der lokalen Gefälleänderung entsprechen. Für den Bereich Hitzacker ist in Abb. 6 ein Ausschnitt der interpolierten und farbcodierten Modellhöhen (auf den Gitterknoten) sowie der Bruchkanten (entlang der Gitterkanten) dargestellt.

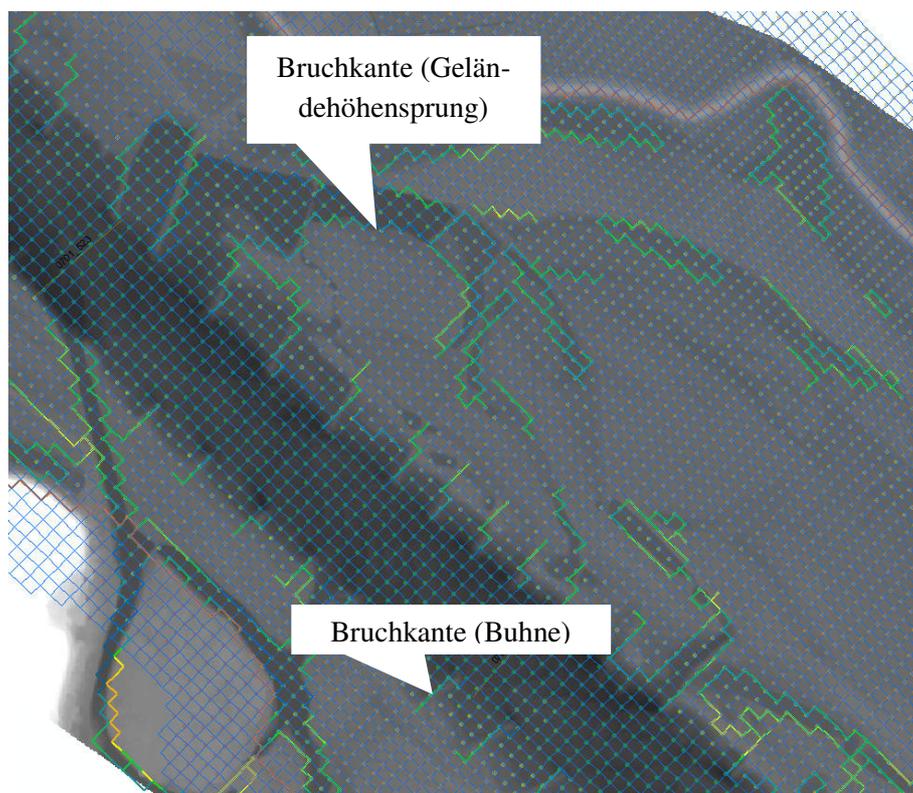


Abb. 6: Ausschnitt der interpolierten Modellhöhen (auf Gitterknoten) sowie der Bruchkanten (entlang der Gitterkanten) im Bereich Hitzacker

## 2.1 Vorlandrauheiten

Für die Abbildung der Vorlandrauheiten im 2D-Modell werden verschiedene Rauheitsklassen definiert. Grundlage der Rauheitsdaten ist das digitale Landbedeckungsmodell für Deutschland (BKG, 2009) des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (ATKIS-Datensatz). Die auf das Referenzjahr 2009 bezogenen Daten wurden mit Biotopkartierungen der Länder und der Biosphärenreservatsverwaltung aus den Jahren 2009 bis 2012 sowie auf Grundlage von Luftbildauswertungen (2009 bis 2012) aktualisiert. Die Übersetzung der ATKIS-Objektart (OBA-Codes) in die im Modell verwendeten Rauheitsklassen (vgl. Tab. 2, Tab. 3 und Tab. 4) ist in Tab. 1 gegeben.

Tab. 1: Übersetzung der ATKIS OBA-Codes in Rauheitsklassen

OBA-Code	Umschreibung	Rauheitsklasse
2111	Wohnbaufläche	115
2112	Industrie- und Gewerbefläche	115
2113	Fläche gemischter Nutzung	115
2114	Fläche besonderer funktionaler Prägung	115
2121	Bergbaubetrieb	115
2129	Kläranlage, Klärwerk	115
2201	Sportanlage	114
2202	Freizeitanlage	1820
2213	Friedhof	114
2227	Grünanlage	1820
2228	Campingplatz	1821
2301	Tagebau, Grube, Steinbruch	114
2314	Absetzbecken, Schlammteich	106
3103	Platz	116
4101	Ackerland	121
4102	Grünland	1201
4103	Gartenland	1822
4104	Heide	1212
4105	Moor, Moos	1802
4106	Sumpf, Ried	1804
4107	Wald, Forst	1244
4108	Gehölz	1823
4109	Sonderkultur	1246
4120	Vegetationslose Fläche	111
4199	Fläche, z. Z. unbestimmbar	101
5101	Strom, Fluss, Bach	102
5102	Kanal (Schifffahrt)	106
5103	Graben, Kanal	106
5112	Binnensee, Stausee, Teich	106
5304	Schleusenkammer	106

In den Vorlandgebieten ohne ausgeprägten Vegetationseinfluss werden Rauheitsklassen verwendet, in denen die Rauheit nach Nikuradse ( $k$  in [m]) festgelegt ist. Die entsprechende Zuordnung geht aus Tab. 2 hervor.

Tab. 2: Zuordnung der Rauheitswerte nach Nikuradse  $k$  in [m] zu den Rauheitsklassen

Rauheitsklasse	Bezeichnung	$k$ in [m]
101	Default	0,20
102	Gewässersohle	0,15
106	See/Hafen/Ufer	0,05
111	Kiesbank	0,15
114	befestigt	0,35
115	bebaut	0,40
116	versiegelt (glatt)	0,20
121	Ackerland	0,20

Besonderen Wert wurde auf die Abbildung der Rauheiten des Vorlandbewuchses gelegt. In jeder der Rauheitsklassen mit Bewuchs (mit Ausnahme der Ackerflächen) wird die Rauheitswirkung über einen physikalisch basierten Ansatz strömungsabhängig berechnet. Hierbei kommt in Delft3D das Konzept der Trachytopen zum Einsatz, welches auf der Unterteilung der Bewuchsflächen in Zonen gleicher strömungs- und bewuchsabhängiger Rauheitsparameter beruht. Die darin verwendete Formulierung stammt von Klopstra et al. (1996, 1997). Die Berechnung der Chezy-Rauheiten  $C$  [ $\text{m}^{1/2}/\text{s}$ ] erfolgt für jede Gitterzelle in Abhängigkeit der dort definierten Bewuchsparameter

- Vegetationshöhe  $h_v$  [m],
- Strömungsbeiwert  $C_D$  [-],
- Bewuchsdichte  $n$  [1/m] und
- Rauheit der Sohle unter der Vegetation  $k_b$  [m]

sowie der aktuellen Wassertiefe  $h$  [m] (Deltares, 2011).

Im Fall von nicht-überströmter Vegetation erfolgt die Bestimmung der Rauheit entsprechend der Gleichung

$$\frac{1}{C^2} = \frac{C_D n h}{2g} + \frac{1}{C_b^2} \quad [1]$$

worin  $g$  [ $\text{m}/\text{s}^2$ ] die Erdbeschleunigung und  $C_b$  der Chezy-Rauheitsbeiwert der Geländesohle unter der Vegetation sind. Zwischen den Rauheiten nach Chezy  $C$  und Nikuradse  $k$  besteht der Zusammenhang

$$C = 18 \log(12 h/k).$$

Für überströmte Vegetation ( $h_v < h$ ) erfolgt eine Berücksichtigung der unterschiedlichen Geschwindigkeitsprofile im Bewuchsbereich sowie oberhalb davon. Für die in diesem Fall verwendeten Gleichungen wird auf Klopstra et al. (1997) sowie Deltares (2011) verwiesen.

Nach jeweils fünf Zeitschritten erfolgt in jeder Zelle des Modells mit vorhandenem Bewuchs die Berechnung der Rauheiten anhand der aktuellen Wassertiefe und Strömungsgeschwindigkeit. Je nachdem, ob die Wassertiefe dabei größer oder kleiner als die Vegetationshöhe  $h_v$  ist, wird die Berechnung für über- bzw. durchströmte Vegetation durchgeführt.

Die für jede Bewuchsrauheitsklasse definierten Parameter orientieren sich an den Empfehlungen in van Velzen et al. (2003), worin ausführliche Ableitungen für die Rauheiten von Auenvvegetation an niederländischen Wasserstraßen zusammengestellt sind. Die tabellarische Übersicht der Parameter ist Tab. 3 zu entnehmen. Hier sind auch die Parameter für die vegetationsbezogenen Maßnahmen aufgeführt (vgl. Kapitel 6). Der Maßnahmentyp „Bewuchsreduzierung/Aufastung auf 3,5 m“ wird durch eine im Vergleich zu Auwald reduzierten Bewuchsdichte abgebildet. Der Maßnahmentyp „Gehölzrückschnitt“ wird durch die Parameter

von natürlichem Grasland repräsentiert. Eine Kalibrierung dieser festgelegten Parameter erfolgte mangels verfügbarer, geeigneter Naturdaten nicht.

Tab. 3: Zuordnung der Parameter zu den Bewuchsrauheitsklassen

Rauheitsklasse	Umschreibung	$h_v$ [m]	$n$ [1/m]	$c_D$ [-]	$k_b$ [m]
1201	Grünland (landwirtschaftlich)	0,06	45	1,8	0,1
1202	Grasland (natürlich)	0,10	12	1,8	0,1
1212	Buschwerk, Heide	0,56	0,23	1,8	0,1
1221	Unterholz	0,35	0,25	1,8	0,1
1233	Dickicht	5,00	0,17	1,5	0,4
1241	Hartholzwald (forstwirtschaftlich)	10,00	0,011	1,5	0,3
1244	Hartholz (Auwald)	10,00	0,023	1,5	0,4
1245	Weichholz (Auwald)	10,00	0,028	1,5	0,6
1246	Sonderkultur (z. B. Obstplantage)	3,00	0,024	1,5	0,2
1501 (NI) 1502 (MV)	Gehölzrückschnitt	0,10	12	1,8	0,1
1505 (NI) 1506 (MV)	Bewuchsreduzierung/Aufastung auf 3,5 m	10,00	0,010	1,5	0,1

Darüber hinaus werden Rauheitsklassen verwendet, die sich aus der Kombination zweier oder mehrerer Rauheitsklassen nach Nikuradse (vgl. Tab. 2) bzw. Bewuchsrauheitsklassen (vgl. Tab. 3) ergeben. Diese sind in Tab. 4 aufgelistet.

Tab. 4: Kombinierte Rauheitsklassen

Rauheitsklasse	Anteil 1 (Klasse)	Anteil 1 [%]	Anteil 2 (Klasse)	Anteil 2 [%]
1801	1221	75	106	25
1802	1245	5	1801	95
1804	1233	75	106	25
1820	1202	75	1241	25
1821	1201	75	1241	25
1822	121	95	1233	5
1823	1202	25	1244	75
1824	102	50	1823	50
1825	1202	75	1244	25

Ein beispielhafter Ausschnitt der Rauheitsdaten mit Angabe der Rauheitsklasse ist in Abb. 7 für den Bereich Hitzacker dargestellt. Die Rauheitsklassen 602 bis 625 repräsentieren die verwendeten Hauptgerinnerrauheiten (siehe folgender Abschnitt).

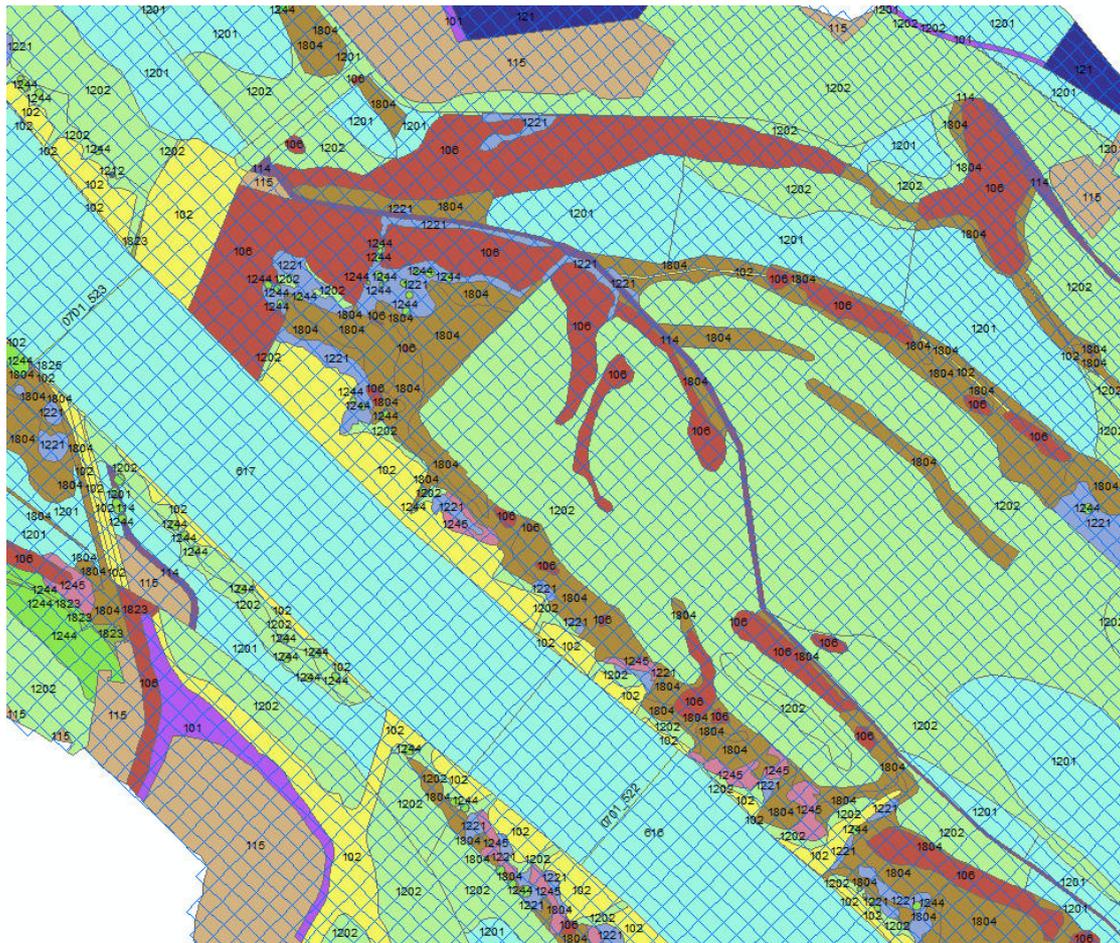


Abb. 7: Ausschnitt der Rauheitsdaten im Bereich Hitzacker

## 2.2 Rauheiten im Hauptgerinne

Im Hauptgerinne kommt ein weiterer Typ von Rauheitsklassen zum Einsatz. Hier wird die Rauheit ebenfalls in Abhängigkeit von der Wassertiefe berechnet, jedoch vereinfacht nach van Rijn (1984). Nach dessen ursprünglichem Ansatz setzt sich die Rauheit der Gewässersohle zusammen aus einem Anteil der Kornrauheit  $k_{90}$  sowie einem empirisch ermittelten Anteil, in dem die Rauheit aus Länge  $L_b$  und Höhe  $h_b$  von Transportkörpern (Dünen) berechnet wird.

$$k = k_{90} + 1,1h_b \left(1 - e^{-25h_b / L_b}\right) \quad [2]$$

Van Rijn beschreibt zwischen Transportkörperhöhe  $h_b$  beziehungsweise -länge  $L_b$  und Wassertiefe  $h$  folgende Proportionalitäten:

$$h_b \sim h^{0,7}$$

$$L_b \sim h$$

Dadurch – und nach Vernachlässigung des Anteils der Kornrauheit – kann man in vereinfachter Form für die Rauheiten in Hauptgerinne die Gleichung

$$k = Ah^{0,7} \left( 1 - e^{-Bh^{-0,3}} \right) \quad [3]$$

schreiben, mit  $A$  und  $B$  als mögliche Kalibrierungsparameter. Nach diesem Ansatz wird die Rauheit im Hauptgerinne abschnittsweise durch Kalibrierung ermittelt. Die erhaltenen Rauheiten sind abhängig von der Wassertiefe, entsprechend dem Anwachsen der Formrauheit (Transportkörper) mit zunehmendem Abfluss bzw. Wassertiefe. In BfG (2013a) wird gezeigt, dass der Rauheitsansatz deutlich sensitiver auf Änderungen des Parameters  $A$  reagiert. Da bereits durch die Variation dieses Parameters der Wertebereich der Hauptgerinnerauheiten abgedeckt werden kann, wird für den Parameter  $B$  der Delft3D-Standardwert von 2,5 beibehalten. Dadurch kann die Komplexität des iterativen Kalibrierungsvorgangs deutlich reduziert werden. Das Vorgehen sowie die Ergebnisse der Kalibrierung sind in Kapitel 3.2 für die Pilotmodelle bzw. Kapitel 4.2 für das Gesamtmodell dargestellt.

# 3 Pilotmodelle für die Strecke Dömitz bis Hitzacker

## 3.1 Modelleigenschaften

In der Vorhabensbeschreibung hatten sich die Projektpartner für eine Pilotstrecke auf die Erstellung von Modellen mit unterschiedlichen mittleren Auflösungen des Rechengitters (15 m bis 40 m) verständigt, um so für die durchzuführende 2D-Modellierung an der unteren Mittelbe eine optimale Auflösung des Rechengitters zu finden. Anhand der gewählten Pilotstrecke Dömitz-Hitzacker sollte somit ein allseits tragbarer Kompromiss zwischen den gegensätzlichen Anforderungen zur Modellgenauigkeit und zur Rechenzeit gefunden werden.

Die Pilotmodelle umfassen die Fließstrecke von Elbe-km 496,3 bis 531,9 und beinhalten demnach den Bereich zwischen Dömitz und Hitzacker. Mit Ausnahme der mittleren Gitterweite, welche 15 m, 20 m, 25 m, 30 m bzw. 40 m beträgt, sind die Modelle identisch. Die Berechnung erfolgt auf gekrümmten Rechteckgittern, welche dem groben Richtungsverlauf der Elbe folgen, jedoch lokal nicht an der Gewässerstruktur ausgerichtet sind.

Die Modellhöhen werden aus dem unregelmäßigen triangulierten Höhenmodell auf die Rechengitter interpoliert. Strukturen, deren geometrische Eigenschaften nicht mit der Modellauflösung abbildbar sind, werden als Linienelemente entsprechend ihren wahren Höhen auf die jeweils nächstgelegenen Modellkanten abgebildet (vgl. Kapitel 2).

Um den Umfang des vorliegenden Abschlussberichtes auf einen angemessenen Rahmen zu begrenzen, haben die vier beteiligten Projektpartner vereinbart, nicht alle hinsichtlich der Erstellung und Kalibrierung/Validierung der Pilotmodelle und des Gesamtmodells vorgenommenen Bearbeitungsschritte erneut im Detail zu dokumentieren. Jedoch sollen alle notwendigen Informationen zur Bewertung der Modellergebnisse enthalten sein. Für eine nähere Beschreibung der einzelnen Schritte sowie der Modelleigenschaften wird deshalb auf den ausführlichen Zwischenbericht (BfG, 2013a) verwiesen. Die Erstellung und Kalibrierung der Pilotmodelle wurde im Auftrag der BfG durch das Ingenieurbüro HKV vorgenommen (HKV, 2013).

## 3.2 Kalibrierung der Pilotmodelle

Die Kalibrierung erfolgt mit dem automatisierten Verfahren OpenDA (OpenDA Association, 2015). Dabei werden die Rauheitswerte im Hauptabflussquerschnitt abschnittsweise variiert, bis die optimale Übereinstimmung von gemessenen Wasserständen aus Wasserspiegelfixierungen und modellierten Wasserspiegellagen erreicht ist. Die Streckenabschnitte ergeben sich aus der Analyse des Wasserspiegellängsgefälles für das Hochwasser 2011, indem an markanten Gefälleänderungspunkten ein Abschnittwechsel eingefügt wird. Zusätzlich werden an Pegeln Abschnittsgrenzen gesetzt. Abb. 8 zeigt die sich ergebenden Abschnitte für die Pilotmodellstrecke. Deutlich zu erkennen sind wechselnde Streckenbereiche mit steilerem und flacherem Wasserspiegelgefälle im Längsprofil des HW 2011. Insgesamt wurden auf diese

Weise 8 Abschnitte mit jeweils vergleichbarem hydraulischen Verhalten identifiziert. Die Abschnittsgrenzen sind in Tab. 5 aufgeführt.

Als Kalibrierungsereignisse werden eine Fixierung um Mittelwasser mit Messungen vom 06.-08.06.2005 (MW 2005) und das Hochwasser vom Januar 2011 mit Messungen vom 21./22.01.2011 (HW 2011) verwendet. Tab. 6 enthält die als Randbedingungen benötigten Angaben zu den Elbeabflüssen am oberen und den Wasserständen am unteren Modellrand. Als Ergebnis der Kalibrierung wird iterativ der einheitliche Parametersatz von Rauheitswerten im Hauptabflussquerschnitt ermittelt, mit dem für beide Ereignisse MW 2005 und HW 2011 die jeweils bestmögliche Übereinstimmung von Fixierungen und modellierten Wasserspiegellagen erreicht wird. Dazu wurden in jedem Iterationsschritt zwei Rechenläufe mit den Randbedingungen der jeweiligen Ereignisse und identischen Rauheiten durchgeführt mit dem Ziel, die jeweiligen Abweichungen beider Läufe insgesamt zu minimieren. Die Iteration wird beendet, sobald sich keine weitere Verbesserung der Abweichungen mehr erzielen lässt.

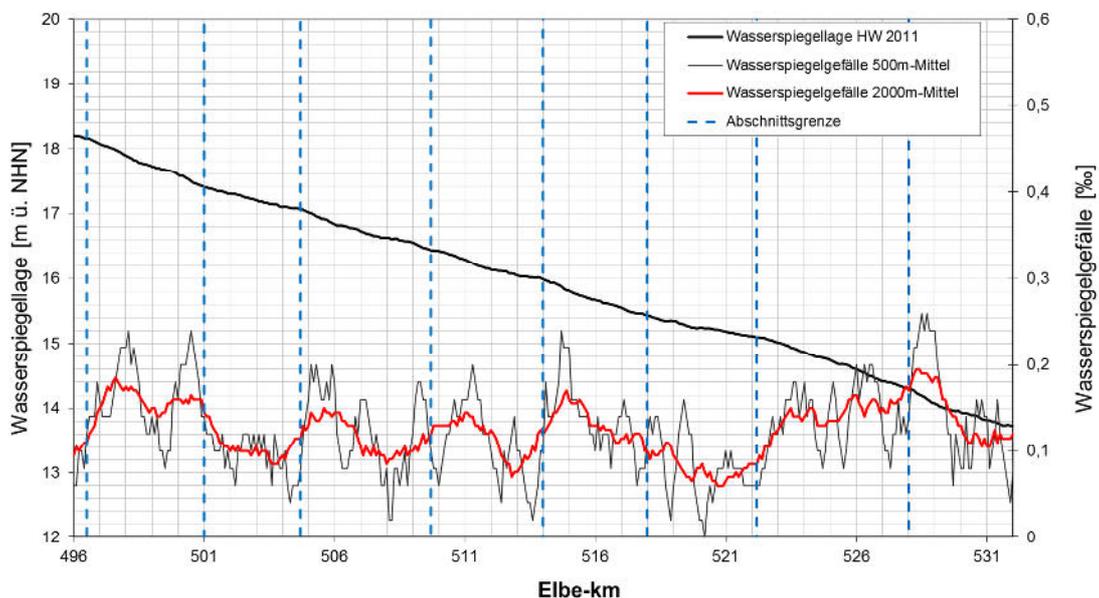


Abb. 8: Pilotmodellstrecke mit Abschnittsgrenzen (gestrichelte Linien) unterteilt an Gefällewechselln für das Hochwasser 2011 und an Pegeln

Tab. 5: Abschnitte konstanter Rauheiten im Hauptgerinne für die Pilotmodellstrecke

Abschnitt	von Elbe-km	bis Elbe-km
1	496,3	501,0
2	501,0	504,7
3	504,7	509,7
4	509,7	514,0
5	514,0	518,0
6	518,0	522,2
7	522,2	528,0
8	528,0	532,0

Tab. 6: Randbedingungen der Kalibrierungsereignisse für die Pilotmodellstrecke

Ereignis	Abfluss bei Elbe-km 496,3 [m³/s]	Wasserstand bei Elbe-km 532 [m+NHN]
HW 2011	3550	13,72
MW 2005	492	8,56

Im ersten Kalibrierungsdurchgang wurde festgestellt, dass offensichtlich das Fehlen von Bewuchs in Bühnenfeldern im ATKIS-Datensatz zu einer Unterschätzung der dortigen Rauheit und in der Folge zu unzureichend hohen Hauptgerinnerrauheiten führte. Als Lösung wurden visuell aus den verwendeten Orthofotos Bereiche mit ausgeprägtem Baumbewuchs in Bühnenfeldern und auf Bühnen identifiziert und die dort vorhandenen Rauheitsklassen angepasst. Mit dem angepassten Rauheitsdatensatz wurde ein zweiter Kalibrierungsvorgang durchgeführt, der zu einer deutlich besseren Übereinstimmung zwischen simulierten Wasserspiegellagen und gemessenen Wasserständen aus Fixierungen führte. Die somit ermittelten Werte für den Kalibrierparameter  $A$  (siehe Gleichung [3]) und alle fünf mittleren Gitterauflösungen sind in Tab. 7 zusammengestellt. Ein vergleichsweise großer  $A$ -Wert entspricht dabei einem Abschnitt mit höheren, wasserstandsabhängigen Nikuradse-Rauheiten.

Tab. 7: Ermittelte  $A$ -Werte für die fünf Gitterauflösungen der Pilotmodelle

mittlere Gitter- auflösung	Ab- schnitt 1 km 496,3 -km 501	Ab- schnitt 2 km 501 -km 504,7	Ab- schnitt 3 km 504,7 -km 509,7	Ab- schnitt 4 km 509,7 -km 514	Ab- schnitt 5 km 514 -km 518	Ab- schnitt 6 km 518 -km 522,2	Ab- schnitt 7 km 522,2 -km 528	Ab- schnitt 8 km 528 -km 531,9
15x15 m	0,416	0,045	0,083	0,058	0,151	0,026	0,116	0,117
20x20 m	0,247	0,050	0,078	0,053	0,139	0,020	0,121	0,113
25x25 m	0,301	0,063	0,059	0,050	0,130	0,021	0,115	0,114
30x30 m	0,001	0,065	0,116	0,048	0,160	0,036	0,147	0,114
40x40 m	0,640	0,032	0,042	0,033	0,142	0,015	0,115	0,100

Die Differenzen zwischen modellierten und bei den Fixierungen gemessenen Wasserspiegellagen sind für das letztlich als am besten geeignete Gitter (siehe dazu Kapitel 3.3 und 3.4) mit 25 m-Auflösung in Abb. 9 grafisch dargestellt. Grün hinterlegt ist der Bereich mit  $\pm 10$  cm Abweichung, der für die Modellierungsgenauigkeit angestrebt wurde. Es ist zu erkennen, dass die Modellierungsergebnisse etwas unter der Fixierung des HW 2011 liegen, jedoch etwas über der Fixierung beim MW 2005. Damit lässt sich annehmen, dass die Vorlandrauheiten noch immer etwas zu gering gewählt sind, was durch leicht erhöhte Rauheiten im Hauptgerinne kompensiert wird. Der Effekt tritt in diesem Streckenabschnitt im Gesamtmodell deutlich weniger stark ausgeprägt auf (siehe Abb. 15).

Die mittlere Abweichung zwischen Modellierung und Fixierung beträgt beim HW 2011 -5,7 cm bei einer Standardabweichung von 4,3 cm. Die mittlere Abweichung beim MW 2005 beträgt +5,8 cm bei einer Standardabweichung von 3,2 cm. Da die Modellabweichungen der Wasserspiegellagen jedoch nur für 7 % (MW 2005) bzw. 21 % der Hektometerpunkte (HW 2011) größer als 10 cm ist, kann hier insgesamt von einem für die Pilotmodellierung guten Ergebnis ausgegangen werden. Für die Darstellungen der Kalibrierungsergebnisse der weiteren Auflösungen wird auf den Zwischenbericht verwiesen (BfG, 2013a).

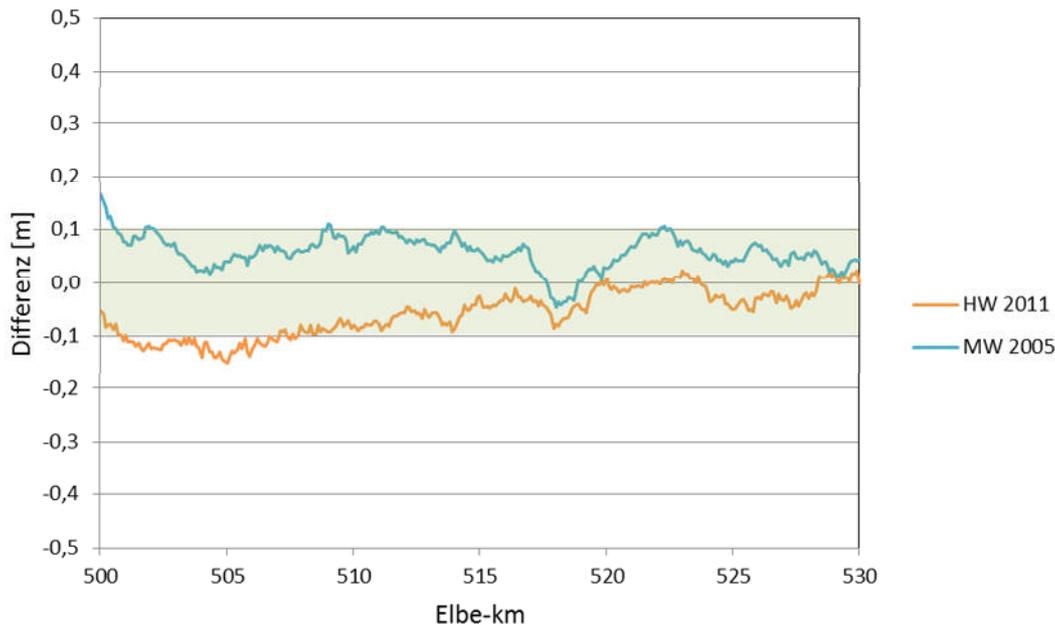


Abb. 9: Differenz zwischen modellierter und gemessener Wasserspiegellage für das HW 2011 und das MW 2005 für das Pilotmodell mit 25 m-Gitter

### 3.3 Validierung der Pilotmodelle

Ziel der Validierung ist zu zeigen, inwiefern die Modelle, auch für weitere gemessene Ereignisse und andere Abflussbereiche als in der Kalibrierung verwendet, zufriedenstellende Ergebnisse liefern. Die Validierung erfolgt anhand zweier weiterer Fixierungen: am Hochwasser 2006 mit Messungen vom 09.-10.04.2006 (HW 2006) und einer Fixierung um Mittelwasser mit Messungen vom 07.-10.10.2007 (MW 2007). Die Randbedingungen sind in Tab. 8 zusammengestellt.

Tab. 8: Randbedingungen der Validierungsereignisse für die Pilotstrecke

Ereignis	Abfluss bei Elbe-km 496,3 [m <sup>3</sup> /s]	Wasserstand bei Elbe-km 532 [m+NHN]
HW 2006	3592	13,66
MW 2007	986	10,08

Die gemessene Wasserspiegellage des HW 2006 liegt knapp unter dem Ereignis HW 2011 bei leicht höheren Abflüssen, wie aus dem Vergleich der Angaben zu den gewählten Randbedingungen aus Tab. 6 bzw. Tab. 8 entnommen werden kann. Bei Beibehaltung der sonstigen Modellparameter, insbesondere der Rauheiten, ist demnach mit einer besseren Übereinstimmung der Simulation mit der Fixierung vom HW 2006 als für das Kalibrierungsereignis HW 2011 zu rechnen, bei dem die Wasserstände unterschätzt werden (vgl. Abb. 9).

Die Fixierung um Mittelwasser MW 2007 unterscheidet sich von der Fixierung MW 2005 im Wesentlichen dadurch, dass bei etwa verdoppeltem Abfluss der Elbe die Bühnen nun durch-

weg überströmt sind. Dieses Ereignis stellt somit auch eine Validierung der Bühnenimplementierung dar. Die gemessenen Wasserspiegellagen aller Kalibrierungs- und Validierungsereignisse sowie die Bühnenkopfhöhen sind in Abb. 10 dargestellt.

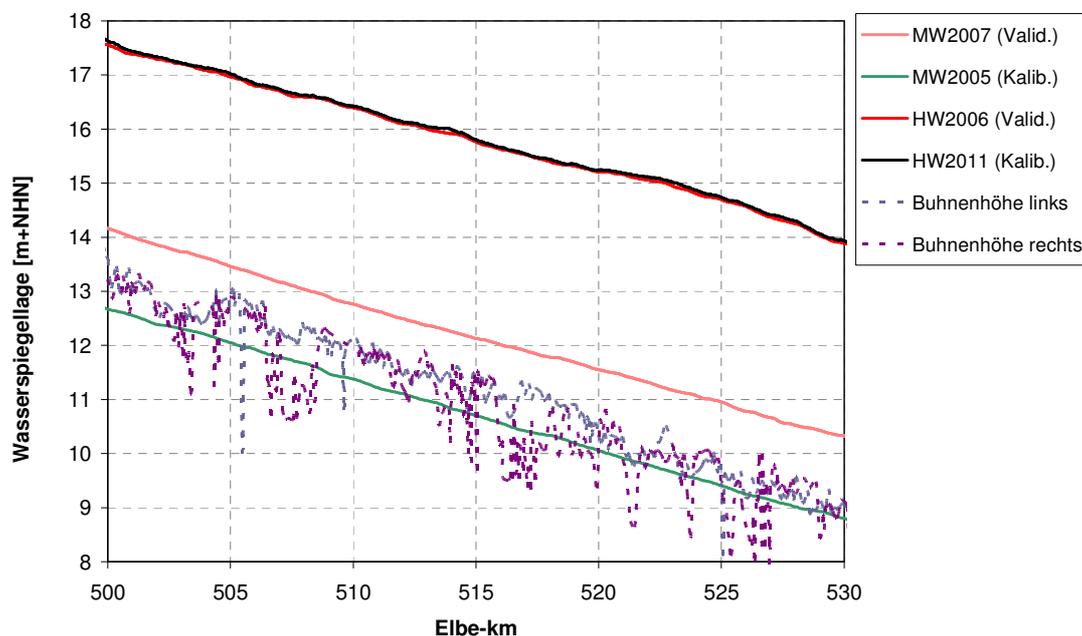


Abb. 10: Gemessene Wasserspiegellagen aller Kalibrierungs- und Validierungsereignisse und Bühnenkopfhöhen für die Pilotstrecke im Längsschnitt

Als Ergebnis der Validierung sind die mittleren Abweichungen (Rechnung - Messung) der Wasserspiegellagen für alle Ereignisse und die fünf Gitterauflösungen in Tab. 9 zusammengefasst. Es ist festzustellen, dass das Validierungsereignis HW 2006 mit Ausnahme des 30 m-Gitters noch besser reproduziert wird als das Kalibrierungsereignis HW 2011. Die Wasserspiegellagen für das MW 2007 werden durchweg deutlich überschätzt und liegen am oberen Rand der akzeptablen Abweichung (mit Ausnahme des 30 m-Gitters, für das eine starke Überschätzung vorliegt). Als Ursache hierfür wird auf die zugrunde liegenden Unsicherheiten und Fehlerquellen (bzgl. Geometrie, Rauheitszuweisungen, Randbedingungen sowie Naturmessungen) verwiesen (Kapitel 6 in BfG, 2013a).

Tab. 9: Mittlere Abweichungen (Rechnung-Messung) der Wasserspiegellagen [cm] der Kalibrierung und Validierung für alle fünf Gitterauflösungen der Pilotmodelle; Positive Werte bedeuten höhere simulierte Wasserspiegel als gemessen.

		mittlere Abweichung [cm]					
		Gitterweite [m]	15	20	25	30	40
Kalibrierung	MW 2005		5,6	5,6	5,8	2,2	7,9
	HW 2011		-5,6	-5,7	-5,7	-2,0	-6,4
Validierung	MW 2007		5,1	5,2	5,3	11,4	5,4
	HW 2006		-1,2	-1,4	-1,3	2,3	-2,1

Beim Vergleich der Modellabweichungen der fünf Auflösungen untereinander fällt wie bei der Kalibrierung das Modell mit 30 m mittlerer Gitterweite auf. Hier sind die erzielten Ergebnisse der Validierung für das MW 2007 deutlich schlechter als für die anderen Auflösungen.

Zusätzliche Validierungen wurden für die berechneten Fließgeschwindigkeiten anhand vorhandener Messungen beim MW 2007 sowie beim HW 2006 durchgeführt, wobei für das Mittelwasserereignis eine bessere Übereinstimmung als für das Hochwasser festgestellt wurde. Insgesamt wird die Abbildungsqualität hinsichtlich der Fließgeschwindigkeiten als zufriedenstellend betrachtet. Für Details wird auf den Zwischenbericht verwiesen (BfG, 2013a).

Bei der Validierung der Fließgeschwindigkeiten zeigt sich, dass die Modellabweichungen mit größer werdender Modellauflösungen tendenziell steigen. Dies betrifft vor Allem das 40 m-Modell, während die Abweichungen zwischen den Auflösungen 15 m und 25 m noch gering sind. Mit der mittleren Modellauflösung von 25 m werden hingegen vergleichbar gute Kalibrierungs- und Validierungsergebnisse erreicht wie mit den feiner aufgelösten Pilotmodellen.

Als Fazit der Validierung der Pilotmodelle wird festgestellt, dass mit den Gitterauflösungen 15 m bis 25 m vergleichbar gute Ergebnisse erzielt wurden. Die mittlere Auflösung von 30 m bildet das MW 2007 deutlich schlechter ab, die Auflösung 40 m das MW 2005. Die größeren Auflösungen zeigen zudem mit der Gitterweite zunehmende Abweichungen bei der Validierung der Fließgeschwindigkeiten. Die Wahl der Gitterweite für das Gesamtmodell fällt daher unter Berücksichtigung der Rechenzeit zwischen den drei feineren Auflösungen.

### **3.4 Rechenzeiten und Festlegung der Modellauflösung des Gesamtmodells**

Der entscheidende Faktor für die Limitierung der Gitterweite ist die Rechengeschwindigkeit. Abb. 11 verdeutlicht den Zusammenhang für ein Szenario mit dem alleinigen Ziel des Rechenzeitvergleichs, welches mit den fünf Pilotmodellen unter sonst identischen Randbedingungen gerechnet wurde. Dabei wurde mit den kalibrierten Modellen jeweils der Maximalabfluss des HW 2011 stationär über 2 Tage mit einer Zeitschrittweite von 30 s gerechnet. Es ist festzustellen, dass mit abnehmender Gitterweite die Rechenzeit exponentiell steigt.

Zwischen den Kooperationspartnern wurde in der Besprechung am 14.02.2013 in Hannover als für alle Beteiligten tragbarer Kompromiss die mittlere Maschenweite des Gesamtmodells auf 25 m festgelegt. Diese Auflösung bietet für die Verwendung im Gesamtmodell akzeptable Rechenzeiten. Die typischen Strukturen der umzusetzenden Maßnahmen in den Elbevorländern sind hiermit noch volumengetreu abbildbar, nicht jedoch die zahlreich vorhandenen Bühnen im Projektgebiet. Diese werden als Linienelemente mit der Höhe entsprechend des Bühnenkatasters der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) entlang der jeweils nächstgelegenen Rechennetzkannte abgebildet (vgl. Kapitel 2).

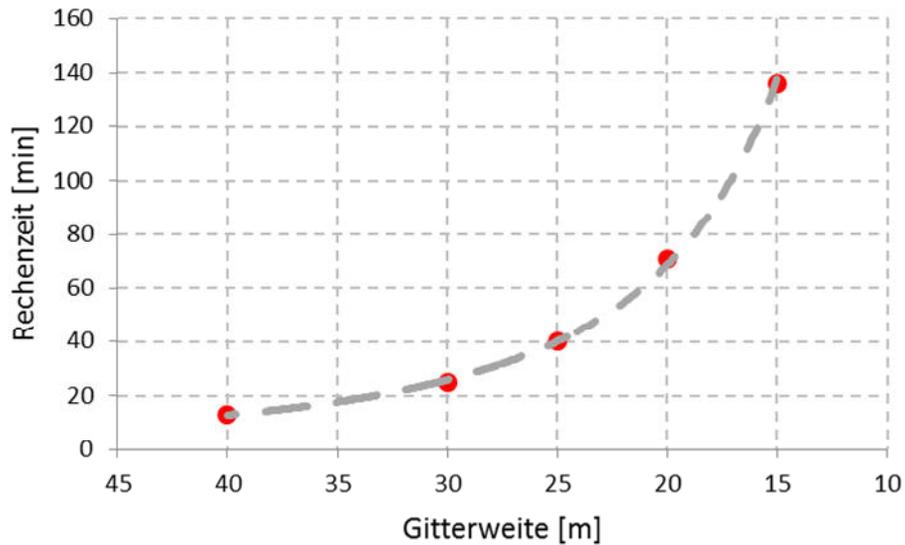


Abb. 11: Rechenzeiten der Pilotmodelle in Abhängigkeit von der Gitterweite für das gewählte Szenario

Die Modellierungen erfolgten zunächst auf Arbeitsplatz-PCs mit Windows 7 Betriebssystem, vier Rechenkernen und 16 GB RAM. Die Rechenzeiten für instationäre hydrodynamische Simulationen sind für das Gesamtmodell ca. 12-mal kleiner als in der Natur, d. h. ein Hochwasserereignis von 12 Tagen Dauer benötigt eine Simulationszeit von etwa einem Tag. Aufgrund der Vielzahl der vorzunehmenden Modellläufe wurde im Laufe des Projektes auf einen High-Performance-Rechencluster der BfG mit 128 Rechenkernen und dem Betriebssystem LINUX umgestiegen. Dieser ermöglicht die zeitgleiche Durchführung mehrerer Simulationsläufe.



## 4 Gesamtmodell von Wittenberge bis Geesthacht

### 4.1 Modelleigenschaften

Wie in Kapitel 3 erläutert, kommt für das Gesamtmodell nach der Bewertung der Pilotmodelle eine mittlere Gitterauflösung von 25 m zum Einsatz. Es umfasst die ca. 135 km lange Fließstrecke der unteren Mittelbe von Wittenberge (Modellrand bei Elbe-km 451,1) bis zur Staustufe Geesthacht (Elbe-km 585,9) und beinhaltet das komplette Vorland inklusive der Deiche. Das verwendete gekrümmte Rechteckgitter besteht aus mehr als 920.000 Zellen. Aus Performanzgründen ist das Gebiet in vier Abschnitte, sogenannte Domains, aufgeteilt, welche parallel von jeweils einem Rechenkern berechnet werden (Abb. 12). Die Erstellung des Gitters für das Gesamtmodell und die Aufteilung in die vier Domains erfolgten in Auftrag der BfG durch das Ingenieurbüro HKV (HKV, 2013). Alle weiteren Bearbeitungsschritte (Rauheitsfestlegung, Kalibrierung, Validierung und Anwendung für Szenarienberechnungen) wurden von der BfG selbst durchgeführt.

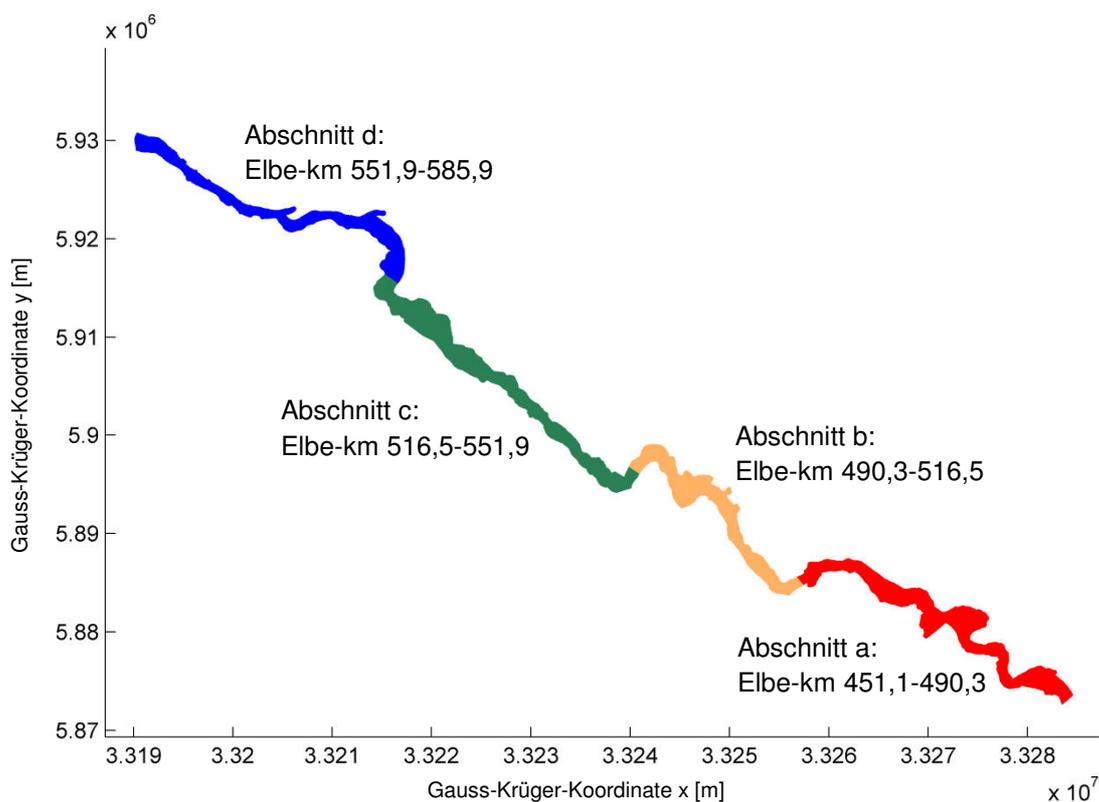


Abb. 12: Aufteilung der Modellstrecke Wittenberge-Geesthacht in vier Abschnitte (Domains)

## 4.2 Kalibrierung des Gesamtmodells

Die Kalibrierung des Gesamtmodells erfolgt in Anlehnung an die Vorgehensweise bei den Pilotmodellen, indem die Rauheitswerte im Hauptabflussquerschnitt abschnittsweise variiert werden, bis die optimale Übereinstimmung von gemessenen Wasserständen aus Fixierungen und modellierten Wasserspiegellagen erreicht ist. Um angesichts der deutlich längeren Modellstrecke nicht zu viele Kalibrierungsabschnitte zu erhalten und die Anzahl der notwendigen Iterationen im durchführbaren Rahmen zu halten, werden im Gesamtmodell etwas größere Bereiche als hydraulisch vergleichbar betrachtet als in den Pilotmodellen. Die Abschnitte 7 und 8 der Pilotstrecke werden zusammengefasst, da sich dort in der Kalibrierung nahezu identische Werte für den Parameter  $A$  ergeben haben (siehe Tab. 7). Die weiteren Abschnitte ergeben sich aus der Analyse des Wasserspiegellängsgefälles für das Hochwasser 2011, indem an markanten Gefälleänderungspunkten ein Abschnittswechsel eingefügt wird. Abb. 13 und Abb. 14 zeigen die ermittelten Abschnitte in der oberen bzw. unteren Modellhälfte. Die Abschnittsgrenzen sind außerdem in Tab. 11 aufgeführt.

Kalibriert ist das Gesamtmodell stationär anhand von Wasserspiegelfixierungen zweier unabhängiger Ereignisse mit mittleren bzw. hohen Abflüssen der Elbe. Dafür ausgewählt wurden die Fixierung vom Januarhochwasser 2011 mit Messungen vom 21./22.01.2011 (im Folgenden HW 2011, liegt im Bereich um  $HQ_{20}$ ) sowie die Mittelwasserfixierung vom Juni 2005 mit Messungen vom 06.-08.06.2005 (MW 2005). Tab. 10 fasst die Randbedingungen der Kalibrierungsereignisse zusammen.

Tab. 10: Randbedingungen der Kalibrierungsereignisse für die Gesamtmodellstrecke

Ereignis	Abfluss bei Elbe-km 451,1 [m <sup>3</sup> /s]	Wasserstand bei Elbe-km 585,9 [m+NHN]
HW 2011	3720 <sup>1</sup>	6,02
MW 2005	473	4,04

Mit OpenDA wird entsprechend der Vorgehensweise für die Pilotmodelle (vgl. Kapitel 3.2) der einheitliche Parametersatz von Rauheitswerten im Hauptabflussquerschnitt ermittelt, mit dem für beide Ereignisse MW 2005 und HW 2011 die bestmögliche Übereinstimmung von Fixierungen und modellierten Wasserspiegellagen erreicht wird. Tab. 11 gibt die Rauheitsabschnitte sowie die im Kalibrierungsprozess ermittelten Werte für den Kalibrierungsparameter  $A$  des Hauptgerinnerauheitsansatzes (siehe Gleichung [3]) wieder. Ein vergleichsweise hoher Wert für  $A$  entspricht dabei einer entsprechend hohen wasserstandsabhängigen Rauheit des betreffenden Abschnitts. Die Ursachen für die unterschiedlich großen Werte der Kalibrierungsparameter können verschiedener Art sein. Einerseits kann es sich um einen Abschnitt handeln, in dem es tatsächlich aufgrund der Strömungsbelastung sowie der Korngrößenver-

<sup>1</sup> Grundlage ist der Abfluss am Pegel Wittenberge vom 21.01.2011 10:30 Uhr, wohingegen für die Kalibrierung der Pilotmodelle (vgl. Tab. 6) als obere Randbedingung der Abfluss am Pegel Neu Darchau vom 22.01.2011 10:40 Uhr verwendet wurde. Die jeweiligen Abflüsse entsprechen den Wasserspiegellagen bestmöglich, da sie aus den Pegelwasserständen und gültigen Abflusstafeln bei Vorbeifahrt des Messschiffes an den Pegeln bestimmt wurden.

teilung des Sohlmaterials zu markantem Anwachsen von Sohlstrukturen (Riffel und Dünen) bei Hochwasser kommt. Andererseits kann es sich auch um einen Abschnitt handeln, in dem die tatsächlich vorhandene Rauheitswirkung der Buhnen und anderer geometrischen Strukturen aufgrund der räumlichen Mittelung auf das 25-m-Gitter weniger gut abgebildet wird als in den übrigen Abschnitten. Auch die Aktualität der Geometriedaten kann dabei eine Rolle spielen. In diesen Fällen kommt es zu einer Kompensation der Unterschiede zur tatsächlichen Rauheitswirkung mittels sich entsprechend größer bzw. kleiner ergebenden Werten für A.

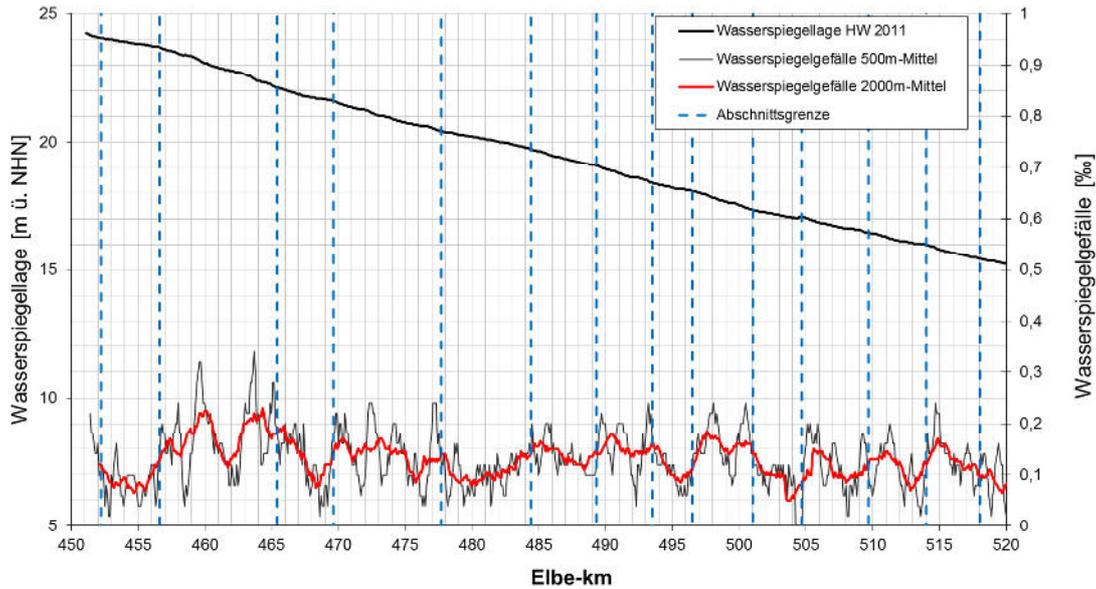


Abb. 13: Rauheitsabschnitte des Gesamtmodells (oberer Teil) unterteilt an Gefällewech-  
seln für das HW 2011

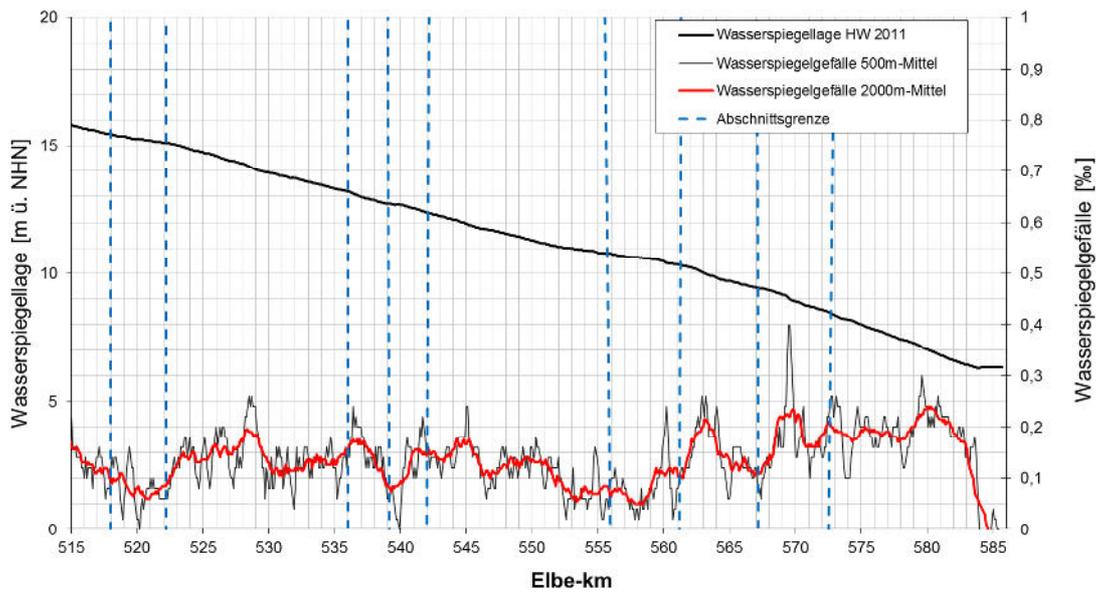


Abb. 14: Rauheitsabschnitte des Gesamtmodells (unterer Teil) unterteilt an Gefällewech-  
seln für das HW 2011

Die Ergebnisse der Kalibrierung als Differenz der Wasserspiegellagen (Modellierung - Fixierung) entlang der Gewässerachse sind für beide Ereignisse in Abb. 15 dargestellt. Für die erleichterte Einordnung der Ergebnislagen sind die angestrebten Grenzen der Abweichung zwischen Modellierung und Messung (+/- 10 cm) in dieser Abbildung hervorgehoben. Zum Vergleich sind zusätzlich die Ergebnisse der Kalibrierung für das Pilotmodell (25 m-Gitter) eingetragen. Es ist zu erkennen, dass insbesondere das HW 2011 mit dem Gesamtmodell in der Pilotstrecke noch besser reproduziert wird als mit dem Pilotmodell.

Tab. 11: Abschnitte konstanter Rauheiten im Hauptgerinne und Kalibrierungsparameter A als Resultat der Kalibrierung des Gesamtmodells

Abschnitt	von Elbe-km	bis Elbe-km	Parameter A
1	451,1	452,2	0,209
2	452,2	456,6	0,023
3	456,6	465,4	0,099
4	465,4	469,6	0,030
5	469,6	477,7	0,097
6	477,7	484,4	0,040
7	484,4	489,3	0,112
8	489,3	493,5	0,065
9	493,5	496,5	0,020
10	496,5	501,0	0,058
11	501,0	504,7	0,038
12	504,7	509,7	0,080
13	509,7	514,0	0,044
14	514,0	518,0	0,058
15	518,0	522,2	0,039
16	522,2	536,0	0,076
17	536,0	540,4	0,038
18	540,4	546,0	0,096
19	546,0	559,9	0,038
20	559,9	564,4	0,128
21	564,4	568,3	0,032
22	568,3	583,0	0,074
23	583,0	585,9	0,007

Bezüglich der Strecke des Gesamtmodells liegen die festgestellten Abweichungen beim HW 2011 zu 100 % unter 20 cm, auf ca. 96 % der Strecke unter 10 cm (Tab. 12). Beim MW 2005 betragen die Abweichungen zu ca. 93 % weniger als 20 cm und auf ca. 66 % der Strecke weniger als 10 cm. Deutliche Abweichungen treten für das MW 2005 um die Pegel Boizenburg und Hohnstorf auf. Die Ursache für die Überschätzung der Wasserspiegellagen in diesem Bereich können vor allem im Zusammenhang mit der Rauheitsbelegung und der Gerinnegeometrie angenommen werden. Für die Betrachtung von relativen Änderungen infolge von Maßnahmenuntersuchungen sind die vorhandenen Modellungenauigkeiten jedoch von untergeordneter Bedeutung. Tab. 12 fasst die im Zuge der Kalibrierung des Gesamtmodells erzielten prozentualen und mittleren Abweichungen zusammen. Demnach wird für das

HW 2011 eine mittlere Abweichung von 0 cm erreicht bzw. +8 cm für das MW 2005. Die Standardabweichung der Differenzen zwischen Modellierung und Fixierung beträgt 5 cm für das HW 2011 und 6 cm für das MW 2005.

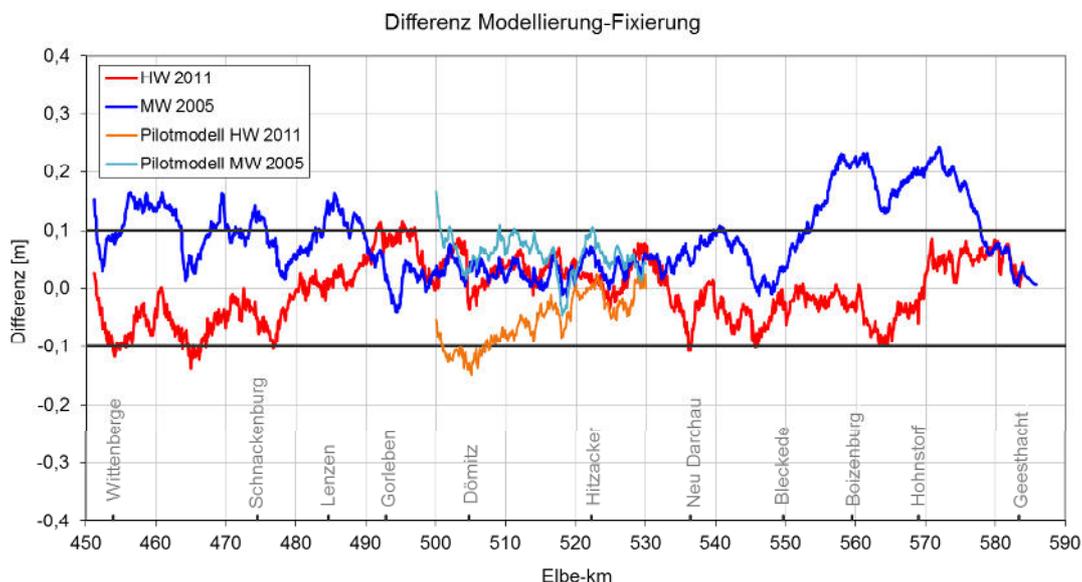


Abb. 15: Differenz der Wasserspiegellagen in Gewässermitte für die beiden Kalibrierungsereignisse für das Gesamtmodell sowie für das Pilotmodell mit 25 m-Gitterweite.

Tab. 12: Übersicht über die erreichte Abbildungsgenauigkeit jeweils für zwei Kalibrierungsereignisse, Auswertung entlang der Gewässerachse

		Abweichungen [%]		mittlere Abweichung [m]	Standardabweichung [m]
		kleiner 0,1 m	kleiner 0,2 m		
Kalibrierung	HW 2011	95,9	100,0	0,00	0,05
	MW 2005	66,2	92,9	0,08	0,06

### 4.3 Validierung des Gesamtmodells

Mit dem kalibrierten Modell wurden zwei zusätzliche Ereignisse stationär zur Validierung des 2D-Modells gerechnet. Zum einen wurde die Mittelwasserfixierung vom Oktober 2007 mit Messungen vom 07.-10.10.2007 (MW 2007) verwendet, die auch für die Validierung der Pilotmodelle (vgl. Kapitel 3.3) herangezogen wurde. Als Hochwasserereignis wurde jedoch nicht das HW 2006, sondern aus aktuellem Anlass das während der Projektbearbeitung abgelaufene Ereignis vom Juni 2013 mit Messungen vom 11.-13.06.2013 (HW 2013, größer  $H_{Q_{50}}$ ) verwendet. Die Messungen am 11.06. und 12.06. erfolgten unterhalb der Havelmündung nahezu im Scheitel der Hochwasserwelle bzw. kurz nach Scheiteldurchgang (BfG, 2014b).

Tab. 13 gibt die Randbedingungen der Validierungsereignisse wieder. Erzielte Differenzen entlang der Gewässerachse für beide Ereignisse sind in Abb. 16 dargestellt. Als Ergebnis der

Validierungsberechnungen wird festgestellt, dass bzgl. der modellierten Elbestrecke die Abweichungen der Modellergebnisse von den gemessenen Wasserständen des HW 2013 zu 97 % kleiner als 20 cm sind und zu 72 % unter 10 cm liegen. Für das MW 2007 werden noch bessere Ergebnisse erzielt. Hier liegen die Abweichungen der Modellergebnisse von den Messwerten zu 100 % unter 20 cm und zu 86 % unter 10 cm. Größere lokal begrenzte Abweichungen zwischen 2D-Berechnung und Messung ( $\pm 10$  bis  $\pm 20$  cm) sind bzgl. des MW 2007 zwischen Hohnstorf und Geesthacht (ca. Elbe-km 568 bis 580) bzw. für das HW 2013 bei Wittenberge oberhalb Elbe-km 460 und zwischen Neu Darchau und Radegast (ca. Elbe-km 534 - 555) festzustellen. Tab. 14 fasst die Resultate zusammen und liefert auch Angaben zu den erzielten mittleren Abweichungen (HW 2013: -6 cm; MW 2007: +1 cm) sowie den Standardabweichungen der Differenzen zwischen Modellierung und Fixierung (für beide Ereignisse jeweils 7 cm). Die erreichten Abbildungsgenauigkeiten des Gesamtmodells werden als gut geeignet im Sinne der Projektziele eingeschätzt.

Tab. 13: Randbedingungen der Validierungsergebnisse für die Gesamtmodellstrecke

Ereignis	Abfluss bei Elbe-km 451,1 [m <sup>3</sup> /s]	Wasserstand bei Elbe-km 585,9 [m+NHN]
HW 2013	4250	6,13
MW 2007	786	4,02

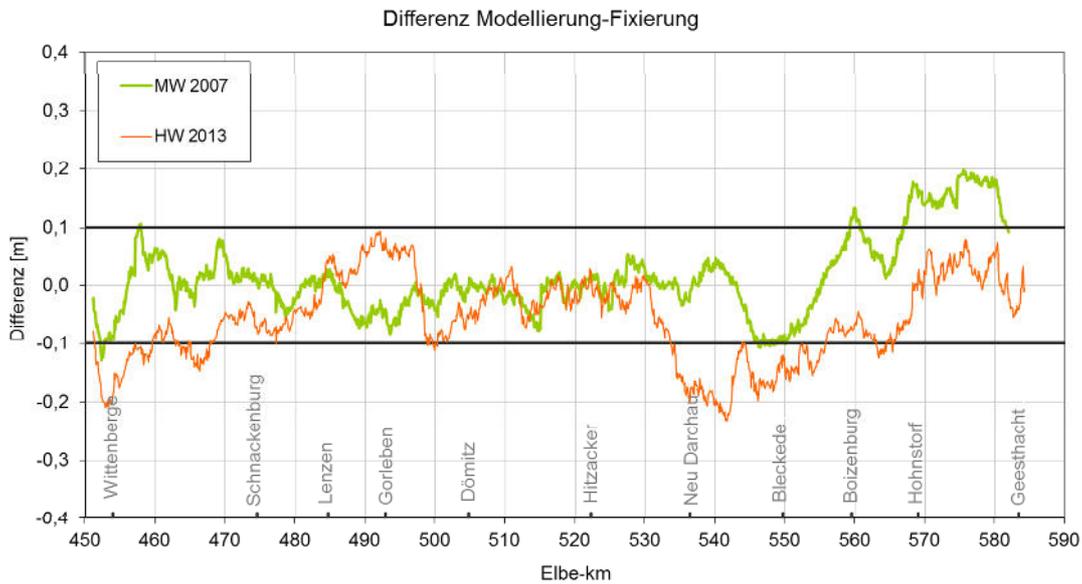


Abb. 16: Differenz der Wasserspiegellagen in Gewässermittle für die beiden Validierungsergebnisse

Tab. 14: Übersicht über die erreichte Abbildungsgenauigkeit für die zwei Validierungsereignisse, Auswertung entlang der Gewässerachse

		Abweichungen [%]		mittlere Abweichung [m]	Standard- abweichung [m]
		kleiner 0,1 m	kleiner 0,2 m		
Validierung	HW 2013	71,7	97,2	-0,06	0,07
	MW 2007	85,5	100,0	0,01	0,07

Eine zusätzliche Validierung wurde anhand der Fließgeschwindigkeiten, die beim HW 2013 im Einlaufbereich der im Jahre 2009 fertig gestellten Deichrückverlegung (DRV) Lenzen gemessen wurden, durchgeführt. Diese im Auftrag der BAW erfolgten Geschwindigkeitsmessungen im Zuge der Wasserspiegelfixierung des HW 2013 stellen nicht nur eine wertvolle Ergänzung der hydrologischen Dokumentation dieses extremen Elbehochwassers dar, sondern ermöglichen auch, die Einsatz- und Leistungsfähigkeit des erstellten 2D-Modells nachzuweisen. Abb. 17 gibt zunächst eine Übersicht des DRV-Bereiches mit Lage des Geschwindigkeits-Messquerschnitts im Bereich von Schlitz 1. Während die tatsächlich vorhandene Schwellenhöhe am Schlitz 1 zwischen 17,38 m und 18,08 m+NHN beträgt, wird diese im 2D-Modell mit einer einheitlichen Höhe von 17,8 m+NHN abgebildet.

Abb. 18 zeigt die in dem Messquerschnitt jeweils gemessenen und modellierten Geschwindigkeiten in x- (Ost-West) bzw. y-Richtung (Nord-Süd). Die Übereinstimmung kann trotz erkennbarer Abweichungen insgesamt als gut bezeichnet werden. Festzustellende Differenzen setzen sich zusammen aus geringfügigen Abweichungen in der Strömungsrichtung sowie zusätzlichen lokalen betragsmäßigen Unterschieden der Strömungsgeschwindigkeitskomponenten.

Die gemessenen und berechneten Durchflüsse, bestimmt durch Integration der Geschwindigkeiten über den durchflossenen Querschnitt, betragen 989 m<sup>3</sup>/s (Messung) bzw. 1085 m<sup>3</sup>/s (Modell). Somit beträgt die Überschätzung des Abflusses durch den Schlitz 1 im Modell ca. 10 %, was als akzeptabel angesichts der Modellvereinfachungen sowie der Mess- und Modellierungsunsicherheiten angesehen werden kann.

Da der Gesamtabfluss der Elbe zum Messzeitpunkt kurz nach dem Hochwasserscheitel laut Abflussmessung noch ca. 3500 m<sup>3</sup>/s betrug, entspricht der anteilige Abfluss über die zurückgewonnenen Überschwemmungsgebiete der DRV Lenzen ca. 30 % des Gesamtabflusses.

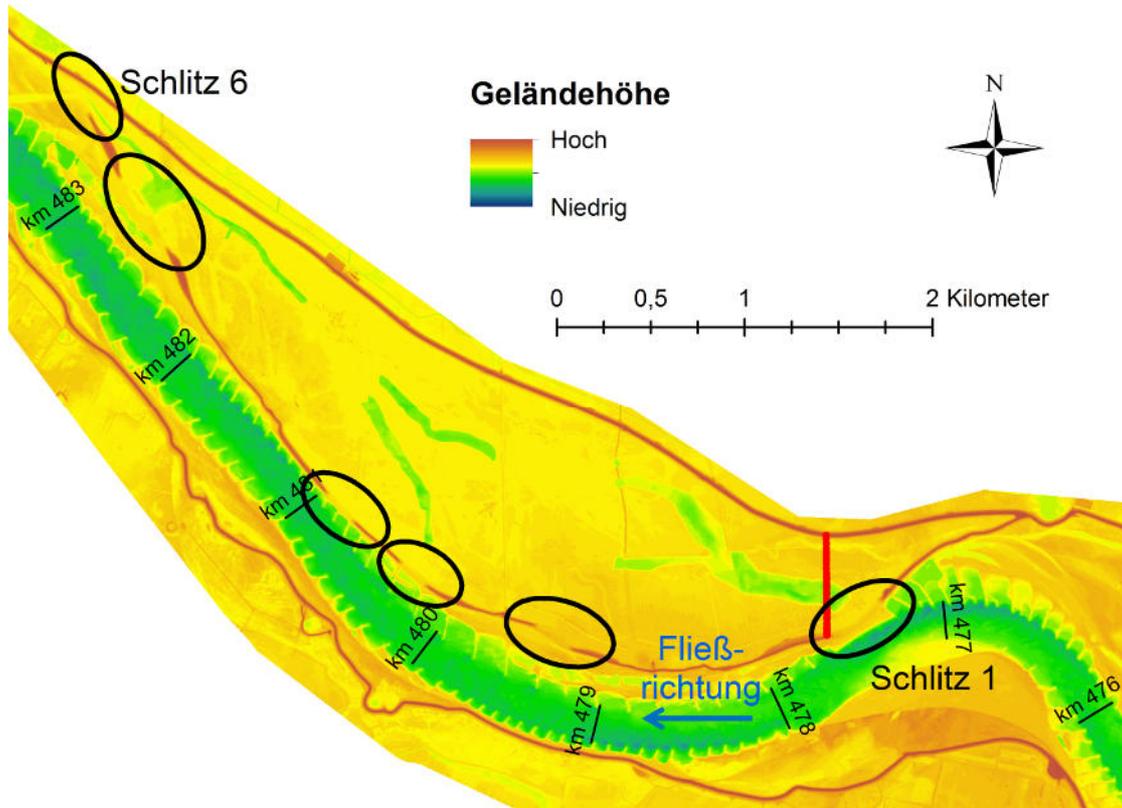


Abb. 17: Aufsicht auf das Höhenmodell im Bereich der Deichrückverlegung Lenzen mit Verortung der Geschwindigkeitsmessung am Schlitz 1 (in rot) und Lage der Schlitze

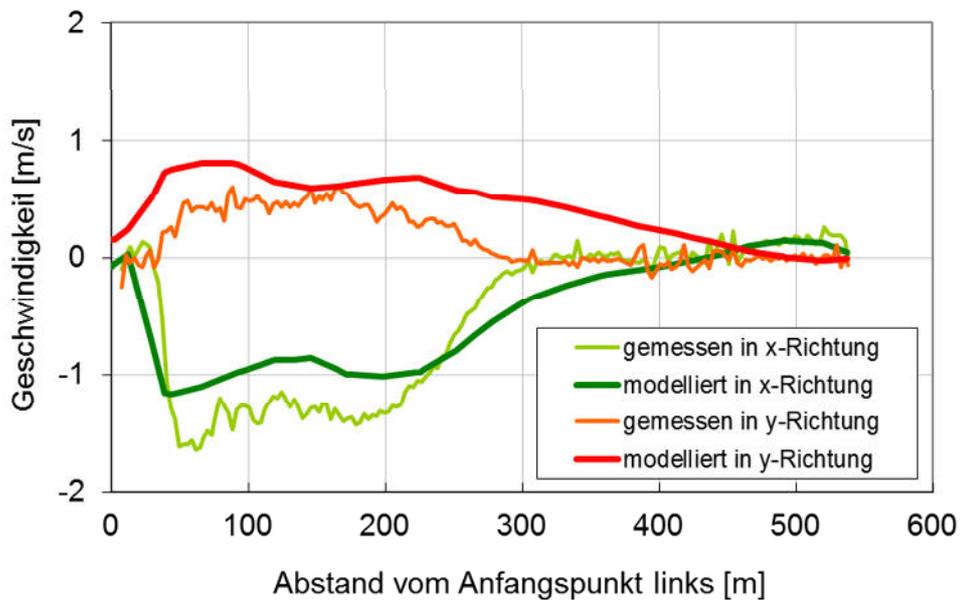


Abb. 18: Reproduktion der beim HW 2013 unterhalb von Schlitz 1 in der DRV Lenzen gemessenen tiefengemittelten Strömungsgeschwindigkeiten mit dem numerischen Modell

## 4.4 Beschreibung des Referenzzustandes

Der Referenzzustand des Gesamtmodells Wittenberge-Geesthacht dient als Grundlage für die Berechnungen in den Kapiteln 5, 9, 10 und 11 sowie als Vergleichszustand, auf den die Maßnahmenvarianten in den Kapiteln 6 bis 8 bezogen werden. Dieser Modellzustand unterscheidet sich in wenigen Details von dem für Kalibrierung und Validierung verwendeten Zustand (siehe Protokoll der Projektbesprechung vom 30.10.2014):

- Deichlinie im Bereich Walmsburg (Elbe-km 537,3 – 539,8), Fertigstellung ca. 2011 (Daten vom NLWKN am 21.02.2014 bereitgestellt)
- Deichlinie (2 Abschnitte) im Bereich Alt Garge (Elbe-km 542,5 – 545,0), Fertigstellung ca. 2013 (Daten vom NLWKN am 21.02.2014 bereitgestellt)
- Gehölzrückschnitt 2013/14 im Bereich des Landkreises Lüchow-Dannenberg (in der Projektbesprechung am 27.05.2014 von der BfG vorgestellt und diskutiert)

Die Unterschiede zwischen Referenzzustand und Kalibrierungszustand stellen Änderungen dar, welche im Zeitraum zwischen den Kalibrierungsereignissen und der Projektbearbeitung eingetreten sind. Eine erneute Kalibrierung des Gesamtmodells wird als fachlich nicht notwendig erachtet.

## 4.5 Bewertung der Modellgüte des Gesamtmodells

Wie in den vorangegangenen Kapiteln gezeigt wurde, können die gemessenen Wasserspiegel-lagen mit hoher Genauigkeit vom 2D-Modell reproduziert werden. An 66 bis 96 % der innerhalb der modellierten Elbestrecke gelegenen Hektometerpunkte für die Kalibrierungsereignisse (siehe Tab. 12) bzw. 72 bis 86 % für die Validierungsereignisse (siehe Tab. 14) bestehen weniger als 10 cm Differenz zwischen Fixierung und Modellierung. Bei den Fließgeschwindigkeiten können lokal aufgrund der relativ groben Diskretisierung größere Abweichungen in Betrag und Richtung auftreten. Abb. 18 zeigt am Beispiel der erfolgten Deichrückverlegung Lenzen, dass insbesondere die berechnete Verteilung der Fließgeschwindigkeiten innerhalb des Durchflussquerschnitts Abweichungen von Naturmessungen aufweisen kann, auch wenn das Integral der Geschwindigkeiten (entspricht dem lokalen Durchfluss) mit hoher Genauigkeit reproduziert wird (989 m<sup>3</sup>/s gemessen bzw. 1085 m<sup>3</sup>/s modelliert).

Beim Vergleich von Modellierungsergebnissen mit Naturmessungen muss stets beachtet werden, dass auch die Messungen - insbesondere bei Hochwasserereignissen - mit Unsicherheiten behaftet sind. Eine kurze Bewertung der Fehlerquellen findet sich in Kapitel 6 des Zwischenberichtes (BfG, 2013a).

Als Fazit der Validierung des Gesamtmodells Wittenberge-Geesthacht kann festgestellt werden, dass es zur Beschreibung der Strömungsverhältnisse an der unteren Mittelbe für alle hier relevanten Abflusszustände (MQ bis ca. HQ<sub>100</sub>) gut geeignet ist. Der Anwendung darüber hinaus stehen keine bekannten Einschränkungen entgegen. Zu beachten ist jedoch, dass es ab bestimmten Hochwasserabflüssen der Elbe zur Deichüberströmung kommt<sup>1</sup>. In Bezug auf das

---

<sup>1</sup> In Kapitel 9 wird gezeigt, dass lokal bereits für HQ<sub>100</sub> die Wasserstände die Deichhöhe überschreiten. Für diesen Abfluss wurden im Modell in Abstimmung mit den Kooperationspartnern durch Einfügen ausreichend hoher zusätzlicher Begrenzungen verhindert, dass eine Überströmung stattfindet.

für die beteiligten Projektpartner der Bundesländer relevante Projektziel, die Auswirkungen von Maßnahmen relativ zu einem Referenzzustand zu bewerten, können die Modelle ebenfalls als gut geeignet angesehen werden. So werden die mit vorangegangener 1D-Modellierung in der BfG ermittelten Wasserspiegeländerungen infolge der Annahme von komplett mit Gras bewachsenen Vorländern, gut wiedergegeben (siehe Anhänge 3 und 4). Bei Betrachtung des Szenarios komplett mit Auwald bewachsener Vorländer werden die aus 1D-Modellierung ermittelten Auswirkungen auf die Wasserspiegellagen hingegen übertroffen. Hierbei sind jedoch die Ergebnisse aus der vorliegenden 2D-Modellierung plausibler und belastbarer, da hier berechnete, geometrieabhängige Rauheitswirkungen berücksichtigt werden. Die 1D-Modellierung hingegen basiert auf Annahmen aufgrund von Expertenwissen, wobei die Wahl des maximalen Rauheitsparameters in BfG (2009) rückblickend eher zu konservativ (d. h. zu niedrig) ausgefallen ist.

Die gut dokumentierten Auswirkungen der Deichrückverlegung Lenzen auf Durchflüsse und Wasserstände der Elbe können als Referenz dafür dienen, inwiefern topografische Maßnahmen vom Modell realistisch simuliert werden. Diese Auswirkungen werden mit dem vorliegenden Modell in der gleichen Größenordnung berechnet, die auch bei der Projektierung der DRV Lenzen durch die BAW bereits mit zweidimensionaler numerischer Modellierung ermittelt wurde (Alexy und Faulhaber, 2011; Faulhaber et al., 2013). Bei etwas geringerem Durchfluss (4020 m<sup>3</sup>/s gegenüber 4250 m<sup>3</sup>/s) ermittelt die BAW eine maximale von der DRV Lenzen hervorgerufene Absenkung des Wasserspiegels von 0,35 m (hier: 0,49 m). Als mögliche Ursachen für die unterschiedlichen Modellierungsergebnisse kommen zusätzlich vor allem der unterschiedliche Detaillierungsgrad der verwendeten Modelle (Auflösungen: BAW 2 m bis 10 m, BfG 25 m), die unterschiedlichen Aktualitäten der zugrundeliegenden Geometriedaten sowie lokale Abweichungen in den Rauheitsannahmen in Betracht.

## 5 Berechnung der Strömungssituation bei $HQ_{100}$ im Referenzzustand

In Abstimmung der Kooperationspartner wurde das  $HQ_{100}$  der Elbe als maßgebliche Grundlage für die Beurteilung der Wirksamkeit von Maßnahmen auf Elbehochwasser festgelegt. Auch die Ermittlung des vorhandenen Freibordmaßes bzgl. der heutigen Elbedeiche sowie die vereinbarte Engstellenanalyse werden auf Basis der Berechnungsergebnisse für diesen Abfluss durchgeführt (Kapitel 9 und 10). Daher ist die mit dem 2D-Modell ermittelte Wasserstands- und Strömungssituation bei  $HQ_{100}$  für die weiteren Auswertungen entscheidend. Die durchgeführten Berechnungen sowie die wichtigsten Ergebnisse zur Beschreibung der unterschiedlichen Situationen an der unteren Mittelbe werden im Folgenden dokumentiert.

Um den stationären Strömungszustand der Elbe bei  $HQ_{100}$  zu berechnen, wird das kalibrierte und validierte Modell im Referenzzustand (vgl. Kapitel 4.4) angewendet. Am oberen Modellrand bei Wittenberge ist dabei für den 100-jährlichen Hochwasserabfluss von  $HQ_{100} = 4545 \text{ m}^3/\text{s}$  auszugehen, der dem Beschluss der Staatssekretäre vom 19.11.2008 entspricht. Weiterhin wird in den Berechnungen die Entwicklung des  $HQ_{100}$ -Abflusses entlang der Modellstrecke berücksichtigt, welche bereits in einem früheren Projekt in Zusammenarbeit mit der FGG Elbe festgelegt wurde und im Bericht BfG-1650 dokumentiert ist (BfG, 2009). In Abb. 19 ist die im 2D-Modell berücksichtigte Entwicklung des  $HQ_{100}$  zwischen Wittenberge und Geesthacht dargestellt. Ebenfalls zu entnehmen sind die Scheitelabflüsse des HW 2013 an den Pegeln Wittenberge und Neu Darchau.

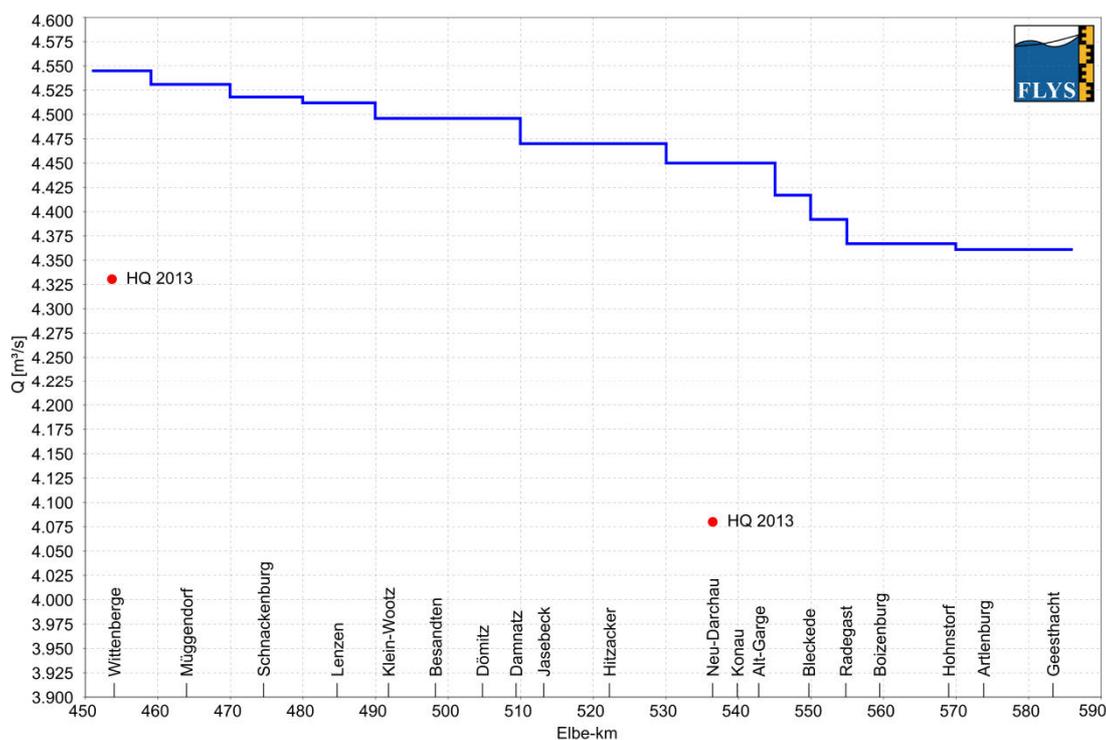


Abb. 19: Abflusslängsschnitt entlang der Modellstrecke bei  $HQ_{100}$

Aufgrund von erheblichen Retentionseffekten im Ablauf von Hochwassern an der unteren Mittel-  
elbe wird in den stationären Simulationsberechnungen für  $HQ_{100}$  von einer Abflussmin-  
derung von  $155 \text{ m}^3/\text{s}$  zwischen Wittenberge und Geesthacht gemäß BfG (2009) ausgegangen.  
Minderungsbeträge und die entsprechenden Orte der Abminderung können ebenfalls aus  
Abb. 19 entnommen werden. Das Oberwasser des Wehres Geesthacht bildet den unteren  
Modellrand (Elbe-km 585,9). In den Berechnungen für  $HQ_{100}$  wird hier von einem Wasser-  
stand von  $W(HQ_{100}) = 6,54 \text{ m} + \text{NHN}$  ausgegangen.

In Abb. 20 ist im Längsprofil für den Streckenabschnitt der unteren Mittel-  
elbe die mit dem 2D-Modell berechnete Wasserspiegellage entlang der Gewässerachse bei  $HQ_{100}$  dargestellt.  
Ebenfalls verzeichnet ist hierin die gemessene Wasserspiegellage aufgrund der Wasserspiegelfixierung  
beim HW 2013. Ein Vergleich der berechneten Wasserspiegellage bei  $HQ_{100}$  mit  
vorhergehender 1D-Modellierung folgt in Kapitel 11 (Abb. 53).

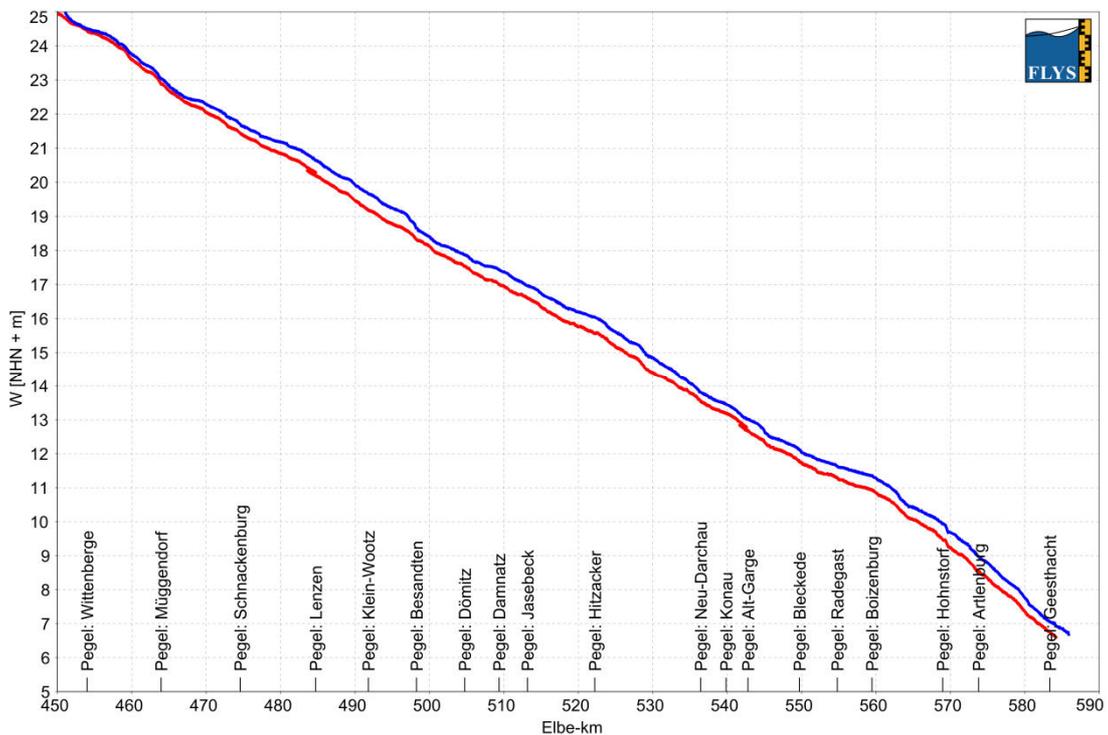


Abb. 20: Modellierte Wasserspiegellage entlang der Modellstrecke bei  $HQ_{100}$  (blau) und  
gemessene Wasserspiegellage aufgrund der Wasserspiegelfixierung beim  
Hochwasser 2013 (rot)

Bis kurz unterhalb des Pegels Müggendorf (Elbe-km 463,94) werden als Wasserstände bei  
 $HQ_{100}$  der Elbe nahezu gleiche Wasserstände wie bei der Wasserspiegelfixierung während des  
Hochwassers Juni 2013 berechnet, wobei jedoch zu berücksichtigen ist, dass die berechneten  
Wasserstände hier geringfügig unterschätzt sind (vgl. Kap. 4.3). Für die sich anschließende  
Strecke bis zum Wehr Geesthacht liegen die berechneten Werte  $W(HQ_{100})$  deutlich über den  
gemessenen Wasserständen des HW 2013. Als Grund hierfür ist u. a. der in den Modellbe-  
rechnungen berücksichtigte Abflusslängsschnitt für  $HQ_{100}$  zu nennen, der von mittleren Re-  
tentionseffekten für Elbehochwasser entlang der unteren Mittel-  
elbe ausgeht (BfG, 2009). Aufgrund der starken Beeinflussung des Elbehochwassers vom Juni 2013 durch Deichbrüche

bei Fischbeck und der vorgenommenen Rückhaltung in der Havelniederung bzw. in Havelpoldern unterlag der so hervorgerufene kurze Hochwasserscheitel beim HW 2013 unterhalb der Havelmündung bis Geesthacht hingegen einer überdurchschnittlich starken Abflachung. Die festgestellten Scheitelreduzierungen von ca. 250 m<sup>3</sup>/s zwischen den Pegeln Wittenberge (HW 2013 = 4330 m<sup>3</sup>/s) und Neu Darchau (HW 2013 = 4080 m<sup>3</sup>/s) belegen dies (vgl. Abb. 19). Sie sind deutlich größer als die in den Modellberechnungen angesetzten mittleren Reduzierungen für HQ<sub>100</sub> der Elbe, mit der Folge, dass die gemessenen Wasserstände beim HW 2013 im Vergleich zum berechneten W(HQ<sub>100</sub>) teilweise deutlich niedriger (ca. 20–40 cm) ausfallen. In der Abb. A.90 (Anhang 8) sind für ausgewählte Elbehochwasser (u.a. HW 2002, HW 2006 und HW 2013) die Abflussganglinien für den Pegel Wittenberge dargestellt, die durch unterschiedliche Beharrungsdauern der Scheitel auch verschieden starke Retentionseffekte im Hochwasserablauf erwarten lassen.

Weiterhin erkennt man in Abb. 20 die über weite Strecken vorhandene Parallelität von gemessener und berechneter Linie. Gleichmaßen werden auch Unterschiede im lokalen Wasserspiegelgefälle, die sich aufgrund unterschiedlicher lokaler Durchflussverhältnisse (z.B. Engstellen) einstellen, deutlich. Strecken mit starkem bzw. flachem Gefälle im Wasserspiegel (z. B. unterhalb des Pegels Boizenburg) wechseln einander ab. Im Kapitel 11 werden für weitere Elbeabflüsse die mit dem 2D-Modell berechneten Wasserspiegellagen vorgestellt und u.a. auch Differenzen zwischen den ermittelten Wasserspiegellagen aufgrund von 1D- und 2D-Modellierung (nicht nur für HQ<sub>100</sub>) im Detail aufgezeigt.

Eine beispielhafte Darstellung der tiefengemittelten Strömungsvektoren bei HQ<sub>100</sub> in der Draufsicht erfolgt für den Bereich Hitzacker (ca. Elbe-km 521,5 bis 523,5) in Abb. 21. Im Anhang 2 sind für die gesamte Untersuchungsstrecke entsprechende Darstellungen des Strömungsbildes bei HQ<sub>100</sub> aufgeführt.

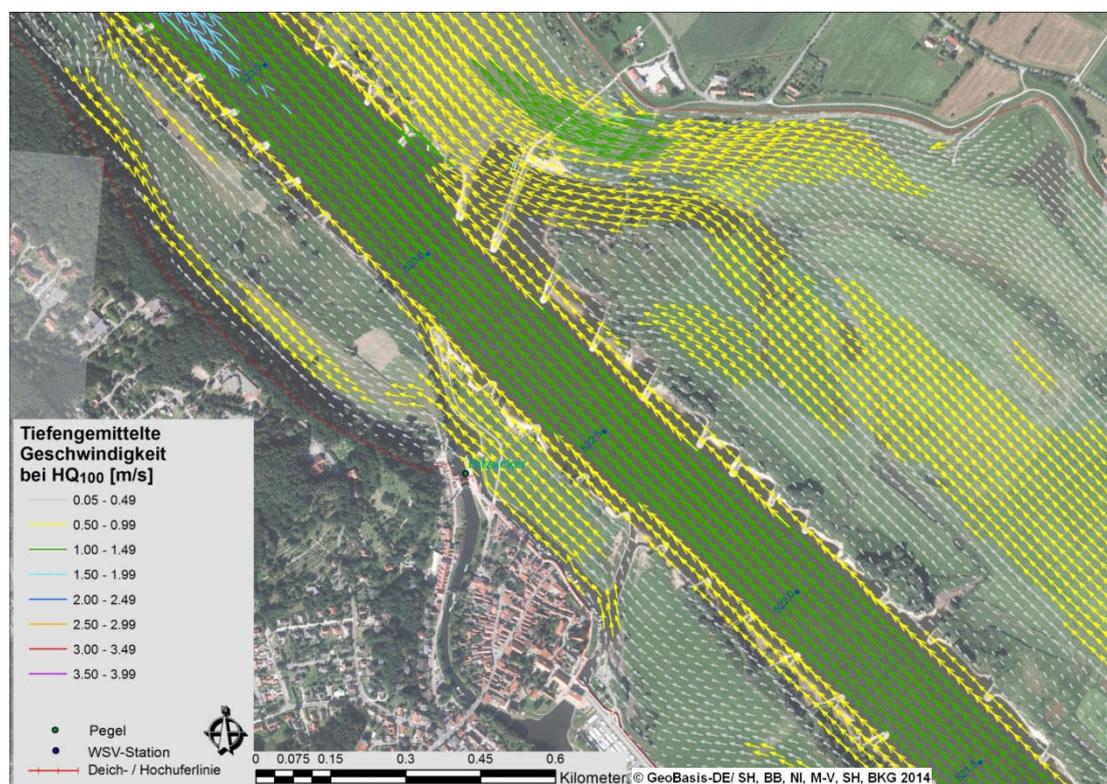


Abb. 21: Strömungsvektoren im Bereich Hitzacker (Elbe-km 521,5 bis 523,5) bei HQ<sub>100</sub>

Anhand der berechneten Strömungsvektoren im Streckenabschnitt Hitzacker erkennt man für HQ<sub>100</sub> ein weitgehend homogenes Strömungsbild im Bereich des Hauptgerinnes. Hier werden tiefengemittelte Fließgeschwindigkeiten zwischen 1-1,5 m/s berechnet. Ein deutlich differenziertes Strömungsverhalten lässt sich bei Hochwasser für die beiden verschieden breiten Elbevorländer feststellen. Es existieren Gebiete mit relativ geringen Fließgeschwindigkeiten (<0,5 m/s), aber auch dazwischen liegende Strömungsfäden mit höheren Geschwindigkeiten zwischen 1,5-2 m/s. Diese Unterschiede haben ihre Ursache in der lokalen Topografie sowie in den Vegetationsbedingungen. Änderungen dieser Situation hinsichtlich der Geländehöhen und des Vorlandbewuchses lassen, in Abhängigkeit vom Ausmaß und Lage geplanter Maßnahmen der Länder, Auswirkungen auf das lokale Strömungsfeld, auf die Durchflüsse und auf die Wasserstände erwarten (siehe Kap. 6 bis 8).

In Abb. 22 ist der für den Bereich Hitzacker ermittelte Tiefenlinienplan für HQ<sub>100</sub> dargestellt. Auch in diesem Lageplan hebt sich der Verlauf der Elbe deutlich durch die großen Wassertiefen mit bis zu 8 m von den benachbarten Vorländern ab. Geländestructuren insbesondere im rechtsseitigen Elbevorland werden durch ihre unterschiedlichen Tiefen im Bezug zur Nachbarschaft erkennbar. Stellenweise sind hier Wassertiefen bis zu 5 m unter dem Wasserspiegel bei HQ<sub>100</sub> anzutreffen. Da die Vertiefungen in ihren Verläufen nicht immer mit der groben Ausrichtung des Elbestroms übereinstimmen, können sich bei Hochwasser hier durchaus auch Querströmungen ausbilden und somit den Anteil des Vorlanddurchflusses am Gesamt-abfluss der Elbe mindern.

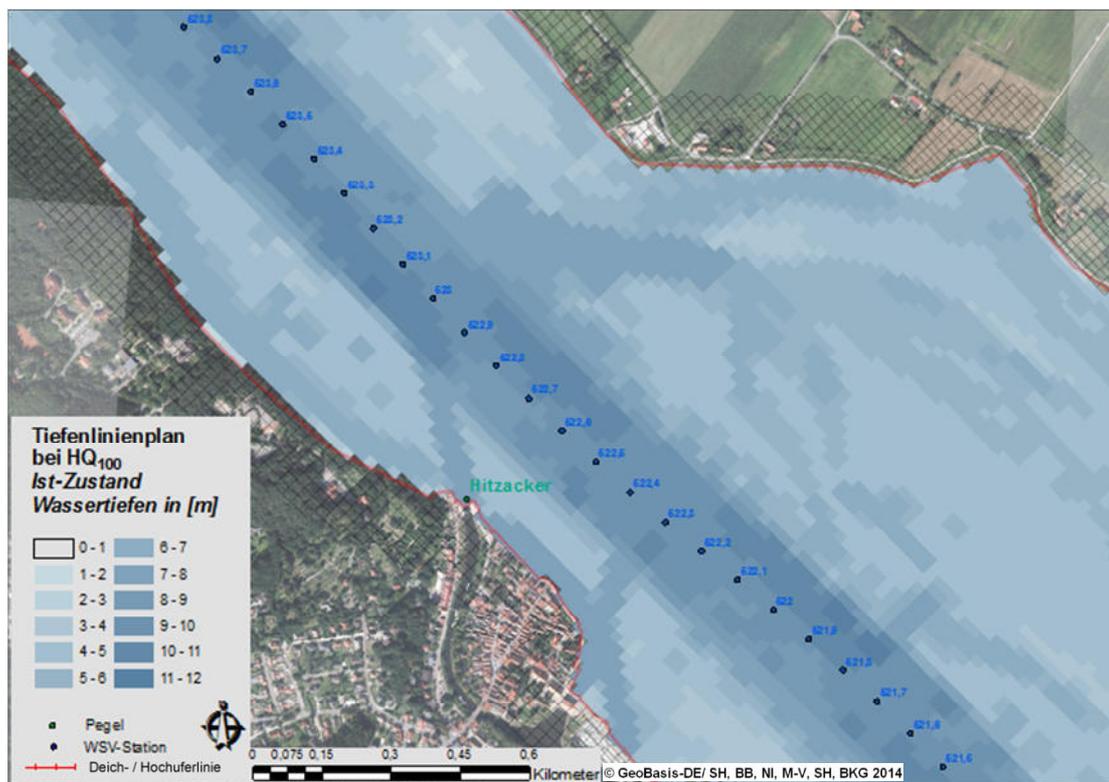


Abb. 22: Berechneter Tiefenlinienplan im Bereich Hitzacker für HQ<sub>100</sub>

## 6 Vegetationsbezogene Maßnahmen der Bundesländer und ihre Wirkung auf Hochwasserstände bei HQ<sub>100</sub>

Ein Schwerpunkt der Kooperation zwischen den beteiligten Bundesländern und der BfG ist die Evaluierung durchgeführter und geplanter vegetationsbezogener Maßnahmen (Gehölzrückschnitt und Aufastung) an der unteren Mittelbe. Da das Vorhandensein bzw. die Zunahme von Bewuchs im Vorland Auswirkungen auf die Wasserspiegellagen im Hochwasserfall haben kann, werden Maßnahmen untersucht, welche darauf abzielen, die Strömungsverhältnisse zu verbessern und die Wasserspiegellagen bei Hochwasser in kritischen Fließstrecken mit geringem Freibord abzusenken. Aufgrund der vielfach hohen ökologischen Bedeutung der Vegetation im Vorland erfolgte dabei eine Beschränkung auf Maßnahmen mit geringstmöglicher Ausdehnung bei gleichzeitig größtmöglicher hydraulischer Wirkung. Maßnahmen zur Bewuchsreduzierung in besonders geschützten Lebensraumtypen (Auenwald) werden zudem durch Ausgleichsmaßnahmen (im Folgenden Kohärenzmaßnahmen genannt) begleitet. Die Angaben zu Art, Lage und Umfang der Maßnahmen wurden von den beteiligten Bundesländern bereitgestellt. Weitere Institutionen waren im Rahmen eines Workshops am Auswahlverfahren beteiligt. Für die Auswahl dieser Maßnahmen wurden die von der BfG ermittelten Strömungsbilder für HQ<sub>100</sub> (Anhang 2) als wichtige Grundlage zur Lagefestlegung von Maßnahmen verwendet und analysiert. Eine tabellarische Übersicht der vegetationsbezogenen und topografiebeeinflussenden Maßnahmen ist in Anhang 1 aufgeführt.

Die Auswirkungen der geplanten Maßnahmen werden in den folgenden Abbildungen jeweils getrennt für die Bundesländer Mecklenburg-Vorpommern und Niedersachsen sowie für beide Länder gemeinsam dargestellt. Alle Berechnungen wurden mit dem kalibrierten und validierten 2D-Modell im Referenzzustand vorgenommen (vgl. Kapitel 4.4). Änderungen der Vegetationstypen bzw. -struktur werden durch veränderte Rauheitsparameter der betroffenen Flächen im Modell zum Ansatz gebracht (vgl. Kapitel 2.1).

### 6.1 Vorgezogene Maßnahmen 2014 und Rückschnitt 2013/2014

In Zusammenarbeit zwischen den Kooperationspartnern wurden im Rahmen eines Workshops am 23.10.2013 zunächst insgesamt 111 mögliche Maßnahmen innerhalb der Modellstrecke identifiziert. Untersucht wurden schließlich 54 den Bewuchs betreffende und 40 die Morphologie betreffende Maßnahmen (siehe Tab. A.1 und Tab. A.2). Aus diesem umfangreichen Katalog wurden am 07.04.2014 als sogenannte "vorgezogene Maßnahmen" insgesamt sieben bewuchsreduzierende Maßnahmen ausgewählt, die für eine Abflussverbesserung bzw. einen verbesserten Hochwasserschutz besonders geeignet erscheinen.

Die vorgezogenen Maßnahmen beinhalten 6 Flächen mit vollständigem Gehölzrückschnitt in Niedersachsen und eine Fläche im Bereich Mecklenburg-Vorpommern mit Bewuchsreduzierung und Aufastung auf 3,5 m. In Tab. 15 sind die vorgezogenen Maßnahmen aufgelistet.

Darin sind deren Bezeichnung, die jeweilige Maßnahmenart, die Flächengröße sowie die Lage (Flussseite und Gewässerstationierung) aufgeführt.

Tab. 15: Vorgezogene Maßnahmen laut Liste vom 07.04.2014

Nummer	von Elbe-km	bis Elbe-km	Ufer	Fläche [ha]	Maßnahme	Bezeichnung
1	487,1	488,3	links	7,1	Vollständiger Gehölzrückschnitt	Vietze
2	519,4	519,7	links	3,5	Vollständiger Gehölzrückschnitt	oberhalb Wussegerl
3	523,2	523,8	rechts	2,3	Vollständiger Gehölzrückschnitt	Bitter
	523,6	524,7	links	8,2	Vollständiger Gehölzrückschnitt	
4	527,9	529,2	rechts	11,9	Vollständiger Gehölzrückschnitt	Tiesmesland und Privelak
	528,5	528,8	links	0,5	Vollständiger Gehölzrückschnitt	
5	536,3	537,1	rechts	5,0	Vollständiger Gehölzrückschnitt	Katemin und Walmsburg
	537,6	538,6	links	10,5	Vollständiger Gehölzrückschnitt	
6	558,8	559,4	rechts	5,7	Bewuchsreduzierung und Aufastung	Boizenburg
7	563,6	564,7	links	4,6	Vollständiger Gehölzrückschnitt	Barförde

Die Implementierung der Maßnahmen im 2D-Modell erfolgt durch Änderung der im Ist-Zustand vorhandenen Rauheitsklassen in den Maßnahmenflächen in die Rauheitsklassen der Maßnahmentypen „vollständiger Gehölzrückschnitt“ bzw. „Bewuchsreduzierung und Aufastung“ gemäß Tab. 15. Die dabei in den Maßnahmenflächen verwendeten Rauheitsparametrisierungen können Tab. 3 entnommen werden. Abb. 23 zeigt im Längsschnitt der unteren Mittellelbe die sich ergebenden Wasserspiegeldifferenzen für HQ<sub>100</sub> infolge der vorgezogenen Maßnahmen 2014. In dieser und in allen weiteren Darstellungen dieses Kapitels (Abb. 24 bis Abb. 28) sind die im 2D-Modell berücksichtigten Maßnahmen entsprechend ihrer Lage am Gewässer und Maßnahmenfläche (rechte Vertikalachse) eingetragen. Im Gegensatz zu allen weiteren Abbildungen dieses und der folgenden Kapitel sind die Änderungen in Abb. 23 nicht auf den Referenzzustand bezogen, sondern aufgrund von terminlichen Zwängen im Projektablauf auf den Zustand des Modells nach Kalibrierung. Für die Unterschiede zwischen diesen beiden Zuständen wird auf Kapitel 4.4 verwiesen. Die aus den unterschiedlichen Modellzuständen resultierenden rechnerischen Abweichungen der Wasserspiegeldifferenzen liegen durchgehend deutlich unter 1 cm.

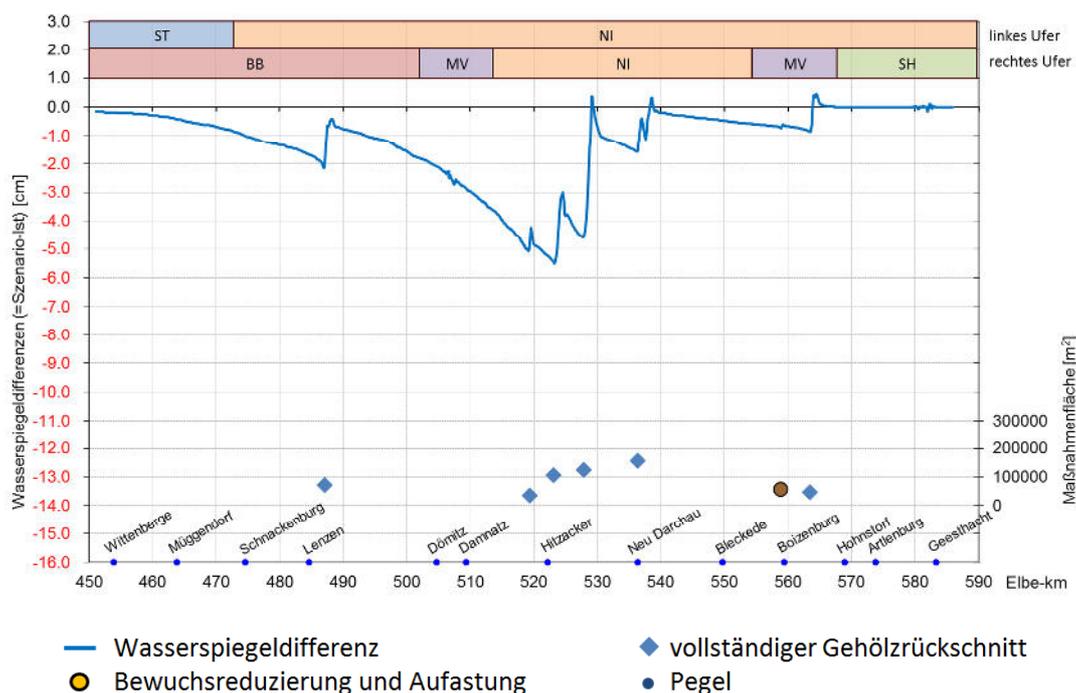


Abb. 23: Modellierte Wasserspiegeldifferenzen bei  $HQ_{100}$  für die vorgezogenen Maßnahmen 2014 in NI und MV

Aufgrund der dargestellten Wasserspiegeldifferenzen in Abb. 23 ist zu erkennen, dass die maximale Wirkung im Bereich der Vegetationsmaßnahmen selbst auftritt. Es ist für  $HQ_{100}$  von maximalen Wasserstandsabsenkungen von ca. -5 cm auszugehen. Nach oberstrom nimmt die Wirkung allmählich ab, wobei auch 30 bis 40 km oberhalb der Maßnahmen noch geringe rechnerische Effekte sichtbar sind. Direkt unterhalb der Maßnahmenfläche kann es zu lokalen sehr geringen rechnerischen Erhöhungen der Wasserstände kommen.

Nach dem extremen Hochwasserereignis der Elbe vom Juni 2013 erfolgten in den Jahren 2013/2014 in Niedersachsen Rückschnittmaßnahmen, welche nachträglich mit dem 2D-Modell in ihrer Wirkung quantifiziert wurden. Die dazu vom Land Niedersachsen bereitgestellten Unterlagen waren jedoch in der Flächenausdehnung der Maßnahmen zum Zeitpunkt der Modellierung nicht hinreichend detailliert und konnten auch im Rahmen der Projektlaufzeit nicht mehr vollständig plausibilisiert werden. Daher werden nur für den Landkreis Lüchow-Dannenberg, für den plausible Daten zur Verfügung stehen, die Wirkungen der Rückschnittmaßnahmen 2013/2014 berechnet und dargestellt. Abb. 24 zeigt, wie sich die Wasserspiegeldifferenzen infolge der vorgezogenen Maßnahmen verändern, wenn zusätzlich die Rückschnittmaßnahmen im Landkreis Lüchow-Dannenberg als wirkend angesetzt werden. Es ist zu erkennen, dass infolge dieses Rückschnitts 2013/2014 zusätzliche Wasserspiegelabsenkungen von deutlich unter -1 cm erreicht wurden. Die Quantifizierung der Rückschnittmaßnahmen der 2013/2014 im Landkreis Lüneburg ist aufgrund der unplausiblen Flächenausdehnungen derzeit nicht möglich. Aufgrund des unterschiedlichen Bezugszustandes von Abb. 23 und Abb. 24 (kalibriertes Modell bzw. Modell im Referenzzustand) sind die Wasserspiegeldifferenzlinien für den Zustand mit vorgezogenen Maßnahmen nicht identisch.

Die aus den verschiedenen Modellzuständen resultierenden Unterschiede der Wasserspiegeldifferenzen liegen jedoch bei deutlich unter 1 cm.

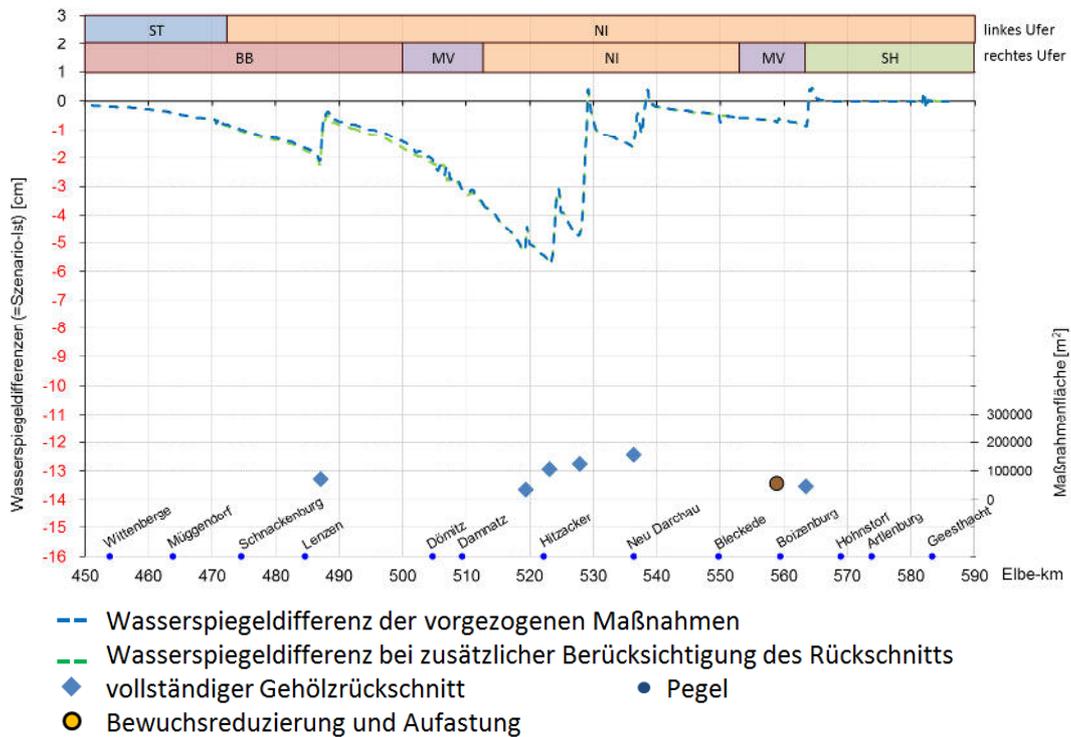


Abb. 24: Modellierte Wasserspiegeldifferenzen bei  $HQ_{100}$  für die vorgezogenen Maßnahmen 2014 und zusätzliche Wirkung des Rückschnitts 2013/2014 im Landkreis Lüchow-Dannenberg

## 6.2 Kohärenzmaßnahmen

Die in Tab. 15 enthaltenen Maßnahmen umfassen eine Fläche von ca. 60 ha Gehölzen, die durch geplante Gehölzrückschnitte im Rahmen der vorgezogenen Maßnahmen reduziert werden sollen. Davon entfallen in Niedersachsen etwa 15 ha auf den prioritären Lebensraumtyp 91E0 (Weiden-Auwald) nach Fauna-Flora-Habitatrichtlinie. Sie sind gemäß FFH-Verträglichkeitsuntersuchung mittels Kohärenzmaßnahmen durch Neuanlage von Weichholzaue auszugleichen (Kaiser, 2014).

Zunächst wurden Suchräume im Deichvorland von insgesamt rund 39 ha identifiziert, in denen grundsätzlich Kohärenzmaßnahmen stattfinden könnten (Tab. 16a). Erste hydraulische Berechnungen, die von einer vollständigen Bewaldung dieser Flächen ausgingen, zeigten, dass Kohärenzmaßnahmen in diesem Umfang kontraproduktiv wären für das angestrebte Ziel, das Hochwasserschutzniveau zu erhöhen. Daher wurde in Niedersachsen beschlossen, die Kohärenzmaßnahmen so weit wie möglich an den Nebengewässern zu realisieren und nur nachrangig im Deichvorland der Elbe. Abb. 25 zeigt die Auswirkungen auf die modellierte Wasserspiegellage bei  $HQ_{100}$ , wenn für die gesamten Suchräume Hart- bzw. Weichholzaue-

wald (vgl. Tab. 16a sowie Tab. 3) angesetzt wird. Die Erhöhung der Wasserspiegellagen infolge dieses Szenarios beträgt bis ca. 2 cm zwischen Damnatz und Hitzacker.

Im Nachgang dieser Szenarienberechnungen wurden angepasste Kohärenzmaßnahmen mit reduziertem Umfang von insgesamt 29,4 ha (vgl. Tab. 16b) auf weniger stark durchströmten Flächen im Deichvorland mit dem 2D-Modell untersucht. Die hierbei modellierten Auswirkungen auf die Wasserspiegellage von weniger als 0,5 cm Wasserstandserhöhung sind ebenfalls in Abb. 25 dargestellt. Dieses Ergebnis zeigt, dass bei sorgfältiger Platzierung einzelner Kohärenzmaßnahmen in nur mäßig durchströmten Bereichen eine nahezu hochwasserneutrale Wirkung erreicht werden kann.

Tab. 16a: Suchräume für Kohärenzmaßnahmen zum Ausgleich der vorgezogenen Maßnahmen laut Liste vom 07.04.2014

Nummer	von Elbe-km	bis Elbe-km	Ufer	Fläche [ha]	Maßnahme	Bezeichnung
1K	519,1	520,0	rechts	8,0	Kohärenzmaßnahme Hartholzaue	Strachauer Werder (C16)
2K	519,6	520,3	rechts	10,3	Kohärenzmaßnahme Weichholzaue	
3K	521,5	522,2	rechts	10,3	Kohärenzmaßnahme Weichholzaue	Strachauer Werder (C16)
4K	543,9	544,2	rechts	2,7	Kohärenzmaßnahme Weichholzaue	Garger Werder (C12)
5K	544,0	544,5	rechts	7,6	Kohärenzmaßnahme Weichholzaue	

Tab. 16b: Optimierte Flächen der Kohärenzmaßnahmen laut Datenbereitstellung vom 12.12.2014

Nummer	von Elbe-km	bis Elbe-km	Ufer	Fläche [ha]	Maßnahme	Bezeichnung
1	540,7	541,6	rechts	9,7	Kohärenzmaßnahme Weichholzaue	Walmsburger Werder
2	544,0	544,6	rechts	9,2	Kohärenzmaßnahme Weichholzaue	Garger Werder
3	546,0	547,5	rechts	10,5	Kohärenzmaßnahme Weichholzaue	Stiepelse

2D-Modellierung an  
der unteren Mittelelbe  
zwischen Wittenberge  
und Geesthacht

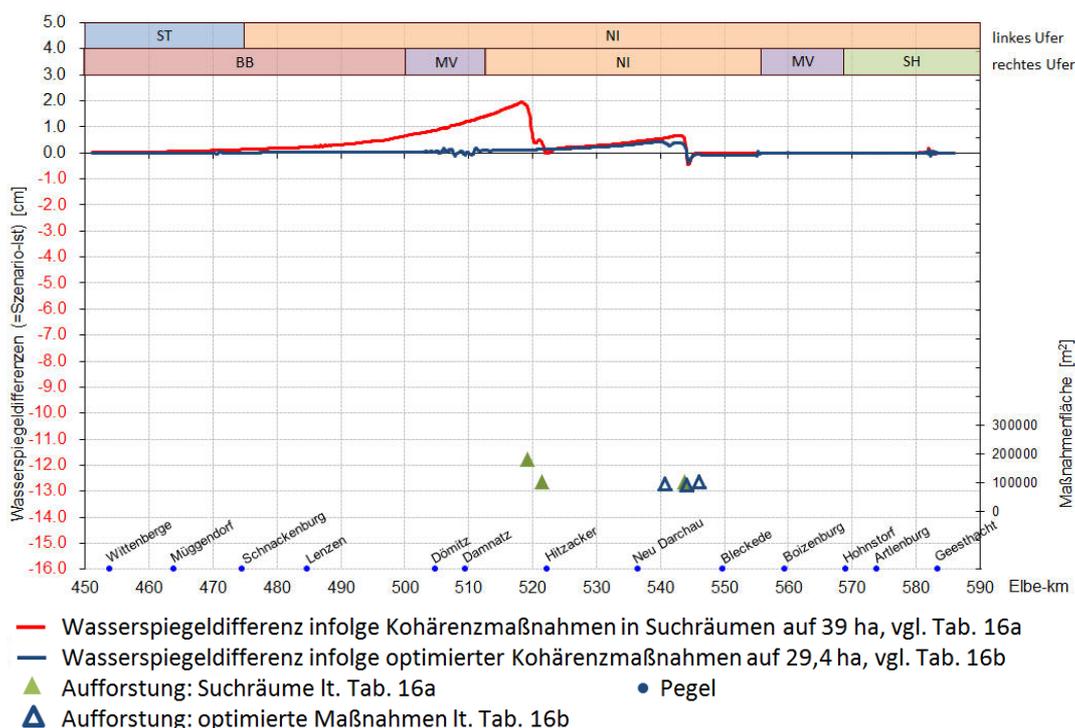


Abb. 25: Modellierte Wasserspiegeldifferenzen bei  $HQ_{100}$  für die Kohärenzmaßnahmen zu den vorgezogenen Maßnahmen (vollständige Bewaldung der Suchräume)

### 6.3 Gesamte geplante Vegetationsmaßnahmen

Die seitens der Bundesländer eingebrachten vegetationsbezogenen Maßnahmenvorschläge (siehe Tab. A.1) wurden mit dem numerischen 2D-Modell untersucht und die Wirkung auf die Wasserspiegellage bei  $HQ_{100}$  quantifiziert. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen jeweils die Auswirkungen auf die Wasserspiegellagen in Strommitte für die Maßnahmen in Niedersachsen (Abb. 26) und in Mecklenburg-Vorpommern (Abb. 27) sowie für alle geplanten Maßnahmen beider Bundesländer (Abb. 28). Die Fläche der jeweils betrachteten Maßnahmen kann ebenfalls diesen Abbildungen entnommen werden (rechte Vertikalachse). Die ermittelten Absenkungen betragen für alle niedersächsischen vegetationsbezogenen Maßnahmen (ca. 206 ha Fläche) lokal bis zu -7 cm. Für die Maßnahmen in Mecklenburg-Vorpommern, welche mit ca. 37 ha deutlich geringere Flächen umfassen, werden bis zu gut -1 cm Absenkung berechnet. Die gesamthafte Wirkung der Maßnahmen beider Bundesländer ergibt sich nicht durch einfache Addition, da sich die Maßnahmen gegenseitig in ihrer Wirkung beeinflussen können. Abb. 28 zeigt, dass sich die maximale Absenkung in diesem Fall mit ca. -7,5 cm bei Damnatz einstellt.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die wasserstandsmindernde Wirkung der vegetationsbezogenen Maßnahmen in Niedersachsen und Mecklenburg-Vorpommern bei  $HQ_{100}$  der Elbe mit bis zu -7,5 cm durch die Modellierung nachgewiesen wird (Abb. 28). Die in Summe erhöhten Durchflüsse in den Vorländern, welche zu den Wasserstandsabsenkungen

führen, sind Folge der lokal erhöhten Fließgeschwindigkeiten in den Maßnahmenbereichen, da dort geringere Rauheiten im Vergleich zum Ist-Zustand wirksam sind. Beim Vergleich der Wirkung der vorgezogenen Maßnahmen (Abb. 23) und der gesamten vegetationsbezogenen Maßnahmen (Abb. 28) wird deutlich, dass ein erheblicher Teil der Wasserspiegelabsenkungen bereits durch die vorgezogenen Maßnahmen bewirkt werden kann, entsprechend einer überdurchschnittlichen Wirkung dieser Maßnahmen bezogen auf die jeweilige Maßnahmenfläche. Eine Verdeutlichung dazu erfolgt in Kapitel 8.

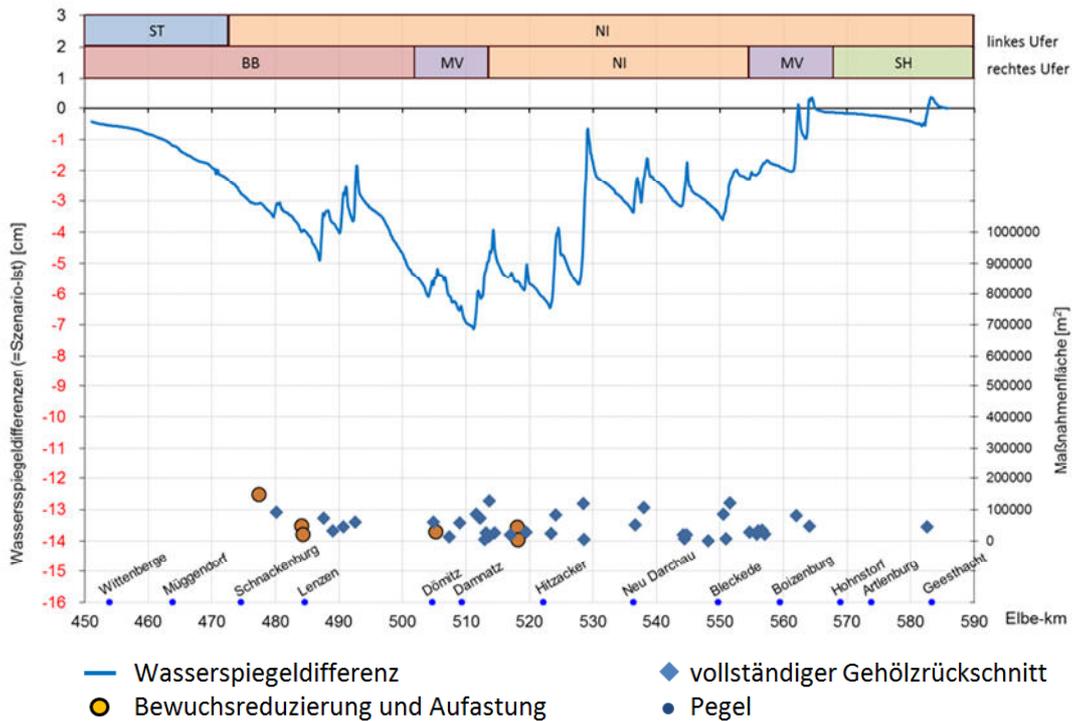


Abb. 26: Modellerte Wasserspiegeldifferenzen bei HQ<sub>100</sub> für die geplanten vegetationsbezogenen Maßnahmen in NI gemäß Tab. A.1

2D-Modellierung an der unteren Mittelelbe zwischen Wittenberge und Geesthacht

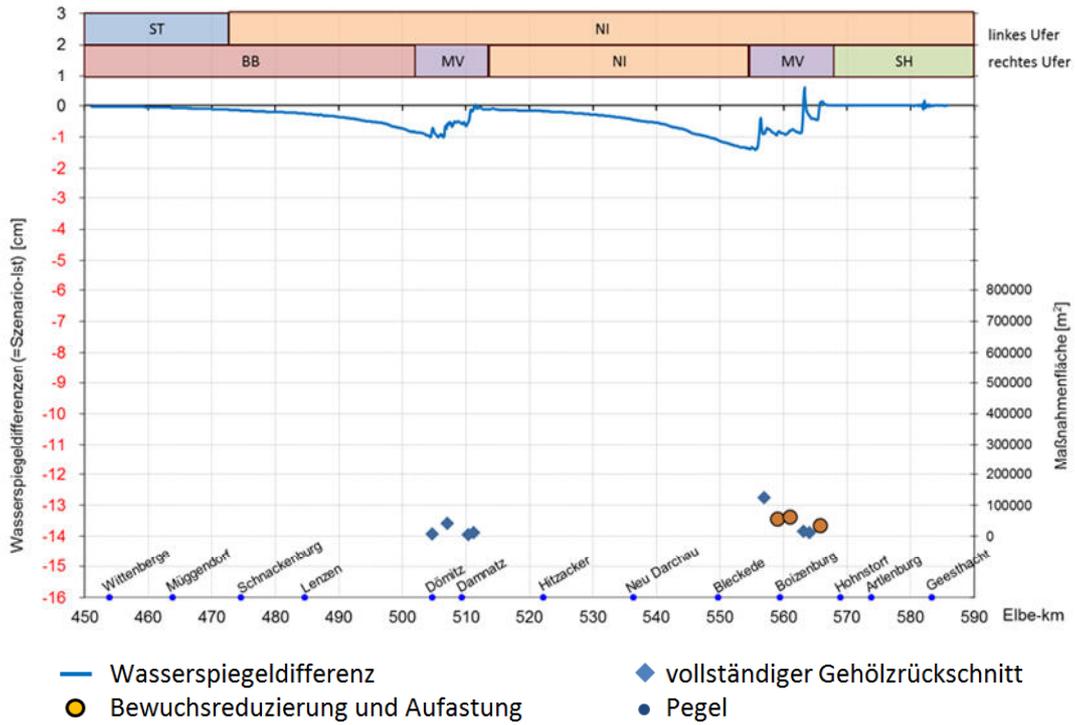


Abb. 27: Modellierte Wasserspiegeldifferenzen bei  $HQ_{100}$  für die geplanten vegetationsbezogenen Maßnahmen in MV gemäß Tab. A.1

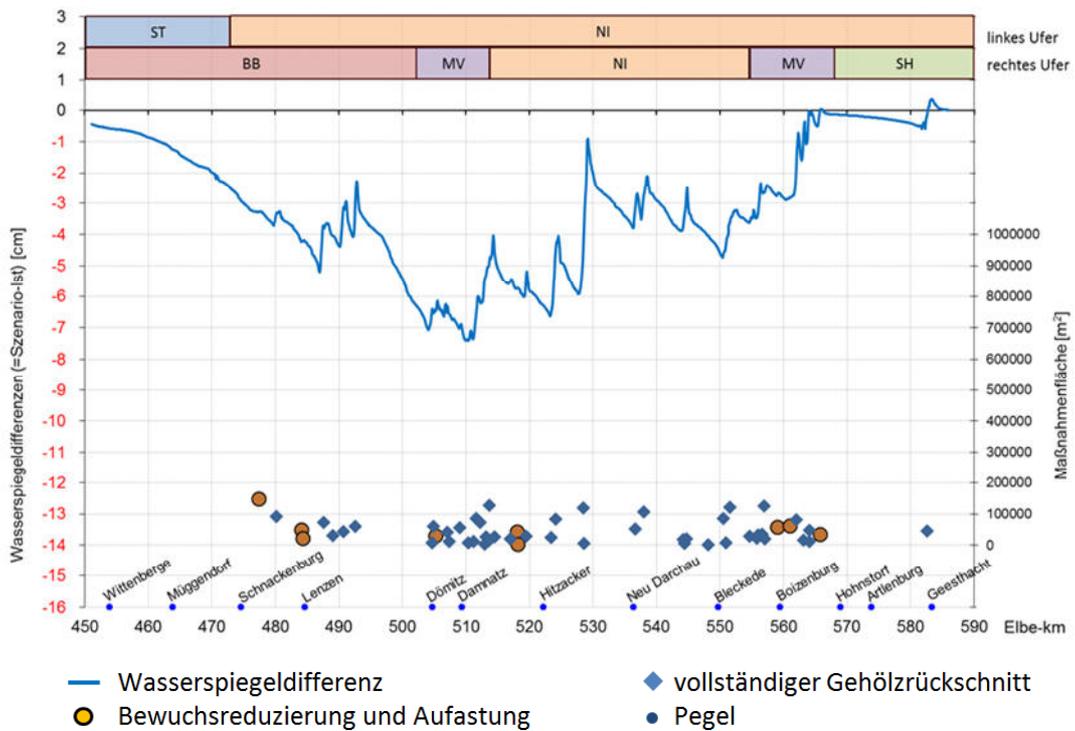


Abb. 28: Modellierte Wasserspiegeldifferenzen bei  $HQ_{100}$  für die geplanten vegetationsbezogenen Maßnahmen in NI und MV gemäß Tab. A.1

## 7 Topografiebeeinflussende Maßnahmen der Bundesländer und ihre Wirkung auf Hochwasserstände bei HQ<sub>100</sub>

Zusätzlich zu den betrachteten vegetationsbezogenen Maßnahmen (vgl. Kapitel 6) werden mit dem kalibrierten und validierten Modell im Referenzzustand topografiebeeinflussende Maßnahmen im Vorland untersucht. Dazu zählen Flutrinnen, Altarmanschlüsse und Vorlandabgrabungen, welche ebenfalls mit dem Ziel, die Wasserspiegellagen bei Hochwasser in kritischen Abschnitten zu reduzieren, von den jeweiligen Bundesländern eingebracht wurden. Eine tabellarische Übersicht der topografiebeeinflussenden Maßnahmen ist in Anhang 1 aufgeführt.

Von Niedersachsen sind insgesamt 6 Flutrinnen mit einer Gesamtfläche von 153,1 ha, 7 Vorlandabgrabungen auf insgesamt 30,2 ha und 19 Anschlüsse von Altarmen mit insgesamt 127,2 ha konzipiert worden. Deren Verteilung in der Untersuchungsstrecke sowie die aus der 2D-Modellierung resultierenden Wasserspiegeldifferenzen bei HQ<sub>100</sub> im Vergleich zum Ist-Zustand sind in Abb. 29 aufgeführt. Die maximale summarische Wirkung aller niedersächsischen topografiebeeinflussenden Maßnahmen auf die Wasserspiegellage bei HQ<sub>100</sub> der Elbe beträgt ca. -7 cm unterhalb von Neu Darchau. Überwiegend werden -3 bis -5 cm wasserstandsabsenkende Wirkung zwischen etwa Schnackenburg und Boizenburg berechnet. Unterhalb der Maßnahmenbereiche kommt es lokal zu geringen rechnerischen Wasserspiegelanhebungen von weniger als 1 cm. Dies trifft auch auf die weiteren Maßnahmenvarianten zu und wird als unerheblich betrachtet.

Seitens Mecklenburg-Vorpommerns sind 2 Flutrinnen mit einer Gesamtfläche von 29,1 ha sowie 6 Vorlandabgrabungen mit insgesamt 131,1 ha eingebracht worden. Deren Verteilung entlang des Modellgebietes sowie die modellierten Wasserspiegeldifferenzen zum Ist-Zustand bei HQ<sub>100</sub> sind Abb. 30 zu entnehmen. Es werden maximal knapp -4 cm Absenkung mit Schwerpunkt bei Dömitz sowie ca. -2,5 cm im Bereich zwischen Bleckede und Boizenburg berechnet.

Die Betrachtung aller gemeldeten topografiebeeinflussenden Maßnahmen beider Bundesländer erfolgt analog in Abb. 31. Die Auswirkungen betragen lokal bis zu -8 cm Absenkung auf die Wasserspiegellage bei HQ<sub>100</sub> (nahe Neu Darchau), im Mittel sind Reduktionen der Wasserspiegellage um etwa -3 bis -6 cm zwischen Schnackenburg und Boizenburg zu verzeichnen.

Wie auch für die Auswirkungen von Vegetationsmaßnahmen (Kapitel 6) festgestellt, tritt die maximale Wirkung im jeweiligen Maßnahmenbereich auf und verringert sich allmählich über etwa 40 Elbe-km nach oberstrom. Direkt unterhalb der Maßnahmen kann es zu lokalen sehr geringen Erhöhungen der Wasserspiegellage kommen. Grund hierfür ist die lokale Behinderung des Abflusses infolge von Querströmungsanteilen, welche aus der seitlichen Verlagerung der Strömung im Maßnahmenbereich resultieren.

2D-Modellierung an  
der unteren Mittelelbe  
zwischen Wittenberge  
und Geesthacht

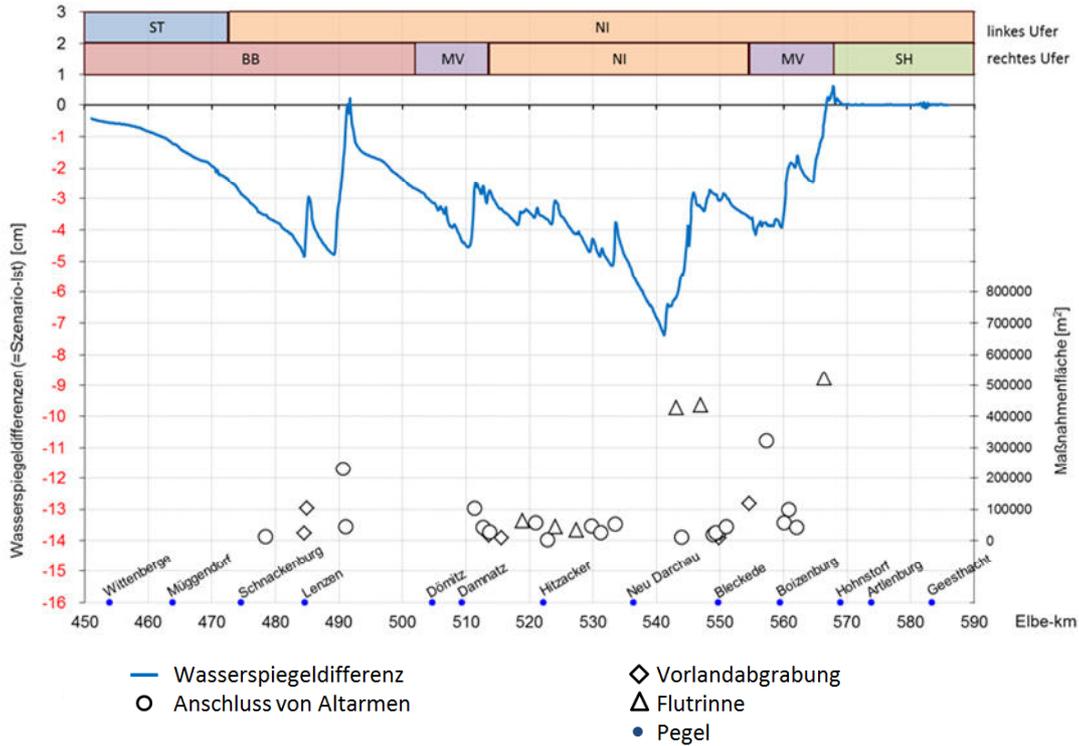


Abb. 29: Modellierte Wasserspiegeldifferenzen bei  $HQ_{100}$  für die geplanten topografiebeeinflussenden Maßnahmen in NI gemäß Tab. A.2

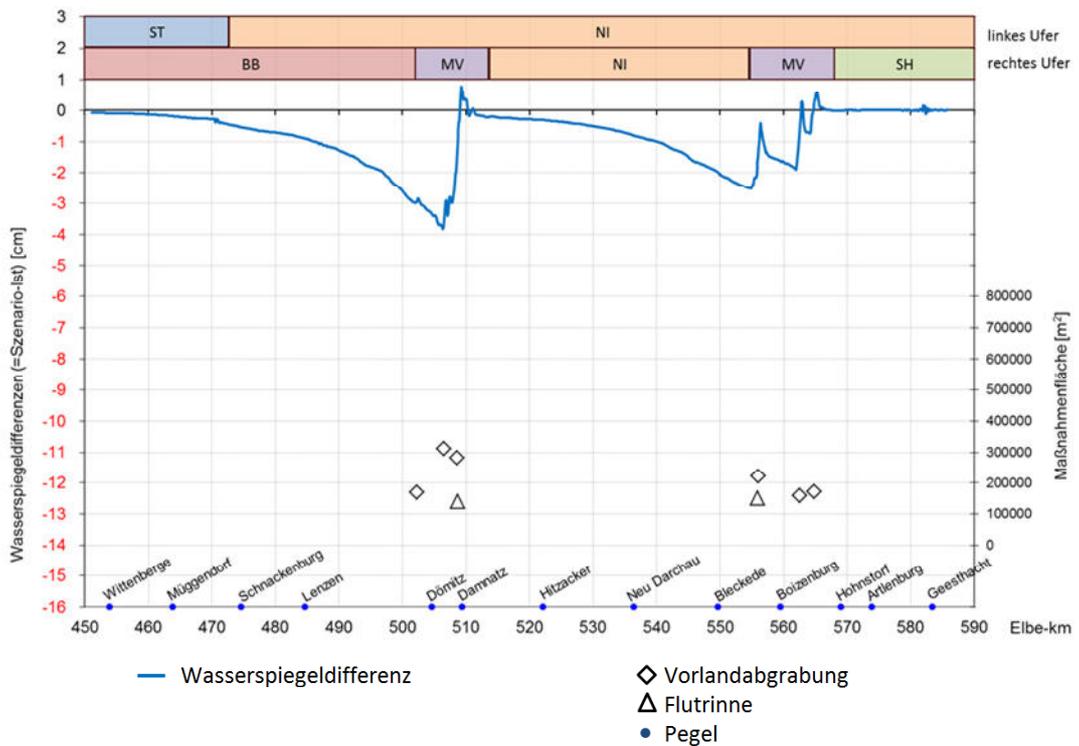


Abb. 30: Modellierte Wasserspiegeldifferenzen bei  $HQ_{100}$  für die geplanten topografiebeeinflussenden Maßnahmen in MV gemäß Tab. A.2

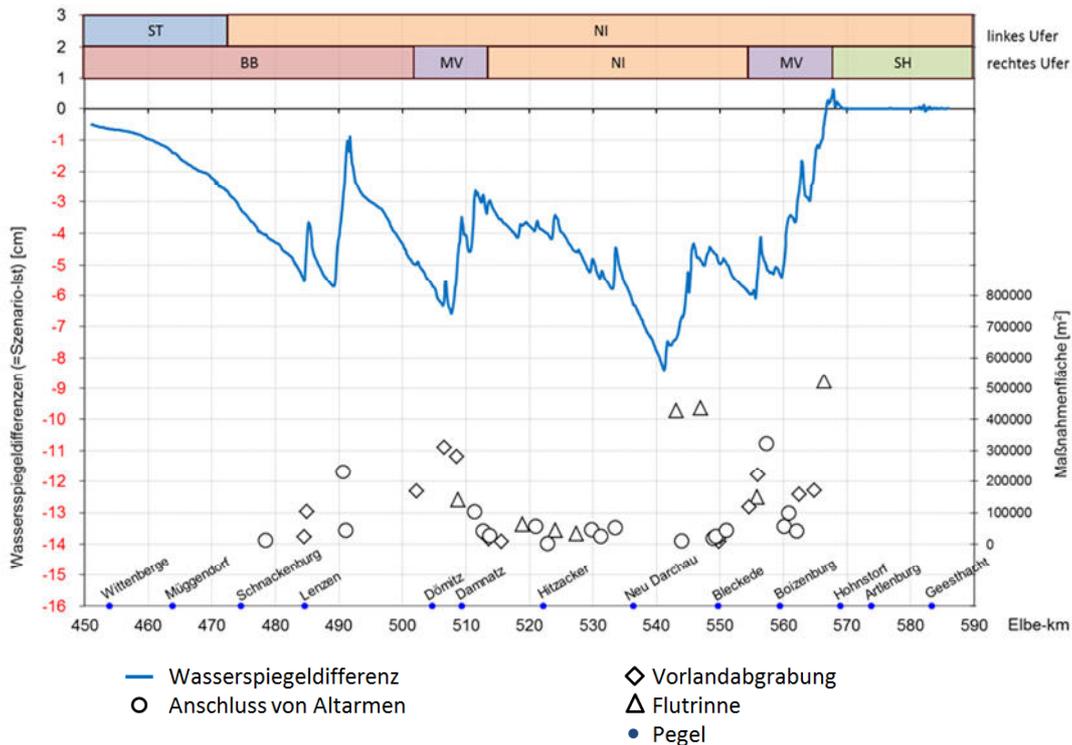


Abb. 31: Modellierte Wasserspiegeldifferenzen bei  $HQ_{100}$  für geplanten topografiebeeinflussenden Maßnahmen in NI und MV gemäß Tab. A.2

Damit topografiebezogene Maßnahmen eine deutliche Absenkung der Wasserspiegellagen bei Hochwasser bewirken können, müssen sie sowohl eine bedeutende und durchgehend vorhandene zusätzliche Fließquerschnittsfläche ausweisen als auch eine Lage besitzen, welche die Durchströmung der Maßnahme im Hochwasserfall begünstigt (kein Rückstaubereich, keine Querströmungen etc.). Die notwendige zusätzliche Querschnittsfläche kann anhand der Steigung der Abflusskurven in Wittenberge bzw. Neu Darchau im Bereich um  $HQ_{100}$  abgeschätzt werden. Hier entsprechen 10 cm Wasserstandsänderung ca. einem zusätzlichen Abfluss von  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  (BfG, 2009; BfG, 2014c). Um also beispielsweise 20 cm Wasserstandsänderung bei  $HQ_{100}$  hervorzurufen, müssten etwa  $200 \text{ m}^3/\text{s}$  zusätzlich im Vorland abgeführt werden. Bei einer angenommenen tiefengemittelten Strömungsgeschwindigkeit von ca.  $1 \text{ m/s}$  wäre hierzu ein durchgehend vorhandener Maßnahmenquerschnitt von  $200 \text{ m}^2$  notwendig. Bei einer Fließtiefe von  $1,5 \text{ m}$  entspricht dies einer Breite von ca.  $130 \text{ m}$ .

An einem Beispiel werden die Zusammenhänge zwischen Maßnahmengestaltung und zu erwartenden Auswirkungen auf Wasserstände näher erläutert. In Abb. 32 wird beispielhaft der Schnitt durch das DGM-W und eine vorgeschlagene Flutrinne im rechten Vorland bei Dömitz (ca. Elbe-km 509) gezeigt, die als Maßnahme von Mecklenburg-Vorpommern gemeldet wurde. Diese Maßnahme weist eine Sohlbreite von  $80 \text{ m}$  auf. Die durch die Maßnahme zusätzlich bereitgestellte Höhe, welche im Beispielquerschnitt ca.  $2 \text{ m}$  beträgt, verringert sich jedoch aufgrund der Vorlandtopografie im Bereich der Querung einer natürlichen Rinne auf nahezu  $0 \text{ m}$ . Zusätzlich verringert wird die Wirksamkeit durch eine im Vorland vorhandene Querströmung im Maßnahmenbereich bei  $HQ_{100}$  sowie durch den Rückstau effekt der

unterstrom befindlichen Engstelle um Elbe-km 511 bei Rüterberg (vgl. Kapitel 10 und Anhang 7). Letztlich bewirken die gesamthaft untersuchten topografiebeeinflussenden Maßnahmen bei Dömitz deshalb nur eine Wasserstandsabsenkung von ca. -4 cm (vgl. Abb. 30). Für eine optimierte Planung bei großräumiger Betrachtungsweise bietet das erstellte 2D-Modell eine gute Grundlage.

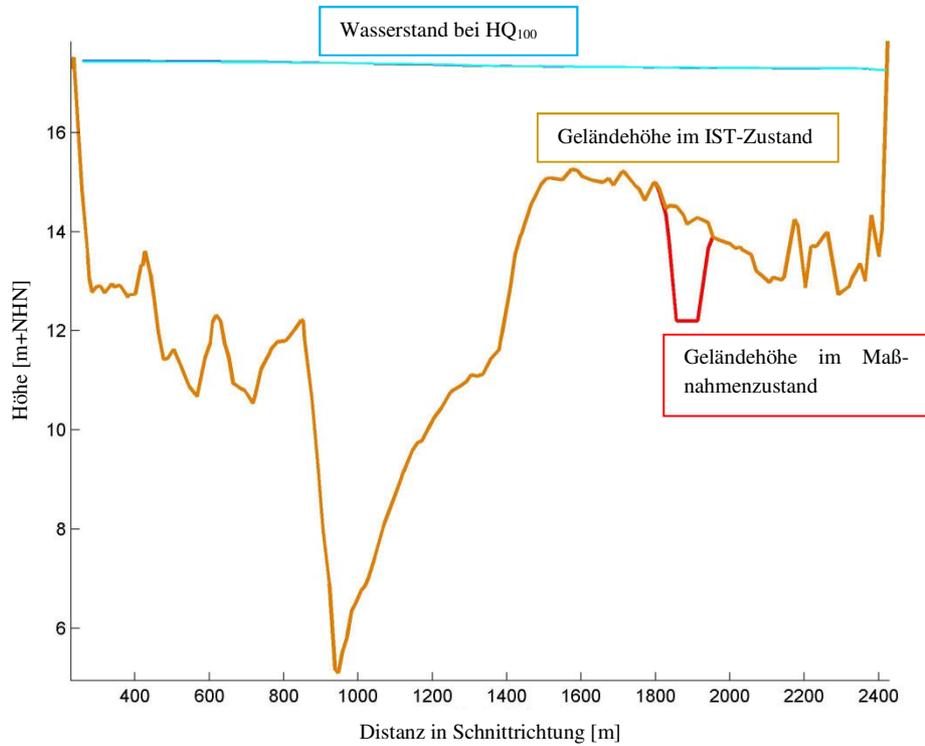


Abb. 32: Schnitt durch das digitale Geländemodell und eine gemeldete Maßnahme bei Dömitz (ca. Elbe-km 509)

## 8 Kombinierte Maßnahmen (Vegetation und Topografie) der Bundesländer und ihre Wirkung auf Hochwasserstände bei HQ<sub>100</sub>

Die in den Kapiteln 6 und 7 betrachteten vegetations- bzw. topografiebezogenen Maßnahmen werden im Folgenden gemeinsam auf ihre summarischen Wirkungen bezüglich der Wasserspiegellagen bei HQ<sub>100</sub> untersucht. Dabei werden analog zu den vorhergehenden Kapiteln die Auswirkungen getrennt für die von den beiden Bundesländern Mecklenburg-Vorpommern und Niedersachsen eingebrachten Maßnahmen aufgezeigt. Die durch die kombinierte Maßnahmenwirkung hervorgerufenen Geschwindigkeitsänderungen im Vergleich zum Referenzzustand sind für die Maßnahmenbereiche in Anhang 2 in Abb. A.18 bis A.29 vor dem Hintergrund von Orthofotos (ab S. 125) dargestellt.

Abb. 33 zeigt aufgrund der vorgenommenen Szenarienberechnungen mit dem 2D-Modell die kombinierte Wirkung der vegetationsbezogenen und topografiebeeinflussenden Maßnahmen in Niedersachsen auf die Wasserspiegellagen bei HQ<sub>100</sub>. Deren wasserspiegelsenkende Wirkung beträgt dabei bis zu -11,5 cm, die in der Nähe von Damnatz erreicht werden.

In Abb. 34 sind analog die Auswirkungen aller Maßnahmen in Mecklenburg-Vorpommern dargestellt. Für diese ergeben sich wasserstandssenkende Wirkungen bis zu ca. -5 cm bei Dömitz.

In Abb. 35 erfolgt die Darstellung der ermittelten Auswirkungen aller betrachteten vegetationsbezogenen und topografiebeeinflussenden Maßnahmen beider Bundesländer. Die gesamt-hafte Wirkung aller Maßnahmen beträgt bis ca. -13 cm Wasserstandsabsenkung bei Dömitz. Über fast die gesamte Strecke zwischen Schnackenburg und Boizenburg werden für HQ<sub>100</sub> in der Elbe um zwischen -6 und -10 cm abgesenkte Wasserstände berechnet.

2D-Modellierung an der unteren Mittelelbe zwischen Wittenberge und Geesthacht

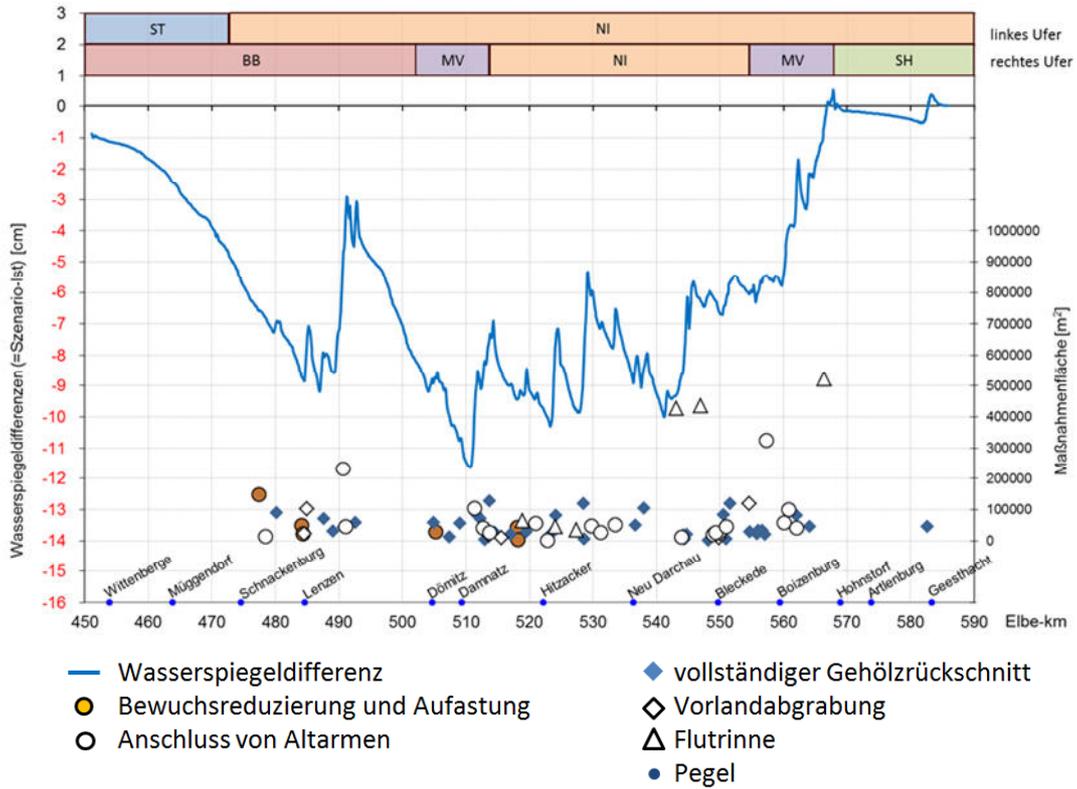


Abb. 33: Modellerte Wasserspiegeldifferenzen bei HQ<sub>100</sub> für die geplanten vegetationsbezogenen und topografiebeeinflussenden Maßnahmen in NI

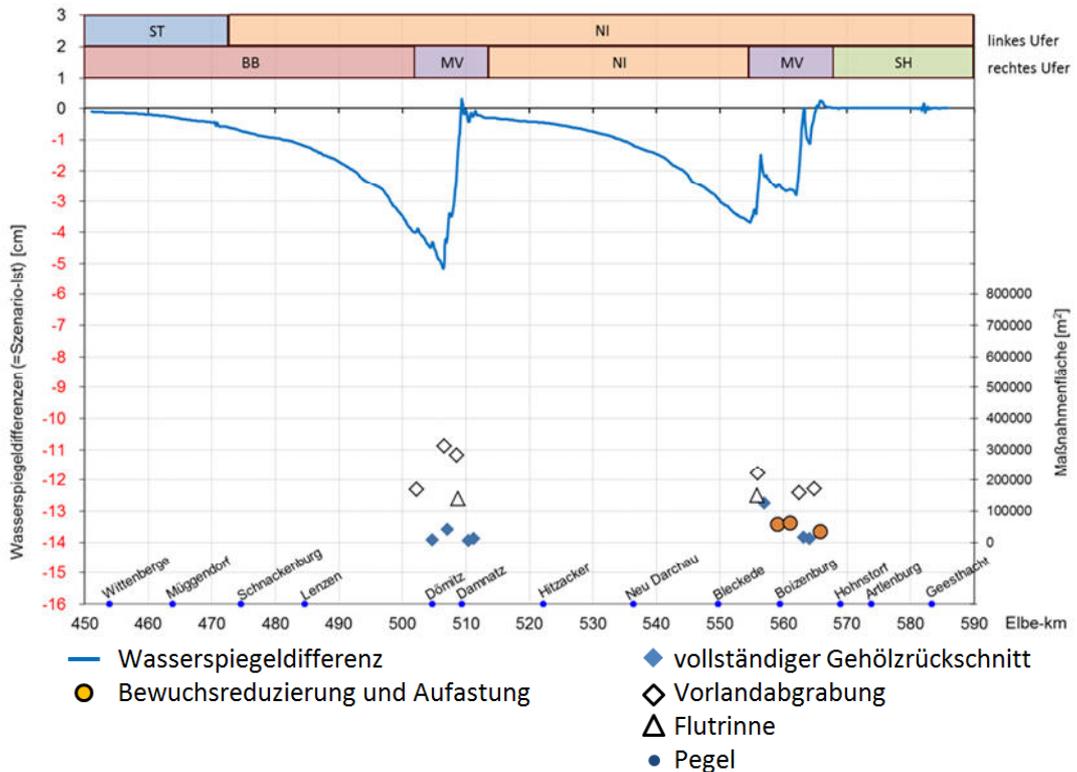


Abb. 34: Modellerte Wasserspiegeldifferenzen bei HQ<sub>100</sub> für die geplanten vegetationsbezogenen und topografiebeeinflussenden Maßnahmen in MV

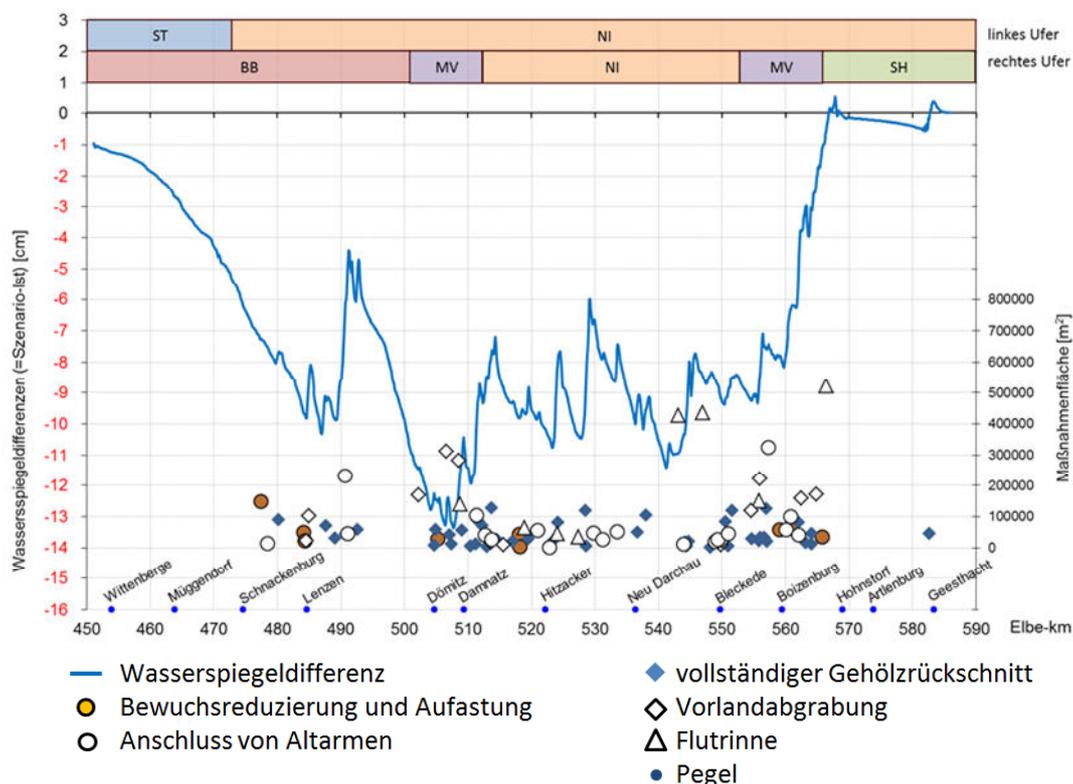


Abb. 35: Modellerte Wasserspiegeldifferenzen bei  $HQ_{100}$  für die geplanten vegetationsbezogenen und topografiebeeinflussenden Maßnahmen in NI und MV

Zusammenfassend ist festzustellen, dass alle untersuchten Maßnahmen zusammengenommen moderate Auswirkungen auf die Wasserspiegellage bei  $HQ_{100}$  an der unteren Mittel-  
elbe haben. Die Ursache dieser moderaten Wirkung liegt in der geringen Dimensionierung der Maßnahmen sowie der Beeinflussung der Maßnahmenwirkung durch unterhalb liegende Engstellen (siehe Kapitel 10).

Zur Verdeutlichung ist in Abb. 36 der Zusammenhang zwischen der Maßnahmenfläche und daraus resultierender Wirkung für die untersuchten Vegetationsmaßnahmen sowie zwei hypothetische Szenarien, in denen der gesamte Vorlandbewuchs in Gras bzw. Wald umgewandelt wurde (siehe Anhang 3), dargestellt. Um die stark unterschiedlichen Flächengrößen der Szenarien gemeinsam betrachten zu können, wird eine doppellogarithmische Darstellung verwendet. Zur Quantifizierung der Maßnahmenwirkung wurden die Wasserstandsänderungen bei  $HQ_{100}$  an den Hektometerpunkten mit der Streckenlänge zwischen den Hektometerpunkten (100 m) multipliziert und über die Untersuchungsstrecke aufsummiert. Anschließend wurde der Absolutbetrag gebildet, um die wasserstandserhöhende Wirkung des Szenarios „nur Wald“ mit den wasserstandssenkenden Wirkungen der übrigen Fälle vergleichen zu können. Aus Abb. 36 ist zu entnehmen, dass ein starker Zusammenhang zwischen der Fläche der Maßnahmen und ihrer Wirkung auf Wasserstandsänderungen besteht. Die unterschiedlich starke Wirkung von Maßnahmen in strömungsexponierten Flächen und solchen in eher langsam durchflossenen Vorlandabschnitten gleicht sich bei der summarischen Betrachtung der Maßnahmenpakete je Bundesland annähernd aus. Ebenfalls weniger ins Gewicht fällt die Tatsache, dass einzelne Maßnahmentypen eine größere Wirkung auf die Wasserstände haben

können als andere. Dennoch ist bei der Projektierung von abflussverbessernden Maßnahmen anzustreben, dass die Maßnahme möglichst nicht im Rückstaubereich einer Engstelle und auch nicht in eher strömungsberuhigten Vorlandbereichen liegt. Dass der Punkt für die vorgezogenen Maßnahmen (vgl. Kapitel 6.1) in Abb. 36 über der Gerade des funktionalen Zusammenhangs liegt bedeutet, dass die Wirkung dieser Maßnahmen überdurchschnittlich ist (verglichen mit den gesamten betrachteten Szenarien). Eine solche Analyse dient der Plausibilisierung der erzielten Ergebnisse und kann auch geeignet sein, besonders zur Reduzierung der Wasserspiegellagen bei  $HQ_{100}$  geeignete Maßnahmenpakete zu identifizieren.

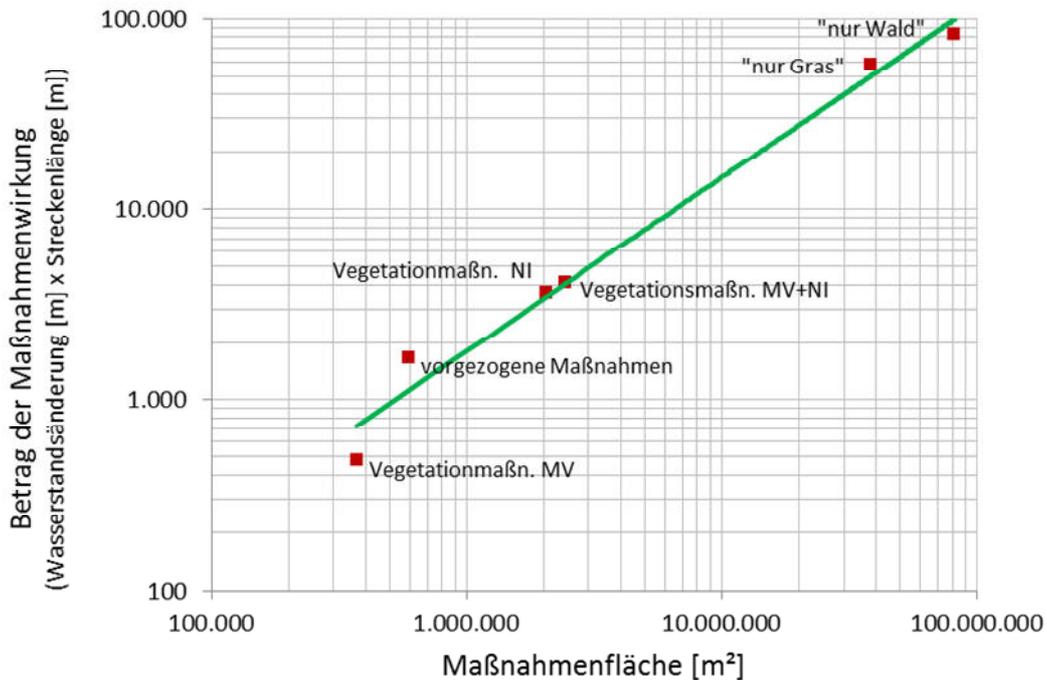


Abb. 36: Zusammenhang von Maßnahmenfläche und -wirkung bei  $HQ_{100}$  für die untersuchten Vegetationsmaßnahmen je Bundesland sowie die Szenarien „nur Gras“ und „nur Wald“ (siehe Anhang 3)

Topografiebeeinflussende Maßnahmen benötigen zur Entfaltung einer möglichst großen Wirkung eine bedeutende und durchgehend vorhandene zusätzliche Fließquerschnittsfläche sowie eine Lage, welche die Durchströmung der Maßnahme im Hochwasserfall begünstigt (kein Rückstaubereich, keine Querströmungen etc.).

Für die zukünftige Identifikation wirksamer Maßnahmen wird eine Konzentration auf die Bereiche mit Freiborddefizit und auf Gewässerstrecken mit Engstellen empfohlen. Hierzu wurden in Abstimmung mit den Projektpartnern eine Freibordanalyse (siehe Kapitel 9 und Anhang 6) und eine systematische Engstellenbetrachtung (siehe Kapitel 10 und Anhang 7) durchgeführt.

## 9 Wasseranschlagslinie bei $HQ_{100}$ im Bezug zur Deichkrone (Freibordanalyse)

„Der Freibord ist der vertikale Abstand zwischen der Krone der Hochwasserschutzanlage und dem Bemessungshochwasserstand und stellt damit ein Maß für die Gewährleistung der Bauwerkssicherheit gegenüber Versagen infolge Überströmung dar“ (Pohl, 2013). Er berücksichtigt u.a. Effekte durch Windstau und Wellenauflauf. Flussdeiche sollen beim Bemessungsabfluss (i. d. R.  $HQ_{100}$ ) nach DIN 19712 je nach Deichklasse ein Freibord von 0,5 m oder 1,0 m aufweisen. Laut Beschluss der Staatssekretäre der Länder zur Umsetzung der Elbeerklärung zum vorsorgenden Hochwasserschutz vom 19. November 2008 in Speyer ist für die Elbe 1,0 m als notwendiges Freibord festgelegt. Infolge der Anpassung der Bemessungsabflüsse nach den Hochwassern 2002 und 2006 (und den damit verbundenen Neuberechneten Grundlagen für die Festlegung der Bemessungswasserspiegellage der Elbe; vgl. BfG, 2009) weisen die Deiche der unteren Mittelbe noch nicht durchgehend dieses Freibordmaß auf. Dies war u.a. Resultat einer detaillierten Analyse im Rahmen des von der EU geförderten INTERREG-Projekts „LABEL“ (SMI 2012). In Kooperation mit den Wasserwirtschaftsverwaltungen der Bundesländer Niedersachsen und Mecklenburg-Vorpommern wurden von der BfG in diesem Rahmen die Deichkronenhöhen der Elbedeiche in einem einheitlichen, aktualisierten Datensatz abgelegt (u.a. im webbasierten Fachdienst FLYS der BfG, BfG 2013c), die Deichkilometrierung auf die Elbestationierung der WSV transformiert und die vorhandenen Freibordmaße auf Basis der Wasserspiegellage für das  $HQ_{100}$  (BfG, 2009) ermittelt (BfG, 2010). Solch eine systematische Analyse des Freibordes entlang der Deichlinien dient der zielgerichteten Suche nach Maßnahmen zur Erhöhung der Hochwassersicherheit.

### 9.1 Vorteile einer 2D-Modellierung für die Freibordanalyse

Die im Rahmen des EU-Projekts „LABEL“ durchgeführte Bewertung fußte auf einer Wasserspiegellage für  $HQ_{100}$ , die mit einem hydrodynamischen 1D-Modell der Elbe berechnet wurde. Da bei solchen Modellen Ergebnisse für den Stromstrich (Gewässerachse) erzeugt werden, wird davon ausgegangen, dass die Wasserspiegellagen kein Quergefälle aufweisen. Beispielhaft ist diese Sachlage in Abb. 37 für das Querprofil am Elbe-km 567,5 und für die Wasserspiegellagen MQ, MHQ und  $HQ_{100}$  dargestellt. Die Lage des Profils in einer Rechtskurve wird aus Abb. 38 deutlich. Es ist anzunehmen, dass es dort infolge der Massenträgheit zu Erhöhungen (Kurvenaußenseite) bzw. Absenkungen (Kurveninnenseite) gegenüber der Wasserspiegellage auf der Gewässerachse kommt, so dass die Annahme einer horizontalen Wasserspiegellage nicht der Realität entspricht.

2D-Modellierung an  
der unteren Mittelelbe  
zwischen Wittenberge  
und Geesthacht

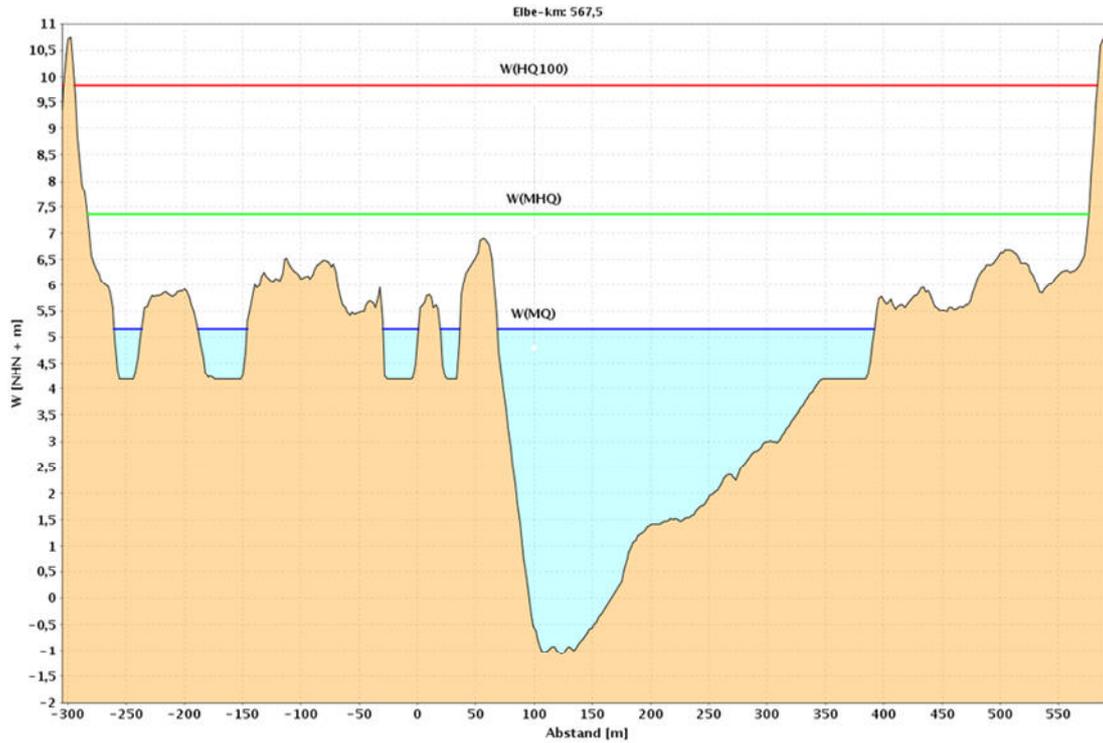


Abb. 37: Querprofil (stark überhöht) bei Elbe-km 567,5 mit Wasserspiegellagen aus der 1D-Berechnung bei MQ (blau), MHQ (grün) und  $HQ_{100}$  (rot)

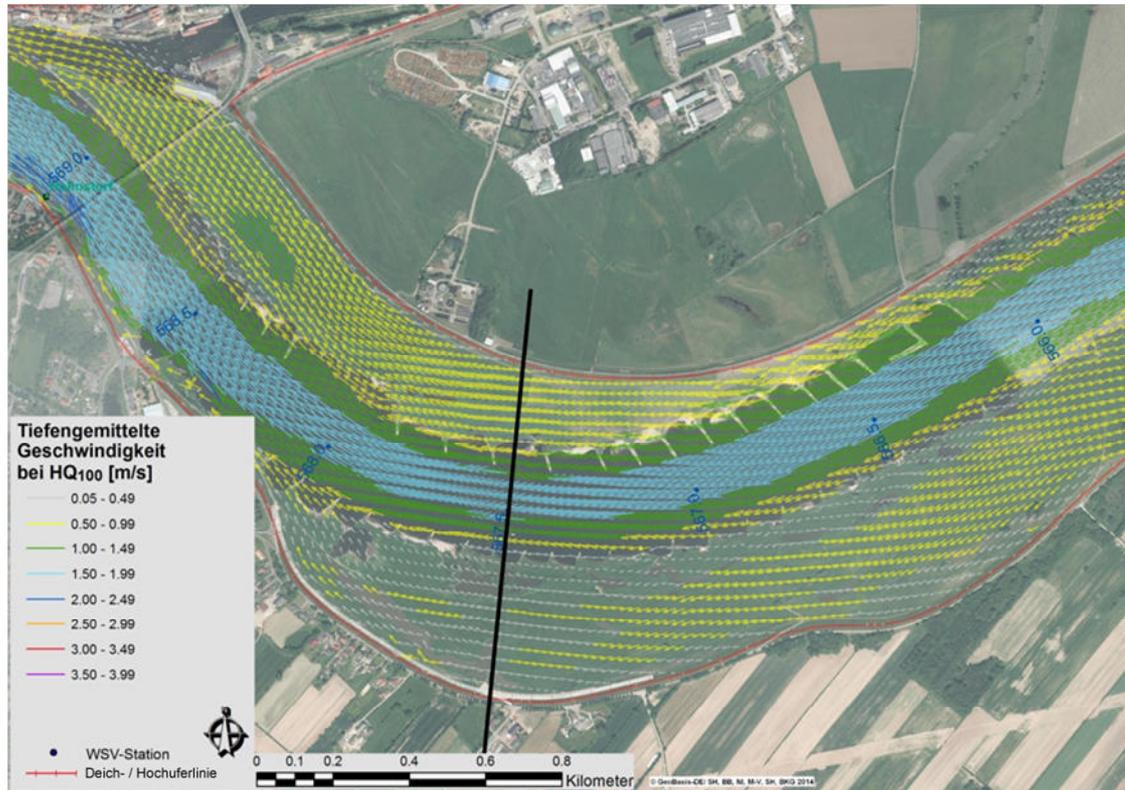


Abb. 38: Kurvenlage des Querprofils aus Abb. 37 bei Elbe-km 567,5

Die 2-dimensionale Modellierung ermöglicht, flächenhafte Informationen über den Wasserspiegel zu erhalten. Somit sind auch Auswertungen möglich, welche Wasserstände sich direkt an den Deichlinien einstellen. Durch das Lösen der horizontalen Komponente in der Impulsgleichung wird der Massenträgheitseffekt in der verwendeten Modellierungssoftware Delft3D für die berechneten Wasserspiegellagen berücksichtigt. Wie aus Abb. 39 für das Profil bei Elbe-km 567,5 zu erkennen ist, weist die modellierte Wasserspiegellage auf der dargestellten Querprofilspur infolge der genannten Effekte einen höheren Wasserstand am Außen- als am Innenufer auf. Die aus der 2-dimensionalen Modellierung für  $HQ_{100}$  berechnete Differenz zwischen den Wasserständen an beiden Deichen beträgt für das beispielhaft ausgewählte Profil bei Elbe-km 567,5 ca. 7 cm.

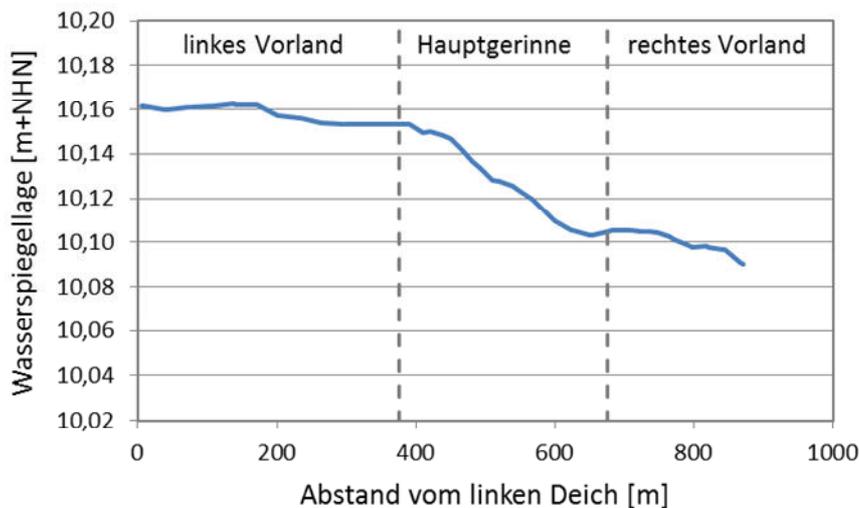


Abb. 39: 2-dimensional modellierte, quergeneigte Wasserspiegellage bei  $HQ_{100}$  im Querprofil bei Elbe-km 567,5 (stark überhöht)

Abb. 40 zeigt, dass die für das Querprofil bei Elbe-km 567,5 dargestellte Situation nicht nur lokal für einzelne Profile nachweisbar ist. Auf einer beispielhaft ausgewählten Strecke von 2 km (Elbe-km 566,5 bis 568,5) im Bereich des Querprofils zeigen sowohl die modellierten Wasseranschlagslinien bei  $HQ_{100}$  (2D, Punkte mit blauem Farbton) als auch die gemessenen Geschwemmsellinien des HW 2013 (Punkte mit grünem Farbton), dass sich ein Quergefälle der Wasserspiegellagen - höher am linken Ufer, niedriger am rechten Ufer - einstellt. Dabei ist die Aussage für die Messdaten deutlich unschärfer, da hier neben den Massenträgheitseffekten weitere Einflüsse wie u.a. Windstau und Wellenschlag eine Rolle spielen können, die im Modell nicht berücksichtigt sind.

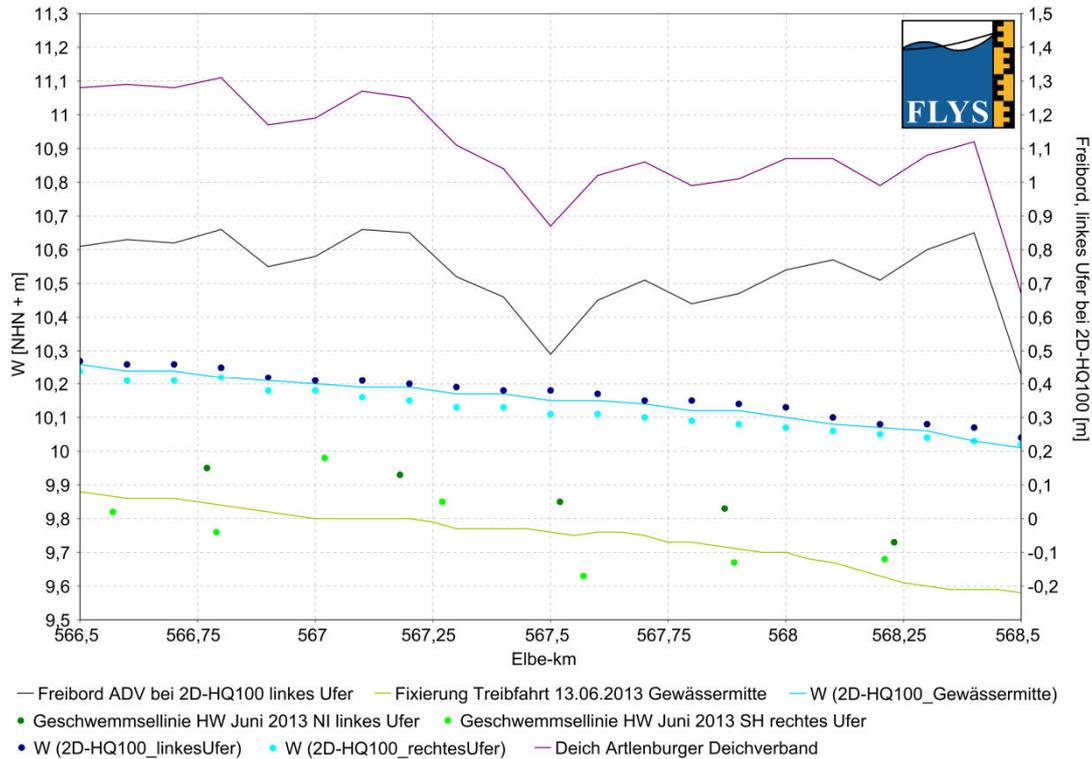


Abb. 40: Modellierte (HQ<sub>100</sub>) und gemessene (HW 2013) Wasserspiegellagen für rechtes und linkes Ufer sowie die Gewässermittle von Elbe-km 566,5 bis 568,5; Deichhöhen und Freibord am linken Ufer für HQ<sub>100</sub>

## 9.2 Freibordanalyse auf Basis der 2D-Modellergebnisse

Deichkronenhöhen werden in Deutschland dezentral erfasst und verwaltet. Je nach Bundesland liegt die Verantwortlichkeit für die Unterhaltung bei Deichverbänden, Regierungspräsidien, Kommunen usw. Dementsprechend kommen auch unterschiedliche Stationierungssysteme zum Einsatz. Abb. 41 zeigt für den Elbeabschnitt bei Dömitz (Elbe-km 503,4 - 506,2) diese Vielfalt. Während die WSV-Stationierung der Elbe (Gewässerachse) und die Deichstationierung für den abgebildeten niedersächsischen Deichabschnitt (linkes Ufer, Dannenberger Deich- und Wasserverband) in Fließrichtung erfolgen, verläuft die Kilometrierung für den Abschnitt in Mecklenburg-Vorpommern (Deiche Broda und Dömitz) stromaufwärts gerichtet. Eine Durchgängigkeit ist dabei - im Gegensatz zur Elbe-Stationierung - nicht zu erkennen, da die einzelne Deiche bzw. Deichverbände jeweils ihre eigene, bei 0 beginnende Kilometrierung besitzen.

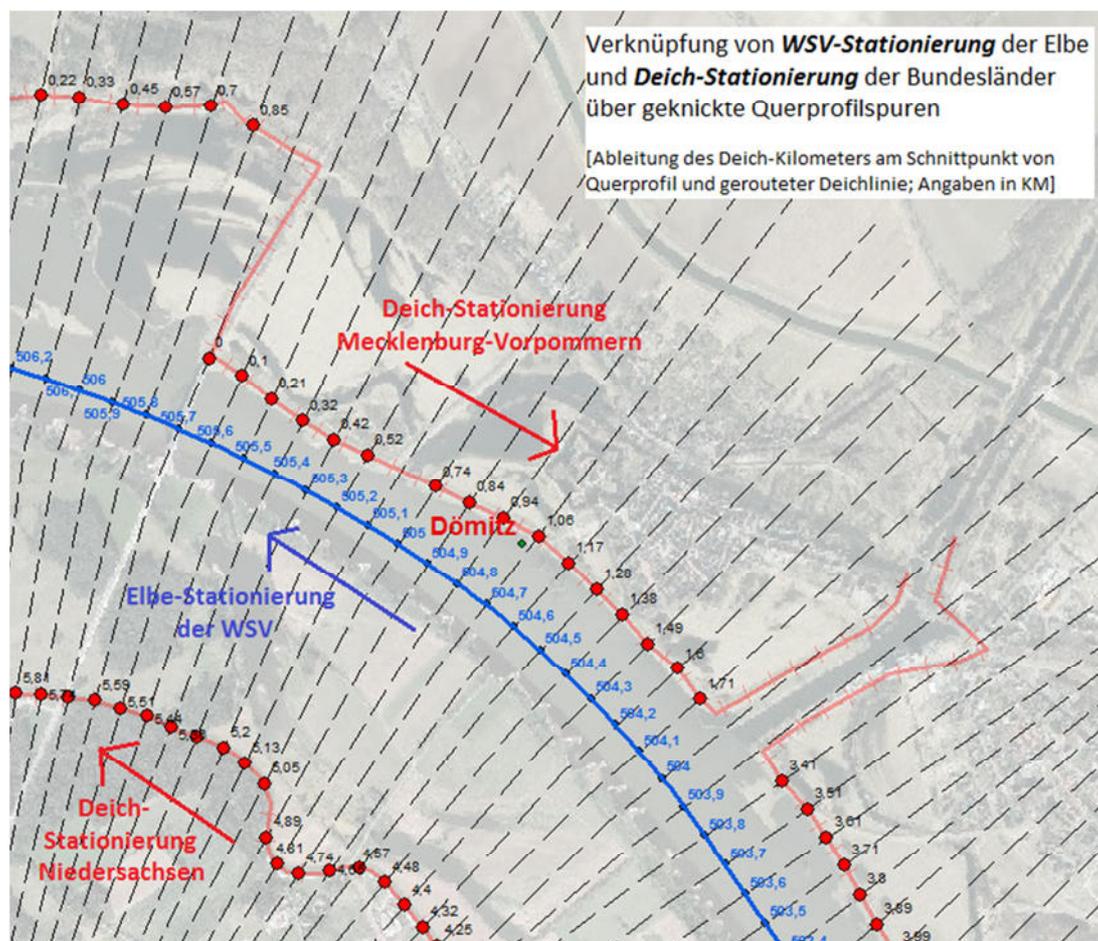


Abb. 41: Vorgehensweise zur Verknüpfung von Wasserspiegellagen (WSV-Stationierung) und Deichkronenhöhen (Deich-Stationierung) [dargestellt für den Elbeabschnitt bei Dömitz, Elbe-km 503,4 – 506,2; Quelle Luftbilder: BKG (2014)]

Um die Ergebnisse der Wasserspiegellagenberechnungen von 1D-Modellen (Referenzsystem: WSV-Stationierung) auf die Deichlinien zu übertragen, werden ggf. geknickte Querprofilspuren (gestrichelt in Abb. 41) genutzt. Querprofilspuren stellen für die 1D-Modellierung Linien gleichen Wasserstands dar. An ihren Schnittpunkten mit den Deichlinien kann der Deichstationierung die WSV-Stationierung in Gewässermittle zugeordnet werden. Somit wird es möglich jedem WSV-Kilometer einen Deichkilometer und eine Deichhöhe zuzuordnen. Im Gegenzug lassen sich so die 2D-Wasseranschlagslinien am rechten und linken Ufer einer WSV-Station zuordnen. Dabei muss berücksichtigt werden, dass WSV-Stationierung und Deich-Stationierung aufgrund der geknickten Querprofile sowie des Deichverlaufs im Hinterland (vgl. Bereich bei Elbe-km 504 in Abb. 41) nicht äquidistant sind.

Für den ausgewählten Elbeabschnitt in Abb. 41 zeigt Tab. 17 exemplarisch die Auswertung der 2D-Wasseranschlagslinien für HQ<sub>100</sub> am linken (Niedersachsen) und rechten (Mecklenburg-Vorpommern) Ufer. Ihr kann zusätzlich die Zuordnung von Elbe- und Deichkilometrie sowie die Deichhöhe und das resultierende Freibord am jeweiligen Ufer entnommen werden. Es zeigt sich, dass in diesem Abschnitt am niedersächsischen Ufer die Freiborde deutlich größer sind. Dies liegt vor allem an den höheren Deichen, da markante Wasserspie-

gelquergefälle in diesem Abschnitt kaum zu erkennen sind. Die Darstellung der Ergebnisse der Freibordanalyse im Abstand von jeweils 500 m zwischen Elbe-km 451,5 und 586,0 erfolgt in Anhang 6.

Tab. 17: Deichhöhen, Wasserstände am Deich und Freiborde für das linke und rechte Ufer im Bereich Elbe-km 502,0 bis 506,4

Elbe-km [km]	(linkes Ufer) Niedersachsen						Mecklenburg-Vorpommern (rechtes Ufer)					
	Deich-Abschnitt <small>Dannenberger Deich- und Wasserverband</small>	Uferseite	Deich-km	W(HQ100) [m+NHN]	Kronenhöhe Deich [m+NHN]	Freibord [m]	Freibord [m]	Kronenhöhe Deich [m+NHN]	W(HQ100) [m+NHN]	Deich-km	Uferseite	Deich-Abschnitt
502,00	DDWV*	links	2,48	18,10	19,18	1,08	1,04	19,17	18,13	5,77	rechts	Deich Dämitz
502,10	DDWV*	links	2,53	18,09	19,09	1,00	0,40	18,53	18,13	5,50	rechts	Deich Dämitz
502,20	DDWV*	links	2,58	18,09	19,04	0,95	0,54	18,67	18,13	5,36	rechts	Deich Dämitz
502,30	DDWV*	links	2,65	18,08	19,05	0,97	0,54	18,67	18,13	5,24	rechts	Deich Dämitz
502,40	DDWV*	links	2,70	18,08	19,17	1,09	0,55	18,68	18,13	5,11	rechts	Deich Dämitz
502,50	DDWV*	links	2,77	18,08	19,07	0,99	0,59	18,69	18,10	4,74	rechts	Deich Dämitz
502,60	DDWV*	links	2,84	18,08	19,11	1,03	0,48	18,57	18,09	4,62	rechts	Deich Dämitz
502,70	DDWV*	links	2,90	18,08	19,10	1,02	0,54	18,63	18,09	4,51	rechts	Deich Dämitz
502,80	DDWV*	links	2,98	18,07	19,01	0,94	0,57	18,65	18,08	4,40	rechts	Deich Dämitz
502,90	DDWV*	links	3,07	18,06	19,04	0,98	0,59	18,64	18,05	4,29	rechts	Deich Dämitz
503,00	DDWV*	links	3,13	18,05	19,05	1,00	0,51	18,55	18,04	4,18	rechts	Deich Dämitz
503,10	DDWV*	links	3,25	18,05	19,01	0,96	0,51	18,53	18,02	4,09	rechts	Deich Dämitz
503,20	DDWV*	links	3,38	18,03	19,02	0,99	0,55	18,55	18,00	3,99	rechts	Deich Dämitz
503,30	DDWV*	links	3,49	18,02	19,06	1,04	0,48	18,49	18,01	3,89	rechts	Deich Dämitz
503,40	DDWV*	links	3,63	18,01	18,99	0,98	0,51	18,52	18,01	3,80	rechts	Deich Dämitz
503,50	DDWV*	links	3,74	17,98	19,02	1,04	0,49	18,48	17,99	3,71	rechts	Deich Dämitz
503,60	DDWV*	links	3,86	17,97	19,04	1,07	0,44	18,42	17,98	3,61	rechts	Deich Dämitz
503,70	DDWV*	links	3,95	17,97	19,08	1,11	0,45	18,43	17,98	3,51	rechts	Deich Dämitz
503,80	DDWV*	links	4,06	17,96	18,56	0,60	0,43	18,39	17,96	3,41	rechts	Deich Dämitz
503,90	DDWV*	links	4,12	17,96	18,50	0,54	-	-	17,95	-	rechts	Deich Dämitz
504,00	DDWV*	links	4,16	17,95	18,89	0,94	-	-	17,95	-	rechts	Deich Dämitz
504,10	DDWV*	links	4,25	17,92	18,97	1,05	0,51	18,43	17,92	1,71	rechts	Deich Dämitz
504,20	DDWV*	links	4,32	17,92	18,95	1,03	0,51	18,43	17,92	1,60	rechts	Deich Dämitz
504,30	DDWV*	links	4,40	17,91	18,93	1,02	0,47	18,39	17,92	1,49	rechts	Deich Dämitz
504,40	DDWV*	links	4,48	17,91	18,94	1,03	0,50	18,42	17,92	1,38	rechts	Deich Dämitz
504,50	DDWV*	links	4,57	17,91	18,92	1,01	0,47	18,39	17,92	1,28	rechts	Deich Dämitz
504,60	DDWV*	links	4,65	17,89	18,88	0,99	0,50	18,39	17,89	1,17	rechts	Deich Dämitz
504,70	DDWV*	links	4,74	17,89	18,88	0,99	0,55	18,43	17,88	1,06	rechts	Deich Dämitz
504,80	DDWV*	links	4,81	17,88	18,87	0,99	0,59	18,47	17,88	0,95	rechts	Deich Dämitz
504,90	DDWV*	links	4,89	17,87	18,87	1,00	0,60	18,47	17,87	0,84	rechts	Deich Dämitz
505,00	DDWV*	links	5,05	17,86	18,86	1,00	0,58	18,44	17,86	0,74	rechts	Deich Dämitz
505,10	DDWV*	links	5,13	17,85	18,86	1,01	-	-	17,85	-	rechts	Deich Dämitz
505,20	DDWV*	links	5,20	17,84	18,85	1,01	0,54	18,37	17,83	0,53	rechts	Deich Dämitz
505,30	DDWV*	links	5,28	17,81	18,85	1,04	0,54	18,35	17,81	0,42	rechts	Deich Dämitz
505,40	DDWV*	links	5,36	17,78	18,84	1,06	0,57	18,35	17,78	0,32	rechts	Deich Dämitz
505,50	DDWV*	links	5,44	17,76	18,84	1,08	0,56	18,33	17,77	0,21	rechts	Deich Dämitz
505,60	DDWV*	links	5,51	17,74	18,84	1,10	1,92	19,68	17,76	0,11	rechts	Deich Dämitz
505,70	DDWV*	links	5,59	17,72	18,83	1,11	6,67	24,33	17,66	0,00	rechts	Deich Dämitz
505,80	DDWV*	links	5,66	17,62	18,83	1,21	0,88	18,57	17,69	0,85	rechts	Deich Broda
505,90	DDWV*	links	5,74	17,62	18,82	1,20	0,84	18,53	17,69	0,71	rechts	Deich Broda
506,00	DDWV*	links	5,81	17,63	18,82	1,19	0,83	18,52	17,69	0,57	rechts	Deich Broda
506,10	DDWV*	links	5,88	17,62	18,82	1,20	0,83	18,52	17,69	0,45	rechts	Deich Broda
506,20	DDWV*	links	5,95	17,62	18,81	1,19	0,86	18,55	17,69	0,33	rechts	Deich Broda
506,30	DDWV*	links	6,02	17,61	18,81	1,20	0,62	18,31	17,69	0,22	rechts	Deich Broda
506,40	DDWV*	links	6,09	17,61	18,80	1,19	0,60	18,29	17,69	0,06	rechts	Deich Broda

Beispielhaft wird diese Auswertung in Abb. 42 nochmals für die Strecke zwischen Elbe-km 504,1 und 506,1 für den dortigen Deichabschnitt des Dannenberger Deich- und Wasserverbands (DDWV) dargestellt, wobei zusätzlich zur Deichhöhe, Wasseranschlagslinie am linken Ufer und berechnetem Freibord die eingemessene Geschwemmsellinie (linkes Ufer) sowie die Fixierung (Treibfahrt in Gewässermittle) für das Hochwasser 2013 dargestellt sind. Auch aus diesen Messungen ergibt sich kein markantes Quergefälle der Wasserspiegellage auf dieser Strecke. Deutlich wird anhand dieser Darstellung jedoch, dass im ausgewählten Deichabschnitt durchgängig ein Freibordmaß von mindestens einem Meter gewährleistet wird. Gegebenenfalls auftretende Freiborddefizite könnten mit Hilfe solch einer Auswertung bzw. Darstellung ebenfalls identifiziert werden.

Die berechneten Freibordmaße unter Berücksichtigung der Wasserspiegelquerneigung sind in Abb. 43 und Abb. 44 für die gesamte untersuchte Strecke von Elbe-km 450 bis 525 (linkes Ufer) bzw. Elbe-km 525 bis 585 (linkes Ufer) sowie Abb. 45 für die Strecke von Elbe-km 500 bis 570 (rechtes Ufer) dargestellt. Als Deichhöhen wurden dabei die in 2010 abgestimm-

ten Daten aus dem LABEL-Projekt (BfG 2010) verwendet, die Wasserspiegellagen für HQ<sub>100</sub> stammen aus der 2D-Modellierung und beziehen sich auf das linke bzw. rechte Ufer (Wasseranschlagslinie).

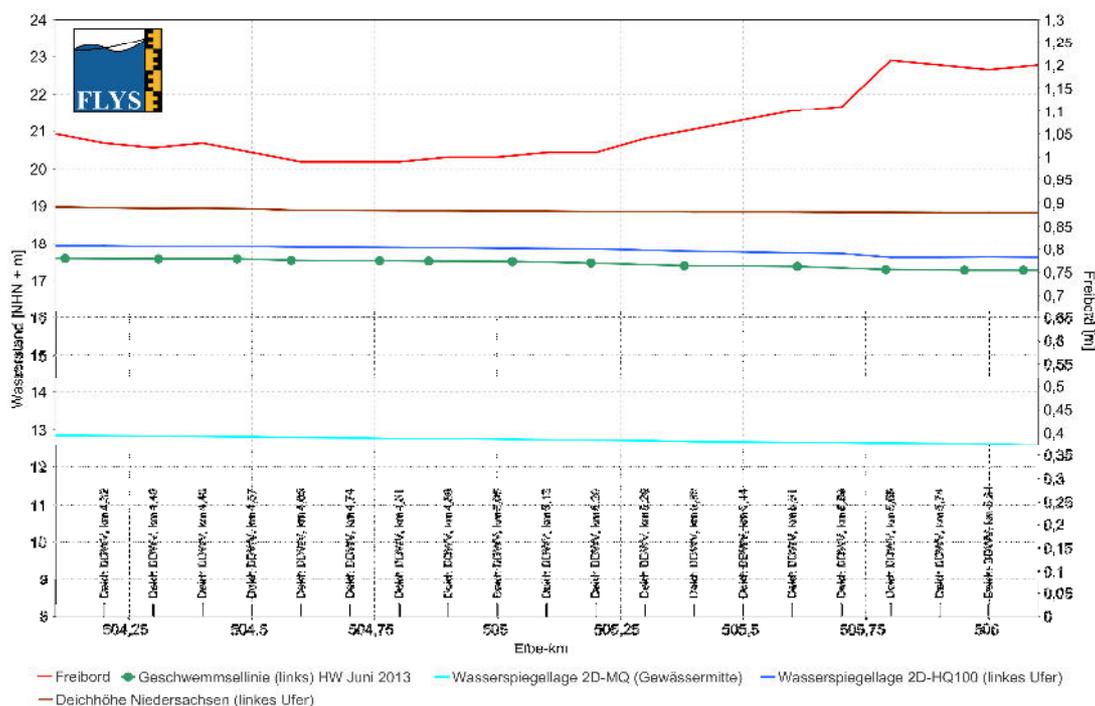


Abb. 42: Exemplarische Darstellung der Deichhöhen und Freiborde für das linke Ufer im Bereich von Elbe-km 504,1 bis 506,1

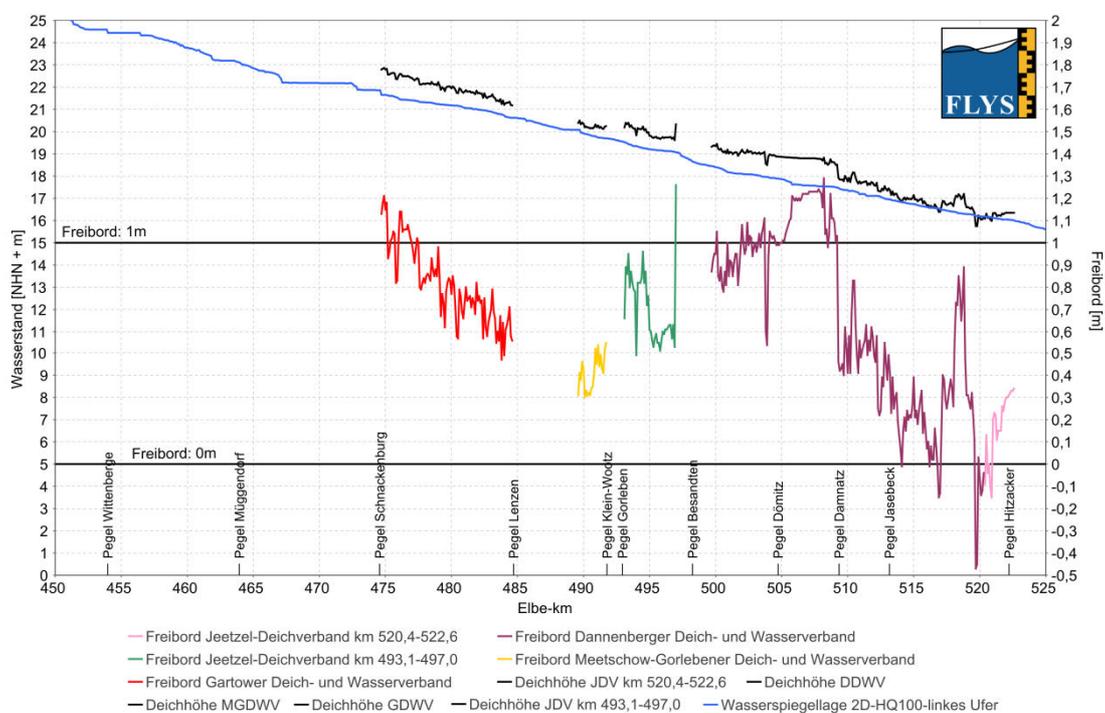


Abb. 43: Wasserspiegellage am linken Deich sowie die Deichkronenhöhe für Elbe-km 450 bis 525 (linkes Ufer)

2D-Modellierung an  
der unteren Mittellebe  
zwischen Wittenberge  
und Geesthacht

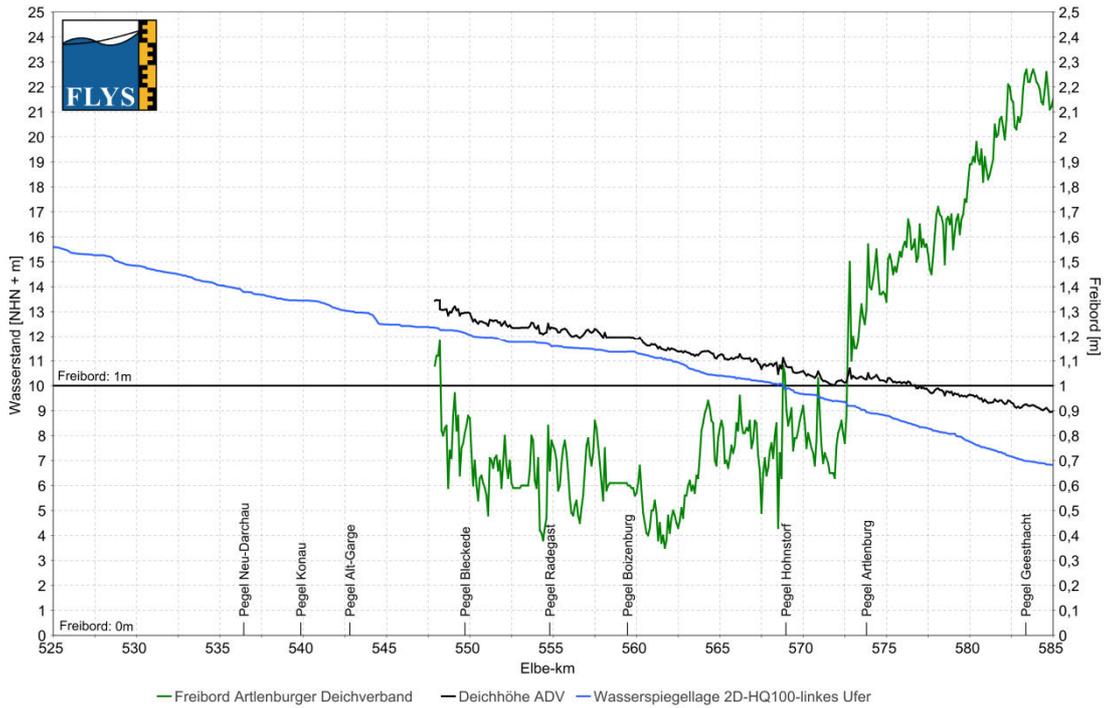


Abb. 44: Wasserspiegellage am linken Deich sowie die Deichkronenhöhe für Elbe-km 525 bis 585 (linkes Ufer)

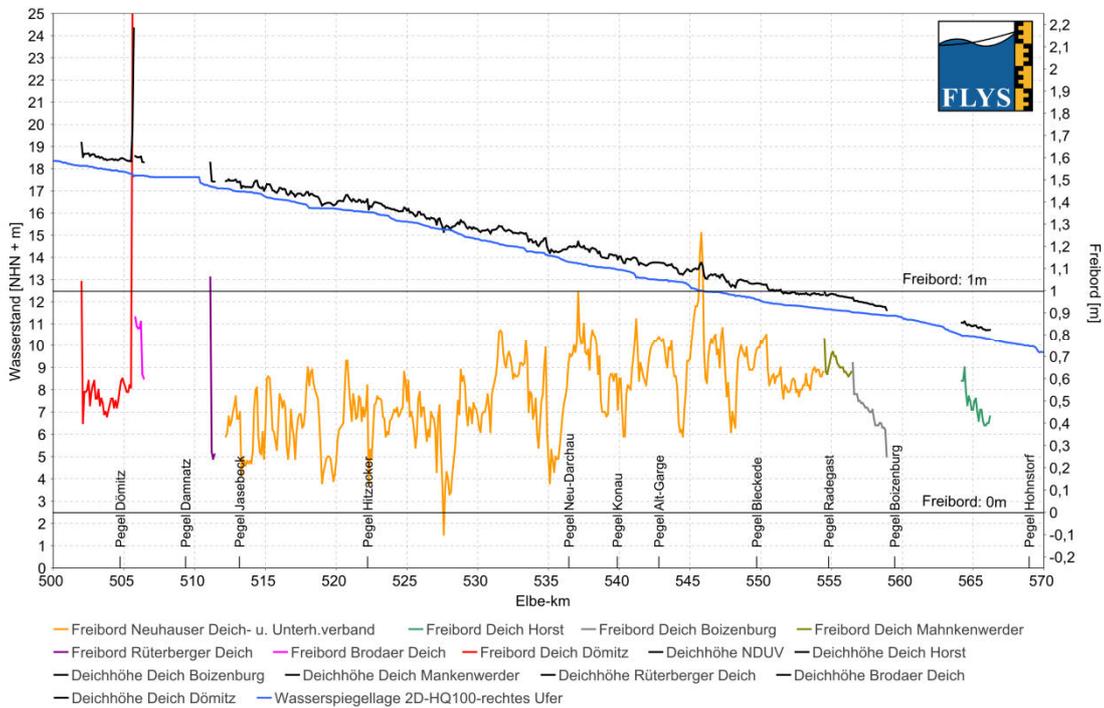


Abb. 45: Wasserspiegellage am rechten Deich sowie die Deichkronenhöhe für Elbe-km 500 bis 570 (rechtes Ufer)

## 10 Identifikation und Bewertung von Engstellen

Ein optimal leistungsfähiger Fließquerschnitt weist konstante Breiten-, Gefälle- und Rauheitsverhältnisse auf. Dieser Zustand ist für natürliche Fließgewässer nicht realistisch. In anthropogen überprägten Fließgewässern gibt es darüber hinaus (z. B. durch Deichbau entstandene) hydraulische Engstellen, welche eine negative Wirkung auf das Abflussgeschehen über weite Strecken nach oberstrom ausüben können. Eine Betrachtung dieser Engstellen ist neben der in Kapitel 9 vorgestellten Freibordanalyse eine zweite Voraussetzung für eine systematische Defizitanalyse, auf der aufbauend eine strömungsmechanische Optimierung des Gewässers durchgeführt werden kann. Keinesfalls ist es dafür notwendig (oder auch nur annähernd erreichbar), eine Uniformität der Strömungsverhältnisse herzustellen. Eine Konzentration möglicher abflussverbessernder Maßnahmen auf die Engstellen ermöglicht jedoch bei der Maßnahmenrealisierung die maximale Wirkung bei minimalem Mitteleinsatz zu erzielen und gleichzeitig in anderen Bereichen ökologisch erstrebenswerte Bereiche mit vielfältigen Strömungsstrukturen zuzulassen.

Wie auf der Besprechung in Hannover am 26.08.2014 zwischen den Kooperationspartnern vereinbart, wurden die Ergebnisse der 2D-Modellierung für den Abfluss  $HQ_{100}$  (Referenzzustand) genutzt, um zunächst mittels visueller Inspektion nach Engstellen im Abflussquerschnitt zu suchen, welche insbesondere bei Hochwasser durch Rückstau die oberstromigen Wasserstände beeinflussen. Hierfür wurden die Darstellungen der Geschwindigkeitsvektoren, die Breite zwischen den Banndeichen sowie das Wasserspiegelgefälle als Kriterien herangezogen. Als Ergebnis enthält die Studie der BfG vom 11.09.2014 (BfG, 2014a) eine Liste mit 25 auf diese Art identifizierten Engstellen entlang der unteren Mittelbe. Anhang 7 gibt den Inhalt der Studie wieder. Abb. 46 zeigt beispielhaft die bei Barförde/Horst-Lauenburg mittels visueller Inspektion identifizierte Engstelle. Ab ca. Elbe-km 562,7 verringert sich die Breite zwischen den Deichlinien deutlich und erreicht im Bereich um Elbe-km 563,4 ein Minimum von nur noch ca. 390 m. Infolge dessen erreichen die tiefengemittelten Strömungsgeschwindigkeiten bei  $HQ_{100}$  in einem weiten Bereich um die Engstelle Werte zwischen 1,8 und 2,4 m/s (roter Bereich in Abb. 46).

Ergänzend zu dieser visuellen Beurteilung kann die im Folgenden beschriebene Methode, welche für  $HQ_{100}$  aus dem Gefälle der berechneten Wasserspiegellage, der berechneten Fließgeschwindigkeit und der vorhandenen Gewässerbreite einen Indikator  $P_{Gesamt}$  bestimmt, Hinweise zur objektiveren Beurteilung der Engstellenwirkung geben sowie zur Einordnung untereinander verwendet werden. Die Methode baut auf der in Kutschera et al. (2011) beschriebenen Vorgehensweise für den Niederrhein auf, wobei dort nur das Wasserspiegelgefälle betrachtet wird. Im Gegensatz zur zuvor durchgeführten visuellen Engstellensuche (vgl. BfG, 2014a sowie Anhang 7) wird hier ausschließlich die hydraulische Situation bewertet, nicht jedoch die bestehenden Nutzungen an der Elbe wie Bebauung, Naturschutzgebiete und Infrastruktur mit in die Bewertung einbezogen.

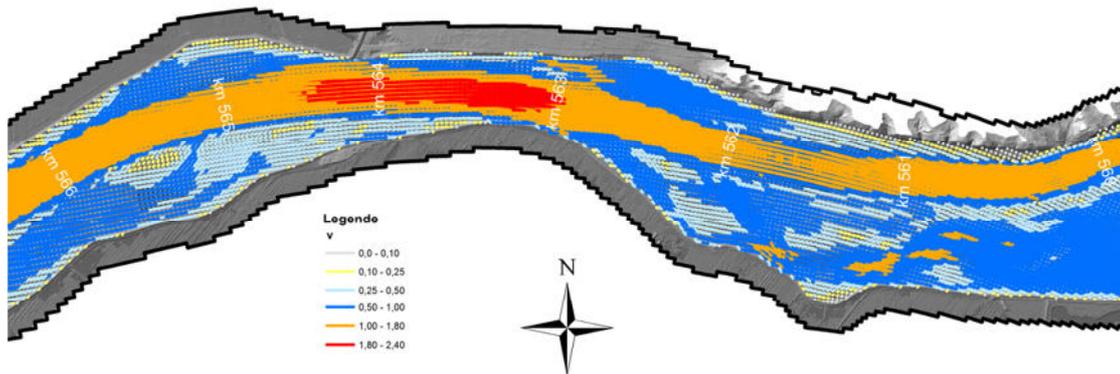


Abb. 46: Engstelle bei Barförde/Horst-Lauenburg

Zunächst wird das berechnete lokale Wasserspiegelgefälle in Flussmitte  $I_{\text{lokal}}$  bei  $HQ_{100}$  als Höhenunterschied zwischen jeweils zwei Punkten der WSV-Stationierung und deren Abstand (100 m) bestimmt. Dieses wird jeweils über 5 km (je 2,5 km nach ober- und unterstrom) gleitend gemittelt zu  $I_{5\text{km}}$ . Durch den Vergleich des lokalen Gefälles und dem gleitenden Mittel können die Orte ermittelt werden, welche ein lokal erhöhtes Gefälle aufweisen. Im Projektgebiet betragen die Differenzen zwischen  $I_{\text{lokal}}$  und  $I_{5\text{km}}$  zwischen 0,62 ‰ und -0,24 ‰. Hier wird der Grenzwert, ab dem von einem lokal deutlich erhöhten Gefälle ausgegangen wird, zu  $I_{\text{grenz}} = 0,2 \text{ ‰}$  gewählt (bei Kutschera et al., 2011:  $I_{\text{grenz}} = 0,25 \text{ ‰}$ ).

Abb. 47 zeigt zunächst die Differenz der gleitenden 5-km-Mittel vom lokalen Wasserspiegelgefälle bei  $HQ_{100}$ . Farblich hinterlegt ist der Bereich, am dem das lokale Gefälle um mehr als 0,2 ‰ (entspricht  $I_{\text{grenz}}$ ) größer ist als das gleitende Mittel über 5 km. Es ist zu erkennen, dass an vielen jedoch nicht allen der 25 gefundenen Engstellen laut Liste vom 11.09.2014 (rote vertikale Linien) der gewählte Grenzwert erreicht bzw. überschritten ist. An den übrigen visuell identifizierten Engstellen ist die Gefälledifferenz überwiegend deutlich erhöht im Vergleich zur Umgebung.

Der dimensionslose Engstellenindikator bezüglich des Gefälles wird hier zu

$$P_{\text{Gefälle}} = \frac{I_{\text{lokal}} - I_{5\text{km}}}{I_{\text{grenz}}} \quad [-]$$

definiert. Indem die ermittelte Differenz mittels  $I_{\text{grenz}}$  normiert wird, entsteht eine Vergleichszahl im Bereich um 1. Für den Fall, dass das lokale Gefälle mindestens um den gewählten Grenzwert  $I_{\text{grenz}} = 0,2 \text{ ‰}$  gegenüber dem 5-km-Mittelwert des Gefälles erhöht ist, erreicht dieser Indikator den Wert 1 oder größer. Werte für  $P_{\text{Gefälle}}$  größer als 1 besagen, dass an diesem Ort das lokale Gefälle vergleichsweise deutlich gegenüber der Nachbarschaft erhöht ist. Tab. 18 enthält für die untersuchten Engstellenbereiche den jeweils maximalen Wert für  $P_{\text{Gefälle}}$  im jeweiligen Suchbereich (siehe Spalten 2 und 3).

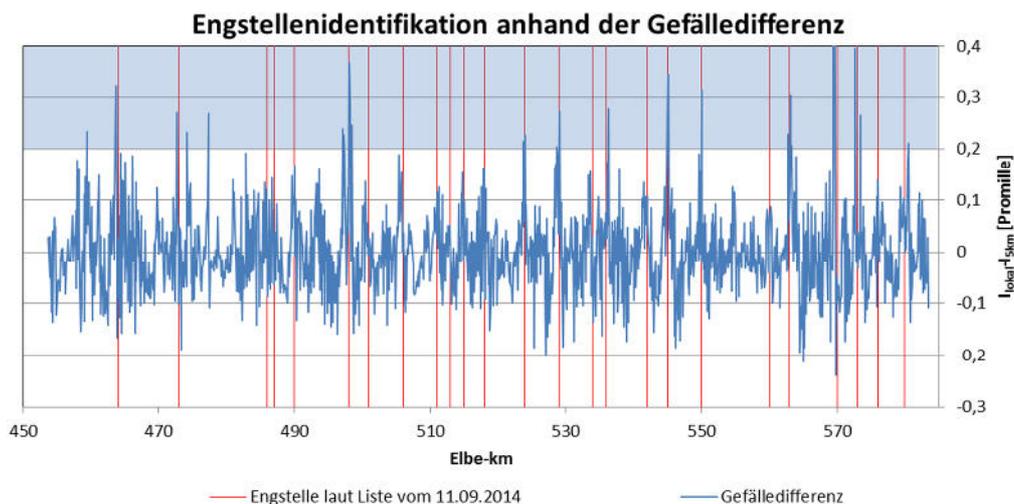


Abb. 47: Gefälledifferenz entlang der Gewässerstrecke sowie Lage der Engstellen laut Liste vom 11.09.2014

Analog wird mit der berechneten tiefengemittelten Fließgeschwindigkeit in Flussmitte beim  $HQ_{100}$  verfahren. Für jeden Hektometerpunkt der WSV-Stationierung wird die lokale tiefengemittelte Fließgeschwindigkeit des Berechnungspunktes, welcher der Station am nächsten liegt, als  $v_{\text{lokal}}$  bezeichnet. Die Geschwindigkeiten  $v_{\text{lokal}}$  werden dann über jeweils 5 km gleitend gemittelt zu  $v_{5\text{km}}$ . Im Projektgebiet betragen die Differenzen zwischen  $v_{\text{lokal}}$  und  $v_{5\text{km}}$  zwischen 0,51 m/s und -0,42 m/s. Der Grenzwert, ab dem von einer deutlichen Erhöhung der lokalen Fließgeschwindigkeit im Vergleich zu den Verhältnissen im umliegenden Streckenbereich gesprochen werden kann, wird hier zu  $v_{\text{grenz}} = 0,25$  m/s gewählt.

In Abb. 48 ist die Differenz der lokalen Geschwindigkeiten vom 5-km-Mittel bei  $HQ_{100}$  dargestellt. Farbiger hinterlegt ist der Bereich, in dem die lokale tiefengemittelte Fließgeschwindigkeit um mehr als 0,25 m/s (entspricht  $v_{\text{grenz}}$ ) erhöht ist gegenüber dem gleitenden Mittel der Fließgeschwindigkeiten über 5 km. Es ist auch hier festzustellen, dass für eine Reihe der Engstellen laut Liste vom 11.09.2014 der gewählte Grenzwert von 0,25 m/s überschritten ist. Für die übrigen Engstellen ist die Geschwindigkeitsdifferenz zumindest deutlich gegenüber den umliegenden Hektometerpunkten erhöht.

Der dimensionslose Engstellenindikator bezüglich der Fließgeschwindigkeit wird hier zu

$$P_{\text{Geschwindigkeit}} = \frac{v_{\text{lokal}} - v_{5\text{km}}}{v_{\text{grenz}}} \quad [-]$$

definiert. Für den Fall, dass die lokale tiefengemittelte Fließgeschwindigkeit mindestens um den gewählten Grenzwert  $v_{\text{grenz}} = 0,25$  m/s gegenüber dem 5-km-Mittelwert der tiefengemittelte Fließgeschwindigkeit an den Hektometerpunkten erhöht ist, erreicht der Indikator  $P_{\text{Geschwindigkeit}}$  den Wert 1 oder größer (siehe Tab. 18).

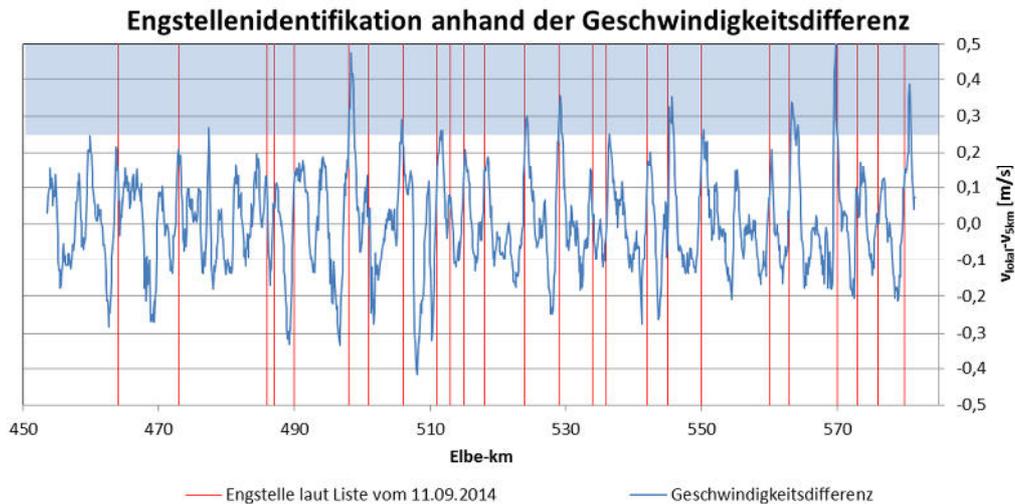


Abb. 48: Geschwindigkeitsdifferenz entlang der Gewässerstrecke sowie Lage der Engstellen laut Liste vom 11.09.2014

Schließlich wird zur Beurteilung der Breitenverhältnisse die Länge der Querprofilspur (siehe Kapitel 9) zwischen den Banndeichen bzw. Hochufern für jeden Hektometerpunkt der WSV-Stationierung als  $b_{\text{lokal}}$  bestimmt. Die Gewässerbreiten  $b_{\text{lokal}}$  werden über jeweils 5 km gleitend gemittelt zu  $b_{5\text{km}}$ . Im Projektgebiet betragen die Differenzen zwischen  $b_{5\text{km}}$  und  $b_{\text{lokal}}$  zwischen 1160 m und -1350 m. Der Grenzwert für die Beurteilung der Breitenverhältnisse wird hier zu  $b_{\text{grenz}} = 300$  m gewählt. Im Gegensatz zu den erstgenannten beiden Parametern sind für die Breitenverhältnisse diejenigen Orte relevant, an denen der lokale Wert **geringer** ist als der über 5 km gemittelte.

In Abb. 49 ist die Differenz der lokalen Breitenverhältnisse dargestellt. Farbiger hinterlegt ist der Bereich, in dem die lokale Breite des Gewässers um mehr als 300 m (entspricht  $b_{\text{grenz}}$ ) geringer ist als das gleitende Mittel über 5 km. Auch dieser Parameter liefert für viele der Engstellen gemäß BfG (2014a) auffällige Werte, jedoch nicht für alle gleichermaßen deutlich.

Der dimensionslose Engstellenindikator bezüglich der Breite wird hier zu

$$P_{\text{Breite}} = \frac{b_{5\text{km}} - b_{\text{lokal}}}{b_{\text{grenz}}} \quad [-]$$

definiert. Für den Fall, dass die lokale Länge der Querprofilspur mindestens um den gewählten Grenzwert  $b_{\text{grenz}} = 300$  m gegenüber dem 5-km-Mittelwert der Breite verringert ist, erreicht dieser Indikator den Wert 1 oder größer (siehe Tab. 18).

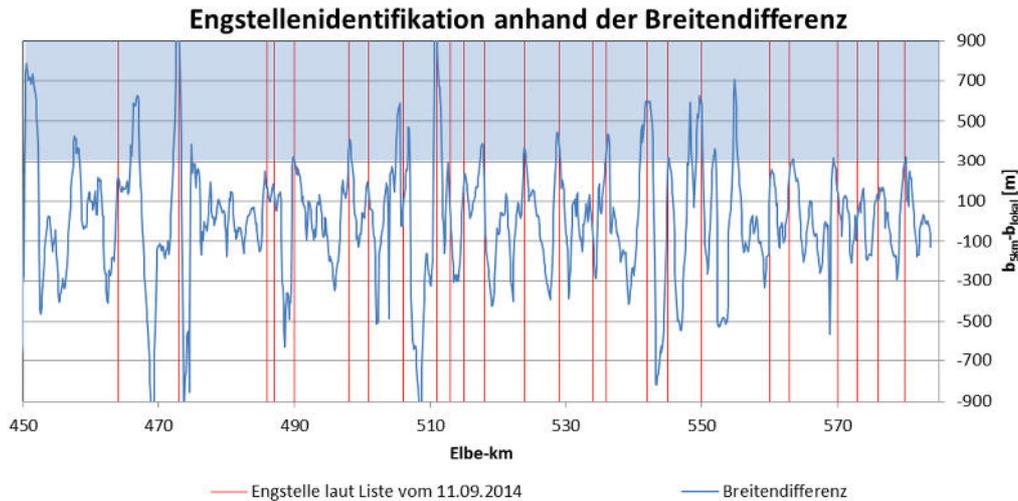


Abb. 49: Breitendifferenz entlang der Gewässerstrecke sowie Lage der Engstellen laut Liste vom 11.09.2014

Der zur Beurteilung der lokalen Engstellenwirkung verwendete dimensionslose Engstellenindikator  $P_{Gesamt}$  ergibt sich aus den Indikatoren bezüglich Gefälle, Fließgeschwindigkeit und Breite zu

$$P_{Gesamt} = \frac{1}{3}(P_{Gefälle} + P_{Geschwindigkeit} + P_{Breite}) \quad [4]$$

An den Orten, welche im Sinne der Engstellenbetrachtung als besonders auffällig anzusehen sind, erreichen die jeweiligen Gefälle-, Geschwindigkeits- bzw. Breitenindikatoren einen Wert größer als 1. In den Indikator  $P_{Gesamt}$  gehen alle drei Beurteilungskriterien gleich gewichtet ein. Je höher  $P_{Gesamt}$  ist, desto eindeutiger ist die entsprechende Gewässerstation als Engstelle anzusehen.

Abb. 50 zeigt die ermittelten Werte des Engstellenindikators  $P_{Gesamt}$  für alle Hektometerstationen entlang der Untersuchungsstrecke zwischen Wittenberge und Geesthacht. Für die in der Liste vom 11.09.2014 aufgeführten Engstellen sind die an den entsprechenden Orten ermittelten  $P_{Gesamt}$  in grün gekennzeichnet. Es ist zu erkennen, dass von diesen per visueller Inspektion identifizierten Stellen 13 einen Wert von  $P_{Gesamt} = 1$  oder größer aufweisen. Weitere 9 der am 11.09.2014 identifizierten Engstellen weisen Werte zwischen  $P_{Gesamt} = 0,5$  und 1 auf. Andererseits existieren nur 2 Stellen (Elbe-km 466,6 und Elbe-km 554,9), an denen der Wert für  $P_{Gesamt} = 1$  erreicht wird, die jedoch nicht auf der Liste vom 11.09.2014 aufgeführt sind.

In Tab. 18 sind Ergebnisse für die Engstellen aus BfG (2014a) zusammengefasst. Zunächst wird der Suchbereich von jeweils einen Kilometer nach ober- und unterstrom um den visuell identifizierten Engstellenbereich definiert. Für jeden Suchbereich werden bezüglich der Parameter Gefälle, Fließgeschwindigkeit und Breite die Lage [Elbe-km] der Maximalwerte der jeweiligen Indikatoren  $P_{Gefälle}$ ,  $P_{Geschwindigkeit}$  und  $P_{Breite}$ , die dort vorhandenen Absolutwerte für das Gefälle, die Fließgeschwindigkeit und die Breite sowie die Werte der jeweiligen dimen-

sionslosen Indikatoren angegeben. Die jeweils geringsten und höchsten Absolutwerte sind farblich hervorgehoben. Schließlich sind auch die im Suchbereich ermittelten maximalen Werte des Engstellenindicators  $P_{Gesamt}$  sowie die Lage für diesen Maximalwert aufgeführt. Dieser stellt jedoch das für **einen** Ort im Suchbereich ermittelte Maximum dar, wohingegen die aufgelisteten Indikatoren der Einzelparameter an **verschiedenen** Orten im Suchbereich auftreten können (vgl. die jeweilige Lage in Tab. 18).

Der Engstellenindikator  $P_{Gesamt}$  wird als geeignet angesehen, eine objektivere Identifikation der Engstellen in einer Gewässerstrecke durchzuführen. Im Gegensatz zur visuellen Inspektion ist das hier vorgestellte Verfahren algorithmisch durchzuführen und daher weniger subjektiv. Tendenziell zeigt ein größerer Wert des Engstellenindicators  $P_{Gesamt}$  für einen Gewässerquerschnitt eine stärkere Wirkung dieses Abflussquerschnitts auf die oberstromige Wasserspiegellage. Eine Plausibilisierung der vorgestellten Methode zur Engstellenidentifikation erfolgt im Nachgang der durchgeführten Kooperation durch die BfG, indem mit dem erstellten 2D-Modell für Planungszustände mit aufgeweiteten Engstellen entsprechende vergleichende Simulationsberechnungen durchgeführt werden.

Wird die vorgeschlagene Methode dabei bestätigt, sollten bei der Identifikation von abflussverbessernden Maßnahmen in Zukunft vorrangig Bereiche mit Freiborddefizit (siehe Kapitel 9) sowie hohen Werten des Engstellenindicators  $P_{Gesamt}$  berücksichtigt werden. Die hier gewählten Grenzwerte für die berücksichtigten Parameter (Breite, Fließgeschwindigkeit, Gefälle) sowie die Streckenlänge für die jeweilige Mittelung der betrachteten Größen (hier: 5 km) müssten bei Übertragung der Methode auf andere Strecken bzw. Flussgebiet ggf. an die dortigen Verhältnisse angepasst werden.

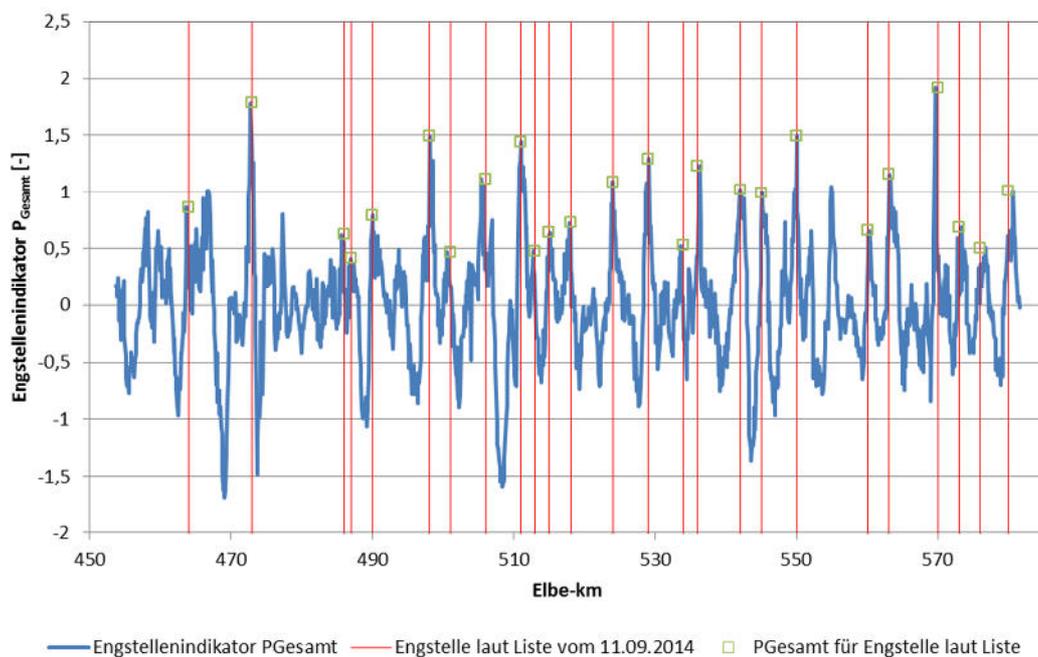


Abb. 50: Engstellenindikator  $P_{Gesamt}$  entlang des Modellgebietes (blau), Lage der Engstellen laut Liste vom 11.09.2014 (rot) sowie an diesen Stellen ausgewerteter Indikator  $P_{Gesamt}$  (grün)

Tab. 18: Liste der Engstellen vom 11.09.2014 mit dem jeweils höchsten Wert für den Engstellenindikator  $P_{Gesamt}$  im Suchbereich sowie die jeweils höchsten Einzelwerte der Indikatoren  $P_{Gefälle}$ ,  $P_{Geschwindigkeit}$  und  $P_{Breite}$ . Ebenfalls dargestellt sind die jeweilige Lage der höchsten Einzelwerte der Indikatoren sowie die dort vorhandenen Werte für Gefälle, Geschwindigkeit und Breite bei HQ<sub>100</sub>.

Engstelle laut Liste vom 11.09.2014 [Nr.]	Suchbereich von [Elbe-km]	Suchbereich bis [Elbe-km]	Bezeichnung der Engstelle	Gefälle			Geschwindigkeit			Breite			Lage [Elbe-km] von $P_{Gesamt}$	$P_{Gesamt}$ (Maximum im Suchbereich)
				Lage [Elbe-km]	Gefälle [%]	$P_{Gefälle}$ [-]	Lage [Elbe-km]	Fließgeschwindigkeit [m/s]	$P_{Geschwindigkeit}$ [-]	Lage [Elbe-km]	Breite [m]	$P_{Breite}$ [-]		
1	463	465	Müggendorf	463,7	0,51	1,60	463,7	1,89	0,86	464,0	625	0,73	463,7	0,86
2	472	476	Lütkenwisch und Schnackenburg	472,7	0,40	1,35	472,9	1,58	0,84	472,8	712	3,86	472,7	1,78
3	483	487	Lenzen	486,7	0,27	0,72	484,5	1,68	0,78	485,7	565	0,83	485,7	0,62
4	486	488	Vietze	486,7	0,27	0,72	486,9	1,53	0,22	486,9	741	0,62	486,9	0,42
5	489	495	Gorleben	490,0	0,29	0,84	494,2	1,80	0,76	489,8	594	1,09	490,0	0,80
6	497	499	Besandten	498,1	0,55	1,84	498,4	2,27	1,91	498,2	441	1,37	498,1	1,49
7	500	502	Gaarz	500,5	0,28	0,68	500,7	1,82	0,54	500,8	765	0,65	500,5	0,47
8	505	507	Dömitz	505,4	0,29	0,94	505,8	1,65	1,17	505,6	1004	1,97	505,4	1,12
9	510	512	Rüterberg	511,3	0,24	0,63	511,8	1,62	1,05	510,9	696	3,41	511,0	1,44
10	512	514	Wehningen	512,9	0,18	0,25	512,0	1,53	0,65	512,7	897	1,00	512,7	0,48
11	514	516	Bohnenburg	514,8	0,28	0,77	515,2	1,74	0,84	515,1	802	0,79	515,1	0,64
12	517	519	Strachau	518,0	0,26	0,81	518,5	1,65	0,75	517,7	716	1,31	517,8	0,73
13	523	528	Bitter und Tiessau	524,0	0,36	1,14	524,3	1,83	1,20	523,9	574	1,23	524,0	1,09
14	528	530	Privelak	529,1	0,42	1,36	529,2	2,04	1,42	528,7	492	1,49	529,1	1,29
15	533	535	Schutschur	533,6	0,31	0,78	533,6	1,79	0,60	534,9	838	0,63	533,6	0,53
16	535	537	Neu Darchau	536,3	0,42	1,38	536,4	1,99	1,01	536,2	770	1,45	536,3	1,23
17	541	543	Viehle	541,5	0,26	0,67	542,5	1,66	0,80	542,3	1427	2,00	542,0	1,02
18	544	546	Stiepelse	545,1	0,48	1,72	545,7	1,87	1,41	545,1	2246	1,06	545,1	1,00
19	549	551	Bleckede (Vitico)	550,0	0,43	1,57	550,3	1,81	1,05	549,7	867	2,08	550,0	1,49
20	559	561	Boizenburg	560,2	0,20	0,44	560,4	1,51	0,83	560,3	855	0,87	560,3	0,66
21	562	564	Barförde/Horst-Lauenburg	563,1	0,47	1,52	563,3	1,98	1,35	563,4	392	1,05	563,1	1,16
22	569	571	Hohnstorf	569,6	0,79	3,12	569,8	2,28	2,04	569,4	404	1,06	569,6	1,92
23	572	574	Artlenburg	572,7	0,58	1,98	573,5	2,00	0,69	573,8	469	0,55	573,4	0,69
24	575	577	Avendorf	576,0	0,33	0,70	576,9	1,91	0,50	576,3	468	0,57	576,7	0,50
25	579	581	Tespe	580,5	0,44	1,05	580,7	2,26	1,55	580,2	396	1,08	580,6	1,01



# 11 Berechnung von Wasserspiegellagen für gewässerkundliche Haupt- und Extremwerte des Abflusses

Die Bearbeitung von Aufgabenstellungen, wie beispielsweise der vorliegenden (vgl. Kap. 1), die den speziellen Fokus besitzt, abflussverbessernde Maßnahmen im Vorland hinsichtlich ihrer scheidelreduzierenden Wirkung zu bewerten, schafft nicht nur den gewünschten spezifischen Erkenntniszugewinn, sondern produziert eine Vielzahl an neuen Daten und Informationen, die auch der allgemeinen gewässerkundlichen Ist-Beschreibung dienen. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn auf Basis von „neuen“ Messdaten aktualisierte oder verbesserte Modellgrundlagen (hier: 2D-Modell der unteren Mittelbe) geschaffen werden. Einmal aufgebaut und kalibriert (bereits bei diesen Prozessen kann eine Vielzahl neuer Erkenntnisse generiert werden), besitzen solche Werkzeuge und die daraus entstehenden Produkte ein wesentlich breiteres Anwendungsspektrum als das im Projekt geforderte.

Die BfG ist in allen ihren hydraulischen Modellierungsprojekten an Bundeswasserstraßen bemüht, diesen allgemeinen Erkenntniszugewinn nachhaltig zu dokumentieren und für die Fachleute an den Gewässern konsolidiert bereitzustellen. Dazu betreibt sie seit 1998 die Flusshydrologische Software FLYS, die aktuell als webbasierter Fachdienst FLYS im Geoportal der BfG (BfG, 2013c) registrierten Nutzern zur Verfügung steht. Im Rahmen von automatisierten Workflows („Berechnungsarten“) können Anwender auf die geprüften und autorisierten Ergebnisse der Modellierung nachhaltig zugreifen und so hydraulische Parameter am Gewässer unter verschiedenen fachlichen Gesichtspunkten auswerten.



Im Rahmen dieses Kapitels sollen einige der gewässerkundlichen Ist-Beschreibung dienliche Ergebnisse schlaglichtartig hinsichtlich ihrer Auswertemöglichkeiten sowie ihres Nutzens für die verschiedenen gewässerkundlichen Disziplinen dargestellt werden. Im Fokus stehen dabei naturgemäß die berechneten Wasserspiegellagen für gewässerkundliche Haupt- und Extremwerte (Kap. 11.1), da sie Grundlage für verschiedene weitere Auswertungen sein können. Hierzu zählt u.a. auch die Möglichkeit, Abflusskurven in nicht durch Messungen belegten Bereichen auf Basis von Ergebnissen der 2D-Modellierung zu extrapolieren (Kap. 11.3). Auf die Bedeutung der Wahl der unteren Modellrandbedingung in Geesthacht (Kap. 11.2) wird ebenso eingegangen wie auf die verschiedenen Produkte der Modellierung, die die Ergebnisse nicht nur linienhaft sondern in der Fläche (Strömungsvektoren, Tiefenlinienpläne; Kap. 11.4) abbilden. Auch diese sollen zukünftig mit Hilfe des Fachdienstes FLYS den Nutzern bereitgestellt werden.

## 11.1 Wasserspiegellagen für gewässerkundliche Hauptwerte

Im Rahmen der Kooperationsvereinbarung war es u.a. auch das Ziel, für neun relevante gewässerkundliche Haupt- und Extremwerte des Abflusses zwischen mittlerem Niedrigwasser und extremem Hochwasser (MNQ, MQ, MHQ, HQ<sub>10</sub>, HQ<sub>20</sub>, HQ<sub>50</sub>, HQ<sub>100</sub>, HQ<sub>200</sub>, HQ<sub>500</sub>) auf Basis von stationären Abflüssen Wasserspiegellagen für den gesamten Streckenbereich zwischen Wittenberge und Geesthacht mit dem vorliegenden 2D-Modell zu berechnen. Verwendet wurden hierfür Abflussentwicklungen, die in der Projektgruppe „Bemessungswasserspiegellage Elbe“ (FGG Elbe/ARGE Elbe) abgestimmt wurden und im Rahmen des BfG-Berichts Nr. 1650 „Einheitliche Grundlage für die Festlegung der Bemessungswasserspiegellagen der Elbe auf der freifließenden Strecke in Deutschland“ (BfG, 2009) dokumentiert sind (vgl. Tab. 19).

Tab. 19: Abflüsse für gewässerkundliche Haupt- und Extremwerte an der unteren Mittel-  
elbe (Angabe in m<sup>3</sup>/s)

Pegel	MNQ	MQ	MHQ	HQ <sub>10</sub>	HQ <sub>20</sub>	HQ <sub>50</sub>	HQ <sub>100</sub>	HQ <sub>200</sub>	HQ <sub>500</sub>
Wittenberge	298	701	2176	3200	3590	4220	4545	4860	5230
Dömitz	293	706	2140	3152	3543	4173	4496	4801	5182
Neu Darchau	290	710	2120	3110	3500	4130	4450	4760	5140
Geesthacht	289	708	2097	3080	3466	4084	4361	4700	5080

Somit ergibt sich eine direkte Vergleichbarkeit der 1D-Wasserspiegellagen aus der Modellierung im Rahmen des zuvor genannten Projekts (BfG, 2009) mit den nun neu berechneten Wasserspiegellagen des 2D-Modells. Die Wasserstände des 2D-Modells wurden auf der Gewässerachse ausgelagert, die des 1D-Modells gelten dort a priori. Abb. 51 und Abb. 52 geben einen Überblick über die berechneten Wasserspiegellagen aus der 1D- und 2D-Modellierung für den oberen bzw. unteren Teilbereich der untersuchten Elbestrecke. Abb. 51 zeigt dabei die Ergebnisse für den Streckenbereich von Wittenberge bis Elbe-km 520, Abb. 52 für den Streckenbereich unterhalb Elbe-km 510 bis nach Geesthacht. In den Abbildungen sind die Wasserspiegellagen gemeinsam dargestellt, wobei die 2D-Wasserspiegellagen farbig und die 1D-Wasserspiegellagen in grau erscheinen.

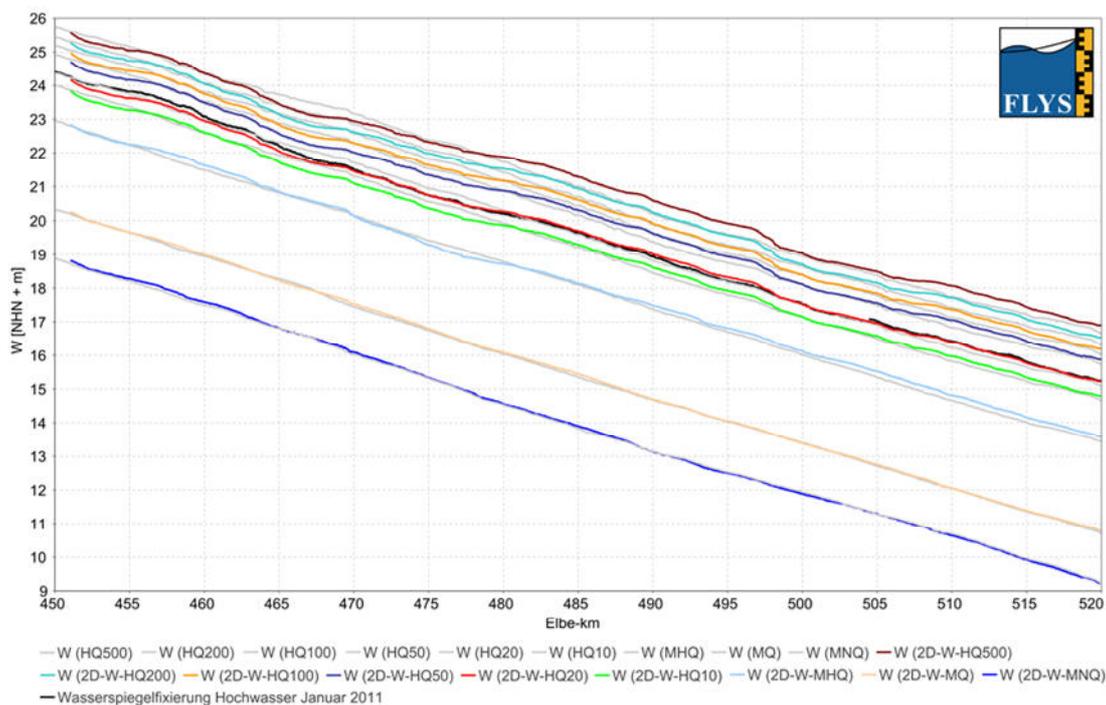


Abb. 51: Berechnete Wasserspiegellagen für neun stationäre Abflusszustände für den Streckenbereich zwischen Wittenberge und Elbe-km 520 (ebenfalls dargestellt: Wasserspiegelfixierung vom Januar 2011, schwarz)

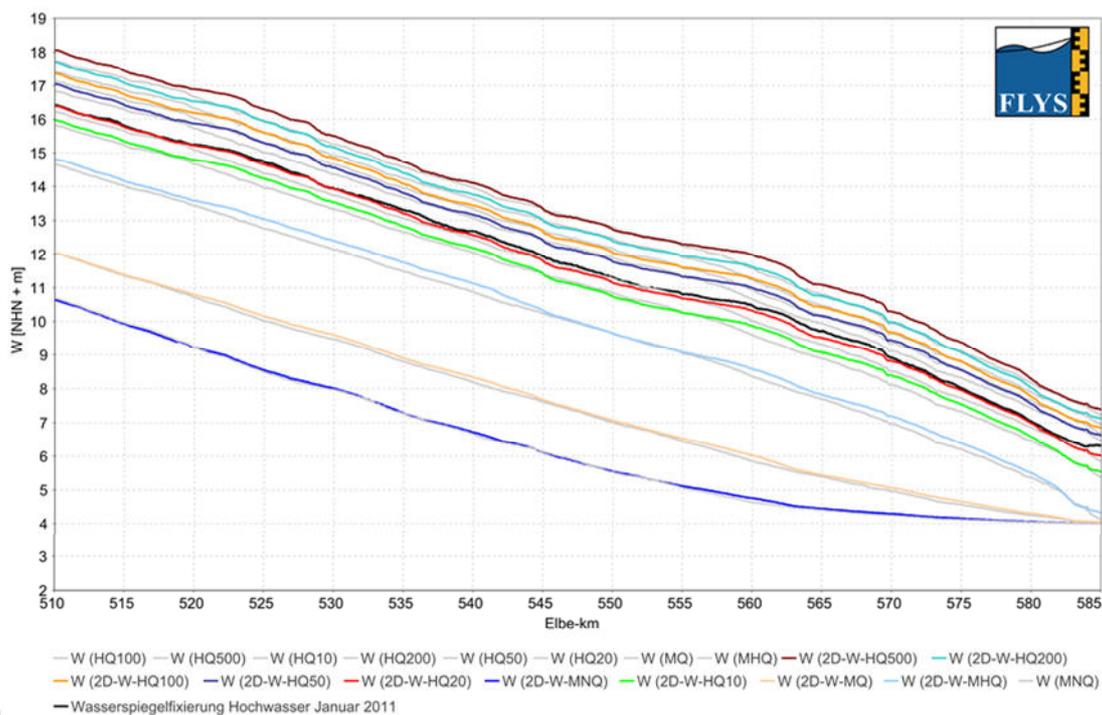


Abb. 52: Berechnete Wasserspiegellagen für neun stationäre Abflusszustände für den Streckenbereich zwischen Elbe-km 510 und Geesthacht (ebenfalls dargestellt: Wasserspiegelfixierung vom Januar 2011, schwarz)

Abb. 53 zeigt die Ergebnisse, die aus den Differenzberechnungen zwischen den Wasserspiegellagen der 2D-Modellierung (Minuend) und der 1D-Modellierung (Subtrahend) resultieren. Wegen der besonderen Bedeutung der Wasserspiegellage für  $HQ_{100}$  wird in Abb. 54 die Differenz zwischen den berechneten Wasserspiegellagen für  $HQ_{100}$  nochmals gesondert dargestellt. Für die beiden Abflusszustände MNQ (hellblau in Abb. 53) und MQ (dunkelblau in Abb. 53) wird deutlich, dass die Abweichungen zwischen beiden Modellen über die gesamte Berechnungsstrecke zwischen -10 cm und +10 cm schwanken. Diese - im Vergleich zu den Resultaten für den Hochwasserbereich (s.u.) - geringen Differenzen sind u.a. darauf zurückzuführen, dass annähernd identische Geobasisdaten für das Hauptgerinne und gleiche Kalibrierereignisse im Mittelwasserbereich (u.a. MW 06/2005) verwendet wurden.

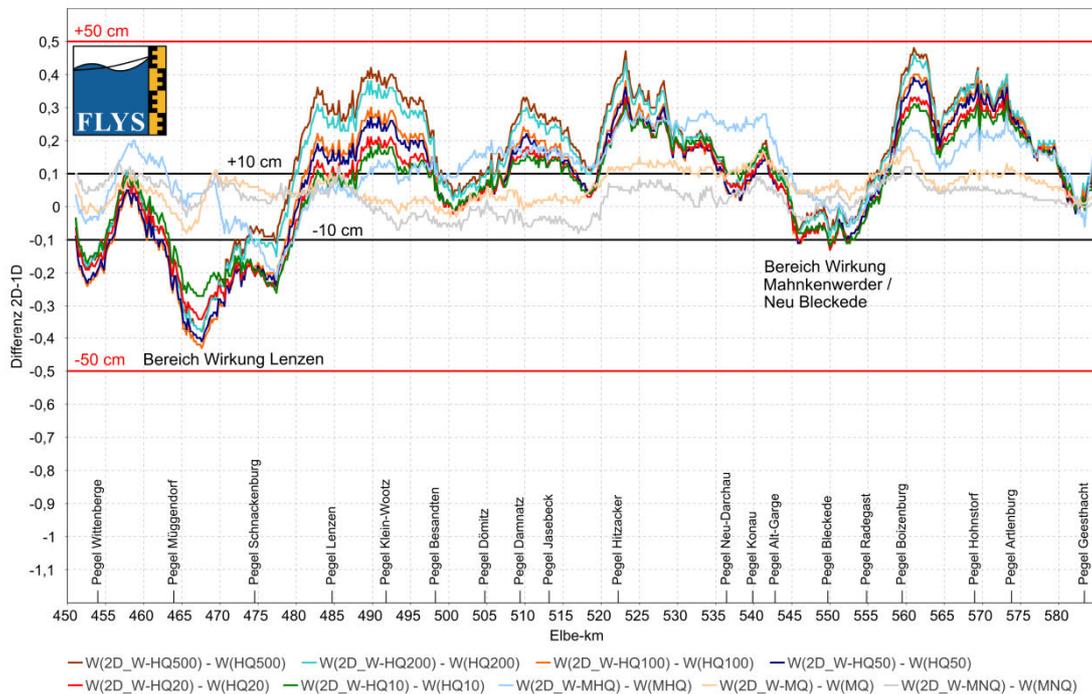


Abb. 53: Differenzen zwischen den berechneten Wasserspiegellagen gleicher Abflusszustände aus dem 1D- und dem 2D-Modell (ebenfalls dargestellt sind: Band  $\pm 10$  cm und Band  $\pm 50$  cm sowie die Wirkungsbereiche von Deichrückverlegungen)

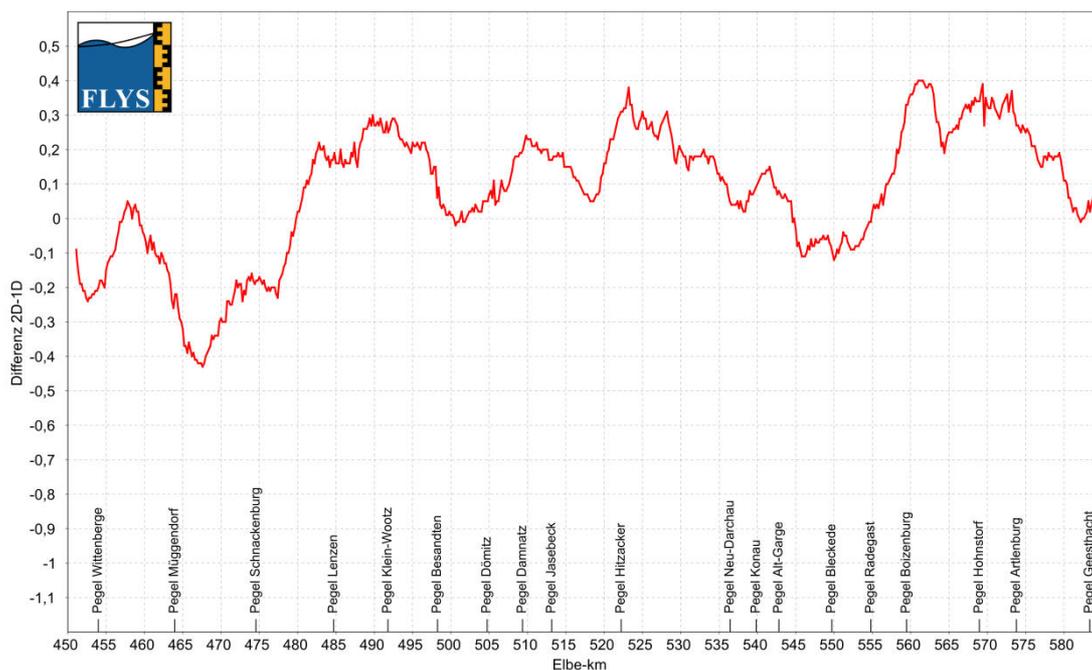


Abb. 54: Differenzen zwischen den berechneten Wasserspiegellagen für HQ<sub>100</sub> (2D-Modell minus 1D-Modell)

Bedeutendere Wasserspiegeldifferenzen ergeben sich im Hochwasserbereich, wenn die Elbevorländer mit Durchflüssen beaufschlagt werden. Dann werden verschiedenste Einflussfaktoren wirksam, die zu ganz gegensätzlichen Ergebnissen führen können:

- In den Wirkungsbereichen der beiden 2009 (Lenzen) bzw. 2009/2010 (Mahnkenwerder/Neu Bleckede) realisierten Deichrückverlegungen sind die berechneten 2D-Wasserspiegellagen um bis zu 40 cm niedriger als die mit dem 1D-Modell berechneten Wasserspiegellagen, da diese die Auswirkungen dieser Maßnahmen noch nicht berücksichtigen (siehe Abb. 53 bzw. Abb. 54).
- Auf weiten Streckenabschnitten liegen die mit dem 2D-Modell berechneten Wasserspiegellagen jedoch deutlich (je nach Abflusszustand bis zu 50 cm) höher als die existierenden Wasserspiegellagen des 1D-Modells. Die Ursachen hierfür können vielfältig sein. So verwendet das 2D-Modell einen physikalischen Ansatz zur Parametrisierung der Rauheitswirkung (vgl. Kap. 2), welcher rechnerisch wesentlich höhere Rauheiten produziert als die im Hochwasserfall im 1D-Modell angesetzten Erfahrungswerte (vgl. Anhang 3).
- Zur Kalibrierung der Modelle im Hochwasserbereich wurden unterschiedliche Wasserspiegelfixierungen verwendet (1D-Modell: u. a. HW April 2006; 2D-Modell: HW 2011). Unterschiede in den generellen Wasserstandsverhältnissen dieser Wasserspiegelfixierungen pausen sich deshalb bei Anwendung der beiden Modelle in den berechneten Wasserspiegellagen durch. So besitzt die zur Kalibrierung des 2D-Modells verwendete Hochwasserfixierung vom Januar 2011, welche in Abb. 52 schwarz dargestellt ist, markante „Ausbeulungen“ (d.h. „geringere“ Wasserspiegellagengefälle) im Bereich des Pegels Hitzacker und unterhalb von Boizenburg. Dieser charakteristi-

sche Verlauf der Wasserspiegellage, der so nicht in den 1D-Wasserspiegellagen (und den zu diesem Modell gehörigen Kalibrierereignissen, u. a. dem vom HW April 2006) zu finden ist, wird von den modellierten 2D-Wasserspiegellagen nachgebildet und sorgt somit in diesen Bereichen für deutliche Abweichungen zwischen den beiden Berechnungsergebnissen.

Grundlegend für eine Vergleichbarkeit von Ergebnissen der 1D- und 2D-Berechnungen ist neben der Wahl des identischen stationären Abflusslängsschnitts (s.o.) auch die Verwendung einer vergleichbaren unteren Modellrandbedingung. Deren Wahl wird im folgenden Abschnitt (Kap. 11.2) weitergehend thematisiert.

## 11.2 Wahl der unteren Modellrandbedingung

Während für die 1D-Berechnungen als untere Randbedingung der Pegel Zollenspieker (Elbe-km 598,3 unterhalb des Wehrs Geesthacht) verwendet wurde, endet das 2D-Modell bereits am Wehr Geesthacht (Oberwasser bei Elbe-km 585,9; siehe Kapitel 4.1). Die stationär berechneten Wasserspiegellagen sind im Oberwasser des Wehrs somit nur dann vergleichbar, wenn im 2D-Modell am Wehrstandort die identischen Wasserstand-Abfluss-Verhältnisse vorliegen, wie sie sich im 1D-Modell einstellen. Die anzusetzende W-Q-Beziehung im 2D-Modell für den Wehrstandort wurde deshalb mit Hilfe von FLYS aus den bestehenden 1D-Modelldaten abgeleitet und ist in Abb. 55 dargestellt. Deutlich ist aus dem Verlauf der W-Q-Beziehung zu erkennen, dass der Einfluss der Stauanlage Geesthacht auf die Wasserstände ab ca. 2500 m<sup>3</sup>/s nicht mehr vorhanden ist.

Bereits im BfG-Bericht Nr. 1650 (BfG, 2009) erfolgte eine Abschätzung der Auswirkungen einer Erhöhung des tidebeeinflussten Wasserstands um 1,0 m am Pegel Zollenspieker. Für solch ein Worst-Case-Szenario wurden bei extremen Abflüssen Auswirkungen der veränderten unteren Randbedingung bis etwa 50 km stromaufwärts festgestellt. Untersuchungen im hier vorgestellten Projekt bestätigen diese Tendenz.

In Abstimmung mit der Projektarbeitsgruppe wurde für eine ergänzende Berechnung der Wasserspiegellage für HQ<sub>100</sub> der Sturmflutbemessungswasserstand SFB2085A (vgl. Abb. 55, vgl. BAW, 2011) als untere Randbedingung im 2D-Modell angesetzt. Dieses Bemessungsszenario geht von einem Wasserstand von 7,90 m+NHN in Geesthacht (Elbe-km 585,0) aus und liegt somit 1,22 m über dem in der in Abb. 55 dargestellten W-Q-Randbedingung verwendeten Wert von 6,68 m+NHN für einen HQ<sub>100</sub>-Abfluss (Referenzzustand für Variantenrechnungen: 6,54 m+NHN, vgl. Kapitel 5).

Bei Berücksichtigung des deutlich erhöhten Sturmflutwasserstands ergeben sich für einen Abfluss von HQ<sub>100</sub> Wasserstandsunterschiede im Vergleich zum tideunbeeinflussten Ist-Zustand, die bis etwa Elbe-km 540 markant sind, rechnerisch sogar bis Dömitz (Elbe-km ca. 505) nachgewiesen werden können. Der annähernd hyperbolische Abfall der Wasserstandsunterschiede vom Wehrstandort nach oberstrom ist in Abb. 56 deutlich erkennbar.

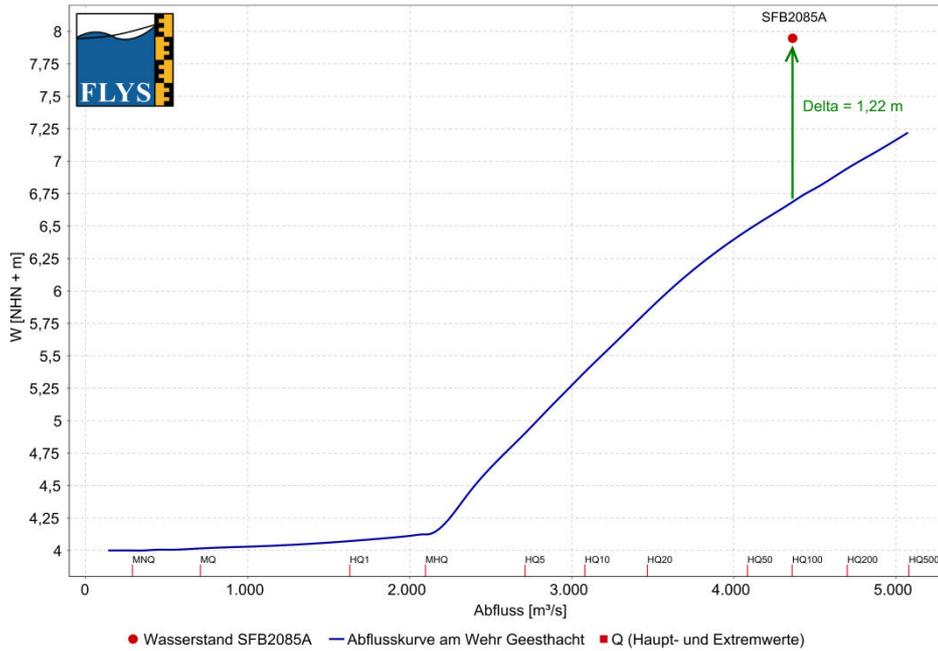


Abb. 55: Für die 2D-Modellierung der stationären Wasserspiegellagen gewählte untere Randbedingung als W-Q-Beziehung und Sturmflutbemessungswasserstand SFB2085A

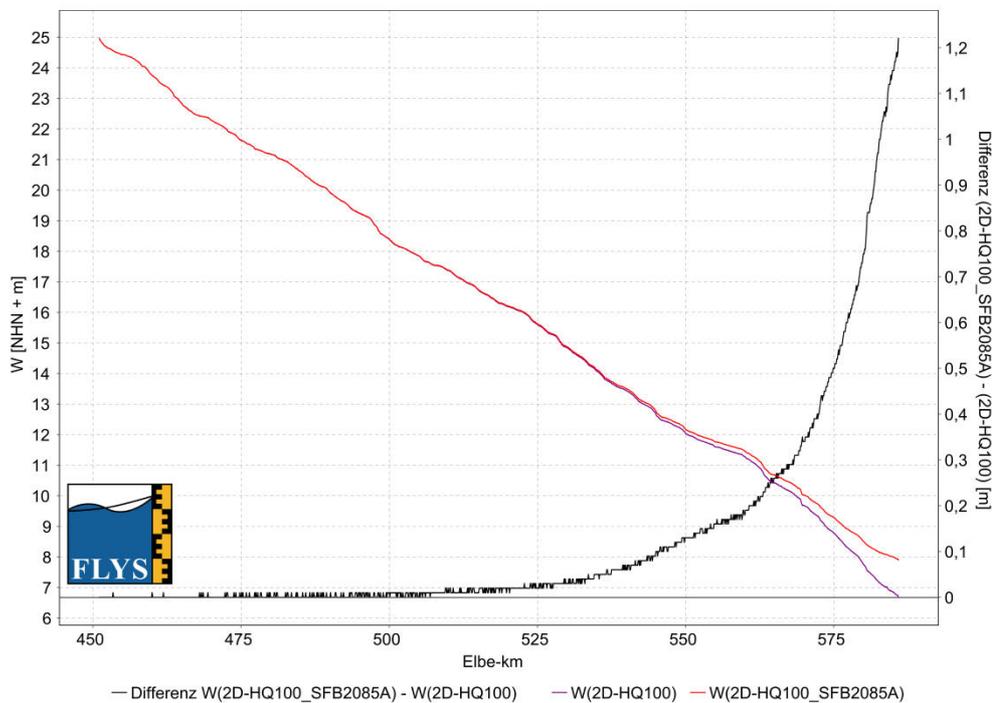


Abb. 56: Erhöhung der Wasserstände für ein  $HQ_{100}$  bei Berücksichtigung des Sturmflutbemessungsszenarios SFB2085A als untere Randbedingung des 2D-Modells

## 11.3 Extrapolation von Abflusskurven im Extrembereich

2D-Modelle können in vielen Fällen gezielt für die Verifizierung von Abflusskurven eingesetzt werden. Vor allem im Hochwasserast für extreme Abflüsse, die nur durch wenige Messungen belegt sind, lassen sich so Unsicherheiten verringern. Für Abflussbereiche, in denen bisher noch gar keine Messungen vorliegen, ist die Extrapolation der W-Q-Beziehungen mit modellgestützten Daten möglich. „Dieser Erkenntnisgewinn ist volkswirtschaftlich von hohem Wert, weil hier Bemessungsabflüsse als Grundlage des Hochwasserschutzes, der -vorsorge und der -bewältigung generiert werden...“ (von Kalm et al., 2014).

Anhand der Abflusskurve Neu Darchau (Abb. 57) soll das Vorgehen (siehe detailliert in: von Kalm et al., 2014) beispielhaft illustriert werden. Dargestellt ist die offizielle Abflusskurve, die rückwirkend seit dem 01.11.2012 gültig ist und nur bis in den Abflussbereich  $>HQ_{50}$  reicht. Die mit dem 2D-Modell für die stationären Abflusszustände berechneten Wasserstände für gewässerkundliche Haupt- und Extremwerte (siehe Tab. 19) sind ebenfalls aufgetragen und können bereits einen ersten Hinweis auf den möglichen Kurvenverlauf im Bereich extremer Hochwasser  $>HQ_{100}$  geben.

Die BfG wurde vom WSA Magdeburg beauftragt, im Rahmen einer Zusammenarbeit mit WSV, LTV, LfULG Sachsen und der Technischen Hochschule Nürnberg entsprechende 2D-Untersuchungen zur Verifizierung der Abflusskurve am Pegel Dresden durchzuführen. Diese Arbeiten sollen 2015 abgeschlossen werden. Die BfG plant im Jahr 2015 darüber hinaus, das 2D-Modell der unteren Mittel-  
elbe einzusetzen, um für den Pegel Neu Darchau diesbezüglich weitergehende Erkenntnisse zu generieren.

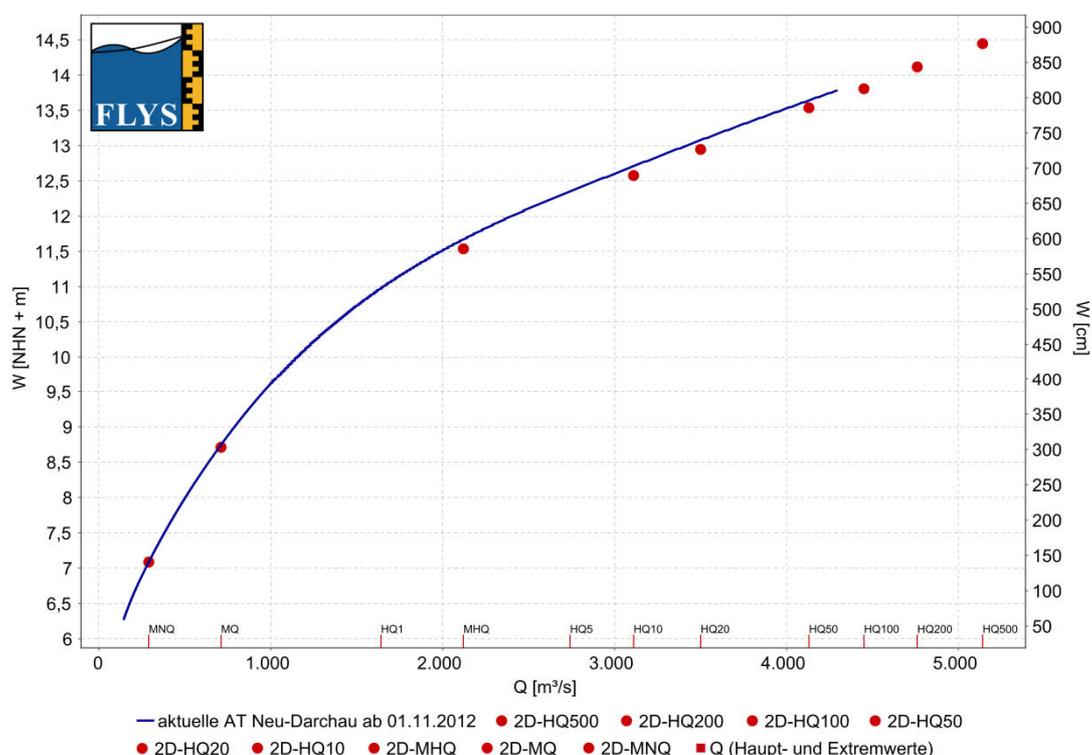


Abb. 57: Möglichkeiten der Extrapolation von Abflusskurven auf Basis von 2D-Modell-  
ergebnissen (dargestellt am Beispiel des Pegels Neu Darchau)

## 11.4 2D-Wasseroberflächen und Strömungsvektoren

Im Gegensatz zur 1D-Modellierung, die berechnete Wasserspiegellagen zuvorderst für den Stromstrich liefert, ergibt sich aus der 2D-Modellierung eine Vielzahl weiterer Datenbestände/-formate, die für die flächenhafte Auswertung der hydraulischen, morphologischen oder ökologischen Situation am Gewässer herangezogen werden können. Hierzu zählen u.a. die Wasseroberflächen, die typischerweise als Tiefenlinienpläne dargestellt werden (Abb. 58). Diese liegen für alle neun stationären Abflusszustände (vgl. Kap. 11.1) zwischen MNQ und HQ<sub>500</sub> für den gesamten Modellbereich vor und bieten zahlreiche Möglichkeiten zur weiteren Analyse, beispielsweise um ...

- ... Querneigungen der Wasserspiegellagen identifizieren/quantifizieren zu können, und so Berechnungen aus 1D- und 2D-Modellen sowie Messungen in Gewässermitte (z.B. Fixierungen bei Treibfahrten) und am Ufer (Geschwemmsellinien) in ein besseres Verhältnis setzen zu können (vgl. hierzu auch: BfG, 2014b),
- ...Modellannahmen (z.B. die Definition von Querprofilspuren als Linien gleichen Wasserstands), die zur Erstellung von 1D-Modellen getroffen werden, plausibilisieren zu können,
- ... um Flächen in der Gewässeraue hinsichtlich ihrer Überflutungstiefe bei unterschiedlichen Abflusszuständen bewerten zu können, daraus statistische Überflutungsdauern und -häufigkeiten abzuleiten und so ökologische Standortbedingungen besser beurteilen zu können.

Speziell zur Beantwortung ökologischer und morphologischer Fragestellungen spielen Darstellungen tiefengemittelter Strömungsvektoren, wie sie bereits im Rahmen dieses Berichtes ausgewertet wurden (vgl. z. B. Kapitel 5) eine besondere Rolle. Diese können ebenfalls der 2D-Modellierung entnommen werden und liegen für alle berechneten Abflusszustände vor (vgl. Abb. 59).

2D-Modellierung an  
der unteren Mittelelbe  
zwischen Wittenberge  
und Geesthacht

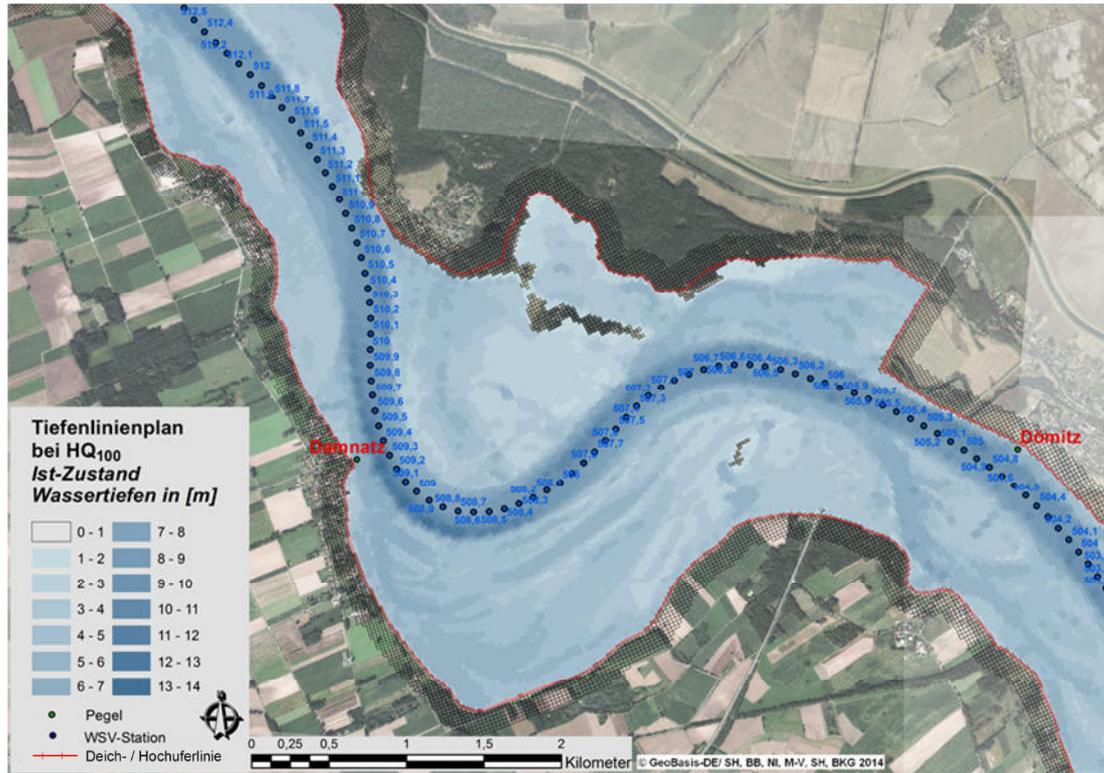


Abb. 58: Tiefenlinienplan für einen stationären Abfluss von HQ<sub>100</sub> auf Basis von 2D-Modellergebnissen (Bereich Dömitz bis Damnitz; Hintergrund: Orthofotos des BKG, 2014)

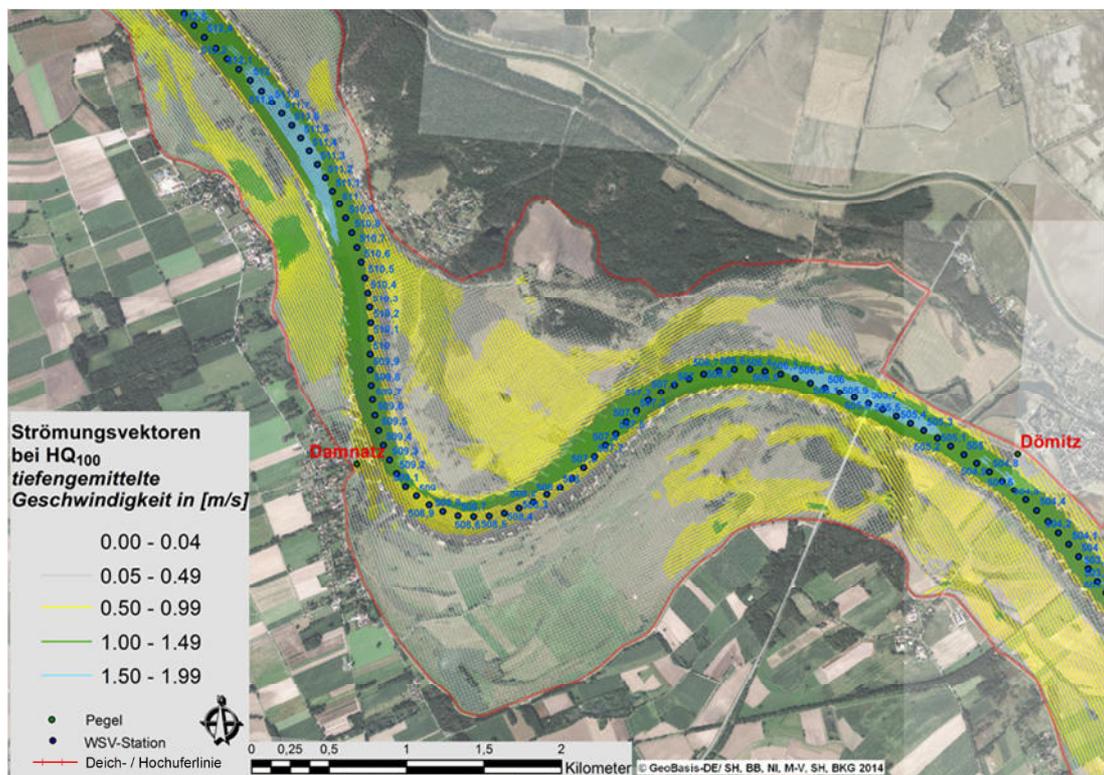


Abb. 59: Tiefengemittelte Strömungsvektoren für einen stationären Abfluss von HQ<sub>100</sub> auf Basis von 2D-Modellergebnissen (Bereich Dömitz bis Damnitz; Hintergrund: Orthofotos des BKG, 2014)

## 12 Zusammenfassung der Ergebnisse, Empfehlungen und Ausblick

Im Rahmen der Kooperation der Bundesländer Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern, Schleswig-Holstein sowie der Bundesanstalt für Gewässerkunde wurden die Grundlagen für Untersuchungen zur Wirkung abflussverbessernder Maßnahmen auf den Vorländern der Elbe zwischen Wittenberge und Geesthacht aktualisiert und ein 2D-hydrodynamisches Modell zur Analyse der Strömungsverhältnisse der unteren Mittelbe geschaffen. Das Modell umfasst die gesamte Fließstrecke zwischen dem Pegel Wittenberge und dem Wehr Geesthacht inklusive der Vorländer. Es ist anhand der Wasserspiegelfixierung vom Januarhochwasser 2011 sowie der Mittelwasserfixierung vom Juni 2005 stationär kalibriert. Die Validierungen mittels gemessener Wasserstände der Mittelwasserfixierung von 2007 sowie des Hochwassers vom Juni 2013 zeigen, dass das Modell geeignet ist, die Strömungszustände im Ist-Zustand gut wiederzugeben. Die modellierten Auswirkungen von abflussverbessernden, vegetationsbezogenen Maßnahmenzuständen (z.B. Gehölzrückschnitt) werden ebenfalls als verlässlich eingestuft, da insbesondere die Rauheitswirkung der Vegetation mit einem physikalisch basierten Ansatz abgebildet wird. Auch Maßnahmen, die die Topografie der Vorländer verändern (z.B. Flutrinnen) oder neue Flächen erschließen (Deichrückverlegungen) können aufgrund der gewählten Modellauflösung (25 m) adäquat abgebildet werden. Nachgewiesen wurde dies anhand des im Bearbeitungszeitraum eingetretenen Hochwasserereignisses vom Juni 2013 für die Deichrückverlegung Lenzen (Anhang 5).

### **Wirkung der untersuchten abflussverbessernden Maßnahmen**

Jede abflussverbessernde Maßnahme kann ihre Wirkung bei strömendem Abfluss grundsätzlich nur in Richtung oberstrom entfalten. Die stärkste Wirkung wird am oberstrom gelegenen Ende der Maßnahme erzielt und klingt in Richtung oberstrom dann je nach den dortigen Verhältnissen mehr oder weniger schnell ab, im Bereich der unteren Mittelbe bei extremen Hochwasserständen meist über eine Strecke von ca. 30-50 km.

Mit dem Modell konnte gezeigt werden, dass die ermittelten großräumigen Auswirkungen der untersuchten abflussverbessernden Maßnahmen (hier: 54 vegetationsbezogene Maßnahmen, vgl. Kapitel 6, sowie 40 topografiebeeinflussende Maßnahmen, vgl. Kapitel 7) eine Wasserspiegelabsenkung im HQ<sub>100</sub>-Fall (bei summarischer Betrachtung) im Maximum in der Größenordnung von einem Dezimeter ergeben (vgl. Kapitel 8). Sie fallen damit geringer aus als zu Projektbeginn erwartet (vgl. hierzu auch Anhang 8: Analyse der hydrologischen Situation zwischen 1980 und 2013).

Da vegetationsreduzierende Maßnahmen vergleichsweise schnell umgesetzt werden können, konnte mit sieben vorgezogenen und zum Teil bereits umgesetzten Maßnahmen kurzfristig eine Verbesserung des Abflusses in einigen Bereichen erreicht werden. Ein Vergleich der damit möglichen Absenkung mit der berechneten Absenkung bei Umsetzung aller 54 Vegeta-

tionsmaßnahmen zeigt, dass die wirksamsten Maßnahmen ausgewählt wurden (etwa 40 % der Wirkung aller Maßnahmen bei ca. 24 % der gesamten Maßnahmenfläche, vgl. Abb. 36).

Deichrückverlegungen und Umflutgerinne können wirksamere Maßnahmen sein - sofern sie in ihrer Lage am Gewässer (z.B. im Bereich von Engstellen) und in ihrer Ausgestaltung (Anströmung, Flächengröße, Vegetationsstruktur) optimal projektiert sind. Als Beispiel für eine besonders wirksame Maßnahme ist die im Jahre 2009 realisierte DRV in Lenzen zu nennen. Diese wirkt großräumig über mehr als 40 km nach oberstrom und wies beim Hochwasser von Juni 2013 maximale Wasserstandreduktionen im Scheitel von annähernd fünf Dezimetern auf (Anhang 5).

In einer im Rahmen des Projektes vorgenommenen Analyse der Vorland- und Strömungsverhältnisse konnten zahlreiche Engstellen zwischen Wittenberge und Geesthacht festgestellt werden (Anhang 7). Beispielhaft wurden bereits erste Simulationsberechnungen mit wenigen Deichrückverlegungsvarianten ausgeführt. Für eine systematischere Untersuchung und Optimierung möglicher Maßnahmen bestand im Rahmen der vorliegenden Untersuchung jedoch keine ausreichende Ressource. Die Projektpartner haben daher den Abschluss einer erneuten Kooperation vereinbart, um in Anwendung des erstellten 2D-Modells weitere abflussverbessernde Maßnahmen, z. B. Deichrückverlegungen, im Detail zu untersuchen und hinsichtlich ihrer wasserstandssenkenden Wirkung zu optimieren.

## **2D-Modelle als Grundlage für die Maßnahmenplanung**

Das hydraulische 2D-Modell hat sich als Instrument zur Berechnung der Wirkung verschiedener Maßnahmen auf die Abflussverbesserung bewährt und bildet eine gute Grundlage für weitere Berechnungen und Maßnahmenplanungen der Länder. Die untersuchten Maßnahmen können lokal bedeutsame Wirkungen auf den Wasserstand herbeiführen, weshalb für zukünftige Auswertungen empfohlen wird, Maßnahmenbewertungen nicht nur für die Gewässermitteln sondern auch für die Anschlaglinie am Deich durchzuführen. Eine solche Auswertung könnte für die in Kapitel 7 und 8 betrachteten Maßnahmen voraussichtlich größere Wasserpiegelabsenkungen ergeben. Die hierzu benötigten Daten aus der 2D-Modellierung liegen bereits jetzt vor und werden den Projektpartnern im Rahmen der Ergebnisdokumentation zusätzlich zu diesem Bericht bereitgestellt.

Für die Planung topografiebeeinflussender Maßnahmen sowie von Deichrückverlegungen sind vielfältige Einflussfaktoren (Querströmungen, Engstellen) zu berücksichtigen. Auch hierfür stellt das Projekt nun die notwendigen Grundlagen zur Verfügung: Eine Engstellenanalyse (Anhang 7), im Wesentlichen basierend auf der Interpretation des erstmals für die gesamte untere Mittel-  
elbe dargestellten Strömungszustands für  $HQ_{100}$  (Strömungsvektoren; Anhang 2) liefert Hinweise auf hydraulisch kritische Gewässerstrecken und gewichtet diese mit Hilfe einer neu entwickelten, noch zu verifizierenden Methode (Kapitel 10) in ihrer Bedeutung untereinander. Eine durchgeführte Analyse des Freibords für die untere Mittel-  
elbe (Kapitel 9 und Anhang 6), bei der die Wasseranschlagslinie bei  $HQ_{100}$  in Bezug zur Deichkronen gesetzt wird, zeigt die Möglichkeit auf, die räumlich hochaufgelösten 2D-Ergebnisse zu nutzen, um Defizite im Hochwasserschutzniveau von Deichen zu identifizieren.

## Ausblick und Empfehlungen für zukünftige Untersuchungen

Infolge der durchgeführten Kooperation wurde das Verständnis der hydraulisch-hydrologischen Verhältnisse an der unteren Mittelbe erheblich verbessert. Es wird offensichtlich, welche Möglichkeiten die 2D-hydrodynamische Modellierung für gewässerkundliche Beschreibung großer Fließgewässerstrecken bieten kann. So wurden (zusätzlich zum Referenzzustand für  $HQ_{100}$  und zu zahlreichen Maßnahmenezuständen) für neun gewässerkundliche Haupt- und Extremwerte zwischen MNQ und  $HQ_{500}$  stationäre Wasserspiegellagen, Tiefenlinienpläne und Strömungsbilder für die gesamte Modellstrecke erzeugt (Kapitel 11). Es ist geplant, einen Großteil dieser Grundlagendaten nicht nur den Kooperationspartnern, sondern der gesamten hydrologischen Fachwelt in Deutschland über den webbasierten Fachdienst FLYS der BfG bereitzustellen.

Die technische Weiterentwicklung ermöglicht es mittlerweile, auch die Modellierung großer Gewässerstrecken, beispielsweise der gesamten Binnenelbe, in Angriff zu nehmen. Hinsichtlich der benötigten Grundlagen bedarf es hierfür einer fortgeführten Aktualisierung der hydrologischen Messdaten (u. a. Wasserspiegelfixierungen und Abflussmessungen für verschiedene Abflüsse, Aufnahmen von Wasseranschlagslinien – z. B. Geschwemmsellinien, Wasser-Land-Grenzen aus Befliegungen – bei bedeutenden Hochwasserereignissen) ebenso wie der Erstellung einer einheitlichen Geodatenbasis in Form eines neuen gemeinsamen digitalen Geländemodells für die deutsche Binnenelbe. Ein übergreifendes, auf solchen aktualisierten Grundlagen basierendes 2D-Modell könnte zukünftig auch als Planungs- und Nachweisinstrument für die überregionale, summarische Bewertung geplanter und erfolgter Hochwasserschutzmaßnahmen eingesetzt werden.

Zahlreiche Abflussmessungen wurden während des Hochwassers im Juni 2013 vorgenommen, die vielfach gesicherte Erkenntnisse über Durchflussänderungen an Pegeln der Elbe lieferten und rückwirkend die Einführung neuer Abflusskurven durch die zuständigen Dienststellen der WSV veranlassten. Messungen und neue Abflusskurven belegen somit u. a. die Auswirkungen morphodynamischer Prozesse auf Durchflüsse und Wasserstände an Elbepegeln. 2D-Modelle können mit ihren Ergebnissen wesentlich dazu beitragen, die Ursache-Wirkungskette, die letztlich zu messbaren Durchfluss- und Wasserstandsänderungen führte, zu schließen. Darüber hinaus sollten diese Ergebnisse zur Plausibilisierung der neuen Abflusskurven insbesondere im Extrapolationsbereich herangezogen werden. Verlässliche Abflusskurven bilden eine der wesentlichen Grundlagen der Gewässerkunde. Wegen dieser großen Bedeutung wird empfohlen, in Zukunft vor Einführung neuer Abflusskurven zum besseren Verständnis der Änderungen und zu deren Plausibilisierung immer begleitende 2D-Berechnungen vorzunehmen.



# Literatur

- AdV (2015): Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem (ATKIS). Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland. Weiterführende Informationen unter [www.adv-online.de](http://www.adv-online.de) (letzter Abruf 25.03.2015)
- Alexy, M. und P. Faulhaber (2011): Hydraulische Wirkung der Deichrückverlegung Lenzen an der Elbe, Wasserwirtschaft, Heft 12, S.17-22
- BAW (2011) (Hrsg.): Modellierung von Sturmflutwasserständen und Seegang in der Tideelbe. BAW-Bericht Nr. A3955 03 10191. Im Auftrag für den Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein. Hamburg, Dezember 2011, 57 S.
- BfG (2014a): Identifikation von Engstellen an der Elbe zwischen Wittenberge und Geesthacht, Kurzdokumentation im Rahmen des Kooperationsprojekts: 2D-Modellierung der unteren Mittelbe von Wittenberge bis Geesthacht vom 11.09.2014
- BfG (2014b): Das Hochwasserextrem des Jahres 2013 in Deutschland: Dokumentation und Analyse, Koblenz, In: Mitteilungen, Nr.31. ISBN 978-3-940247-11-7; herunterladbar unter: [http://doi.bafg.de/BfG/2014/BfG\\_Mitteilungen\\_31.2014.pdf](http://doi.bafg.de/BfG/2014/BfG_Mitteilungen_31.2014.pdf)
- BfG (2014c): Neue Abflusskurven an Elbe und Saale auf der Grundlage von Durchflussmessungen während des Extremhochwassers im Juni 2013, Bericht BfG-1823, Koblenz, 25.03.2014
- BfG (2013a): 2D-Modellierung der unteren Mittelbe von Wittenberge bis Geesthacht – Pilotmodelle Dömitz bis Hitzacker, Zwischenbericht der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz (unveröffentlicht)
- BfG (2013b): Wirkungen von Deichbrüchen, von gesteuerten und ungesteuerten bestehenden Rückhaltungen sowie von geplanten Maßnahmen auf das Hochwasser im Mai/Juni 2013 an der Elbe, Kurzbericht der Bundesanstalt für Gewässerkunde im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (unveröffentlicht)
- BfG (2013c) (Hrsg.): FLYS goes WEB: Eröffnung eines neuen hydrologischen Fachdienstes in der BfG. Kolloquium am 15./16. Mai 2013 in Koblenz. – Veranstaltungen 4/2013, Koblenz, Mai 2013, 164 S.; DOI: 10.5675/BfG\_Veranst\_2013.4; URL: [http://doi.bafg.de/BfG/2013/Veranst4\\_2013.pdf](http://doi.bafg.de/BfG/2013/Veranst4_2013.pdf)
- BfG (2012): Ermittlung des Einflusses der Flutung der Havelniederung auf Hochwasser an der Elbe im Bereich des HQ100, Erstellt im Rahmen des EU-Interreg-Projekts „LABEL – Anpassung an das Hochwasserrisiko im Elbeeinzugsgebiet“. Bericht der Bundesanstalt für Gewässerkunde, BfG-1726, Koblenz. DOI: 10.5675/BfG-1726  
*abrufbar unter:* <http://doi.bafg.de/BfG/2014/BfG-1726.pdf>
- BfG (2010): Finale Übermittlung der abgestimmten Auswertergebnisse zur Freibordanalyse an die Länder durch den Projektbearbeiter in der BfG via E-Mail am 15.03.2010 (Mecklenburg-Vorpommern) bzw. 19.10.2010 (Niedersachsen). BfG, Koblenz

- BfG (2009): Einheitliche Grundlage für die Festlegung der Bemessungswasserspiegellage der Elbe auf der frei fließenden Strecke in Deutschland. Bericht der Bundesanstalt für Gewässerkunde, BfG-1650, Koblenz. DOI: 10.5675/BfG-1650  
*abrufbar unter:* <http://doi.bafg.de/BfG/2014/BfG-1650.pdf>
- BfG (2008): Auswertung digitaler Fernerkundungsaufnahmen des Elbe-Wasserlaufs (FE-Datenauswertung Elbe). Bericht der Bundesanstalt für Gewässerkunde, BfG-1580, Koblenz
- BfG (2006): Modellgestützter Nachweis der Auswirkungen von geplanten Rückhaltemaßnahmen in Sachsen und Sachsen-Anhalt auf Hochwasser der Elbe, Bericht der Bundesanstalt für Gewässerkunde BfG-1542, Koblenz. DOI: 10.5675/BfG-1542  
*abrufbar unter:* <http://doi.bafg.de/BfG/2014/BfG-1542.pdf>
- BKG (2009): Digitales Landbedeckungsmodell für Deutschland DLM-DE2009. Dokumentation mit Stand vom 30.03.2012, Frankfurt am Main: Bundesamt für Kartografie und Geodäsie
- Damm, C. (2013a): Deichrückverlegung Lenzen-Wustrow – Geschichte und Umsetzung im Rahmen eines Naturschutzgroßprojektes. In: BAW Mitteilungen Nr. 97, Karlsruhe
- Damm, C. (2013b): Deichrückverlegung Lenzen – Kurzübersicht und Perspektiven eines Pilotprojektes. In: Felinks, B., Ehlert, T. und Neukirchen, B. (Hrsg.): Perspektiven einer nachhaltigen Gewässer- und Auenentwicklung, BfN-Skripten 354, Bundesamtes für Naturschutz, S. 79-87, Bonn
- Deltares (2011): Delft3D-FLOW User Manual, Version: 3.15, 7. September 2011.
- DIN 19712 (1997): Flussdeiche
- DVWK (1991): Hydraulische Berechnung von Fließgewässern. Merkblätter zur Wasserwirtschaft. 220/1991
- Faulhaber, P., B. Bleyel und M. Alexy (2013): Übersicht der hydraulisch-morphologischen Modelluntersuchungen zwischen 1995 und 2010, Mitteilungen der Bundesanstalt für Wasserbau, Heft 97, Karlsruhe
- Grundig, R.-D. (2011): Fotos (verändert) via <https://geolocation.ws/v/I/5562072154900969073-5619509351632700450/elbe-dmitz/en> und <https://geolocation.ws/v/I/5562072154900969073-5619509378870259554/elbe-bei-dmitz/en> (letzter Abruf 09.04.2015)
- HKV (2013): Delft3D-Modell für die Pilotstrecke Langendorf-Neu Darchau an der unteren mittleren Elbe und Rechennetz Wittenberge bis Geesthacht. Projektbericht PR2516.10 -20. -30, HKV Hydrokontor, Aachen (unveröffentlicht)
- Hoefsloot, F., W.W. Immerzeel, U. Pakes und R. van der Veen (1999): GIS and SOBEK modelling: A manual for constructing schematizations. Rijkswaaterstaat Directie Oost-Nederland, RIZA Working document 99.121X, Arnheim
- IKSE (2012): Abschlussbericht über die Erfüllung des Aktionsplans Hochwasserschutz Elbe 2003 - 2011, Internationale Kommission zum Schutz der Elbe (Hrsg.), Magdeburg
- Kaiser, T. (2014): FFH-Verträglichkeitsuntersuchung, Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, Betriebsstelle Lüneburg

- Klopstra, D., H. J. Barneveld, J. M. van Noortwijk, und E. H. van Velzen (1997): Analytical model for hydraulic roughness of submerged vegetation. Presented at: The 27th Congress of the International Association for Hydraulic Research, San Francisco, 1997. Proceedings of Theme A. pages 775-780, American Society of Civil Engineers (ASCE), New-York, 1997. ISBN: 90-77051-03-1
- Klopstra, D., H. J. Barneveld und J. M. van Noortwijk (1996): Analytisch model hydraulische ruwheid van overstroomde moerasvegetatie. Tech. Rep. PR051, HKV consultants, Leystad, The Netherlands. Commissioned by Rijkswaterstaat/RIZA, The Netherlands
- Kutschera, G., H. Barneveld, B. Mehlig, M. Brinkmann und R. Lammersen (2011): Abfluss- und Strukturverbesserung am Niederrhein - ein hydraulischer Ansatz zur Vereinbarkeit von Hochwasserschutz und Strukturverbesserung; Forum für Hydrologie und Wasserwirtschaft, Heft 30.11, ISBN: 978-3-941897-79-3
- Liu, H.L., G. T. Liang, S. Q. Wu, und Z.W. Ji (2002): Application of the Delft Numerical models in the Lower Yellow River. uuid:a7c2a75e-9308-4e3b-9018-895575f5ff17, External Research Report, TU Delft, Niederlande
- OpenDA Association (2015): Website der OpenDa-Association unter [www.openda.org](http://www.openda.org) (letzter Abruf: 25.03.2015)
- Pohl, R. (2013): Freibordbemessung an Hochwasserschutzanlagen. 36. Dresdner Wasserbaukolloquium 2013 „Technischer und organisatorischer Hochwasserschutz“, 07. - 08. März 2013. Wasserbauliche Mitteilungen der Technischen Universität Dresden, Heft 48, Seite 123 - 133
- Promny, M., M. Hammer und N. Busch (2014): Untersuchungen zur Wirkung der Deichrückverlegung Lenzen auf das Hochwasser vom Juni 2013 an der unteren Mittelbe, KW - Korrespondenz Wasserwirtschaft, Nr. 6, S. 344-349, DOI: 10.3243/kwe2014.06.004
- SMI (2012) (Hrsg.): Labe-ELBE 2012 PLUS - Ergebnisse und Empfehlungen aus dem Projekt LABEL. Sächsisches Staatsministerium des Inneren (Lead Partner), 55 Seiten
- van Rijn, L. (1984): Sediment Transport, Part III: Bed forms and Alluvial Roughness. Journal of Hydraulic Engineering, 110(12), S. 1733–1754
- van Velzen, E.H., P. Jesse, P. Cornelissen und H. Coops (2003): Stromingsweerstand vegetatie in uiterwaarden. Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat. ISBN 9036956439, Arnhem, Niederlande
- van Vuren, S. und H. Havinga (2012): Preparing self supporting river systems: How to cope with excessive maintenance dredging? In: R. Murillo Munoz (Ed.), River Flow 2012: Proceedings of the sixth edition of the international conference on fluvial hydraulics, S. 1253-1261, London
- von Kalm, T., T. Sönnichsen und H. Wiebe (2014): Stimmt die W/Q-Beziehung bei höchsten Abflüssen? Wasserwirtschaft. Ausgabe 11/2014. Seite 10-15



# Anhänge



# Übersicht der Anhänge

Anhang 1: Betrachtete vegetationsbezogene und topografiebeeinflussende Maßnahmen .....	103
Anhang 2: Darstellung des Strömungsbildes bei HQ <sub>100</sub> .....	107
Anhang 3: Sensitivitätsstudie zur maximalen Rauheitswirkung der Vegetation auf die Wasserspiegellagen bei einem stationären Abfluss von HQ <sub>100</sub> und Vergleich mit 1D-Simulationsergebnissen.....	137
Anhang 4: Sensitivitätsstudie zur maximalen Rauheitswirkung der Vegetation auf den Hochwasserwellenablauf (instationär) .....	141
Anhang 5: Auswirkung der Deichrückverlegung Lenzen auf das Hochwasser 2013 .....	151
Anhang 6: Deichhöhen, Wasserstände am Deich und Freiborde entlang der Untersuchungsstrecke .....	155
Anhang 7: Analyse zur Identifikation von Engstellen.....	161
Anhang 8: Beurteilung der hydrologischen Situation an der unteren Mittel- elbe im Zeitraum 1980 bis 2013.....	195
Anhang 9: Bilder der Bereisung vom Januar 2013.....	205

## Verzeichnis der Abbildungen im Anhang

Abb. A.1	Tiefengemittelte Strömungsvektoren bei $HQ_{100}$ im Referenzzustand, ca. Elbe-km 452 bis 461,5 .....	108
Abb. A.2	Tiefengemittelte Strömungsvektoren bei $HQ_{100}$ im Referenzzustand, ca. Elbe-km 461,5 bis 473,5 .....	109
Abb. A.3	Tiefengemittelte Strömungsvektoren bei $HQ_{100}$ im Referenzzustand, ca. Elbe-km 473,5 bis 481 .....	110
Abb. A.4	Tiefengemittelte Strömungsvektoren bei $HQ_{100}$ im Referenzzustand, ca. Elbe-km 481 bis 489 .....	111
Abb. A.5	Tiefengemittelte Strömungsvektoren bei $HQ_{100}$ im Referenzzustand, ca. Elbe-km 489 bis 498 .....	112
Abb. A.6	Tiefengemittelte Strömungsvektoren bei $HQ_{100}$ im Referenzzustand, ca. Elbe-km 498 bis 503,5 .....	113
Abb. A.7	Tiefengemittelte Strömungsvektoren bei $HQ_{100}$ im Referenzzustand, ca. Elbe-km 503,5 bis 512 .....	114
Abb. A.8	Tiefengemittelte Strömungsvektoren bei $HQ_{100}$ im Referenzzustand, ca. Elbe-km 512 bis 521 .....	115
Abb. A.9	Tiefengemittelte Strömungsvektoren bei $HQ_{100}$ im Referenzzustand, ca. Elbe-km 521 bis 527,5 .....	116
Abb. A.10	Tiefengemittelte Strömungsvektoren bei $HQ_{100}$ im Referenzzustand, ca. Elbe-km 527,5 bis 534 .....	117
Abb. A.11	Tiefengemittelte Strömungsvektoren bei $HQ_{100}$ im Referenzzustand, ca. Elbe-km 534 bis 542 .....	118
Abb. A.12	Tiefengemittelte Strömungsvektoren bei $HQ_{100}$ im Referenzzustand, ca. Elbe-km 542 bis 549 .....	119
Abb. A.13	Tiefengemittelte Strömungsvektoren bei $HQ_{100}$ im Referenzzustand, ca. Elbe-km 549 bis 554 .....	120
Abb. A.14	Tiefengemittelte Strömungsvektoren bei $HQ_{100}$ im Referenzzustand, ca. Elbe-km 554 bis 563 .....	121
Abb. A.15	Tiefengemittelte Strömungsvektoren bei $HQ_{100}$ im Referenzzustand, ca. Elbe-km 563 bis 570,5 .....	122
Abb. A.16	Tiefengemittelte Strömungsvektoren bei $HQ_{100}$ im Referenzzustand, ca. Elbe-km 570,5 bis 578 .....	123
Abb. A.17	Tiefengemittelte Strömungsvektoren bei $HQ_{100}$ im Referenzzustand, ca. Elbe-km 578 bis 586 .....	124
Abb. A.18	Differenz der Strömungsvektoren bei $HQ_{100}$ , ca. Elbe-km 477 bis 485,5 .....	125
Abb. A.19	Differenz der Strömungsvektoren bei $HQ_{100}$ , ca. Elbe-km 488,5 bis 495 .....	126
Abb. A.20	Differenz der Strömungsvektoren bei $HQ_{100}$ , ca. Elbe-km 502,5 bis 511,5 .....	127
Abb. A.21	Differenz der Strömungsvektoren bei $HQ_{100}$ , ca. Elbe-km 508 bis 516 .....	128
Abb. A.22	Differenz der Strömungsvektoren bei $HQ_{100}$ , ca. Elbe-km 517 bis 525 .....	129
Abb. A.23	Differenz der Strömungsvektoren bei $HQ_{100}$ , ca. Elbe-km 526 bis 532 .....	130
Abb. A.24	Differenz der Strömungsvektoren bei $HQ_{100}$ , ca. Elbe-km 533 bis 539 .....	131

Abb. A.25	Differenz der Strömungsvektoren bei HQ <sub>100</sub> , ca. Elbe-km 541,5 bis 549 .....	132
Abb. A.26	Differenz der Strömungsvektoren bei HQ <sub>100</sub> , ca. Elbe-km 549,5 bis 554,5 .....	133
Abb. A.27	Differenz der Strömungsvektoren bei HQ <sub>100</sub> , ca. Elbe-km 554 bis 563 .....	134
Abb. A.28	Differenz der Strömungsvektoren bei HQ <sub>100</sub> , ca. Elbe-km 563 bis 570 .....	135
Abb. A.29	Differenz der Strömungsvektoren bei HQ <sub>100</sub> , ca. Elbe-km 578 bis 586 .....	136
Abb. A.30	Wasserspiegellagenänderungen im Vergleich zum Ist-Zustand bei Annahme extrem hoher Rauheiten sowie extrem niedriger Rauheiten .....	138
Abb. A.31	Methode zur Ermittlung der Eintrittszeitpunkte der Scheitelwerte .....	142
Abb. A.32	Verlauf der gemessenen Wasserstandsganglinie des HW 2000 am Pegel Neu Darchau im Ist-Zustand sowie der modellierten Wasserstandsganglinie für den Ist-Zustand, den Zustand „nur Gras“ sowie „nur Wald“ und ermittelte Scheitelwerte .....	146
Abb. A.33	Verlauf des aus der Abflusskurve berechneten Durchflusses des HW 2000 am Pegel Neu Darchau im Ist-Zustand sowie der modellierten Durchflüsse für den Ist-Zustand (blau), den Zustand „nur Gras“ sowie „nur Wald“ und ermittelte Scheitelwerte .....	146
Abb. A.34	Verlauf der gemessenen Wasserstandsganglinie des HW 2002 am Pegel Neu Darchau im Ist-Zustand sowie der modellierten Wasserstandsganglinie (ohne Deichbrüche) für den Ist-Zustand, den Zustand „nur Gras“ sowie „nur Wald“ und ermittelte Scheitelwerte .....	147
Abb. A.35	Verlauf des aus der Abflusskurve berechneten Durchflusses des HW 2002 am Pegel Neu Darchau im Ist-Zustand sowie der modellierten Durchflüsse (ohne Deichbrüche) für den Ist-Zustand, den Zustand „nur Gras“ sowie „nur Wald“ und ermittelte Scheitelwerte .....	147
Abb. A.36	Verlauf der gemessenen Wasserstandsganglinie des HW 2006 am Pegel Neu Darchau im Ist-Zustand sowie der modellierten Wasserstandsganglinie für den Ist-Zustand, den Zustand „nur Gras“ sowie „nur Wald“ und ermittelte Scheitelwerte .....	148
Abb. A.37	Verlauf des aus der Abflusskurve berechneten Durchflusses des HW 2006 am Pegel Neu Darchau im Ist-Zustand sowie der modellierten Durchflüsse für den Ist-Zustand, den Zustand „nur Gras“ sowie „nur Wald“ und ermittelte Scheitelwerte .....	148
Abb. A.38	Verlauf der gemessenen Wasserstandsganglinie des HW 2013 am Pegel Neu Darchau im Ist-Zustand sowie der modellierten Wasserstandsganglinie für den Ist-Zustand, den Zustand „nur Gras“ sowie „nur Wald“ und ermittelte Scheitelwerte .....	149
Abb. A.39	Verlauf des aus der Abflusskurve berechneten Durchflusses des HW 2013 am Pegel Neu Darchau im Ist-Zustand sowie der modellierten Durchflüsse für den Ist-Zustand, den Zustand „nur Gras“ sowie „nur Wald“ und ermittelte Scheitelwerte .....	149
Abb. A.40	Gemessene Scheitelwasserspiegellagen an der unteren Mittelbe bei den HW Juni 2013 und April 2006 und sich ergebende Differenzlinie .....	152
Abb. A.41	Modellierte Wasserspiegeldifferenz entlang der Gewässerachse aus den Zuständen mit und ohne DRV Lenzen für den Maximalabfluss des HW 2013 (stationäre Rechnung). .....	153
Abb. A.42	Modellierte Wasserspiegelganglinie am Pegel Neu Darchau mit bzw. ohne Deichrückverlegung Lenzen .....	153
Abb. A.43	Differenzvektoren der Strömungsgeschwindigkeit im unteren Bereich der DRV Lenzen (Schlitze 5 und 6) aus den Zuständen mit und ohne DRV für den Scheitelabfluss des HW 2013 (stationäre Rechnung) .....	154
Abb. A.44	Tiefengemittelte Geschwindigkeiten zwischen Wittenberge und Geesthacht bei HQ <sub>100</sub> im IST-Zustand .....	163
Abb. A.45	Wasserspiegellage eines HQ <sub>100</sub> im IST-Zustand .....	164
Abb. A.46	Breite zwischen den Banndeichen von Wittenberge bis Geesthacht .....	164

Abb. A.47	Wasserspiegellagenlängsschnitt im Bereich Elbe-km 450-470.....	165
Abb. A.48	Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Müggendorf.....	166
Abb. A.49	Wasserspiegellagenlängsschnitt im Bereich Elbe-km 470-480.....	166
Abb. A.50	Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Lütkenwisch und Schnackenburg.....	167
Abb. A.51	Wasserspiegellagenlängsschnitt im Bereich Elbe-km 480-490.....	168
Abb. A.52	Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Lenzen.....	169
Abb. A.53	Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Vietze .....	169
Abb. A.54	Wasserspiegellagenlängsschnitt im Bereich Elbe-km 490-500.....	170
Abb. A.55	Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Gorleben.....	171
Abb. A.56	Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Besandten.....	172
Abb. A.57	Wasserspiegellagenlängsschnitt im Bereich Elbe-km 500-510.....	173
Abb. A.58	Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Gaarz.....	174
Abb. A.59	Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Dömitz.....	175
Abb. A.60	Wasserspiegellagenlängsschnitt im Bereich Elbe-km 510-520.....	175
Abb. A.61	Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Rüterberg.....	176
Abb. A.62	Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Wehningen .....	177
Abb. A.63	Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Bohnenburg.....	178
Abb. A.64	Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Strachau.....	179
Abb. A.65	Wasserspiegellagenlängsschnitt im Bereich Elbe-km 520-530.....	179
Abb. A.66	Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Bitter und Tiessau .....	180
Abb. A.67	Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Privelak .....	181
Abb. A.68	Wasserspiegellagenlängsschnitt im Bereich Elbe-km 530-540.....	181
Abb. A.69	Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Schutschur.....	182
Abb. A.70	Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Neu Darchau .....	183
Abb. A.71	Wasserspiegellagenlängsschnitt im Bereich Elbe-km 540-550.....	183
Abb. A.72	Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Viehle.....	184
Abb. A.73	Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Stiepelse .....	185
Abb. A.74	Wasserspiegellagenlängsschnitt im Bereich Elbe-km 550-560.....	185
Abb. A.75	Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Bleckede.....	186
Abb. A.76	Wasserspiegellagenlängsschnitt im Bereich Elbe-km 560-570.....	187
Abb. A.77	Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Boizenburg.....	188
Abb. A.78	Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Barförde/Horst-Lauenburg .....	189
Abb. A.79	Wasserspiegellagenlängsschnitt im Bereich Elbe-km 570-580.....	189
Abb. A.80	Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Hohnstorf .....	190
Abb. A.81	Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Artlenburg.....	191
Abb. A.82	Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Avendorf .....	192
Abb. A.83	Wasserspiegellagenlängsschnitt im Bereich Elbe-km 580-586.....	192
Abb. A.84	Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Tespe.....	193
Abb. A.85	Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Geesthacht.....	194

Abb. A.86	Jährliche Höchstwasserstände am Pegel Boizenburg/Elbe in der Reihe 1895/2013 .....	195
Abb. A.87	Abflussmessungen, aktuell gültige (ab 01.11.2012) und vorhergehende Abflusskurve für den Pegel Wittenberge .....	197
Abb. A.88	Abflussmessungen, aktuell gültige (ab 01.11.2012) und vorhergehende Abflusskurve für Pegel Neu Darchau .....	197
Abb. A.89	Querprofil bei Elbe-km 560,5 (nahe Boizenburg) und gemessener Wasserstand beim Hochwasser 2013 .....	198
Abb. A.90	Abflussganglinien ausgewählter Elbehochwasser am Pegel Wittenberge.....	200
Abb. A.91	Mit dem 1D- Modell berechnete Scheitelabflussreduzierungen für ausgewählte Hochwasser zwischen Wittenberge und Geesthacht .....	201
Abb. A.92	Berechnete Abflusskurve (Zustand 2006) für den Pegel Schnackenburg und gemessene Scheitelwasserstände ausgewählter Hochwasser im Vergleich.....	202
Abb. A.93	Berechnete Abflusskurve (Zustand 2006) für den Pegel Damnatz und gemessene Scheitelwasserstände ausgewählter Hochwasser im Vergleich.....	202
Abb. A.94	Berechnete Abflusskurve (Zustand 2006) für den Pegel Boizenburg und gemessene Scheitelwasserstände ausgewählter Hochwasser im Vergleich.....	203
Abb. A.95	Elbe-km 455 rechts (Wittenberge), Blick stromauf.....	205
Abb. A.96	Elbe-km 477 rechts, Einströmung durch Schlitz 1 der Deichrückverlegung Lenzen am 18. Januar 2013.....	205
Abb. A.97	Bewuchsriegel bei Mödlich im rechten Vorland .....	206
Abb. A.98	Hartholzbewuchs bei Lenzen (Elbe-km 484 rechts).....	206
Abb. A.99	Bewuchs im Bühnenfeldbereich bei Strachau .....	207
Abb. A.100	Bewuchs im Vorland gegenüber Tiessau, ca. Elbe-km 527 rechts .....	207
Abb. A.101	Bewuchs aus Sträuchern, Hart- und Weichholz bei Privelak, ca. Elbe-km 529, rechtes Ufer .....	208
Abb. A.102	Weichholzbewuchs und Schilf bei Elbe-km 548, rechtes Ufer .....	208
Abb. A.103	Wildrettungshügel im Bereich der Deichrückverlegung bei Mahnkenwerder Elbe-km 550,7, rechtes Ufer .....	209
Abb. A.104	Bewuchs im rechten Vorland an der Landesgrenze zwischen Niedersachsen und Mecklenburg-Vorpommern bei Elbe-km 554,5, rechtes Ufer .....	209

## Verzeichnis der Tabellen im Anhang

Tab. A.1	Betrachtete vegetationsbezogene Maßnahmen der Bundesländer .....	103
Tab. A.2	Betrachtete topografiebeeinflussende Maßnahmen der Bundesländer .....	104
Tab. A.3	Berechnete Scheitelwasserstände sowie deren Änderungen bei den Zuständen „nur Gras“ bzw. „nur Wald“ für die Hochwasserereignisse 2000, 2002, 2006 und 2013 ....	142
Tab. A.4	Berechnete Eintrittszeitpunkte des Scheitelwasserstands sowie deren absoluten und prozentualen Änderung bei den Zuständen „nur Gras“ bzw. „nur Wald“ für die Hochwasserereignisse 2000, 2002, 2006 sowie 2013 .....	143
Tab. A.5	Berechnete Scheitelabflüsse sowie deren absolute und prozentuale Änderungen bei den Zuständen „nur Gras“ bzw. „nur Wald“ für die Hochwasserereignisse 2000, 2002, 2006 sowie 2013 .....	143
Tab. A.6	Eintrittszeitpunkt des Scheitelabflusses sowie Änderung bei den Zuständen „nur Gras“ bzw. „nur Wald“ für die Hochwasserereignisse 2000, 2002, 2006 sowie 2013 .....	144
Tab. A.7	Deichhöhen, Wasserstände am Deich und Freiborde für das linke und rechte Ufer im Bereich Elbe-km 451,5 bis 586,0 (500 m-Werte).....	155
Tab. A.8	Identifizierte Engstellen und Einschätzung der Wirksamkeit von DRV .....	161
Tab. A.9	Ausgewertete Hochwasser an Pegeln der unteren Mittel- elbe.....	199

# Anhang 1: Betrachtete vegetationsbezogene und topografiebeeinflussende Maßnahmen

Tab. A.1 Betrachtete vegetationsbezogene Maßnahmen der Bundesländer

Nummer	von Elbe-km	bis Elbe-km	Ufer	Fläche [ha]	Maßnahme
1	476,8	478	links	14,7	Bewuchsreduzierung und Aufastung
2	479,8	480,7	links	9,0	Vollständiger Gehölzrückschnitt
3	483,7	484,5	links	4,9	Bewuchsreduzierung und Aufastung
4	484,3	484,5	links	2,2	Bewuchsreduzierung und Aufastung
5	487,1	488,3	links	7,1	Vollständiger Gehölzrückschnitt
6	488,8	489,5	links	3,1	Vollständiger Gehölzrückschnitt
7	490,3	491,3	links	4,4	Vollständiger Gehölzrückschnitt
8	492,3	493	links	5,9	Vollständiger Gehölzrückschnitt
9	504,3	505,5	links	5,9	Vollständiger Gehölzrückschnitt
10	504,6	504,8	rechts	0,7	Vollständiger Gehölzrückschnitt
11	505,1	505,4	links	2,9	Bewuchsreduzierung und Aufastung
12	506,4	507,8	rechts	4,1	Vollständiger Gehölzrückschnitt
13	507,3	507,5	links	1,2	Vollständiger Gehölzrückschnitt
14	509	509,2	links	5,6	Vollständiger Gehölzrückschnitt
15	510,1	510,7	rechts	0,6	Vollständiger Gehölzrückschnitt
16	511,1	511,5	rechts	1,1	Vollständiger Gehölzrückschnitt
17	511,4	512	links	8,5	Vollständiger Gehölzrückschnitt
18	511,5	513	rechts	7,1	Vollständiger Gehölzrückschnitt
19	512,9	513,5	links	2,6	Vollständiger Gehölzrückschnitt
20	513	513	rechts	0,3	Vollständiger Gehölzrückschnitt
21	513,1	514,4	rechts	12,6	Vollständiger Gehölzrückschnitt
22	513,5	513,9	links	1,6	Vollständiger Gehölzrückschnitt
23	514,2	515	links	2,6	Vollständiger Gehölzrückschnitt
24	516,9	517,1	links	1,9	Vollständiger Gehölzrückschnitt
25	518	518,1	rechts	4,3	Bewuchsreduzierung und Aufastung
26	518,2	518,2	rechts	0,4	Bewuchsreduzierung und Aufastung
27	519,4	519,6	links	2,8	Vollständiger Gehölzrückschnitt
28	523,2	523,7	rechts	2,3	Vollständiger Gehölzrückschnitt
29	523,6	524,7	links	8,2	Vollständiger Gehölzrückschnitt
30	527,9	529,2	rechts	11,9	Vollständiger Gehölzrückschnitt
31	528,5	528,8	links	0,5	Vollständiger Gehölzrückschnitt
32	536,4	537,1	rechts	5,0	Vollständiger Gehölzrückschnitt
33	537,6	538,6	links	10,5	Vollständiger Gehölzrückschnitt

2D-Modellierung an  
der unteren Mittelelbe  
zwischen Wittenberge  
und Geesthacht

Nummer	von Elbe-km	bis Elbe-km	Ufer	Fläche [ha]	Maßnahme
34	544,2	544,3	rechts	1,8	Vollständiger Gehölzrückschnitt
35	544,5	544,5	rechts	0,5	Vollständiger Gehölzrückschnitt
36	544,7	544,9	rechts	1,9	Vollständiger Gehölzrückschnitt
37	548,2	548,2	links	0,1	Vollständiger Gehölzrückschnitt
38	550,2	551	links	8,4	Vollständiger Gehölzrückschnitt
39	550,8	551,2	links	0,6	Vollständiger Gehölzrückschnitt
40	550,4	552,8	rechts	12,0	Vollständiger Gehölzrückschnitt
41	554,3	555,1	rechts	2,7	Vollständiger Gehölzrückschnitt
42	556	557,9	rechts	12,4	Vollständiger Gehölzrückschnitt
43	555,6	556	links	2,2	Vollständiger Gehölzrückschnitt
44	556	556,2	links	3,2	Vollständiger Gehölzrückschnitt
45	556,5	556,8	links	3,4	Vollständiger Gehölzrückschnitt
46	557	557,2	links	2,0	Vollständiger Gehölzrückschnitt
47	558,8	559,4	rechts	5,7	Bewuchsreduzierung und Aufastung
48	561,9	562,3	links	8,0	Vollständiger Gehölzrückschnitt
49	560,4	561,6	rechts	6,2	Bewuchsreduzierung und Aufastung
50	563	563,3	rechts	1,5	Vollständiger Gehölzrückschnitt
51	563,5	564,7	links	4,6	Vollständiger Gehölzrückschnitt
52	564,1	564,2	rechts	1,1	Vollständiger Gehölzrückschnitt
53	565,5	566,1	rechts	3,5	Bewuchsreduzierung und Aufastung
54	582,1	583,1	links	4,5	Vollständiger Gehölzrückschnitt

Tab. A.2 Betrachtete topografiebeeinflussende Maßnahmen der Bundesländer

Nummer	von Elbe-km	bis Elbe-km	Ufer	Fläche [ha]	Maßnahme
1	478,4	478,6	links	1,3	Altarmanschluss
2	484,6	484,6	links	2,3	Vorlandabgrabung
3	484,6	485,4	links	10,2	Vorlandabgrabung
4	489,5	491,9	links	23,1	Altarmanschluss
5	490,8	491,3	links	4,6	Altarmanschluss
6	502,0	502,5	rechts	16,9	Vorlandabgrabung
7	506,0	507,1	rechts	31,1	Vorlandabgrabung
8	507,3	510,2	rechts	14,1	Flutrinne
9	507,6	509,5	rechts	28,2	Vorlandabgrabung
10	510,9	511,9	links	10,4	Altarmanschluss
11	512,5	513,0	links	4,2	Altarmanschluss
12	513,4	514,0	rechts	2,7	Altarmanschluss
13	513,5	513,7	links	1,7	Vorlandabgrabung
14	515,6	515,6	links	0,9	Vorlandabgrabung

Nummer	von Elbe-km	bis Elbe-km	Ufer	Fläche [ha]	Maßnahme
15	518,2	519,7	rechts	6,4	Flutrinne
16	520,8	521,2	rechts	5,7	Altarmanschluss
17	522,8	522,8	links	0,2	Altarmanschluss
18	523,7	524,5	links	4,5	Flutrinne
19	527,0	527,8	links	3,5	Flutrinne
20	529,6	530,0	rechts	4,7	Altarmanschluss
21	531,2	531,3	rechts	2,5	Altarmanschluss
22	533,2	533,7	rechts	5,2	Altarmanschluss
23	541,2	545,0	rechts	42,8	Flutrinne
24	543,9	544,0	links	1,1	Altarmanschluss
25	545,0	548,8	links	43,7	Flutrinne
26	548,8	549,0	links	2,0	Altarmanschluss
27	549,2	549,5	links	2,6	Altarmanschluss
28	549,8	550,0	links	0,9	Vorlandabgrabung
29	550,0	550,2	links	2,3	Vorlandabgrabung
30	550,4	551,5	links	4,4	Altarmanschluss
31	554,2	555,1	rechts	11,9	Vorlandabgrabung
32	555,0	556,8	rechts	15,0	Flutrinne
33	555,1	556,9	rechts	22,1	Vorlandabgrabung
34	555,5	559,1	links	32,4	Altarmanschluss
35	559,8	560,3	links	5,8	Altarmanschluss
36	560,4	561,2	links	10,0	Altarmanschluss
37	561,9	562,3	links	4,2	Altarmanschluss
38	562,0	563,0	rechts	15,8	Vorlandabgrabung
39	564,2	565,5	rechts	17,1	Vorlandabgrabung
40	564,8	568,1	links	52,2	Flutrinne



## Anhang 2: Darstellung des Strömungsbildes bei HQ<sub>100</sub>

Im folgenden Anhang 2 sind die Strömungsvektoren für HQ<sub>100</sub> im Referenzzustand abgebildet (vgl. Kapitel 5). Die Abbildungen erfolgen abschnittsweise von ober- nach unterstrom. Hierin enthalten sind die Stationierung der Elbe mit Angaben im Abstand von 500 m, die Deich- bzw. Hochuferlinien und die Pegel.

Die Strömungsvektoren liegen für die weiteren berechneten Haupt- und Extremwerte des Abflusses ebenfalls vor und werden den Projektpartnern im Rahmen der digitalen Ergebnisdokumentation zusätzlich zu diesem Bericht bereitgestellt.

Anschließend an die Strömungsvektoren sind ab S. 125 die Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen den Zuständen „alle vegetationsbezogenen (Legendeneintrag: Veg) und topografiebeeinflussenden Maßnahmen (Legendeneintrag: Geo)“ und dem Referenzzustand bei HQ<sub>100</sub> dargestellt (vgl. Kapitel 8, Abb. 35). Die Abbildungen erfolgen abschnittsweise von ober- nach unterstrom für alle Bereiche, in denen Differenzen > 0,06 m/s auftreten.

2D-Modellierung an  
der unteren Mittellebe  
zwischen Wittenberge  
und Geesthacht

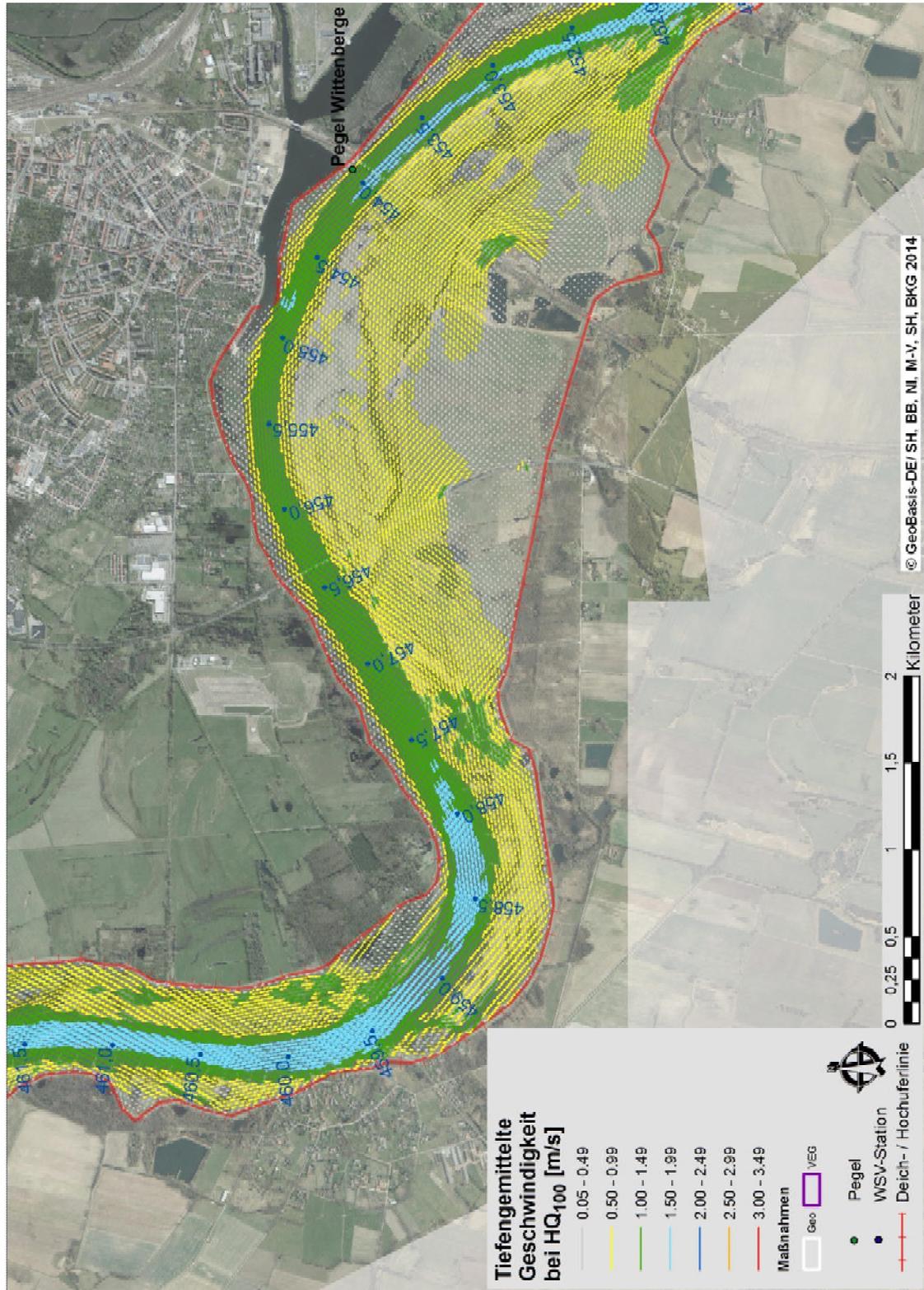


Abb. A.1 Tiefengemittelte Strömungsvektoren bei HQ<sub>100</sub> im Referenzzustand, ca. Elb-  
km 452 bis 461,5

2D-Modellierung an  
der unteren Mittelbe  
zwischen Wittenberge  
und Geesthacht

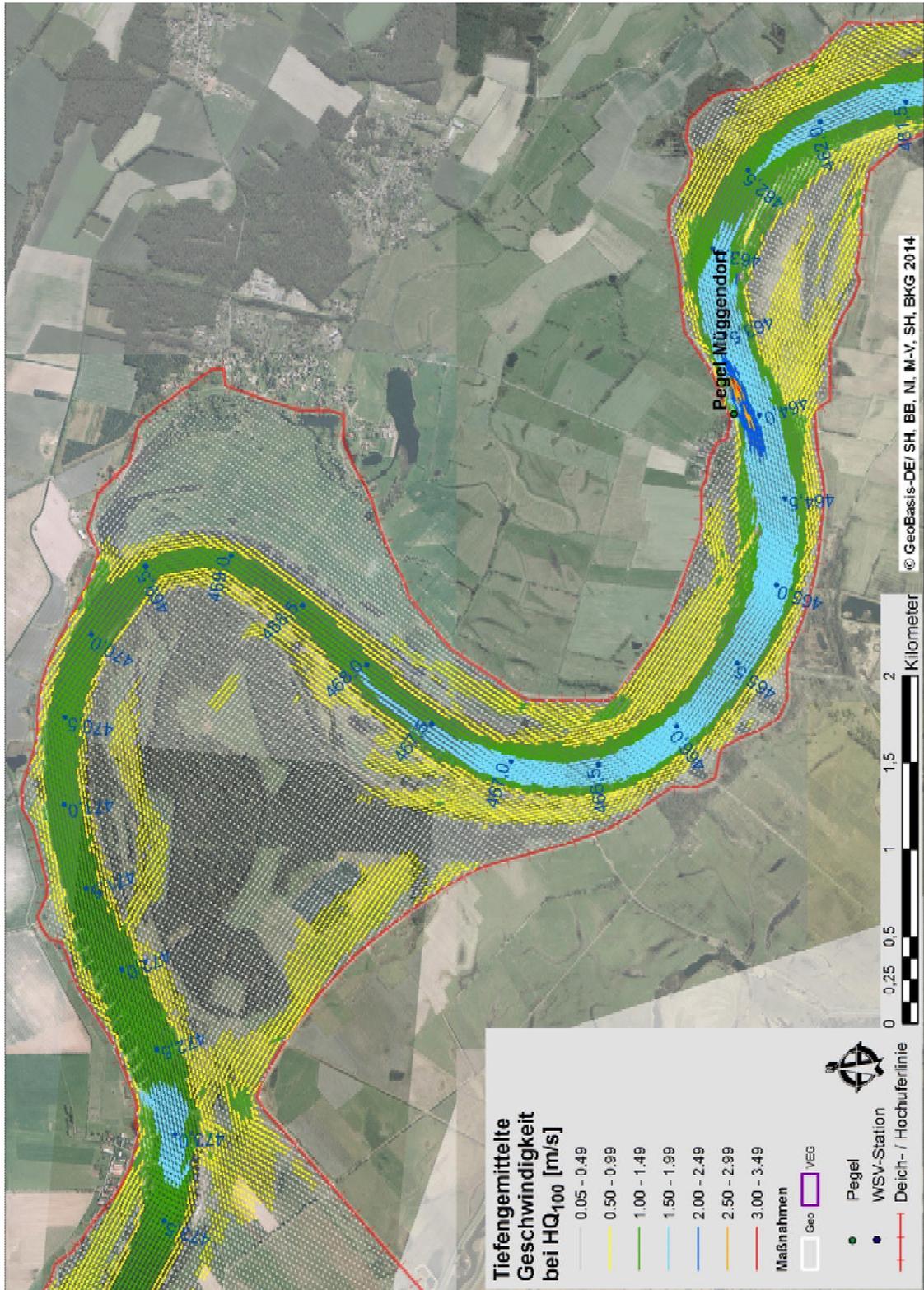


Abb. A.2 Tiefengemittelte Strömungsvektoren bei HQ<sub>100</sub> im Referenzzustand, ca. Elb-  
km 461,5 bis 473,5

2D-Modellierung an  
der unteren Mittelelbe  
zwischen Wittenberge  
und Geesthacht

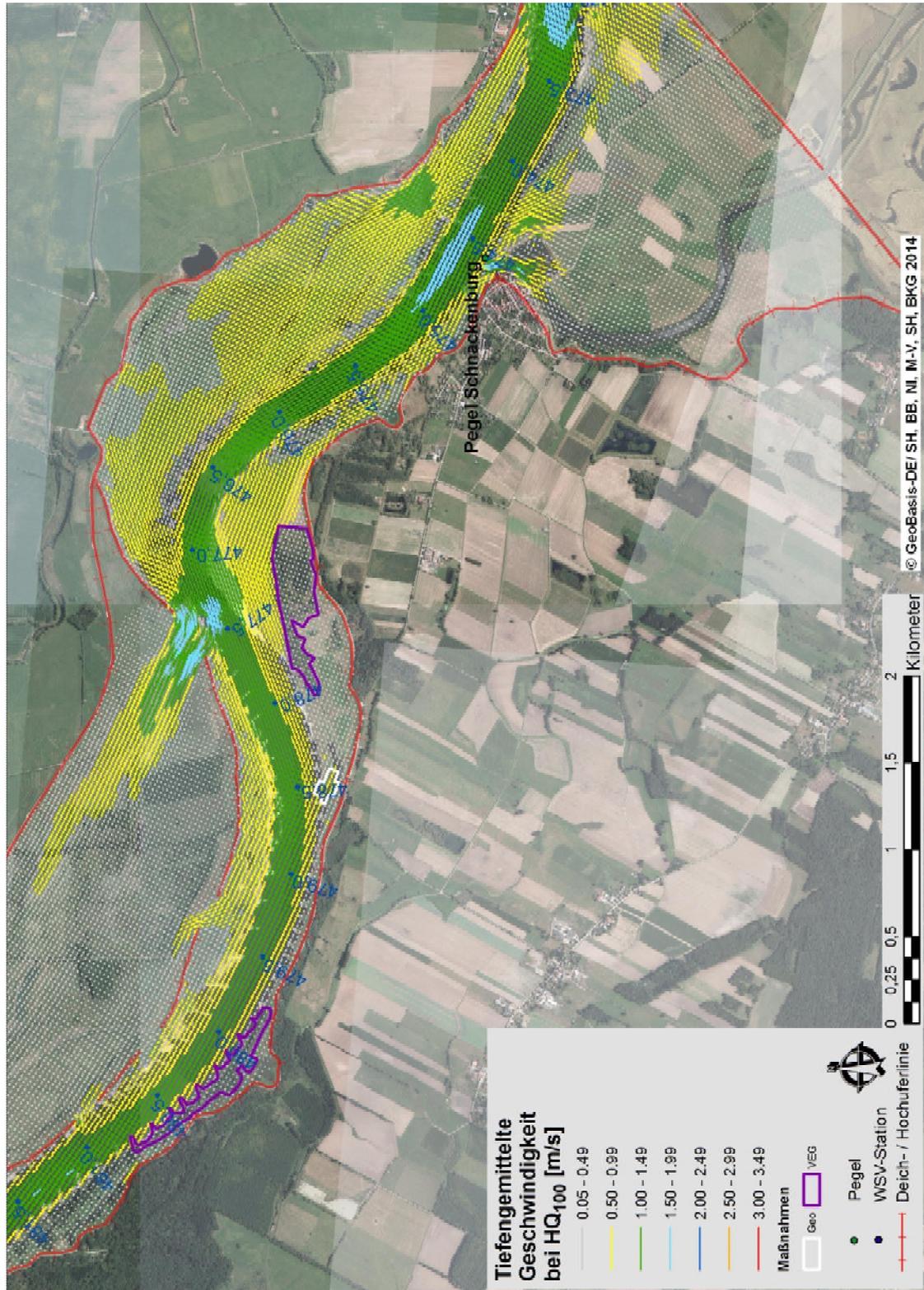


Abb. A.3 Tiefengemittelte Strömungsvektoren bei HQ<sub>100</sub> im Referenzzustand, ca. Elbe-  
km 473,5 bis 481

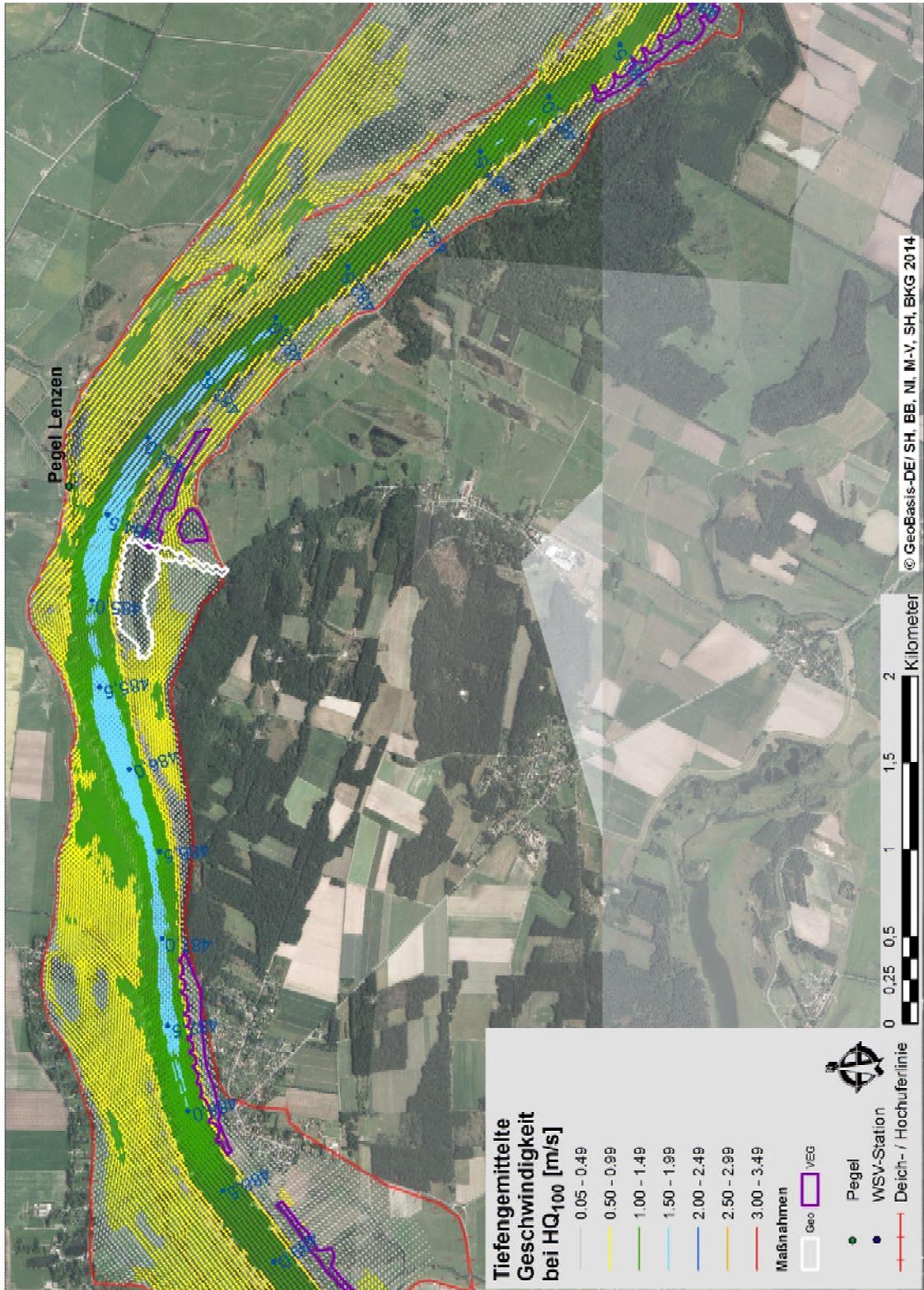


Abb. A.4 Tiefengemittelte Strömungsvektoren bei HQ<sub>100</sub> im Referenzzustand, ca. Elb-  
km 481 bis 489

2D-Modellierung an  
der unteren Mittelelbe  
zwischen Wittenberge  
und Geesthacht

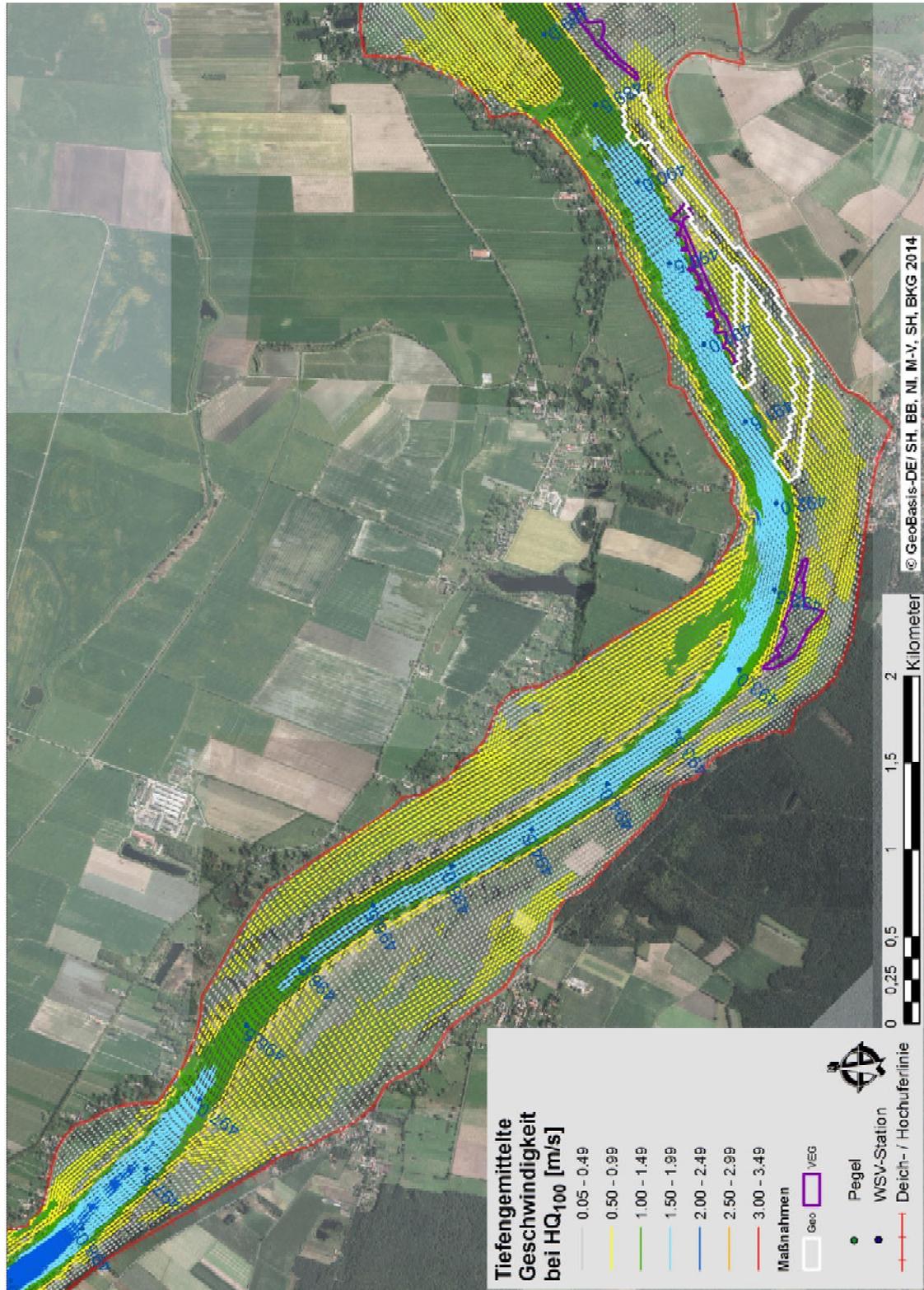


Abb. A.5 Tiefengemittelte Strömungsvektoren bei HQ<sub>100</sub> im Referenzzustand, ca. Elbe-  
km 489 bis 498

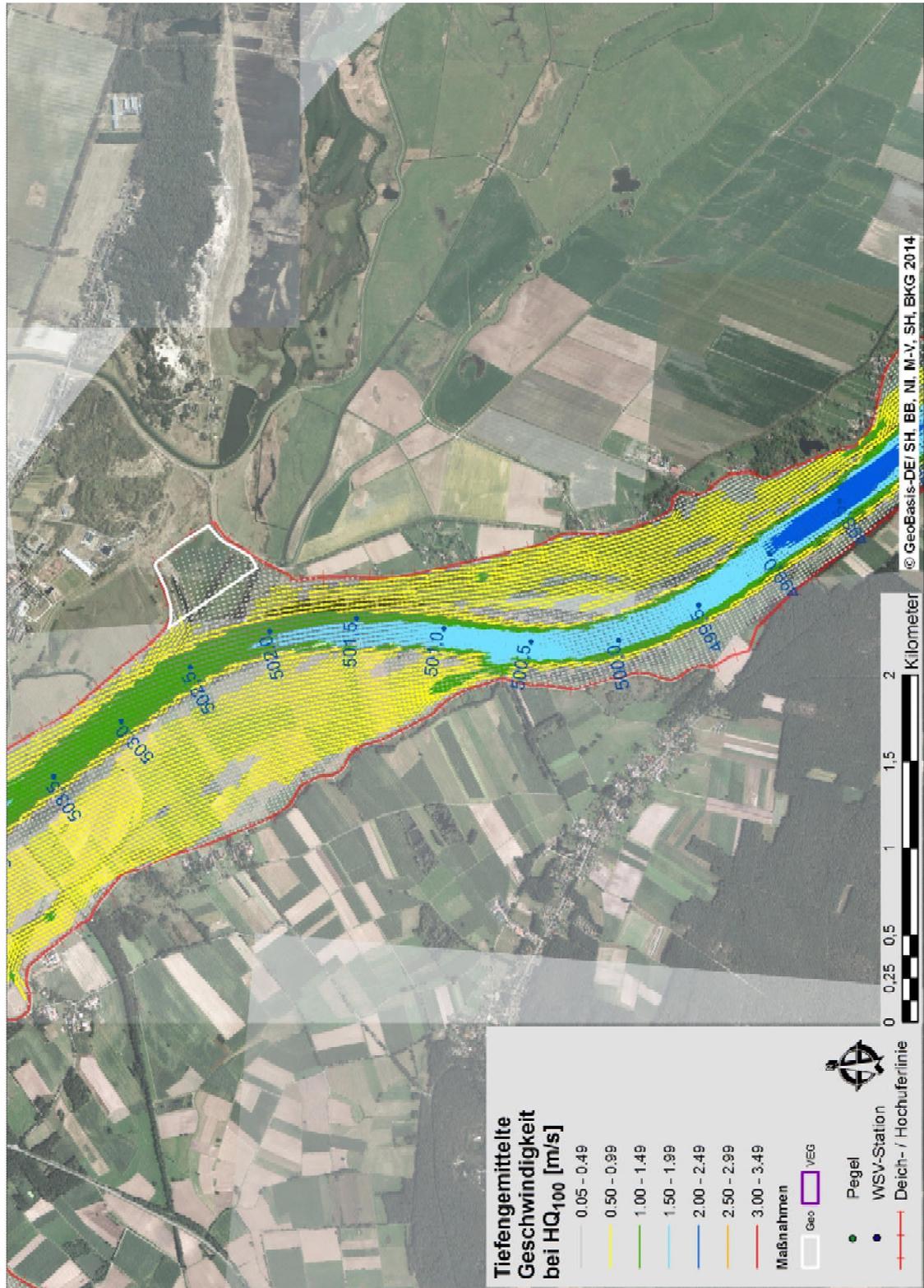


Abb. A.6 Tiefengemittelte Strömungsvektoren bei HQ<sub>100</sub> im Referenzzustand, ca. Elb-  
km 498 bis 503,5

2D-Modellierung an  
der unteren Mittel-  
elbe zwischen Wittenberge  
und Geesthacht

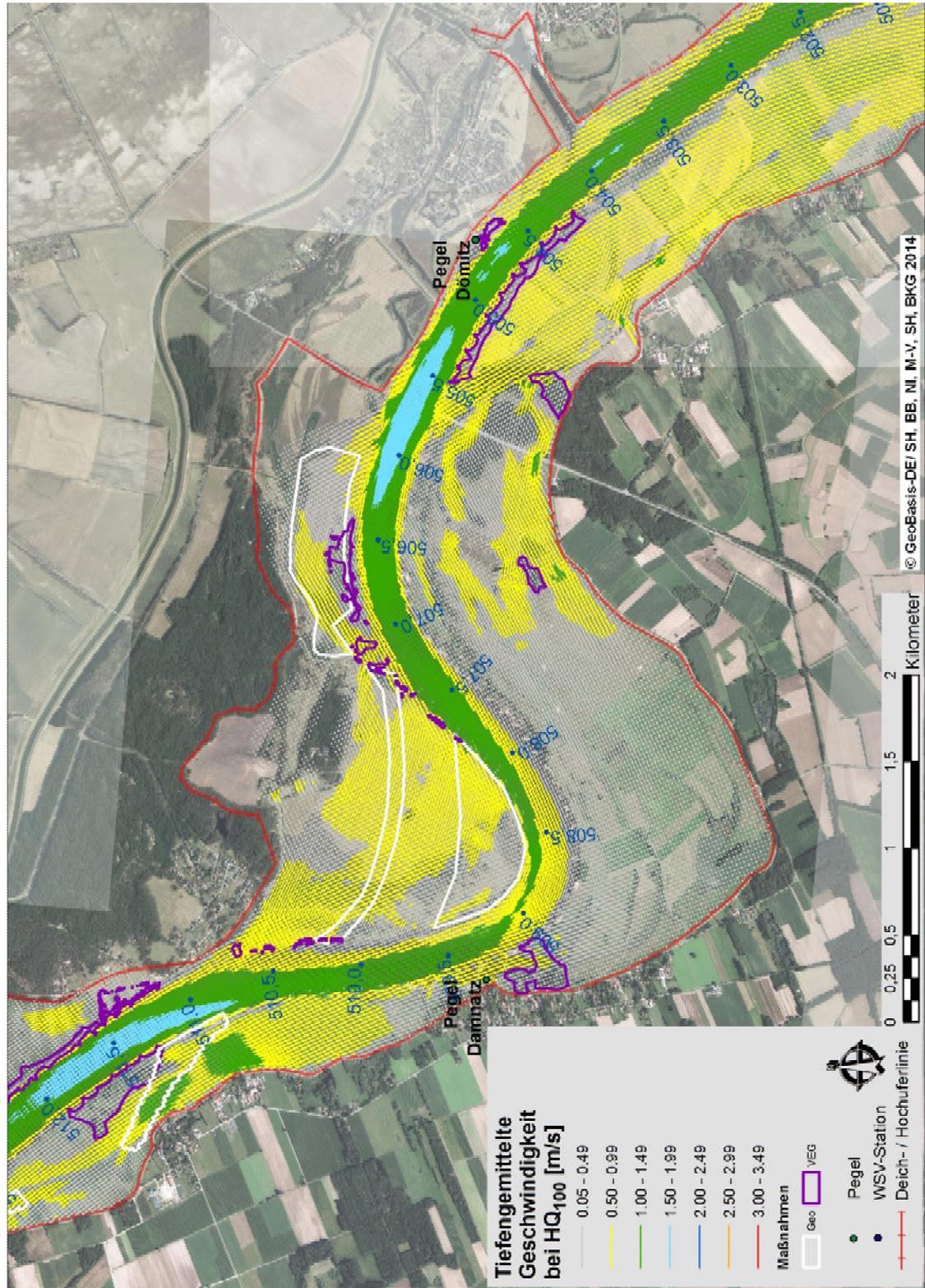


Abb. A.7 Tiefengemittelte Strömungsvektoren bei HQ<sub>100</sub> im Referenzzustand, ca. Elb-  
km 503,5 bis 512

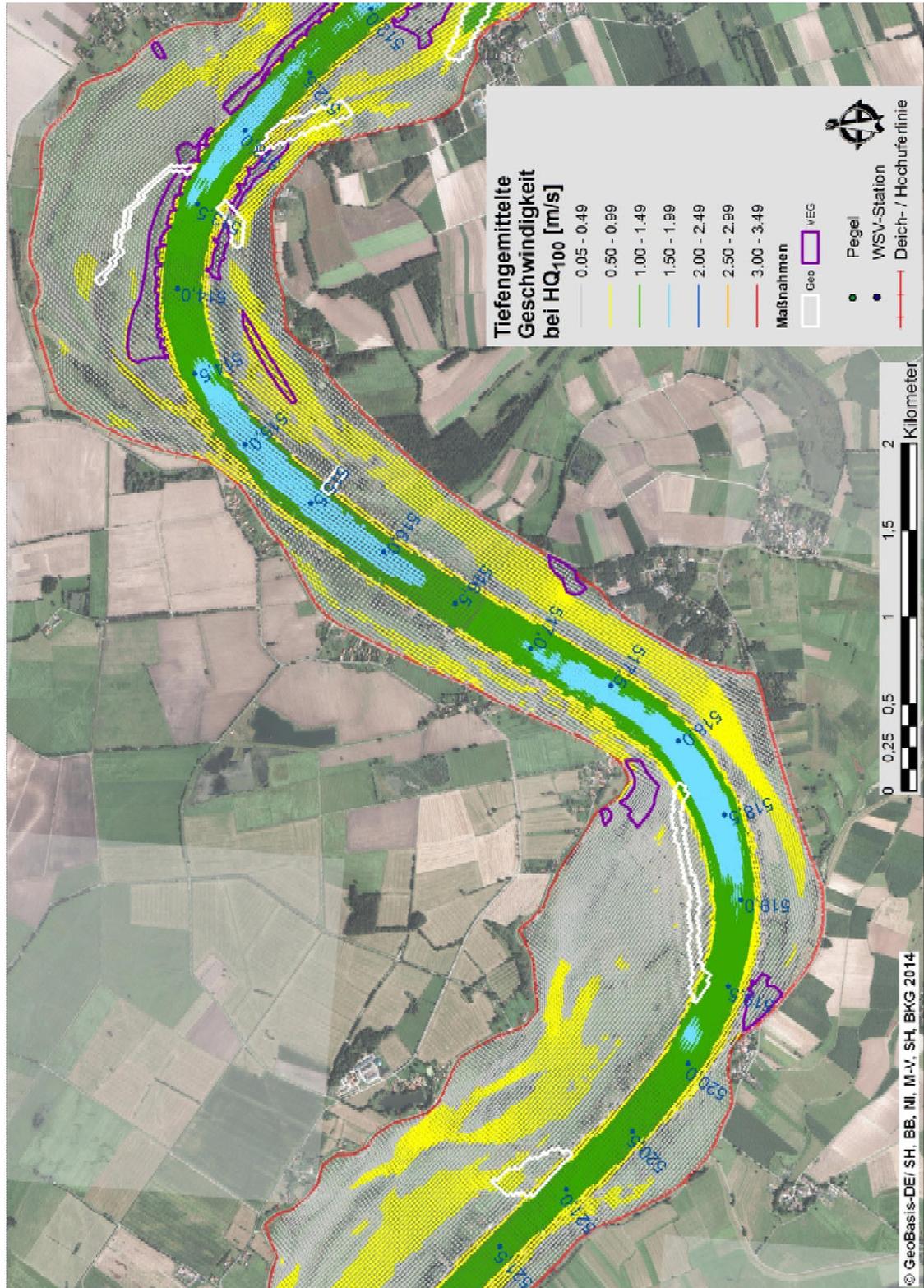


Abb. A.8 Tiefengemittelte Strömungsvektoren bei HQ<sub>100</sub> im Referenzzustand, ca. Elb-  
km 512 bis 521

2D-Modellierung an  
der unteren Mittelelbe  
zwischen Wittenberge  
und Geesthacht

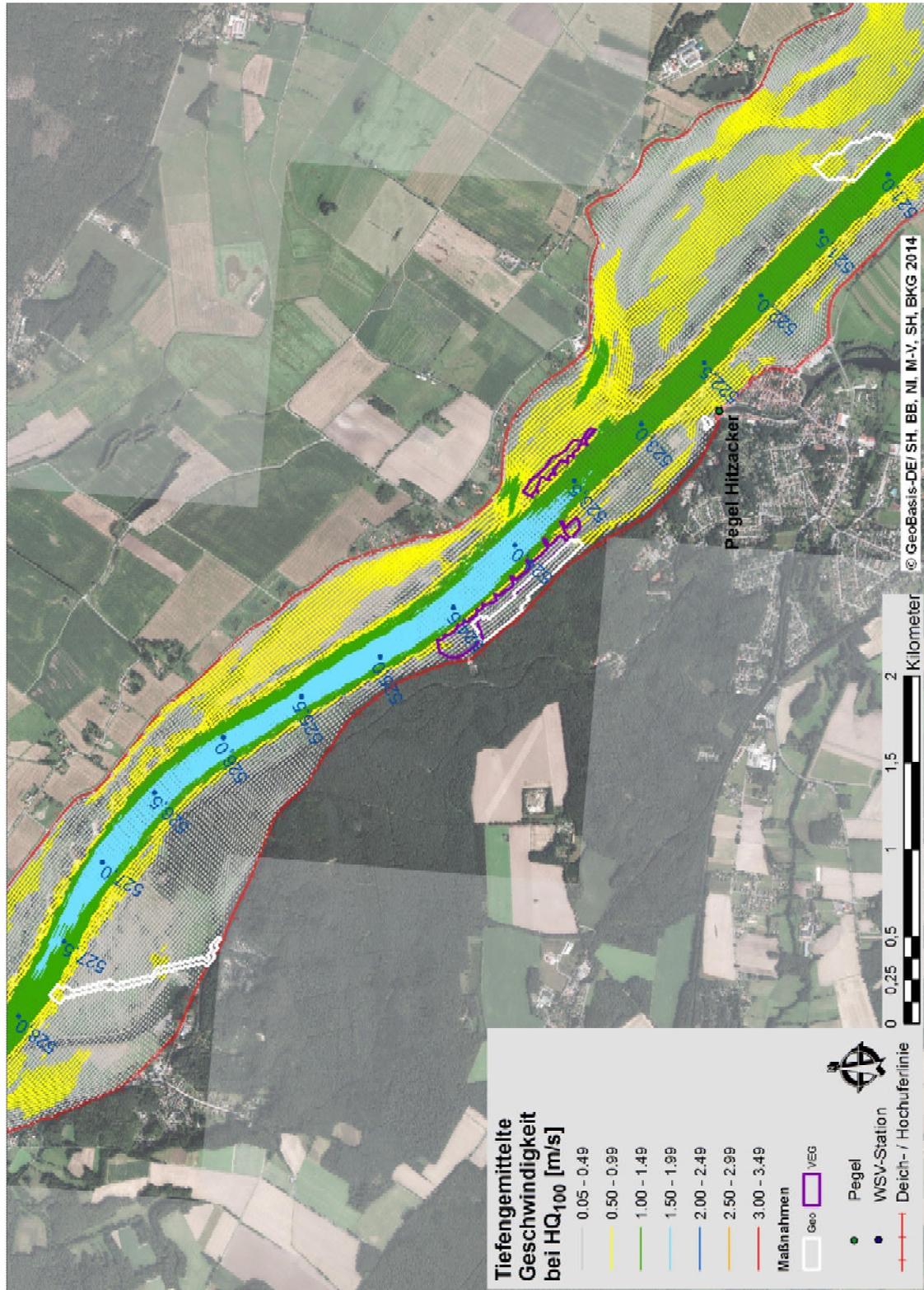


Abb. A.9 Tiefengemittelte Strömungsvektoren bei HQ<sub>100</sub> im Referenzzustand, ca. Elb-  
km 521 bis 527,5

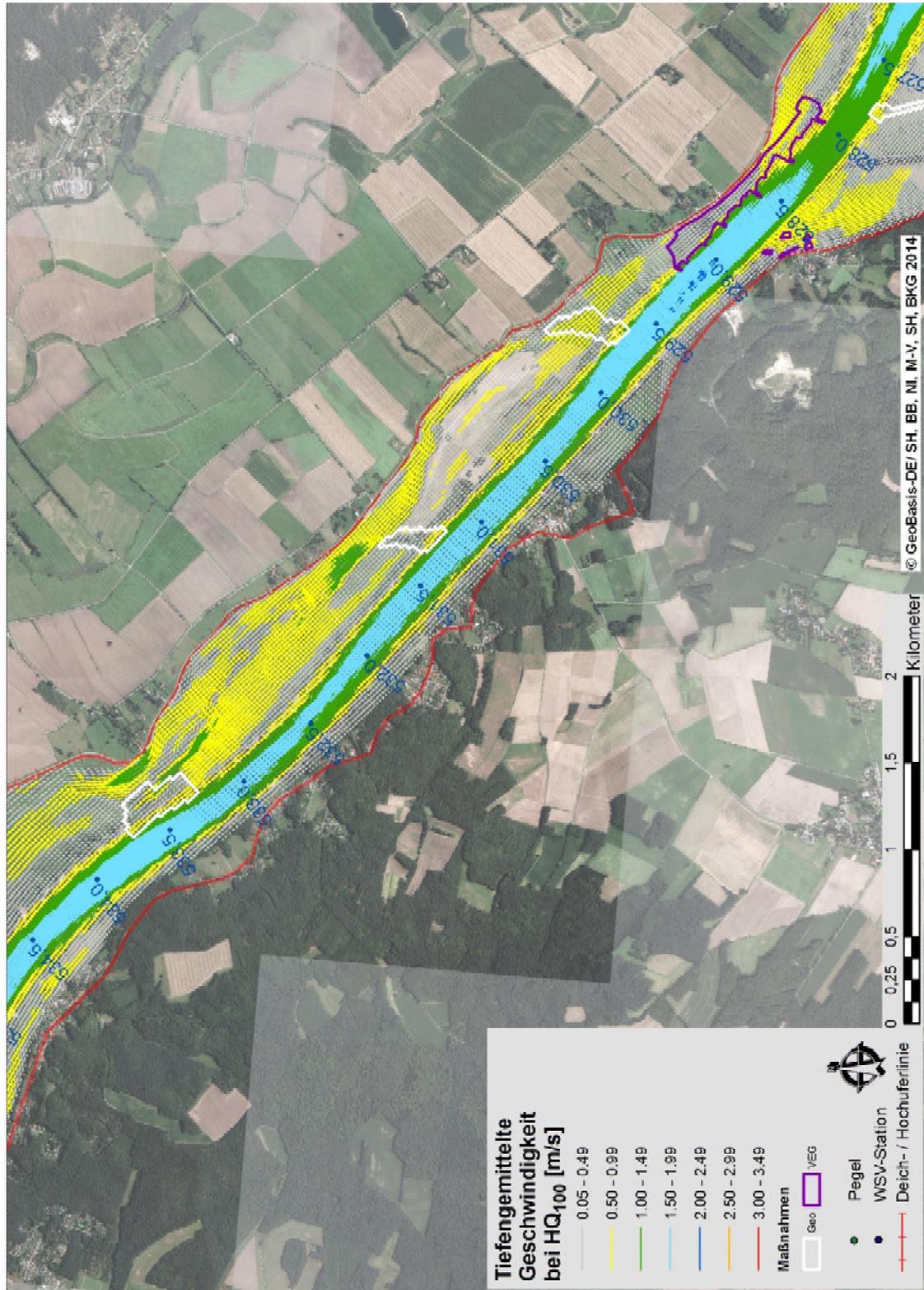


Abb. A.10 Tiefengemittelte Strömungsvektoren bei HQ<sub>100</sub> im Referenzzustand, ca. Elb-  
km 527,5 bis 534

2D-Modellierung an  
der unteren Mittelelbe  
zwischen Wittenberge  
und Geesthacht

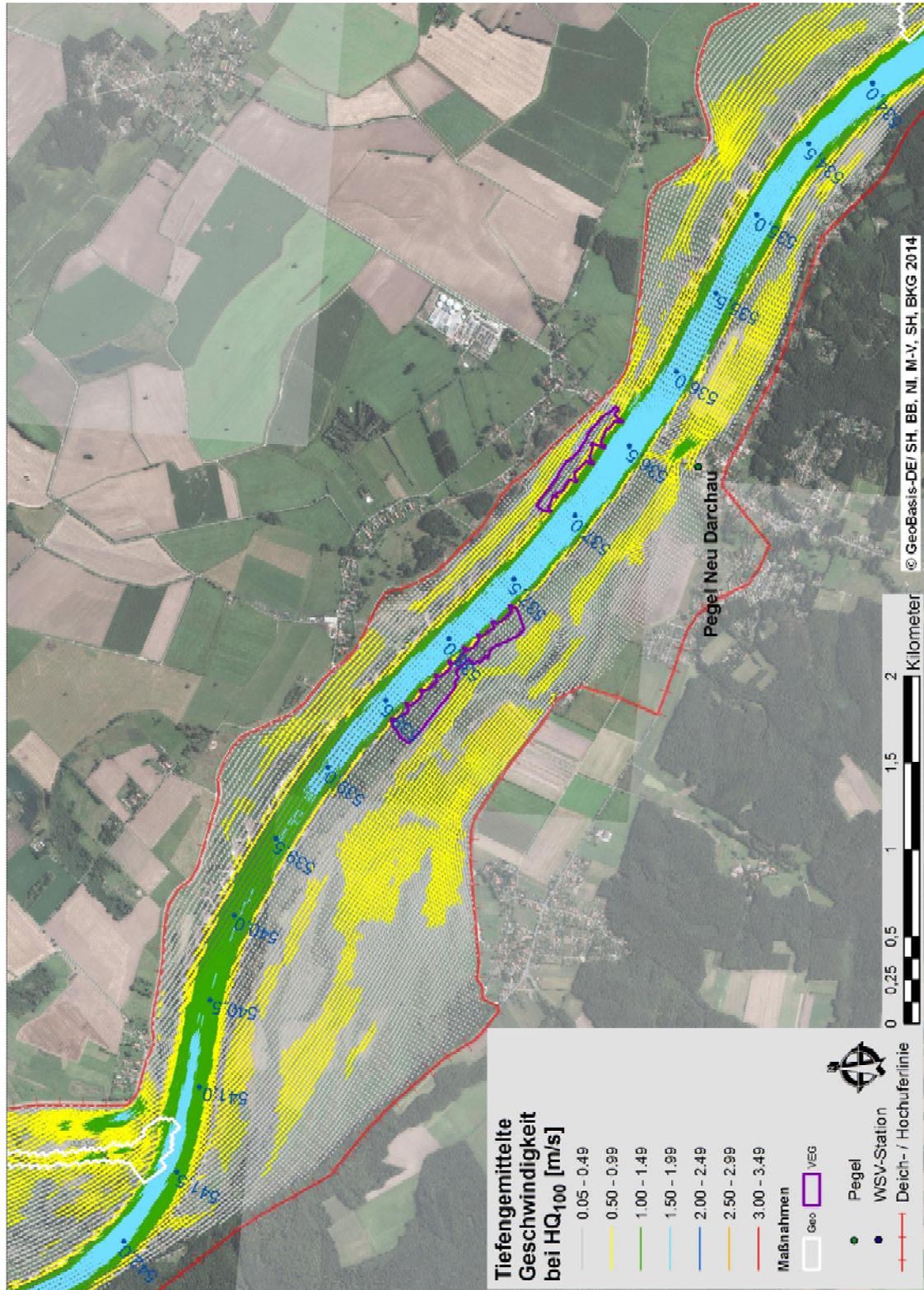


Abb. A.11 Tiefengemittelte Strömungsvektoren bei HQ<sub>100</sub> im Referenzzustand, ca. Elb-  
km 534 bis 542

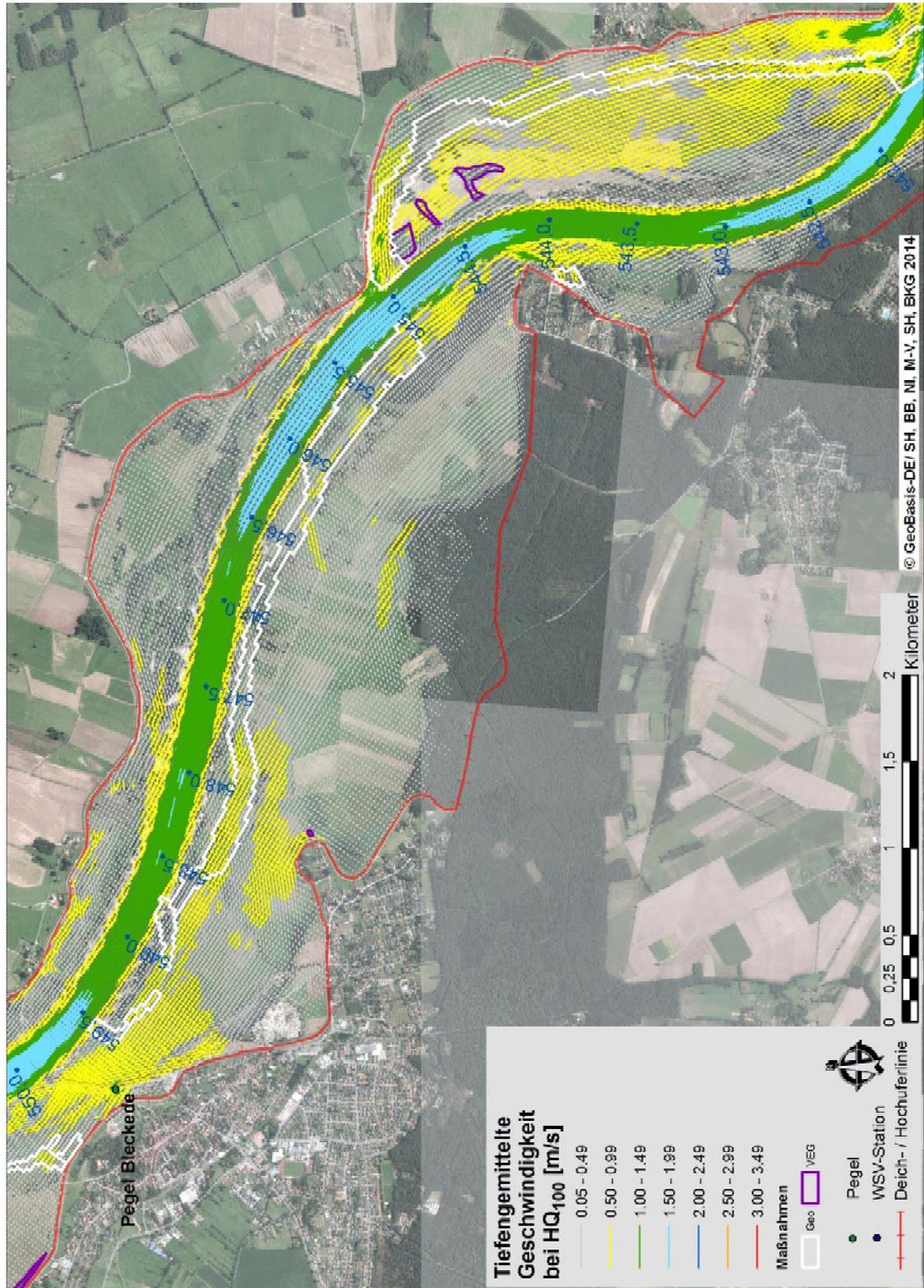


Abb. A.12 Tiefengemittelte Strömungsvektoren bei HQ<sub>100</sub> im Referenzzustand, ca. Elb-  
km 542 bis 549

2D-Modellierung an  
der unteren Mittellebe  
zwischen Wittenberge  
und Geesthacht

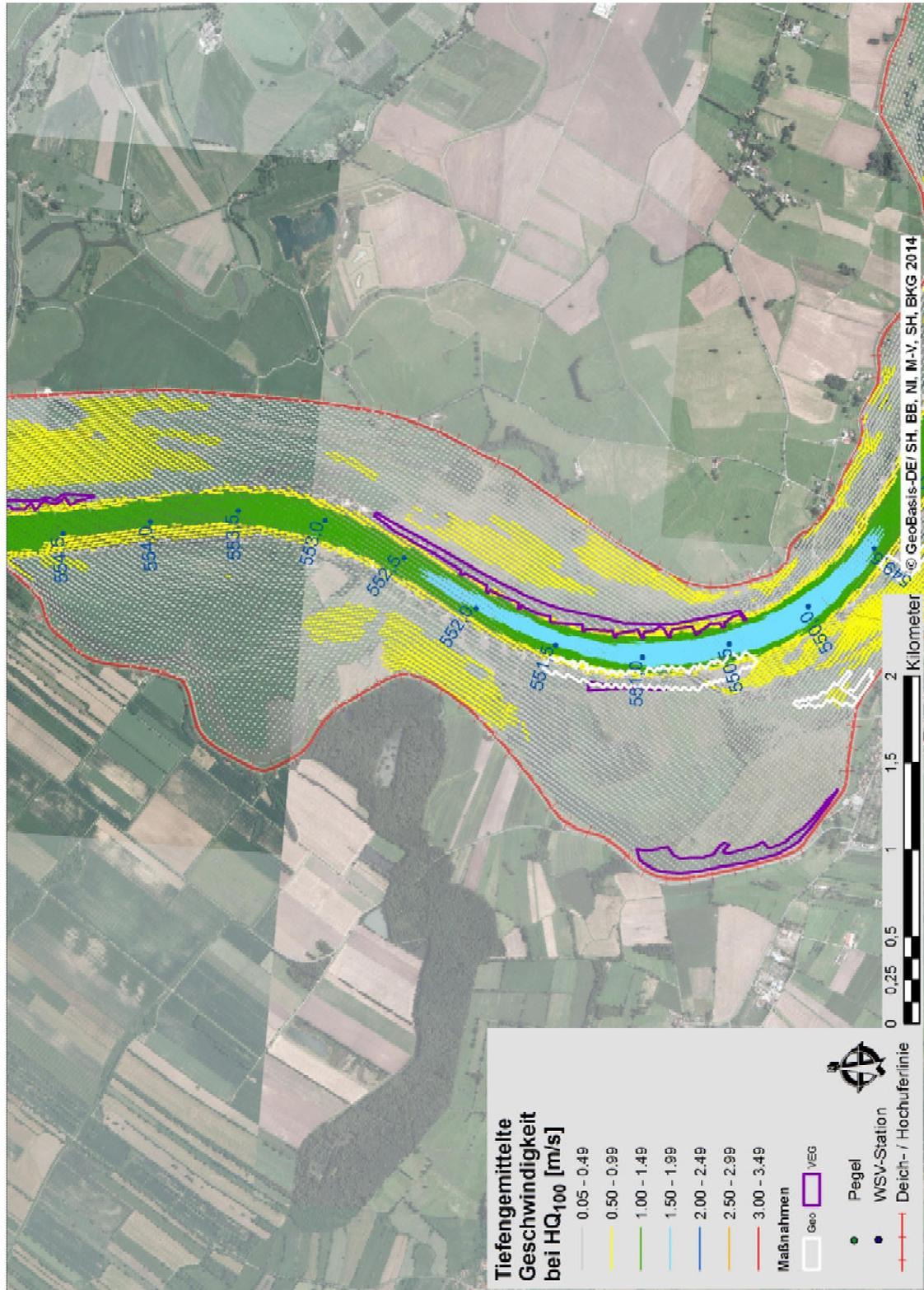


Abb. A.13 Tiefengemittelte Strömungsvektoren bei HQ<sub>100</sub> im Referenzzustand, ca. Elbe-  
km 549 bis 554

2D-Modellierung an  
der unteren Mittelelbe  
zwischen Wittenberge  
und Geesthacht

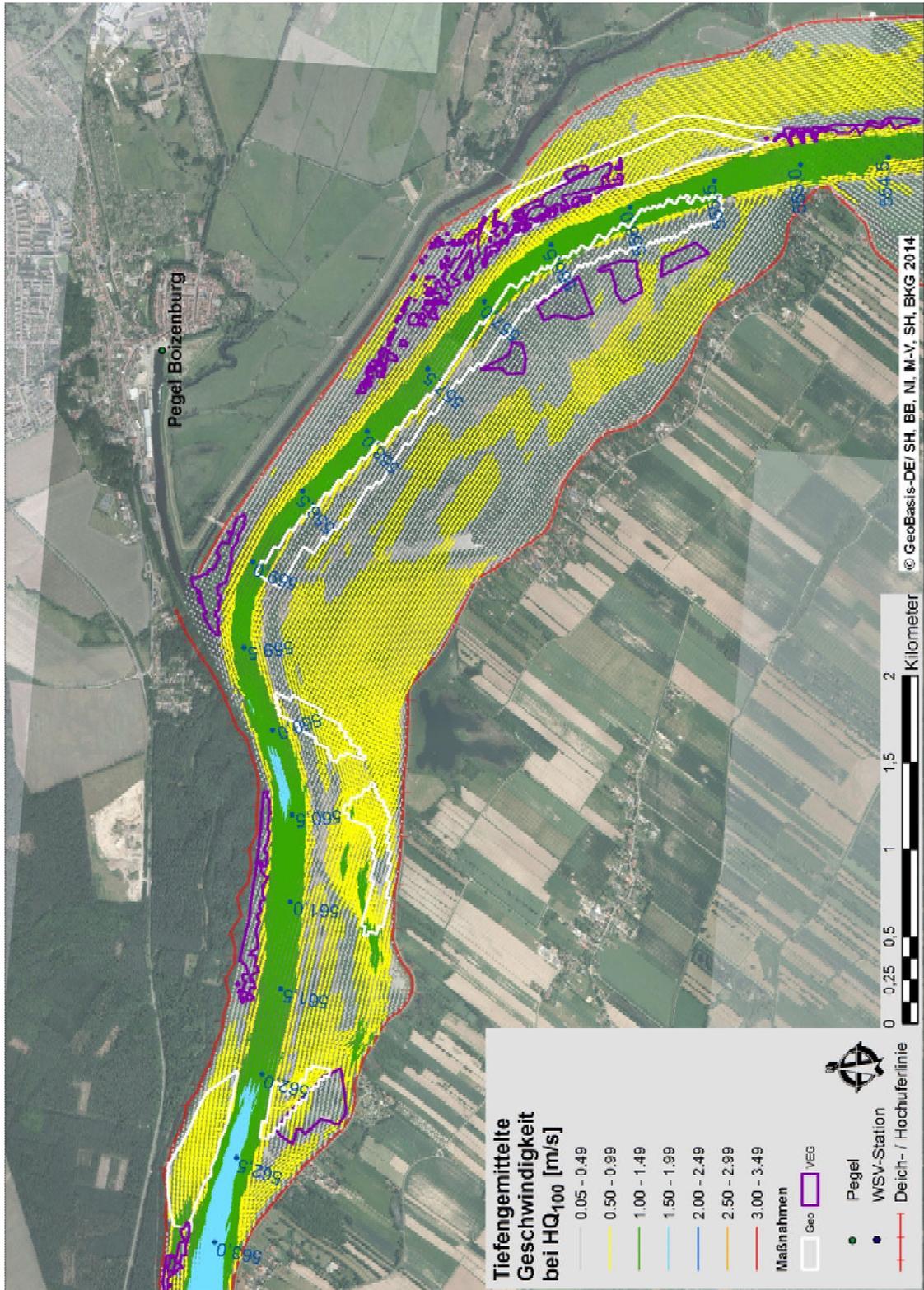


Abb. A.14 Tiefengemittelte Strömungsvektoren bei HQ<sub>100</sub> im Referenzzustand, ca. Elb-  
km 554 bis 563

2D-Modellierung an  
der unteren Mittellebe  
zwischen Wittenberge  
und Geesthacht

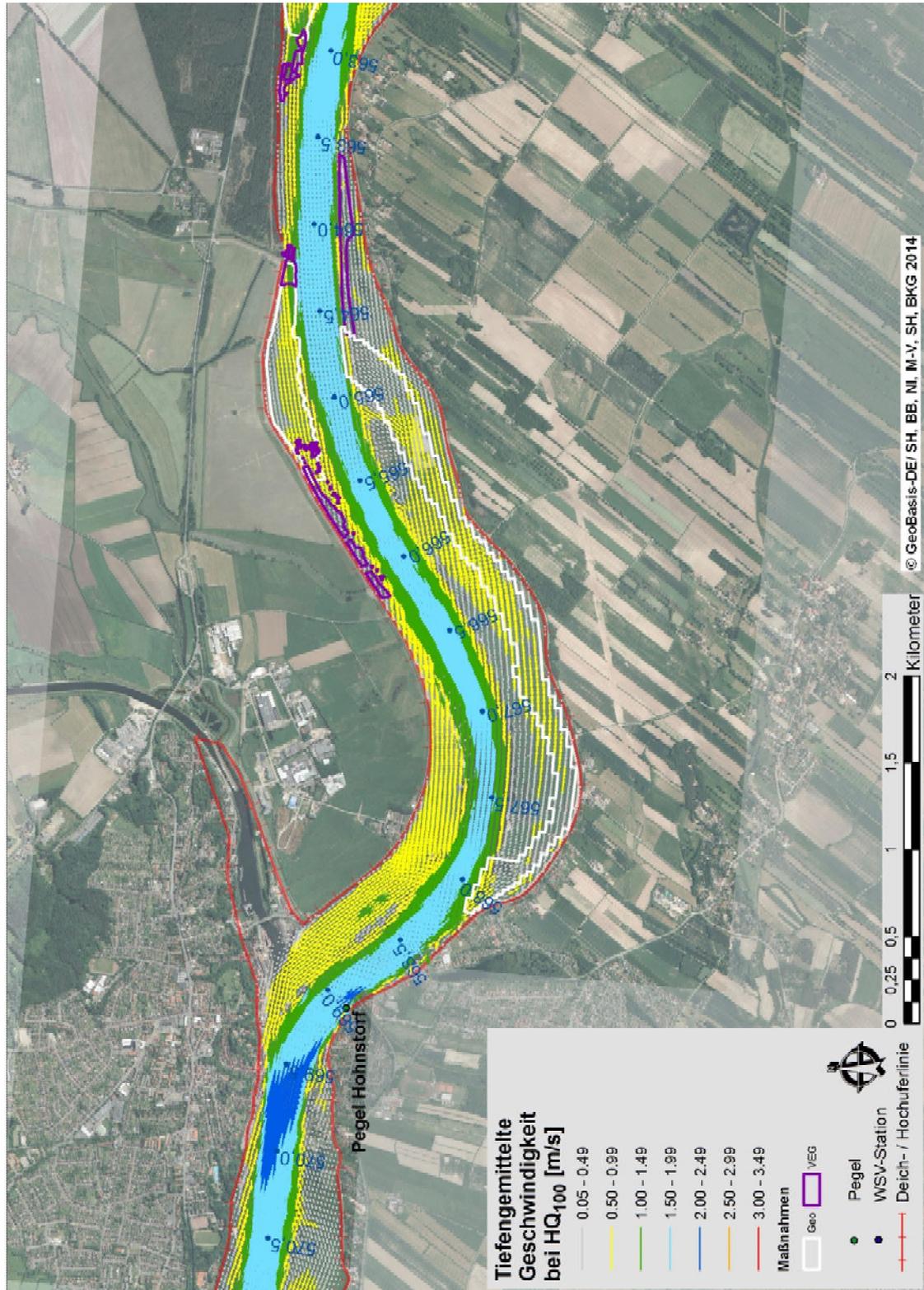


Abb. A.15 Tiefengemittelte Strömungsvektoren bei HQ<sub>100</sub> im Referenzzustand, ca. Elbe-km 563 bis 570,5

2D-Modellierung an  
der unteren Mittelbe  
zwischen Wittenberge  
und Geesthacht

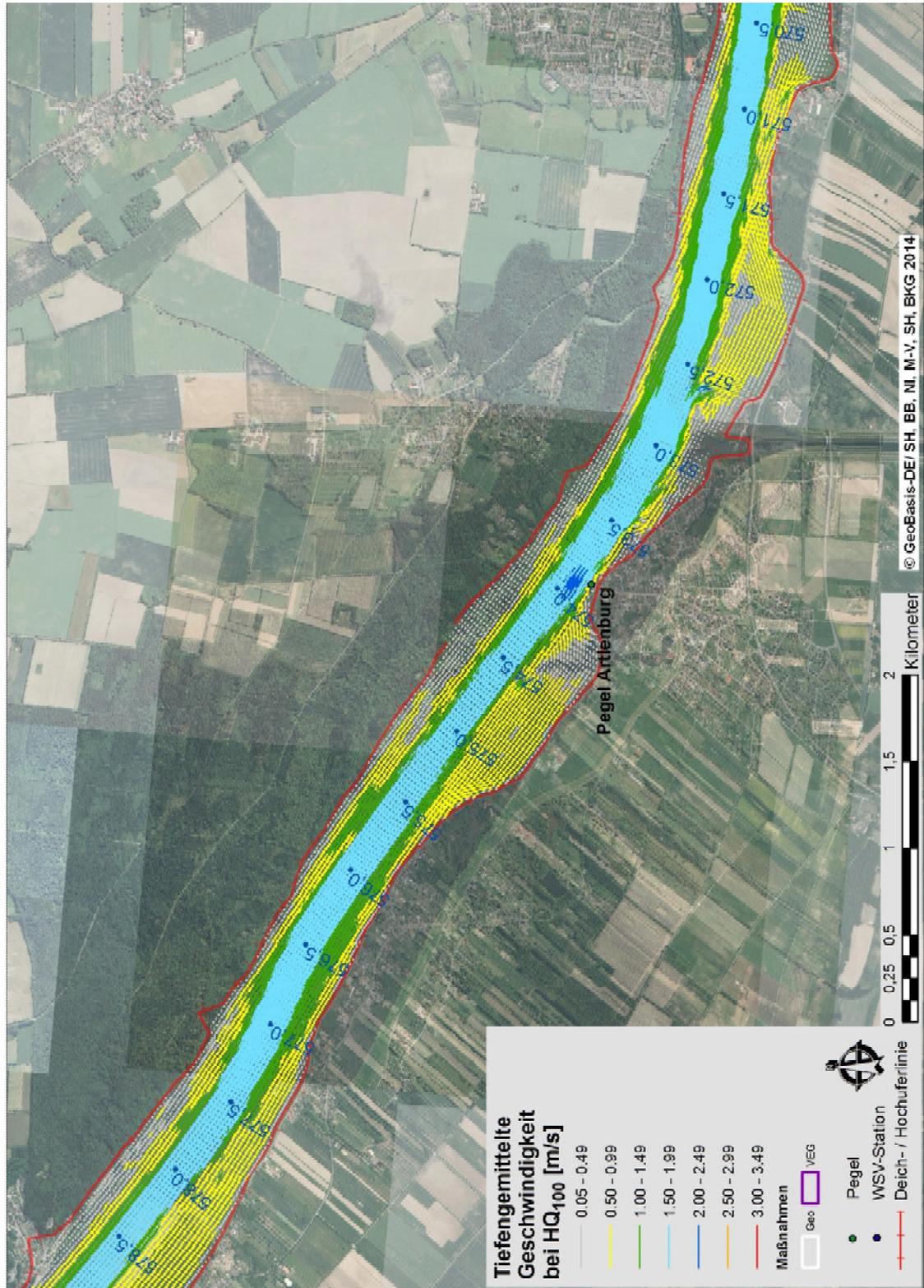


Abb. A.16 Tiefengemittelte Strömungsvektoren bei HQ<sub>100</sub> im Referenzzustand, ca. Elbe-km 570,5 bis 578

2D-Modellierung an  
der unteren Mittelelbe  
zwischen Wittenberge  
und Geesthacht

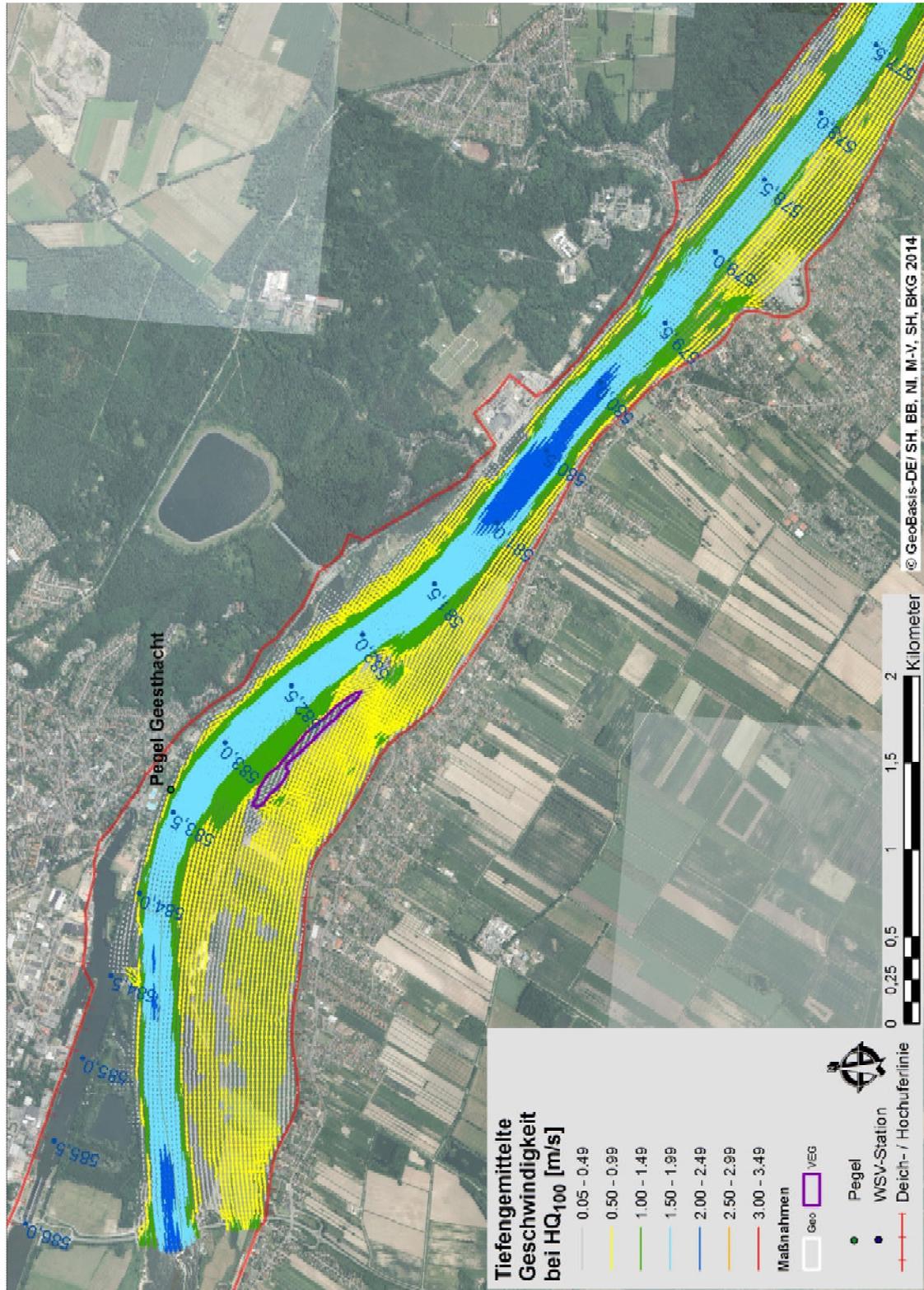


Abb. A.17 Tiefengemittelte Strömungsvektoren bei HQ<sub>100</sub> im Referenzzustand, ca. Elbe-km 578 bis 586

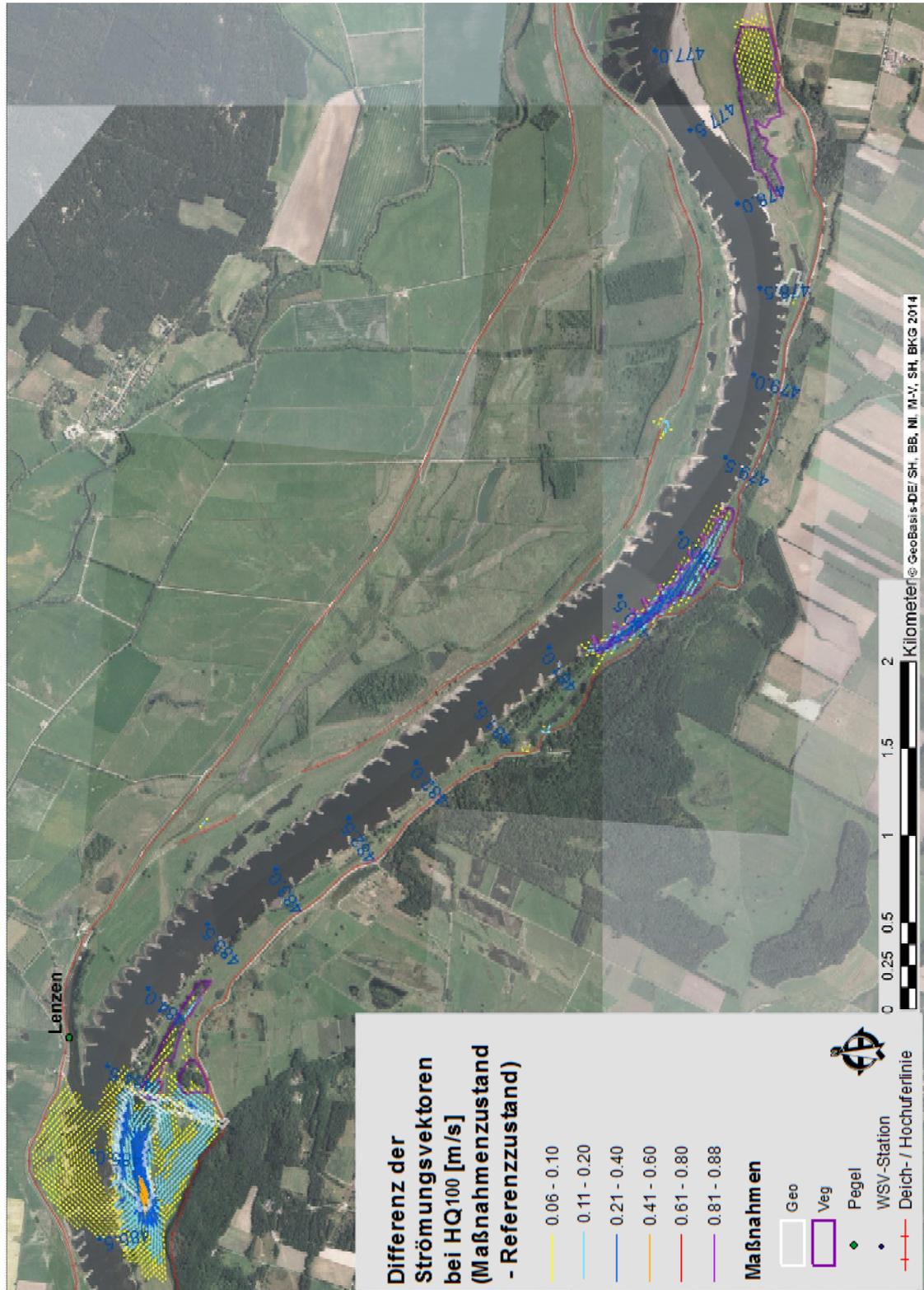


Abb. A.18 Differenz der Strömungsvektoren bei HQ<sub>100</sub> (alle vegetationsbezogenen und topografiebeeinflussenden Maßnahmen - Referenzzustand), ca. Elbe-km 477 bis 485,5

2D-Modellierung an  
der unteren Mittelelbe  
zwischen Wittenberge  
und Geesthacht

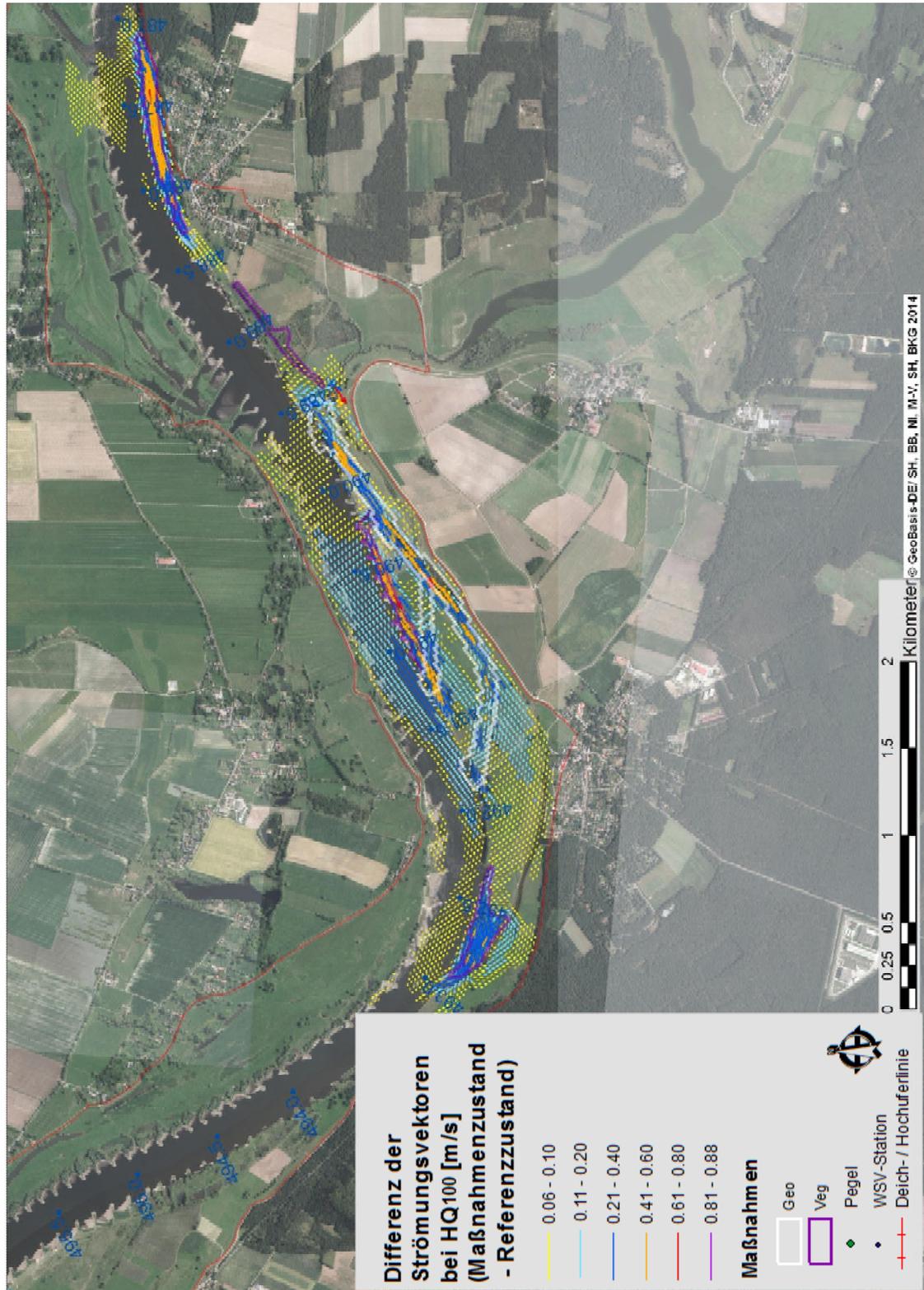


Abb. A.19 Differenz der Strömungsvektoren bei HQ<sub>100</sub> (alle vegetationsbezogenen und topografiebeeinflussenden Maßnahmen - Referenzzustand), ca. Elbe-km 488,5 bis 495

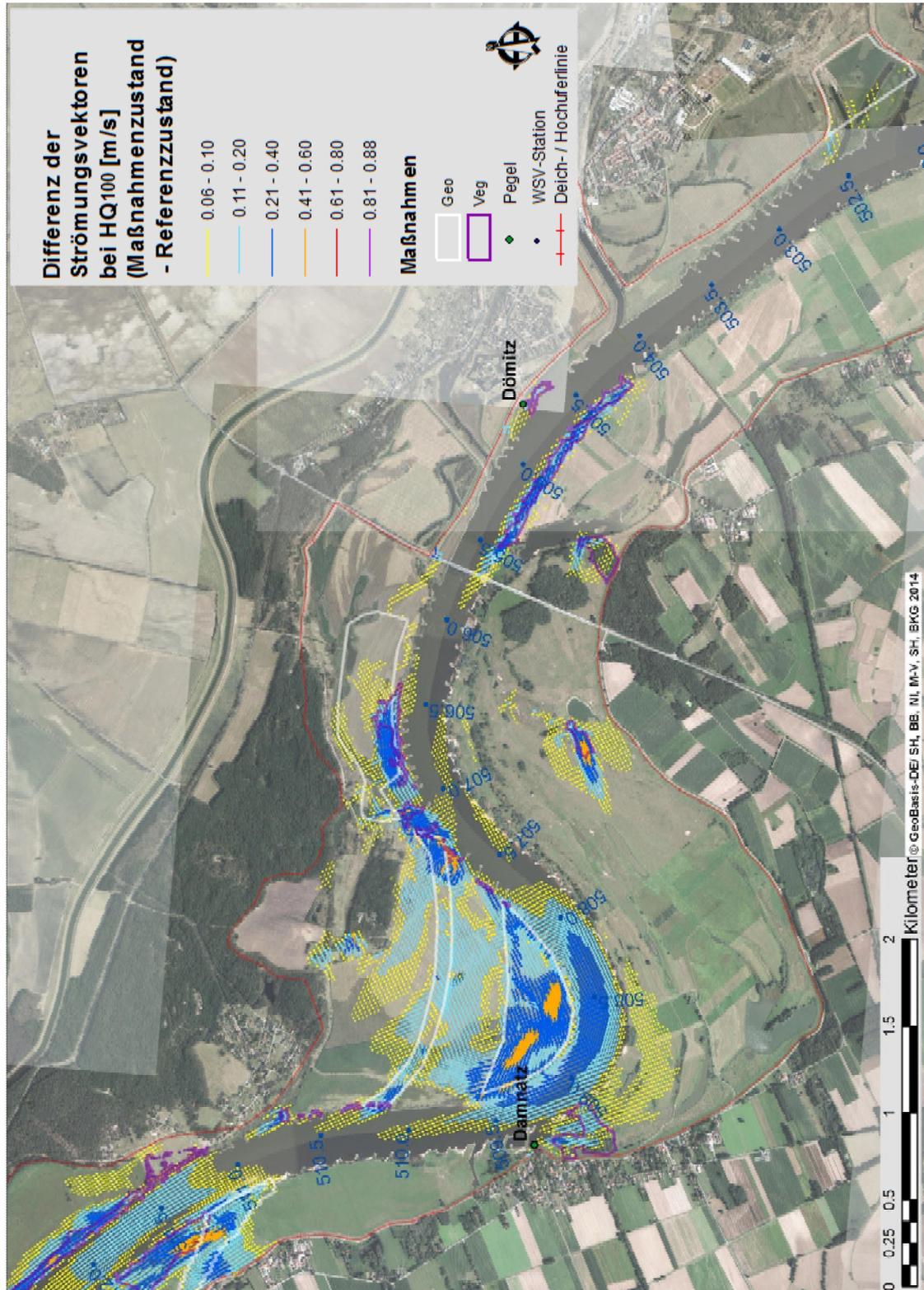


Abb. A.20 Differenz der Strömungsvektoren bei HQ<sub>100</sub> (alle vegetationsbezogenen und topografiebeeinflussenden Maßnahmen - Referenzzustand), ca. Elbe-km 502,5 bis 511,5

2D-Modellierung an  
der unteren Mittel-  
elbe zwischen  
Wittenberge und  
Geesthacht

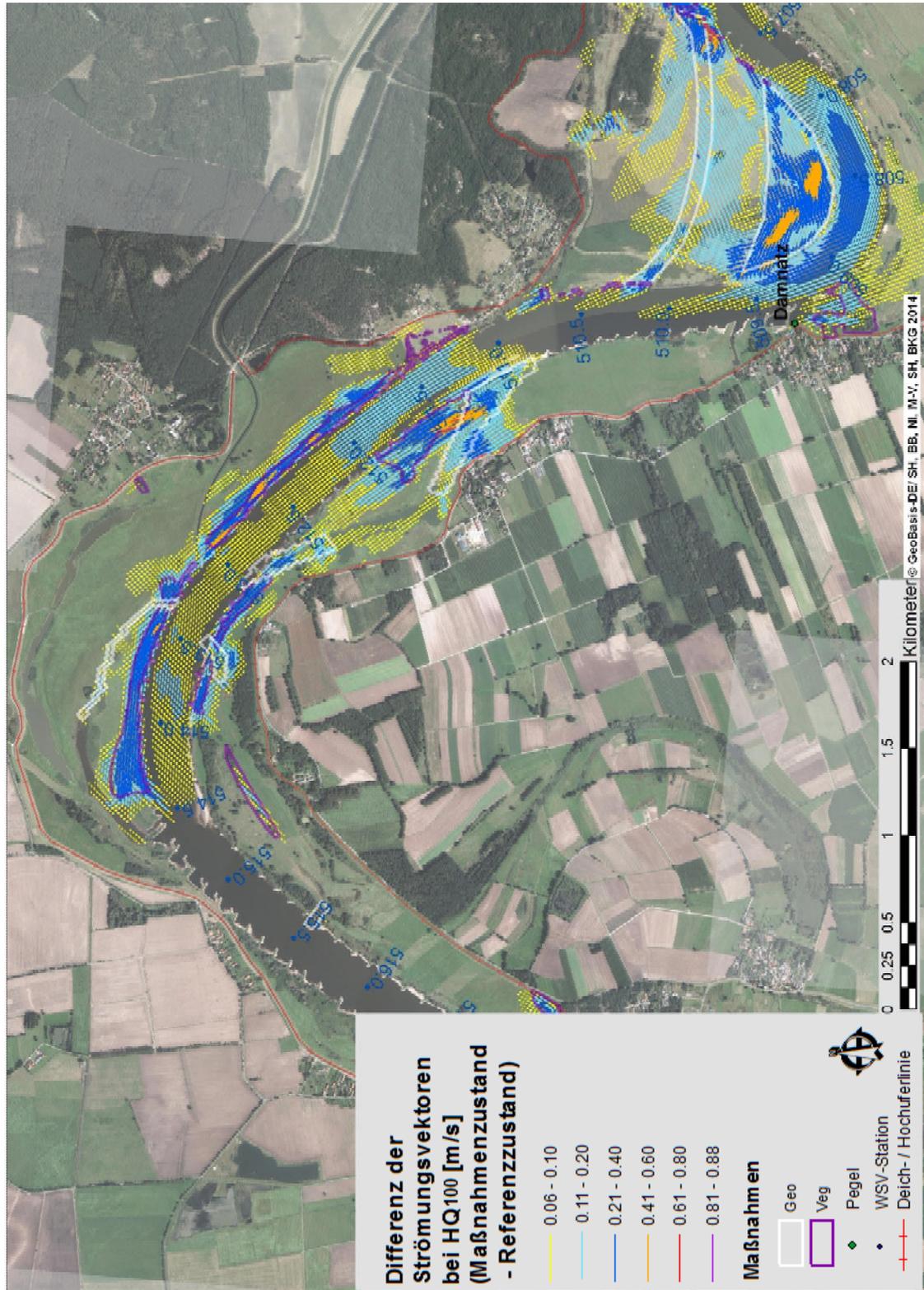


Abb. A.21 Differenz der Strömungsvektoren bei HQ<sub>100</sub> (alle vegetationsbezogenen und topografiebeeinflussenden Maßnahmen - Referenzzustand), ca. Elbe-km 508 bis 516

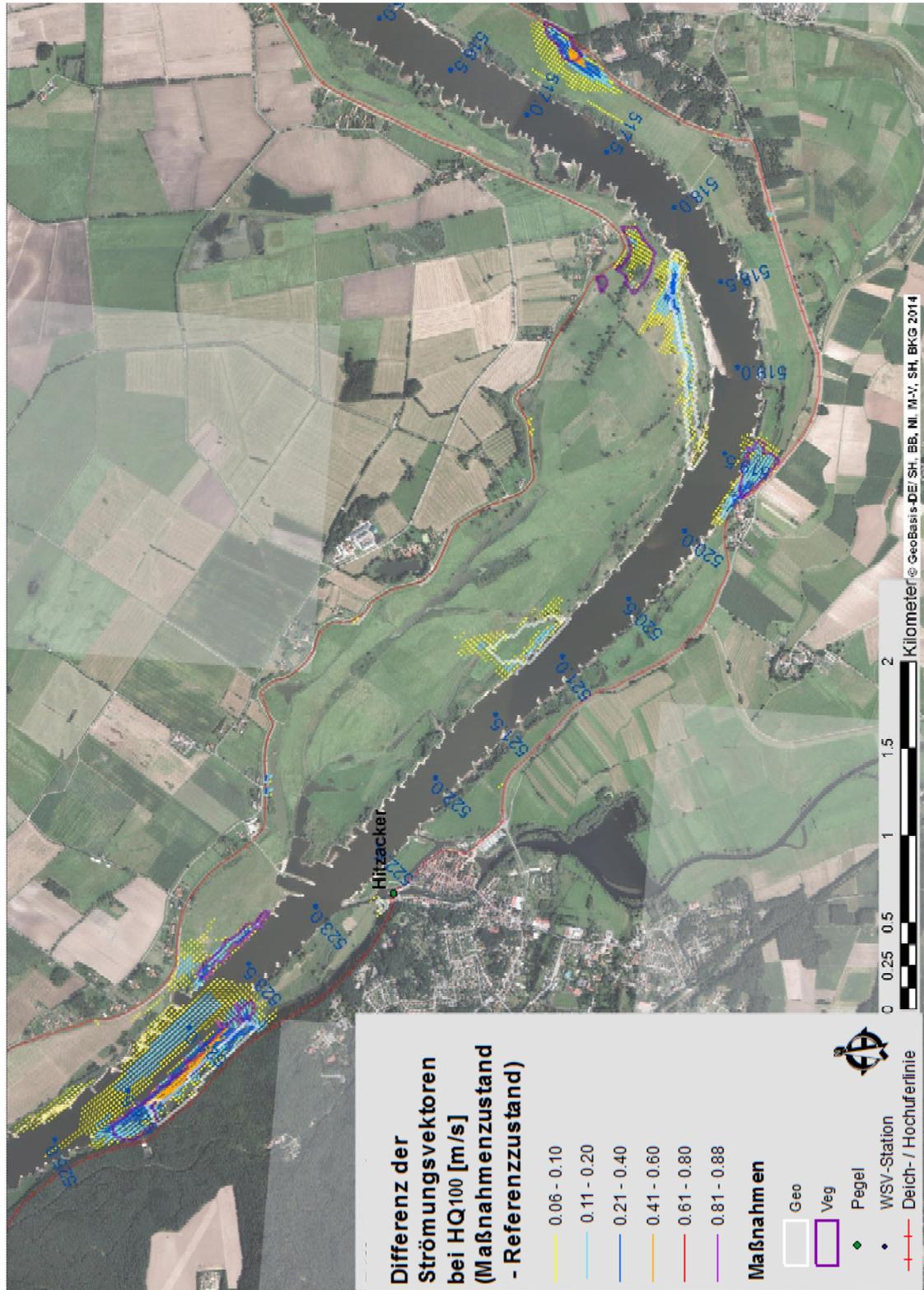


Abb. A.22 Differenz der Strömungsvektoren bei HQ<sub>100</sub> (alle vegetationsbezogenen und topografiebeeinflussenden Maßnahmen - Referenzzustand), ca. Elbe-km 517 bis 525

2D-Modellierung an  
der unteren Mittelelbe  
zwischen Wittenberge  
und Geesthacht

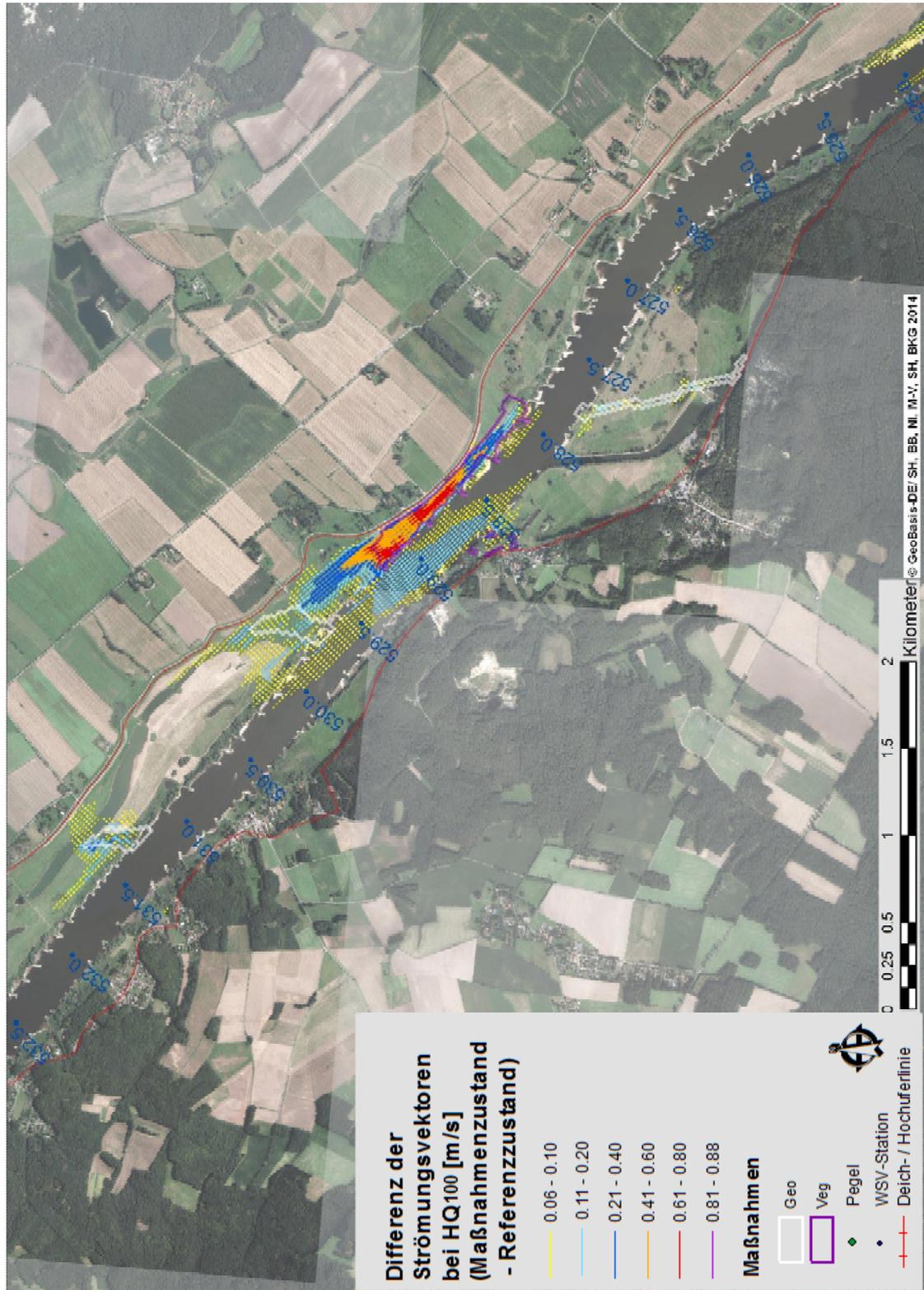


Abb. A.23 Differenz der Strömungsvektoren bei HQ<sub>100</sub> (alle vegetationsbezogenen und topografiebeeinflussenden Maßnahmen - Referenzzustand), ca. Elbe-km 526 bis 532

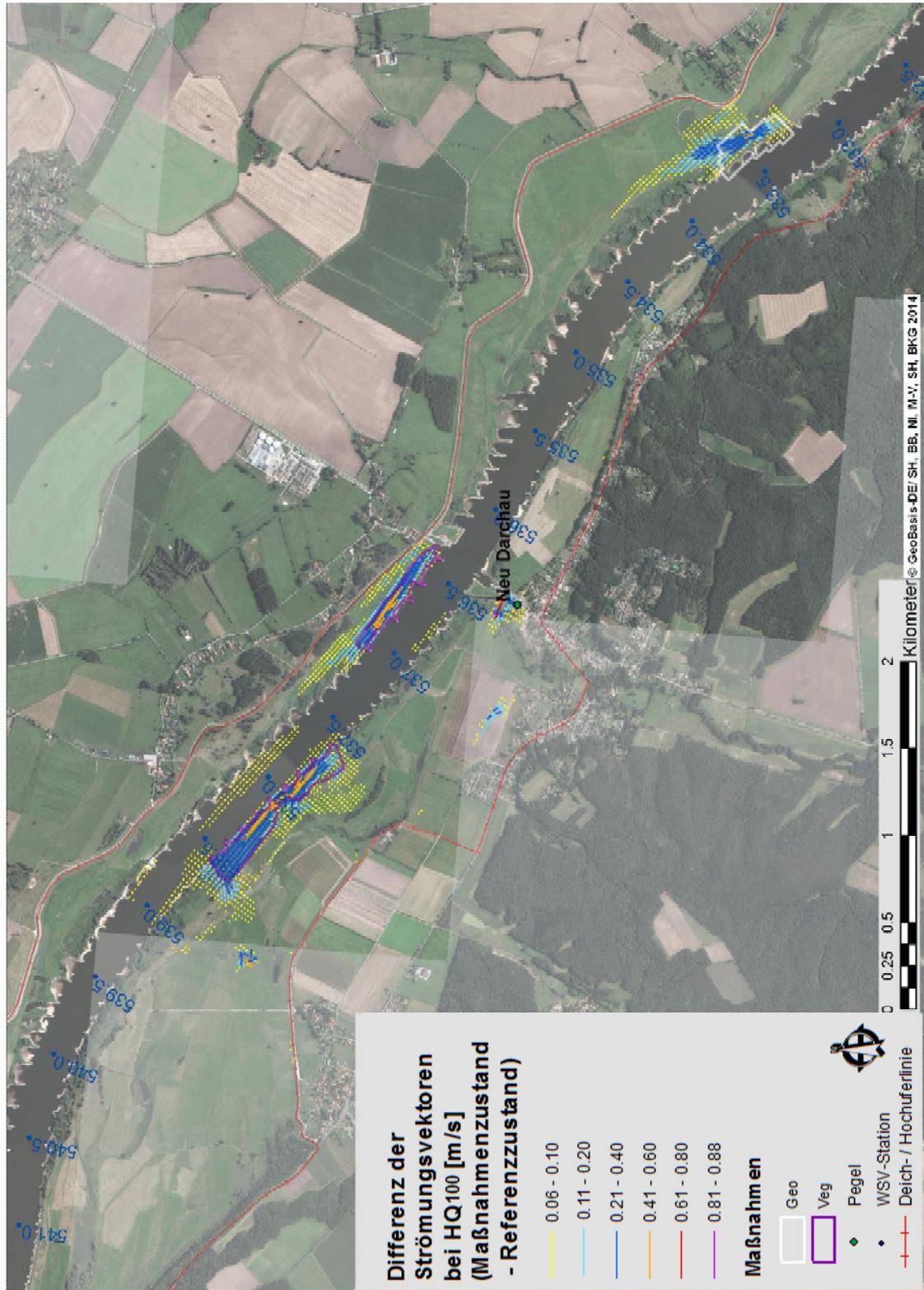


Abb. A.24 Differenz der Strömungsvektoren bei HQ<sub>100</sub> (alle vegetationsbezogenen und topografiebeeinflussenden Maßnahmen - Referenzzustand), ca. Elbe-km 533 bis 539

2D-Modellierung an  
der unteren Mittelelbe  
zwischen Wittenberge  
und Geesthacht

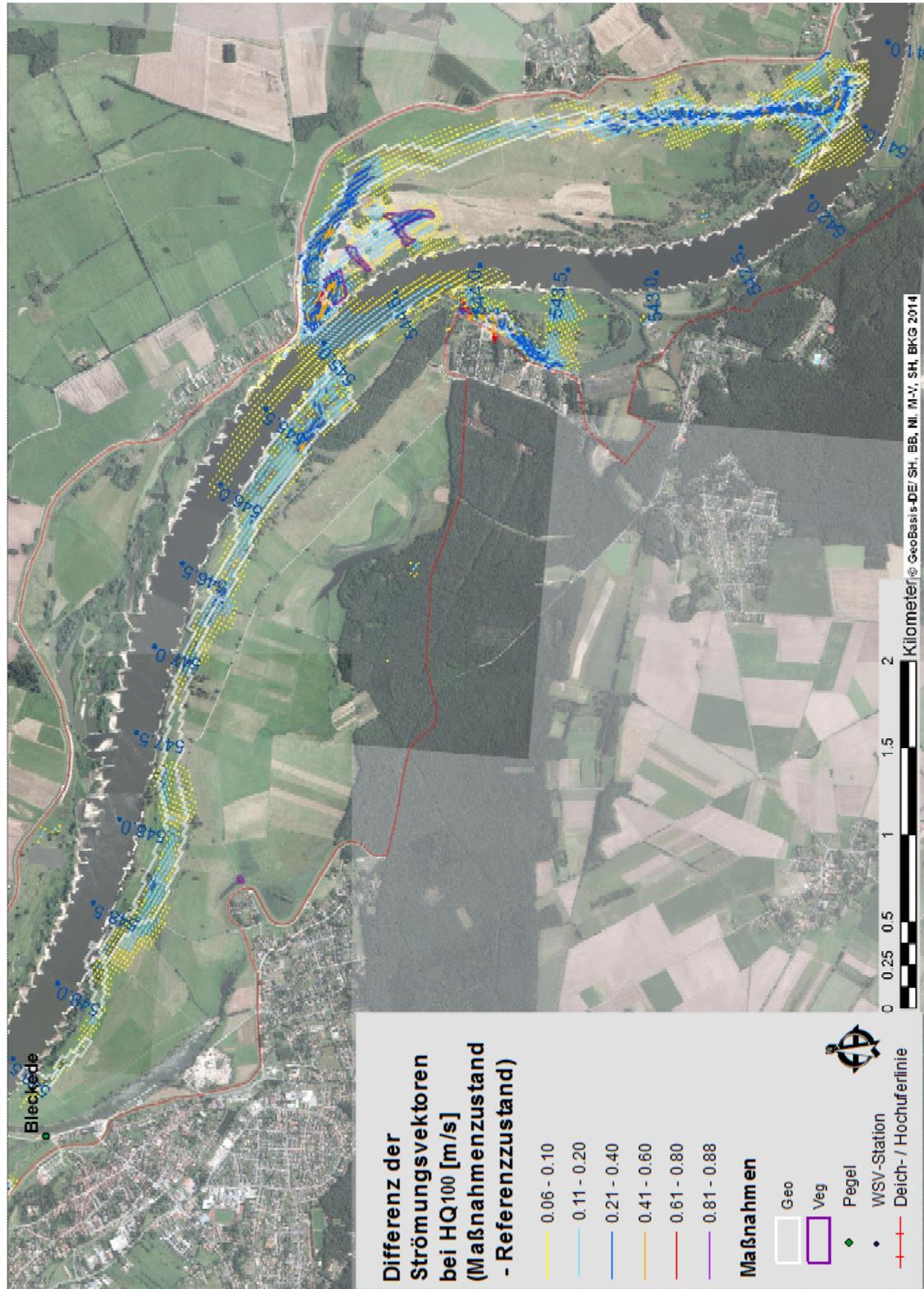


Abb. A.25 Differenz der Strömungsvektoren bei HQ<sub>100</sub> (alle vegetationsbezogenen und topografiebeeinflussenden Maßnahmen - Referenzzustand), ca. Elbe-km 541,5 bis 549

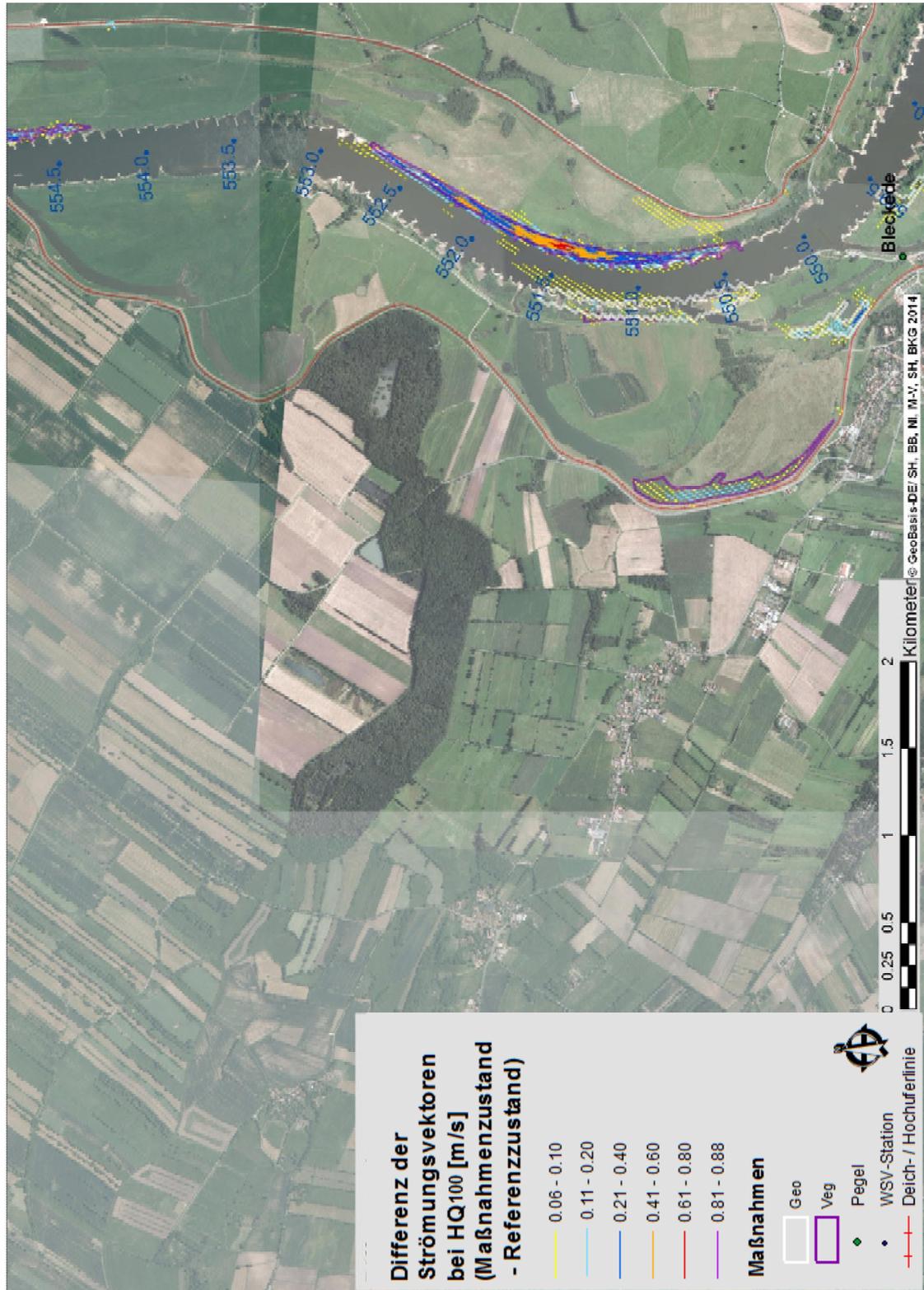


Abb. A.26 Differenz der Strömungsvektoren bei HQ<sub>100</sub> (alle vegetationsbezogenen und topografiebeeinflussenden Maßnahmen - Referenzzustand), ca. Elbe-km 549,5 bis 554,5

2D-Modellierung an  
der unteren Mittelelbe  
zwischen Wittenberge  
und Geesthacht

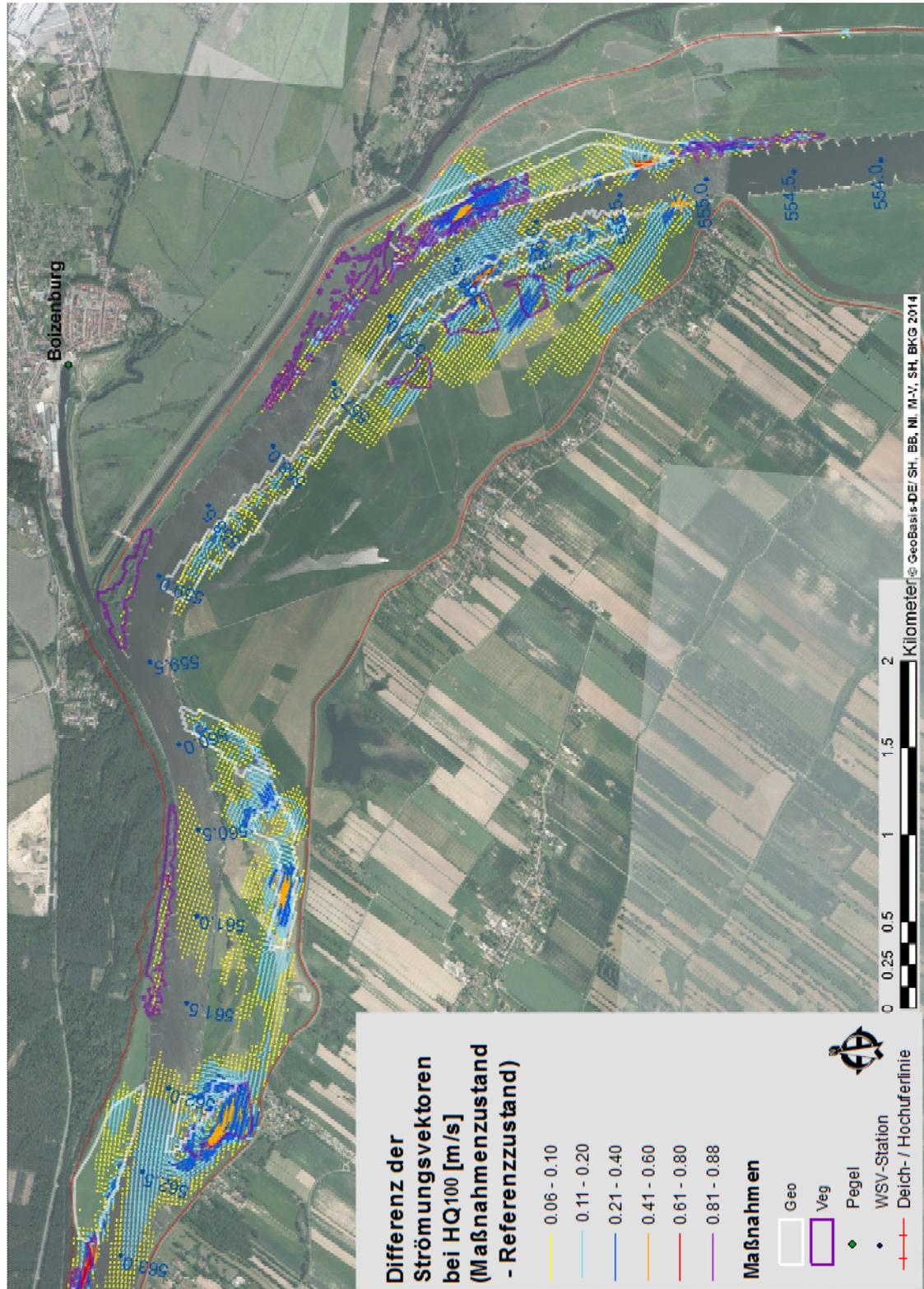


Abb. A.27 Differenz der Strömungsvektoren bei HQ<sub>100</sub> (alle vegetationsbezogenen und topografiebeeinflussenden Maßnahmen - Referenzzustand), ca. Elbe-km 554 bis 563

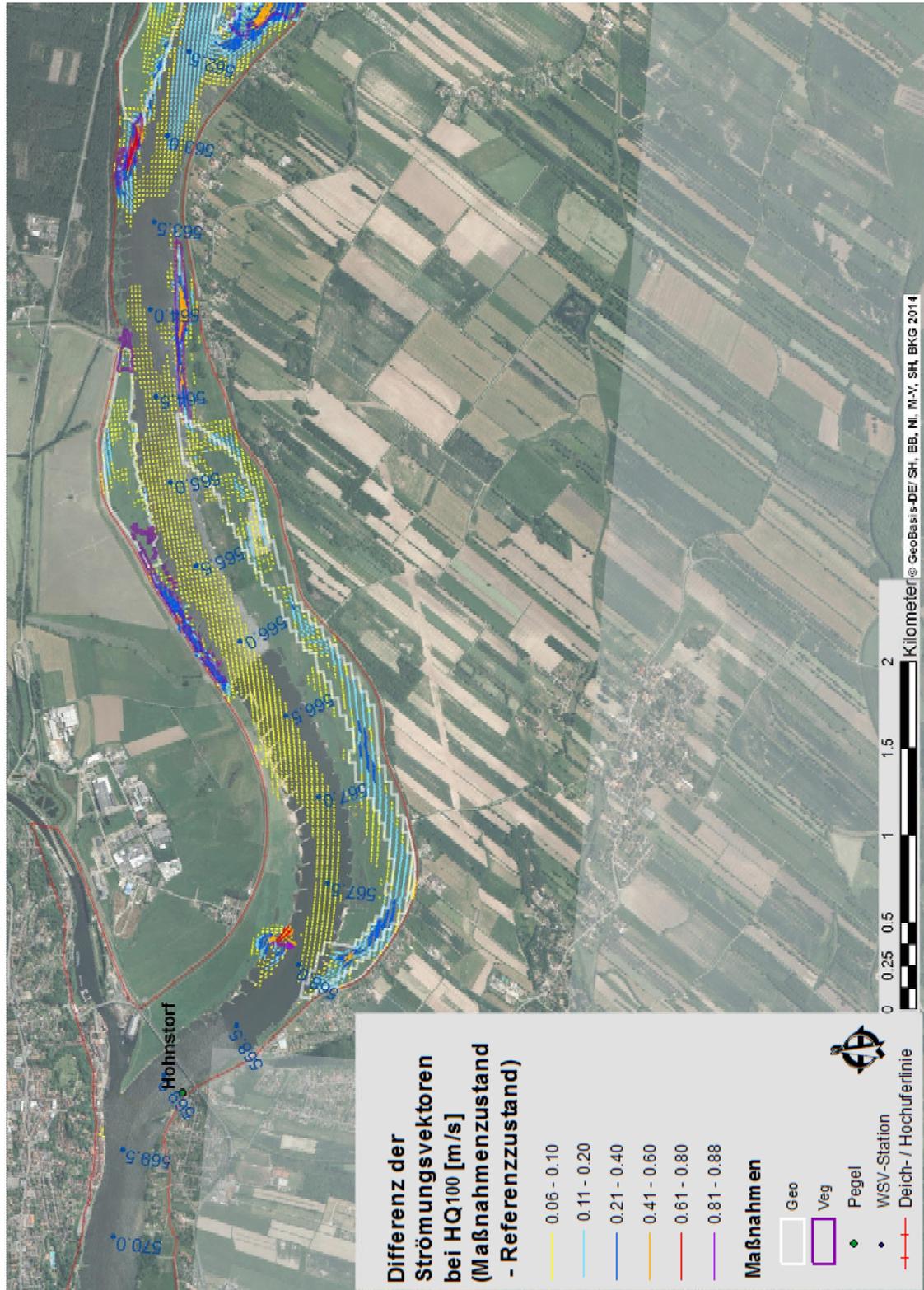


Abb. A.28 Differenz der Strömungsvektoren bei HQ<sub>100</sub> (alle vegetationsbezogenen und topografiebeeinflussenden Maßnahmen - Referenzzustand), ca. Elbe-km 563 bis 570

2D-Modellierung an  
der unteren Mittelelbe  
zwischen Wittenberge  
und Geesthacht

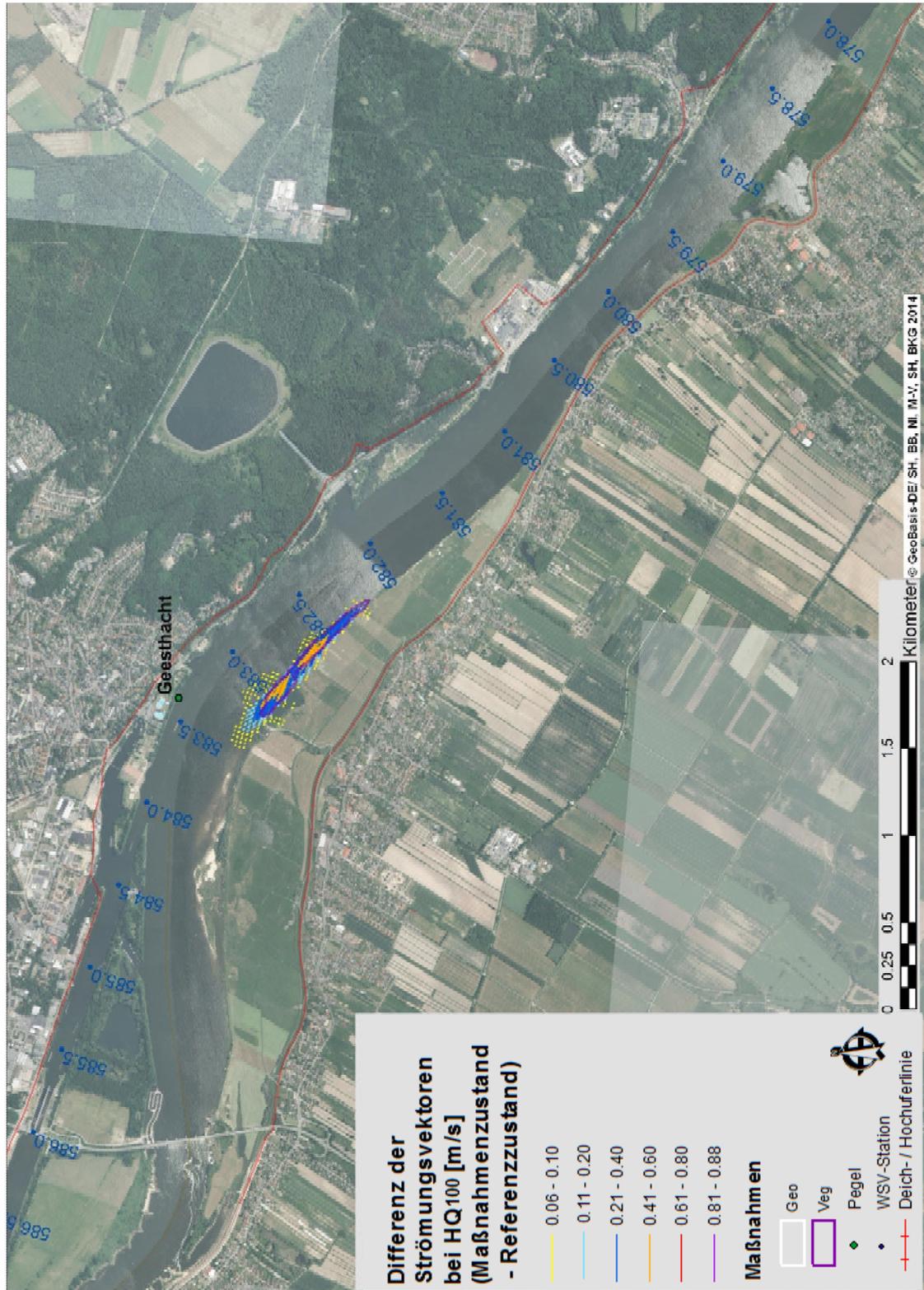


Abb. A.29 Differenz der Strömungsvektoren bei HQ<sub>100</sub> (alle vegetationsbezogenen und topografiebeeinflussenden Maßnahmen - Referenzzustand), ca. Elbe-km 578 bis 586

## Anhang 3: Sensitivitätsstudie zur maximalen Rauheitswirkung der Vegetation auf die Wasserspiegellage bei einem stationären Abfluss von $HQ_{100}$ und Vergleich mit 1D-Simulationsergebnissen

Mit dem erstellten 2D-Modell der unteren Mittelbe sollen auch Aussagen über die maximal zu erwartenden Wasserspiegeldifferenzen im hypothetischen Fall von extremen Änderungen der Vorlandvegetation bzw. Vorlandrauheiten abgeleitet werden. Sie werden vorgenommen, um ein Maß für die maximal mögliche Beeinflussung der Wasserspiegellage für  $HQ_{100}$  zu erhalten, wenn großräumig veränderte Vegetationsbedingungen geschaffen würden. Dazu werden Ergebnisse des 2D-Modells im Ist-Zustand mit entsprechenden Ergebnissen zweier extremer Modellzustände (Szenarien) verglichen.

Im Modellzustand „nur Gras“ wird der gesamte Vorlandbewuchs, der im Ist-Zustand anderen Bewuchs als Gras aufweist, in die Rauheitsklasse 1201 (Grünland landwirtschaftlich, siehe Tab. 3) umgewandelt. Dies betrifft ca. 26 % des Modellgebietes zwischen Wittenberge und Geesthacht, das bisher mit von Gras verschiedenem Bewuchs belegt war. Im Modellzustand „nur Wald“ werden analog alle nicht von Hartholzauwald belegten Vorlandgebiete (ca. 55 % des Modellgebietes) mit dem Typ 1244 (Hartholzauwald, Ausführungen hierzu auch in Anhang 4) abgeändert. Mit allen drei Modellvarianten, die sich nur hinsichtlich ihrer Rauheitsbelegung unterscheiden, werden zunächst stationäre Rechnungen bei  $HQ_{100}$  durchgeführt. Ergebnisse instationärer Simulationsberechnungen für verschiedene Hochwasserereignisse werden in Anhang 4 vorgestellt. Grundlage der Berechnungen ist die Modellversion im Validierungszustand, der sich vom Referenzzustand noch in Details unterscheidet (vgl. Kapitel 4). Die Unterschiede sind für die vorliegende Sensitivitätsstudie jedoch unerheblich.

Ähnliche stationäre Simulationen zum Vergleich des Einflusses unterschiedlicher Rauheitszustände auf Wasserspiegellagen bei  $HQ_{100}$  wurden bereits in der BfG mit 1D-Modellen im Zuge eines FGG Elbe-Projekts für Untersuchungen zur Festlegung der Bemessungswasserspiegellagen der Elbe durchgeführt (BfG, 2009). Ein wesentlicher Nachteil der 1D-Modelle ist jedoch, dass die Rauheiten nur pauschal für mehr oder weniger lange Gewässerabschnitte aufgrund von Erfahrungswerten angesetzt werden können. In BfG (2009) wurde für die Betrachtung eines extrem glatten Zustandes die Vorlandrauheit als äquivalente Rauheit für Rasengittersteine zu  $k_s = 0,015$  m (DVWK, 1991) angesetzt. Für den ebenfalls betrachteten extrem rauhen Zustand wurde die Rauheit in Abstimmung mit der FGG Elbe als der Beiwert für „Ackerboden mit Kulturen“ mit  $k_s = 0,8$  m (DVWK, 1991) festgelegt.

Abb. A.30 zeigt, dass für die untersuchte Elbestrecke zwischen Wittenberge und Geesthacht die berechneten Wasserspiegeldifferenzen (Szenario „Grasland“- Ist-Zustand) aus der 1D-Modellierung (BfG, 2009) und der hier durchgeführten 2D-Modellierung im Falle extrem niedriger Rauheiten gut übereinstimmen. Eine Vegetation im Elbevorland, die ausschließlich aus Grasland besteht, würde gegenüber dem heutigen Zustand eine Wasserstandsabsenkung von bis zu 75 cm für  $HQ_{100}$  bewirken. Abweichungen zwischen 1D-2D Berechnungsergebnis-

sen bzgl. der abgesenkten Wasserstände variieren überwiegend zwischen 0 cm und 20 cm. Diese im Rahmen der Sensitivitätsstudie (Szenario „Grasland“-Ist-Zustand) ermittelten Differenzen dienen auch zum besseren Verständnis und Einordnung der berechneten Wasserstandsdifferenzen für geplante Vegetationsmaßnahmen (Kapitel 6).

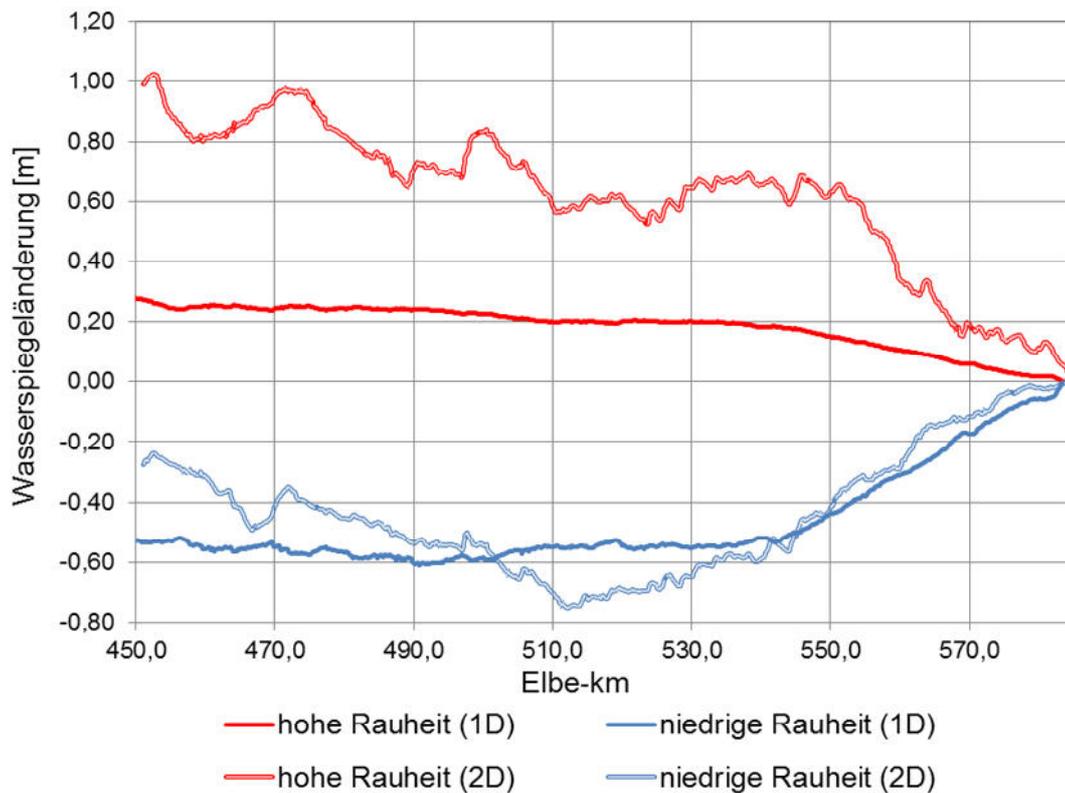


Abb. A.30 Wasserspiegellagenänderungen im Vergleich zum Ist-Zustand bei Annahme extrem hoher Rauheiten („nur Wald“ im 2D-Modell bzw.  $k_s = 0,8$  m im 1D-Modell) sowie extrem niedriger Rauheiten („nur Gras“ im 2D-Modell bzw.  $k_s = 0,015$  m im 1D-Modell)

Im Szenario mit den hohen Rauheiten werden im Bezug zum heutigen Zustand hingegen die maximalen Erhöhungen der Wasserspiegellage für  $HQ_{100}$  im 1D-Modell mit der 2D-Modellierung bei weitem übertroffen. Die Unterschiede zwischen 1D- und 2D-Modellierung betragen für die erhöhten Wasserstände überwiegend zwischen ca. 40 cm und ca. 60 cm, lokal bis ca. 75 cm (siehe Abb. A.30). Grund hierfür ist, dass die Wahl des äquivalenten Sandrauheitsparameters von  $k_s = 0,8$  m im 1D-Modell noch nicht die extreme Wirkung erzeugt, wie sie im 2D-Modell aus dem strömungsabhängigen Ansatz für die Parametrisierung für „Hartholzauwald“ (vgl. BfG, 2013a) resultiert.

Die maximal erzielten Differenzen zwischen den Wasserspiegellagen in der 2D-Berechnung, resultierend aus extrem glatten bzw. rauhen Vorländern betragen bis zu ca. 1,4 m, wohingegen mit der 1D-Modellierung im gleichen Elbestreckenabschnitt nur bis zu 0,85 m berechnet wurden. Diese Abweichungen ergeben sich aus den getroffenen Ansätzen für die jeweiligen Zustände mit hohen Rauheiten, welche in der vorliegenden 2D-Modellierung zu noch höhe-

ren Wasserständen führen als mit der 1D-Modellierung in BfG (2009). Der hier verwendete Ansatz beruht dabei auf einem physikalischen Ansatz für die Rauheitswirkung, welcher die Parameter Bewuchsdichte, -höhe und Strömungswiderstand berücksichtigt (Klopstra et al., 1997), wohingegen im 1D-Modell ein rein auf Erfahrungswerten basierender Rauheitsansatz zugrunde liegt. Die rechnerischen Rauheiten, welche aus dem physikalisch basierten Ansatz des 2D-Modells resultieren, bewirken im Hochwasserfall im Szenario „nur Wald“ somit deutlich höhere Wasserstände.



## Anhang 4: Sensitivitätsstudie zur maximalen Rauheitswirkung der Vegetation auf den Hochwasserwellenablauf (instationär)

Ergänzend zur Sensitivitätsstudie auf Grundlage von stationären Berechnungen (Anhang 3), wird in diesem Anhang eine Sensitivitätsanalyse zur maximalen Rauheitswirkung auf Basis von instationären Modellierungen präsentiert. Sie hat das Ziel, die Auswirkungen veränderter Rauheiten auf den Wellenablauf (Scheitellaufzeiten) zu bewerten, liefert allerdings - wie die stationäre Analyse - auch Ergebnisse zu den Auswirkungen auf die Wasserstände am ausgewerteten Pegelstandort. Analog zu den Untersuchungen in Anhang 3 werden hierzu die vorhandenen Bewuchsflächen des Modells innerhalb der Deichlinien vollständig in Hartholzauwald (Szenario „nur Wald“) bzw. Gras (Szenario „nur Gras“) geändert. Dies dient der Abschätzung des Potenzials von Auswirkungen möglicher Eingriffe auf Wasserstände und Abflüsse. Tatsächlich werden sich die Laufzeit- und Wasserspiegellagenänderungen infolge von Bewuchsmodifikationen in einer weit engeren Bandbreite bewegen, da sowohl die vollständige Änderung in Grasland wie auch in Waldfläche vollkommen unrealistisch ist.

Grundlage ist das Modell im Validierungszustand, der sich vom Referenzzustand noch in Details unterscheidet (vgl. Kapitel 4). Die Unterschiede sind für die vorliegende Sensitivitätsstudie jedoch unerheblich.

### Methode

Gezeigt wird, inwiefern sich im Wellenablauf die Eintrittszeitpunkte und Beträge der Abfluss- bzw. Wasserstandsmaxima verändern, wenn die Änderung der Vegetation komplett in Wald bzw. Gras erfolgen würde. Im ersten Szenario „nur Wald“ werden die Vorlandflächen, die im Ist-Zustand einen anderen Bewuchs als Hartholzauwald aufweisen, vollständig in diesen umgewandelt. Dies betrifft ca. 55 % des Modellgebietes. Im zweiten Szenario „nur Gras“ werden ca. 26 % des Modellgebietes, die bisher mit von Gras verschiedenem Bewuchs belegt waren, in Gras umgewandelt. Im Falle „nur Wald“ erfolgt die Umwandlung der Rauheiten in die Vegetationsklasse „Hartholzaue“, da dies die letzte Sukzessionsstufe darstellt. Für die Zwischenstufe „Weichholzaue“ stellt sich temporär eine nur geringfügig größere Rauheitswirkung ein, welche jedoch hier angesichts des völlig unrealistischen Szenarios, alle Flächen befänden sich gleichzeitig in diesem Zwischenzustand, nicht weiter betrachtet wird.

Die Maxima der Abfluss bzw. Wasserstandsganglinie sind die jeweils höchsten gemessenen bzw. ermittelten Werte des Ereignisses  $Q_{\max}$  bzw.  $h_{\max}$ . Die Eintrittszeitpunkte der Scheitelwerte werden berechnet als Schwerpunkt des Flächenintegrals unter der jeweiligen Ganglinie, wobei alle Abflusswerte zwischen  $Q_{\max}$  und  $Q_{\max} - 50 \text{ m}^3/\text{s}$  bzw. alle Wasserstände zwischen  $h_{\max}$  und  $h_{\max} - 0,05 \text{ m}$  für die Integration berücksichtigt werden (Abb. A.31).

Abweichend wurde lediglich für das Hochwasser des Jahres 2000 (HW 2000) jeweils  $Q_{\max} - 40 \text{ m}^3/\text{s}$  bzw.  $h_{\max} - 0,04 \text{ m}$  als untere Grenze gewählt, da aufgrund der zwei kurz aufeinander

folgenden Scheitel ansonsten eine Verfälschung der Eintrittszeitpunkte resultieren würde. Für diese Untersuchungen wurden die vier in Wellenform, -volumen und Scheitelhöhe verschiedenen Hochwasserereignisse der Jahre 2000, 2002, 2006 und 2013 betrachtet, um den Einfluss der Vegetation auf den Hochwasserwellenablauf erkennbar zu machen. Dargestellt werden Ganglinien für den Pegel Neu Darchau (Elbe-km 536,4), da hier – etwa bei zwei Dritteln der Modellstrecke – der Einfluss der Bewuchsänderungen von den Modellrändern unbeeinflusst ist und darüber hinaus Vergleiche mit den gemessenen Abflussganglinien möglich sind.

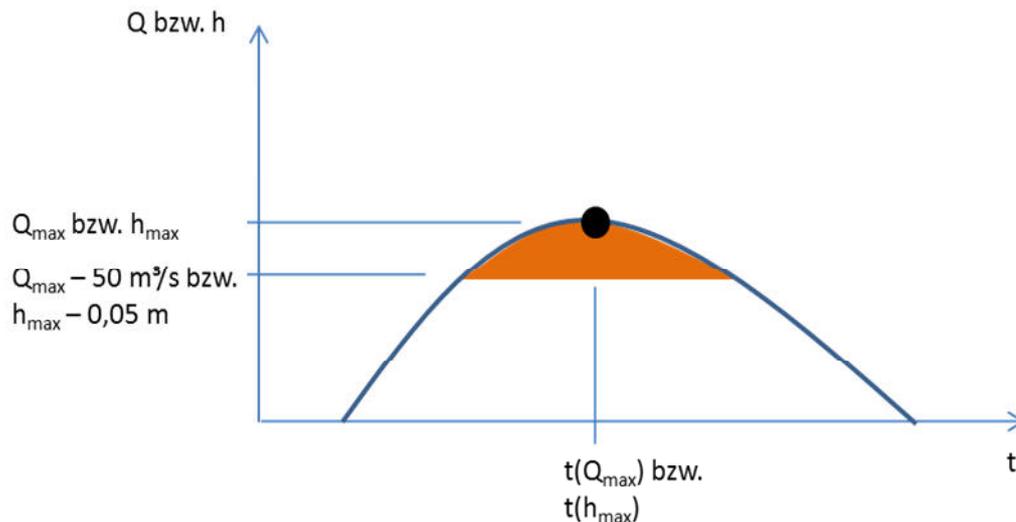


Abb. A.31 Methode zur Ermittlung der Eintrittszeitpunkte der Scheitelwerte

Tab. A.3 fasst die Ergebnisse der vorgenommenen Szenarienberechnungen für die Scheitelwasserstände zusammen. In ihr sind die Beträge der Scheitelwasserstandsänderungen infolge der Veränderungen des Bewuchses (Zustände „nur Gras“ bzw. „nur Wald“) aufgeführt. Deutlich wird, dass die Bewuchsmodifikation hin zu „nur Gras“ eine Absenkung der Scheitelwasserstände um bis zu -50 cm bewirkt. Eine Änderung hin zu „nur Wald“ bedeutet hingegen eine Erhöhung der Wasserstände um bis zu ca. 60 cm. Für die größten Hochwasser 2002, 2006 und 2013 deckt sich dieses Ergebnis in etwa mit der Aussage zu den stationären Untersuchungen für HQ<sub>100</sub> (vgl. Anhang 3, Abb. A.30, Elbe-km 536).

Tab. A.3 Berechnete Scheitelwasserstände sowie deren Änderungen bei den Zuständen „nur Gras“ bzw. „nur Wald“ für die Hochwasserereignisse 2000, 2002, 2006 und 2013

Ereignis	HW berechneter Ist-Zustand [m+NHN]	$\Delta$ HW Zustand nur Gras [m]	$\Delta$ HW Zustand nur Wald [m]
2000	12,01	-0,26	0,31
2002	13,50	-0,50	0,55
2006	13,13	-0,45	0,59
2013	13,41	-0,47	0,57

Tab. A.4 fasst die Ergebnisse der Szenarienberechnungen hinsichtlich der Änderungen der Eintrittszeitpunkte der Scheitelwasserstände zusammen. Eine Änderung hin zu „nur Gras“ bewirkt eine Beschleunigung der Hochwasserwelle, korrespondierend mit einem früheren Eintrittszeitpunkt des Scheitelwasserstandes am Pegel Neu Darchau; eine Änderung hin zu „nur Wald“ hingegen bewirkt eine Verlangsamung der Hochwasserwelle, korrespondierend mit einem späteren Eintrittszeitpunkt am Pegel Neu Darchau. Prozentual verringert sich die Scheitellaufzeit zwischen den Pegeln Wittenberge und Neu Darchau um -13 bis -23 % im Zustand „nur Gras“. Dies entspricht 3 bis 8 Stunden. Für den Fall „nur Wald“ erhöht sich die Scheitellaufzeit zwischen den Pegeln Wittenberge und Neu Darchau um 27 bis 45 % (entsprechend 6 bis 18 Stunden). In beiden Fällen stellen die ermittelten Änderungen der Laufzeitänderungen Extremwerte dar, welche bei realistischen Maßnahmenzenarien bei weitem nicht erreicht werden.

Tab. A.4 Berechnete Eintrittszeitpunkte des Scheitelwasserstands sowie deren absoluten und prozentualen Änderung bei den Zuständen „nur Gras“ bzw. „nur Wald“ für die Hochwasserereignisse 2000, 2002, 2006 sowie 2013

Ereignis	t(HW) berechneter Ist-Zustand	$\Delta t(\text{HW})$		$\Delta t(\text{HW})$	
		Zustand nur Gras [h]	[%]	Zustand nur Wald [h]	[%]
2000	24.03.2000 13:30	-3,0	-13	6,0	27
2002	21.08.2002 20:59	-6,0	-23	8,0	31
2006	09.04.2006 13:30	-6,0	-23	10,0	38
2013	11.06.2013 18:00	-8,0	-20	18,0	45

Tab. A.5 fasst die Änderungen des Scheitelabflusses infolge der Veränderungen des Bewuchses zusammen. Bei Veränderung des Bewuchses hin zu „nur Gras“ steigt der Scheitelabfluss nur unwesentlich an; bei Veränderung des Bewuchses hin zu „nur Wald“ verringert sich der Scheitelabfluss hingegen. Die Beträge der Änderungen sind bei länger andauernden Hochwasserwellen ausgeprägter (vgl. HW 2002, HW 2013), die prozentualen Änderungen bezogen auf den Scheitelabfluss im Ist-Zustand sind jedoch durchweg gering (bis 1,4 % für „nur Gras“ bzw. bis -3,2 % für „nur Wald“). Damit sind die Effekte extremer Vorlandbewuchsänderungen auf den Scheitelabfluss relativ klein.

Tab. A.5 Berechnete Scheitelabflüsse sowie deren absolute und prozentuale Änderungen bei den Zuständen „nur Gras“ bzw. „nur Wald“ für die Hochwasserereignisse 2000, 2002, 2006 sowie 2013

Ereignis	HQ berechneter Ist-Zustand [m³/s]	$\Delta \text{HQ}$		$\Delta \text{HQ}$	
		Zustand nur Gras [m³/s]	[%]	Zustand nur Wald [m³/s]	[%]
2000	2534	2,1	0,1	-5,7	-0,2
2002	4124	32,4	0,8	-131,5	-3,2
2006	3684	7,9	0,2	-17,8	-0,5
2013	4130	56,2	1,4	-104,8	-2,5

Tab. A.6 fasst die Änderungen der Eintrittszeitpunkte der berechneten Scheitelabflüsse zusammen. Wie zu erwarten war, beschleunigt auch hier die Änderung hin zu „nur Gras“ den Ablauf der Hochwasserwelle, korrespondierend mit einem früheren Eintrittszeitpunkt des Scheitelabflusses am Pegel Neu Darchau, wohingegen eine Änderung hin zu „nur Wald“ den Ablauf der Welle verzögert. Bei allen Ereignissen wird der Eintrittszeitpunkt des Scheitelabflusses vor dem Eintreten des Scheitelwasserstandes berechnet, was auf einen Hystereseeffekt im Scheitelbereich der ausgewählten Hochwasserereignisse hindeutet.

Die berechneten Ganglinien für Wasserstand und für den Abfluss im Ist-Zustand, im Zustand „nur Wald“ sowie „nur Gras“ der Hochwasserereignisse 2000, 2002, 2006 und 2013 sowie die jeweiligen ermittelten Scheitelwerte für den Pegel Neu Darchau sind in den Abb. A.32 bis Abb. A.39 dargestellt.

Tab. A.6 Eintrittszeitpunkt des Scheitelabflusses sowie Änderung bei den Zuständen „nur Gras“ bzw. „nur Wald“ für die Hochwasserereignisse 2000, 2002, 2006 sowie 2013

Ereignis	t(HQ) berechneter Ist-Zustand	$\Delta t$ (HQ) Zustand nur Gras [h]	$\Delta t$ (HQ) Zustand nur Wald [h]
2000	24.03.2000 10:30	-2,0	3,0
2002	21.08.2002 14:30	-5,5	5,0
2006	09.04.2006 08:00	-4,0	8,0
2013	11.06.2013 09:58	-16,5	14,0

### Zusammenfassung

#### Szenario „nur Wald“:

Im Fall, dass die gesamte bewachsene Vorlandfläche an der unteren Mittelbe in Wald verändert würde, ergeben sich mit dem 2D-Modell für ausgewählte historische Hochwasser der Elbe bei instationärer Simulation für den Pegel Neu Darchau **geringfügige Reduzierungen der Scheitelabflüsse** zwischen ca. -6 und -132 m<sup>3</sup>/s (Tab. A.5). Bezogen auf die Scheitelabflüsse nimmt die Wellenlaufzeit zwischen Wittenberge und Neu Darchau um 3 bis 14 h zu (Tab. A.6). Beide Effekte sind der geringen zusätzlichen Retentionswirkung der Waldflächen im Vergleich zum Ist-Zustand zuzuschreiben. Die **Scheitelwasserstände steigen** für die gleichen Szenarien hingegen um 31 bis 59 cm am Pegel Neu Darchau (Tab. A.3). Die Eintrittszeitpunkte der Scheitelwasserstände verzögern sich zwischen Wittenberge und Neu Darchau um 6,5 bis 18 h (Tab. A.4). Dies ist mit der höheren Rauheitswirkung begründet, welche geringere Fließgeschwindigkeiten im Vorland und somit aus Gründen der Kontinuität höhere Wasserstände verursacht. Extreme Zunahmen der Bewuchsstärken im Vorland bewirken somit steigende Wasserstände bei gleichzeitiger geringer Reduzierung der Maximaldurchflüsse und Verlangsamung der Hochwasserwelle.

#### Szenario „nur Gras“:

Im Fall, dass die gesamte bewachsene Vorlandfläche in Grasland verändert würde, ergeben sich mit dem 2D-Modell bei instationärer Simulation für den Pegel Neu Darchau nur **gering-**

**füge Zunahmen der Scheitelabflüsse** bei Hochwasser zwischen ca. 2 und 56 m<sup>3</sup>/s für die vier zurückliegenden HW-Ereignisse (Tab. A.5). Bezogen auf die Durchflüsse verringert sich die Wellenlaufzeit zwischen Wittenberge und Neu Darchau um -2 bis -16,5 h (Tab. A.6). Beide Effekte sind der geringeren Retentionswirkung der Grasflächen im Vergleich zum Ist-Zustand zuzuschreiben. Die **Verringerung der Scheitelwasserstände** für die gleichen Szenarien hingegen beträgt zwischen -26 bis -50 cm am Pegel Neu Darchau (Tab. A.3). Die Scheitelwasserstände treten zwischen Wittenberge und Neu Darchau zwischen -6 und -22 h früher ein (Tab. A.4). Dies ist mit der geringeren Rauheitswirkung der Grasflächen im Vergleich zum Ist-Zustand begründet, welche höhere Fließgeschwindigkeiten im Vorland ermöglicht und somit aus Gründen der Kontinuität geringere Wasserstände verursacht. Extreme Rückschnitte des Vorlandbewuchses bewirken somit sinkende Wasserstände bei gleichzeitiger Erhöhung der Maximaldurchflüsse sowie Beschleunigung der Hochwasserwelle.

### Fazit

Als Ergebnis der Szenarienberechnungen für extrem veränderte Vorlandrauheiten lassen sich keine signifikanten Änderungen der Scheitelabflüsse, jedoch deutliche Scheitelwasserstandsänderungen (vgl. auch Anhang 2) und veränderte Eintrittszeitpunkte der Scheitelwerte feststellen. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es sich bei den Szenarien um Extremzustände handelt, die aufgrund der Bedeutung des Gebietes als Biosphärenreservat vollkommen unrealistisch sind. Die Berechnungen mit dem 2D-Modell können jedoch die Spannweite maximal möglicher Beeinflussungen der Vegetationszustände auf Hochwasserabläufe aufzeigen. Wichtig ist dabei abschließend festzustellen, dass das Retentionsverhalten im Wellenablauf von bedeutenden Elbehochwassern nur wenig verändert wird und dabei auch keine signifikante zeitliche Umverteilung der Abflüsse stattfindet, d. h. die Form der Ganglinie bleibt im Wesentlichen unverändert.

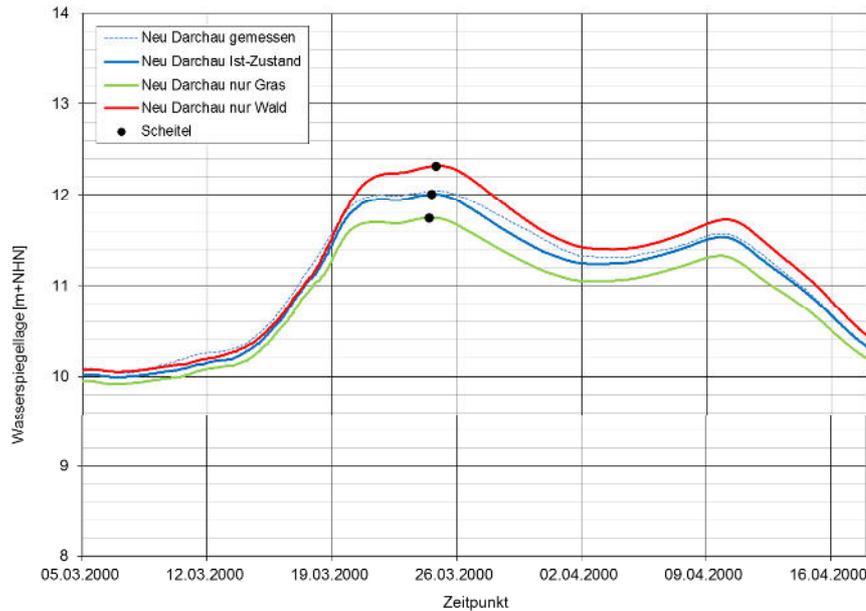


Abb. A.32 Verlauf der gemessenen Wasserstandsganglinie des HW 2000 am Pegel Neu Darchau im Ist-Zustand (gestrichelte Linie) sowie der modellierten Wasserstandsganglinie für den Ist-Zustand (blau), den Zustand „nur Gras“ (grün) sowie „nur Wald“ (rot) und ermittelte Scheitelwerte

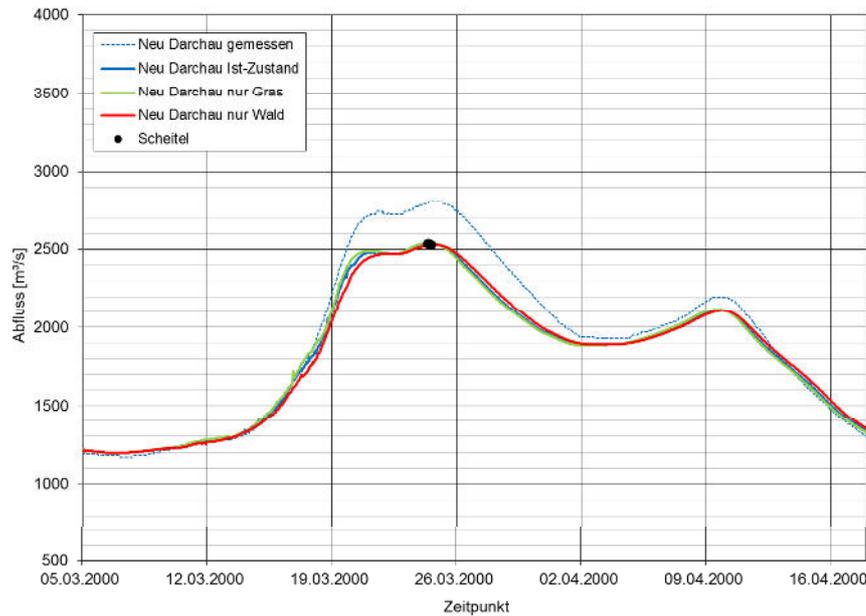


Abb. A.33 Verlauf des aus der Abflusskurve berechneten Durchflusses des HW 2000 am Pegel Neu Darchau im Ist-Zustand (gestrichelte Linie) sowie der modellierten Durchflüsse für den Ist-Zustand (blau), den Zustand „nur Gras“ (grün) sowie „nur Wald“ (rot) und ermittelte Scheitelwerte<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Die für das HW 2000 gültige Abflusstafel für den Pegel Neu Darchau weist Abflüsse aus, die von der bei der Kalibrierung des Modells verwendeten Abflusstafel abweichen.

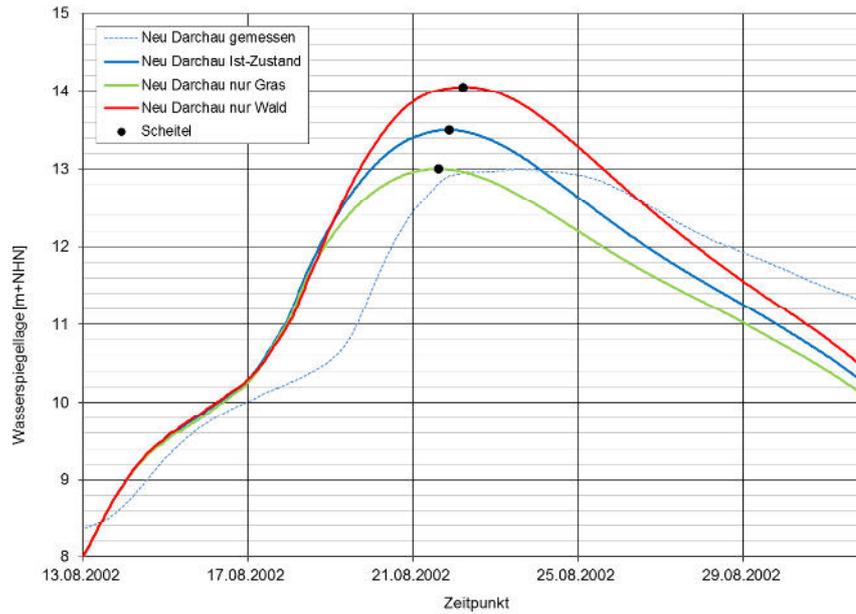


Abb. A.34 Verlauf der gemessenen Wasserstandsganglinie des HW 2002 am Pegel Neu Darchau im Ist-Zustand (gestrichelte Linie) sowie der modellierten Wasserstandsganglinie (ohne Deichbrüche) für den Ist-Zustand (blau), den Zustand „nur Gras“ (grün) sowie „nur Wald“ (rot) und ermittelte Scheitelwerte<sup>1</sup>

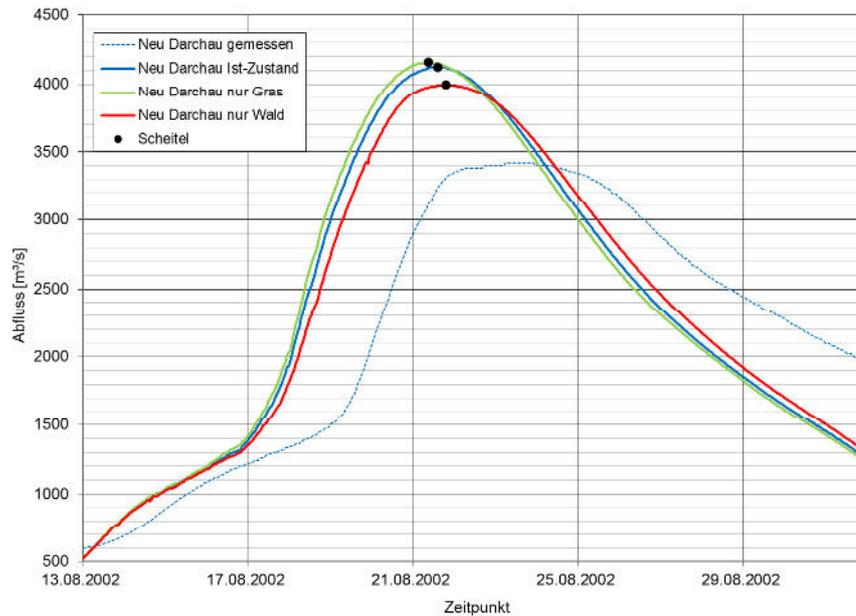


Abb. A.35 Verlauf des aus der Abflusskurve berechneten Durchflusses des HW 2002 am Pegel Neu Darchau im Ist-Zustand (gestrichelte Linie) sowie der modellierten Durchflüsse (ohne Deichbrüche) für den Ist-Zustand (blau), den Zustand „nur Gras“ (grün) sowie „nur Wald“ (rot) und ermittelte Scheitelwerte<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Die Berechnungen wurden mit einer synthetischen, von Deichbrüchen unbeeinflussten, Ganglinie für Wittenberge durchgeführt und sind daher nicht mit der tatsächlich gemessenen Ganglinie am Pegel Neu Darchau vergleichbar.

<sup>2</sup> siehe <sup>1</sup>)

2D-Modellierung an  
der unteren Mittelelbe  
zwischen Wittenberge  
und Geesthacht

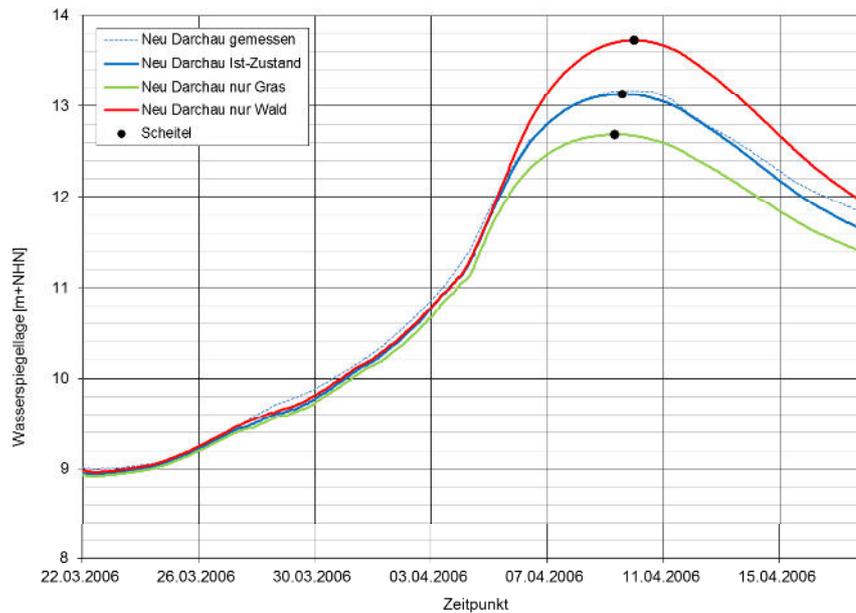


Abb. A.36 Verlauf der gemessenen Wasserstandsganglinie des HW 2006 am Pegel Neu Darchau im Ist-Zustand (gestrichelte Linie) sowie der modellierten Wasserstandsganglinie für den Ist-Zustand (blau), den Zustand „nur Gras“ (grün) sowie „nur Wald“ (rot) und ermittelte Scheitelwerte

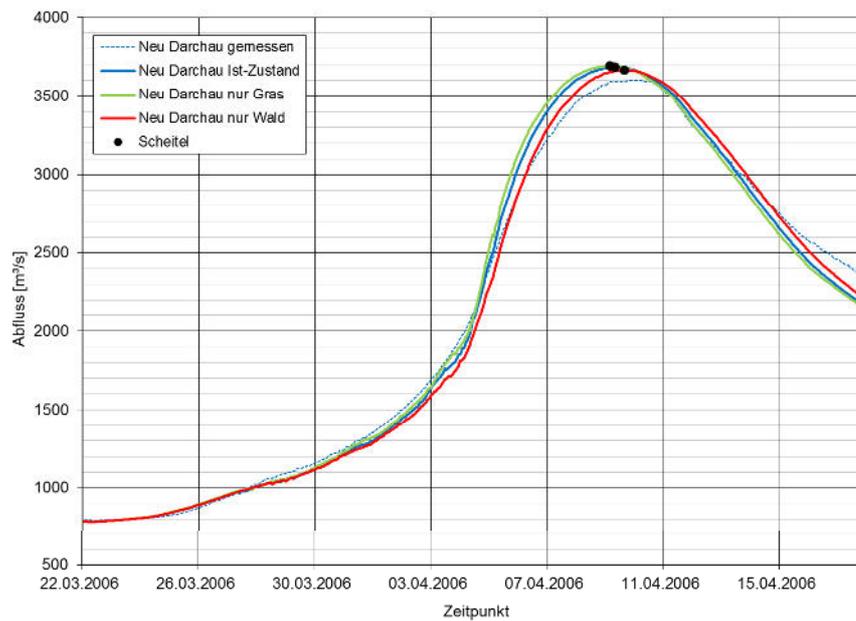


Abb. A.37 Verlauf des aus der Abflusskurve berechneten Durchflusses des HW 2006 am Pegel Neu Darchau im Ist-Zustand (gestrichelte Linie) sowie der modellierten Durchflüsse für den Ist-Zustand (blau), den Zustand „nur Gras“ (grün) sowie „nur Wald“ (rot) und ermittelte Scheitelwerte

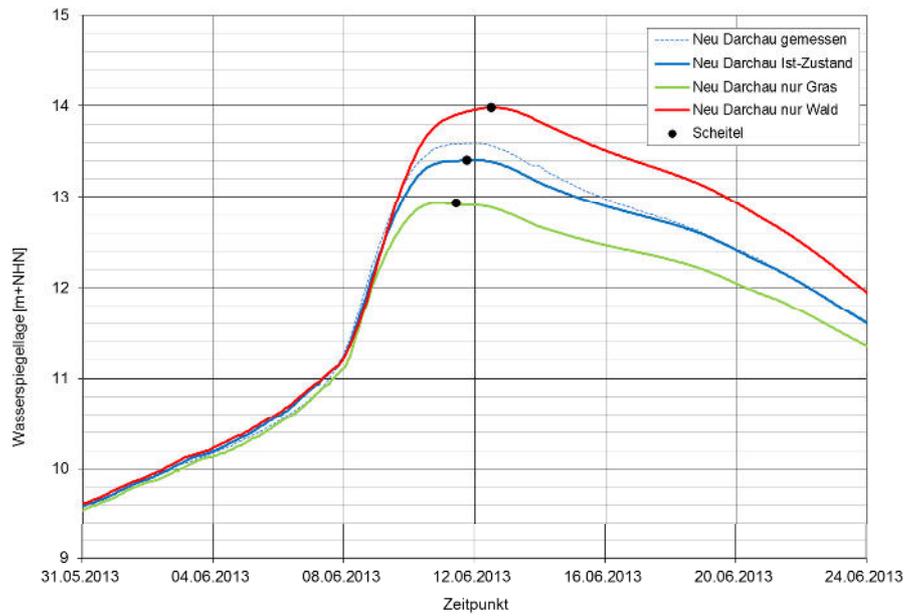


Abb. A.38 Verlauf der gemessenen Wasserstandsganglinie des HW 2013 am Pegel Neu Darchau im Ist-Zustand (gestrichelte Linie) sowie der modellierten Wasserstandsganglinie für den Ist-Zustand (blau), den Zustand „nur Gras“ (grün) sowie „nur Wald“ (rot) und ermittelte Scheitelwerte

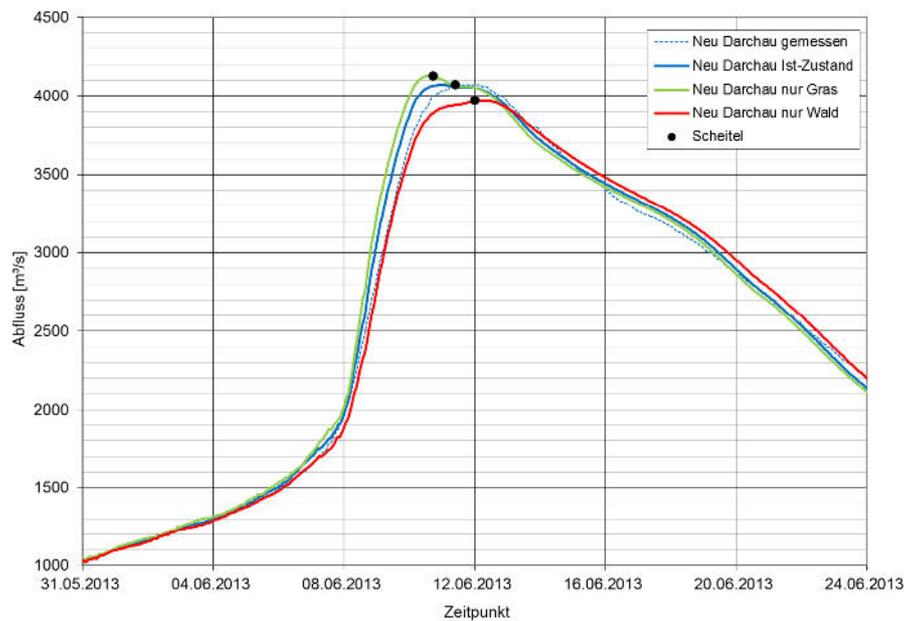


Abb. A.39 Verlauf des aus der Abflusskurve berechneten Durchflusses des HW 2013 am Pegel Neu Darchau im Ist-Zustand (gestrichelte Linie) sowie der modellierten Durchflüsse für den Ist-Zustand (blau), den Zustand „nur Gras“ (grün) sowie „nur Wald“ (rot) und ermittelte Scheitelwerte

2D-Modellierung an  
der unteren Mittelbe  
zwischen Wittenberge  
und Geesthacht

## Anhang 5: Auswirkung der Deichrückverlegung Lenzen auf das Hochwasser 2013

Das Hauptziel der 2009 fertig gestellten DRV Lenzen (Elbe-km 476,7 bis 483,7) in Brandenburg war die Wiederherstellung der Überflutungsdynamik und der ehemals für die Mittelbe typischen Auwaldstruktur (Damm, 2013a). Hierfür wurde auf einer Länge von ca. 6,1 km eine neue Deichlinie bis zu 1,3 km weit vom bisherigen Deich entfernt errichtet (Abb. 17). Letzterer wurde an sechs Stellen geschlitzt und mit Einlaufschwelen versehen, um bei Hochwasserabflüssen eine seitliche Einströmung in das DRV-Gebiet zu ermöglichen (IKSE, 2012). Die somit geschaffene neue Überschwemmungsfläche mit einer Gesamtgröße von 4,2 km<sup>2</sup> stellt ein wertvolles Habitat dar, welches einem intensiven Monitoring unterliegt (Damm, 2013b).

Neben der ökologischen Wirkung hat die DRV Lenzen auch erhebliche Auswirkungen auf die Wasserspiegellagen im DRV-Bereich und nach oberstrom und damit auch auf den Hochwasserschutz. Wasserstandsabsenkende Wirkungen konnten erstmals am 2 km oberhalb gelegenen Pegel Schnackenburg durch Vergleich der gemessenen Scheitelwasserstände beim Hochwasser Januar 2011 in Bezug zum Hochwasser April 2006 festgestellt werden. Während an den außerhalb des Einflussbereichs der DRV Lenzen gelegenen Nachbarpegeln Wittenberge und Lenzen positive Differenzen HW 2011-HW 2006 gemessen wurden, ergaben sich am Pegel Schnackenburg negative Differenzen, d. h. es wurden als Auswirkung der DRV Lenzen deutliche Wasserstandsabsenkungen beim Hochwasser 2011 nachgewiesen (siehe Anhang 8).

Wie Peildaten, gemessene Wasserstände an Pegeln, Abflussmessungen, Abflusskurven so bewahren auch die Wasserspiegelfixierungen der WSV das hydrologische und gewässermorphologische Gedächtnis an den Bundeswasserstraßen. Durch den Vergleich der gemessenen Wasserstände im Zuge der von der BAW beauftragten, per Messschiff vorgenommenen Wasserspiegelfixierungen in den Scheiteln der HW April 2006 und Juni 2013 lassen sich im Fachdienst FLYS im Sinne eines Monitoringwerkzeugs die durch die DRV Lenzen verursachten Wasserstandsänderungen nachweisen. Aufgrund der unterschiedlichen Scheitelabflüsse dieser beiden Elbehochwasser ergeben sich, wie man in der Abb. A.40 erkennen kann, relativ konstante Wasserstandsdifferenzen von ca. 50-60 cm auf weiten Strecken oberhalb und unterhalb der Maßnahme. Im unmittelbaren Bereich der Maßnahme nähern sich die gemessenen Wasserspiegellinien deutlich an. Im Minimum wird nur noch eine Differenz von ca. 20 cm verzeichnet, d.h. hier wurde durch die DRV Lenzen beim Hochwasser 2013 eine Wasserstandsabsenkung von maximal 30-40 cm verursacht. Diese Auswirkungen reichen ca. 20 km nach oberstrom und somit fast bis zum Pegel Wittenberge.

Bei der Projektierung der DRV Lenzen kamen bereits ein- und zweidimensionale numerische sowie ein physikalisches Modell bei der BAW zum Einsatz (Alexy und Faulhaber, 2011; Faulhaber et al., 2013). Das dabei eingesetzte 2D-Modell hatte aufgrund des Ziels, detaillierte Unterlagen für die Bauausführung zu liefern, einen lokaleren Fokus und daher eine feinere Auflösung von bis zu 2 m Maschenweite. Im Gegensatz dazu ermöglicht das in der BfG er-

stellte 2D-Modell zwischen Wittenberge und Geesthacht, großräumige Auswirkungen und Wechselwirkungen zwischen räumlich entfernten Maßnahmen zu analysieren.

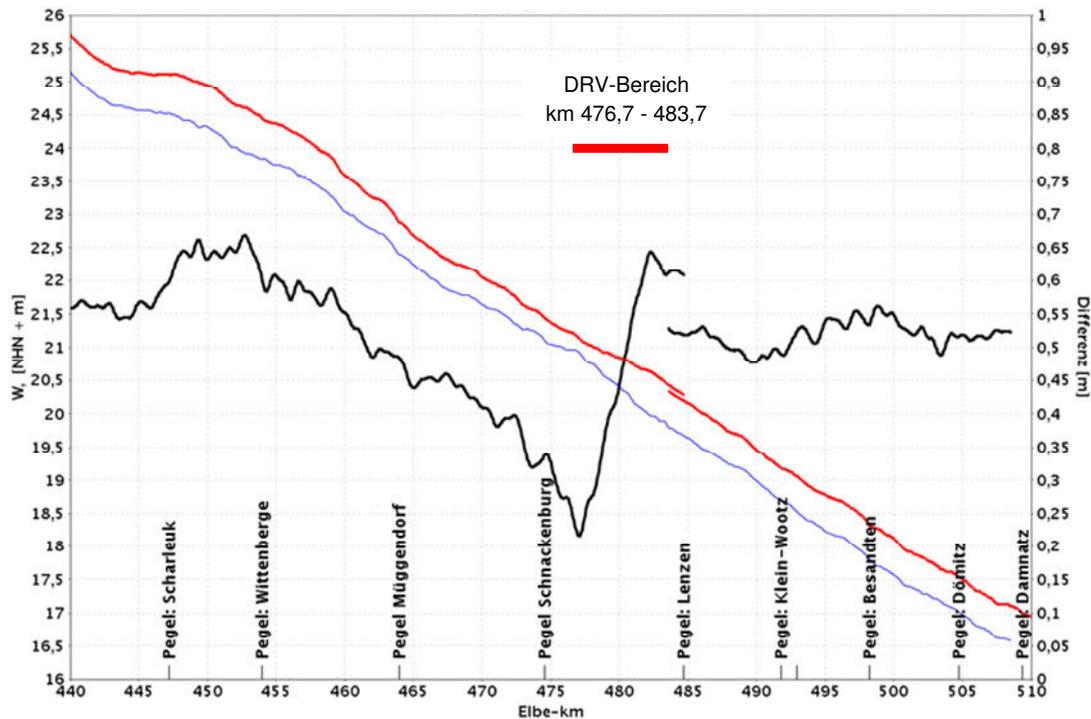


Abb. A.40 Gemessene Scheitelwasserspiegellagen an der unteren Mittel-  
elbe bei den HW Juni 2013 (rot) und April 2006 (blau) und sich ergebende Differenzlinie  
(schwarz). Quelle: Fachdienst FLYS

Um die Wirkung der DRV Lenzen auf die Scheitelwasserspiegellage beim HW 2013 nachzuweisen, wurde ein Modellzustand erzeugt, welches den Zustand vor der Deichrückverlegung abbildet. Dazu sind die im Ist-Zustand vorhandenen 6 Schlitze im alten Deich geschlossen worden. Die Differenz der berechneten Wasserstände entlang der Stromachse zwischen den Modellzuständen mit bzw. ohne DRV beträgt für den Scheiteldurchfluss des HW 2013 im Maximum 0,49 m (Abb. A.41). Die Wirkung reicht nach oberstrom bis über den oberen Modellrand bei Elbe-km 451 hinaus, wo noch 0,06 m Absenkung infolge der DRV festzustellen sind. Am ca. 23 km oberhalb der DRV Lenzen gelegenen Pegel Wittenberge ist noch eine rechnerische Wasserstandsabsenkung von 0,08 m vorhanden. Am Zusammenfluss der Durchflüsse aus dem Elbe-Hauptstrom und dem DRV-Gebiet bei ca. Elbe-km 483,5 kommt es infolge der Querströmungsanteile zu einer geringfügigen Behinderung des Abflusses und in deren Folge zu einem lokalen Aufstau von bis zu 0,05 m. Unterhalb von Elbe-km 485 sind keine Auswirkungen auf den Wasserspiegel beim Elbehochwasser 2013 mehr festzustellen. Dies gilt auch für den Bereich der Seegemündung (Elbe-km 489,6).

Auf die Wellenfortschrittsgeschwindigkeit hat die Maßnahme Lenzen so gut wie keine Auswirkung. Zur Illustration ist in Abb. A.42 der zeitliche Ablauf der modellierten Hochwasserwelle des HW 2013 für den ca. 54 km unterstrom gelegenen Pegel Neu Darchau mit bzw. ohne DRV Lenzen dargestellt. Die Differenz der Eintrittszeitpunkte des Scheitels ist nahezu Null. Die Form der Hochwasserwellen mit bzw. ohne DRV ist identisch. Dies lässt sich durch das im Vergleich zum Abflussvolumen der Hochwasserwelle geringe zusätzliche Volumen

erklären, dass durch die Durchströmung der DRV im Laufe des Hochwassers sukzessive aktiviert wird.

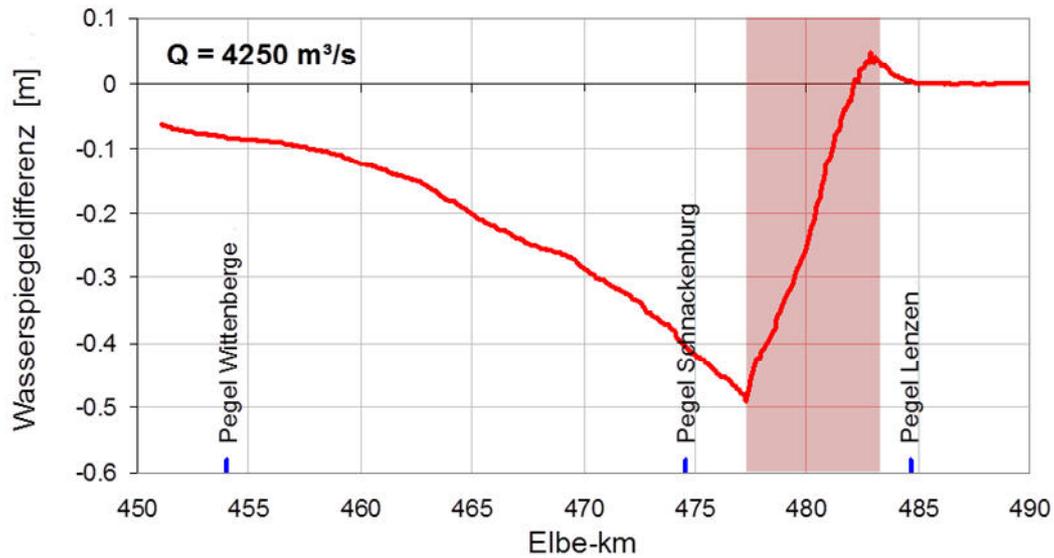


Abb. A.41 Modellierter Wasserspiegeldifferenz entlang der Gewässerachse aus den Zuständen mit und ohne DRV Lenzen für den Maximalabfluss des HW 2013 (stationäre Rechnung). Der Bereich der DRV ist farblich hinterlegt. Quelle: Promny et al. (2014)

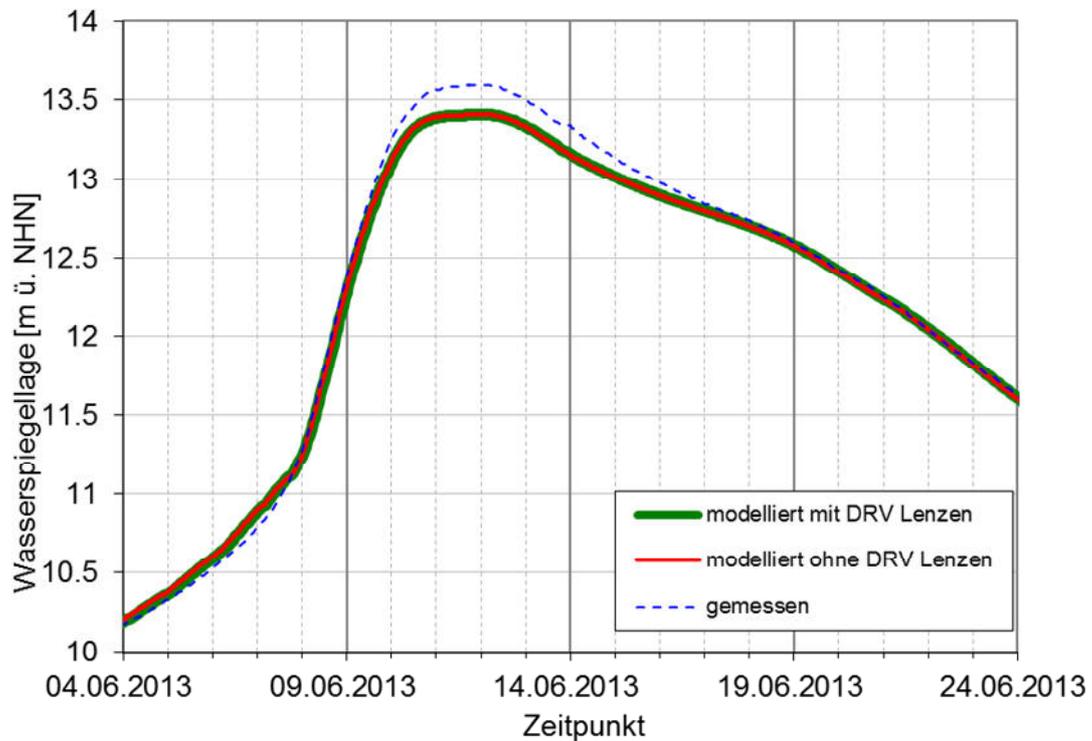


Abb. A.42 Modellierter Wasserspiegelganglinie am Pegel Neu Darchau mit (grün) bzw. ohne (rot) Deichrückverlegung Lenzen. Zum Vergleich die gemessene Ganglinie am Pegel Neu Darchau (blau). Quelle: Promny et al. (2014)

Die Maßnahme Lenzen verändert durch das seitliche Ausleiten eines Teils des Hochwasserabflusses auch die lokale Strömungsrichtung. In Abb. A.43 sind die Differenzvektoren der Fließgeschwindigkeit aus den Zuständen mit und ohne DRV im unteren Bereich der Maßnahme (ca. Elbe-km 482,2 bis 484) für den Scheitelabfluss des HW 2013 dargestellt. Während die Strömungsgeschwindigkeit im Hauptabflussquerschnitt deutlich verringert wird (nach oberstrom orientierte Differenzvektoren), treten im Bereich der Rückströmung durch die Schlitze 5 und 6 erhöhte Fließgeschwindigkeiten längs und quer zur Hauptströmungsrichtung auf. Lokal sind die Geschwindigkeiten um bis zu 1,4 m/s gegenüber dem Zustand ohne DRV erhöht. Am linken Ufer sowie unterhalb von Elbe-km 484 hingegen sind die Differenzen der lokalen Fließgeschwindigkeit zum Zustand ohne DRV vernachlässigbar klein.

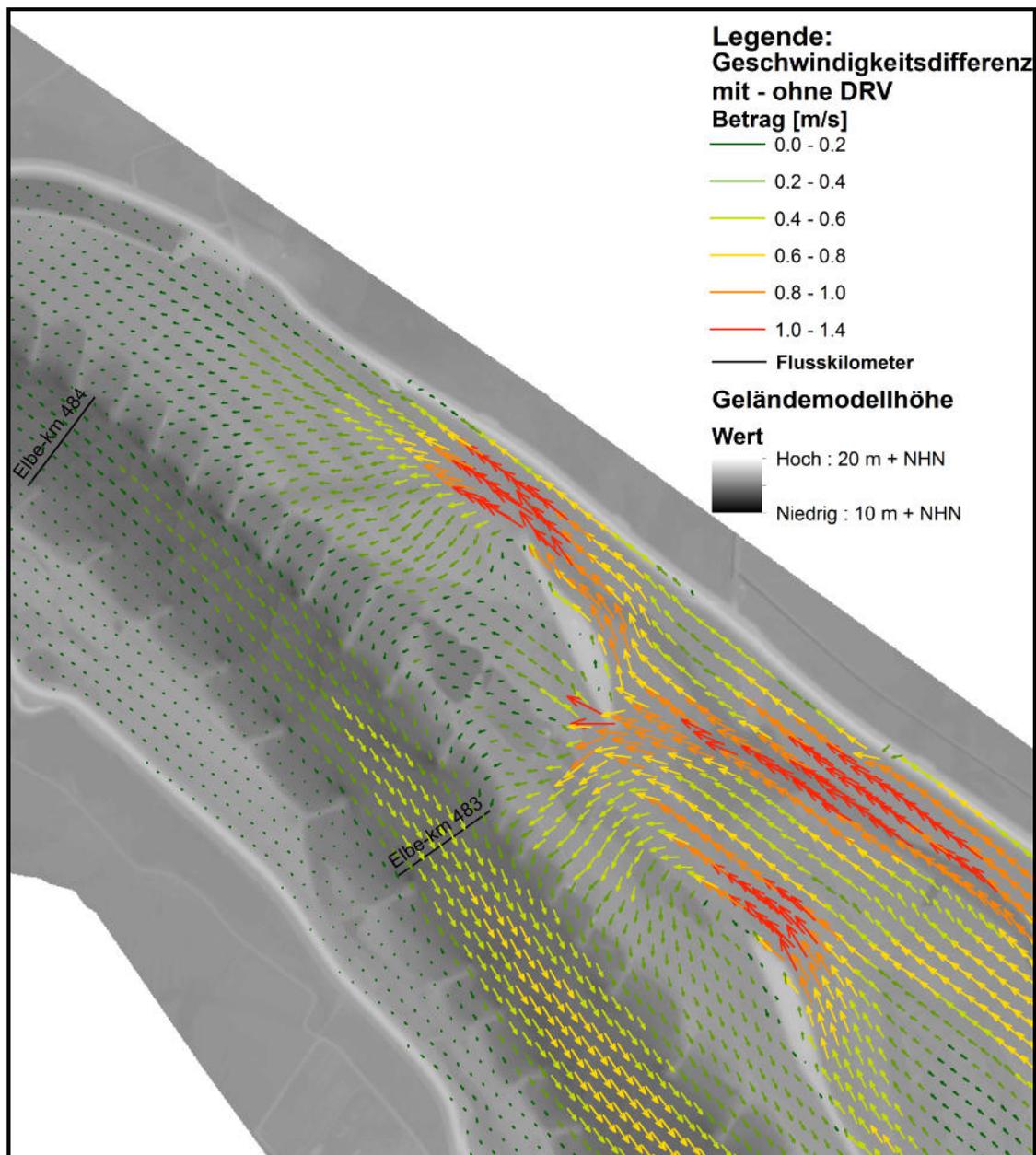


Abb. A.43 Differenzvektoren der Strömungsgeschwindigkeit im unteren Bereich der DRV Lenzen (Schlitze 5 und 6) aus den Zuständen mit und ohne DRV für den Scheitelabfluss des HW 2013 (stationäre Rechnung). Quelle: Promny et al. (2014)

## Anhang 6: Deichhöhen, Wasserstände am Deich und Freiborde entlang der Untersuchungsstrecke

In Kapitel 9 wurde die Freibordanalyse exemplarisch für einen kurzen Elbeabschnitt durchgeführt. Nachfolgend sind in Tab. A.7 die Ergebnisse der Freibordanalyse (Kapitel 9) im Abstand von jeweils 500 m für die gesamte Untersuchungsstrecke zwischen Elbe-km 451,5 und 586,0 enthalten. Eine Darstellung der Ergebnisse für jeden Hektometer ist der digitalen Projektdokumentation zu entnehmen. Die Abkürzungen bedeuten im Folgenden:

Abkürzung der Deichverbände:

ADV = Artlenburger Deichverband

JDV\* = Jeetzel Deichverband, Deichabschnitt Laase - Grippel

JDV\*\* = Jeetzel Deichverband, Böschungsoberkante Grippel uh. Deich

JDV\*\*\* = Jeetzel Deichverband, Deichabschnitt Nienwedel - Hitzacker

JDV\*\*\*\* = Jeetzel Deichverband, HWSW Hitzacker (Deich - Sperrwerk)

MGDWV = Meetschow-Gorlebener Deich- und Wasserverband

GDWV = Gartower Deich- und Wasserverband

DDWV = Dannenberger Deich- und Wasserverband

NDUV = Neuhauser Deich- und Unterhaltungsverband

Sonstige Abkürzungen:

k.A. = keine Wasserspiegellage für HQ<sub>100</sub> am Deich berechnet

Fußnoten (rechtes Ufer):

<sup>1</sup> - Mecklenburg-Vorpommern

<sup>2</sup> - Niedersachsen

Tab. A.7 Deichhöhen, Wasserstände am Deich und Freiborde für das linke und rechte Ufer im Bereich Elbe-km 451,5 bis 586,0 (500 m-Werte)

Elbe- km	linkes Ufer (Niedersachsen)						rechtes Ufer (Niedersachsen & Mecklenburg- Vorpommern)					
	Deich- Abschnitt	Ufer- seite	Deich- km	W(HQ 100)	Kronenhöhe Deich	Frei- bord	Frei- bord	Kronenhöhe Deich	W(HQ 100)	Deich- km	Ufer- seite	Deich- Abschnitt
[km]			[km]	[m+ NHN]	[m+NHN]	[m]	[m]	[m+NHN]	[m+ NHN]	[km]		
451,5	-	links	-	24,82	-	-	-	-	24,86	-	rechts	-
452,0	-	links	-	24,67	-	-	-	-	24,76	-	rechts	-
452,5	-	links	-	24,60	-	-	-	-	24,68	-	rechts	-
453,0	-	links	-	24,59	-	-	-	-	24,62	-	rechts	-
453,5	-	links	-	24,59	-	-	-	-	24,57	-	rechts	-
454,0	-	links	-	24,44	-	-	-	-	24,45	-	rechts	-
454,5	-	links	-	24,44	-	-	-	-	24,45	-	rechts	-
455,0	-	links	-	24,44	-	-	-	-	24,45	-	rechts	-

2D-Modellierung an  
der unteren Mittelelbe  
zwischen Wittenberge  
und Geesthacht

Elbe- km	Deich- Abschnitt	Ufer- seite	Deich- km	W(HQ 100)	Kronenhöhe Deich	Frei- bord	Frei- bord	Kronenhöhe Deich	W(HQ 100)	Deich- km	Ufer- seite	Deich- Abschnitt
455,5	-	links	-	24,44	-	-	-	-	24,44	-	rechts	-
456,0	-	links	-	24,44	-	-	-	-	24,39	-	rechts	-
456,5	-	links	-	24,33	-	-	-	-	24,36	-	rechts	-
457,0	-	links	-	24,33	-	-	-	-	24,30	-	rechts	-
457,5	-	links	-	24,26	-	-	-	-	24,22	-	rechts	-
458,0	-	links	-	24,18	-	-	-	-	24,11	-	rechts	-
458,5	-	links	-	24,11	-	-	-	-	24,00	-	rechts	-
459,0	-	links	-	24,00	-	-	-	-	23,90	-	rechts	-
459,5	-	links	-	23,86	-	-	-	-	23,85	-	rechts	-
460,0	-	links	-	23,78	-	-	-	-	23,72	-	rechts	-
460,5	-	links	-	23,70	-	-	-	-	23,66	-	rechts	-
461,0	-	links	-	23,59	-	-	-	-	23,61	-	rechts	-
461,5	-	links	-	23,47	-	-	-	-	23,53	-	rechts	-
462,0	-	links	-	23,23	-	-	-	-	23,47	-	rechts	-
462,5	-	links	-	23,19	-	-	-	-	23,41	-	rechts	-
463,0	-	links	-	23,19	-	-	-	-	23,33	-	rechts	-
463,5	-	links	-	23,19	-	-	-	-	23,21	-	rechts	-
464,0	-	links	-	23,09	-	-	-	-	23,00	-	rechts	-
464,5	-	links	-	22,98	-	-	-	-	22,90	-	rechts	-
465,0	-	links	-	22,85	-	-	-	-	22,79	-	rechts	-
465,5	-	links	-	22,74	-	-	-	-	22,71	-	rechts	-
466,0	-	links	-	22,68	-	-	-	-	22,64	-	rechts	-
466,5	-	links	-	22,63	-	-	-	-	22,55	-	rechts	-
467,0	-	links	-	22,45	-	-	-	-	22,50	-	rechts	-
467,5	-	links	-	22,21	-	-	-	-	22,45	-	rechts	-
468,0	-	links	-	22,20	-	-	-	-	22,42	-	rechts	-
468,5	-	links	-	22,19	-	-	-	-	22,41	-	rechts	-
469,0	-	links	-	22,19	-	-	-	-	22,41	-	rechts	-
469,5	-	links	-	22,19	-	-	-	-	22,40	-	rechts	-
470,0	-	links	-	22,18	-	-	-	-	22,31	-	rechts	-
470,5	-	links	-	22,18	-	-	-	-	22,24	-	rechts	-
471,0	-	links	-	22,18	-	-	-	-	22,21	-	rechts	-
471,5	-	links	-	22,18	-	-	-	-	22,14	-	rechts	-
472,0	-	links	-	22,17	-	-	-	-	22,09	-	rechts	-
472,5	-	links	-	22,15	-	-	-	-	22,00	-	rechts	-
473,0	-	links	-	21,89	-	-	-	-	21,88	-	rechts	-
473,5	-	links	-	21,87	-	-	-	-	21,84	-	rechts	-
474,0	-	links	-	21,87	-	-	-	-	21,79	-	rechts	-
474,5	-	links	-	21,86	-	-	-	-	21,65	-	rechts	-
475,0	GDWV	links	0,46	21,65	22,80	1,15	-	-	21,62	-	rechts	-
475,5	GDWV	links	1,16	21,61	22,63	1,02	-	-	21,59	-	rechts	-
476,0	GDWV	links	1,70	21,49	22,51	1,02	-	-	21,54	-	rechts	-
476,5	GDWV	links	2,09	21,43	22,49	1,06	-	-	21,52	-	rechts	-
477,0	GDWV	links	2,17	21,41	22,41	1,00	-	-	21,20	-	rechts	-
477,5	GDWV	links	2,30	21,36	22,36	1,00	-	-	k.A.	-	rechts	-
478,0	GDWV	links	2,94	21,32	22,14	0,82	-	-	k.A.	-	rechts	-
478,5	GDWV	links	3,63	21,30	22,23	0,93	-	-	k.A.	-	rechts	-
479,0	GDWV	links	4,22	21,24	22,22	0,98	-	-	k.A.	-	rechts	-
479,5	GDWV	links	4,75	21,21	21,83	0,62	-	-	k.A.	-	rechts	-
480,0	GDWV	links	5,43	21,18	21,95	0,77	-	-	k.A.	-	rechts	-
480,5	GDWV	links	6,09	21,16	21,73	0,57	-	-	k.A.	-	rechts	-
481,0	GDWV	links	6,63	21,07	21,80	0,73	-	-	k.A.	-	rechts	-
481,5	GDWV	links	7,14	21,05	21,76	0,71	-	-	k.A.	-	rechts	-
482,0	GDWV	links	7,68	20,99	21,73	0,74	-	-	k.A.	-	rechts	-
482,5	GDWV	links	8,22	20,96	21,71	0,75	-	-	k.A.	-	rechts	-

2D-Modellierung an  
der unteren Mittelelbe  
zwischen Wittenberge  
und Geesthacht

Elbe- km	Deich- Abschnitt	Ufer- seite	Deich- km	W(HQ 100)	Kronenhöhe Deich	Frei- bord	Frei- bord	Kronenhöhe Deich	W(HQ 100)	Deich- km	Ufer- seite	Deich- Abschnitt
483,0	GDWV	links	8,73	20,90	21,60	0,70	-	-	20,96	-	rechts	-
483,5	GDWV	links	9,20	20,80	21,40	0,60	-	-	20,84	-	rechts	-
484,0	GDWV	links	9,64	20,72	21,21	0,49	-	-	20,78	-	rechts	-
484,5	GDWV	links	10,11	20,62	21,20	0,58	-	-	20,67	-	rechts	-
485,0	-	links	-	20,61	-	-	-	-	20,65	-	rechts	-
485,5	-	links	-	20,58	-	-	-	-	20,54	-	rechts	-
486,0	-	links	-	20,48	-	-	-	-	20,44	-	rechts	-
486,5	-	links	-	20,39	-	-	-	-	20,37	-	rechts	-
487,0	-	links	-	20,30	-	-	-	-	20,34	-	rechts	-
487,5	-	links	-	20,23	-	-	-	-	20,25	-	rechts	-
488,0	-	links	-	20,17	-	-	-	-	20,16	-	rechts	-
488,5	-	links	-	20,09	-	-	-	-	20,15	-	rechts	-
489,0	-	links	-	20,08	-	-	-	-	20,10	-	rechts	-
489,5	-	links	-	20,08	-	-	-	-	20,01	-	rechts	-
490,0	MGDWV	links	3,12	19,92	20,35	0,43	-	-	19,91	-	rechts	-
490,5	MGDWV	links	3,67	19,84	20,15	0,31	-	-	19,86	-	rechts	-
491,0	MGDWV	links	4,11	19,76	20,21	0,45	-	-	19,77	-	rechts	-
491,5	MGDWV	links	4,61	19,71	20,12	0,41	-	-	19,70	-	rechts	-
492,0	-	links	-	19,68	-	-	-	-	19,61	-	rechts	-
492,5	-	links	-	19,61	-	-	-	-	19,53	-	rechts	-
493,0	-	links	-	19,54	-	-	-	-	19,45	-	rechts	-
493,5	JDV*	links	0,56	19,42	20,22	0,80	-	-	19,40	-	rechts	-
494,0	JDV*	links	1,11	19,35	19,84	0,49	-	-	19,33	-	rechts	-
494,5	JDV*	links	1,68	19,26	20,22	0,96	-	-	19,30	-	rechts	-
495,0	JDV*	links	2,30	19,21	19,82	0,61	-	-	19,24	-	rechts	-
495,5	JDV*	links	2,72	19,17	19,76	0,59	-	-	19,20	-	rechts	-
496,0	JDV*	links	3,03	19,15	19,75	0,60	-	-	19,16	-	rechts	-
496,5	JDV*	links	3,40	19,12	19,75	0,63	-	-	19,13	-	rechts	-
497,0	JDV**	links	3,95	19,07	20,33	1,26	-	-	19,00	-	rechts	-
497,5	-	links	-	18,89	-	-	-	-	18,84	-	rechts	-
498,0	-	links	-	18,74	-	-	-	-	18,78	-	rechts	-
498,5	-	links	-	18,60	-	-	-	-	18,58	-	rechts	-
499,0	-	links	-	18,52	-	-	-	-	18,51	-	rechts	-
499,5	-	links	-	18,46	-	-	-	-	18,42	-	rechts	-
500,0	DDWV	links	0,52	18,40	19,35	0,95	-	-	18,36	-	rechts	-
500,5	DDWV	links	1,12	18,32	19,12	0,80	-	-	18,32	-	rechts	-
501,0	DDWV	links	1,71	18,17	19,02	0,85	-	-	18,23	-	rechts	-
501,5	DDWV	links	2,20	18,12	19,07	0,95	-	-	18,16	-	rechts	-
502,0	DDWV	links	2,48	18,10	19,18	1,08	1,04	19,17	18,13	5,77	rechts	Deich Dömitz <sup>1</sup>
502,5	DDWV	links	2,77	18,08	19,07	0,99	0,59	18,69	18,10	4,74	rechts	Deich Dömitz <sup>1</sup>
503,0	DDWV	links	3,13	18,05	19,05	1,00	0,51	18,55	18,04	4,18	rechts	Deich Dömitz <sup>1</sup>
503,5	DDWV	links	3,74	17,98	19,02	1,04	0,49	18,48	17,99	3,71	rechts	Deich Dömitz <sup>1</sup>
504,0	DDWV	links	4,16	17,95	18,89	0,94	-	-	17,95	-	rechts	Deich Dömitz <sup>1</sup>
504,5	DDWV	links	4,57	17,91	18,92	1,01	0,47	18,39	17,92	1,28	rechts	Deich Dömitz <sup>1</sup>
505,0	DDWV	links	5,05	17,86	18,86	1,00	0,58	18,44	17,86	0,74	rechts	Deich Dömitz <sup>1</sup>
505,5	DDWV	links	5,44	17,76	18,84	1,08	0,56	18,33	17,77	0,21	rechts	Deich Dömitz <sup>1</sup>
506,0	DDWV	links	5,81	17,63	18,82	1,19	0,83	18,52	17,69	0,57	rechts	Deich Broda <sup>1</sup>
506,5	DDWV	links	6,15	17,60	18,80	1,20	-	-	17,67	-	rechts	-
507,0	DDWV	links	6,22	17,58	18,80	1,22	-	-	17,63	-	rechts	-
507,5	DDWV	links	6,23	17,57	18,80	1,23	-	-	17,62	-	rechts	-
508,0	DDWV	links	6,93	17,54	18,76	1,22	-	-	17,62	-	rechts	-
508,5	DDWV	links	8,11	17,53	18,51	0,98	-	-	17,62	-	rechts	-
509,0	DDWV	links	9,62	17,51	18,60	1,09	-	-	17,62	-	rechts	-
509,5	DDWV	links	10,50	17,41	17,84	0,43	-	-	17,62	-	rechts	-
510,0	DDWV	links	11,16	17,36	17,77	0,41	-	-	17,62	-	rechts	-

2D-Modellierung an  
der unteren Mittelelbe  
zwischen Wittenberge  
und Geesthacht

Elbe- km	Deich- Abschnitt	Ufer- seite	Deich- km	W(HQ 100)	Kronenhöhe Deich	Frei- bord	Frei- bord	Kronenhöhe Deich	W(HQ 100)	Deich- km	Ufer- seite	Deich- Abschnitt
510,5	DDWV	links	11,57	17,32	18,15	0,83	-	-	17,33	-	rechts	-
511,0	DDWV	links	11,95	17,19	17,67	0,48	-	-	17,22	-	rechts	-
511,5	DDWV	links	12,40	17,11	17,60	0,49	-	-	17,15	-	rechts	-
512,0	DDWV	links	12,84	17,11	17,60	0,49	-	-	17,11	-	rechts	-
512,5	DDWV	links	13,44	17,07	17,31	0,24	0,39	17,46	17,07	0,38	rechts	NDUV <sup>2</sup>
513,0	DDWV	links	13,93	16,97	17,35	0,38	0,42	17,40	16,98	1,03	rechts	NDUV <sup>2</sup>
513,5	DDWV	links	14,34	16,90	17,15	0,25	0,23	17,20	16,97	1,88	rechts	NDUV <sup>2</sup>
514,0	DDWV	links	14,67	16,84	16,91	0,07	0,22	17,16	16,94	2,74	rechts	NDUV <sup>2</sup>
514,5	DDWV	links	14,90	16,78	17,02	0,24	0,34	17,22	16,88	3,67	rechts	NDUV <sup>2</sup>
515,0	DDWV	links	15,24	16,74	17,13	0,39	0,39	17,13	16,74	4,45	rechts	NDUV <sup>2</sup>
515,5	DDWV	links	15,63	16,66	16,95	0,29	0,37	17,03	16,66	4,99	rechts	NDUV <sup>2</sup>
516,0	DDWV	links	16,08	16,61	16,68	0,07	0,53	17,14	16,61	5,57	rechts	NDUV <sup>2</sup>
516,5	DDWV	links	16,62	16,57	16,59	0,02	0,30	16,88	16,58	6,06	rechts	NDUV <sup>2</sup>
517,0	DDWV	links	17,03	16,53	16,40	-0,13	0,34	16,85	16,51	6,63	rechts	NDUV <sup>2</sup>
517,5	DDWV	links	17,60	16,45	16,70	0,25	0,44	16,87	16,43	7,09	rechts	NDUV <sup>2</sup>
518,0	DDWV	links	18,28	16,40	16,66	0,26	0,65	16,95	16,30	7,50	rechts	NDUV <sup>2</sup>
518,5	DDWV	links	18,98	16,33	17,11	0,78	0,55	16,77	16,22	8,18	rechts	NDUV <sup>2</sup>
519,0	DDWV	links	19,63	16,29	16,60	0,31	0,13	16,34	16,21	8,40	rechts	NDUV <sup>2</sup>
519,5	DDWV	links	20,31	16,26	16,48	0,22	0,25	16,46	16,21	8,58	rechts	NDUV <sup>2</sup>
520,0	DDWV	links	20,96	16,19	16,13	-0,06	0,23	16,42	16,19	8,82	rechts	NDUV <sup>2</sup>
520,5	JDV***	links	0,21	16,17	16,30	0,13	0,40	16,54	16,14	9,22	rechts	NDUV <sup>2</sup>
521,0	JDV***	links	0,78	16,12	16,32	0,20	0,48	16,60	16,12	9,61	rechts	NDUV <sup>2</sup>
521,5	JDV***	links	1,25	16,08	16,23	0,15	0,43	16,52	16,09	10,27	rechts	NDUV <sup>2</sup>
522,0	JDV****	links	0,07	16,05	16,35	0,30	0,43	16,48	16,05	10,91	rechts	NDUV <sup>2</sup>
522,5	JDV****	links	0,69	16,02	16,35	0,33	0,24	16,27	16,03	11,54	rechts	NDUV <sup>2</sup>
523,0	-	links	-	15,95	-	-	0,51	16,45	15,94	12,09	rechts	NDUV <sup>2</sup>
523,5	-	links	-	15,87	-	-	0,34	16,23	15,89	12,61	rechts	NDUV <sup>2</sup>
524,0	-	links	-	15,76	-	-	0,44	16,17	15,73	13,24	rechts	NDUV <sup>2</sup>
524,5	-	links	-	15,68	-	-	0,44	16,08	15,64	13,72	rechts	NDUV <sup>2</sup>
525,0	-	links	-	15,61	-	-	0,50	16,11	15,61	14,12	rechts	NDUV <sup>2</sup>
525,5	-	links	-	15,53	-	-	0,37	15,93	15,56	14,62	rechts	NDUV <sup>2</sup>
526,0	-	links	-	15,39	-	-	0,43	15,93	15,50	15,18	rechts	NDUV <sup>2</sup>
526,5	-	links	-	15,32	-	-	0,37	15,77	15,40	15,77	rechts	NDUV <sup>2</sup>
527,0	-	links	-	15,30	-	-	0,37	15,68	15,31	16,37	rechts	NDUV <sup>2</sup>
527,5	-	links	-	15,26	-	-	0,13	15,39	15,26	16,91	rechts	NDUV <sup>2</sup>
528,0	-	links	-	15,26	-	-	0,08	15,33	15,25	17,33	rechts	NDUV <sup>2</sup>
528,5	-	links	-	15,18	-	-	0,39	15,51	15,12	17,82	rechts	NDUV <sup>2</sup>
529,0	-	links	-	14,98	-	-	0,61	15,59	14,98	18,32	rechts	NDUV <sup>2</sup>
529,5	-	links	-	14,88	-	-	0,46	15,35	14,89	19,01	rechts	NDUV <sup>2</sup>
530,0	-	links	-	14,84	-	-	0,43	15,26	14,83	19,57	rechts	NDUV <sup>2</sup>
530,5	-	links	-	14,79	-	-	0,45	15,21	14,76	20,04	rechts	NDUV <sup>2</sup>
531,0	-	links	-	14,69	-	-	0,53	15,22	14,69	20,52	rechts	NDUV <sup>2</sup>
531,5	-	links	-	14,62	-	-	0,81	15,42	14,61	21,09	rechts	NDUV <sup>2</sup>
532,0	-	links	-	14,56	-	-	0,65	15,18	14,53	21,68	rechts	NDUV <sup>2</sup>
532,5	-	links	-	14,50	-	-	0,60	15,10	14,50	22,10	rechts	NDUV <sup>2</sup>
533,0	-	links	-	14,43	-	-	0,67	15,12	14,45	22,49	rechts	NDUV <sup>2</sup>
533,5	-	links	-	14,30	-	-	0,70	14,96	14,26	23,03	rechts	NDUV <sup>2</sup>
534,0	-	links	-	14,22	-	-	0,45	14,69	14,24	23,67	rechts	NDUV <sup>2</sup>
534,5	-	links	-	14,18	-	-	0,50	14,71	14,21	24,40	rechts	NDUV <sup>2</sup>
535,0	-	links	-	14,06	-	-	0,24	14,32	14,08	25,15	rechts	NDUV <sup>2</sup>
535,5	-	links	-	14,00	-	-	0,25	14,28	14,03	25,75	rechts	NDUV <sup>2</sup>
536,0	-	links	-	13,94	-	-	0,44	14,34	13,90	26,25	rechts	NDUV <sup>2</sup>
536,5	-	links	-	13,79	-	-	0,71	14,50	13,79	26,73	rechts	NDUV <sup>2</sup>
537,0	-	links	-	13,73	-	-	0,76	14,51	13,75	27,22	rechts	NDUV <sup>2</sup>
537,5	-	links	-	13,68	-	-	0,85	14,52	13,67	27,69	rechts	NDUV <sup>2</sup>

Elbe- km	Deich- Abschnitt	Ufer- seite	Deich- km	W(HQ 100)	Kronenhöhe Deich	Frei- bord	Frei- bord	Kronenhöhe Deich	W(HQ 100)	Deich- km	Ufer- seite	Deich- Abschnitt
538,0	-	links	-	13,61	-	-	0,78	14,39	13,61	28,22	rechts	NDUV <sup>2</sup>
538,5	-	links	-	13,53	-	-	0,62	14,19	13,57	28,77	rechts	NDUV <sup>2</sup>
539,0	-	links	-	13,48	-	-	0,45	13,98	13,53	29,33	rechts	NDUV <sup>2</sup>
539,5	-	links	-	13,46	-	-	0,62	14,12	13,50	29,92	rechts	NDUV <sup>2</sup>
540,0	-	links	-	13,45	-	-	0,60	14,04	13,44	30,51	rechts	NDUV <sup>2</sup>
540,5	-	links	-	13,44	-	-	0,53	13,92	13,39	31,10	rechts	NDUV <sup>2</sup>
541,0	-	links	-	13,39	-	-	0,70	13,99	13,29	31,64	rechts	NDUV <sup>2</sup>
541,5	-	links	-	13,28	-	-	0,67	13,75	13,08	32,28	rechts	NDUV <sup>2</sup>
542,0	-	links	-	13,13	-	-	0,63	13,66	13,03	32,55	rechts	NDUV <sup>2</sup>
542,5	-	links	-	13,05	-	-	0,77	13,77	13,00	32,73	rechts	NDUV <sup>2</sup>
543,0	-	links	-	13,01	-	-	0,77	13,75	12,98	32,88	rechts	NDUV <sup>2</sup>
543,5	-	links	-	12,97	-	-	0,74	13,66	12,92	33,16	rechts	NDUV <sup>2</sup>
544,0	-	links	-	12,91	-	-	0,61	13,52	12,91	33,92	rechts	NDUV <sup>2</sup>
544,5	-	links	-	12,55	-	-	0,34	13,22	12,88	34,78	rechts	NDUV <sup>2</sup>
545,0	-	links	-	12,49	-	-	0,69	13,38	12,69	35,70	rechts	NDUV <sup>2</sup>
545,5	-	links	-	12,48	-	-	0,93	13,47	12,54	36,30	rechts	NDUV <sup>2</sup>
546,0	-	links	-	12,43	-	-	0,71	13,18	12,47	36,89	rechts	NDUV <sup>2</sup>
546,5	-	links	-	12,42	-	-	0,78	13,23	12,45	37,63	rechts	NDUV <sup>2</sup>
547,0	-	links	-	12,39	-	-	0,73	13,17	12,44	38,22	rechts	NDUV <sup>2</sup>
547,5	-	links	-	12,39	-	-	0,62	13,00	12,38	38,90	rechts	NDUV <sup>2</sup>
548,0	ADV	links	0,47	12,35	13,47	1,12	0,45	12,76	12,31	39,40	rechts	NDUV <sup>2</sup>
548,5	ADV	links	1,58	12,26	13,09	0,83	0,72	12,99	12,27	39,89	rechts	NDUV <sup>2</sup>
549,0	ADV	links	2,38	12,25	13,13	0,88	0,74	12,93	12,19	40,36	rechts	NDUV <sup>2</sup>
549,5	ADV	links	3,18	12,19	12,94	0,75	0,65	12,81	12,16	40,80	rechts	NDUV <sup>2</sup>
550,0	ADV	links	3,94	12,07	12,94	0,87	0,77	12,81	12,04	41,24	rechts	NDUV <sup>2</sup>
550,5	ADV	links	4,94	11,98	12,52	0,54	0,64	12,61	11,97	41,67	rechts	NDUV <sup>2</sup>
551,0	ADV	links	5,81	11,96	12,52	0,56	0,58	12,49	11,91	42,11	rechts	NDUV <sup>2</sup>
551,5	ADV	links	6,78	11,94	12,65	0,71	0,56	12,44	11,88	42,46	rechts	NDUV <sup>2</sup>
552,0	ADV	links	7,51	11,83	12,52	0,69	0,54	12,38	11,84	42,78	rechts	NDUV <sup>2</sup>
552,5	ADV	links	8,74	11,76	12,37	0,61	0,54	12,36	11,82	43,23	rechts	NDUV <sup>2</sup>
553,0	ADV	links	8,84	11,76	12,35	0,59	0,57	12,36	11,79	43,95	rechts	NDUV <sup>2</sup>
553,5	ADV	links	8,88	11,76	12,36	0,60	0,55	12,30	11,75	44,67	rechts	NDUV <sup>2</sup>
554,0	ADV	links	9,17	11,73	12,32	0,59	0,64	12,35	11,71	45,26	rechts	NDUV <sup>2</sup>
554,5	ADV	links	10,05	11,71	12,14	0,43	0,78	12,45	11,67	5,25	rechts	Deich Mahn- kenwerder <sup>1</sup>
555,0	ADV	links	10,90	11,59	12,35	0,76	0,71	12,35	11,64	4,74	rechts	Deich Mahn- kenwerder <sup>1</sup>
555,5	ADV	links	11,56	11,58	12,27	0,69	0,66	12,27	11,61	4,11	rechts	Deich Mahn- kenwerder <sup>1</sup>
556,0	ADV	links	12,03	11,53	12,08	0,55	0,63	12,22	11,59	3,56	rechts	Deich Mahn- kenwerder <sup>1</sup>
556,5	ADV	links	12,49	11,51	11,99	0,48	0,67	12,19	11,52	2,91	rechts	Deich Boizen- burg <sup>1</sup>
557,0	ADV	links	12,72	11,49	12,25	0,76	0,50	12,00	11,50	2,28	rechts	Deich Boizen- burg <sup>1</sup>
557,5	ADV	links	13,08	11,45	12,31	0,86	0,47	11,94	11,47	1,76	rechts	Deich Boizen- burg <sup>1</sup>
558,0	ADV	links	13,73	11,42	11,96	0,54	0,42	11,85	11,43	1,30	rechts	Deich Boizen- burg <sup>1</sup>
558,5	ADV	links	14,28	11,36	11,97	0,61	0,40	11,80	11,40	0,79	rechts	Deich Boizen- burg <sup>1</sup>
559,0	ADV	links	14,29	11,36	-	-	-	-	11,37	-	rechts	-
559,5	ADV	links	14,30	11,37	11,97	0,60	-	-	11,37	-	rechts	-
560,0	ADV	links	14,61	11,32	11,89	0,57	-	-	11,28	-	rechts	-
560,5	ADV	links	15,41	11,24	11,69	0,45	-	-	11,19	-	rechts	-
561,0	ADV	links	16,02	11,15	11,65	0,50	-	-	11,14	-	rechts	-

2D-Modellierung an  
der unteren Mittelelbe  
zwischen Wittenberge  
und Geesthacht

Elbe- km	Deich- Abschnitt	Ufer- seite	Deich- km	W(HQ 100)	Kronenhöhe Deich	Frei- bord	Frei- bord	Kronenhöhe Deich	W(HQ 100)	Deich- km	Ufer- seite	Deich- Abschnitt
561,5	ADV	links	16,65	11,11	11,48	0,37	-	-	11,07	-	rechts	-
562,0	ADV	links	17,22	11,03	11,44	0,41	-	-	10,99	-	rechts	-
562,5	ADV	links	17,81	10,94	11,37	0,43	-	-	10,92	-	rechts	-
563,0	ADV	links	18,32	10,79	11,35	0,56	-	-	10,79	-	rechts	-
563,5	ADV	links	18,81	10,62	11,19	0,57	-	-	10,64	-	rechts	-
564,0	ADV	links	19,30	10,52	11,37	0,85	-	-	10,53	-	rechts	-
564,5	ADV	links	19,78	10,44	11,30	0,86	0,54	11,00	10,46	1,81	rechts	Deich Horst <sup>1</sup>
565,0	ADV	links	20,25	10,40	11,23	0,83	0,46	10,90	10,44	1,26	rechts	Deich Horst <sup>1</sup>
565,5	ADV	links	20,67	10,37	11,04	0,67	0,46	10,85	10,39	0,68	rechts	Deich Horst <sup>1</sup>
566,0	ADV	links	21,09	10,29	11,14	0,85	0,40	10,72	10,32	0,14	rechts	Deich Horst <sup>1</sup>
566,5	ADV	links	21,64	10,27	11,08	0,81	-	-	10,24	-	rechts	-
567,0	ADV	links	22,25	10,21	10,99	0,78	-	-	10,18	-	rechts	-
567,5	ADV	links	22,95	10,18	10,67	0,49	-	-	10,11	-	rechts	-
568,0	ADV	links	23,70	10,13	10,87	0,74	-	-	10,07	-	rechts	-
568,5	ADV	links	24,29	10,04	10,47	0,43	-	-	10,02	-	rechts	-
569,0	ADV	links	24,78	9,87	10,77	0,90	-	-	9,96	-	rechts	-
569,5	ADV	links	25,15	9,73	10,52	0,79	-	-	9,83	-	rechts	-
570,0	ADV	links	25,66	9,67	10,59	0,92	-	-	9,68	-	rechts	-
570,5	ADV	links	26,17	9,64	10,39	0,75	-	-	9,62	-	rechts	-
571,0	ADV	links	26,84	9,54	10,43	0,89	-	-	9,53	-	rechts	-
571,5	ADV	links	27,35	9,43	10,12	0,69	-	-	9,45	-	rechts	-
572,0	ADV	links	27,95	9,39	10,15	0,76	-	-	9,37	-	rechts	-
572,5	ADV	links	28,51	9,35	10,12	0,77	-	-	9,28	-	rechts	-
573,0	ADV	links	29,38	9,19	10,39	1,20	-	-	9,13	-	rechts	-
573,5	ADV	links	29,95	9,03	10,36	1,33	-	-	9,02	-	rechts	-
574,0	ADV	links	30,50	8,91	10,31	1,40	-	-	8,92	-	rechts	-
574,5	ADV	links	31,08	8,87	10,32	1,45	-	-	8,86	-	rechts	-
575,0	ADV	links	31,56	8,80	10,14	1,34	-	-	8,77	-	rechts	-
575,5	ADV	links	32,16	8,68	10,16	1,48	-	-	8,70	-	rechts	-
576,0	ADV	links	32,65	8,57	10,13	1,56	-	-	8,59	-	rechts	-
576,5	ADV	links	33,11	8,47	10,02	1,55	-	-	8,48	-	rechts	-
577,0	ADV	links	33,60	8,34	9,99	1,65	-	-	8,36	-	rechts	-
577,5	ADV	links	34,15	8,29	9,82	1,53	-	-	8,27	-	rechts	-
578,0	ADV	links	34,73	8,18	9,87	1,69	-	-	8,18	-	rechts	-
578,5	ADV	links	35,19	8,12	9,61	1,49	-	-	8,13	-	rechts	-
579,0	ADV	links	35,70	8,07	9,62	1,55	-	-	8,03	-	rechts	-
579,5	ADV	links	36,42	7,94	9,61	1,67	-	-	7,86	-	rechts	-
580,0	ADV	links	36,94	7,75	9,64	1,89	-	-	7,76	-	rechts	-
580,5	ADV	links	37,40	7,61	9,52	1,91	-	-	7,53	-	rechts	-
581,0	ADV	links	37,93	7,50	9,37	1,87	-	-	7,49	-	rechts	-
581,5	ADV	links	38,53	7,40	9,45	2,05	-	-	7,40	-	rechts	-
582,0	ADV	links	39,11	7,29	9,33	2,04	-	-	7,31	-	rechts	-
582,5	ADV	links	39,52	7,17	9,32	2,15	-	-	7,22	-	rechts	-
583,0	ADV	links	39,97	7,05	9,11	2,06	-	-	7,15	-	rechts	-
583,5	ADV	links	40,27	6,98	9,20	2,22	-	-	7,05	-	rechts	-
584,0	ADV	links	40,61	6,93	9,15	2,22	-	-	7,02	-	rechts	-
584,5	ADV	links	41,10	6,88	9,07	2,19	-	-	7,02	-	rechts	-
585,0	ADV	links	41,65	6,83	8,98	2,15	-	-	7,02	-	rechts	-
585,5	ADV	links	42,16	6,72	8,93	2,21	-	-	7,02	-	rechts	-
586,0	ADV	links	42,70	k.A.	9,21	-	-	-	7,02	-	rechts	-

## Anhang 7: Analyse zur Identifikation von Engstellen

Nachfolgend wird im Wesentlichen der Inhalt der Kurzdokumentation der BfG vom 11.09.2014 (BfG, 2014a) wiedergegeben, ergänzt um wenige zusätzliche Erläuterungen.

Für die Identifizierung von Engstellen an der unteren Mittelbe wurden mit dem 2D-Modell der Elbe zwischen Wittenberge und Geesthacht die modellierten Wasserspiegelgefälle und Strömungsvektoren bei einem  $HQ_{100}$  im IST-Zustand (Referenzzustand, vgl. Anhang 2) als Grundlage verwendet und visuell ausgewertet. Als weiteres Kriterium wurden die Abstände (senkrecht zur Achse) zwischen den Banndeichen betrachtet. Diese Untersuchung dient der Auswahl geeigneter Maßnahmen zur Verbesserung des Hochwasserschutzes. Bei der Beurteilung der Eignung von Strecken für eine DRV (Deichrückverlegung) wurden zudem die Bebauung, Infrastruktur, Naturschutzgebiete und Waldflächen als einschränkende Faktoren berücksichtigt.

In Tab. A.8 sind die auf Basis dieser Vorgehensweise identifizierten 25 Engstellen mit ihrer Lage aufgelistet. In der fünften Spalte ist eine erste Einschätzung zum Potential für die Realisierung einer DRV gegeben und in der sechsten Spalte ist das jeweilige Bundesland aufgeführt.

Tab. A.8 Identifizierte Engstellen und Einschätzung der Wirksamkeit von DRV

Nr.	Elbe-km	Engstellenname	Maßnahmenart	Potential für DRV <sup>1</sup>	Bundesland
1	464	Müggendorf	DRV, links	vorhanden	ST und BB
2	473 - 475	Lütkenwisch und Schnackenburg	DRV links, rechts	vorhanden	ST und BB, keine Möglichkeit in NI
3	484 - 486	Lenzen (uh. bestehender DRV)	DRV links, rechts	vorhanden	BB und NI
4	487	Vietze	DRV rechts	vorhanden	BB, keine Möglichkeit in NI
5	490 - 494	Gorleben			NI und BB
6	498	Besandten			NI und BB
7	501	Gaarz	DRV links	vorhanden	NI, keine Möglichkeit in BB
8	506	Dömitz			MV
9	511	Rüterberg			NI und MV
10	513	Wehningen			NI
11	515	Bohnenburg			NI
12	518	Strachau			NI
13	524 - 527	Bitter und Tiessau	DRV, rechts	vorhanden	NI
14	529	Privetak			NI
15	534	Schutschur	DRV, rechts	vorhanden	NI
16	536	Neu Darchau			NI
17	542	Viehle			NI
18	545	Stiepelse			NI
19	550	Blekedede/Vitico	DRV links	vorhanden	NI
20	560	Boizenburg			NI und MV
21	563	Barförde/Horst-Lauenburg			MV und SH
22	570	Hohnstorf			NI und SH
23	573	Artlenburg			NI und SH
24	576	Avendorf			NI und SH
25	580	Tespe			NI und SH

<sup>1</sup> erste Einschätzung der BfG

Die Auswahl der DRV erfolgte zunächst auf Grundlage der erwartungsgemäß bedeutendsten Strömungsbeeinflussung. Die zusätzlich durch die DRV bereitgestellte Fläche wurde überschlägig berechnet und ausgewertet.

Die größte Wirkung auf die lokalen Strömungsverhältnisse unter Berücksichtigung aller Kriterien (also auch der Ausschlusskriterien) wurden laut BfG (2014a) von den Maßnahmen bei

- Lenzen (uh. der bestehenden DRV) ca. Elbe-km 483 – 485,
- Bitter und Tiessau ca. Elbe-km 525 – 529 und
- Schutschur ca. Elbe-km 534 – 535 erwartet.

Diese DRV wurden somit von der BfG als näher im Projekt zu betrachtende Maßnahmen in BfG (2014a) vorgeschlagen.

Für alle nachfolgend betrachteten DRV gilt, dass hier ausschließlich das Potential dieser Maßnahmen hinsichtlich ihrer Wirkung auf den Wasserstand und die Abflussverhältnisse dargestellt werden sollen. Ob diese Maßnahmen umgesetzt werden, liegt in der Verantwortung der Länder. Dafür sind weitergehende Untersuchungen unter Berücksichtigung der bestehenden Nutzungen und Auswirkungen für Betroffene erforderlich.

### **Methode zur visuellen Ermittlung von Engstellen zwischen Wittenberge und Geesthacht**

Grundlage für die Identifizierung von sog. “Engstellen“ sind die modellierten tiefengemittelten Strömungsvektoren und Wasserspiegellagen eines  $HQ_{100}$ .

Die Betrachtung der Strömungsvektoren zur Ermittlung von Engstellen ist gut geeignet, da sich bei einer deutlichen Querschnittsflächenverringering die Fließgeschwindigkeit erhöhen muss, um den Abfluss durch das Profil gewährleisten zu können. Auch bei Richtungsänderungen, insbesondere bei kleinen Kurvenradien sind deutliche Änderungen der Strömungsgeschwindigkeit zu erwarten.

Die Betrachtung des Wasserspiegellagengefälles kann ebenfalls für die Ermittlung der Engstellen verwendet werden, indem die Gefälleänderungen betrachtet werden. Oberhalb von Engstellen stellt sich ein Rückstau mit erhöhten Wasserständen und geringerem Gefälle ein.

Zusätzliche Information zur Plausibilisierung werden durch die Breite zwischen den Deichen zur Verfügung gestellt. Die Breite zwischen den Deichen wurde für jeden Hektometer entlang der Querprofilspur zwischen linkem und rechtem Deich bzw. Hochufer ermittelt. Die Beseitigung von Engstellen durch DRV führt zu einer Verbesserung der lokalen Strömungssituation mit entsprechenden lokalen Wasserstandsabsenkungen.

Die nachfolgenden Abbildungen in den folgenden Abschnitten mit Strömungsvektoren vor dem Hintergrund von topografischen Karten stellen die durch unterschiedliche Farben abgebildeten Strömungsgeschwindigkeiten bei  $HQ_{100}$  dar. Anhand der sich durch die Farbgebung abhebenden größeren Geschwindigkeitsvektoren lassen sich somit entsprechende Bereiche bzw. Engstellen bestimmen.

Abb. A.44 gibt einen Überblick auf die gesamte Untersuchungstrecke zwischen Wittenberge und Geesthacht wieder. Für die Detaildarstellungen wird auf Anhang 2 verwiesen.



Abb. A.44 Tiefengemittelte Geschwindigkeiten zwischen Wittenberge und Geesthacht bei  $HQ_{100}$  im IST-Zustand

Die in Abb. A.45 als Längsschnitt zwischen Wittenberge und Geesthacht auf der Gewässerachse dargestellte modellierte Wasserspiegellage des  $HQ_{100}$  im Ist-Zustand lässt unterschiedliche Gefälleverhältnisse erkennen. Neben der durch die Sohlhöhen vorgegebenen Gefällesituation ist eine Änderung des Gefälles u.a. auch durch eine Engstelle möglich. Oberhalb einer "Engstelle" bildet sich ein Stau aus, das Gefälle des Wasserspiegels verringert sich durch den Rückstau zur Engstelle hin während sich im Allgemeinen unterhalb der Engstelle ein stärkeres Gefälle ausbilden kann.

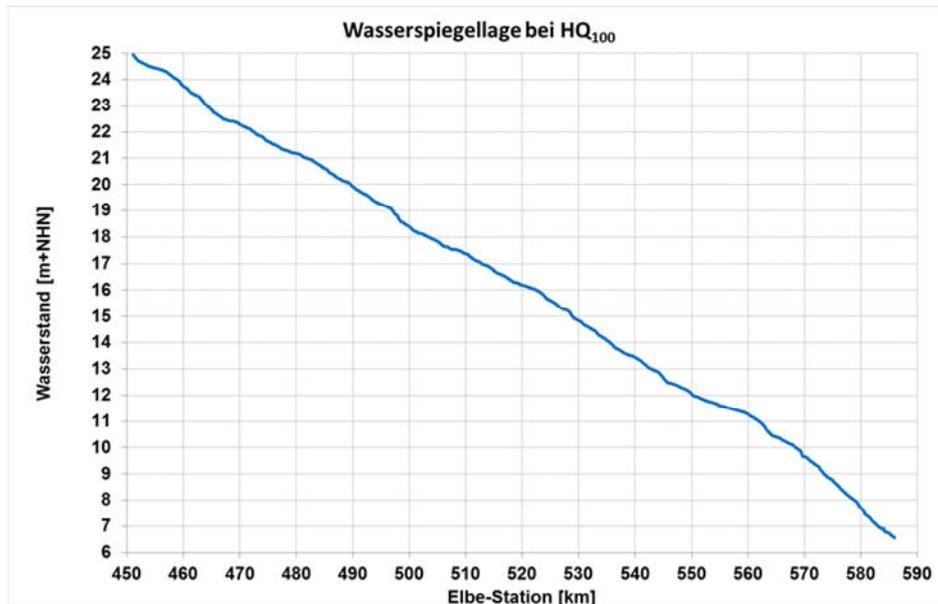


Abb. A.45 Wasserspiegellage eines  $HQ_{100}$  im IST-Zustand

In Abb. A.46 ist die zwischen den Deichen bzw. Hochufern für die Elbe zur Verfügung stehende Breite als Längsschnitt für jeden Hektometer zwischen Wittenberge und Geesthacht dargestellt. Die Breiten dieser zur Verfügung stehenden Überschwemmungsfläche bewegen sich zwischen 400 m bis zu mehr als 3,5 km. Bei deutlicher Verringerung der Breite innerhalb eines kurzen Streckenabschnitts kommt die Stelle mit der geringsten Breite als Engstelle in Betracht.

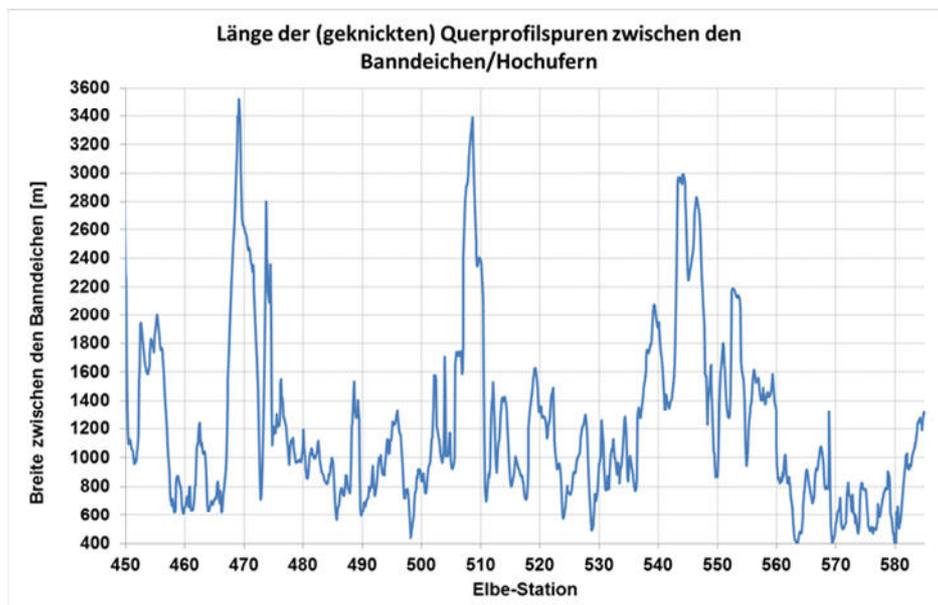


Abb. A.46 Breite zwischen den Banndeichen von Wittenberge bis Geesthacht

### Identifizierte Engstellen zwischen Wittenberge und Geesthacht

Nachfolgend sind die mit den beschriebenen Grundlagen als “Engstelle“ identifizierten Abschnitte zwischen Wittenberge und Geesthacht aufgeführt und kurz beschrieben.

Sämtliche identifizierten Engstellen werden jeweils anhand von den zwei folgenden Diagrammen dargestellt und in einem kurzen Textteil beschrieben:

- 1.) Wasserspiegellängsschnitt für  $HQ_{100}$
- 2.) Strömungsvektoren in der Aufsicht

Im Fall einer möglichen Maßnahme wird diese jeweils skizzenhaft in 2.) mit grünen Linien abgebildet.

#### Elbe-km 450 – 470

Zwischen Elbe-km 450 und 460 wurden visuell keine Engstellen identifiziert. Einen Überblick über die Gefälleverhältnisse bei  $HQ_{100}$  im Bereich zwischen Elbe-km 460 und 470 gibt Abb. A.47.

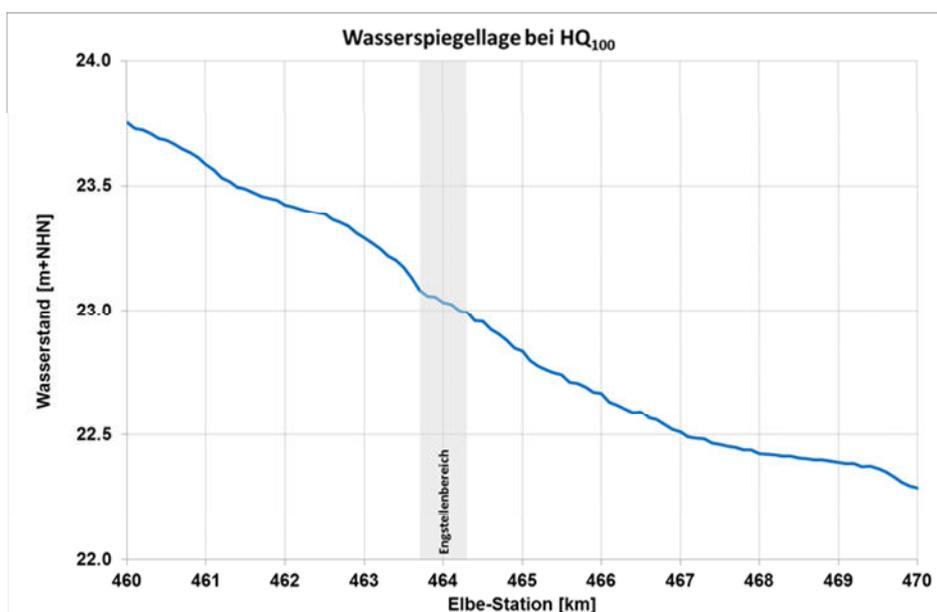


Abb. A.47 Wasserspiegellängsschnitt im Bereich Elbe-km 460-470

– Elbe-km 464 (Müggendorf):

Bei Müggendorf verringert sich die Breite zwischen den Deichen von 1040 m auf 640 m (~61%). Am modellierten Wasserspiegelverlauf eines  $HQ_{100}$  ist in diesem Bereich die durch Rückstau verursachte deutliche Gefälleverringering zu erkennen (Abb. A.47). Im Strömungsbild bestätigen die Strömungsvektoren mit den größeren Fließgeschwindigkeiten die Engstelle (Abb. A.48). Eine DRV (~ Elbe-km 463,7 – 464,6) links wäre möglich, wird aber

im Rahmen der Kooperation nicht näher betrachtet, da sich der Gewässerabschnitt nicht auf dem Hoheitsgebiet der im Projekt beteiligten Länder liegt.

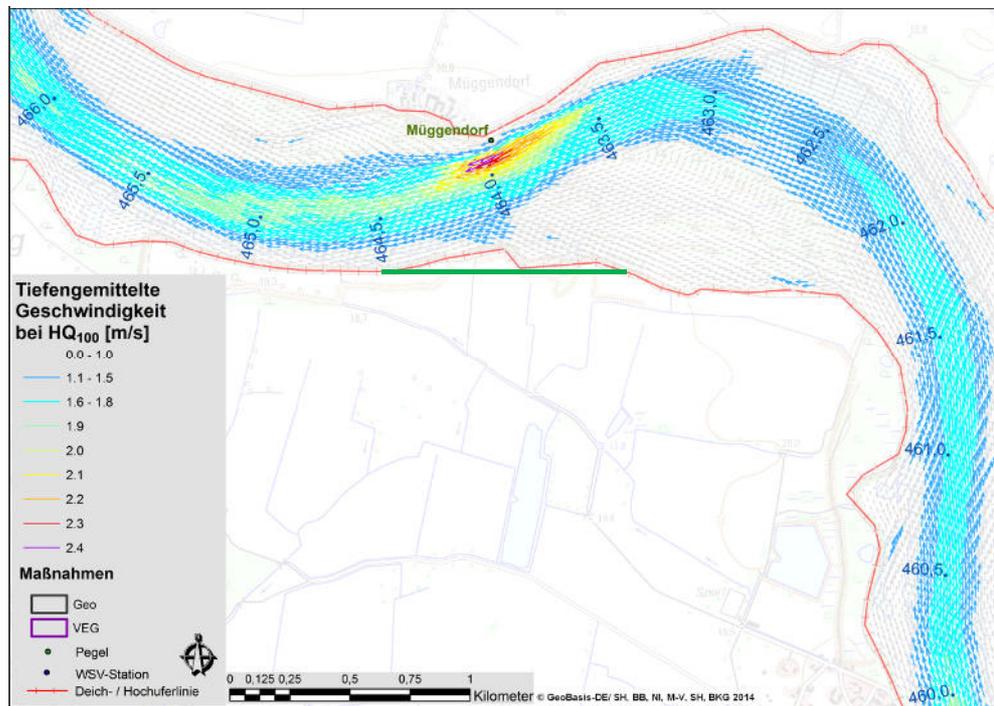


Abb. A.48 Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Muggendorf

### Elbe-km 470 – 480

Einen Überblick über die Gefälleverhältnisse bei  $HQ_{100}$  im Bereich zwischen Elbe-km 470 und 480 gibt Abb. A.49.

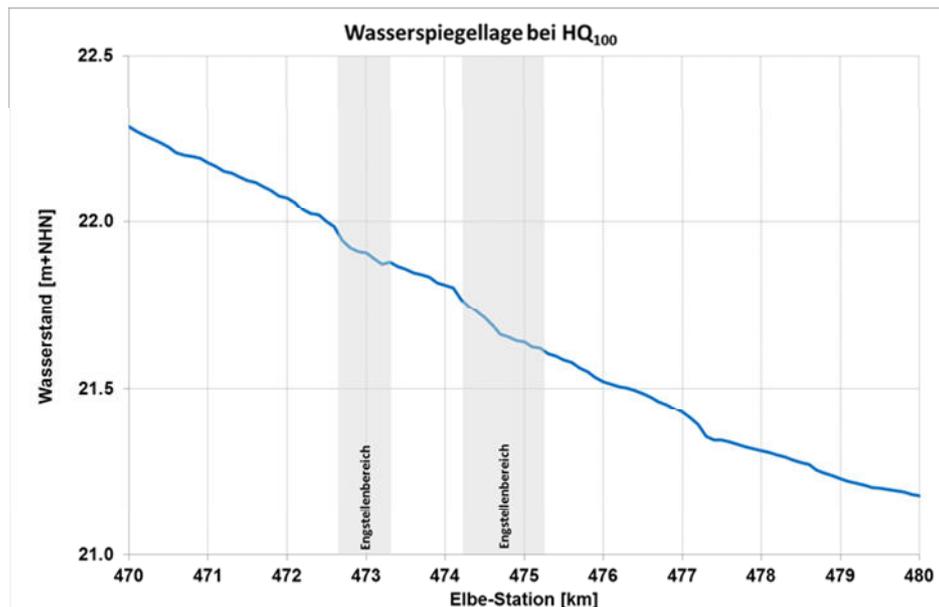


Abb. A.49 Wasserspiegellängsschnitt im Bereich Elbe-km 470-480

– Elbe-km 473 und 475 (Lütkenwisch und Schnackenburg):

Bei Lütkenwisch und Schnackenburg verringert sich die Breite zwischen den Deichen auf 19 % (3600 m → 700 m) bzw. 36 % (2800 m → 1000 m). Am modellierten Wasserspiegelverlauf eines HQ<sub>100</sub> sind in diesen Bereichen die Gefälleverringerungen zu erkennen (Abb. A.49). Im Strömungsbild bestätigen die Strömungsvektoren mit den größeren Fließgeschwindigkeiten die Engstellen (Abb. A.50). Eine DRV links (ca. Elbe-km 472,5 – 473,2) und rechts (ca. Elbe-km 473,8 – 475,3) wäre möglich, wird aber im Rahmen der Kooperation nicht näher betrachtet, da die beiden DRV nicht auf dem Hoheitsgebiet der im Projekt beteiligten Länder liegen.

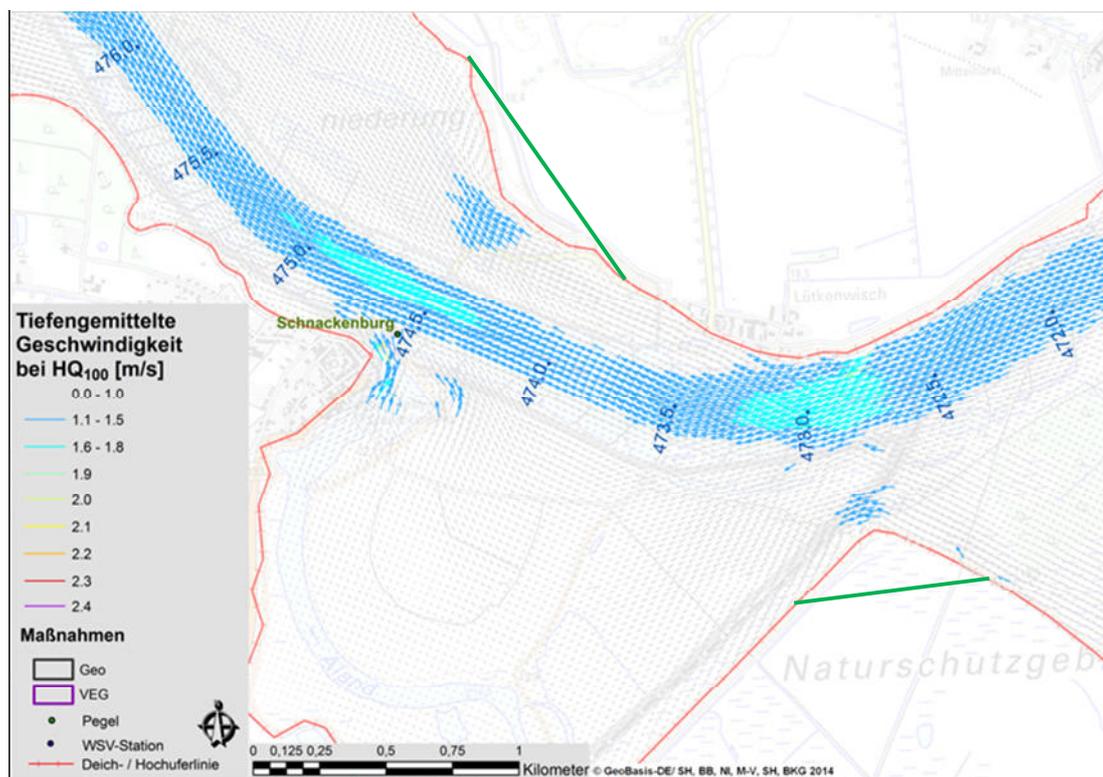


Abb. A.50 Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Lütkenwisch und Schnackenburg

### Elbe-km 480 – 490

Einen Überblick über die Gefälleverhältnisse bei HQ<sub>100</sub> im Bereich zwischen Elbe-km 480 und 490 gibt Abb. A.51.

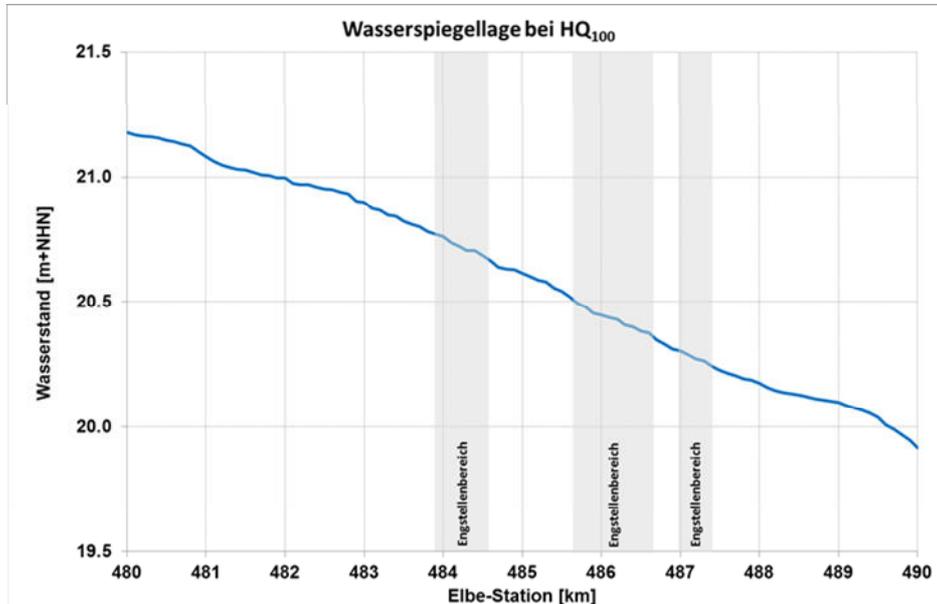


Abb. A.51 Wasserspiegellängenschnitt im Bereich Elbe-km 480-490

– Elbe-km 484 und 486 (Lenzen):

Bei Lenzen verringert sich die Breite zwischen den Deichen auf 58 % (1000 m → 580 m). Am modellierten Wasserspiegelverlauf eines HQ<sub>100</sub> sind in diesem Bereich Gefälleveränderungen zu erkennen (Abb. A.51). Im Strömungsbild bestätigen die Strömungsvektoren mit den größeren Fließgeschwindigkeiten die Wirkung der Engstelle. Die bisher geplanten Maßnahmen sind Aufastung und Vorlandabgrabung.

Eine DRV links (ca. Elbe-km 483,2 – 484,6) und rechts in Brandenburg (ca. Elbe-km 485,1 – 486,9) mit jeweils ca. 190.000 m<sup>2</sup> Fläche wäre möglich. Die DRV links wird von der BfG zur näheren Betrachtung empfohlen, da hier hauptsächlich Grünland betroffen ist.

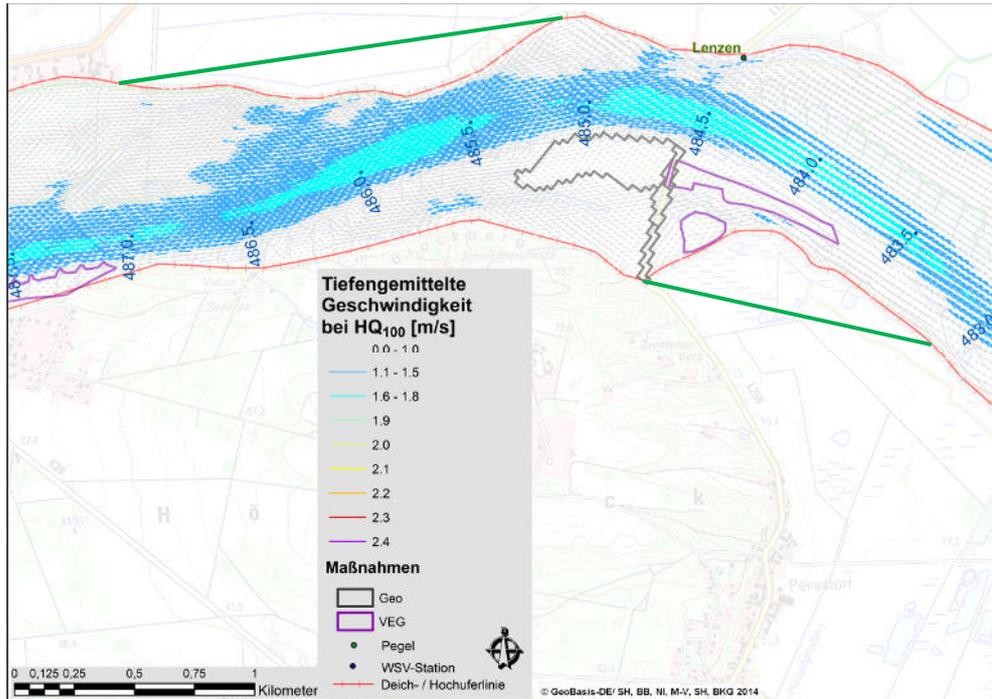


Abb. A.52 Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Lenzen

– Elbe-km 487 (Vietze):

Bei Vietze verringert sich die Breite zwischen den Deichen auf 58 % (1000 m → 580 m). Am modellierten Wasserspiegelverlauf eines HQ<sub>100</sub> ist in diesem Bereich die Gefälleverringering zu erkennen (Abb. A.51). Im Strömungsbild bestätigen die Strömungsvektoren mit den größeren Fließgeschwindigkeiten die Engstelle (Abb. A.53). Die bisher in diesem Bereich geplante Maßnahme ist vom Typ Rückschnitt.

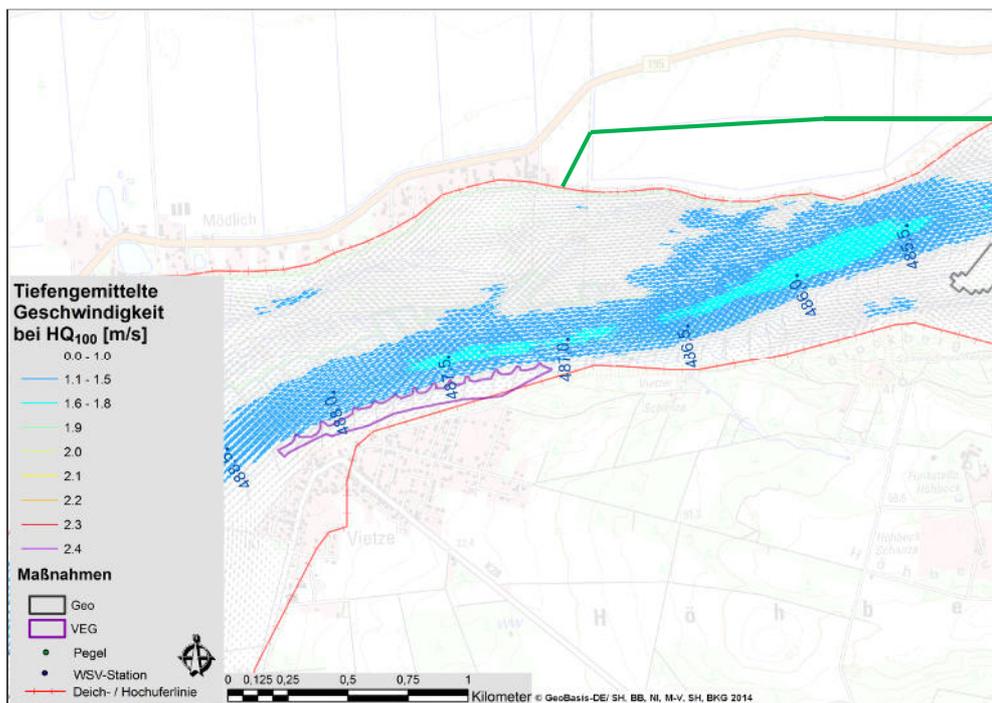


Abb. A.53 Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Vietze

Die Möglichkeit zu einer DRV auf der linken Uferseite in Niedersachsen besteht hier nicht. Eine mögliche Maßnahme wäre ein Vorlandabtrag auf der rechten Seite in Brandenburg unter Beachtung des Naturschutzgebiets (ca. Elbe-km 485,1 – 486,9). Diese Maßnahme wird im Kooperationsprojekt nicht näher betrachtet, da sie nicht auf dem Hoheitsgebiet der im Projekt beteiligten Länder liegt.

### Elbe-km 490 – 500

Einen Überblick über die Gefälleverhältnisse bei  $HQ_{100}$  im Bereich zwischen Elbe-km 490 und 500 gibt Abb. A.54.

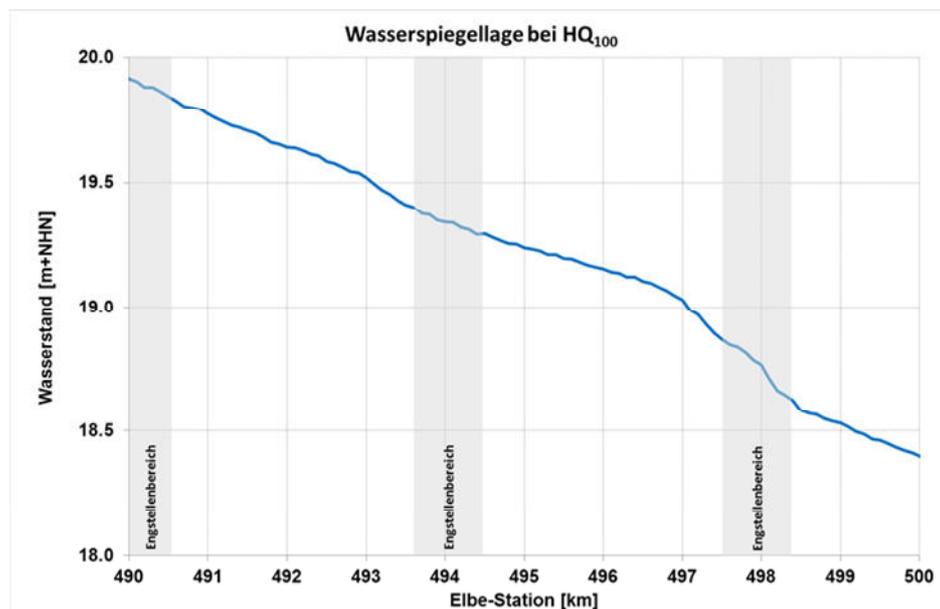


Abb. A.54 Wasserspiegellagenlängsschnitt im Bereich Elbe-km 490-500

– Elbe-km 490 und 494 (Gorleben):

Bei Gorleben verringert sich die Breite zwischen den Deichen auf 42 % (1400 m → 600 m). Am modellierten Wasserspiegelverlauf eines  $HQ_{100}$  sind in diesem Bereich Gefälleverringierungen zu erkennen (Abb. A.54). Im Strömungsbild bestätigen die Strömungsvektoren mit den größeren Fließgeschwindigkeiten die Engstellen (Abb. A.55). Die bisher geplanten Maßnahmen sind vom Typ Rückschnitt und Flutmulde.

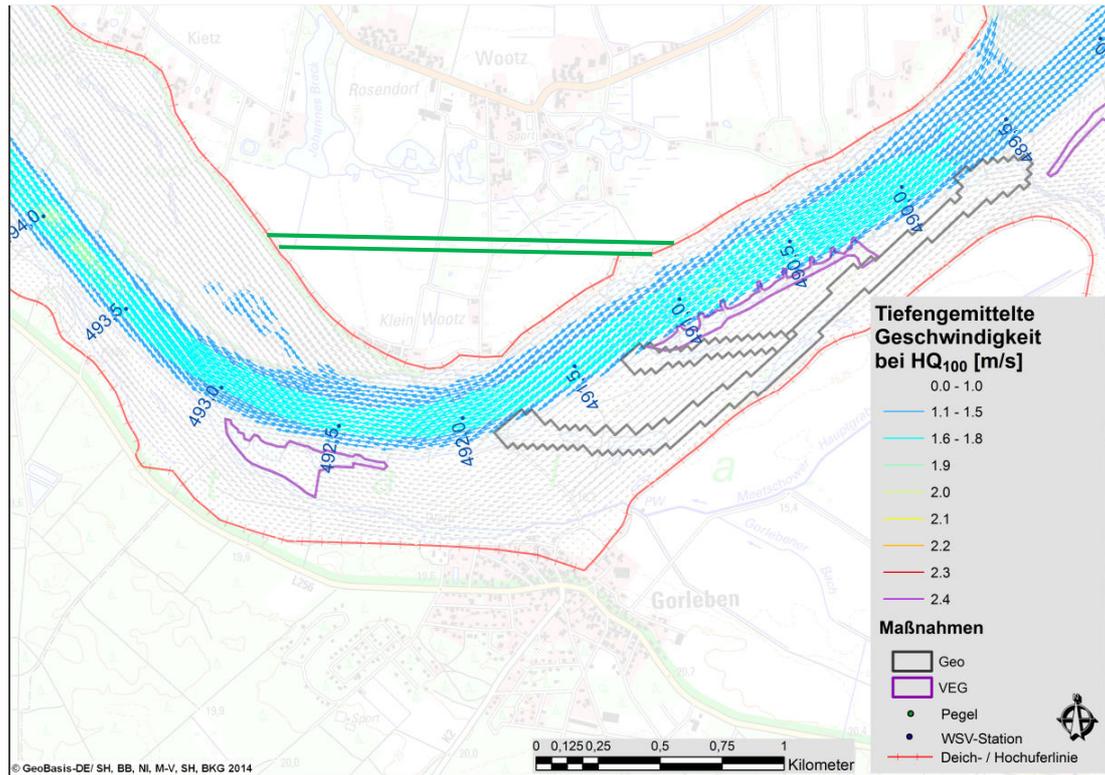


Abb. A.55 Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Gorleben

Eine DRV ist aufgrund der Bebauung nicht möglich. Eine mögliche Maßnahme wäre eine Flutrinne (ca. Elbe-km 490,9 – 493,4) rechts in Brandenburg. Diese wird aber nicht näher betrachtet, da sich die Maßnahme nicht auf dem Hoheitsgebiet der im Projekt beteiligten Länder liegt.

– Elbe-km 498 (Besandten):

Bei Besandten verringert sich die Breite zwischen den Deichen auf 31 % (1300 m → 400 m). Am modellierten Wasserspiegelverlauf eines  $HQ_{100}$  ist in diesem Bereich die Gefälleverringering zu erkennen (Abb. A.54). Im Strömungsbild bestätigen die Strömungsvektoren mit den größeren Fließgeschwindigkeiten die Engstelle (Abb. A.56).

2D-Modellierung an  
der unteren Mittellelbe  
zwischen Wittenberge  
und Geesthacht



Abb. A.56 Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Besandten

Eine DRV auf dem rechten Ufer ist hier aufgrund der Bebauung nicht möglich. Auf der linken Seite befindet sich ein Hochufer. Eine mögliche Maßnahme wäre eine Flutrinne zwischen ca. Elbe-km 497,0 und 499,2 auf der linken Seite zwischen den Siedlungen. Hierbei muss jedoch der Höhenvorsprung des Geländes auf der linken Seite berücksichtigt werden.

### Elbe-km 500 – 510

Einen Überblick über die Gefälleverhältnisse bei  $HQ_{100}$  im Bereich zwischen Elbe-km 500 und 510 gibt Abb. A.57.

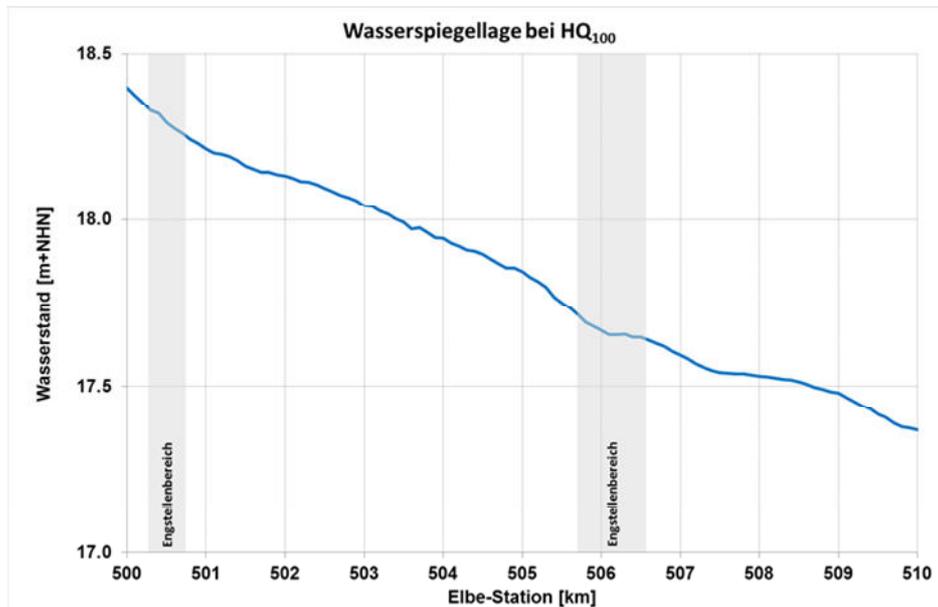


Abb. A.57 Wasserspiegellagenlängsschnitt im Bereich Elbe-km 500-510

– Elbe-km 501 (Gaarz):

Bei Gaarz befindet sich vor der Vergrößerung der Breite zwischen den Deichen eine geringe Verkleinerung mit 760 m zwischen den Deichen. Am modellierten Wasserspiegelverlauf eines  $HQ_{100}$  ist in diesem Bereich eine Gefälleveränderung zu erkennen (Abb. A.57). Im Strömungsbild bestätigen die Strömungsvektoren mit den größeren Fließgeschwindigkeiten die Engstelle (Abb. A.58).

Eine DRV links (ca. Elbe-km 500,3 – 501,8) mit einem Flächengewinn von etwa 170.000 m<sup>2</sup> ist möglich, wird von der BfG jedoch nicht näher betrachtet, da die DRV- Fläche relativ klein ist und nur wenig Auswirkungen auf den Wasserspiegel erwarten lässt.

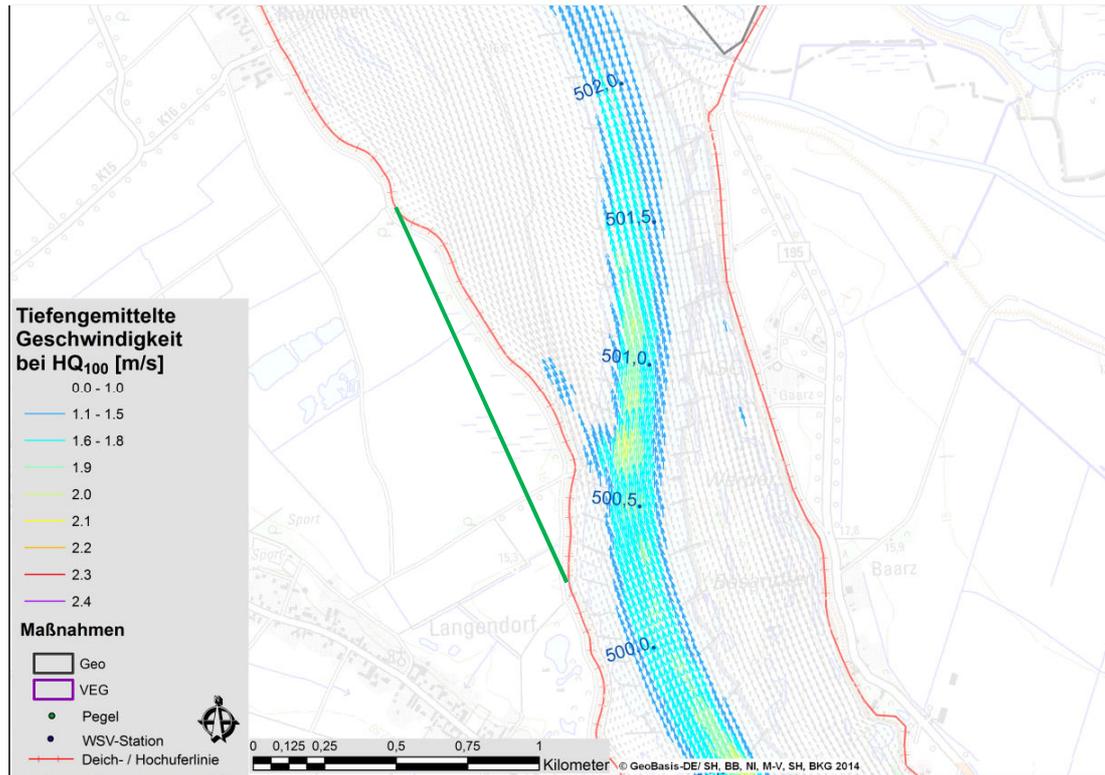


Abb. A.58 Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Gaarz

– Elbe-km 506 (Dömitz):

Bei Dömitz verringert sich die Breite für das Wasser durch den Brückendamm. Im Vorland befindet sich starker Bewuchs welcher den Abfluss behindert. Am modellierten Wasserspiegelverlauf eines HQ<sub>100</sub> sind in diesem Bereich die Gefälleveränderungen zu erkennen (Abb. A.57). Im Strömungsbild bestätigen die Strömungsvektoren mit den größeren Fließgeschwindigkeiten die Engstelle (Abb. A.59). Die bisher geplanten Maßnahmen betreffen Aufastung, Rückschnitt, Gehölzentfernung und Vorlandabgrabung.

Diese Engstelle durch eine DRV zu entschärfen scheint nicht ökonomisch. Möglicherweise wirksame Maßnahmen wären hier weitere Vorlandtieferlegungen und Vegetationsmaßnahmen.

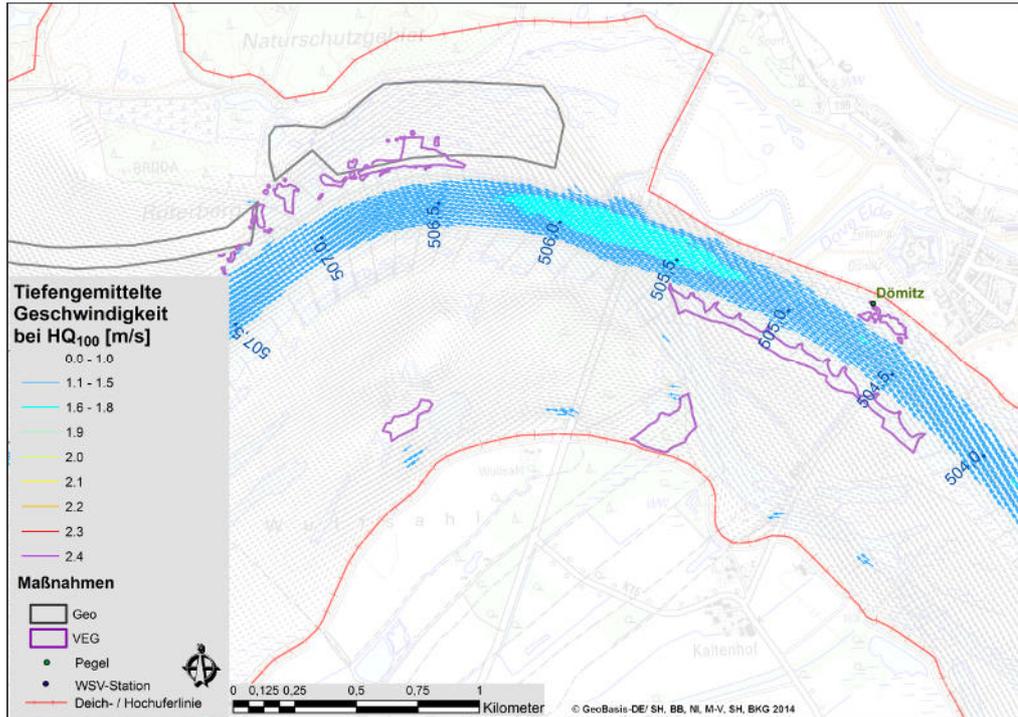


Abb. A.59 Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Dömitz

### Elbe-km 510 – 520

Einen Überblick über die Gefälleverhältnisse bei HQ<sub>100</sub> im Bereich zwischen Elbe-km 510 und 520 gibt Abb. A.60.

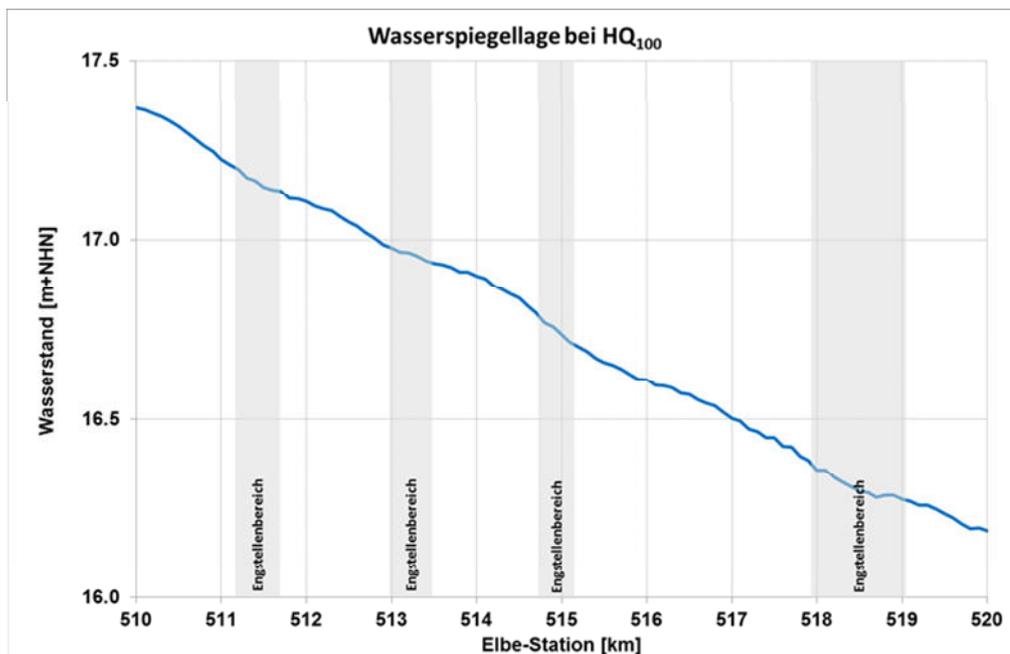


Abb. A.60 Wasserspiegellängsschnitt im Bereich Elbe-km 510-520

– Elbe-km 511 (Rüterberg):

Bei Rüterberg verringert sich die Breite zwischen den Deichen von 3400 m auf etwa 700 m (21%). Am modellierten Wasserspiegelverlauf eines  $HQ_{100}$  sind in diesem Bereich deutliche Gefälleänderungen zu erkennen (Abb. A.60). Im Strömungsbild bestätigen die Strömungsvektoren mit den größeren Fließgeschwindigkeiten die Engstelle (Abb. A.61). Die bisher geplanten Maßnahmen sind vom Typ Rückschnitt und Altarmanschluss. In diesem Bereich wird von der BfG aufgrund der vorhandenen Siedlungen keine DRV vorgeschlagen.

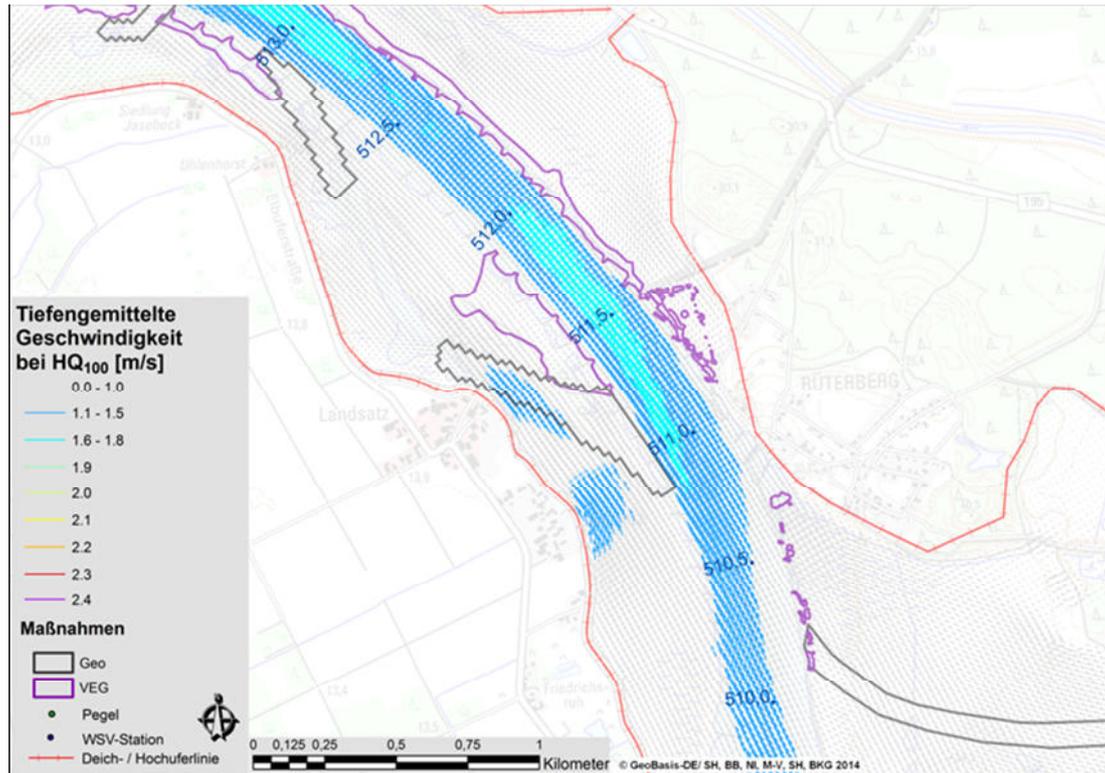


Abb. A.61 Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Rüterberg

– Elbe-km 513 (Wehningen):

Bei Wehningen verringert sich die Breite zwischen den Deichen auf 58 % (1550 m → 900 m). Am modellierten Wasserspiegelverlauf eines  $HQ_{100}$  sind in diesem Bereich die Gefälleänderungen zu erkennen (Abb. A.60). Im Strömungsbild bestätigen die Strömungsvektoren mit den größeren Fließgeschwindigkeiten die Engstelle (Abb. A.62). Bisher geplante Maßnahmen: Rückschnitt und Altarmanschluss.

In diesem Bereich wird von der BfG aufgrund der vorhandenen Siedlungen keine DRV vorgeschlagen.

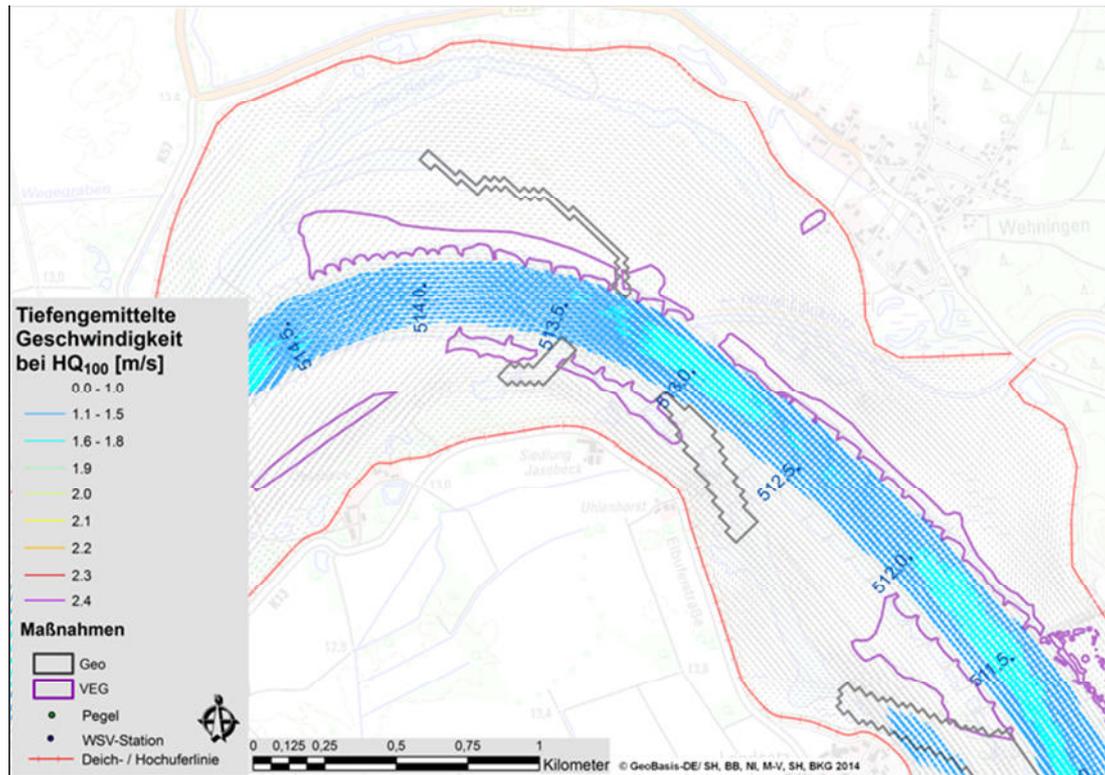


Abb. A.62 Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Wehningen

– Elbe-km 515 (Bohnenburg):

Bei Bohnenburg verringert sich die Breite zwischen den Deichen auf 57 % (1430 m → 825 m). Am modellierten Wasserspiegelverlauf eines  $HQ_{100}$  sind in diesem Bereich die Gefälleänderungen zu erkennen (Abb. A.60). Im Strömungsbild bestätigen die Strömungsvektoren mit den größeren Fließgeschwindigkeiten die Engstelle (Abb. A.63). Die bisher geplanten Maßnahmen betreffen Rückschnitt und Altarmanschluss. In diesem Bereich wird von der BfG aufgrund der vorhandenen Siedlungen (rechts) keine DRV vorgeschlagen.

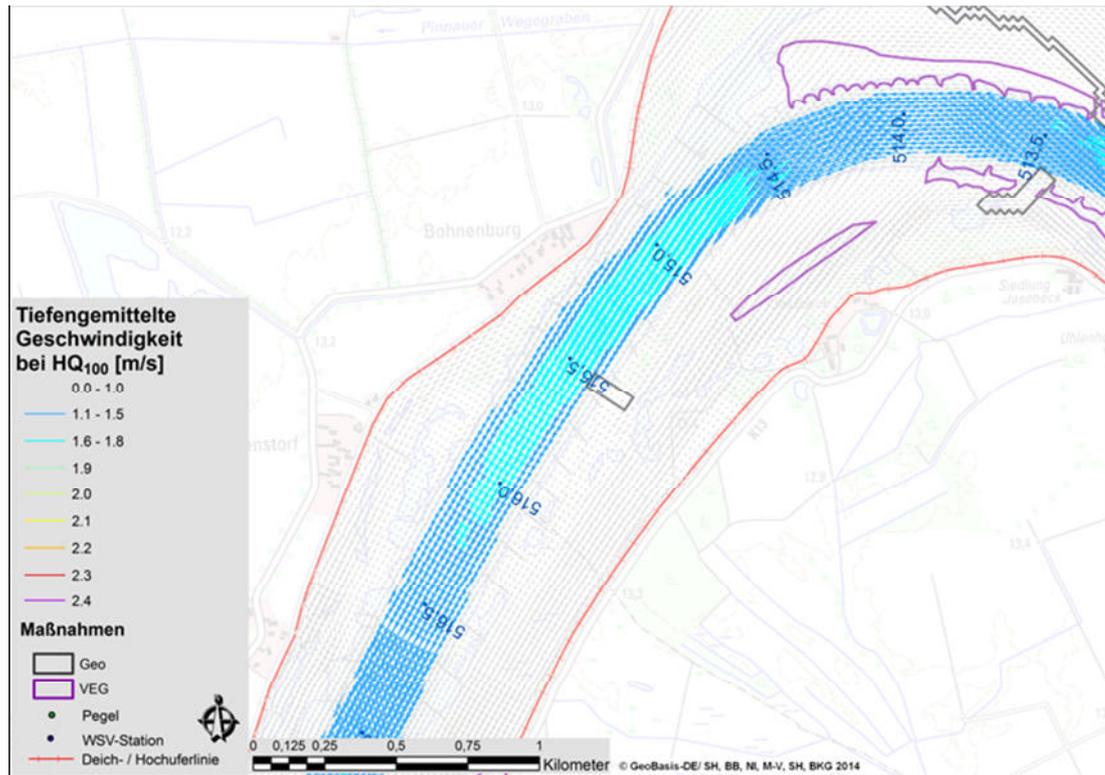


Abb. A.63 Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Bohnenburg

– Elbe-km 518 (Strachau):

Bei Strachau verringert sich die Breite zwischen den Deichen auf 72 % (1000 m → 720 m). Am modellierten Wasserspiegelverlauf eines HQ<sub>100</sub> sind in diesem Bereich die Gefälleänderungen zu erkennen (Abb. A.60). Im Strömungsbild bestätigen die Strömungsvektoren mit den größeren Fließgeschwindigkeiten die Engstelle (Abb. A.64). Die bisher geplanten Maßnahmen sind Rückschnitt, Aufastung und Flutmulde. In diesem Bereich wird von der BfG aufgrund der vorhandenen Siedlungen und der Straße (links) keine DRV vorgeschlagen.

2D-Modellierung an  
der unteren Mittel-  
elbe zwischen Wittenberge  
und Geesthacht

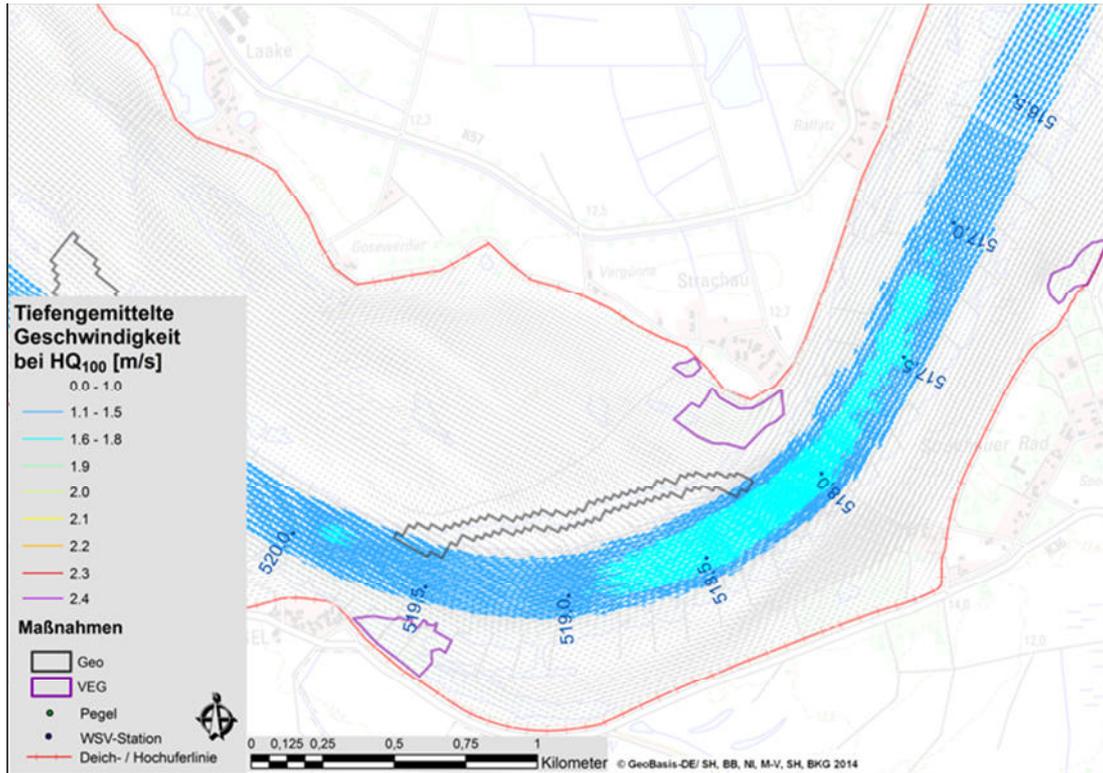


Abb. A.64 Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Strachau

### Elbe-km 520 – 530

Einen Überblick über die Gefälleverhältnisse bei  $HQ_{100}$  im Bereich zwischen Elbe-km 520 und 530 gibt Abb. A.65.

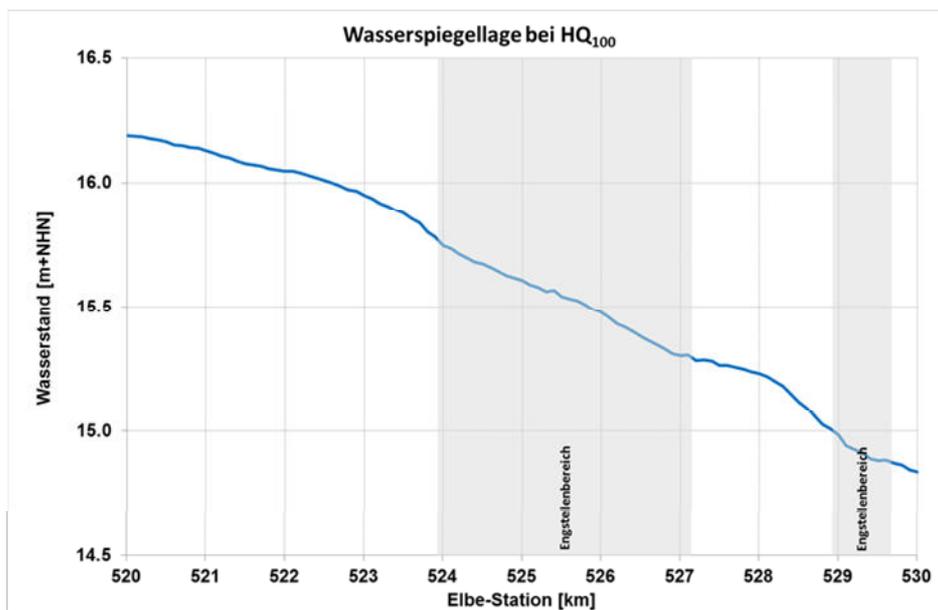


Abb. A.65 Wasserspiegellängsschnitt im Bereich Elbe-km 520-530

– Elbe-km 524 – 527 (Bitter und Tiessau):

Bei Bitter und Tiessau verringert sich die Breite zwischen den Deichen auf 39 % (1490 m → 580 m). Am modellierten Wasserspiegelverlauf eines  $HQ_{100}$  sind in diesem Bereich die Gefälleänderungen zu erkennen (Abb. A.65). Im Strömungsbild bestätigen die Strömungsvektoren mit den größeren Fließgeschwindigkeiten die Engstellen (Abb. A.66). Die bisher geplanten Maßnahmen sind vom Typ Rückschnitt und Flutmulde. Eine DRV (ca. Elbe-km 524,8 – 528,8) rechts mit einer Fläche von ca. 230.000 m<sup>2</sup> beinhaltet hauptsächlich Acker- und Grünland, links befindet sich ein Hochufer. Diese DRV wird aufgrund der relativ großen, zusätzlichen Flächenbereitstellung von der BfG für weitere Untersuchungen vorgeschlagen.

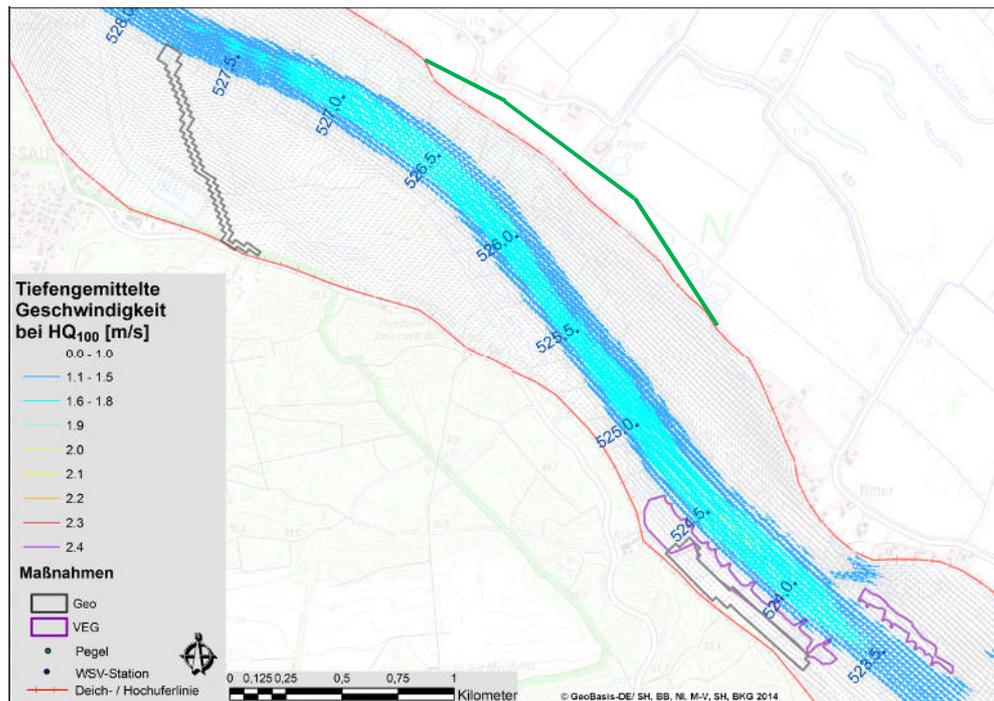


Abb. A.66 Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Bitter und Tiessau

– Elbe-km 529 (Privelak):

Bei Privelak verringert sich die Breite zwischen den Deichen auf 38 % (1280 m → 490 m). Am modellierten Wasserspiegelverlauf eines  $HQ_{100}$  sind in diesem Bereich die Gefälleänderungen zu erkennen (Abb. A.65). Im Strömungsbild bestätigen die Strömungsvektoren mit den größeren Fließgeschwindigkeiten die Engstelle (Abb. A.67). Die bisher geplanten Maßnahmen sind Rückschnitt und Altarmanschluss.

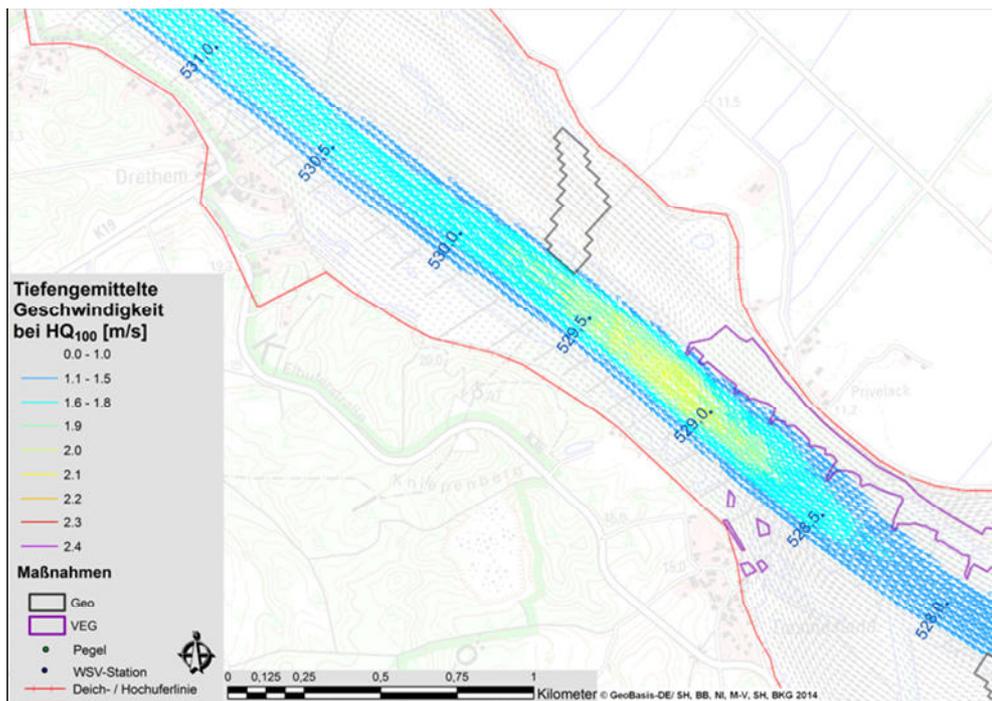


Abb. A.67 Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Privelak

Eine DRV rechts ist aufgrund der Siedlung nicht möglich. Auf der linken Seite befindet sich zwischen den Siedlungen ein Hochufer. In diesem Bereich wird von der BfG aufgrund der vorhandenen Siedlungen keine DRV vorgeschlagen.

### Elbe-km 530 – 540

Einen Überblick über die Gefälleverhältnisse bei HQ<sub>100</sub> im Bereich zwischen Elbe-km 530 und 540 gibt Abb. A.68.

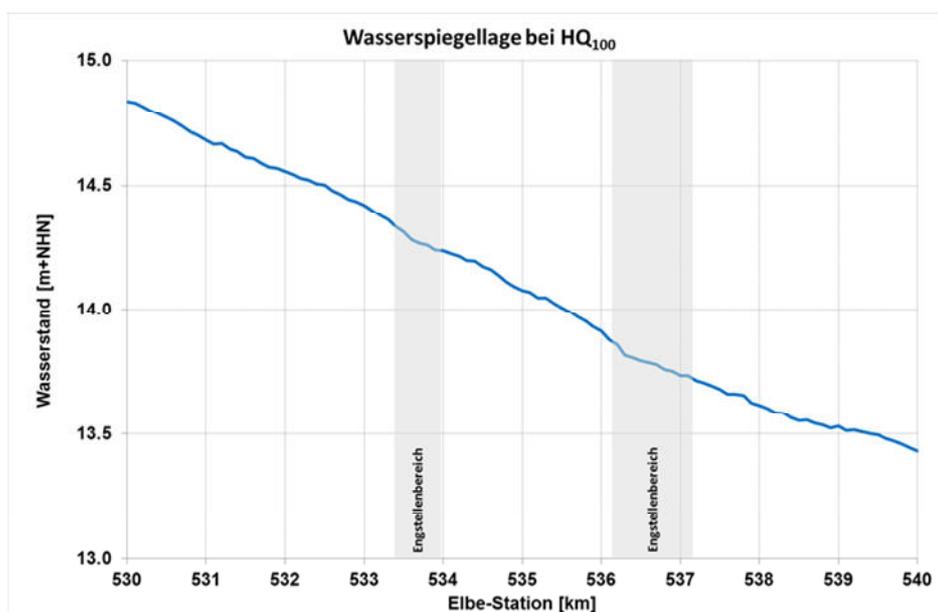


Abb. A.68 Wasserspiegellängsschnitt im Bereich Elbe-km 530-540

– Elbe-km 534 (Schutschur):

Bei Schutschur verringert sich die Breite zwischen den Deichen auf 67 % (1280 m → 856 m). Am modellierten Wasserspiegelverlauf eines  $HQ_{100}$  sind in diesem Bereich die Gefälleänderungen zu erkennen (Abb. A.68). Im Strömungsbild bestätigen die Strömungsvektoren mit den größeren Fließgeschwindigkeiten die Engstelle (Abb. A.69). Die bisher geplante Maßnahme ist ein Altarmanschluss. Eine DRV rechts (ca. Elbe-km 534,3 – 535,3) wäre möglich. Die betroffene Fläche von ca. 134.000 m<sup>2</sup> enthält hauptsächlich Grünland und einige Bäume, links befindet sich ein Hochufer. Diese DRV-Maßnahme wird von der BfG für weitere Untersuchungen vorgeschlagen, da die "Richtungsänderung" der Strömung im Überflutungsbereich entschärft wird und dadurch Wasserstandsminderungen zu erwarten sind.

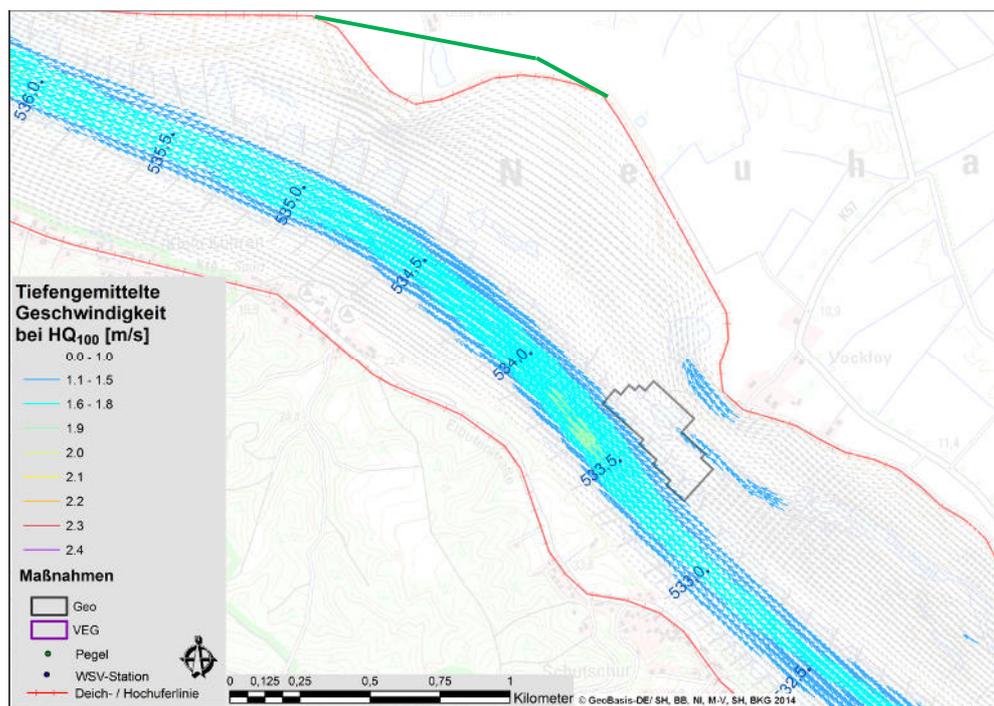


Abb. A.69 Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Schutschur

– Elbe-km 536 (Neu Darchau):

Bei Neu Darchau verringert sich die Breite zwischen den Deichen von ursprünglich 1280 m auf zunächst 860 m und vor dem Ort selbst auf 770 m (60 - 90 %). Am modellierten Wasserspiegelverlauf eines  $HQ_{100}$  sind in diesem Bereich die Gefälleänderungen zu erkennen (Abb. A.68). Im Strömungsbild bestätigen die Strömungsvektoren mit den größeren Fließgeschwindigkeiten die Engstelle (Abb. A.70). Die bisher geplanten Maßnahmen sind vom Typ Rückschnitt. In diesem Bereich wird von der BfG aufgrund der beidseitigen Siedlungen keine DRV vorgeschlagen.

2D-Modellierung an  
der unteren Mittel-  
elbe zwischen Wittenberge  
und Geesthacht

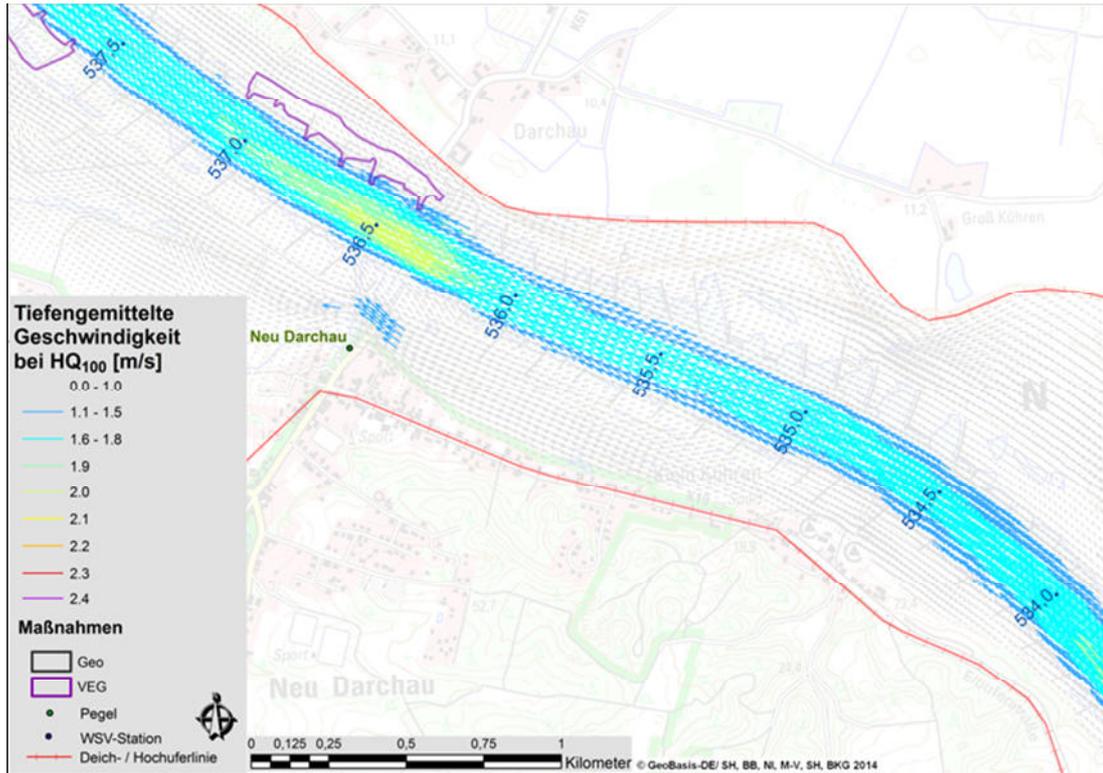


Abb. A.70 Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Neu Darchau

### Elbe-km 540 – 550

Einen Überblick über die Gefälleverhältnisse bei HQ<sub>100</sub> im Bereich zwischen Elbe-km 540 und 550 gibt Abb. A.71.

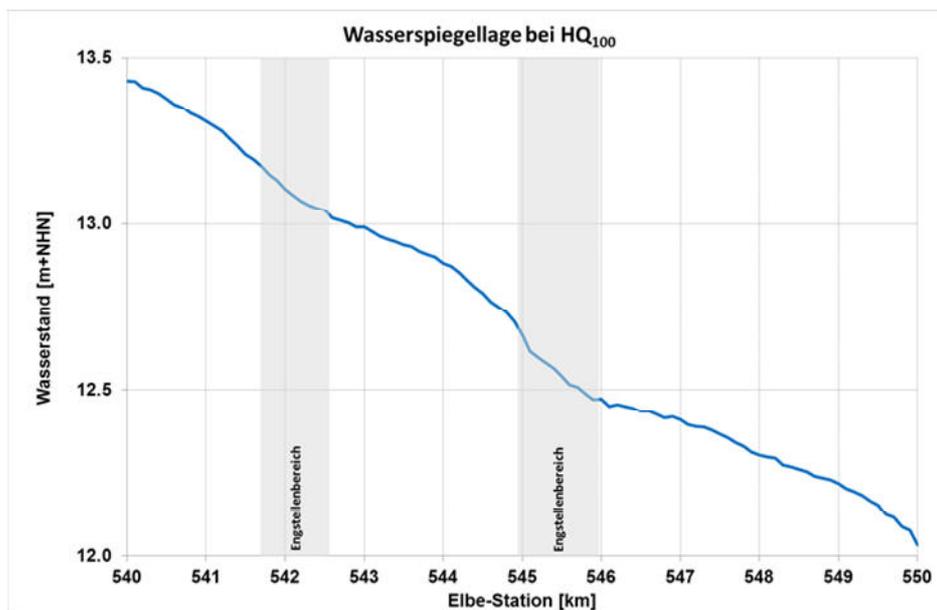


Abb. A.71 Wasserspiegellängsschnitt im Bereich Elbe-km 540-550

– Elbe-km 542 (Viehle):

Bei Viehle verringert sich die Breite zwischen den Deichen auf 65 % (2060 m → 1340 m). Am modellierten Wasserspiegelverlauf eines HQ<sub>100</sub> sind in diesem Bereich die Gefälleveränderungen zu erkennen (Abb. A.71). Im Strömungsbild bestätigen die Strömungsvektoren mit den größeren Fließgeschwindigkeiten die Engstelle (Abb. A.72). Die bisher geplante Maßnahme ist eine Flutmulde. In diesem Bereich wird von der BfG aufgrund der vorhandenen Bebauung und Siedlung keine DRV vorgeschlagen.

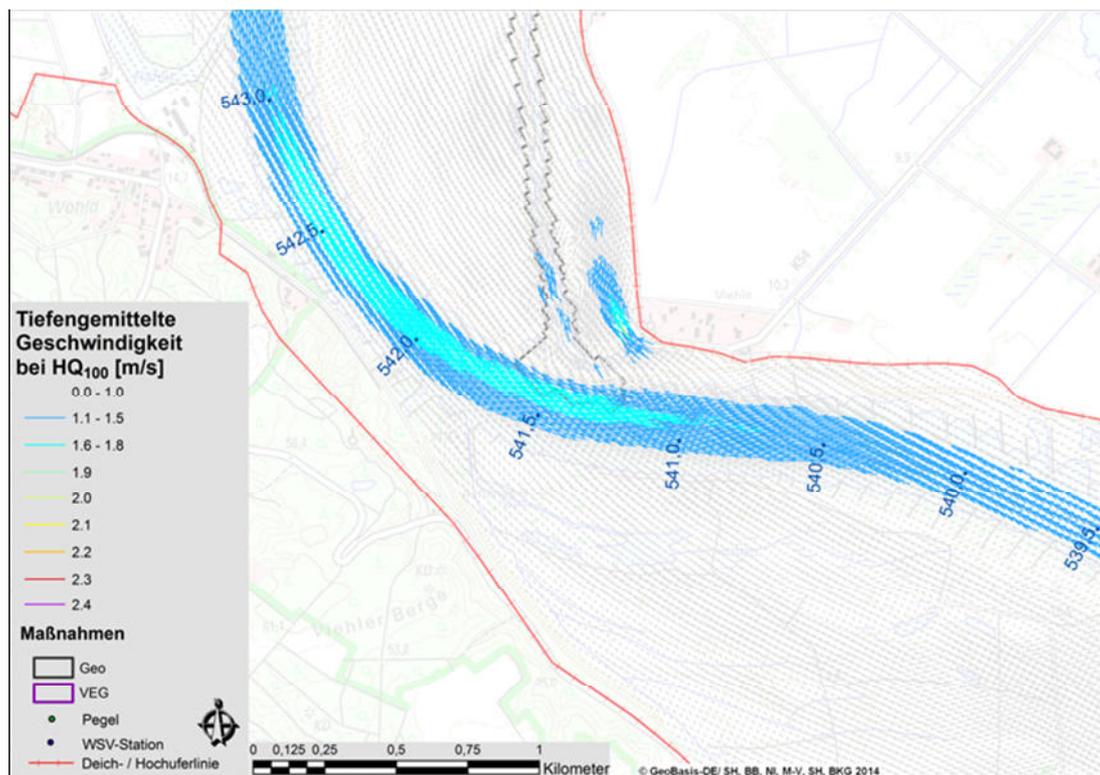


Abb. A.72 Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Viehle

– Elbe-km 545 (Stiepelse):

Bei Stiepelse verringert sich die Breite zwischen den Deichen auf 76 % (2990 m → 2260 m). Am modellierten Wasserspiegelverlauf eines HQ<sub>100</sub> sind in diesem Bereich die Gefälleveränderungen zu erkennen (Abb. A.71). Im Strömungsbild bestätigen die Strömungsvektoren mit den größeren Fließgeschwindigkeiten die Engstelle (Abb. A.73). Die bisher geplanten Maßnahmen sind Rückschnitt und Flutmulde. In diesem Bereich wird von der BfG aufgrund der vorhandenen Siedlungen keine DRV vorgeschlagen.

2D-Modellierung an  
der unteren Mittel-  
elbe zwischen Wittenberge  
und Geesthacht

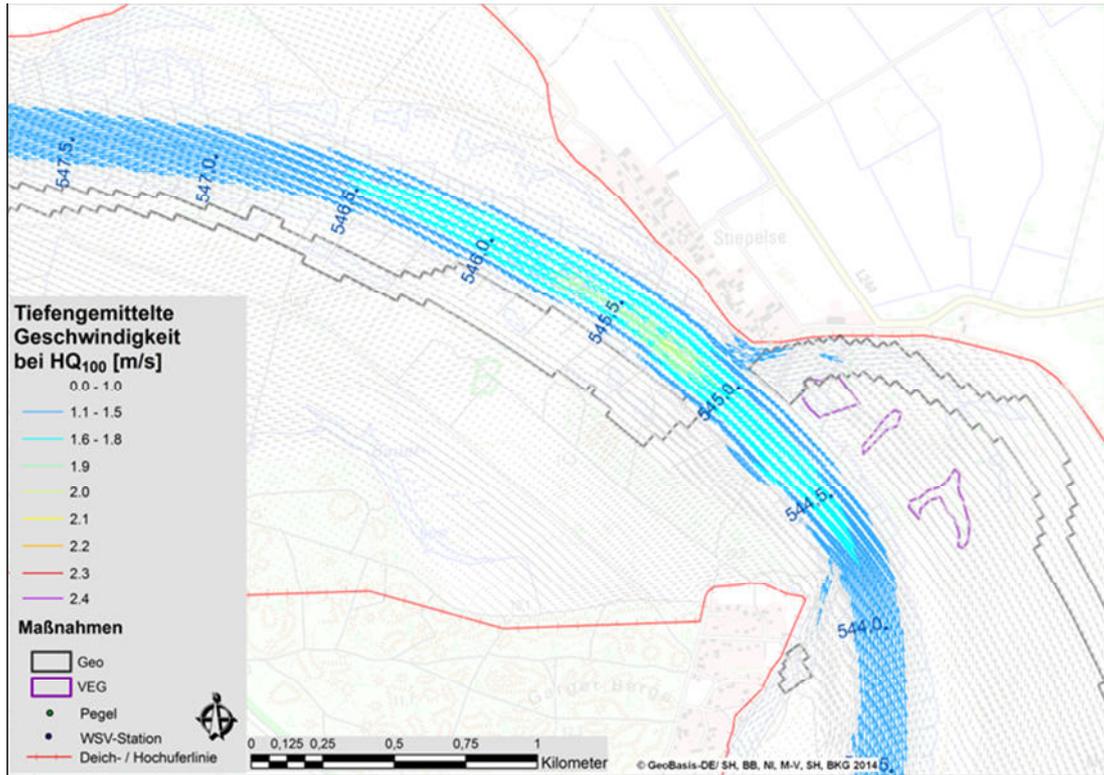


Abb. A.73 Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Stiepelse

**Elbe-km 550 – 560**

Einen Überblick über die Gefälleverhältnisse bei  $HQ_{100}$  im Bereich zwischen Elbe-km 550 und 560 gibt Abb. A.74.

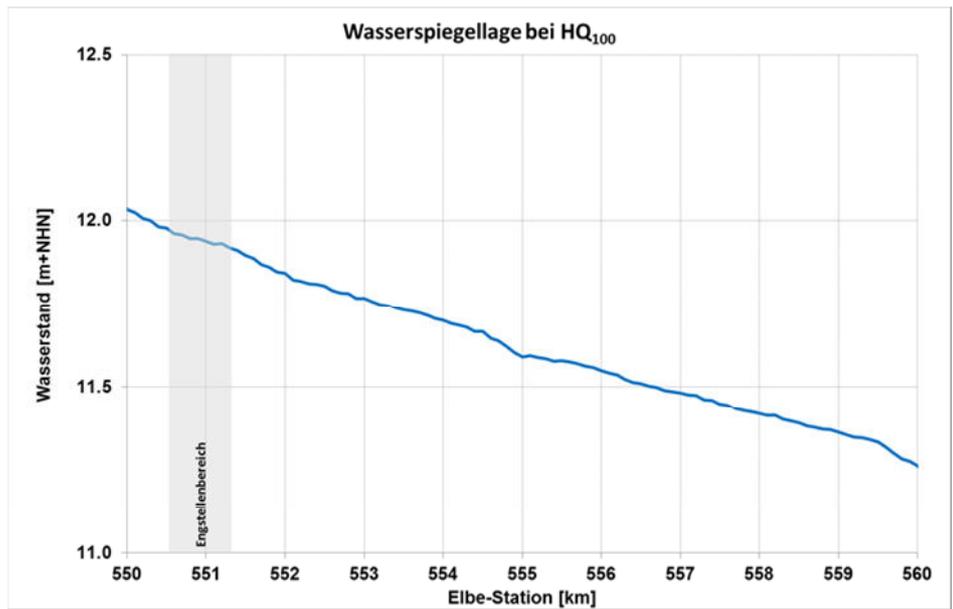


Abb. A.74 Wasserspiegellängsschnitt im Bereich Elbe-km 550-560

– Elbe-km 550 (Bleckede):

Bei Bleckede verringert sich die Breite zwischen den Deichen auf 31 % (2820 m → 873 m). Am modellierten Wasserspiegelverlauf eines  $HQ_{100}$  sind in diesem Bereich die Gefälleveränderungen zu erkennen (Abb. A.74). Im Strömungsbild bestätigen die Strömungsvektoren mit den größeren Fließgeschwindigkeiten die Engstelle (Abb. A.75). Die bisher vorgesehenen Maßnahmen betreffen Rückschnitt, Rehnendurchstich, Altarmabbindung und Flutmulde. Bis auf die ca. 3,4 km lange DRV auf der linken Seite “Vitico“ (ca. Elbe-km 551,2 – 554,6) mit ca. 1.500.000 m<sup>2</sup> zusätzlicher Fläche sind aufgrund der Siedlungen keine weitere DRV möglich. Hier sollte beachtet werden, dass die Engstellenwirkung am unmittelbar unterhalb anschließenden “Radegaster Haken“ durch die Maßnahme nicht aufgehoben werden kann.

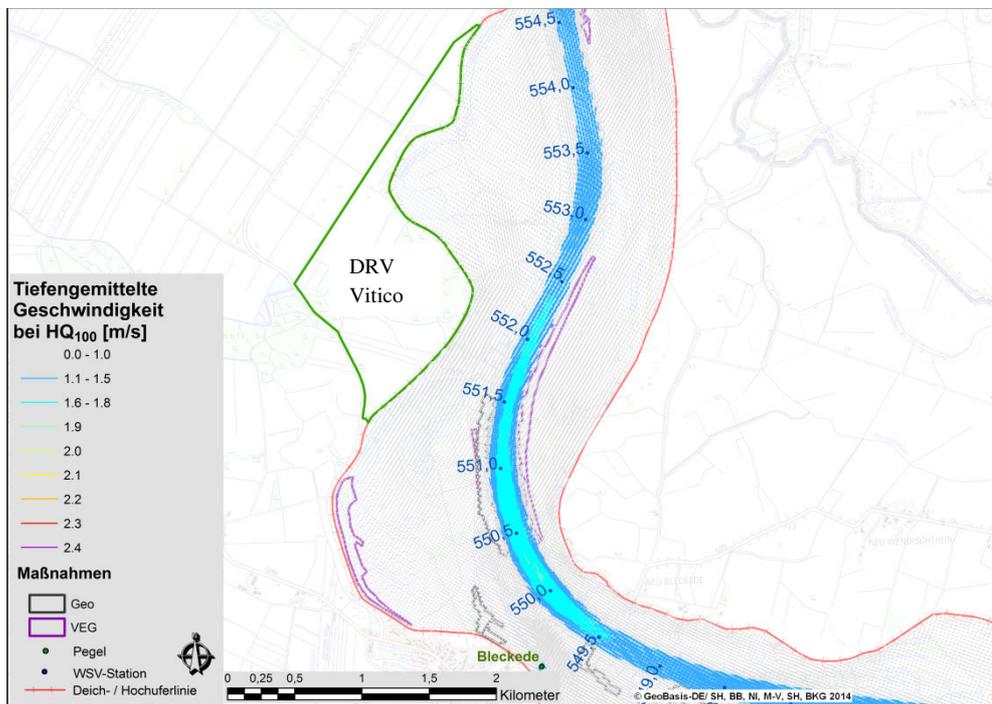


Abb. A.75 Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Bleckede

### Elbe-km 560 – 570

Einen Überblick über die Gefälleverhältnisse bei  $HQ_{100}$  im Bereich zwischen Elbe-km 560 und 570 gibt Abb. A.76.

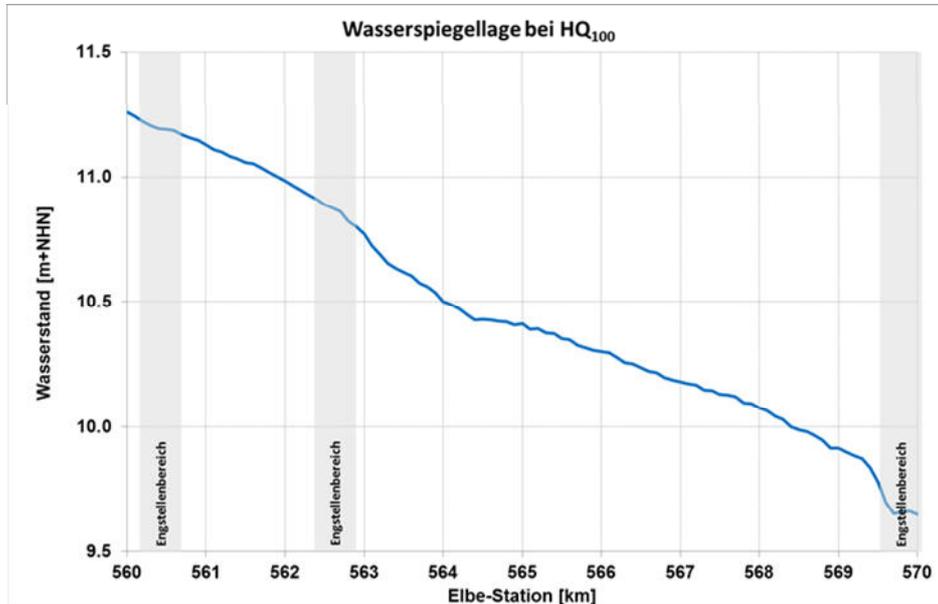


Abb. A.76 Wasserspiegellängsschnitt im Bereich Elbe-km 560-570

– Elbe-km 560 (Boizenburg):

Bei Boizenburg verringert sich die Breite zwischen den Deichen auf 52 % (1580 m → 823 m). Am modellierten Wasserspiegelverlauf eines  $HQ_{100}$  sind in diesem Bereich die Gefälleveränderungen zu erkennen (Abb. A.76). Im Strömungsbild bestätigen die Strömungsvektoren mit den größeren Fließgeschwindigkeiten die Engstelle (Abb. A.77). Die bisher vorgesehenen Maßnahmen oberhalb der Engstelle sind Rückschnitt, Aufstufung, Rehnen-durchstich, Vorlandabtrag, Altarmabbindung und Flutmulde. Im Bereich der Engstelle wird aufgrund der natürlichen Geländehöhen rechts und der vorhandenen Ortschaften auf dem linken Ufer von der BfG keine DRV vorgeschlagen.

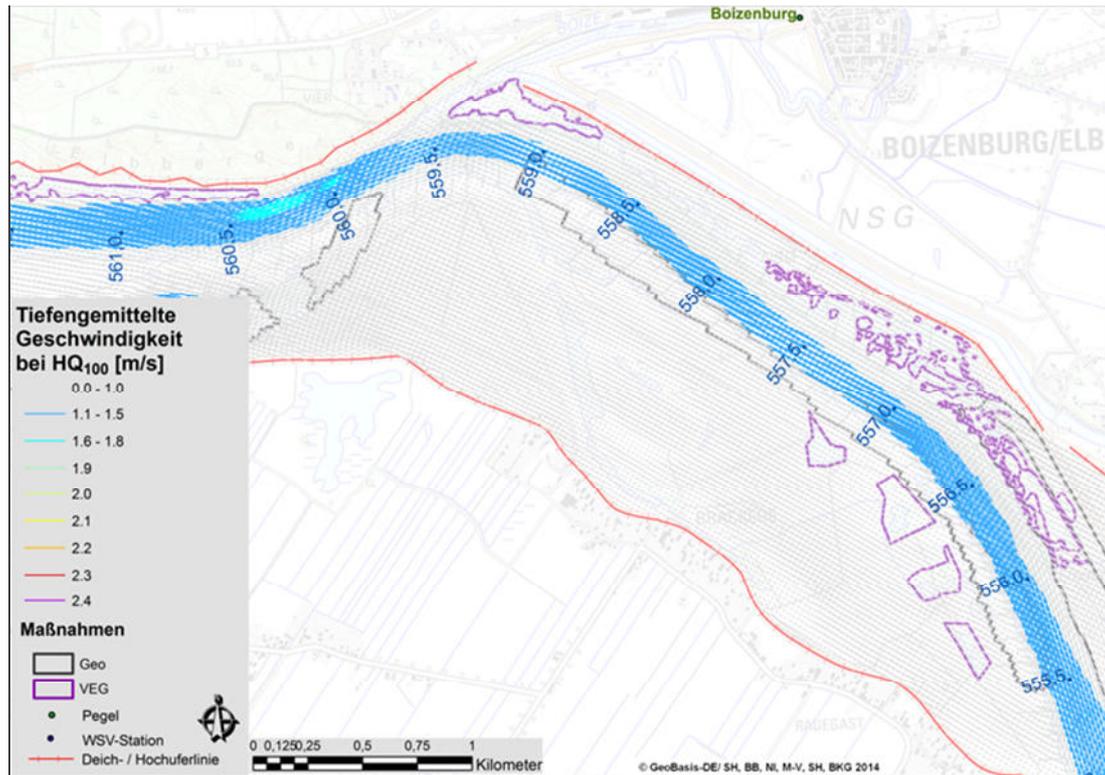


Abb. A.77 Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Boizenburg

– Elbe-km 563 (Barförde/Horst-Lauenburg):

Bei Barförde verringert sich die Breite zwischen den Deichen auf 24 % (1620 m → 392 m). Am modellierten Wasserspiegelverlauf eines HQ<sub>100</sub> sind in diesem Bereich deutlich die Gefälleveränderungen zu erkennen (Abb. A.76). Im Strömungsbild bestätigen die Strömungsvektoren mit den größeren Fließgeschwindigkeiten die Engstelle (Abb. A.78). Die bisher geplanten Maßnahmen betreffen Rückschnitt, Aufastung, Vorlandabtrag, Altarmanbindung und Flutmulde.

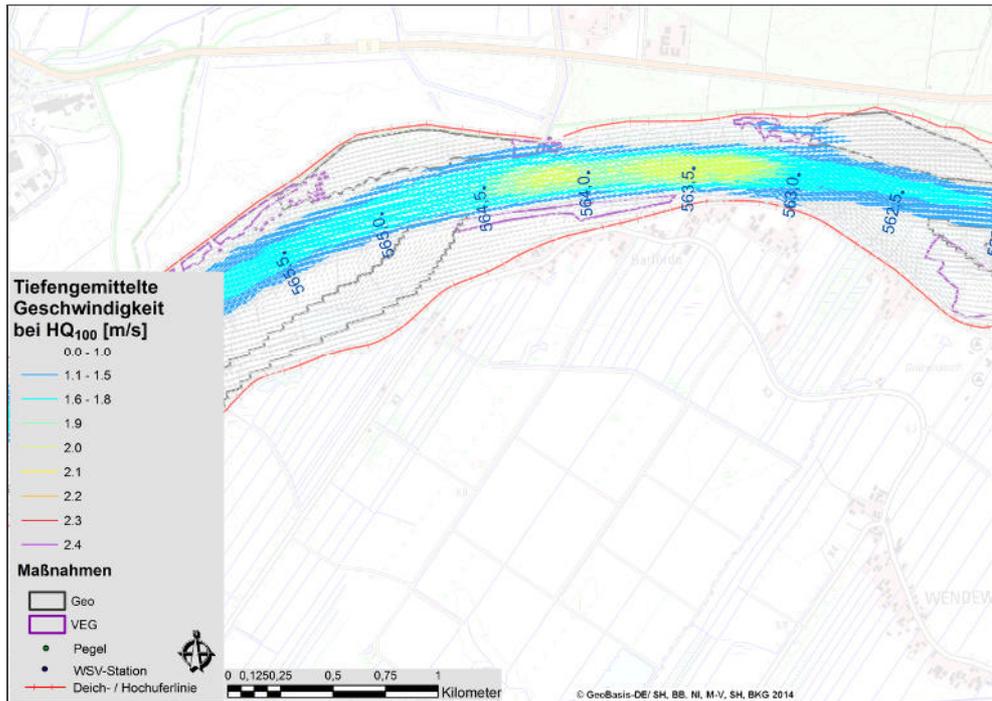


Abb. A.78 Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Barförde/Horst-Lauenburg

### Elbe-km 570 – 580

Einen Überblick über die Gefälleverhältnisse bei HQ<sub>100</sub> im Bereich zwischen Elbe-km 570 und 580 gibt Abb. A.79.

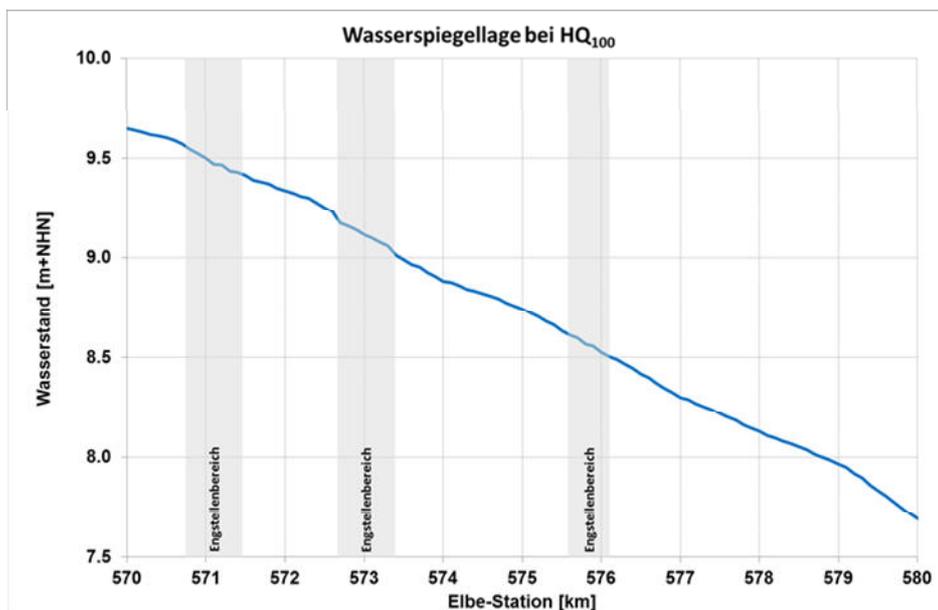


Abb. A.79 Wasserspiegellängsschnitt im Bereich Elbe-km 570-580

- Elbe-km 570 (Hohnstorf):

Bei Hohnstorf verringert sich die Breite zwischen den Deichen von zunächst 1320 m auf 800 m und auf Höhe der Ortschaft selbst auf 410 m (61-31%). Am modellierten Wasserspiegelverlauf eines  $HQ_{100}$  sind in diesem Bereich die Gefälleveränderungen zu erkennen (Abb. A.76 und Abb. A.79). Im Strömungsbild bestätigen die Strömungsvektoren mit den größeren Fließgeschwindigkeiten die Engstelle (Abb. A.80). Die bisher geplante Maßnahme ist eine Flutmulde. In diesem Bereich wird aufgrund der Siedlungen von der BfG keine DRV vorgeschlagen.

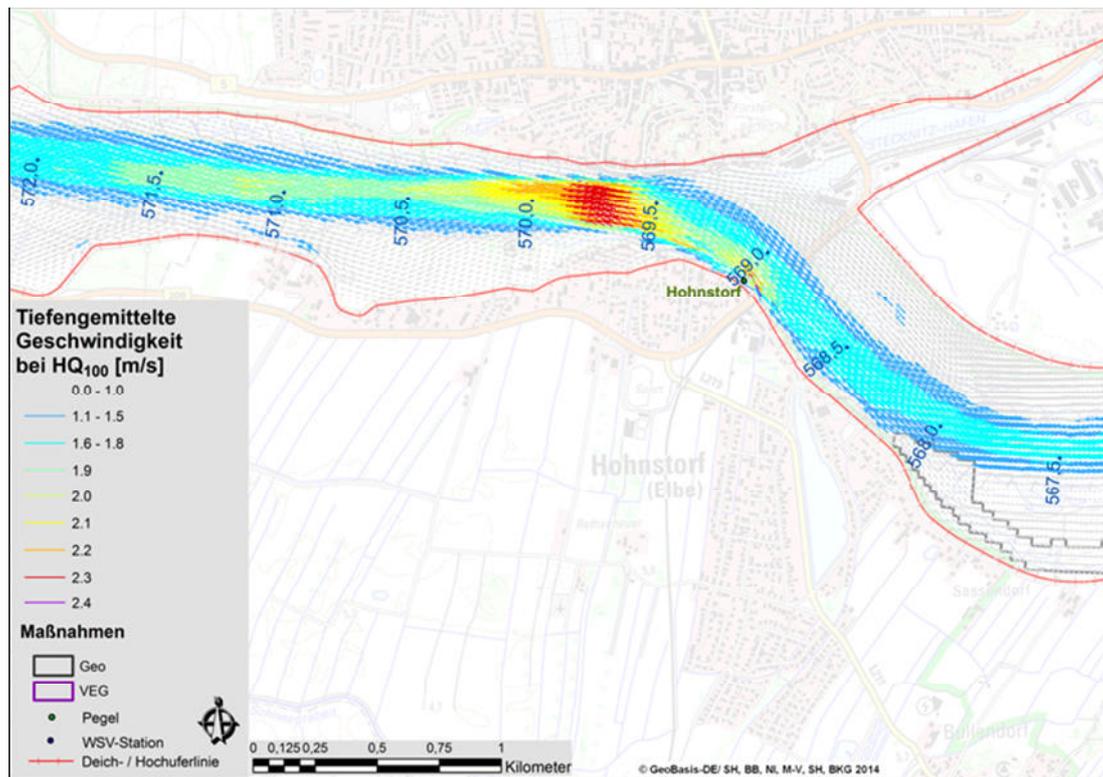


Abb. A.80 Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Hohnstorf

– Elbe-km 573 (Artlenburg):

Bei Artlenburg verringert sich die Breite zwischen den Deichen auf 59 % (820 m → 480 m). Am modellierten Wasserspiegelverlauf eines HQ<sub>100</sub> sind in diesem Bereich die Gefälleänderungen zu erkennen (Abb. A.79). Im Strömungsbild bestätigen die Strömungsvektoren mit den größeren Fließgeschwindigkeiten die Engstelle (Abb. A.81). In diesem Bereich wird aufgrund der Siedlungen von der BfG keine DRV vorgeschlagen..

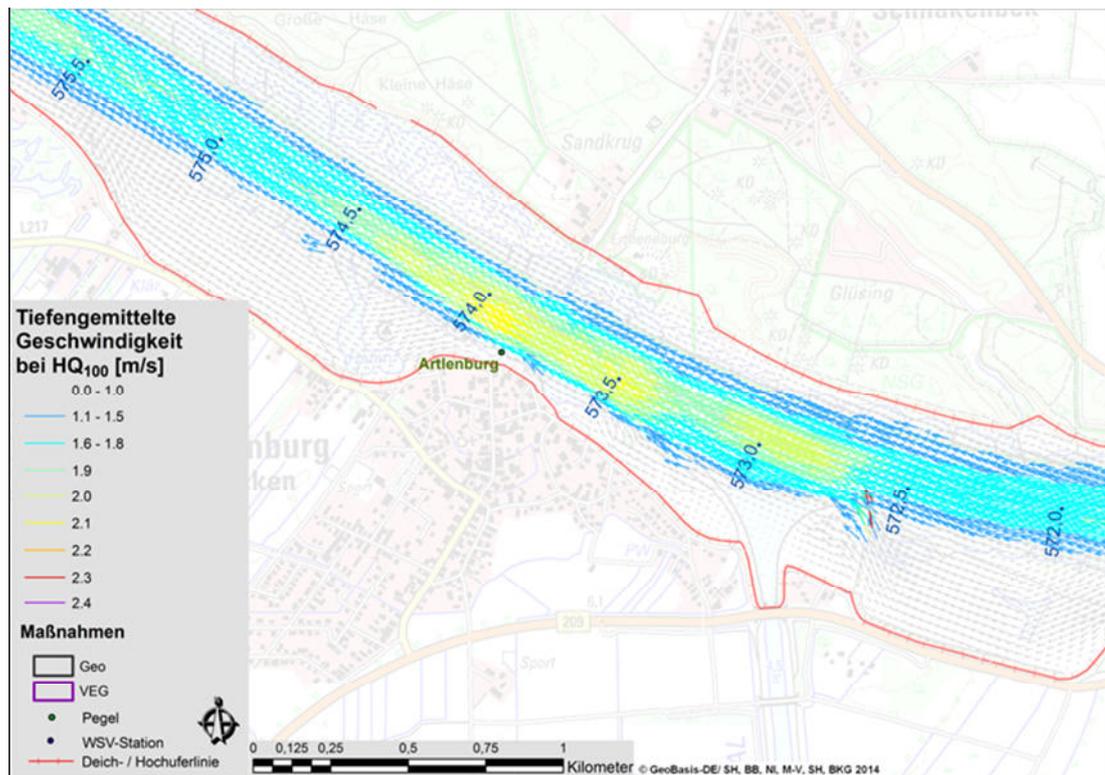


Abb. A.81 Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Artlenburg

– Elbe-km 576 (Avendorf):

Bei Avendorf verringert sich die Breite zwischen den Deichen auf 64 % (800 m → 508 m). Am modellierten Wasserspiegelverlauf eines HQ<sub>100</sub> sind in diesem Bereich die Gefälleänderungen zu erkennen (Abb. A.79). Im Strömungsbild bestätigen die Strömungsvektoren mit den größeren Fließgeschwindigkeiten die Engstelle (Abb. A.82). In diesem Bereich wird aufgrund der Siedlungen und dem rechtem Hochufer von der BfG keine DRV vorgeschlagen.

2D-Modellierung an  
der unteren Mittellelbe  
zwischen Wittenberge  
und Geesthacht

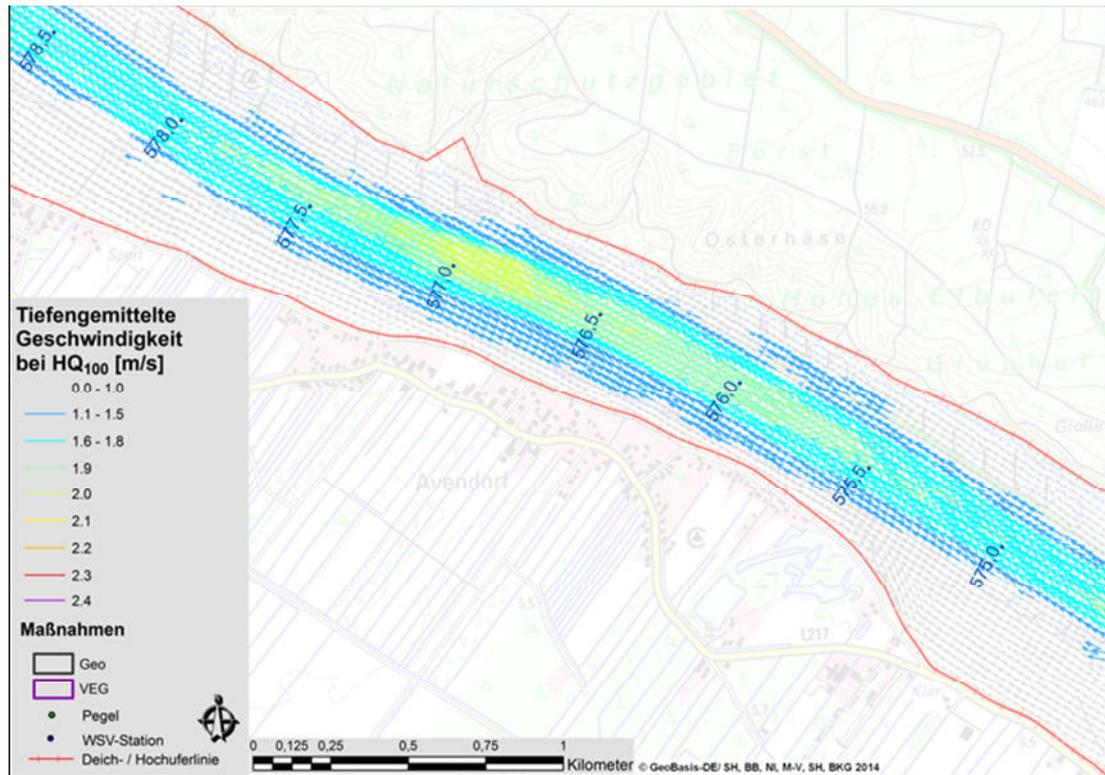


Abb. A.82 Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Avendorf

### Elbe-km 580 – 586

Einen Überblick über die Gefälleverhältnisse bei  $HQ_{100}$  im Bereich zwischen Elbe-km 580 und 586 gibt Abb. A.83.

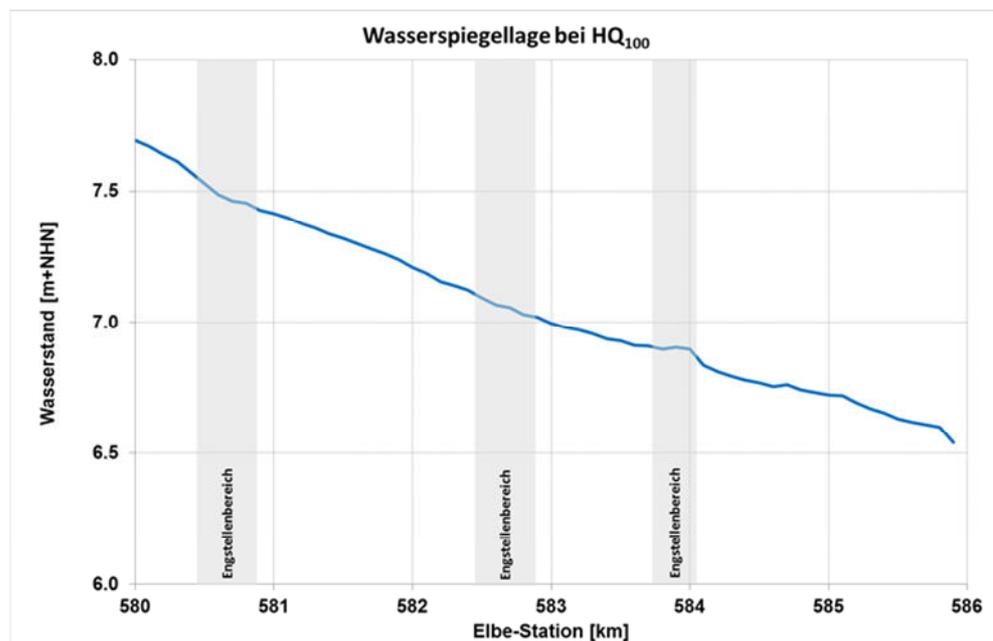


Abb. A.83 Wasserspiegellängsschnitt im Bereich Elbe-km 580-586

– Elbe-km 580 (Tespe):

Bei Tespe verringert sich die Breite zwischen den Deichen auf 44 % (900 m → 400 m). Am modellierten Wasserspiegelverlauf eines  $HQ_{100}$  sind in diesem Bereich deutlich die Gefälleveränderungen zu erkennen (Abb. A.83). Im Strömungsbild bestätigen die Strömungsvektoren mit den größeren Fließgeschwindigkeiten die Engstelle (Abb. A.84). Eine DRV wird aufgrund der vorhandenen Bebauung von der BfG nicht vorgeschlagen.

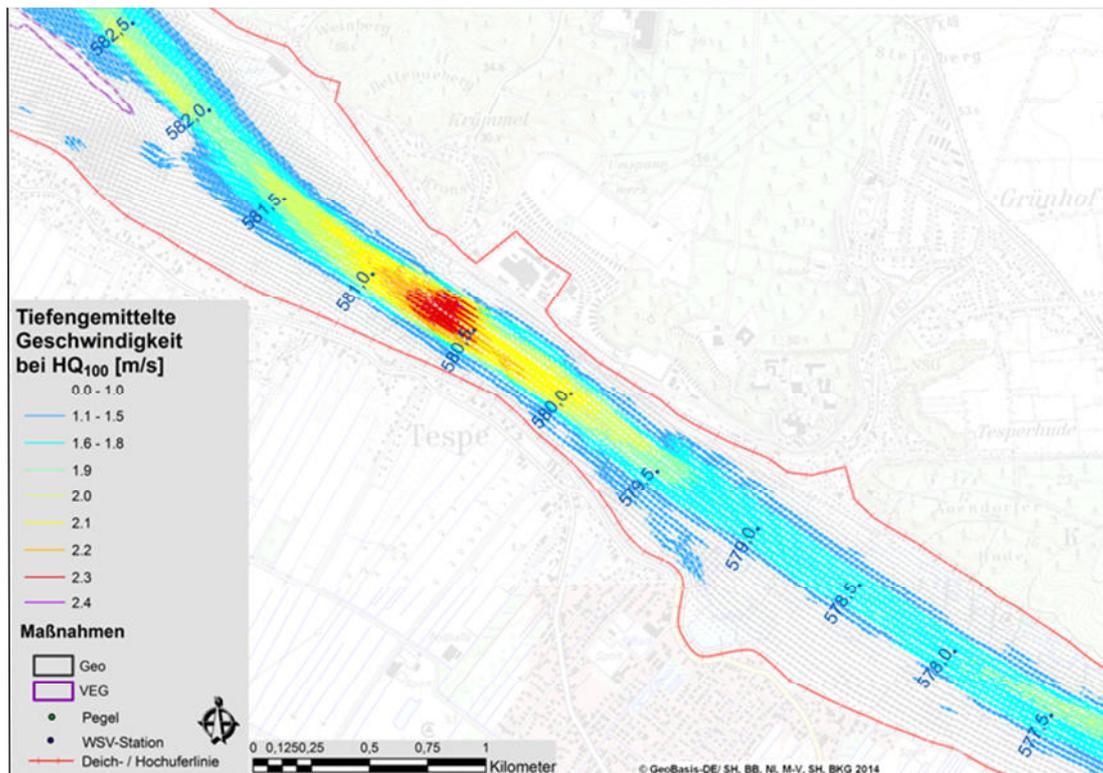


Abb. A.84 Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Tespe

– Elbe-km 582 (Geesthacht):

Bei Geesthacht verringert sich die Breite zwischen den Deichen auf 89 % (1030 m → 920 m). Am modellierten Wasserspiegelverlauf eines  $HQ_{100}$  sind in diesem Bereich die Gefälleveränderungen zu erkennen (Abb. A.83). Im Strömungsbild bestätigen die Strömungsvektoren mit den größeren Fließgeschwindigkeiten die Engstellen (Abb. A.85). Die bisher geplante Maßnahme ist vom Typ Rückschnitt. Eine DRV wird aufgrund der vorhandenen Bebauung von der BfG nicht vorgeschlagen.

2D-Modellierung an  
der unteren Mittelelbe  
zwischen Wittenberge  
und Geesthacht

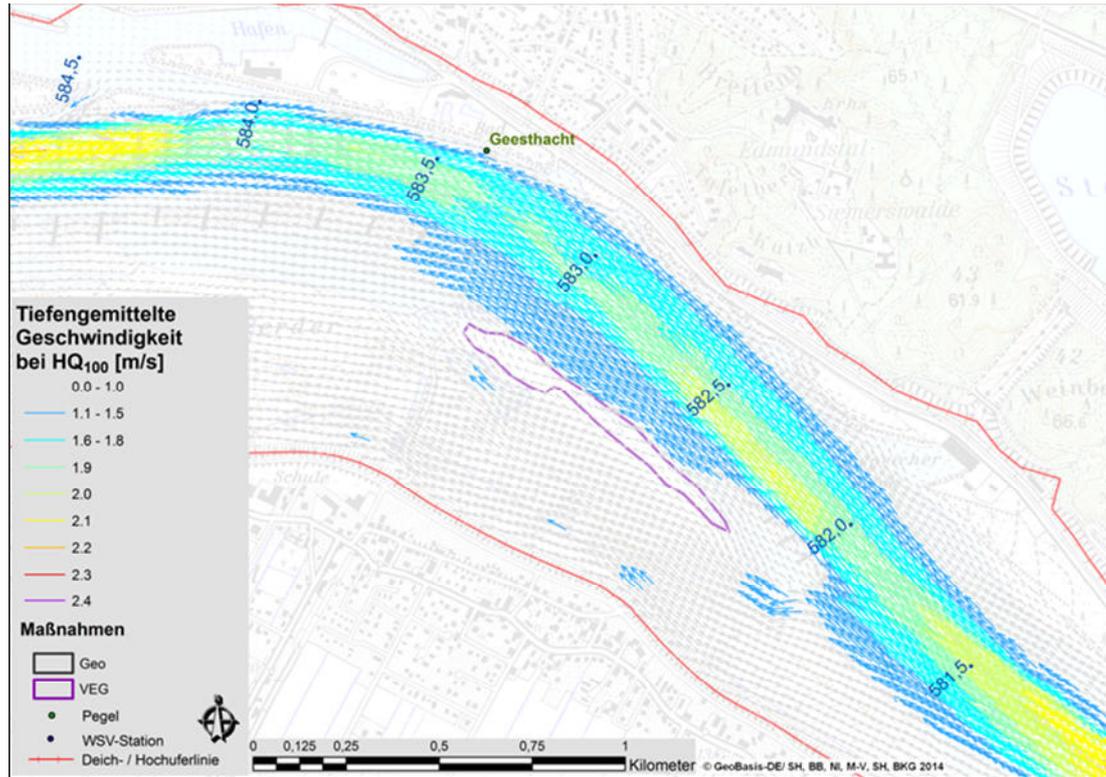


Abb. A.85 Strömungsvektoren in der Aufsicht im Bereich Geesthacht

# Anhang 8: Beurteilung der hydrologischen Situation an der unteren Mittel- elbe im Zeitraum 1980 bis 2013

## Hydrologische Bestandsaufnahme

Während des Hochwassers im Juni 2013, das allein im deutschen Elbegebiet Schäden in Höhe von rund 5,2 Mrd. Euro verursachte, wurden an der Mittel-  
elbe entlang der ca. 330 km langen Strecke zwischen den Pegeln Coswig (Elbe-km 236,3) und Hohnstorf (Elbe-km 569) reihenweise Überschreitungen der höchsten bekannten Wasserstände (HHW) seit den Pegel-  
einrichtungen registriert (BfG, 2014b). Dieses Ereignis bildet nur ein Beispiel in der Serie von insgesamt fünf extremen Hochwassern seit 2002 an der unteren Mittel-  
elbe. Wie Abb. A.86 mit Angaben zu jährlichen Höchstwasserständen seit 1895 am Pegel Boizenburg (Elbe-km 559,5) zeigt, wurden hier mit den Ereignissen vom April 2006, Januar 2011 und Juni 2013 dreimal in nur kurzen zeitlichen Abständen neue HHW gemessen.

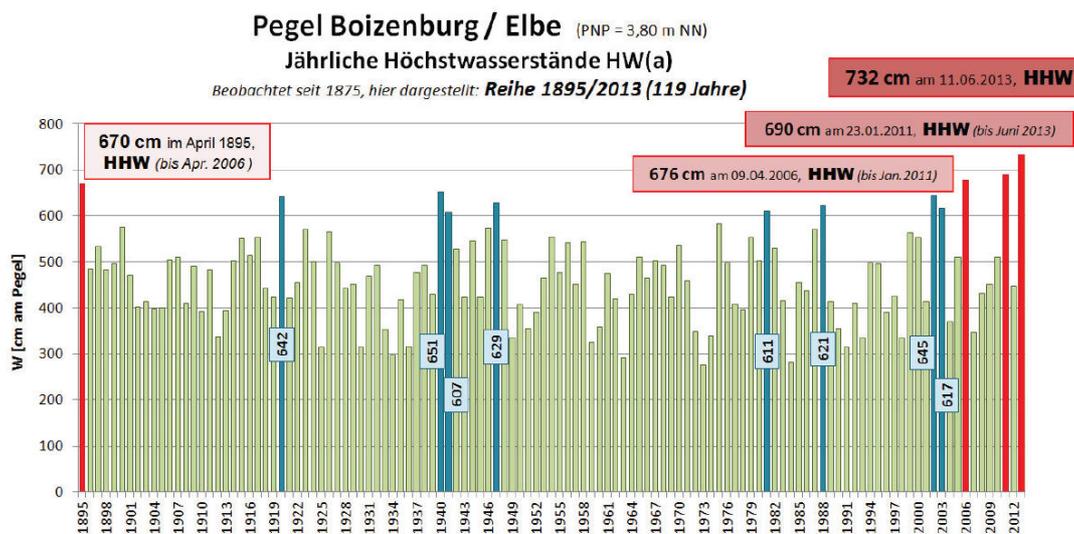


Abb. A.86 Jährliche Höchstwasserstände am Pegel Boizenburg/Elbe in der Reihe 1895/2013 (Quelle: STALU Westmecklenburg)

Die vermehrte Häufigkeit extremer Hochwasserereignisse an der unteren Mittel-  
elbe hat in hydrologischen Fachkreisen, zuständigen Stellen der Wasserwirtschaftsverwaltungen und in der Öffentlichkeit insbesondere bei der von Hochwassern betroffenen Bevölkerung zu intensiven Diskussionen über die Ursachen hoher Wasserstände geführt und Besorgnis ausgelöst. Dabei wird auch auf die anthropogene Beeinflussung von Hochwassern der Elbe hingewiesen. Die Dioxin-Belastung der Böden in den Elbevorländern, die schon zu DDR-Zeiten (bis 1990) verursacht wurde, hatte Erlasse der Länder zur bereichsweisen Extensivierung der Landwirtschaft durch Beweidungsverbote zur Folge, die in den vergangenen Jahrzehnten zu Bewuchsänderungen und Anlandungen in Vorländern führten. Diese Veränderungen sind so

markant, dass sie mit Auswirkungen auf die Durchflüsse bei Elbehochwassern mit erhöhten Wasserständen in Zusammenhang gebracht werden.

In einer großräumigen Untersuchung der BfG, die in Kooperation mit der Flussgebietsgemeinschaft Elbe (FGG Elbe) unter Anwendung eines 1D-hydrodynamischen Modells der Elbe vorgenommen wurde, konnten für ein  $HQ_{100}$  in der Elbe resultierende Wasserstandsänderungen bis zu 1m ermittelt werden, wenn in den Simulationsberechnungen vegetationsbedingt von extrem glatten bis rauen hydraulischen Rauheiten für abflusswirksame Vorländer ausgegangen wird (BfG, 2009). Die Formulierung einer Anfangsvermutung ist nicht primäre Aufgabe mathematischer Abflussmodelle. Sie sollen weitergehende Erkenntnisse liefern, indem die maßgeblichen hydraulischen Vorgänge in der Natur im Modell abgebildet und in kausale Zusammenhänge gebracht werden. Deshalb wird nachfolgend unter besonderer Berücksichtigung pegelbezogener Daten versucht, einen Beitrag zur Wissenserweiterung zu diesen sowohl hydrologisch wie gesellschaftlich wichtigen Fragen zu leisten.

Zur Beschreibung der gewässerkundlichen Situation an der unteren mittleren Elbe und möglicher Entwicklungstendenzen können statistische Untersuchungen anhand langer Wasserstands- und Abflussreihen der Pegel Wittenberge (Elbe-km 453,98) und Neu Darchau (Elbe-km 536,44) dienen. Wenn die hierbei ermittelten statistischen Merkmale bzgl. der zeitlichen Entwicklung der Wasserstände und Abflüsse deutlich differieren, könnte dies auch als Signal der Auswirkung veränderter Vegetation auf die Durchflussverhältnisse angesehen werden. Eine Erhärtung der oben genannten modellgestützten Ergebnisse durch langfristig statistische Auswertungen von Wasserständen und Abflüssen an diesen Pegeln ist nicht bekannt. Weitere Messdaten (W und Q), die unmittelbar auf zeitliche Änderungen der Durchflüsse bei Hochwasser insbesondere für Elbestrecken zwischen den Pegelstandorten ausgewertet werden könnten, liegen nicht vor.

Grundsätzlich sind zum Nachweis veränderter lokaler Durchflussverhältnisse immer die vorherrschenden Abflüsse in Verbindung mit den sich einstellenden Wasserständen zu untersuchen. Eine isolierte Betrachtung der höchsten Scheitelwasserstände, wie in Abb. A.86 für den Pegel Boizenburg dargestellt, liefert noch keine Aussage zu anthropogen beeinflussten Wasserstandsänderungen. In einem ersten Schritt wurden deshalb gleichermaßen vorliegende Wasserstands- und Abflussmessungen an den beiden überregional bedeutsamen Pegeln Wittenberge und Neu Darchau sowie Abflusskurven auf Änderungen der Wasserstände ausgewertet. Diese Untersuchungen können Indizien jedoch nicht letztendlich die Beweise für vegetationsbedingt veränderte Durchflüsse liefern. Denn auch Sohlhöhenänderungen, Unterhaltungsmaßnahmen oder Bauwerke können signifikant die Durchflusssituation an Pegeln beeinflussen, so dass neue Abflusskurven einzuführen sind. Die Abb. A.87 und Abb. A.88 zeigen die aktuell gültigen und vorhergehenden Abflusskurven sowie die zugrundeliegenden Abflussmessungen bzgl. dieser beiden Pegel (BfG, 2014c).

Zahlreiche Abflussmessungen am Pegel Wittenberge während des Hochwassers im Juni 2013 belegen die neue Abflusskurve, die rückwirkend seit dem 01.11.2012 gültig ist (siehe Abb. A.87). Diese neue Kurve besagt, dass die Wasserstände am Pegel Wittenberge gegenüber der alten Abflusskurve bis ca.  $HQ_{50}$  angestiegen sind, d.h. dass die Leistungsfähigkeit des Pegelprofils in diesem Durchflussbereich abgenommen hat. Keine Änderungen der Wasserstände haben sich demnach für  $HQ_{100}$  ergeben. Da die Vorgängerkurve (ab 01.11.1998) im extrapolierten Hochwasserast ( $>HQ_{10}$ ) nicht durch Messungen belegt ist, können Aussagen bei Vergleich alter/neuer Abflusskurve hinsichtlich verminderter Abflussleistungen des Pegelprofils und somit erhöhter Hochwasser für Abflüsse  $>HQ_{10}$  am Pegel Wittenberge mangels fehlender früherer Abflussmessungen nicht belastbar begründet werden.

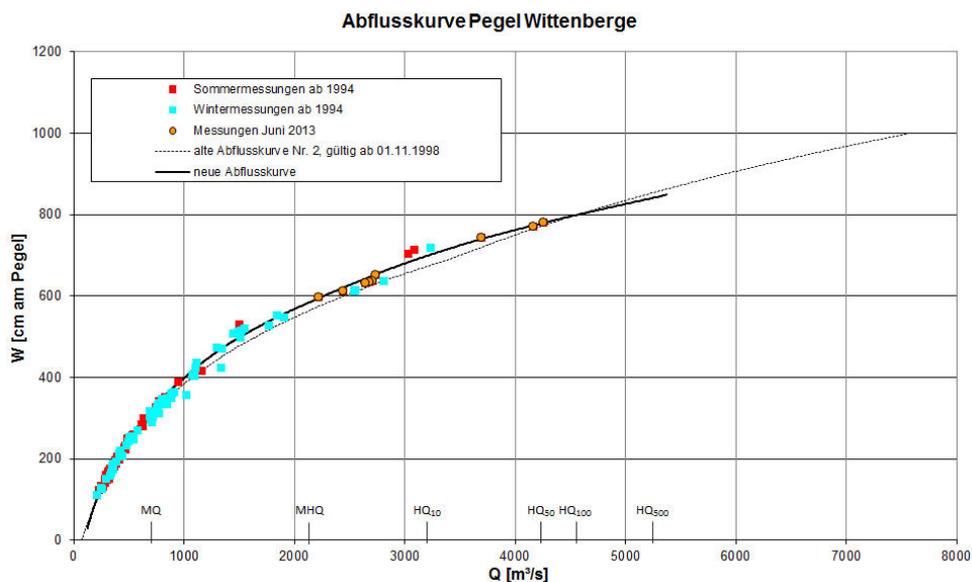


Abb. A.87 Abflussmessungen, aktuell gültige (ab 01.11.2012) und vorhergehende Abflusskurve für den Pegel Wittenberge (Quelle: BfG, 2014c)

Während des Hochwassers Juni 2013 wurden zudem viele Abflussmessungen bzgl. des Pegels Neu Darchau (Abb. A.88) vorgenommen, die den Hochwasserast der neuen Abflusskurve sehr gut belegen. Auch diese Kurve ist rückwirkend seit dem 01.11.2012 gültig. Sie ist in ihrem Verlauf für Abflüsse  $>HQ_{10}$  nahezu identisch zu der vorher gültigen Abflusskurve 2a (ab 01.07.2002), die ihrerseits hier auch durch Messungen gut belegt ist. Daraus kann gefolgert werden, dass bei nahezu identischer alter und neuer Abflusskurve im Hochwasserast die Leistungsfähigkeit des Pegelprofils für Abflüsse  $>HQ_{10}$  in den vergangenen Jahren auch am Pegel Neu Darchau nicht abgenommen hat.

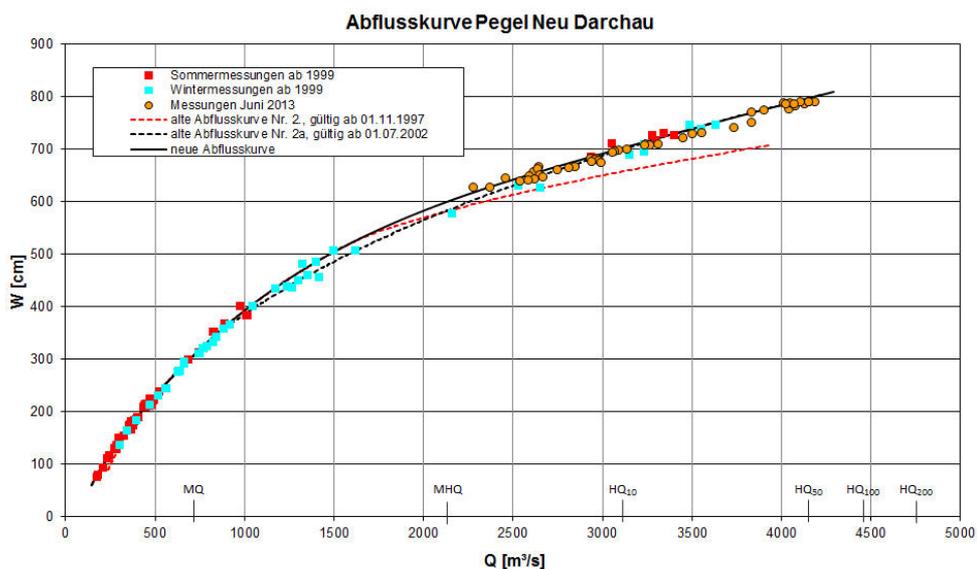


Abb. A.88 Abflussmessungen, aktuell gültige (ab 01.11.2012) und vorhergehende Abflusskurve für Pegel Neu Darchau (Quelle: BfG, 2014c)

Zusammenfassend wird festgestellt, dass für nach 2002 abgelaufene Elbehochwasser mit Abflüssen  $>HQ_{10}$  Auswirkungen von auf veränderten Vegetationsverhältnissen zurückzuführenden Durchflussveränderungen mit erhöhten Wasserständen an den Pegeln Wittenberge und Neu Darchau durch zugrundeliegende Abflussmessungen nicht nachweisbar sind.

Die für die beiden überregional bedeutsamen Pegel gemachten Aussagen zu zeitlichen Entwicklungen der Durchflüsse gemäß Auswertungen gültiger Abflusskurven betreffen die lokale Situation an diesen Pegelstandorten. Sie können nicht auf die ganze untere Mittelbe verallgemeinert werden. Es ist davon auszugehen, dass veränderte Vegetationsverhältnisse in Vorländern entlang der unteren Mittelbe ungleichmäßig verteilt sind und somit auch ihre möglichen Auswirkungen auf Hochwasserstände. Dies ist im Weiteren zu untersuchen, wozu verfügbare Pegel- und Geodaten sowie Modellergebnisse verwendet werden. Abb. A.89 zeigt das Querprofil der Elbe ca. 1 km unterhalb des Pegels Boizenburg. Unter dem hier gemessenen Hochwasserstand im Juni 2013 beträgt der Fließquerschnitt auf dem linken Vorland ca. 1800 m<sup>2</sup>. Sollten verstärkte Vegetation im Vorland Strömungshindernisse darstellen, sind Wasserstandserhöhungen bis zum Pegel Boizenburg denkbar. Die Situation an weiteren Pegeln ist vergleichbar. Da Bestandsaufnahmen mit detaillierten Kartierungen der zeitlich veränderten Vegetationsverhältnisse im Rahmen eines langfristigen Monitorings nicht vorliegen, erfolgten keine modellgestützten Zustandsuntersuchungen sondern stattdessen eine Analyse von gemessenen Scheitelwasserständen und für konstante Vegetationsverhältnisse modellierete Abflüsse.

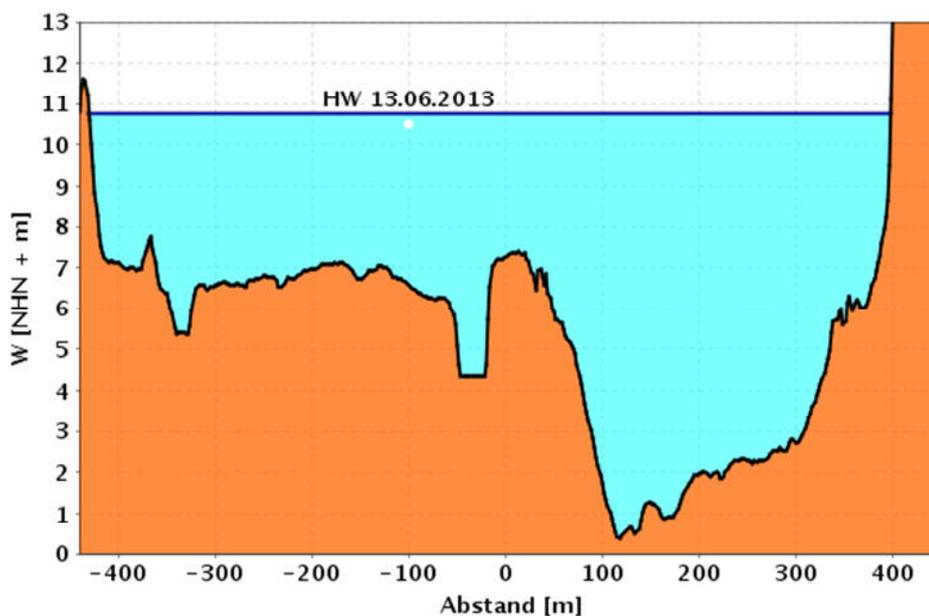


Abb. A.89 Querprofil bei Elbe-km 560,5 (nahe Boizenburg) und gemessener Wasserstand beim Hochwasser 2013 (Quelle: Fachdienst FLYS)

### **Vergleich modellierter Wasserstände und gemessener Höchstwasserstände ausgewählter Elbehochwasser an Pegeln zwischen Wittenberge und Geesthacht**

An der unteren Mittelbe zwischen Wittenberge und Geesthacht betreibt die WSV zahlreiche Pegel zur Wasserstandsermittlung (siehe Tab. A.9). Abflüsse der Elbe können an diesen Messstellen wegen fehlender Abflussmessungen/Abflusskurven nicht angegeben werden.

Eine Übertragung bzw. Interpolation der Abflüsse von den beiden hydrologischen Pegeln Wittenberge und Neu Darchau auf diese Pegel ist im Hochwasserfall bei Nichtbeachtung von Retentionseffekten mit großen Unsicherheiten behaftet (BfG, 2009). Somit ist für diese Pegel eine rein auf Messwerten basierte Auswertung hinsichtlich Durchflussänderungen, wie sie für die Pegel Wittenberge und Neu Darchau erfolgte, nicht machbar. Um Untersuchungen zu vegetationsbedingten Wasserstandsänderungen auch an diesen W-Pegeln vornehmen zu können, wurde ein alternatives Verfahren angewendet. Gemessene höchste Pegelwasserstände ausgewählter Elbehochwasser zwischen 1981 und 2013 wurden in Bezug zur lokalen Durchflusssituation 2006 (= modellierte Abflusskurve) vergleichend ausgewertet zwecks Identifizierung zeitlicher Änderungen von Wasserständen an diesen Pegelstandorten.

Ausgewählt wurden die bedeutsamen Hochwasser der Elbe vom März 1981, August 2002, April 2006, Januar 2011 und Juni 2013. Scheitelwasserstände des Hochwassers 1981 bildeten die Grundlage zur Festlegung einer Bemessungswasserspiegellage durch die ehemalige Grenzkommission der DDR und BRD. Zur Ermittlung der zunächst nicht bekannten Scheitelabflüsse an den Pegelstandorten wurde das 1D-SOBEK-Modell der Elbestrecke Wittenberge-Geesthacht (Zustand 2006) eingesetzt, das bereits im Rahmen eines FGG Elbe-Projekts verwendet wurde (BfG, 2009). Benötigte Abflusskurven für diese Pegel wurden mit dem von der BfG angebotenen Online-Fachdienst FLYS generiert, wozu auch diese 1D-Modellergebnisse die Grundlage sind ([www.bafg.de/FLYS](http://www.bafg.de/FLYS)). Die für die Auswertungen herangezogenen Pegel zwischen Wittenberge und Geesthacht sind in Tab. A.9 verzeichnet. Ebenfalls sind hierin die gemessenen Scheitelwasserstände (grüne Spalten) und die zugeordneten, mit dem 1D-Modell berechneten Scheitelabflüsse (blaue Spalten) für die ausgewählten Hochwasser aufgeführt.

Tab. A.9 Ausgewertete Hochwasser an Pegeln der unteren Mittelbe

Pegel	Elbe-km	PNP NHN+m	HW 1981		HW 2002		HW 2006		HW 2011		HW 2013	
			cm	m³/s								
Wittenberge	453,980	16,719	677	3259	734	3791	723	3700	730	3760	785	4389
Müggendorf	463,940	15,149	-----	3257	738	3793	731	3699	728	3759	782	4363
Schnackenburg	474,560	13,699	692	3253	751	3758	748	3697	724	3757	781	4342
Lenzen	484,700	12,425	693	3251	734	3746	737	3695	743	3755	793	4333
Gorleben	492,950	11,328	686	3248	733	3738	739	3695	745	3752	795	4320
Dömitz	504,720	10,422	620	3245	657	3716	664	3693	672	3748	721	4305
Damnatz	509,350	8,901	712	3241	751	3704	762	3692	769	3746	820	4298
Hitzacker	522,920	7,392	707	3235	750	3681	763	3689	770	3739	817	4281
Neu Darchau	536,440	5,677	689	3230	732	3661	749	3686	749	3735	792	4269
Bleckede	549,710	-0,006	1085	3220	1125	3631	1138	3682	1146	3727	1193	4260
Boizenburg	559,460	3,793	611	3216	645	3622	676	3680	690	3724	732	4259
Hohnstorf	568,970	-0,007	854	3215	870	3621	912	3679	922	3723	955	4259
Artlenburg	573,860	-0,007	772	3215	780	3621	819	3679	832	3722	870	4258
Geesthacht	583,360	-0,008	633	3215	616	3621	653	3679	662	3722	695	4258
<b>Messung</b>		<b>1D-Berechnung</b>										

Die Abflussganglinien der ausgewählten Hochwasser, die am Startpegel Wittenberge als obere Randbedingung der 1D-Berechnungen benötigt werden, sind in Abb. A.90 graphisch dargestellt.

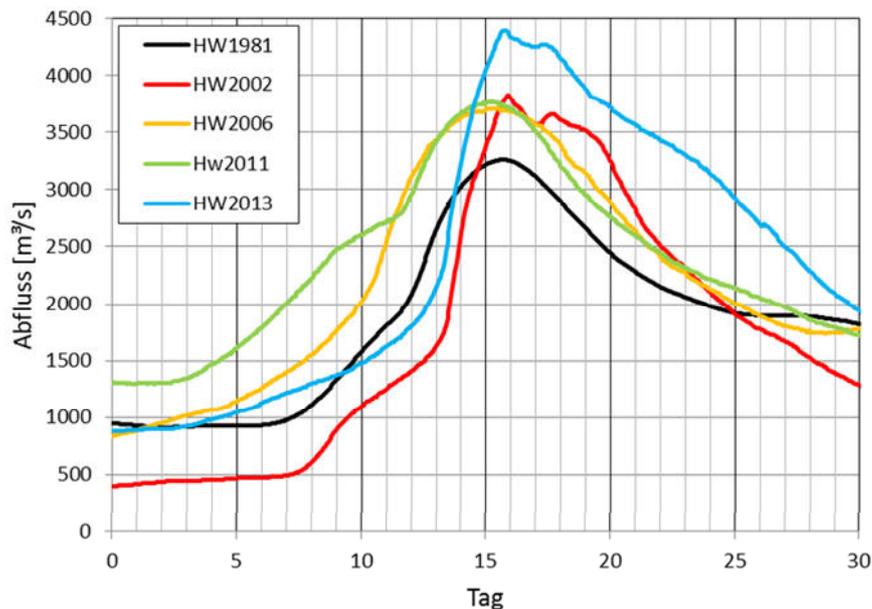


Abb. A.90 Abflussganglinien ausgewählter Elbehochwasser am Pegel Wittenberge

Wie den Angaben der Tab. A.9 und den Ganglinien der Abb. A.90 entnommen werden kann, stellt in dieser Auswahl das Ereignis vom März 1981 das kleinste und das Ereignis vom Juni 2013 das größte Hochwasser der Elbe dar. Weiterhin zeichnen sich diese Hochwasser durch erheblich unterschiedliche Abflusssummen aus. Aufgrund der unterschiedlichen Wellenanstiegs- und Scheitelverweildauern (bis zu 3d), die als Maß der Instationarität gewertet werden, stellen sich im Wellenablauf entlang dieser ca. 130 km langen Strecke unterschiedliche Retentionseffekte mit entsprechenden Scheitelabflussreduzierungen ein. Vom 1D-Modell berechnete Scheitelabflüsse können aus Tab. A.9 ermittelt werden und sind in Abb. A.91 im Längsprofil dieser Elbestrecke dargestellt. Während beim HW 2006 der Abflussscheitel nur um  $21 \text{ m}^3/\text{s}$  abgemindert wird, stellt sich gemäß den Simulationsberechnungen beim Hochwasser 2013 eine Scheitelreduzierung von  $131 \text{ m}^3/\text{s}$  ein. Es wird darauf hingewiesen, dass die modellbasierten und gemessenen Retentionseffekte zwischen den Pegeln Wittenberge und Neu Darchau Unterschiede aufweisen.

In Bezug zu den mittels FLYS generierten Abflusskurven (Zustand 2006) lassen sich die gemessenen Scheitelwasserstände und ihre zugeordneten berechneten Scheitelabflüsse in W/Q-Diagrammen für die Pegelstandorte darstellen und auswerten. Da alle ausgewählte Ereignisse von 1981 bis 2013 gleichermaßen mit dem 1D-Modell der Elbe simuliert wurden, das den Gewässerzustand um 2004 beschreibt und am HW 2006 kalibriert wurde, sind Abweichungen der gemessenen Ereignisse von den berechneten Abflusskurven zu erwarten. Diese Abweichungen werden u.a. darin begründet und können ein Indiz dafür sein, dass im Modell 2006 noch nicht alle abflusswirksamen Prozesse (z.B. aufgrund veränderter Vegetation) zur Beschreibung der sich evtl. veränderten Durchflussverhältnisse abgebildet sind. Besonders deutlich und unmittelbar nachvollziehbar wird dies am Beispiel des Pegels Schna-

ckenburg (Elbe km 474,56), der ca. 2 km oberhalb der 2009 fertiggestellten Deichrückverlegung Lenzen (DRV Lenzen) liegt.

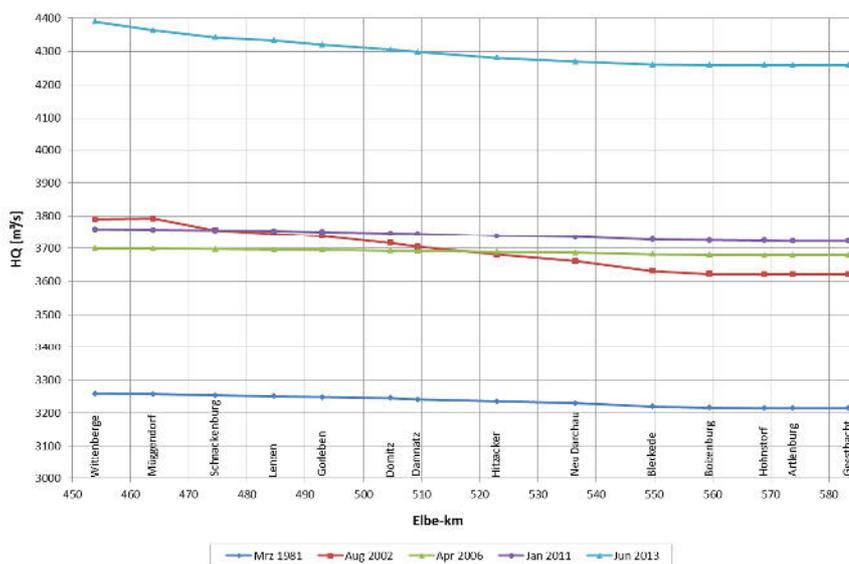


Abb. A.91 Mit dem 1D- Modell berechnete Scheitelabflüsse für ausgewählte Hochwasser zwischen Wittenberge und Geesthacht

Abb. A.92 zeigt die berechnete Abflusskurve (Zustand 2006) am Pegel Schnackenburg und die Messungen bei den ausgewählten Hochwassern. Hierin ist zu erkennen, dass die beiden nach 2009 abgelaufenen Ereignisse von 2011 und 2013 deutlich abgesenkte gemessene Wasserstände gegenüber dem kalibrierten Elbe-Modell 2006 (=modellierte Abflusskurve ohne DRV Lenzen) aufweisen. Die über die wieder angeschlossenen Überschwemmungsgebiete bei Lenzen abgeführten Durchflüsse verursachen Absenkungen der Wasserstände im Dezimeterbereich am oberstromigen Pegel, die nicht im Modell abgebildet sind. Entsprechende Auswertungen wurden für alle Pegel zwischen Wittenberge und Geesthacht durchgeführt, um mögliche Wasserstandsänderungen zu identifizieren.

In der Abb. A.93 sind die Vergleichsergebnisse für den Pegel Damnatz (Elbe-km 509.35) dargestellt, der stellvertretend für alle Pegel steht, an denen keine oder nur unwesentliche Änderungen der Wasserstände festgestellt wurden. Hinsichtlich der Bewertungen der Änderungen ist maßgeblich, in welchem Maße die ausgewählten gemessenen Hochwasserstände von der berechneten Abflusskurve am Pegel abweichen und ob zudem eine zeitliche Tendenz feststellbar ist. Wasserstandsänderungen sind zu erwarten, wenn bedeutsam veränderte Durchflussverhältnisse vom 1D-Modell 2006 nicht abgebildet werden. Sollten in den heutigen von Hochwassern benetzten Profilen an der unteren mittleren Elbe im Bereich der abflusswirksamen Vorländer Strömungshindernisse die Leistungsfähigkeit des Profils z. B. um  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  mindern, würde der Wasserstand bei Hochwasser mit Abflüssen  $> HQ_{10}$  um ca. 10 cm steigen (siehe Steigungen der Abflusskurven in Abb. A.92 bis Abb. A.94).

Wie Abb. A.93 für den Pegel Damnatz zeigt, liegen fast alle gemessenen Scheitelwasserstände zwischen 1981 und 2013 nahezu exakt auf der berechneten Abflusskurve im Zustand 2006. Selbst für das Hochwasser vom März 1981 trifft dies zu. Hieraus ergibt sich somit kein

Hinweis, dass sich die Durchflusssituation im Bereich des Pegels signifikant verändert hat. Dieser für den Pegel Damnatz festgestellte Befund bestätigt sich im Wesentlichen auch für alle übrigen Pegel zwischen Wittenberge und Geesthacht (siehe Tab. A.9). Es finden sich bzgl. dieser Pegelstandorte aufgrund der vorgenommenen Untersuchungen keine Indizien, die Hinweise auf vegetationsbedingt veränderte Durchflüsse mit erhöhten Hochwasserständen der Elbe liefern.

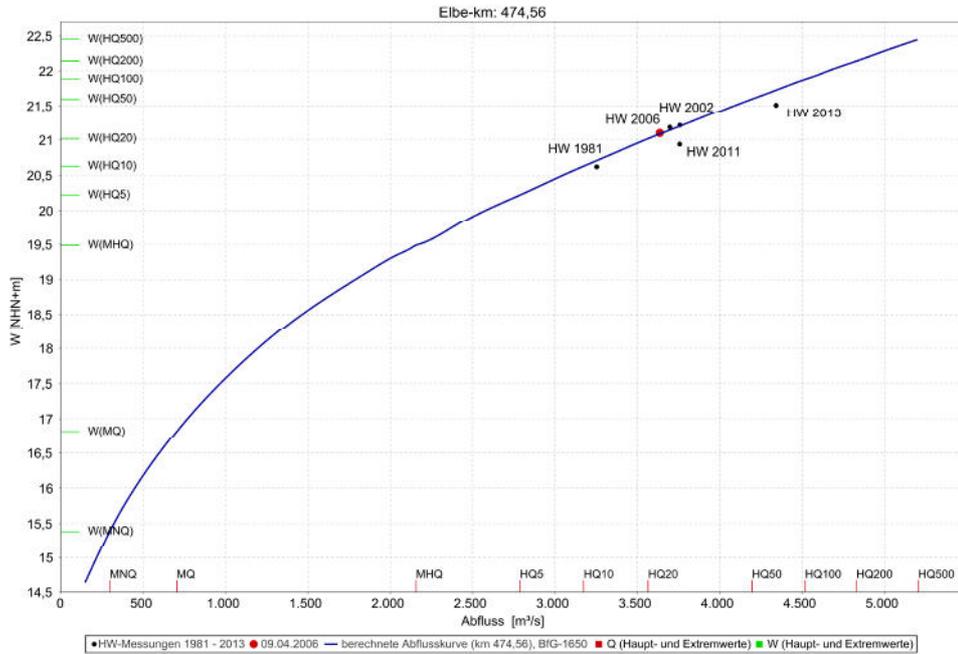


Abb. A.92 Berechnete Abflusskurve (Zustand 2006) für den Pegel Schnackenburg und gemessene Scheitelwasserstände ausgewählter Hochwasser im Vergleich

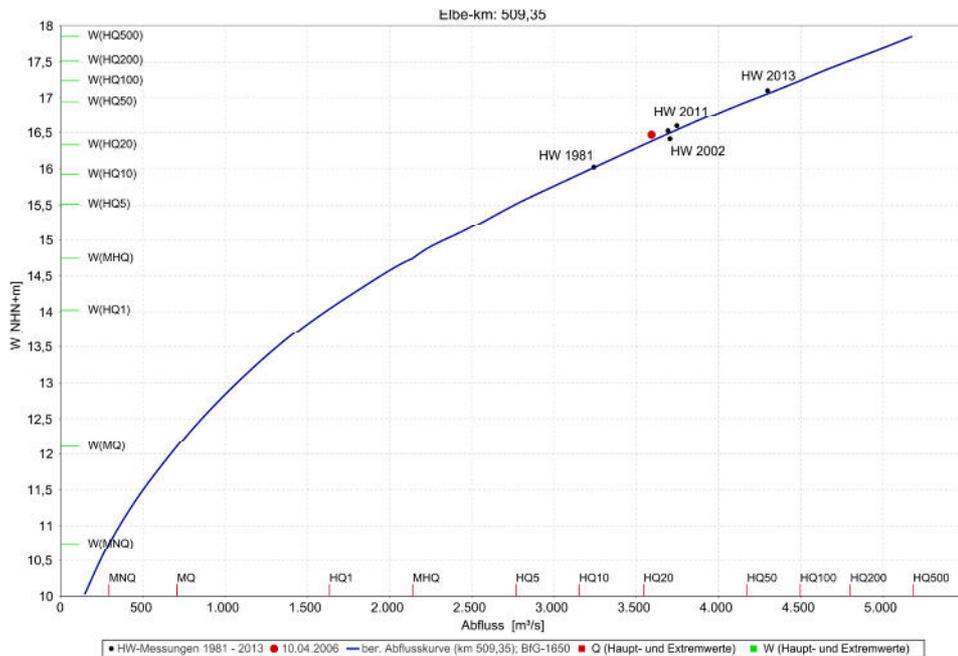


Abb. A.93 Berechnete Abflusskurve (Zustand 2006) für den Pegel Damnatz und gemessene Scheitelwasserstände ausgewählter Hochwasser im Vergleich

Auch für den Pegel Boizenburg kann aufgrund dieser vergleichenden Untersuchungen von stabilen Wasserstands-Abflussbeziehungen ausgegangen werden, obwohl die gemessenen Scheitelwasserstände der ausgewählten Hochwasser erheblich über der modellierten Abflusskurve 2006 liegen. Abb. A.94 zeigt die Pegelsituation. Im Zuge der Kalibrierung des 1D-Modells wurde im Streckenabschnitt Geesthacht - Boizenburg für das seinerzeit verwendete Kalibrierereignis vom April 2006 eine Tidebeeinflussung auf gemessene Wasserstände angenommen (BfG, 2009). In Abstimmung mit der begleitenden Arbeitsgruppe der FGG Elbe wurden deshalb bereinigte, niedrige Wasserstände zur Modellkalibrierung verwendet, was den Verlauf der in Abb. A.94 dargestellten berechneten Abflusskurve für den Pegel Boizenburg begründet. Der Messwert des Hochwassers 2006 (kleiner dunkelroter Punkt) und der um den angenommenen Tiderückstau verminderte Wasserstand (großer roter Punkt) sind ebenfalls in dieser Abbildung enthalten. Nach 2006 erfolgte Messungen bei den Hochwassern 2011 und 2013 bestätigen jedoch nicht die seinerzeit gewählte Vorgehensweise zur Kalibrierung des 1D-Modells. Vielmehr folgen diese gemessenen Scheitelwasserstände am Pegel Boizenburg in der Tendenz den ursprünglich gemessenen Wasserständen beim Hochwasser 2006 und lassen somit auch hier keine bedeutsamen Durchflussänderungen erkennen.

Als Fazit dieser vergleichenden Auswertung von berechneter Abflusskurve 2006 gemäß BfG (2009) und gemessenen Scheitelwasserständen ausgewählter Hochwasser können auch für den Pegel Boizenburg stabile Durchflussverhältnisse angenommen werden. Sie lassen keine Rückschlüsse auf Wasserstandserhöhungen bei Hochwasser der Elbe zu, die in einem kausalen Zusammenhang mit vermehrter Vegetation stehen.

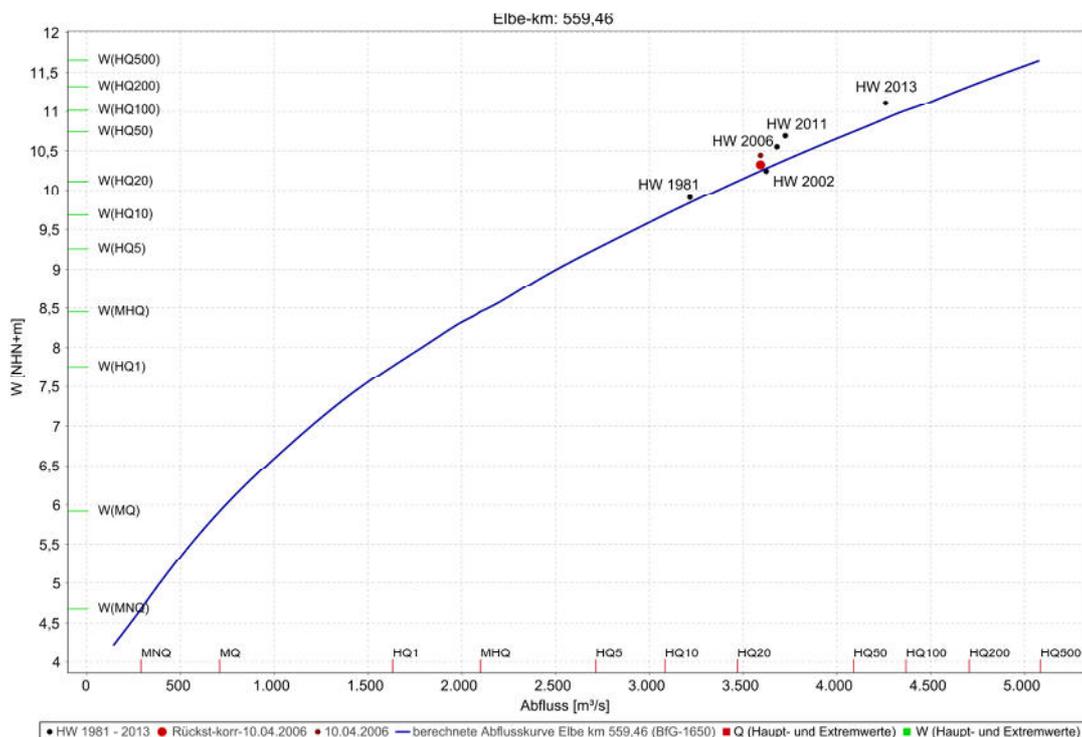


Abb. A.94 Berechnete Abflusskurve (Zustand 2006) für den Pegel Boizenburg und gemessene Scheitelwasserstände ausgewählter Hochwasser im Vergleich

## **Zusammenfassung und Ausblick bezüglich der hydrologischen Situation**

Seit dem extremen Hochwasser der Elbe im August 2002 wurden an der unteren Mittel-  
elbe zwischen Wittenberge und Geesthacht mehrere Hochwasser beobachtet, die jeweils neue  
Wasserstandsrekorde an den Pegeln hervorbrachten. In der hydrologischen Bewertung dieser  
Ereignisse wird als Ursache für diese Rekordmarken auch von zuständigen Behörden von  
einer Beeinflussung der lokalen Durchflüsse mit erhöhten Wasserständen durch vermehrten  
Bewuchs in den Elbevorländern ausgegangen. Die Veränderungen in der Vegetation werden  
zunehmend in den vergangenen Jahrzehnten seit der Wiedervereinigung Deutschlands im  
Jahre 1990 beobachtet.

Grundsätzlich sind in Wirkungsanalysen immer Wasserstände und Abflüsse gleichermaßen  
einzu beziehen, da sie in einem physikalischen Zusammenhang stehen. Zunächst vorgenom-  
mene Auswertungen von Abflussmessungen an den Pegeln Wittenberge und Neu Darchau  
sowie gültige und ehemals gültige Abflusskurven lassen zumindest für diese Pegelstandorte  
keine Abnahme der Leistungsfähigkeit der Pegelprofile seit 2002 für Hochwasserabflüsse  
erkennen. Erhöhte Wasserstände bei Elbehochwassern mit Abflüssen größer als  $HQ_{10}$  sind  
hier nicht nachweisbar.

Für die zahlreichen „W-Pegel“ zwischen Wittenberge und Geesthacht konnten in verglei-  
chenden Untersuchungen auch keine Anhaltspunkte gefunden werden, die eindeutig als Indi-  
zien für auf vermehrte Vorlandvegetation zurückzuführende Durchflussänderungen mit Was-  
serstandserhöhungen zu bewerten sind. Hierzu wurden gemessene Scheitelwasserstände aus-  
gewählter Elbehochwasser zwischen 1981 und 2013 auf modellgestützte Abflusskurven die-  
ser Pegel bezogen, die den Gewässerzustand der Elbe um 2006 repräsentieren.

Da die vorgenommenen Pegeluntersuchungen nur lokal bezogene Rückschlüsse auf veränderte  
Durchflussverhältnisse erlauben, können hieraus Aussagen zu regionalen Änderungen der  
Durchflüsse aufgrund veränderter Vegetation nicht abgeleitet werden. Denkbar wären somit  
auch Effekte in der Strecke mit erhöhten Wasserständen bei Hochwasser der Elbe. Es wird  
empfohlen, mit dem erstellten 2D-Modell auf Basis vorhandener kartierter Zustände der Vor-  
landvegetation nach 1990 Simulationsberechnungen vorzunehmen, um zustandsbezogene  
Hochwasserstände zu ermitteln und diese auf zeitliche Änderungen entlang der unteren Mit-  
tel-  
elbe hin zu analysieren.

Gemessene Wasserstände und Abflüsse bilden seit jeher das Rückgrat der quantitativen Ge-  
wässerkunde und somit auch der Abflussmodellierung. Während Wasserstände mit hoher  
Genauigkeit erfasst werden können, können sich bei den Abflusszuweisungen immer noch  
größere Unsicherheiten ergeben. Dies ist bei den hier vorgenommenen Untersuchungen zu  
berücksichtigen. Zahlreiche Abflussmessungen wurden im Verlaufe des extremen Hochwas-  
sers im Juni 2013 bzgl. der Pegel Wittenberge und Neu Darchau ausgeführt. Derartige Mess-  
kampagnen sollten in Zukunft vermehrt auch bereits bei kleineren Elbehochwassern vorge-  
nommen werden, um beispielsweise mögliche Effekte unterschiedlicher Vorlandvegetation  
bei Winter- bzw. Sommerhochwassern auf Durchflüsse der Elbe weitergehend untersuchen  
zu können.

Während die aktuell gültige Abflusskurve für den Pegel Wittenberge Wasserstandsangaben  
noch für Elbeabflüsse weit über  $HQ_{200}$  ermöglicht, kann dies bei Anwendung der Kurve für  
den Pegel Neu Darchau gerade noch für einen Abfluss von  $HQ_{50}$  erfolgen. Hier könnte das im  
Rahmen der Kooperation von der BfG erstellte 2D-Modell der unteren Mittel-  
elbe nutzbringend zur Extrapolation der Abflusskurve Neu Darchau im Hochwasserast eingesetzt werden.

## Anhang 9: Bilder der Bereisung vom Januar 2013



Abb. A.95 Elbe-km 455 rechts (Wittenberge), Blick stromauf



Abb. A.96 Elbe-km 477 rechts, Einströmung durch Schlitz 1 der Deichrückverlegung Lenzen am 18. Januar 2013 bei einem Abfluss am Pegel Wittenberge von ca.  $1590 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $< \text{MHQ}$ ), Blick stromab

2D-Modellierung an  
der unteren Mittelelbe  
zwischen Wittenberge  
und Geesthacht



Abb. A.97 Bewuchsriegel bei Mödlich (Elbe-km 479,3) im rechten Vorland, Blick vom Deich (Fließrichtung von links nach rechts)



Abb. A.98 Hartholzbewuchs bei Lenzen (Elbe-km 484 rechts), Blick vom ehemaligen Grenzturm auf Hafen und Pegel Lenzen (Blick stromauf)



Abb. A.99 Bewuchs im Bühnenfeldbereich bei Strachau (ca. Elbe-km 517 links)



Abb. A.100 Bewuchs im Vorland gegenüber Tiessau, ca. Elbe-km 527 rechts (Blick stromauf)



Abb. A.101 Bewuchs aus Sträuchern, Hart- und Weichholz bei Privetak, ca. Elbe-km 529, rechtes Ufer (Blick stromauf)



Abb. A.102 Weichholzbewuchs und Schilf bei Elbe-km 548, rechtes Ufer (Fließrichtung von links nach rechts)



Abb. A.103 Wildrettungshügel im Bereich der Deichrückverlegung bei Mahnkenwerder Elbe-km 550,7, rechtes Ufer (Blick vom Deich stromab)



Abb. A.104 Bewuchs im rechten Vorland an der Landesgrenze zwischen Niedersachsen und Mecklenburg-Vorpommern bei Elbe-km 554,5, rechtes Ufer (Blick stromab)

**Abflussverbessernde Maßnahmen  
an der Unteren Mittelelbe  
Rahmenplan  
Teil Niedersachsen**

**Anlage 2**

Begleitende fachtechnische Begutachtung  
für abflussverbessernde Maßnahmen an  
der Unteren Mittelelbe

Leichtweiß Institut der TU Braunschweig

2015



Technische  
Universität  
Braunschweig



Technische Universität Braunschweig  
Prof. Dr.-Ing. habil. Andreas Dittrich  
Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Abteilung Wasserbau  
Beethovenstr. 51 a, 38106 Braunschweig

# **Begleitende fachtechnische Begutachtung für abflussverbessernde Maßnahmen an der unteren Mittelelbe**

## **Auftraggeber:**

Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz

## **Bearbeitung:**

Prof. Dr.-Ing. habil. Andreas Dittrich

Braunschweig, Oktober 2015



Technische Universität Braunschweig  
Prof Dr.-Ing. habil Andreas Dittrich  
Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Abteilung Wasserbau  
Beethovenstr. 51 a, 38106 Braunschweig

## Bericht Nr. 1061

# Begleitende fachtechnische Begutachtung für abflussverbessernde Maßnahmen an der unteren Mittelalbe

**Auftraggeber:** Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz

**Bearbeitung:** Prof. Dr.-Ing. habil. Andreas Dittrich

Braunschweig, Oktober 2015

Prof. Dr.-Ing. habil. Andreas Dittrich

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Aufgabenstellung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Wasserbaufachliche Begutachtung der bisherigen Untersuchungsergebnisse.....</b>	<b>3</b>
2.1	Grundlagen.....	3
2.2	Ergebnisse.....	4
2.3	Analyse und Interpretation repräsentativer Untersuchungsergebnisse.....	5
2.3.1	Buhnenfeld mit Bewuchs .....	5
2.3.2	Flutmulde auf grüner Wiese .....	6
2.3.3	Vorlandabgrabung .....	7
2.3.4	Deichrückverlegungen und Engstellen.....	8
<b>3</b>	<b>Einfluss des Bewuchses auf die Sedimentation .....</b>	<b>10</b>
3.1	Allgemeine Betrachtungen zur Wechselwirkung „Strömung – Sediment – Pflanze“ .....	10
3.1.1	Problemstellung .....	10
3.1.2	Strömung und Bewuchs.....	12
3.1.3	Strömung, Bewuchs und Sediment.....	14
3.1.4	Untersuchungsfelder „Hartheim“ und „Chalampé“ .....	16
3.2	Sedimenthaushalt der Elbe.....	20
3.2.1	Sohlenhöhenänderungen entlang der Elbe .....	20
3.2.2	Schwebstofffrachten im Elbegebiet.....	21
3.3	Absetzverhalten der Elbesedimente im Bereich „Wendewischer Werder“ .....	24
3.4	Abflussverbessernde Maßnahmen und Sedimente.....	28
3.4.1	Vegetationsbezogene Maßnahmen .....	28
3.4.2	Topographiebeeinflussende Maßnahmen .....	29
3.4.3	Deichrückverlegungen .....	30
	Allgemeine Betrachtungen .....	30
	Deichrückverlegung Vitico .....	30
	Deichrückverlegung Prilipp.....	31

---

<b>4</b>	<b>Einfluss des Bewuchses auf den Eisgang.....</b>	<b>33</b>
<b>5</b>	<b>Empfehlungen zur weiteren Entwicklung / Optimierung von abflussverbessernden Maßnahmen .....</b>	<b>35</b>
5.1	Gewässerkorridor (übergeordnet) .....	36
5.2	Gewässerkorridor (detailliert) .....	37
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>41</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>43</b>

## 1 Aufgabenstellung

Die Hochwasserereignisse der letzten Jahre haben ein deutliches Ansteigen der Wasserstände bei ähnlich hohen Abflüssen in der Elbe gezeigt. Da sowohl Niedersachsen als auch Mecklenburg-Vorpommern gleichermaßen hiervon betroffen sind, soll in einem gemeinsam zu erstellenden Rahmenplan zur Verbesserung des Hochwasserabflusses in der unteren Mittelelbe (zwischen Schnackenburg und Geesthacht) dargestellt werden, welchen Beitrag abflussverbessernde Maßnahmen wie:

- Reduzierung des Bewuchses,
- Abgrabung von Sedimenten,
- Anlage von Flutrinnen,
- Anschluss von Altarmen,
- Deichrückverlegungen,
- Überlaufpolder

zur Absenkung der Wasserstände in der unteren Mittelelbe leisten können. Hierbei ist es das Ziel, den Wasserstand um mindestens 30 cm abzusenken.

Da sich der Planungsraum innerhalb des FFH-Gebietes „Elbeniederung zwischen Schnackenburg und Geesthacht“ (EU-Kennzeichen 2528-331) befindet, müssen unvermeidbare erhebliche Beeinträchtigungen des Schutzgebietes durch sog. Kohärenzmaßnahmen kompensiert werden, um die durch den Eingriff verloren gegangenen ökologischen Werte und Funktionen wieder herzustellen. Darüber hinaus ist von erhöhten naturschutzfachlichen Anforderungen auszugehen, weil Planungsraum und FFH-Gebiet im Biosphärenreservat „Niedersächsische Elbtalau“ gelegen sind. Das Überschwemmungsgebiet der Elbe ist somit wie ein Naturschutzgebiet geschützt.

Geeignete Kohärenzmaßnahmen sind ebenfalls im Rahmenplan zu präsentieren. Daneben ist darzustellen, auf welche Weise die langfristige Entwicklung der ökologischen Funktion der Weichholzaue sichergestellt werden kann, ohne dass hierdurch der Abfluss im Gewässer nennenswert behindert wird. Um zu verhindern, dass sich der Abflusszustand nach Fertigstellung der Maßnahmen wieder verschlechtert, ist ein flächendeckender Unterhaltungsplan zu erstellen, der die Ziele der Unterhaltung definiert und die für die Einhaltung der Ziele Verantwortlichen bestimmt.

Der Rahmenplan soll als fachliche Grundlage für alle weiteren erforderlichen Entscheidungen (Planfeststellungen und sonstige Genehmigungsverfahren) für die darauf aufbauenden Maßnahmen dienen. Die Erstellung des Rahmenplans steht unter der Federführung Niedersachsens. Das Niedersächsische Umweltministerium hat den NLWKN mit der Erstellung des Rahmenplans beauftragt.

Die Aufstellung des Rahmenplans wird in Niedersachsen von einer Projektgruppe bestehend aus Vertretern der Biosphärenverwaltung, der betroffenen Landkreise, Kommunen und Deichverbände, der Landwirtschaftskammer, der betroffenen Wasser- und Schifffahrtsämter, des NLWKN sowie der Umweltverbände und des VSKE begleitet.

Zur Beurteilung möglicher abflussverbessernder Maßnahmen steht ein 2D-Modell der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) zur Verfügung. Mit Hilfe dieses Modells wurden bereits in der Vergangenheit mehrere Rechenläufe durchgeführt, um die Wirksamkeit einer Vielzahl von Maßnahmen, die von der Projektgruppe entwickelt wurden, zu untersuchen.

Vor diesem Hintergrund ergeben sich folgende Aufgabenstellungen, auf die in der gutachterlichen Stellungnahme eingegangen werden soll:

1. Wasserbaufachliche Begutachtung der bisherigen Untersuchungsergebnisse
2. Empfehlungen zur weiteren Entwicklung / Optimierung von abflussverbessernden Maßnahmen
3. Entwicklung von Vorschlägen, wie die langfristige Entwicklung der Funktionen der Weichholzaue sichergestellt werden kann, ohne den Abfluss in der unteren Mittelelbe zu beeinträchtigen
4. Beschreibung des Einflusses des Bewuchses auf Sedimentation und Eisgang.

Die Bearbeitung der Aufgabenstellungen soll sich dabei auf die hydraulischen Aspekte konzentrieren. Grundlage für die Bearbeitung bilden alle vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Informationen aus den Projekttreffen, Berichte und Grundlagen über die zu begutachtenden Maßnahmen. Von zentraler Bedeutung für die Bewertung der abflussverbessernden Maßnahmen sind die mit dem 2D-Modell der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) erzielten Untersuchungsergebnisse. Diese werden insbesondere zur Beantwortung der Fragen 1 und 2 benötigt. Zur Beantwortung der Fragen 3 und 4 sollen u.a. die Ergebnisse aus bereits am LWI durchgeführten Untersuchungen, wie z.B. die „Überprüfung der hydraulischen Leistungsfähigkeit der unteren Mittelelbe in Niedersachsen (Bericht Nr. 958 und Nr. 965)“, „Wissenschaftliche Unterstützung bei der Beurteilung von Hochwasserschutzmaßnahmen durch die Minimierung der Verbuschung im Deichvorland der Elbe (Bericht Nr. 931)“ und „Modellversuche über Eisversetzungen bei Jasebeck/Elbe (Bericht Nr. 535)“ herangezogen werden. Des Weiteren sollen Antworten zu den Fragen über das Ablagerungsverhalten der Sedimente auf den Vorländern der Elbe mittels Plausibilitätsüberlegungen und Erfahrungen des Auftragnehmers mit anderen Flussläufen gefunden werden.

## 2 Wasserbaufachliche Begutachtung der bisherigen Untersuchungsergebnisse

### 2.1 Grundlagen

Bei den bisherigen Untersuchungsergebnissen handelt es sich um die im BfG-Bericht 1848a vom 27.07.2015 und im BfG-Bericht 1848b vom 27.02.2015 (Entwurf) sowie im BfG-Zwischenbericht vom 25.07.2013 dokumentierten Resultate bezüglich der Auswirkungen abflussverbessernder Maßnahmen wie Gehölzmanagement, Eingriffe in die Topographie der Vorländer und die Rückverlegung von Deichen auf die Wasserspiegellage bei HQ<sub>100</sub> an der Elbe zwischen Wittenberge (Elbe-km 451,1) und Geesthacht (Elbe-km 585,9). Die Ergebnisse über Wasserstands- und Strömungsverhältnisse wurden dabei mit dem Modellierungssystem Delft 3D (Version 4.00.01) erhalten. Hierbei fand zur Reduzierung des Rechenaufwandes ein zweidimensionaler, tiefengemittelter Modus Anwendung. Die numerische Lösung der Flachwassergleichungen erfolgte nach dem Finite-Differenzen-Verfahren auf einem gekrümmten Rechteckgitter entsprechend der Empfehlungen von Deltares.

Das als Grundlage für die Simulationen verwendete digitale Geländemodell des Bundes und der Bundesländer (DGM-W) besteht aus Vorlanddaten, gewonnen aus Befliegungen bis 2006 und Gerinnepeilungen aus dem Jahr 2004. Aufgrund in der Zwischenzeit durchgeführter lokaler Baumaßnahmen wurde das DGM-W um die Deichrückverlegungen „Lenzen“ (mit Vermessungsdaten des Landes Brandenburg (BB) aus 2011), „Neu Bleckede“ (mit Planungsdaten des Landes Niedersachsen aus 2010) und „Mahnkenwerder“ (mit Daten des Landes Mecklenburg-Vorpommern aus einer Befliegung in 2009) aktualisiert.

Die Simulation der Widerstandswirkung vegetationsbezogener Maßnahmen basiert bei dem verwendeten Modellierungssystem auf den Ansätzen von Klopstra und van Velzen für überströmten Bewuchs. Zur Berücksichtigung der Bühnen auf das übergeordnete Strömungsfeld wurde von den Bearbeitern ein Ansatz für überströmbare Wehre verwendet und die Bestimmung der Rauheitswirkung der Gewässersohle in Abhängigkeit von der Wassertiefe erfolgt nach einem Ansatz von van Rijn.

Als Kalibrierungsereignisse für das 2D-Modell wurden die Fixierung um das Mittelwasser aus dem Jahr 2005 (MW 2005) und die für das Hochwasser vom Januar 2011 (HW 2011) zunächst unabhängig voneinander verwendet. Anschließend wurde die Kalibrierung für die beiden Ereignisse kombiniert vorgenommen. Die Validierung des Gesamtmodells erfolgte anhand der Fixierung um das Mittelwasser aus dem Jahr 2007 (MW 2007) und für das während der Projektbearbeitung abgelaufene Ereignis vom Juni 2013 (HW 2013). Zum Vergleich und damit auch zur Beurteilung der Wirksamkeit der untersuchten Maßnahmen auf Hochwasserstände und –abflüsse diente das HQ<sub>100</sub> der Elbe bei Wittenberge mit  $Q = 4545 \text{ m}^3/\text{s}$ . Es stellt den sogenannten Referenzzustand dar.

Bei den untersuchten abflussverbessernden Maßnahmen auf die Wasserspiegellage im HQ<sub>100</sub>-Fall handelte es sich um 54 Vegetationsmaßnahmen (BfG-Bericht 1848a), 40 topographieverändernde Maßnahmen und ihrer Kombination sowie 4 Deichrückverlegungsmaßnahmen (BfG-Bericht 1848b), namentlich „Horst/Lauenburg“, „Vitico“, „Prilipp Variante A“ und

„Prilipp Variante B“. Da die Maßnahme „Horst/Lauenburg“ von einem Kooperationspartner des BfG-Gutachtens abgelehnt wurde, soll sie nicht weiter betrachtet werden.

## 2.2 Ergebnisse

Die vorliegende Zusammenfassung wesentlicher Ergebnisse ist weitgehend identisch mit den Inhalten der Berichte 1848a und 1848b der BfG und erfolgte unter dem Gesichtspunkt ihrer Bedeutung für die Erstellung eines Unterhaltungs- und Pflegeplanes, basierend auf rein hydraulischen Gesichtspunkten bzw. Gesetzmäßigkeiten. Die Ergebnisse selbst wurden, wie bereits erwähnt, mit dem oben aufgeführten 2D-hydrodynamisch-numerischen Modell erhalten. Das Simulationsmodell ist ein effektives und nützliches Analyse- und Planungsinstrument, um u.a. unterschiedliche Wasserstands- und Strömungsverhältnisse, verursacht durch Veränderungen im geometrischen Verlauf des Flusses, der Topographie im Vorland sowie im Widerstandsverhalten der Vegetation, vergleichend bewerten zu können.

Die mit dem 2D-Modell ermittelten Auswirkungen der untersuchten abflussverbessernden Maßnahmen auf die Wasserspiegellage im HQ<sub>100</sub>-Fall liegen im Maximum in der Größenordnung von einem Dezimeter und reichen damit nicht aus, wie in der Zielvorstellung formuliert, den Wasserstand um mindestens 30 cm abzusenken. Als Ursache für diese geringen Wasserstandsabsenkungen werden vor allem die relativ kleinen Flächen der Maßnahmen sowie die Gegenwirkung der Kohärenzmaßnahmen und die Beeinflussung der Maßnahmenwirkung durch unterhalb liegende Engstellen angeführt.

Als wesentlich wirksamere Maßnahmen haben sich großräumige Deichrückverlegungen herausgestellt – wenn sie in ihrer Lage am Gewässer (z.B. im Bereich von Engstellen) und in ihrer Ausgestaltung (Anströmung, Flächengröße, Vegetationsstruktur) optimal projektiert sind. Für diesen Fall wird als wegweisendes Beispiel die Deichrückverlegung in Lenzen angeführt. Ebenfalls von großer Bedeutung für die Hochwasserstände sind die Engstellen. Allerdings besteht ihre Wirkung im Gegensatz zu den Deichrückverlegungen in der Anhebung der Wasserstände. Aus diesem Grund wurde folgerichtig eine detailliertere Engstellenanalyse durchgeführt, welche Hinweise auf hydraulisch kritische Gewässerstrecken liefert und diese mit Hilfe einer neu entwickelten Methode in ihrer Bedeutung untereinander wichtet. Wie der Abb. 2.1 z.B. entnommen werden kann, haben insbesondere die Engstellen im Bereich Boizenburg und Hohnstorf – dort treten deutliche Knicke im Wasserspiegelverlauf auf – einen signifikanten Einfluss auf die Wasserspiegellagen bei HQ<sub>20</sub>, HQ<sub>100</sub> und HQ<sub>200</sub>. Weitere wichtige Hinweise auf hydraulisch kritische Gewässerstrecken lieferte die Analyse des Freibordes. Mit dieser konnten Defizite im Hochwasserschutzniveau der Deiche identifiziert werden.

Ein anderes interessantes Ergebnis aus der numerischen Simulation besteht in dem Sachverhalt, dass bei den untersuchten großflächigen Modellszenarien deutliche Auswirkungen auf die Wasserspiegellage für HQ<sub>100</sub> festgestellt wurden. Zum einen sank die Wasserspiegellage um bis zu 70 cm, wenn der gesamte Vorlandbewuchs in landwirtschaftliche Grünfläche (sehr geringe Rauheit) umgewandelt wird, und zum anderen stieg der Wasserstand um bis zu 1 m, wenn der gesamte Vorlandbewuchs sich in einen Hartholzauewald (sehr große Rau-

heit) entwickelt. Insbesondere die Simulation mit dem Hartholzauewald führt für die Gewässerunterhaltung zu der wichtigen Schlussfolgerung, dass ein weiterer Aufwuchs auf dem Vorland auf jeden Fall verhindert werden muss.

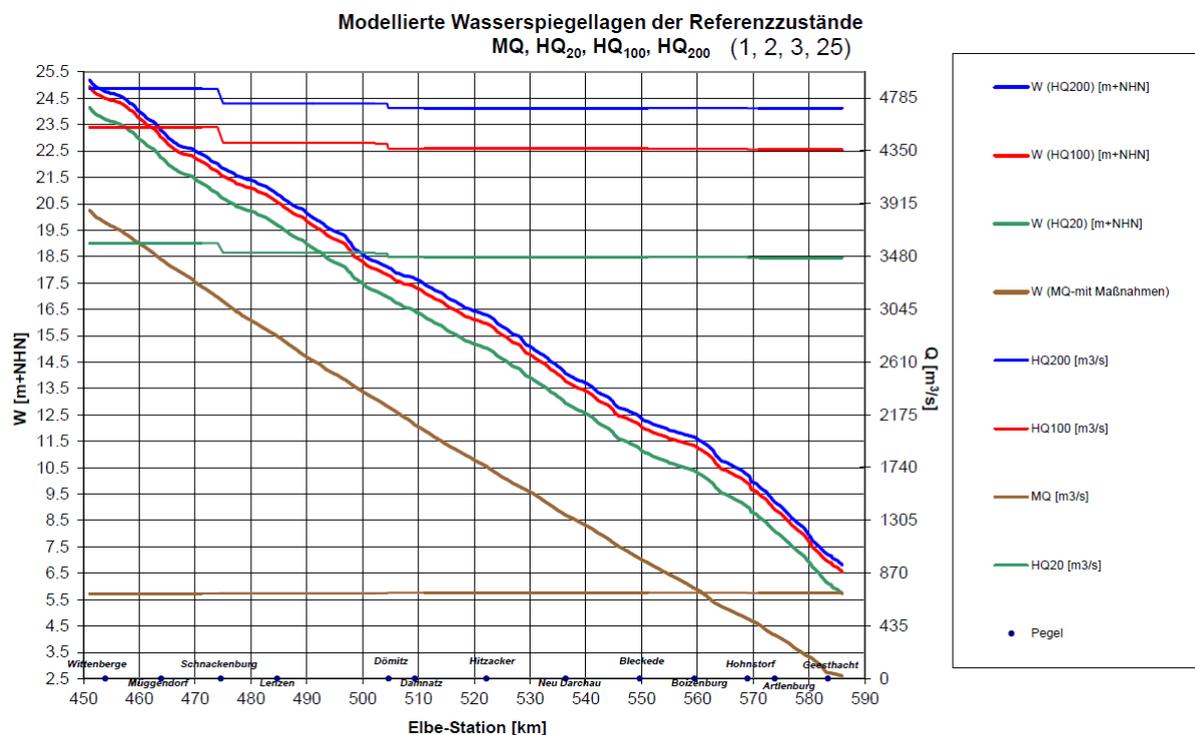


Abb. 2.1 Modellierte Wasserspiegellagen der Referenzzustände MQ, HQ<sub>20</sub>, HQ<sub>100</sub> und HQ<sub>200</sub> (aus: „2-dimensionale Modellierung der unteren, mittleren Elbe Wittenberge – Geesthacht“, 9. Besprechung am 30.10.2014 in Hannover (MU))

## 2.3 Analyse und Interpretation repräsentativer Untersuchungsergebnisse

Im Folgenden soll eine Analyse und Interpretation repräsentativer Untersuchungsergebnisse anhand konkreter Beispiele durchgeführt werden.

### 2.3.1 Bühnenfeld mit Bewuchs

Zur Verdeutlichung der Bedeutung der möglichst detaillierten Erfassung der Widerstandswirkung unterschiedlicher Elbstrukturen, wie Bühnen und Pflanzen mittels Kalibrierungsereignissen wurde der Flussabschnitt zwischen Elbe-km 516,2 und 517 ausgewählt (s. Abb. 2.2). Die Informationen zu diesem Abschnitt, der sich in der Nähe von Bohnenburg befindet, wurden dem Protokoll zum 7. Besprechungstermin vom 27. Mai 2014 über die „2-dimensionale Modellierung der unteren, mittleren Elbe Wittenberge – Geesthacht“ entnommen. Danach wurde in diesem Bereich ein vollständiger Gehölzrückschnitt modelliert. Entsprechend dem Hinweis zu Abb. 2.2 wurde die Rückschnittsfläche deutlich überschätzt. Die Gründe bestehen vermutlich darin, dass es sich bei diesem Abschnitt um ein schmales Vorland handelt, an dessen Übergangsbereich zum Hauptgerinne sich ein ausgeprägtes und mit dichter Vegetation bewachsenes Bühnenfeld befindet. Hier konkurrieren auf engstem Raum zwei ausgeprägte, unterschiedliche Widerstandsfelder, die das Modellierungssystem nicht separieren kann. Erschwerend kommt noch hinzu, dass sich unterstrom dieser Engstelle eine weitere

Engstelle bei Strachau befindet, die möglicherweise einen Rückstauereffekt verursacht. Die Modellierung dieser Strecke erfordert deshalb eine differenziertere Betrachtung der vorliegenden Situation und ihrer Simulation.

Rückschnittsfläche deutlich überschätzt



Abb. 2.2 Rückschnittfläche zwischen Elbe-km 516,2 und km 517 (aus: Protokoll 7. Besprechungstermin der Projektgruppe am 27. Mai 2014)

### 2.3.2 Flutmulde auf grüner Wiese

Bezüglich der topographiebezogenen Maßnahmen in Form von Flutmulden, Flutrinnen und Altarmen auf „grüner Wiese“ wird im BfG-Bericht festgehalten, dass ihre Wirkung insgesamt als gering eingeschätzt wird. Sie führen zu Wasserspiegelabsenkungen im Bereich von wenigen Zentimetern. Weiterhin wird darauf hingewiesen, dass solche Maßnahmen eine signifikante Absenkung der Wasserspiegellagen bei Hochwasser nur dann ausüben können, wenn sie sowohl eine bedeutende und durchgehend vorhandene zusätzliche Fließquerschnittsfläche aufweisen als auch eine Lage besitzen, welche die Durchströmung der Rinne im Hochwasserfall begünstigt (z.B. kein Rückstaubereich, keine Querströmung etc.).

Diese Aussagen sind plausibel und nachvollziehbar. Ein typisches Beispiel hierzu zeigt Abb. 2.3. Der Darstellung ist eine vorgesehene Flutmulde im Bereich von Tießau oberstrom des Hafenbeckens zu entnehmen, die sich quer über das Vorland erstreckt. Im Hochwasserfall wird diese Mulde überströmt und vermutlich nur geringfügig durchströmt. Zusätzlich werden im Ein- und Auslaufbereich Ein- und Ausströmverluste auftreten, die die Abflusskapazität dieser Mulde weiter reduzieren. Generell ist deshalb nicht nachvollziehbar, warum derart viele dieser topographiebezogenen Maßnahmen untersucht wurden.

Nachvollziehbar ist dagegen die Anordnung von Rinnen auf Vorländern, die mit Auewald bewachsen sind und deren Flächen mit Nebengewässern bzw. Flutrinnen durchzogen sind. In diesem Fall ist für die Wasserabführung nicht mehr die Tiefe über der „grünen Wiese“ maßgebend, sondern die bis zu den Baumkronen reichende Wassertiefe im Auewald, bei Hochwasserabfluss.

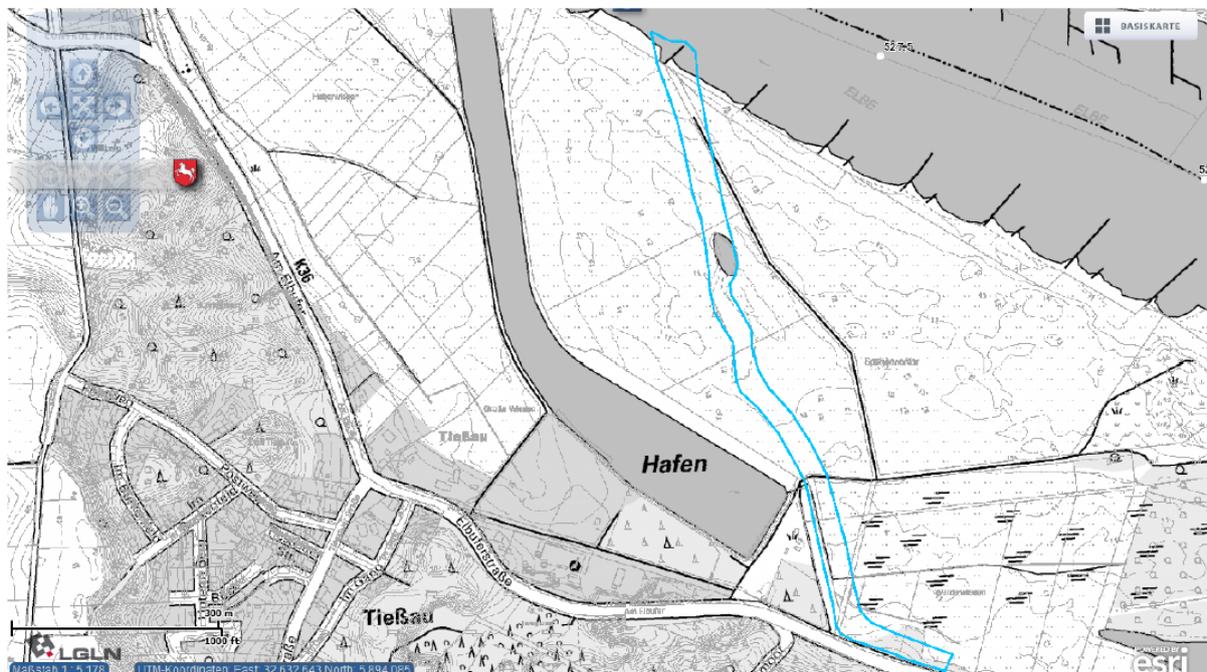


Abb. 2.3 Anordnung einer Flutmulde oberstrom des Hafenbeckens von Tießau bei Elbe-km 527,5 (aus: zur Verfügung gestellte Unterlagen)

### 2.3.3 Vorlandabgrabung

Zu den topographiebeeinflussenden Maßnahmen zählen auch zahlreiche kleinere Vorlandabgrabungen, wie z.B. die in Abb. 2.4 dargestellte Maßnahme bei Elbe-km 485. Der Abbildung ist zu entnehmen, dass es sich bei der Abgrabung um die das Vorland querende Fährstraße sowie eine teilweise bewaldete Fläche unterstrom dieser Fährstraße handelt. Oberhalb der Abgrabungsfläche befindet sich ebenfalls eine kleinere Waldfläche und links davon eine Niederung. D.h. ein Großteil der Fährstraße liegt entweder in der Niederung oder im Strömungsschatten des Wäldchens. Falls die Fährstraße in der Niederung keinen ausgeprägten Wall darstellt (Höhenangaben liegen nicht vor), wird ihr Einfluss auf den Hochwasserstand selbst lokal begrenzt nur gering sein. Ähnlich verhält es sich mit der teilweise bewaldeten Abgrabungsfläche unterstrom des Wäldchens. Die numerische Simulation dieser Maßnahme wäre somit nicht erforderlich gewesen.

Deshalb stellt sich auch hier wieder die Frage, warum derart viele topographiebeeinflussende und vegetationsbezogene Maßnahmen untersucht wurden. Die Wirkung dieser Maßnahmen ist häufig so gering und lokal begrenzt, dass sie bereits wenige hundert Meter oberstrom nicht mehr nachweisbar sind und damit keine verstärkte Absenkung des Wasserstandes durch die nachfolgenden oberstrom gelegenen Maßnahmen erfolgt.

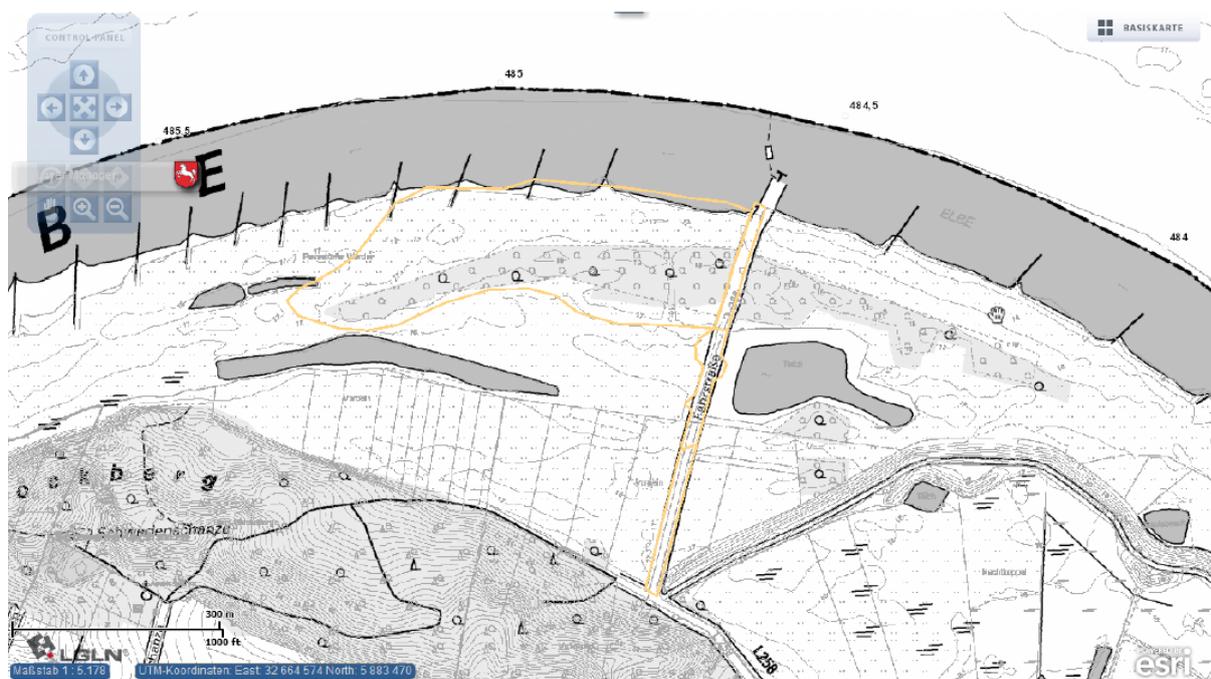


Abb. 2.4 Vorlandabgrabung bei Elbe-km 485 (aus: zur Verfügung gestellten Unterlagen)

### 2.3.4 Deichrückverlegungen und Engstellen

Maßnahmen, die im Gegensatz zu den vegetationsbezogenen und topographiebeeinflussenden Maßnahmen einen signifikanten Einfluss auf die Wasserstände haben, sind die großräumigen Deichrückverlegungen und die Entfernung von Engstellen. Die Deichrückverlegungen wirken bei Hochwasserabflüssen wasserstandssenkend und die Engstellen führen zum Anstieg der Wasserstände (Abb. 2.1), zur Komprimierung der Strömung (Abb. 2.5) und damit zu Erosion. Dieser Sachverhalt wird in eindrucksvoller Weise durch die 2D-Modellierung bestätigt.

Bereits Anfang des 20. Jahrhunderts wurde die Ursache von hohen Wasserspiegellagen u.a. in der unregelmäßigen Deichlinienführung erkannt (aus: Dittrich et al., 2008a und b). An der unteren Mittel-Elbe unterliegen die Breiten zwischen den Deichen bzw. Hochufern einer enormen Bandbreite, die zwischen 400 m und bis zu mehr als 3,5 km beträgt. Damit kommt der durchgeführten Analyse zur Identifikation von Engstellen für die abflussverbessernden Maßnahmen eine große Bedeutung zu. Im Bereich der Engstellen werden sämtliche untersuchten abflussverbessernden Maßnahmen einen großen Einfluss auf den Wasserstand haben, wogegen dieser oberhalb der Engstellen nur gering ausfällt (siehe hierzu auch Dittrich et al., 2008b). Aus diesem Grund wäre es sinnvoll gewesen, wenn bezüglich der vegetationsbezogenen, der topographiebeeinflussenden Maßnahmen und der Kohärenzmaßnahmen eine Zuordnung zu den Engstellen, d.h. ihrer Lage ober- oder unterstrom dieser Stellen, vorgenommen worden wäre.

Für die Identifizierung der Engstellen an der Elbe wurden, neben den Abständen zwischen den Banndeichen (senkrecht zur Flussachse), mit dem 2D-Modell modellierte Wasserstände und daraus erhaltene Wasserspiegelgefälle sowie Strömungsgeschwindigkeiten bei einem  $HQ_{100}$  im IST-Zustand als Grundlage verwendet und ausgewertet (Engstellenindikator P).

Wie bereits zu Abb. 2.1 angemerkt wurde, sind im Bereich Boizenburg und Hohnstorf signifikante Anstiege der Wasserspiegellage bei  $HQ_{100}$  zu erkennen. Untermuert wird dieser Sachverhalt durch die ermittelten Strömungsbilder. Abb. 2.2 ist zu entnehmen, dass im Bereich der Engstelle bei Hohnstorf (Elbe-km 570) eindeutig und eindrucksvoll die Strömungsvektoren mit den größten Fließgeschwindigkeiten auftreten. In Abb. 2.1 ist zu erkennen, dass die Engstelle bei Hohnstorf den Wasserspiegelverlauf bis ca. Barförde (Elbe-km 562) beeinflusst und anschließend ein Rückstau über Boizenburg (Elbe-km 559) und Radegast (Elbe-km 555) bis Bleckede (Elbe-km 549) erfolgt. Bei dieser Betrachtungsweise wird der Engstelle bei Boizenburg nur eine geringe Bedeutung zugeordnet und die Engstelle bei Radegast (siehe hierzu auch Dittrich et al., 2008a und b) wird gar nicht erkannt. Eine analoge Aussage liefert der Engstellenindikator P.

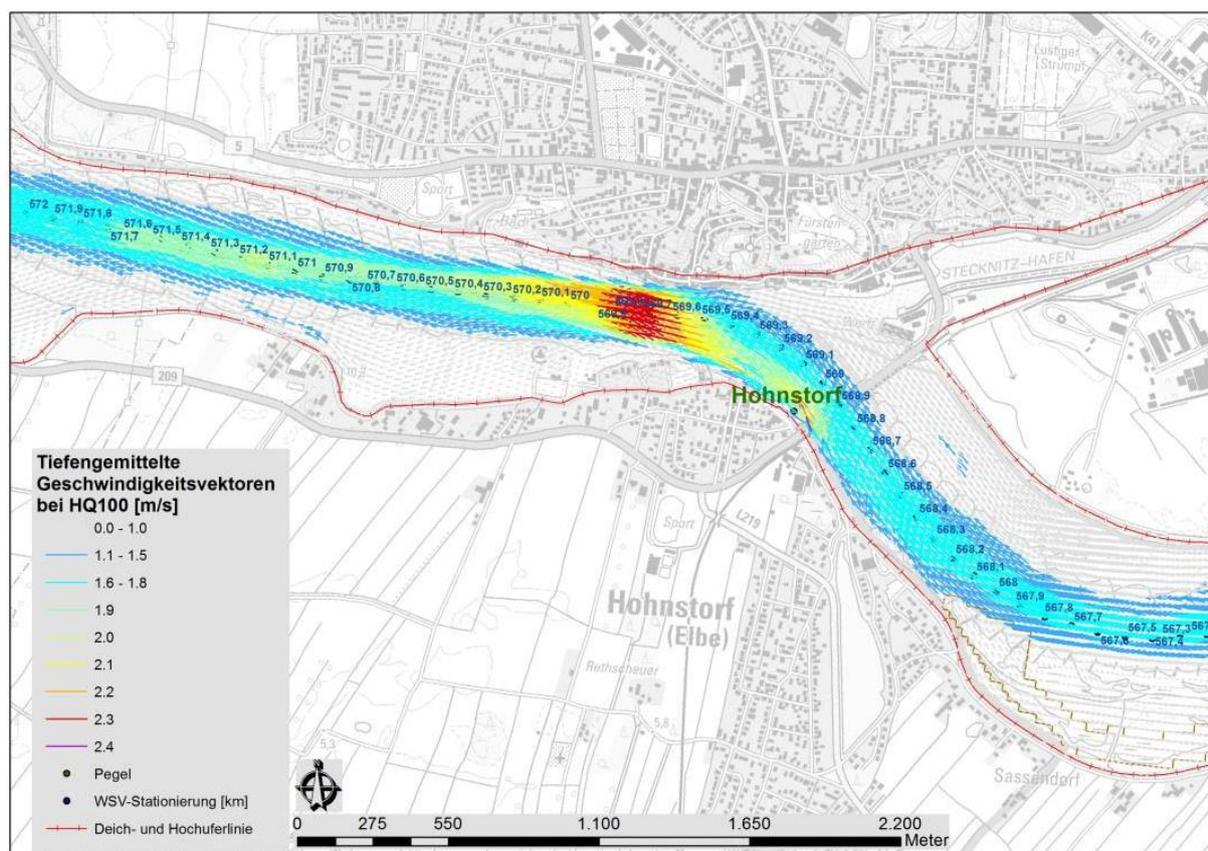


Abb. 2.5 Tiefengemittelte Geschwindigkeitsvektoren bei  $HQ_{100}$  in [m/s] im Bereich der Engstelle bei Hohnstorf (aus: BfG-Bericht 1848, 2015)

Die Engstellenanalyse in Verbindung mit Deichrückverlegungen stellt damit ein Defizit der bisherigen Untersuchungen dar und sollte durch weitere Untersuchungen ergänzt werden. Auch sollte überlegt und untersucht werden, ob die Engstellenproblematik durch das Anlegen großräumiger Umgehungsgerinne außerhalb der Deiche entschärft werden könnte.

### **3 Einfluss des Bewuchses auf die Sedimentation**

In diesem Kapitel sollen zunächst anhand von Beobachtungen in der Natur und Untersuchungen am Rhein die komplexen Zusammenhänge zwischen Bewuchs, Strömung und Sediment erläutert und mit Daten untermauert werden. Bevor die dabei erlangten Erkenntnisse um die am Elbeabschnitt „Wendewischer Werder“ durchgeführten Beobachtungen und gewonnenen Daten erweitert werden, ist es jedoch erforderlich, dass auf die allgemeine hydromorphologische Situation bzw. den Sedimenthaushalt der Elbe eingegangen wird. Anschließend werden die Erkenntnisse aus diesen Untersuchungen zusammen mit den Ergebnissen aus der 2D-Modellierung dazu verwendet, eine Einschätzung über das Sedimentationsverhalten der Elbesedimente im Bereich abflussverbessernder Maßnahmen vorzunehmen.

#### **3.1 Allgemeine Betrachtungen zur Wechselwirkung „Strömung – Sediment – Pflanze“**

##### **3.1.1 Problemstellung**

Die extremen Hochwasserereignisse in Deutschland in den letzten Jahrzehnten und hierbei insbesondere die Ereignisse an der Elbe zwischen 2002 und 2013, haben in eindrucksvoller Weise die katastrophalen Auswirkungen der Hochwässer verdeutlicht. Hierbei hat sich u.a. gezeigt, welche Gefahrenquellen von den gerade abgelaufenen Hochwässern für zukünftige Ereignisse ausgehen: Mit der Hochwasserwelle werden enorme Mengen an Sediment transportiert, die je nach Topographie und Bewuchs sich zu unterschiedlich großen Anteilen auf den Vorländern ablagern. Foto 3.1 zeigt ein bewuchsarmes Vorland im Stadtbereich von Dresden (Elbe) und Foto 3.2 ein mit Auewald bewachsenes Bühnenfeld am Oberrhein in der Nähe von Breisach. Die Ablagerungen wiesen je nach Bewuchs Mächtigkeiten von wenigen Zentimetern bis zu 1 m auf. Die Folge ist, dass der Abflussquerschnitt auf den Vorländern zum Teil erheblich vermindert wird. Hinzu kommt, dass die nährstoffreichen Sedimente zu einer zunehmenden Verbuschung und einem beschleunigten Pflanzenwachstum führen. Dadurch entsteht ein erhöhter Fließwiderstand auf den Vorländern, der eine Anhebung des Wasserstandes verursacht. Zudem werden durch den Pflanzenbewuchs verstärkt Sedimente ausgefiltert, was zusätzlich zu einer Beschleunigung der Vorlandaufhöhungen führt. Dieser Vorgang stellt nach Dittrich (2004) einen „Teufelskreis“ dar.



Foto 3.1 Feinsedimentablagerungen in Dresden nach dem HW 2002 (Quelle: Wasser- u. Schifffahrtsamt Dresden)



Foto 3.2 Feinsedimentablagerungen auf einem Bühnenfeld am Oberrhein in der Nähe von Breisach (Quelle: Dittrich)

Da große Sedimentfrachten überwiegend vor, bei und nach extremen Hochwasserereignissen transportiert werden, ist ihr Ablagerungsverhalten nicht sichtbar und berechenbar und bei dem Vorhandensein von Bewuchs sind die abgelagerten Mengen mitunter extrem groß. Dieses verdeutlichen in anschaulicher Weise die Aufnahmen auf Foto 3.3 und 3.4. Foto 3.3 zeigt mächtige Sandablagerungen auf den Vorländern des Hochrheinzufusses „Thur“ nach einem größeren Hochwasserereignis. Die Ablagerungen wiesen stellenweise Mächtigkeiten von über einem Meter auf (persönliche Mitteilung, Göldi) und mussten wegen der Gefährdung der Anlieger umgehend entfernt werden (Foto 3.4).



Foto 3.3 Sedimentablagerungen auf den Vorländern der Thur (Quelle: Göldi)



Foto 3.4 Entfernung der Sedimentablagerungen von den Vorländern der Thur (Quelle: Göldi)

### 3.1.2 Strömung und Bewuchs

Da das Widerstandsverhalten der Pflanzen und das Strömungsfeld in enger Wechselbeziehung zu einander stehen und dadurch in gravierender Weise das Erosions- und Sedimentationsverhalten von Sedimenten in Bewuchsbeständen beeinflussen, soll dieser Sachverhalt anhand von Abb. 3.1 erläutert werden. Abb. 3.1 beinhaltet eine grobe Klassifizierung des für den Strömungswiderstand maßgebenden Strömungsfeldes und Bewuchses auf einem ausgewählten, repräsentativen Bühnenfeld des Oberrheines. Die Klassifizierung basiert auf dem Einfluss der Höhe und Flexibilität des Bewuchses bei Hochwasserabfluss (mittels Videokamera festgehalten) sowie der vorhandenen hydraulischen Bedingungen wie Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit (messtechnisch erfasst) (aus: RipFor, 2005).

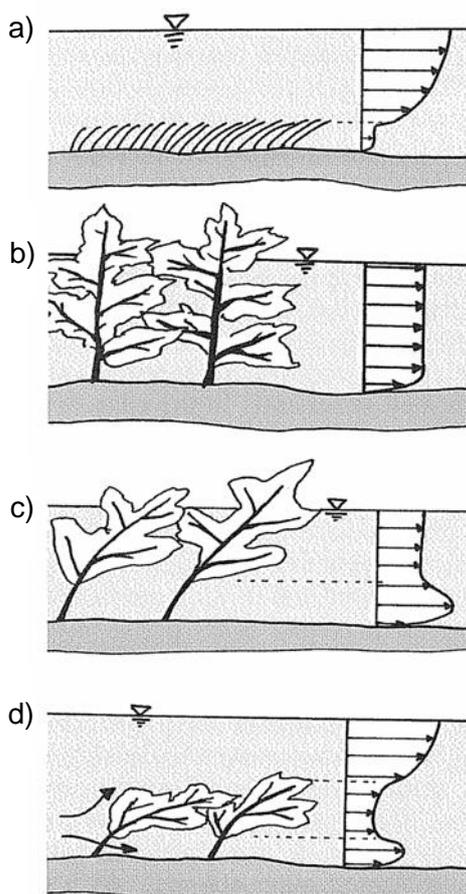
a) Überströmter Bewuchs

Im Fall des überströmten Bewuchses sind alle Pflanzen im Vergleich zur Wassertiefe klein bzw. werden infolge ihrer Flexibilität zu Boden gedrückt und überströmt. Das daraus resultierende Strömungsfeld kann, wie in Abb. 3.1a) dargestellt, in zwei Bereiche unterteilt werden. Hierbei ist die Strömung innerhalb der Pflanzen häufig vernachlässigbar gering und oberhalb der Pflanzen folgt die Geschwindigkeit einer logarithmischen Verteilung.

b) Durchströmter Bewuchs

Im Fall des durchströmten Bewuchses (Abb. 3.1b)) ragen die Pflanzen aus dem Wasser heraus. Sie sind häufig wesentlich größer als die Wassertiefe und werden durch die Strömung praktisch nicht verformt. Der Bewuchs wird durchströmt und es stellt sich über die Wassertiefe eine nahezu konstante Geschwindigkeitsverteilung ein.

c) Durchströmter Busch- und Baumbewuchs mit ausgeprägter sohlennaher Strömung



In diesem Fall werden die Pflanzen durch die Strömung verformt. Sie sind aber noch so steif, dass sie aus der Wasseroberfläche herausragen (Abb. 3.1c)) und nicht auf den Boden umgelegt werden (z.B. Weiden). Im Bereich der Äste und Blätter wird dadurch die Strömung verlangsamt und im sohlennahen Bereich, wo die Pflanzen häufig kaum Äste und Blätter aufweisen, wird die Strömung beschleunigt. Im durchströmten verästelten und belaubten Bereich ist die Geschwindigkeit wieder nahezu konstant über die Wassertiefe verteilt, wogegen sie im sohlennahen Bereich eher einen parabolischen Verlauf aufweist.

d) Überströmter Buschbewuchs mit ausgeprägter sohlennaher Strömung

In diesem Fall ist im Gegensatz zu Fall c) die Wassertiefe größer als die Höhe der verformten und Richtung Boden geneigten Pflanzen (Abb. 3.1d)). Im Bereich der Äste und Blätter sowie im sohlennahen Bereich stellt sich eine ähnliche Geschwindigkeitsverteilung wie im Fall c) ein. Über den Pflanzen kann sich bei hinreichend großer Überdeckung, sprich Wassertiefe, eine logarithmische Geschwindigkeitsverteilung einstellen.

Abb. 3.1 Strömungsverhältnisse im Bereich überströmter und durchströmter Pflanzen (aus: RipFor, 2005)

An dieser Stelle muss jedoch nochmals darauf hingewiesen werden, dass die in Abb. 3.1 skizzierten Strömungs- und Pflanzenbilder aus Beobachtungen während und nach Hochwasserereignissen am Oberrhein erstellt wurden. An Flussläufen mit wesentlich geringeren Fließgeschwindigkeiten, wie z.B. der Elbe, kann davon ausgegangen werden, dass dort die Fälle a) und b) dominieren. D.h. relativ niedriger und biegsamer Bewuchs, wie Gras, Röhricht, Schilf, etc. wird überströmt und wirkt sich als Oberflächenrauheit mit entsprechender logarithmischer Geschwindigkeitsverteilung aus. In diesem Fall kann die Abflussberechnung für große Wasserstände mit hinreichender Genauigkeit auf der Grundlage gängiger Fließformeln, wie z.B. der Gauckler-Manning-Strickler-Gleichung, erfolgen.

Höherer, starrer Bewuchs (Büsche und Bäume) wird zusätzlich durchströmt. Er wirkt als Formrauheit und der Fließwiderstand steigt bei Vernachlässigung der Flexibilität der Pflanzen proportional mit dem Quadrat der Fließgeschwindigkeit. Mit zunehmender Anströmgeschwindigkeit steigt deshalb die Wasserspiegelanhebung ebenfalls überproportional mit der Fließgeschwindigkeit an. Abhängig von der Anströmgeschwindigkeit und der Flexibilität des Bewuchses können Büsche von der Strömung umgebogen und verformt werden (Abb. 3.1 c) und d)), wodurch der Fließwiderstand abnimmt. An der unteren Mittel-Elbe sind die Fließgeschwindigkeiten auf dem Vorland so gering, dass Büsche vermutlich nicht umgebogen werden. Ebenfalls abhängig von der Anströmgeschwindigkeit ist die Rauheitswirkung von Belaubung, d.h. der Einfluss der Jahreszeiten. In diesem Fall ist die Berechnung der Widerstandswirkung wesentlich komplizierter und wird deshalb in kommerziellen numerischen Programmen noch nicht berücksichtigt.

### **3.1.3 Strömung, Bewuchs und Sediment**

Die Ablagerungen von Feinsediment sind für die Entwicklung des Auewaldes und die Morphologie auf den Vorländern der Flussläufe, wie z.B. des Rheines und der Elbe, von zentraler Bedeutung. Die Abschätzung des Erosions- und Sedimentationsvorganges dieser Sedimente ist jedoch äußerst schwierig und bis heute nicht quantifizierbar. Wesentliche Einflussfaktoren sind neben der Sedimentfracht, die topographische Situation, die Höhe des Abflusses und die Art des Bewuchses. Von welcher Vielschichtigkeit allein der Einfluss des Bewuchses auf diesen Vorgang ist, soll nachfolgend anhand der Darstellungen in Abb. 3.1 erläutert werden.

Im Fall des überströmten Bewuchses (Abb. 3.1a)) nimmt die Geschwindigkeit im sohlennahen Bereich und insbesondere innerhalb der Pflanzen stark ab. Auf diese Art und Weise wird durch die Pflanzen der Boden geschützt und stabilisiert. Falls diese Pflanzen große Flächen auf dem Vorland einnehmen, sind dies potentielle Ablagerungsgebiete für die mit der Hochwasserwelle transportierten Feinsedimente (Foto 3.5).



Foto 3.5 Sedimentausttrag aus der Elbe beim Hochwasser im Januar 2011 zwischen Geesthacht und Artlenburg (Quelle: Artlenburger Deichverband)

Durchströmter Bewuchs (Abb. 3.1b) liegt im Fall von ausgewachsenem Auewald vor. Er ist dadurch charakterisiert, dass die Bäume lange, starre Stämme mit geringer Dichte aufweisen. Auf der angeströmten Seite der Baumstämme findet ein Aufstau des Wasserstandes statt (Foto 3.6) und unterstrom sinkt der Wasserstand ab. Damit verbunden sind heftige Wirbelbildungen, die zu lokalen Erosionserscheinungen im Bereich des Baumstammes oder auch Büschen führen können (Foto 3.7).



Foto 3.6 Aufstau des Wassers vor einem Baumstamm mit anschließendem Wechselsprung (Quelle: Dittrich)



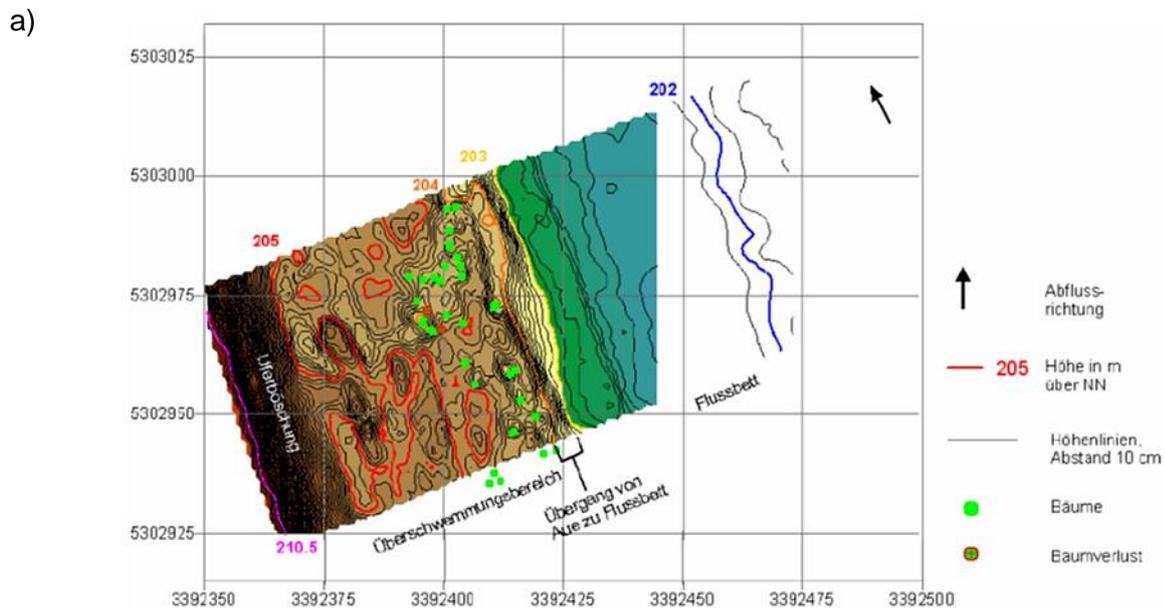
Foto 3.7 Erosionserscheinungen im Bereich eines freistehenden Busches (Quelle: Lehmann)

Ähnliche Erosionserscheinungen werden auch im Fall des durchströmten, dichten Busch- und Baumbewuchses mit ausgeprägter sohlennaher Strömung (Abb. 3.1c)) sowie im Fall des überströmten Buschbewuchses mit ausgeprägter sohlennaher Strömung (Abb. 3.1d)) beobachtet. Hinzu kommt der Einfluss des mit der Hochwasserwelle transportierten Geschwemmsels. Das Geschwemmsel wird von den Büschen in der Höhe des Wasserstandes zurückgehalten. Dadurch erhöhen sich der Strömungswiderstand und die sohlennahe Strömung und damit der Kolk um die Bewuchselemente.

### 3.1.4 Untersuchungsfelder „Hartheim“ und „Chalampé“

Um ein differenziertes und genaueres Bild von den Erosions- und Sedimentationsverhältnissen auf den Vorländern der Flussläufe zu erhalten, wurden auf den Bühnenfeldern „Hartheim“ und „Chalampé“ am Oberrhein Testgebiete eingerichtet und in den Jahren 2003/2004, 2005, 2006 und 2007 Messkampagnen durchgeführt (aus: Dittrich & Huppmann, 2013). Abb. 3.2 vermittelt einen Eindruck von dem Untersuchungsgebiet bei Chalampé und Abb. 3.3 von dem Gebiet bei Hartheim.

Auf Abb. 3.2 sind die topographische Situation und der Bewuchsbestand des Versuchsgeländes bei Chalampé aus dem Jahr 2007 zu erkennen. Das Gelände lässt sich grob in die Bereiche Überschwemmungsgebiet (Aue), Geländekante und bewachsenes Flussbett unterteilen (Abb. 3.2a)). Unterhalb der Uferböschung befindet sich der verbuschte Überschwemmungsbereich (Abb. 3.2b)), welcher genauso wie die anschließende etwa 1,5 m hohe Geländekante (Abb. 3.2d)) im unteren flussseitigen Drittel mit einem hochgewachsenen, älteren Weichholzauewald (Abb. 3.2c)) bestockt ist. Das leicht in Richtung Niedrigwasserrinne geneigte Flussbett ist mit Rohrglanzgras bewachsen (Abb. 3.2e)).



b)



c)



d)



e)



f)



g)



Abb. 3.2 Topographie des Untersuchungsgebietes bei Chalampé auf der Grundlage von Vermessungsdaten vom Dezember 2007 (Bild a)) sowie Aufnahmen des Bewuchsbestandes: b) Böschungsnaher Abschnitt mit niedriger Krautschicht, c) Sandablagerungen in Böschungsnähe, d) entstehender Rücken (Auflandung) bei Standort 204, e) Gehölzgruppen nahe der Geländekante, f) Sandablagerungen an der Geländekante, g) Geländekante und Flussbett (aus: WIRTZ UND BÖLSCHER, 2008)

Abb. 3.3 sind die topographische Situation und der Bewuchsbestand des Versuchsgeländes bei Hartheim aus dem Jahr 2007 zu entnehmen. Nach Wirtz und Bölscher (2006) kann dieses Gelände in die Bereiche Kiesbank, Weichholzaue sowie Offenland tief und hoch untergliedert werden (Abb. 3.3a)). Der Übergang vom Fluss in die Überschwemmungsfläche erfolgt durch die vorgelagerte Kiesbank weniger abrupt als bei Chalampé. An diese ca. 10 bis 15 m breite Kiesfläche schließt sich der Bereich der Weichholzaue an (Abb. 3.3d)). Diese besteht überwiegend aus niedrigem Baumbestand mit wenigen höheren Altbäumen und zum Teil dichtem Weidengehölz. Außerdem sind große Flächen mit eingedrftetem Totholz und Schwemmmaterial bedeckt (Abb. 3.3e)). In Richtung der Uferböschung folgt ein niedrig gelegener offener Bereich, welcher wenige Solitäräume und überwiegend Kräuter und Gräser aufweist (Abb. 3.3c)). An diesen Bereich schließt sich eine ca. 1 m höher gelegene, unbestockte Teilfläche an (Abb. 3.3b)). Zwischen dieser Auflandungsfläche und der Uferböschung befindet sich analog zu Chalampé ein etwas tieferer schmaler Streifen, welcher eine uferparallele Abflusssrinne darstellt.

Neben dem vorhandenen Bewuchs besteht der größte Unterschied in den beiden Untersuchungsgebieten darin, dass ca. 60 % des Geländes in Hartheim tiefer liegen als die Überschwemmungsflächen in Chalampé. Lediglich die höheren Bereiche des Offenlandes reichen an dieses Niveau in Chalampé heran. Damit unterliegen die meisten Bereiche in Hartheim häufigeren Überflutungen und weisen eine höhere Morphodynamik auf. Diese führten bis 2007 zu höheren Ablagerungsraten der Sedimente auf dem Bühnenfeld von Hartheim als auf dem von Chalampé.

Auf der Untersuchungsfläche von Chalampé betrug im Verlauf des Untersuchungszeitraumes die mittlere jährliche Ablagerungsrate von Feinsediment 2,8 cm, wobei sich auf dem Überschwemmungsgebiet im Mittel 2,3 cm abgelagert haben und auf dem Flussbett 3,6 cm. Für das gesamte Testgebiet Hartheim wurde dagegen eine mittlere jährliche Ablagerungsrate von 4,6 cm ermittelt, mit 3,3 cm für das höher gelegene Offenland, 4,8 cm für das niedrigere Offenland und 5,9 cm für die Weichholzaue. Weiterhin erwähnenswert ist, dass neben den großräumigen Ablagerungen von Sanden auch die Vegetation im Beobachtungszeitraum signifikanten Veränderungen unterlag.

Obwohl die in Abb. 3.2 und 3.3 dargestellten Sachverhalte nicht 1:1 auf die Elbe übertragen werden können, dokumentieren sie doch in eindrucksvoller Weise über die erhaltenen Ablagerungsraten das komplexe Wechselspiel zwischen Strömung, Bewuchs und Sediment. Zur Quantifizierung dieses Wechselspiels werden somit konkrete Daten über die Sedimentfracht und -zusammensetzung, die lokale topographische Situation und die lokalen Strömungsgeschwindigkeiten sowie die Art des Bewuchses benötigt.

Analoge Aussagen liefert auch die in Krüger et al. (2014) vorgestellte Studie. In dieser wird die Feststellung getroffen, dass das Sedimentationsgeschehen auf den Vorländern der Elbe in Abhängigkeit der Morphologie, der Vegetation und den ereignisbezogenen Überflutungsbedingungen sehr differenziert zu betrachten ist. Zur Validierung bzw. Quantifizierung des Sedimentrückhaltes auf den Überflutungsflächen wurden, wie in der Studie von Asselmann and Middelkoop (1995) Kunstrasen-Sedimentfallen eingesetzt. In ihrer zusammenfassenden Wertung halten sie fest, dass die Ermittlung der Sedimenteinträge mit Hilfe von Sedimentfal-

len zu insgesamt plausiblen Berechnungen des Sedimentrückhaltes führt, aber eine Verbesserung und Anpassung des „Probennahmedesigns“ wünschenswert ist. Im vorliegenden Gutachten wird deshalb zur Quantifizierung der Sedimentablagerungen die wesentlich aussagekräftigere Methode, wie sie auf den Untersuchungsfeldern von „Hartheim“ und „Chalampé“ praktiziert wurde, empfohlen.

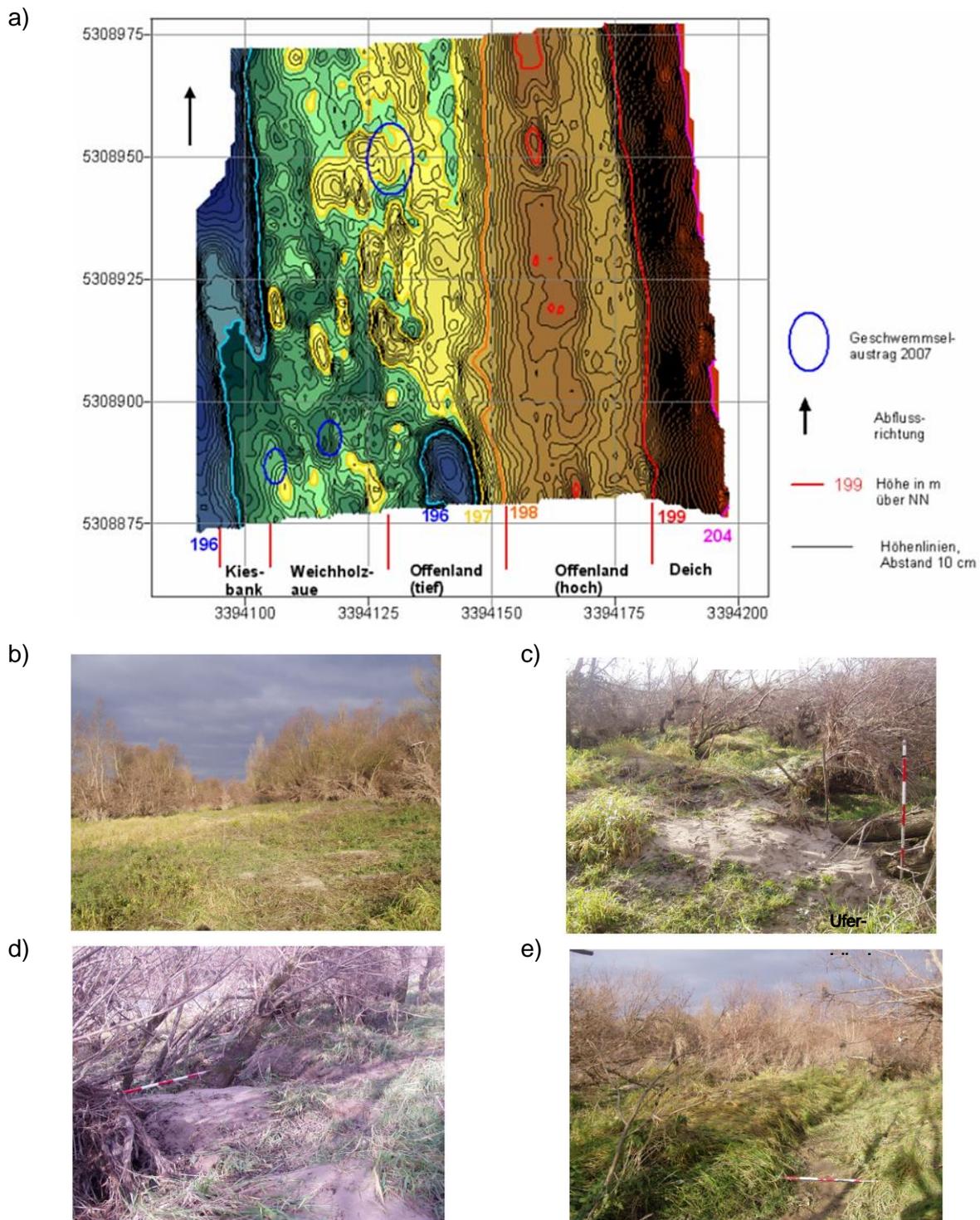


Abb. 3.3 Topographie des Untersuchungsgebietes bei Hartheim auf der Grundlage von Vermessungsdaten vom Dezember 2007 (Bild a) sowie Aufnahmen des Bewuchsbestandes: b) Höherer Offenlandbereich mit niedriger Krautschicht und Solitär-bäumen sowie geringfügiger Verbuschung und Sandablagerungen, c) Sandablagerungen und Rehenbildung in der Weichholzaue, d) Sandablagerungen und Kolkbildung im Bereich eines Gehölzstammes, e) Abflussrinne in der Weichholzaue (aus: WIRTZ und BÖLSCHER, 2008)

### 3.2 Sedimenthaushalt der Elbe

Bevor die Beobachtungen über das Erosions- und Sedimentationsverhalten von Feinsedi- ment auf einem ähnlichen Testfeld der unteren Mittel- elbe, wie den beiden am Oberrhein, vorgestellt wird, sollen zunächst Informationen über den Sedimenthaushalt der Elbe präsen- tiert werden.

Zur Abschätzung des Sedimenthaushaltes der Elbe sind die beiden Indikatoren Mittlere Sohl- höhenänderung und Schwebstofffracht von besonderer Bedeutung. Eintiefungsprozesse der Sohle sind mit Wasserspiegellagenveränderungen im Gewässer und i.d.R. auch des Grundwassers verbunden. Dies führt langfristig zur Entkopplung von Gewässer und Aue (BfG-Mitteilung Nr. 30, 2014). Schwebstoffe können sich auf den Vorländern ablagern und beschleunigen dadurch den Entkopplungsprozess. Weiterhin wird durch die abgelagerten Sedimente, der für den Hochwasserabfluss erforderliche Fließquerschnitt reduziert. Daher sind beide Indikatoren auch für die Nachhaltigkeit der Gewässermorphologie von zentraler Bedeutung.

#### 3.2.1 Sohlenhöhenänderungen entlang der Elbe

Die Sohlenhöhenentwicklung der gesamten deutschen Binnene- lbe (Elbe-km 0 bis 586) wurde über einen Zeitraum von 106 Jahren analysiert und daraus folgend eine Bewertung für den hydromorphologischen Indikator Mittlere Sohlenhöhenänderung abgeleitet (BfG-Mitteilung Nr. 30, 2014). Das Ergebnis dieser Bewertung ist in Abb. 3.4 dargestellt. Danach befindet sich die untere Mittel- elbe in einem hydromorphologisch sehr guten bis mäßigen, lokal aber auch unbefriedigenden Zustand.

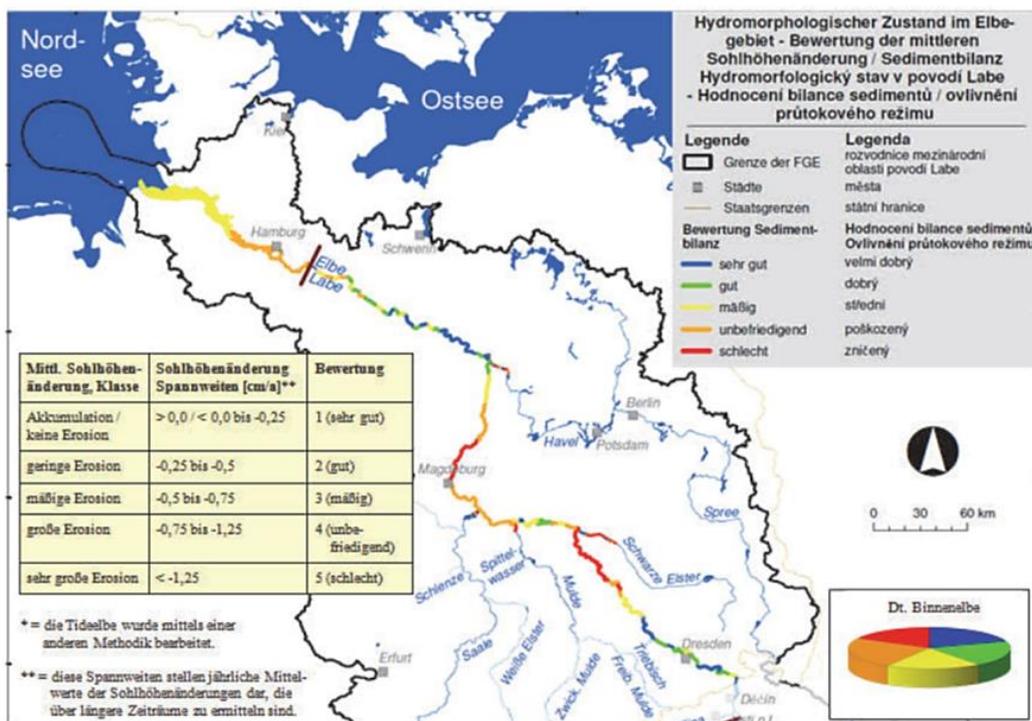


Abb. 3.4 Bewertung des hydromorphologischen Indikators Mittlere Sohlenhöhenänderung für die deutsche Binnene- lbe und die Unterläufe von Schwarzer Elster, Mulde, Saale und Havel (aus: BfG-Mitteilung Nr. 30, 2014)

Durch die Mittelwasserregulierung, aber auch durch natürliche Prozesse wurde zwischen 1730 und 1890 der Laufweg von Schnackenburg bis Geesthacht um 3,6 km verkürzt und der Windungsgrad verringert. In Kombination mit der Niedrigwasserregulierung sowie Geschieberückhalt durch den Bau von Talsperren, Rückhaltebecken und Staustufen an der Elbe und den Nebenflüssen führte dies zu Sohlenerosionen. Der Gewässerrand bzw. das Vorland ist im Gegensatz dazu durch Sedimentation gekennzeichnet. Bühnenfeldverlandung und Rehenbildung führten zu einer weiteren Konzentration des Abflusses in der Gewässermitte bzw. zu späterem Ausufernd und damit zu weiterhin erhöhtem Angriff der Sohle. Für den Zeitraum von 1893 bis zum Bau des Wehres Geesthacht wurde ein Absinken des Niedrigwasserspiegels bei Boizenburg (Elbe-km 559,5) um 98 cm ermittelt, was einer Erosionsrate von 1,38 cm pro Jahr entspricht. Um diese starke Erosion zu stoppen und den Wasserspiegel unterhalb von Neu Darchau zu stützen, wurde 1960 die Staustufe Geesthacht (Elbe-km 586) in Betrieb genommen.

Ab Lauenburg (Elbe-km 564) macht sich heute die rückstauende Wirkung der Staustufe Geesthacht durch geringere Strömungsgeschwindigkeiten bemerkbar. Somit kommt es zu verstärkter Sedimentation der mitgeführten Schwebstoffe. Der Korndurchmesser der Sohlensedimente nimmt demzufolge in diesem Abschnitt weiter ab und liegt vornehmlich im Mittelsandbereich (0,3 – 0,7 mm), wobei es örtlich zu Ablagerungen von Schlick kommen kann (aus: Dittrich et al., 2008a).

Weiterhin sind an der unteren Mittel-Elbe für den Abfluss der Hochwässer auch die Bildung von Sandbänken und Transportkörper im Flusslauf von Relevanz. Vor allem in der Reststrecke (Elbe-km 508 - 521) bremsen Transportkörper und Sandbänke ober- und unterstrom der starken Laufkrümmungen die Strömung soweit, dass es zu Eisstau kommen kann bzw. bei besonders niedrigen Wasserständen die Eisschollen an den Untiefen hängen bleiben können (siehe auch Kap. 4). Der Website der WSV kann entnommen werden, dass die Reststrecke dadurch charakterisiert ist, dass der Abstand zwischen den Bühnen hier um 50 m größer als in den ober- und unterhalb liegenden Bereichen der Elbe ist. Durch die vorhandene große Aufweitung fließt der Fluss langsamer. Dies führt zu verstärkten Ablagerungen an der Flusssohle und zu wandernden Sandbänken. Die dadurch entstehende ständige Veränderung der Fahrrinne verschlechtert die Fahrrinnenverhältnisse für die Schifffahrt.

### **3.2.2 Schwebstofffrachten im Elbegebiet**

Die nachfolgenden Informationen über die Schwebstofffrachten im Elbegebiet und die damit verbundenen Sandablagerungen auf den Vorländern stammen aus dem LWI-Bericht Nr. 958 (Dittrich et al., 2008a) und der BfG-Mitteilung Nr. 31 aus dem Jahr 2014 über „das Hochwasserextrem des Jahres 2013 in Deutschland: Dokumentation und Analyse“ und der in Krüger et al. (2014) beschriebenen Studie.

Anhand von Vermessungen und historischen Karten hat Rommel (aus: Dittrich et al., 2008a) für die Strecke Dömitz bis Hitzacker (Elbe-km 505 – 525) eine durchschnittliche Erhöhung des Vorlandes von lediglich 16 cm in 100 Jahren (im Mittel 1,6 mm/Jahr) ermittelt. Damit beträgt der mittlere Flächenverlust im Hochwasserprofil in 100 Jahren nur 95 m<sup>2</sup>; was etwa 3,4 % der von einem HQ<sub>5</sub> beanspruchten Fläche entspricht. Diese geringe Sedimentationshöhe

unterstützt die Schlussfolgerung der BfG (aus: Dittrich et al., 2008a), dass während des Hochwassers 2006 keine Hinweise für Sedimentation in diesem Bereich der Elbe vorliegen.

Detaillierte Geländemessungen von Rommel im Bereich von Elbe-km 520,3 bis 522,6 ergaben Sedimentationsraten von 2,4 – 6,2 mm pro Jahr ufernah und 1,5 – 3,0 mm uferfern. Die Untersuchung verdeutlicht die Variabilität der Auflandungen in Abhängigkeit von der Entfernung zum Flussschlauch. Im Vergleich zu der bereits erwähnten Aufhöhung im Mittel von 1,6 mm/Jahr zeigen diese Sedimentationsraten, dass es nahe dem Flussschlauch zu erheblichen Auflandungen kommen kann (bis zu 62 cm in hundert Jahren). Dieses ist vermutlich auf die Rehenbildung zurückzuführen. Für sehr große Entfernungen zum Flussschlauch ergaben die Untersuchungen von Rommel fast keine Änderungen in der Vorlandhöhe. Allerdings schränkt Rommel die Aussagekraft seiner Studie dahingehend ein, dass die Datengrundlage begrenzt war und eine allgemeine Aussage aufgrund von Arbeiten im Vorland (z.B. Vorlandplanung) erschwert wurde.

Auch Krüger et al. (aus: Dittrich et al., 2008a) stellten fest, dass die Höhe der Ablagerungen auf dem Vorland stark von der Vorlandtopographie und dem Abstand zum Fluss abhängen. Für den Bereich von Elbe-km 435 – 523 ermittelten sie Sedimentationsraten zwischen 2 und 15 mm/Jahr. Die hohen Sedimentationsraten wurden zumeist in ufernahen Bereichen, die maximal 0,5 m höher liegen als der Wasserstand bei MQ, beobachtet.

Anhand der beschriebenen Ergebnisse kann festgestellt werden, dass im Bereich bis Hitzacker zurzeit nicht von einer signifikanten Erhöhung der Vorländer ausgegangen werden kann. Unterhalb von Hitzacker bis zum Wehr Geesthacht wurden jedoch noch keine ausführlichen Studien durchgeführt.

In Abb. 3.5 sind über das Hochwasserereignis aus dem Jahr 2013 Gesamtschwebstofffrachten im Längsschnitt der Elbe im Vergleich zu einer mittleren Jahresfracht auf Basis der Zeitreihen zwischen 1992 bis 2012 dargestellt. Im Maximum lag die Gesamtschwebstofffracht des Ereignisses von 2013 im Bereich Torgau bis Aken bei ca. 80 % der mittleren Jahresfracht. An den weiteren Messstellen im Bereich von Pirna bis einschließlich Magdeburg betrug die Gesamtfracht ca. 50 % der mittleren Jahresfracht. Zur unteren Mittelelbe hin fällt der Anteil stetig bis auf 18 % an der Messstelle Hitzacker ab. Der signifikante Rückgang der Schwebstofffrachten des Ereignisses von 2013 im Längsverlauf, d.h. in Fließrichtung, resultiert nach BfG-Mitteilung Nr. 31 (2014) vermutlich aus dem Sedimentrückhalt auf Überflutungsflächen oder in Stauhaltungen oder anderen strömungsberuhigten Bereichen. Der Rückhalt an Feinsedimenten in den Überflutungsflächen zwischen Barby und Hitzacker über das gesamte Ereignis hinweg lag in der Größenordnung von 190.000 Tonnen. Im Vergleich dazu beträgt die Schwebstofffracht bei Hitzacker über das gesamte Ereignis hinweg ca. 110.000 Tonnen, wogegen im langjährigen Mittel ca. 600.000 Tonnen transportiert werden (siehe Abb. 3.5).

Das UFZ und ELENA (aus: Krüger et al., 2014) haben während des extremen Frühjahrs-hochwassers im Jahre 2006 in einer 19tägigen Beprobungskampagne an Mulde, Saale und Elbe zwischen Roßlau und Magdeburg zeigen können, dass bis zu 51 % der täglichen Schwebstofffrachten in den Auen zurückgehalten werden können und dass während des

Betrachtungszeitraumes insgesamt auf einer Fläche von 12.500 ha 80.000 t Schwebstoff zurückgehalten wurden.

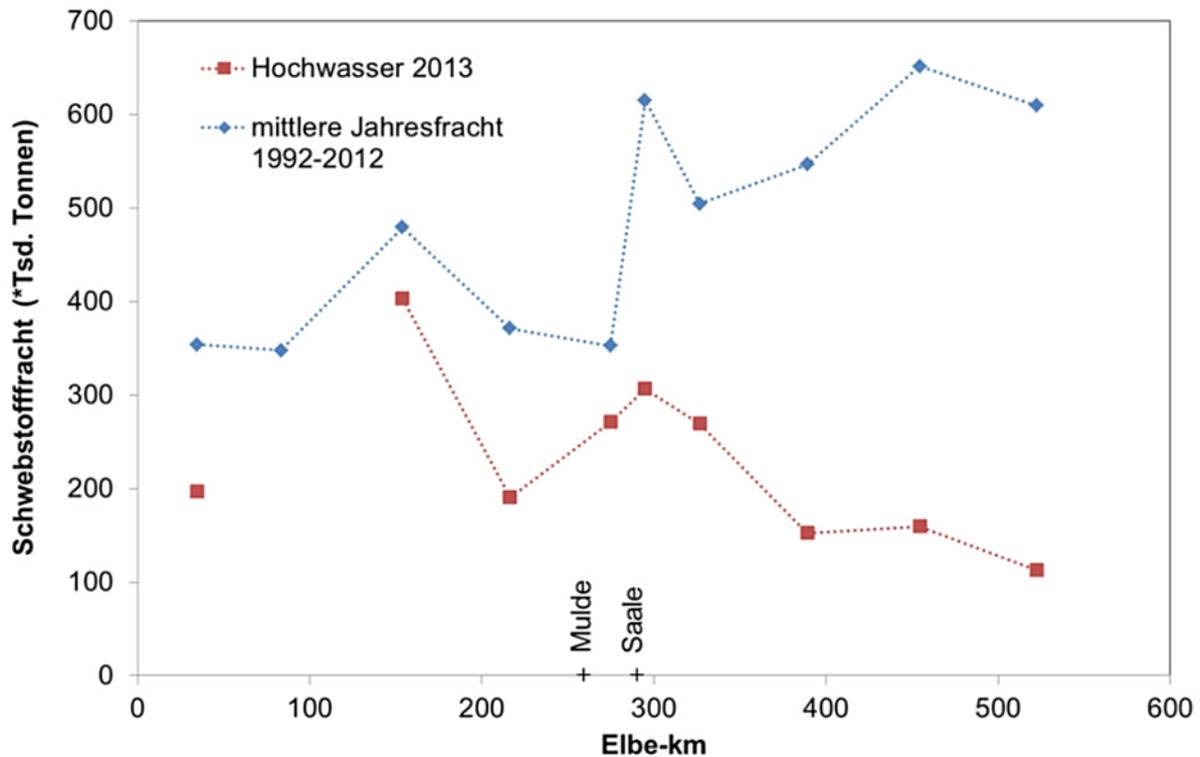


Abb. 3.5 Vergleich der Gesamtschwebstofffracht des Hochwasserereignisses 2013 mit der mittleren Jahresfracht von Feinsedimenten im Längsschnitt der Elbe (aus: BfG-Mitteilung Nr. 31, 2014)

Der BfG-Mitteilung Nr. 31 (2014) kann weiterhin entnommen werden, dass an der Messstelle Hitzacker die Schwebstoffkonzentration während des Durchlaufes der Hochwasserwelle Anfang Juni 2013 das Jahresminimum erreichte und anschließend wieder deutlich anstieg (siehe Abb. 3.6). Dieser Sachverhalt wird wiederum u.a. mit dem Rückhalt der Feinsedimente auf den Vorländern der Elbe oberstrom von Hitzacker begründet. Weiterhin bemerkenswert ist, dass in der unteren Mittelelbe vor allem im Sommer eher eine negative Korrelation zwischen Schwebstoffkonzentration und Abfluss besteht. Zuzufolge Abb. 3.6 werden die hohen Schwebstoffkonzentrationen vor und nach Ablauf der Hochwasserwelle, d.h. bei relativ geringen Abflüssen, erhalten. Dieses könnte eine Erklärung für die geringe Erhöhung der Vorländer durch Feinsedimentablagerungen sein. Die Sedimente gelangen bei geringen Abflüssen und vorhandenen Rehren vermutlich nicht auf die Flächen der Vorländer, sondern bleiben im Flussschlauch.

Aus der Studie von Krüger et al. (2014) kann dazu entnommen werden, dass die größten Sedimentfrachten in der Regel vor dem eigentlichen Hochwasserscheitel auftreten. Die größten Schwebstoff- oder Sedimentfrachten treten im Zusammenhang mit der Überschreitung des Abflussschwellenwertes auf, in dessen Folge die kritische Sohlenschubspannung am Gewässer- und Bühnenfeldgrund überschritten wird, so dass gewässerinterne Erosion auftritt.

Der Vergleich dieser Messdaten mit den Ablagerungsmengen auf dem Elbe-Vorland zwischen Geesthacht und Artlenburg (siehe Foto 3.5) legt jedoch die Vermutung nahe, dass während des Hochwassers im Januar 2011 andere Schwebstofftransportverhältnisse vorlagen und/oder der Elbeabschnitt auf Foto 3.5 keine Rehen aufweist. Dieses untermauert bereits auf großer Skala (sowohl in Raum und Zeit) die Komplexität des Transportes von Feinsediment bei Hochwasser und damit das Wechselspiel zwischen Strömung, Sediment und Pflanze. Wesentlich komplexer stellt sich dieses Wechselspiel auf kleiner Skala dar. Dieses soll wieder anhand eines Untersuchungsgebietes, dieses Mal jedoch an der Elbe im Bereich „Wendewischer Werder“, erläutert werden.

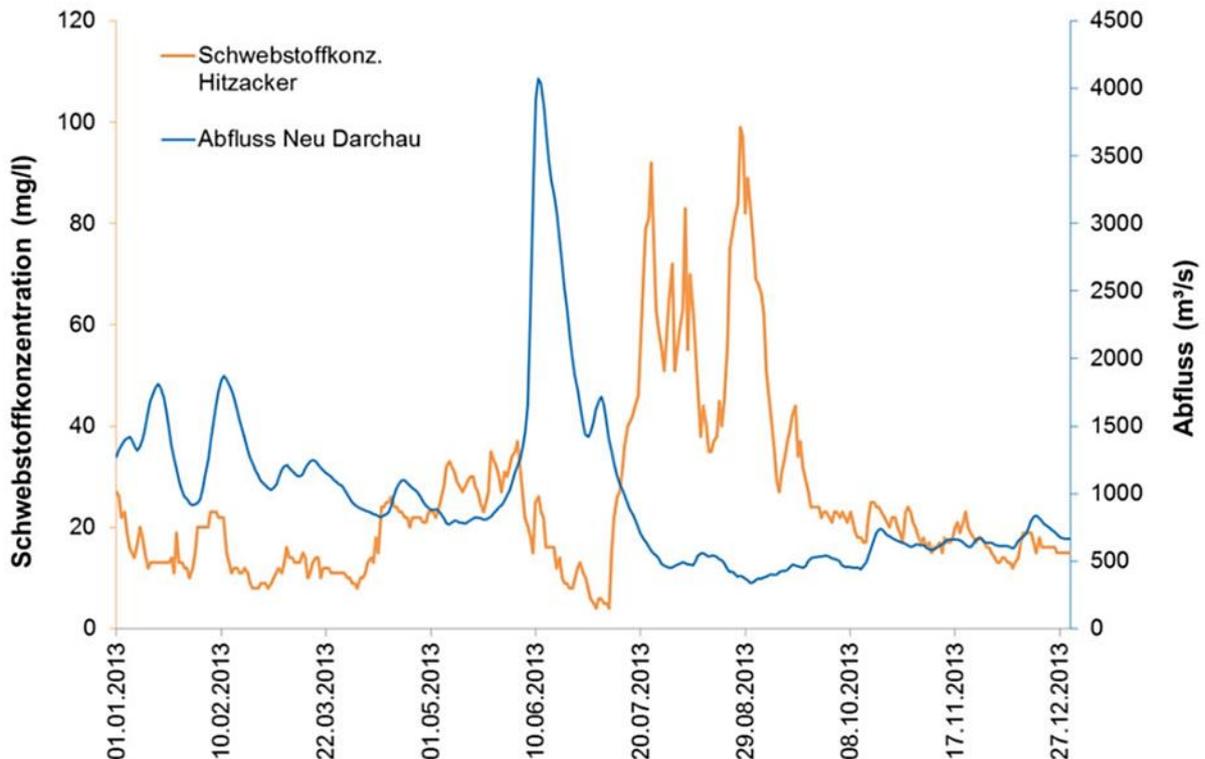


Abb. 3.6 Schwebstoffkonzentrationen an der Messstelle Hitzacker (Elbe-km 522,6) und Abflüsse am Bezugspegel Neu Darchau (Elbe-km 536,44) für das Kalenderjahr 2013 (aus: BfG-Mitteilung Nr. 31, 2014)

### 3.3 Absetzverhalten der Elbesedimente im Bereich „Wendewischer Werder“

Bei dem Untersuchungsgebiet „Wendewischer Werder“ handelt es sich um einen Vorlandabschnitt bei Elbe-km 562. Dieses Gebiet diente als Pilotfläche zur Überprüfung von Unterhaltungsmaßnahmen mit der Zielsetzung, ob wieder aufkommender Bewuchs nach Rückschnitt durch eine intensive Beweidung unterbunden bzw. reduziert werden kann (siehe hierzu LWI-Bericht Nr. 931, aus: Koll, 2006). Die Beseitigung der Verbuschung auf dieser Fläche bedeutete aber auch einen gravierenden Einfluss auf das Erosions- und Sedimentationsverhalten der bei Hochwasser transportierten Schwebstoffe (überwiegend Sande). Dieses soll nachfolgend anhand von Ablagerungshöhen und Erosionstiefen verdeutlicht werden.

Die Rückschnittsflächen sind in Abb. 3.7 fotografisch festgehalten. Der Auswahl der Flächen lag die Idee zugrunde, dass die Strömung entlang der Hauptfließwege nicht behindert wird. Quer zur Hauptströmung stehende Riegel wurden zur Reduzierung des Fließwiderstandes geöffnet (Flächen 1, 2a und 3) und Längsriegel aus dicht stehenden Büschen und Bäumen ausgedünnt (Flächen 3 und 5). Die im Bereich der Fläche 5a erkennbare Fließrinne wurde ausgeräumt. Weiterhin wurde die flächige Verbuschung in den Gebieten 2b und 4 beseitigt. Bei der Begehung wurde eine Biberburg entdeckt. Der Bereich wurde aus den rückzuschneidenden Flächen ausgenommen, um die Burg nicht zu beschädigen.

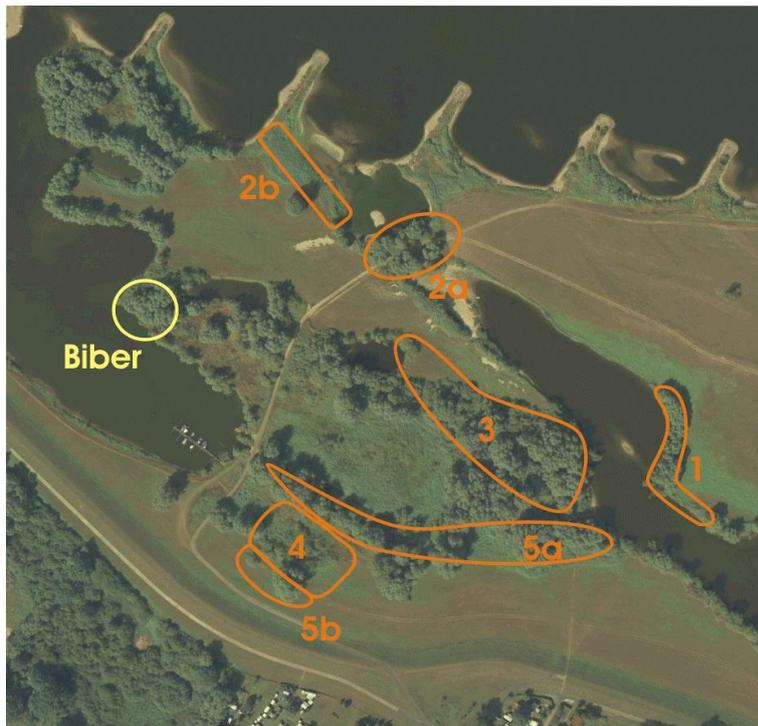


Abb. 3.7 Luftaufnahme der Rückschnittsflächen im Vorland „Wendewischer Werder“ (aus: Koll, 2006)

Durch die Beseitigung der Verbuschung entlang der Ufer können die mit einem Hochwasser transportierten Feinsedimente auf das Vorland gelangen und dort abgelagert werden. Andererseits kann der nach der Entbuschung ungeschützte Boden erodiert werden. Das Frühjahrshochwasser 2006 zeigte, dass der mitgeführte Sand bis weit in das Vorland hinein transportiert wurde und dort zu großen Ablagerungen führte. Die ausgemessenen Ablagerungshöhen und Erosionstiefen sind in Abb. 3.8 dargestellt. Die höchsten Ablagerungen wurden in der Fläche 5a mit einer Mächtigkeit von bis zu 51 cm festgestellt (vergleiche Abb. 3.7 und 3.8 sowie Foto 3.8). Es wird vermutet (Koll, 2006), dass dieses auf die wieder geöffnete Fließrinne zurückzuführen ist. Die Fließrinne führt bis zu dem Unterhaltungsweg, der quer über das Vorland verläuft und unterhalb dessen sich ein Durchlass befindet. Direkt oberstrom des Durchlasses wurden weitere Ablagerungen festgestellt und der Unterhaltungsweg selbst war sehr stark versandet (Foto 3.9).



Abb. 3.8 Ablagerungshöhen und Erosionstiefen nach dem Frühjahrshochwasser 2006 (aus: Koll, 2006)



Foto 3.8 Sandablagerungen auf der Rückschnittsfläche 5a (aus: Koll, 2006)



Foto 3.9 Ablagerungen auf dem Unterhaltungsweg nach dem Frühjahrshochwasser 2006 (Quelle: Thiemann)

Das Hochwasser verursachte generell große Sandablagerungen in dem Untersuchungsgebiet (siehe auch Foto 3.10). Erosionen waren nur lokal zu verzeichnen. Hier fällt der vom Unterholz befreite Bereich 3 auf, in dem vorübergehend ein lokaler Kolk von 1,05 m Tiefe auftrat. Vermutlich wurde dieser mit der ablaufenden Hochwasserwelle wieder um ca. 15 cm verfüllt (s. Abb. 3.8).



Foto 3.10 Rückschnittsfläche 3, Blick in Richtung Elbe auf das östliche Ufer des großen Bracks (aus: Koll, 2006)

Die Vielschichtigkeit der dokumentierten Sandablagerungen verdeutlicht erneut das komplexe Wechselspiel zwischen Strömung, Sediment und Pflanze, und die Höhe der Ablagerungen verdeutlicht ihre Bedeutung für die Hochwasserabfuhr und die Nachhaltigkeit geplanter Maßnahmen. Durch die Vorlandaufhöhungen wird der zur Hochwasserabfuhr erforderliche Abflussquerschnitt verringert und der Wasserspiegel steigt an.

### 3.4 Abflussverbessernde Maßnahmen und Sedimente

Aufgrund der Tatsache, dass der Transport von Feinsediment stark mit dem lokalen Strömungsfeld gekoppelt ist, soll nachfolgend auf der Grundlage der vorangegangenen Ausführungen und Plausibilitätsüberlegungen eine Abschätzung über das Sedimentations- und Erosionsverhalten der Elbesedimente im Bereich der abflussverbessernden Maßnahmen vorgenommen werden. Die Strömungsberechnungen aus der 2D-Modellierung können hierfür leider nur bedingt herangezogen werden, da sie nur für  $HQ_{100}$  durchgeführt wurden. Für das Absetzverhalten der Feinsedimente sind aber wesentlich geringere Abflüsse maßgebend (siehe Kap. 3.2.2 und Abb. 3.6).

#### 3.4.1 Vegetationsbezogene Maßnahmen

Für die vegetationsbezogenen Maßnahmen, wie Gehölzrückschnitt und Aufastung, kann auf der Grundlage der vorausgegangenen Ausführungen die allgemeine Aussage gemacht werden, dass das Erosions- und Sedimentationsverhalten im Bereich der Pflanzen entscheidend von der vorhandenen Sedimentfracht, der lokalen topographischen Situation und den lokalen Strömungsgeschwindigkeiten sowie der Art des Bewuchses abhängig ist. Unter lokaler Situation ist ein Bereich um die Pflanzen im Meter- bis Dezimeterbereich zu verstehen. Da hierüber keine Informationen bzw. Daten vorliegen und damit eine Quantifizierung unmöglich ist, spielt die Gewässerunterhaltung eine zentrale Rolle. Eine Minimierung der Ablagerungen von Feinsediment ist nur durch Austesten unterschiedlicher Methoden der Gewässerpflege möglich.

Auf größerer Skala können dagegen konkretere Hinweise zum Umgang mit Bewuchs auf den Vorländern der Elbe und entlang des Ufersaumes gegeben werden. Durch gezieltes Entfernen von Querriegeln und flächigem Bewuchs am Ein- und Ausströmbereich der Vorländer können Wasserspiegelabsenkungen von mehreren Zentimetern erreicht werden (Dittrich et al., 2008b). Als Querriegel werden dabei Riegel bezeichnet, die bei Hochwasserabfluss quer zur Strömungsrichtung stehen (siehe Foto 3.11). Durch Querriegel wird der Wasserstand aufgestaut und der Fließquerschnitt durch zurückgehaltenes Treibgut nicht selten erheblich verringert. Uferbegleitender oder flächiger Bewuchs am Vorlandauslauf behindert die Rückströmung vom Vorland in den Fluss und führt dadurch zu einem Aufstau und Sedimentablagerungen. Die Stauwirkung eines Hindernisses und das damit verbundene Ablagerungsverhalten der Sedimente hängt von der Geschwindigkeit ab, mit der es angeströmt wird. Die Beseitigung eines Hindernisses in einem schneller durchströmten Bereich ist deshalb effektiver als in einem langsam durchströmten Bereich. Ein in Strömungsrichtung angeordneter Ufersaum mit Rehne verhindert den Eintrag von Sediment auf das Vorland und trägt damit zur Reduzierung der Ablagerungsraten bei. Allerdings blockiert ein durchgehender Ufersaum das Einströmen des Wassers auf das wasserspiegelsenkende Vorland. Deshalb müssen Ein- und Ausströmbereiche der Vorländer von Bewuchs freigehalten werden.



Foto 3.11 Querbarriere auf dem Elbe-Vorland bei Magdeburg im Jahr 2002 (Quelle: Bundesanstalt für Wasserbau)

### 3.4.2 Topographiebeeinflussende Maßnahmen

Bei den topographiebeeinflussenden Maßnahmen handelt es sich um Vorlandabgrabungen, Flutrinnen und Flutmulden bzw. dem Anschluss von Altarmen. Das Widerstands- und Erosions-/Sedimentationsverhalten der abgegrabenen Flächen kann entscheidend durch die Art der Gewässerunterhaltung beeinflusst werden. Ein Aufsedimentieren der Flächen wird jedoch nicht zu verhindern sein. Flutrinnen, unterstrom angeschlossene Flutmulden und Altarme haben eine beschleunigende und damit Wasserspiegel senkende Wirkung. Voraussetzung ist allerdings, dass sie entsprechend durchströmt und insbesondere im Ein- und Auslaufbereich hinreichend große Fließgeschwindigkeiten vorliegen. D.h. Sekundärströmungen oder gar Rückströmungen müssen vermieden werden. Gelingt dies nicht, besteht die Gefahr der Verlandung. Flutrinnen oder -mulden auf „grüner Wiese“ mit Fließrichtung quer zur Hauptströmungsrichtung, wie in Abb. 2.3 dargestellt, wirken als Sedimentfallen und werden verlanden. Gut durchströmte Flutrinnen im Auewald können dagegen für den Sedimentaustrag aus der Fläche förderlich sein und Wasserspiegel senkend wirken. Dieses würde z.B. für den auf Foto 3.11 erkennbaren Auewald bei Vorhandensein einer Flutrinne zutreffen. Generell kann aber davon ausgegangen werden, dass sämtliche topographiebeeinflussende Maßnahmen nicht nachhaltig sind.

Die Aussage wird auch durch die Untersuchungen von Büttner et al. (aus: Krüger et al., 2014) bestätigt. Diese führten zweidimensionale Modellierungen zum Sedimenteintrag eines 14tägigen Hochwassers im Jahr 1998 an der Mittel-Elbe zwischen km 436 – 440 durch. Es wurde festgestellt, dass ca. 1000 t Sediment auf einer Fläche von 200 ha zurückgehalten wurden, wobei ca. 1/4 bis 1/3 des eingetragenen Sedimentes in Altarmen des Vorlandes sedimentierte, die jedoch nur 10 % der Vorlandfläche ausmachten.

### **3.4.3 Deichrückverlegungen**

Zur Abschätzung der Wirkung von Deichrückverlegungen auf den Wasserstand sowie das Ablagerungsverhalten der Sedimente sollen zunächst allgemeine Betrachtungen durchgeführt und Sachverhalte vorgestellt werden. Anschließend sollen diese Erkenntnisse zur Abschätzung der Nachhaltigkeit der modellierten Deichrückverlegungen (siehe BfG-Bericht 1848b) genutzt werden.

#### ***Allgemeine Betrachtungen***

Aus Untersuchungen des Leichtweiß-Institutes für Wasserbau ist bekannt (siehe z.B. Dittrich et al., 2008b), dass insbesondere kurze oder plötzliche Aufweitungen zu einem Aufstau anstatt zu der im Allgemeinen beabsichtigten Absenkung führen können. Bei plötzlicher Aufweitung des Hochwasserprofils entstehen Rückströmzonen, in denen die Geschwindigkeit bis auf null zurückgeht. Sie stellen daher prädestinierte Ablagerungszonen dar (Dittrich und Huppmann, 2013) und stehen bereits nach kurzer Zeit dem effektiven Abflussquerschnitt nicht mehr zur Verfügung. Aus der Rohrhydraulik ist bekannt, dass bereits ab Erweiterungs- und Einschnürwinkel größer  $8^\circ$  derartige Rückströmgebiete auftreten. Deshalb ist bei Deichrückverlegungen darauf zu achten, dass die Verlegung der Deichlinie unter einem möglichst kleinen Verziehungswinkel erfolgt.

Deichrückverlegungen bedeuten die Aufweitung des Gewässerkorridors und führen zur Reduzierung der Fließgeschwindigkeiten auf den Vorländern und im Flussschlauch. Sie stellen damit Sedimentfallen dar. Bei der Einströmung des Wassers aus der Fläche in den vorhandenen Flussschlauch entsteht beschleunigte Strömung, die zur Tiefenerosion im Hauptgerinne führen kann. Auch hierbei ist der Einschnürwinkel von großer Bedeutung.

#### ***Deichrückverlegung Vitico***

Die DRV Vitico erstreckt sich zwischen Elbe-km 551,2 und 554,5 auf dem linken Vorland und befindet sich hinter dem vorhandenen Bewuchsriegel (siehe Abb. 3.9). Bei niedrigeren Durchflüssen wird sich das Sediment vermutlich oberstrom des Bewuchsriegels ablagern und somit die DRV nicht signifikant beeinflussen.

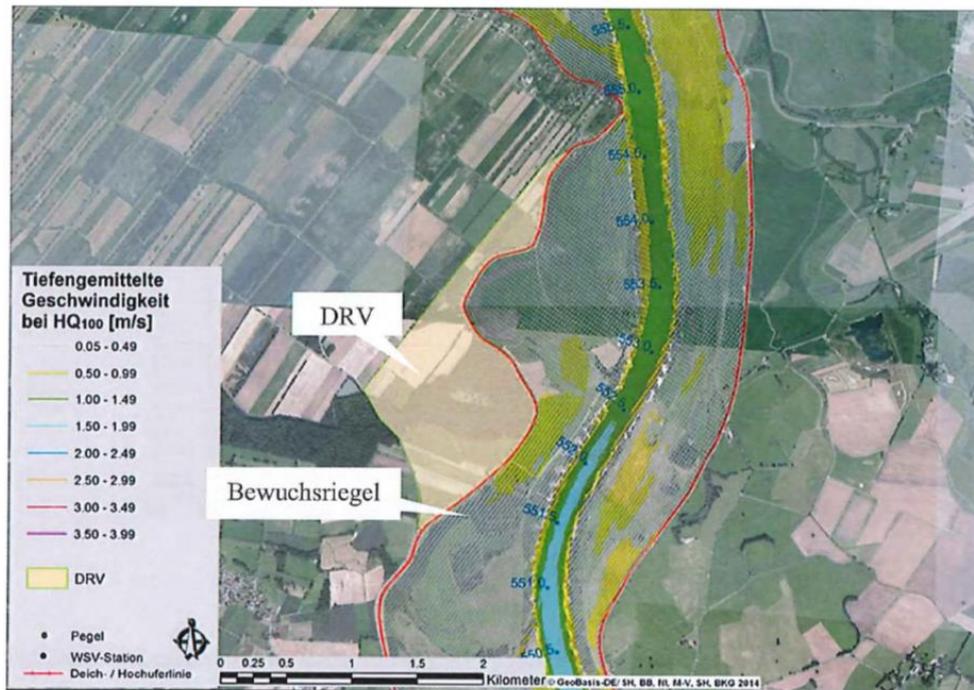


Abb. 3.9 Tiefengemittelte Strömungsvektoren im Referenzzustand bei HQ<sub>100</sub> für die DRV Vitico (aus: BfG-Bericht 1848, 2015)

### Deichrückverlegung Prilipp

Für die DRV Prilipp wurden zwei Varianten untersucht. Die Variante A erstreckt sich zwischen Elbe-km 525,5 und 529,2 auf dem rechten Vorland und beinhaltet einen Umflutkanal (Abb. 3.10). Da die Wirkung des Umflutkanals auf das Absetzverhalten der Sedimente nicht abgeschätzt werden kann, soll auf diese Variante nicht weiter eingegangen werden.

Die Variante B erstreckt sich zwischen Elbe-km 525,5 und 529,3 auf dem rechten Vorland und beinhaltet zwei Rückverlegungsbereiche (Abb. 3.11), wobei der oberstromige Bereich identisch mit dem der Variante A ist. Durch beide DRV wird über die gesamte Länge von Elbe-km 525,5 bis 529,3 eine ideale Führung der Deichlinie erhalten. Bei Elbe-km 528 wird die Elbesohle von dem erhöhten Strömungsangriff (siehe Abb. 3.11) entlastet werden. Das Ablagerungsverhalten der Sedimente wird sich durch diese beiden Maßnahmen nicht signifikant ändern und maßgeblich vom vorhandenen Bewuchs abhängig sein.

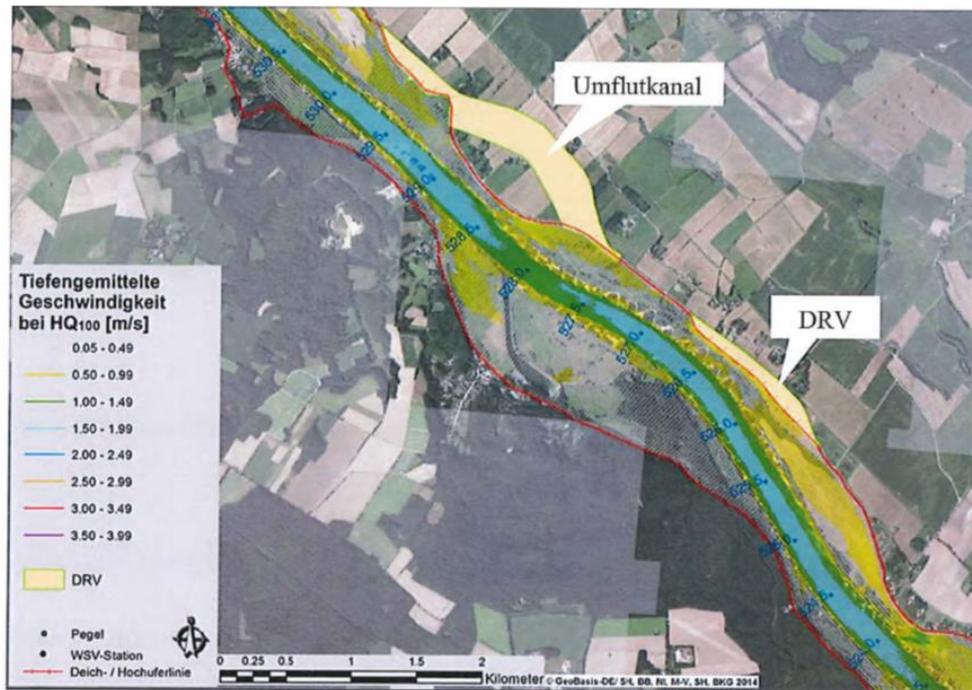


Abb. 3.10 Tiefengemittelte Strömungsvektoren im Referenzzustand bei HQ<sub>100</sub> für die DRV Prilipp in Variante A (aus: BfG-Bericht 1848, 2015)

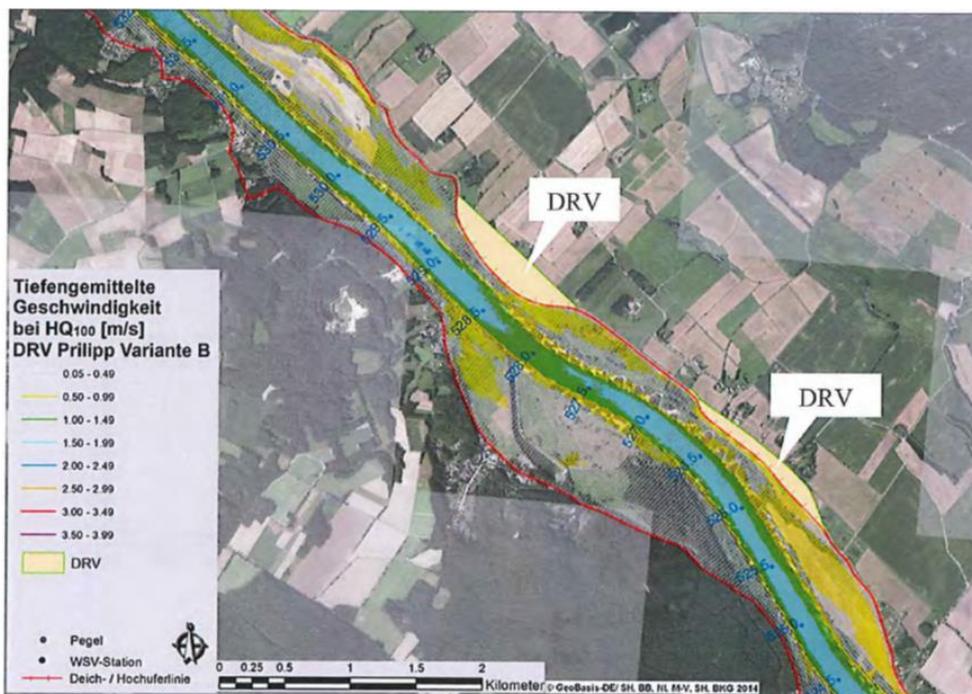


Abb. 3.11 Tiefengemittelte Strömungsvektoren im Referenzzustand bei HQ<sub>100</sub> für die DRV Prilipp in Variante B (aus: BfG-Bericht 1848, 2015)

## 4 Einfluss des Bewuchses auf den Eisgang

Die nachfolgenden Informationen resultieren aus den LWI-Studien über die „Überprüfung der hydraulischen Leistungsfähigkeit der Unteren Mittelelbe in Niedersachsen“ sowie den am LWI durchgeführten „Modellversuchen über Eisversetzungen bei Jasebeck/Elbe“. Die Ergebnisse aus diesen Studien sind in Dittrich et al. (2008 a und b) aufbereitet und Inhalt der vorliegenden Ausführung.

An der unteren Mittelelbe ist die von Eishochwasser ausgehende Gefahr nicht zu vernachlässigen. Durch Eisstau und darauf folgende Eisversetzung wird der Fließquerschnitt eingengt, wodurch der Wasserstand rasch ansteigen kann. Als Beispiel für die Geschwindigkeit und die Höhe des Wasserspiegelanstiegs ist in Abb. 4.1 der Pegelstand des Eishochwassers aus dem Jahr 1987 dargestellt.

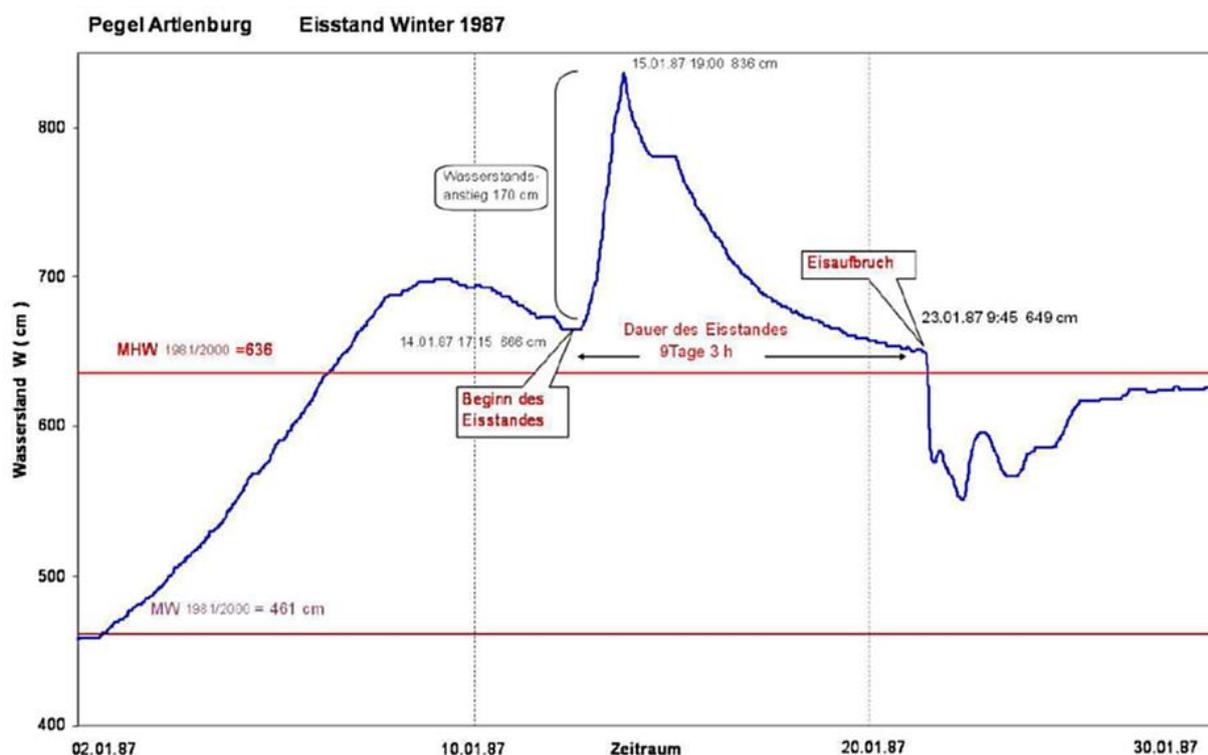


Abb. 4.1 Ganglinie des Eishochwassers von 1987 am Pegel Artlenburg (aus: NLWKN, 2006)

Eisstau und -versetzungen treten in Bereichen mit geringer Fließgeschwindigkeit sowie an Hindernissen auf, an denen die Eisschollen hängen bleiben können. Neben Brückenpfeilern sind dies dichter Baumbestand und Untiefen im Fluss (Gleithangbänke und Dünen).

Zur Entstehung und Vermeidung von Eisversetzungen wurde der Jasebecker Bogen in einem physikalischen Modell untersucht. Aufgrund der starken Laufkrümmung der Elbe in diesem Bereich (Elbe-km 515) kann der Eisstau im Fluss nicht verhindert werden. Ziel der Maßnahmen war es deshalb, die Eisabfuhr über das Vorland zu gewährleisten. Das Eis sollte so lange im Mittelwasserbett gehalten werden, bis die Wassertiefen über den Vorländern ausreichend hoch sind, um die Schollen ohne Kontakt mit dem Boden darüber hinweg trans-

portieren zu können. Weiterhin muss das Vorland frei von Hindernissen sein und ein ungehinderter Rückfluss vom Vorland in den Flussschlauch möglich sein.

Das späte Ausufernd wurde im Modell u.a. dadurch erreicht, dass die lückig vorhandene Uferrehne geschlossen wurde. Flutrinnen und Schneisen in vorhandenem Vorlandbewuchs erhöhen die Strömungsgeschwindigkeit auf dem Vorland, wodurch die Eisabfuhr auf dem Vorland verbessert wurde. Bereits im Mittelalter wurden die Vorländer der Elbe u.a. zur Verbesserung der Hochwasser- und Eisabfuhr gezielt gerodet. Die Elbstrombauverwaltung forderte 1898 zum Schutz vor Eishochwasser für die untere Mittelelbe die Einhaltung einer bewuchsfreien Breite im Hauptfließweg von mindestens 600 m.

Neben der Gefahr des Eisversatzes besteht weiterhin die Gefahr, dass die scharfkantigen Eisschollen die Deiche aufschlitzen (siehe Foto 4.1). Zum Schutz der Deiche empfehlen z.B. die IKSE und Gohlisch et al. (aus: Dittrich et al., 2008a) das gezielte Aufkommen von Auewald bzw. die Anpflanzung von mehrreihigen Eichenbeständen an der Wasserseite der Deiche.



*Foto 4.1 Schaden am Deich im Artlenburger Deichverband durch das Eishochwasser von 2003 (Quelle: Thiemann)*

## 5 Empfehlungen zur weiteren Entwicklung / Optimierung von abflussverbessernden Maßnahmen

An der unteren Mittelelbe zwischen Schnackenburg und dem Wehr Geesthacht entstehen kritische Hochwassersituationen auf zwei Arten: zum einen sind Hochwasserereignisse in der oberen Elbe die Ursache für Frühjahrs- und Sommerhochwasser und zum anderen können die Wasserstände in den Wintermonaten durch Eisversetzungen rapide ansteigen. Unterstrom des Wehres Geesthacht stellen Sturmfluten die maßgebliche Hochwassergefahr dar. Die untere Mittelelbe hat damit keine Unterlieger, die es durch Rückhalt des Abflusses zu schützen gilt. Vorrangiges Ziel der Hochwasserschutzmaßnahmen an der unteren Mittelelbe muss es deshalb sein, den Hochwasserabfluss aufstaufrei nach unterstrom weiterzuleiten, d.h. die hydraulische Leistungsfähigkeit der Elbe zu gewährleisten. Diese wird durch die Geometrie und die Rauheit des Hochwasserprofils im Längs- und Querschnitt bestimmt. Die Ursachen für eine unzureichende Leistungsfähigkeit können zusammenfassend auf ein zu geringes Abflussprofil im Problembereich selbst bzw. auf Rückstau verursachende Hindernisse unterstrom des Problembereiches reduziert werden. Hindernisse, die an der unteren Mittelelbe überwiegend einen Rückstau verursachen, sind Vor- und Rücksprünge der Deichlinie, Unebenheiten in der Vorlandtopographie sowie Ufer- und Vorlandbewuchs.

Das Ziel des zu erstellenden Rahmenplanes zur Verbesserung des Hochwasserabflusses in der unteren Mittelelbe besteht in der Absenkung des Wasserstandes um mindestens 30 cm. Hierzu wurden von der BfG mittels eines 2D-hydrodynamisch-numerischen Modells zahlreiche abflussverbessernde Maßnahmen auf die Wasserspiegellage im HQ<sub>100</sub>-Fall untersucht (siehe Kap. 2). Die Untersuchungen haben ergeben, dass im Maximum Wasserspiegelabsenkungen in der Größenordnung von einem Dezimeter erhalten werden. Damit kann die formulierte Zielvorstellung nicht erreicht werden. Diese gilt stellenweise auch für den Fall des vollständigen Gehölzrückschnitts. Der Bereich, in dem eine Absenkung von 30 cm nicht erzielt wird, ist der Elbeabschnitt von km 560 bis km 586 (Abb.A.30 aus BfG-Bericht 1848a, 2015). Hinzu kommt, dass bei der eingeschlagenen Vorgehensweise der Sedimenttransport und der Eisgang nicht berücksichtigt wurden. Beide können zu einer zusätzlichen Verschärfung der Hochwassersituation beitragen und sind bei den weiteren Betrachtungen zu berücksichtigen. Weiterhin ist das Sedimentationsverhalten der Feinsedimente ein wichtiges Kriterium zur Abschätzung der Nachhaltigkeit geplanter Maßnahmen.

Aufbauend auf den Informationen und Daten der vorangegangenen Kapitel sowie einer vom LWI durchgeführten umfangreichen Literaturrecherche von ca. 400 Literaturstellen (LWI-Bericht Nr. 958) soll der Versuch unternommen werden, ein Konzept zu entwickeln, mit dem die formulierte Zielvorstellung erreicht werden kann. Dabei wird die Vorgehensweise eingeschlagen, dass auf großer Skala beginnend bis hin zu kleineren Skalen Empfehlungen zur weiteren Entwicklung / Optimierung von abflussverbessernden Maßnahmen erarbeitet werden.

## 5.1 Gewässerkorridor (übergeordnet)

Die Ausführungen der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) und der Elbstrombauverwaltung aufgreifend (aus: Dittrich et al., 2008a), wird für die untere Mittelelbe die Einhaltung einer bewuchsfreien Breite im Hauptfließweg von mindestens 600 m gefordert. Die Gebiete außerhalb dieses Gewässerkorridors sollten zusätzlich folgende Eigenschaften aufweisen:

- eine geringe Durchströmung des Waldgebietes, mit oder ohne Flutrinne, dass
- der Wald keinen Querriegel darstellt und parallel zur Strömung liegt, dass
- die vorhandene Deichhöhe Wasserspiegelanhebungen (Freibord) zulässt, dass
- die Deiche vor Eisschollen geschützt werden und dass
- infolge der Abflusskonzentration im Fluss keine schädliche Sohlenerosion entsteht.

Die Forderung nach einem mindestens 600 m breiten Gewässerkorridor stellt sich insbesondere im Elbeabschnitt zwischen Hohnstorf und Bleckede, in dem sich zahlreiche Engstellen befinden. Es würde sich deshalb anbieten, zunächst die Leistungsfähigkeit eines derartigen „virtuellen Korridors“ zu ermitteln. Dieses kann auf der Grundlage einer numerischen Simulation erfolgen, bei der die Engstellen entfernt und durch realistische Querprofile und Rauheitsbeiwerte ersetzt werden. Da zwischen Hohnstorf und Radegast die Bebauung bis weit an die Elbe heranreicht, sollte anschließend in einem zweiten Schritt die hydraulische Wirkung eines Umfluters für diesen Elbeabschnitt (siehe Abb. 5.1), einschließlich dem Flusslauf, untersucht und mit der hydraulischen Leistungsfähigkeit des virtuellen Gewässerkorridors verglichen werden. Falls mit diesem Umfluter und dem vorhandenen Flusslauf der Elbe eine ähnliche Leistungsfähigkeit erreicht werden kann, könnte dieses möglicherweise eine effektive und finanzierbare Variante sein. Die Tatsache, dass die hohen Schwebstoffkonzentration und die damit verbundenen Frachten vor und nach der Hochwasserwelle gemessen wurden (siehe Kap. 3.2.2), würden die Umsetzung bzw. Nachhaltigkeit dieser Maßnahme nicht beeinträchtigen, sondern möglicherweise sogar begünstigen. Grund dafür ist, dass durch die geringen Schwebstoffkonzentrationen es vermutlich in dem Umfluter nicht zu größeren Ablagerungen von Sediment kommt. Auch können durch die Wasserabzweigung mögliche Erosionstendenzen im Bereich Hohnstorf (siehe Abb. 2.5) reduziert werden. Entscheidend wird neben der Dimensionierung des Umfluters die Gestaltung des Ein- und Auslaufbereiches sein. Der Einlaufbereich muss derart ausgebildet werden, dass die Wassermassen möglichst effektiv dem Umfluter zugeführt werden und der Auslaufbereich derart konzipiert werden, dass es bei Rückführung des Wassers in die Elbe nicht zur Erosion der Flusssohle kommt.

Ein weiterer interessanter Aspekt dieser Variante ist, dass oberstrom der Ausleitung in den Umfluter möglicherweise der Wasserstand so weit sinkt, dass auf weitere zahlreiche Deichverlegungen (wie z.B. bei Bleckede oder Neu Darchau) verzichtet werden kann, wobei bei den Deichverlegungsmaßnahmen zwischen Deichrückverlegungen und optimierter Deichlinienführung zu unterscheiden ist. Mit der Deichrückverlegung wird eine Wasserspiegelabsenkung durch Vergrößerung der durchflossenen Fläche beabsichtigt, wohingegen durch eine strömungsgünstige Deichlinienführung (Beseitigung lokaler Hindernisse, ebenmäßige Deichlinie) die Absenkung durch Erhöhung der Fließgeschwindigkeit erreicht werden soll.

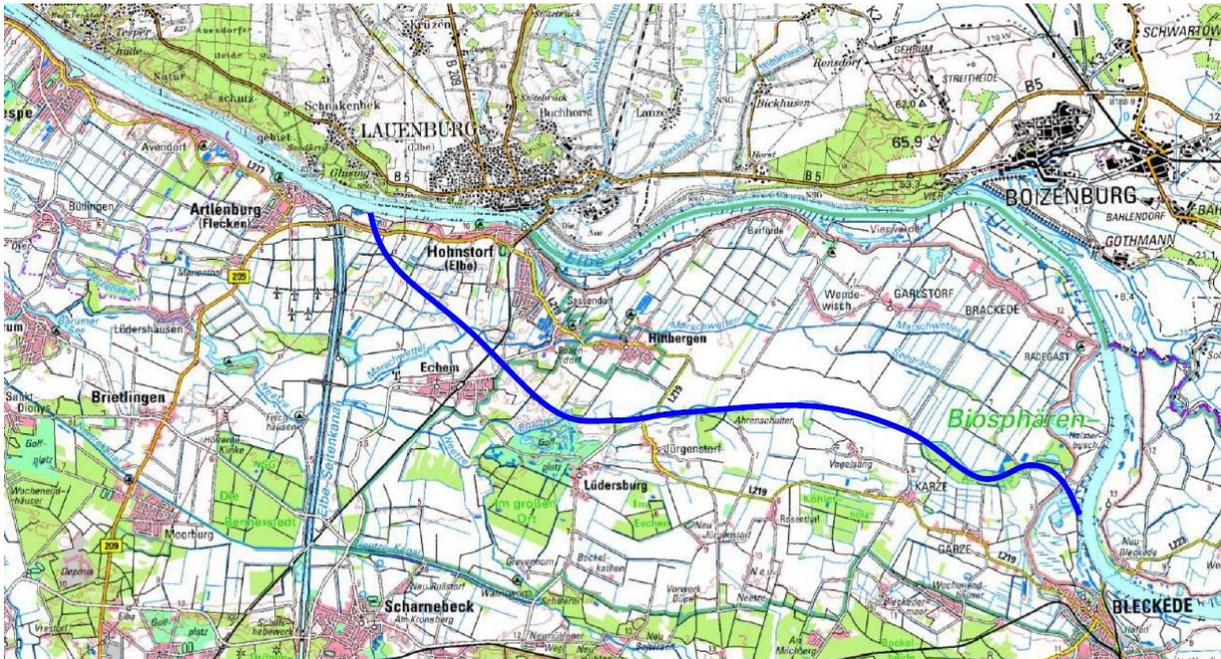


Abb. 5.1 Umfluter zwischen Hohnstorf und Radegast (Konzeptvorschlag)

## 5.2 Gewässerkorridor (detailliert)

Für die detaillierte Gestaltung des Gewässerkorridors ist neben seiner hydraulischen Leistungsfähigkeit die sedimentologische/morphologische Situation von großer Bedeutung. Letztere bestimmt in entscheidender Weise die Nachhaltigkeit der Maßnahme und damit für Jahrzehnte die Funktionalität des vorgesehenen Korridors. Bezüglich der Informationen zur morphologischen Situation der unteren Mittelelbe wurde zwischen Sohlenhöhenänderungen entlang des Flusslaufes der Elbe und den Schwebstofffrachten im Elbegebiet unterschieden.

Die Sohlenhöhenänderungen sind dadurch charakterisiert/gekennzeichnet, dass überwiegend im Bereich der Engstellen, wie z.B. bei Hohnstorf (Abb. 2.5) und Müggendorf (Abb. A. 48; aus BfG-Bericht 1848a), erhöhte Fließgeschwindigkeiten mit Erosionserscheinungen auftreten und in Bereichen mit langsameren Fließgeschwindigkeiten ausgeprägte Sandbänke und Transportkörper beobachtet werden. Vor allem in der Reststrecke (Elbe-km 508-521) bremsen Transportkörper und Sandbänke ober- und unterstrom der starken Laufkrümmungen die Strömung soweit, dass es zu Eisstau kommen kann bzw. bei besonders niedrigen Wasserständen die Eisschollen an den Untiefen hängen bleiben können (aus: Dittrich et al., 2008a). Mit Hilfe eines Gewässerkorridors von nahezu gleicher Breite auf beiden Seiten der Flussachse und damit verbunden ausgeglichener Fließverhältnisse können vermutlich diese morphologischen Phänomene reduziert und die Gefahr von Eisstau entschärft werden.

Für den Abschnitt von Dömitz bis Hitzacker (Elbe-km 505 – 525) wurde die durchschnittliche Vorlandaufhöhung von Rommel (aus: Dittrich et al., 2008a) zu 1,6 mm/Jahr bestimmt. Lokal kann die Aufhöhung höher ausfallen. Im Abschnitt Elbe-km 520,3 – 522,6 ermittelte der gleiche Autor Ablagerungshöhen von bis zu 3 mm/Jahr im Vorland und bis zu 6,2 mm/Jahr in ufernahen Bereichen. Auf der Grundlage kontinuierlicher Schwebstoffmessungen folgert die BfG (aus: Dittrich et al., 2008a), dass keine Hinweise für Anlandungstendenzen zwischen den Messstellen Tangermünde und Hitzacker (Elbe-km 389,1 – 522,6) vorliegen. Die Ab-

nahme der Schwebstofffracht zwischen den Messstellen Torgau (Elbe-km 154) und Barby (Elbe-km 294,8) um ca. 50 %, die sowohl während des Hochwassers 2002 als auch 2006 beobachtet wurde, wird von der BfG nicht erklärt (Dittrich et al., 2008a). Auch bei dem Hochwasserereignis von 2013 wird wieder ein Sedimentrückhalt in Fließrichtung festgestellt. Er liegt zwischen Barby und Hitzacker in der Größenordnung von 190.000 Tonnen. In der BfG-Mitteilung Nr. 31 von 2014 wird aktuell die Vermutung geäußert, dass die Sedimente sich auf den Überflutungsflächen abgelagert haben. Unter Zugrundelegung einer mittleren jährlichen Ablagerungshöhe von weniger als 3 mm haben sich seit den Vorgaben der Elbstromverwaltung von 1898 zur Unterhaltung der Vorländer diese um ca. 30 cm erhöht. Das sind genau die 30 cm, um die der Wasserstand an der unteren Mittel-Elbe gesenkt werden soll. Daraus folgt, dass der Frage nach der Höhe der Sedimentablagerungen auf den Elbevorländern dringend nachgegangen werden sollte, auch um die obigen teilweise widersprüchlichen Aussagen mit zuverlässigen Daten belegen oder widerlegen zu können. Hierzu bieten sich moderne Fernerkundungstechniken an, mit denen Sedimenthöhen im Millimeterbereich bestimmt werden können (persönliche Mitteilung, Niemeier). Verbunden mit der Frage nach den Sedimenthöhen ist sofort die nächste Frage: Ist auf Grund der morphologischen Veränderungen die von der Elbstrombauverwaltung im Jahre 1898 postulierte Mindestbreite von 600 m für den Gewässerkorridor heute überhaupt noch ausreichend? Auch diese Frage verdeutlicht die Dringlichkeit nach detaillierten sedimentologischen Untersuchungen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt für die Gestaltung des Gewässerkorridors stellen die Uferrehne und der Uferbewuchs dar. Die Untersuchungen von Rommel zeigten auch (siehe Kap. 3.2.2), dass es nahe dem Flussschlauch zu erheblichen Auflandungen kommen kann (bis zu 62 cm in 100 Jahren), welche typisch für die Ausbildung von Rehnen im Bereich des Ufersaumes sind. Andererseits wurde auf dem Testfeld „Wendewischer Werder“ beobachtet, dass durch die Beseitigung der Verbuschung entlang der Ufer die mit dem Hochwasser transportierten Feinsedimente auf das Vorland gelangen und sich dort ablagern. Aus den Untersuchungen zum Eisversatz (Kap. 4) resultiert die Empfehlung, dass das Eis so lange im Mittelwasserbett gehalten werden sollte, bis die Wassertiefen über den Vorländern ausreichend hoch sind, um die Schollen ohne Kontakt mit dem Boden darüber hinweg transportieren zu können. Dieses konnte in den Modelluntersuchungen dadurch erreicht werden, dass die lückig vorhandene Uferrehne geschlossen wurde. Eine weitere Voraussetzung für den ungehinderten Abtransport der Eisschollen ist, dass das Vorland frei von Hindernissen gehalten wird und ein ungehinderter Rückfluss vom Vorland zum Flussschlauch möglich ist.

Die obigen Ausführungen machen deutlich, dass die Uferrehne und der Uferbewuchs von großer Bedeutung für den Rückhalt der Sedimente und der Eisschollen von den Vorländern sind und damit wichtige morphologische Bestandteile der Flusslandschaft Elbe darstellen. Die für die Entstehung und Ausbildung der Rehnen erforderlichen Sedimente werden an der Elbe unter der Voraussetzung, dass das Hochwasserereignis von 2013 repräsentativ für die anderen Ereignisse ist, bei kleinen bis mittelgroßen Hochwasserabflüssen angeliefert (s. Kap. 3.2.2). Bei Vorhandensein von Bewuchs setzt der in Kap. 3.1.1 erläuterte „Teufelskreis“ ein, welcher zu einer schnellen Aufhöhung des Uferwalls führt. Es wird vermutet, dass insbesondere Büsche den Auflandungsvorgang beschleunigen. Genauere Kenntnisse über die Prozesse der Rehnenbildung liegen jedoch bislang nicht vor. Sie sind zur Zeit Inhalt eines

Forschungsprojektes, das am Leichtweiß-Institut für Wasserbau in Braunschweig durchgeführt wird. Mit zunehmender Höhe der Uferverwallung wird die Wahrscheinlichkeit, dass sich Sediment ablagert, immer geringer. Hinzu kommt, dass im Rahmen der natürlichen Sukzession der Buschbewuchs nach und nach in Baumbewuchs übergeht und jetzt durch Kolkbildung um die Baumstämme eher mit Erosionserscheinungen zu rechnen ist (s. Kap. 3.1.3). D.h., es wird sich vermutlich ein Gleichgewichtszustand zwischen lokaler Erosion und Sedimentation innerhalb des Uferbewuchses einstellen, und damit wird die Uferrehne nur eine begrenzte Höhe erreichen. Da es sich bei der Rehnenbildung mit großer Wahrscheinlichkeit um selbstregulierende Prozesse handelt, bedürfen sie vermutlich keiner oder nur geringer Unterhaltungsmaßnahmen. Allerdings sollten an drei bis vier Abschnitten entlang der unteren Mittelelbe, analog den Untersuchungsfeldern am Oberrhein (s. Kap. 3.1.4) sowie dem Testfeld bei „Wendewischer Werder“ (Kap. 3.3), Monitoringprogramme zur Beobachtung und späteren Analyse der sich im Bereich der Uferrehnen abspielenden Prozesse durchgeführt werden. Die drei bis vier Testfelder sind angemessen, da, wie in Kap. 3 ausführlich dargestellt, das Absetzverhalten der Feinsedimente im Bereich der Pflanzen von zahlreichen nicht quantifizierbaren Faktoren, wie den lokalen Strömungsgeschwindigkeiten und der Art des Bewuchses, abhängig ist. In wie weit ein Gewässerkorridor von nahezu gleicher Breite und einer ausgeprägten Uferrehne sich langfristig auf die Sohlenhöhenentwicklung und hierbei insbesondere auf die in Abb. 3.4 mit „hydromorphologisch unbefriedigend“ ausgewiesenen Abschnitte auswirkt, kann nicht beantwortet werden. Dieses wird neben den lokalen Gegebenheiten auch entscheidend von der Entwicklung der Uferrehne abhängig sein.

Die Berücksichtigung des Ufersaums (Rehne und Bewuchs) als ein wichtiges morphologisches Element der unteren Mittelelbe bedeutet, dass die Breite des Gewässerkorridors um die Breite beider Ufersäume am linken und rechten Ufer vergrößert werden muss. Als Breite des Bewuchses sind dabei infolge der Ablösung makroturbulenter Wirbel von den Pflanzenelementen die äußeren Abmessungen der Pflanzen und nicht ein mittlerer Durchmesser anzusetzen. Um den Fließwiderstand möglichst gering halten zu können, sollte der Ufersaum aus nicht mehr als 1 bis 2 Baumreihen bestehen. Der Bereich zwischen Ufersaum und äußerer Berandung des Gewässerkorridors bedarf einer intensiven Unterhaltung, d.h. er muss frei von busch- und baumartigen Bewuchs sein und eventuell in größeren Zeitintervallen (Jahrzehnte) von Sediment geräumt werden. Für das Zeitintervall der Räumung können die Monitoringprogramme wichtige Hinweise liefern. Um diesen Bereich optimal zur Abführung der Hochwassermengen (einschließlich der Sedimente) nutzen zu können, müssen die Rehnen an bestimmten Stellen von Gehölz freigehalten werden. Lage und Höhe dieser Ein- und Ausströmbereiche sollte in der Art festgelegt werden, dass damit neben der gezielten Abführung der Wassermengen auch der in Abb. 3.4 dargestellte hydromorphologische Zustand der Flusssohle verbessert wird. Hierzu sollten hydraulische und morphodynamische Untersuchungen durchgeführt werden. An die äußere Berandung des Gewässerkorridors werden keine besonderen Anforderungen gestellt. Die Fließgeschwindigkeiten nehmen zum äußeren Rand im Allgemeinen so stark ab, dass das Widerstandsverhalten der dort vorhandenen Vegetation vernachlässigbar gering ist. Allerdings sollten zum Schutz der Deiche vor scharfkantigen Eisschollen mehrreihige Eichenbestände an der Wasserseite der Deiche angepflanzt werden (s. Kap. 4).

Aus dem vorgeschlagenen Konzept zur Entwicklung von abflussverbessernden Maßnahmen, mit dem das Ziel der Absenkung des Wasserstandes um mindestens 30 cm erreicht werden kann, lassen sich direkt Vorschläge ableiten, wie die langfristige Entwicklung der Funktionen der Weichholzaue sichergestellt werden kann bzw. welche Bereiche in der Talaue der unteren Mittelelbe als mögliche Standorte für die erforderlichen Kohärenzmaßnahmen in Frage kommen. Es sind zum einen die Bereiche entlang des durchgehenden Ufersaumes mit dem entsprechenden Uferbewuchs und zum anderen die Bereiche außerhalb des Gewässerkorridors. Bei sehr breiten Vorlandflächen ist es auch denkbar, dass sich der Gewässerkorridor in zwei Arme aufspaltet, und zwar das Hauptgerinne der Elbe mit einer Hochwasser entlastenden Vorlandfläche und einer leistungsfähigen Flutrinne durch einen großflächigen Auewald.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende fachtechnische Begutachtung für abflussverbessernde Maßnahmen an der unteren Mittelelbe erfolgte in mehreren Arbeitsschritten.

Im ersten Schritt wurden die wesentlichen Ergebnisse der 2D-hydrodynamischen Modellierung diskutiert und interpretiert. Hierbei kann festgehalten werden, dass die numerische Simulation wertvolle Hinweise über die Wirkung der zahlreichen untersuchten abflussverbessernden Maßnahmen auf die Wasserspiegellage im HQ<sub>100</sub>-Fall geliefert hat. Es stellte sich aber auch heraus, dass die abflussverbessernden Maßnahmen nicht ausreichend und effektiv genug sind, das dem Rahmenplan zugrunde gelegte Ziel der Absenkung des Wasserstandes um mindestens 30 cm zu erreichen. Der Hauptgrund hierfür besteht darin, dass die Engstellen in zahlreichen Abschnitten der Elbe den Fließquerschnitt erheblich einengen und diese Abschnitte nur teilweise Gegenstand der numerischen Simulation waren. Hinzu kommt, dass bei den hydrodynamischen Untersuchungen rein hydraulische Aspekte im Vordergrund standen und die für die Nachhaltigkeit der Maßnahmen erforderlichen sedimentologischen Aspekte nicht untersucht bzw. berücksichtigt wurden.

Aus diesem Grund wurde in einem zweiten Schritt etwas detaillierter auf die sedimentologische Situation der Elbe eingegangen. Im Vordergrund stand hierbei das komplexe Wechselspiel zwischen Strömung, Sediment und Pflanze, welches von großer Bedeutung für die morphologische Entwicklung der Elbevorländer ist. Neben der allgemeinen Erläuterung dieses Wechselspiels wurde dessen Bedeutung anhand von zwei konkreten Fällen aufgezeigt. Es handelt sich dabei um die beiden Untersuchungsfelder „Hartheim“ und „Chalampé“ am Oberrhein und das Testgebiet „Wendewischer Werder“ an der unteren Mittelelbe. Anschließend wurde auf den Sedimenthaushalt der Elbe eingegangen. Anhand des Indikators Mittlere Sohlenhöhenänderungen entlang des Flusslaufes der Elbe wurde das Problem der Sohlenerosion und Sedimentation aufgezeigt. Der Indikator Schwebstofffracht diente der Darlegung der Problematik der von ober- nach unterstrom transportierten Feinsedimente und ihrem Ablagerungsverhalten auf den Vorländern. Hierbei wurde auf die große Bedeutung der Uferrehnen hingewiesen, welche sehr effektiv den Transport von Feinsediment auf die Vorlandflächen der Elbe verhindern und dafür sorgen, dass ein Großteil der Schwebstofffracht im Flusslauf der Elbe verbleibt. Eine ähnlich große Bedeutung haben die Rehnen auch für den Eisgang, da durch sie die Eisschollen im Flusslauf zurückgehalten werden und dadurch die Gefahr der Beschädigung der Deiche durch scharfkantiges Eis reduziert wird. Mittels der Informationen zum Schwebstoffhaushalt der Elbe erfolgte abschließend eine Abschätzung der Nachhaltigkeit der untersuchten abflussverbessernden Maßnahmen.

In einem dritten Schritt wurde dann der Versuch unternommen, aufbauend auf den Informationen und Daten der vorangegangenen Kapitel ein Konzept zu entwickeln, mit dem die in der Aufgabenstellung bzw. im Rahmenplan formulierte Zielvorgabe erreicht werden kann. Das Konzept sieht analog dem Vorschlag der Elbstrombauverwaltung von 1898 einen Gewässerkorridor von mindestens 600 m Breite vor. Die endgültige Breite dieses Korridors konnte allerdings nicht festgelegt werden, da zunächst auf der Grundlage eines „virtuellen Korridors“ dessen hydraulische Leistungsfähigkeit überprüft werden muss. Der virtuelle Kor-

ridor soll als wichtige Orientierungshilfe für alle weiteren abflussverbessernden Maßnahmen, wie insbesondere der Entfernung der Engstellen, dienen.

Für die Gestaltung des Gewässerkorridors stellt der Ufersaum mit der Uferrehne und dem Uferbewuchs ein wichtiges morphologisches Strukturelement dar. Er sollte deshalb auf beiden Seiten des Flussschlauches vorhanden sein und nach Möglichkeit entlang der gesamten unteren Mittelelbe verlaufen. Zur Sicherstellung ausgeglichener morphologischer Verhältnisse im Flussschlauch sollte der Gewässerkorridor weiterhin auf beiden Seiten der Flussachse nahezu gleiche Breiten aufweisen und durch gezielte Ein- und Auslaufbereiche optimal die Hochwassermassen abführen können. Außerdem muss sichergestellt werden, dass der Bereich zwischen Ufersaum und äußerer Berandung des Gewässerkorridors frei von busch- und baumartiger Vegetation gehalten wird. Je nach topographischer Situation und Breite der Vorländer ist auch eine Auflösung der strikten Linienführung über ein Hauptgerinne und zwei parallel dazu verlaufende Hochwasser entlastende Vorlandflächen durch abflusswirksame Flutrinnen in Auewaldbereichen denkbar.

Aus den obigen Ausführungen zur Gestaltung des Gewässerkorridors resultiert, dass weitere numerische Simulationen unbedingt erforderlich sind. Sie sind ein unverzichtbares Instrument zur Umsetzung eines vielgestaltigen, der topographischen Situation angepassten Korridors. D. h. alle Maßnahmen, die von dem idealen Korridor abweichen, sind hinsichtlich des veränderten Widerstands- und Strömungsverhaltens auf Wasserstand und Ablagerungsverhalten der Sedimente mittels numerischer Simulation zu überprüfen. Zur besseren Einschätzung der hydraulisch/sedimentologischen Situation sollten die Berechnungen nicht nur für einen Abfluss, sondern auch mit für die Sedimentologie relevanten Abflüssen durchgeführt werden. Weiterhin ist bei der Kalibrierung und Validierung des verwendeten Modellierungssystems darauf zu achten, dass für die Rauheits- und Widerstandsbeiwerte Naturdaten der Elbe verwendet werden.

Für die Nachhaltigkeit sämtlicher geplanter Maßnahmen ist das Ablagerungsverhalten der Feinsedimente auf den Vorlandflächen von zentraler Bedeutung. Aus diesem Grund sollte für den Gewässerkorridor der unteren Mittelelbe eine Gesamtbilanz der morphologischen Situation erstellt werden. Hierfür stellen die von der BfG an mehreren Pegeln erhobenen sedimentologischen Daten eine wichtige Grundlage dar (Input). Diese müssen zur Absicherung der Bilanz mit hochaufgelösten Daten über die Sedimenthöhen auf den Vorländern der Elbe (Reaktion auf den Input) verglichen werden. Nur bei Kenntnis der morphologischen Entwicklung sind gezielte Unterhaltungsmaßnahmen möglich.

Analoge Betrachtungen sind auch für den Ufersaum durchzuführen. Da das Absetzverhalten der Feinsedimente im Bereich der Pflanzen von zahlreichen nicht quantifizierbaren Faktoren abhängig ist, sind hier zur Abschätzung der Entwicklung des Ufersaumes Monitoringprogramme erforderlich. Über diese liegen bereits zahlreiche Erfahrungen an der Elbe und anderen Gewässern vor, jedoch fehlt bis heute eine konsequente Fortführung der Untersuchungen und der Auswertung der Daten.

## 7 Literaturverzeichnis

- Asselman, N.E.M. and Middelkoop, H.; 1995: "Floodplain Sedimentation: Quantities, Patterns and Processes." *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 20, pp. 481-499
- BfG-Bericht 1848a; 2015: „2D-Modellierung an der unteren Mittelelbe zwischen Wittenberge und Geesthacht. Beschreibung der Strömungsverhältnisse und Wirkung von abflussverbessernden Maßnahmen auf Hochwasser der Elbe.“ Stand 27.07.2015
- BfG-Bericht 1848b; 2015: „2D-Modellierung an der unteren Mittelelbe zwischen Wittenberge und Geesthacht. Beschreibung der Strömungsverhältnisse und Wirkung von abflussverbessernden Maßnahmen auf Hochwasser der Elbe.“ Entwurf vom 27.02.2015
- BfG-Mitteilung Nr. 30; 2014: „Fachbeiträge zum Sedimentmanagementkonzept Elbe.“ Koblenz, Dezember 2014
- BfG-Mitteilung Nr. 31; 2014: „Das Hochwasserextrem des Jahres 2013 in Deutschland: Dokumentation und Analyse, Koblenz, Dezember 2014
- BfG-Zwischenbericht; 2013: „2D-Modellierung der unteren Mittelelbe von Wittenberge bis Geesthacht – Pilotmodelle Dömitz bis Hitzacker.“
- Dittrich, A.; Aberle, J.; und Koll, Ka.; 2008a: „Überprüfung der hydraulischen Leistungsfähigkeit der Unteren Mittelelbe in Niedersachsen.“ Bericht Nr. 958 des Leichtweiß-Instituts für Wasserbau, TU Braunschweig (Zwischenbericht)
- Dittrich, A.; Koll, Ka., und Koll, K.; 2008b: „Überprüfung der hydraulischen Leistungsfähigkeit der Unteren Mittelelbe in Niedersachsen.“ Bericht Nr. 965 des Leichtweiß-Instituts für Wasserbau, TU Braunschweig
- Dittrich, A.; 2004: „Wechselwirkung „Strömung – Pflanze – Sediment“.“ *Ingenieurbiologie, Mitteilungsblatt Nr. 2*, Sept. 2004, S. 10-13
- Dittrich, A.; und Huppmann, O.; 2013: „Morphodynamics of the Rhine river between the weirs „Märkt“ and „Breisach“.“ *Mitteilungen des Leichtweiß-Instituts für Wasserbau*, Heft 159, TU Braunschweig
- Koll, K.; 2006: „Wissenschaftliche Unterstützung bei der Beurteilung von Hochwasserschutzmaßnahmen durch die Minimierung der Verbuschung im Deichvorland der Elbe.“ Bericht Nr. 931 des Leichtweiß-Instituts für Wasserbau, TU Braunschweig
- Krüger, F.; Scholz, M.; Kreibich, M. & Baborowski, M.; 2014: „Sedimentrückhalt in den Elbauen.“ Studie zur Erarbeitung des Sedimentrückhaltes in Auen als Teilfunktion des Sedimenttransportgeschehens an der Elbe. Abschlussbericht, i.R. „Schadstoffsanierung Elbesedimente – ELSA“, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt in Hamburg
- RIPFOR; 2005: „Hydraulic, Sedimentological and Ecological Problems of Multifunctional Riparian Forest Management.“ Editors: Bölscher, J.; Ergenzinger, P.-J.; and Obenauf, P.. *Berliner Geographische Abhandlungen*, Heft 65, S. 1-145
- Wirtz, C. und Bölscher, J.; 2008: „Untersuchungen zur Interaktion von Auenvegetation und Sedimenttransport am Oberrhein.“ Abschlussbericht 2007, Datenanalyse Hartheim und Chalampé, Regierungspräsidium Freiburg, Referat 53.3
- Wirtz, C. und Bölscher, J.; 2006: „Untersuchungen zur Interaktion von Auenvegetation und Sedimenttransport am Oberrhein.“ Bericht 2004, Analyse und Interpretation der Feldmessungen in Hartheim und Chalampé, Regierungspräsidium Freiburg, Referat 53.3

**Abflussverbessernde Maßnahmen  
an der Unteren Mittelelbe  
Rahmenplan**

**Teil Niedersachsen**

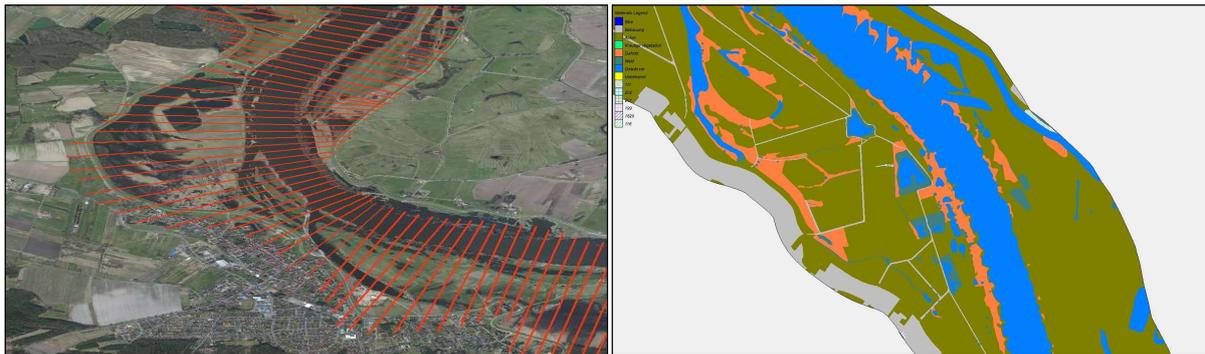
## **Anlage 3**

Hydraulische Berechnung von  
Umflutervarianten

Institut für Wasserwirtschaft und  
Umweltschutz der Hochschule Magdeburg

2015

**Projekt:**  
**Rahmenplan**  
**für abflussverbessernde Maßnahmen**  
**an der unteren Mittelelbe**



**-Hydraulische Berechnungen von Umflutervarianten**

**Magdeburg, Dezember 2015**

- Auftraggeber:** Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN)  
Betriebsstelle Lüneburg, Abt. Planung und Bau  
Adolf-Kolping Straße 6  
21337 Lüneburg
- Auftragnehmer:** Institut für Wasserwirtschaft und Umweltschutz  
Prof. Dr.-Ing. Bernd Ettmer GmbH  
Hochschule Magdeburg  
Forschungs- und Entwicklungszentrum (FEZ)  
Breitscheidstraße 51  
39114 Magdeburg
- Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. Bernd Ettmer
- Projektbearbeitung:** Linda Bromberg, M.Eng.  
Stefan Orlik, M. Eng.  
Dipl.-Ing. Michael Marek
- Datum:** 19.12.2015

---

Prof. Dr.-Ing. B. Ettmer

## Inhalt

1. Einleitung .....	2
2. Datengrundlagen.....	4
3. Modellaufbau.....	5
3.1 Allgemeines.....	5
3.2 1d-hydro-numerische Berechnungen .....	5
3.2.1 Grundlagen und Querprofile .....	5
3.2.2 Ergebnisse der 1d-hn-Kalibrierung .....	7
3.3 2d-hydro-numerische Berechnungen .....	10
3.3.1 Grundlagen und Theorie .....	10
3.3.2 Gitternetz .....	12
3.3.3 Rauheiten.....	14
3.3.4 Ergebnisse der 2d-hn-Kalibrierung .....	15
3.4 Fehlerabschätzung.....	17
4. Umfluter .....	19
4.1 Querprofilgeometrie und Rauheit.....	19
4.2 Lage.....	19
5. Berechnungsergebnisse.....	21
5.1 Umfluter Bleckede .....	21
5.2 Umfluter Radegast und Umfluter Barförde.....	23
5.3 Einfluss der Umfluter-Rauheit.....	25
5.4 Einfluss der Umfluter-Höhenlage und der Querschnittsgeometrie .....	26
6. Zusammenfassung.....	28

## 1. Einleitung

Der Niedersächsische Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) ist vom Niedersächsischen Umweltministerium beauftragt worden, gemeinsam mit Mecklenburg-Vorpommern einen Rahmenplan für abflussverbessernde Maßnahmen an der unteren Mittelelbe aufzustellen. Von der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) wurden dazu mit Hilfe eines 2D-Modells die Auswirkungen verschiedener morphologischer Maßnahmen im Deichvorland sowie Rückschnittsmaßnahmen von Bewuchs und Deichrückverlegungen auf die Wasserstände in der Elbe bei einem Bemessungshochwasser berechnet.

In weiteren Untersuchungen sollen die hydraulischen Auswirkungen von Umflutern an der unteren Mittelelbe untersucht werden. Hierzu wurde das Institut für Wasserwirtschaft und Umweltschutz (IWU) an der Hochschule Magdeburg vom Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, Betriebsstelle Lüneburg mit Schreiben vom 7.8.2015 beauftragt.

Die Umfluter sollen zwischen Bleckede und Artlenburg hydraulische Engstellen in der Elbe umgehen und bei Hochwasser einen Teilabfluss der Elbe ableiten. Durch diese Maßnahmen werden Wasserspiegelabsenkungen in der Elbe erwartet. Die Untersuchungen umfassen eine sog. große Umflutervariante und zwei kleinere Umflutervarianten. Bei der großen Umflutervariante zweigt der Umfluter unterhalb der Ortschaft Bleckede am linken Ufer der Elbe ab und mündet nach rd. 15 km Fließstrecke unterhalb der Ortschaft Hohnstorf wieder in die Elbe ein. Diese Umflutervariante wird als Umfluter Bleckede bezeichnet und stellt den Hauptuntersuchungsschwerpunkt dar, da mit dem Umfluter Bleckede mehrere Engstellen in der Elbe (Radegast/Boizenburg, Barförde und Hohnstorf) umgangen werden.

Die 2 kleineren Umflutervarianten umgehen die hydraulischen Engstellen bei Radegast/Boizenburg bzw. bei Barförde. Sie werden im nachfolgenden als Umfluter Radegast und Umfluter Barförde bezeichnet. Der Umfluter Radegast zweigt oberhalb der Ortschaft Radegast am linken Ufer der Elbe ab und mündet nach rd. 4,5 km im Bereich Garlstorf/Vierwerder wieder in die Elbe ein. Der Umfluter Barförde zweigt oberhalb der Ortschaft Barförde am linken Ufer der Elbe ab und mündet nach rd. 4 km oberhalb der Ortschaft Hohnstorf wieder in die Elbe ein.

Die hydraulischen Berechnungen wurden mit einem 1d-hydrnumerischen Computermodell (1d-hn-Modell) und mit einem 2d-hydrnumerischen Computermodell (2d-hn-Modell) durchgeführt. Die 1d-Untersuchungen dienten dazu, vergleichsweise "schnelle" Einschätzungen

über die Lage, die Querschnittsgestaltung, die Höhenanschlüsse und die hydraulische Leistungsfähigkeit der Umfluter zu bekommen und die durch den Umfluter zu erwartenden Wasserspiegellagenänderungen in der Elbe einschätzen zu können. Mit den Erkenntnissen und Ergebnissen der 1d-hydraulischen Berechnungen wurden exemplarische abschließende hydraulische Berechnungen mit dem 2d-Modell durchgeführt.

Im Einzelnen wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

- Aufbau und Kalibrierung eines 1d-hn Modells der Elbe von Fluss-km 520 bis 585,9
- Aufbau und Kalibrierung eines 2d-hn-Modells der Elbe von Fluss-km 523,9 bis 585,9
- Hydraulische Berechnungen zum Umfluter Bleckede
- Hydraulische Berechnungen zum Umfluter Radegast
- Hydraulische Berechnungen zum Umfluter Barförde

## 2. Datengrundlagen

Die Datengrundlagen wurden vom NLWKN, Betriebsstelle Lüneburg und der BfG zur Verfügung gestellt. Im Einzelnen waren dies folgende Unterlagen:

a) Lageplanskizze für den Umfluter Bleckede vom 24.02.2015, Lageplanskizzen der Umfluter Barförde und Radegast vom 23.07.2015.

b) Daten-CD der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) vom 01.07.2015 mit Baseline Datensatz; einem kalibrierten Ist-Modell der Elbe zwischen Wittenberge und Geesthacht, zugrundeliegende Geobasisdaten, hydraulische Randbedingungen für das HQ<sub>100</sub>. Grundlage der Geobasisdaten: DGM-W 2x2 m des Bundes und der Bundesländer aus Befliegungen bis 2006 und Gerinnepeilungen aus dem Jahr 2004 (BfG) mit lokalen Aktualisierungen auf dem Vorland. Das DGM-W lag in bearbeiteter Form vor. Es wurde ausschnittsweise weiterverwendet.

c) Digitales Landbedeckungsmodell für Deutschland (BKG, 2009), Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (ATKIS-Datensatz), Aktualisierungen mit Biotopkartierungen aus 2009 bis 2012 sowie Luftbildauswertungen 2009 bis 2012, bereits eingearbeitet in Baseline Datensatz, Daten-CD der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) vom 01.07.2015.

d) HEC RAS River Analysis System, Hec Ras 4.1 User's Manual, US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, January 2010

e) Benutzerhandbuch, Ein zweidimensionales Strömungsmodell für die wasserwirtschaftliche Praxis - Benutzerhandbuch, Dr.-Ing. Marinko Nujic, Rosenheim, 2006.

### 3. Modellaufbau

#### 3.1 Allgemeines

Die Untersuchungen umfassen die niedersächsische Elbe auf einer Fließstrecke von rd. 66 km von Elbe-km 520 (oberhalb Hitzacker) bis zum Elbe-km 585,9 (Wehranlage Geesthacht), vgl. **Abb. 3.1**. Diese Abschnittslänge wurde gewählt, da Voruntersuchungen zeigten, dass die durch die Umfluter zu erwartenden Wasserspiegelabsenkungen bis etwa in den Bereich von Hitzacker, oder sogar darüber hinaus zu erwarten waren. Als untere Grenze des Untersuchungsgebietes wurde die Wehranlage Geesthacht gewählt.



**Abb. 3.1:** Übersichtskarte unmaßstäblich, Untere Mittelelbe mit Untersuchungsabschnitt, Quelle: Niedersächsische Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz, 2015 (verändert)

#### 3.2 1d-hydro-numerische Berechnungen

##### 3.2.1 Grundlagen und Querprofile

Die 1d-hydro-numerischen Berechnungen wurden mit der Software HEC-RAS Version 4.1.0 Januar 2010 (Hydraulic Engineering Center River Analysis System) des US Army Corps of Engineers durchgeführt. Mit HEC-RAS können Wasserspiegellagen für stationäre und instationäre Abflüsse berechnet werden. Grundlage der Wasserspiegellagen-Berechnungen ist die

Bernoulli Energiegleichung, die iterativ für jedes Querprofil fortlaufend gelöst wird. Die Energieverluste zwischen zwei Querprofilen werden dabei über Reibungsverluste, die über Manning- Gauckler-Strickler Rauheiten berücksichtigt werden, und örtliche Verluste (bspw. Brückenwiderlager, Pfeiler u.a.) erfasst.

Da die 1d-hydrnumerischen Berechnungsverfahren auf iterativen Berechnungen zwischen hintereinander angeordneten Querprofilen basieren, wurden für den Modellaufbau aus dem zur Verfügung stehenden Datensatz zunächst Querprofile generiert. Es wurde darauf geachtet, dass die Lage der Querprofile nach Möglichkeit quer zur Hauptströmungsrichtung angeordnet waren, um einen einheitlichen Querprofilabstand des Flussverlaufs in Längsrichtung abbilden zu können.

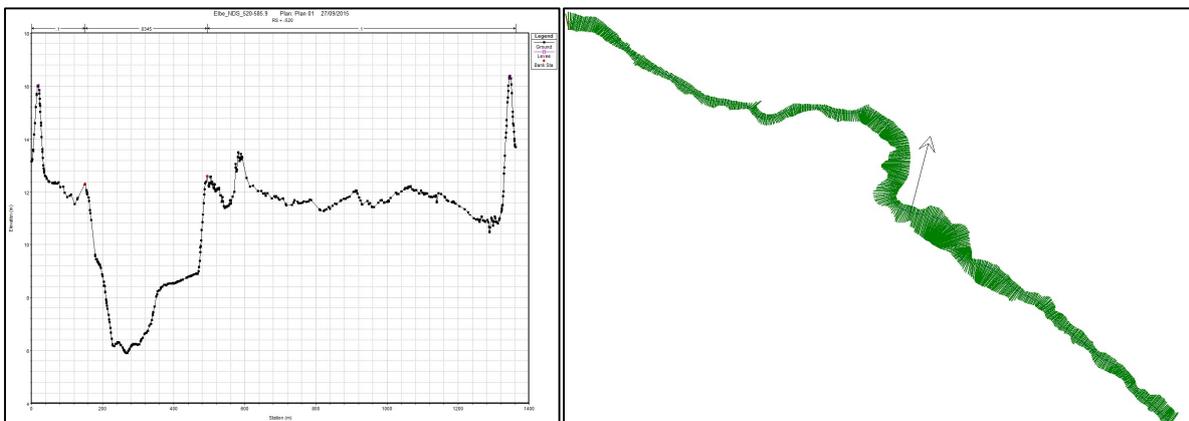
In Bereichen, in denen diese Vorgehensweise nicht praktiziert werden konnte, wie bspw. in Flusskrümmungen, wurde die Lage der Querprofile angepasst. Als Hauptorientierung wurde dabei immer die Hauptstromachse der Elbe verwendet. Auf Grund von Erfahrungswerten wurde ein Querprofilabstand von 100 m festgelegt. Eine exemplarische Darstellung der Vorgehensweise ist in **Abb. 3.2** dargestellt. Es handelt sich um einen Abschnitt der Elbe nahe der Ortschaft Bleckede von Elbe-km 550 bis Elbe-km 560. Die Querprofilagen sind rot gekennzeichnet.



**Abb. 3.2:** Ausschnitt aus HEC-GeoRAS mit festgelegten Querprofilagen (Elbe-km 350 bis Elbe-km 360)

Die in HEC-GeoRAS definierten Querprofile wurden in das eindimensionale hydraulische Simulationsprogramm HEC-RAS importiert. Jedes Querprofil beinhaltet die Höhen- und Lage-daten der Elbe, des Elbevorlands, der Deiche sowie ggf. weitere Informationen zu Gebäuden, Straßen usw. In HEC-RAS wurde jedem Querprofil Angaben zu Uferkanten, Deichkronen, Querprofilabständen sowie ggf. ineffektiven Strömungsbereichen zugewiesen.

**Abb. 3.3** zeigt exemplarisch ein Querprofil (links) und die aneinandergereihten und georeferenzierten Querprofile in einem Lageplan (rechts). Die Rauheitsbelegung erfolgte grundsätzlich in eine Flussrauheit und eine (integrale) Vorlandrauheit pro Querprofil. Weitere Rauheits-Unterscheidungen wurden im 1d-hn-Modell nicht getroffen.



**Abb. 3.3:** Exemplarische Darstellung eines Querprofils in HEC-RAS (links) und Lageplan der aneinandergereihten und georeferenzierten Querprofile in HEC-RAS (rechts)

### 3.2.2 Ergebnisse der 1d-hn-Kalibrierung

Das 1d-hn-Modell wurde am Hochwasser 2006 (Winterhochwasser) und am Hochwasser 2013 (Sommerhochwasser) kalibriert. Die Abflüsse der Hochwasserereignisse sind in **Tab. 3.1** (Winterhochwasser 2006) und **Tab. 3.2** (Sommerhochwasser 2013) zusammengestellt. Die Abflussdaten und Wasserspiegelmessungen wurden dem Online Portal FLYS der Bundesanstalt für Gewässerkunde entnommen. Die Abflüsse wurden als Zufluss in den jeweiligen Modellabschnitt eingefügt.

**Tab. 3.1: Abflussdaten Hochwasser 2006**

Datum	Elbe-km	Abfluss [m <sup>3</sup> /s]
10.04.2006	508,0 bis 583,5	3.592

**Tab. 3.2: Abflussdaten Hochwasser 2013**

Datum	Elbe-km	Abfluss [m <sup>3</sup> /s]
12.06.2013	483,6 bis 542,6	4.040
13.06.2013	542,7 bis 584,3	3.910

Als unterstromige Randbedingung wurde die Abflusskurve am Wehr Geesthacht verwendet, vgl. **Tab. 3.3**.

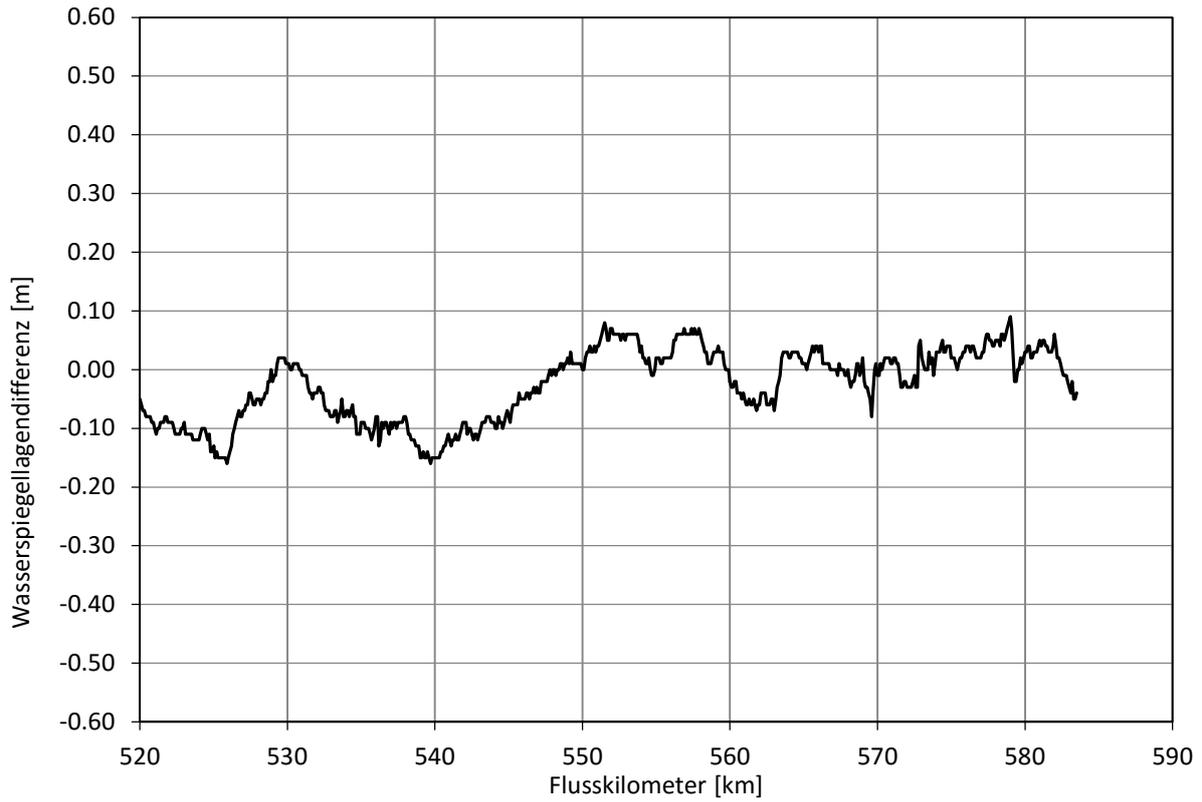
**Tab. 3.3: Wasserstands-Abfluss-Beziehung am Wehr Geesthacht**

Wasserspiegellage [mNHN]	Abfluss [m <sup>3</sup> /s]
5.95	3.384
5.99	3.592
6.02	3.720
6.13	4.250

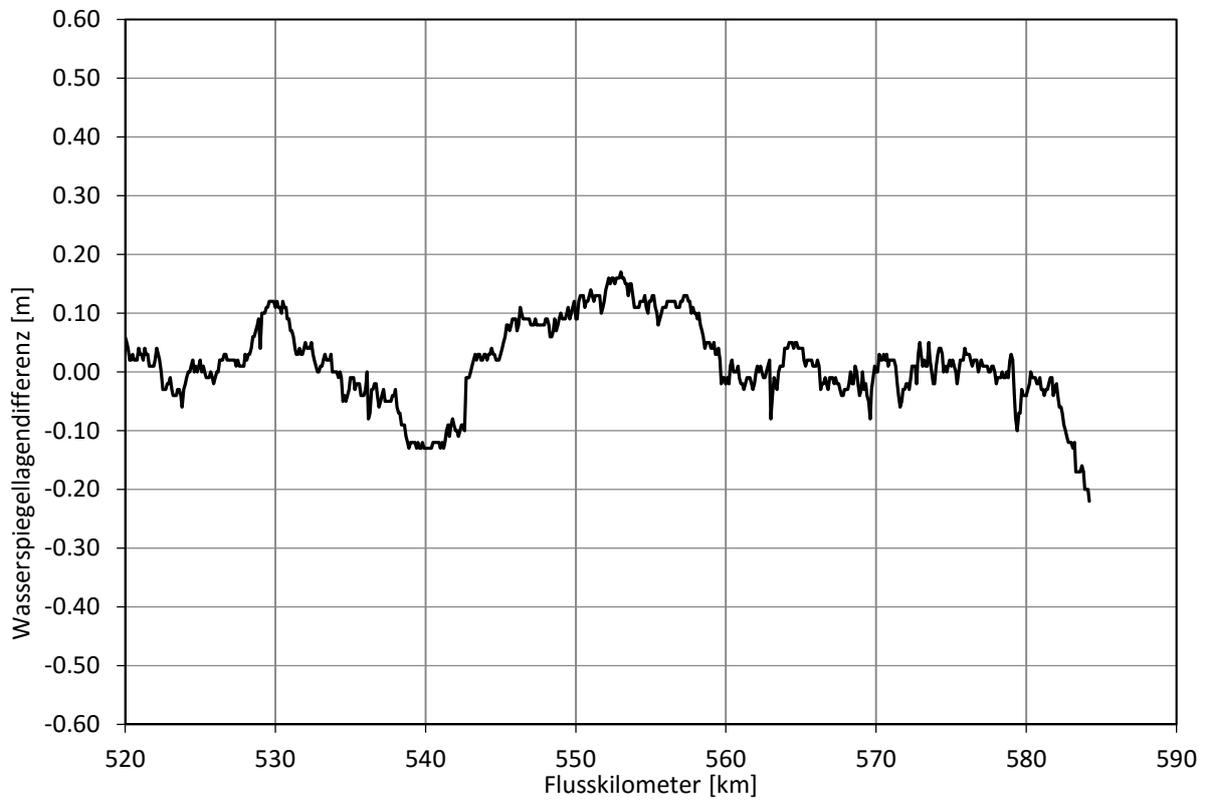
Die Kalibrierung ergab, dass der Flusslauf der Elbe für das Winterhochwasser und das Sommerhochwasser mit Rauheitsbeiwerten  $k_{St,Elbe} = 29$  bis  $31 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  gut erfasst werden konnte. Die (integralen) Vorlandrauheiten unterschieden sich jedoch deutlich.

Für das Winterhochwasser ergaben sich Vorlandrauheiten von  $k_{St,Vorland,Winter} = 14 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  und für das Sommerhochwasser ergaben sich Vorlandrauheiten von  $k_{St,Vorland,Sommer} = 10 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ . Die deutlich erhöhte Rauheitswirkung auf dem Vorland im Sommermodell wird auf den Vorlandbewuchs zurückgeführt.

Ein Vergleich der berechneten Wasserspiegellagen und der gemessenen Wasserspiegellagen (Wasserspiegelfixierungen) ist als Differenzendiagramm für das Wintermodell und das Sommermodell in den **Abb. 3.4** und **Abb. 3.5** dargestellt. Beide Diagramme zeigen, dass die Abweichungen zwischen Berechnung und Messung im Wesentlichen bei  $\Delta h = \pm 10 \text{ cm}$  liegen. Etwa 85 % der Berechnungsergebnisse lagen in diesem Toleranzbereich.



**Abb. 3.4:** 1d-hn-Modell, Wasserspiegellagedifferenzen für das Winterhochwasser 2006



**Abb. 3.5:** 1d-hn-Modell, Wasserspiegellagedifferenzen für das Sommerhochwasser 2013

### 3.3 2d-hydro-numerische Berechnungen

#### 3.3.1 Grundlagen und Theorie

Die 2d-hydro-numerischen Berechnungen wurden mit der Software Hydro\_AS-2D durchgeführt. Das numerische Verfahren der verwendeten Software Hydro\_AS-2D löst die zweidimensional-tiefengemittelten Strömungsgleichungen (Flachwassergleichungen), die sich aus der Integration der dreidimensionalen Kontinuitätsgleichung und der Reynolds-gemittelten Navier-Stokes-Gleichungen für inkompressible Fluide über die Wassertiefe ergeben, vgl. **Gl. 3.1** bis **Gl. 3.5**. Es wird eine hydrostatische Druckverteilung angenommen. In kompakter Vektorform lauten die 2D-Strömungsgleichungen, vgl. Nujic (2006):

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial g}{\partial y} + s = 0 \quad (\text{Gl. 3.1})$$

mit:

$$w = \begin{bmatrix} H \\ uh \\ vh \end{bmatrix} \quad (\text{Gl. 3.2})$$

$$f = \begin{bmatrix} uh \\ u^2h + 0.5gh^2 - vh \frac{\partial u}{\partial x} \\ uvh - vh \frac{\partial v}{\partial x} \end{bmatrix} \quad (\text{Gl. 3.3})$$

$$s = \begin{bmatrix} 0 \\ gh(I_{Rx} - I_{Sx}) \\ gh(I_{Ry} - I_{Sy}) \end{bmatrix} \quad (\text{Gl. 3.4})$$

$$g = \begin{bmatrix} vh \\ uvh - vh \frac{\partial u}{\partial y} \\ v^2h + 0.5gh^2 - vh \frac{\partial v}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (\text{Gl. 3.5})$$

mit:

$x, y$	[m]	Horizontale Koordinaten
$u, v$	[m/s]	Geschwindigkeitskomponenten in x- und y-Richtung
$t$	[s]	Zeit
$g$	[m/s <sup>2</sup> ]	Erdbeschleunigung
$h$	[m]	Lokale Wassertiefe
$H$	[m]	Absoluthöhe des Wasserspiegels mit: $H = h + z$
$z$	[m]	Lokale Sohlenhöhe
$\nu$	[m <sup>2</sup> /s]	Kinematische Viskosität, Einfluss der Turbulenz
$I_{Rx}, I_{Ry}$	[-]	Reibungsgefälle in x- und y-Richtung
$I_{Sx}, I_{Sy}$	[-]	Sohlengefälle in x- und y-Richtung

Über den sogenannten Quell-/Senkenterm  $S$  gehen die Sohlenneigung  $I_S$  und das Reibungsgefälle  $I_R$  ein. Die Sohlenneigung in x- und in y- Richtung ist durch den jeweiligen Gradienten des Sohlenniveaus definiert, vgl. **GI. 3.6** und **GI. 3.7**, Nujic (2006).

$$I_{Sx} = -\frac{\partial z}{\partial x} \quad (\text{GI. 3.6})$$

$$I_{Sy} = -\frac{\partial z}{\partial y} \quad (\text{GI. 3.7})$$

Die Rauheiten werden über eine elementweise Definition von Rauheitsbeiwerten nach Manning-Strickler erfasst. Die Berechnung des Gefälles  $I_R$  erfolgt nach der Darcy-Weissbach-Gleichung, wobei der hydraulische Radius der Wassertiefe  $h$  gleichgesetzt wird, vgl. **GI. 3.8** und **GI. 3.9**, Nujic (2006).

$$I_{Rx} = \frac{\lambda u |u|}{2g4h} \quad (\text{in Hauptstromrichtung } x) \quad (\text{GI. 3.8})$$

$$I_{Ry} = \frac{\lambda v |v|}{2g4h} \quad (\text{in Querströmungsrichtung } y) \quad (\text{GI. 3.9})$$

mit:

$\lambda$  [-] Widerstandsbeiwert

Die Bestimmung des dimensionslosen Widerstandsbeiwertes  $\lambda$  erfolgt über die Zuordnung von Strickler-Beiwerten, wiederum unter der Annahme, dass der hydraulische Radius der Wassertiefe  $h$  gleichgesetzt wird, vgl. **Gl. 3.10**.

$$\lambda = 6.34 \frac{2g \left( \frac{1}{k_{St}} \right)^2}{(4h)^{1/3}} \quad (\text{Gl. 3.10})$$

Die mathematische Lösung der tiefengemittelten Strömungsgleichungen erfolgt über die Definition von Randbedingungen. Die oberstromige Randbedingung bildet der Zulauf in das Modell; hierfür wurde der Abfluss  $Q$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] nach **Tab. 3.1** und **Tab. 3.2** verwendet. Als unterstromige Randbedingung wurde die Wasserstands-Abfluss-Beziehung an der Wehranlage Geesthacht verwendet, vgl. **Tab. 3.3**.

Anmerkung: Seitliche Zuflüsse wurden als offene Modellgrenzen definiert, aufgrund der untergeordneten Bedeutung im Rahmen der anstehenden Untersuchung jedoch nicht mit Zuflussdaten versehen, bspw. Seitlicher Zufluss der Boitze bei Boitzenburg.

### 3.3.2 Gitternetz

Das Untersuchungsgebiet wurde innerhalb der festgelegten Modellgrenzen mit Hilfe eines Gitternetzes aus dreieckigen und z.T. viereckigen Elementen abgebildet. Das Gitter wurde detailliert an die topografischen Gegebenheiten im Untersuchungsgebiet angepasst. Besonderes Augenmerk wurde darauf gelegt,

- Geländebruchkanten (u.a. Deich- und Straßenverläufe sowie Bühnenfelder)
- Abgrenzungen von Flächen mit unterschiedlichem Bewuchs oder Nutzung

genau zu erfassen. Zur Sicherstellung der mathematischen Stabilität des Verfahrens wurden ungünstige Elementgeometrien, wie bspw. zu stumpfe oder zu spitze Innenwinkel in den Gitterzellen sowie zu starke Größenunterschiede zwischen benachbarten Gitterzellen vermieden. Mit diesen Kriterien wurde für die Elbevorländer ein Berechnungsgitter aus Dreieckselementen mit Kantenlängen von ca. 6 bis 8 m erstellt. Das Hauptgerinne der Elbe wurde durch ein Gitter aus Viereckselementen mit maximalen Kantenlängen von ca. 12 m abgebildet. Die Vierecke

wurden in Hauptfließrichtung ausgerichtet. Evtl. vorhandene ersichtliche Deichscharten wurden im Modell als geschlossen angesetzt. Insgesamt konnte so ein Flussmodell mit großer Detailtreue erstellt werden, in dem bis auf Bunnenniveau die Geometrien des Flussschlauches und des Vorlandes erfasst wurden. Das Berechnungsgitter umfasst rd. 1,6 Mio. Knotenpunkte. Exemplarisch ist in **Abb. 3.6** ein Ausschnitt aus dem Berechnungsgitter im Bereich Elbe-km 557 dargestellt. **Tab. 3.4** fasst die wesentlichen Eigenschaften des Berechnungsgitters zusammen.



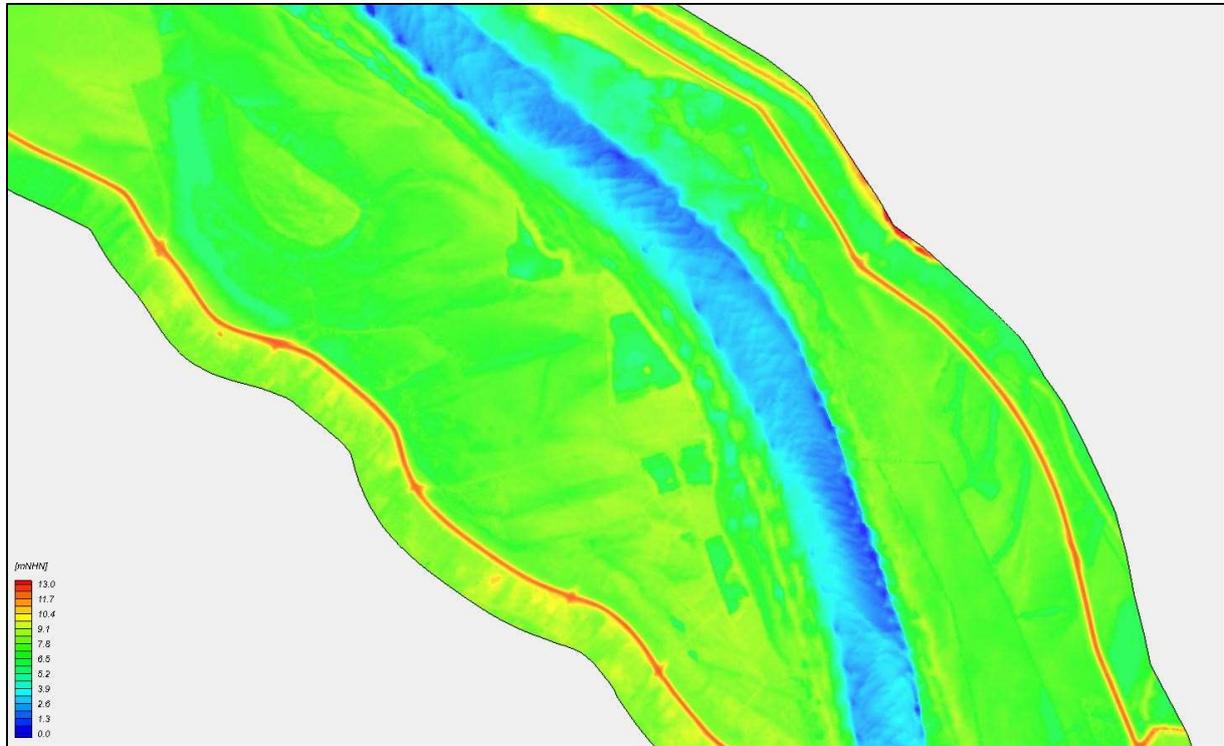
**Abb. 3.6:** Ausschnitt aus dem Berechnungsgitter im Bereich Elbe-km 557

**Tab. 3.4:** Eigenschaften des 2d-hn-Berechnungsgitters

Abschnitt	Fließstrecke	Gittereigenschaften
Elbe-km 523,9 bis Elbe-km 585,9 (Wehr Geesthacht)	62 km	3.208.264 Elemente 1.611.576 Knotenpunkte 12 m max. Kantenlänge (Flussschlauch) 8 m max. Kantenlänge (Vorland) ~ 89 km <sup>2</sup>

Die Festlegung der seitlichen Modellgrenzen erfolgte anhand unterschiedlicher Kriterien. Auf Flächen, die durch Deiche begrenzt waren, wurden die luftseitigen Deichfüsse als Modellgrenze festgelegt.

Auf Flächen, die nicht durch Deiche begrenzt waren, wurde das Hochufer als Modellgrenze festgelegt. Einen exemplarischen Ausschnitt (Topografie) aus dem Computermodell mit Modellgrenzen im Bereich Elbe-km 557 zeigt **Abb. 3.7**.



**Abb. 3.7:** Ausschnitt aus dem Modell (Topografie) mit Darstellung der Modellgrenzen, Bereich Elbe-km 557

### 3.3.3 Rauheiten

Die Rauheiten im 2d-hn-Modell wurden auf Grundlage des Landbedeckungsmodells (BKG, 2009) sowie Biotopkartierungen von 2009 bis 2012 (vgl. **Abs. 2**) festgelegt. Die Rauheitsbeiwerte wurden zunächst für die entsprechenden Landnutzungen bzw. Oberflächenbeschaffenheiten anhand von Literatur- und Erfahrungswerten festgelegt und lagen genau den Gitterelementen zugewiesen, wobei insgesamt 7 Rauheitsklassen verwendet wurden, vgl. **Abb. 3.8**.

Zu erkennen ist, dass mit dem hochaufgelösten Berechnungsgitter nicht nur eine detaillierte Erfassung der Topographie möglich war, sondern auch die Zuweisung der Rauheitsbeiwerte mit hohem Detaillierungsgrad erfolgen konnte.



**Abb. 3.8:** Ausschnitt aus dem Modell (Rauheiten), Bereich Elbe--km 557

### 3.3.4 Ergebnisse der 2d-hn-Kalibrierung

Das 2d-hn-Modell wurde ebenfalls am Hochwasser 2006 (Winterhochwasser) und am Hochwasser 2013 (Sommerhochwasser) kalibriert. Es wurden die Abflussdaten aus **Tab. 3.1** (Winterhochwasser 2006) und **Tab. 3.2** (Sommerhochwasser 2013) verwendet. Die Abflussdaten und Wasserspiegelmessungen wurden dem Online Portal FLYS der Bundesanstalt für Gewässerkunde entnommen. Als unterstromige Randbedingung wurde wiederum die Abflusskurve am Wehr Geesthacht verwendet, vgl. **Tab. 3.3**.

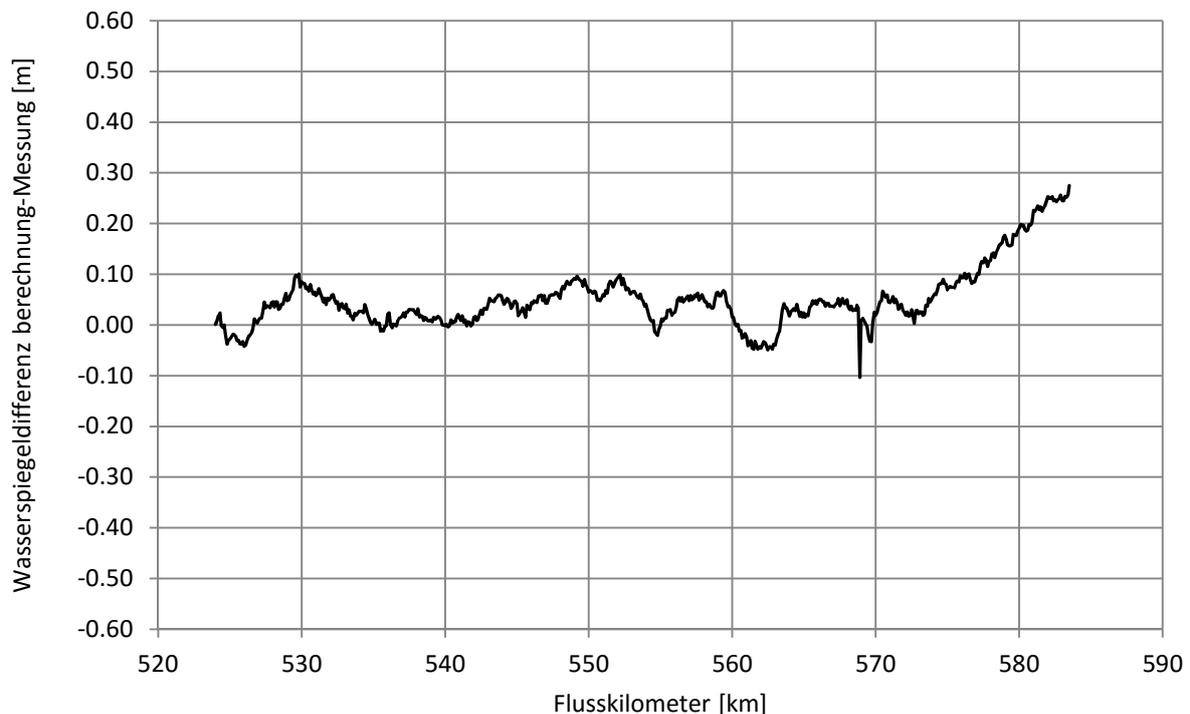
Im Rahmen des Kalibrierungsprozesses wurden die Rauheitsbeiwerte sukzessive plausibel angepasst, bis eine optimierte Übereinstimmung zwischen der Wasserspiegellagenmessung und der Wasserspiegellagenberechnung für das Hochwasser 2006 und das Hochwasser 2013 vorlag. Die Rauheitsbeiwerte des kalibrierten Modells sind in **Tab. 3.5** zusammengestellt. Es zeigte sich, dass die Rauheit der Elbe für das Winterhochwasser und das Sommerhochwasser einheitlich mit  $k_{St,Elbe} = 30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  erfasst werden konnte. Auf den Vorlandflächen wurden sechs verschiedene Bewuchs- bzw. Nutzungsarten unterschieden. Den größten Anteil an der Fläche des Vorlandes hatten die als Acker-, Grünland und Graslandflächen definierten Flächen. Für die Kalibrierung wurde in dieser Rauheitsklasse zwischen Winter und Sommer unterschieden. Im Winter wurde für diese Flächen ein Rauheitsbeiwert von  $k_{St} = 25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  und im Sommer ein Rauheitsbeiwert von  $k_{St} = 18 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  ermittelt. Für die anderen Flächenanteile wurde keine Unterscheidung zwischen Winter- und Sommerrauheit vorgenommen. Anmerkung: Im Rahmen von Untersuchungen zu Bewuchseinflüssen kann der Einfluss der jeweiligen Rauheitsklasse

detailliert erfasst werden. Für die vorliegende Fragestellung wurde auf eine tiefere Untersuchung verzichtet.

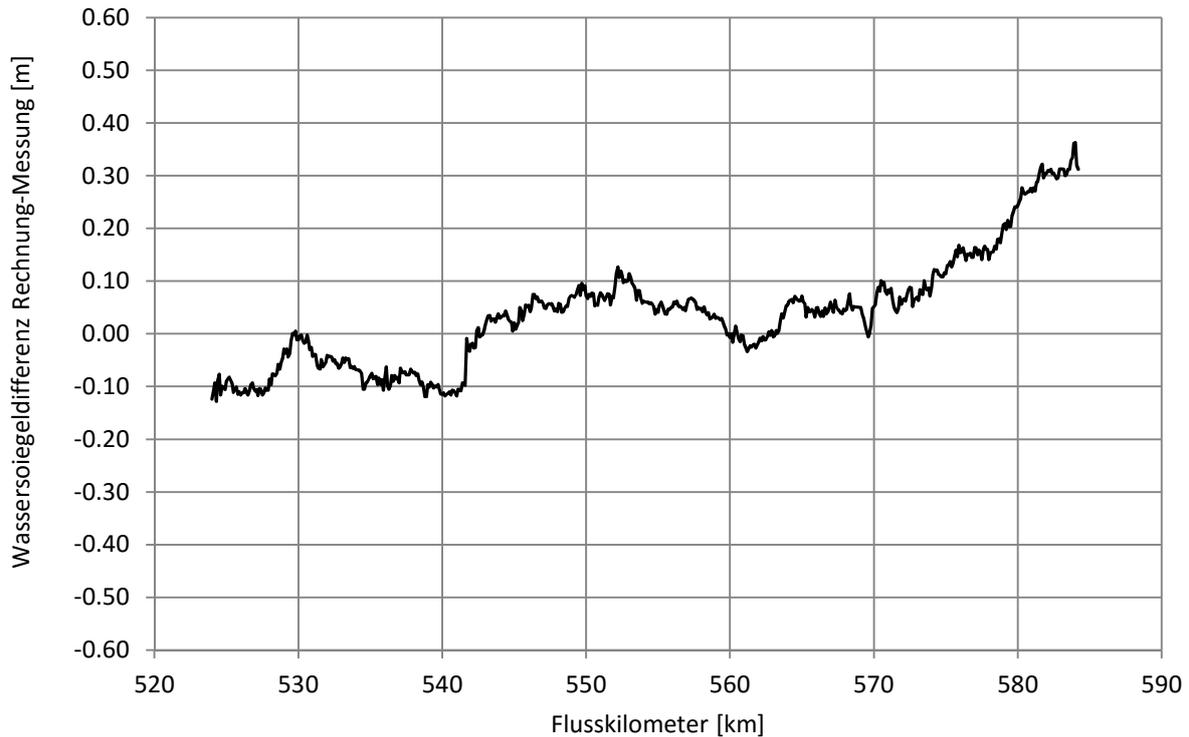
**Tab. 3.5:** Rauheitsklasse und zugehörige Rauheitsbeiwerte für das kalibrierte Modell

Nr.	Rauheitsklasse	$k_{St}$ [ $m^{1/3}/s$ ]
		Winter/Sommer
1	Bebauung	25/25
2	Acker-, Grünland-, Graslandflächen	25/18
3	Krautige Vegetation	18/18
4	Gehölz	8/8
5	Wald	8/8
6	Elbe	30/30
7	Vegetationsfreie Fläche/Wasserflächen	30/30

Ein Vergleich der berechneten Wasserspiegellagen und der gemessenen Wasserspiegellagen ist als Differenzendiagramm für das Wintermodell und das Sommermodell in den **Abb. 3.9** und **Abb. 3.10** dargestellt. Beide Diagramme zeigen, dass die Abweichungen zwischen Berechnung und Messung im 2d-hn-Modell im Wesentlichen bei  $\Delta h = \pm 10$  cm liegen. Etwa 80 % der berechneten Wasserspiegellagen lagen in diesem Toleranzbereich. Einzig im Bereich der unteren Randbedingung sind größere Abweichungen zu erkennen. Der Untersuchungsabschnitt (bis km 772) ist von diesen Abweichungen nicht beeinflusst.



**Abb. 3.9:** 2d-hn-Modell, Wasserspiegellagendifferenzen für das Winterhochwasser 2006



**Abb. 3.10:** 2d-hn-Modell, Wasserspiegellagedifferenzen für das Sommerhochwasser 2013

### 3.4 Fehlerabschätzung

Hydraulische Berechnungen mit hydro-numerischen Computermodellen unterliegen grundsätzlichen Unsicherheiten und Ungenauigkeiten, die auf die Eingangsdaten, Rechenverfahren usw. zurückzuführen sind. Nachfolgend werden die maßgeblichen Unsicherheiten und Ungenauigkeiten benannt und auf Grund von Erfahrungswerten quantifiziert. Im Wesentlichen sind dies:

- Toleranzen der topographischen Daten (DGM-W), die bei der Datenerhebung entstehen. Die absoluten Genauigkeiten der DGM-W-Datengrundlagen betragen etwa  $\pm 0,5$  m bis  $\pm 0,3$  m in der Lagegenauigkeit sowie  $\pm 0,15$  m in der Höhengenaugkeit. Zudem basieren die Sohlendaten der Elbe zumeist auf Vermessungen, die im Bereich des Mittelwasserabflusses stattgefunden haben. Die Sohlentopographie ändert sich jedoch maßgeblich bei Hochwasser (Transportkörper), so dass die bei Hochwasser vorliegende Gewässersohle deutlich von der bei Mittelwasser vorliegenden Gewässersohle abweichen kann.
- Ungenauigkeiten in den Wasserspiegellagenmessungen. Es ist davon auszugehen, dass Wasserspiegellagenmessungen und Abflussmessungen, wie bei wasserwirtschaftlichen

Naturmessungen mit GPS, Echelot, Tachimetrie, usw. üblich, z.T. Ungenauigkeiten aufweisen. Diese Ungenauigkeiten gehen in die Messung der Wasserspiegellage (Höhe) und in die Verortung der Messpunkte ein (Lage).

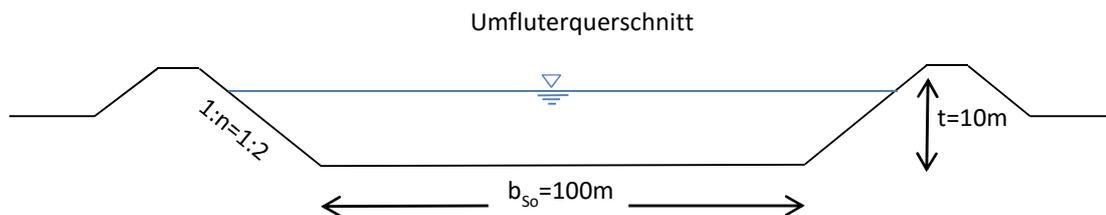
- Ungenauigkeiten bei Hochwasserabflussmessungen. Die Messung und abschließende Festlegung eines Hochwasserabflusses ist aufgrund der komplexen und zumeist schwierigen Randbedingungen mit deutlichen Unsicherheiten behaftet. Die gemessenen Abflüsse können durchaus bis zu  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ , ggf. sogar über diesen Wert hinaus von den tatsächlichen Abflüssen abweichen. Diese Ungenauigkeit geht direkt in die Modellgenauigkeit ein, da der Abfluss eine direkte Vorgabe für die Modellrechnungen ist. So zeigten bspw. hydraulische Voruntersuchungen, dass bei einem Hochwasser in der Elbe bei einer Abflussschwankung von rd.  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  mit einer Wasserspiegellagedifferenz von rd. 5 cm bis 7 cm zu rechnen ist.
- Abweichungen, die durch die Interpolation der Vermessungsdaten auf das Berechnungsgitter entstehen. Im vorliegenden Projekt wurde ein detailliertes Berechnungsgitter mit mittleren Kantenlängen von ca. 6 bis 12 m aufgebaut. Dies ist im Verhältnis zur Größe des Untersuchungsgebietes sehr hoch aufgelöst. Zudem wurde bei der Erstellung des Gitters ein besonderes Augenmerk auf die korrekte Erfassung von Geländebruchkanten, Bühnenfeldern etc. gelegt. Trotzdem können Dateninformationen im Gitternetzzwischenraum nicht abgebildet werden und führen so zu Unschärfen in der Darstellung der Topografie und in der Abbildung der Rauheiten.
- Ungenauigkeiten im numerischen Verfahren. Obwohl eindimensionale und zweidimensionale hydrodynamisch-numerische Verfahren die tatsächlichen Strömungsprozesse bei Hochwasser im Allgemeinen gut abbilden, beeinflussen Annahmen sowie Rundungs- und Interpolationsfehler bei der Berechnung die Ergebnisse.

Auf Grundlage der aufgeführten Einflussgrößen wird die absolute Unsicherheit bei Berechnungen mit Hochwasserabflüssen an der Elbe in Niedersachsen grundsätzlich auf einen Wertebereich von rd.  $\pm 10 \text{ cm}$  um den berechneten Wert (Wasserspiegellage) eingeschätzt. Da die durchgeführten Berechnungen vergleichende Berechnungen sind, können die angesprochenen Unsicherheiten im Wesentlichen ausgeschlossen werden.

## 4. Umfluter

### 4.1 Querprofilgeometrie und Rauheit

Für die hydraulischen Berechnungen wurde davon ausgegangen, dass die Linienführung der Umfluter geradlinig ist. Die Querschnittsgeometrie der Umfluter wurde als Trapezprofil mit konstanter Sohlenbreite und Böschungsneigung angesetzt. Für die ersten Berechnungen wurde dabei von einer Sohlenbreite  $b = 100$  m, einer Böschungsneigung von  $1:n = 1:2$  und einer Gesamttiefe von etwa  $t = 10$  m ausgegangen. Die Gesamttiefe des Umfluters errechnete sich aus der Höhendifferenz zwischen der Deichkrone und der Sohle des Umfluters. Die Deichkronenhöhe war im Computermodeill durch die Deichkronenhöhe der Elbedeiche am Umfluterabzweig und an der Umflutereinmündung festgelegt. Zwischen dem Umfluterabzweig und der Umflutereinmündung wurden die Deichkronenhöhen der Elbe linear interpoliert und auf den Umfluterdeich übertragen. Aus dieser Vorgehensweise ergab sich, dass die Umflutersohle im Abzweig und im Bereich der Einmündung in die Elbe auf dem Sohlniveau der Elbe lag. Der Umfluter schnitt somit etwa 5 m in das Vorland der Elbe ein. **Abb. 4.1** zeigt einen exemplarischen Umfluterquerschnitt.

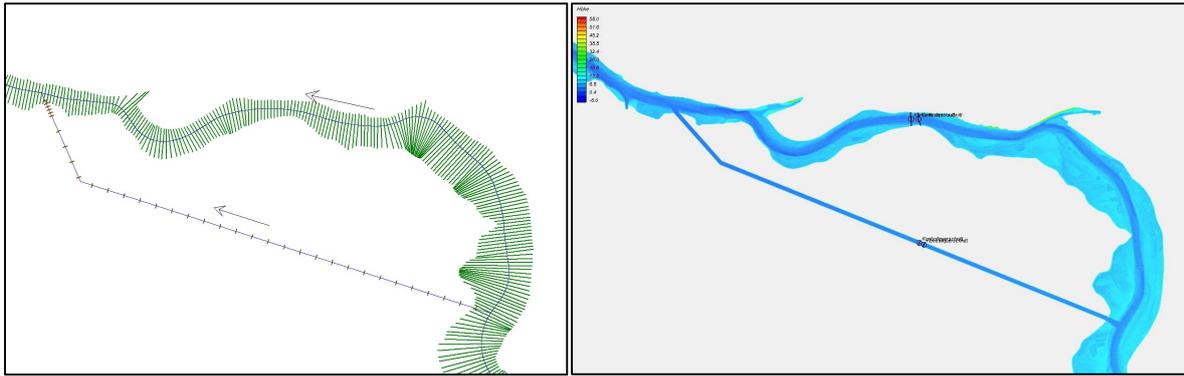


**Abb. 4.1:** Skizze: Exemplarischer Umfluterquerschnitt

Für die hydraulischen Berechnungen wurde zudem die Annahme getroffen, dass ein durchgängiger Rauheitsbeiwert von  $k_{St} = 30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  im Umfluter vorliegt. Bei der Festlegung der Rauheit im Umfluter wurde davon ausgegangen, dass der Umfluter unterhalten wird, aber vereinzelt Büsche und Bäume sowie Ruderalfluren im Querschnitt vorzufinden sind.

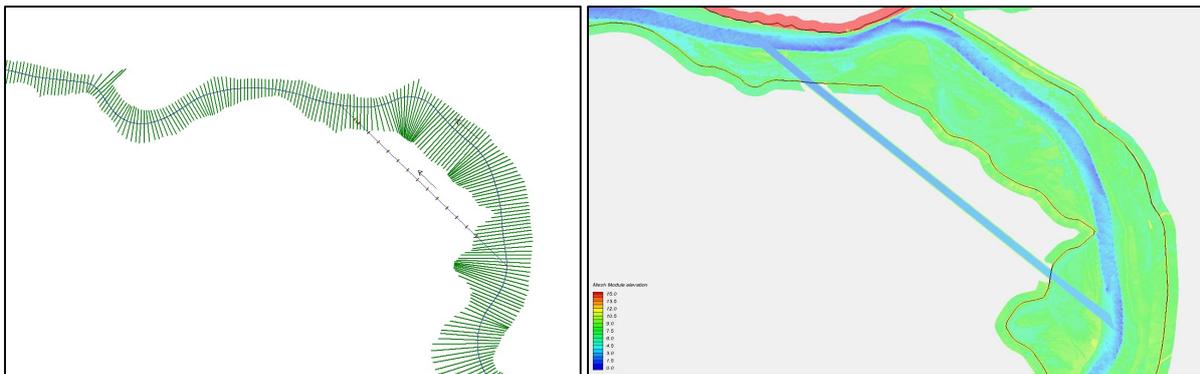
### 4.2 Lage

Der Umfluter Bleckede zweigt bei Elbe-km 552,0 am linken Ufer ab und mündet bei Elbe-km 572 wieder in die Elbe ein. Die modelltechnische Darstellung des Umfluterungsverlaufs im 1d-hn-Modell und im 2d-hn-Modell ist in **Abb. 4.2** gegeben. Der Umfluter Bleckede hat eine Länge von rd. 15 km. Anmerkung: Die Länge der Umfluter gibt jeweils den Abstand der Umfluter zwischen den Deichen (Abzweig-Einmündung) an.



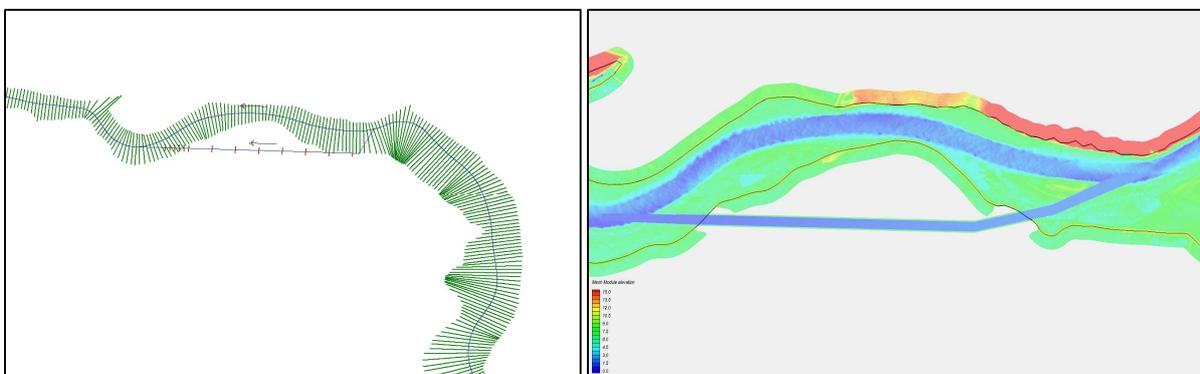
**Abb. 4.2:** Modelltech. Darstellung des Umfluters Bleckede 1d-hn-Modell (li.) und 2d-hn-Modell (re.)

Der Umfluter Radegast zweigt bei Elbe-km 553,2 am linken Ufer ab und mündet bei Elbe-km 561,4 wieder in die Elbe ein. Die modelltechnische Darstellung des Umfluterverlaufs im 1d-hn-Modell und im 2d-hn-Modell ist in **Abb. 4.3** gegeben. Der Umfluter Radegast hat eine Länge von rd. 4,5 km.



**Abb. 4.3:** Modelltechn. Darstellung des Umfluters Radegast, 1d-hn-Modell (li.) und 2d-hn-Modell (re.)

Der Umfluter Barförde zweigt bei Elbe-km 560,2 am linken Ufer ab und mündet bei Elbe-km 567,3 wieder in die Elbe ein. Die modelltechnische Darstellung des Umfluterverlaufs im 1d-hn-Modell und im 2d-hn-Modell ist in **Abb. 4.4** gegeben. Der Umfluter Barförde hat eine Länge von rd. 4 km.



**Abb. 4.4:** Modelltechn. Darstellung des Umfluters Barförde, 1d-hn-Modell (li.) und 2d-hn-Modell (re.)

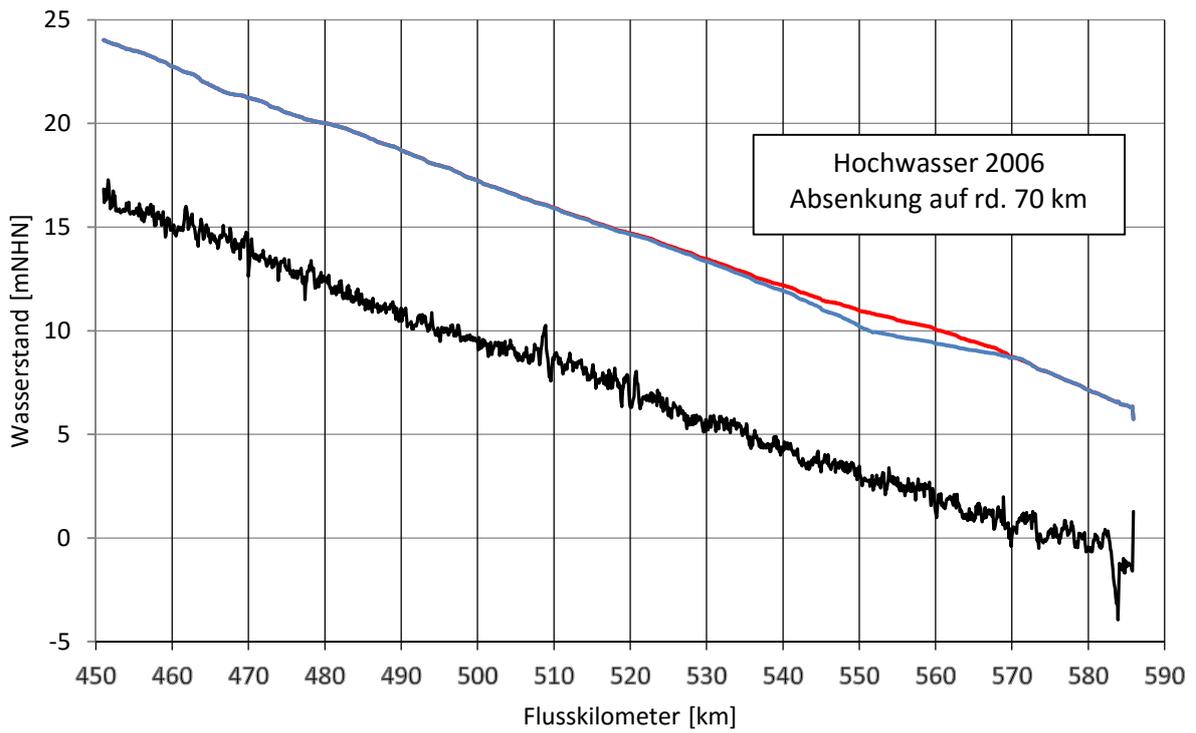
## 5. Berechnungsergebnisse

### 5.1 Umfluter Bleckede

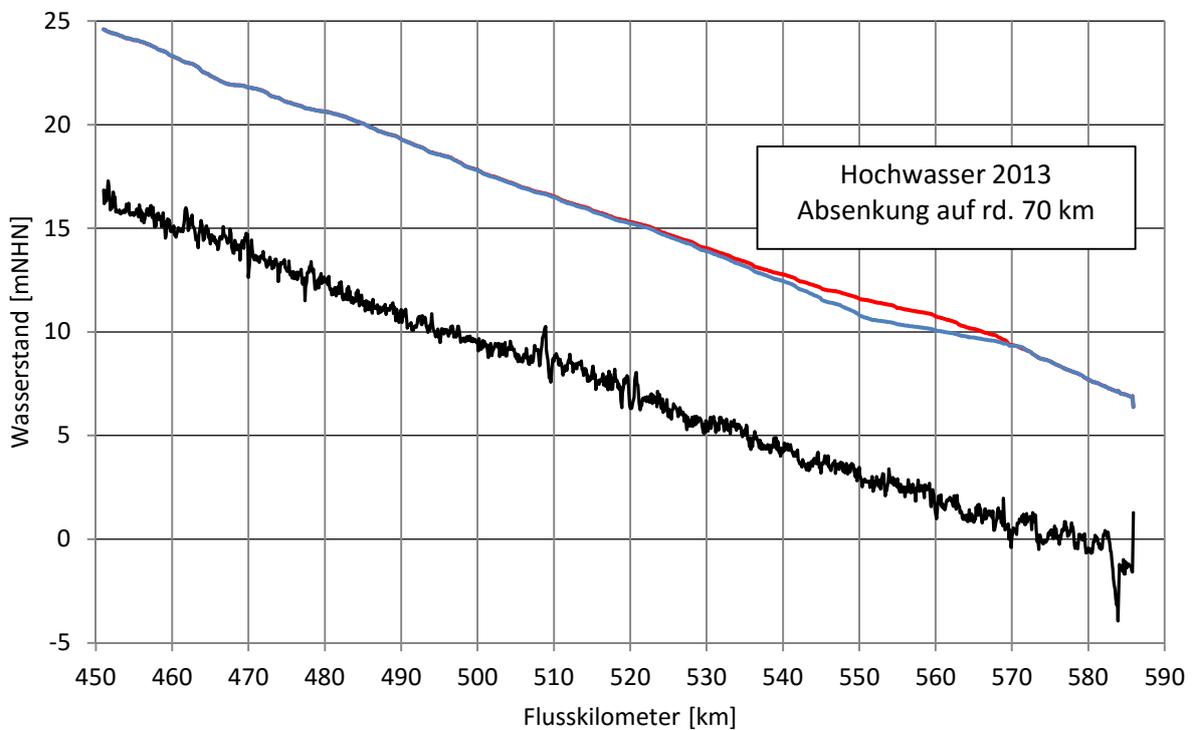
Die 2d-hn-hydraulischen Berechnungen zum Umfluter Bleckede zeigten, dass durch den Umfluter signifikante Wasserspiegellängsschnitte in der Elbe erfolgten. **Abb. 5.1** und **Abb. 5.2** zeigen einen Wasserspiegellängsschnitt für das Winterhochwasser 2006 und das Sommerhochwasser 2013. Die Wasserspiegellage ohne Umfluter ist rot, die Wasserspiegellage mit Umfluter ist blau dargestellt. Zudem ist die Sohle der Elbe dargestellt (schwarze Linie). Die Wassertiefen betragen etwa 8 m bis 9 m über der Sohle der Elbe. Um die Absenkungen, die durch den Umfluter hervorgerufen wurden besser darstellen zu können, wurde zudem ein Differenzendiagramm in **Abb. 5.3** dargestellt. Im Differenzendiagramm ist die Differenz zwischen der berechneten Wasserspiegellage „ohne Umfluter“ und der berechneten Wasserspiegellage „mit Umfluter“ dargestellt. Die durchgezogene schwarze Linie zeigt den Absenk für das Hochwasser 2006, die gestrichelte Linie zeigt den Absenk für das Hochwasser 2013.

Deutlich wird zunächst, dass die Wasserspiegellängsschnitte für das Winterhochwasser 2006 und das Sommerhochwasser 2013 nahezu identisch sind. Im Bereich des Abzweigs des Umfluters bei Fluss-km 552 fanden die stärksten Absenkungen statt. Sie betragen für das Winterhochwasser und das Sommerhochwasser rd. 85 cm. Der Absenk reichte in das Oberwasser bis Elbe-km 504 (etwa Dömitz), wo mit rd. 2 cm die Genauigkeitsgrenze der hydraulischen Berechnungen erreicht wurde. Auf der Fließstrecke zwischen Dömitz und dem Umfluterabzweig wurde nahe Hitzacker (Elbe-km 522-523) eine Wasserspiegellängssenkung von rd. 10 cm berechnet, im Bereich von Neu Darchau (Elbe-km 536) eine Wasserspiegellängssenkung von rd. 25 cm, im Bereich der Ortschaft Bleckede (Elbe-km 550) eine Wasserspiegellängssenkung von rd. 80 cm.

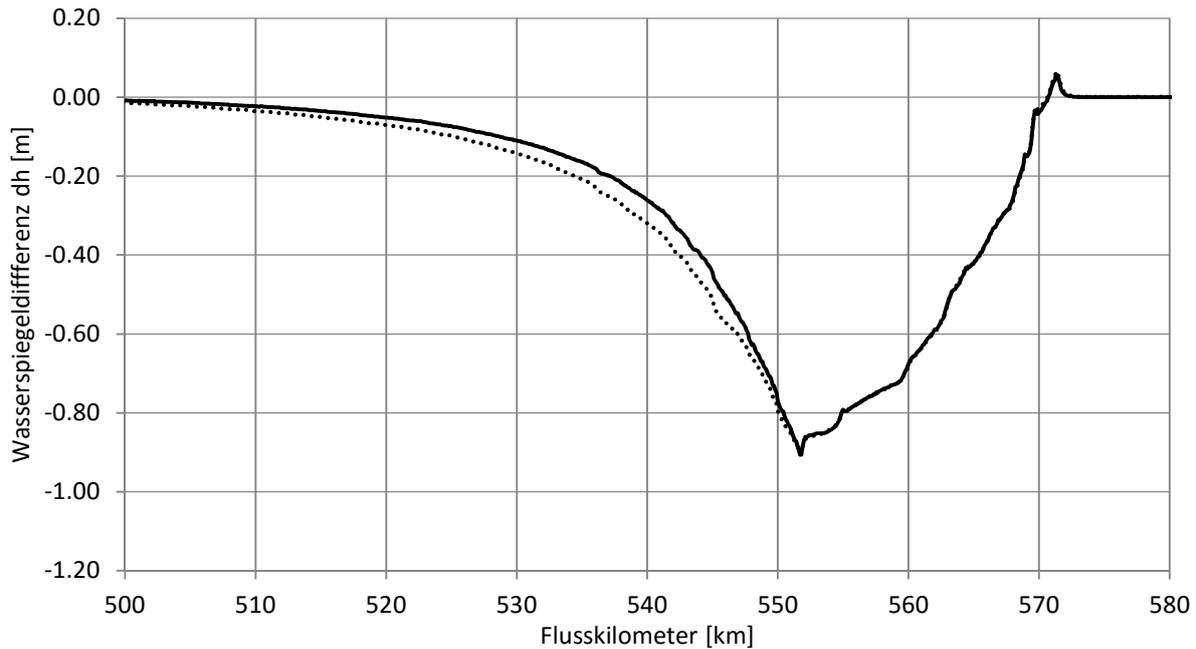
Unterhalb des Umfluterabzweigs wurde für Radegast (Elbe-km 555) eine Wasserspiegellängssenkung von rd. 80 cm berechnet, für Boizenburg (Elbe-km 559 - 560) eine Wasserspiegellängssenkung von rd. 70 cm, für Barförde (Elbe-km 563) eine Wasserspiegellängssenkung von rd. 60 cm und für Hohnstorf und Lauenburg (Elbe-km 569 - 570) eine Wasserspiegellängssenkung von rd. 10 cm. Im Bereich der Einmündung des Umfluters in die Elbe bei km 572 (vor Einmündung des Elbe-Seiten-Kanals (km 573)) glichen sich die Wasserspiegellagen wieder an. Die Absenkkurve der Wasserspiegel verlief also nahezu 50 km vom Abzweig des Umfluters (Elbe-km 552) bis etwa Dömitz (Elbe-km 504) in das Oberwasser. Zwischen dem Abzweig des Umfluters (Elbe-km 552) und der Einmündung des Umfluters (Elbe-km 572) wurden die Wasserspiegellagen auf einer Fließstrecke von rd. 20 km abgesenkt. Insgesamt wurde mit dem Umfluter Bleckede die Wasserspiegellage auf einer Fließstrecke von rd. 70 km in der Elbe abgesenkt.



**Abb. 5.1:** Hochwasser 2006 Wasserspiegellängsschnitt ohne Umfluter (rot) und mit Umfluter (blau)



**Abb. 5.2:** Hochwasser 2013 Wasserspiegellängsschnitt ohne Umfluter (rot) und mit Umfluter (blau)



**Abb. 5.3:** Wasserspiegellagendifferenzen Berechnung ohne Umfluter“ minus Berechnung „mit Umfluter“ für das Hochwasser 2006 (durchgezogene Linie) und das Hochwasser 2013 (gestrichelte Linie)

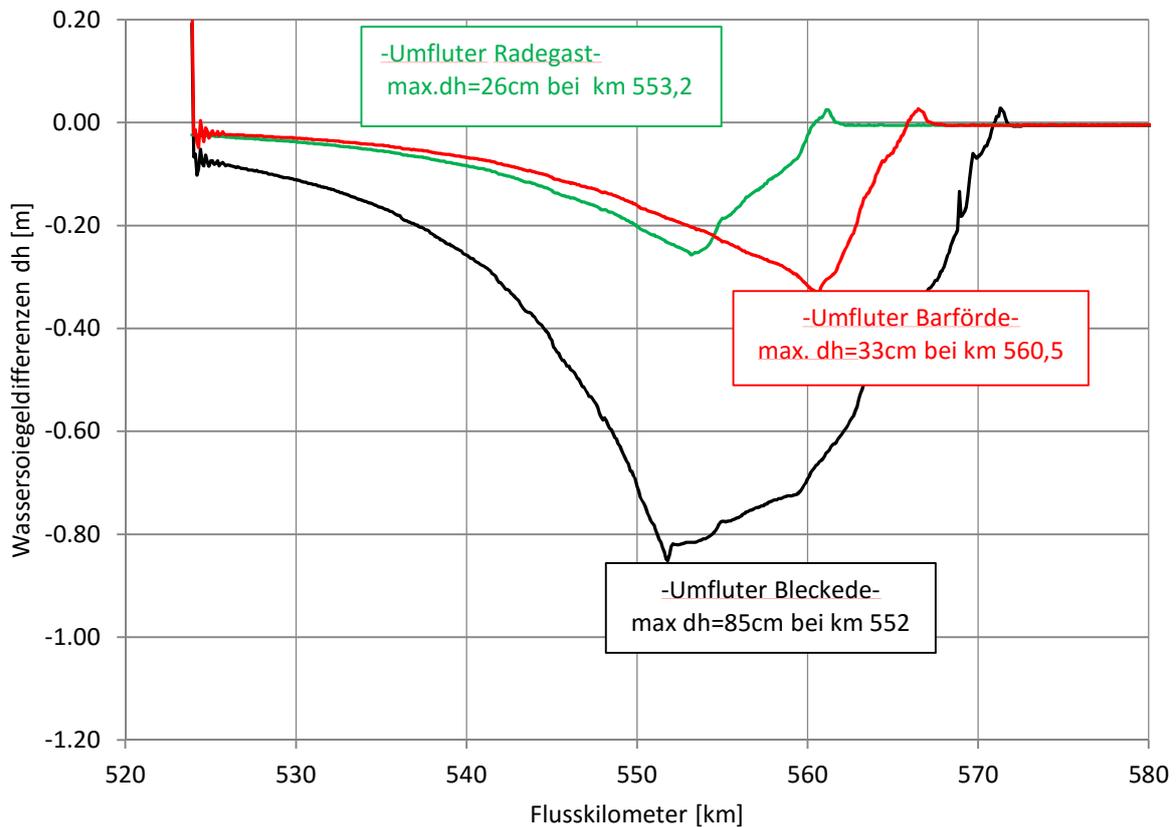
## 5.2 Umfluter Radegast und Umfluter Barförde

Die 2d-hn-hydraulischen Berechnungen zu den Umflutern Radegast und Barförde zeigten, dass die Wasserspiegelabsenkungen geringer ausfielen, als die, die durch den Umfluter Bleckede erzielt wurden. Die maßgeblichen Ergebnisse der Berechnungen sind in einem Differenzendiagramm in **Abb. 5.4** zusammengestellt. Die Abbildung zeigt die Absunkkurven für den Umfluter Radegast und den Umfluter Barförde und vergleichend dazu die Absunkkurve des Umfluters Bleckede.

**Umfluter Radegast:** Der maximale Absenk, der durch den Umfluter Radegast erzielt wurde, betrug rd. 26 cm am Abzweig des Umfluters bei Elbe-km 553,2. Die Absenkungskurve reichte nach oberstrom etwa bis Elbe-km 520 (nahe Hitzacker), also rd. 33 km nach oberstrom. Zwischen dem Abzweig des Umfluters (Elbe-km 553,2) und der Einmündung des Umfluters (Elbe-km 561,4) wurden die Wasserspiegellagen auf einer Fließstrecke von rd. 8 km abgesenkt. Insgesamt wurde mit dem Umfluter Radegast die Wasserspiegellage auf einer Fließstrecke von rd. 41 km in der Elbe abgesenkt.

**Umfluter Barförde:** Der maximale Absenk, der durch den Umfluter Barförde erzielt wurde, betrug rd. 33 cm am Abzweig des Umfluters bei Elbe-km 560,5. Die Absenkungskurve reichte ebenfalls etwa bis Elbe-km 520, also rd. 40 km nach oberstrom. Zwischen dem Abzweig des

Umfluters (Elbe-km 560,5) und der Einmündung des Umfluters (Elbe-km 567,3) wurden die Wasserspiegellagen auf einer Fließstrecke von rd. 7 km abgesenkt. Insgesamt wurde mit dem Umfluter Barförde die Wasserspiegellage auf einer Fließstrecke von rd. 47 km in der Elbe abgesenkt. Anmerkung: Die Absenkkurven verliefen für das Winterhochwasser 2006 und das Sommerhochwasser 2013 ähnlich, so dass exemplarisch nur das Differenzendiagramm für das Winterhochwasser 2006 dargestellt wurde.



**Abb. 5.4:** Differenzendarstellung Hochwasser 2006 für die Umfluter Radegast, Barförde und Bleckede

Die Abflussaufteilung für die drei Umflutervarianten ist in **Tab. 5.1** zusammengestellt. Über den Umfluter Bleckede und den Umfluter Barförde wurde rd.  $\frac{1}{3}$  des Gesamtabflusses der Elbe abgeleitet; über den Umfluter Radegast rd.  $\frac{1}{4}$  des Gesamtabflusses.

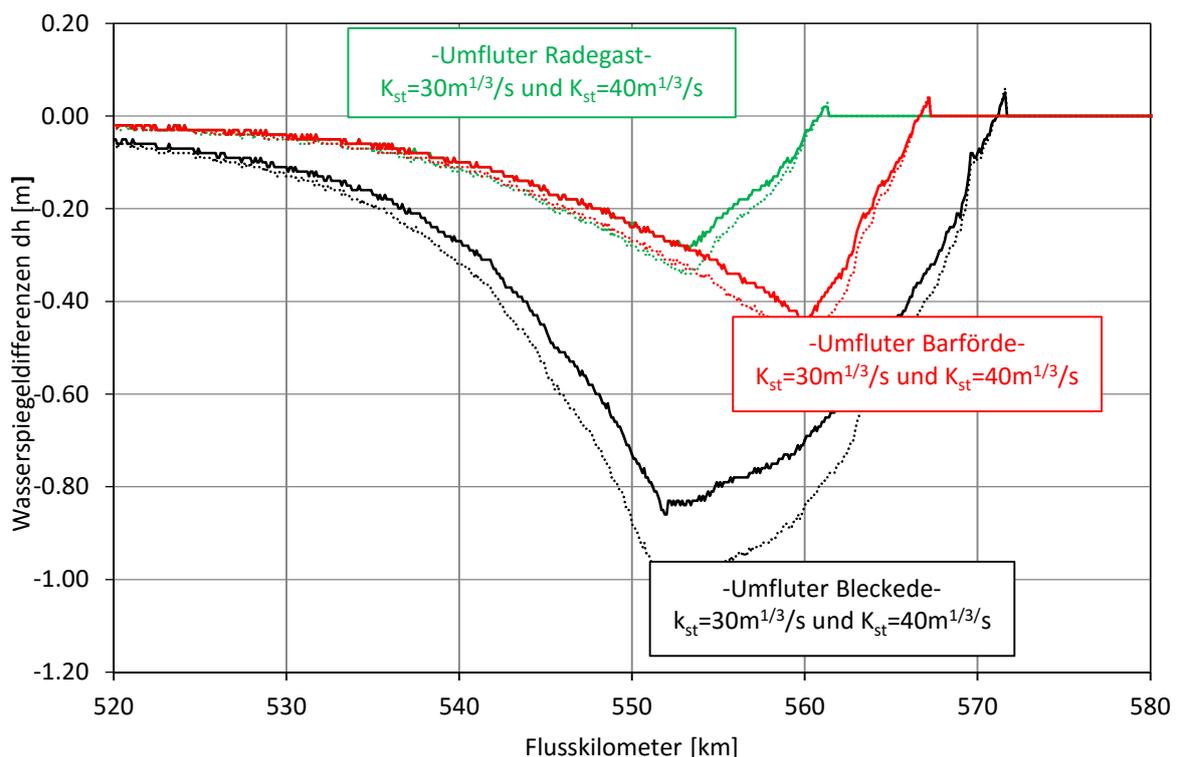
**Tab. 5.1:** Abflussaufteilung Winterhochwasser 2006

Umfluter	Gesamtabfluss Elbe [m³/s]	Teilabfluss Umfluter [m³/s]	Prozentualer Anteil [%]
Bleckede	3.592	1.103	31
Radegast	3.592	872	24
Barförde	3.592	1.136	32

### 5.3 Einfluss der Umfluter-Rauheit

Um den Einfluss der Rauheit im Umfluter zu klären wurden ergänzende Untersuchungen mit dem 1d-hn-Modell durchgeführt. Für die Untersuchungen wurde der Umfluterkanal mit einer glatteren Rauheit  $k_{st} = 40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  versehen und die hydraulischen Berechnungen unter ansonsten gleichen Randbedingungen wiederholt. Die Rauheit  $k_{st} = 40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  wurde für einen gut unterhaltenen Umflutkanal ohne Großbewuchs angesetzt. Es wurde von einer Graslandnutzung ausgegangen. Die Ergebnisse der hydraulischen Berechnungen sind in **Abb. 5.5** in einem Differenzendiagramm dargestellt.

Die gestrichelten Linien zeigen den Absink für  $k_{st} = 40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , die durchgezogenen Linien zeigen vergleichend den Absink für  $k_{st} = 30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ . Das Differenzendiagramm zeigt, dass die Erhöhung des Rauheitsbeiwertes von  $k_{st} = 30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  auf  $k_{st} = 40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  einen deutlichen Einfluss auf die Wasserspiegellagen hat. Der maximale Absink für den Umfluter Bleckede wurde um rd. 20 cm, der maximal Absink für die Umfluter Radegast und Barförde um rd. 10 cm erhöht.



**Abb. 5.5:** Einfluss der Umfluterraueheit auf die Wasserspiegellage, Differenzendarstellung Hochwasser 2006 für die Umfluter Radegast, Barförde und Bleckede

## 5.4 Einfluss der Umfluter-Höhenlage und der Querschnittsgeometrie

Neben der Untersuchung des Einflusses der Rauheit auf die Wasserspiegellage wurden zudem der Einfluss einer veränderten Höhenlage des Umflutkanals und der Einfluss einer veränderten Sohlenbreite untersucht. Die hydraulischen Berechnungen wurden mit dem 1d-hn-Modell durchgeführt. Insgesamt wurden 6 weitere Umflutervarianten hydraulisch berechnet. Die maßgeblichen Angaben zu den Umflutervarianten sind in **Tab. 5.2** zusammengestellt. Exemplarisch wurden die hydraulischen Berechnungen mit dem Umfluter Bleckede durchgeführt.

### Varianten a) bis c) $t = 5 \text{ m}$

Die Varianten a) bis c) gehen von einer geringeren Umflutertiefe von  $t = 5 \text{ m}$  aus, was bedeutet, dass die Sohle des Umfluters auf etwa Geländeniveau angenommen wurde und kein Einschnitt in das Gelände vorgenommen wurde. Die Deichkrone verblieb, wie in der Ausgangsuntersuchung, bei weiterhin etwa 5 m über dem Geländeniveau. Die Gesamttiefe der Umflutervariante a) bis c) betrug somit  $t = 5 \text{ m}$ .

### Varianten d) bis f) $t = 7,5 \text{ m}$

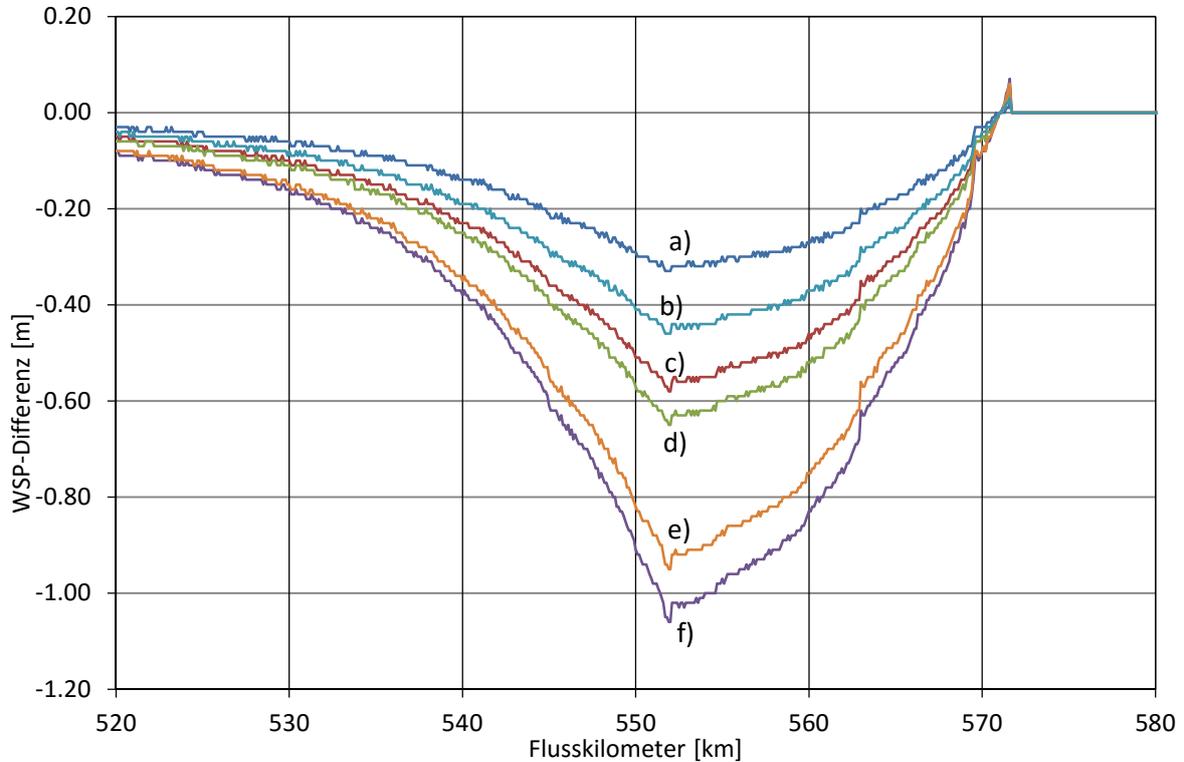
Die Varianten d) bis f) gehen von einer Umflutertiefe von  $t = 7,50 \text{ m}$  aus. Das bedeutet, dass von einem Einschnitt in das anstehende Gelände von 2,5 m ausgegangen wurde. Die Deichkrone verblieb weiterhin bei etwa 5 m über dem Geländeniveau. Die Gesamttiefe der Umflutervarianten d) bis f) betrug somit  $t = 7,5 \text{ m}$ .

**Tab. 5.2:** Umflutervarianten a) bis f)

Varianten	Sohlenbreite $b$ [m]	Tiefe [m]	Böschungsneigung 1:n
a)	100	5	1:3
b)	150	5	1:3
c)	200	5	1:3
d)	100	7,5	1:3
e)	170	7,5	1:3
f)	200	7,5	1:3

Die hydraulischen Berechnungen wurden mit einem Rauheitsbeiwert  $k_{st} = 30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  durchgeführt. Dargestellt sind die Berechnungsergebnisse für das Sommerhochwasser 2013 als Differenzendiagramm in **Abb. 5.7**. Deutlich wird, dass die Tiefe des Umfluters einen maßgeblichen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des Umfluters hat. Die Varianten a) bis c) mit einer

Umflutertiefe von  $t = 5\text{ m}$  zeigen deutlich geringere Absunkkurven als die Varianten d) bis f) in denen die Umflutertiefe  $t = 7,5\text{ m}$  betrug. Die über den Umfluter abgeleiteten Teilabflüsse sind in **Tab. 5.3** zusammengestellt.



**Abb. 5.7:** Einfluss der Höhenlage und der Querschnittsgeometrie auf die Wasserspiegellage, Differenzendarstellung Hochwasser 2013 für den Umfluter Bleckede

**Tab. 5.3:** Abflussanteil der Umfluter Modelle a) bis f) am Gesamtabfluss der Elbe

Varianter	Abflussanteil am Gesamtabfluss der Elbe [%]
a)	11
b)	15
c)	19
d)	21
e)	31
f)	34

## 6. Zusammenfassung

Das Institut für Wasserwirtschaft und Umweltschutz GmbH (IWU) an der Hochschule Magdeburg wurde vom Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz damit beauftragt an der unteren Mittelelbe hydraulische Berechnungen für 3 Umflutervarianten durchzuführen. Mit den Umflutern sollen Engstellen in der Elbe umgangen werden. Ziel der Untersuchungen war es, einen Teilabfluss der Elbe über die Umfluter abzuleiten, um die Wasserspiegellagen bei extremen Hochwasserereignissen abzusenken. Als Hauptvariante wurde der Umfluter Bleckede untersucht, der bei Elbe-km 552 abzweigt und bei Elbe km 572 wieder in die Elbe einmündet. Der Umfluter Bleckede hat eine Länge von rd. 15 km und umgeht mehrere Engstellen in der Elbe. Neben der Hauptvariante wurden zudem zwei kleinere Umflutervarianten untersucht, mit denen die lokalen Engstellen bei Radegast und Barförde umgangen werden können. Der Umfluter Radegast zweigt bei Elbe-km 553,2 ab und mündet in Elbe-km 561,4 wieder in die Elbe ein. Der Umfluter Radegast hat eine Länge von rd. 4,5 km. Der Umfluter Barförde zweigt bei Elbe-km 560,2 ab und mündet bei Elbe-km 567,3 wieder in die Elbe ein. Er hat eine Länge von rd. 4 km.

Für die hydraulischen Berechnungen wurden die Umfluter als Trapezquerschnitt mit einer Sohlenbreite von 100 m, einer Umflutertiefe von 10 m und Böschungsneigungen von 1:2 sowie mit einer geradlinigen Linienführung festgelegt. Weiterhin wurde ein Rauheitsbeiwert von  $k_{St} = 30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  angesetzt und die Umfluter auf Sohlenniveau an die Elbe angeschlossen. Die hydraulischen Berechnungen mit einem 1d-hydrnumerischen und einem 2d-hydrnumerischen Computermodell zeigten, dass mit dem Umfluter Bleckede signifikante Wasserspiegelabsenkungen erzielt werden können. Der Absunk betrug an der Abzweigstelle Elbe-km 552 für die zu Grunde gelegten Hochwasserereignisse 2006 und 2013 bis zu rd. 85 cm. Die Absunkkurve erstreckte sich etwa von Elbe-km 505 bis zum Elbe-km 572, also über eine Fließstrecke von nahezu 70 km. Der Abflussanteil, der über den Umfluter abgeleitet wurde, betrug rd.  $\frac{1}{3}$  des Hauptabflusses der Elbe.

Für die Umfluter Radegast und Barförde zeigten die hydraulischen Berechnungen geringere Wasserspiegelabsenkungen. Der Absunk betrug an der Abzweigstelle des Umfluters Radegast bis zu 26 cm und die Absunkkurve erstreckte sich von Elbe-km 520 bis Elbe-km 561,4 über eine Fließstrecke von rd. 41 km. Für den Umfluter Barförde betrug der Absunk an der Abzweigstelle bis zu 33 cm und die Absunkkurve erstreckte sich von Elbe-km 520 bis Elbe-km 567,3 über eine Fließstrecke von rd. 47 km. Der Abflussanteil der über den Umfluter Radegast geleitet wurde betrug rd.  $\frac{1}{4}$  des Hauptabflusses der Elbe. Der Abflussanteil, der über den Umfluter Barförde abgeleitet wurde, betrug rd.  $\frac{1}{3}$  des Hauptabflusses der Elbe.

Neben diesen grundsätzlichen hydraulischen Untersuchungen wurden zudem die Einflussgrößen Rauheit, Sohlenbreite und Höhenlage der Umfluter in weiteren Varianten untersucht.

**Abflussverbessernde Maßnahmen  
an der Unteren Mittelelbe  
Rahmenplan**

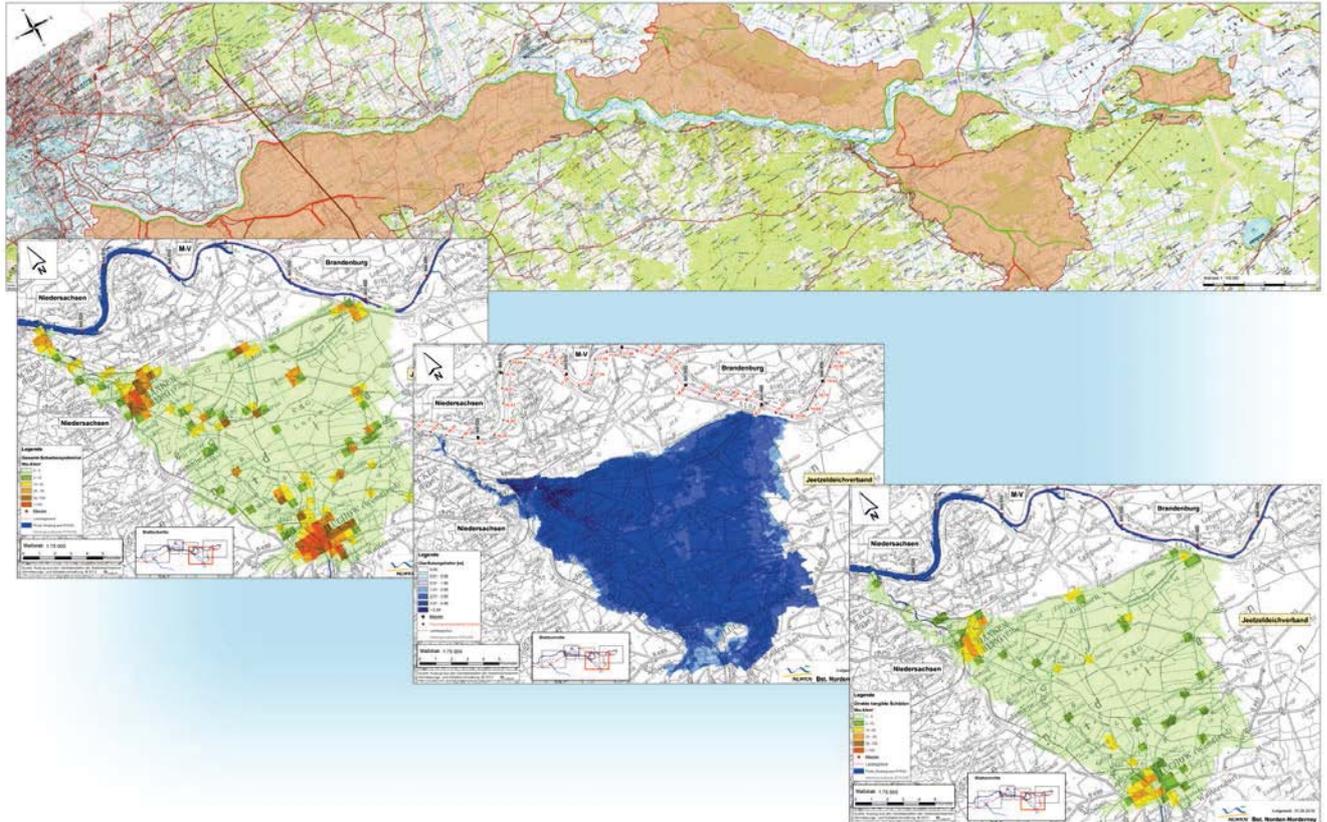
**Teil Niedersachsen**

**Anlage 4**

**Schadenspotentialanalyse**

**Niedersächsischer Landesbetrieb für  
Wasserwirtschaft, Küstenschutz und  
Naturschutz**

**2016**



Hans-Jörg Lambrecht, Frank Thorenz und Holger Blum

## **Ermittlung von Schadenspotentialen und potentiellen Schäden für den niedersächsischen Bereich der unteren Mittelelbe**

Dienstbericht

Oktober 2016



**Niedersachsen**

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	II
Tabellenverzeichnis.....	III
1 Einleitung .....	1
2 Schadenspotential- und Schadensanalyse .....	1
2.1 Methodischer Überblick .....	1
2.2 Definition von Schadensarten und Wertekategorien .....	2
2.3 Methodik der Werteermittlung und -verortung .....	3
2.4 Methodik der Schadensanalyse .....	4
3 Eingangsdaten.....	6
4 Schadenspotentialermittlung für den Bereich der unteren Mittelelbe.....	6
4.1 Abgrenzung des Untersuchungsgebiets.....	6
4.2 Ergebnisse der Schadenspotentialermittlung.....	7
5 Potentielle Schäden in den Gebieten .....	9
6 Zusammenfassung .....	11
Schrifttum .....	13
Anlagen .....	15

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Elemente und Ablauf einer Schadensanalyse.....	1
Abb. 2:	Schadensarten für Hochwasserereignisse nach Meyer (2005).....	2
Abb. 3:	Schadensarten- und Kategorien nach Meyer (2005) .....	3
Abb. 4:	Wirtschaftszweigeinteilung WZ 2008.....	3
Abb. 5:	Schadenspotential- bzw. Schadensanalysewerkzeug des NLWKN .....	4
Abb. 6:	Schadensfunktionen für das Anlagevermögen verschiedener Wirtschaftszweige (KRIM, 2004) .....	5
Abb. 7:	Weitere Schadensfunktionen (KRIM, 2004) .....	5
Abb. 8:	Anteile der Wertekategorien am Gesamtschadenspotential für den Artlenburger Deichverband.....	8
Abb. 9:	Räumliche Verteilung der Schadenspotentiale für den Artlenburger Deichverband .....	8
Abb. 10:	Räumliche Verteilung der Wassertiefen sowie Planungswasserstände für das Gebiet des Artlenburger Deichverbands .....	9
Abb. 11:	Räumliche Verteilung der potentiellen Schäden im Teilgebiet des Artlenburger Deichverbands .....	10
Abb. 12:	Verteilung der potentiellen Schäden auf die Schadenskategorien für das Gebiet des Artlenburger Deichverbands sowie Anzahl der rechnerisch betroffenen Einwohner ..	11

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Flächengrößen der untersuchten Teilgebiete im Bereich der unteren Mittelelbe.....	6
Tab. 2:	Rechnerische Einwohnerzahl, Schadenspotentiale für direkte, tangible Wertekategorien sowie die Bruttowertschöpfung in den untersuchten Gebieten der unteren Mittelelbe .....	7
Tab. 3:	Potentielle Schäden für direkte, tangible Wertekategorien der untersuchten Gebiete	10

# 1 Einleitung

Der Geschäftsbereich II der Betriebsstelle Lüneburg des NLWKN erstellt den „Rahmenplan für abflussverbessernde Maßnahmen an der unteren Mittelelbe – Teil Niedersachsen“. Als Beitrag für diesen Plan wurden durch den GB II der Betriebsstelle Norden-Norderney des NLWKN für den 113 km langen Elbabschnitt zwischen Schnackenburg und der Staustufe Geesthacht Schadenspotentiale und potentielle Schäden für ein auf hydronumerischen Modellierungen der Bundesanstalt für Gewässerkunde basierendes Überflutungsszenario ermittelt.

Für das Betrachtungsgebiet wurde zunächst eine Erhebung der in den niedersächsischen Deichverbandsgebieten vorhandenen monetären Werte und Einwohner in Form einer Schadenspotentialanalyse vorgenommen. In einem weiteren Schritt erfolgte eine Ermittlung der zu erwartenden potentiellen Schäden in diesen Gebieten, welche durch die sich jeweils örtlich ergebenden, szenarienbasierten Wasserstände hervorgerufen werden. Grundlage für die angewandte Methodik für die Ermittlung der Schadenpotentiale und potentiellen Schäden bilden Untersuchungen zur Gefährdung der niedersächsischen Küstengebiete, die im Rahmen des EU-INTERREG Vorhabens SAFECOAST (Laufzeit 2005 bis 2008) und des BMBF geförderten KFKI-Forschungsverbundvorhaben HoRisK (Laufzeit 2009 bis 2014) durch den NLWKN durchgeführt wurden. Die Anwendung der dort entwickelten Methoden auf das niedersächsische Gebiet der unteren Mittelelbe ist Gegenstand dieses Berichts.

## 2 Schadenspotential- und Schadensanalyse

### 2.1 Methodischer Überblick

Analysen der vorhandenen Schadenspotentiale und potentiellen Schäden bilden im Kontext eines Hochwasserrisikomanagements für überflutungsgefährdete Gebiete im Fall einer Überflutung eines betrachteten Untersuchungsgebiets wichtige Kriterien. Hierfür stellen die in dem Untersuchungsgebiet vorhandenen Werte und deren räumliche Verteilung sowie die Geländehöhen des Gebiets in Relation zum mittleren Extremwasserstand wichtige Grundlagen dar.

Mit Hilfe einer Schadenspotentialanalyse wird in der Regel die Verteilung von Werten raumbezogen für Gebiete bestimmt, die im Fall von Überflutungsereignissen betroffen sein können. Hierbei erfolgt in der Regel eine differenziertere Betrachtung bezogen auf definierte Wertekategorien. Mit den Ergebnissen einer Schadenspotentialanalyse können durch Hochwasser- oder Sturmflutereignisse bedingte Schäden im Rahmen einer anschließenden Schadensanalyse ermittelt werden. Dabei werden die Ergebnisse von Überflutungsszenarien für das betreffende Gebiet mit den vorhandenen Werten anhand von Schadensfunktionen für die einzelnen Wertekategorien gekoppelt. Der prinzipielle Ablauf einer Schadenspotentialanalyse und der darauf aufbauenden Schadensanalyse ist in Abb. 1 dargestellt (Lambrecht et al., 2014).

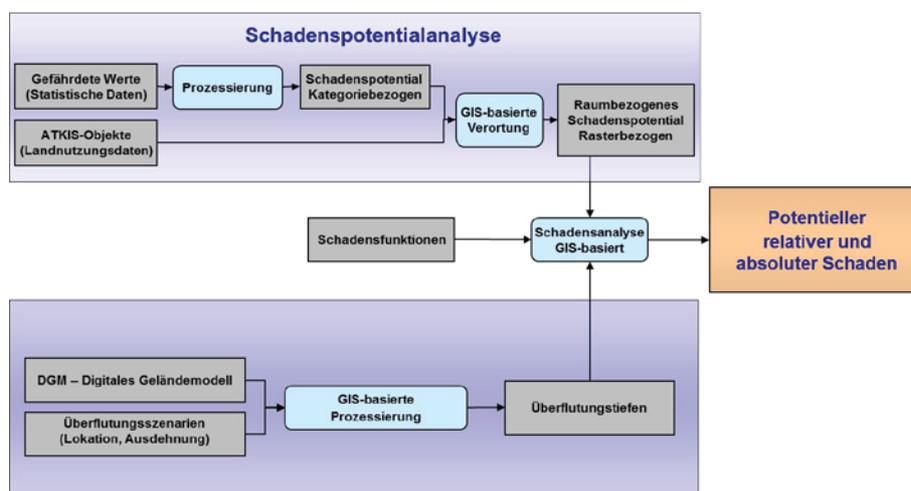


Abb. 1: Elemente und Ablauf einer Schadensanalyse

Das verwendete Modell zur Ermittlung der Schadenspotentiale basiert auf den Untersuchungen von Meyer (2005). Die Analyse erfolgt im mesoskaligen Bereich, d. h., es werden Gebiete regionaler Ausdehnung, wie z. B. einzelne Flüsse, Flussabschnitte oder Küstenabschnitte, betrachtet. Schadens- oder Schadenspotentialanalysen können generell auch im makro- sowie mikroskaligen Bereich vorgenommen werden, wobei die Betrachtungstiefe, je nach gewähltem Ansatz, stark variiert. Für den Küstenraum haben sich mesoskalige Analysen etabliert, da es sich um vergleichsweise große Gebiete handelt. Ein mikroskaliger Ansatz ist angesichts des erforderlichen lokalen Erfassungsaufwandes deshalb kaum realisierbar. Für konzeptionelle Betrachtungen ist eine mesoskalige Betrachtung oft zielführend und ermöglicht im Vergleich zu einem makroskaligen Ansatz deutlich differenziertere Analysen.

Eine Schadenspotentialanalyse umfasst sowohl die Ermittlung der vorhandenen Werte anhand statistischer Daten als auch deren räumliche Verteilung innerhalb des Untersuchungsgebiets. Zur Erfassung, Verarbeitung und Analyse dieser Daten wird deshalb ein Geografisches Informationssystem (GIS) verwendet.

In dem EU-INTERREG Vorhaben SAFECOAST wurde durch den NLWKN ein GIS-basiertes Schadensanalysewerkzeug für die Schadenspotential- und Schadensermittlung entwickelt und angewandt, welches auf die Methodik von Meyer (2005) aufsetzt (Burg, et al., 2008; Thorenz et al., 2008; Blum et al., 2012). Dieses wurde innerhalb der Software ArcGIS der Firma ESRI erstellt. Im Rahmen des BMBF geförderten KFKI-Forschungsverbundvorhabens HoRisK wurde das Analysewerkzeug im Hinblick auf die Datenstrukturen der statistischen Eingangsdaten angepasst und angewendet (Lambrecht et al., 2014). Wesentliche Eingangsdaten für das Modell stellen amtliche Flächennutzungsdaten der Landesvermessung und statistische Daten der Bundes- und Landesstatistik dar. Auf diese Weise wird gewährleistet, dass jeweils belastbare amtliche Datengrundlagen für die Schadenspotential- und Schadensanalyse verwendet werden.

## 2.2 Definition von Schadensarten und Wertekategorien

Die in den Gebieten vorhandenen, bzw. gefährdeten Schutzgüter können grundsätzlich in verschiedene Wertekategorien eingeteilt werden. Da die ermittelten Werte die Basis für eine Schadensschätzung aufgrund von Überflutungen darstellen, erfolgt die Einteilung der Werte nach den drei unterschiedlichen Kriterien, nach denen Hochwasserschäden prinzipiell differenziert werden können. Dieses sind direkte und indirekte, tangible und intangible sowie primäre und sekundäre Schäden.

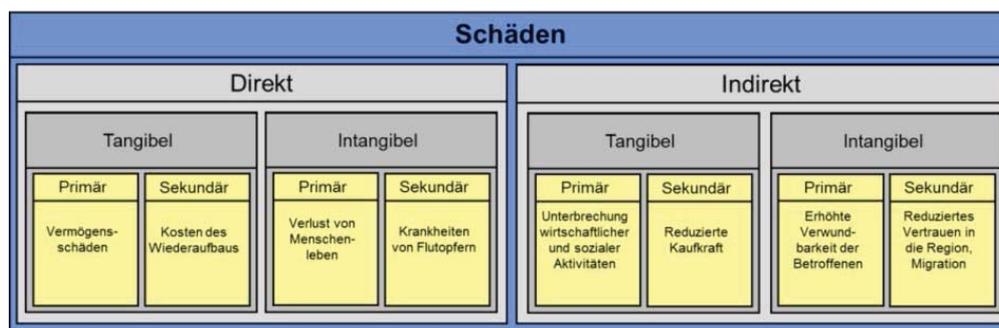


Abb. 2: Schadensarten für Hochwasserereignisse nach Meyer (2005)

Direkte, d. h. physische Schäden werden durch den unmittelbaren Kontakt mit dem Hochwasser verursacht, während indirekte Schäden nicht auf Objekte, sondern auf Aktivitäten oder Prozesse bezogen sind. Tangible Schäden können direkt, intangible Schäden nicht oder nur indirekt monetär bewertet werden. Primäre Schäden entstehen während des Überflutungsereignisses und sekundäre zeitlich und kausal nachfolgend. Eine Typisierung dieser Schäden ist in Abb. 2 dargestellt. Für weitere Details wird auf Meyer (2005), Kutschera (2009) und Oumeraci et al. (2012) verwiesen. Das verwendete Modell berücksichtigt ausschließlich primäre Schäden, da für deren Ermittlung belastbare Datengrundlagen vorliegen. Dabei liegt der Schwerpunkt auf den direkten, tangiblen Schäden. Zusätzlich werden in Teilen indirekte, tangible Schäden betrachtet, soweit belastbare, leicht verfügbare Datengrundlagen vorhanden sind.

Die Schadensarten werden differenziert, wobei deren Aufteilung in Schadens- bzw. Nutzungskategorien sich dabei im Wesentlichen an der Differenzierung der vorhandenen amtlichen statistischen Daten orientiert. Somit ist es möglich, den Werten die geeigneten Flächennutzungen zuzuordnen und im Rahmen einer späteren Schadensanalyse spezifische Schadensfunktionen zu verwenden. Die unter diesen Gesichtspunkten gewählten Schadensarten und Schadens- bzw. Wertekategorien sowie deren grundsätzliche Flächennutzungszuordnung durch eine Verortung sind in Abb. 3 dargestellt.

Schadensart	Verortung	Verwendete Kategorie
Intangible Schäden	Wohnstätten	Einwohner
Direkte, tangible Schäden		Wohnvermögen
		Hausratsvermögen
		KFZ-Vermögen
Indirekte, tangible Schäden	Wirtschaft	Nettoanlagevermögen (NAV)
		Vorratsvermögen (VV)
		Viehvermögen
Direkte, tangible Schäden	Infrastruktur	Straßen
		Bahnstrecken
	Bodenwerte	Siedlungsflächen
		Landwirtschaftsflächen

Abb. 3: Schadensarten- und Kategorien nach Meyer (2005)

In dem Schadensanalysewerkzeug sind die Kategorien Straßen, Bahnstrecken sowie die Bodenwerte der Siedlungs- und Landwirtschaftsflächen derzeit nicht berücksichtigt, da die zu erwartenden Schäden schwierig zu quantifizieren sind und im Vergleich zum Gesamtschadenspotential eine nachgeordnete Rolle spielen (Lambrecht et al., 2014).

### 2.3 Methodik der Werteermittlung und -verortung

Zunächst werden die in dem Untersuchungsgebiet vorhandenen Werte anhand aktueller amtlicher statistischer Daten erhoben und auf die Gemeindeebene skaliert. Für die durchgeführten Analysen wurden die neuesten verfügbaren statistischen Daten der Landes- und Bundesstatistikämter aus dem Jahr 2011 (LSN, 2012a und LSN, 2012b) verwendet.

Die Wirtschaftsbereiche gemäß der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung und der Statistik über die Sozialversicherungspflichtig Beschäftigten SVB werden nach der Wirtschaftszweigeinteilung WZ 2008 des Statistischen Bundesamtes differenziert (Statistisches Bundesamt, 2008). Die Wirtschaftsbereichseinteilung ist in Abb. 4 dargestellt.

Wirtschaftsbereiche		Wirtschaftsabschnitt
Land & Forstwirtschaft, Fischerei		A Land- und Forstwirtschaft, Fischerei
Produzierendes Gewerbe		B Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden
		C Verarbeitendes Gewerbe
		D Energieversorgung
		E Wasserversorgung, Abwasser- und Abfallentsorgung und Beseitigung von Umweltverschmutzungen
		F Baugewerbe
		G Handel; Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen
Handel, Verkehr & Lagerei, Gastgewerbe		H Verkehr und Lagerei
		I Gastgewerbe
		J Information und Kommunikation
sonstige Dienstleistg.	Erbringung v. Unternehm. Dienstleistg.	K Finanz- und Versicherungsdienstleistungen
		L Grundstück- und Wohnungswesen
		M Erbringung von freiberuflichen, wissenschaftlichen und technischen Dienstleistungen
	Öffentliche & priv. Dienstleistg.	N Erbringung von sonstigen wirtschaftlichen Dienstleistungen
		O Öffentliche Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung
		P Erziehung und Unterricht
sonstige Dienstleistg.	Öffentliche & priv. Dienstleistg.	Q Gesundheits- und Sozialwesen
		R Kunst, Unterhaltung und Erholung
		S Erbringung von sonstigen Dienstleistungen
		T Private Haushalte mit Hauspersonal
		U Exterritoriale Organisationen und Körperschaften

Abb. 4: Wirtschaftszweigeinteilung WZ 2008

Zur räumlichen Zuordnung werden die Landnutzungsdaten des Digitalen Landschaftsmodells (DLM) aus dem ATKIS (Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem) des Landesamtes für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen (LGLN) genutzt. Die Landnutzungsdaten sind durch einen Objektartenkatalog (OK) in verschiedenen Ebenen strukturiert. Es werden die Landnutzungsdaten des OK mit dem Stand von 2008 berücksichtigt (AdV, 2008; Lambrecht et al., 2014). Die Umsetzung der Schadenspotential- bzw. Schadensanalysemethode des NLWKN ist in Abb. 5 schematisch dargestellt.

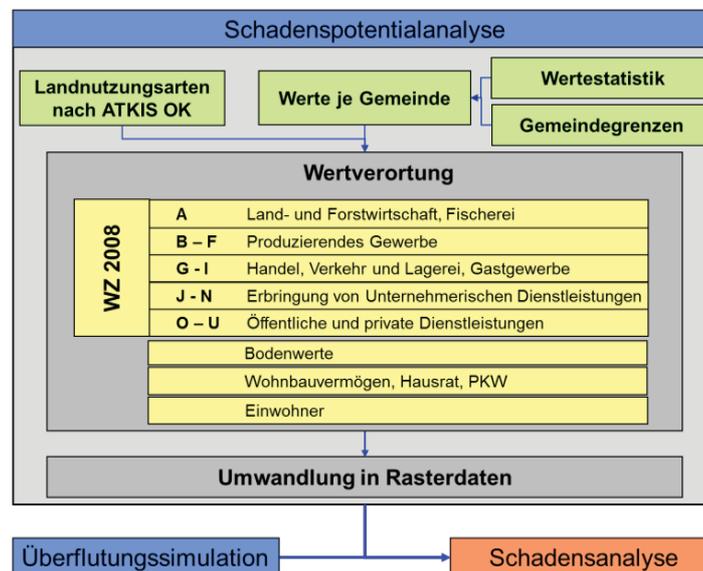


Abb. 5: Schadenspotential- bzw. Schadensanalysewerkzeug des NLWKN

Als erster Arbeitsschritt werden die Landnutzungsarten des ATKIS OK und die gemeindebezogenen statistischen Daten der jeweiligen Schadens- bzw. Wertekategorien miteinander verknüpft. Diese werden rasterbasiert und in Schadenkategorien ausgewertet. Das absolute Schadenspotential für das Untersuchungsgebiet lässt sich als Summe der Werte aller in diesem Gebiet liegenden Rasterzellen bestimmen.

## 2.4 Methodik der Schadensanalyse

Für eine Abschätzung von Schäden und Risiken für vorhandene Werte müssen sowohl die Gefährdung als auch deren Wirkung auf die Werte bekannt sein. Dieser Zusammenhang wird in dem Source-Pathway-Receptor-Konzept (SPR-Konzept) beschrieben (Oumeraci und Kortenhuis, 2002). Die Quelle (Source) der Gefährdung ist in diesem Fall über das Überflutungsszenario für das Untersuchungsgebiet definiert. Pathway ist das von einem Ereignis betroffene Untersuchungsgebiet. Hierbei sind auch die Faktoren maßgebend, die das Ausmaß der Überflutung beeinflussen. Rezeptoren, d. h. Empfänger, sind alle potentiell betroffenen Werte oder Schutzgüter, die in dem Gebiet vorhanden sind. Schäden können nur abgeschätzt werden, wenn alle Elemente des SPR-Konzeptes bekannt sind oder sinnvoll bewertet werden können.

Bei Schäden durch Überflutungen wird die Vulnerabilität von Wertetypen oder Schadenkategorien meist in Form von Wasserstands- Schadensfunktionen angegeben. Diese Funktionen geben einen prozentualen Schaden in Abhängigkeit von der am Schadensort vorhandenen Wassertiefe an. Sie liefern einen relativen Wert oder „relativen Schaden“. Es werden dabei Gruppen von Werten, die sich im Hinblick auf ihre Vulnerabilität gleich verhalten, zu Schadenkategorien zusammengefasst.

In dem Forschungsvorhaben „Klimawandel und präventives Risiko- und Küstenschutzmanagement an der deutschen Nordseeküste“ (KRIM, 2004) wurden Schadensfunktionen speziell für ländlich geprägte Küstengebiete entwickelt und angewendet. Dabei werden zehn unterschiedliche Schadenkategorien mit ihren jeweiligen Funktionen unterschieden. Diese sind im Schadensanalysewerkzeug des NLWKN implementiert. Die verwendeten Schadensfunktionen für das Nettoanlagevermögen (Kapitalstock) der einzelnen Wirtschaftszweige nach der Wirtschaftszweigeinteilung WZ 2008 (Statistisches

Bundesamt, 2008) sowie für das Vorratsvermögen, das Wohnbauvermögen (Wohnkapitalstock), den Hausrat und KFZ sind in Abb. 6 und Abb. 7 dargestellt.

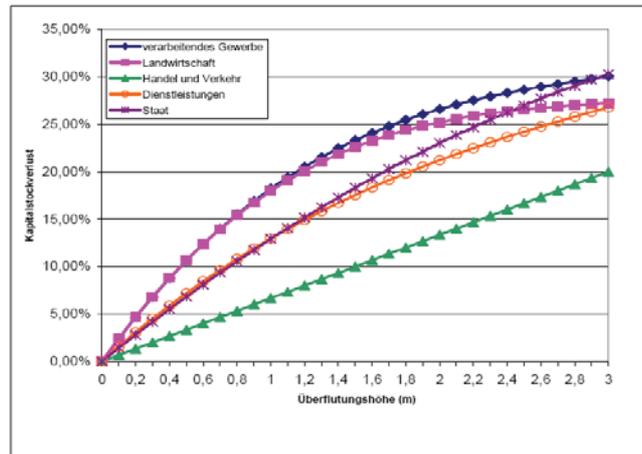


Abb. 6: Schadensfunktionen für das Anlagevermögen verschiedener Wirtschaftszweige (KRIM, 2004)

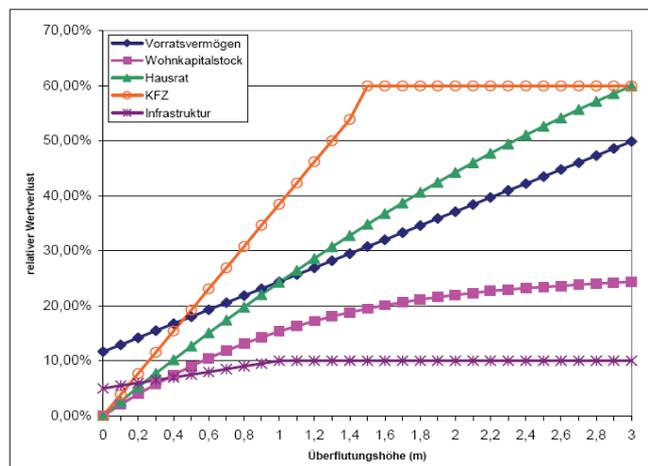


Abb. 7: Weitere Schadensfunktionen (KRIM, 2004)

Die Schadensermittlung erfolgt in drei Arbeitsschritten:

1. Berechnung des relativen Schadens je Schadenskategorie [%]
2. Berechnung des absoluten Schadens je Schadenskategorie [€/Rasterzelle]
3. Berechnung des absoluten Schadens in aggregierter Form [€/Rasterzelle, Mio.€/km<sup>2</sup> bzw. Mio.€]

Für den ersten Arbeitsschritt wird die jeweilige örtliche Wassertiefe als Eingangsdatensatz rasterbasiert benötigt. Für jede Zelle des Rasters wird die zugehörige Überflutungstiefe in alle oben genannten Schadensfunktionen eingesetzt und der relative Schaden für alle Schadenskategorien berechnet. Anschließend wird in der zweiten Stufe für jede Schadenkategorie der relative Schaden je Rasterzelle mit den Werten der entsprechenden, im ersten Schritt erstellten Schadenspotenzialraster multipliziert. In der dritten Stufe werden die Schäden je Rasterzelle, pro Flächeneinheit und als Summe für das gesamte Untersuchungsgebiet berechnet. Zusätzlich erfolgt basierend auf der Einwohnerstatistik, eine Auswertung der rechnerisch betroffenen Einwohner sowie als indirekte, tangible Schadenskategorie der Bruttowertschöpfung (BWS). Die Auswirkungen auf die Bruttowertschöpfung sind nicht wie die übrigen Kategorien maßgebend von der Überflutungstiefe, sondern von der Überflutungsdauer und weiteren, nur schwer quantifizierbaren Nutzungsausfällen abhängig, da sie den Produktionsausfall der Wirtschaft repräsentieren. Als Orientierungsrahmen wird deshalb hier die jahresbezogene Bruttowertschöpfung angegeben.

### 3 Eingangsdaten

Die in ihrer Gesamtheit derzeit aktuellsten verfügbaren Statistikdaten, z.B. Angaben zum Nettoanlagevermögen (NAV), siehe Arbeitskreis "Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder" (2014), Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte am Arbeitsort, siehe LSN 2012a, und der Bruttowertschöpfung (BWS), siehe LSN 2012b, sind für das Jahr 2011 verfügbar. Um die Konsistenz der Datengrundlage zu gewährleisten, werden für die Analyse die entsprechenden Flächennutzungsdaten ebenfalls mit Stand aus dem Jahr 2011 verwendet.

Die lokalen Wasserstände im Untersuchungsgebiet bilden im Rahmen der Abschätzung der potentiellen hochwasserbedingten Schäden eine maßgebende Eingangsgröße. Im Rahmen dieser Untersuchungen werden Wasserstände angesetzt, die im Rahmen einer 2D-Modellierung der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) ermittelt wurden (BfG-Bericht 1848) und die derzeit für Planungsaufgaben für den Bereich der unteren Mittelelbe verwendet werden. Diese Planungswasserstände liegen, separat für das linke und rechte Elbufer, für das gesamte Untersuchungsgebiet im Abstand von 500 m vor. Mit Hilfe von 3D-Geoverarbeitungswerkzeugen innerhalb der GIS-Software ArcGIS werden diese Planungswasserstände in die geschützten Gebiete als Überflutungsszenario ausgespiegelt. Aus der Differenz von Wasserstand und den Geländehöhen aus dem digitalen Geländemodell der amtlichen Landesvermessung werden die lokalen Wassertiefen in Rasterform ermittelt. Die Ergebnisse sind in den Anlagen D.1 bis D.6 für die jeweiligen betrachteten Teilgebiete dargestellt.

## 4 Schadenspotentialermittlung für den Bereich der unteren Mittelelbe

### 4.1 Abgrenzung des Untersuchungsgebiets

Für die Schadenspotential- und Schadensanalyse ist es erforderlich, das Untersuchungsgebiet abzugrenzen. Das Gebiet wird prinzipiell anhand derzeit gesetzlich festgesetzter administrativer Grenzen definiert, die durch die Verbandsgrenzen der deichgeschützten Gebiete vorgegeben werden. Dieses sind der Gartower Deich- und Wasserverband, der Jeetzeldeichverband, der Dannenberger Deich- und Wasserverband, der Neuhauser Deich- und Unterhaltungsverband und der Artlenburger Deichverband. Ein Teil des Artlenburger Deichverbands liegt unterhalb der Staustufe Geesthacht, d.h. unterhalb der Tidegrenze der Elbe. Als Begrenzung des Artlenburger Deichverbands wird deshalb die über das Wehr Geesthacht verlaufende Grenze gemäß Generalplan Küstenschutz – Festland (NLWKN, 2007), die ebenfalls zur Abgrenzung der Risikogebiete für die Bearbeitung der EU-Hochwassermanagementrahmenrichtlinie genutzt wird, verwendet. Zusätzlich liegen linkselbisch die deichgeschützten Gebiete Walmsburg, Alt Garge und Alt Wendischthun, die im Rahmen der Schadenspotential- und Schadensanalyse ebenfalls berücksichtigt werden. Eine Gebietsübersicht ist in Anlage A.1 gegeben.

Die Gebietsgröße der Teilgebiete reicht dabei von 0,5 km<sup>2</sup> für das Gebiet Alt Garge bis zu ca. 229 km<sup>2</sup> für den Neuhauser Deich- und Unterhaltungsverband (siehe Tab. 1).

Tab. 1: Flächengrößen der untersuchten Teilgebiete im Bereich der unteren Mittelelbe

Deichverband	Gebietsgröße gem. GIS-Analyse [km <sup>2</sup> ]
Artlenburger Deichverb. oberhalb Tidegrenze	212,0
Alt Wendischthun	0,8
Alt Garge	0,5
Walmsburg	0,7
Neuhauser Deich- und Unterhaltungsverband	228,8
Dannenberger Deich- und Wasserverband	55,6
Jeetzeldeichverband	184,6
Gartower Deich- und Wasserverband	41,1
<b>Summe:</b>	<b>724,0</b>

## 4.2 Ergebnisse der Schadenspotentialermittlung

Die Schadenspotentiale wurden für alle oben beschriebenen Teilgebiete gemäß der in den Abschnitt 2 dargestellten Methodik jeweils gebietsbezogen mit Hilfe des Analysewerkzeuges berechnet. Die Ergebnisse sind in Tab. 2 dargestellt.

Tab. 2: Rechnerische Einwohnerzahl, Schadenspotentiale für direkte, tangible Wertekategorien sowie die Bruttowertschöpfung in den untersuchten Gebieten der unteren Mittelelbe

	Gebietsgröße gem. GIS-Analyse	Einwohner		Schadenspotential											
				direkte tangible Werte		Wohnbau		Hausrat		NAV		Sonstige		Bruttowertschöpfung	
		[km <sup>2</sup> ]	[ ]	[EW/km <sup>2</sup> ]	[Mio. €]	[Mio. €/km <sup>2</sup> ]	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)			
							[Mio. €]	%	[Mio. €]	%	[Mio. €]	%	[Mio. €]	%	[Mio. €]
Deichverband															
Artlenburger Deichverb. oberhalb Tidegrenze	212,0	24.800	117	2382	11,2	1.298	54,5	439	18,4	479	20,1	166	7,0	207	
Alt Wendischthun	0,8	800	1.030	66	84,8	44	67,1	15	23,1	2	2,9	5	6,9	1	
Alt Garge	0,5	400	865	30	63,9	20	66,6	7	22,9	1	3,5	2	7,0	1	
Walmsburg	0,7	100	140	11	15,8	6	51,3	2	17,7	3	25,2	1	5,8	2	
Neuhauser Deich- und Unterhaltungsverband	228,8	5.000	22	611	2,7	263	43,0	95	15,5	216	35,4	37	6,1	65	
Dannenberger Deich- und Wasserverband	55,6	2.800	50	348	6,3	145	41,7	54	15,4	123	35,2	27	7,7	66	
Jeetzeldichverband	184,6	8.900	48	1117	6,1	465	41,6	178	15,9	403	36,1	71	6,3	180	
Gartower Deich- und Wasserverband	41,1	1.400	34	167	4,1	75	45,0	35	21,0	48	28,5	9	5,5	17	
Mittelwert:			61		6,5		48,9		17,4		26,9		6,7		
<b>Summe:</b>	<b>724,0</b>	<b>44.200</b>		<b>4732</b>		<b>2.315</b>		<b>824</b>		<b>1.275</b>		<b>318</b>		<b>537</b>	

Die rechnerischen Einwohnerzahlen, die sich aus der Verortung der gemeindebezogenen Einwohnerzahlen auf die bewohnten Siedlungsbereiche in den einzelnen Gebieten ergeben, reichen von ca. 100 Einwohnern bei einer Gebietsgröße von 0,7 km<sup>2</sup> für Walmsburg bis hin zu ca. 24.800 Einwohnern bei einer Gebietsgröße von 212 km<sup>2</sup> für den oberhalb der Tidegrenze gelegenen Teilbereich des Artlenburger Deichverbands. Die Schwankungsbreiten der Einwohnerdichten betragen, über alle Gebiete betrachtet, zwischen 22 Einwohnern pro km<sup>2</sup> für den Neuhauser Deich- und Uferbauverband bis zu ca. 1.000 Einwohnern pro km<sup>2</sup> für das Gebiet Alt Wendischthun. Die rechnerische Gesamteinwohnerzahl in den betrachteten 8 Gebieten beträgt 44.200 Einwohner.

Das Gesamtschadenspotential des untersuchten Gebiets liegt bei einem Wert von ca. 4,7 Mrd. Euro bezogen auf direkte, tangible Wertekategorien. Die jährliche Bruttowertschöpfung im Betrachtungsgebiet beläuft sich auf zusätzlich ca. 537 Mio. €.

Den größten Anteil am Gesamtschadenspotential bilden dabei die Werte in dem oberhalb der Tidegrenze liegenden Teilgebiet des Artlenburger Deichverbands mit ca. 2,4 Mrd. €, gleichbedeutend mit 51 % am Gesamtschadenspotential aller 8 Gebiete. Weitere ca. 1,1 Mrd. € an Werten, entsprechend ca. 23 %, sind dem Jeetzeldichverband zuzuordnen, während für die flächenmäßig kleinsten Teilgebiete, Alt Wendischthun, Alt Garge und Walmsburg auch die geringsten absoluten Schadenspotentiale im Höhe von ca. 66 Mio. €, 30 Mio. € bzw. 11 Mio. €, und somit insgesamt ca. 2 % des Gesamtschadenspotentials, zu verzeichnen sind.

Bei der flächenbezogenen Betrachtung der Potentialwerte, d.h. der Wertedichte, ergeben sich für diese drei Teilgebiete hingegen mit ca. 85 Mio. €/km<sup>2</sup>, 64 Mio. €/km<sup>2</sup> bzw. 16 Mio. €/km<sup>2</sup> die höchsten Werte. Dieses ist durch die relativ hohe Einwohnerdichte in den entsprechenden Gebieten zu erklären, da im Allgemeinen die mit den Einwohnern verbundenen Werte, z.B. das Wohnbauvermögen, einen großen Anteil an dem Gesamtschadenspotential bilden, wie bereits in anderen Untersuchungen nachgewiesen wurde (Thorenz et al. (2008) und Lambrecht et al. (2014)). Für die anderen Teilgebiete sind flächenbezogene Gesamtschadenspotentiale von ca. 3 Mio. €/km<sup>2</sup> bis ca. 11 Mio. €/km<sup>2</sup> zu verzeichnen.

Die Anteile der einzelnen Wertekategorien am Gesamtschadenspotential sind exemplarisch für den Artlenburger Deichverband in Abb. 8 dargestellt. In den Anlagen C.1 bis C.6 werden entsprechende Diagramme für alle betrachteten Gebiete dargestellt.

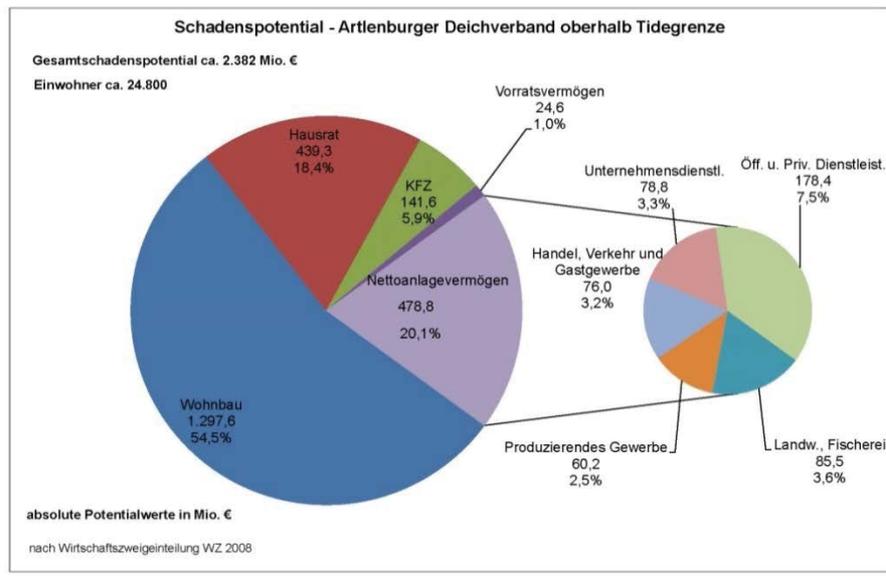


Abb. 8: Anteile der Wertekategorien am Gesamtschadenspotential für den Artlenburger Deichverband

In Abb. 8 ist zu erkennen, dass das Wohnbauvermögen mit ca. 55 % den weitaus größten Anteil am Gesamtschadenspotential bildet, gefolgt vom Nettoanlagevermögen mit ca. 20 % sowie dem Hausrat mit ca. 18 %. Berücksichtigt man zusätzlich das KFZ-Vermögen, ergibt sich der Anteil der mit den Einwohnern verbundenen Werte am Gesamtschadenspotential zu insgesamt ca. 79 %.

In Abb. 9 ist exemplarisch für den Artlenburger Deichverband die räumliche Verteilung der Potentialwerte dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass die Rasterzellen teilweise die Gebietsgrenzen überlappen, welches durch das Aggregieren des Potentialrasters auf 500 m Zellengröße bedingt ist.

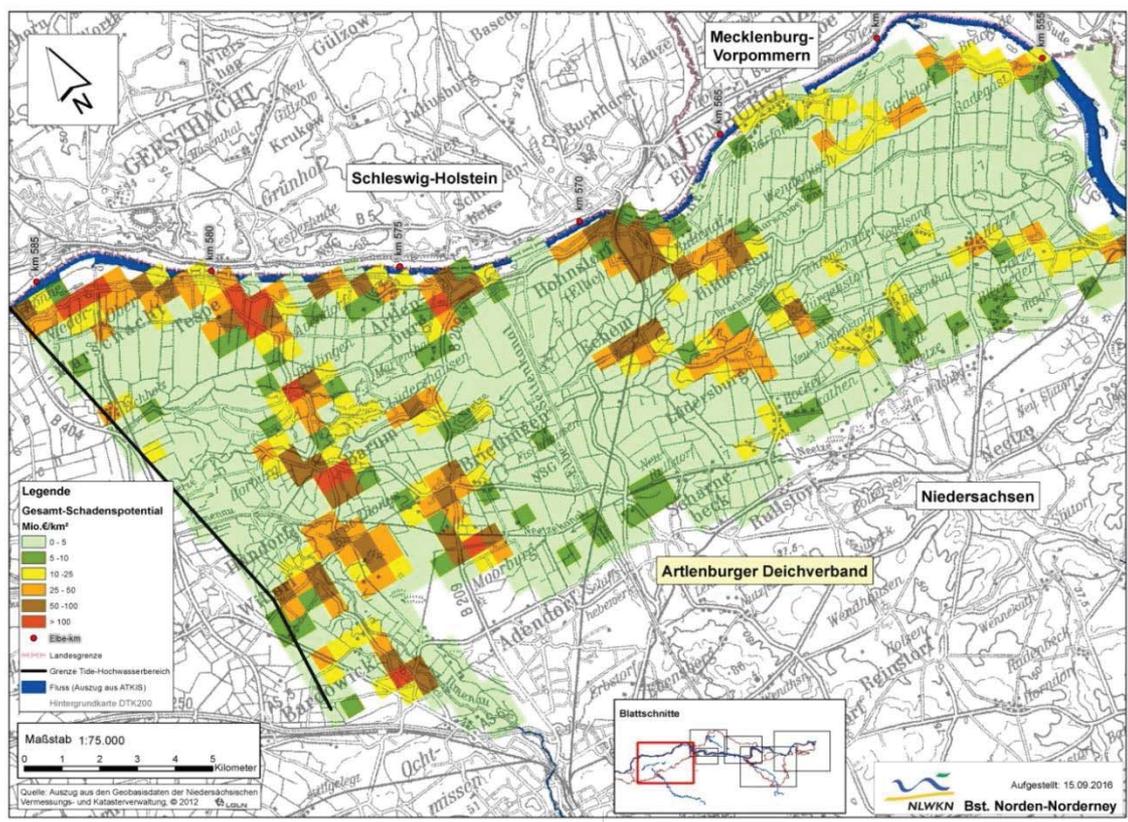


Abb. 9: Räumliche Verteilung der Schadenspotentiale für den Artlenburger Deichverband

In Abb. 9 ist zu erkennen, dass die Potentiale in den Ortslagen Werte von über 100 Mio. €/km<sup>2</sup> bei der gewählten Rasterweite von 500 m erreichen, während in den ländlichen Bereichen die Potentiale vorwiegend bis maximal 5 Mio. €/km<sup>2</sup> betragen. Ähnliches gilt auch für die weiteren Teilgebiete (siehe Anlage B.1 bis B.6).

## 5 Potentielle Schäden in den Gebieten

Für alle 8 Teilgebiete wurden im Rahmen der Schadensanalyse die potentiellen Schäden für ein Überflutungsszenario, dem die in Abschnitt 3 beschriebenen Planungswasserstände zu Grunde liegen, ermittelt. Hierbei wurden nur direkte, tangible Schäden berücksichtigt. Eine beispielhafte flächige Darstellung der ermittelten Wassertiefen sowie die entsprechenden Planungswasserstände sind für das Gebiet des Artlenburger Deichverbands in Abb. 10 und für alle Gebiete in Anlage D.1 bis D.6 dargestellt.

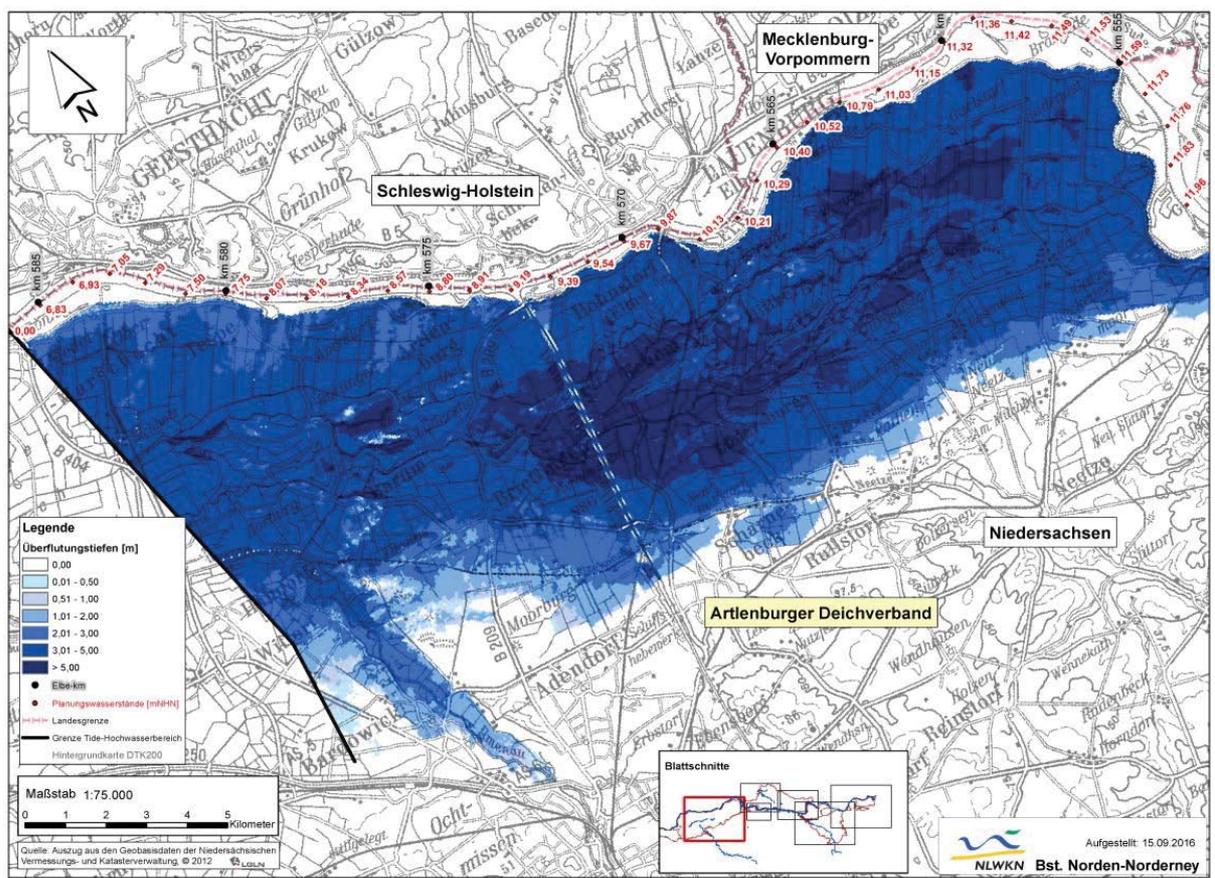


Abb. 10: Räumliche Verteilung der Wassertiefen sowie Planungswasserstände für das Gebiet des Artlenburger Deichverbands

In Abb. 10 ist ersichtlich, dass die für das Gebiet des Artlenburger Deichverbands ermittelten Wassertiefen hauptsächlich in dem Bereich zwischen 3 m und 5 m liegen. Die durchschnittliche Wassertiefe für dieses Gebiet beträgt 3,80 m und die maximale Wassertiefe 7,10 m.

Die Ergebnisse der Schadensanalyse sind zusammenfassend in Tab. 3 dargestellt. Die potentiellen Schäden wurden, analog zu den Schadenspotentialen, kategoriebezogen für die Schadenskategorien Wohnbauvermögen, Hausrat, Nettoanlagevermögen (NAV) sowie sonstige Schäden ermittelt.

Die Analyse der potentiellen Schäden bei Ausspiegelung der Planungswasserstände in die untersuchten Gebiete auf Grundlage der Wasserspiegellagen gemäß BfG-Bericht 1848 ergibt eine Summe der potentiellen direkten, tangiblen Schäden von insgesamt ca. 1,4 Mrd. €.

Tab. 3: Potentielle Schäden für direkte, tangible Wertekategorien der untersuchten Gebiete

	Gebietsgröße gem. GIS-Analyse [km <sup>2</sup> ]	Potentielle Schäden bei Ausspiegelung des Planungswasserstandes in die Gebiete											
		Summe der direkten, tangiblen Schäden				Wohnbau		Hausrat		NAV		Sonstige	
		(1)+(2)+(3)+(4)	Schädi- gungsgrad	[Mio. €/km <sup>2</sup> ]	(1)	(2)	(3)	(4)	(3)	(4)	(3)	(4)	
		[Mio. €]	%	[Mio. €/km <sup>2</sup> ]	[Mio. €]	%	[Mio. €]	%	[Mio. €]	%	[Mio. €]	%	
<b>Deichverband</b>													
Alt Wendischthun	0,8	11,4	17,3	14,6	6,1	53,7	3,5	31,1	0,1	1,2	1,6	14,1	
Alt Garge	0,5	3,4	11,6	7,4	1,9	54,6	1,1	31,1	0,02	0,5	0,5	13,8	
Walmsburg	0,7	1,3	11,3	1,8	0,5	42,6	0,3	25,2	0,2	19,3	0,2	12,8	
Neuhauser Deich- und Unterhaltungsverband	228,8	193,5	31,6	0,8	60,6	31,3	53,5	27,7	58,9	30,4	20,5	10,6	
Dannenberger Deich- und Wasserverband	55,6	122,1	35,1	2,2	36,2	29,7	33,8	27,7	35,8	29,4	16,2	13,3	
Jeetzeldeichverband	184,6	294,9	26,4	1,6	93,6	31,7	78,8	26,7	90,2	30,6	32,3	11,0	
Garfower Deich- und Wasserverband	41,1	53,7	32,2	1,3	17,5	32,6	19,0	35,4	11,9	22,2	5,2	9,7	
Mittelwert:			30,4	2,0		36,2		30,2		22,0		11,6	
<b>Summe:</b>	<b>724,0</b>	<b>1.436</b>			<b>519</b>		<b>433</b>		<b>317</b>		<b>167</b>		

Entsprechend den größten absoluten Schadenspotentialen, d.h. in dem oberhalb der Tidegrenze liegenden Teilgebiet des Artlenburger Deichverbands, in den Gebieten des Jeetzeldeichverbands sowie des Neuhauser Deich- und Unterhaltungsverbands, sind die höchsten Schadenssummen mit ca. 756 Mio. €, 295 Mio. € bzw. 194 Mio. € zu verzeichnen. Bei der flächenbezogenen Betrachtung der Schäden sind dort hingegen mit 14,6 Mio. €/km<sup>2</sup> für Alt Wendischthun und 7,4 Mio. €/km<sup>2</sup> für Alt Garge die höchsten Werte aller betrachteten Gebiete zu verzeichnen. Der Schädigungsgrad, d.h. die in Relation zu dem Gesamtschadenspotential des jeweiligen Gebiets ermittelte Summe der potentiellen Schäden beträgt im Mittel 30,4 %. Das hierbei auftretende Werteintervall reicht von ca. 11 % bis ca. 35 %.

Beispielhaft wird in Abb. 11 die räumliche Verteilung der potentiellen Schäden für das Teilgebiet des Artlenburger Deichverbands dargestellt.

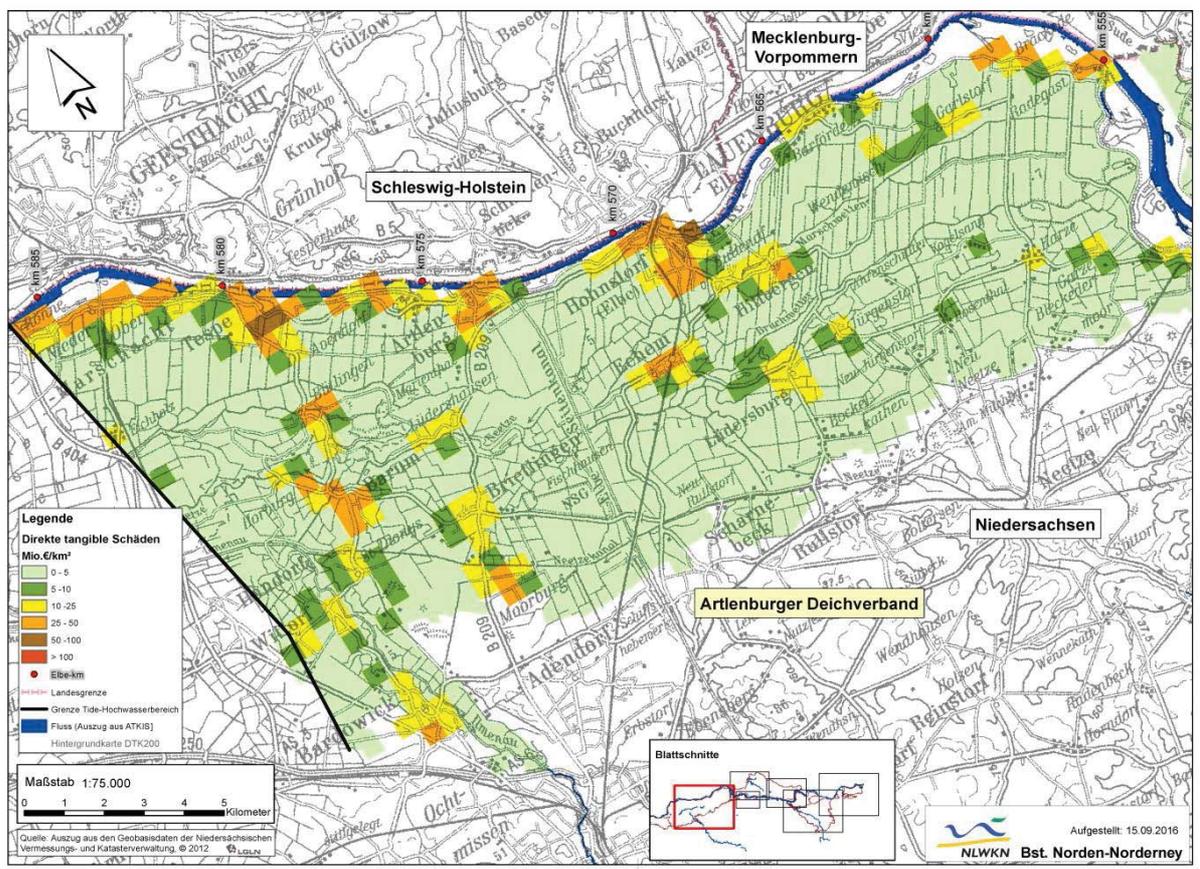


Abb. 11: Räumliche Verteilung der potentiellen Schäden im Teilgebiet des Artlenburger Deichverbands

Die direkten tangiblen Schäden liegen überwiegend, d.h. in den ländlichen Bereichen, bei Werten von maximal 5 Mio. €/km<sup>2</sup>, während diese in den Ortslagen vereinzelt Werte von bis zu 100 Mio. €/km<sup>2</sup> erreichen.

Die potentiellen direkten tangiblen Schäden, die im Fall des für das Teilgebiet des Artlenburger Deichverbands definierten Überflutungsereignisses auftreten, sind für alle betrachteten Wertekategorien sowohl in absoluter als auch prozentualer Darstellung exemplarisch in Abb. 12 dargestellt.

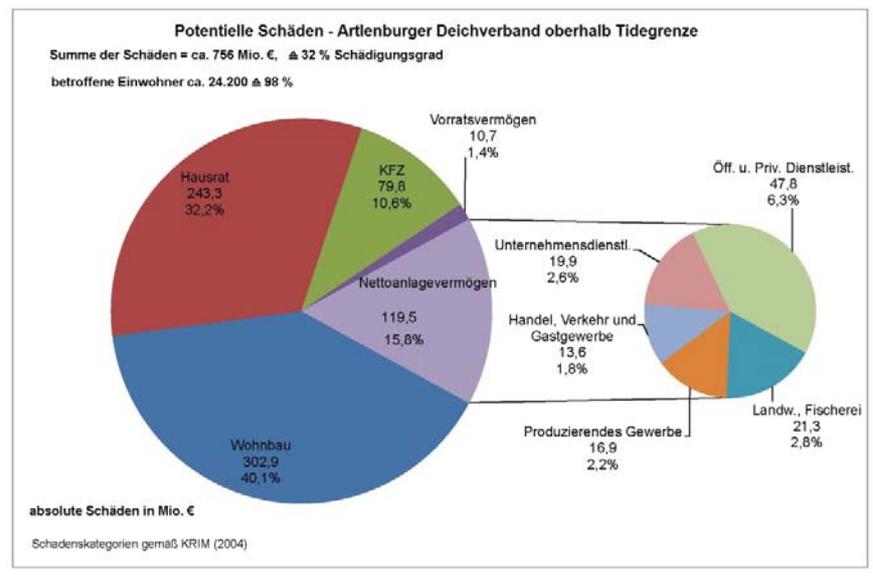


Abb. 12: Verteilung der potentiellen Schäden auf die Schadenskategorien für das Gebiet des Artlenburger Deichverbands sowie Anzahl der rechnerisch betroffenen Einwohner

Der potentielle Gesamtschaden beträgt ca. 756 Mio. €. Hierzu trägt der Schaden am Wohnbauvermögen mit ca. 40 % den weitaus größten Anteil bei. Wie auch in der Gesamtbetrachtung aller hier untersuchten Gebiete bilden die Schäden am Hausrat mit ca. 32 % und das Nettoanlagevermögen mit ca. 16 % die nächstgrößten Anteile. Die Schäden an privaten Kfz liegen bei einem Anteil von ca. 11 %.

In Anlage F.1 bis F.6 sind für alle Gebiete die Anteile der einzelnen Schadenskategorien an der Gesamtsumme der potentiellen Schäden dargestellt.

## 6 Zusammenfassung

Es wurden Analysen der Schadenspotentiale und potentiellen Schäden für 8 Gebiete im niedersächsischen Teil der unteren Mittelelbe durchgeführt. Die methodischen Grundlagen und Werkzeuge hierfür wurden in dem EU-INTERREG Vorhaben SAFECOAST (Laufzeit 2005 bis 2008) und dem BMBF geförderten KFKI-Forschungsverbundvorhaben HoRisk (Laufzeit 2009 bis 2014) durch den NLWKN entwickelt.

Die Basis für diese Analysen bilden belastbare amtliche Landnutzungsdaten aus dem ATKIS und statistische Daten der Bundes- und Landesstatistik. Hierdurch kann eine hohe Verlässlichkeit und Aktualität der Datengrundlagen sichergestellt werden. Es ist dabei zu berücksichtigen, dass über die gewählte Methodik nur direkte tangible Schadenspotentiale und Schäden ermittelt wurden. Die Quantifizierung von indirekten und intangiblen Schäden, wie sie in Abschnitt 2 dargestellt sind, wurde nicht vorgenommen, da diese mit erheblichen methodischen Interpretationsspielräumen verbunden und in Teilen noch Gegenstand der Forschung ist.

Für die 8 Gebiete, in denen mehr ca. 44.000 Menschen leben, wurde mit Hilfe eines mesoskaligen Analysewerkzeuges ein Schadenspotential von insgesamt ca. 4,7 Mrd. Euro ermittelt. Dieses entspricht einem mittlerem Schadenspotential von 6,5 Mio. €/km<sup>2</sup>. Zusätzlich wurde als potentielles indirektes tangibles Schadenpotential eine jährliche Bruttowertschöpfung von 537 Mio. € ermittelt.

Für eine Berechnung der potentiellen Schäden auf Grund von Überflutungen wurden als Szenario in den Untersuchungsgebieten derzeit für Planungsaufgaben verwendete Wasserstände, die im Rahmen einer 2D-Modellierung der BfG (BfG-Bericht 1848) ermittelt wurden, angenommen. Hieraus ergeben sich für die Summe der Gebiete potentielle Schäden in Höhe von 1,4 Mrd. €. Dieses entspricht einem potentiellen Schaden von durchschnittlich 2,0 Mio. €/km<sup>2</sup>, entsprechend einem mittleren Schädigungsgrad von ungefähr 30 %, für alle betrachteten Wertekategorien.

Aufgestellt:

Bearbeitet:

NLWKN

Betriebsstelle Norden-Norderney –  
Norden, den 13.10.2016

gez. Thorenz

gez. Blum

gez. Lambrecht

Betriebsstellenleiter

Aufgabenbereichsleiter

Bearbeiter

## Schrifttum

- AdV (2008): Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens (GeoInfoDok), ATKIS-Katalogwerke, ATKIS-Objektartenkatalog Basis-DLM, Version 6.0, Stand: 11.04.2008, Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV).
- Arbeitskreis "Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder" (2014): Anlagevermögen in den Ländern der Bundesrepublik Deutschland 1991 bis 2011. Reihe 1, Band 4. Berechnungsstand 2014. Hrsg.: Arbeitskreis "Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder" im Auftrag der Statistischen Ämter der 16 Bundesländer, des Statistischen Bundesamtes und des Bürgeramtes, Statistik und Wahlen, Frankfurt a. M.
- Blum, H.; Thorenz, F.; Lambrecht, H.-J. (2012): Risk Assessment for North Sea Coastal Lowlands in Germany. Proc. 5th SCAR International Short Conference on applied coastal research Aachen 2011. Shaker Verlag Aachen.
- EU-HWRM-RL (2007): Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken - (Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 288/27 vom 06.11.2007) - EG-Hochwasserrisikomanagementrichtlinie.
- KRIM (2004): Klimawandel und präventives Risiko- und Küstenschutzmanagement an der deutschen Nordseeküste. Endbericht.
- Kutschera, G. (2009): Analyse der Unsicherheiten bei der Ermittlung der Schadenspotentiale infolge Überschwemmung. Dissertation. RWTH Aachen.
- Lambrecht, H.-J., Blum, H., Thorenz, F. (2014): Hochwasserrisikomanagement im Küstenraum. Konsequenzen des Versagens im Bereich der Nordseeküste und Schadensminimierung. Abschlussbericht 03KIS080 HoRisK-C. Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, Betriebsstelle Norden-Norderney, Norden.
- LSN (2012a): Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte am Arbeitsort in Niedersachsen (Gebietsstand: 1.11.2013). LSN-Online: Tabelle K70H5101. Landesamt für Statistik Niedersachsen.
- LSN (2012b): Bruttoinlandsprodukt, Bruttowertschöpfung nach Wirtschaftsbereichen in Niedersachsen. Jahr: 2011. Berechnungsstand 2012. LSN-Online: Tabelle K9990221. Landesamt für Statistik Niedersachsen.
- Meyer, V. (2005): Methoden der Sturmflut-Schadenspotenzialanalyse an der deutschen Nordseeküste. Dissertation. Hannover.
- NLWKN (2007): Generalplan Küstenschutz Niedersachsen/Bremen – Festland. Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, Norden.
- Oumeraci, H., Kortenhaus, A. (2002): Risk Based Design of Coastal Flood Defences: A Suggestion for a Conceptual Framework. In: Proceedings 28th International Conference on Coastal Engineering (ICCE), ASCE, Cardiff, 1-13 (2399–2411).
- Oumeraci, H., Gönnert, G., Jensen, J., Kortenhaus, A., Fröhle, P., Gerkenmeier, B., Wahl, T., Mudersbach, C., Naulin, M., Ujeyl, G., Pasche, E., Dassanayake, D.R., Burzel, A. (2012): Extremsturmfluten an offenen Küsten und Ästuargebieten - Risikoermittlung und -beherrschung im Klimawandel (XtremRisk). Abschlussbericht.
- Statistisches Bundesamt (2008): Klassifikation der Wirtschaftszweige mit Erläuterungen, Ausgabe 2008, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.

Thorenz, F., Blum, H., Burg, S. (2008): Flood Risk Assessment at two Pilot Sites – Methods and Measures, SAFECOAST Project, Action 5B – Final Report, Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz – Betriebsstelle Norden-Norderney, Norden.

Thorenz, F., Burg, S. (2008): Risk Assessment for Coastal Lowlands in Lower Saxony. Proc. Fourth Chinese-German Joint Symposium on Coastal and Ocean Engineering. Darmstadt 2008

## Anlagenverzeichnis:

### **Anlage A: Übersichtskarten über das Untersuchungsgebiet**

Anlage A.1:	Lage der Untersuchungsgebiete an der unteren Mittelelbe .....	18
-------------	---	----

### **Anlage B: Räumliche Verteilung der Schadenspotentiale**

Anlage B.1:	Räumliche Verteilung der Schadenspotentiale für den Artlenburger Deichverband .....	19
Anlage B.2:	Räumliche Verteilung der Schadenspotentiale für Alt Wendischthun, Alt Garge und Walmsburg .....	20
Anlage B.3.1:	Räumliche Verteilung der Schadenspotentiale für den Neuhauser Deich- und Unterhaltungsverband – westlicher Teil .....	21
Anlage B.3.2:	Räumliche Verteilung der Schadenspotentiale für den Neuhauser Deich- und Unterhaltungsverband - östlicher Teil .....	22
Anlage B.4:	Räumliche Verteilung der Schadenspotentiale für den Dannenberger Deich- und Wasserverband .....	23
Anlage B.5:	Räumliche Verteilung der Schadenspotentiale für den Jeetzeldeichverband .....	24
Anlage B.6:	Räumliche Verteilung der Schadenspotentiale für den Gartower Deich- und Wasserverband .....	25

### **Anlage C: Verteilung der Schadenspotentiale auf die Wertekategorien**

Anlage C.1:	Verteilung der Schadenspotentiale auf die Wertekategorien für den Artlenburger Deichverband .....	26
Anlage C.2.1:	Verteilung der Schadenspotentiale auf die Wertekategorien für Alt Wendischthun .....	26
Anlage C.2.2:	Verteilung der Schadenspotentiale auf die Wertekategorien für Alt Garge .....	27
Anlage C.2.3:	Verteilung der Schadenspotentiale auf die Wertekategorien für Walmsburg .....	27
Anlage C.3:	Verteilung der Schadenspotentiale auf die Wertekategorien für den Neuhauser Deich- und Unterhaltungsverband .....	28

Anlage C.4:	Verteilung der Schadenspotentiale auf die Wertekategorien für den Dannenberger Deich- und Wasserverband.....	28
Anlage C.5:	Verteilung der Schadenspotentiale auf die Wertekategorien für den Jeetzeldeichverband.....	29
Anlage C.6:	Verteilung der Schadenspotentiale auf die Wertekategorien für den Gartower Deich- und Wasserverband .....	29

**Anlage D: Räumliche Verteilung der Wassertiefen**

Anlage D.1:	Räumliche Verteilung der Wassertiefen für den Artlenburger Deichverband.....	30
Anlage D.2:	Räumliche Verteilung der Wassertiefen für Alt Wendischthun, Alt Garge und Walmsburg .....	31
Anlage D.3.1:	Räumliche Verteilung der Wassertiefen für den Neuhauser Deich- und Unterhaltungsverband, westlicher Teil .....	32
Anlage D.3.2:	Räumliche Verteilung der Wassertiefen für den Neuhauser Deich- und Unterhaltungsverband, östlicher Teil .....	33
Anlage D.4:	Räumliche Verteilung der Wassertiefen für den Dannenberger Deich- und Wasserverband.....	34
Anlage D.5:	Räumliche Verteilung der Wassertiefen für den Jeetzeldeichverband.....	35
Anlage D.6:	Räumliche Verteilung der Wassertiefen für den Gartower Deich- und Wasserverband .....	36

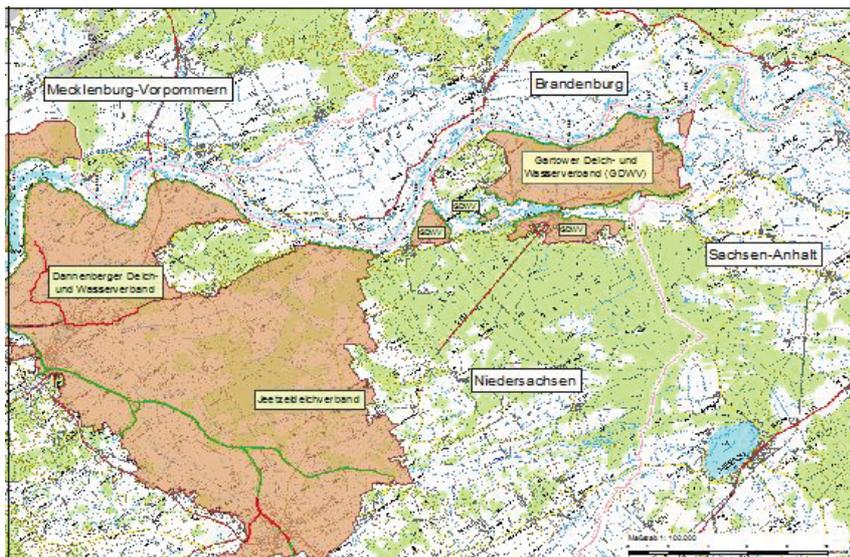
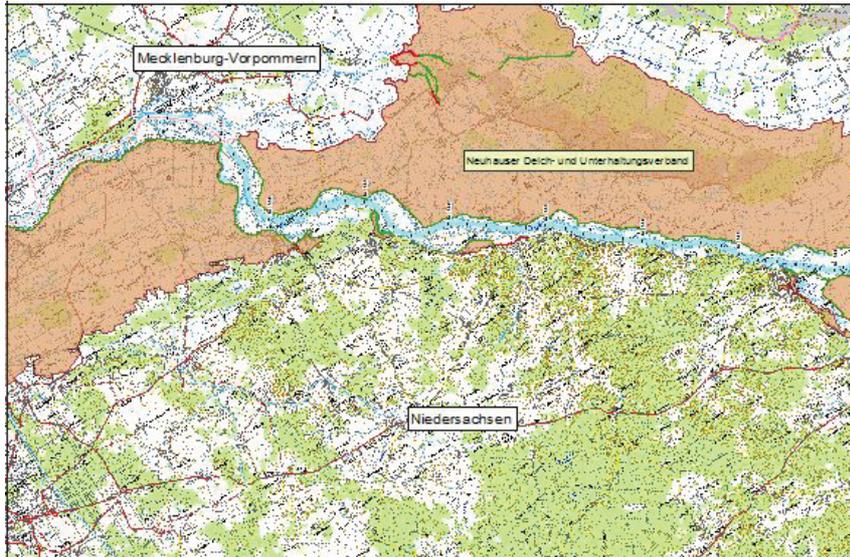
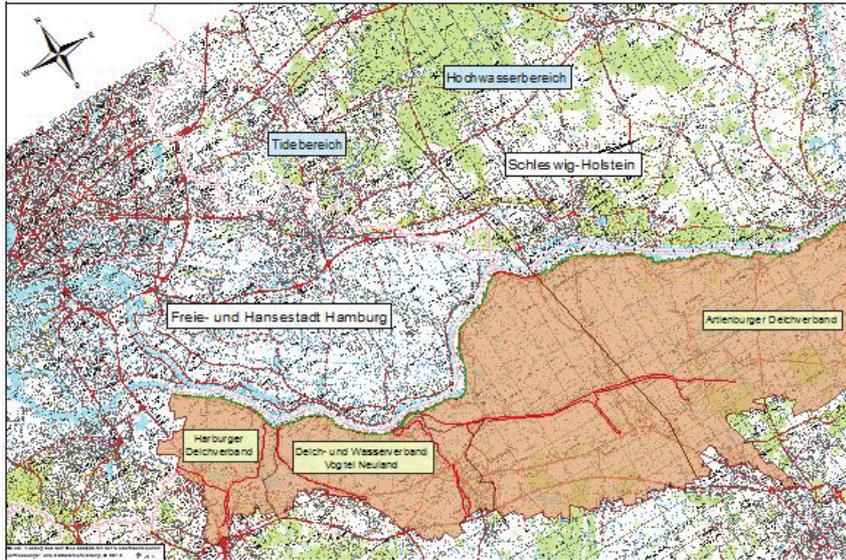
**Anlage E: Räumliche Verteilung der potentiellen Schäden**

Anlage E.1:	Räumliche Verteilung der potentiellen Schäden für den Artlenburger Deichverband.....	37
Anlage E.2:	Räumliche Verteilung der potentiellen Schäden für Alt Wendischthun, Alt Garge und Walmsburg .....	38
Anlage E.3.1:	Räumliche Verteilung der potentiellen Schäden für den Neuhauser Deich- und Unterhaltungsverband - westlicher Teil .....	39
Anlage E.3.2:	Räumliche Verteilung der potentiellen Schäden für den Neuhauser Deich- und Unterhaltungsverband - östlicher Teil .....	40
Anlage E.4:	Räumliche Verteilung der potentiellen Schäden für den Dannenberg Deich- und Wasserverband .....	41
Anlage E.5:	Räumliche Verteilung der potentiellen Schäden für den Jeetzeldeichverband.....	42
Anlage E.6:	Räumliche Verteilung der potentiellen Schäden für den Gartower Deich- und Wasserverband.....	43

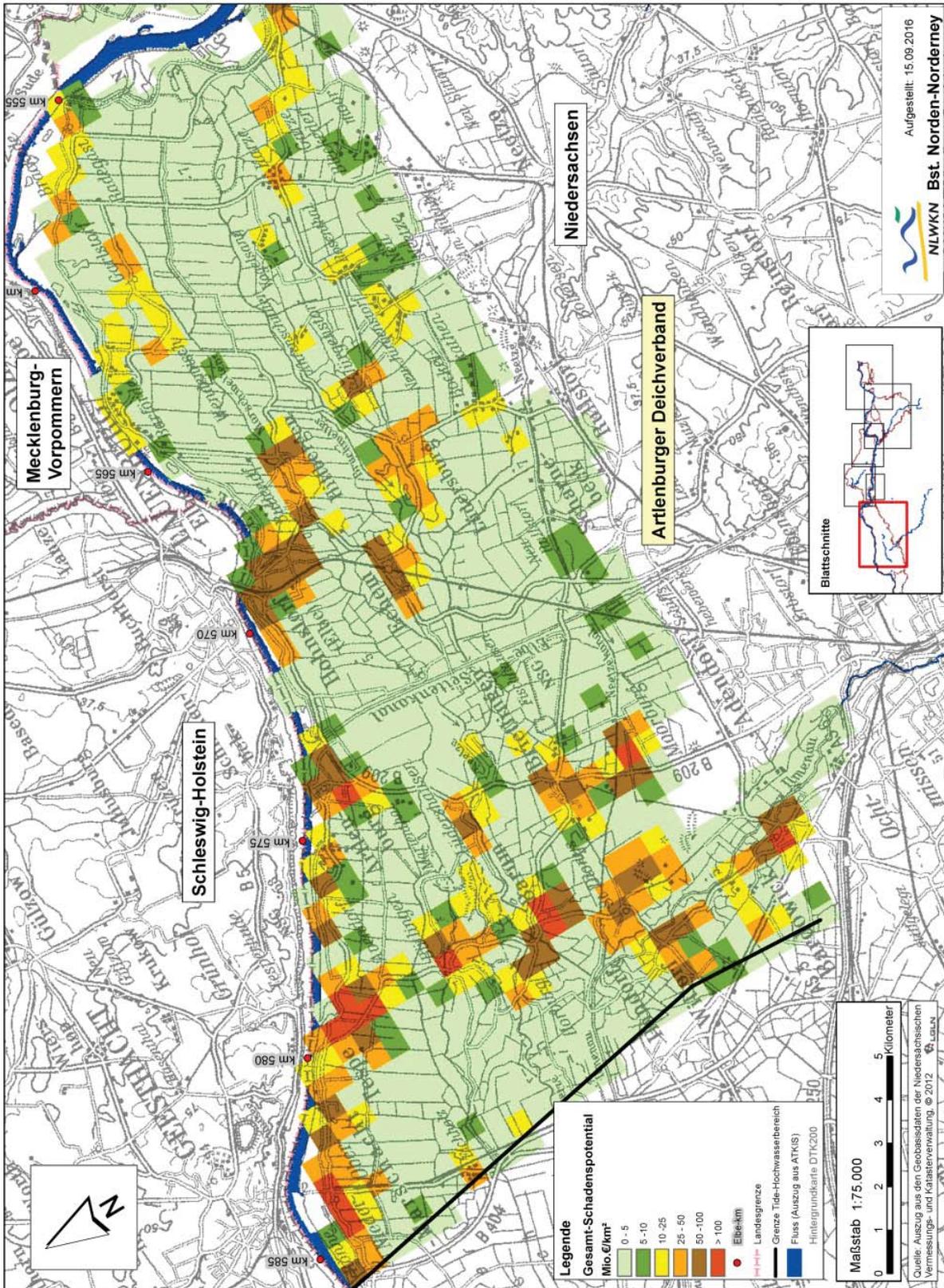
## **Anlage F: Verteilung der potentiellen Schäden auf die Wertekategorien**

Anlage F.1:	Verteilung der potentiellen Schäden auf Schadenskategorien für den Artlenburger Deichverband .....	44
Anlage F.2.1:	Verteilung der potentiellen Schäden auf Schadenskategorien für Alt Wendischthun.....	44
Anlage F.2.2:	Verteilung der potentiellen Schäden auf Schadenskategorien für Alt Garge .....	45
Anlage F.2.3:	Verteilung der potentiellen Schäden auf Schadenskategorien für Walmsburg .....	45
Anlage F.3:	Verteilung der potentiellen Schäden auf Schadenskategorien für den Neuhauser Deich- und Unterhaltungsverband.....	46
Anlage F.4:	Verteilung der potentiellen Schäden auf Schadenskategorien für den Dannenburger Deich- und Wasserverband.....	46
Anlage F.5:	Verteilung der potentiellen Schäden auf Schadenskategorien für den Jeetzeldeichverband .....	47
Anlage F.6:	Verteilung der potentiellen Schäden auf Schadenskategorien für den Gartower Deich- und Wasserverband .....	47

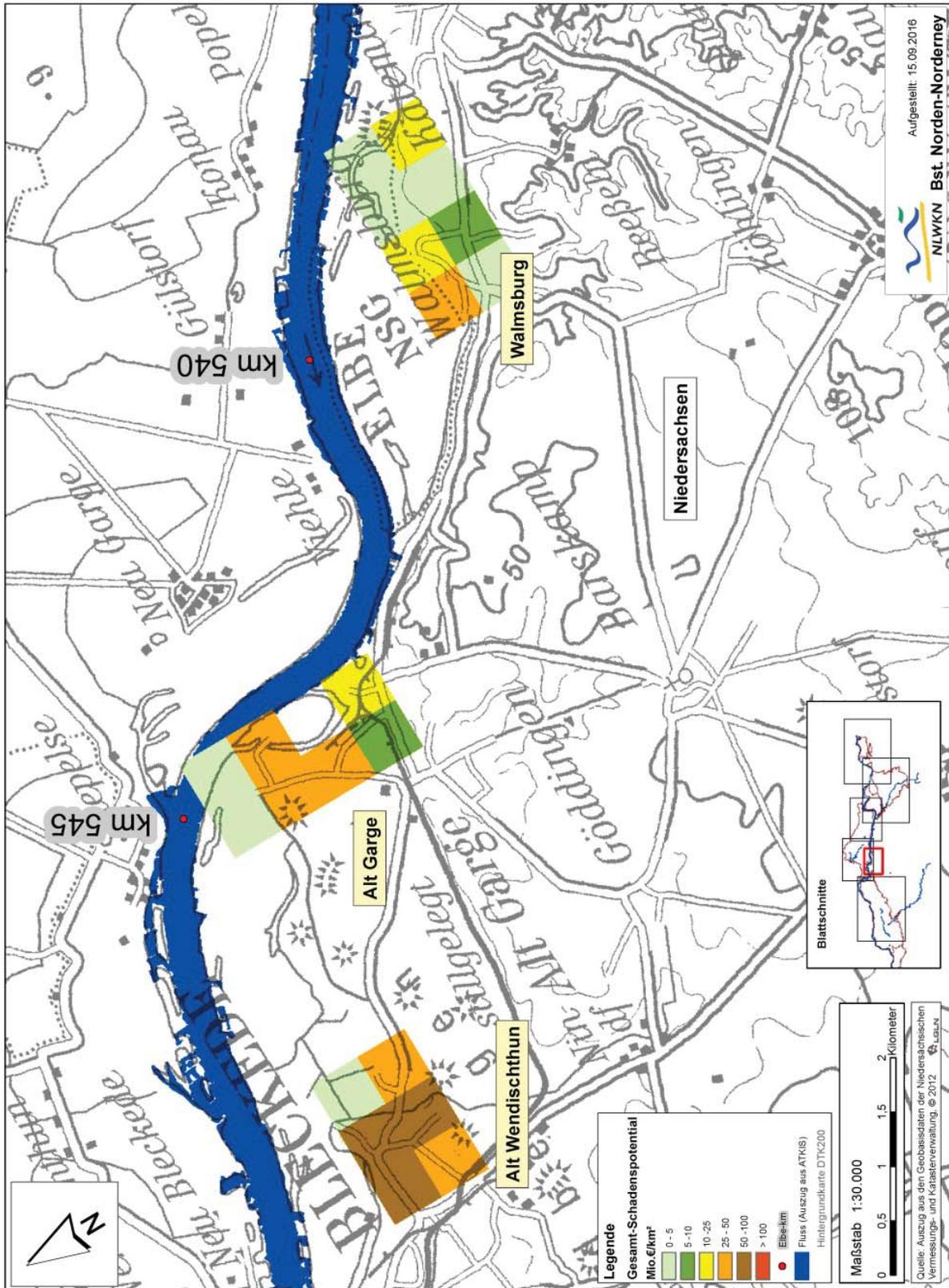
**Anlage A.1: Lage der Untersuchungsgebiete an der unteren Mittelelbe**



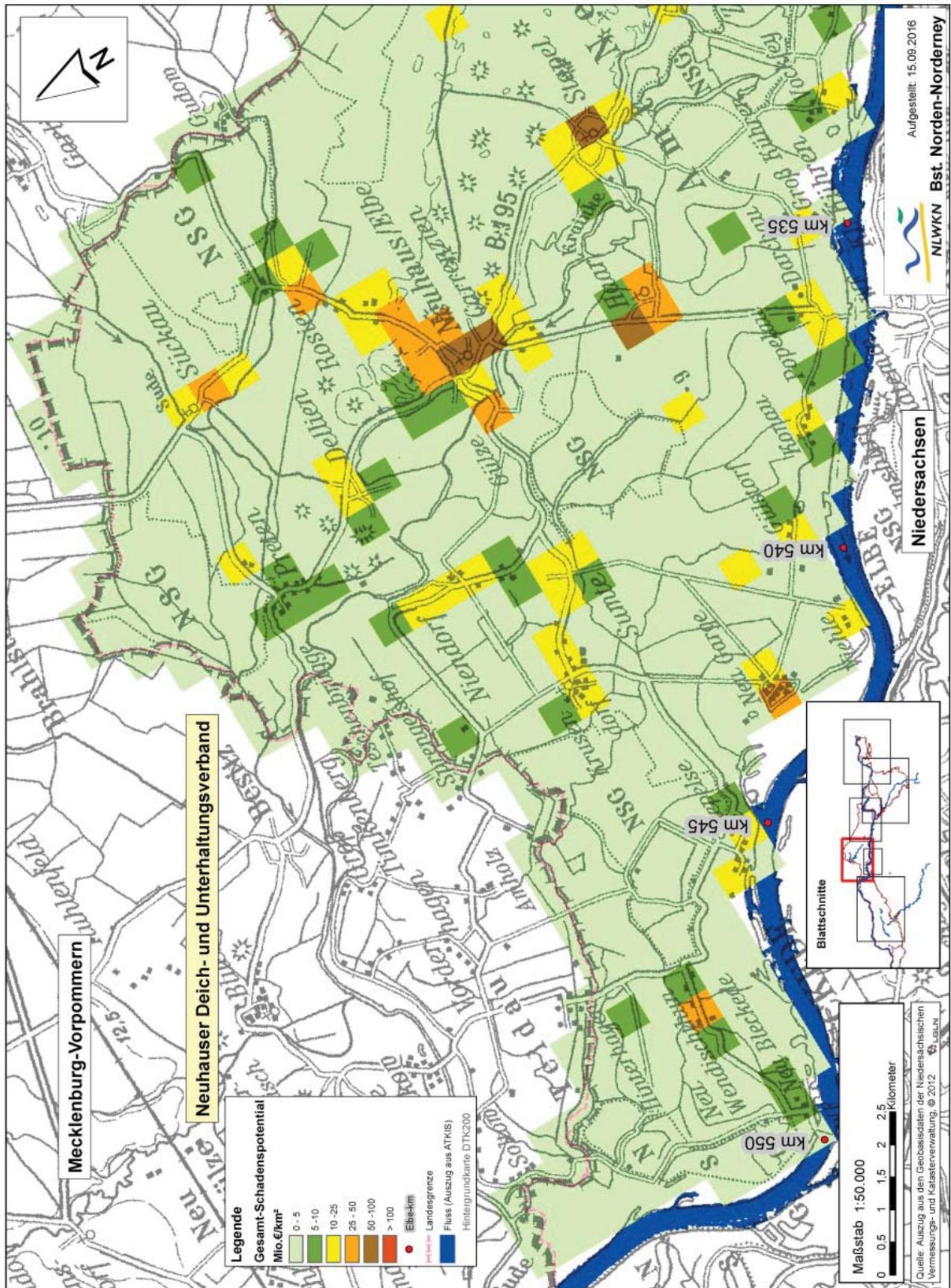
### Anlage B.1: Räumliche Verteilung der Schadenspotentiale für den Artlenburger Deichverband



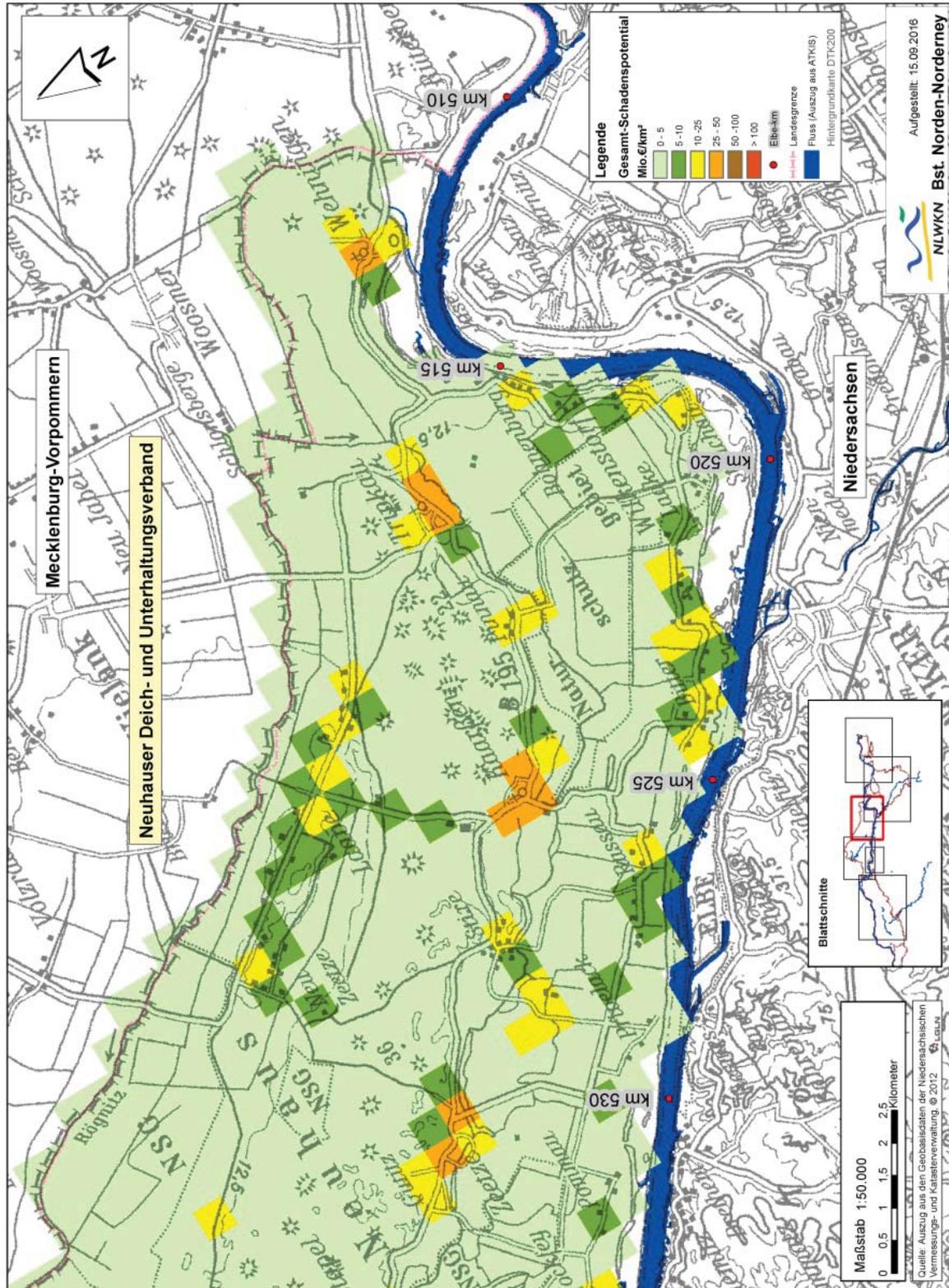
## Anlage B.2: Räumliche Verteilung der Schadenspotentiale für Alt Wendischthun, Alt Garge und Walmsburg



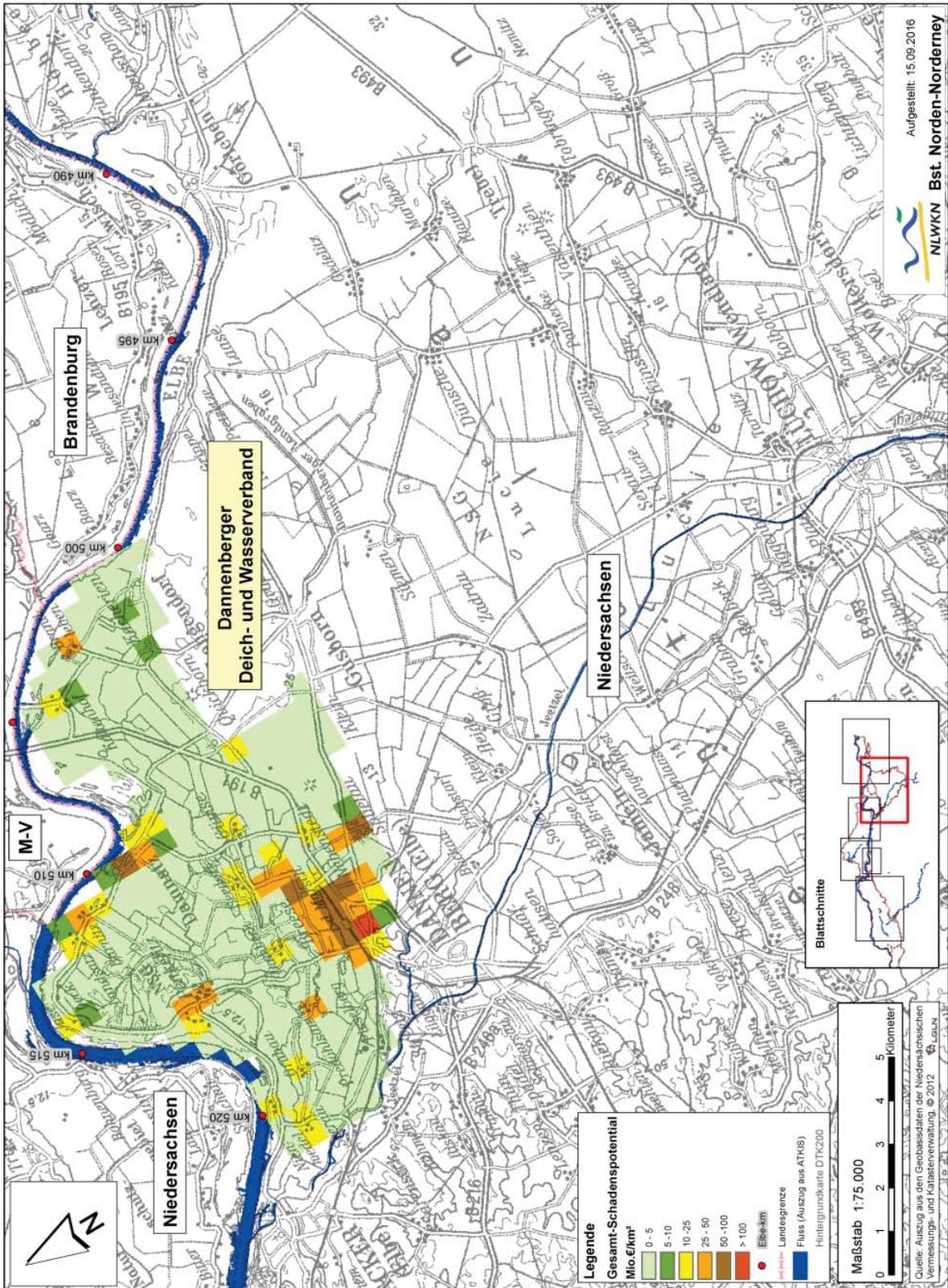
### Anlage B.3.1: Räumliche Verteilung der Schadenspotentiale für den Neuhauser Deich- und Unterhaltungsverband – westlicher Teil



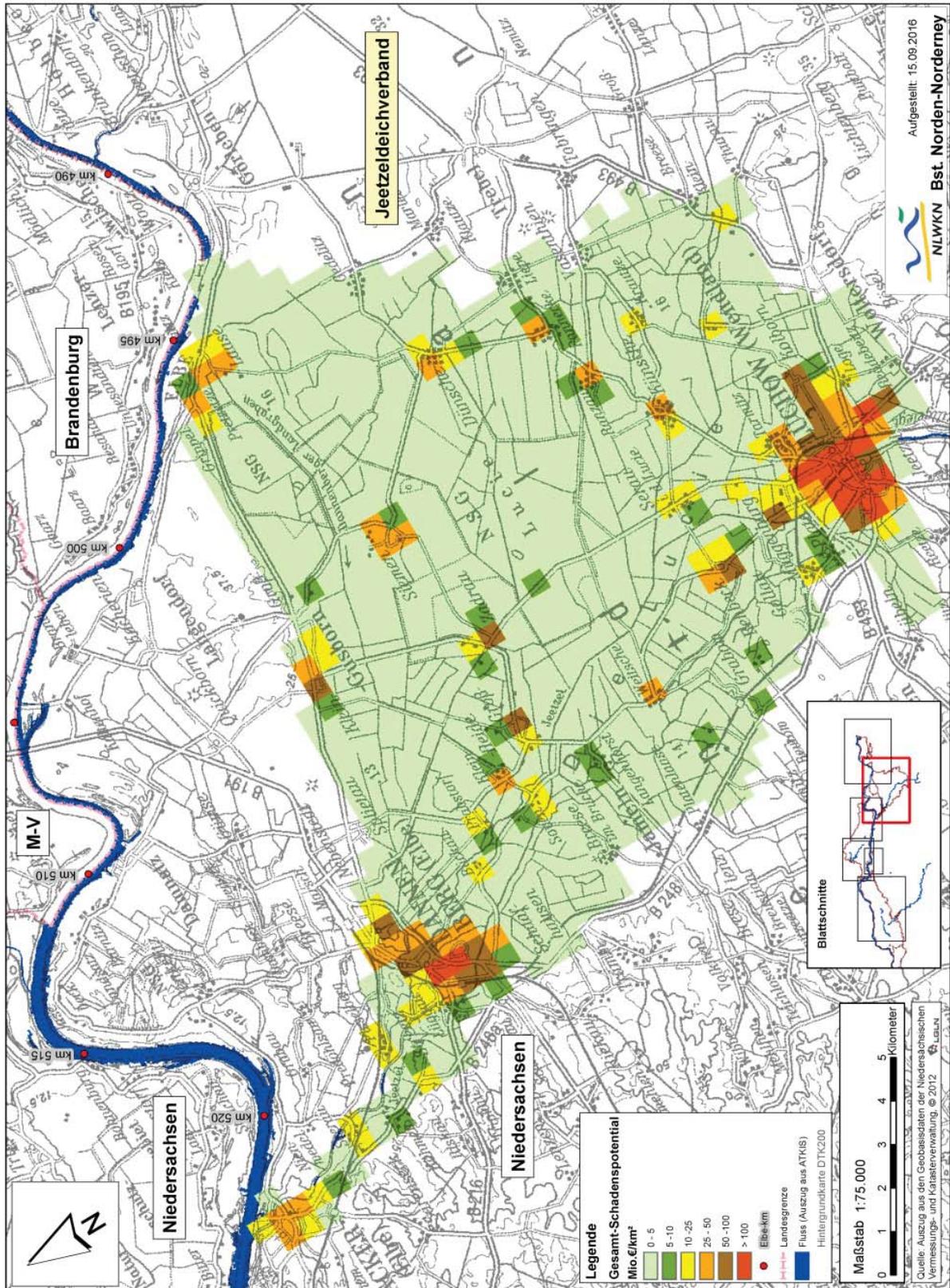
### Anlage B.3.2: Räumliche Verteilung der Schadenspotentiale für den Neuhauser Deich- und Unterhaltungsverband – östlicher Teil



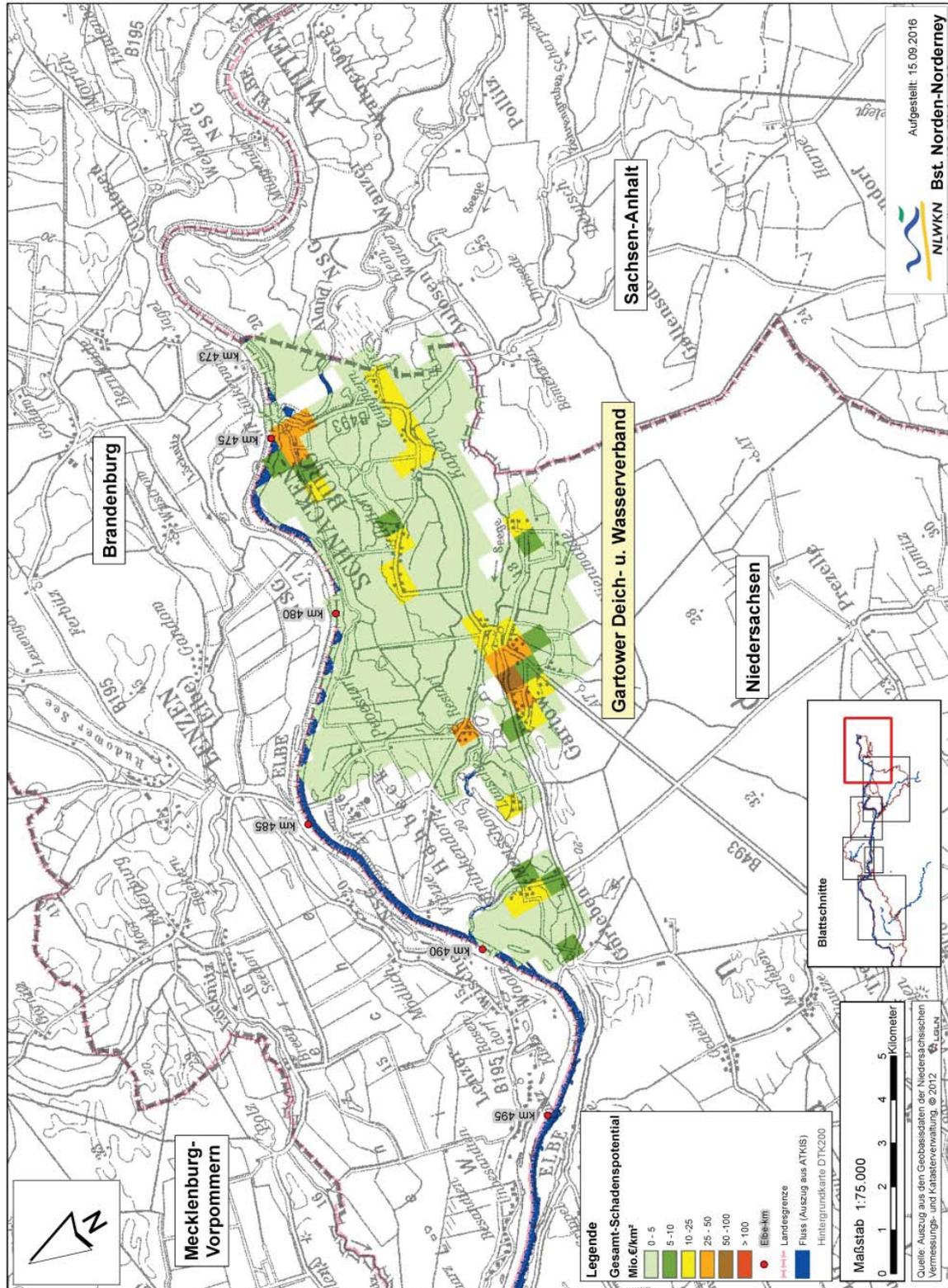
### Anlage B.4: Räumliche Verteilung der Schadenspotentiale für den Dannenberger Deich- und Wasserverband



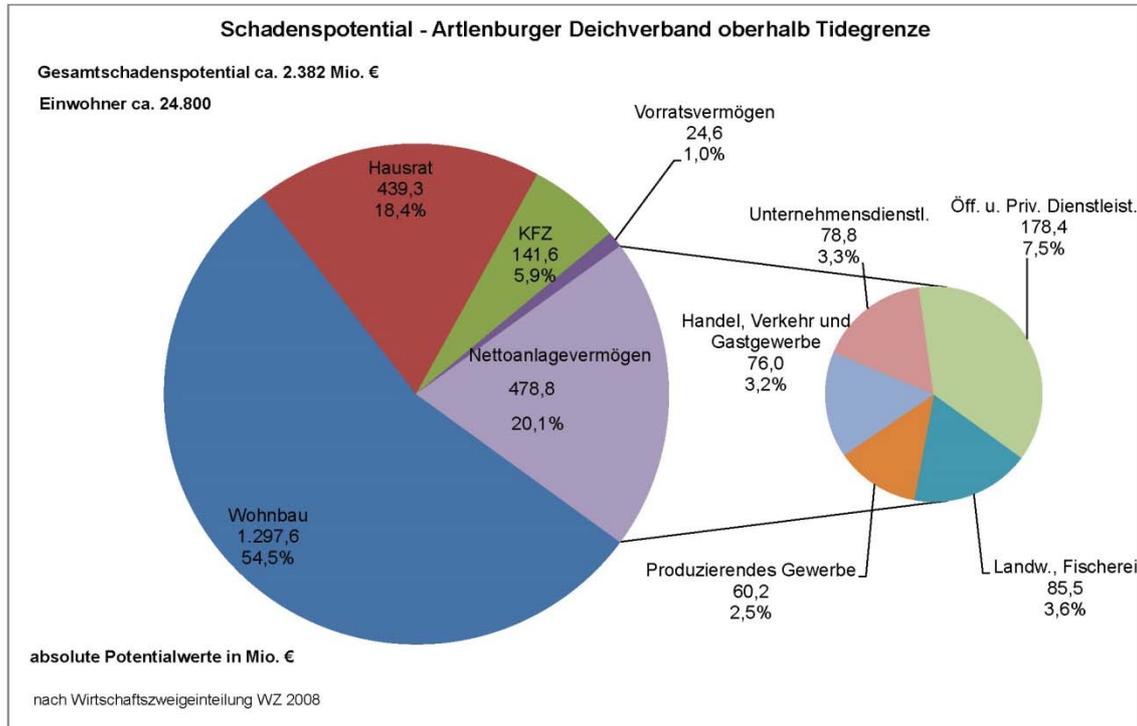
### Anlage B.5: Räumliche Verteilung der Schadenspotentiale für den Jeetzeldeichverband



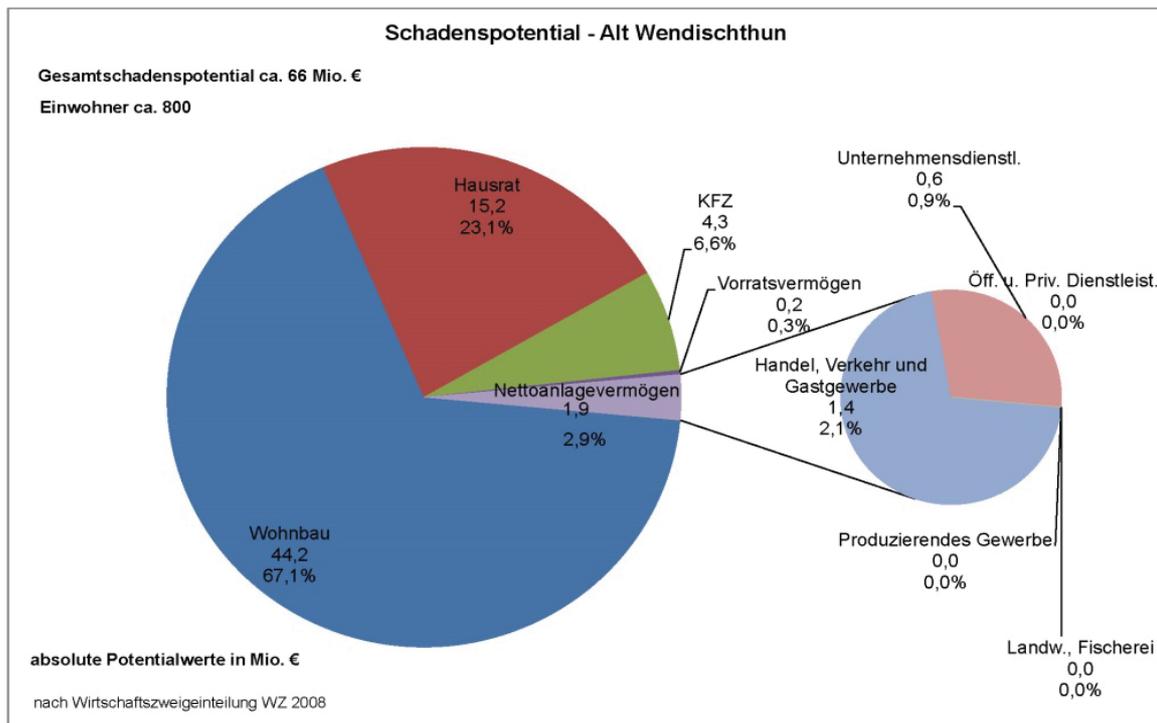
## Anlage B.6: Räumliche Verteilung der Schadenspotentiale für den Gartower Deich- und Wasserverband



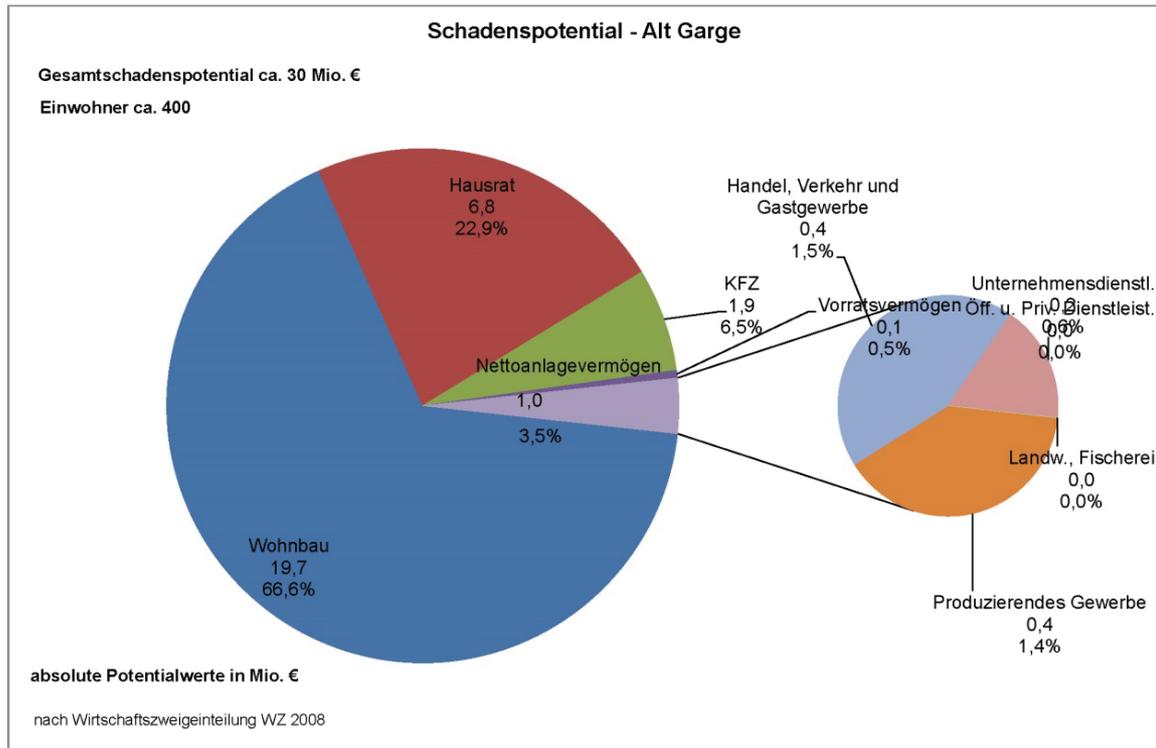
### Anlage C.1: Verteilung der Schadenspotentiale auf die Wertekategorien für den Artlenburger Deichverband



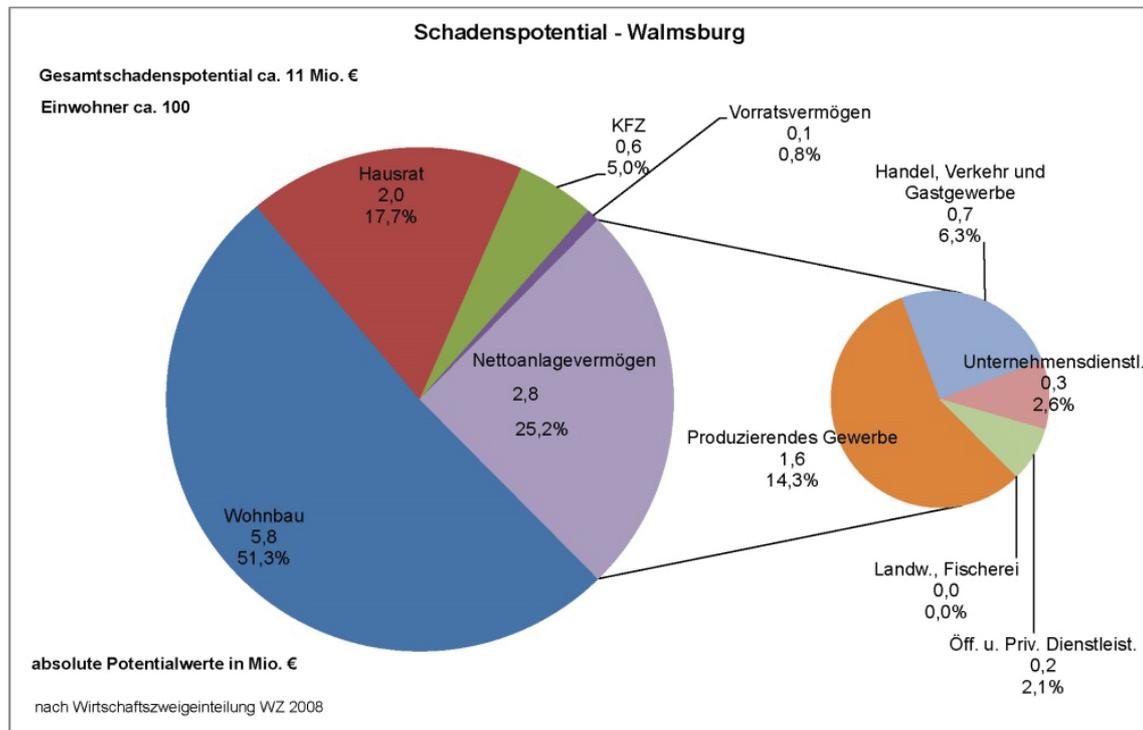
### Anlage C.2.1: Verteilung der Schadenspotentiale auf die Wertekategorien für Alt Wendischthun



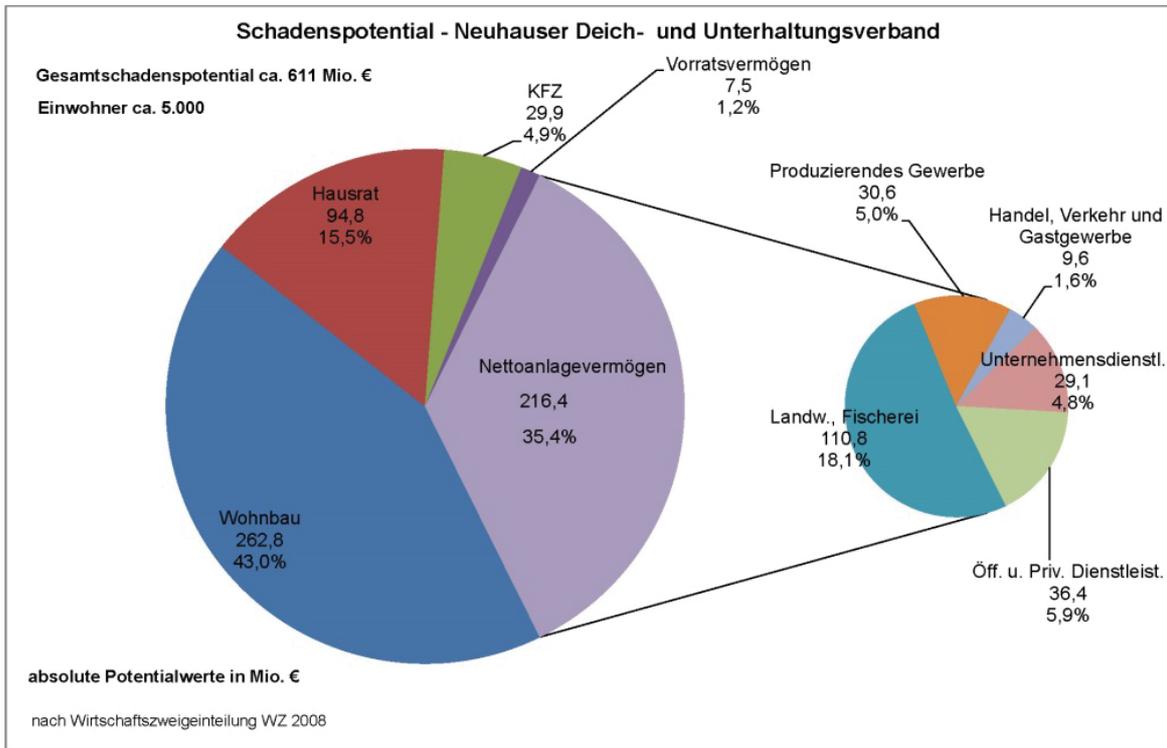
### Anlage C.2.2: Verteilung der Schadenspotentiale auf die Wertekategorien für Alt Garge



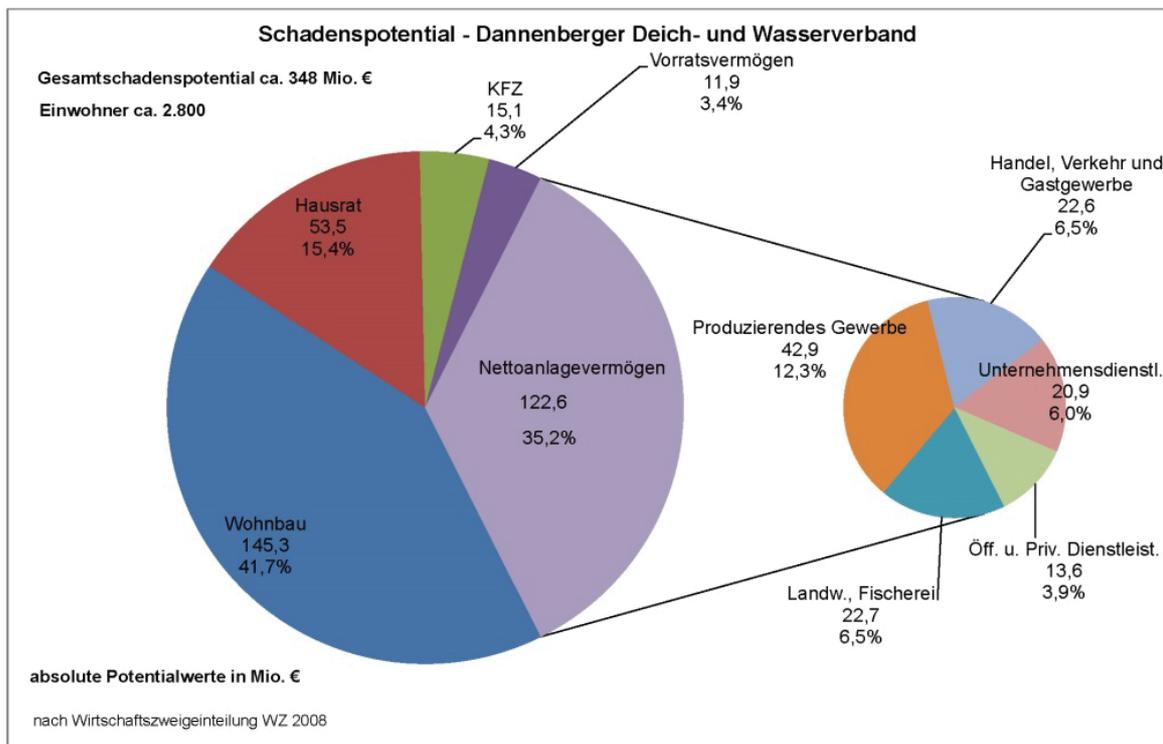
### Anlage C.2.3: Verteilung der Schadenspotentiale auf die Wertekategorien für Walmsburg



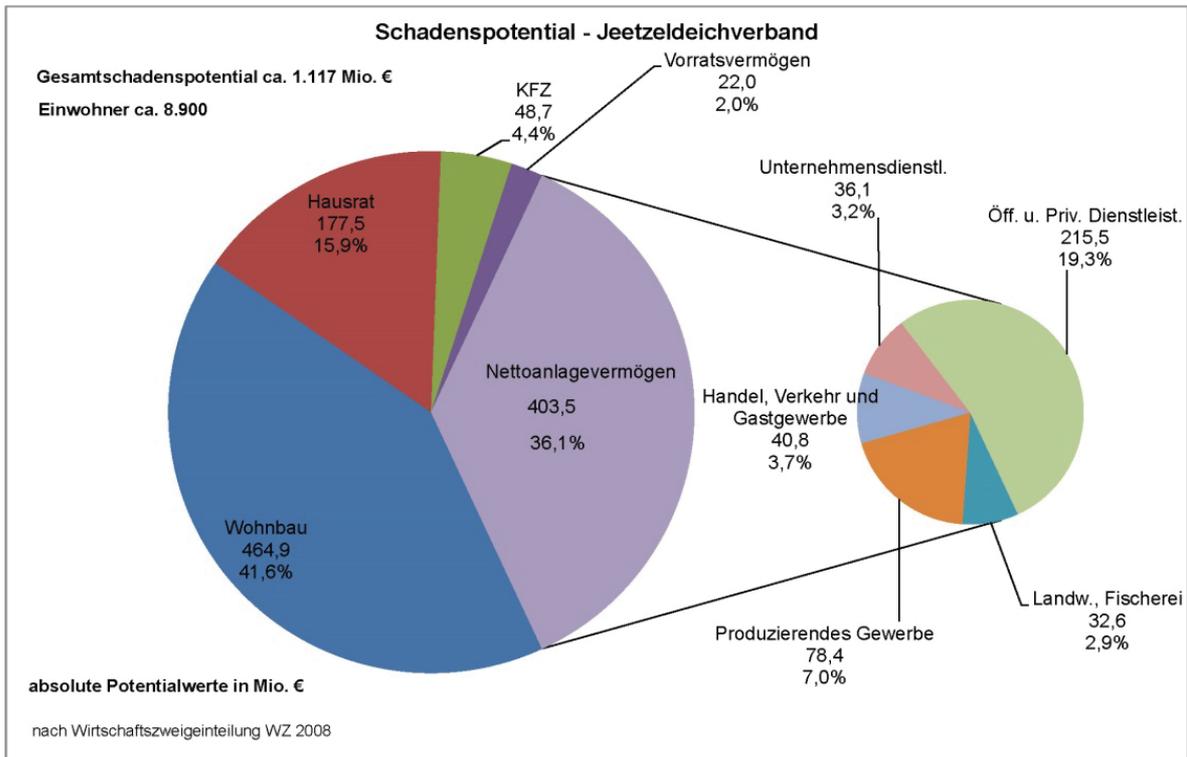
### Anlage C.3: Verteilung der Schadenspotentiale auf die Wertekategorien für den Neuhauser Deich- und Unterhaltungsverband



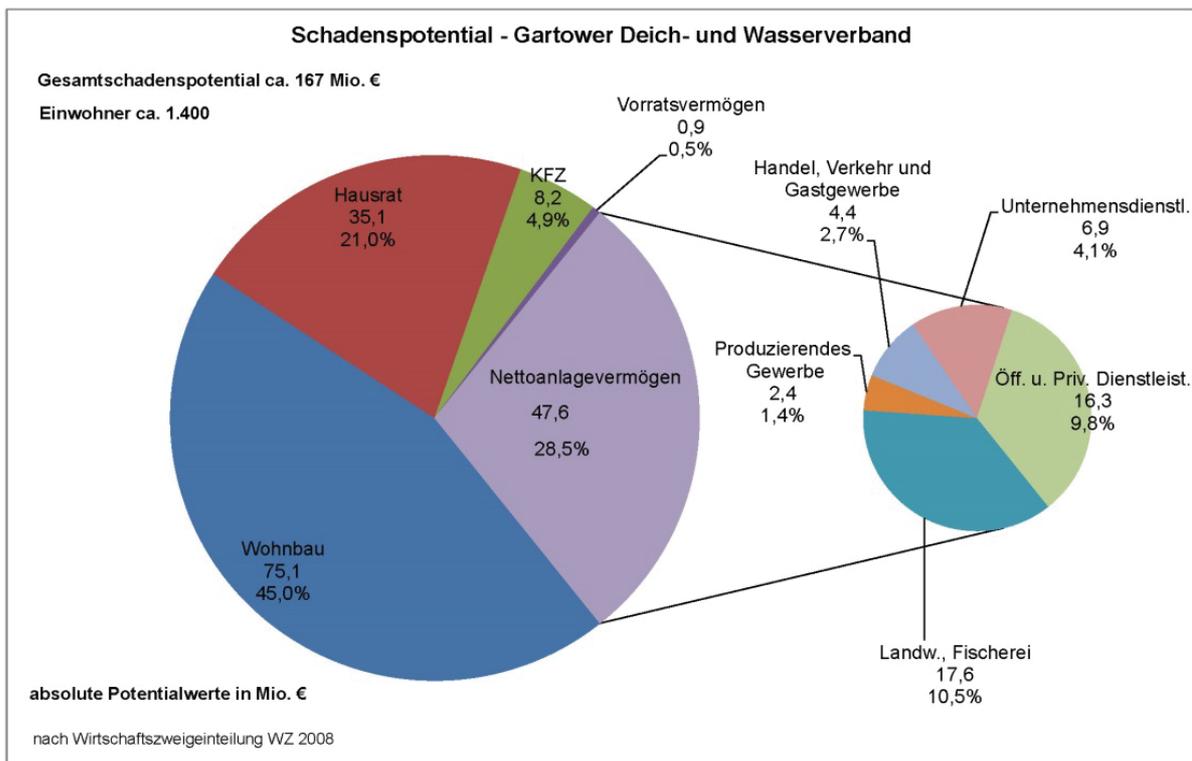
### Anlage C.4: Verteilung der Schadenspotentiale auf die Wertekategorien für den Dannenberger Deich- und Wasserverband



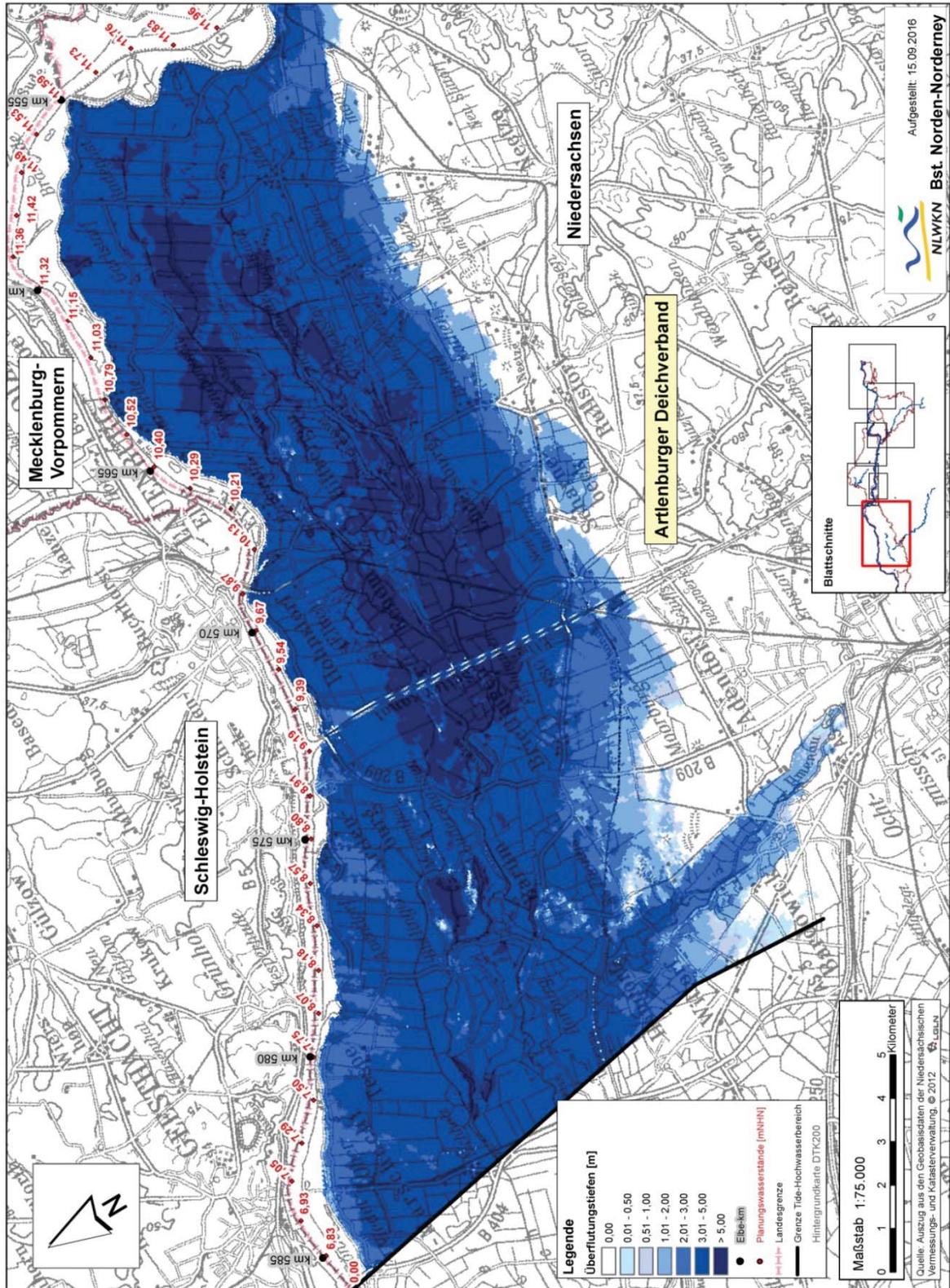
### Anlage C.5: Verteilung der Schadenspotentiale auf die Wertekategorien für den Jeetzeldeichverband



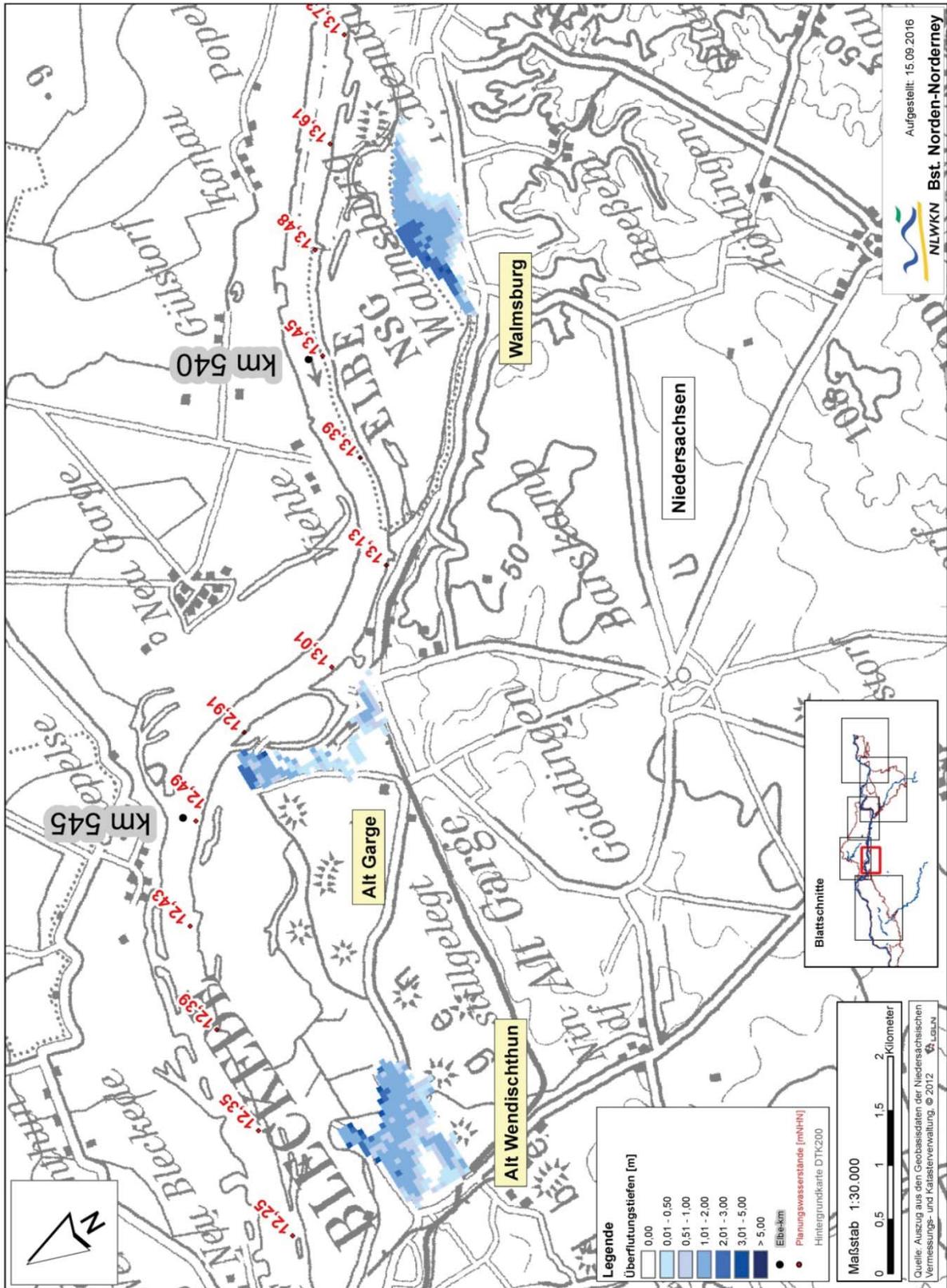
### Anlage C.6: Verteilung der Schadenspotentiale auf die Wertekategorien für den Gartower Deich- und Wasserverband



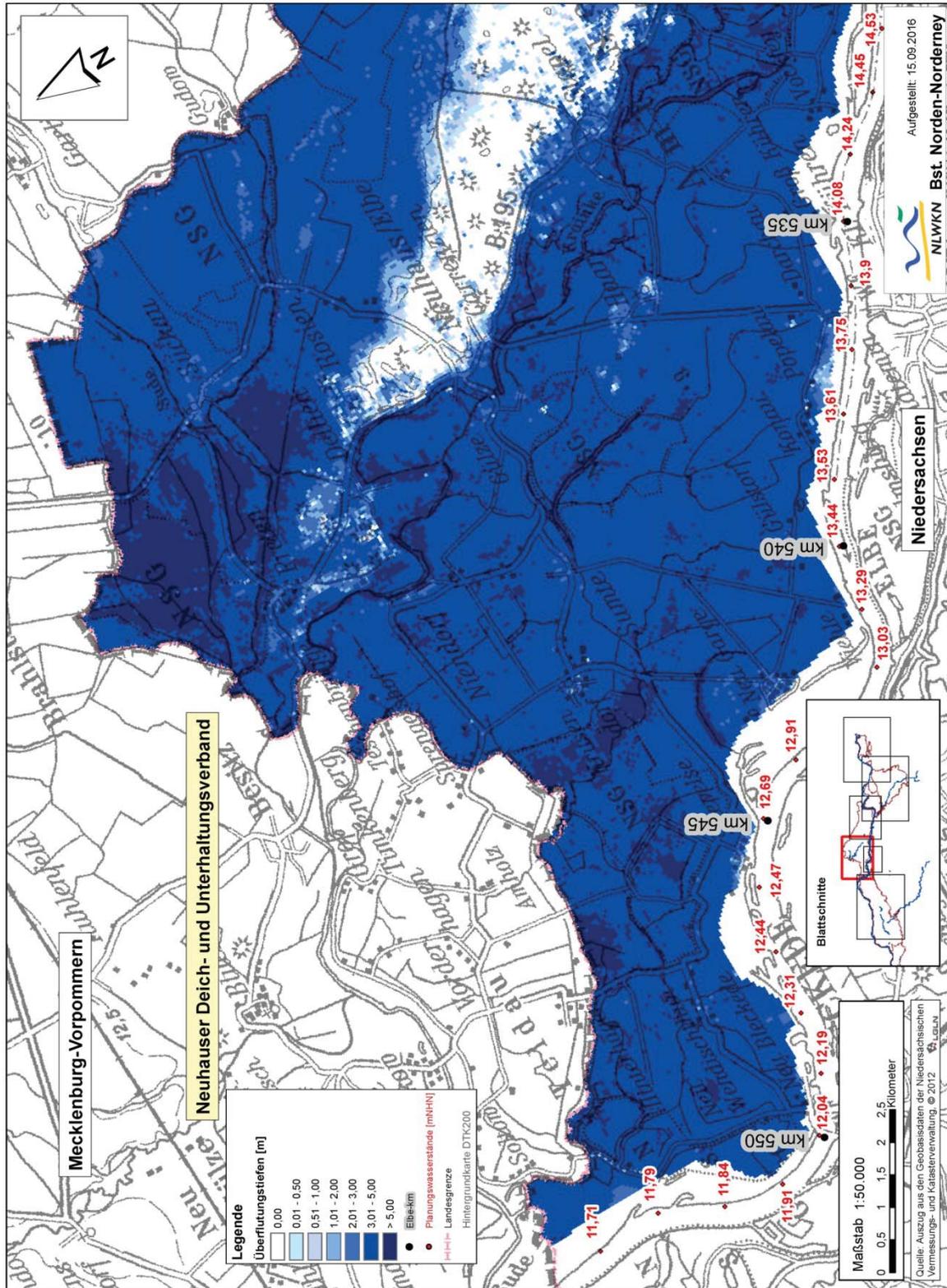
### Anlage D.1: Räumliche Verteilung der Wassertiefen für den Artlenburger Deichverband



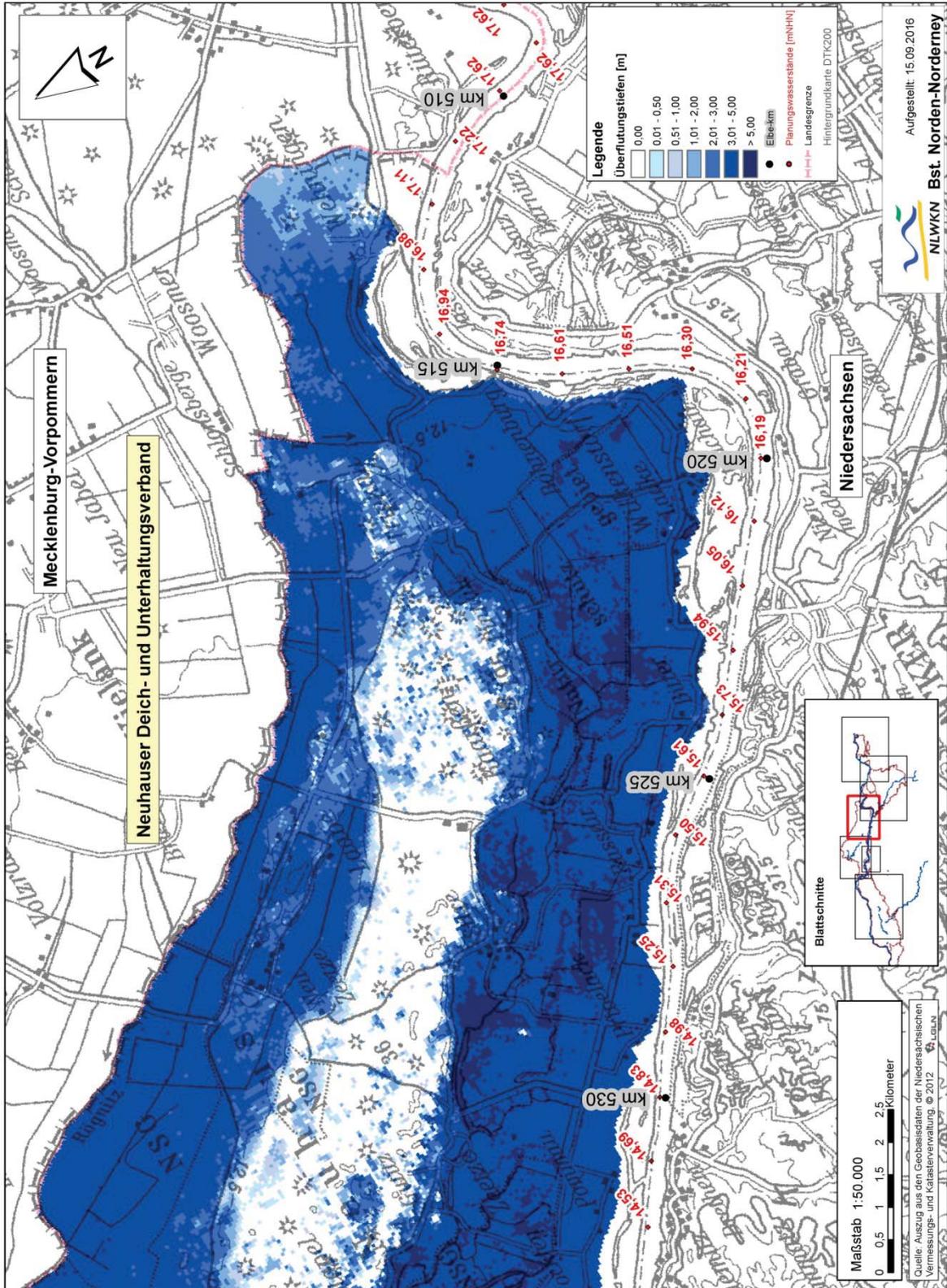
Anlage D.2: Räumliche Verteilung der Wassertiefen für Alt Wendischthun, Alt Garge und Walmsburg



### Anlage D.3.1: Räumliche Verteilung der Wassertiefen für den Neuhauser Deich- und Unterhaltungsverband, westlicher Teil

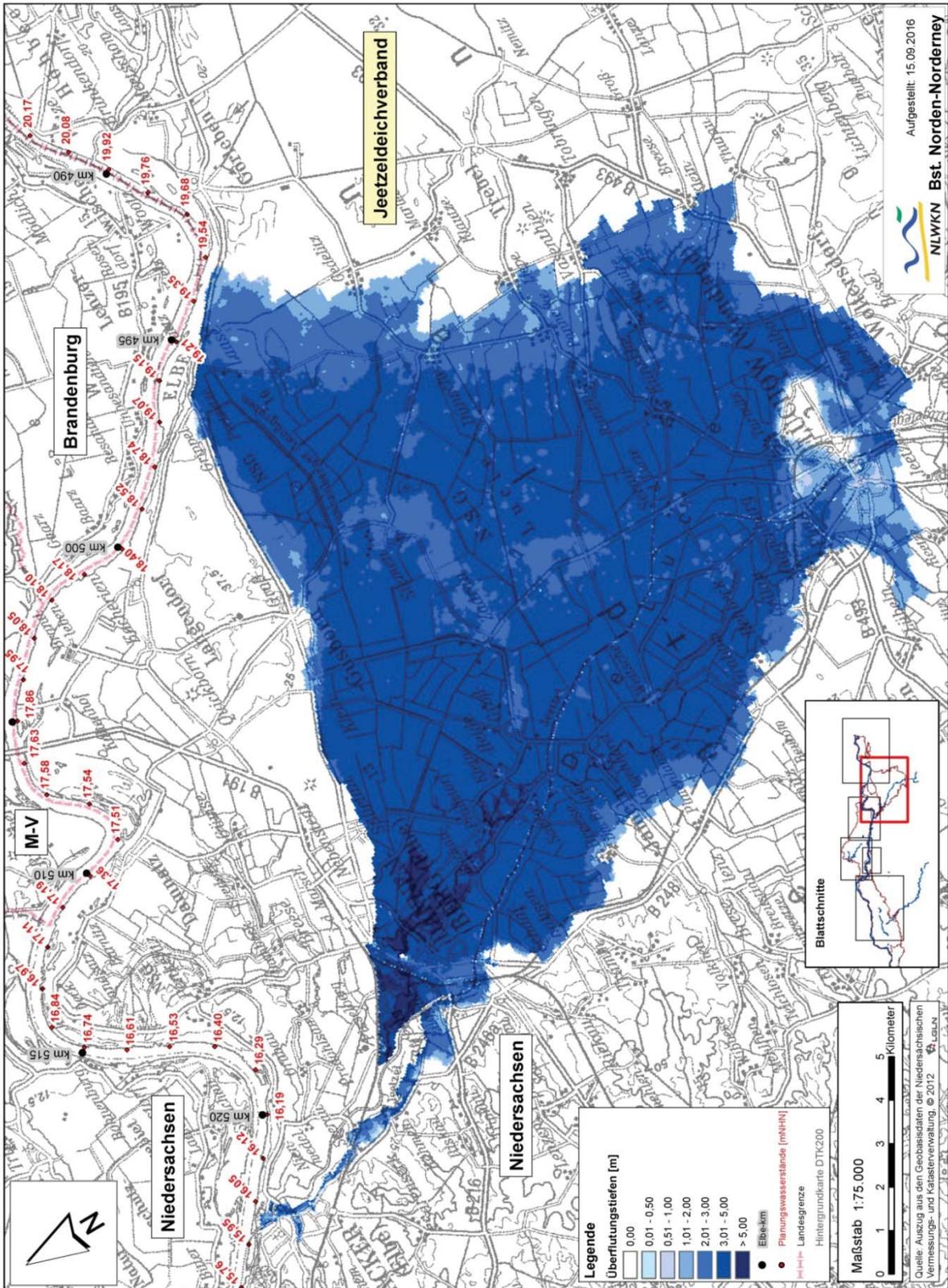


### Anlage D.3.2: Räumliche Verteilung der Wassertiefen für den Neuhauser Deich- und Unterhaltungsverband, östlicher Teil

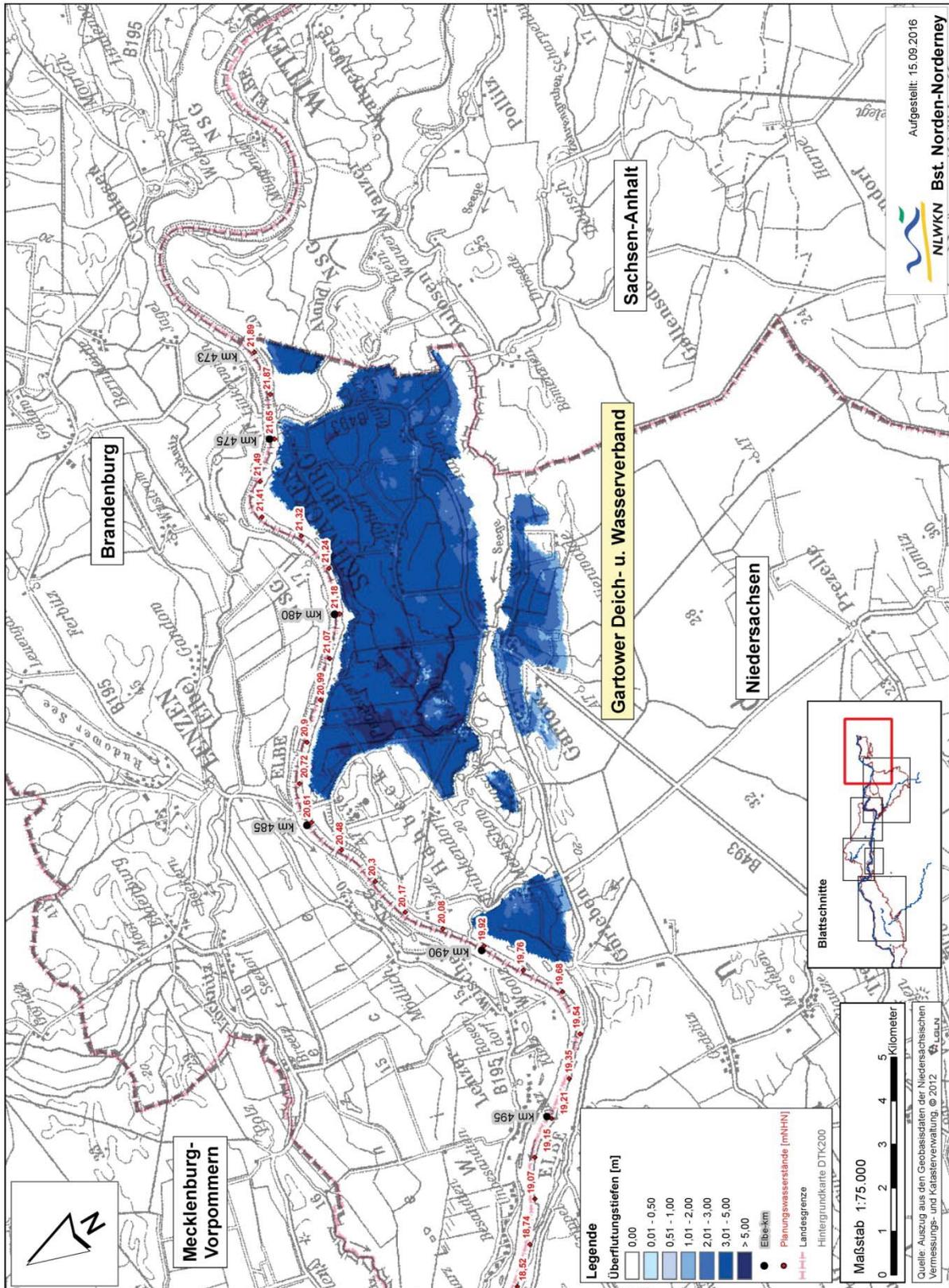




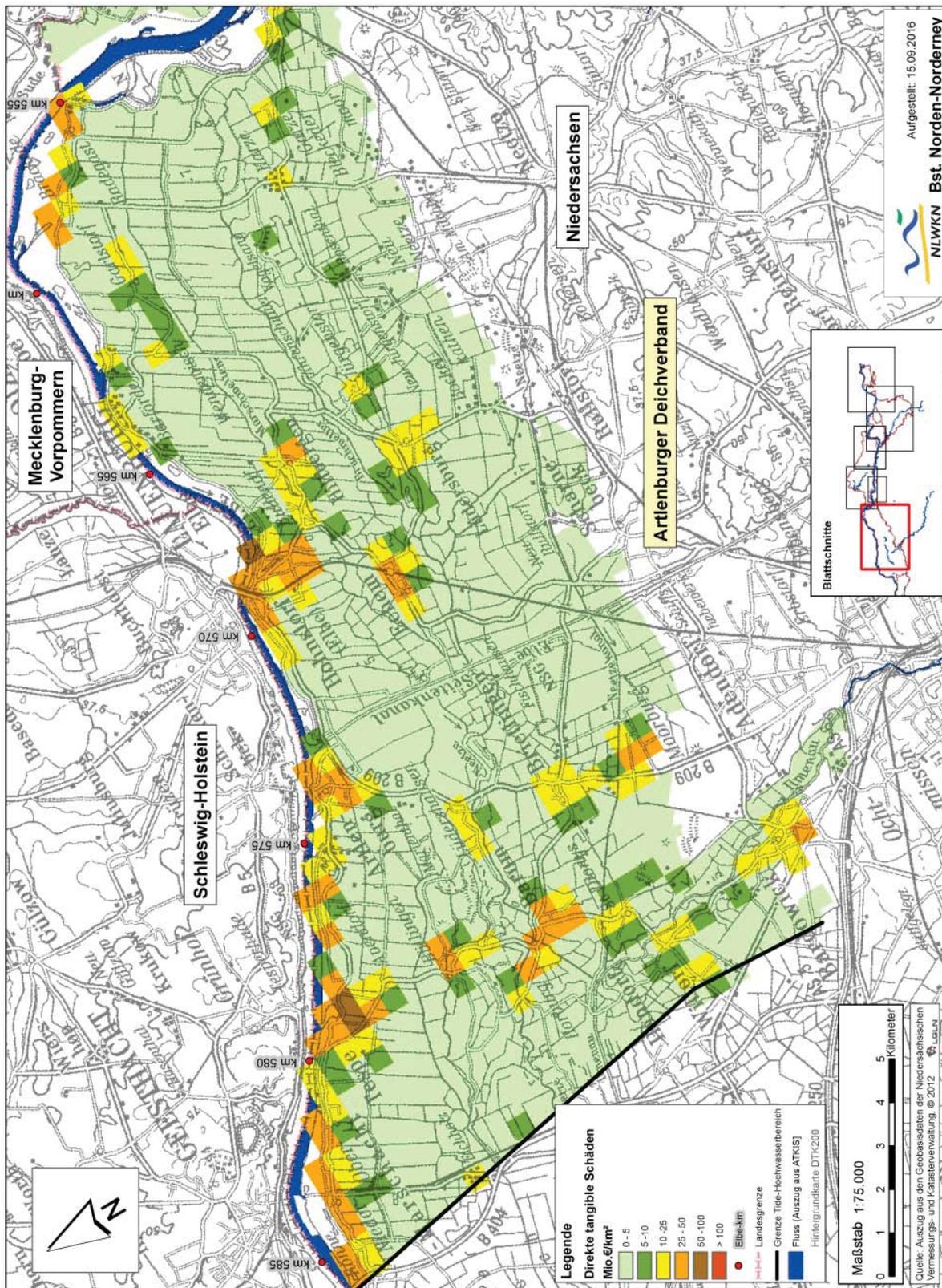
### Anlage D.5: Räumliche Verteilung der Wassertiefen für den Jeetzeldeichverband



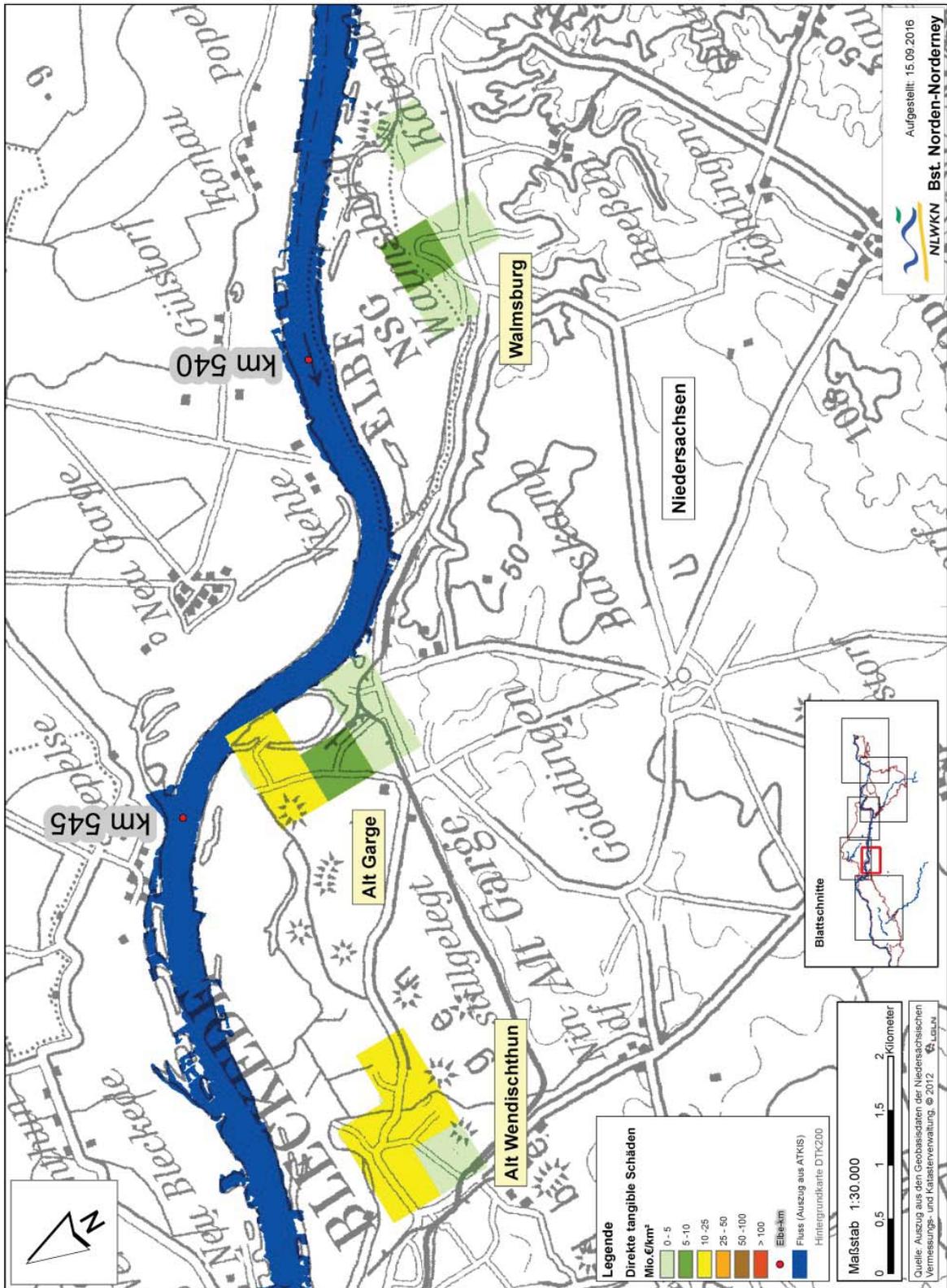
### Anlage D.6: Räumliche Verteilung der Wassertiefen für den Gartower Deich- und Wasserverband



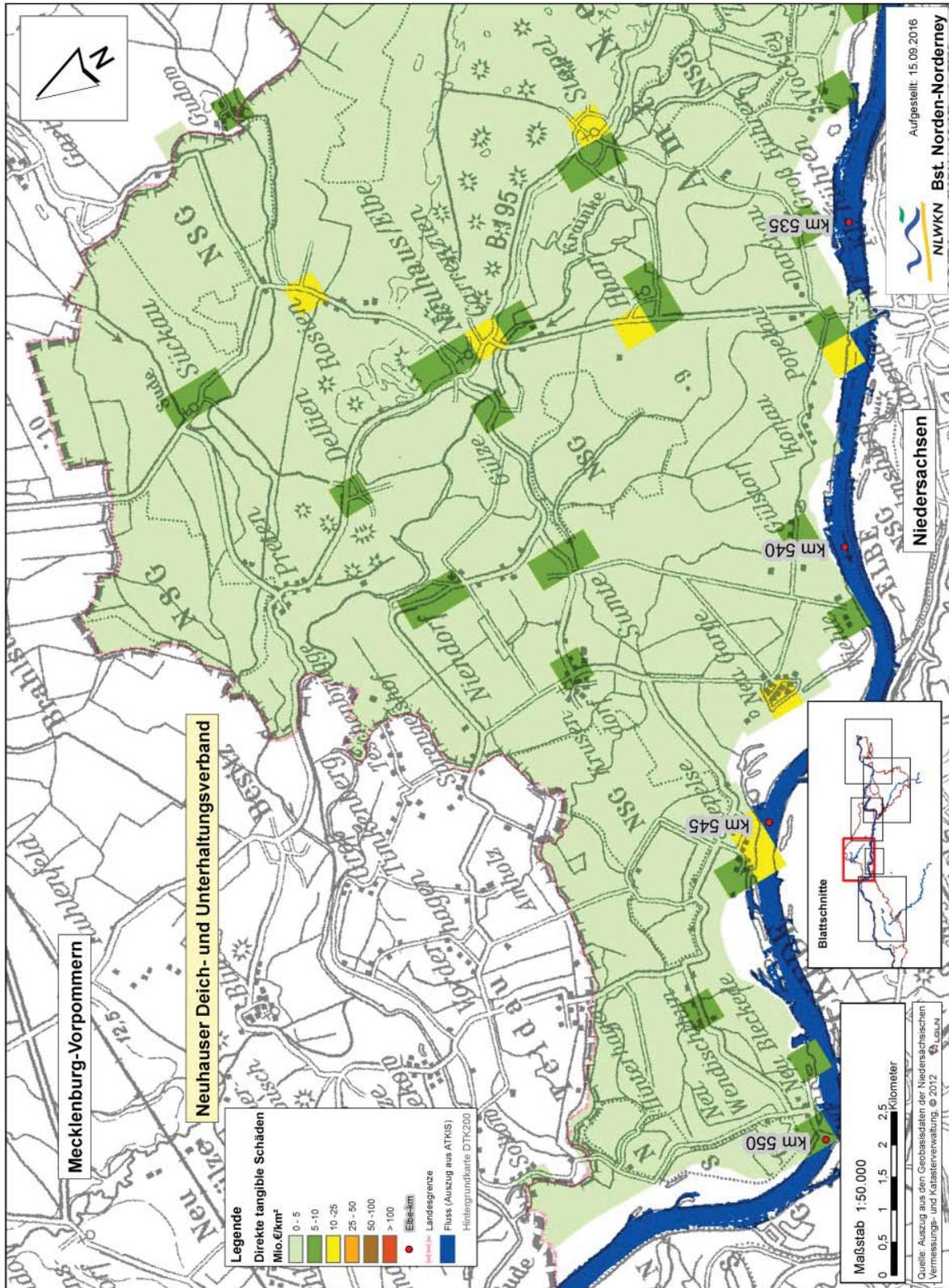
### Anlage E.1: Räumliche Verteilung der potentiellen Schäden für den Artlenburger Deichverband



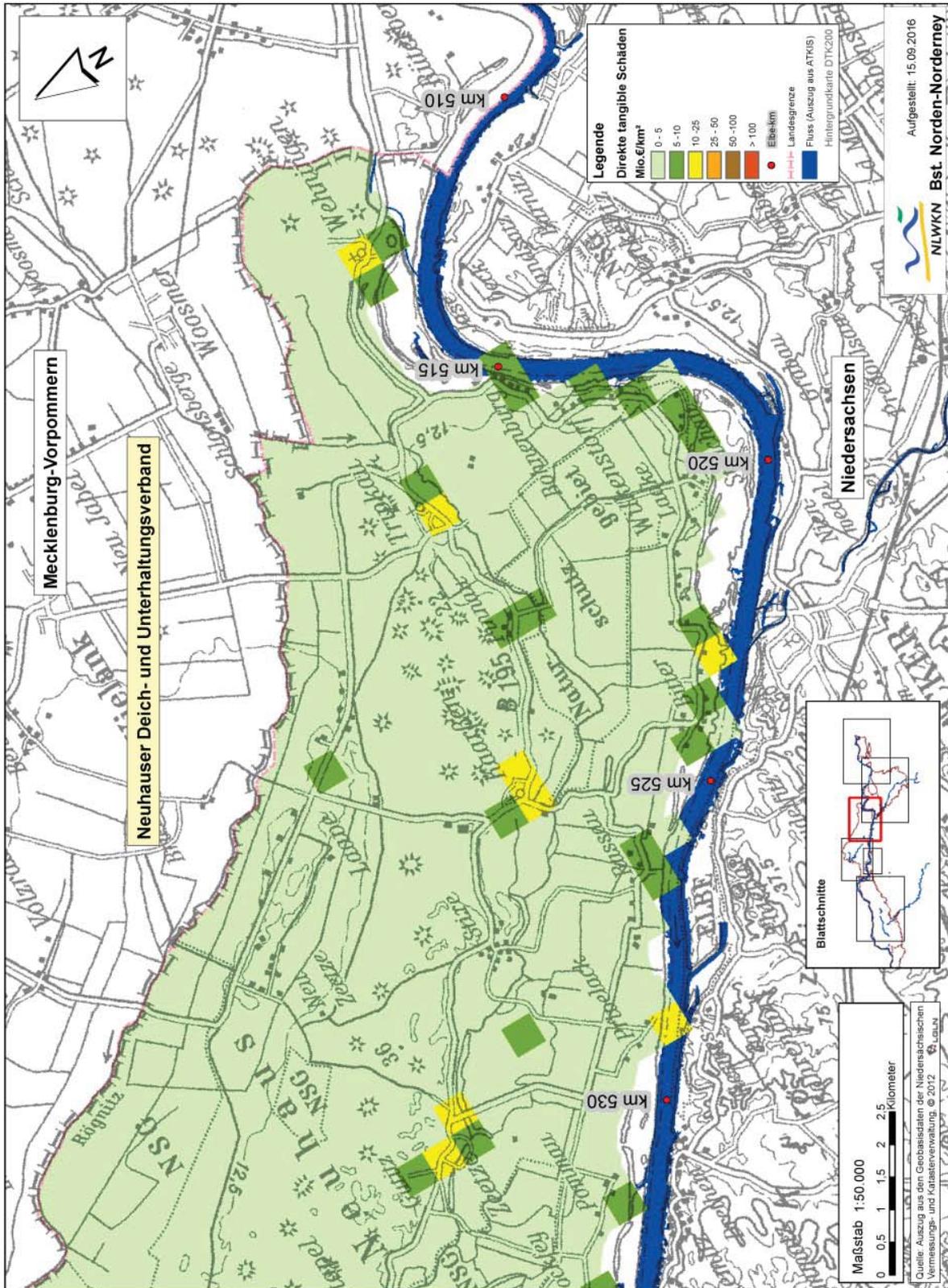
Anlage E.2: Räumliche Verteilung der potentiellen Schäden für Alt Wendischthun, Alt Garge und Walmsburg



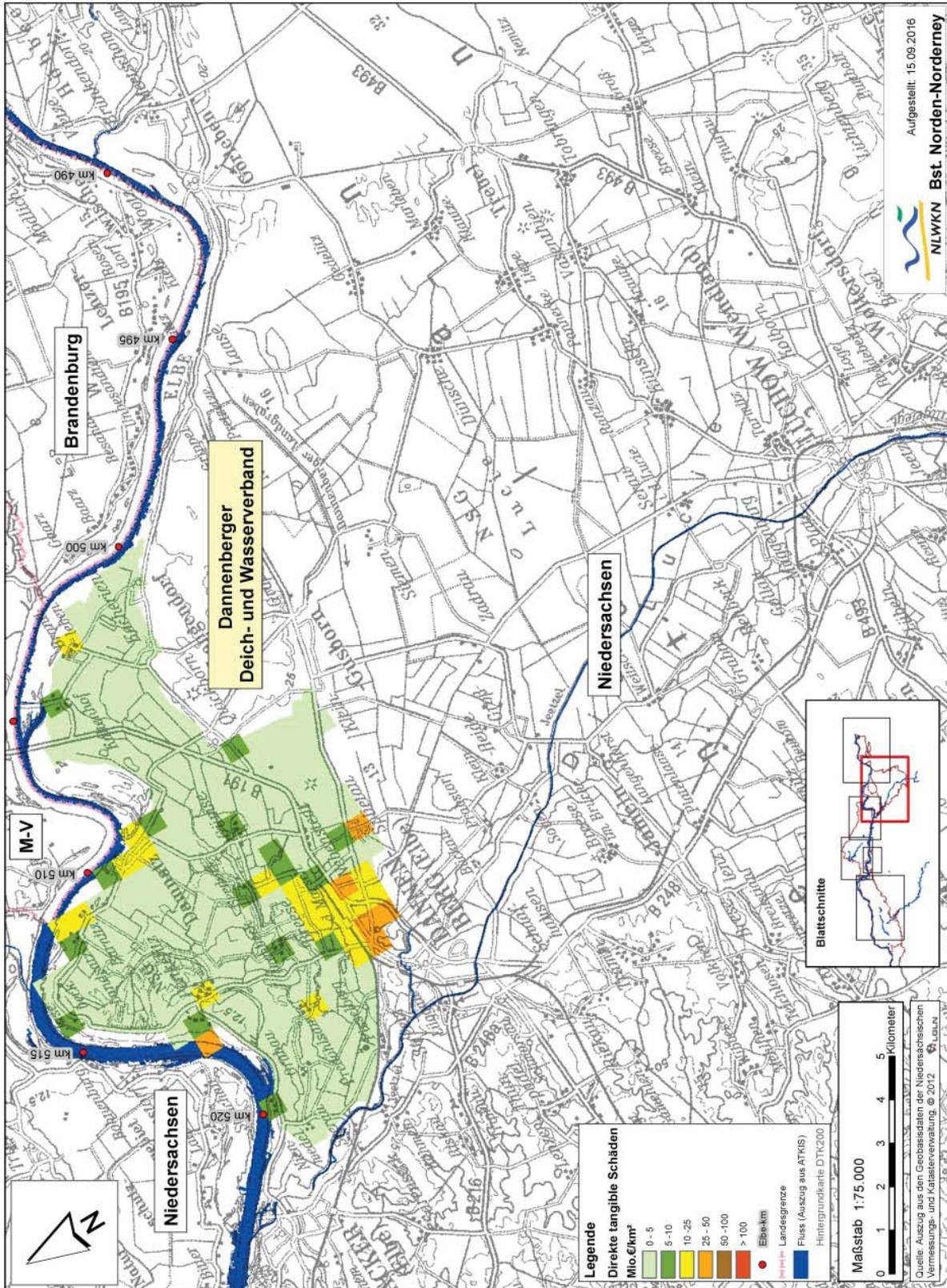
### Anlage E.3.1: Räumliche Verteilung der potentiellen Schäden für den Neuhauser Deich- und Unterhaltungsverband - westlicher Teil



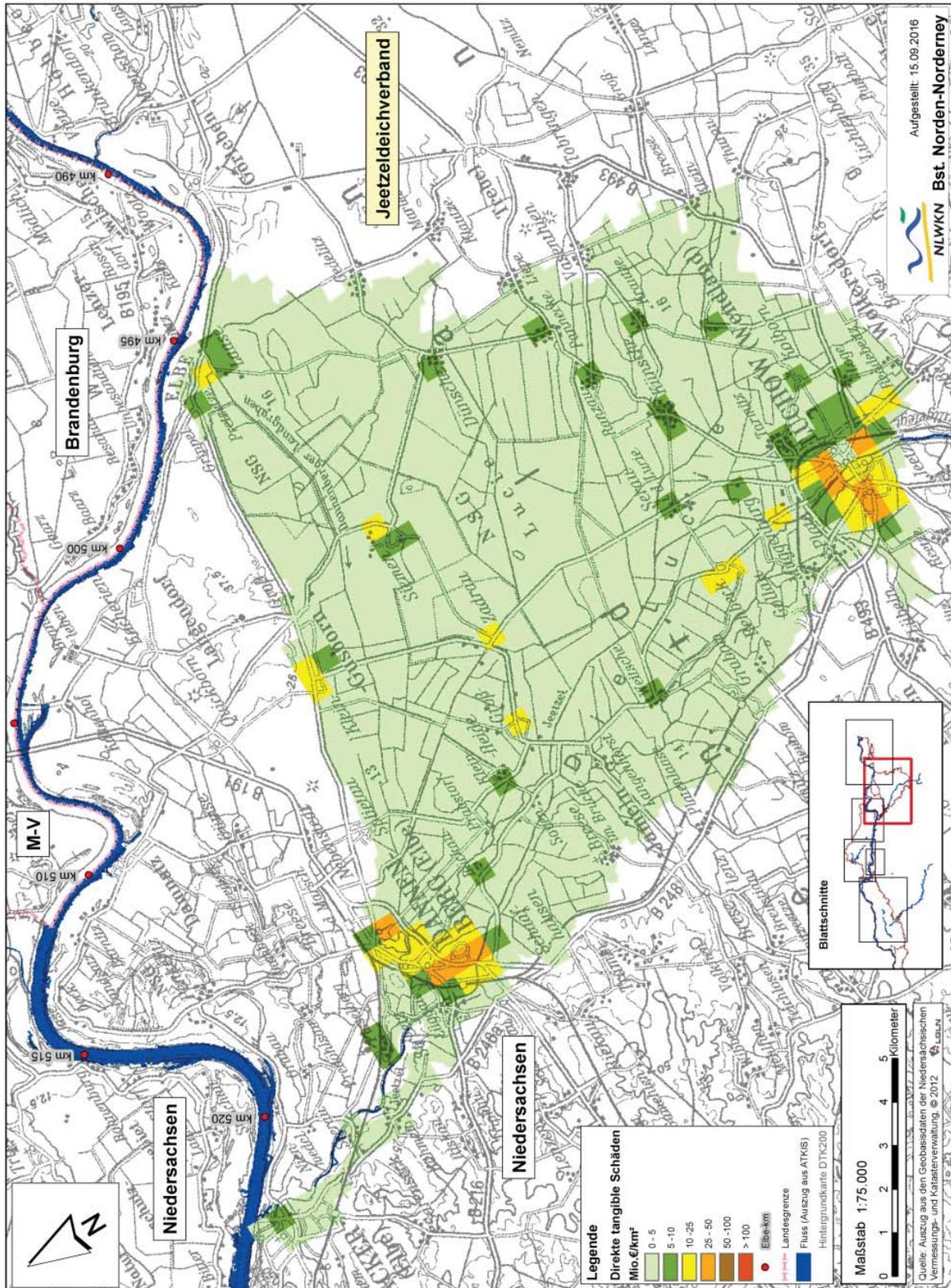
### Anlage E.3.2: Räumliche Verteilung der potentiellen Schäden für den Neuhauser Deich- und Unterhaltungsverband - östlicher Teil



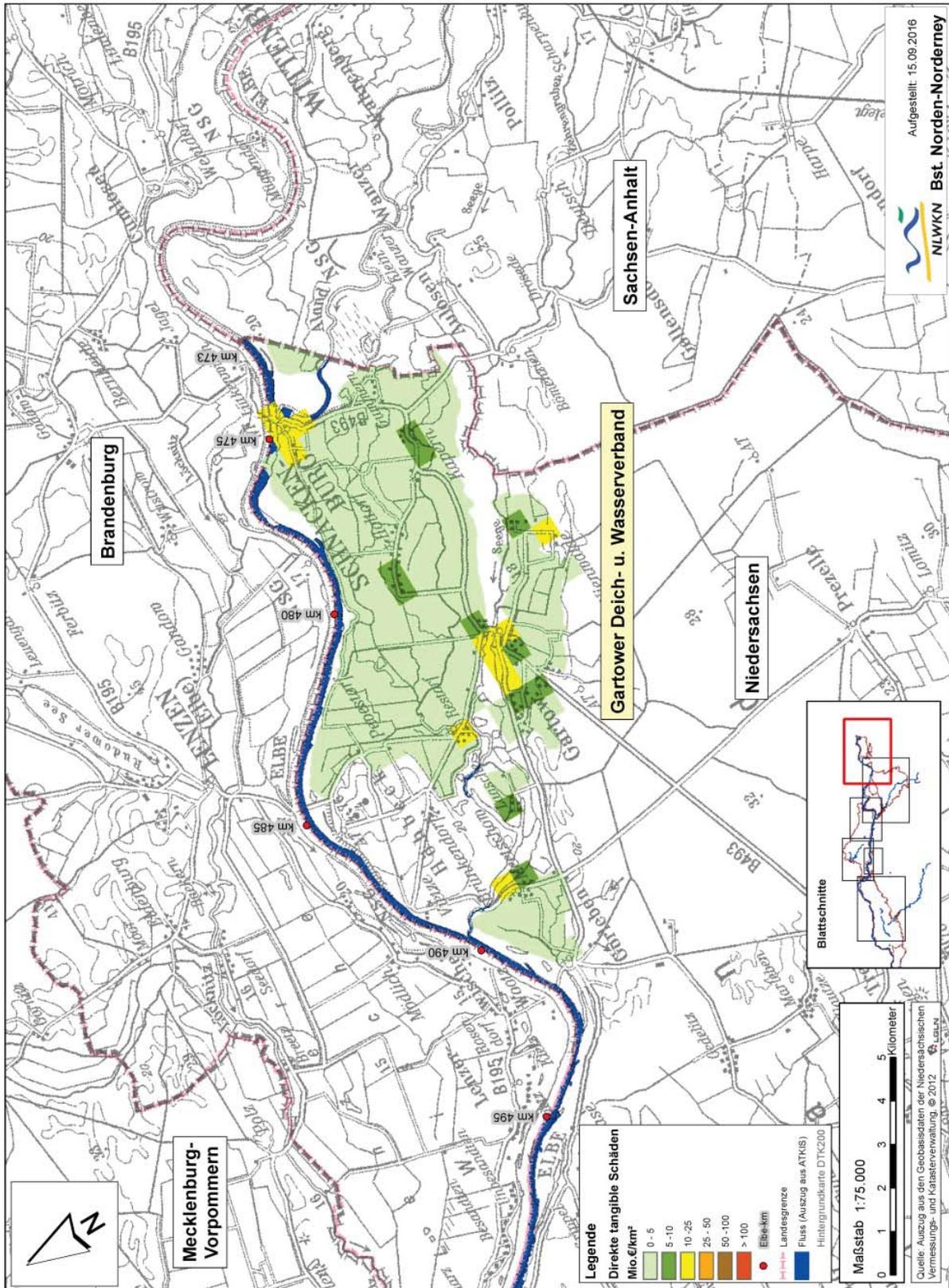
### Anlage E.4: Räumliche Verteilung der potentiellen Schäden für den Dannenberg Deich- und Wasserverband



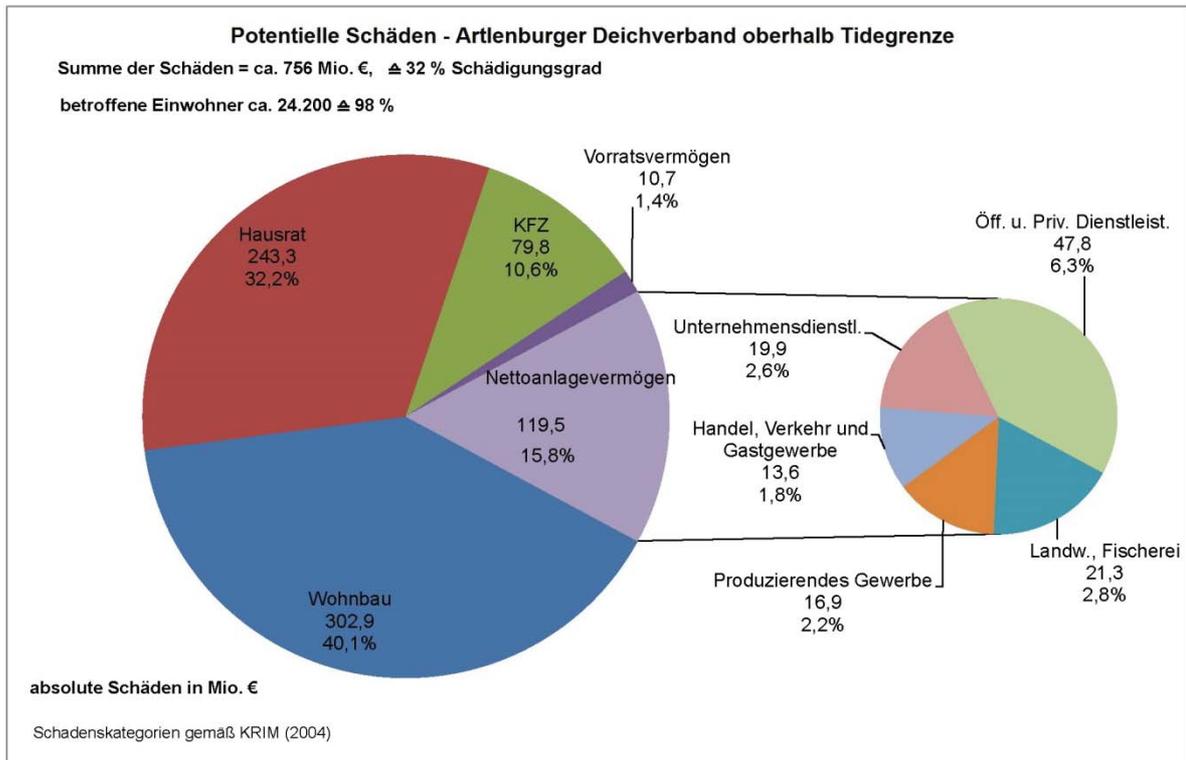
### Anlage E.5: Räumliche Verteilung der potentiellen Schäden für den Jeetzeleichverband



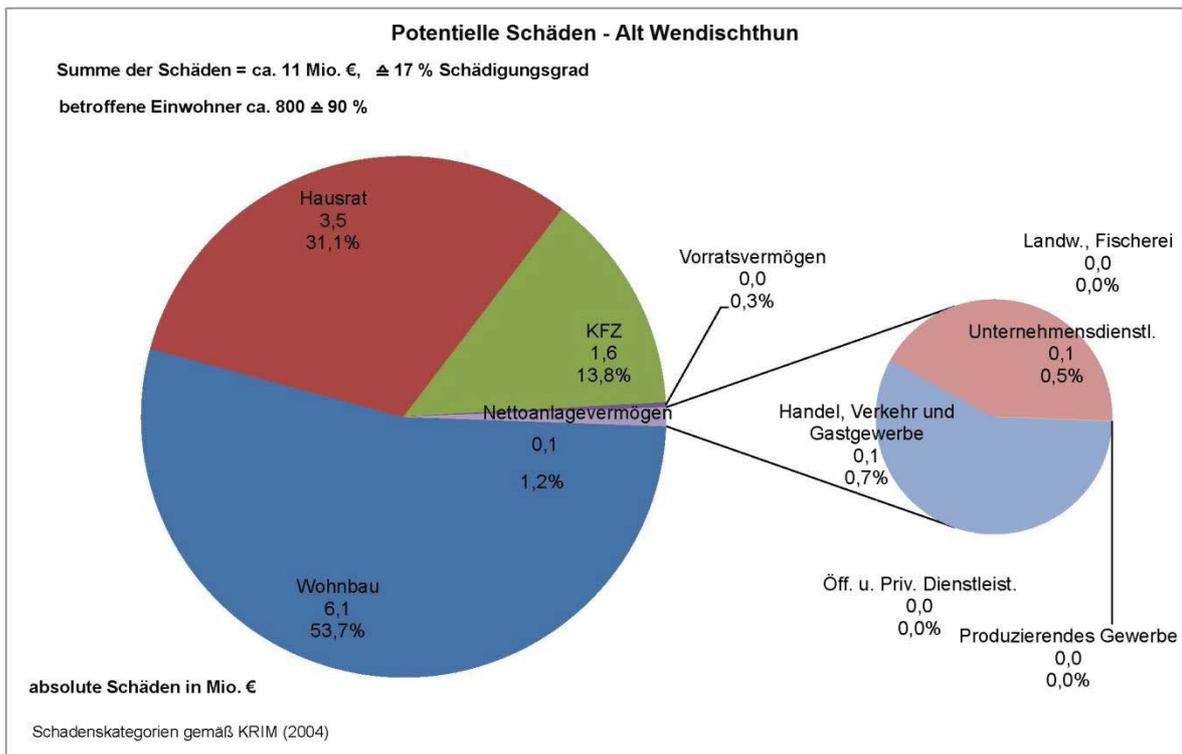
### Anlage E.6: Räumliche Verteilung der potentiellen Schäden für den Gartower Deich- und Wasserverband



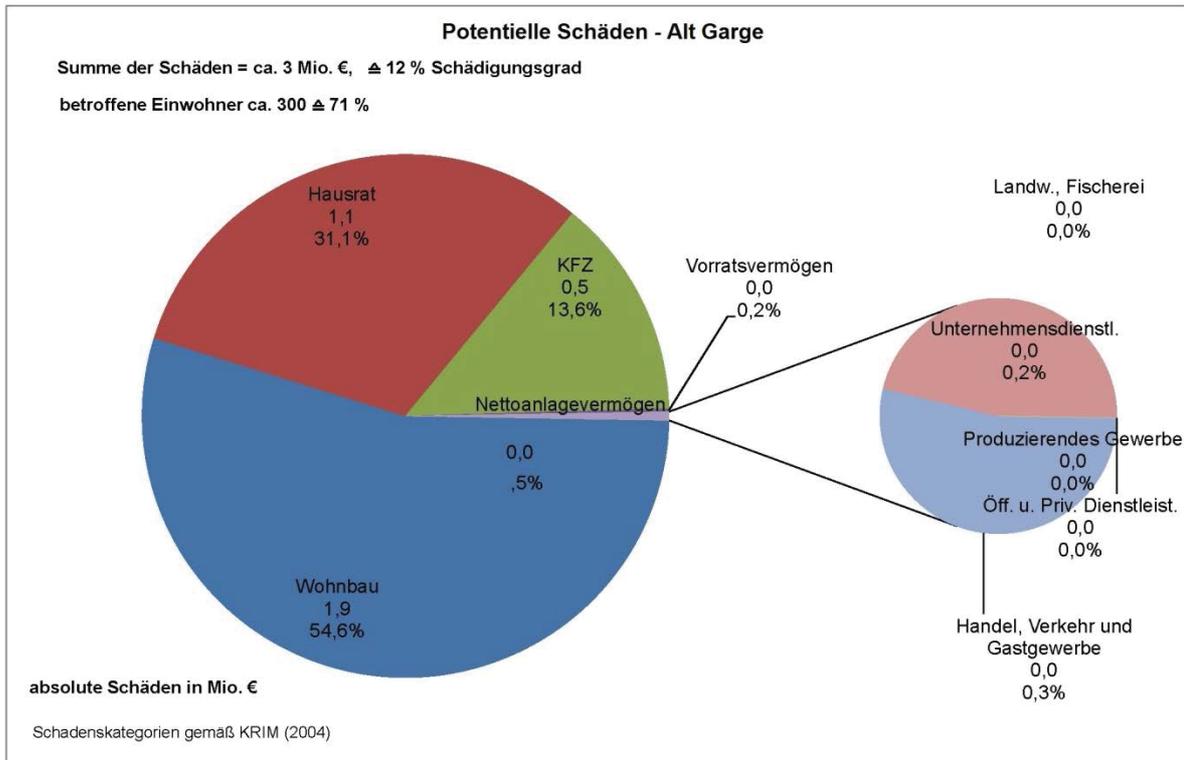
### Anlage F.1: Verteilung der potentiellen Schäden auf Schadenskategorien für den Artlenburger Deichverband



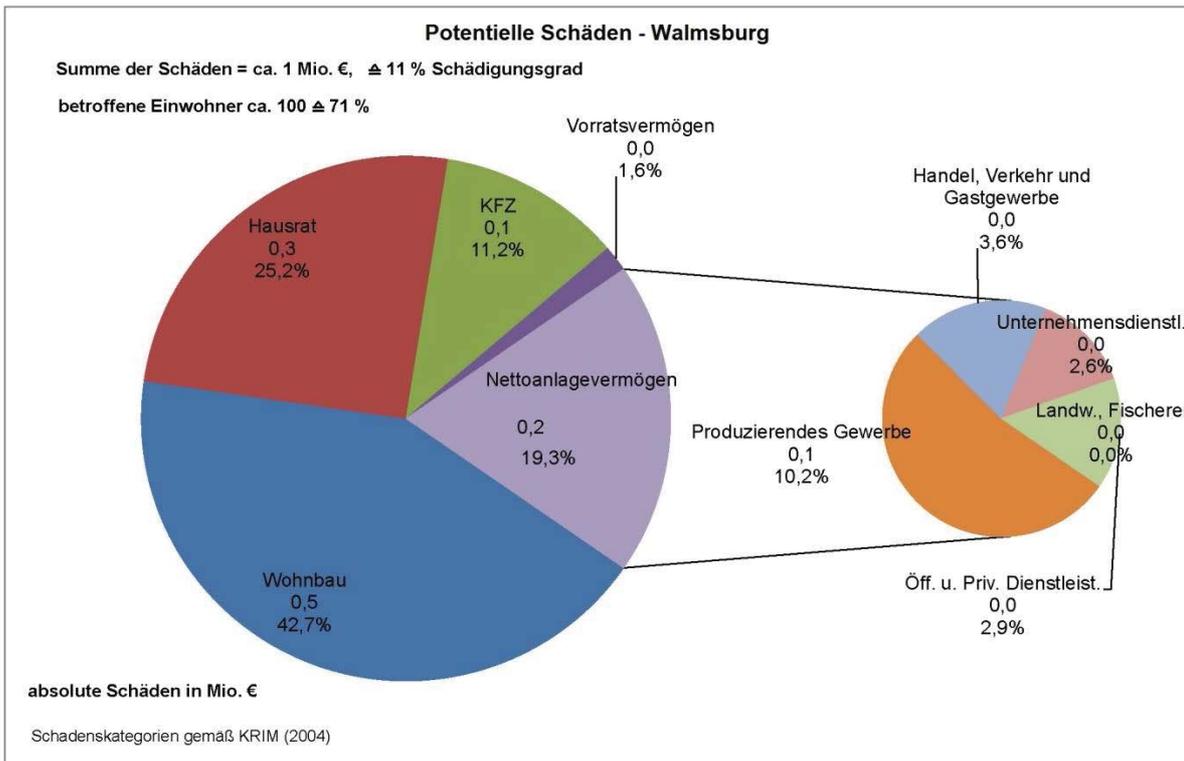
### Anlage F.2.1: Verteilung der potentiellen Schäden auf Schadenskategorien für Alt Wendischthun



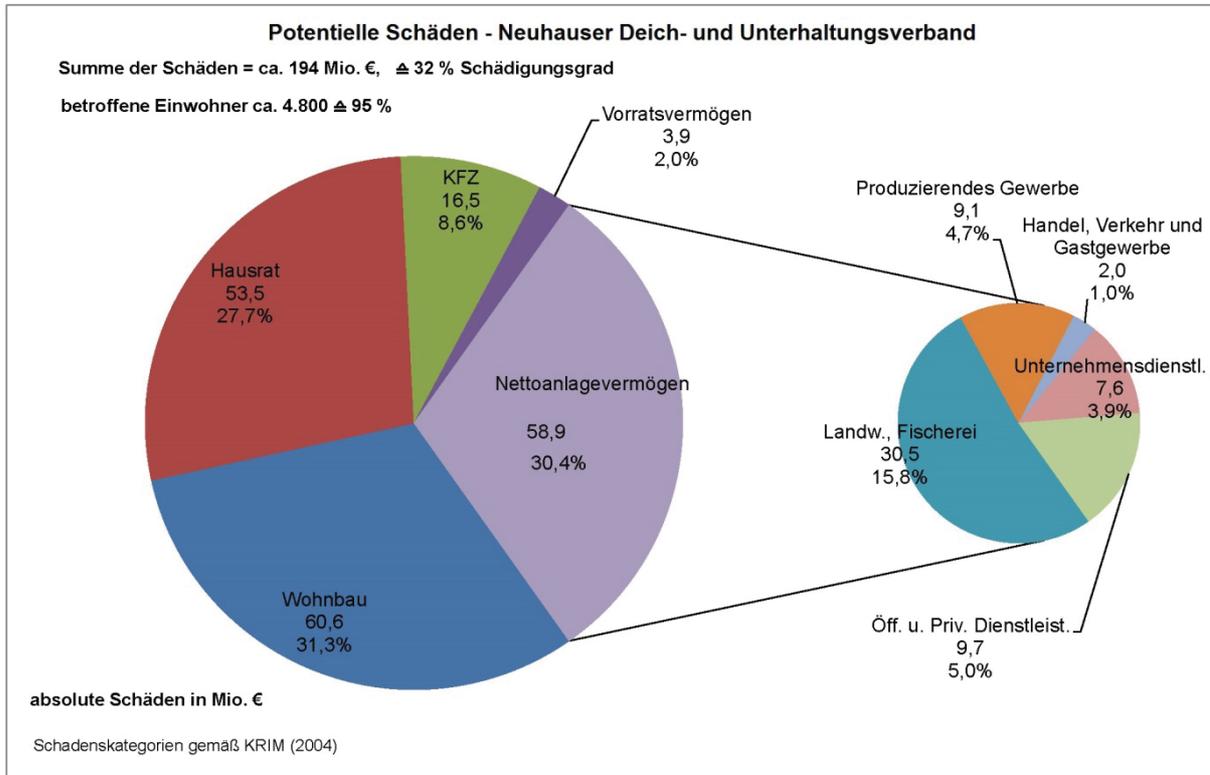
### Anlage F.2.2: Verteilung der potentiellen Schäden auf Schadenskategorien für Alt Garge



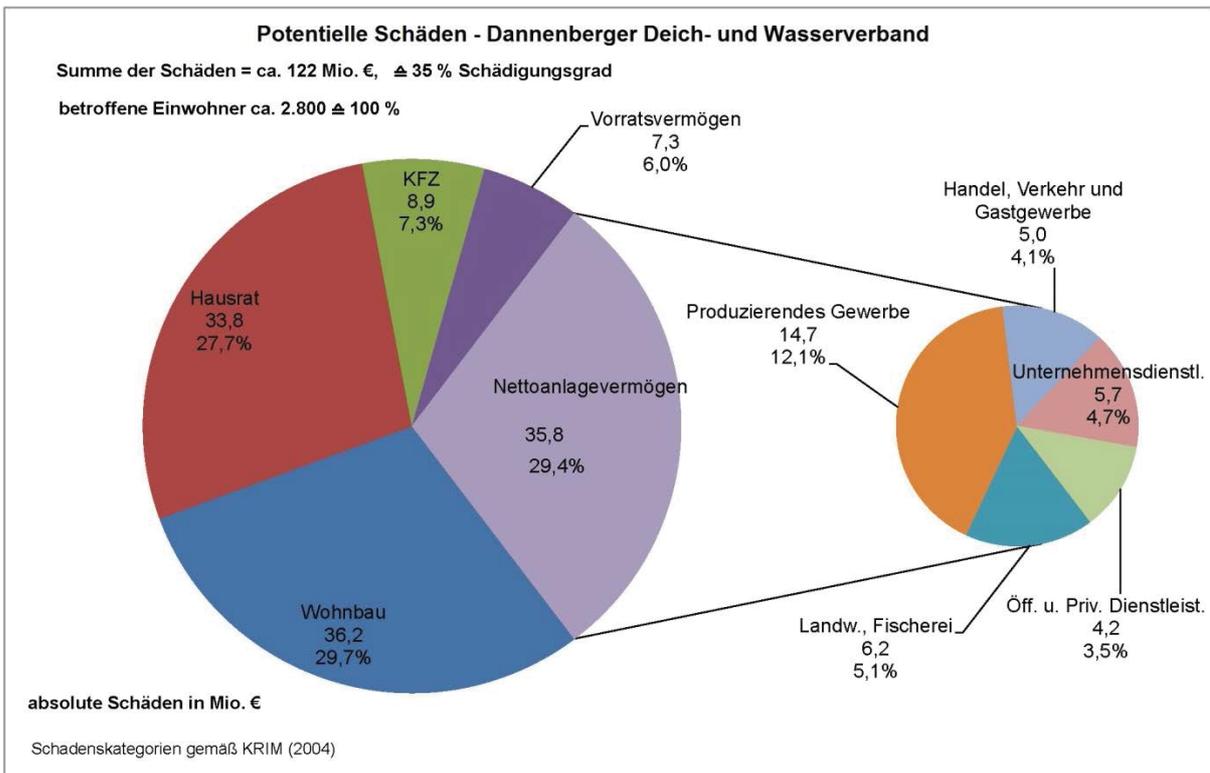
### Anlage F.2.3: Verteilung der potentiellen Schäden auf Schadenskategorien für Walmsburg



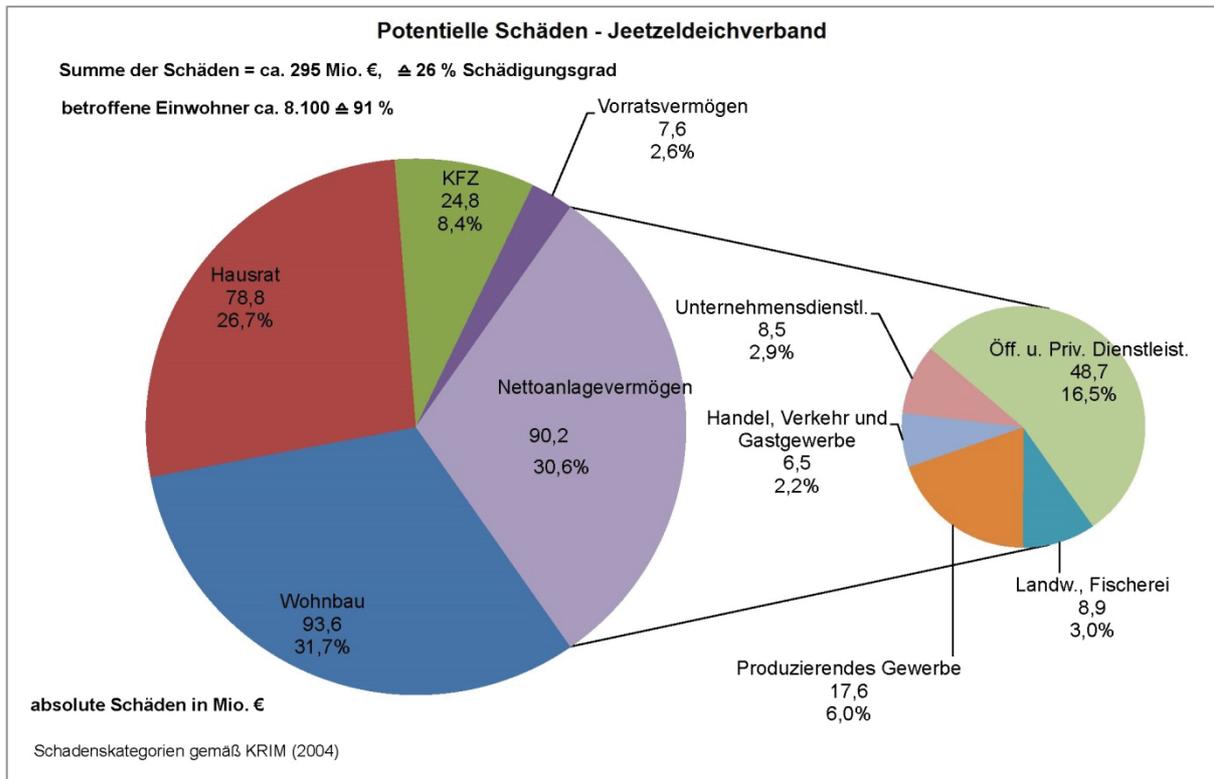
### Anlage F.3: Verteilung der potentiellen Schäden auf Schadenskategorien für den Neuhauser Deich- und Unterhaltungsverband



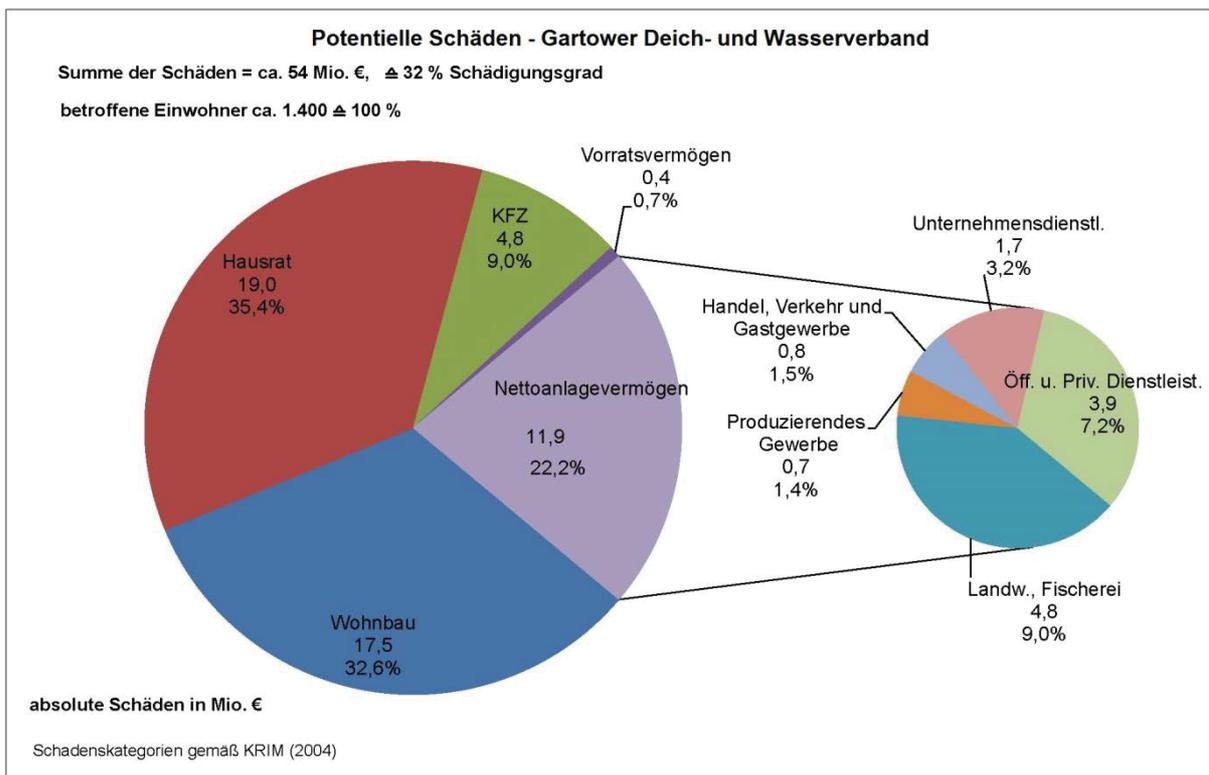
### Anlage F.4: Verteilung der potentiellen Schäden auf Schadenskategorien für den Dannenberger Deich- und Wasserverband



### Anlage F.5: Verteilung der potentiellen Schäden auf Schadenskategorien für den Jeetzeldeichverband



### Anlage F.6: Verteilung der potentiellen Schäden auf Schadenskategorien für den Gartower Deich- und Wasserverband



**Abflussverbessernde Maßnahmen  
an der Unteren Mittelelbe  
Rahmenplan  
Teil Niedersachsen**

## **Anlage 5**

Vergleich der Wasserstandsganglinien für  
die Pegel Schnackenburg, Dömitz und  
Neu Darchau während des  
Sommerhochwassers 2002

Niedersächsischer Landesbetrieb für  
Wasserwirtschaft, Küstenschutz und  
Naturschutz

2014

## Anlage 5

### Vergleich der Wasserstandsganglinien während des Sommerhochwassers 2002 an drei Pegeln in der unteren Mittelelbe

Werden die während des Sommerhochwassers 2002 gemessenen Wasserstandsganglinien der Pegel Schnackenburg, Dömitz und Neu Darchau miteinander verglichen, so sind am Pegel Schnackenburg (Elbe-km 474,6) zwei Hochwasserwellen zu erkennen, von denen die erste deutlich höher ist als die zweite.

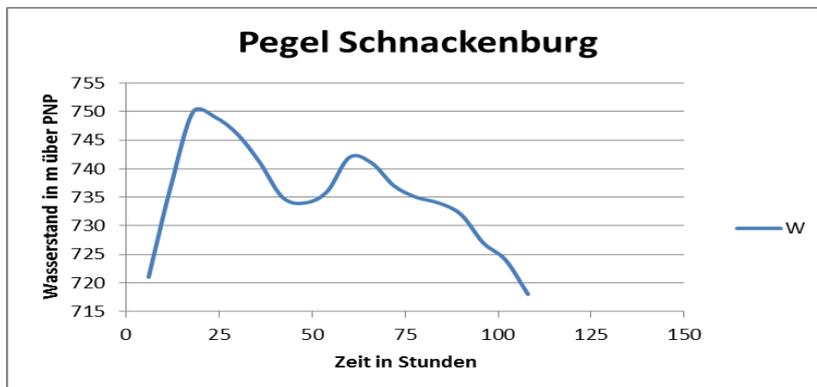


Abb. 1: Verlauf der Wasserstandsganglinien während des Sommerhochwassers 2002 am Pegel Schnackenburg

Dieser Verlauf entspricht dem Verlauf der Wasserstandsganglinie des oberhalb gelegenen Pegels Wittenberge (Elbe-km 454,0). Der Rückgang nach der ersten Hochwasserwelle ist darauf zurückzuführen, dass die Havelpolder geflutet wurden.

Am nächsten unterhalb gelegenen Pegel Dömitz (Elbe-km 504,7) ist der Rückgang nach der ersten Hochwasserwelle deutlich geringer ausgeprägt und die zweite Hochwasserwelle hat bereits fast die Höhe der ersten erreicht.

Abflussverbessernde Maßnahmen an der Unteren Mittelelbe  
Anlage zum Rahmenplan

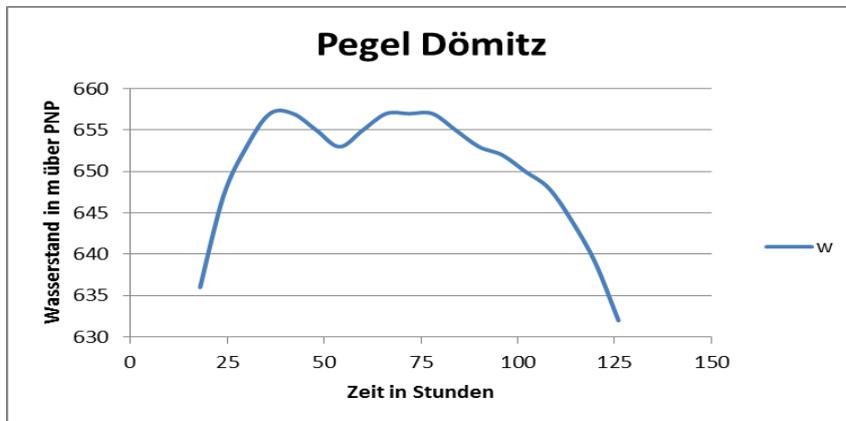


Abb. 1: Verlauf der Wasserstandsganglinien während des Sommerhochwassers 2002 am Pegel Dömitz

Diese Tendenz verstärkt sich am nächsten Pegel Neu Darchau (Elbe-km 536,4). Dort ist die erste Hochwasserwelle nur noch schwach zu erkennen und die zweite höher als die erste.

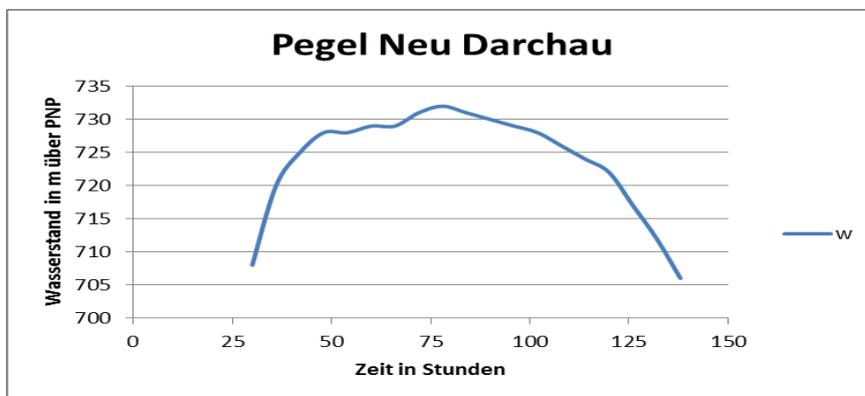


Abb. 1: Verlauf der Wasserstandsganglinien während des Sommerhochwassers 2002 am Pegel Neu Darchau

Es hat den Anschein als ob die erste Hochwasserwelle an den Pegeln Dömitz und Neu Darchau noch nicht abgelaufen ist, bevor die nächste kommt. Das wäre ein Indiz dafür, dass der Abfluss im Bereich der unteren Mittelelbe behindert ist.

**Abflussverbessernde Maßnahmen  
an der Unteren Mittelelbe  
Rahmenplan**

**Teil Niedersachsen**

## **Anlage 6**

**Erforderliche Größe eines  
Hochwasserpolders für verschiedene  
Hochwasserereignisse**

**Niedersächsischer Landesbetrieb für  
Wasserwirtschaft, Küstenschutz und  
Naturschutz**

**2014**

Abflussverbessernde Maßnahmen an der Unteren Mittellelbe  
Anlage zum Rahmenplan

Anlage 6

Erforderliche Größe eines Polders für verschiedene Hochwasserereignisse

Bezug : Pegel Dömitz

PNP 1042

1.) Frühjahrshochwasser Juni 2013

3 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Δ Q (m <sup>3</sup> /s)	T (s)	V (m <sup>3</sup> )
10.06.2013	06:00:00	713	4195			
		717	4236	0		
10.06.2013	12:00:00	718	4246	10	4320	21600
10.06.2013	18:00:00	720	4271	35	21600	486000
11.06.2013	00:00:00	721	4286	50	21600	918000
11.06.2013	06:00:00	720	4271	35	21600	918000
11.06.2013	12:00:00	720	4271	35	21600	756000
11.06.2013	18:00:00	720	4271	35	21600	756000
12.06.2013	00:00:00	720	4271	35	21600	756000
12.06.2013	06:00:00	717	4236	0	21600	378000
12.06.2013	12:00:00	713	4195			
Summe						4989600

5 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Δ Q (m <sup>3</sup> /s)	T (s)	V (m <sup>3</sup> )
10.06.2013	06:00:00	713	4195			
		715	4216	0		
10.06.2013	12:00:00	718	4246	30	12960	194400
10.06.2013	18:00:00	720	4271	55	21600	918000
11.06.2013	00:00:00	721	4286	70	21600	1350000
11.06.2013	06:00:00	720	4271	55	21600	1350000
11.06.2013	12:00:00	720	4271	55	21600	1188000
11.06.2013	18:00:00	720	4271	55	21600	1188000
12.06.2013	00:00:00	720	4271	55	21600	1188000
12.06.2013	06:00:00	717	4236	20	21600	810000
		715	4216	0	10800	108000
12.06.2013	12:00:00	713	4195			
Summe						8294400

Abflussverbessernde Maßnahmen an der Unteren Mittelelbe  
Anlage zum Rahmenplan

7 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m³/s)	Δ Q (m³/s)	T (s)	V (m³)
10.06.2013	00:00:00	706	4125			
10.06.2013	06:00:00	713	4195	0	21600	
10.06.2013	12:00:00	718	4246	51	21600	550800
10.06.2013	18:00:00	720	4271	76	21600	1371600
11.06.2013	00:00:00	721	4286	91	21600	1803600
11.06.2013	06:00:00	720	4271	76	21600	1803600
11.06.2013	12:00:00	720	4271	76	21600	1641600
11.06.2013	18:00:00	720	4271	76	21600	1641600
12.06.2013	00:00:00	720	4271	76	21600	1641600
12.06.2013	06:00:00	717	4236	41	21600	1263600
12.06.2013	12:00:00	713	4195	0	21600	442800
12.06.2013	18:00:00	708	4145			
Summe						12160800

10 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m³/s)	Δ Q (m³/s)	T (s)	V (m³)
10.06.2013	00:00:00	706	4125			
		710	4165	0		
10.06.2013	06:00:00	713	4195	30	9257	138857
10.06.2013	12:00:00	718	4246	81	21600	1198800
10.06.2013	18:00:00	720	4271	106	21600	2019600
11.06.2013	00:00:00	721	4286	121	21600	2451600
11.06.2013	06:00:00	720	4271	106	21600	2451600
11.06.2013	12:00:00	720	4271	106	21600	2289600
11.06.2013	18:00:00	720	4271	106	21600	2289600
12.06.2013	00:00:00	720	4271	106	21600	2289600
12.06.2013	06:00:00	717	4236	71	21600	1911600
12.06.2013	12:00:00	713	4195	30	21600	1090800
		710	4165	0	12960	194400
12.06.2013	18:00:00	708	4145			
Summe						18326057

Abflussverbessernde Maßnahmen an der Unteren Mittelelbe  
Anlage zum Rahmenplan

15 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m³/s)	Δ Q (m³/s)	T (s)	V (m³)
09.06.2013	18:00:00	693	3984			
		705	4115	0		
10.06.2013	00:00:00	706	4125	10	1662	8308
10.06.2013	06:00:00	713	4195	80	21600	972000
10.06.2013	12:00:00	718	4246	131	21600	2278800
10.06.2013	18:00:00	720	4271	156	21600	3099600
11.06.2013	00:00:00	721	4286	171	21600	3531600
11.06.2013	06:00:00	720	4271	156	21600	3531600
11.06.2013	12:00:00	720	4271	156	21600	3369600
11.06.2013	18:00:00	720	4271	156	21600	3369600
12.06.2013	00:00:00	720	4271	156	21600	3369600
12.06.2013	06:00:00	717	4236	121	21600	2991600
12.06.2013	12:00:00	713	4195	80	21600	2170800
12.06.2013	18:00:00	708	4145	30	21600	1188000
		705	4115	0	10800	162000
13.06.2013	00:00:00	702	4085			
13.06.2013	06:00:00	696	4014			
Summe						30043108

20 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m³/s)	Δ Q (m³/s)	T (s)	V (m³)
09.06.2013	12:00:00	675	3783			
		693	3984			
09.06.2013	18:00:00	700	4065	0		
10.06.2013	00:00:00	706	4125	60	6048	181440
10.06.2013	06:00:00	713	4195	130	21600	2052000
10.06.2013	12:00:00	718	4246	181	21600	3358800
10.06.2013	18:00:00	720	4271	206	21600	4179600
11.06.2013	00:00:00	721	4286	221	21600	4611600
11.06.2013	06:00:00	720	4271	206	21600	4611600
11.06.2013	12:00:00	720	4271	206	21600	4449600
11.06.2013	18:00:00	720	4271	206	21600	4449600
12.06.2013	00:00:00	720	4271	206	21600	4449600
12.06.2013	06:00:00	717	4236	171	21600	4071600
12.06.2013	12:00:00	713	4195	130	21600	3250800
12.06.2013	18:00:00	708	4145	80	21600	2268000
13.06.2013	00:00:00	702	4085	20	21600	1080000
13.06.2013	06:00:00	700	4065	0	21600	216000
13.06.2013	12:00:00	696	4014			0
13.06.2013	18:00:00	691	3964			0
14.06.2013	00:00:00	685	3893			
		681	3853			43230240

Abflussverbessernde Maßnahmen an der Unteren Mittelelbe  
 Anlage zum Rahmenplan

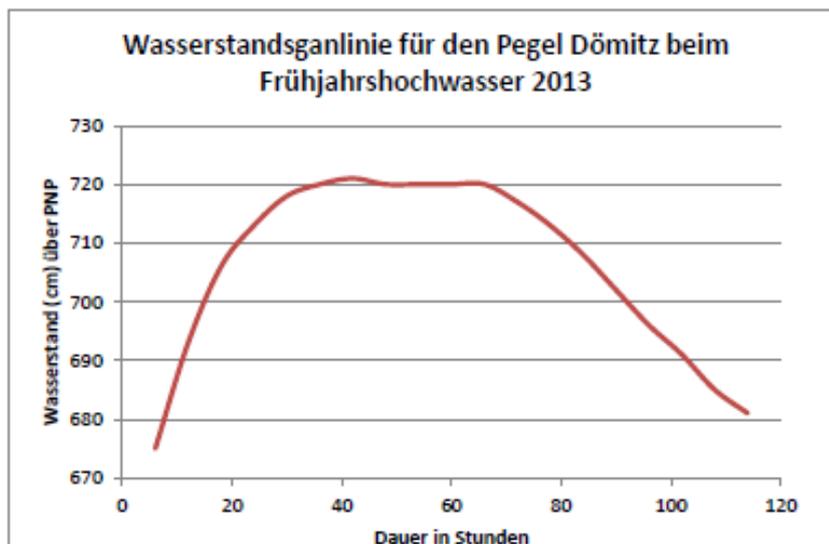
27 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m³/s)	Δ Q (m³/s)	T (s)	V (m³)
09.06.2013	12:00:00	675	3783			
09.06.2013	18:00:00	693	3984	0		
10.06.2013	00:00:00	706	4125	141	21600	1522800
10.06.2013	06:00:00	713	4195	211	21600	3801600
10.06.2013	12:00:00	718	4246	262	21600	5108400
10.06.2013	18:00:00	720	4271	287	21600	5929200
11.06.2013	00:00:00	721	4286	302	21600	6361200
11.06.2013	06:00:00	720	4271	287	21600	6361200
11.06.2013	12:00:00	720	4271	287	21600	6199200
11.06.2013	18:00:00	720	4271	287	21600	6199200
12.06.2013	00:00:00	720	4271	287	21600	6199200
12.06.2013	06:00:00	717	4236	252	21600	5821200
12.06.2013	12:00:00	713	4195	211	21600	5000400
12.06.2013	18:00:00	708	4145	161	21600	4017600
13.06.2013	00:00:00	702	4085	101	21600	2829600
13.06.2013	06:00:00	696	4014	30	21600	1414800
		693	3984	0	12960	194400
13.06.2013	12:00:00	691	3964			
13.06.2013	18:00:00	685	3893			
14.06.2013	00:00:00	681	3853			
						66960000

Abflussverbessernde Maßnahmen an der Unteren Mittellelbe  
 Anlage zum Rahmenplan

35 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m³/s)	Δ Q (m³/s)	T (s)	V (m³)
09.06.2013	12:00:00	675	3783			
		685	3893	0		
09.06.2013	18:00:00	693	3984	91	9779	444949
10.06.2013	00:00:00	706	4125	232	21600	3488400
10.06.2013	06:00:00	713	4195	302	21600	5767200
10.06.2013	12:00:00	718	4246	353	21600	7074000
10.06.2013	18:00:00	720	4271	378	21600	7894800
11.06.2013	00:00:00	721	4286	393	21600	8326800
11.06.2013	06:00:00	720	4271	378	21600	8326800
11.06.2013	12:00:00	720	4271	378	21600	8164800
11.06.2013	18:00:00	720	4271	378	21600	8164800
12.06.2013	00:00:00	720	4271	378	21600	8164800
12.06.2013	06:00:00	717	4236	343	21600	7786800
12.06.2013	12:00:00	713	4195	302	21600	6966000
12.06.2013	18:00:00	708	4145	252	21600	5983200
13.06.2013	00:00:00	702	4085	192	21600	4795200
13.06.2013	06:00:00	696	4014	121	21600	3380400
13.06.2013	12:00:00	691	3964	71	21600	2073600
13.06.2013	18:00:00	685	3893	0	21600	766800
14.06.2013	00:00:00	681	3853			
						97569349



Abflussverbessernde Maßnahmen an der Unteren Mittelelbe  
Anlage zum Rahmenplan

2.) Winterhochwasser Januar 2011

3 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Δ Q (m <sup>3</sup> /s)	T (s)	V (m <sup>3</sup> )
22.01.2011	06:00:00	668	3712			
		669	3722	0		
22.01.2011	12:00:00	670	3732	10	10800	54000
22.01.2011	18:00:00	671	3742	20	21600	324000
23.01.2011	00:00:00	672	3752	30	21600	540000
23.01.2011	06:00:00	671	3742	20	21600	540000
23.01.2011	12:00:00	669	3722	0	21600	216000
23.01.2011	18:00:00	667	3702			
Summe						1674000

5 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Δ Q (m <sup>3</sup> /s)	T (s)	V (m <sup>3</sup> )
22.01.2011	00:00:00	666	3692			
		667	3702	0		
22.01.2011	06:00:00	668	3712	10	10800	54000
22.01.2011	12:00:00	670	3732	30	21600	432000
22.01.2011	18:00:00	671	3742	40	21600	756000
23.01.2011	00:00:00	672	3752	50	21600	972000
23.01.2011	06:00:00	671	3742	40	21600	972000
23.01.2011	12:00:00	669	3722	20	21600	648000
23.01.2011	18:00:00	667	3702	0	21600	216000
24.01.2011	00:00:00	663	3662			
Summe						4050000

7 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Δ Q (m <sup>3</sup> /s)	T (s)	V (m <sup>3</sup> )
21.01.2011	18:00:00	661	3642			
		665	3682	0		
22.01.2011	00:00:00	666	3692	10	4320	21600
22.01.2011	06:00:00	668	3712	30	21600	432000
22.01.2011	12:00:00	670	3732	50	21600	864000
22.01.2011	18:00:00	671	3742	60	21600	1188000
23.01.2011	00:00:00	672	3752	70	21600	1404000
23.01.2011	06:00:00	671	3742	60	21600	1404000
23.01.2011	12:00:00	669	3722	40	21600	1080000
23.01.2011	18:00:00	667	3702	20	21600	648000
		665	3682	0	10800	108000
24.01.2011	00:00:00	663	3662			
Summe						7149600

Abflussverbessernde Maßnahmen an der Unteren Mittelalbe  
Anlage zum Rahmenplan

10 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m³/s)	Δ Q (m³/s)	T (s)	V (m³)
21.01.2011	18:00:00	661	3642			
		662	3652	0		
22.01.2011	00:00:00	666	3692	40	17280	345600
22.01.2011	06:00:00	668	3712	60	21600	1080000
22.01.2011	12:00:00	670	3732	80	21600	1512000
22.01.2011	18:00:00	671	3742	90	21600	1836000
23.01.2011	00:00:00	672	3752	100	21600	2052000
23.01.2011	06:00:00	671	3742	90	21600	2052000
23.01.2011	12:00:00	669	3722	70	21600	1728000
23.01.2011	18:00:00	667	3702	50	21600	1296000
24.01.2011	00:00:00	663	3662	10	21600	648000
		662	3652	0	5400	27000
24.01.2011	06:00:00	659	3621			
Summe						12576600

15 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m³/s)	Δ Q (m³/s)	T (s)	V (m³)
21.01.2011	06:00:00	652	3551			
21.01.2011	12:00:00	657	3601	0		
21.01.2011	18:00:00	661	3642	41	21600	442800
22.01.2011	00:00:00	666	3692	91	21600	1425600
22.01.2011	06:00:00	668	3712	111	21600	2181600
22.01.2011	12:00:00	670	3732	131	21600	2613600
22.01.2011	18:00:00	671	3742	141	21600	2937600
23.01.2011	00:00:00	672	3752	151	21600	3153600
23.01.2011	06:00:00	671	3742	141	21600	3153600
23.01.2011	12:00:00	669	3722	121	21600	2829600
23.01.2011	18:00:00	667	3702	101	21600	2397600
24.01.2011	00:00:00	663	3662	61	21600	1749600
24.01.2011	06:00:00	659	3621	20	21600	874800
		657	3601	0	10800	108000
24.01.2011	12:00:00	655	3581			
24.01.2011	18:00:00	648	3501			
Summe						23868000

Abflussverbessernde Maßnahmen an der Unteren Mittelelbe  
 Anlage zum Rahmenplan

20 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Δ Q (m <sup>3</sup> /s)	T (s)	V (m <sup>3</sup> )
20.01.2011	12:00:00	630	3329			
20.01.2011	18:00:00	638	3400			
21.01.2011	00:00:00	645	3470			
21.01.2011	06:00:00	652	3551	0		
21.01.2011	12:00:00	657	3601	50	21600	540000
21.01.2011	18:00:00	661	3642	91	21600	1522800
22.01.2011	00:00:00	666	3692	141	21600	2505600
22.01.2011	06:00:00	668	3712	161	21600	3261600
22.01.2011	12:00:00	670	3732	181	21600	3693600
22.01.2011	18:00:00	671	3742	191	21600	4017600
23.01.2011	00:00:00	672	3752	201	21600	4233600
23.01.2011	06:00:00	671	3742	191	21600	4233600
23.01.2011	12:00:00	669	3722	171	21600	3909600
23.01.2011	18:00:00	667	3702	151	21600	3477600
24.01.2011	00:00:00	663	3662	111	21600	2829600
24.01.2011	06:00:00	659	3621	70	21600	1954800
24.01.2011	12:00:00	655	3581	30	21600	1080000
		652	3551	0	9257	138857
24.01.2011	18:00:00	648	3501			
25.01.2011	00:00:00	643	3450			
25.01.2011	06:00:00	637	3390			
25.01.2011	12:00:00	631	3334			
						37398857

Abflussverbessernde Maßnahmen an der Unteren Mittelelbe  
 Anlage zum Rahmenplan

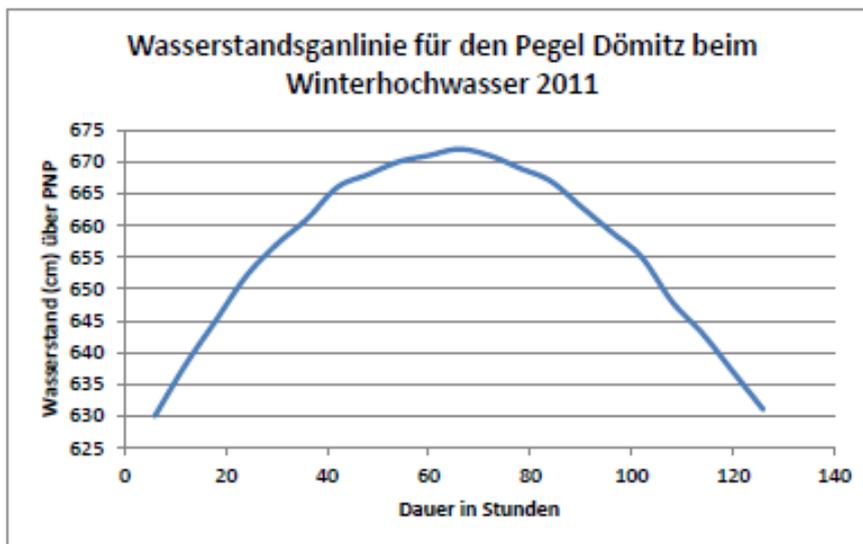
27 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m³/s)	Δ Q (m³/s)	T (s)	V (m³)
20.01.2011	12:00:00	630	3329			
20.01.2011	18:00:00	638	3400			
21.01.2011	00:00:00	645	3470	0		0
21.01.2011	06:00:00	652	3551	81	21600	874800
21.01.2011	12:00:00	657	3601	131	21600	2289600
21.01.2011	18:00:00	661	3642	172	21600	3272400
22.01.2011	00:00:00	666	3692	222	21600	4255200
22.01.2011	06:00:00	668	3712	242	21600	5011200
22.01.2011	12:00:00	670	3732	262	21600	5443200
22.01.2011	18:00:00	671	3742	272	21600	5767200
23.01.2011	00:00:00	672	3752	282	21600	5983200
23.01.2011	06:00:00	671	3742	272	21600	5983200
23.01.2011	12:00:00	669	3722	252	21600	5659200
23.01.2011	18:00:00	667	3702	232	21600	5227200
24.01.2011	00:00:00	663	3662	192	21600	4579200
24.01.2011	06:00:00	659	3621	151	21600	3704400
24.01.2011	12:00:00	655	3581	111	21600	2829600
24.01.2011	18:00:00	648	3501	31	21600	1533600
		645	3470	0	12960	200880
25.01.2011	00:00:00	643	3450			
25.01.2011	06:00:00	637	3390			
25.01.2011	12:00:00	631	3334			
						62614080

Abflussverbessernde Maßnahmen an der Unteren Mittelelbe  
Anlage zum Rahmenplan

35 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m³/s)	Δ Q (m³/s)	T (s)	V (m³)
20.01.2011	12:00:00	630	3329			
		637	3390	0		
20.01.2011	18:00:00	638	3400	10	2700	13500
21.01.2011	00:00:00	645	3470	80	21600	972000
21.01.2011	06:00:00	652	3551	161	21600	2602800
21.01.2011	12:00:00	657	3601	211	21600	4017600
21.01.2011	18:00:00	661	3642	252	21600	5000400
22.01.2011	00:00:00	666	3692	302	21600	5983200
22.01.2011	06:00:00	668	3712	322	21600	6739200
22.01.2011	12:00:00	670	3732	342	21600	7171200
22.01.2011	18:00:00	671	3742	352	21600	7495200
23.01.2011	00:00:00	672	3752	362	21600	7711200
23.01.2011	06:00:00	671	3742	352	21600	7711200
23.01.2011	12:00:00	669	3722	332	21600	7387200
23.01.2011	18:00:00	667	3702	312	21600	6955200
24.01.2011	00:00:00	663	3662	272	21600	6307200
24.01.2011	06:00:00	659	3621	231	21600	5432400
24.01.2011	12:00:00	655	3581	191	21600	4557600
24.01.2011	18:00:00	648	3501	111	21600	3261600
25.01.2011	00:00:00	643	3450	60	21600	1846800
25.01.2011	06:00:00	637	3390	0	21600	648000
25.01.2011	12:00:00	631	3334			
						91813500



Abflussverbessernde Maßnahmen an der Unteren Mittelalbe  
Anlage zum Rahmenplan

3.) Frühjahrshochwasser April 2006

3 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m³/s)	Δ Q (m³/s)	T (s)	V (m³)
08.04.2006	00:00:00	659	3632			
08.04.2006	06:00:00	661	3652	0		
08.04.2006	12:00:00	663	3672	20	21600	216000
08.04.2006	18:00:00	664	3682	30	21600	540000
09.04.2006	00:00:00	664	3682	30	21600	648000
09.04.2006	06:00:00	664	3682	30	21600	648000
09.04.2006	12:00:00	664	3682	30	21600	648000
09.04.2006	18:00:00	663	3672	20	21600	540000
10.04.2006	00:00:00	661	3652	0	21600	216000
10.04.2006	06:00:00	659	3632			
Summe						3456000

5 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m³/s)	Δ Q (m³/s)	T (s)	V (m³)
07.04.2006	18:00:00	656	3591			
08.04.2006	00:00:00	659	3621	0		
08.04.2006	06:00:00	661	3642	21	21600	226800
08.04.2006	12:00:00	663	3662	41	21600	669600
08.04.2006	18:00:00	664	3672	51	21600	993600
09.04.2006	00:00:00	664	3672	51	21600	1101600
09.04.2006	06:00:00	664	3672	51	21600	1101600
09.04.2006	12:00:00	664	3672	51	21600	1101600
09.04.2006	18:00:00	663	3662	41	21600	993600
10.04.2006	00:00:00	661	3642	21	21600	669600
10.04.2006	06:00:00	659	3621	0	21600	226800
10.04.2006	12:00:00	656	3591			
Summe						7084800

Abflussverbessernde Maßnahmen an der Unteren Mittelalbe  
 Anlage zum Rahmenplan

7 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m³/s)	Δ Q (m³/s)	T (s)	V (m³)
07.04.2006	18:00:00	656	3591			
		657	3601	0		
08.04.2006	00:00:00	659	3621	20	14400	144000
08.04.2006	06:00:00	661	3642	41	21600	658800
08.04.2006	12:00:00	663	3662	61	21600	1101600
08.04.2006	18:00:00	664	3672	71	21600	1425600
09.04.2006	00:00:00	664	3672	71	21600	1533600
09.04.2006	06:00:00	664	3672	71	21600	1533600
09.04.2006	12:00:00	664	3672	71	21600	1533600
09.04.2006	18:00:00	663	3662	61	21600	1425600
10.04.2006	00:00:00	661	3642	41	21600	1101600
10.04.2006	06:00:00	659	3621	20	21600	658800
		657	3601	0	14400	144000
10.04.2006	12:00:00	656	3591			
Summe						11260800

10 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m³/s)	Δ Q (m³/s)	T (s)	V (m³)
07.04.2006	12:00:00	653	3561			
		654	3571	0		
07.04.2006	18:00:00	656	3591	20	14400	144000
08.04.2006	00:00:00	659	3621	50	21600	756000
08.04.2006	06:00:00	661	3642	71	21600	1306800
08.04.2006	12:00:00	663	3662	91	21600	1749600
08.04.2006	18:00:00	664	3672	101	21600	2073600
09.04.2006	00:00:00	664	3672	101	21600	2181600
09.04.2006	06:00:00	664	3672	101	21600	2181600
09.04.2006	12:00:00	664	3672	101	21600	2181600
09.04.2006	18:00:00	663	3662	91	21600	2073600
10.04.2006	00:00:00	661	3642	71	21600	1749600
10.04.2006	06:00:00	659	3621	50	21600	1306800
10.04.2006	12:00:00	656	3591	20	21600	756000
		654	3571	0	14400	144000
10.04.2006	18:00:00	653	3561			
Summe						18604800

Abflussverbessernde Maßnahmen an der Unteren Mittelelbe  
 Anlage zum Rahmenplan

15 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Δ Q (m <sup>3</sup> /s)	T (s)	V (m <sup>3</sup> )
07.04.2006	00:00:00	644	3460			
07.04.2006	06:00:00	649	3511	0		
07.04.2006	12:00:00	653	3561	50	21600	540000
07.04.2006	18:00:00	656	3591	80	21600	1404000
08.04.2006	00:00:00	659	3621	110	21600	2052000
08.04.2006	06:00:00	661	3642	131	21600	2602800
08.04.2006	12:00:00	663	3662	151	21600	3045600
08.04.2006	18:00:00	664	3672	161	21600	3369600
09.04.2006	00:00:00	664	3672	161	21600	3477600
09.04.2006	06:00:00	664	3672	161	21600	3477600
09.04.2006	12:00:00	664	3672	161	21600	3477600
09.04.2006	18:00:00	663	3662	151	21600	3369600
10.04.2006	00:00:00	661	3642	131	21600	3045600
10.04.2006	06:00:00	659	3621	110	21600	2602800
10.04.2006	12:00:00	656	3591	80	21600	2052000
10.04.2006	18:00:00	653	3561	50	21600	1404000
11.04.2006	00:00:00	650	3521	10	21600	648000
		649	3511	0	5400	27000
11.04.2006	06:00:00	646	3481			
11.04.2006	12:00:00	641	3430			
Summe						36595800

Abflussverbessernde Maßnahmen an der Unteren Mittelelbe  
 Anlage zum Rahmenplan

20 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Δ Q (m <sup>3</sup> /s)	T (s)	V (m <sup>3</sup> )
06.04.2006	06:00:00	625	3279			
06.04.2006	12:00:00	632	3340			
06.04.2006	18:00:00	638	3400			
07.04.2006	00:00:00	644	3460	0		
07.04.2006	06:00:00	649	3511	51	21600	550800
07.04.2006	12:00:00	653	3561	101	21600	1641600
07.04.2006	18:00:00	656	3591	131	21600	2505600
08.04.2006	00:00:00	659	3621	161	21600	3153600
08.04.2006	06:00:00	661	3642	182	21600	3704400
08.04.2006	12:00:00	663	3662	202	21600	4147200
08.04.2006	18:00:00	664	3672	212	21600	4471200
09.04.2006	00:00:00	664	3672	212	21600	4579200
09.04.2006	06:00:00	664	3672	212	21600	4579200
09.04.2006	12:00:00	664	3672	212	21600	4579200
09.04.2006	18:00:00	663	3662	202	21600	4471200
10.04.2006	00:00:00	661	3642	182	21600	4147200
10.04.2006	06:00:00	659	3621	161	21600	3704400
10.04.2006	12:00:00	656	3591	131	21600	3153600
10.04.2006	18:00:00	653	3561	101	21600	2505600
11.04.2006	00:00:00	650	3521	61	21600	1749600
11.04.2006	06:00:00	646	3481	21	21600	885600
		644	3460	0	8640	90720
11.04.2006	12:00:00	641	3430			
11.04.2006	18:00:00	635	3370			
12.04.2006	00:00:00	631	3335			
		629	3319			
12.04.2006	06:00:00	627	3299			
						54619920

Abflussverbessernde Maßnahmen an der Unteren Mittelelbe  
 Anlage zum Rahmenplan

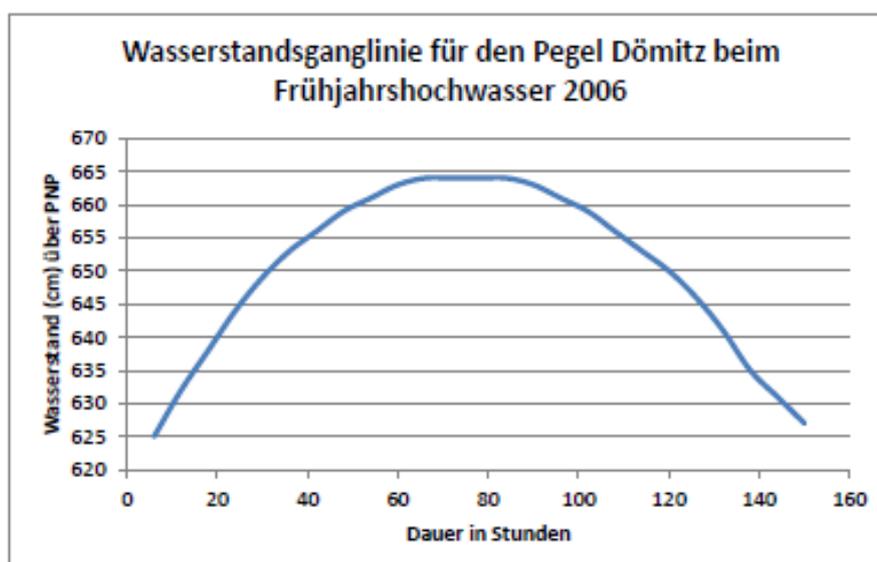
27 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m³/s)	Δ Q (m³/s)	T (s)	V (m³)
06.04.2006	06:00:00	625	3279			
06.04.2006	12:00:00	632	3340			
		637	3390	0		
06.04.2006	18:00:00	638	3400	10	3600	18000
07.04.2006	00:00:00	644	3460	70	21600	864000
07.04.2006	06:00:00	649	3511	121	21600	2062800
07.04.2006	12:00:00	653	3561	171	21600	3153600
07.04.2006	18:00:00	656	3591	201	21600	4017600
08.04.2006	00:00:00	659	3621	231	21600	4665600
08.04.2006	06:00:00	661	3642	252	21600	5216400
08.04.2006	12:00:00	663	3662	272	21600	5659200
08.04.2006	18:00:00	664	3672	282	21600	5983200
09.04.2006	00:00:00	664	3672	282	21600	6091200
09.04.2006	06:00:00	664	3672	282	21600	6091200
09.04.2006	12:00:00	664	3672	282	21600	6091200
09.04.2006	18:00:00	663	3662	272	21600	5983200
10.04.2006	00:00:00	661	3642	252	21600	5659200
10.04.2006	06:00:00	659	3621	231	21600	5216400
10.04.2006	12:00:00	656	3591	201	21600	4665600
10.04.2006	18:00:00	653	3561	171	21600	4017600
11.04.2006	00:00:00	650	3521	131	21600	3261600
11.04.2006	06:00:00	646	3481	91	21600	2397600
11.04.2006	12:00:00	641	3430	40	21600	1414800
		637	3390	0	14400	288000
11.04.2006	18:00:00	635	3370			
12.04.2006	00:00:00	631	3335			
		629	3319			
12.04.2006	06:00:00	627	3299			
						82818000

Abflussverbessernde Maßnahmen an der Unteren Mittelelbe  
Anlage zum Rahmenplan

35 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m³/s)	Δ Q (m³/s)	T (s)	V (m³)
06.04.2006	06:00:00	625	3279			
		629	3319	0		
06.04.2006	12:00:00	632	3340	21	9257	97200
06.04.2006	18:00:00	638	3400	81	21600	1101600
07.04.2006	00:00:00	644	3460	141	21600	2397600
07.04.2006	06:00:00	649	3511	192	21600	3596400
07.04.2006	12:00:00	653	3561	242	21600	4687200
07.04.2006	18:00:00	656	3591	272	21600	5551200
08.04.2006	00:00:00	659	3621	302	21600	6199200
08.04.2006	06:00:00	661	3642	323	21600	6750000
08.04.2006	12:00:00	663	3662	343	21600	7192800
08.04.2006	18:00:00	664	3672	353	21600	7516800
09.04.2006	00:00:00	664	3672	353	21600	7624800
09.04.2006	06:00:00	664	3672	353	21600	7624800
09.04.2006	12:00:00		3672	353	21600	7624800
09.04.2006	18:00:00	663	3662	343	21600	7516800
10.04.2006	00:00:00	661	3642	323	21600	7192800
10.04.2006	06:00:00	659	3621	302	21600	6750000
10.04.2006	12:00:00	656	3591	272	21600	6199200
10.04.2006	18:00:00	653	3561	242	21600	5551200
11.04.2006	00:00:00	650	3521	202	21600	4795200
11.04.2006	06:00:00	646	3481	162	21600	3931200
11.04.2006	12:00:00	641	3430	111	21600	2948400
11.04.2006	18:00:00	635	3370	51	21600	1749600
12.04.2006	00:00:00	631	3335	16	21600	723600
		629	3319	0	10800	86400
12.04.2006	06:00:00	627	3299			
						115408800



Abflussverbessernde Maßnahmen an der Unteren Mittelelbe  
Anlage zum Rahmenplan

4.) Eishochwasser Januar 2003

3 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m³/s)	Δ Q (m³/s)	T (s)	V (m³)
12.01.2003	00:00:00	611	3138			
12.01.2003	06:00:00	613	3158	0		
12.01.2003	12:00:00	614	3168	10	21600	108000
12.01.2003	18:00:00	615	3178	20	21600	324000
13.01.2003	00:00:00	616	3188	30	21600	540000
13.01.2003	06:00:00	616	3188	30	21600	648000
13.01.2003	12:00:00	616	3188	30	21600	648000
13.01.2003	18:00:00	614	3168	10	21600	432000
14.01.2003	00:00:00	613	3158	0	21600	108000
14.01.2003	06:00:00	612	3148			
Summe						2808000

5 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m³/s)	Δ Q (m³/s)	T (s)	V (m³)
11.01.2003	18:00:00	609	3118			
12.01.2003	00:00:00	611	3138	0		
12.01.2003	06:00:00	613	3158	20	21600	216000
12.01.2003	12:00:00	614	3168	30	21600	540000
12.01.2003	18:00:00	615	3178	40	21600	756000
13.01.2003	00:00:00	616	3188	50	21600	972000
13.01.2003	06:00:00	616	3188	50	21600	1080000
13.01.2003	12:00:00	616	3188	50	21600	1080000
13.01.2003	18:00:00	614	3168	30	21600	864000
14.01.2003	00:00:00	613	3158	20	21600	540000
14.01.2003	06:00:00	612	3148	10	21600	324000
		611	3138	0	10800	54000
14.01.2003	12:00:00	610	3128			
14.01.2003	18:00:00	610	3128			
Summe						6426000

Abflussverbessernde Maßnahmen an der Unteren Mittelelbe  
Anlage zum Rahmenplan

7 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Δ Q (m <sup>3</sup> /s)	T (s)	V (m <sup>3</sup> )
11.01.2003	12:00:00	606	3098			
11.01.2003	18:00:00	609	3118	0		
12.01.2003	00:00:00	611	3138	20	21600	216000
12.01.2003	06:00:00	613	3158	40	21600	648000
12.01.2003	12:00:00	614	3168	50	21600	972000
12.01.2003	18:00:00	615	3178	60	21600	1188000
13.01.2003	00:00:00	616	3188	70	21600	1404000
13.01.2003	06:00:00	616	3188	70	21600	1512000
13.01.2003	12:00:00	616	3188	70	21600	1512000
13.01.2003	18:00:00	614	3168	50	21600	1296000
14.01.2003	00:00:00	613	3158	40	21600	972000
14.01.2003	06:00:00	612	3148	30	21600	756000
14.01.2003	12:00:00	610	3128	10	21600	432000
14.01.2003	18:00:00	610	3128	10	21600	216000
15.01.2003	00:00:00	609	3118	0	21600	108000
15.01.2003	06:00:00	609	3118	0	21600	0
15.01.2003	12:00:00	605	3088			
Summe						11232000

10 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Δ Q (m <sup>3</sup> /s)	T (s)	V (m <sup>3</sup> )
11.01.2003	06:00:00	602	3058			
11.01.2003	12:00:00	606	3098	0		
11.01.2003	18:00:00	609	3118	20	21600	216000
12.01.2003	00:00:00	611	3138	40	21600	648000
12.01.2003	06:00:00	613	3158	60	21600	1080000
12.01.2003	12:00:00	614	3168	70	21600	1404000
12.01.2003	18:00:00	615	3178	80	21600	1620000
13.01.2003	00:00:00	616	3188	90	21600	1836000
13.01.2003	06:00:00	616	3188	90	21600	1944000
13.01.2003	12:00:00	616	3188	90	21600	1944000
13.01.2003	18:00:00	614	3168	70	21600	1728000
14.01.2003	00:00:00	613	3158	60	21600	1404000
14.01.2003	06:00:00	612	3148	50	21600	1188000
14.01.2003	12:00:00	610	3128	30	21600	864000
14.01.2003	18:00:00	610	3128	30	21600	648000
15.01.2003	00:00:00	609	3118	20	21600	540000
15.01.2003	06:00:00	609	3118	20	21600	432000
		606	3098	0	16200	162000
15.01.2003	12:00:00	605	3088			
Summe						17658000

Abflussverbessernde Maßnahmen an der Unteren Mittelelbe  
 Anlage zum Rahmenplan

15 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m³/s)	Δ Q (m³/s)	T (s)	V (m³)
10.01.2003	18:00:00	592	2957			
11.01.2003	00:00:00	597	3007			
		601	3048	0		
11.01.2003	06:00:00	602	3058	10	4320	21600
11.01.2003	12:00:00	606	3098	50	21600	648000
11.01.2003	18:00:00	609	3118	70	21600	1296000
12.01.2003	00:00:00	611	3138	90	21600	1728000
12.01.2003	06:00:00	613	3158	110	21600	2160000
12.01.2003	12:00:00	614	3168	120	21600	2484000
12.01.2003	18:00:00	615	3178	130	21600	2700000
13.01.2003	00:00:00	616	3188	140	21600	2916000
13.01.2003	06:00:00	616	3188	140	21600	3024000
13.01.2003	12:00:00	616	3188	140	21600	3024000
13.01.2003	18:00:00	614	3168	120	21600	2808000
14.01.2003	00:00:00	613	3158	110	21600	2484000
14.01.2003	06:00:00	612	3148	100	21600	2268000
14.01.2003	12:00:00	610	3128	80	21600	1944000
14.01.2003	18:00:00	610	3128	80	21600	1728000
15.01.2003	00:00:00	609	3118	70	21600	1620000
15.01.2003	06:00:00	609	3118	70	21600	1512000
15.01.2003	12:00:00	605	3088	40	21600	1188000
15.01.2003	18:00:00	601	3048	0	21600	432000
16.01.2003	00:00:00	595	2987			
Summe						35985600

Abflussverbessernde Maßnahmen an der Unteren Mittelelbe  
Anlage zum Rahmenplan

20 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Δ Q (m <sup>3</sup> /s)	T (s)	V (m <sup>3</sup> )
10.01.2003	00:00:00	577	2815			
10.01.2003	06:00:00	583	2866			
10.01.2003	12:00:00	588	2917			
10.01.2003	18:00:00	592	2957			
		596	2997	0		
11.01.2003	00:00:00	597	3007	10	4320	21600
11.01.2003	06:00:00	602	3058	61	21600	766800
11.01.2003	12:00:00	606	3098	101	21600	1749600
11.01.2003	18:00:00	609	3118	121	21600	2397600
12.01.2003	00:00:00	611	3138	141	21600	2829600
12.01.2003	06:00:00	613	3158	161	21600	3261600
12.01.2003	12:00:00	614	3168	171	21600	3585600
12.01.2003	18:00:00	615	3178	181	21600	3801600
13.01.2003	00:00:00	616	3188	191	21600	4017600
13.01.2003	06:00:00	616	3188	191	21600	4125600
13.01.2003	12:00:00	616	3188	191	21600	4125600
13.01.2003	18:00:00	614	3168	171	21600	3909600
14.01.2003	00:00:00	613	3158	161	21600	3585600
14.01.2003	06:00:00	612	3148	151	21600	3369600
14.01.2003	12:00:00	610	3128	131	21600	3045600
14.01.2003	18:00:00	610	3128	131	21600	2829600
15.01.2003	00:00:00	609	3118	121	21600	2721600
15.01.2003	06:00:00	609	3118	121	21600	2613600
15.01.2003	12:00:00	605	3088	91	21600	2289600
15.01.2003	18:00:00	601	3048	51	21600	1533600
		596	2997	0	18000	459000
16.01.2003	00:00:00	595	2987			
16.01.2003	06:00:00	590	2937			
16.01.2003	12:00:00	585	2886			
16.01.2003	18:00:00	582	2856			
17.01.2003	00:00:00	579	2836			
						57040200

Abflussverbessernde Maßnahmen an der Unteren Mittelelbe  
Anlage zum Rahmenplan

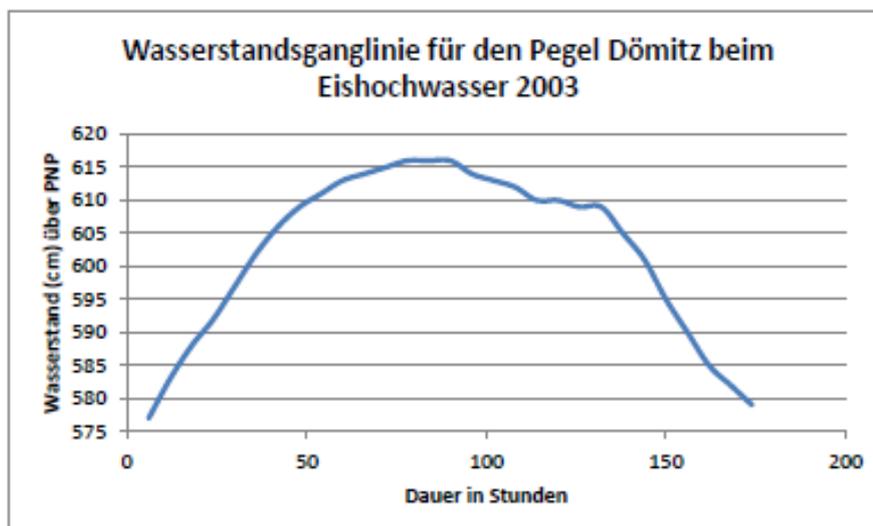
27 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m³/s)	Δ Q (m³/s)	T (s)	V (m³)
10.01.2003	00:00:00	577	2815			
10.01.2003	06:00:00	583	2866			
10.01.2003	12:00:00	588	2917			
		589	2927	0		
10.01.2003	18:00:00	592	2957	30	16200	243000
11.01.2003	00:00:00	597	3007	80	21600	1188000
11.01.2003	06:00:00	602	3058	131	21600	2278800
11.01.2003	12:00:00	606	3098	171	21600	3261600
11.01.2003	18:00:00	609	3118	191	21600	3909600
12.01.2003	00:00:00	611	3138	211	21600	4341600
12.01.2003	06:00:00	613	3158	231	21600	4773600
12.01.2003	12:00:00	614	3168	241	21600	5097600
12.01.2003	18:00:00	615	3178	251	21600	5313600
13.01.2003	00:00:00	616	3188	261	21600	5529600
13.01.2003	06:00:00	616	3188	261	21600	5637600
13.01.2003	12:00:00	616	3188	261	21600	5637600
13.01.2003	18:00:00	614	3168	241	21600	5421600
14.01.2003	00:00:00	613	3158	231	21600	5097600
14.01.2003	06:00:00	612	3148	221	21600	4881600
14.01.2003	12:00:00	610	3128	201	21600	4557600
14.01.2003	18:00:00	610	3128	201	21600	4341600
15.01.2003	00:00:00	609	3118	191	21600	4233600
15.01.2003	06:00:00	609	3118	191	21600	4125600
15.01.2003	12:00:00	605	3088	161	21600	3801600
15.01.2003	18:00:00	601	3048	121	21600	3045600
16.01.2003	00:00:00	595	2987	60	21600	1954800
16.01.2003	06:00:00	590	2937	10	21600	151200
		589	2927	0	4320	0
16.01.2003	12:00:00	585	2886			
16.01.2003	18:00:00	582	2856			
17.01.2003	00:00:00	579	2836			
						88824600

Abflussverbessernde Maßnahmen an der Unteren Mittelelbe  
Anlage zum Rahmenplan

35 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m³/s)	Δ Q (m³/s)	T (s)	V (m³)
10.01.2003	00:00:00	577	2815			
		581	2851	0		
10.01.2003	06:00:00	583	2866	15	7200	54000
10.01.2003	12:00:00	588	2917	66	21600	874800
10.01.2003	18:00:00	592	2957	106	21600	1857600
11.01.2003	00:00:00	597	3007	156	21600	2829600
11.01.2003	06:00:00	602	3058	207	21600	3920400
11.01.2003	12:00:00	606	3098	247	21600	4903200
11.01.2003	18:00:00	609	3118	267	21600	5551200
12.01.2003	00:00:00	611	3138	287	21600	5983200
12.01.2003	06:00:00	613	3158	307	21600	6415200
12.01.2003	12:00:00	614	3168	317	21600	6739200
12.01.2003	18:00:00	615	3178	327	21600	6955200
13.01.2003	00:00:00	616	3188	337	21600	7171200
13.01.2003	06:00:00	616	3188	337	21600	7279200
13.01.2003	12:00:00	616	3188	337	21600	7279200
13.01.2003	18:00:00	614	3168	317	21600	7063200
14.01.2003	00:00:00	613	3158	307	21600	6739200
14.01.2003	06:00:00	612	3148	297	21600	6523200
14.01.2003	12:00:00	610	3128	277	21600	6199200
14.01.2003	18:00:00	610	3128	277	21600	5983200
15.01.2003	00:00:00	609	3118	267	21600	5875200
15.01.2003	06:00:00	609	3118	267	21600	5767200
15.01.2003	12:00:00	605	3088	237	21600	5443200
15.01.2003	18:00:00	601	3048	197	21600	4687200
16.01.2003	00:00:00	595	2987	136	21600	3596400
16.01.2003	06:00:00	590	2937	86	21600	2397600
16.01.2003	12:00:00	585	2886	35	21600	1306800
16.01.2003	18:00:00	582	2856	5	21600	432000
		581	2851	0	7200	18000
17.01.2003	00:00:00	579	2836			
						129844800



Abflussverbessernde Maßnahmen an der Unteren Mittelelbe  
Anlage zum Rahmenplan

5. ) Sommerhochwasser August 2002

3 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m³/s)	Δ Q (m³/s)	T (s)	V (m³)
21.08.2002	12:00:00	653	3561			
		654	3571	0		
21.08.2002	18:00:00	657	3601	30	16200	243000
22.08.2002	00:00:00	657	3601	30	21600	648000
22.08.2002	06:00:00	655	3581	10	21600	432000
		654	3571	0	10800	54000
22.08.2002	12:00:00	653	3561			
		654	3571	0		
22.08.2002	18:00:00	655	3581	10	10800	54000
23.08.2002	00:00:00	657	3601	30	21600	432000
23.08.2002	06:00:00	657	3601	30	21600	648000
23.08.2002	12:00:00	657	3601	30	21600	648000
23.08.2002	18:00:00	655	3581	10	21600	432000
		654	3571	0	10800	54000
24.08.2002	00:00:00	653	3561			
Summe						3645000

5 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m³/s)	Δ Q (m³/s)	T (s)	V (m³)
21.08.2002	06:00:00	647	3491			
		652	3551	0		
21.08.2002	12:00:00	653	3561	10	3600	18000
21.08.2002	18:00:00	657	3601	50	21600	648000
22.08.2002	00:00:00	657	3601	50	21600	1080000
22.08.2002	06:00:00	655	3581	30	21600	864000
22.08.2002	12:00:00	653	3561	10	21600	432000
22.08.2002	18:00:00	655	3581	30	21600	432000
23.08.2002	00:00:00	657	3601	50	21600	864000
23.08.2002	06:00:00	657	3601	50	21600	1080000
23.08.2002	12:00:00	657	3601	50	21600	1080000
23.08.2002	18:00:00	655	3581	30	21600	864000
24.08.2002	00:00:00	653	3561	10	21600	432000
24.08.2002	06:00:00	652	3551	0	21600	108000
24.08.2002	12:00:00	650	3521			
Summe						7902000

Abflussverbessernde Maßnahmen an der Unteren Mittelelbe  
Anlage zum Rahmenplan

7 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m³/s)	Δ Q (m³/s)	T (s)	V (m³)
21.08.2002	06:00:00	647	3491			
		650	3531	0		
21.08.2002	12:00:00	653	3561	30	10800	162000
21.08.2002	18:00:00	657	3601	70	21600	1080000
22.08.2002	00:00:00	657	3601	70	21600	1512000
22.08.2002	06:00:00	655	3581	50	21600	1296000
22.08.2002	12:00:00	653	3561	30	21600	864000
22.08.2002	18:00:00	655	3581	50	21600	864000
23.08.2002	00:00:00	657	3601	70	21600	1296000
23.08.2002	06:00:00	657	3601	70	21600	1512000
23.08.2002	12:00:00	657	3601	70	21600	1512000
23.08.2002	18:00:00	655	3581	50	21600	1296000
24.08.2002	00:00:00	653	3561	30	21600	864000
24.08.2002	06:00:00	652	3551	20	21600	540000
24.08.2002	12:00:00	650	3531	0	21600	216000
24.08.2002	18:00:00	648	3501			
Summe						13014000

10 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m³/s)	Δ Q (m³/s)	T (s)	V (m³)
21.08.2002	00:00:00	636	3380			
21.08.2002	06:00:00	647	3491	0		
21.08.2002	12:00:00	653	3561	70	21600	756000
21.08.2002	18:00:00	657	3601	110	21600	1944000
22.08.2002	00:00:00	657	3601	110	21600	2376000
22.08.2002	06:00:00	655	3581	90	21600	2160000
22.08.2002	12:00:00	653	3561	70	21600	1728000
22.08.2002	18:00:00	655	3581	90	21600	1728000
23.08.2002	00:00:00	657	3601	110	21600	2160000
23.08.2002	06:00:00	657	3601	110	21600	2376000
23.08.2002	12:00:00	657	3601	110	21600	2376000
23.08.2002	18:00:00	655	3581	90	21600	2160000
24.08.2002	00:00:00	653	3561	70	21600	1728000
24.08.2002	06:00:00	652	3551	60	21600	1404000
24.08.2002	12:00:00	650	3521	30	21600	972000
24.08.2002	18:00:00	648	3501	10	21600	432000
		647	3491	0	5400	27000
25.08.2002	00:00:00	644	3460			
Summe						24327000

Abflussverbessernde Maßnahmen an der Unteren Mittelelbe  
 Anlage zum Rahmenplan

15 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m³/s)	Δ Q (m³/s)	T (s)	V (m³)
21.08.2002	00:00:00	636	3380			
		642	3440	0		
21.08.2002	06:00:00	647	3491	51	9818	250364
21.08.2002	12:00:00	653	3561	121	21600	1857600
21.08.2002	18:00:00	657	3601	161	21600	3045600
22.08.2002	00:00:00	657	3601	161	21600	3477600
22.08.2002	06:00:00	655	3581	141	21600	3261600
22.08.2002	12:00:00	653	3561	121	21600	2829600
22.08.2002	18:00:00	655	3581	141	21600	2829600
23.08.2002	00:00:00	657	3601	161	21600	3261600
23.08.2002	06:00:00	657	3601	161	21600	3477600
23.08.2002	12:00:00	657	3601	161	21600	3477600
23.08.2002	18:00:00	655	3581	141	21600	3261600
24.08.2002	00:00:00	653	3561	121	21600	2829600
24.08.2002	06:00:00	652	3551	111	21600	2505600
24.08.2002	12:00:00	650	3521	81	21600	2073600
24.08.2002	18:00:00	648	3501	61	21600	1533600
25.08.2002	00:00:00	644	3460	20	21600	874800
		642	3440	0	8640	86400
25.08.2002	06:00:00	639	3410			
25.08.2002	12:00:00	632	3340			
Summe						40933964

Abflussverbessernde Maßnahmen an der Unteren Mittellelbe  
 Anlage zum Rahmenplan

20 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m³/s)	Δ Q (m³/s)	T (s)	V (m³)
20.08.2002	18:00:00	620	3229			
21.08.2002	00:00:00	636	3380			
		637	3390	0		
21.08.2002	06:00:00	647	3491	101	19636	991636
21.08.2002	12:00:00	653	3561	171	21600	2937600
21.08.2002	18:00:00	657	3601	211	21600	4125600
22.08.2002	00:00:00	657	3601	211	21600	4557600
22.08.2002	06:00:00	655	3581	191	21600	4341600
22.08.2002	12:00:00	653	3561	171	21600	3909600
22.08.2002	18:00:00	655	3581	191	21600	3909600
23.08.2002	00:00:00	657	3601	211	21600	4341600
23.08.2002	06:00:00	657	3601	211	21600	4557600
23.08.2002	12:00:00	657	3601	211	21600	4557600
23.08.2002	18:00:00	655	3581	191	21600	4341600
24.08.2002	00:00:00	653	3561	171	21600	3909600
24.08.2002	06:00:00	652	3551	161	21600	3585600
24.08.2002	12:00:00	650	3521	131	21600	3153600
24.08.2002	18:00:00	648	3501	111	21600	2613600
25.08.2002	00:00:00	644	3460	70	21600	1954800
25.08.2002	06:00:00	639	3410	20	21600	972000
		637	3390	0	6171	61714
25.08.2002	12:00:00	632	3340			
25.08.2002	18:00:00	624	3269			
26.08.2002	00:00:00	617	3199			
						58822551

Abflussverbessernde Maßnahmen an der Unteren Mittelelbe  
 Anlage zum Rahmenplan

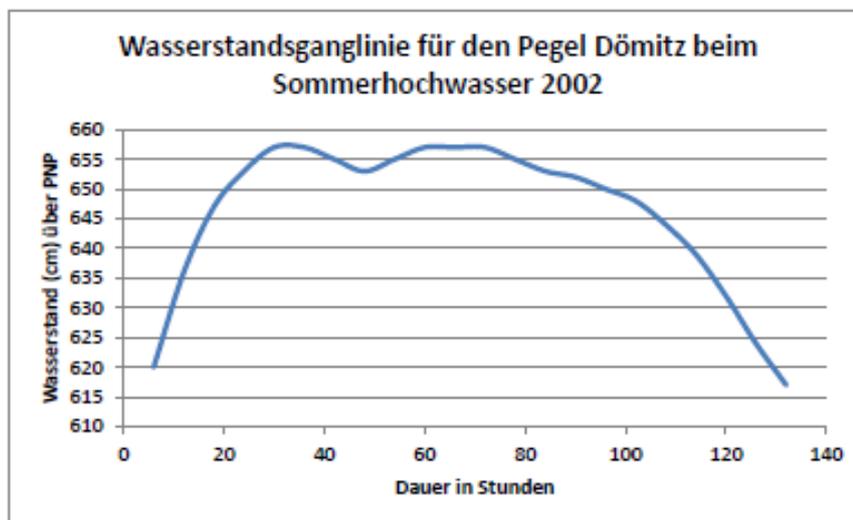
27 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m³/s)	Δ Q (m³/s)	T (s)	V (m³)
20.08.2002	18:00:00	620	3229			
		630	3329	0		
21.08.2002	00:00:00	636	3380	51	8100	206550
21.08.2002	06:00:00	647	3491	162	21600	2300400
21.08.2002	12:00:00	653	3561	232	21600	4255200
21.08.2002	18:00:00	657	3601	272	21600	5443200
22.08.2002	00:00:00	657	3601	272	21600	5875200
22.08.2002	06:00:00	655	3581	252	21600	5659200
22.08.2002	12:00:00	653	3561	232	21600	5227200
22.08.2002	18:00:00	655	3581	252	21600	5227200
23.08.2002	00:00:00	657	3601	272	21600	5659200
23.08.2002	06:00:00	657	3601	272	21600	5875200
23.08.2002	12:00:00	657	3601	272	21600	5875200
23.08.2002	18:00:00	655	3581	252	21600	5659200
24.08.2002	00:00:00	653	3561	232	21600	5227200
24.08.2002	06:00:00	652	3551	222	21600	4903200
24.08.2002	12:00:00	650	3521	192	21600	4471200
24.08.2002	18:00:00	648	3501	172	21600	3931200
25.08.2002	00:00:00	644	3460	131	21600	3272400
25.08.2002	06:00:00	639	3410	81	21600	2289600
25.08.2002	12:00:00	632	3340	11	21600	993600
		630	3329	0		
25.08.2002	18:00:00	624	3269			
26.08.2002	00:00:00	617	3199			
						82351350

Abflussverbessernde Maßnahmen an der Unteren Mittelelbe  
Anlage zum Rahmenplan

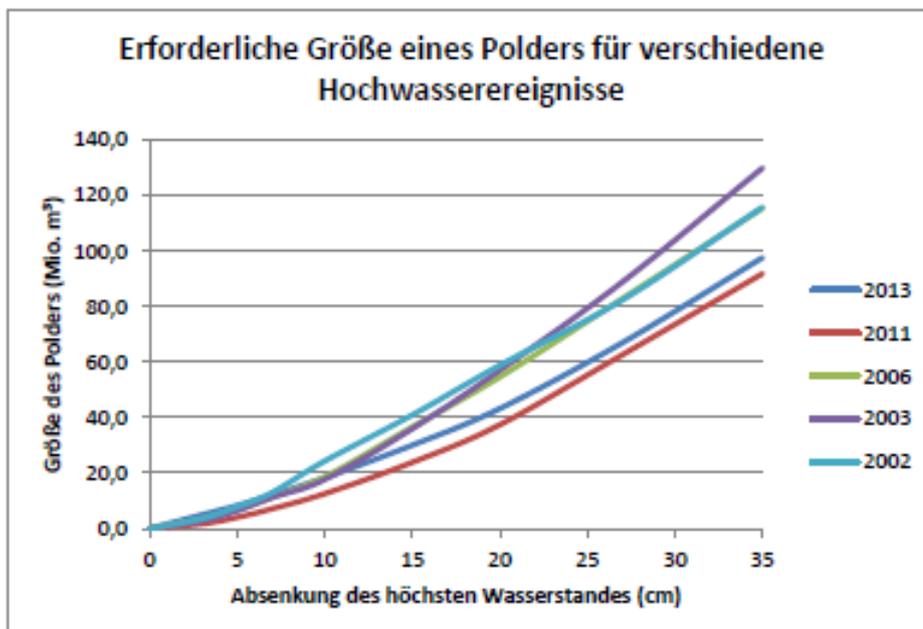
35 cm

Datum	Uhrzeit	W (cm)	Q (m³/s)	Δ Q (m³/s)	T (s)	V (m³)
20.08.2002	18:00:00	620	3229			
		622	3249	0		
21.08.2002	00:00:00	636	3380	131	18900	1237950
21.08.2002	06:00:00	647	3491	242	21600	4028400
21.08.2002	12:00:00	653	3561	312	21600	5983200
21.08.2002	18:00:00	657	3601	352	21600	7171200
22.08.2002	00:00:00	657	3601	352	21600	7603200
22.08.2002	06:00:00	655	3581	332	21600	7387200
22.08.2002	12:00:00	653	3561	312	21600	6955200
22.08.2002	18:00:00	655	3581	332	21600	6955200
23.08.2002	00:00:00	657	3601	352	21600	7387200
23.08.2002	06:00:00	657	3601	352	21600	7603200
23.08.2002	12:00:00	657	3601	352	21600	7603200
23.08.2002	18:00:00	655	3581	332	21600	7387200
24.08.2002	00:00:00	653	3561	312	21600	6955200
24.08.2002	06:00:00	652	3551	302	21600	6631200
24.08.2002	12:00:00	650	3521	272	21600	6199200
24.08.2002	18:00:00	648	3501	252	21600	5659200
25.08.2002	00:00:00	644	3460	211	21600	5000400
25.08.2002	06:00:00	639	3410	161	21600	4017600
25.08.2002	12:00:00	632	3340	91	21600	2721600
25.08.2002	18:00:00	624	3269	20	21600	1198800
		622	3249	0	6171	61714
26.08.2002	00:00:00	617	3199			
						115747264



Abflussverbessernde Maßnahmen an der Unteren Mittelelbe  
Anlage zum Rahmenplan

	2013	2011	2006	2003	2002
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	5,0	1,7	3,5	2,8	3,6
5	8,3	4,1	7,1	6,4	7,9
7	12,2	7,1	11,3	11,2	13,0
10	18,3	12,6	18,6	17,7	24,3
15	30,0	23,9	36,6	36,0	40,9
20	43,2	37,4	54,6	57,0	58,8
27	67,0	62,6	82,8	88,8	82,4
35	97,6	91,8	115,4	129,8	115,7



**Abflussverbessernde Maßnahmen  
an der Unteren Mittelalbe  
Rahmenplan  
Teil Niedersachsen**

## **Anlage 7**

Vergleich der Effizienz verschiedener  
Varianten von Umflutern

Niedersächsischer Landesbetrieb für  
Wasserwirtschaft, Küstenschutz und  
Naturschutz

2015

## Anlage 7

### Vergleich der Effizienz verschiedener Varianten von Umflutern

Die BfG hat für verschiedene Abflussmengen mit dem 2D-Modell die zugehörigen Wasserspiegellagen für die untere Mittelelbe berechnet. Die Ergebnisse können der nachfolgenden Abbildung entnommen werden.

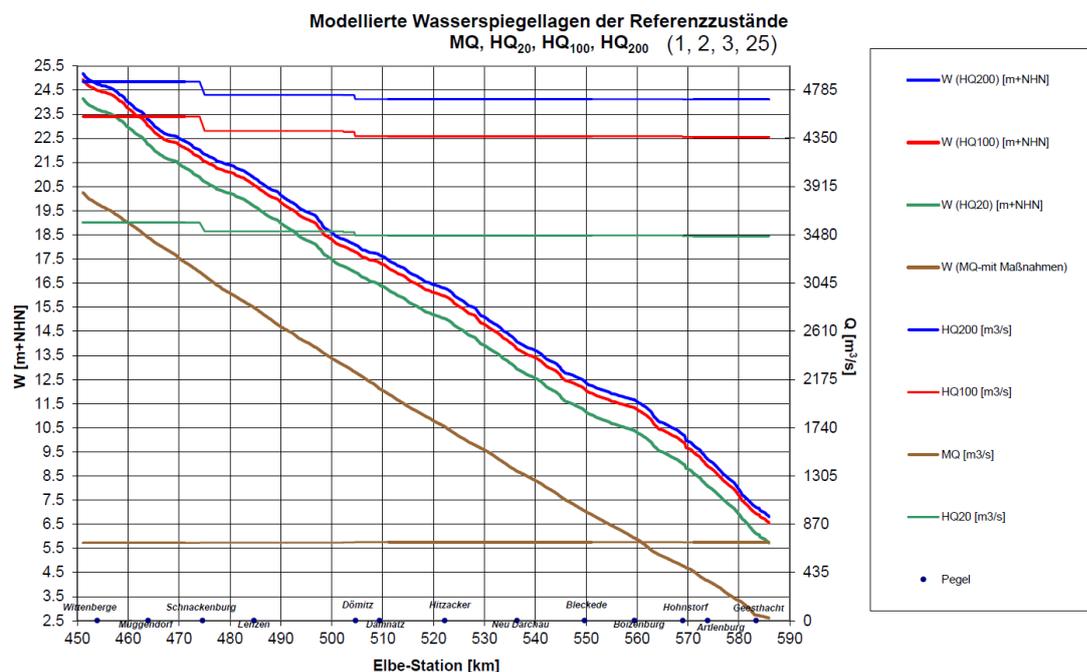


Abbildung 1: Modellierte Wasserspiegellagen für verschiedene Referenzzustände (BfG)

Im Bereich zwischen Elbe-km 560 und 565 kommt es bereits ab einem HQ<sub>20</sub> zu einer vergleichsweise deutlichen Erhöhung der Wasserspiegellage. Das ist der Bereich zwischen Boizenburg und Barföde. Etwas unterhalb ist bei Elbe-km 570 eine weitere Erhöhung der Wasserspiegellage zu erkennen. Ursächlich für die beiden Erhöhungen sind offensichtlich zwei Engstellen bei Hohnstorf und Barföde. Eine Rückdeichung ist in den Bereichen aufgrund der Bebauung kaum möglich. Wenn, wie in diesem Fall, mehrere Engstellen in kurzen Abständen aufeinander folgen, werden die oberhalb liegenden Engstellen von den unterhalb liegenden beeinflusst.

Daher wurde untersucht, wie sich die Anordnung eines großen Umfluters auswirken würde, der sowohl die beiden oben genannten Engstellen als auch zwei weitere Engstellen bei Boizenburg und Radegast umgeht. Dieser Umfluter hätte eine Länge von etwa 15 km.

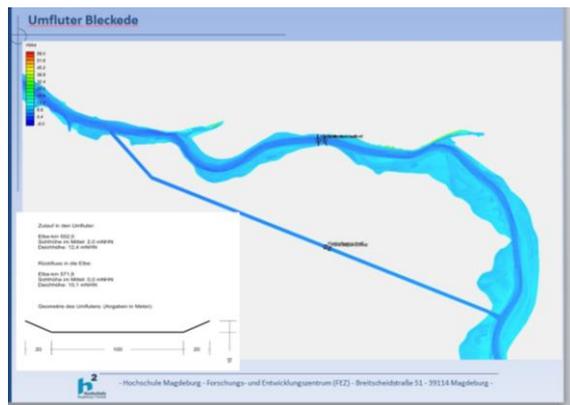


Abbildung 2: Prinzipskizze der Variante Bleckede (IWU)

Ergänzend wurde die Wirkung zweier kleinerer Umfluter im Bereich Barförde und Radegast untersucht.

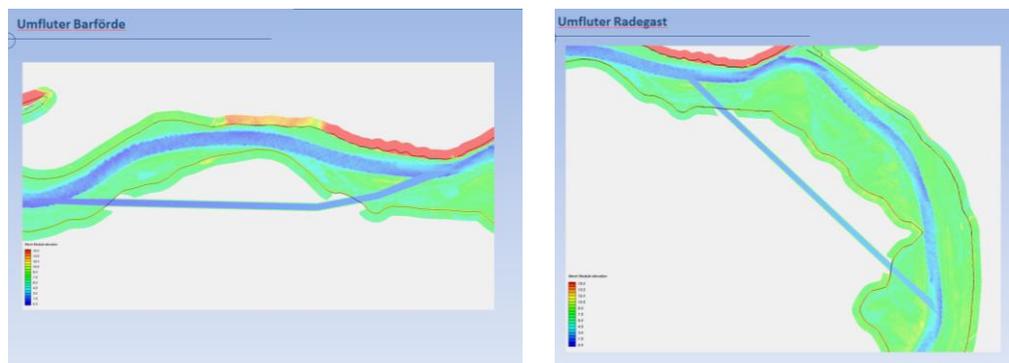


Abbildung 3: Prinzipskizzen der Varianten Barförde (links) und Radegast (rechts) (IWU)

Der Umfluter bei Barförde hätte eine Länge von 3,5 km, der bei Radegast 4,5 km.

Das Institut für Wasserwirtschaft und Umweltschutz der Hochschule Magdeburg (IWU) wurde beauftragt, zu ermitteln, wie sich der Bau dieser Umfluter auf den Wasserspiegel bei einem Extremereignis auswirken würde. Für eine erste Abschätzung wurde angenommen, dass sich die Gewässersohle auf dem Höhenniveau der Gewässersohle der Elbe befindet. Die Breite der Gewässersohle würde 100 m und die Böschungsneigung 1:2 betragen. Um die Wirkung von unterschiedlichem Bewuchs zu verdeutlichen wurden zwei verschiedene Rauigkeiten angenommen ( $k_{st} = 30$  und  $k_{st} = 40$ ). Für diese Randbedingungen wurden mit einem 1D-Modell für das Sommerhochwasser 2013 folgende Wasserspiegelabsenkungen berechnet.

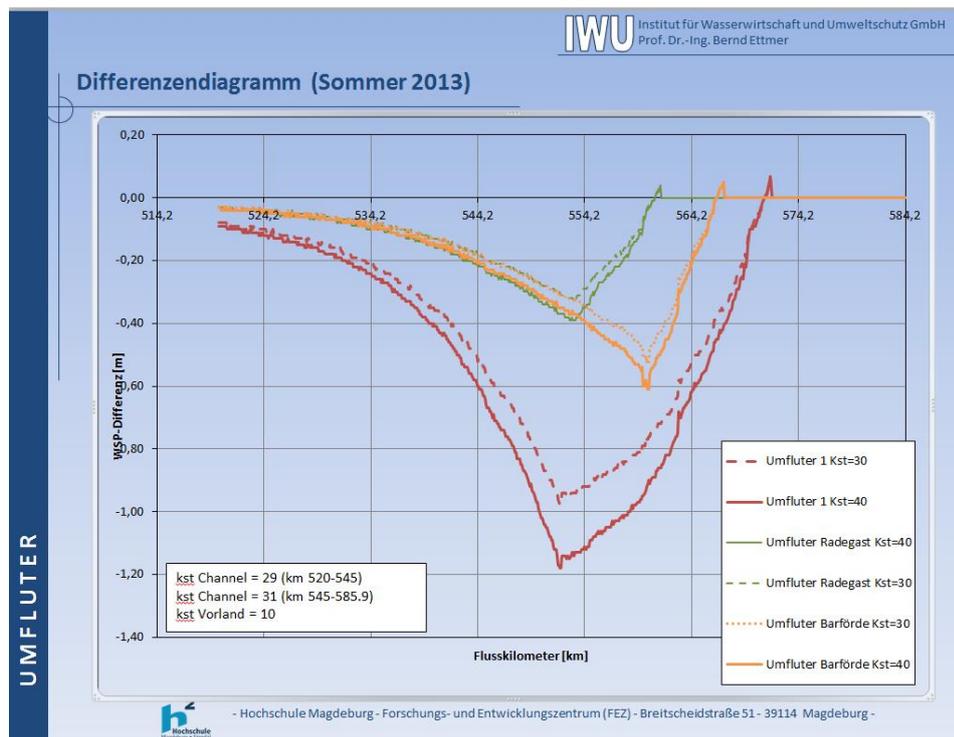


Abbildung 4: Absenkung des Scheitelwasserstandes beim Sommerhochwasser 2013 durch drei Umflutervarianten (IWU)

Derartig tiefe Umfluter würden ohne eine besondere Abdichtung dauerhaft mit Grundwasser gefüllt sein, da der Grundwasserspiegel sich ungefähr 1 m unterhalb der Geländeoberfläche befindet.

Würde die Sohle auf der Höhe des Geländes gelegt, müsste der Umfluter eine erheblich breitere Sohle erhalten, um allein auf dieselbe Querschnittsfläche zu kommen.

Dem überproportionalen Flächenverbrauch stände im Gegenzug der Vorteil einer möglichen landwirtschaftlichen Nutzung der Flächen als Grünland gegenüber.

Zur Optimierung des Querschnitts wurden für den großen Umfluter (Variante Bleckede) weitere Varianten durchgerechnet mit geringeren Ausbautiefen und unterschiedlichen Sohlbreiten. Die Sohlrauigkeit wurde mit  $k_{st} = 30$  angenommen. Die Abmessungen der einzelnen Varianten können der Tabelle 1 entnommen werden. Die Tiefe bezeichnet den Abstand zwischen der Deichkrone und der Sohle des Umfluters.

Anlage zum Rahmenplan

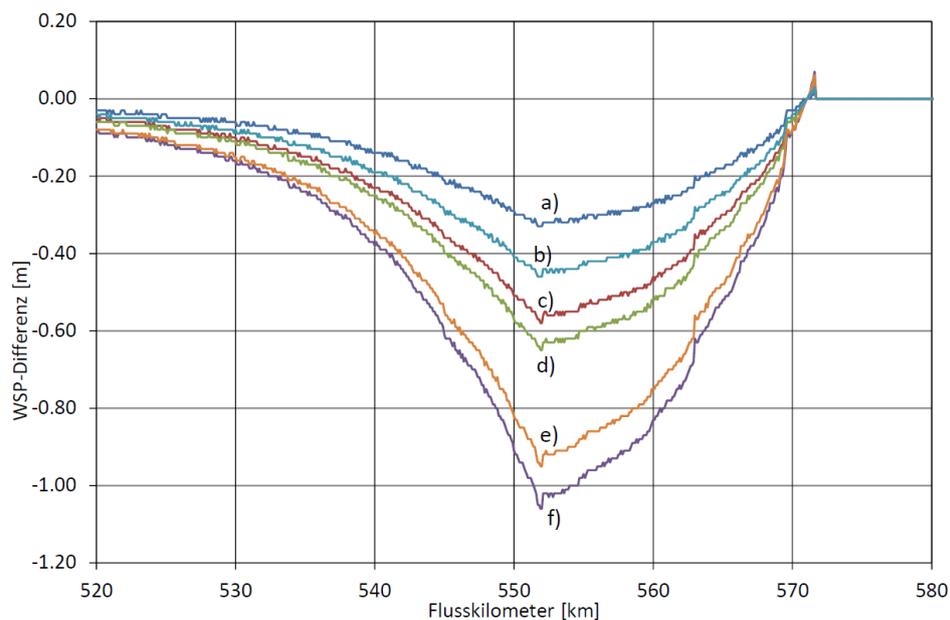


Abbildung 5: Absenkung des Scheitelwasserstandes beim Sommerhochwasser 2013 für unterschiedliche Dimensionierung der Variante Bleckede (IWU)

Ein Vergleich der Wirkung der Umfluter kann anhand der mittleren Absenkung erfolgen. Hierzu wird aus den Diagrammen die Fläche oberhalb der Absenkungskurve durch die Länge der betrachteten Strecke dividiert. Damit die Ergebnisse vergleichbar sind, wird die Rauigkeit einheitlich mit  $k_{st} = 30$  angenommen. Wird als Strecke, für die die mittlere Absenkung berechnet wird, der Bereich zwischen Elbe km 524 und Elbe km 571 genommen, so ergeben sich die in der nachfolgenden Tabelle aufgeführten Ergebnisse.

Umfluter	Breite der Sohle (m)	Wassertiefe (m)	Mittlere Absenkung (cm)
Bleckede	100	9	26,8
Barförde	100	9	11,1
Radegast	100	9	6,0
Bleckede 1a	100	4	8,9
Bleckede 1b	150	4	12,5
Bleckede 1c	200	4	15,6
Bleckede 1d	100	6,5	17,6
Bleckede 1e	170	6,5	26,1
Bleckede 1f	200	6,5	29,3

Tabelle 1: Berechnung der mittleren Absenkung für verschiedene Umflutervarianten

Wird die mittlere Absenkung durch die jeweilige durchflossene Querschnittsfläche dividiert, so ergibt das eine Information über die hydraulische Wirksamkeit des gewählten Querschnittes.

## Anlage zum Rahmenplan

Umfluter	Breite der Sohle (m)	Wassertiefe (m)	Böschungeneigung	Querschnittsfläche (m <sup>2</sup> )	(Mittlere Absenkung / Querschnittsfläche) (mm/m <sup>2</sup> )
Bleckede	100	9	1:2	1062	0,253
Bleckede 1a	100	4	1:3	448	0,199
Bleckede 1b	150	4	1:3	648	0,194
Bleckede 1c	200	4	1:3	848	0,184
Bleckede 1d	100	6,5	1:3	777	0,227
Bleckede 1e	170	6,5	1:3	1295	0,201
Bleckede 1f	200	6,5	1:3	1427	0,205

Tabelle 2: Berechnung der hydraulischen Wirksamkeit eines Gewässerquerschnittes

Je größer der Wert in der letzten Spalte der oben aufgeführten Tabelle 2 ist, desto wirksamer ist der Querschnitt. Daraus ist zu entnehmen, dass je tiefer und schmaler ein Querschnitt wird, umso hydraulisch wirksamer wird er. Das lässt sich so erklären, dass sich die Rauheit eines Querschnittes mit abnehmender Wassertiefe und zunehmender Breite erhöht. Dieses senkt wiederum die Fließgeschwindigkeit in dem Umfluter.

Der Quotient aus der mittleren Absenkung und der Grundfläche des Vorfluters ist proportional für die Flächeninspruchnahme für den Umfluter und ist dadurch ein Kennwert für die Effizienz des Umfluters. Die Ergebnisse können der nachfolgenden Tabelle 3 entnommen werden. Die Tiefe ergibt sich hierbei aus der Summe der Wassertiefe und des Freibordes von 1 m.

Umfluter	Breite der Sohle (m)	Tiefe (m)	Länge des Umfluters (km)	Böschungeneigung	Mittlere Absenkung / Fläche des Vorfluters (cm/km <sup>2</sup> )
Bleckede	100	10	15	1:2	14,9
Barförde	100	10	4	1:2	23,1
Radegast	100	10	4,5	1:2	11,1
Bleckede 1a	100	5	15	1:3	5,9
Bleckede 1b	150	5	15	1:3	5,6
Bleckede 1c	200	5	15	1:3	5,2
Bleckede 1d	100	7,5	15	1:3	10,2
Bleckede 1e	170	7,8	15	1:3	9,3
Bleckede 1f	200	7,5	15	1:3	9,1

Tabelle 3: Berechnung der hydraulischen Effizienz

Je größer der Wert in der letzten Spalte der oben eingeführten Tabelle ist, desto effizienter in Bezug auf die in Anspruch genommene Fläche ist der Umfluter. Hieraus wird deutlich, dass der Umfluter um Barförde die in dieser Hinsicht mit Abstand effizienteste Variante ist, sofern keine höhere Absenkung, als in Abbildung 4 für den Umfluter Barförde berechnet, gefordert ist.

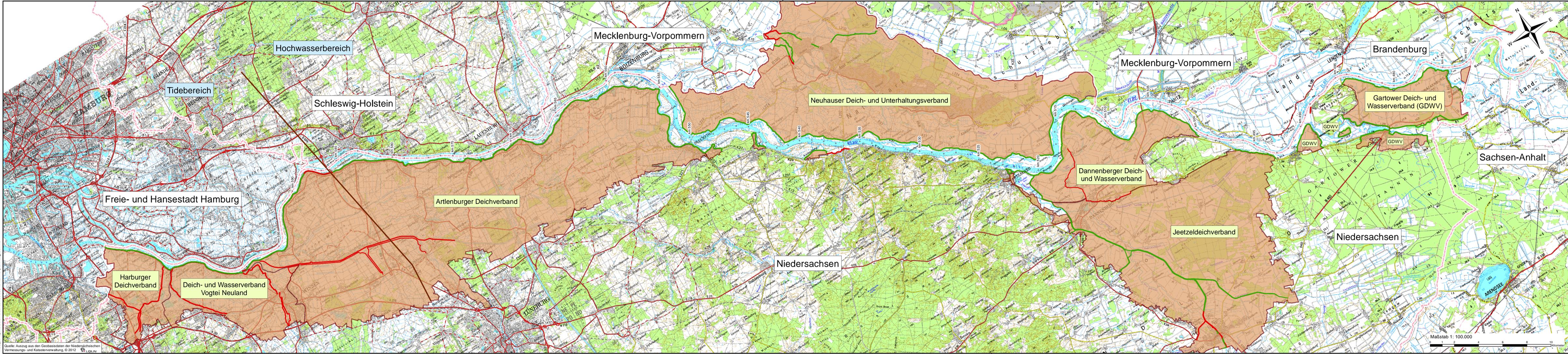
**Abflussverbessernde Maßnahmen  
an der Unteren Mittelelbe  
Rahmenplan  
Teil Niedersachsen**

**Anlage 8**

Übersichtsplan im Maßstab 1 : 100 000

Niedersächsischer Landesbetrieb für  
Wasserwirtschaft, Küstenschutz und  
Naturschutz

2016



## Rahmenplan für abflussverbessernde Maßnahmen an der Unteren Mittel- elbe

# Übersichtsplan

Datengrundlage:

- Hochwasserschutzprogramm (Binnenland) des Nds. Umweltministeriums in der jeweils gültigen Fassung
- Generalplan Küstenschutz Niedersachsen / Bremen - Festland - in der jeweils gültigen Fassung
- Untersuchungen und der Erhebungen des NLWKN, Betriebsstelle Lüneburg

Legende

- km 495 Elbe-km
- Grenze Tide-Hochwasserbereich
- Deich vorhanden
- Deicherhöhung oder -verstärkung erforderlich
- Deichgeschütztes Gebiet
- Landesgrenze

TIGB\_210 Projektdatensätze\Bund\100\_000\_15 Rahmenplan\Ausgabe.mxd

Quelle: Auszug aus den Geobasisdaten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung, © 2012

Blattgröße: 1505 x 297 mm

**Abflussverbessernde Maßnahmen  
an der Unteren Mittelelbe  
Rahmenplan**

**Teil Niedersachsen**

**Anlage 9**

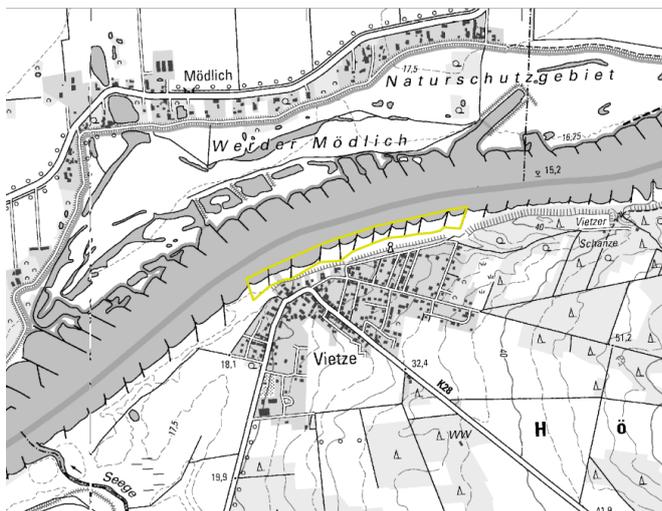
Lagepläne der vorgezogenen  
Maßnahmen

Bundesanstalt für Gewässerkunde

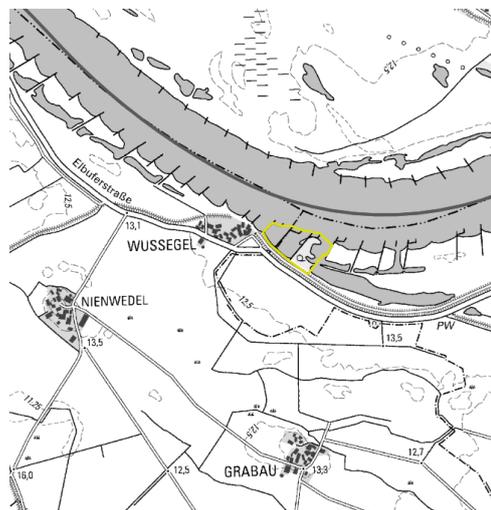
2014

Anlage 9 Lagepläne der vorgezogenen Maßnahmen

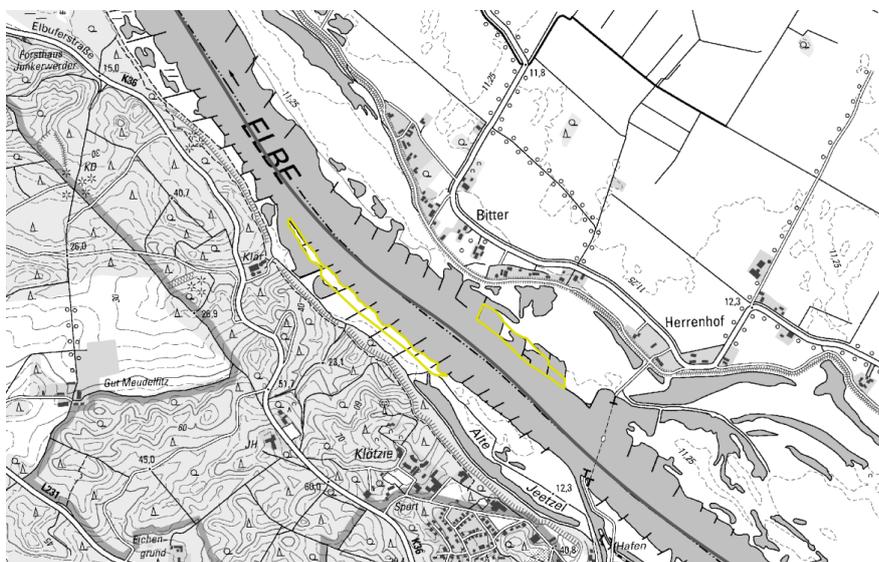
1.) Vietze



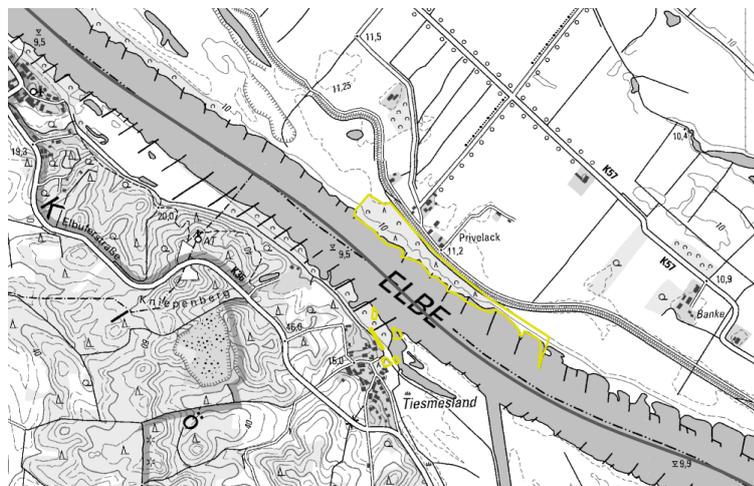
2.) Wussege



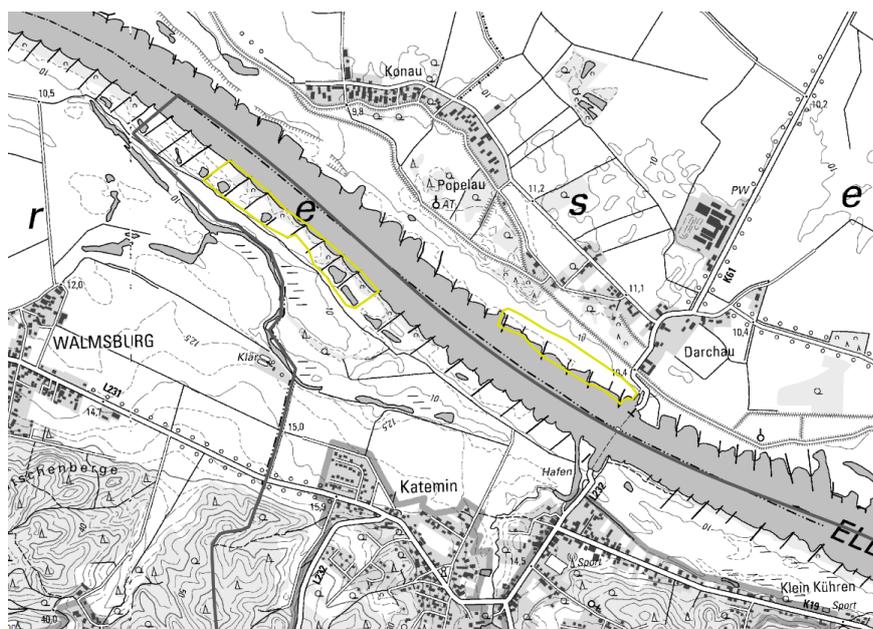
3.) Unterhalb Hitzacker / Bitter



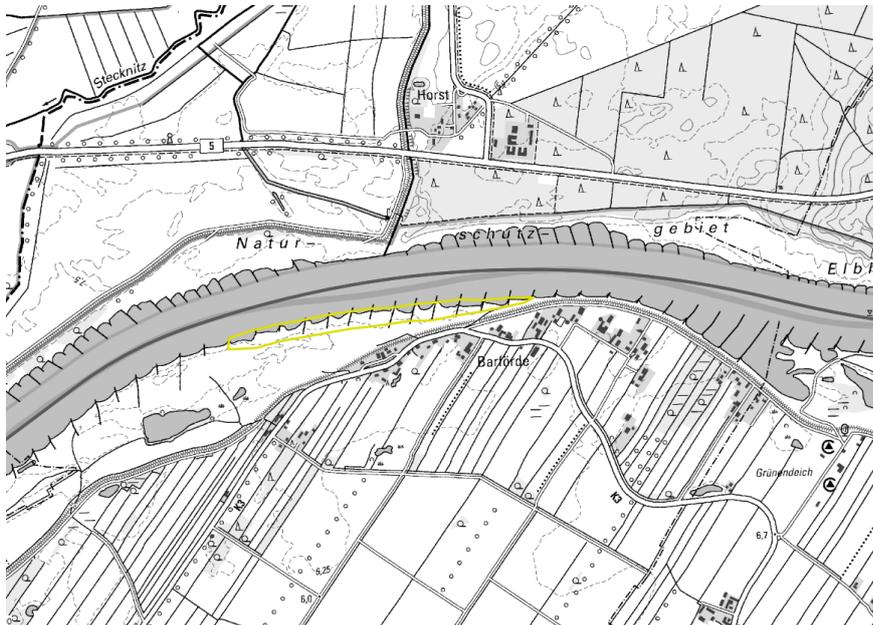
4.) Tiesmesland / Privelack



5.) Walmsburg / Darchau



6.) Barförde



**Abflussverbessernde Maßnahmen  
an der Unteren Mittelalbe  
Rahmenplan**

**Teil Niedersachsen**

**Anlage 10**

Zielgruppenbaustein FFH-Lebensraumtyp

LRT 91 E0\*

Biosphärenreservatsverwaltung

Niedersächsische Elbtalaue

2016

<b>Biosphärenreservat Niedersächsische Elbtalaue</b> <b>Natura-2000-Erhaltungs- und Entwicklungsplanung</b> <i>Stand: März 2016</i>	<b>LRT 91E0*</b> <i>Ausprägung als Weichholz-Auenwald des <b>Salicion albae</b><sup>1</sup></i>
---	--

Zielgruppe	Bezeichnung
FFH-Lebensraumtypen	Untertyp des LRT 91 E0* Auen-Wälder mit <i>Alnus glutinosa</i> und <i>Fraxinus excelsior</i> ( <i>Alno-Padion</i> , <i>Alnion incanae</i> , <i>Salicion albae</i> )

**Kurzcharakterisierung des Lebensraumtyps**



Foto: Biosphärenreservatsverwaltung Niedersächsische Elbtalaue

Der Weichholz-Auenwald des *Salicion albae* ist ein direkt an den Uferbereich nährstoffreicher Flüsse grenzender, überwiegend aus Weichhölzern gebildeter Auwald, der im Idealfall mehrere Baumängen breit ausgebildet ist sowie regelmäßig und oft länger überflutet wird. Bei den Weichholz-Auenwäldern in der Ausprägung des *Salicion albae* handelt es sich um einen **prioritären** Lebensraumtyp gemäß Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992, Artikel 1 (FFH-Richtlinie).

<sup>1</sup> In dem prioritären Lebensraumtyp 91E0\* Auenwälder mit *Alnus glutinosa* und *Fraxinus excelsior* (*Alno-Padion*, *Alnion incanae*, *Salicion albae*) sind verschiedene Subtypen zusammengefasst worden. Innerhalb des Biosphärenreservates kommt der LRT 91E0\* mit den Subtypen Erlen-Eschen-Auenwald i. S. d. *Alno-Padion* sowie dem Weiden-Auwald i. S. d. *Salicion albae* vor. Standortökologie und floristische Zusammensetzung, aber auch das charakteristische Tierartenspektrum beider Ausprägungen sind deutlich verschieden, so dass die Untertypen anwendungsbezogen getrennt zu betrachten sind. Dies trifft sowohl für die jeweilige Zielstellung als auch ggf. erforderliche Kohärenzmaßnahmen zu (SSYMANK et al. 1998, DRACHENFELS 2015 mdl.). Der vorliegende Zielgruppenbaustein betrachtet daher ausschließlich den LRT 91E0\* in der Ausprägung als Weiden-Auwald.

## Weichholz-Auenwälder (*Salicion albae*) – Ausprägung im Biosphärenreservat

Die Weichholz-Auenwälder des *Salicion albae* sind durch das dominante Vorkommen baumförmiger Weiden geprägt. Eine Besonderheit in den Weichholz-Auenwäldern des Biosphärenreservates stellt das Vorkommen der niedersachsen- und bundesweit gefährdeten **autochthonen** Schwarzpappel (*Populus nigra s. str.*) dar, die innerhalb Niedersachsens fast ausschließlich im Überschwemmungsgebiet der Elbe beheimatet ist. Weichholz-Auenwälder wachsen auf tiefgelegenen Standorten im Uferbereich der Elbe, im Mündungsbereich von Nebenflüssen, stark durchströmten Flutrinnen, an verlandeten Flussarmen und in Senken mit hohen Wasserständen. Im typischen Fall sind sie der Hartholzaue in Richtung Gewässer vorgelagert. In der eingedeichten Aue sind Bodenabgrabungen und Qualmwassersenzen Ersatzstandorte der Weichholzaue.

Aufgrund ihrer Lage im unmittelbaren Einflussbereich des Stromes unterliegt die Weichholzaue starken Veränderungen im Zusammenhang mit der Hochwasserdynamik. Es ist ein dynamischer Lebensraum, bei dem Erosion und Anlandung durch Überflutungen und Eisgang eine wichtige Rolle spielen. Zyklische Entwicklungen durch natürliche Prozesse sind kennzeichnend. Der Lebensraum ist in optimaler Ausprägung reich an Totholz und umgebrochenen Bäumen. Vegetative Verjüngung durch Stockausschlag sowie reichlich generative Vermehrung sind vorhanden. Verschiedene Sukzessionsstadien existieren nebeneinander. Gut ausgebildete Weichholzauekomplexe bilden ein Mosaik aus Weidenwäldern, Weidengebüschen, Schleiergesellschaften und Hochstaudensäumen, Auenkolken sowie annuellen Fluren sandiger und schlammiger Flussufer.

Die Wuchsorte der Weichholzaue liegen i.d.R. unterhalb der mittleren Hochwasserlinie und werden längere Zeit überstaut, wodurch eine Zonierung entsteht. Bei Überflutungen werden wegen der hohen Fließgeschwindigkeiten meist nur grobkörnige, wasser- und nährstoffarme Sande abgelagert, Rohhumus wird dagegen häufig entfernt. Die Pflanzen werden bei Hochwasser häufig freigespült, bei Niedrigwasser können die Sandstandorte leicht austrocknen. Die Pflanzenarten der Weichholzaue müssen daher hochgradig anpassungsfähig sein.

Innerhalb des Biosphärenreservates kommt die Weichholzaue des LRT 91E0\* in **drei** standörtlich etwas unterschiedlichen Varianten vor, die ihrerseits wiederum über charakteristische Artensets verfügen.

Den überwiegenden Teil des LRT 91E0\* am Elbstrom stellen die regelmäßig stark **durchströmten Weiden-Auwälder** (Biotoptyp WWA). Beherrscht werden diese lichten bis mäßig geschlossenen Weichholz-Auenwälder von baumförmigen Exemplaren der Silberweide mit ihren weißfilzigen Blättern und den durch die rundlichen Kronenformen erkennbaren Bruch- und Fahlweiden. Die Bestände sind in der Regel mit Strauchweidengebüschen aus Mandel- und Korbweide, seltener Purpurweide durchsetzt, sowohl innerhalb der Komplexe als auch in den Randökotonen, insbesondere an den direkt der Strömung ausgesetzten, tief gelegenen Uferbereichen. Durch wechselnde Überflutungsdauer ist die Ausprägung und Zusammensetzung der Krautschicht steten Veränderungen unterworfen. Je nach Lichtdargebot und Wasserständen entwickeln sich annuelle Uferfluren, von Röhrcharten durchsetzte nitrophile Staudenfluren, die sich, vergesellschaftet mit Schleiergesellschaften zu undurchdringlichen Dickichten entwickeln können. In großen geschlossenen Baumweidenbeständen ist die Bodenvegetation dagegen eher spärlich und artenarm. Vielfältig strukturierte und vergleichsweise großflächig ausgebildete Beispielflächen des typischen Weiden-Auwaldes finden sich auf dem Walmsburger Werder (C-08), bei Stiepelse (C-11) sowie zwischen Tießau und Hitzacker (C-45).

In den trockeneren etwas höher gelegenen Uferbereichen (Uferrehne) wächst ein oftmals an **Schwarzpappeln (*Populus nigra*) reicher Übergangstyp zur Hartholzaue**. Die Schwarzpappel besiedelt die höchsten Bereiche der Weichholzaue und ist hier oft mit der Flatterulme (*Ulmus laevis*) vergesellschaftet, die bereits den Übergang zur Hartholzaue anzeigt. Diese höher liegenden Bestände sind in der Krautschicht stark mit Arten der nitrophilen Säume durchsetzt, zu denen auch die typischen Lianen der Schleiergesellschaften wie Zaunwinde und Bittersüßer Nachtschatten gehören. Schwarzpappelreicher Weichholz-Auenwald in beispielhafter Ausprägung findet sich z. B. auf dem Walmsburger Werder (C-08) und im Elbvorland bei Langendorf (C-50).

Der **sumpfige Weiden-Auwald** (Biotoptyp WWS) stockt auf sehr feuchten bis morastigen, in der Regel länger wasserüberstauten bis dauervernässten Standorten in verlandeten Altarmen und sonstigen, häufig Qualmwasser beeinflussten Senken der Flussauen. Durch die i. d. R. flussferne Lage sind die Wasserstandsschwankungen hier sehr viel geringer. In typisch ausgeprägten Beständen sind unterschiedliche Beimengungen von Schwarz-Erle (*Alnus glutinosa*) enthalten. In der Strauchschicht tritt die Grau-Weide (*Salix cinerea*) hinzu. In der Krautschicht finden sich zahlreiche seltene und gefährdete Arten von Sumpfstandorten wie Sumpf-Wolfsmilch, Sumpf-Greiskraut oder Zungenhahnenfuß. Gut ausgeprägte Bestände im Sinne von Referenzflächen befinden sich auf dem Walmsburger Werder (C-08), an der Alten Elbe bei Stiepelse (C-22), im Gebiet Weidenhäger bei Viehle (C-23) sowie an der Sude bei Preten (C-33).

### Charakteristische Pflanzen- und Tierarten der Weichholzaue im Biosphärenreservat

In der folgenden Tabelle werden aus der Gruppe der Gefäßpflanzen die wesentlichen Charakterarten für den Lebensraumtyp Weichholz-Auenwald aufgeführt. Die Auswahl umfasst Pflanzenarten, die in den Weichholz-Auenwäldern aller Untertypen innerhalb des Biosphärenreservates am häufigsten anzutreffen sind, aber auch Arten, die selten und besonders charakteristisch für einzelne Subtypen sind. Aufgrund der natürlicherweise hohen Standortdynamik können an lichten Stellen und in Säumen der Weichholzaue nahezu alle Arten der annualen Uferfluren (LRT 3270) und der feuchten Hochstaudensäume (LRT 6430) auftreten. Ein Charakteristikum des Weichholz-Auenwaldes ist ein wechselhaftes Erscheinungsbild. Nach anhaltenden Überschwemmungsereignissen kann am Boden nahezu völlige Vegetationsfreiheit herrschen. Unter günstigen Bedingungen entwickelt sich an lichten Stellen des Weichholz-Auenwald-Ufer-Komplexes ein Pflanzenartenspektrum mit sehr hoher Diversität.

Unter den kennzeichnenden Baumarten kommt der autochthonen Schwarzpappel (*Populus nigra*), bei der eine enge Habitatbindung, insbesondere an die Flusssdynamik im Stromtal der Elbe und der Unterläufe ihrer Nebenflüsse besteht, eine besondere Bedeutung zu. Innerhalb Niedersachsens kommt die Schwarzpappel fast ausschließlich im Biosphärenreservat vor (GARVE 2007).

#### Charakteristische Pflanzenarten der Weiden-Auwälder (*Salicion albae*)

<b>Baumarten:</b>	Silberweide	<i>Salix alba</i>
	Bruchweide	<i>Salix fragilis</i>
	Fahlweide	<i>Salix x rubens</i>
	Schwarzpappel	<i>Populus nigra</i>
<b>Straucharten:</b>	Mandelweide	<i>Salix triandra</i>
	Korbweide	<i>Salix viminalis</i>
	Purpurweide	<i>Salix purpurea</i> (an der Nds. Elbe sehr selten)
<b>Krautschicht:</b>	Weißes Straußgras	<i>Agrostis stolonifera</i>
	Schwarzfrüchtiger Zweizahn	<i>Bidens frondosa</i>
	Gewöhnliche Zaunwinde	<i>Calystegia sepium</i>
	Wasserschwaden	<i>Glyceria maxima</i>
	Sumpf-Schwertlilie	<i>Iris pseudacorus</i>
	Katzenschwanz	<i>Leonurus marrubiastrum</i> (R. L. 3)
	Wassermintze	<i>Mentha aquatica</i>
	Wasserpfeffer	<i>Persicaria hydropiper</i>
	Rohrglanzgras	<i>Phalaris arundinacea</i>
	Kratzbeere	<i>Rubus caesius</i>
	Sumpf-Greiskraut	<i>Senecio paludosus</i> (R. L. 2)
	Bittersüßer Nachtschatten	<i>Solanum dulcamara</i>
	Große Brennnessel	<i>Urtica dioica</i>

## Charakteristische Tierarten der Weiden-Auwälder (*Salicion albae*)

Weiden-Auwälder i. w. S. stellen wichtige Reproduktions- und Nahrungshabitate u.a. für folgende Tierarten dar:

### Säugetiere

- Fischotter \*)
- Biber\*)
- Fledermäuse, insbesondere Teich- u. Wasserfledermaus

### Vögel<sup>2</sup>

- Graugans \*)
- Flussuferläufer \*) (Rand der Weidenauwälder)
- Eisvogel \*)
- Kleinspecht
- Nachtigall \*)
- Pirol \*)
- Rotmilan \*)
- Schwarzmilan \*)
- Beutelmeise

### Amphibien<sup>3</sup>

- Kammolch \*)
- Rotbauchunke \*)
- Moorfrosch

### Schmetterlinge<sup>4</sup>

- Großer Schillerfalter (R. L. 2)
- Kleiner Eisvogel
- Hornissenschwärmer (u.a. Glasflügler mind. 4 Arten)
- Auen-Eckflügelspanner (*Macaria artesiaria*) (R. L. 1)
- Pappelglucke (*Gastropacha populifolia*)
- sowie mind. 14 weitere gefährdete Falterarten der R. L. inkl. Vorwarnliste für Niedersachsen mit bes. Bindung an Weiden- und Pappelarten

### Käfer<sup>5</sup>

**Phytophage** (an Pflanzen fressende) Käferarten der Weichholzaue:

- Chrysomelidae *Cryptocephalus ochroleucus* Steph., 1834 (RL 2; phytophag an *Populus*; im nordd. Raum nur aus der Elbtalaue bekannt)

**Xylobionte** (Holz bewohnende) Käferarten der Weichholzaue:

- Histeridae *Teretrius fabricii* Mazur, 1972 (RL 2) an *Populus* und *Salix* (zuletzt in den 1970er Jahren nachgewiesen)
- Cleridae *Opilo pallidus* (Ol., 1795) (RL 1; an *Salix* und *Quercus*)
- Elateridae *Ampedus elegantulus* (Schönh., 1817) (RL 1; an *Alnus* und *Quercus*)
- Cerylonidae *Cerylon deplanatum* Gyll., 1827 (RL 3; an *Salix* und *Populus*)
- Lyctidae *Lyctus pubescens* Panz., 1793 (RL 1; an *Salix*)
- Curculionidae *Cossonus cylindricus* Sahlb., 1835 (RL 3; an *Populus* und *Salix*)

### Laufkäfer

- *Agonum dolens* Sahlb., 1827, (R.L. 2)
- *Agonum livens*
- *Babister unipustulatus* Bon., 1813, (R.L. 2)
- *Carabus convexus* F., 1775, (R.L. 3)
- *Paradromius longiceps* Dej., 1826, (R.L. 2)
- *Stenolophus mixtus* Hbst., 1784

### Libellen

- Asiatische Keiljungfer (R. L. Nds. 2)

Bei den mit\*) gekennzeichneten Arten handelt es sich um wertbestimmende Arten gemäß NEIbtBRG. Weitere charakteristische wirbellose Tierarten des LRT 91E0\* (*Salicion albae*) sind aus den Gruppen der Hautflügler, Zweiflügler, Zikaden, Weichtiere, Bockkäfer, Rüsselkäfer etc., Webspinnen u. a. zu erwarten (vgl. SSYMANK et al. 1998, LAU 2002), die hier aufgrund derzeit unzureichender Datenlage innerhalb des Biosphärenreservates nicht näher benannt werden.

Insbesondere für den Biber, aber auch für den Fischotter, gilt, dass deren Wiederbesiedlung bzw. Ausbreitung in der niedersächsischen Elbtalaue synchron mit dem verstärkten Aufwachsen des Weiden-Auwaldes seit den späten 1980er-Jahren erfolgt ist.

<sup>2</sup> KELM, H. J. (2015) mdl. Mitteilung.

<sup>3</sup> FISCHER, C. (2016) mdl. Mitteilung.

<sup>4</sup> KÖHLER, J. (2015), schriftl. Mitteilung.

<sup>5</sup> Nach einer vorläufigen Zusammenstellung von GÜRLICH (2015) sind aus der Gruppe der Käfer die folgenden Arten als für die Weichholz-Auwälder der Elbe charakteristisch zu nennen (R.L.-Status Rote Liste D 1998).

## Biotoptypen des Lebensraumtyps nach DRACHENFELS (2011)

Folgende Biotoptypen werden dem LRT 91E0\* in der Ausprägung als Weichholz-Auenwald zugeordnet:

Code	Biotoptyp
<b>WW</b>	<b>Weiden-Auwald (Weichholzaue)</b>
WWA	Typischer Weiden-Auwald
WWS	Sumpfiger Weiden-Auwald
BAA*	Wechselfeuchtes Weiden-Auengebüsch
BAS*	Sumpfiges Weiden-Auengebüsch

\* Weiden-Auengebüsche (BA) gehören nur im Verbund mit Weiden-Auwald (WW) zum LRT 91E0\*

In der Roten Liste der Biotoptypen in Niedersachsen wurden die Biotoptypen des Weiden-Auwaldes aufgrund von Flächen- und Qualitätsverlusten in die Gefährdungskategorie „1“, d. h. als von vollständiger Vernichtung bedroht bzw. sehr stark beeinträchtigt eingestuft (DRACHENFELS 2012).

## Vorkommen, Standortbedingungen und Zonierung der Weichholzaue

Als Voraussetzung für das Vorkommen des Weiden-Auwalds gelten folgende abiotische Standortbedingungen:

- Nähe von Fließgewässern oder an (verlandeten) Altgewässern und feuchten Senken der Flussauen.
- I.d.R. wechsellasse, sandige Auenrohböden, die regelmäßig für längere Zeit überstaut werden.
- Strömungsexposition bei Überflutung/Strömungsdynamik führt zur Entstehung wesentlicher Strukturmerkmale.
- Vereinzelt und in fragmentarischer Ausprägung kommen Weiden-Auwälder auch an binnendeichs gelegenen Qualmwasser-Standorten oder Bodenentnahmestellen mit stark schwankenden Wasserständen vor.

Das Hauptvorkommen des Weichholz-Auenwaldes, mit Silber-, Mandel- und Korbweiden sowie Schwarzpappeln wächst als Galeriewald am niedersächsischen Elbufer in einer topografischen Höhenspanne von 1 m unterhalb der mittleren Wasserspiegellage bis 1 m oberhalb, im Optimum zwischen 30 cm unterhalb und 70 cm oberhalb. Generell wird jedoch eine topographische Höhenspanne (bezogen auf den mittleren Wasserstand) von ca. 1,5 m unterhalb bis 1,5 m oberhalb besiedelt (MOSNER et al. 2010). In der Zonierung folgen vielfach auf Mandelweidengebüsche, die niedrig liegende Standorte besiedeln, Korb- und Silberweidenbestände. Schwarzpappeln finden sich bevorzugt auf den höher gelegenen Flächen, z.B. auf den Uferrehnen. Generell wachsen ältere Baum- und Strauchbestände im Mittel auf höherem Niveau als jüngere.

## Entwicklung und aktueller Bestand des Weichholz-Auenwaldes (LRT 91E0\*) im Biosphärenreservat

### *Historische Entwicklung der Weichholzaue im Biosphärenreservat*

Noch Ende des 18. Jh. bestimmt ein weitgehend natürliches Abflussregime mit wenig eingeschränkter Dynamik das Bild an der Elbe. Wandernde Sandbänke, Stromspaltungen und sich verlagernde Abflussrinnen sind Ausdruck dieser Dynamik. Im Kartenbild der Kurhannoverschen Landesaufnahme von 1776 sind im Überflutungsbereich zwischen Boizenburg und Schnackenburg noch etwa 970 ha Wald verzeichnet, darunter etwa 270 ha auf ehemaligen Elbinseln. Eine Unterscheidung zwischen Weich- und Hartholzaue ist nicht möglich (SPÄTH 1997 zit. in ENTERA 2008). Aufgrund der hohen Standortdynamik dürfte es sich jedoch in weiten Bereichen um Weichholz-Auenwald i. w. S. gehandelt haben (Anm. d. Verf.).

Mit der Festlegung der Stromelbe Ende des 18. Jh. verändert sich das Verbreitungsbild des Auwaldes wesentlich und die Weidenwälder wandern aus dem Strombett in die neu entstandenen Bühnenfelder. Insgesamt kann zur Zeit der Preussischen Landesaufnahme (1880 bis 1913) von 470 ha Weiden-Auwald im Bereich des Biosphärenreservats ausgegangen werden, davon wachsen ca. 138 ha in den Bühnenfeldern, 160 ha im Uferbereich und an Seitengewässern sowie 153 ha auf den großen Werdern und 13 ha auf kleinen Inseln (ebd.).

Im 20. Jh. verringern umfangreiche Rodungen den Bestand der Weichholz-Auenwälder im Elbtal allmählich. Maßnahmen des Reichsnährstandes führen zu einer Intensivierung der Flächennutzung im Elbvorland und damit einhergehend zu einer starken Abnahme der Gehölze um bis zu 50 % durch Rodung und Beweidung. Zwischen 1950 und 1990 erfolgt eine verstärkte Gehölzentnahme bis hin zum vollständigen Verlust am rechtselbischen Ufer im Zusammenhang mit Grenzsicherungsmaßnahmen der DDR (ENTERA 2008).

Nutzungs- und witterungsbedingt kommt es etwa ab 1990 zu einer verstärkten Regeneration des Weichholz-Auenwaldes an der Elbe. Gefördert wird der Prozess u. a. durch den sog. „Ökologieerlass der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung“. Die Beweidung der Elbufer wird verboten und abschnittsweise werden Weidenstecklinge gesetzt. Mit dem Ende der DDR wird die Gehölzbesichtigung im rechtselbischen Amt Neuhaus eingestellt. Niedrigwasserphasen mit guten Keim- und Aufwuchsbedingungen begünstigen das verstärkte Aufkommen von Weiden-Galeriewäldern entlang der Elbufer, so dass um die Jahrtausendwende die Weichholzaue einschließlich Gebüschstrukturen einen Flächenumfang von ca. 300 ha erreicht (OERTZEN 2001).

Insbesondere auf den Bühnen und an Engstellen des Stromprofils werden aus Gründen des Hochwasserschutzes und im Zuge regelmäßig wiederkehrender Unterhaltungsmaßnahmen an der Bundeswasserstraße seit 2006 Gehölze wieder sukzessive entfernt.

### *Aktuelle Situation des LRT 91E0\* (Salicion albae) im FFH-Gebiet 074*

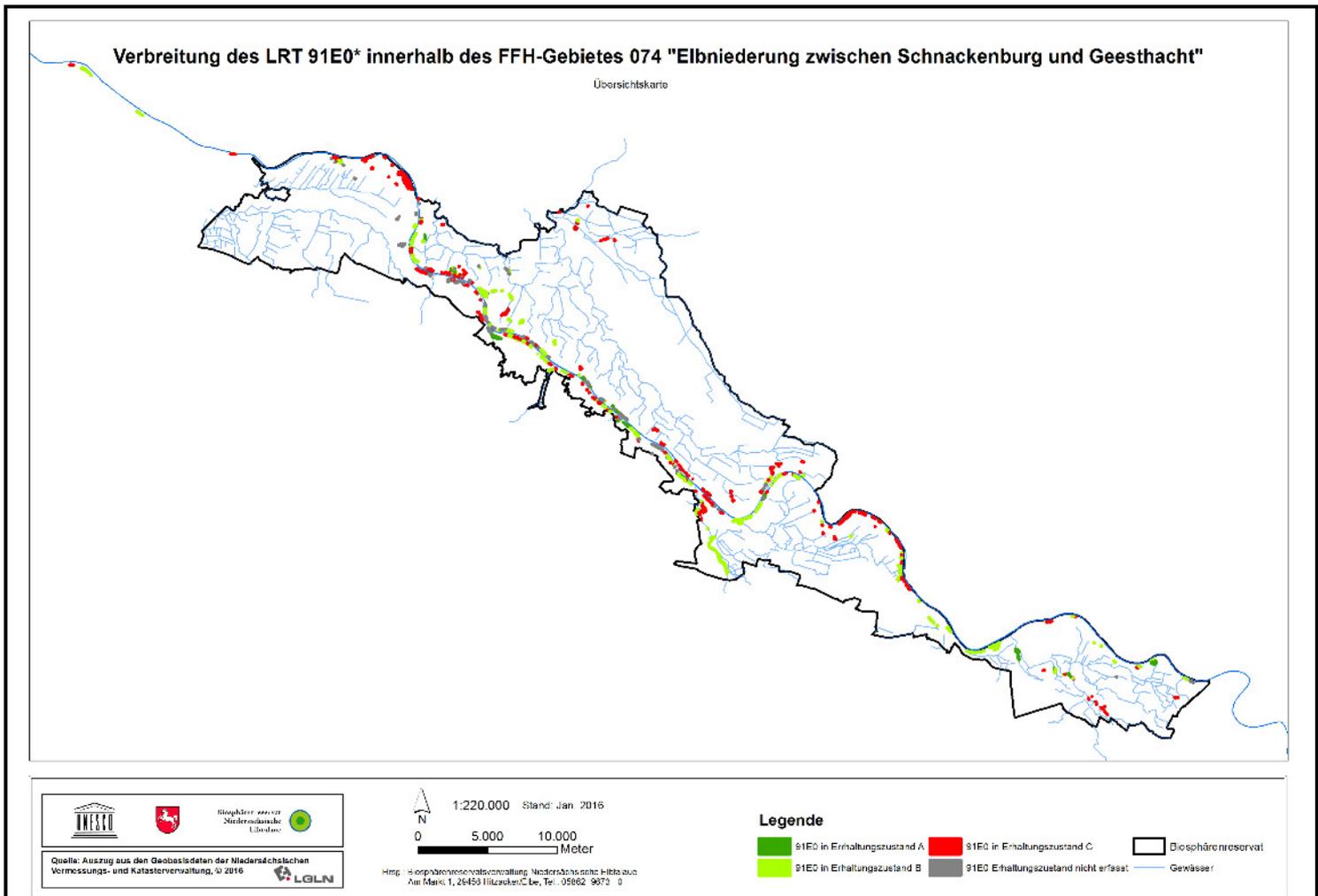
Bei landesweiter Betrachtung ist der heutige Bestand der Weiden-Auenwälder des LRT 91E0\* an der niedersächsischen Mittel-Elbe von herausragender Bedeutung, da es sich um das mit Abstand größte und bedeutsamste Vorkommen in Niedersachsen handelt. Gemessen am landesweiten Bestand von Weiden-Auenwäldern aller Untertypen befinden sich über 40 % innerhalb des Biosphärenreservates Niedersächsische Elbtalaue bzw. im FFH-Gebiet 074.

Nach Standarddatenbogen (SDB) erfolgte 1999 die Erstmeldung des LRT 91E0\* in einer Größenordnung von 175 ha. Dabei handelte es sich um einen seitens der Fachbehörde für Naturschutz auf Basis der landesweiten Biotopkartierung gesetzten und mit zunehmendem Kenntnisstand als zu gering eingeschätzten Wert (MÖLLER 2008 mdl.). Es wurde nicht zwischen den Untertypen Weiden-Auenwald und Erlen-Eschenwald der Talauen differenziert. Erste Differenzierungen zwischen den verschiedenen Untertypen erfolgten in den Jahren 2008 und 2009 im Zuge einer FFH-Verträglichkeitsuntersuchung (ENTERA 2008) bzw. bei der Erstellung der Vollzugshinweise für den LRT 91E0\*. Beide Quellen greifen im Wesentlichen auf die bis zu diesem Zeitpunkt schrittweise durchgeführten FFH-Basisinventarisierungen zurück. Für den Weiden-Auenwald wurde auf dieser Basis ein Gesamtvorkommen zwischen jeweils rund 150 ha und 186 ha im Biosphärenreservat bzw. im FFH-Gebiet 074 ermittelt. Aufgrund der hohen Entwicklungsdynamik dieses Lebens-

raumtyps, anthropogen bedingten Veränderungen sowie in der länderübergreifenden Abstimmung mehrfach angepassten Erfassungskriterien wurde aus Sicht der Biosphärenreservatsverwaltung in der Vegetationsperiode 2013 eine Revision der Gehölzkartierung in den relevanten Überschwemmungsbereichen der Elbe für notwendig erachtet und auf der Grundlage aktueller Luftbilder (Stand 2012) mit Plausibilitätskontrollen bzw. Ergänzungskartierungen im Gelände durchgeführt. Ziel war die Bereitstellung einer einheitlichen, aktuellen und den fachlichen Vorgaben genügenden Bezugsgrundlage für die anstehenden Planungsschritte. Im Ergebnis umfasst der LRT 91E0\* in der Ausprägung des Weiden-Auwaldes innerhalb des Biosphärenreservates einen Bestand von rund 187 ha im ÜSG der Elbe bzw. 241 ha im gesamten BR. Im FFH-Gebiet 074 „Elbeniederung zwischen Schnackenburg und Geesthacht“ ergibt sich ein aktueller Bestand von insgesamt rund 251 ha (vgl. Tab. 1). Die aktuelle Bilanz berücksichtigt bereits die im Winterhalbjahr 2014/15 im Rahmen der vorgezogenen Maßnahmen zur Verbesserung des Hochwasserschutzes durchgeführten Gehölzrückschnitte.

#### ***Räumliche Verteilung des LRT 91E0\* (Salicion albae) im FFH-Gebiet 074***

Beginnend an der Ostgrenze des Biosphärenreservates (Alandswerder) flussabwärts bis in etwa Höhe Gorleben kommen Weichholz-Auenwälder überwiegend gering verbreitet und in meist geringer Flächenausdehnung vor. Die Abstände zwischen den einzelnen Auwaldflächen betragen zwischen 1 und 6 km Uferstrecke. Auch am gegenüberliegenden rechten Elbufer in Brandenburg zwischen Lütkenwisch und Wootz tritt Weichholz-Auenwald kleinflächig und mit Lücken auf. Im weiteren Verlauf weist das brandenburgische Elbufer auf Höhe der Lenzer Wische ein meist durchgängiges Band von mehr oder weniger dichten Galeriewäldern auf. Wiederum größere Verbreitungslücken auf rechtselbischer Seite bestehen ab Dömitz über eine Distanz von ca. 20 km flussabwärts bis nach Herrenhof. In den Vorländern der gegenüberliegenden Dannenberger Elbmarsch beherbergen die etwas ausgedehnteren Werder bei Wulfsahl und Jasebeck abschnittsweise Galeriewälder. Aber auch hier existieren Uferstrecken über 5 km ohne Weichholzaue. Unterhalb von Hitzacker bis auf Höhe Alt Garge erstreckt sich linkselbisch in und am Rand der Bühnenfelder ein +/- geschlossenes Band von Weidengalerien mit punktuellen Ansätzen zu flächiger Entwicklung, z. B. Walmsburger Werder. Im rechtselbischen Amt Neuhaus bleibt die Verbreitung der Weichholzaue auch unterhalb Herrenhof-Bitter bis Darchau oft lückenhaft. Es bestehen zwischen den einzelnen Teilflächen vielfach 1 bzw. bis 1,5 km breite Abstände. Im weiteren Verlauf der Elbe zwischen Darchau und etwas oberhalb von Neu-Bleckede wird das Band der Weichholz-Wälder dichter und zeigt auch hier bereichsweise Ansätze zu flächiger Entwicklung, z. B. bei Stiepelse. Dagegen ist der linkselbische Teil der Vorländer im Bereich der Stadt Bleckede-Samtgemeinde Scharnebeck durch eine deutlich geringere Verbreitung von Weichholz-Auenwäldern, die sich v. a. stark auf ehemalige Bodenentnahmen konzentrieren, gekennzeichnet. Zwischen Hohnstorf und Geesthacht ist das Vorkommen des LRT 91E0\* auf drei weit voneinander entfernte Teilflächen begrenzt. Die Niederungsgebiete der Nebenflüsse sind mit Blick auf das Vorkommen des LRT 91E0\* grundsätzlich von untergeordneter Bedeutung. Mit Ausnahme von Galeriewäldern an der Alten Jeetzel tritt der Weichholz-Auenwald mehrheitlich in der sumpfigen Variante (Biotoptyp WWS) an Sude, Rögnitz und Seege v. a. kleinflächig in dauerhaft nassen Senken oder an Abgrabungen auf.



**Abb. 1: Verbreitung des LRT 91E0\* (*Salicion albae*) innerhalb des FFH-Gebietes 074<sup>6</sup>**

In der Zusammenschau ergibt sich für den LRT 91E0\* ein sehr heterogenes Verbreitungsbild, bezogen sowohl auf den niedersächsischen Teil des Biosphärenreservates bzw. des FFH-Gebietes 074 als auch bei länderübergreifender Betrachtung. Mit Blick auf die Gesamtsituation des LRT 91E0\* im niedersächsischen Teils des Biosphärenreservates Flusslandschaft Elbe zeigen sich deutliche Disparitäten in der Verteilung. Ca. 2/3 des Bestandes konzentrieren sich auf den Landkreis Lüneburg beidseits der Elbe. Für den Landkreis Lüchow-Dannenberg ergibt sich eine insgesamt deutlich geringere, breit gestreute Verteilung.

<sup>6</sup> Einzelflächen zur besseren Lesbarkeit der Karte überzeichnet dargestellt.

## Erhaltungsziele

### Erhaltungsziele des LRT 91E0\* in der Ausprägung des Weiden-Auenwaldes (*Salicion albae*)

Anlage V Nr. 2 des Gesetzes über das Biosphärenreservat Niedersächsische Elbtalaue (NElbtBRG) nennt für den LRT 91E0\* als Erhaltungsziel die „Erhaltung von [ ... ] Auenwäldern mit Erle, Esche und Weide (91E0\*) [ ... ] unter Aufrechterhaltung periodischer Überflutung, Bewahrung wechselfeuchter bis nasser Standortverhältnisse und Förderung einer natürlichen Verjüngung“.

Ziel ist die Erhaltung und ggf. Entwicklung eines günstigen Erhaltungszustandes (also mindestens Erhaltungszustand B) des Lebensraumtyps 91E0\* im Sinne des *Salicion albae*. Dafür sind insbesondere erforderlich:

- a. Aufrechterhaltung der Fließgewässer- und Auendynamik mit entsprechenden periodischen Überflutungsereignissen sowie der Bewahrung wechselfeuchter bis nasser Standortverhältnisse
- b. Erhaltung einer hohen Vielfalt an typischen Strukturen der Auwälder wie Tümpel, Flutmulden, naturnahe Flussufer sowie Erhaltung von lebensraumtypischen Kleinstrukturen (z. B. Wurzelteller), gestufter Waldmäntel an Waldinnen- und Waldaußenrändern
- c. Erhaltung und Förderung naturnaher, strukturreicher Bestände des Weichholzauenwaldes in unterschiedlich mosaikartig verteilten Altersstadien mit einer lebensraumtypischen Baum-, Strauch- und Krautschicht und einem standorttypischen Arteninventar
- d. Förderung einer natürlichen dynamischen Auwaldentwicklung durch Nutzungsverzicht auf ausgewählten Teilflächen zur Wiederherstellung der biotopvernetzenden Funktion des Lebensraumtyps in derzeit defizitären Bereichen. Förderung einer natürlichen Verjüngung
- e. Erhaltung und Entwicklung von Weichholzauenwäldern in ihrer Funktion als Lebensraum für die natürlicherweise dort vorkommenden charakteristischen oder regionaltypischen Tier- und Pflanzenarten, unter besonderer Berücksichtigung der stärker gefährdeten oder seltenen Arten sowie Erhaltung der Genotypen der Auengehölze
- f. Vermeidung von Beeinträchtigungen insbesondere durch wassergebundene (Erholungs-)Nutzung und Gewässerunterhaltung.

Standortgerechte Auwaldstrukturen im Überschwemmungsgebiet der Elbe dienen nicht nur dem Erreichen von Naturschutzziele im Rahmen der Natura 2000 – Erhaltungs- und Entwicklungsplanung, sondern können auch einen wichtigen Beitrag zum Schutz von Boden und Wasser liefern. Die Retentionswirkung wird durch die Verringerung der Fließgeschwindigkeit, eine ausgeprägte Infiltrationsfähigkeit der Auenböden und deren verbesserte Wasserspeicherkapazität erreicht. Das ausgeprägte Sedimentfangvermögen der Ufergehölze trägt zur Verringerung der Verlagerung Schadstoff belasteter Sedimente auf landwirtschaftliche Nutzflächen bei. Eine naturnah aufgebaute Weichholzaue bewirkt eine weitgehende Stabilisierung der Uferverläufe. Eine Auenwaldentwicklung mit standortgerechten Gehölzen in nicht abflusswirksamen Teilbereichen des Überschwemmungsgebietes kann sich durchaus vorteilhaft auf den vorsorgenden Hochwasserschutz auswirken.

Aus der vorstehenden Zieldefinition leiten sich aus naturschutzfachlicher Sicht die folgenden **Behandlungsgrundsätze** ab:

- a. Erhaltung des aktuellen Flächenumfanges des LRT
- b. Förderung einer ausreichend dichten Lebensraumvernetzung möglichst auf beiden Seiten entlang des Stromes, aber mindestens alternierend einseitig
- c. Ermöglichung der ungestörten dynamischen Entwicklung des LRT durch Sukzession in hydraulisch unbedenklichen Bereichen
- d. Arrondierung vorhandener derzeit voneinander getrennter Kleinbestände zugunsten größerer strukturreicher Bestände mit Waldcharakter dort, wo hydraulisch unbedenklich
- e. Vorrang der natürlichen Verjüngung lebensraumtypischer Gehölzarten vor künstlicher Verjüngung
- f. Verjüngung über lange Zeiträume
- g. Wichtige Voraussetzung bei Pflanzungen ist entsprechend § 40 Abs. 4 BNatSchG die Verwendung gebietsheimischer Pflanzmaterials, insbesondere bei den Baumarten, die bisher nicht den Bestimmungen des Forstsaatgutgesetzes unterliegen (Weiden, Flatterulme). Die Weidenarten und Schwarzpappel sind in autochthonen Beständen der Umgebung als Steckhölzer oder Wildlinge zu gewinnen.
- h. dauerhaftes Belassen einer ausreichenden Anzahl von Biotop- und Altbäumen sowie Totholz bis zum natürlichen Zerfall sowie Erhaltung von Horst- und Höhlenbäumen

### **Naturschutzfachliche Bewertung des aktuellen Bestandes des LRT 91E0\* im Biosphärenreservat Niedersächsische Elbtalaue bzw. im FFH-Gebiet 074**

Die FFH-Richtlinie fordert die Erhaltung bzw. Wiederherstellung eines günstigen Erhaltungszustandes der FFH-LRT nach Anhang I der FFH-RL. Als günstiger Erhaltungszustand gelten jeweils die Bewertungsstufen A (hervorragend) sowie B (gut) der grundsätzlich dreiteiligen Klassifizierung. Bei den Wald-Lebensraumtypen spielen generell die Kriterien Habitatstrukturen (verschiedene Waldentwicklungsphasen in mosaikartiger Verzahnung, Struktureichtum, Schichtung, Alt- und Totholzanteil, Höhlen- und Hortbäume, Lianenreichtum), Arteninventar und Artenzusammensetzung sowie (Freiheit von) Beeinträchtigungen eine Rolle. Für den LRT 91E0\* sind darüber hinaus die Vollständigkeit der typischen Standortstrukturen (Überflutungsdynamik, naturnahe Uferstrukturen, Auengewässer in verschiedenen Verlandungsstadien, feuchte Senken, Tümpel, Flutmulden und -rinnen, Verlichtungen etc.) von Bedeutung. Als wesentliche Parameter für die Qualität des Weiden-Auenwald-Komplexes (LRT 91E0\*), insbesondere für die Habitatqualität der charakteristischen (Tier-)Arten des LRT, spielen neben der Flächengröße, das Alter der Bestände insgesamt, aber auch das Alter und das Volumen der einzelnen Stämme sowie der Vernetzungsgrad der Bestände untereinander eine zentrale Rolle. (MÖLLER 1999). Detaillierte Angaben zur Erfassung und Bewertung des LRT 91E0\* finden sich bei DRACHENFELS 2014 und NLWKN 2009.

#### ***Bewertung der aktuellen Flächengröße und Flächenverteilung des LRT 91E0\* (Salicion albae) innerhalb des FFH-Gebietes 074***

An der Elbe würden Weichholz-Auenwälder des *Salicion albae* im natürlichen Zustand in breiten Gürteln den größten Teil des Elbufers sowie der tieferen Auenlagen einnehmen. Hier bilden sie die potenziell natürliche Vegetation (PnV). Im Vergleich zum standörtlichen Potenzial innerhalb der Elbtalaue für Weichholz-Auenwälder des LRT 91E0\* nehmen die vorhandenen LRT-Flächen eine sehr geringe Gesamtfläche ein. Die nachfolgende Tab. 1 gibt einen Überblick über den Gesamtbestand des LRT 91E0\* im FFH-Gebiet 074 in ha und % (differenziert nach Erhaltungszuständen).

**Tab. 1: Flächenanteile des Weichholz-Auenwaldes (Untertyp des LRT 91E0\*) im FFH-Gebiet 074 „Elbeniederung zwischen Schnackenburg und Geesthacht“ (in % und ha differenziert nach Erhaltungszuständen); A: hervorragend, B: gut, C: mäßig bis schlecht**

Bereich	gesamt (ohne E)	Erhaltungszustand									gesamt (mit E)
		A		B		C		NN		E	
	ha	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	ha
<i>innerhalb BR</i>	243,5	23,1	9,5	102,5	42,1	92,3	37,9	25,6	10,5	2,2	245,7
– innerhalb ÜSG Elbe <sup>1)</sup>	186,5	17,0	9,1	74,4	39,9	69,5	37,3	25,6	13,7	0,6	187,1
– außerhalb ÜSG Elbe <sup>2)</sup>	57,0	6,1	10,7	28,1	49,3	22,8	48,5	-	-	1,6	58,6
<i>außerhalb BR</i> <sup>3)</sup>	7,1	-	-	5,1	71,8	2,0	28,2	-	-	-	7,1
<b>Gesamt</b>	<b>250,6</b>	<b>23,1</b>	<b>9,2</b>	<b>107,6</b>	<b>42,9</b>	<b>94,3</b>	<b>37,6</b>	<b>25,6</b>	<b>10,2</b>	<b>2,2</b>	<b>252,8</b>

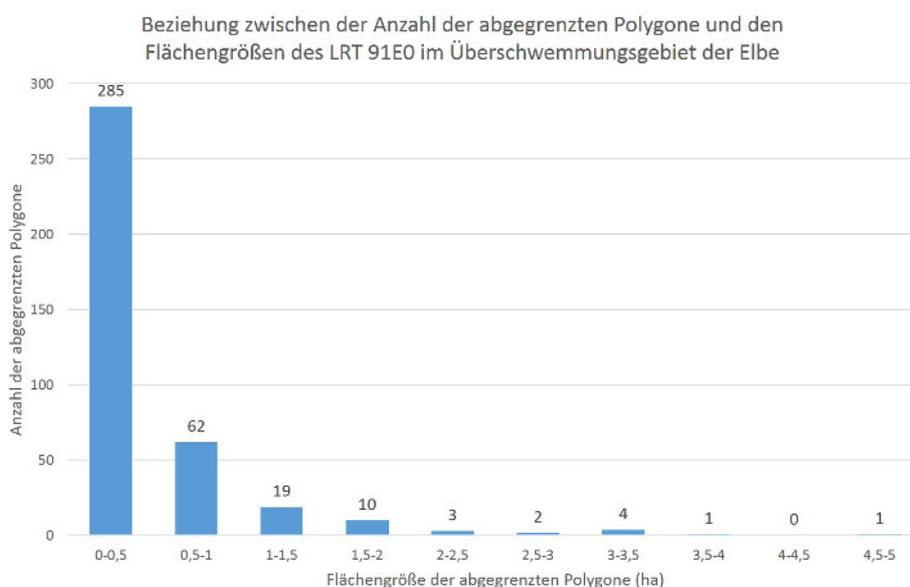
1) Datenherkunft: FFH-Basisinventarisierung 2001-2009 incl. Nachkartierung des LRT 91E0 durch O. Schwarzer und H.-J. Kelm im Jahr 2013

2) Datenherkunft: FFH-Basisinventarisierung 2001-2009; Geodaten durch NLWKN (J. Peters) im Jahr 2014 zur Verfügung gestellt; für jedes erfasste Flächenpolygon wurde der erste Haupt-FFH-LRT mit seinem jeweiligen Erhaltungszustand ausgewertet, berücksichtigt wurden nur die Biotoptypen WWA und WWS

3) Datenherkunft: FFH-Basisinventarisierung Inula 2013/14 im Auftrag NLWKN

Für etwa 1.450 ha Elbvorlandfläche besteht nach Auswertung des digitalen Geländemodells aus 2007 allein auf Grund der topografischen Lage bezogen auf den mittleren Wasserstand (1 m unterhalb bzw. 1m oberhalb) standörtliches Potenzial für Weichholz-Auenwald. Daraus ist abzuleiten, dass der prioritäre LRT 91E0\* in seiner Ausprägung als Weichholz-Auenwald im ÜSG der Elbe nur auf 13,5 % der potenziell vorhandenen Standorte tatsächlich vorkommt.

Aus diesem Grund wurde mit Stand 2009 der Bestand des LRT bei einer damals angenommenen Größenordnung von ca. 186 ha Weichholz-Auenwald innerhalb des Biosphärenreservates sowohl landesweit als auch bei ausschließlicher Betrachtung der kontinentalen Region als unzureichend eingestuft (vgl. Vollzugshinweis „Weiden-Auwälder (91E0\*)“, NLWKN 2009).



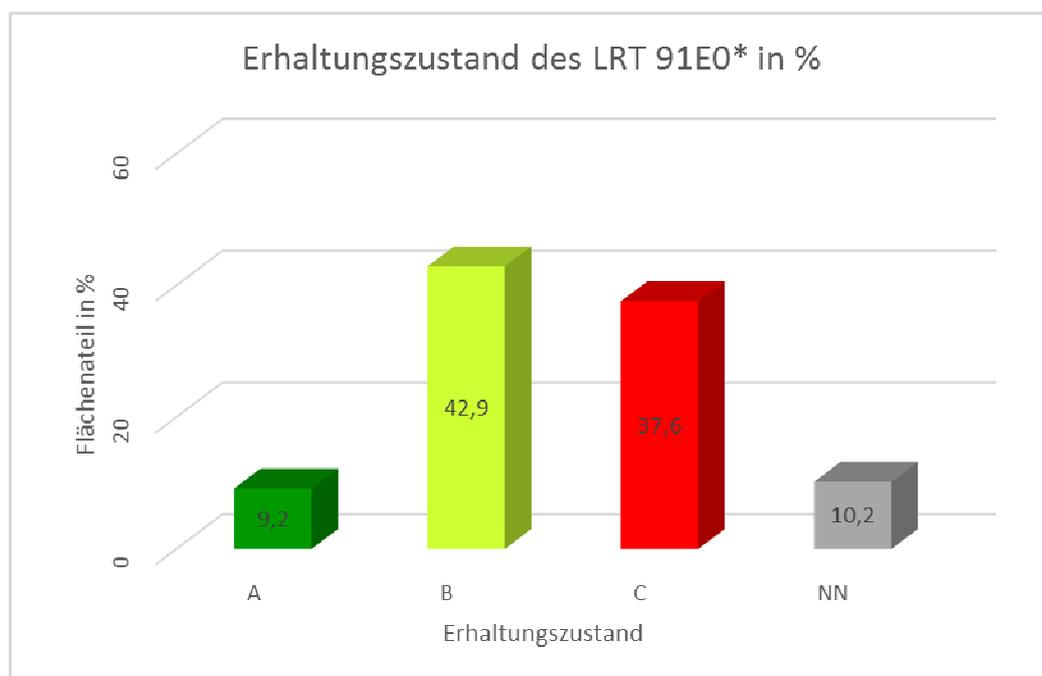
**Abb. 2: Anzahl und Flächengrößen der Polygone des LRT 91E0\* im ÜSG der Elbe**

Auch in der räumlichen Verbreitung innerhalb des Gebietes und insbesondere hinsichtlich des Flächenumfangs der einzelnen Weichholz-Auenwaldbestände gibt es erhebliche Defizite. So finden sich beispielsweise in der Gartower Elbmarsch einige Uferabschnitte zwischen ca. 1 und bis zu 6 km Länge, an denen die Weichholzaue gänzlich fehlt. Da auch auf Brandenburgischer Seite der Elbe entsprechende Strukturen kaum oder nicht vorhanden sind, ist an den genannten Uferabschnitten eine ausreichende Vernetzung des LRT nicht gewährleistet.

Bei der Betrachtung der insgesamt erfassten 387 Einzelflächen des LRT 91E0\* fällt auf, dass von diesen 387 Einzelflächen 285 oder 73 % kleiner als 0,5 ha sind. Weitere 62 Flächen oder 16 % umfassen eine Größe von 0,5 bis 1 ha, d. h. **89 %** der Weichholz-Auenwaldbestände im ÜSG der Elbe weisen eine Flächenausdehnung von **unter einem ha** auf. Eine im Vergleich zu anderen Waldtypen geringe Flächenausdehnung ist zwar beim Weichholz-Auenwald auf Grund der linearen Ausrichtung geeigneter Standortverhältnisse vielfach von Natur aus gegeben, die Entwicklung auch weitflächigerer Bestände dort, wo möglich, wird aber aus Naturschutzsicht für erforderlich gehalten, um die Lebensraumsprüche v. a. der charakteristischen Tierarten dauerhaft zu gewährleisten.

### **Bewertung der qualitativen Ausprägung des LRT 91E0\* (*Salicion albae*) innerhalb des FFH-Gebietes 074**

Der Gesamtbestand des Weichholz-Auenwaldes in der Ausprägung als Weiden-Auwald (*Salicion albae*) im FFH-Gebiet 074 umfasst eine Größenordnung von 250,6 ha. Davon befinden sich 94,3 ha oder 37,6 % nachweislich in einem mäßigen bis schlechten Erhaltungszustand (Erhaltungszustand C). Für weitere 10,2 % kann derzeit kein Erhaltungszustand angegeben werden. Eine überschlägige Betrachtung der Bestände ohne Zuordnung des Erhaltungszustandes zeigt, dass es sich oftmals um sehr kleine weit gestreute Flächen ohne direkten Anschluss an bereits vorhandene gut ausgeprägte Weiden-Auwälder handelt. Bei einer sehr vorsichtigen Einschätzung ist bei diesen Beständen für ca. 50 % der Erhaltungszustand C zu unterstellen. Der Anteil des LRT 91E0\* in guter Ausprägung innerhalb des FFH-Gebietes 074 liegt somit bei rund 58 % und kann daher in der qualitativen Bilanz (noch) als gut bewertet werden<sup>7</sup>. Dessen ungeachtet weisen 43 % der Weiden-Auwaldbestände qualitative Mängel auf, für die Maßnahmen zu einer Verbesserung des Erhaltungszustandes ergriffen werden müssen.



**Abb. 3: Erhaltungszustand des LRT 91E0\* in %**

<sup>7</sup> Bei einem Flächenanteil von < 50 % würde sich nach NLWKN (2015) ein Gesamt-Erhaltungszustand C ergeben.

Nach den Ergebnissen der FFH-Basisinventarisierung innerhalb des FFH-Gebietes (2002 – 2014) hat sich gezeigt, dass als häufigste Ursachen für defizitäre Erhaltungszustände folgende Faktoren zu benennen sind:

- Strukturelle Mängel durch das Fehlen unterschiedlicher Waldentwicklungsphasen (überwiegen junger, gleichförmiger Bestände), Mangel an Alt- und Totholz, Mangel an vielgestaltigen, gestuften Randökotonen durch Gehölzrückschnitte im Rahmen des vorsorgenden Hochwasserschutzes und durch Beweidung.
- Zurückdrängung und Fragmentierung der Weichholz-Auenwälder durch Gehölzrückschnitte im Rahmen von Unterhaltungsmaßnahmen, Maßnahmen des Hochwasserschutzes und Beweidung und damit Störung des Biotopverbundes.
- Negative Auswirkungen auf den Wasserhaushalt und die Überflutungsdynamik durch strombauliche Maßnahmen und hydromeliorative Eingriffe in die Flussaue.
- Einwanderung und Ausbreitung konkurrenzstarker Neophyten<sup>8</sup>
- Beunruhigung und Beeinträchtigungen durch Angler, lagernde Sportbootfahrer und andere Freizeitnutzer
- Schadstoffanreicherung sowie übermäßige Nährstoffanreicherung durch belastetes Flusswasser, z. T. auch Grün-  
gutablagerungen (letzteres v. a. außerhalb des Biosphärenreservates)

Strukturell sehr einförmige Bestände finden sich z. B. dort, wo an Bodenentnahmestellen der 1970er und 1980er Jahre Weiden über Stecklinge eingebracht worden sind.

Als sehr gut bis gut bewertete Bestände (Erhaltungszustand A und B) sind in der Regel älter und verfügen aufgrund ihrer Dynamik in räumlichem und zeitlichem Wechsel unterschiedlicher Sukzessionsstadien und der damit verbundenen Strukturvielfalt über eine überdurchschnittlich hohe Artenvielfalt und damit einhergehend eine hohe genetische Diversität.

Qualitativ entsprechend hochwertige Auenwaldbestände mit komplexen Strukturen werden einer Vielzahl von Lebensraumansprüchen der Tierwelt gerecht. In der Wirbellosenfauna treffen hier, je nach Entwicklung der Strukturen in Raum und Zeit, Arten des Offenlandes, Arten halboffener Landschaften und typische Waldarten aufeinander, was den besonderen Artenreichtum der Auenwälder bedingt. Je größer und zusammenhängender sich solche Biotopkomplexe darstellen, desto eher entwickeln sich stabile Populationen der charakteristischen Tierarten. Durch die Dynamik des Lebensraums unterliegen auch die charakteristischen Arten der Weichholzaue in ihrer Populationsdynamik erheblichen Schwankungen. Natürliche Risiken, wie z. B. (extreme) Hochwasserereignisse, können nur dann abgepuffert werden, wenn ausreichend große Auwaldbestände in einem guten ökologischen Verbund zur Verfügung stehen.

Fließgewässer wie die Elbe bieten als Vernetzungsstrukturen zwar vergleichsweise günstige Ausbreitungsbedingungen nicht nur für semiaquatische Arten, dennoch dürfen in einem funktionierenden Biotopverbund die beteiligten Flächen bestimmte Mindestgrößen nicht unterschreiten.

Die aktuelle Fragmentierung in zahlreiche z.T. sehr kleine Wald- bzw. Gehölzparzellen ist daher aus faunistischer Sicht grundsätzlich als ein erhebliches Defizit aufzufassen.

So begründet sich, dass die im Folgenden dargelegten Maßnahmen zur Verbesserung des Erhaltungszustands des Weidenauwaldes nicht nur qualitative Aspekte enthalten sondern auch Hinweise auf denkbare räumliche Ausweitungen, sofern es mit den Zielen des Hochwasserschutzes vereinbar ist.

---

<sup>8</sup> Eine zunehmende Ausbreitung wurde für folgende Neophyten beobachtet:

Stachelgurke (*Echinocystis lobata*) u.a. im Elbvorland zw. Radegast und Barförde (Gebietsteil C-03) sowie im Elbvorland zwischen Vietze und Laase (Gebietsteil C-65)

Eschen-Ahorn (*Acer negundo*) z. B. im Elbvorland bei Vorland Wulfsahl (Gebietsteil C-50) und weiten Teilen des Amtes Neuhaus

Pennsylvanische Esche (*Fraxinus pennsylvanica*) in den Elbvorländern bei Alt Garge und Walmsburg (Gebietsteile C-07 und C-08)

**Fazit:** Der LRT 91E0\* (Weichholz-Auenwälder des *Salicion albae*) befindet sich im Plangebiet derzeit hinsichtlich der Flächengröße in einem ungünstigen Erhaltungszustand (C). Dieses gilt für die absolute Flächengröße von derzeit<sup>9</sup> **186,5 ha** im ÜSG der Elbe bzw. einem Gesamtvorkommen innerhalb des FFH-Gebietes 074 von ca. 251 ha genauso wie bei der Betrachtung der insgesamt erfassten 387 Einzelflächen des LRT (ÜSG Elbe).

Bei ausschließlicher Betrachtung der qualitativen Ausprägung der vorhandenen Bestände des LRT 91E0\* (Weichholz-Auenwälder des *Salicion albae*) ergibt sich (noch) ein günstiger Erhaltungszustand (B). Doch auch unter qualitativen Gesichtspunkten bestehen aktuell bei ca. 43 % des Gesamtvorkommens des Weichholz-Auenwaldes Mängel, die Maßnahmen zur Herstellung eines günstigen Erhaltungszustandes (mindestens Erhaltungszustand B) erfordern.

## Geeignete Maßnahmen zur Verbesserung des Erhaltungszustands

In Ergänzung der auf Seite 10 genannten Behandlungsgrundsätze enthält die nachfolgende Aufstellung die wesentlichen Maßnahmen, die zu einer inneren Verbesserung der Strukturen von Weiden-Auwäldern des LRT 91E0\* und damit zu einer Verbesserung des Erhaltungszustandes geeignet und erforderlich sind:

- Erhalt und Förderung von Altbäumen, die z.B. als Horst- und Höhlenbäume geeignet sind
- Erhalt von Solitärbäumen, insbesondere von Schwarzpappeln
- Erhalt von liegendem und stehendem Totholz sowie Wurzeltellern
- Förderung der Naturverjüngung, v.a. durch Offenhaltung des Bodens und Zulassen der Fließgewässerdynamik (Rückbau von Steinschüttungen und Buhnen)
- Erhaltung und Vermehrung des Bestandes der Schwarzpappel durch Naturverjüngung und gezielte Anpflanzung mit autochthonem Pflanzenmaterial in Abstimmung mit den Belangen des Hochwasserschutzes
- Kontrolle und ggf. Entfernung aufkommender Neophyten
- Ausschluss der Beweidung
- Ausschluss von Störungen durch Besucherverkehr (z.B. Lagern, Zelten, Feuer)

---

<sup>9</sup> Stand Juni 2015.

## Standörtliche, zeitliche und räumliche Entwicklungsoptionen für den Weiden-Auwald (LRT 91E0\*)

Grundsätzlich erfordert die Entwicklung des LRT 91E0\* im Sinne des *Salicion albae* Standorte mit entsprechendem Biotopentwicklungspotenzial, also einer naturnahen Überflutungsdynamik sowie längere Entwicklungszeiträume. Auch wenn der LRT 91E0\* gegenüber anderen Waldlebensraumtypen aufgrund der hohen Regenerationsfähigkeit der maßgeblich am Aufbau der Bestände beteiligten Gehölzarten mit einer Mindestentwicklungsdauer von 25 Jahren zu den vergleichsweise kurzfristig wiederherstellbaren Waldtypen gehört, benötigt auch hier die Herausbildung qualitativ guter bis hervorragender, in zeitlicher und räumlicher Dimension stabiler Sukzessionsstadien, Zeiträume von bis zu 150 Jahren (DRACHENFELS 2012).

Die spontane Entwicklung des Weichholz-Auenwaldes ist dadurch erschwert, dass die generative Vermehrung der Weichhölzer auf Rohböden angewiesen ist. Die Keimung der kleinen kurzlebigen Weiden- und Pappelsamen gelingt nur auf während der Flug- und Keimzeit gut durchfeuchteten vegetationsarmen Offenbodenstandorten. Durch Erosion und Sedimentation bei Hochwässern, in manchen Jahren auch durch Eisgang entstehen in naturnahen Flussauen diese Standorte immer wieder neu. Uferverbauungen und eine eingeschränkte Dynamik behindern die natürliche Sukzession. Selbst zunächst erfolgreich verlaufene Ansiedlungen von Gehölzen unterliegen einer Vielzahl von Faktoren (Sommerhochwasser, Trockenstress oder Verbiss durch Beweidung und Wild), die einer erfolgreichen Etablierung von Gehölzen entgegenwirken können. Zahlreiche Beispiele belegen, dass es in Röhrichten und Flutrasen vermutlich aufgrund eines starken Konkurrenzdrucks durch die Gräser nur selten zu einer dauerhaften Gehölzansiedlung kommt (KELM mdl., PATZ 2001). Offensichtlich günstiger ist die Situation beim Vorhandensein älterer Gehölzbestände. Ist eine Ausdunklung durch überragende Randäste oder eine großflächige Bodenverwundung gegeben, lässt sich in unmittelbarer Nachbarschaft bereits bestehender Gehölzbestände regelmäßig eine weitere Gehölzentwicklung beobachten (PATZ 2001).

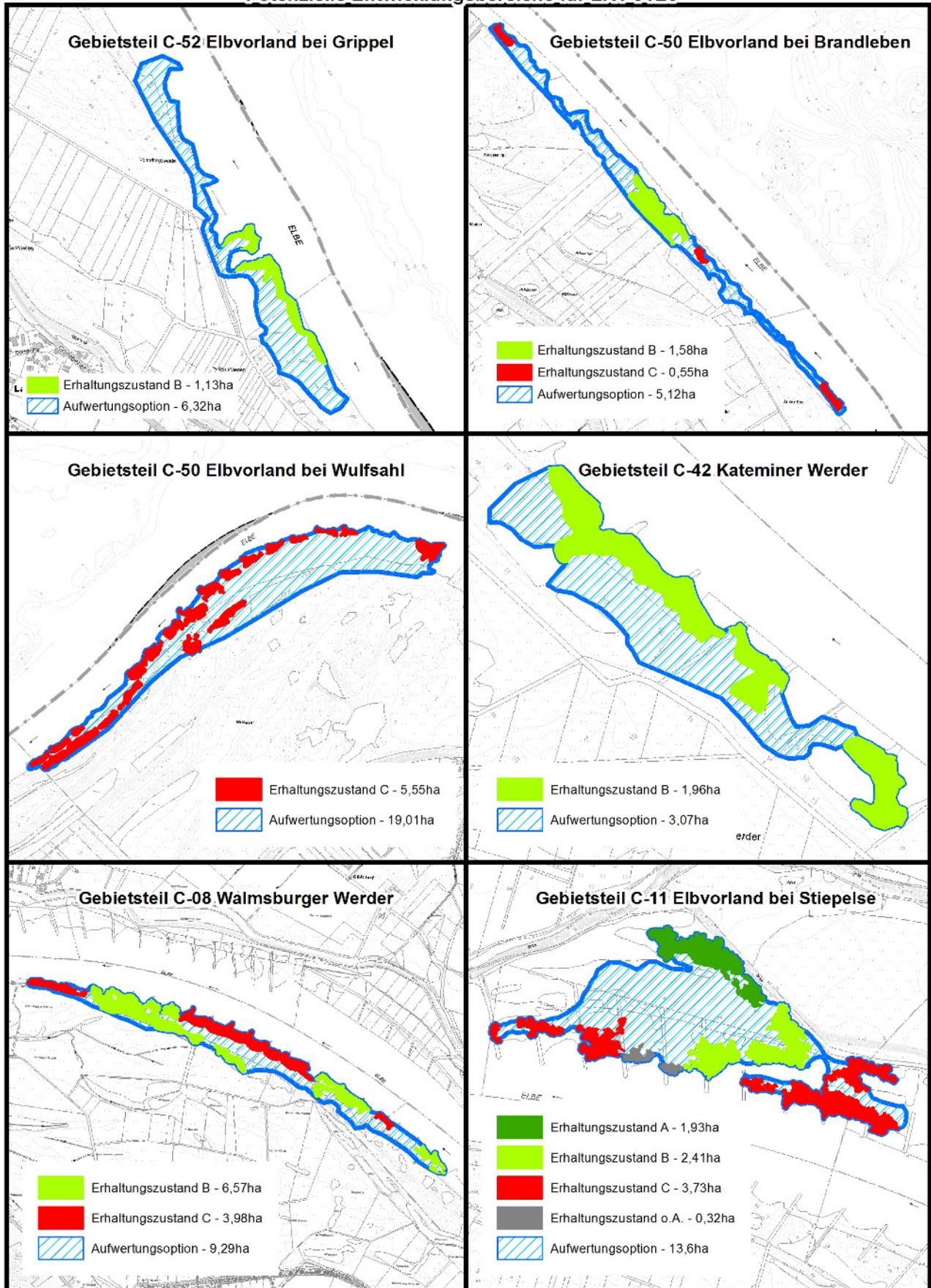
Eine erfolgreiche Neuentwicklung von Beständen der Weichholzaue setzt deshalb eine gezielte Auswahl geeigneter Standorte voraus. Ein großer Teil des ursprünglich vorhandenen Standortpotenzials für die Etablierung von Weichholz-Auenwäldern an der Elbe ist durch die anthropogen bedingten Veränderungen der Aue vermutlich bereits ausgeschöpft. Geeignete Vorgehensweisen zur Schaffung neuer Standorte für die Entwicklung von Weichholz-Auenwäldern können die Wiederanbindung von Flutrinnen und Altarmen oder die Entsiegelung verbauter Uferpartien darstellen.

Für die Ermittlung von Potenzialflächen für die Weichholz-Auenwaldentwicklung sind die nachfolgenden Kriterien geeignet und zwingend zu berücksichtigen:

1. Die potenziell möglichen Standorte für die Entstehung von Weichholzauenwäldern müssen in Abhängigkeit von Höhenlage und damit Überflutungshäufigkeit geeignet sein.
2. Wichtigste Voraussetzung für die Etablierung von Weichholzauenwäldern sind Flächen, auf denen bodendynamische Prozesse ablaufen können. Diese müssen zugelassen oder im Einzelfall initiiert werden.
3. Innerhalb des standörtlichen Potenzials sind diejenigen Bereiche zu identifizieren, die aufgrund ihrer Flächenausdehnung und des vorhandenen Bewuchses für eine Ausdehnung oder Arrondierung von Weichholz-Auenwald geeignet sind (breite Vorländer, bereits vorhandene Gebüschstrukturen oder Vorwaldstadien).
4. Naturschutzfachliche Zielkonflikte sind durch die Ermittlung von Flächen, die für eine Ausdehnung der Weichholz-Auenwälder durch das Vorkommen best. Ausprägungen von Biotop- und FFH-Lebensraumtypen des von Grünlandes, der Staudenfluren und Gewässer oder bestimmter Tierarten nicht in Frage kommen, auszuschließen.
5. Konflikte mit dem Hochwasserschutz sind zwingend zu vermeiden. Potenzielle Entwicklungs- und Arrondierungsflächen für die Weichholzauenentwicklung sind auf die Vereinbarkeit mit dem Hochwasserschutz zu überprüfen. Insbesondere Engstellen im Abflussprofil sind Ausschlussflächen für weitere Auwaldentwicklung.

Unter Beachtung der genannten Kriterien wurden beispielhaft die nachfolgend dargestellten 6 Bereiche ermittelt, die eine besondere Eignung für eine Arrondierung und Aufwertung bereits vorhandener LRT 91E0\*-Teilflächen aufweisen.

Potenzielle Entwicklungsbereiche für LRT 91E0\*



## QUELLEN

### Literatur

- DRACHENFELS, O. V. (2011): Kartierschlüssel für Biotoptypen in Niedersachsen unter besonderer Berücksichtigung der gesetzlich geschützten Biotope sowie der Lebensraumtypen von Anhang I der FFH-Richtlinie, stand März 2011. Naturschutz Landschaftspf. Niedersachs., Heft A/4, 1 – 326, Hannover.
- DRACHENFELS, O. V. (2012): Einstufung der Biotoptypen in Niedersachsen. Regenerationsfähigkeit, Wertstufen, Grundwasserabhängigkeit, Nährstoffempfindlichkeit, Gefährdung. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen 1/2012, 1-60.
- DRACHENFELS, O. V. (2014) Hinweise zur Definition und Kartierung der Lebensraumtypen von Anh. I der FFH-Richtlinie in Niedersachsen inkl. Anhang: Hinweise und Tabellen zur Bewertung des Erhaltungszustandes der FFH-Lebensraumtypen in Niedersachsen, Stand März 2012, Änderungen Februar 2015.
- ENTERA (2008): FFH-Verträglichkeitsuntersuchung zu vollzogenen und geplanten Gehölzschnittmaßnahmen im Schutzgebiet „Elbeniederung zwischen Schnackenburg und Geesthacht, unveröffentl. Gutachten im Auftrag der Landkreise Lüneburg und Lüchow-Dannenberg, 207 S., Hannover.
- GARVE (2007): Verbreitungsatlas der Farn- und Blütenpflanzen in Niedersachsen und Bremen. Naturschutz Landschaftspf. Niedersachs., Heft 43, 1 – 507, Hannover.
- LAU (LANDESAMT F. UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT) (2002): Die Lebensraumtypen nach Anhang I der Flora-Fauna-Habita-Richtlinie im Land Sachsen-Anhalt. In: Naturschutz im Land Sachsen-Anhalt 39, Sonderheft, 368 S. Halle.
- MÖLLER, G. (2001): Holzbewohnende Insekten und Pilze in der Weichholzaue. In: Baum des Jahres 1999 Silberweide. Landesforstanstalt Eberswalde & Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg (Hrsg.), S. 66 – 76, Eberswalde.
- MOSNER, E., I. LEYER, S. SCHNEIDER, B. LEHMANN & H. GALONSKA (2010): Praxisleitfaden zur Weichholzaunen-Etablierung an Bundeswasserstraßen, ein Beitrag zum naturverträglichen Hochwasserschutz. – Bericht aus dem DBU-Fördervorhaben KoWeB. 109 S., Marburg u. Karlsruhe.
- NLWKN (2009): Vollzugshinweise zum Schutz der FFH-Lebensraumtypen sowie weiterer Biotoptypen mit landesweiter Bedeutung in Niedersachsen. Teil 1: FFH-Lebensraumtypen und Biotoptypen mit höchster Priorität für Erhaltungs- und Entwicklungsmaßnahmen – Weiden-Auwälder. – Niedersächsische Strategie zum Arten- und Biotopschutz, Hannover, 15 S., unveröffentl.
- NLWKN (2015): Leitfaden zur Managementplanung für Natura 2000-Gebiete in Niedersachsen. Entwurf Stand 05.08.2015, 65 S., unveröffentl.
- OERTZEN, G. (2001): Weichholzaunenwälder an der Niedersächsischen Mittelelbe. Diplomarbeit FH Hildesheim/Holzminde/Göttingen, FB Forstwirtschaft, 51 S., unveröffentl.
- PATZ, G. (2001): Sukzessionsmechanismen hin zur Weichholzaue. In: Baum des Jahres 1999 Silberweide. Landesforstanstalt Eberswalde & Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg (Hrsg.), S. 31 – 37, Eberswalde.
- SCHOLZ, M., S. STAB, F. DZIOCK & K. HENLE (Hrsg.) (2005): Lebensräume der Elbe und ihrer Auen. Konzepte für die nachhaltige Entwicklung einer Flusslandschaft. Bd. 4, Berlin.
- SPÄTH, T. (1997): Status, Defizite und Entwicklungsmöglichkeiten von Auewäldern an der unteren Mittelelbe. Diplomarbeit im Lehrgebiet Naturschutz und Landschaftspflege an der FH Hildesheim-Holzminde, FB Forstwirtschaft, Göttingen.
- SSYMANK, A., U. HAUKE, C. RÜCKRIEM & E. SCHRÖDER (1998): Das europäische Schutzgebietssystem NATURA 2000. BfN-Handbuch zur Umsetzung der Fauna-Flora-Habita-Richtlinie (92/43/EWG) und der Vogelschutzrichtlinie (79/409/EWG). Schriftr. f. Landschaftspf. u. NatSch., Heft 53, 560 S. Bonn-Bad Godesberg.

**Schriftliche, mündliche und fernmündliche Auskünfte**

DRACHENFELS, O.v, mündl. Mitteilung v. 6. Mai 2015.

FISCHER, C., fernmündl. Auskunft v. 21. Februar 2016.

GÜRLICH, S., schriftl. v. 4. Dezember 2015.

KELM, H.-J., mündl. und schriftl. Mitteilungen 2007 und 2015.

KÖHLER, J., schriftl. Mitteilung v. 2. Dezember 2015.

MÖLLER, M., fernmündl. Auskunft v. 09. Juni 2008.