



BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU
KARLSRUHE · HAMBURG · ILMENAU



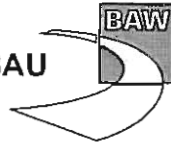
GUTACHTEN

**Naturdatenanalyse und wasserbauliche
Systemanalyse
zur
Ausgleichsrinne (A+E-Rinne)
in der
Hahnöfer Nebelbe**

(BAW-Nr.: A39550210099)



BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU
Karlsruhe · Hamburg · Ilmenau



Auftraggeber: Hamburg Port Authority
Neuer Wandrahm 4
20458 Hamburg

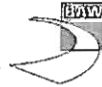
Auftrag vom: 30.10.2007 Az.: Bestellnummer 45000309951

Auftrags-Nr.: BAW-Nr. A39550210089
BAW-Nr. A39550210089

Aufgestellt von: Abteilung: Wasserbau im Küstenbereich
Referat: Ästuarsysteme I (K2)
Bearbeiter: Dipl.geoökol. Marko Kastens (K2)
Dipl.-Ing. (FH) U.Schiller (K2)
Dipl.-Ing. (FH) S.Gärtner (K2)

Hamburg, im März 2010

Das Gutachten darf nur ungekürzt vervielfältigt werden. Die Vervielfältigung und eine Veröffentlichung bedürfen der schriftlichen Genehmigung der BAW.



Zusammenfassung

Aufgrund der Absperrung der Alten Süderelbe im Jahr 1962, dem Bau des Neß-Leitdammes in den Jahren 1969/1970 und früheren Fahrrinnenanpassungen der Elbe vor 1999 ist es im Bereich Hahnöfer Nebeneibe/Mühlenberger Loch u.a. aufgrund von Strömungsreduktionen, Verschiebungen der Tidephasen zwischen Haupt- und Nebeneibe sowie fehlender Füllung und Entleerung der Alten Süderelbe zu großflächigen Sedimentationen gekommen. Um im aquatischen Bereich die Verbesserung der Durchströmung und die langfristige Erhaltung des ökologischen Systems Hahnöfer Nebeneibe/Mühlenberger Loch zu gewährleisten, wurde in Zusammenhang mit der letzten Fahrrinnenanpassung der Elbe im Jahr 1999 im Bereich Hahnöfer Nebeneibe/Mühlenberger Loch eine Rinne als Ausgleichsmaßnahme geplant. Vor Realisierung der Ausgleichsmaßnahme wurde jedoch in den Jahren 2001 und 2002 ein Teil (ca. 170 ha, PFB-DA (2000)) des Mühlenberger Loches mit einer Gesamtfäche von rd. 875 ha für die Aufspülung der Airbus-Fläche verwendet, wodurch erhebliche Veränderungen in der Tidedynamik im Bereich Hahnöfer Nebeneibe/Mühlenberger Loch auftraten. Die im Jahr 2003 realisierte Ausgleichsrinne (A+E-Rinne) zeigte in der Folgezeit starke Sedimentationen.

Um die Funktionsfähigkeit der A+E-Rinne im Mühlenberger Loch und in der Hahnöfer Nebeneibe unter den geänderten Randbedingungen nach der DA-Erweiterung aus wasserbaulicher Sicht beurteilen und ggf. optimieren zu können, wurde vom Projektbüro „Fahrrinnenanpassung von Unter- und Außeneibe“ beim Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg die Durchführung entsprechender Untersuchungen initiiert, die von HPA als Rechtsnachfolger des TdV DASA-Erweiterung A3xx und als Träger dieses Projektes bei der BAW in Auftrag gegeben wurden.

Es wurde ein zweistufiges Untersuchungskonzept in Abstimmung mit dem Auftraggeber entwickelt. Im ersten Teil – der Voruntersuchung – sind sieben verschiedene Varianten untersucht worden, um Optimierungspotenziale aufzudecken. In der Hauptuntersuchung wurde schließlich – nach umfassender Diskussion – eine vertiefte Analyse und Prognose der morphologischen Stabilität der A+E-Rinne, wenn diese erneut gebaggert werden würde, durchgeführt.

Die wichtigsten Ergebnisse aus der Voruntersuchung, den Analysen der Naturdaten und der Modelluntersuchung lauten:

- Alle Varianten aus der Voruntersuchung zeigen maximal nur eine sehr geringe positive Wirkung bezüglich der Strömungssituation in der A+E-Rinne. Dominant bleiben hohe Stauwasserdauern und damit eine Begünstigung der Sedimentation von suspendiertem Material in der Wassersäule, was langfristig ohne Unterhaltungsmaßnahmen zu einer fortgesetzten Verlandung des Gebietes führen wird. Drei der untersuchten Varianten bestanden aus Ein-Rinnen-Systemen im Gegensatz zu dem heute herrschenden Zwei-Rinnen-System aus Este-Fahrwasser und A+E-Rinne. In zwei dieser Varianten wird die Strömung in der A+E-Rinne ohne große Umlenkung geführt:



diese Varianten können aus wasserbaulicher Sicht empfohlen werden, da die oben erwähnten Verlandungstendenzen verzögert werden.

- Die Analyse der gemessenen Strömungsgeschwindigkeiten zeigt, dass vom Sept.2003 bis zum Oktober 2005 die maximale Flutstromgeschwindigkeit in der östlichen A+E-Rinne um 10 cm/s oder etwa 12 % abgenommen hat. Die häufigsten Strömungsgeschwindigkeiten liegen im Intervall zwischen ± 25 cm/s. Die Ebbstromgeschwindigkeit bleibt innerhalb einer kleinen Schwankungsbreite unverändert, sowie auch die Strömungen in der restlichen Hahnöfer Nebeneibe.
- Eine Analyse der Pelldaten zeigt, dass die östliche A+E-Rinne zwei bis drei Jahre nach ihrer Fertigstellung um mehr als 2m aufsedimentiert ist und damit bei annähernd Niedrigwasser kaum noch durchströmt werden kann.
- Aus der Modelluntersuchung lässt sich ableiten, dass das Grundmuster der Schwebstoffdynamik in der Hahnöfer Nebeneibe / im Mühlenberger Loch unabhängig ist von der umgelagerten Menge bei Neßsand. Es wird durch die Umlagerung jedoch verstärkt und die Depositionsrate in der östlichen A+E-Rinne liegt um bis zu 3 % höher, wenn 3035 m³ Trockensubstanz pro Tide umgelagert wird (maximale realistische Umlagerung).
- Die geplante Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außeneibe bewirkt eine ca. 20 prozentige Reduktion der Depositionsrate in der A+E-Rinne. Dieses wurde für den Sollzustand der A+E-Rinne (Sollsohle bei -3,9 m NN) in der Modelluntersuchung berechnet.
- Überschlüssig und mit allen erwähnten Unsicherheiten und unter allen Annahmen kann aufgrund der Modelluntersuchung von einer Wiederverlandung der Rinne in ca. 2 – 3 Jahren nach einer erneuten Wiederherstellung ausgegangen werden. Singuläre Ereignisse wie beispielsweise Sturmfluten, Kantenfluten oder hohe Oberwasserzuflüsse sind dabei in ihrer Wirkung nicht berücksichtigt worden.
- Der in der Modelluntersuchung errechnete residuelle advective Schwebstofftransport zeigt deutlich eine Konvergenzzone der Transporte in etwa entlang des nördlichen Este-Fahrwassers. Ein weiterer Transportweg zeigt in Richtung des Mühlenberger Lochs unterhalb der Dasa-Erweiterungsfläche.

Ohne Eingriffe wird der bestehende Sedimentationsprozess in der Hahnöfer Nebeneibe mit dem Mühlenberger Loch zu einer langfristigen Verlandung des Mühlenberger Lochs führen. Dieses wird die heutige Durchströmbarkeit der Hahnöfer Nebeneibe reduzieren und einen sich selbst verstärkenden Prozess der Rückbildung der Nebeneibe initiieren. Ebenfalls wird dann für das Este-Fahrwasser eine intensivere Unterhaltung erforderlich werden.

Es können zwei Empfehlungen ausgesprochen werden.

Kurzfristig sollte die Entwicklung der Sedimentation durch ein prozessorientiertes Monitoring weitergehend analysiert werden. Möglicherweise reicht die Sedimententnahme zur Unterhaltung des Este-Fahrwassers aus, um den Sedimentationsprozess unterhalb der DA-Erweiterungsfläche langfristig zu verringern. Darüber hinaus kann möglicherweise durch eine



modifizierte Unterhaltungsstrategie des Este-Fahrwassers der Sedimenteintrag in die A+E-Rinne sowie des Mühlenberger Lochs reduziert werden.

Langfristig sind nachhaltige Maßnahmen zu entwickeln, die entweder den Sedimenteintrag reduzieren oder den Sedimentaustrag fördern. Sollte das nicht der Fall sein und es herrscht ein Grundkonsens zu einem generellen Erhalt des Mühlenberger Loch mit der Hahnöfer Nebelbe, muss über zusätzliche Maßnahmen zur Entfernung von Sediment aus dem System nachgedacht werden.



Inhaltsverzeichnis

Seite

1	Veranlassung und Aufgabenstellung	8
2	Unterlagen und Daten	8
3	Untersuchungskonzept	10
4	Voruntersuchung	12
4.1	Untersuchungsgebiet	12
4.2	Modelluntersuchung	13
4.2.1	Modellverfahren	13
4.2.2	Modellgebiet und Gitternetz	13
4.2.3	Modelltopographie und Definition des planerischen IST-Zustandes (PIZ)	14
4.2.4	Modellsteuerung	14
4.2.5	Modellkalibrierung und Validierung	14
4.2.6	Varianten und Ergebnisse	18
4.2.6.1	Variante 1: Abdämmung des nördlichen Este-Fahrwassers	18
4.2.6.2	Variante 2: Durchstich Hanskalbsand-Neßsand	22
4.2.6.3	Variante 3: Vertiefung der Hahnöfer Nebelalbe	26
4.2.6.4	Variante 4: Abdämmung Hahnöfer Nebelalbe	30
4.2.6.5	Variante 5: Abdämmung der östlichen A+E-Rinne	30
4.2.6.6	Variante 6: Leitedamm	32
4.2.6.7	Variante 7: Verschwenkung der östlichen A+E-Rinne	33
4.3	Schlussfolgerungen und Empfehlung aufgrund der Voruntersuchung	38
5	Hauptuntersuchung	40
5.1	Analyse der Naturdaten	40
5.1.1	Analyse der Strömungsgeschwindigkeiten	41
5.1.1.1	Ergebnisse aus der Beweissicherung	41
5.1.1.2	Eigene Analysen	43
5.1.2	Analysen der Bathymetrie	50
5.1.2.1	Eigene Analysen	52
5.1.3	Ergebnisse aus den Analysen der Naturdaten	55
5.2	Modelluntersuchung	57
5.2.1	Modellverfahren	57
5.2.2	Modellgebiet und Gitternetz	57
5.2.3	Modelltopographie	58
5.2.4	Modellsteuerung	59
5.2.5	Modellkalibrierung, Validierung und Plausibilisierung	60



5.2.6	Untersuchungsvarianten	66
5.2.7	Ergebnisse	70
5.2.7.1	Vorbemerkung zur Belastbarkeit der Ergebnisse	70
5.2.7.2	Schwebstoffdynamik	70
5.2.7.3	Transporte über Profile	74
5.2.7.4	Erosion und Deposition als Indikatoren	76
5.2.7.5	Weitere Kennwerte	78
5.2.8	Zusammenfassung der Modelluntersuchung	80
	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	81
6	Literaturverzeichnis	83
7	Anlagen	83
8	Chronologie des Projektes	90



Bildverzeichnis

Seite

Bild 1:	Das Untersuchungskonzept für die Voruntersuchung	10
Bild 2:	Das Untersuchungskonzept für die Hauptuntersuchung	11
Bild 3:	Untersuchungsgebiet der Voruntersuchung	12
Bild 4:	Modellgebiete des Gesamt- und des Teilmodells in der Übersicht	13
Bild 5:	Vergleich zwischen Netzvorlage aus [U 1] und der Verfeinerung im Bereich der Hahnöfer Nebelbe / des Mühlenberger Lochs	14
Bild 6:	Vergleich der gemessenen mit den aus dem Modell berechneten Wasserständen am Pegel Löhort – Übersicht	15
Bild 7:	Vergleich der gemessenen mit den aus dem Modell berechneten Wasserständen am Pegel Löhort – ein Tag	15
Bild 8:	Vergleich der gemessenen mit den aus dem Modell berechneten Wasserständen am Pegel Schulau – Übersicht	16
Bild 9:	Vergleich der gemessenen mit den aus dem Modell berechneten Wasserständen am Pegel Schulau – ein Tag	16
Bild 10:	Vergleich der gemessenen mit den aus dem Modell berechneten Wasserständen am Pegel Blankenese – Übersicht	17
Bild 11:	Vergleich der gemessenen mit den aus dem Modell berechneten Wasserständen am Pegel Blankenese – ein Tag	17
Bild 12:	Übersicht Variante 1 – Abdämmung des nördlichen Este-Fahrwassers	19
Bild 13:	mittlere Stauwasserdauern bei Flut-/Ebbstrom – Vergleich von PIZ zu Variante 1	20
Bild 14:	Differenzen der mittleren Stauwasserdauern bei Flut-/Ebbstrom – Differenzen: Variante 1 – PIZ	21
Bild 15:	Differenzen der maximalen Flut-/Ebbestromgeschwindigkeit – Differenzen: Variante 1 – PIZ	21
Bild 16:	Übersicht Variante 2 – Durchstich Hanskalbsand-Neßsand	22
Bild 17:	Ansicht der Modelltopographie der Variante 2	22
Bild 18:	mittlere Stauwasserdauern bei Flut-/Ebbstrom – Vergleich von PIZ zu Variante 2	23
Bild 19:	Differenzen der mittleren Stauwasserdauern bei Flut-/Ebbstrom – Differenzen: Variante 2 – PIZ	24
Bild 20:	Differenzen der mittleren Stauwasserdauern bei Flut-/Ebbstrom – Differenzen: Variante 2 – PIZ; regionaler Ausschnitt	24
Bild 21:	Differenzen der maximalen Flut-/Ebbestromgeschwindigkeit – Differenzen: Variante 2 – PIZ	25
Bild 22:	Differenzen der maximalen Flut-/Ebbestromgeschwindigkeit – Differenzen: Variante 2 – PIZ; regionaler Ausschnitt	25
Bild 23:	Übersicht Variante 3 – Vertiefung der Hahnöfer Nebelbe	26
Bild 24:	mittlere Stauwasserdauern bei Flut-/ Ebbstrom – Vergleich von PIZ zu Variante 3	27
Bild 25:	Differenzen der mittleren Stauwasserdauern bei Flut-(links) / Ebbstrom (rechts) – Differenzen: Variante 3 – PIZ	28
Bild 26:	Differenzen der mittleren Stauwasserdauern bei Flut-/ Ebbstrom – Differenzen: Variante 3 – PIZ; regionaler Ausschnitt	28

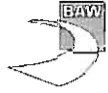


Bild 27:	Differenzen der maximalen Flut-/Ebbestromgeschwindigkeit – Differenzen: Variante 3 – PIZ	29
Bild 28:	Differenzen der maximalen Flut-/Ebbestromgeschwindigkeit – Differenzen: Variante 3 – PIZ; regionaler Ausschnitt	29
Bild 29:	Übersicht Variante 4 – Abdämmung der Hahnöfer Nebelbe	30
Bild 30:	Übersicht Variante 5 – Abdämmung der östlichen A+E-Rinne	30
Bild 31:	mittlere Stauwasserdauern bei Flut-/ Ebbstrom – Vergleich von PIZ zu Variante 5	31
Bild 32:	Differenzen der mittleren Stauwasserdauern bei Flut-/ Ebbstrom – Differenzen: Variante 5 – PIZ	32
Bild 33:	Differenzen der maximalen Flut-/Ebbestromgeschwindigkeit – Differenzen: Variante 5 – PIZ	32
Bild 34:	Übersicht Variante 6 – Leitdamm	33
Bild 35:	Übersicht Variante 7 – Verschwenkung der östlichen A+E-Rinne	33
Bild 36:	Ansicht des Modellgitters mit schematischer Modelltopographie in der Variante 7	34
Bild 37:	mittlere Stauwasserdauern bei Flut-/ Ebbstrom – Vergleich von PIZ zu Variante 7	35
Bild 38:	Differenzen der mittleren Stauwasserdauern bei Flut-/ Ebbstrom – Differenzen: Variante 7 – PIZ; regionaler Ausschnitt	36
Bild 39:	Differenzen der maximalen Flut-/Ebbestromgeschwindigkeit – Differenzen: Variante 7 – PIZ; regionaler Ausschnitt	37
Bild 40:	Übersicht der verwendeten Strömungsmesspositionen	41
Bild 41:	Ergebnisse der Analysen des WSA-Hamburg zur Beweissicherung (U 4); die Positionen entsprechen den Positionen aus Bild 40 mit dem Zusatz EK	42
Bild 42:	Mittlere Flut-Strömungssituation in der Hahnöfer Nebelbe / im Mühlenberger Loch während der Flutphase in Blankenese. Dargestellt sind die mittlere Tidekurve bei Blankenese, die mittleren Strömungskurven an der Oberfläche der Messpositionen sowie die aktuelle Strömungsgeschwindigkeit/-richtung an der Messposition an der Oberfläche (Schwarz) bzw. am Grund (Grau) (hergeleitet aus mittleren Tidekurven)	44
Bild 43:	Mittlere Ebb-Strömungssituation in der Hahnöfer Nebelbe / im Mühlenberger Loch während der Flutphase in Blankenese (hergeleitet aus mittleren Tidekurven)	45
Bild 44:	Ausschnitt einer Strömungszeitreihe. Während sich das Signal im Ebbstrom in jeder Tide wiederholt, ist die Situation im Flutstrom deutlich komplexer.	46
Bild 45:	Beispiel für die Plausibilisierung einer Zeitreihe: nur offensichtliche Fehler in den Messungen wurden entfernt	46
Bild 46:	mittlere Strömungskurven an der Position P1-Oben im zeitlichen Verlauf; der erste Peak entspricht dem Flutstrom, der zweite dem Ebbstrom	48
Bild 47:	Verteilungen der Strömungsgeschwindigkeiten an der Position P1-Oben im zeitlichen Verlauf	49
Bild 48:	Übersicht der Profilagen aus der Querprofilanalyse des WSA-Hamburg (U 6); rot umrandet sind die beiden ausgewählten Profile in Bild 49 und Bild 50	51
Bild 49:	Profil 3+250,00 (westlich des Este-Fahrwasser) aus der Querprofilanalyse des WSA-Hamburg (U 6)	51



Bild 50: Profil 1+500.00 (östlich des Este-Fahrwassers) aus der Querprofilanalyse des WSA-Hamburg (U 6)	52
Bild 51: Differenzenplan aus den Messungen im August 2003 und August 2005 (U 11)	52
Bild 52: Peilungen des HPA-Testfeldes	53
Bild 53: Peilungen des HPA-Testfeldes	54
Bild 54: Peilungen des HPA-Testfeldes	55
Bild 55: Übersicht über das Modellgebiet einschließlich der verwendeten Modelltopographie im Referenzzustand	57
Bild 56: Unterschiede der Jahrestopographie 2006 (IST2006) zum planerischen Ist-Zustand (PIZ): die geplanten Maßnahmen der Fahrrinnenvertiefung und -verbreiterung, die Vorspülung Wisch sowie das Setzen der Tiefe der A+E-Rinne auf 3.9 m unter NN sind deutlich erkennbar	58
Bild 57: Balkendarstellung der Sedimentproben als Basisinformation für die Sedimentbelegung im verwendeten Modell im Bereich Hahnöfer Nebelbe / Mühlenberger Loch; als Hintergrund ist die Sohlentiefe zur Orientierung dargestellt	60
Bild 58: Wasserstand am Pegel Blankenese – Messung vs. Modell (IST2006)	61
Bild 59: Differenz der mittleren Kennwerte zwischen Messung und Modell	61
Bild 60: Strömungsmessposition D1 des WSA-Hamburg	61
Bild 61: Strömungsgeschwindigkeiten an der Position D1-Oben und berechnete Strömungsgeschwindigkeiten an der Position bei -1.5m NN	62
Bild 62: Strömungsrichtungen an der Position D1-Oben und berechnete Strömungsrichtungen an der Position bei -1.5m NN	62
Bild 63: Strömungsgeschwindigkeiten an der Position D1-Unten und berechnete Strömungsgeschwindigkeiten an der Position	62
Bild 64: Strömungsrichtungen an der Position D1-Unten und berechnete Strömungsrichtungen an der Position	63
Bild 65: Vergleich der mittleren Strömungskurve (MSK) aus dem Juli 2006 mit den berechneten Strömungen im Juni 2006 in -1m NN	64
Bild 66: Vergleich der berechneten (Juni 2006) und gemessenen (Juli 2006) Strömungsgeschwindigkeit an der Position EK P2	64
Bild 67: Vergleich der berechneten (Juni 2006) und gemessenen (Juli 2006) Strömungsgeschwindigkeit an der Position EK P3	64
Bild 68: Vergleich der berechneten (Juni 2006) und gemessenen (Juli 2006) Strömungsgeschwindigkeit an der Position EK P4	65
Bild 69: Vergleich der berechneten (Juni 2006) und gemessenen (Juli 2006) Strömungsgeschwindigkeit an der Position MBL P2	65
Bild 70: Vergleich der berechneten (Juni 2006) und gemessenen (Juli 2006) Strömungsgeschwindigkeit an der Position MBL P3	65
Bild 71: Vergleich der berechneten (Juni 2006) und gemessenen (Juli 2006) Strömungsgeschwindigkeit an der Position MBL P4	66
Bild 72: Oberwasserzufluss am Pegel Neu Darchau; grau: Umlagerungszeitspanne 1.Okt. – 31. März und die dazugehörigen mittleren Oberwasserzuflüsse in der Zeitspanne	66



Bild 73: Umgelagerte Mengen der HPA an der Umlagerungsstelle Neßsand: Gesamtmenge, und Menge in der Umlagerungszeitspanne vom 1.Okt – 31.März (linke Achse) und daraus resultierend die mittleren Mengen pro Tide (rechte Achse)	67
Bild 74: Position der Umlagerungsstelle vor Neßsand	68
Bild 75: Schwebstoffdynamik im Untersuchungsgebiet - Ebbphase	72
Bild 76: Schwebstoffdynamik im Untersuchungsgebiet – Flutphase I	73
Bild 77: Schwebstoffdynamik im Untersuchungsgebiet – Flutphase II	74
Bild 78: residueller advektiver Schwebstofftransport über Profile bei unterschiedlichen Oberwassermengen (Topographie IST2006): Zahlen in Tonnen Trockensubstanz pro Tide; Richtung: positive Zahl → Stromauftransport; negative Zahl → Stromabtransport; westliches Untersuchungsgebiet; Tiefenänderung in Meter nach 17 Tagen	74
Bild 79: residueller advektiver Schwebstofftransport über Profile bei unterschiedlichen Oberwassermengen (Topographie IST2006): Zahlen in Tonnen Trockensubstanz pro Tide; Richtung: positive Zahl → Stromauftransport; negative Zahl → Stromabtransport; östliches Untersuchungsgebiet; Tiefenänderung in Meter nach 17 Tagen	75
Bild 80: Beispiel einer Tiefenerosionskarte zum Ende des Modelllaufs mit Auswertepolygon	76
Bild 81: residueller advektiver Schwebstofftransport für Variante I	78
Bild 82: residueller advektiver Schwebstofftransport für Variante II	79
Bild 83: Differenz des residuellen advektiven Schwebstofftransports aus den Varianten I und II	79

Tabellenverzeichnis	Seite
Tabelle 1: mittlere maximale Strömungsgeschwindigkeiten zur Flut-/Ebbphase an der Position P1-Oben in der östlichen A+E-Rinne in der zeitlichen Entwicklung; mit * gekennzeichnete Daten sind nicht sicher, da nur vergleichsweise wenige Messungen vorliegen; mit ? gekennzeichnete Werte sind unsicher; - die Daten erscheinen unplausibel	47
Tabelle 2: Untersuchungsvarianten der HN-Modelluntersuchung	69
Tabelle 3: Maximale Depositionsraten in mm / 33 Tiden im Auswertepolygon in der östlichen A+E-Rinne	77
Tabelle 4: maximale Depositionsraten im Auswertepolygon (*: weiter westlich im direkten Anschluss des Auswertepolygons) im Vergleich zu zwei weiteren Varianten - Einheit: mm / 33 Tiden	77



Anlagen

Anlage 1: Pro Tide überlagerte Strömungsmessungen des WSA Hamburg an der Position P1-Oben – September 2003 und März 2004; das ? bedeutet ggf. unplausible Daten enthalten	83
Anlage 2: Pro Tide überlagerte Strömungsmessungen des WSA Hamburg an der Position P1 – Juli 2004, Oktober 2004 und März 2005; das ? bedeutet ggf. unplausible Daten enthalten	84
Anlage 3: Pro Tide überlagerte Strömungsmessungen des WSA Hamburg an der Position P1 – Juli 2005, Oktober 2005 und März 2006; das ? bedeutet ggf. unplausible Daten enthalten	85
Anlage 4: Pro Tide überlagerte Strömungsmessungen des WSA Hamburg an der Position P1 – Juli 2006, Oktober 2006 und März 2007; das ? bedeutet ggf. unplausible Daten enthalten	86
Anlage 5: Pro Tide überlagerte Strömungsmessungen des WSA Hamburg an der Position P1 – Juli 2007 und Oktober 2007; das ? bedeutet ggf. unplausible Daten enthalten	87
Anlage 6: Mittlere Strömungskurven für die Position P2-Oben	87
Anlage 7: Mittlere Strömungskurven für die Position P2-Unten	88
Anlage 8: Verteilung der Strömungsgeschwindigkeiten an der Position P2-Oben	88
Anlage 9: Verteilung der Strömungsgeschwindigkeiten an der Position P2-Unten	89



1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Aufgrund der Absperrung der Alten Südereibe im Jahr 1962, dem Bau des Neß-Leitdammes in den Jahren 1969/1970 und früheren Fahrrinnenanpassungen der Elbe vor 1999 ist es im Bereich Hahnöfer Nebelbe/Mühlenberger Loch u.a. aufgrund von Strömungsreduktionen, Verschiebungen der Tidephasen zwischen Haupt- und Nebelbe sowie fehlender Füllung und Entleerung der Alten Südereibe zu großflächigen Sedimentationen gekommen. Um im aquatischen Bereich die Verbesserung der Durchströmung und die langfristige Erhaltung des ökologischen Systems Hahnöfer Nebelbe/Mühlenberger Loch zu gewährleisten, wurde in Zusammenhang mit der letzten Fahrrinnenanpassung der Elbe im Jahr 1999 im Bereich Hahnöfer Nebelbe/Mühlenberger Loch eine Rinne als Ausgleichsmaßnahme geplant. Vor Realisierung der Ausgleichsmaßnahme wurde jedoch in den Jahren 2001 und 2002 ein Teil (ca. 170 ha, PFB-DA (2000)) des Mühlenberger Loches mit einer Gesamtfläche von rd. 875 ha für die Aufspaltung der Airbus-Fläche verwendet, wodurch erhebliche Veränderungen in der Tidedynamik im Bereich Hahnöfer Nebelbe/Mühlenberger Loch auftraten. Die im Jahr 2003 realisierte Ausgleichsrinne (A+E-Rinne) zeigte in der Folgezeit starke Sedimentationen.

Um die Funktionsfähigkeit der A+E-Rinne im Mühlenberger Loch und in der Hahnöfer Nebelbe unter den geänderten Randbedingungen nach der DA-Erweiterung aus wasserbaulicher Sicht beurteilen und ggf. optimieren zu können, wurde vom Projektbüro „Fahrrinnenanpassung von Unter- und Außenelbe“ beim Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg – die Durchführung entsprechender Untersuchungen initiiert, die von HPA als Rechtsnachfolger des TdV DASA-Erweiterung A3xx und als Träger dieses Projektes bei der BAW in Auftrag gegeben wurden.

2 Unterlagen und Daten

- U 1: Anpassung der Fahrrinne von Unter- und Außenelbe an die Containerschiffahrt. Gutachten zur ausbaubedingten Änderung von Hydrodynamik und Salztransport. BAW-Gutachten Nr. A3955 03 10062 H.1a
- U 2: Stellungnahme „Funktionsfähigkeit der vorhandenen Ausgleichsrinne im Mühlenberger Loch“ der BAW vom 4.8.2008
- U 3: Planfeststellungsbeschluss für die Fahrrinnenanpassung von Unter- und Außenelbe an die Containerschiffahrt von km 638,9 bis km 747,9 vom 4.2.1999
- U 4: Strömungsauswertungen des WSA-Hamburg im Rahmen der Beweissicherung: <http://www.portal-tideelbe.de/Projekte/FRA1999/Kompensationsmassnahmen/>



Erfolgskontrollen/Hahnöfer_Nebeneibe_Muehlenberger_Loch/
 Stroemungsverhaeltnisse/index.html

- U 5: Strömungsdaten der Erfolgskontrollen und der Sondermessung im Mühlenberger Loch des WSA – Hamburg
- U 6: Querprofilanalysen in der Hahnöfer Nebeneibe / Mühlenberger Loch des WSA-Hamburg; http://www.portal-tideelbe.de/Projekte/FRA1999/Kompensationsmassnahmen/Erfolgskontrollen/Hahnöfer_Nebeneibe_Muehlenberger_Loch/Morphologische_Verhaeltnisse_Quer/index.html
- U 7: Peildaten des Testfeldes von HPA; Anlage zur E-Mail von *Frau Fickert* vom 10.12.2008
- U 8: Messbericht der Sedimentbeprobung Ausgleichsrinne Mühlenberger Loch / Hahnöfer Nebeneibe vom 8.12.2008, HPA
- U 9: Baggerwochendaten HPA; Anlage zur E-Mail von *Frau Fickert* vom 28.10.2008
- U 10: Umgang mit Baggergut aus dem Hamburger Hafen; Teilbericht Umlagerung von Baggergut nach Neßsand; Bericht über den Zeitraum 1.1. bis 31.12.2007; HPA
- U 11: Differenzenpläne der Bathymetrie der Hahnöfer Nebeneibe im Rahmen der Beweissicherung des WSA-Hamburg; http://www.portal-tideelbe.de/Projekte/FRA1999/Kompensationsmassnahmen/Erfolgskontrollen/Hahnöfer_Nebeneibe_Muehlenberger_Loch/Morphologische_Verhaeltnisse_Plaene/index.html
- U 12: Dichte der Umlagerungsmengen; Anlage zur E-Mail von *Herrn Strotmann* vom 23.2.2010



3 Untersuchungskonzept

Um die Funktionsfähigkeit der A+E-Rinne im Mühlenberger Loch unter den geänderten Randbedingungen nach der DA-Erweiterung aus wasserbaulicher Sicht bewerten und ggf. optimieren zu können, wurde von der BAW ein zweistufiges Untersuchungskonzept in Abstimmung mit dem Auftraggeber entwickelt. Im ersten Teil – der Voruntersuchung(s. Bild 1) – waren verschiedene Varianten von Lage und Tiefe der A+E-Rinne sowie anderer wasserbaulicher Maßnahmen zu entwickeln und in einem 2D-Modellsystem hinsichtlich der Hydrodynamik zu untersuchen. Die Ergebnisse dieser Voruntersuchung sowie eine daraus abgeleitete Empfehlung zur Optimierung des Rinnensystems aus wasserbaulicher Sicht waren zusammenzufassen und dem Auftraggeber zu präsentieren (Meilenstein). Daraufhin beriet sich der Auftraggeber über die grundsätzliche Umsetzbarkeit der Vorschlagsvariante unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und naturschutzfachlicher Belange und entwickelte in Zusammenarbeit mit der BAW Hinweise und Leitlinien für eine vertiefte Hauptuntersuchung.



Bild 1: Das Untersuchungskonzept für die Voruntersuchung

Das weitere Vorgehen entschied sich in Abhängigkeit von den Ergebnissen der Voruntersuchung und der Erörterung und Diskussion mit dem Auftraggeber. Da sich nach Meinung des Auftraggebers keine realisierbare Variante ergeben hatte, beschränkte sich die Hauptunter-



suchung auf die Frage der Ermittlung der morphologischen Stabilität der A+E-Rinne, wenn diese erneut auf Sollsohlenniveau gebaggert werden würde. Daraus wurde das folgende Konzept für die Hauptuntersuchung zusammen mit dem Auftraggeber entwickelt (s. Bild 2). Es besteht aus zwei Blöcken.

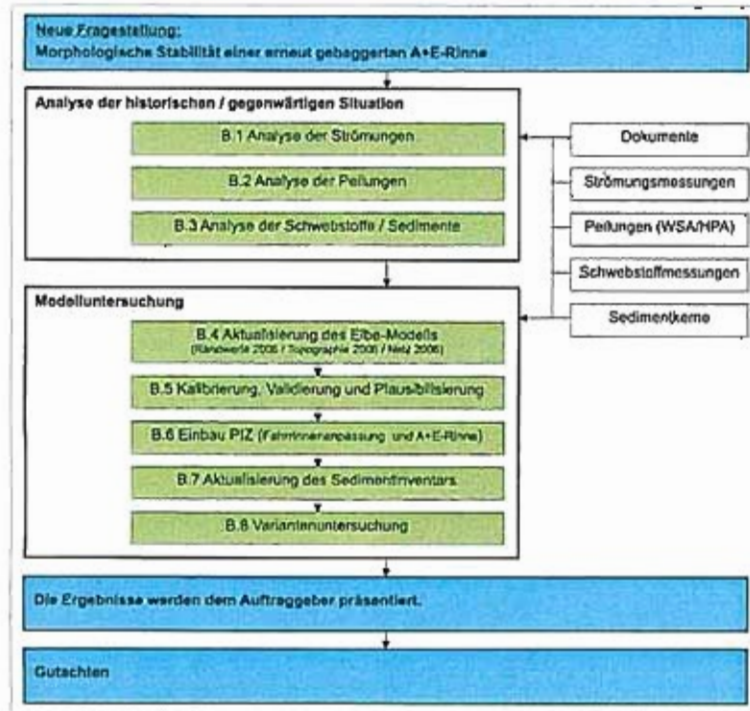


Bild 2: Das Untersuchungskonzept für die Hauptuntersuchung

Im ersten Block wurde mit bereits vorhandenen Dokumenten und Naturdaten die historische und gegenwärtige Situation des Strömungs- und Sedimentationsregimes im Bereich der Hahnöfer Nebeneibe und des Mühlenberger Lochs analysiert und bewertet. Bereits vorhandenen Analysen der Beweissicherung wurden hinzugezogen. Darüber hinaus wurden eigene Analysen der Strömungsgeschwindigkeiten durchgeführt, um die bisherigen Erkenntnisse zu untermauern bzw. zu ergänzen. Des Weiteren fand eine Auswertung der Peildaten des HPA-Testfeldes statt, um die Dynamik der Sedimentation weitergehend zu verstehen.

Der zweite Block bestand aus einer HN-Modelluntersuchung. In einem ersten Schritt wurde ein vorhandenes HN-Modell aktualisiert und auf die Fragestellung angepasst und optimiert. Nach einer erfolgten Kalibrierung und Validierung des Modells wurden verschiedene hydro-



logische Randbedingungen wie der Oberwasserzufluss und Umlagerungspraktiken (Umlagemengen und -zeitpunkte) in ihrer Wirkung auf die Sedimentationsraten in der A+E-Rinne analysiert und bewertet.

Nach einer Präsentation der Ergebnisse aus der Hauptuntersuchung wurde vereinbart, zusätzlich zwei weitere Varianten zu berechnen. In der einen Variante sollte der Einfluss der geplanten Fahrinnenanpassung auf die Sedimentationsrate in der A+E-Rinne nachgewiesen werden. In einer weiteren Variante sollte von annähernd heutigem Zustand aus betrachtet werden, was sich hinsichtlich der Sedimentationsraten ändert, wenn nur die östliche A+E-Rinne auf Solltiefe gebaggert werden würde.

4 Voruntersuchung

Die in diesem Abschnitt vorgestellte Voruntersuchung dient als Systemstudie. In einem HN-Modell werden verschiedene bauliche Maßnahmen als Varianten hinsichtlich ihrer hydrodynamischen Wirkung auf die Durchströmbarkeit der Hahnöfer Nebeneibe und der A+E-Rinne untersucht. Daraus soll eine Vorschlagsvariante für eine weitergehende und vertiefte Analyse von Sediment- und Morphodynamik in der Hauptuntersuchung entwickelt werden. In der Voruntersuchung wird ein Teilmodell des Elbeästuars eingesetzt, um zahlreiche Varianten effektiv zu berechnen und zu analysieren. Da sich im Ergebnis gezeigt hat, dass keine der Varianten eine entscheidende Verbesserung der Durchströmung in der A+E-Rinne erbringt, werden die Ergebnisse der Variantenuntersuchung nur kurz dargestellt und bewertet.

4.1 Untersuchungsgebiet

Bild 3 zeigt das Untersuchungsgebiet und die verwendeten Bezeichnungen und Pegel zur Orientierung.

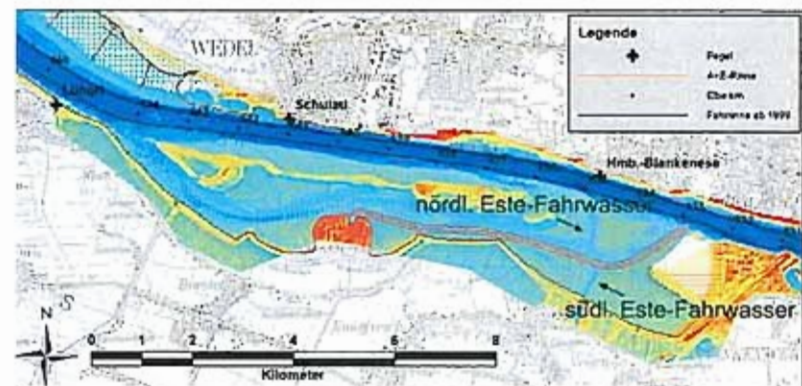


Bild 3: Untersuchungsgebiet der Voruntersuchung



4.2 Modelluntersuchung

4.2.1 Modellverfahren

Es wurde das dreidimensionale hydrodynamisch-numerische Modell UnTRIM in der Version 2004 einschließlich Salztransport verwendet. UnTRIM ist ein semi-implizites Finite-Differenzen (-Volumen) Verfahren zur numerischen Lösung der dreidimensionalen Flachwassergleichungen sowie der dreidimensionalen Transportgleichung für Salz, Wärme, Schwebstoffe sowie suspendierter Sedimente. Eine detaillierte Beschreibung des Verfahrens wird auf den Internet-Seiten der BAW-DH gegeben.

(siehe http://www.baw.de/vip/abteilungen/wbk/Methoden/hnm/untrim/hnm_untrim-de.html)

Für die Voruntersuchung wurde das Modell im zweidimensionalen Modus ohne Salz- und Schwebstofftransport verwendet.

4.2.2 Modellgebiet und Gitternetz

In Bild 4 sind die Modellgebiete des Gesamt- und des Teilmodells dargestellt. Das Teilmodell umfasst das Gesamtmodell von der Tidegrenze, dem Wehr Geesthacht, bis etwa Stade.

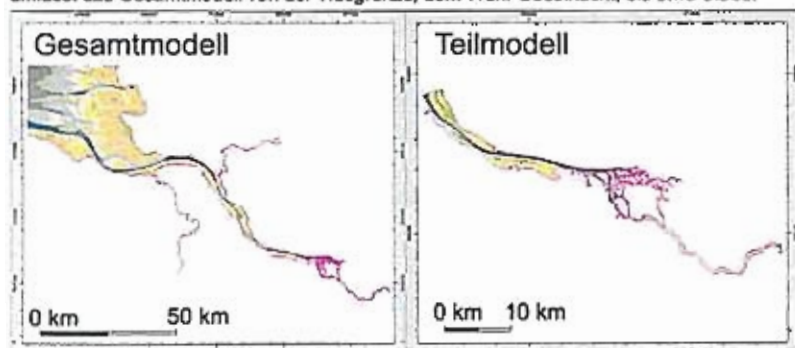


Bild 4: Modellgebiete des Gesamt- und des Teilmodells in der Übersicht

Um die lokalen topographischen Gegebenheiten der Hahnöfer Nebelbe und des Mühlener Lochs besser abbilden zu können, ist in diesem Bereich das Gitternetz in den Rinnen verfeinert. Somit können neben der lokalen Topographie auch die lokalen Strömungen besser aufgelöst werden. Weiterhin ist eine bessere Auflösung der zu analysierenden Varianten möglich. Ein Beispiel des verfeinerten Gitternetzes zeigt das folgende Bild 5.

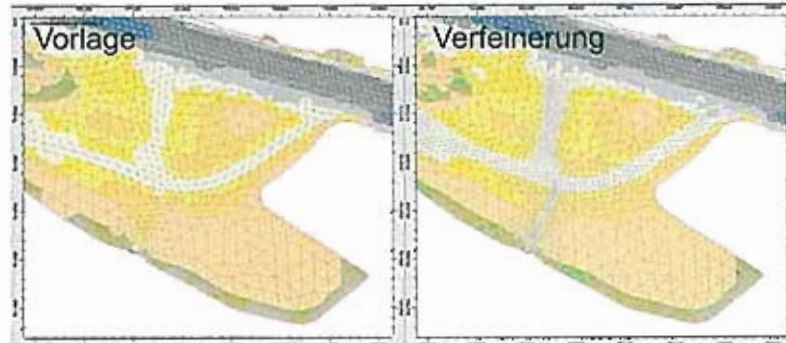


Bild 5: Vergleich zwischen Netzvorlage aus [U 1] und der Verfeinerung im Bereich der Hahnöfer Nebelbe / des Mühlener Lochs

4.2.3 Modelltopographie und Definition des planerischen IST-Zustandes (PIZ)

Es wurde dieselbe Modelltopographie verwendet, wie in [U 1] beschrieben. Im Wesentlichen setzt sich diese zusammen aus Pellingen des Jahres 2003 mit den geplanten Änderungen der Fahrinnenanpassung von Unter- und Außenbe in der Fahrinne. Dieser Zustand wird im Folgenden planerischer IST-Zustand, kurz PIZ genannt.

4.2.4 Modellsteuerung

Das Teilmodell wurde am offenen Modellrand im Bereich Stade mit Wasserstandsdaten gesteuert. Die Wasserstandsdaten ergeben sich aus den Wasserstandsmesswerten des Pegels Stadersand, die um einen tidenphasenabhängigen zusätzlichen kinetischen Anteil korrigiert wurden. Der Oberwasserzufluss ist in der Nähe des Wehres Geesthacht als Quelle eingesteuert und beträgt über die Simulationszeit konstant $330 \text{ m}^3/\text{s}$, was dem häufigsten Oberwasserzufluss (1970 - 1999) entspricht. Die Simulationszeitspanne erstreckt sich vom 10. - 27.5.2002. Die Tide-Kennwerte wurden in der Zeitspanne vom 11.5.2002 16:40 bis zum 25.5.2002 23:30 ermittelt.

4.2.5 Modellkalibrierung und Validierung

Das Modell wurde so eingestellt, dass es den Wasserstandsmessungen an den Pegeln möglichst gut entspricht. Die folgenden Abbildungen zeigen die gemessenen und simulierten Wasserstände nebst der Differenz zwischen Messung und Berechnung einmal für den Gesamtzeitraum (Übersicht) und einmal für einen Tag (Detaillansicht) an den Pegeln Lühort, Schulau und Blankenese. Die Abweichungen der berechneten Wasserstandshöhen zu den gemessenen können akzeptiert werden, da es sich in der Voruntersuchung um eine Systemstudie handelt, deren Ergebnisse auf relativen Vergleichen beruhen.

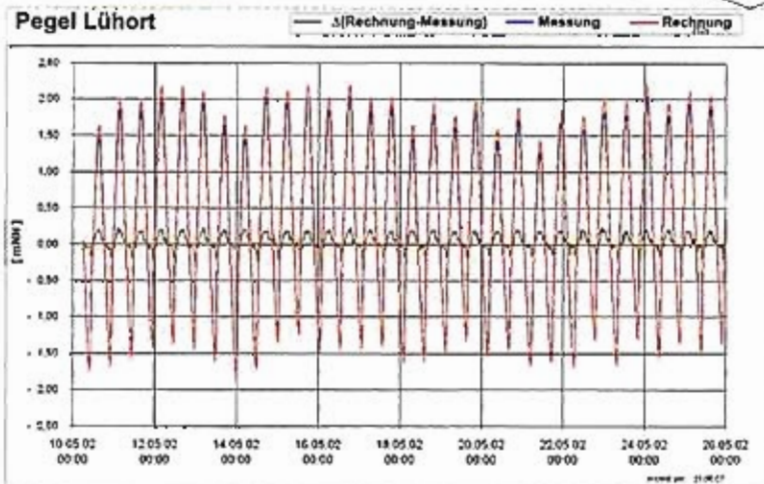


Bild 6: Vergleich der gemessenen mit den aus dem Modell berechneten Wasserständen am Pegel Lühort – Übersicht



Bild 7: Vergleich der gemessenen mit den aus dem Modell berechneten Wasserständen am Pegel Lühort – ein Tag

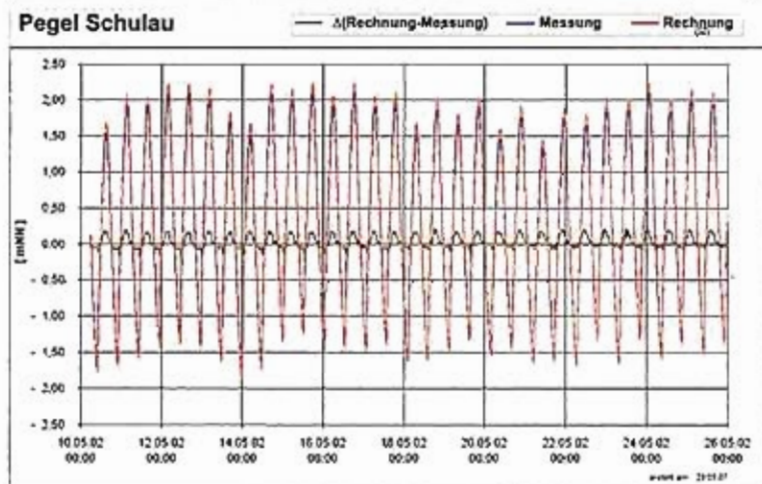


Bild 8: Vergleich der gemessenen mit den aus dem Modell berechneten Wasserständen am Pegel Schulau – Übersicht

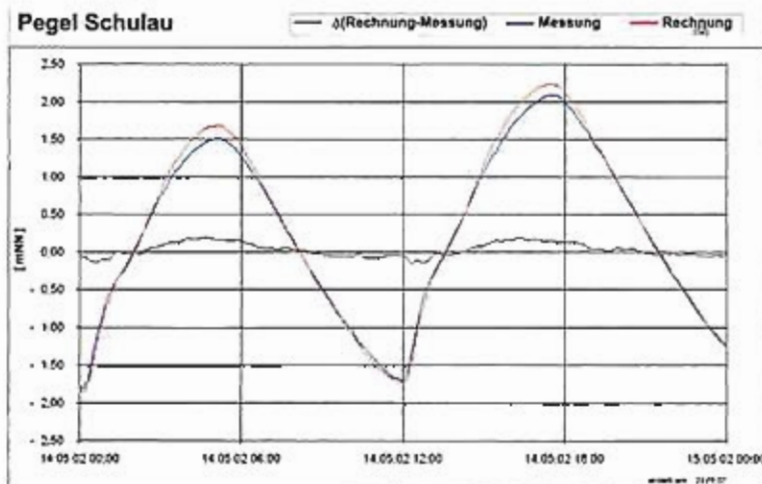


Bild 9: Vergleich der gemessenen mit den aus dem Modell berechneten Wasserständen am Pegel Schulau – ein Tag

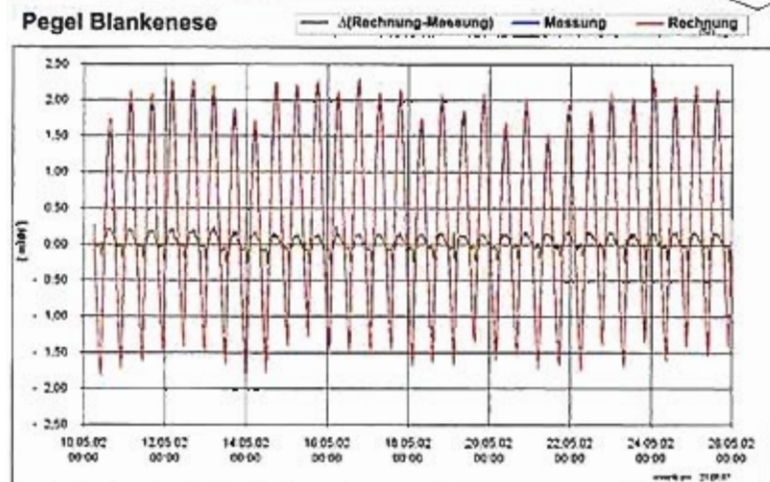


Bild 10: Vergleich der gemessenen mit den aus dem Modell berechneten Wasserständen am Pegel Blankenese – Übersicht

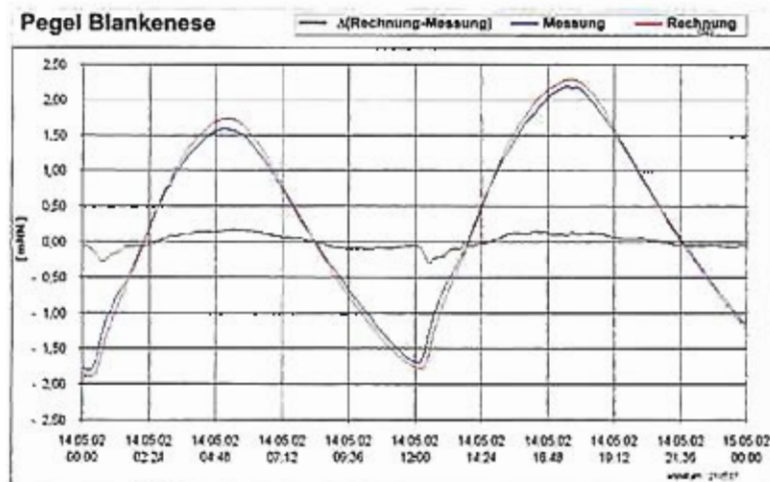


Bild 11: Vergleich der gemessenen mit den aus dem Modell berechneten Wasserständen am Pegel Blankenese – ein Tag



4.2.6 Varianten und Ergebnisse

Das Ziel der Voruntersuchung war es, eine Variante zu finden, in der die Durchströmung in der Hahnöfer Nebeneibe und dem Mühlenberger Loch bzw. in der A+E-Rinne verbessert ist. Dabei wird eine Verringerung der Stauwasserzeiten (Strömungsgeschwindigkeiten kleiner 20 cm/s) als wichtigstes Ziel und mit etwas geringerer Bedeutung eine Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeiten als Verbesserung gewertet. Andere Gesichtspunkte, wie beispielsweise nautische oder ökologische Aspekte wurden in der Bewertung der BAW nur bedingt berücksichtigt. Dieses war im Rahmen der Voruntersuchung der BAW auch nicht notwendig, da im Sinne einer Sensitivitätsstudie deutliche Eingriffe, deren Realisierbarkeit aufgrund nicht wasserbaulicher Aspekte durchaus angezweifelt werden könnte, einen Beitrag zum Systemverständnis liefern sollten und das Verbesserungspotenzial aus wasserbaulicher Sicht zeigen sollten. Varianten, die von vornherein als völlig aussichtslos in der Realisierung erschienen, werden lediglich ohne weitere Darstellung der Ergebnisse erwähnt. Somit verblieben für die Voruntersuchung folgende Varianten:

- * Variante 1: Abdämmung des nördlichen Este-Fahrwassers
- * Variante 2: Durchstich Hanskalbsand-Neßsand
- * Variante 3: Vertiefung der Hahnöfer Nebeneibe
- * Variante 4: Abdämmung der Hahnöfer Nebeneibe
- * Variante 5: Abdämmung der östlichen A+E-Rinne
- * Variante 6: Leitdamm
- * Variante 7: Verschwenkung der östlichen A+E-Rinne

Diese Varianten werden im Folgenden beschrieben und ggf. auch mit ihren Ergebnissen näher erläutert.

Als Referenzzustand, auf den sich die folgenden Analysen und Ergebnisse beziehen, wird der PIZ gewählt. Dieser bildet die Grundlage für weitere Veränderungen, die in den einzelnen Varianten vorgenommen und nachfolgend beschrieben werden. Die folgenden Tidenkennwerte (Stauwasserdauern und maximale Strömungsgeschwindigkeiten¹) beziehen sich auf die Auswertzeitspanne (Spring-Nipp-Zyklus), wie in Kapitel 4.2.4 beschrieben.

Vordergründig ist in der Bewertung der Untersuchungsergebnisse die Durchströmung (d.h. Stauwasserdauer und Strömungsgeschwindigkeit) zu betrachten. Es muss jedoch an dieser Stelle bereits darauf hingewiesen werden, dass bei einer weitergehenden Bewertung und Herleitung einer Zielvariante auch die Gesamtwirkung der Maßnahme u.a. auf die Entwicklung des Mühlenberger Lochs berücksichtigt werden muss.

4.2.6.1 Variante 1: Abdämmung des nördlichen Este-Fahrwassers

Die erste Variante besteht in der Abdämmung des nördlichen Este-Fahrwassers (s. schematische Ansicht in Bild 12). Die Topographie im Modell ausgehend vom PIZ wird so verändert,

¹ die über die Auswertzeitspanne zeitlich gemittelten pro Tide bestimmten maximalen Strömungsgeschwindigkeiten



dass eine Barre von West nach Ost mit Wattanschluss entsteht. Diese ist überströmbar, jedoch ist die durchströmte Fläche nach Norden in die Rinne hinein bzw. heraus verringert gegenüber dem Referenzzustand (PIZ).

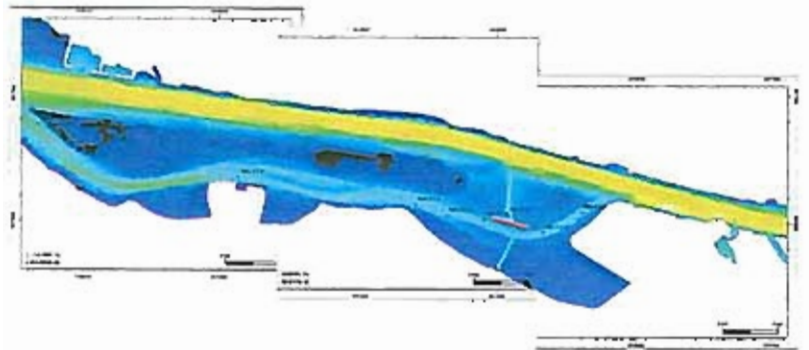


Bild 12: Übersicht Variante 1 – Abdämmung des nördlichen Este-Fahrwassers

Dieser Eingriff soll die Strömung in der A+E-Rinne durch eine Verringerung des Zu-/Abflaufs über das Este-Fahrwasser konzentrieren. Es wird erwartet, dass die Stauwasserdauern in der A+E-Rinne abnehmen und die maximalen Strömungsgeschwindigkeiten leicht ansteigen. Das Ergebnis der Modellsimulation hinsichtlich der mittleren Stauwasserdauern und der Differenz der maximalen Flut-/Ebbstromgeschwindigkeiten zeigen die folgenden Abbildungen (s. Bild 13 -Bild 15).

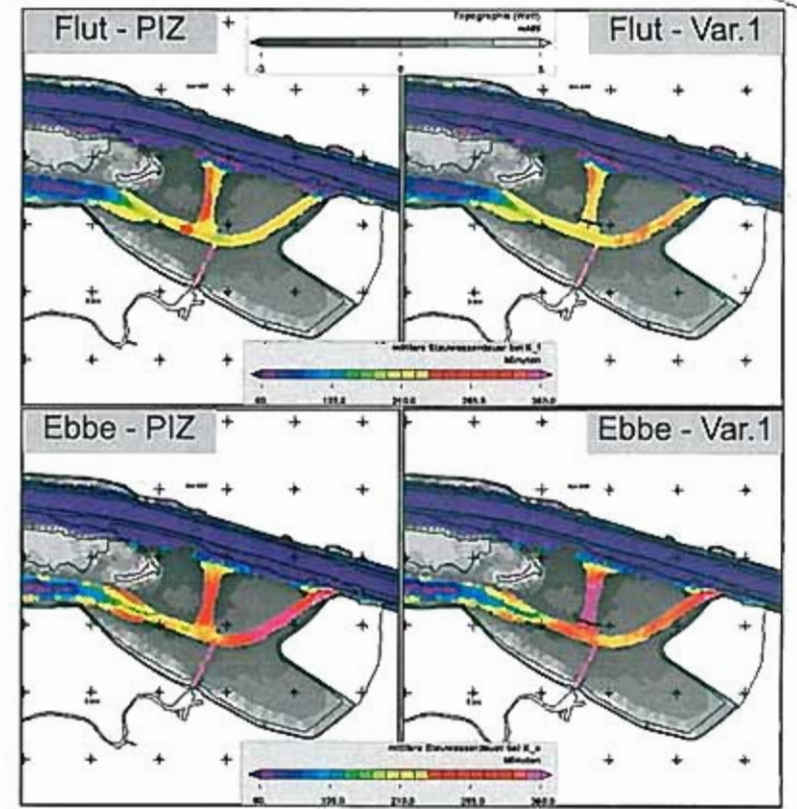


Bild 13: mittlere Stauwasserdauern bei Flut-/Ebbstrom – Vergleich von PIZ zu Variante 1

In Bild 13, den absoluten Stauwasserdauern bei Flut und Ebbe wird die Dominanz von gelblichen bis rötlichen Farbtönen in den Rinnen (A+E-Rinne, nördliches und südliches Este-Fahrwasser) sehr deutlich. In diesem Gebiet liegen hohe Stauwasserdauern vor. Suspensiertes Sediment hat hier das Potenzial zur Sedimentation. Die Auswirkung der Barre auf die Strömung ist in den Differenzdarstellungen (s. Bild 14 u. Bild 15) deutlicher zu erkennen. Bei Flutströmung gibt es eine geringe Erhöhung der Stauwasserdauern in der östlichen A+E-Rinne, da der Impulseintrag über das nördliche Este-Fahrwasser durch die Barre etwas verspätet die östliche A+E-Rinne erreicht. Im Bereich der Kreuzung der Rinnen kommt es bei Ebbe ebenfalls zu einer leichten Erhöhung der Stauwasserdauern, da das Wasser nicht mehr so effizient über das Este-Fahrwasser zur Haupt-Fahrrinne der Elbe ablaufen kann. Eine Verringerung der Stauwasserdauern in der östlichen A+E-Rinne ist bei Ebbe zu erkennen, da aufgrund der Abspernung durch die Barre diese kräftiger durchströmt wird. Die ma-



ximale Flutstromgeschwindigkeit nimmt im östlichen Teil der A+E-Rinne zu, was zunächst positiv zu bewerten ist. Das durch die Barre abgetrennte nördliche Este-Fahrwasser weist erwartungsgemäß höhere Stauwasserdauern sowie geringere maximale Strömungsgeschwindigkeiten auf. In der Summe kann festgestellt werden, dass sich die Durchströmung der östlichen A+E-Rinne geringfügig verbessert.

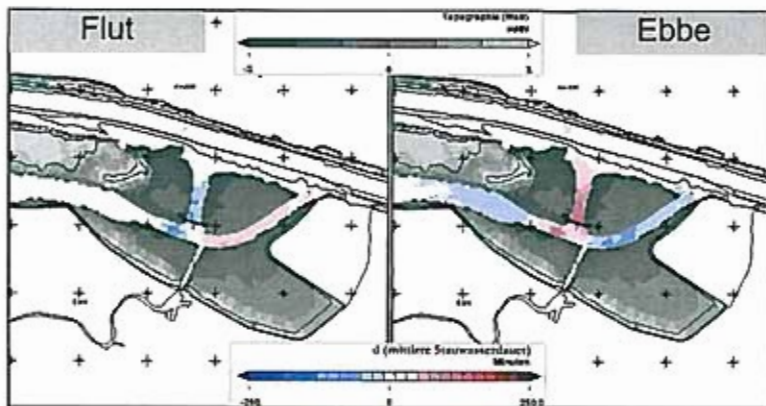


Bild 14: Differenzen der mittleren Stauwasserdauern bei Flut-/Ebbstrom – Differenzen: Variante 1 – PIZ

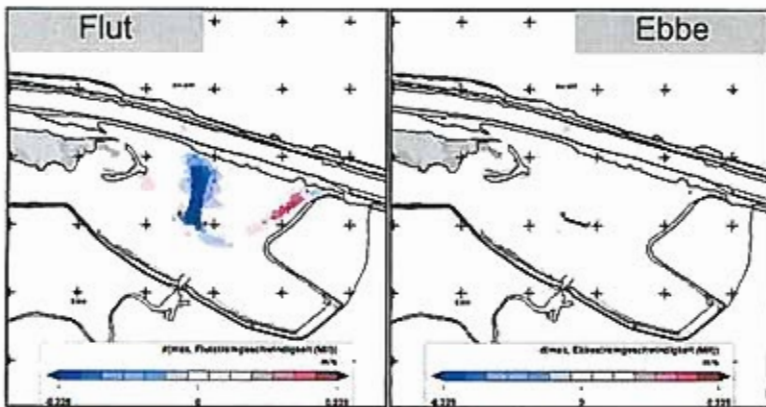


Bild 15: Differenzen der maximalen Flut-/Ebbestromgeschwindigkeit – Differenzen: Variante 1 – PIZ



4.2.6.2 Variante 2: Durchstich Hanskalbsand-Neßsand

Die zweite Variante besteht in einem Durchstich der Insel Hanskalbsand-Neßsand (s. Schema Bild 16). In früheren Stellungnahmen der BAW ist zwar auf die nachteilige Wirkung eines Durchstichs auf die Sedimentationsprozesse in der Hahnöfer Nebelbe hingewiesen worden, jedoch soll in der Voruntersuchung noch einmal die Wirkung auf die Durchströmung der östlichen A+E-Rinne analysiert werden. Die Detailansicht in der Modelltopographie zeigt Bild 17. Es wird ein ca. 300m breiter Durchstich durch die Insel vorgenommen. Dieser hat eine Tiefe von -2.5 m NN.

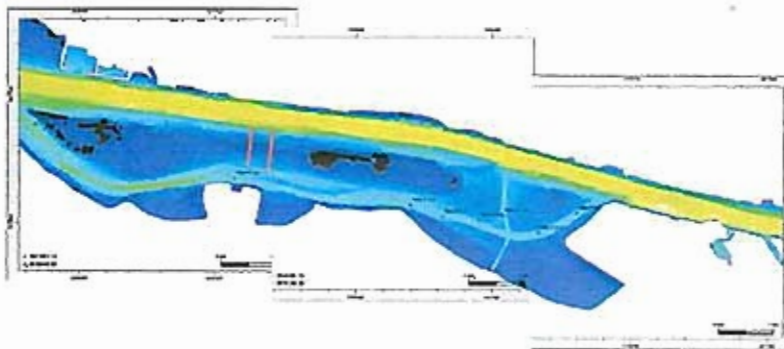


Bild 16: Übersicht Variante 2 – Durchstich Hanskalbsand-Neßsand



Bild 17: Ansicht der Modelltopographie der Variante 2

Die Modellergebnisse bezüglich der Strömungssituation zeigen die folgenden Bilder (Bild 18 - Bild 22). In der Darstellung der absoluten Stauwasserdauern beider Varianten sind wieder



gelbe bis rötliche Farbtöne in den Bereichen der Rinnen erkennbar, die mit hohen Stauwasser-
 dauern korrespondieren.

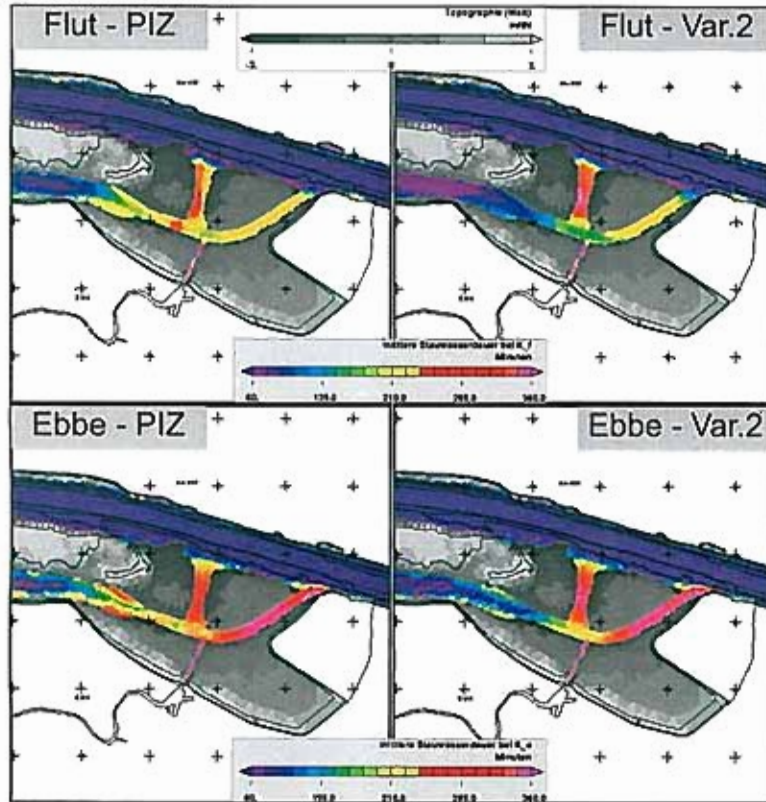


Bild 18: mittlere Stauwasserdauern bei Flut-/Ebbstrom – Vergleich von PIZ zu Variante 2

Die lokalen Differenzen (Bild 19) bzw. regionalen Differenzen (Bild 20) in den Stauwasser-
 dauern zeigen ein differenziertes Bild. Positiv zu bewerten ist die Verringerung der Stauwas-
 serzeiten in der A+E-Rinne bis zum Durchstich. Jedoch steigen diese ab dem Durchstich bis
 zum westlichen Ende der Hahnöfer Nebelölbe wieder an, sowie auch in sehr geringem
 Maße in dem nördlichen Este-Fahrwasser. Dieses Verhalten ist plausibel: Eine Befül-
 lung/Entleerung der Hahnöfer Nebelölbe kann nun nicht mehr nur von Westen her erfolgen,
 sondern auch über den Durchstich, da die Tidewelle aufgrund der höheren Wassertiefe in
 der Fahrinne dort eine höhere Geschwindigkeit aufweist und Befüllung sowie Entleerung
 auch durch den Durchstich erfolgen kann. Damit korrespondieren die veränderten Strö-
 mungsgeschwindigkeiten (Bild 21 und Bild 22).

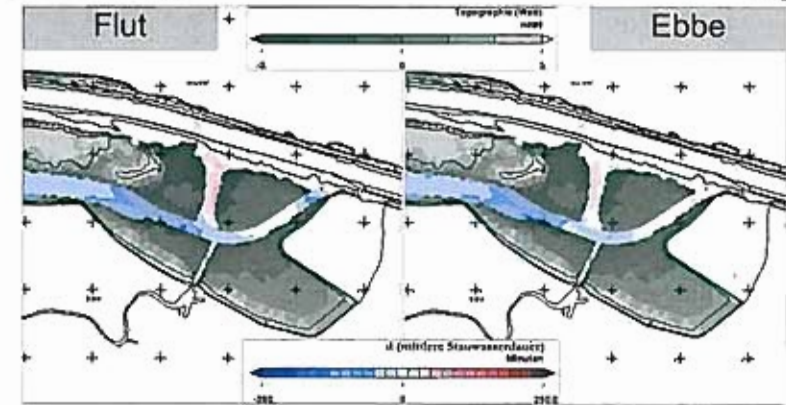


Bild 19: Differenzen der mittleren Stauwasserdauern bei Flut-/Ebbstrom – Differenzen: Vari-
 ante 2 – PIZ

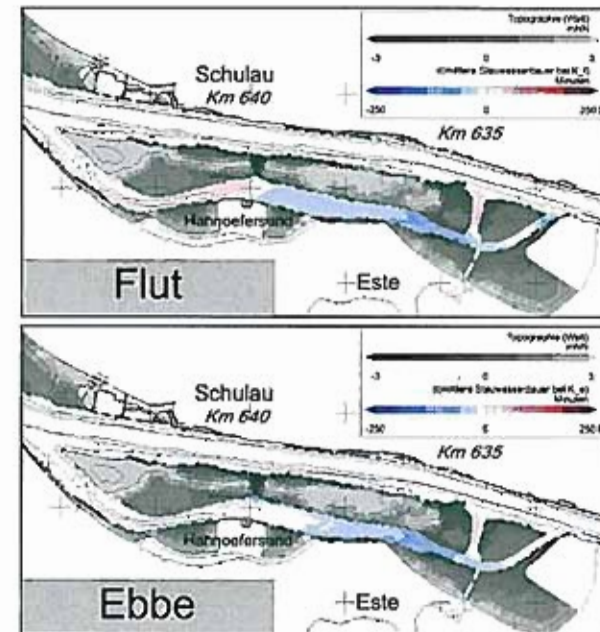


Bild 20: Differenzen der mittleren Stauwasserdauern bei Flut-/Ebbstrom – Differenzen: Vari-
 ante 2 – PIZ; regionaler Ausschnitt

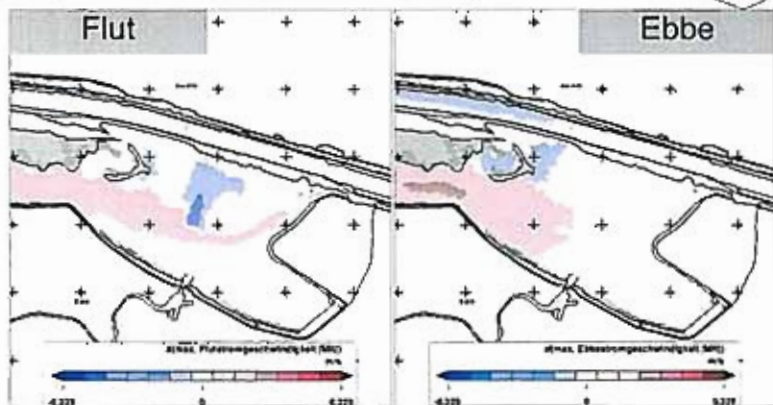


Bild 21: Differenzen der maximalen Flut-/Ebbestromgeschwindigkeit – Differenzen: Variante 2 – PIZ

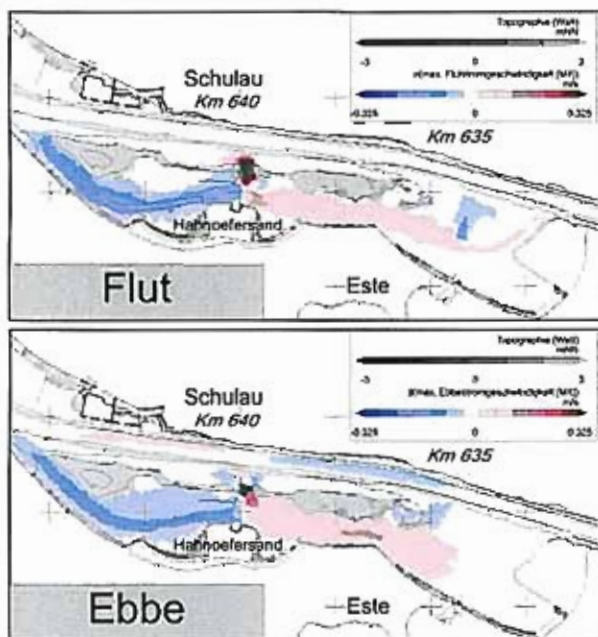


Bild 22: Differenzen der maximalen Flut-/Ebbestromgeschwindigkeit – Differenzen: Variante 2 – PIZ; regionaler Ausschnitt



Sie nehmen in dem Bereich zwischen Durchstich und westlichen Ende der Hahnöfer Nebeneibe ab, während auf der anderen Seite - östlich des Durchstichs - die Geschwindigkeiten zunehmen. Innerhalb des Durchstichs sind die Strömungsgeschwindigkeiten hoch, da sich aufgrund der schnelleren Tidewelle im Fahrwasser gegenüber der Nebeneibe ein entsprechender Wasserstandsgradient ausbilden kann.

4.2.6.3 Variante 3: Vertiefung der Hahnöfer Nebeneibe

Die dritte Variante besteht in einer Vertiefung der Hahnöfer Nebeneibe. Diese Vertiefung (s. schematische Darstellung in Bild 23) erfolgt über die gesamte Hahnöfer Nebeneibe um 2 m. Durch diesen massiven Eingriff wird im Sinne eines Systemtests das Veränderungspotenzial hinsichtlich einer verbesserten Durchströmung untersucht, da das Durchflussverhältnis von Hauptleibe zu Nebeneibe mit einer Vertiefung der Nebeneibe dieses zu Gunsten der Nebeneibe verbessert.

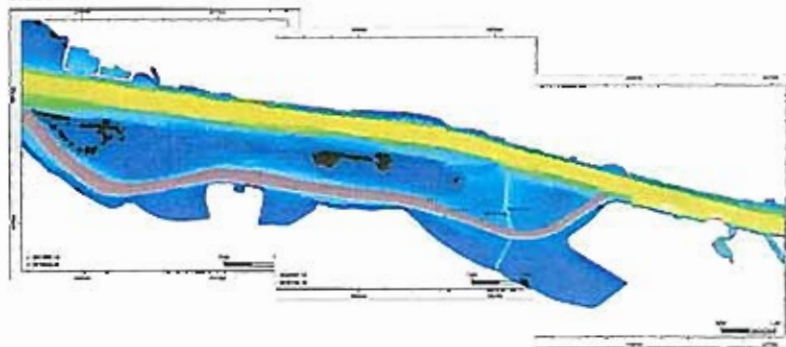


Bild 23: Übersicht Variante 3 – Vertiefung der Hahnöfer Nebeneibe

In der Ansicht der absoluten Stauwasserdauern (Bild 24) ist erkennbar, dass in den Rinnen hohe Stauwasserdauern vorliegen. Die Differenzen von Stauwasserdauern (Bild 25 und Bild 26) und von maximalen Strömungsgeschwindigkeiten (Bild 27 und Bild 28) zeigen das zu erwartende Ergebnis: die Stauwasserdauern nehmen in der Hahnöfer Nebeneibe sowohl bei Flut- als auch bei Ebbestromung ab. Damit einher geht eine Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit. Lediglich im westlichen Teil der Hahnöfer Nebeneibe verringert sich die Strömung. Dadurch dass der östliche Teil (hauptsächlich die A+E-Rinne) auch hydraulisch leistungsfähiger geworden ist, erfolgt die Befüllung des Mühlenberger Loches nicht mehr so dominant aus dem westlichen Teil, sondern wird teilweise durch eine Befüllung aus dem östlichen Teil ersetzt. Damit gehen auch die maximalen Strömungsgeschwindigkeiten im westlichen Teil zurück. Die nördliche Rinne nimmt an Bedeutung ab: die Stauwasserzeiten steigen leicht an und die maximalen Strömungsgeschwindigkeiten sind rückläufig.

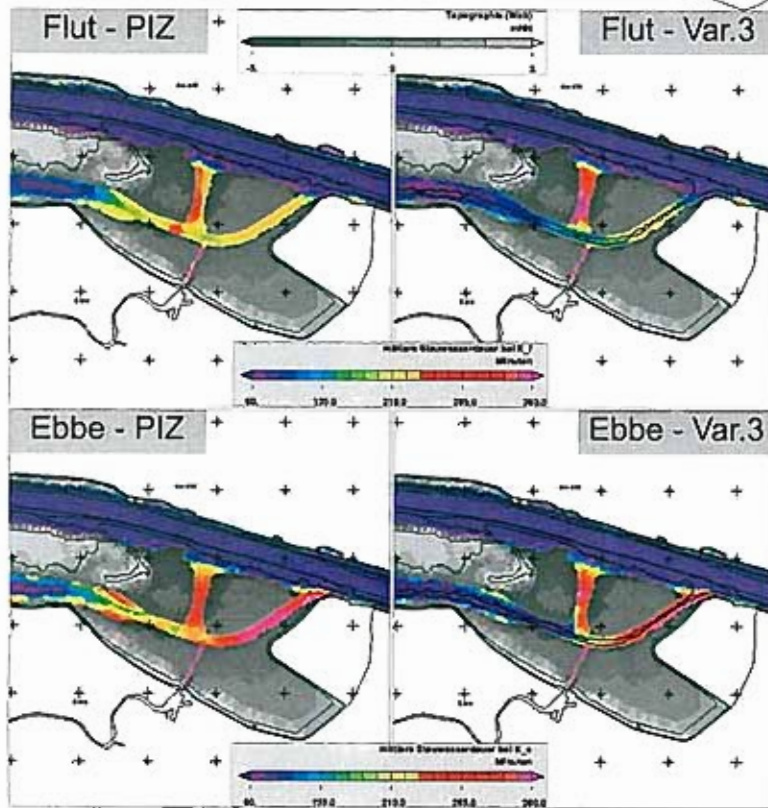


Bild 24; mittlere Stauwasserdauern bei Flut-/ Ebbstrom – Vergleich von PIZ zu Variante 3

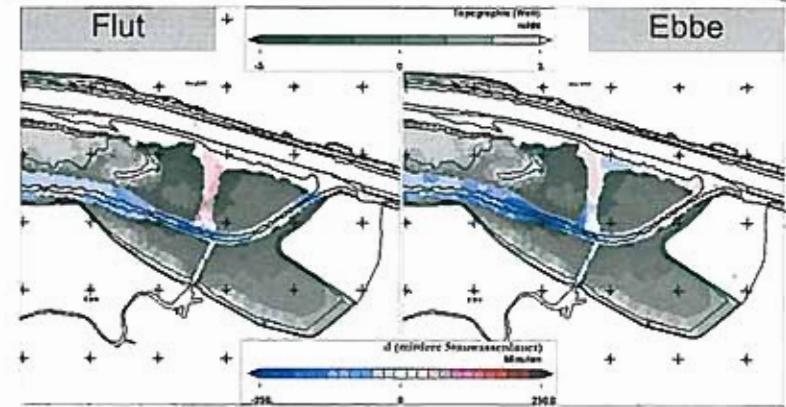


Bild 25: Differenzen der mittleren Stauwasserdauern bei Flut-(links) / Ebbstrom (rechts) –
 Differenzen: Variante 3 – PIZ

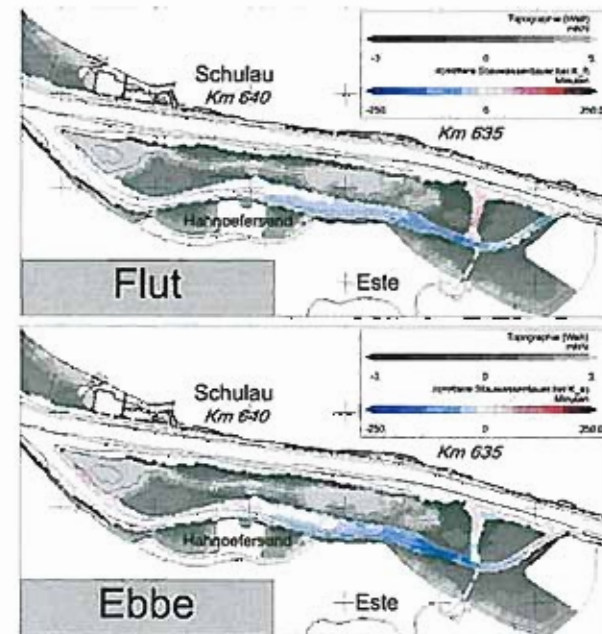


Bild 26: Differenzen der mittleren Stauwasserdauern bei Flut-/ Ebbstrom – Differenzen:
 Variante 3 – PIZ; regionaler Ausschnitt

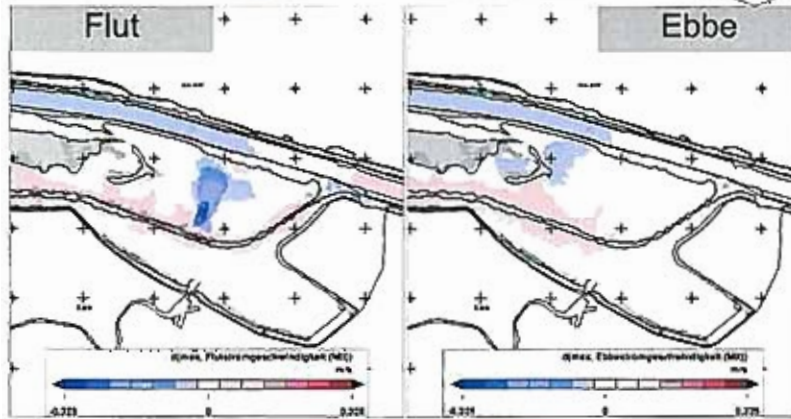


Bild 27: Differenzen der maximalen Flut-/Ebbestromgeschwindigkeit – Differenzen: Variante 3 – PIZ

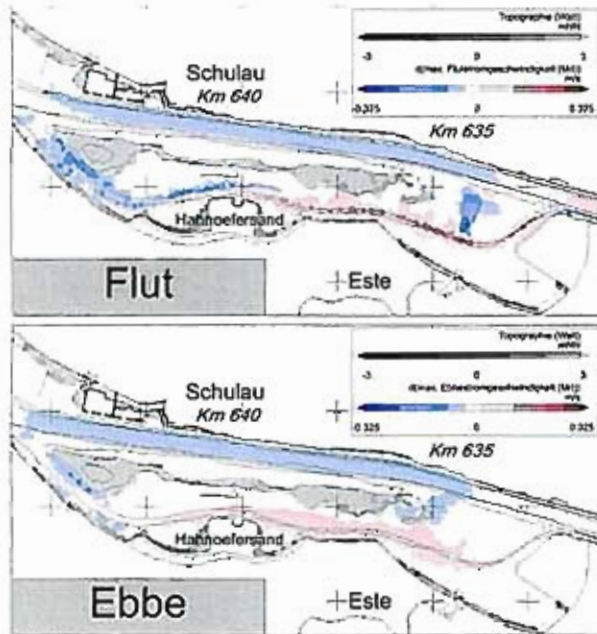


Bild 28: Differenzen der maximalen Flut-/Ebbestromgeschwindigkeit – Differenzen: Variante 3 – PIZ; regionaler Ausschnitt



4.2.6.4 Variante 4: Abdämmung Hahnöfer Nebeneibe

Durch diesen massiven Eingriff sollte ursprünglich, wie in Variante 3, im Sinne eines Systemtests das Veränderungspotenzial hinsichtlich der Durchströmung der A+E-Rinne untersucht werden (s. Bild 29). Da sie der Nutzung der Hahnöfer Nebeneibe als Fahrwasser widerspricht, wird auf eine Ergebnisdarstellung verzichtet.

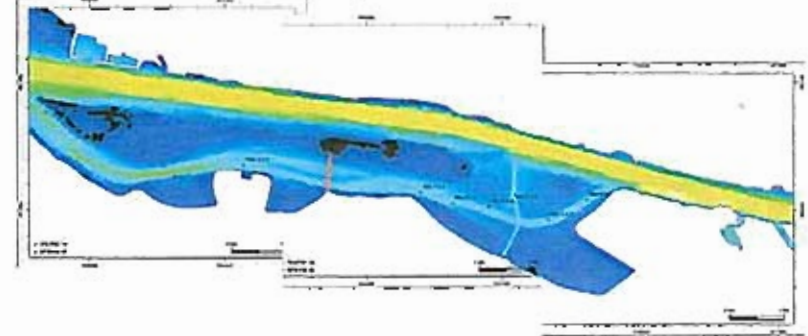


Bild 29: Übersicht Variante 4 – Abdämmung der Hahnöfer Nebeneibe

4.2.6.5 Variante 5: Abdämmung der östlichen A+E-Rinne

Die fünfte Variante ist der ersten sehr ähnlich, jedoch wird nicht das nördliche Este-Fahrwasser abgesperrt, sondern der östliche Teil der A+E-Rinne. Hier wird ebenso eine Barre in die Modelltopographie eingebaut. Sie hat beidseitigen Wattanschluss, kann überströmt werden und verringert die durchströmte Fläche in die Rinne hinein bzw. aus der Rinne hinaus. Im Unterschied zur Variante 1 wird hier jedoch die Strömung im 90 Grad Winkel umgelenkt; die erwartete positive Wirkung auf die verbleibende Rinne wird geringer als in Variante 1 eingeschätzt. Bild 30 zeigt den Eingriff schematisch.

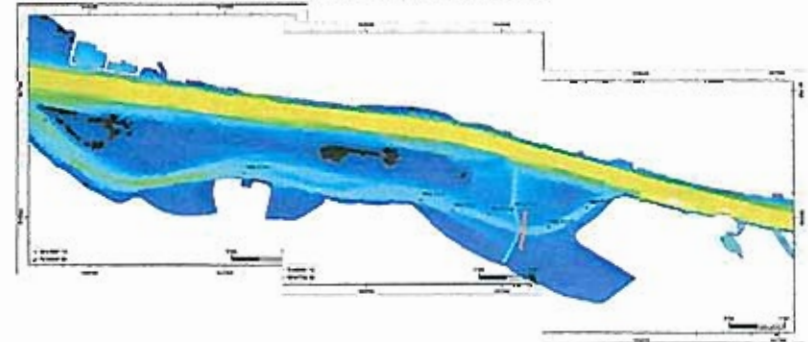


Bild 30: Übersicht Variante 5 – Abdämmung der östlichen A+E-Rinne



Die Modellergebnisse im Hinblick auf die absoluten Stauwasserdauern zeigen ein ähnliches Bild wie bei den Varianten davor: hohe Stauwasserdauern in den Rinnen (A+E-Rinne und nördliches Esté-Fahrwasser).

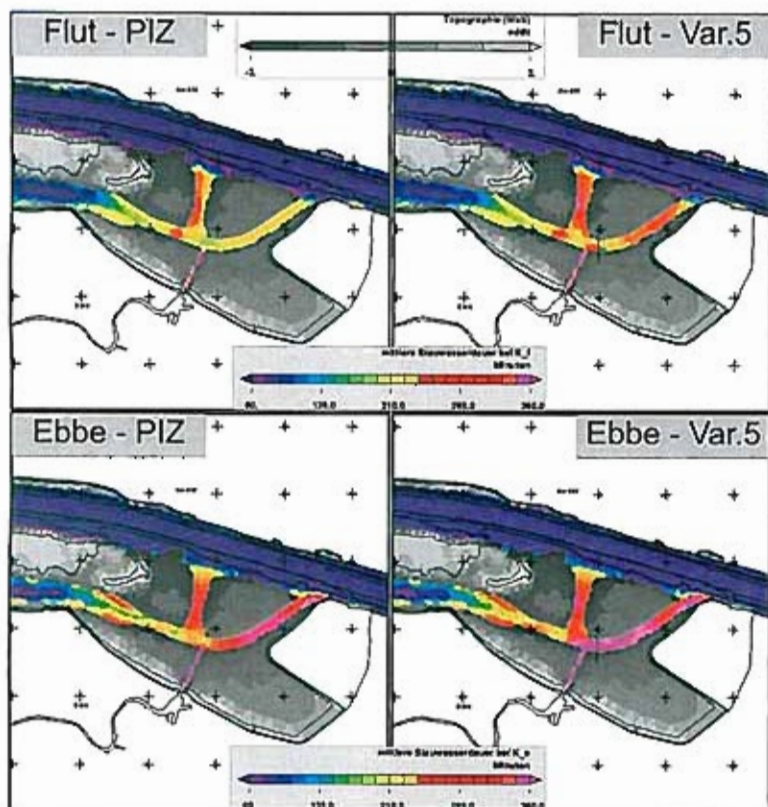


Bild 31: mittlere Stauwasserdauern bei Flut-/Ebbstrom – Vergleich von PIZ zu Variante 5

Die Differenzdarstellung (Bild 32) zeigt eine Zunahme von Stauwasserdauern sowohl in der nördlichen Rinne als auch in der östlichen A+E-Rinne, sowohl für Flut- als auch für Ebbestromung. Die maximale Flutstromgeschwindigkeit nimmt in der östlichen A+E-Rinne erwartungsgemäß ab, da diese durch die Barre eingeschränkt wird. Für die nördliche Rinne ergibt sich kaum eine Änderung; nur in der Flutphase kommt es zu einem leichten Anstieg der Stauwasserdauer.

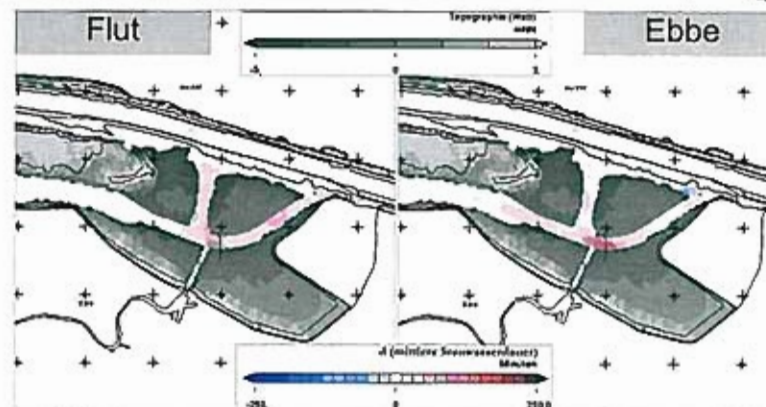


Bild 32: Differenzen der mittleren Stauwasserdauern bei Flut- / Ebbestrom – Differenzen: Variante 5 – PIZ

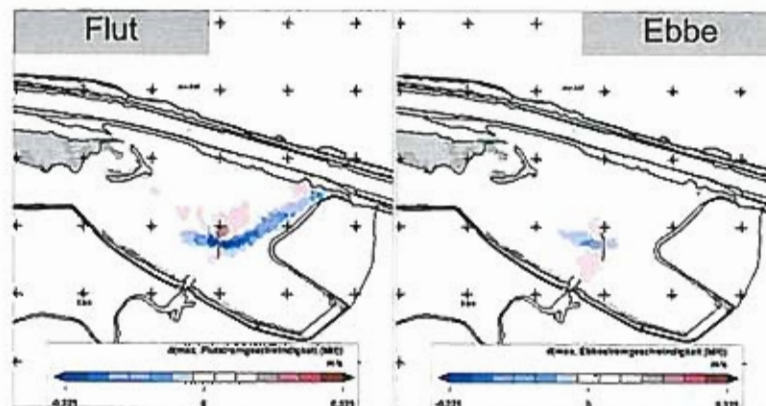


Bild 33: Differenzen der maximalen Flut-/Ebbestromgeschwindigkeit – Differenzen: Variante 5 – PIZ

4.2.6.6 Variante 6: Leitdamm

Die sechste Variante besteht aus einem Einbau eines Leitdamms am östlichen Anschluss der A+E-Rinne an die Fahrinne entlang der A+E-Rinne (s. schematische Darstellung Bild 34). Das Ziel war, die Strömung im östlichen Bereich der A+E-Rinne zwangsweise zu führen und im Sinne einer Schöpfbühne bei Ebbestrom im Elbefahrwasser die Ebbestromung in der östlichen A+E-Rinne zu fördern. Diese Variante wurde jedoch nicht weiter untersucht, da sie sehr starke lokale Veränderungen erzeugt, die sich teilweise negativ auf die Fahrinne der



Eibe auswirken und nur geringen Einfluss auf die Stauwasserdauern hat. Lage und Höhe des Leitdamms müssten aufwändig weiter optimiert werden, wobei nur geringe Effekte auf eine Verbesserung der angestrebten Strömungssituation zu erwarten sind.

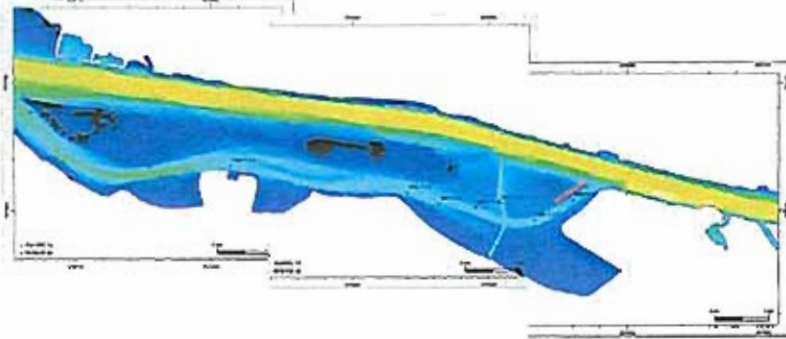


Bild 34: Übersicht Variante 6 – Leitdamm

4.2.6.7 Variante 7: Verschwenkung der östlichen A+E-Rinne

Als weitere Variante zur möglichen Verbesserung der Durchströmung der Hahnöfer Nebeneibe wurde eine Verschwenkung der östlichen A+E-Rinne mit dem Ziel einer verbesserten Stromführung untersucht (siehe schematisches Bild 35).

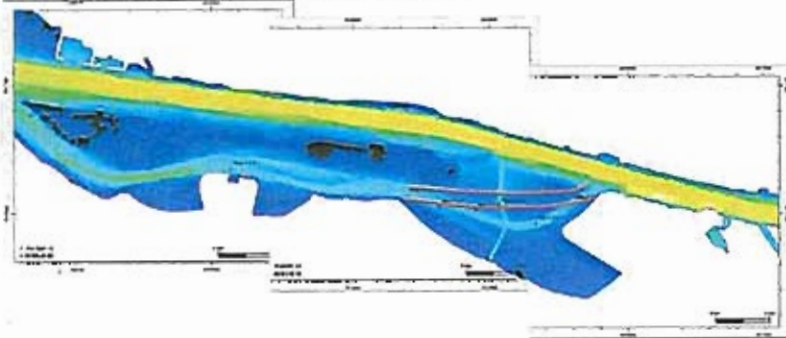


Bild 35: Übersicht Variante 7 – Verschwenkung der östlichen A+E-Rinne

Dabei wird die bestehende A+E-Rinne und das nördliche Este-Fahrwasser verfüllt und die Este ab dem Sperrwerk kommend mit den heutigen Wassertiefen an die neue Rinne angeschlossen. Die Tiefe der neuen verschwenkten A+E-Rinne wird auf -3.9 m NN festgelegt. Die im Modell umgebaute Topographie zeigt schematisch Bild 36.



Bild 36: Ansicht des Modellgitters mit schematischer Modelltopographie in der Variante 7

Die vom Modell berechneten Stauwasserdauern bleiben auch bei dieser Variante hoch (s. Bild 37).

Eine Differenzbildung aus Stauwasserdauern (Bild 38) ist für Teile der Rinne nicht möglich, da diese bei Niedrigwasser in der Variante trocken fallen und sich damit einer Stauwasseranalyse entziehen. Für den restlichen Bereich der Hahnöfer Nebeneibe (Westen) ist bei Flutströmung keine Veränderung und bei Ebbe eine leichte Verschlechterung der Verhältnisse (Anstieg der Stauwasserdauern im Bereich Neßsand) auszumachen.

Hinsichtlich der maximalen Strömungsgeschwindigkeiten (s. Bild 39) ergeben sich große Änderungen durch die Rinnenverlagerung, da Wattgebiete in der Variante zur Rinne geworden sind und Teile der Rinnen in der Variante Wattgebiete werden. Betrachtet man den restlichen - unveränderten - Bereich, so ergeben sich insgesamt geringe Änderungen der Strömungskennwerte.

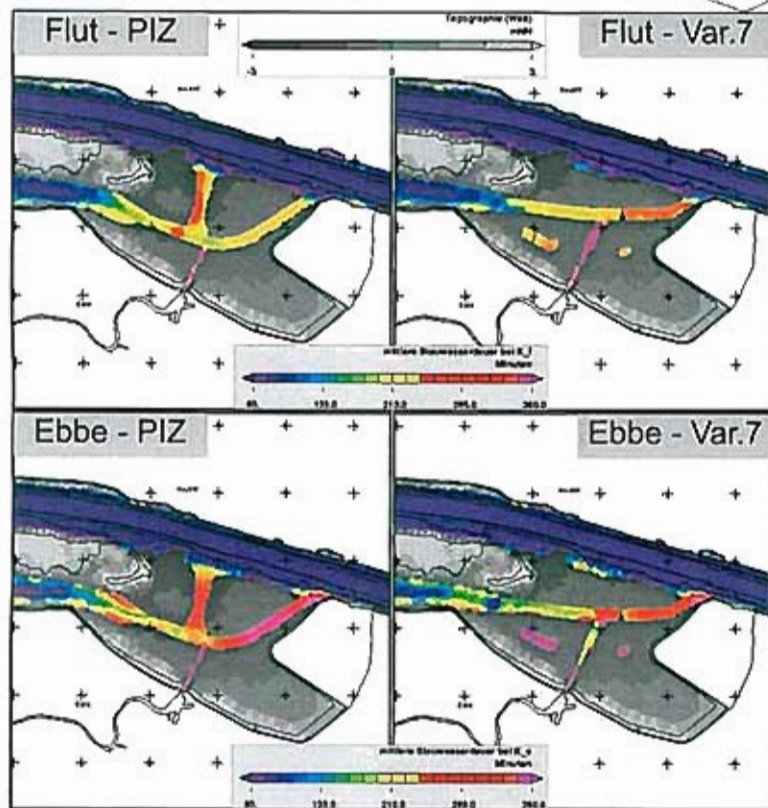


Bild 37: mittlere Stauwasserdauer bei Flut- / Ebbstrom – Vergleich von PIZ zu Variante 7

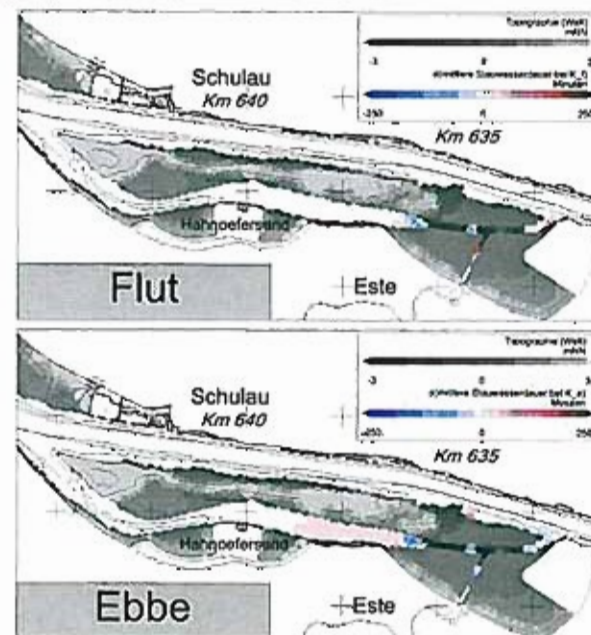


Bild 38: Differenzen der mittleren Stauwasserdauer bei Flut/ Ebbstrom – Differenzen:
 Variante 7 – PIZ; regionaler Ausschnitt

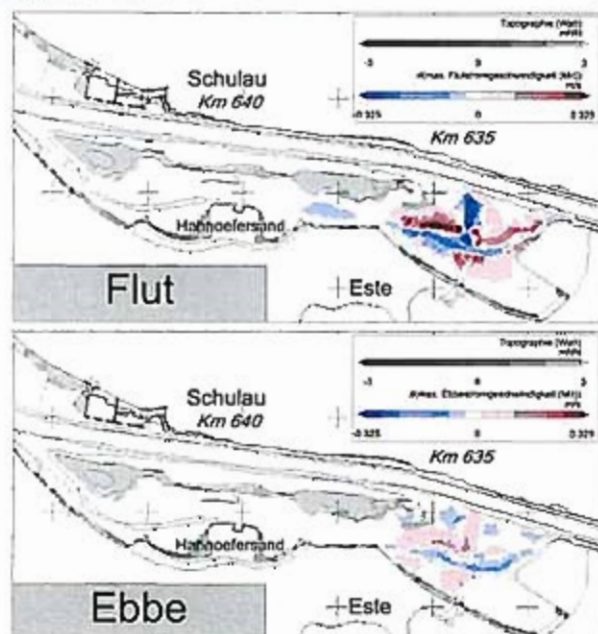


Bild 39: Differenzen der maximalen Flut-/Ebbestromgeschwindigkeit – Differenzen: Variante 7 – PIZ; regionaler Ausschnitt



4.3 Schlussfolgerungen und Empfehlung aufgrund der Voruntersuchung

Die Variante mit der deutlichsten Verbesserung der Strömungen in der Hahnöfer Nebenelbe ist die Vertiefung (Variante 3). Dieses Resultat ist zu erwarten, da mit einer Vertiefung der Nebenelbe, das Verhältnis der hydraulischen Leistungsfähigkeit zwischen Haupt- und Nebenelbe zu Gunsten der Nebenelbe verändert wird. Zu beachten ist jedoch, dass ein solcher künstlich hergestellter Systemzustand nicht stabil bleiben würde. Die hydraulische Leistungsfähigkeit der Hauptelbe ist, wie zum heutigen Zeitpunkt auch, in Variante 3 aufgrund des großen durchströmten Querschnitts dominant gegenüber der Nebenelbe. Darüber hinaus beträgt der Fließweg von Elbe-km 646 bis Elbe-km 632 durch die Nebenelbe ca. 15 km und durch die Hauptelbe ca. 14 km. Damit wird die Durchströmung der Nebenelbe aufgrund des geringeren hydraulischen Gefälles sowie der erhöhten Rauheitswirkung infolge geringer Wassertiefen langfristig gesehen abnehmen. Es folgen verringerte Strömungsgeschwindigkeiten mit zunehmender Sedimentation. Ein Sollzustand könnte nur durch Unterhaltungsbaggerungen in der Hahnöfer Nebenelbe gewährleistet werden. Der gesamte Eingriff wäre bei dieser Variante sehr hoch.

Die Varianten 1, 5 und 7 haben als Gemeinsamkeit, dass im östlichen Teil der Hahnöfer Nebenelbe nur eine wirksam durchströmte Rinne verbleibt. Dennoch müssen die Wirkungen dieser Varianten differenziert betrachtet werden. Variante 7 zeigt zumindest bei Ebbstrom eine deutliche Verringerung der Stauwasserdauern gegenüber dem PIZ. Auch die Fläche mit sehr hohen Stauwasserdauern (rote Farben) verringert sich dadurch in der durchströmten Rinne, woraus auf eine ebenfalls verringerte zu unterhaltende Fläche geschlossen werden darf. Zu beachten ist bei dieser Variante das große Eingriffsgebiet durch die Baggerung einer neuen Rinne. Die Varianten 1 und 5 zeigen im Detail unterschiedliche Wirkungen. Während die Variante 1 positive und negative Veränderungen hinsichtlich der Strömung aufweist, bei denen in Summe die positiven Veränderungen nur sehr schwach überwiegen, zeigt die Variante 5 durch eine 90 Grad Umlenkung der Strömung (Nebenelbe zu nördlicher Rinne) durchweg negative Effekte, wie die Verringerung der Strömungsgeschwindigkeiten und die Zunahme von Stauwasserdauern. Beiden gemein ist, dass die Eingriffsfläche durch die Errichtung der Abdämmung gering ist und die später zu erwartende Unterhaltungsfläche für das System am geringsten von allen gezeigten Varianten ist.

Die Variante 2 bildet einen Sonderfall. Zwar bringt ein Durchstich bei alleiniger Betrachtung der A+E-Rinne Vorteile in Form von verringerten Stauwasserdauern und vergrößerten maximalen Strömungsgeschwindigkeiten, bei einer Betrachtung über die A+E-Rinne hinaus fallen jedoch auch negative Veränderungen westlich des Durchstichs auf. Durch die Befüllung der östlichen Hahnöfer Nebenelbe mit einem zusätzlichen Durchstich verringert sich die Strömung westlich des Durchstichs. Zusätzlich steigen die Stauwasserdauern dort leicht an, woraus langfristig die Abnahme der Durchströmbarkeit infolge Sedimentation insbesondere westlich des Durchstichs angenommen werden kann. Aus wasserbaulicher Sicht ergibt sich



daher – wie auch bereits in früheren Stellungnahmen der BAW zum Ausdruck gebracht - insgesamt eine negative Bewertung der Variante.

Für alle Varianten gilt, dass durch die Veränderungen nur sehr geringe positive Einflüsse auf die Durchströmung der A+E-Rinne zu erkennen sind, bei teilweise recht umfangreichen Eingriffen. Die im Referenzmodell (PIZ) sehr hohen Stauwasserdauern können durch keine Variante entscheidend verringert werden. Ähnliches gilt für die maximalen Strömungsgeschwindigkeiten: sie werden durch keine Variante entscheidend erhöht. Man muss anerkennen, dass es keine Lösung zu geben scheint, das System dahingehend zu ändern, dass es für eine längere Zeitspanne aus sich heraus stabil bleibt. Die Gründe, die bei Variante 3 bereits angesprochen wurden, liegen in der hohen Dominanz der Hauptelbe gegenüber der Nebelbe, der kleineren Wegstrecke, die das Wasser in der Hauptelbe gegenüber der Nebelbe zurücklegen muss und daraus letztlich resultierend die sehr hohen Stauwasserdauern, die suspendiertem Sediment ein Absinken in der Hahnöfer Nebelbe ermöglichen. Folglich kann die A+E-Rinne in der Hahnöfer Nebelbe nur durch eine entsprechende Unterhaltungsstrategie langfristig weiter fortbestehen.

Die BAW empfiehlt zukünftig nur einer Rinne zu unterhalten, die zudem die Strömung nicht zu stark umlenkt wie in Variante 5 vorgestellt. Die Hauptbegründung liegt dabei in der sich geringfügig verbesserten Strömungssituation im Bereich der östlichen A+E-Rinne, die dazu führt, dass das System sich dann verlangsamt auf den angestrebten Zustand der vollständigen Verlandung zu bewegt. Die Variante 3 wird nicht favorisiert, da der sehr hohe Eingriff die relativ geringen Verbesserungen aus heutiger Sicht nicht rechtfertigt. Ebenfalls wird Abstand genommen von dem Durchstich (Variante 2), da dieser zwar die Strömungssituation in der A+E-Rinne tendenziell verbessert, jedoch in der Gesamtbewertung durchfällt, da die heutigen Sedimentationsbereiche nur verschoben werden. Generell kann gesagt werden, dass von einer Ein-Rinnen-Lösung nur eine geringe Verbesserung der Durchströmung der A+E-Rinne erwartet werden kann und sich der genaue Verlauf anderen als wasserbaulichen Kriterien unterwerfen kann.



5 Hauptuntersuchung

Wie bereits in Kapitel 3 beschrieben, erschien dem Auftraggeber die aus wasserbaulicher Sicht abgeleitete Empfehlung der BAW zu einer Unterhaltung eines Ein-Rinnen-Systems in der Abwägung mit nautischen, wirtschaftlichen und naturschutzfachlichen Argumenten wenig akzeptabel für eine Umsetzung. Mit dem Auftraggeber wurde deshalb das ursprüngliche Untersuchungskonzept für den zweiten Teil, der Hauptuntersuchung, an die Erfordernisse im Zusammenhang mit der Erfolgskontrolle der A+E-Maßnahme angepasst. Das Ziel der Hauptuntersuchung musste sich nun auf die Frage nach der morphologischen Stabilität der A+E-Rinne sowie einer Analyse der Wiederverlandungsprozesse in der Vergangenheit als auch nach einer Wiederherstellung der Solltiefen ausrichten. Dazu wurde sowohl eine Analyse von vorhandenen Natur-/Messdaten (d.h. Rückblick und *status quo*) als auch eine HN-Modelluntersuchung (d.h. Prognose) durchgeführt.

Die Analyse der Natur-/Messdaten ist für die Einschätzung und Bewertung der vergangenen und heutigen Verlandungsprozesse von Bedeutung und fließt auch in die Bewertung zukünftiger Systemzustände ein. Darüber hinaus müssen durch eine HN-Modellierung noch die künftigen Randbedingungen wie beispielsweise die geplante Fahrinnenanpassung in Betracht gezogen werden. Weiterhin gilt es die hochvariablen und sehr sensitiven Randbedingungen wie Oberwasserzufluss und Baggergutumlagerungen zu berücksichtigen. Für die Analyse dieser komplexen Prozesse und Wechselbeziehungen wird ein HN-Modell mit Sedimenttransport eingesetzt.

5.1 Analyse der Naturdaten

Die folgende Analyse soll aufzeigen, welche Einflüsse die jetzigen Situation einer rasch verlandeten östlichen A+E-Rinne wesentlich geprägt haben, und welche Prozesse ggf. noch unbekannt in der Größe ihrer Auswirkungen sind.

In der Stellungnahme der BAW vom 04.08.2008 (s. U 2) wurden bereits die bekannten Prozesse, die ursächlich zu einer raschen Verlandung der östlichen A+E-Rinne führten, qualitativ aufgezählt. Diese sind:

- Verlust von Tidevolumen durch den Bau der DA-Erweiterungsfläche und damit einhergehend eine Vergrößerung der Stauwasserdauern und damit des Sedimentationspotenzials
- zusätzlicher Sedimenteintrag durch Dränwasser und äolischem Transport bei der Herstellung der DA-Erweiterungsfläche
- erhöhter Sedimenteintrag bei Flutstrom sowohl durch Zunahme des Stromauftransportes als auch durch Zunahme der Umlagerungsmengen von Baggergut

Im Folgenden werden neben den vorhandenen Analysen aus der Beweissicherung der Fahrinnenanpassung von Unter- und Außenelbe weitergehende eigene Analysen angestrengt,



um die bestehenden Ergebnisse weiter zu untermauern bzw. auch tiefer gehende Erkenntnisse hinsichtlich des Systemzustandes von Hahnöfer Nebeneibe und Mühlenberger Loch zu gewinnen.

5.1.1 Analyse der Strömungsgeschwindigkeiten

Für das Prozessverständnis im Bereich der Hahnöfer Nebeneibe und des Mühlenberger Lochs sowie der Erfolgskontrolle der A+E-Maßnahme ist eine Analyse der Strömungsgeschwindigkeiten von Bedeutung. Dies ergibt sich aus dem Planfeststellungsbeschluss (s. U 3) in Abschnitt A Kapitel II.2.3. Dort wird die Durchströmung der A+E-Rinne als Entscheidungskriterium für eine ggf. erforderliche Unterhaltungsbaggerung festgeschrieben.

5. Der TdV hat vorbehaltlich der Zustimmung der Bezirksregierung Lüneburg Unterhaltungsbaggerungen durchzuführen, wenn die beabsichtigten Kompensations- und Entwicklungsziele gemäß LBP (Schaffung und Sicherung von Flachwasserzonen für den aquatischen Lebensraum) nicht mehr gewährleistet sind. Die Aufrechterhaltung einer durchgängigen Wassertiefe von 2,5 m unter KN ist nicht erforderlich, solange die Durchströmung auch bei geringen Wassertiefen sichergestellt ist. Die Ergebnisse der erforderlichen Erfolgskontrolle sind der Entscheidung für eine Unterhaltung zugrunde zu legen.

Das folgende Bild (s. Bild 40) gibt eine Übersicht über die Lage der Strömungsmessungen, die für die Analyse verwendet wurden.

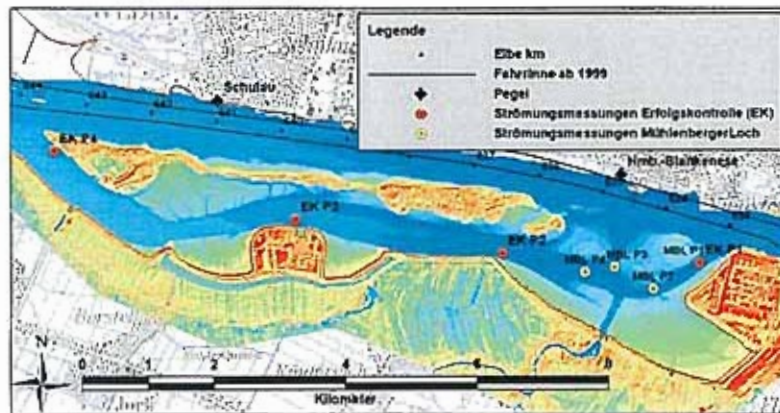


Bild 40: Übersicht der verwendeten Strömungsmesspositionen

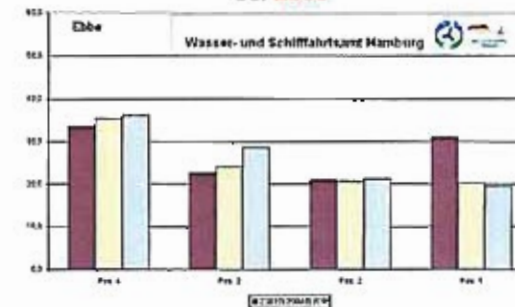
5.1.1.1 Ergebnisse aus der Beweissicherung

Das WSA-Hamburg hat bei Erfolgskontrollen im Rahmen der Beweissicherung die mittleren Strömungsgeschwindigkeiten aus Messkampagnen in der Hahnöfer Nebeneibe ermittelt.



Diese beziehen sich auf die Jahre 2003 bis 2005 und liefern im Ergebnis folgendes (s. Bild 41): Die Positionen P2 bis P4 zeigen - sowohl für den Flut- als auch den Ebbstrom - keinen bzw. nur einen sehr geringen Trend. Dabei sind über die Jahre sowohl geringe Zunahmen als auch Abnahmen der mittleren Flut- und Ebbeströmungen zu verzeichnen. Lediglich an der Position P1, die sich in der östlichen A+E-Rinne befindet, ist eine deutliche Abnahme der mittleren Strömungsgeschwindigkeiten bei Flutstrom um ca. 20 cm/s als auch bei Ebbstrom um ca. 10 cm/s erkennbar. Die Baggerarbeiten zur Herstellung der A+E-Rinne, die sich vom Januar 2002 bis in den Juni 2003 zogen, waren zum Zeitpunkt der Messungen abgeschlossen.

Mittlere Strömungsgeschwindigkeiten in der Hahnöfer Nebeneibe 80 cm über der Sohle bei Ebbe



Mittlere Strömungsgeschwindigkeiten in der Hahnöfer Nebeneibe 80 cm über der Sohle bei Flut

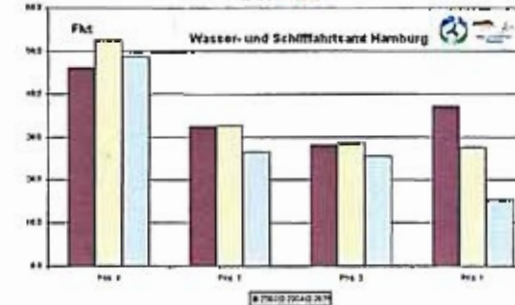


Bild 41: Ergebnisse der Analysen des WSA-Hamburg zur Beweissicherung (U 4); die Positionen entsprechen den Positionen aus Bild 40 mit dem Zusatz EK



5.1.1.2 Eigene Analysen

Neben den Analysen des WSA-Hamburg liegen an den Positionen (EK) noch nicht ausgewertete weitere Datensätze der WSV vor. Zusätzlich sind Strömungsdaten aus einer Sondermessung des WSA-Hamburg im Mühlenberger Loch verfügbar (U 5), die im März/April 2005 aufgenommen wurden.

Strömungsregime im Bereich Hahnöfer Nebeneibe / Mühlenberger Loch

Die Sondermessungen zeigen aufgrund ihrer Position sehr gut das Strömungsregime in dem Bereich Hahnöfer Nebeneibe / Mühlenberger Loch. Durch die komplexe Rinnenstruktur im Mühlenberger Loch führen jedoch schon kleine Änderungen in den topographischen und hydrologischen Randbedingungen dazu, dass sich wesentliche Strömungsmuster verändern (s. Bild 44). Hierdurch wird eine kontinuierliche Zeitreihenanalyse erschwert. Um dennoch ein Grundmuster des Strömungsregimes aus den gemessenen Strömungskurven erkennbar zu machen, sind diese über den gemessenen Zeitraum gemittelt worden. Die Mittelung orientiert sich am Tideniedrigwasser am Pegel Blankenese: die Zeitreihe wird zwischen zwei T_{trw} aufgetrennt und auf die mittlere Tidedauer gedehnt bzw. gestaucht. Alle so gewonnenen Teilzeitreihen werden anschließend überlagert und gemittelt. Mit der Darstellung dieser gemittelten Strömung, einschließlich der Richtung an den Positionen lässt sich die Strömungssituation für einige Zeitpunkte während einer Tidephase gut verstehen und darstellen. Zwei Beispiele für jeweils die Flut- bzw. die Ebbströmungssituation zeigen Bild 42 und Bild 43. Animationen, die das Gesamtgeschehen darstellen, sind dem Gutachten auf einer CD beigelegt. Die mittlere Strömungssituation lässt sich wie folgt charakterisieren:

- zu Beginn der Tide kommt es zu einem starken Einstrom in das nördliche Este-Fahrwasser
- kurze Zeit später folgt ein kräftiger Einstrom über die westliche Hahnöfer Nebeneibe
- damit einher gehen starke Strömungen in der östlichen A+E-Rinne, die sich in Richtung Nordosten zum Fahrwasser bewegen
- noch während der Flutphase am Pegel Blankenese dreht die Strömung in der östlichen wie auch der westlichen A+E-Rinne in die Gegenrichtung und zeigt nun in Richtung Westen (im folgenden als Ebbströmung benannt)
- kurz nach Hochwasser am Pegel Blankenese erhöhen sich die Strömungsgeschwindigkeiten, jedoch nicht so hoch wie zum Flutstrom, dafür länger anhaltend
- die Strömung im nördlichen Este-Fahrwasser dreht noch während der Flutphase um 90 Grad in Richtung Westen und dreht sich nur wenig und langsam weiter nach Norden in der Ebbphase

Gesamt gesehen fällt auf, dass die Ebbströmung an den vier Messstellen bereits während der Flutphase im Hauptfahrwasser der Elbe einsetzt und damit deutlich länger andauert als die Flutsituation. Weiterhin ist auffällig, dass in der kurzen Flutsituation die maximalen Strömungsgeschwindigkeiten in der östlichen A+E-Rinne vom Betrag her den maximalen Strömungsgeschwindigkeiten zur Ebbströmung entsprechen, während an den anderen zwei Posi-



tionen die maximale Flutstromgeschwindigkeit deutlich über der maximalen Ebbstromgeschwindigkeit liegt.

Im Hinblick auf das Sedimenttransportpotenzial ist die Räumkraft bei Flut für die östliche A+E-Rinne sehr gering, während ein möglicher Sedimenteintrag von der Hauptfahrinne, der mit der örtlichen Ebbströmung schon in der Flutphase der Elbe beginnt, vergleichsweise lange andauert.

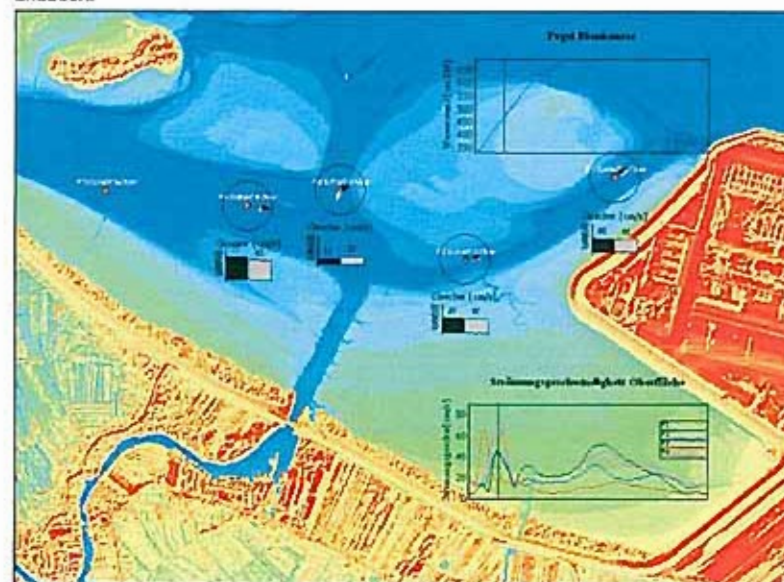


Bild 42: Mittlere Flut-Strömungssituation in der Hahnöfer Nebeneibe / im Mühlenberger Loch während der Flutphase in Blankenese. Dargestellt sind die mittlere Tidekurve bei Blankenese, die mittleren Strömungskurven an der Oberfläche der Messpositionen sowie die aktuelle Strömungsgeschwindigkeit/-richtung an der Messposition an der Oberfläche (Schwarz) bzw. am Grund (Grau) (hergeleitet aus mittleren Tidekurven)

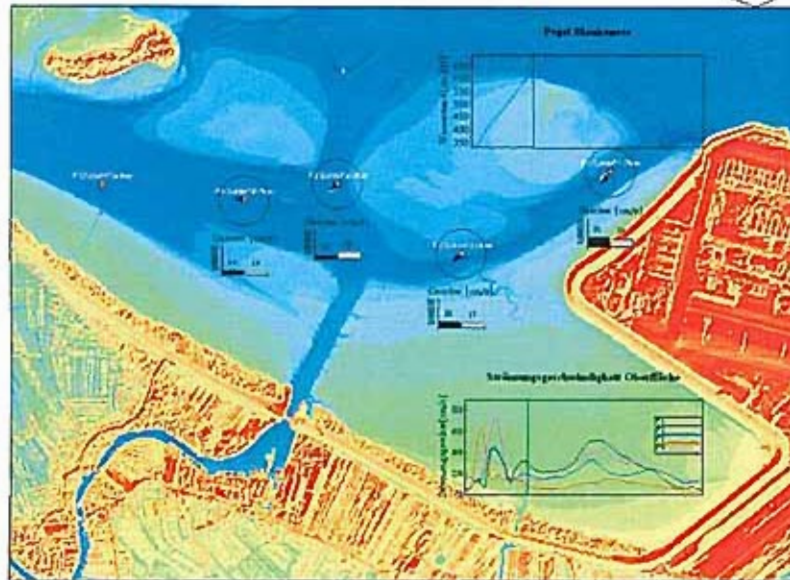


Bild 43: Mittlere Ebb-Strömungssituation in der Hahnöfer Nebelbse / im Mühlenberger Loch während der Flutphase in Blankenese (hergeleitet aus mittleren Tidekurven)

Plausibilisierung der verwendeten Daten

Neben der zuvor beschriebenen Aufnahme des Strömungsregimes aus März/April 2005 stellt sich die Frage nach längerfristigen Veränderungen. Dazu wurden die über Jahre an gleichen Orten durchgeführten Strömungsmessungen aus den Erfolgskontrollen des WSA-Hamburg weiter analysiert und zwar an den Punkten P1-Oben, P2-Oben und P2-Unten. Bei der Position P2-Unten wurde ca. 1m über Grund und bei den Positionen P1-Oben und P2-Oben knapp unter der Wasseroberfläche gemessen.

Am Anfang wurde eine Plausibilisierung der Messdaten vorgenommen, um offensichtlich fehlerhafte Messungen aus den Analysen zu entfernen. Da die Strömungssituation, wie oben bereits erwähnt, sehr sensitiv auf die örtliche Variabilität morphologischer und hydrologischer Randbedingungen reagiert und sich somit in den gemessenen Zeitreihen als sehr komplex darstellt (s. als Beispiel Bild 44), erfolgte die Plausibilisierung durch das Übereinanderplotten von Teilzeitreihen. Letztere entstehen aus der Gesamtzeitreihe, wenn sie für die Flutphase zwischen T_{nw} und T_{hw} (gemessen am Pegel Blankenese) bzw. für die Ebbphase zwischen T_{hw} und T_{nw} aufgeschnitten wurden. Diese Vorgehensweise dient als Hilfsmittel zur Unterscheidung zwischen Ebbe und Flut in den Zeitreihen.



Bei der Plausibilisierung wurden nur offensichtliche Fehler (s. Bild 45), beispielsweise sehr deutliche Ausreißer aus den Daten entfernt. Alles weitere, was als nicht offensichtlich fehlerhaft eingestuft werden konnte, ist in den Zeitreihen verblieben.

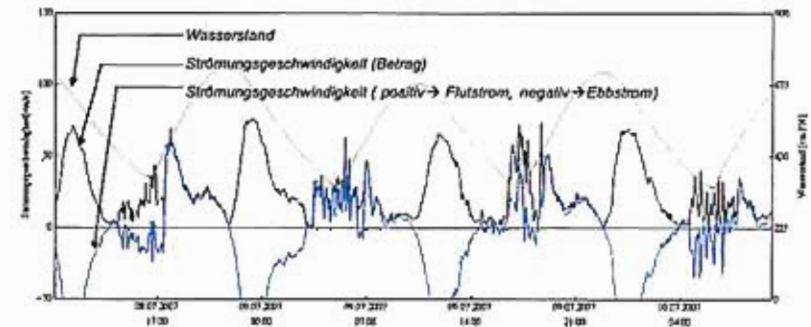


Bild 44: Ausschnitt einer Strömungszeitreihe. Während sich das Signal im Ebbstrom in jeder Tide wiederholt, ist die Situation im Flutstrom deutlich komplexer.

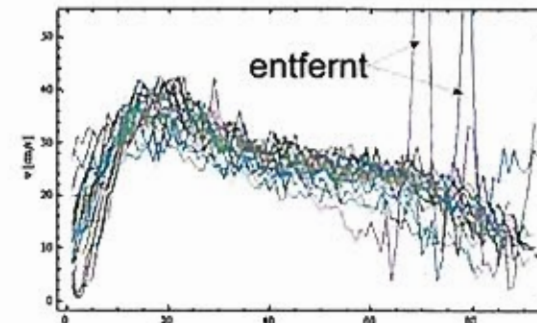


Bild 45: Beispiel für die Plausibilisierung einer Zeitreihe: nur offensichtliche Fehler in den Messungen wurden entfernt

Nach der Plausibilisierung sind folgende Bestimmungen an der Zeitreihe durchgeführt worden:

- Mittlere maximale Flut- und Ebbstromgeschwindigkeiten
- mittlere Strömungskurven
- Verteilungen der Strömungsgeschwindigkeiten



Veränderungen der mittleren maximalen Flut-/Ebbestromgeschwindigkeit

In der vertieften Analyse der Strömungsgeschwindigkeiten der Teilzeitreihen stellte sich heraus, dass für einige wie vorne beschriebene plausibilisierte Zeitreihen nicht zweifelsfrei geklärt werden konnte, ob die Messwerte tatsächlich das Strömungsregime richtig repräsentieren. Damit die vertiefte Analyse nicht durch unplausible Messungen verfälscht wird, werden nur zweifelsfrei plausibel erscheinende Datensätze im Folgenden verwendet. Beispielsweise kann das für die im Anhang (s. Anlage 1 - Anlage 5) dargestellten überlagerten Daten der Messposition P1-Oben nachvollzogen werden.

Die Entwicklung der mittleren maximalen Strömungsgeschwindigkeiten ergibt sich wie folgt (s. Tabelle 1):

Tabelle 1: mittlere maximale Strömungsgeschwindigkeiten zur Flut-/Ebbephase an der Position P1-Oben in der östlichen A+E-Rinne in der zeitlichen Entwicklung; mit * gekennzeichnete Daten sind nicht sicher, da nur vergleichsweise wenige Messungen vorliegen; mit ? gekennzeichnete Werte sind unsicher; - die Daten erscheinen unplausibel

Zeit	Vmax (Flut) [cm/s]	Vmax (Ebbe) [cm/s]
Sep.2003	82	66
Mrz.2004	70 (?)	69
Jul.2004	78	70
Okt.2004	81	70
Mrz.2005	58 (?)	66
Jul.2005	58*	68*
Okt.2005	72	73
Mrz.2006	-	-
Jul.2006	70	69
Okt.2006	-	69
Mrz.2007	-	-
Jul.2007	-	-
Okt.2007	-	73

Folgende Ergebnisse bezüglich der Position P1-Oben zeichnen sich ab:

- Nach der Fertigstellung der A+E-Rinne im Juni 2003 beträgt der der mittlere maximale Flutstrom im September 2003 etwa 80 cm/s und nimmt bis Oktober 2005 auf etwa 70 cm/s ab
- die mittlere maximale Ebbestromgeschwindigkeit beträgt ca. 66 bis 73 cm/s und verändert sich nur geringfügig (kein erkennbarer Trend)
- die Randbedingungen (Oberwasserzufluss, Tidestieg/-fall in der Nordsee, usw.) sind nicht berücksichtigt und müssen bei der Interpretation der Daten beachtet werden
- die Analysen der gemessenen Strömungsgeschwindigkeiten sind nicht sehr belastbar, da viele Daten als unsicher eingestuft werden müssen



Mittlere Strömungskurven

Im Folgenden werden mittlere Strömungskurven berechnet, um eine ggf. eingetretene Formänderung der Strömungskurve über die Zeit analysieren zu können. Die mittleren Strömungskurven entstehen aus der Mittelung der übereinander geplotteten Strömungszeitreihen, wie sie in der Plausibilisierung (s.o.) beschrieben wurden. Vor der Mittelung werden die einzelnen Zeitreihen jeweils auf eine einheitliche Länge/Dauer gedehnt, bzw. gestaucht. Es wird für jeweils eine Messkampagne des WSA-Hamburg eine mittlere Strömungskurve erzeugt. Unplausible bzw. auch unsichere Daten sind dabei entfernt worden (z.T. ganze Kampagnen) und es sind nur vollständige Tiden zur Mittelung verwendet worden. Die Messzeitspannen unterscheiden sich, damit variiert die Datenbasis. Das bedeutet, dass die Anzahl der Tiden zur Ermittlung einer mittleren Strömungskurve nicht immer gleich ist und die mittleren Tidekurven somit streng genommen nur bedingt miteinander vergleichbar sind. Trotz dieses Makels, der bei der Bewertung der Ergebnisse beachtet werden muss, wurde die Analyse durchgeführt, da die Alternative (gleiche Anzahl vollständiger Tiden, gleiche Bedingungen) kaum zu belastbaren Ergebnissen geführt hätte, da zu wenig Daten für die Analyse übrig geblieben wären.

Die Veränderung der mittleren Strömungskurve an der Position P1-Oben über die Zeit zeigt das folgende Bild (s. Bild 46):

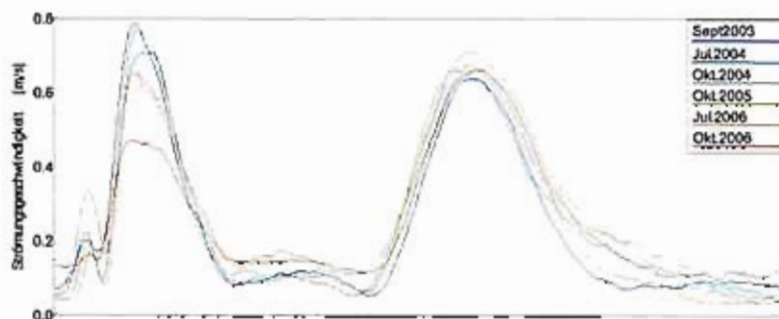


Bild 46: mittlere Strömungskurven an der Position P1-Oben im zeitlichen Verlauf; der erste Peak entspricht dem Flutstrom, der zweite dem Ebbstrom

Folgende Aussagen lassen sich treffen:

- im Laufe der Zeit nehmen die hohen Flutstromgeschwindigkeiten ab (wie auch die maximale Flutstromgeschwindigkeit)
- die Ebbstromgeschwindigkeiten bleiben - von einer gewissen Schwankungsbreite abgesehen - auf etwa gleichem Niveau
- Randbedingungen und die Anzahl der gemittelten Tiden der mittleren Strömungskurven sind teilweise unterschiedlich, somit sind moderate Schwankungen ggf. auch auswertungsbedingt, was in der Bewertung der Ergebnisse beachtet werden muss



Die mittleren Strömungskurven für die Position P2-Oben/Unten sind im Anhang (s. Anlage 6 und Anlage 7) dokumentiert. Für sie ergeben sich keine deutlichen Trends bezüglich einer zeitlichen Veränderung nach der Fertigstellung der A+E-Rinne.

Häufigkeitsverteilungen der Strömungsgeschwindigkeiten

Bei der Mittelung/Aggregation gehen Informationen verloren. Eine Häufigkeitsverteilung spiegelt alle verwendeten Daten wieder und gibt eine andere Ansicht auf die Daten. Eine Häufigkeitsverteilung kann unter Umständen eine Dynamik enthüllen, die bei einer Mittelung durch diese weggemittelt wurde. Für die Position P1-Oben ergeben sich folgende Verteilungen (s. Bild 47). Die Datenbasis entspricht der, der mittleren Strömungskurven.

Die Häufigkeitsverteilung zeigt, dass die weitaus häufigsten Strömungsgeschwindigkeiten im Intervall zwischen ± 25 cm/s, also im Bereich des Stauwassers (<20 cm/s, s. Kapitel 4.2.6) liegen.

Ferner ist ein Absinken der maximalen Flutstromgeschwindigkeit erkennbar, sowie keine deutliche Veränderung bei der maximalen Ebbstromgeschwindigkeit. Die Form der Verteilung bleibt nach dem Fertigstellen der A+E-Rinne für die untersuchten Zeitspannen ähnlich.

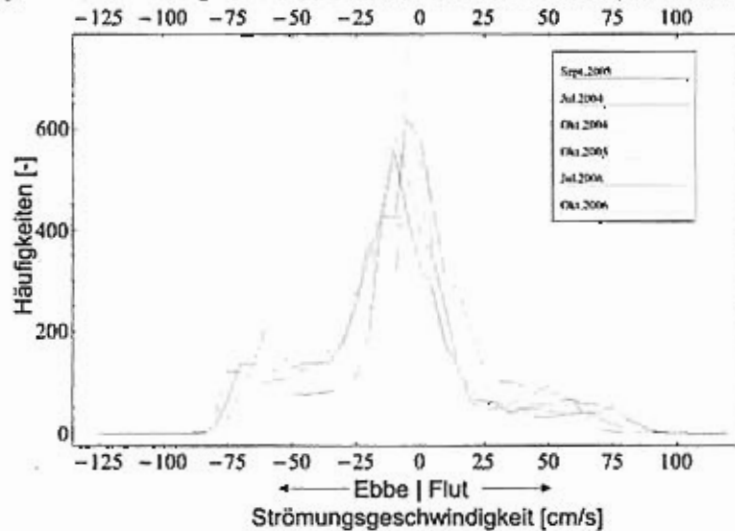


Bild 47: Verteilungen der Strömungsgeschwindigkeiten an der Position P1-Oben im zeitlichen Verlauf

Die Häufigkeitsverteilungen für die Position P2-Oben/Unten sind im Anhang dokumentiert. Ähnlich wie bei den mittleren Strömungskurven sind auch hier keine systematischen zeitlichen Veränderungen nach der Fertigstellung der A+E-Rinne erkennbar.



Zusammenfassung

Aus den Erfolgskontrollen der Beweissicherung:

- EK-P1-Sohle weist einen deutlichen Abwärtstrend sowohl in den mittleren Flutstromgeschwindigkeiten um ca. 10 cm/s als auch in den mittleren Ebbstromgeschwindigkeiten um ca. 20 cm/s für die Jahre 2003 bis 2005 auf
- Die Positionen EK-P2-Sohle, EK-P3-Sohle und EK-P4-Sohle zeigen keinen bzw. nur einen sehr geringen Trend in den mittleren Strömungsgeschwindigkeiten bei Flut-/Ebbstrom

Aus eigenen Analysen – EK-P1-Oben:

- Abnahme der mittleren maximalen Flutstromgeschwindigkeit von etwa 80 auf etwa 70 cm/s (Sept. 2003 – Oktober 2005)
- Die mittlere maximale Ebbstromgeschwindigkeit liegt zwischen 66 und 73 cm/s; ein Trend ist nicht erkennbar (Sept. 2003 – Okt. 2007)
- Mittlere Strömungskurven und Häufigkeitsverteilungen zeigen eine Abnahme der Flutstromgeschwindigkeiten sowie keine deutliche Veränderung der Ebbstromgeschwindigkeiten
- Die Form/Charakteristik der mittleren Strömungskurve wie auch der Verteilung ist abgesehen von der Abnahme der Flutstromgeschwindigkeiten in etwa gleich geblieben
- Die häufigsten Strömungsgeschwindigkeiten liegen im Intervall zwischen ± 25 cm/s; ein Trend in der Zeit ist hier nicht erkennbar

Aus eigenen Analysen – EK-P2-Oben / EK-P2-Unten:

- mittlere Strömungskurven und Häufigkeitsverteilungen lassen keine signifikanten Änderungen in den Strömungsverhältnissen nach der Herstellung der A+E-Rinne erkennen

Aufgrund der Komplexität der Strömungen in diesem Bereich und der daraus entstehenden Unsicherheiten hinsichtlich der Plausibilität der Daten werden die Ergebnisse aus den Strömungsmessungen als tendenziell nicht sehr belastbar eingestuft.

5.1.2 Analysen der Bathymetrie

Differenzpläne von Peilungen zeigen die zeitliche Veränderung der Sohlhöhen. Daraus lassen sich morphologische Veränderungen oder, bei ausreichend zeitlicher Auflösung, auch belastbare Trends (z.B. Rinnenverlagerungen, Verlandungen) ableiten. Das WSA-Hamburg hat eine Profilanalyse im Rahmen der Beweissicherung aus vier Peilungen zu den Zeitpunkten 2002 (ohne Monatsangabe), August 2003, November 2004 und August 2005 durchgeführt (U 6). Bild 48 zeigt eine Übersicht mit den Profillagen. Exemplarisch werden zwei Profilschnitte in Bild 49 und Bild 50 dargestellt. Des Weiteren hat das WSA-Hamburg diverse Differenzpläne angefertigt (U 11). Einen solchen sehr prägnanten Differenzplan zeigt Bild 51.

Folgende Aussagen lassen sich anhand dieser Analysen treffen;



- In der Zeit zwischen dem August 2003 und dem August 2005 kommt es flächenhaft im Bereich der östlichen A+E-Rinne zu großen Sedimentationen bis über 2m (s. Bild 50 und Bild 51)
- Im Bereich der A+E-Rinne westlich des Este-Fahrwassers ist die Sedimentation deutlich geringer. Zwar sind auch im Nahbereich des Este-Fahrwassers Sedimentationen von über einem Meter erkennbar, sie nehmen innerhalb eines Kilometers sehr stark ab, bis es im Bereich des Profils 3+250.000 (s. Bild 49) nur noch wenige cm sind
- Aus den Profildarstellungen (s. Bild 49 und Bild 50) wird deutlich, dass die starke Sedimentation bereits zum Großteil vor dem November 2004 statt gefunden haben muss



Bild 48: Übersicht der Profillagen aus der Querprofilanalyse des WSA-Hamburg (U 6); rot umrandet sind die beiden ausgewählten Profile in Bild 49 und Bild 50

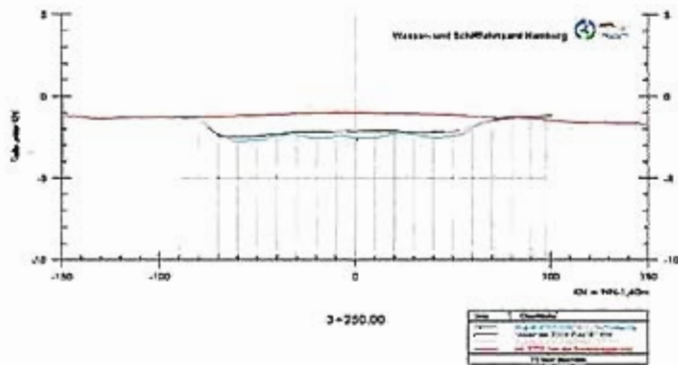


Bild 49: Profil 3+250,00 (westlich des Este-Fahrwassers) aus der Querprofilanalyse des WSA-Hamburg (U 6)

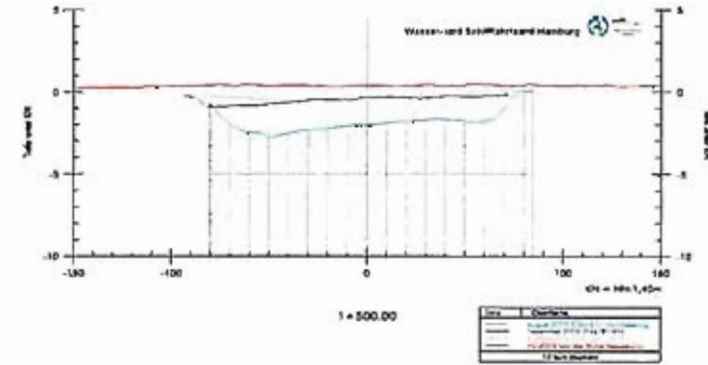


Bild 50: Profil 1+500.00 (östlich des Este-Fahrwassers) aus der Querprofilanalyse des WSA-Hamburg (U 6)



Bild 51: Differenzplan aus den Messungen im August 2003 und August 2005 (U 11)

5.1.2.1 Eigene Analysen

Die HPA beipilt im Bereich des Mühlenberger Lochs ein Testfeld mit zeitlich kürzeren Abständen als in den Rinnen. Diese Peilungen können daher noch tiefergehende Einblicke in die Dynamik der Sedimentation in diesem Bereich geben. Die Daten (U 7) wurden von der BAW visualisiert (Bild 52 - Bild 54).

Bis zum Januar 2003 ist eine Entstehung eines Sandes/Hakens in der Mitte der Peilung erkennbar. Im Januar 2003 ist dann ganz deutlich die neu hergestellte A+E-Rinne erkennbar. Schon im Juni 2004, der nächsten Peilung, ist eine Sedimentation in der Rinne erkennbar, die sich weiter fortsetzt bis zum Januar 2008. Lediglich zwischen dem Januar und Februar 2006 ist eine kurze Phase der Erosion in der A+E-Rinne sichtbar.

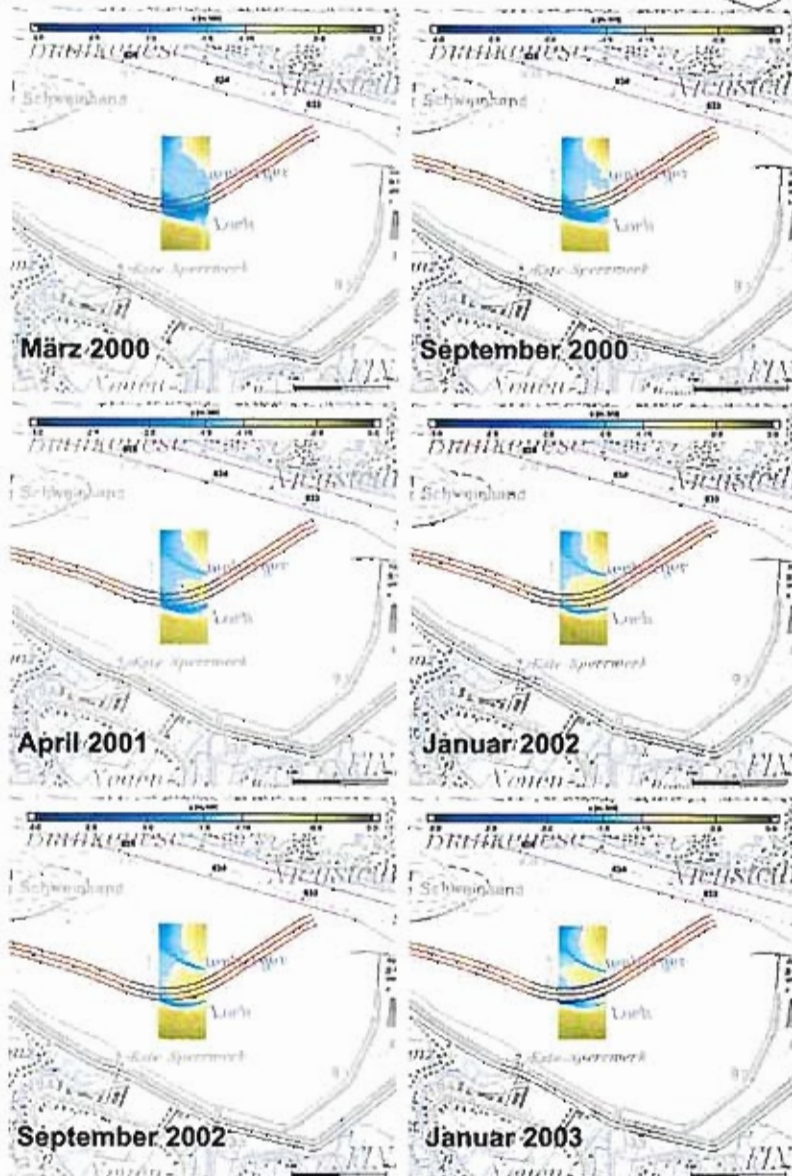


Bild 52: Peilungen des HPA-Testfeldes

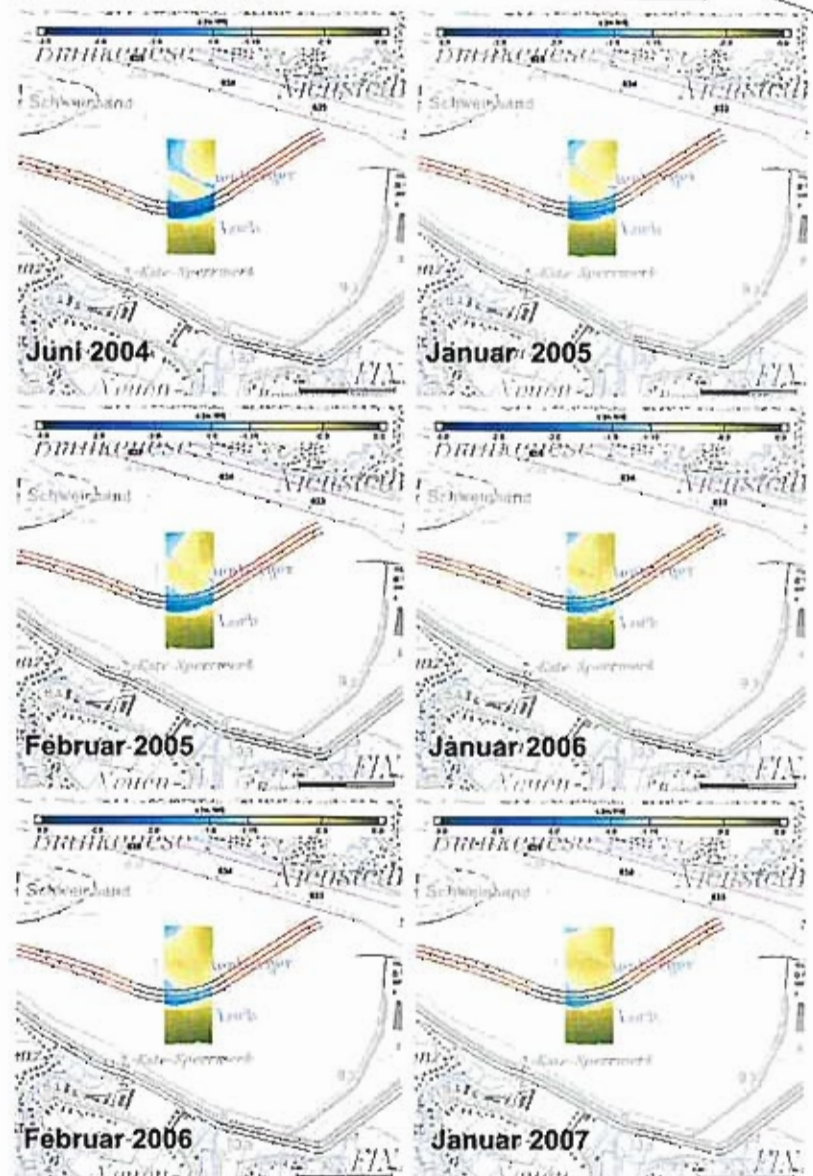


Bild 53: Peilungen des HPA-Testfeldes



Bild 54: Peilungen des HPA-Testfeldes

In diese Zeitspanne fällt eine Sturm-/Kantenflut vom 7. Februar 2006, die möglicherweise diesen Erosionsprozess verursacht haben könnte.

Es bleibt insgesamt folgendes festzuhalten:

- vor der Herstellung der Rinne ist im Bereich des Testfeldes eine Sedimentation erkennbar
- nach Herstellung der Rinne hält dieser Trend an bzw. setzt sich weiter fort
- es gibt Prozesse, die auch zur Erosion in der Rinne führen, diese sind jedoch in den vorliegenden Daten sehr selten auszumachen bzw. über die betrachteten Zeiträume nicht dominant. Möglicherweise treten diese Prozesse im Zusammenhang mit einer Sturm-/Kantenflut auf.

5.1.3 Ergebnisse aus den Analysen der Naturdaten

Die in der Natur gemessenen Strömungen und Peilungen wurden ergänzend zu den vorhandenen Analysen weitergehend analysiert und führen zu folgenden Ergebnissen:

- EK-P1-Sohle weist einen deutlichen Abwärtstrend sowohl in den mittleren Flutstromgeschwindigkeiten um ca. 10 cm/s als auch in den mittleren Ebbstromgeschwindigkeiten um ca. 20 cm/s für die Jahre 2003 bis 2005 auf
- Abnahme der mittleren maximalen Flutstromgeschwindigkeit an EK-P1-Oben von etwa 80 auf etwa 70 cm/s (Sept. 2003 – Oktober 2005)
- Die mittlere maximale Ebbstromgeschwindigkeit von EK-P1-Oben liegt zwischen 66 und 73 cm/s; ein Trend ist nicht erkennbar (Sept. 2003 – Okt. 2007)
- Mittlere Strömungskurven und Häufigkeitsverteilungen von EK-P1-Oben zeigen eine Abnahme der Flutstromgeschwindigkeiten sowie keine deutliche Veränderung der Ebbstromgeschwindigkeiten

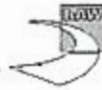


- Die Form/Charakteristik der mittleren Strömungskurve von P1-Oben ist abgesehen von der Abnahme der Flutstromgeschwindigkeiten in etwa gleich geblieben
- Die häufigsten Strömungsgeschwindigkeiten von P1-Oben liegen im Intervall zwischen ± 25 cm/s; ein Trend in der Zeit ist hier nicht erkennbar
- mittlere Strömungskurven und Häufigkeitsverteilungen an der Position P2 lassen keine signifikanten Änderungen in den Strömungsverhältnissen erkennen
- Die Positionen P2-Sohle, P3-Sohle und P4-Sohle zeigen keinen bzw. nur einen sehr geringen Trend in den mittleren Strömungsgeschwindigkeiten bei Flut-/Ebbstrom
- In der Zeit zwischen dem August 2003 und dem August 2005 kommt es flächenhaft im Bereich der östlichen A+E-Rinne zu großen Sedimentationen bis über 2m (s. Bild 50 und Bild 51)
- Im Bereich der A+E-Rinne westlich des Este-Fahrwassers ist die Sedimentation deutlich geringer. Zwar sind auch im Nahbereich des Este-Fahrwassers Sedimentationen von über einem Meter erkennbar, sie nehmen innerhalb eines Kilometers sehr stark ab, bis es im Bereich des Profils 3+250.000 (s. Bild 49) nur noch wenige cm sind
- Aus der Profilanalyse und den exemplarischen Darstellungen (s. Bild 49 und Bild 50) wird deutlich, dass die starke Sedimentation bereits zum Großteil vor dem November 2004 stattgefunden haben muss

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Flutstromgeschwindigkeit in der östlichen A+E-Rinne abgenommen hat, ansonsten jedoch die Charakteristik der Strömung annähernd gleich geblieben ist und das, obwohl die östliche A+E-Rinne nach ihrer endgültigen Herstellung im Juni 2003 sehr stark in den darauf folgenden etwa zwei Jahren mit Sedimentationsraten von über einem Meter pro Jahr verlandete.

Für den westlich der A+E-Rinne gelegenen Abschnitt der Hahnöfer Nebelbe zeigen die Analysen der Strömungsgeschwindigkeiten und der Bathymetrie keinen eindeutigen Trend. Vielmehr sind Schwankungen erkennbar, die der normalen natürlichen Dynamik zugeordnet werden können. Lediglich am Übergang von der östlichen A+E-Rinne in den westlichen Teil (westlich des Este-Fahrwassers) zeigt sich auch eine nennenswerte Sedimentationsrate, die nach etwa einem Kilometer in Richtung Westen abgeklungen ist.

Quantitative Angaben darüber hinaus, welche Prozesse und Einflussfaktoren zu welchem Anteil zu der heutigen Situation geführt haben, lassen sich aus den obigen Analysen nicht herleiten. Hierfür wären weitere Daten wie z.B. Kernbohrungen mit einer hochauflösenden Schichtendatierung notwendig. Diese von der BAW auch für das vorliegende Gutachten ursprünglich geforderten Daten wären für das weitere Prozessverständnis notwendig. So könnte z.B. die Frage beantwortet werden, ob die Sedimente in der A+E-Rinne periodischen oder episodischen Ursprungs sind, ob sie eher besonderen Einzelereignissen zugeordnet werden können oder ob sie sich mit großer Kontinuität aufbauen. Kernbohrungen mit Datierungen wurden in der Vergangenheit beispielsweise von der BFG vorgenommen (s. BFG, 1996). Die Analysen enden jedoch im Jahr 1994 und konzentrieren sich auf Schwermetallkonzentrationen.



5.2 Modelluntersuchung

5.2.1 Modellverfahren

Es wird das dreidimensionale hydrodynamisch-numerische Modell UnTRIM in der Version 2004 einschließlich Salz- und Sedimenttransport verwendet. UnTRIM ist ein semi-implizites Finite-Differenzen (-Volumen) Verfahren zur numerischen Lösung der dreidimensionalen Flachwassergleichungen sowie der dreidimensionalen Transportgleichung für Salz, Wärme, Schwebstoffe sowie suspendierter Sedimente. Zusätzlich wird dieses Modell mit dem morphodynamischen Simulationsmodell SEDI-MORPH gekoppelt. Dieses Modell kann den fraktionierten Geschiebetransport sowie die Erosions- bzw. Depositionsströme berechnen. Eine detaillierte Beschreibung beider Verfahren wird auf den Internet-Seiten der BAW-DH gegeben:

- http://www.baw.de/vip/abteilungen/wbk/Methoden/hnm/untrim/hnm_untrim-de.html
- <http://www.baw.de/vip/abteilungen/wbk/Methoden/hnm/sedimorph/index.html>

5.2.2 Modellgebiet und Gitternetz

Das Modellgebiet (s. Bild 55) erstreckt sich von dem Wehr Geesthacht bis zur Nordsee. Die Nebenflüsse der Tideelbe sind nicht im verwendeten Modell enthalten.

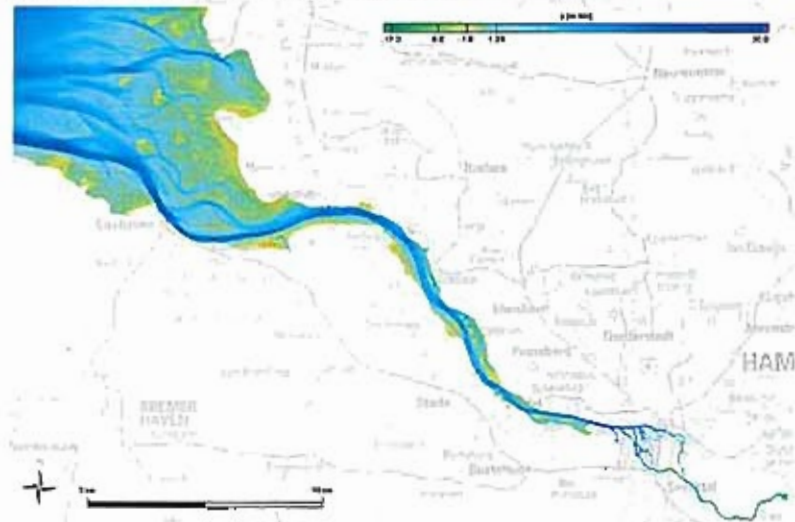


Bild 55: Übersicht über das Modellgebiet einschließlich der verwendeten Modelltopographie im Referenzzustand



Das in dieser Modelluntersuchung verwendete Gitternetz wurde dem HN-Modell zur Untersuchung der Fahrinnenanpassung Elbe entnommen, wie es in U 1 beschrieben ist. Die Struktur des Netzes wurde der aktuellen Topographie aus 2006 angepasst. D.h., veränderte Rinnen, beispielsweise im Außenbereich der Elbe, sind im Netz berücksichtigt worden. Im Bereich der Hahnöfer Nebeneibe wurde zusätzlich eine Verfeinerung durchgeführt, um die lokalen Strömungsverhältnisse besser aufzulösen. Das gesamte Gitternetz beinhaltet etwas mehr als 100.000 Elemente und die Auflösung in der Vertikalen beträgt einen Meter. Der Hintergrund des Einsatzes eines so weit über das Untersuchungsgebiet hinausgehenden Modells liegt in der vollen Erfassung der Trübungszone, die bei dieser Untersuchung in der Transportmodellierung von Bedeutung ist.

5.2.3 Modelltopographie

Grundlage der Referenz-Modelltopographie sind Jahrespeilungen der Bundes- und Landesbehörden von 2006. Dort, wo keine Daten vorhanden waren, wurde auf ältere Daten zurückgegriffen, die im Jahr 2003 erhoben wurden (U 1). Das betrifft vor allem die Seitenbereiche aber auch Gebiete in der Deutschen Bucht. Dieser beschriebene topographische Modellzustand wird im Folgenden IST2006 benannt.

Für die Erstellung des planerischen Ist-Zustandes (kurz PIZ) wurden zusätzlich bekannte und konkrete Planungen im Elbeästuar berücksichtigt. Es sind z.B. die Veränderungen der geplanten Fahrinnenanpassung von Unter- und Außenelbe eingebaut (Stand: 15. Jan. 2009). Im Bereich der Hahnöfer Nebeneibe ist zum einen die tiefere Fahrrinne, die Verbreiterung im Bereich der Begegnungsstrecke (Begegnungsbox) als auch die Vorspülung Wisch berücksichtigt. Zusätzlich ist die Tiefe der A+E-Rinne auf das planfestgestellte Maß von 3,9 m unter NN gesetzt worden (s. Bild 56).

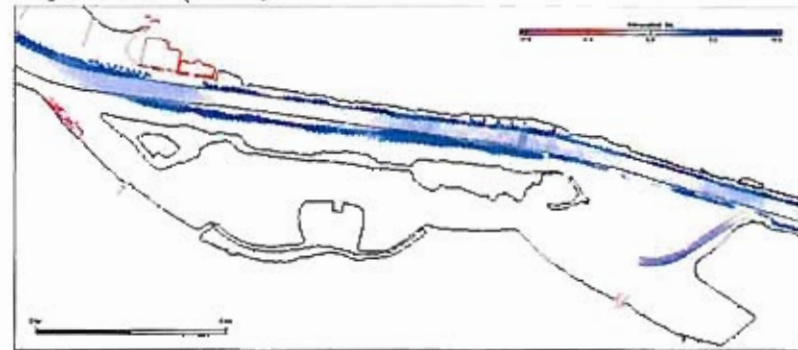


Bild 56: Unterschiede der Jahrestopographie 2006 (IST2006) zum planerischen Ist-Zustand (PIZ): die geplanten Maßnahmen der Fahrinnenvertiefung und -verbreiterung, die Vorspülung Wisch sowie das Setzen der Tiefe der A+E-Rinne auf 3,9 m unter NN sind deutlich erkennbar



5.2.4 Modellsteuerung

Die Anfangsbedingungen für die Modellparameter lauten wie folgt:

- Wasserstand: im gesamten Modellgebiet 0 m NN
- Salzgehalt: bei 32 PSU von der Nordsee beginnend bis 0,2 PSU auf etwa der Höhe Pagensand bis zum Wehr Geesthacht
- Schwebstoff: 0 mg/l

Betrieben wurde das Modell mit Randwerten, die den Juni 2006 repräsentieren (Simulationszeitspanne: 01.06.2006 0:00 Uhr – 30.06.2006 23:30 Uhr). Der Zeitschritt betrug 100 Sekunden.

Die Wasserstandsrandwerte am offenen Seerand wurden aus einem übergeordneten Nordseemodell generiert und anschließend mit den Messungen am Pegel Bake A korrigiert.

Der gemessene Oberwasserzufluss am Pegel NeuDarchau wurde in der Zeit 24 Stunden nach hinten verschoben und am Wehr Geesthacht als Diriclet-Randbedingung (Durchfluss) eingesteuert. Für die diversen Varianten sind konstante Oberwassermengen eingesteuert worden, für die Kalibrierung und Validierung wurde der ermittelte Oberwasserzufluss verwendet.

Der Salzgehalt am offenen Nordseerand ist mit einer konstanten Konzentration von 32 PSU vorgegeben. Der Schwebstoffeintrag am Nordseerand beträgt 0 mg/l.

Um einen plausiblen Systemzustand für Wasserstände, Strömungen aber vor allem Salz- und Sedimentgehalten zu erzeugen, wurden die ersten 14 Modelltage unter Berücksichtigung der Randwerte errechnet. Aufbauend auf diesem Zustand sind dann Baggergutumlagerungen (z.B. ab dem 14.06.2006 5:55 bei Thw) je nach Variante berücksichtigt worden.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden durch HPA sieben Greiferproben vom oberen Material in der westlichen und östlichen A+E-Rinne entnommen und die Korngrößenzusammensetzung analysiert (U 8). Das in der BAW für die HN-Modellierung aufbereitete und bislang zur Verfügung stehende Sedimentinventar wurde um diese sieben Korngrößenverteilungen ergänzt. Als Randwerte ist für die Modellsteuerung daher für den Bereich Hahnöfer Nebeneibe / Mühlenberger Loch folgendes Sedimentinventar berücksichtigt worden (s. Bild 57). Für diesen Bereich lassen sie sich wie folgt charakterisieren:

- Im Bereich der Fahrrinne dominieren grobe Sandfraktionen
- Weiter südlich zwischen nördlichem Este-Fahrwasser, der Fahrrinne und der östlichen A+E-Rinne („Sherry-Insel“) sind überwiegend sandige Fraktionen anzutreffen
- In der östlichen A+E-Rinne sind sechs der im Rahmen dieser Untersuchung hinzugekommenen neuen Sedimentproben zu finden: sie weisen alle mehr als 50 % schluffige Anteile auf
- Weiter in Richtung des Mühlenberger Lochs nimmt der Schluffanteil noch weiter zu
- Im Bereich der Kreuzung Este-Fahrwasser mit der A+E-Rinne dominieren die sandigen Anteile

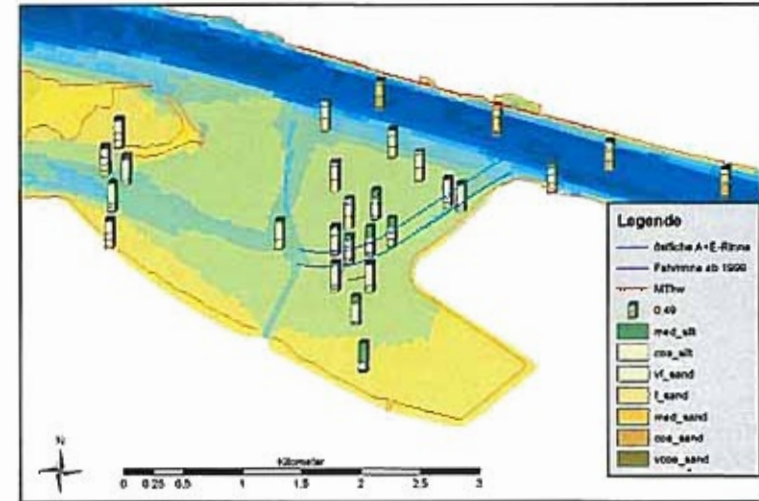


Bild 57: Balkendarstellung der Sedimentproben als Basisinformation für die Sedimentbelastung im verwendeten Modell im Bereich Hahnöfer Nebeneibe / Mühlenberger Loch; als Hintergrund ist die Sohlentiefe zur Orientierung dargestellt

5.2.5 Modellkalibrierung, Validierung und Plausibilisierung

Für die Modellkalibrierung/validierung wurde die Modelltopographie IST2006 verwendet. Diese repräsentiert den Zustand der Topographie für die Zeitspanne Juni 2006.

Das Modell wurde so kalibriert, dass die Berechnungsgrößen den gemessenen Wasserständen und Strömungen weitestgehend entsprachen. Ein Beispiel für den Vergleich zwischen berechneten und gemessenen Wasserständen am Pegel Blankenese zeigt Bild 58.

Um die Aussagekraft der Validierung zu erhöhen, wurden aus Messungen und Rechnungen die Kennwerte Mittelwasser, Tidehub, Tideniedrig- und Tidehochwasser bestimmt; diese über eine Zeitspanne von 4 bzw. 5 Tiden gemittelt und als Differenz zwischen Messung und Rechnung für die Pegel entlang der Elbe aufgetragen (s. Bild 59). Als Gütekriterium des HN-Modells wurden die mittleren Abweichungen der Kennwerte bewertet; diese sind kleiner als ein Dezimeter.

Für den Vergleich der berechneten und gemessenen Strömungen eignet sich besonders die Position D1, die vom WSA-Hamburg betrieben wird (s. Bild 60) und die den geringsten Abstand zum Untersuchungsgebiet von allen Dauermessstellen aufweist. Die Messungen finden etwa einen Meter über der Sohle und etwa einen Meter unterhalb der Wasseroberfläche bei einer Sohlentiefe von ca. 10m unter NN statt. Entsprechend wurden die Modellergebnisse



extrahiert und dargestellt, wobei die vom Modell berechnete Strömung, die mit der oberflächennahen gemessenen Strömung verglichen wird, auf einer konstanten Höhe (-1.5 m NN) liegt.

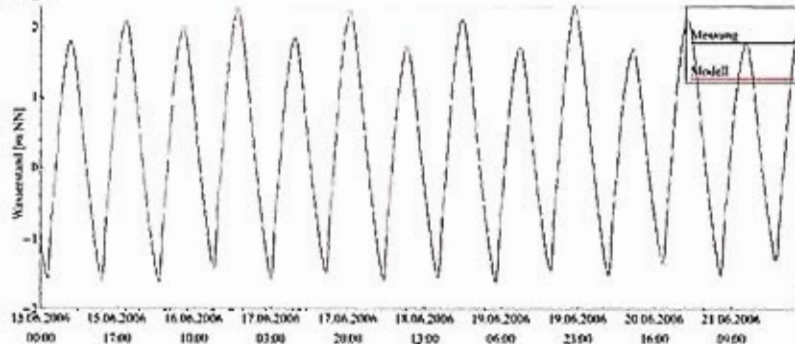


Bild 58: Wasserstand am Pegel Blankenese – Messung vs. Modell (IST2006)

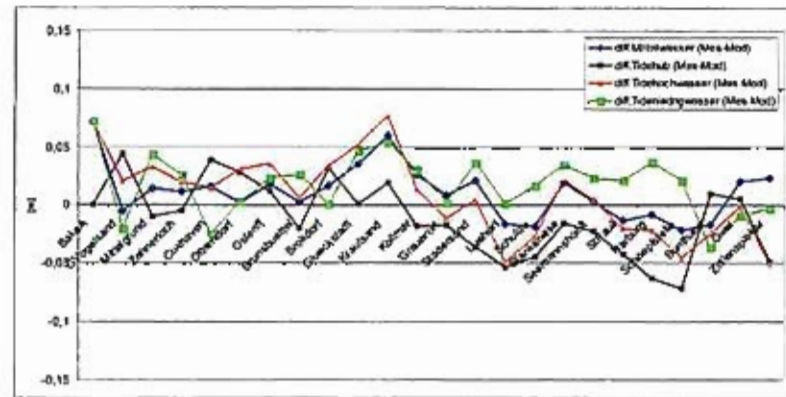


Bild 59: Differenz der mittleren Kennwerte zwischen Messung und Modell



Bild 60: Strömungsmessposition D1 des WSA-Hamburg

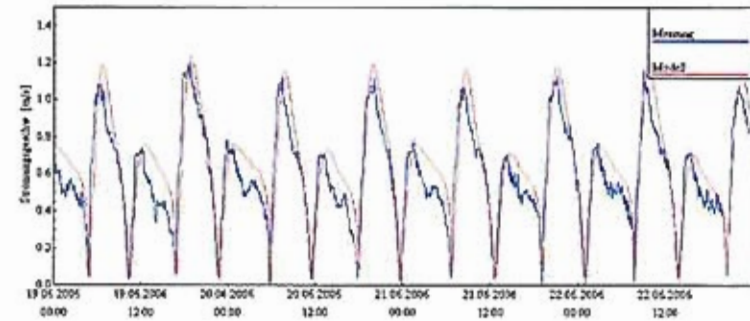


Bild 61: Strömungsgeschwindigkeiten an der Position D1-Oben und berechnete Strömungsgeschwindigkeiten an der Position bei -1.5m NN

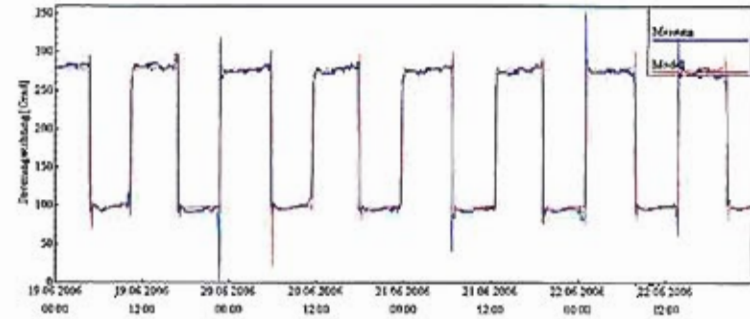


Bild 62: Strömungsrichtungen an der Position D1-Oben und berechnete Strömungsrichtungen an der Position bei -1.5m NN

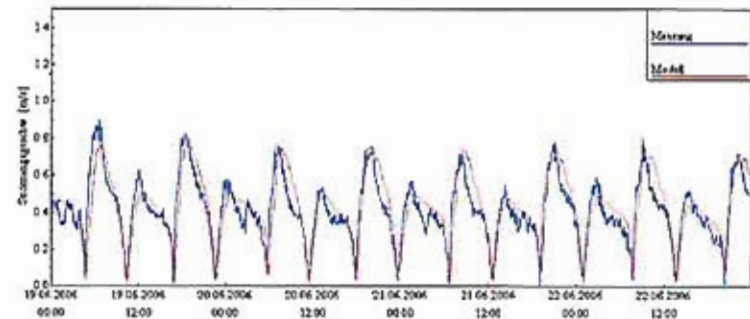


Bild 63: Strömungsgeschwindigkeiten an der Position D1-Unten und berechnete Strömungsgeschwindigkeiten an der Position

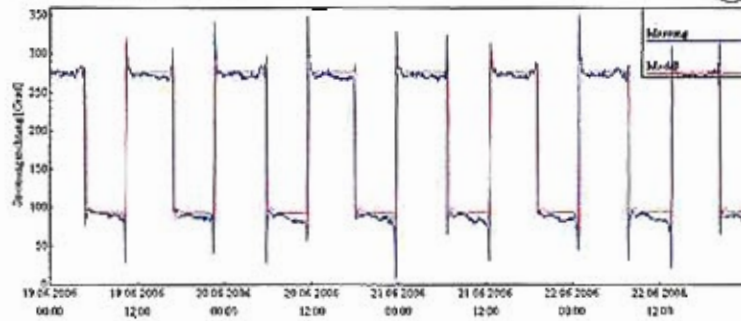


Bild 64: Strömungsrichtungen an der Position D1-Unten und berechnete Strömungsrichtungen an der Position

Die obigen Abbildungen (s. Bild 61 - Bild 64) zeigen exemplarisch einen Vergleich zwischen den gemessenen und berechneten Strömungen in der Fahrrinne. Für den Bereich der Hahnöfer Nebelbe und des Mühlenberger Lochs waren für die Simulationszeitspanne keine zeitgleichen Messdaten für einen direkten Vergleich mit den Berechnungsgrößen verfügbar. Deshalb konnte für das nähere Untersuchungsgebiet lediglich eine Plausibilitätsprüfung der Berechnungsergebnisse erfolgen. Dafür wurden vorhandene Messungen (Zeitreihe vom Juli 2006 an den Positionen in Bild 40) zeitlich so verschoben, dass sich die Tidephasen mit der Simulationszeitspanne entsprachen (s. Bild 65 - Bild 71).

Der Schwerpunkt des Vergleichs muss sich daher auf die Charakteristik / den Verlauf der Strömungskurve beschränken (der direkte Vergleich der Kurven aus Rechnung und Messung ist streng genommen nicht mehr zulässig). Dieses Vorgehen ist wichtig, um das Vertrauen in die vom Modell berechneten Strömungen zu erhöhen, da für den Bereich der Hahnöfer Nebelbe, im Gegensatz zur Fahrrinne, nur wenige Strömungsinformationen aus Punktmessungen vorliegen.

Für die Position P1 (s. Bild 65) wurde aufgrund der komplexen Strömungsverhältnisse (s.o.) die mittlere Strömungskurve aus dem Juli 2006 verwendet, um überhaupt einen Vergleich zu haben. An den Positionen MBL P2 und MBL P3 ist zusätzlich noch zu beachten, dass in diesen Bereichen starke morphologische Änderungen seit den Messungen im März/April 2005 eingetreten sind.

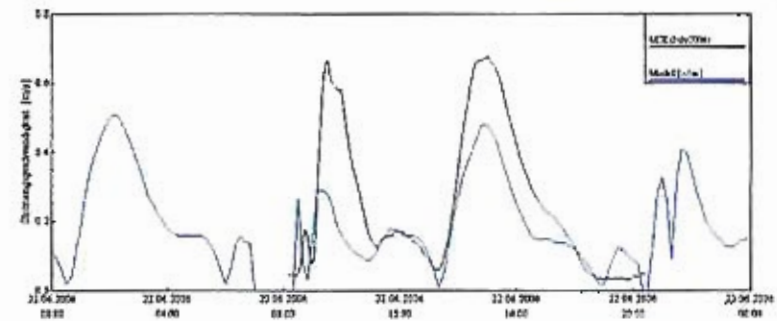


Bild 65: Vergleich der mittleren Strömungskurve (MSK) aus dem Juli 2006 mit den berechneten Strömungen im Juni 2006 in -1m NN

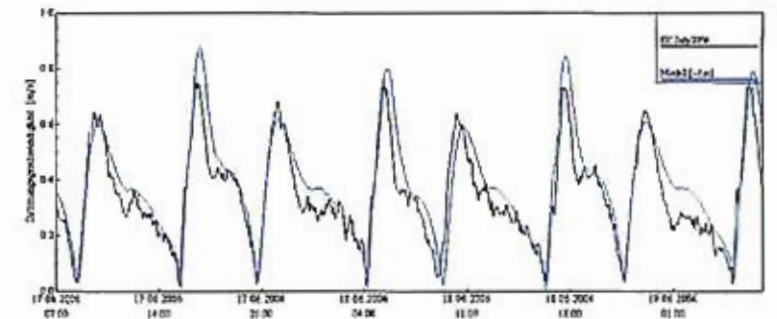


Bild 66: Vergleich der berechneten (Juni 2006) und gemessenen (Juli 2006) Strömungsgeschwindigkeit an der Position EK P2

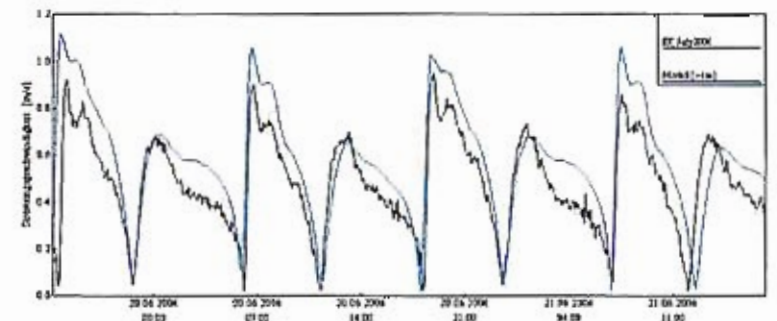


Bild 67: Vergleich der berechneten (Juni 2006) und gemessenen (Juli 2006) Strömungsgeschwindigkeit an der Position EK P3

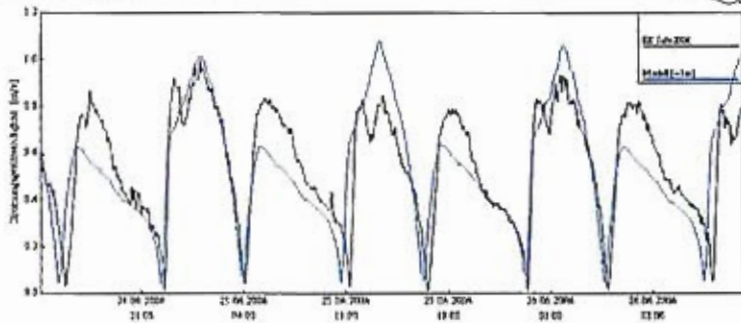


Bild 68: Vergleich der berechneten (Juni 2006) und gemessenen (Juli 2006) Strömungsgeschwindigkeit an der Position EK P4

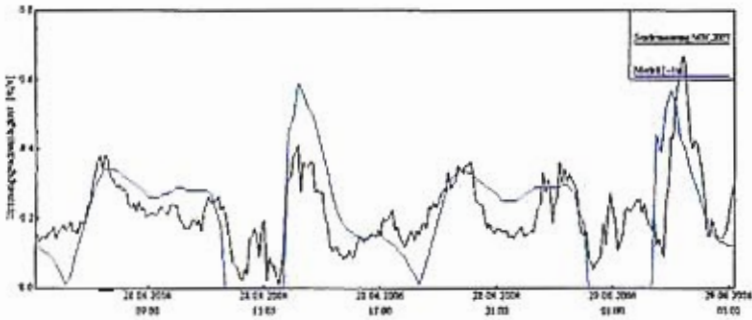


Bild 69: Vergleich der berechneten (Juni 2006) und gemessenen (Juli 2006) Strömungsgeschwindigkeit an der Position MBL P2

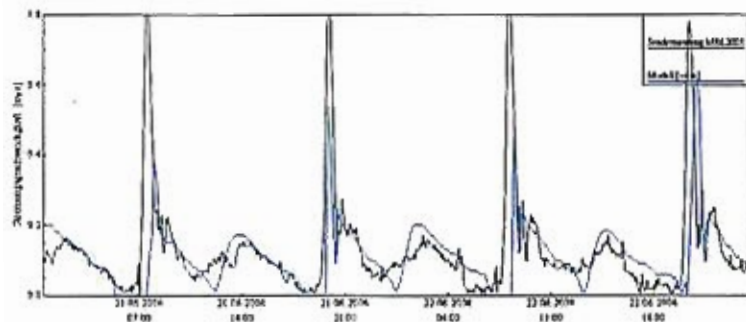


Bild 70: Vergleich der berechneten (Juni 2006) und gemessenen (Juli 2006) Strömungsgeschwindigkeit an der Position MBL P3

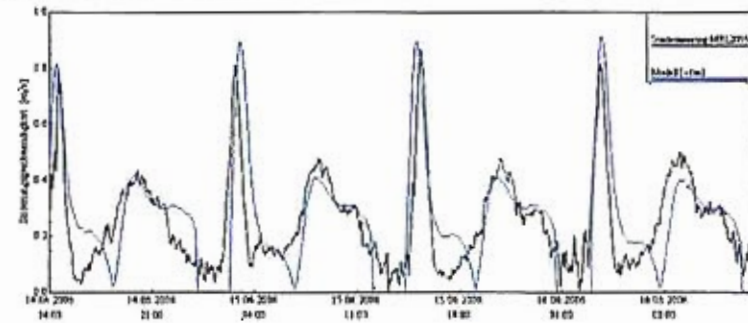


Bild 71: Vergleich der berechneten (Juni 2006) und gemessenen (Juli 2006) Strömungsgeschwindigkeit an der Position MBL P4

Zusammenfassend kann die Aussage getroffen werden, dass das verwendete HN-Modell hinsichtlich der Berechnung von Wasserständen und Strömungen auch im Bereich der Hahnöfer Nebelbele / des Mühlenberger Lochs als sehr plausibel eingestuft wird.

5.2.6 Untersuchungsvarianten

Bei der Auswahl von Untersuchungsvarianten war zu berücksichtigen, dass das örtliche Transportregime sowohl durch die Oberwassersituation (vgl. BAW2009) wie auch durch das Sedimentangebot abhängt. Letzteres wird wiederum auch durch die Umlagerung von Baggergut im Bereich Neßsand geprägt.

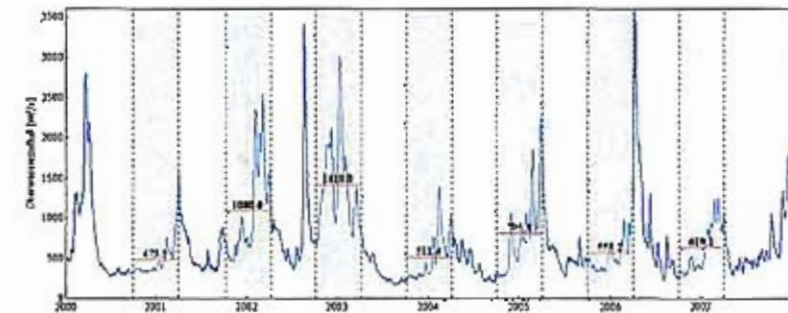


Bild 72: Oberwasserzufluss am Pegel Neu Darchau; grau: Umlagerungszeitspanne 1.Okt. – 31. März und die dazugehörigen mittleren Oberwasserzuflüsse in der Zeitspanne

Bild 72 zeigt den Oberwasserzufluss am Pegel Neu Darchau der letzten Jahre sowie grau hinterlegt die Umlagerungszeitspanne vom 1. Oktober bis zum 31. März des Folgejahres.



Für diese Zeitspannen wurden die mittleren Oberwasserzuflüsse gebildet (rote Linien). Auffällig und bedeutsam ist die große Schwankung in den Zuflüssen. Da hohe Oberwasserzuflüsse dazu führen, das Sediment tendenziell aus der Elbe in Richtung Nordsee transportiert wird, können diese hohen Oberwasserzuflüsse als günstig bezüglich des geringen Sedimenteintrags für das System Hahnöfer Nebelbe / Mühlenberger Loch eingestuft werden. Ungünstig hingegen sind niedrige Oberwasserzuflüsse, wie im Winterhalbjahr 2001/2002. Für die Berücksichtigung des Einflusses des Oberwassers auf die Sedimentationsverhältnisse werden deshalb für die Modelluntersuchung zwei Varianten festgelegt; Die eine Variante repräsentiert durch den Ansatz eines Oberwassers von 780 m³/s in etwa einen mittleren Einfluss des Oberwassers auf die Sedimentationsverhältnisse im Bereich des Mühlenberger Lochs in der Umlagerungszeitspanne. Die andere Variante stellt mit einem Oberwasser von 475 m³/s einen für das Untersuchungsgebiet sedimentationsbegünstigenden hydrologischen Gewässerzustand dar.

Die Varianten zur Berücksichtigung unterschiedlich hoher Umlagerungsmengen bei Neßsand lassen sich aus den dokumentierten tatsächlichen Umlagerungsmengen der letzten Jahre (s. Bild 73) (U 9) ableiten. Die gemessenen Gesamtsummen ergeben aufgeteilt auf die 340 Tiden in der Umlagerungszeitspanne Werte zwischen 5000 und 20.000 m³ pro Tide. Die mittlere Umlagerungsmenge liegt für die Winterhalbjahre 2000/2001 bis 2006/2007 bei 11.625 m³/Tide. Daraus wurden drei Varianten abgeleitet:

- mittlere Verhältnisse mit einer Umlagerungsmenge von 11.625 m³/Tide
- Verhältnisse mit hohen Umlagerungsmengen: 20.000 m³/Tide
- keine Umlagerung (0 m³/Tide).

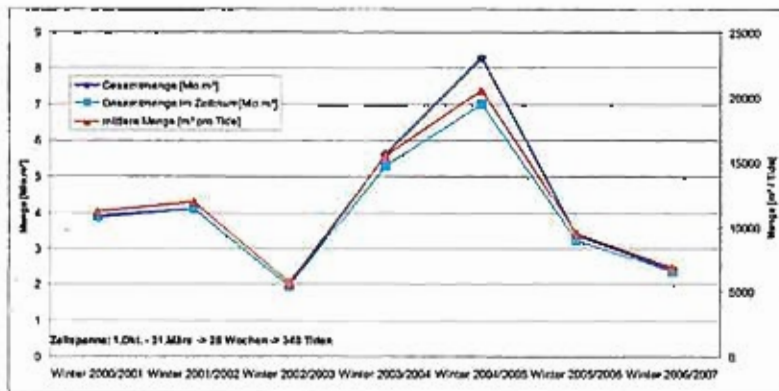


Bild 73: Umgelagerte Mengen der HPA an der Umlagerungsstelle Neßsand: Gesamtmenge, und Menge in der Umlagerungszeitspanne vom 1.Okt – 31.März (linke Achse) und daraus resultierend die mittleren Mengen pro Tide (rechte Achse)



Die von HPA angegebenen Umlagerungsmengen sind als Laderaumaufmaß zu interpretieren und haben einen entsprechend hohen Wassergehalt. Die mittlere Dichte wird von HPA mit 1,22 g/cm³ angegeben (U 12). Im Modell muss als Eingangsgröße die Trockensubstanz vorgegeben werden, welche sich unter Berücksichtigung der Dichte in den beiden Umlagerungsvarianten zu 1764 m³ bzw. 3035 m³ Trockensubstanz berechnen lässt.

Die Umlagerungsmengen sind im Vergleich zu den tidebedingt ohnehin transportierten Mengen im Elbeästuar nicht sehr groß. Zur Absicherung der Interpretation und besseren Bewertung der Modellergebnisse wurde deshalb zusätzlich ein Systemtest durchgeführt, in dem die Umlagerungsmengen 11.625 m³ bzw. 20.000 m³ Trockensubstanz / Tide betragen. Es wird dadurch ein deutlicheres Signal bezüglich der Depositionsraten in der östlichen A+E-Rinne erwartet.

Da auch der Zeitpunkt der Umlagerung eine Bedeutung für das Sedimentationsverhalten im Untersuchungsgebiet hat, wird auch dieser in drei Varianten verändert. Es werden die Varianten

- Umlagerung bei Tidehochwasser,
- 30 Minuten vor Tidehochwasser und
- 3 Stunden vor Tideniedrigwasser gewählt.



Bild 74: Position der Umlagerungsstelle vor Neßsand

Die Dauer der Umlagerung beläuft sich in allen Varianten auf eine Stunde, die Position der Umlagerung liegt vor Neßsand bei RW 3547245 HW 5937269 (s. Bild 74). Das umgelagerte Material hat folgende Zusammensetzung (U 10, Seite 16, Mittelwerte), wobei im Modell nur die ersten beiden Fraktionen, die zusammen etwa 80 % der Gesamtmasse repräsentieren, als Suspension transportiert werden (vgl. BAW2009).



- 53,6 % mU (im Modell als Suspension transportiert)
- 26,3 % gU (im Modell als Suspension transportiert)
- 11,2 % fFS
- 6,0 % fS
- 2,1 % mS
- 0,5 % gS
- 0,3 % ggS

Insgesamt ergab sich für die Untersuchung die in Tabelle 2 dargestellte Variantenmatrix.

Tabelle 2: Untersuchungsvarianten der HN-Modelluntersuchung

Umlagerung Trocken- substanz / Tide	Oberwasserzufluss			
	780 m³/s		475 m³/s	
	30min vor Thw	Thw	3h vor Tnw	Thw
0 m³		x		x
1764 m³	x	x	x	x
3035 m³		x		x
11.625 m³	x	x	x	x
20.000 m³		x		x

Zusätzlich wurden zwei weitere Variantenrechnungen durchgeführt. Zum Einen sollte der Einfluss der geplanten Fahrrinnenanpassung von Unter- und Außenlebe auf die Sedimentationsrate in der A+E-Rinne abgeschätzt werden, zum anderen sollte der Einfluss einer Wiederherstellung der östlichen A+E-Rinne auf die Sedimentationsraten ohne Berücksichtigung einer weiteren Fahrrinnenanpassung von Unter- und Außenlebe (IST-Zustand 2006) ermittelt werden.

Eine Materialumlagerung wurde in diesen Berechnungen nicht angesetzt. Als weitere Randbedingung wurde ein mittlerer Oberwasserzufluss von 780 m³/s gewählt.

Variante I: Die Modelltopographie befindet sich im Zustand 2006 (IST2006) und zusätzlich wird die A+E-Rinne auf Ihre planerische Solltiefe von 3,9 m NN gebracht. Im Gegensatz zu den Varianten aus Tabelle 2 werden die geplanten Maßnahmen der Fahrrinnenanpassung(FAP) hier nicht eingebaut.

Variante II: Die Modelltopographie befindet sich im Zustand 2006. D.h. es sind keine geplanten Maßnahmen zur Fahrrinnenanpassung eingebaut und auch die A+E-Rinne entspricht dem Zustand 2006 (aufsedimentiert)



5.2.7 Ergebnisse

5.2.7.1 Vorbemerkung zur Belastbarkeit der Ergebnisse

Für die Interpretation der folgenden Berechnungsergebnisse muss beachtet werden, dass eine HN-Simulation die natürlichen Gegebenheiten aufgrund notwendiger vereinfachter Annahmen in der Modellbildung, der Parametrisierung subskaliger Prozesse und der ausgewählten Randwerte nicht umfänglich und exakt abbilden kann. Die Gründe liegen u.a. in:

- der Annahme einer hypothetischen Sedimentverteilung. Neben der geringen räumlichen Dichte von Sedimentinformationen im Modell ist zu beachten, dass identische Sedimentverteilungen in den Varianten mit und ohne geplante Fahrrinnenanpassung angenommen werden. Dieser Zustand ist nicht unrealistisch es kann jedoch auch zu einer anderen natürlichen Entwicklung kommen.
- dem Ansatz eines kleinräumigen Umlagerungsortes mit einem konstanten Umlagerungszeitmuster. In der Praxis werden der genaue Umlagerungsort sowie auch der Zeitpunkt der Umlagerung variieren.
- der konstanten Zusammensetzung des umgelagerten Materials. Es ist davon auszugehen, dass die Kornverteilungskurve des tatsächlich umgelagerten Materials variiert.
- einer konstanten Oberwasserzufuhr
- der Komplexität der nur zum Teil nachgebildeten Umlagerungsprozesse, die z.B. die Sedimentverteilung in der Wassersäule prägen
- einer fehlenden Modellvalidierung bezüglich der Sedimentkonzentrationen im Untersuchungsgebiet.

Dennoch ist das HN-Modell derzeit die einzige Methode, mit der systematisch Parameter- und Variantenstudien hinsichtlich der Sedimenttransportprozesse im Untersuchungsgebiet nach Stand von Technik und Wissenschaft durchgeführt werden können. Wenn auch das einzelne Berechnungsergebnis nicht als Vorhersage interpretiert werden darf, ist gleichwohl festzustellen, dass der relative Vergleich der Varianten untereinander zu sehr aussagekräftigen und belastbaren Ergebnissen führt.

5.2.7.2 Schwebstoffdynamik

Ein Überblick der Schwebstoffdynamik im Untersuchungsgebiet zeigt eine Analyse des Schwebstoffgehaltes in der Wassersäule (Umlagerung von 11.625 m³ Trockensubstanz ab Thw bei 780m³ Oberwasserzufluss) zu verschiedenen Tidephasen (siehe Animation auf beiliegender CD-ROM). Exemplarisch sind in Bild 75 - Bild 77 folgende charakteristische Zustände gezeigt:

- Zum Beginn der Umlagerung(Tidehochwasser) ist die hohe Schwebstoffkonzentration durch die simulierte Umlagerung an der Umlagerungsstelle erkennbar.
- Die Schwebstoffkonzentration dieser Umlagerung nimmt mit weiter ablaufendem Wasser sehr stark ab; die Signatur der Sedimentwolke aus der Umlagerung ver-



schwindet zunehmend in der Hintergrundtrübung und ist bei Tidehalbwasser gerade im Bereich des westlichen Eingangs zur Hahnöfer Nebeneibe zu erkennen.

- Im westlichen Teil der Hahnöfer Nebeneibe wie auch in der gesamten Fahrrinne ist ebenfalls eine deutlich hohe Sedimentkonzentration in der Wassersäule (dunkelblaue Farben) erkennbar.
- Zum Zeitpunkt der Stromkenterung nehmen die hohen Sedimentkonzentrationen in der Wassersäule ab.
- Mit dem einsetzenden Flutstrom ergeben sich aufgrund der Sedimentbelegung an der Sohle und der örtlich vorherrschenden Strömungsgeschwindigkeiten zwei Bereiche mit hoher Sedimentkonzentration: ein Bereich liegt etwa in der Mitte der Hahnöfer Nebeneibe, der zweite liegt im nördlichen Este-Fahrwasser.
- Während die hohe Sedimentkonzentration im nördlichen Este-Fahrwasser nur sehr kurzzeitig anhält (korrespondierend zu den in Kapitel 5.1.1.2 beschriebenen kurzen heftigen gemessenen Strömungsgeschwindigkeiten in dem Bereich), breitet sich die Wolke der hohen Sedimentkonzentration von der Mitte der Hahnöfer Nebeneibe her kommend weiter nach Osten aus. Zugleich entsteht etwas westlich der Kreuzung Este mit der Hahnöfer Nebeneibe durch die hohen Strömungsgeschwindigkeiten ebenfalls eine Schwebstoffwolke mit hoher Sedimentkonzentration, die sich weiter in Richtung östlicher A+E-Rinne bewegt. Dort im Bereich des westlichen Teils der östlichen A+E-Rinne verringert sich die Schwebstoffkonzentration sehr stark, was als Sedimentation gewertet werden kann, da genau in diesem Bereich die geringste Wassertiefe (höchste Sedimentation) in der östlichen A+E-Rinne anzutreffen ist. Die beschriebene Dynamik erscheint mit dem gleichen Muster, selbst wenn kein Material umgelagert wird.
- Mit fortschreitender Flutphase und abnehmenden Strömungsgeschwindigkeiten verringert sich die Schwebstoffkonzentration infolge Sedimentation im Bereich der A+E-Rinne. Im Bereich der Fahrrinne erhöhen sich die Schwebstoffkonzentrationen aufgrund der anhaltend hohen Strömungsgeschwindigkeiten und des großen Sedimentdargebotes weiter (beginnende Braunfärbung).

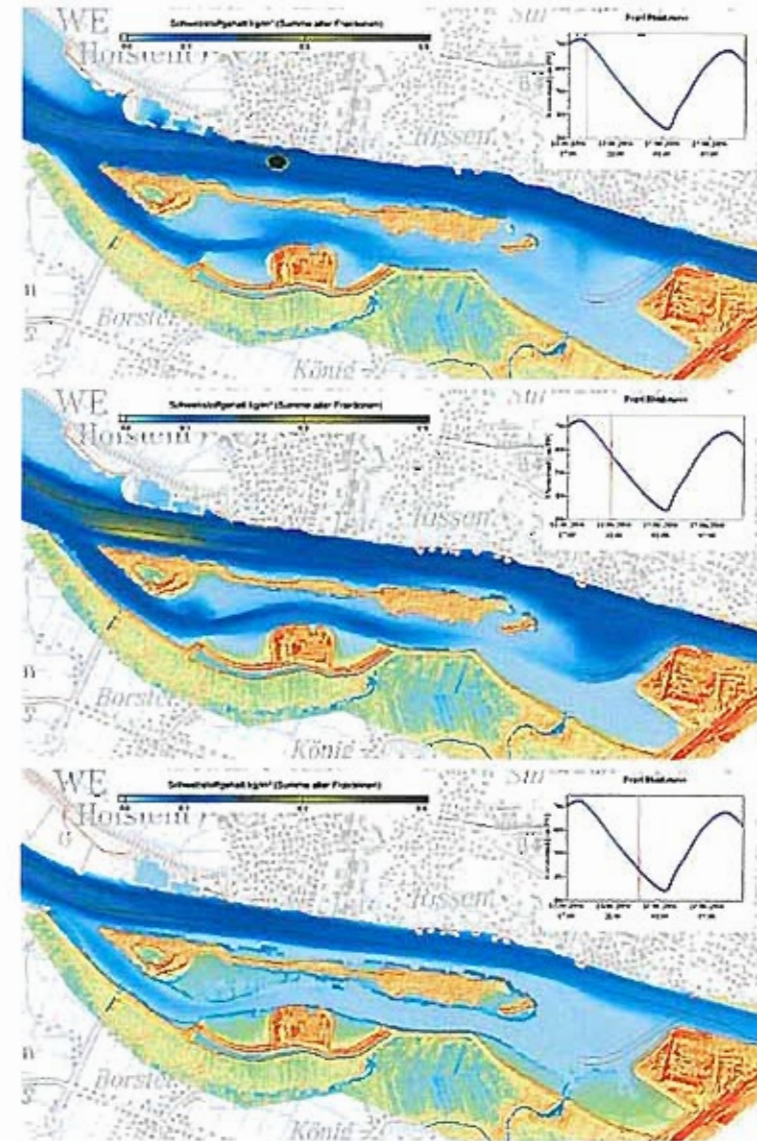


Bild 75: Schwebstoffdynamik im Untersuchungsgebiet - Ebbphase

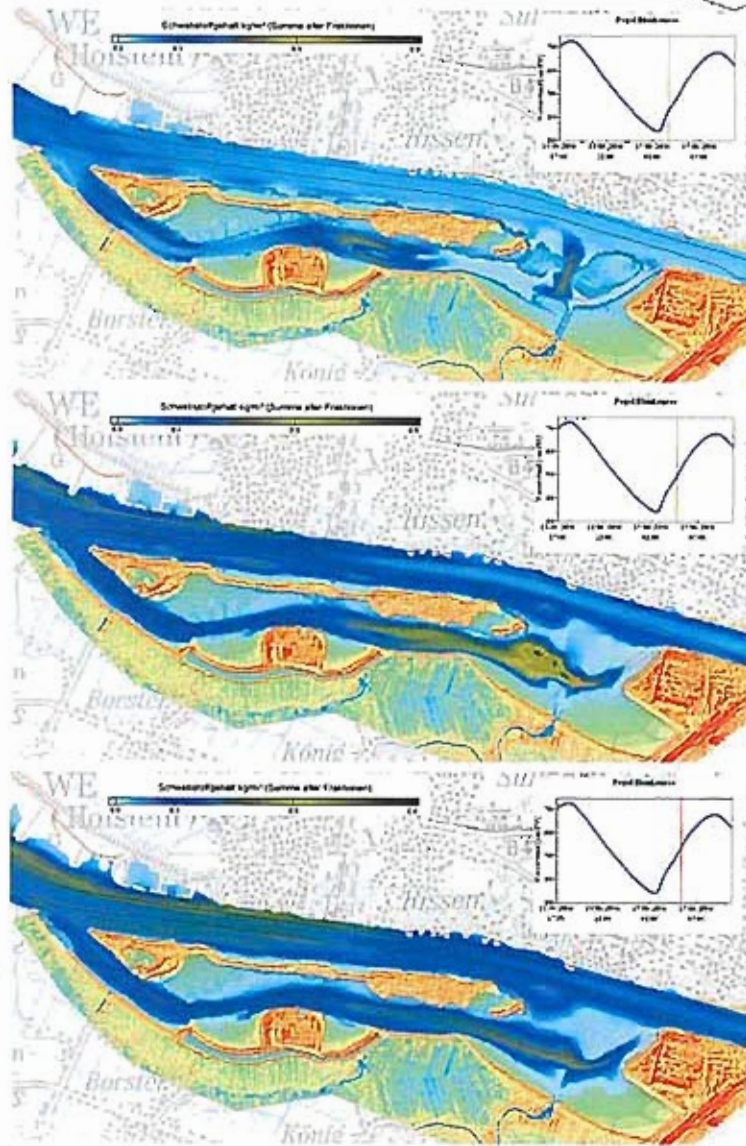


Bild 76: Schwebstoffdynamik im Untersuchungsgebiet – Flutphase I



Bild 77: Schwebstoffdynamik im Untersuchungsgebiet – Flutphase II

5.2.7.3 Transporte über Profile

Eine vertiefte Analyse des Transportgeschehens suspendierter Schwebstoffe im Untersuchungsgebiet ermöglicht der residuelle advective Schwebstofftransport einer Tide als Bilanz zwischen Flut- und Ebbstromtransport über Querprofile (s. Bild 78 und Bild 79).

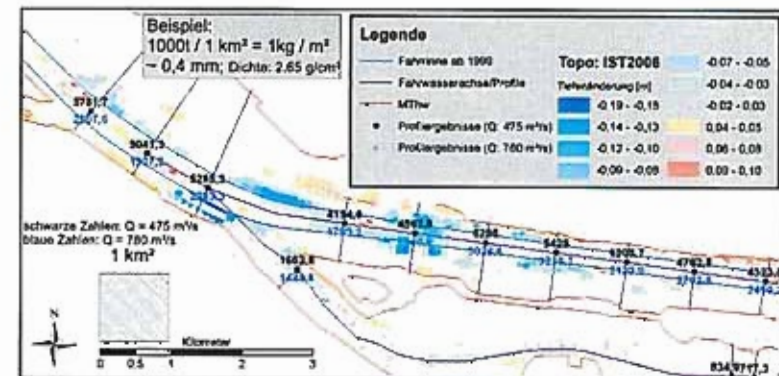


Bild 78: residueller advektiver Schwebstofftransport über Profile bei unterschiedlichen Oberwassermengen (Topographie IST2006): Zahlen in Tonnen Trockensubstanz pro Tide; Richtung: positive Zahl → Stromauftransport; negative Zahl → Stromabtransport; westliches Untersuchungsgebiet; Tiefenänderung in Meter nach 17 Tagen

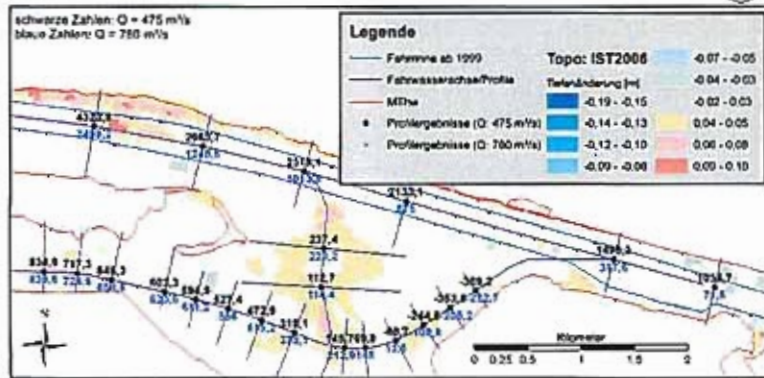


Bild 79: residueller advektiver Schwebstofftransport über Profile bei unterschiedlichen Oberwassermengen (Topographie IST2006): Zahlen in Tonnen Trockensubstanz pro Tide; Richtung: positive Zahl → Stromauftransport; negative Zahl → Stromabtransport; östliches Untersuchungsgebiet; Tiefenänderung in Meter nach 17 Tagen

Die Zahlen in den Abbildungen müssen wie folgt betrachtet werden. Für einen konstanten Oberwasserzufluss von 475 m³/s stehen die schwarzen, für einen Oberwasserzufluss von 780 m³/s die blauen Zahlen. Diese nehmen entlang der Fahrinne von West nach Ost tendenziell ab. Da es sich um positive Zahlen handelt, liegt hier ein Stromauftransport vor. Ein Beispiel (s. Bild 78): Über das Querprofil etwa in der Mitte der Insel (Hanskalbsand, Schweinsand, Neßsand) ist ein residueller advektiver Schwebstofftransport von 5428 t Trockensubstanz/Tide zu erkennen. Östlich davon beträgt der residuelle advektive Schwebstofftransport 5208,7 t Trockensubstanz/Tide. Die Differenz zwischen den Zahlen (etwa 220 t/Tide) hat das östliche Querprofil nicht erreicht. Das kann zweierlei bedeuten: das Material ist am Boden sedimentiert (gelb-rötliche Flächen) oder aber die Sedimentkonzentration in der Wassersäule zwischen den beiden Profilen hat zugenommen. Bei der Betrachtung von Profil zu Profil können Transportrichtungen und Mengen bestimmt werden. Die unterlegten Farbflächen geben Hinweise zu Erosions- bzw. Depositionsgebieten. Die bedeutsamen Transportprozesse für den Bereich Hahnöfer Nebeneibe / Mühlenberger Loch (s. Bild 79) sind folgend aufgelistet:

- Die Transporte aus der westlichen Hahnöfer Nebeneibe nehmen zur Kreuzung mit dem Este-Fahrwasser leicht ab. Die Transportrichtung ist deutlich stromauf.
- Das nördliche Este-Fahrwasser transportiert von der Fahrinne her Material in Richtung Süden ebenfalls zur Kreuzung mit der A+E-Rinne
- In der östlichen A+E-Rinne von der Fahrinne her kommend weisen die Transporte stromab (negative Zahlen) bis sie schließlich umschlagen auf positive Werte, also Stromauftransport indizieren. An der Stelle des Vorzeichenwechsels laufen beide Transporte zusammen, es kommt zur Sedimentation, was in der Natur durch Analysen von Peilungen bestätigt wird.



- Bei höheren Oberwasserzuflüssen (blaue Zahlen) sind lediglich die Zahlen geringer, das Transportmuster bleibt.

5.2.7.4 Erosion und Deposition als Indikatoren

Die Simulationszeitspanne der verschiedenen Varianten beträgt 17 Tage (14.06.2006 0:00 - 30.6.2006 23:30). Am Ende der Modellsimulation sind Erosion bzw. Deposition bestimmt worden. Neben der qualitativen Auswertung in Form von Karten wurde im Bereich der östlichen A+E-Rinne auch eine quantitative Bestimmung durchgeführt. Es hat sich gezeigt, dass im Bereich des Auswertepolygons (s. Bild 80) die höchsten Depositionsraten für den Bereich der östlichen A+E-Rinne liegen. Für die quantitative Bestimmung wurde das Maximum der Deposition innerhalb dieses Auswertepolygons bestimmt.

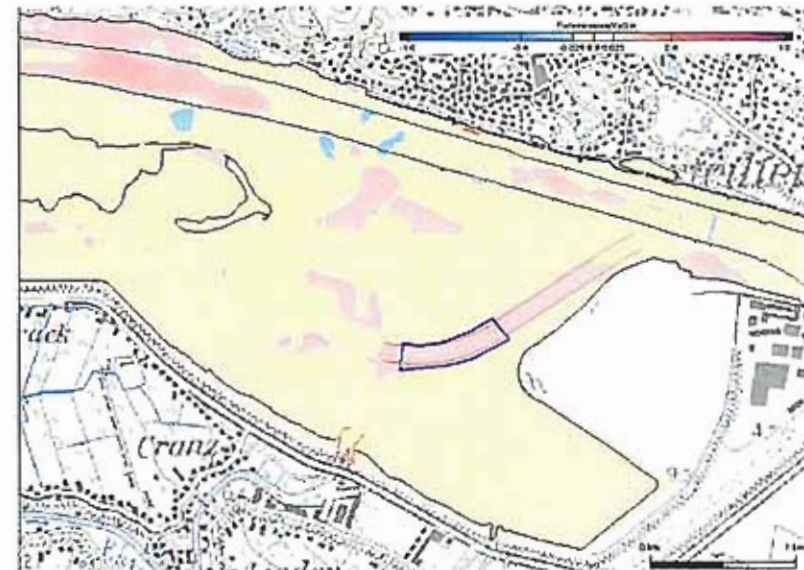


Bild 80: Beispiel einer Tiefenerosionskarte zum Ende des Modelllaufs mit Auswertepolygon

Die Karte (s. Bild 80) zeigt, dass genau im Bereich der östlichen A+E-Rinne ein Depositionsbereich berechnet wurde. Im zeitlichen Verlauf ist erkennbar, dass im Bereich des Auswertepolygons die Deposition beginnt und sich von dort entlang der Rinne nach Norden zur Fahrinne bzw. auch nach Westen in Richtung zur Kreuzung mit dem Este-Fahrwasser ausbreitet. Für die diversen Varianten wurden folgende Depositionsraten innerhalb des Auswertepolygons ermittelt (s. Tabelle 3):



Tabelle 3: Maximale Depositionsraten in mm / 33 Tiden im Auswertepolygon in der östlichen A+E-Rinne

Umlagerung Trocken- substanz / Tide	Oberwasserzufluss			
	780 m³/s		475 m³/s	
	30min vor Thw	Thw	3h vor Tnw	Thw
0 m³		44,88		49,51
1764 m³	45,34	45,35	46,79	50,22
3035 m³		45,98		50,76
11.625 m³	47,81	48,1	50,92	52,31
20.000 m³		51,86		56,56

Aus diesen Zahlen, die ausschließlich berechnete maximale Depositionsraten im Auswertepolygon der östlichen A+E-Rinne repräsentieren, lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

- Die geringste Depositionsrates liegt vor, wenn kein Material umgelagert wird.
- Die höchste Depositionsrates entsteht bei maximalen Umlagerungsmengen von 20.000 m³ Trockensubstanz pro Tide und geringerem Oberwasserzufluss.
- Die Schwankung aufgrund der unterschiedlichen Umlagerungszeitpunkte liegt zwischen 3 % und 6 % und ist abhängig von der umgelagerten Menge.
- Der Oberwassereinfluss ist gut erkennbar. Bei geringen Oberwasserzuflüssen erhöht sich die Depositionsrates um etwa 10 %.
- Die Depositionsrates ist auch ohne Umlagerung sehr deutlich und erhöht sich bei maximaler realistischer Umlagerung von 3035 m³ Trockensubstanz / Tide um 3 %. Der Systemversuch mit einer Umlagerung von 20.000 m³ Trockensubstanz / Tide zeigt eine Erhöhung der Depositionsrates von ca. 16 %.
- Bei ungünstigen Bedingungen mit wenig Oberwasserzufluss und hohen realistischen Umlagerungsmengen von 3035 m³ Trockensubstanz / Tide erhöht sich die Depositionsrates um etwa 13 %. Im Systemversuch sind es bis zu 26 %.

Die für die beiden zusätzlichen Varianten I und II (Berechnung ohne Umlagerung) ermittelten Depositionsrates im Auswertepolygon der A+E-Rinne zeigt Tabelle 4.

Tabelle 4: maximale Depositionsrates im Auswertepolygon (*: weiter westlich im direkten Anschluss des Auswertepolygons) im Vergleich zu zwei weiteren Varianten - Einheit: mm / 33 Tiden

Variante II ohne FAP, A+E-Rinne IST2006	Variante I ohne FAP, Tiefe der östl. A+E-Rinne: 3.9m unter NN	mit FAP, Tiefe der östl.A+E-Rinne: 3.9m unter NN (s.Tabelle 3)
38,51/ (ca. 73 im Kreuzungs- bereich Este-Fahrwasser mit A+E-Rinne)*	56,19	44,88

Die Variante I zeigt deutlich den Einfluss der geplanten Fahrinnenanpassung auf den östlichen Teil der A+E-Rinne: ohne Fahrinnenanpassung liegt die Depositionsrates um etwa 25



% höher bei sonst gleichen Bedingungen. Die Variante II entspricht am ehesten dem aktuellen Zustand. Hier liegt die maximale Depositionsrates im Auswertepolygon deutlich geringer. Das lässt sich dadurch erklären, dass die östliche A+E-Rinne zum Großteil aufsedimentiert ist und sich der Prozess asymptotisch einem Gleichgewichtszustand annähert bzw. ihn immer langsamer werdend erreicht. Die größten Depositionsrates in dieser Variante liegen nicht im Bereich des Auswertepolygons, sondern westlich davon im Kreuzungsbereich Este-Fahrwasser mit der A+E-Rinne.

Aus den ermittelten Depositionsrates kann überschlägig die Zeit berechnet werden, in der die östliche A+E-Rinne etwa 2,5m aufsedimentiert. Mit allen erwähnten Unsicherheiten und unter Berücksichtigung aller getroffenen Annahmen beträgt die über Intervallarithmetik errechnete Zeitdauer einer erneuten Wiederverlandung der östlichen A+E-Rinne etwa zwischen 2 – 3 Jahre.

5.2.7.5 Weitere Kennwerte

Für die Varianten I und II wurde weitergehend noch der residuelle advective Schwebstofftransport² sowie die Differenz aus beiden bestimmt (s. Bild 81 - Bild 83).

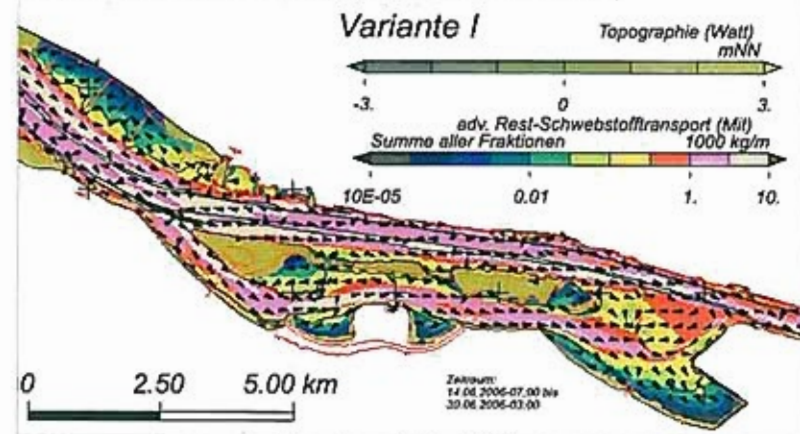


Bild 81: residueller advectiver Schwebstofftransport für Variante I

Diese Darstellung zeigt etwas über die langfristigen Transportwege der Schwebstoffe, wobei berücksichtigt werden muss, dass die hier gezeigten Ergebnisse streng genommen nur für die Verhältnisse zwischen dem 14 und 30 Juni 2006 gelten. Einflüsse durch besondere episodische Ereignisse wie beispielsweise Sturmfluten usf. sind hier nicht berücksichtigt. Trotzdem geben diese Abbildungen wertvolle Hinweise, da sie die Ergebnisse der periodisch immer wiederkehrenden Prozesse zeigen.

² <http://www.baw.de/vip/abteilungen/wbk/Methoden/kenn/tdkc/tdkc-do.html#res>

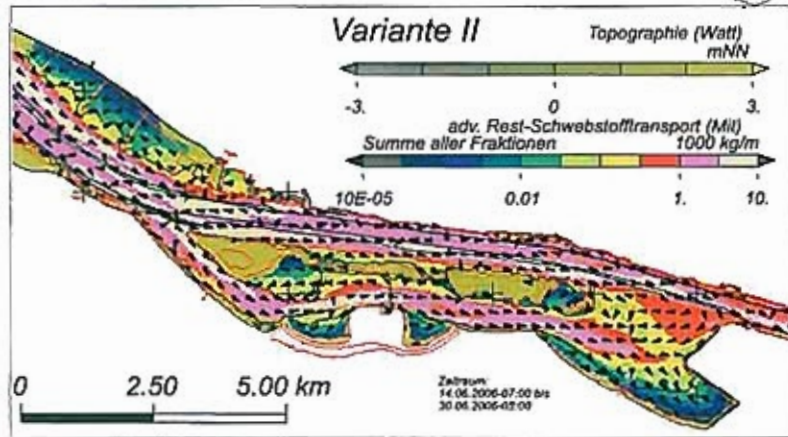


Bild 82: residueller advektiver Schwebstofftransport für Variante II

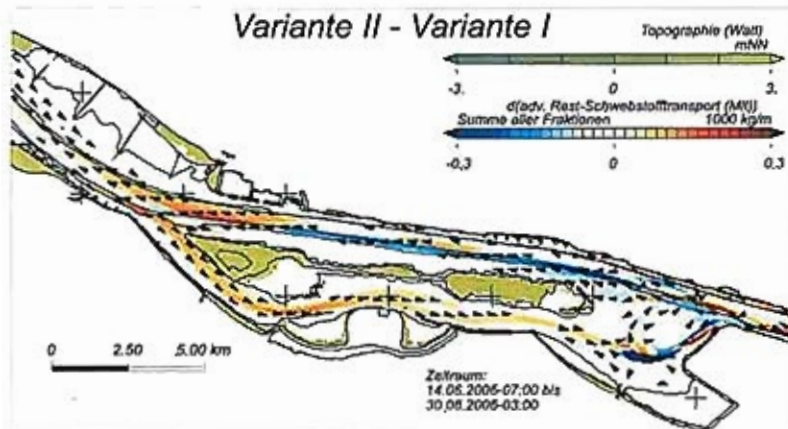


Bild 83: Differenz des residuellen advektiven Schwebstofftransports aus den Varianten I und II

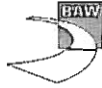
Für den Bereich der Hahnöfer Nebelbe / des Mühlenberger Lochs sind die Ergebnisse eindeutig: sehr viele Pfeile weisen in Richtung des Mühlenberger Lochs unterhalb der Dasa-Erweiterung (s.Bild 81 und Bild 82). Da in diesem Bereich die Stauwasserdauern sehr hoch sind und dieser Bereich ebenfalls mit suspendiertem Material beliefert wird, bestätigt die HN-Modellsimulation auch den in der Natur nachgewiesenen langfristigen Verlandungstrend.

Ebenfalls zu beachten ist der Bereich oberhalb der Kreuzung Este-Fahrwasser und A+E-Rinne: hier zeigen die residuellen Transportpfeile aus drei Richtungen (westliche und östliche A+E-Rinne sowie des nördlichen Este-Fahrwassers) aufeinander. Die angelieferten Mengen sind dabei größer als der Abtransport: es kommt zu einer Konvergenzzone und zu nennenswerten Sedimentationen (so wie im Fall der östlichen A+E-Rinne bekannt). Neben dieser Beschreibung der allgemeinen Situation, die immer berücksichtigt werden muss, zeigt die Differenzbetrachtung (s.Bild 83) die unterschiedliche Wirkung auf die residuellen advektiven Schwebstofftransporte zwischen einer vorhandenen östlichen A+E-Rinne (Sollzustand) und einer nahezu vollsedimentierten Rinne (IST2006). Im Zustand einer nahezu aufsedimentierten A+E-Rinne ist gut zu erkennen, dass die Transporte von der Fahr Rinne hinein in die westliche Hahnöfer Nebelbe stärker sind, wo hingegen die Transporte in der östlichen A+E-Rinne geringer ausfallen. Das Ergebnis ist plausibel, deckt es sich mit den Überlegungen und Ergebnissen aus der Voruntersuchung: bei einer nicht vorhandenen östlichen A+E-Rinne geschieht die Befüllung vermehrt über die westliche Hahnöfer Nebelbe.

5.2.8 Zusammenfassung der Modelluntersuchung

Die wichtigsten Ergebnisse der Modellsimulation können kurz zusammengefasst werden:

- Das Grundmuster der Schwebstoffdynamik in der Hahnöfer Nebelbe / im Mühlenberger Loch ist unabhängig von der umgelagerten Menge bei Neßsand. Es wird durch die Umlagerung jedoch verstärkt und die Depositionsraten in der östlichen A+E-Rinne liegen um bis zu 3 % höher, wenn 3035 m³ Trockensubstanz pro Tide umgelagert wird (maximale realistische Umlagerung).
- Aus Profilanalysen ist deutlich die Konvergenzzone der suspendierten Sedimente in der östlichen A+E-Rinne zu erkennen.
- Die geplante Fahrinnenanpassung der Unter- und Außenelbe bewirkt eine ca. 20 prozentige Reduktion der Depositionsraten in der A+E-Rinne. Dies wurde für den Sollzustand der A+E-Rinne (Sollsohle bei -3,9 m NN) berechnet.
- In der Variante IST2006 (ohne geplante Fahrinnenanpassung und mit aufsedimentierter östlicher A+E-Rinne) schreitet die Sedimentation weiter fort, und zwar zu beiden Seiten des höchsten Punktes, wobei die höchsten Sedimentationsraten in Richtung der Kreuzung Hahnöfer Nebelbe mit dem Este-Fahrwasser liegen.
- Überschlägig kann von einer Wiederverlandung der Rinne in ca. 2 – 3 Jahren nach einer erneuten Wiederherstellung der Solltiefen ausgegangen werden.
- Die Einflüsse singulärer Ereignisse (Sturmfluten, Kantenfluten, hohe Oberwasserzuflüsse) sind in ihrer Wirkung auf die Sedimentdynamik nicht quantifiziert worden.



Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Um zu einer Empfehlung zu kommen, müssen die wichtigsten Ergebnisse aus der Voruntersuchung (s. Kapitel 4.3), den Analysen der Naturdaten (s. Kapitel 5.1.3) und der Modelluntersuchung (s. Kapitel 5.2.8) rekapituliert und bewertet werden.

- Alle Varianten aus der Voruntersuchung zeigen maximal nur eine sehr geringe positive Wirkung bezüglich der Strömungssituation in der A+E-Rinne. Dominant bleiben hohe Stauwasserdauern und damit eine Begünstigung der Sedimentation von suspendiertem Material in der Wassersäule, was langfristig, ohne Unterhaltungsmaßnahmen, zu einer fortgesetzten Verlandung des Gebietes führen wird. Drei der untersuchten Varianten bestanden aus Ein-Rinnen-Systemen im Gegensatz zu dem heute herrschenden Zwei-Rinnen-System aus Este-Fahrwasser und A+E-Rinne. In zwei dieser Varianten wird die Strömung in der A+E-Rinne ohne große Umlenkung geführt: diese Varianten können aus wasserbaulicher Sicht empfohlen werden, da die oben erwähnten Verlandungstendenzen verzögert werden.
- Die Analyse der gemessenen Strömungsgeschwindigkeiten zeigt, dass vom Sept.2003 bis zum Oktober 2005 die maximale Flutstromgeschwindigkeit in der östlichen A+E-Rinne um 10 cm/s oder etwa 12 % abgenommen hat. Die häufigsten Strömungsgeschwindigkeiten liegen im Intervall zwischen ± 25 cm/s. Die Ebbstromgeschwindigkeit bleibt innerhalb einer kleinen Schwankungsbreite unverändert, sowie auch die Strömungen in der restlichen Hahnöfer Nebelbe.
- Eine Analyse der Peildaten zeigt, dass die östliche A+E-Rinne zwei bis drei Jahre nach ihrer Fertigstellung um mehr als 2m aufsedimentiert ist und damit bei annähernd Niedrigwasser kaum noch durchströmt werden kann.
- Aus der Modelluntersuchung lässt sich ableiten, dass das Grundmuster der Schwebstoffdynamik in der Hahnöfer Nebelbe / Im Mühlener Loch unabhängig ist von der umgelagerten Menge bei Neßsand. Es wird durch die Umlagerung jedoch verstärkt und die Depositionsrate in der östlichen A+E-Rinne liegt um bis zu 3 % höher, wenn 3035 m³ Trockensubstanz pro Tide umgelagert wird (maximale realistische Umlagerung).
- Übersichtlich und mit allen erwähnten Unsicherheiten und unter allen Annahmen kann aufgrund der Modelluntersuchung von einer Wiederverlandung der Rinne in ca. 2 – 3 Jahren nach einer erneuten Wiederherstellung ausgegangen werden. Singuläre Ereignisse wie beispielsweise Sturmfluten, Kantenfluten oder hohe Oberwasserzuflüsse sind dabei in ihrer Wirkung nicht berücksichtigt worden.
- Der in der Modelluntersuchung errechnete residuelle advective Schwebstofftransport zeigt deutlich eine Konvergenzzone der Transporte in etwa entlang des nördlichen Este-Fahrwassers. Ein weiterer Transportweg zeigt in Richtung des Mühlener Lochs unterhalb der Dasa-Erweiterungsfläche.



Die Beantwortung der Frage nach der morphologischen Stabilität der A+E-Rinne konnte auf Basis von Naturdaten und Simulationsergebnissen im Sinne einer ersten Einschätzung eindeutig abgeleitet werden. Eine Wiederherstellung der Solltiefen in der östlichen A+E-Rinne wäre ohne weitere Unterhaltung des Systems nicht nachhaltig. Unter Berücksichtigung heutiger hydrologischer und morphologischer Randbedingungen würde durch die Sedimentationsprozesse innerhalb eines Zeitraumes von ca. zwei bis drei Jahren der heutige Verlandungszustand der A+E-Rinne wiederhergestellt sein.

Darüber hinaus stellt sich die Frage nach der morphologischen Stabilität des Gesamtsystems Hahnöfer Nebelbe mit dem Mühlener Loch. Ohne antropogene Eingriffe wird der bestehende Sedimentationsprozess zu einer langfristigen Verlandung des Mühlener Lochs führen. Dies wird die heutige Durchströmbarkeit der Hahnöfer Nebelbe reduzieren und einen sich selbst verstärkenden Prozess der Rückbildung der Nebelbe initiieren. Ebenfalls wird für das Este-Fahrwasser dann eine intensivere Unterhaltung erforderlich werden.

Hier muss zusammenfassend und unter den heutigen Randbedingungen gesagt werden, dass es keine Veränderung des Systems zu geben scheint, die es in einen nachhaltigen Zustand ohne Unterhaltung versetzen kann. Vielmehr ist der Punkt, auf den sich das System langfristig bewegen wird, klar vorgegeben: es ist die vollständige Verlandung. Dieser Zustand könnte durch entsprechende Unterhaltung vermieden werden.

Es können zwei Empfehlungen ausgesprochen werden.

Kurzfristig sollte die Entwicklung der Sedimentation durch ein prozessorientiertes Monitoring weitergehend analysiert werden. Möglicherweise reicht die Sedimententnahme zur Unterhaltung des Este-Fahrwassers aus, um den Sedimentationsprozess unterhalb der DA-Erweiterungsfläche langfristig zu verringern. Darüber hinaus kann möglicherweise durch eine modifizierte Unterhaltungsstrategie des Este-Fahrwassers der Sedimenteintrag in die A+E-Rinne sowie des Mühlener Lochs reduziert werden.

Langfristig sind nachhaltige Maßnahmen zu entwickeln, die entweder den Sedimenteintrag reduzieren oder den Sedimentaustag fördern. Sollte das nicht der Fall sein und es herrscht ein Grundkonsens zu einem generellen Erhalt des Mühlener Loch mit der Hahnöfer Nebelbe, muss über zusätzliche Maßnahmen zur Entfernung von Sediment aus dem System nachgedacht werden.

Bundesanstalt für Wasserbau – Dienststelle Hamburg

Hamburg, im März 2010

Im Auftrag

Bearbeiter

Gez. Rahlf

Gez. Kastens

Dipl.Ing. H. Rahlf
(Baudirektor)

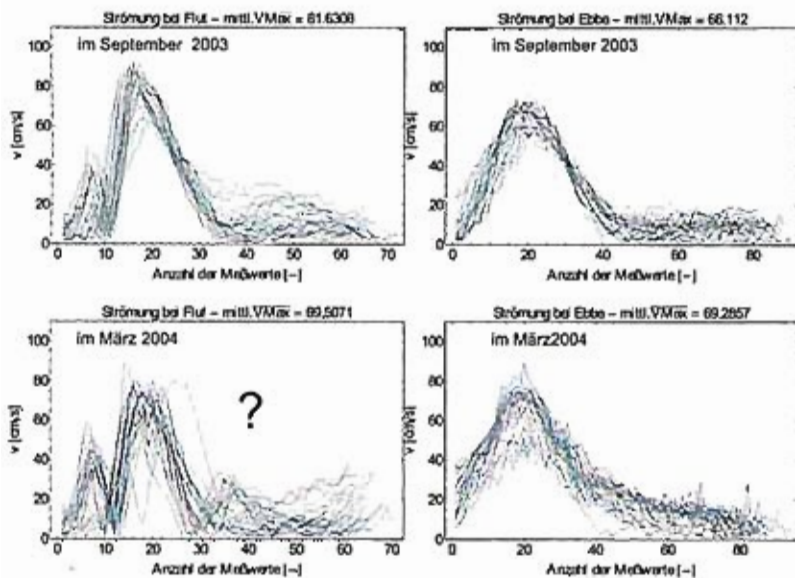
Dipl. geökol. M.Kastens
(Wiss. Angestellter)



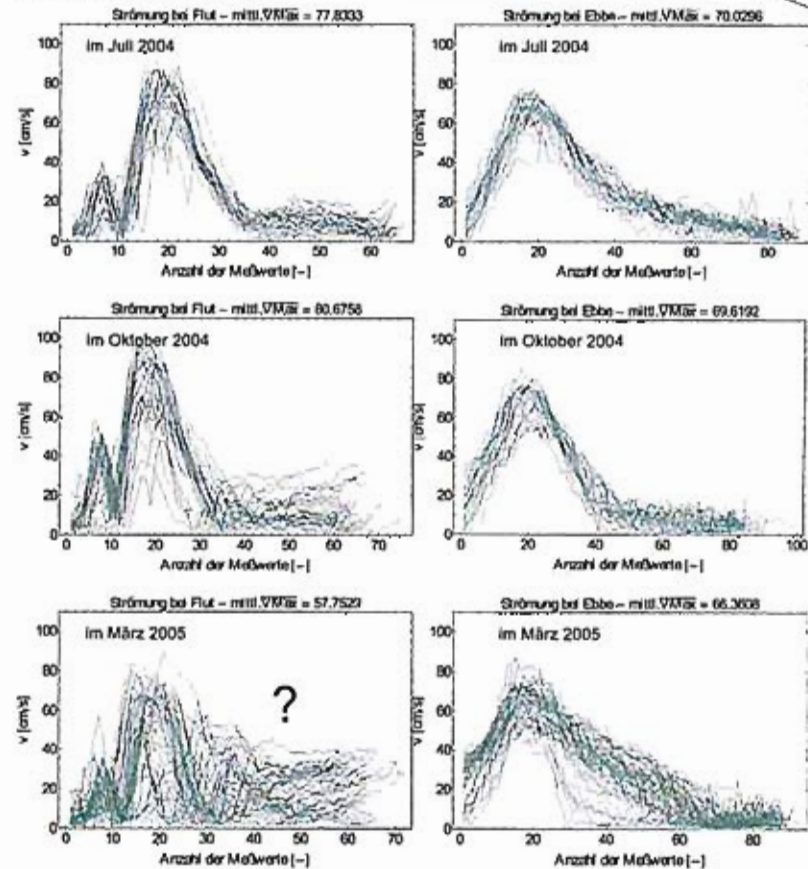
6 Literaturverzeichnis

- BFG (1996): Poster Schwermetallbelastung im Sediment des Mühlenberger Lochs; Bundesanstalt für Gewässerkunde; Koblenz
- BAW (2009): Gutachten zu Sedimentumlagerungen in der Begegnungsstrecke; BAW-Nr. A3955 03 10062; Bundesanstalt für Wasserbau, Hamburg
- PFB-DA (2000): Planfeststellungsbeschluss DA-Erweiterung A3XX vom 08. Mai 2000; FHH, Wirtschaftsbehörde, Strom- und Hafenbau, Planfeststellungsbehörde, Hamburg

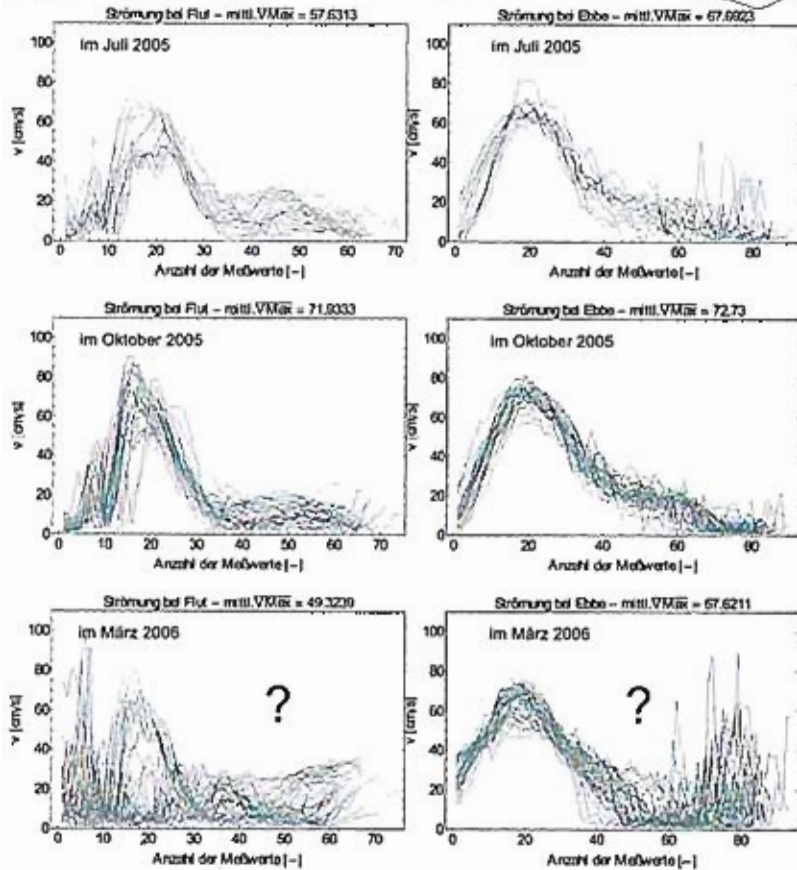
7 Anlagen



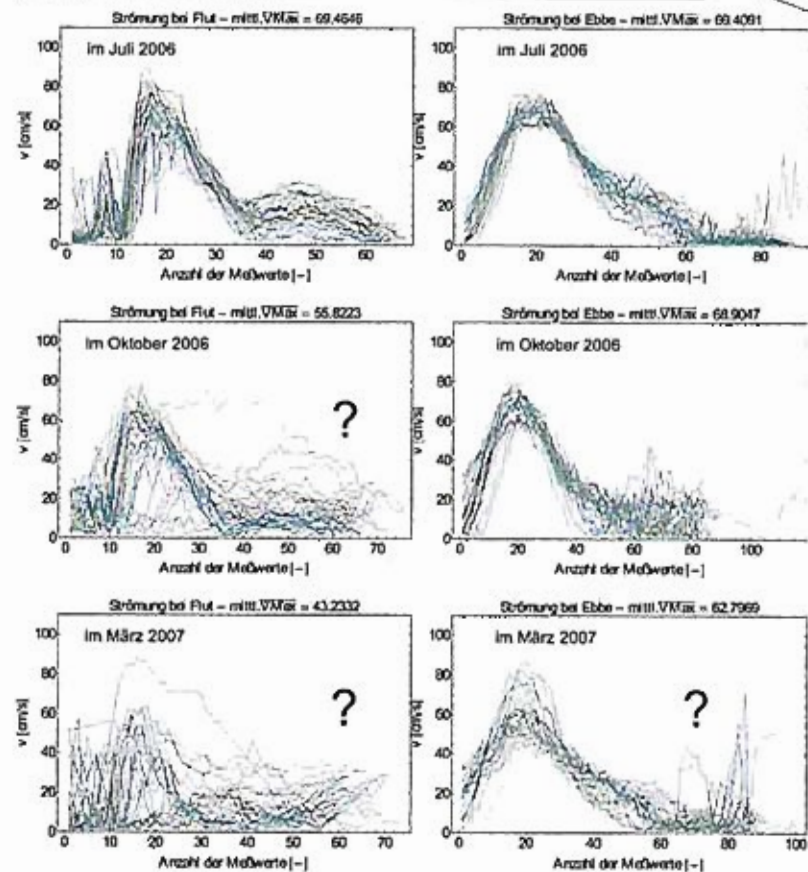
Anlage 1: Pro Tide überlagerte Strömungsmessungen des WSA Hamburg an der Position P1-Oben – September 2003 und März 2004; das ? bedeutet ggf. unplausible Daten enthalten



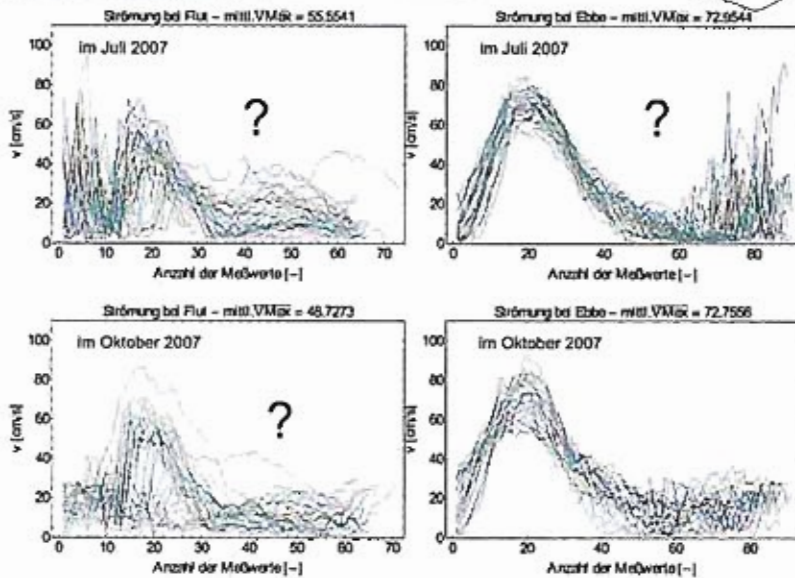
Anlage 2: Pro Tide überlagerte Strömungsmessungen des WSA Hamburg an der Position P1 – Juli 2004, Oktober 2004 und März 2005; das ? bedeutet ggf. unplausible Daten enthalten



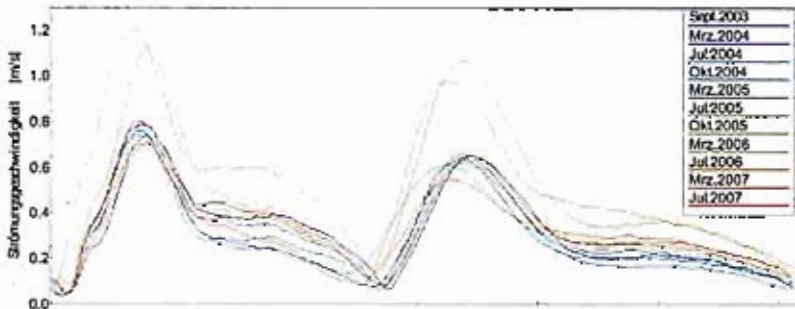
Anlage 3: Pro Tide überlagerte Strömungsmessungen des WSA Hamburg an der Position P1
 – Juli 2005, Oktober 2005 und März 2006; das ? bedeutet ggf. unplausible Daten
 enthalten



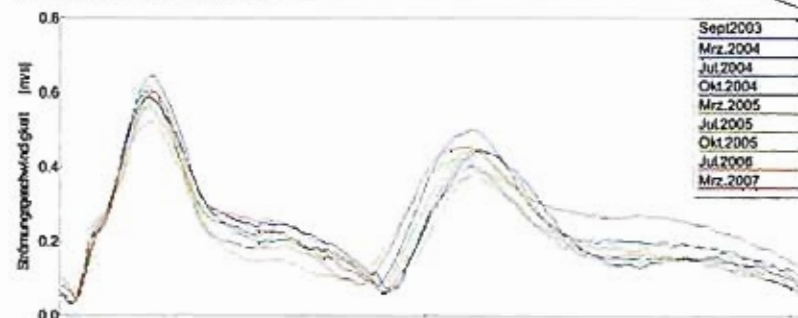
Anlage 4: Pro Tide überlagerte Strömungsmessungen des WSA Hamburg an der Position P1
 – Juli 2006, Oktober 2006 und März 2007; das ? bedeutet ggf. unplausible Daten
 enthalten



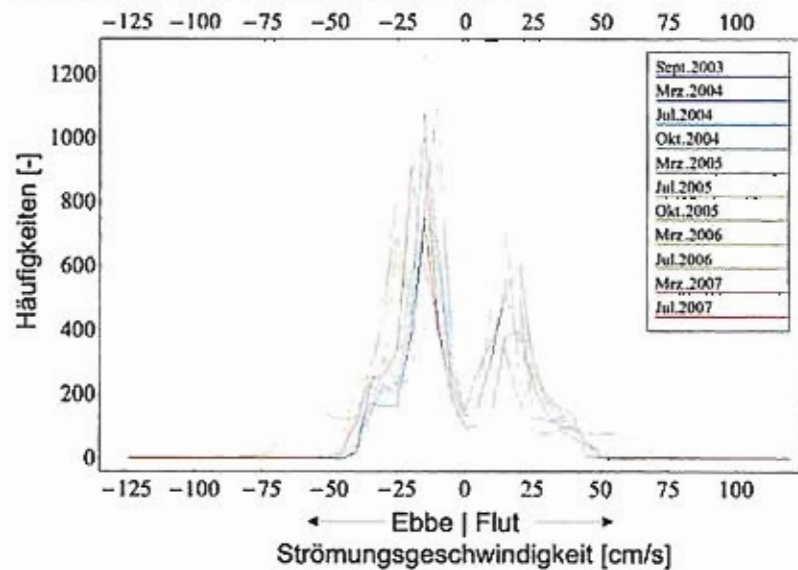
Anlage 5: Pro Tide überlagerte Strömungsmessungen des WSA Hamburg an der Position P1 – Juli 2007 und Oktober 2007; das ? bedeutet ggf. unplausible Daten enthalten



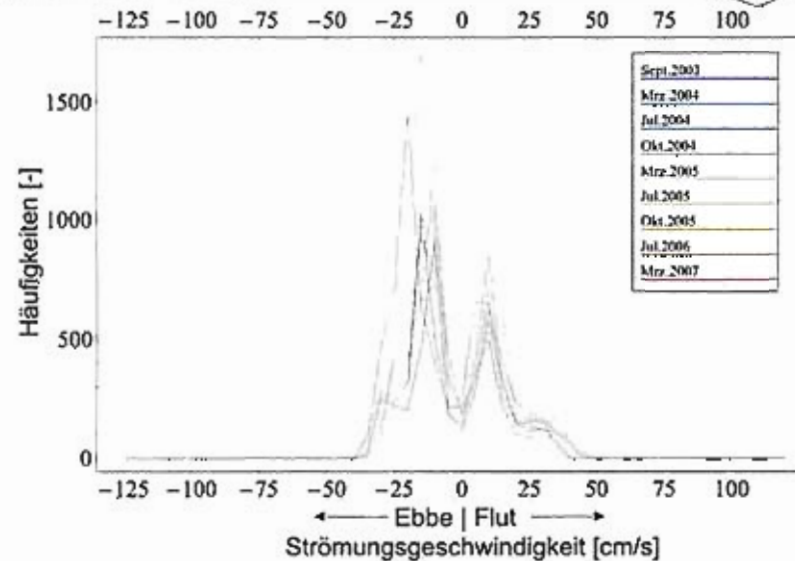
Anlage 6: Mittlere Strömungskurven für die Position P2-Oben



Anlage 7: Mittlere Strömungskurven für die Position P2-Unten



Anlage 8: Verteilung der Strömungsgeschwindigkeiten an der Position P2-Oben



Anlage 9: Verteilung der Strömungsgeschwindigkeiten an der Position P2-Unten



8 Chronologie des Projektes

- 08.Okt.2007 Präsentation der Ergebnisse aus der Voruntersuchung in Anwesenheit der
 Ländervertreter [HPA] (BAW-Empfehlung: Ein-Rinnen-System für den Bereich
 Hahnöfer Nebelalbe und Mühlenberger Loch)
- 05.Feb.2008: Besprechung [HPA] – weiteres Vorgehen? (Wiederherstellung der A+E-Rinne
 oder Durchstich?)
- 27.Feb.2008: BAW Vermerk: „Wirkung eines Durchstichs Neßsand“
- 24.Apr.2008: Gutachten vom KIFL: (Durchstich bringt keine wesentlichen Vorteile aus öko-
 logischer Sicht)
- 06.Aug.2008: Besprechung [HPA] – weiteres Vorgehen? (Änderung der Fragestellung der
 Hauptuntersuchung; Stabilität der A+E-Rinne bei erneuter Herstellung)
- 03.Nov.2008: Versendung Konzept für die Hauptuntersuchung
- 19.Jan.2009: Bestätigung von HPA für die Hauptuntersuchung
- April 2009: Projektstart Hauptuntersuchung in der BAW
- 28.Mai 2009 Präsentation der Ergebnisse aus der Hauptuntersuchung[HPA] (zwei weitere
 Varianten berechnen)
- 11.Nov.2009 Präsentation der Ergebnisse in Anwesenheit der Ländervertreter [HPA]: