

Das Elbeästuar

Marcus J. Boeblich¹ und Thomas Strotmann²

¹ Bundesanstalt für Wasserbau

² Hamburg Port Authority

Zusammenfassung

Der Zustand und die Funktionen des Elbeästuars insbesondere als Verkehrsträger und als Anbindung des Hamburger Hafens an die weltweiten Containerverkehre sowie die wasserseitige Hinterlandanbindung werden dargestellt. Der Beitrag beinhaltet eine kurze Übersicht der geomorphologischen Entwicklung und Klassifikation der Elbe. Der Schwerpunkt liegt zum einen in der Dokumentation und der historischen Entwicklung der hydrologischen Parameter wie Oberwasserzufluss, Tidewasserstände, Strömungen, Salzgehalte sowie Schwebstofffrachten und zum anderen in der Benennung bedeutender Baumaßnahmen zur Anpassung der Wasserstraße an die wachsenden Schiffsgrößen einschließlich des damit verbundenen steigenden Aufwands der Fahrwasserunterhaltung und der Probleme im Umgang mit den zunehmenden Baggermengen.

Schlagwörter

Elbe, Ästuar, Gezeiten, Wasserstand, Gezeitenströmung, Oberwasserzufluß, Salzgehalt, Schwebstoff, Verkehr, Fahrwasservertiefung, Geomorphologie, Strombau, Eindeichung, Monitoring, Hafen Hamburg, Ausbaggern, Verklappen von Sediment

Summary

The shape and the use of the river Elbe with respect to traffic and the ports, especially the Port of Hamburg and its artificial connections (canals) is described. A short view is given on the Elbe's geomorphological development and classification. The major aspects of this article are on the one hand the hydrological key parameters as fresh water discharge, tides, water levels, currents, salinity and suspended load (also their development over the years) and on the other hand the construction measures in the river for navigational purposes with their resolving problems with dredging large amounts of sediment.

Keywords

Elbe, estuary, tide, water level, tidal currents, river discharge, salinity, suspended matter, traffic, deepening, fairway, geomorphology, construction measures, impoldering, monitoring, Port of Hamburg, dredging, dumping of sediment

1 Einleitung

Die Elbe entspringt im Riesengebirge in einer Höhe von 1.386 m über NN und erreicht die Nordsee nach 1.094 km in Cuxhaven. Das gesamte Einzugsgebiet der Elbe (Abbildung 1) hat eine Fläche von 148.268 km², womit die Elbe nach Donau (817.000 km²), Weichsel (194.112 km²) und Rhein (183.800 km²) das viertgrößte Flussgebiet Mitteleuropas ist. Das Elbeästuar umfasst die unteren Abschnitte der Elbe zwischen dem Wehr Geesthacht (Elbe-Km 588) und dem Übergang in die Nordsee (Elbe-Km 760). Solange keine Sturmflutverhältnisse herrschen, wird der Tideeinfluss des Elbeästuars durch das Wehr Geesthacht nach oberstrom begrenzt.

Vom Wehr Geesthacht bis Bunthaus (20 km flussabwärts) hat die Elbe eine typische Breite von 300–500 m. Dieser Bereich heißt „Obere Tideelbe“. Bei Bunthaus (Elbe-Km 609) teilt sich der Fluss in Norder- und Süderelbe auf, wobei jeder Arm anfangs lediglich 200 m breit ist. Die Breiten nehmen jedoch kontinuierlich zu, und an dem Punkt, an dem die beiden Elbarme wieder zusammenfließen (Elbe-Km 626), hat die Norderelbe eine Breite von rund 400 m und die Süderelbe eine Breite von rund 300 m. Die wiedervereinte Elbe fließt dann als insgesamt 500 m breiter Fluss weiter. Sieben Kilometer weiter stromabwärts (Elbe-Km 633) verbreitert sich der Fluss mit der Elbbucht Mühlenberger Loch abrupt auf 2,5 km.

Ab hier verläuft die Fahrrinne der Elbe in einem Bett, das ständig seine Tiefe und Breite ändert und zahlreiche Nebenrinnen hat, die durch die Inseln Hanskalbsand/Schweinsand/Neßsand, Lühesand, Drommel/Auberg/Bishorster Sand, Pagensand, Schwarztonnensand und Rhinplatte vom Hauptstrom getrennt sind. Bei Tideniedrigwasser sind Sände wie Brammer Bank, Böschrücken und Medemsand sichtbar. Unterhalb von Brunsbüttel (Elbe-Km 695) weitet sich die Elbe zum Mündungstrichter, der zwischen Cuxhaven und dem Trischendammschleuse seine maximale Breite von 17,5 km erreicht. Bei Niedrigwasser bleiben davon nur noch 1,5 km übrig, da der größte Teil des trichterförmigen Elbeästuars trockenfällt. Die nördliche und westliche Grenze der Außenelbe seewärts von Cuxhaven ist in der Fachliteratur nicht eindeutig definiert. Nach Ansicht der Autoren jedoch beginnt die Außenelbe bei den Großbaken A und Z nördlich des Scharhörnriffs, wo sich bei Tideniedrigwasser durch die trockenfallenden Sände nördlich und südlich eine seitliche Abtrennung bildet.

Tabelle 1: Nebenflüsse der Unterelbe (modifiziert nach IKSE 2005).

Gewässer	Elbe-km	Einzugsgebietsfläche (AE) [km ²]	Mittlerer Abfluss (MQ) [m ³ /s]
Ilmenau	599,0	2 852,0	17,7
Seeve	604,9	471,1	4,71
Bille	615,3 Norderelbe	506,4	3,99
Alster	622,4 Norderelbe	580,7	5,80
Este	634,4	364,2	3,21
Lühe	645,5	216,7	2,51
Schwinge	654,8	215,7	2,62
Pinnau	659,7	367,0	3,46
Krückau	664,9	275,7	2,42
Stör	679,3	1 780,5	21,7
Nord-Ostsee-Kanal	696,0	1 536,7	19,1
Oste	707,0	1 711,1	17,7
Medem und Hadelner Kanal	712,6	482,8	7,81

Die Tideelbe ist eine Bundeswasserstraße. Die Zuständigkeit liegt bei den regionalen Ämtern der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) in Cuxhaven, Hamburg und Lauenburg. Ein ungewöhnlicher Umstand ist, dass der Bund die Unterhaltung und den Ausbau dieser Bundeswasserstraße innerhalb der Landesgrenzen von Hamburg an die Freie und Hansestadt Hamburg delegiert hat („Delegationsstrecke“).

Die wirtschaftliche Bedeutung der Tideelbe ist insbesondere in ihrer Rolle als wichtige Schifffahrtsroute für den internationalen Seeverkehr begründet: 8.719 Seeschiffe (davon 4.163 Containerschiffe) unternahmen im Jahr 2016 die 130 km lange Reise das Ästuar aufwärts zum Hamburger Hafen. Andere seegehende Schiffe liefen die Häfen von Cuxhaven, Brunsbüttel und Stade-Bützfleth an, die alle an der Unterelbe liegen.

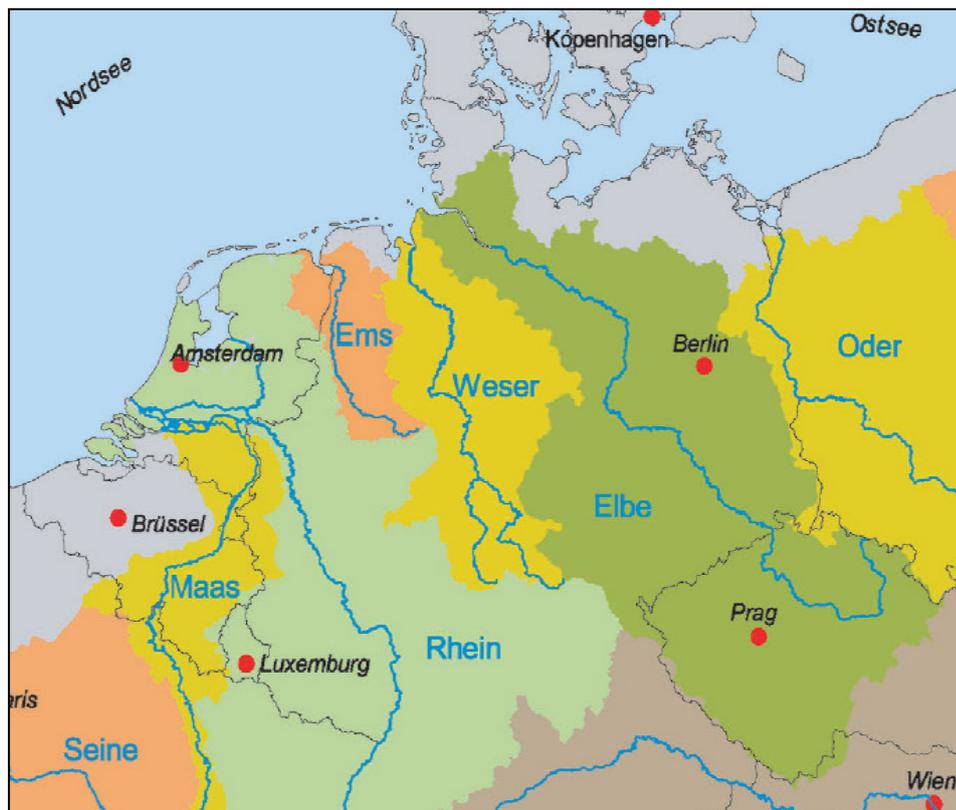


Abbildung 1: Lage und Einzugsgebiet der Elbe (IKSE 2005).

In unmittelbarer Nähe zur Mündung der Elbe in die Nordsee bei Cuxhaven befindet sich der Hafen CuxPort, der seit 1997 Ro/Ro-Verkehre anbietet. Seit 2010 steht mit den Offshore-Terminals I und II darüber hinaus Infrastruktur zur Verladung von Komponenten für die Offshore-Industrie zur Verfügung. Wichtigster Nordsee-Hafen in Schleswig-Holstein ist Brunsbüttel, bestehend aus dem Elbehafen, dem Ölhafen und dem Hafen Ostermoor. Der Hafen Stade-Bützfleth in Niedersachsen zählt zu den zehn größten deutschen Seehäfen nach Umschlagsvolumen (Stand 2016). Er ist seit 1972 in Betrieb und kann von Schiffen mit einer Länge von bis zu 270 m und einem Tiefgang von 13,50 m angelaufen werden. Der Hamburger Hafen – mit Abstand größter Hafen Deutschlands und drittgrößter Hafen in Europa – rangiert unter den zwanzig größten Containerhäfen weltweit. Im Jahr 2016 belief sich der Gesamtumschlag auf 138,2 Millionen Tonnen. Davon wurden 91,7 Millionen in Containern mit umgerechnet 8,9 Millionen Twenty-Foot Equivalent Units (TEU) umgeschlagen. Der Universalhafen verfügt über

Containerterminals und Kaianlagen, die den Umschlag von Schwer- und Stückgütern, Ro/Ro-Ladung, Sauggut, Greifergut, Lebensmitteln sowie Flüssiglading und Chemikalien ermöglichen. Der Containerumschlag wird an vier Containerterminals bewältigt. Das Container Terminal Altenwerder ist seit 2002 in Betrieb und gilt nach wie vor als eine der weltweit modernsten Umschlagsanlagen.

Der Hamburger Hafen kann von vielen Vorteilen profitieren, vor allem dank seiner unter geographischen Gesichtspunkten günstigen Lage. Er ist die Hauptdrehscheibe für den überseeischen Schiffsverkehr und wichtigster Umschlaghafen für die mittel- und osteuropäischen Länder sowie die baltischen Staaten. Darüber hinaus verfügt er über eine ausgezeichnete Infrastruktur und beste Anbindungen an die nationalen und internationalen Verkehrsnetze.

Die Seeschiffahrtsstraße Elbe ist mit einem sehr gut ausgestatteten Netzwerk meist künstlicher Wasserstraßen verbunden, das optimale Bedingungen für die wirtschaftlich effiziente und ökologisch zu bevorzugende Weiterverteilung von Gütern auf dem Wasserweg bietet. Der Nord-Ostsee-Kanal führt vom Elbeästuar bei Brunsbüttel bis in die Ostsee bei Kiel. Er ist die meistbefahrene künstliche Wasserstraße der Welt. Eine weitere Verbindung zur Ostsee stellt der 94 km lange Elbe-Lübeck-Kanal zwischen Lübeck und Lauenburg dar. Diese Binnenschiffahrtsstraße dient heute überwiegend dem Transport von Schüttgut. Der 1976 in Betrieb genommene Elbeseitenkanal verbindet oberhalb des Wehrs Geesthacht auf der 115 km langen Strecke von Artlenburg (Elbe-Km 572) bis Edesbüttel nahe Wolfsburg die Elbe mit dem Mittellandkanal, der wiederum die Ost-West-Verbindung zwischen dem Ruhrgebiet und Berlin herstellt. Der Elbeseitenkanal stellt in Niedrigwasserperioden eine alternative Verbindung für Binnenschiffe zwischen Hamburg und der Elbe bei Magdeburg dar.

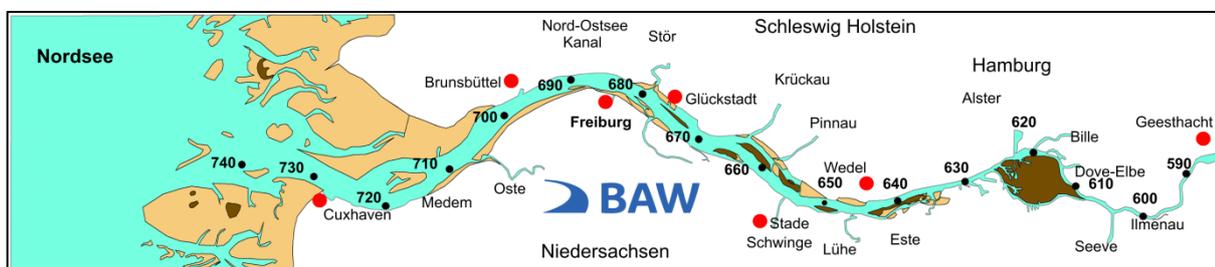


Abbildung 2: Unter- und Außenelbe.

Neben ihrer Bedeutung für die Schifffahrt spielt die Elbe auch in anderer Hinsicht eine wichtige wirtschaftliche Rolle. So bezieht eine Reihe von Industrieanlagen ihr Brauch- bzw. Kühlwasser aus der Elbe. Die Fischerei spielt hauptsächlich im Mündungsgebiet der Elbe eine wichtige Rolle. Da sich seit der deutschen Wiedervereinigung die Gewässergüte spürbar verbessert hat, werden gewerbliche Fischerei und Sportangeln wieder erfolgreich praktiziert. Insgesamt sieben Kläranlagen leiten Wasser in die Elbe; außerdem liegen 17 Industrieanlagen direkt am Elbeästuar, davon zehn im Großraum Hamburg, die als Direkteinleiter ihre Abwässer der Elbe zuführen.

Die Elbe und ihre Nebenflüsse sowie die Flussauen haben einen weit ins Hinterland reichenden Einfluss auf den Grundwasserspiegel und sind von großer Bedeutung für die Trinkwasserentnahme. Sie gewährleisten zudem die Entwässerung der überwiegend landwirtschaftlich genutzten Flächen hinter dem Deich und können bei kleineren Sturmflutereignissen die Wassermengen aufnehmen, bis die Sturmflutsperrwerke an den

Mündungen der Nebenflüsse geschlossen sind und die Hochwasserrückhalteräume abtrennen.

Die Flora und Fauna der Unterelbe haben eine besondere Bedeutung für die Umwelt, einige Tier- und Pflanzenarten kommen nur in diesem Einzugsgebiet vor und sind daher schutzwürdig. Der durch die Gezeiten beeinflusste Auwald ist eine charakteristische Vegetationsform mit Röhrichtbewuchs sowie Weich- und Harthölzern, die sich besonders unter den Bedingungen halbtägiger Gezeiten entwickelt hat und einen Lebensraum für eine hochspezialisierte Fauna bietet. Die Integration großer Teile des Elbeästuars und des angrenzenden Hinterlandes in das Natura-2000-Netz (das größte zusammenhängende Netz geschützter Gebiete zur Erhaltung der Artenvielfalt in Europa) unterstreicht die ökologische Wertigkeit dieses Naturraumes. Nicht zuletzt kommt der Tideelbe aber auch eine bedeutende Funktion als Freizeit- und Erholungsraum für den Menschen zu.

2 Geomorphologie des Elbeästuars

Die Unterelbe war bedeutenden geologischen Veränderungen unterworfen und, auf einer kleineren Zeitskala, auch weiteren natürlichen sowie anthropogenen Veränderungen. Während der letzten Eiszeit wurde das auch heute noch erkennbare Urstromtal geformt. Das Schmelzwasser der aus dem skandinavischen Raum vorgerückten Gletscher schuf ein Tal mit einer mittleren Breite von 10 km, am Ende stieg der Meeresspiegel an und schuf die Nordsee in ihrer heutigen Ausdehnung. Sumpf-, Wald- und Moorgebiete waren von marinen Ablagerungen bedeckt. Aus diesem Grund können heute unterschiedliche horizontale und vertikale Schichten alluvialer Mudde oder Sand- und Moorablagerungen gefunden werden. Heute verläuft die Unterelbe über pleistozänen Sandablagerungen und holozänen Sedimenten des Flusses. Relikte der Eiszeiten sind Findlinge, die gelegentlich im Unterlauf der Unterelbe entdeckt werden.

Die Ufer der Elbe entwickelten sich zunächst als sumpfige Röhrichtlandschaft, die bis zu Beginn unseres Zeitalters bestand. Während der Eisenzeit mit ihrer wachsenden Nachfrage nach Holz zum Schmelzen von Eisenerz wurden große Waldflächen entlang der Mittel- und Oberelbe abgeholzt, was über weite Bereiche Bodenerosion auslöste. Die vom Fluss transportierte Sedimentfracht erreichte so große Mengen, dass die unteren Abschnitte der Elbe wortwörtlich im Schlamm erstickten. Die Sedimente lagerten sich an den Flussufern an, die mit Schilfrohr und Pfahlrohr bewachsen waren. Die Höhe der Oberfläche hing vom verfügbaren Sedimentvolumen sowie von der Häufigkeit von Sturmfluten ab. Aus diesen Verhältnissen entwickelten sich die typischen Marschflächen von heute. Der Verlauf des Elbeästuars war von ständigen Veränderungen entlang der für das menschliche Auge sichtbaren Ufer, vor allem aber auch des unter Wasser liegenden Bereichs, geprägt. Neben den offensichtlichen Veränderungen wie Erosion und Sedimentation an den Ufern veränderte sich der Verlauf der Rinnen unter der Wasseroberfläche in unterschiedlichem Maße immer wieder. Auch heute kommt es in Abhängigkeit von den lokalen Strömungsverhältnissen oder unter der Einwirkung starker Seegangsbelastung während Sturmfluten zu natürlichen Veränderungen der Flussbettmorphologie. Folgende grobe morphologische Klassifizierung der Unterelbe und Außenelbe ist möglich:

Vom Wehr Geesthacht bis Bunthaus, wo die Elbe sich in Norder- und Süderelbe aufspaltet, ist das Ästuar in seinem Verlauf eingeschränkt. Das Flussbett besteht aus groben

Sanden und Kiesen. Im Hamburger Hafen selbst ist der Fluss von Hafenanlagen, Spundwänden und Deckwerksböschungen umschlossen. Natürliche Uferbereiche sind eine Seltenheit. In der Fahrrinne ist das Flussbett fein- bis mittelsandig, in den Hafenbecken überwiegen dagegen eher schluffigere Feinsedimente, die in Verbindung mit organischen Bestandteilen den sogenannten Hafenschlick bilden. Von Blankenese bis Glückstadt wird der Strom durch die eingangs erwähnten Inseln – teilweise durch Deckwerk geschützt – in Haupt- und Nebenrinne geteilt. Die Hauptrinne hat ein sandiges Flussbett, die Seitenbereiche sind zum Teil sandig, überwiegend tritt dort jedoch Schlick auf. Von Glückstadt bis Brunsbüttel ist das nördliche Ufer fast vollständig durch Deckwerke geschützt, während Watt und Vorländer für das südliche Ufer typisch sind. In dem Abschnitt zwischen Brunsbüttel und Cuxhaven weitet sich die Elbe erheblich und die tiefe Fahrrinne verläuft überwiegend in Nähe des Südufers. Nördlich der Fahrrinne ziehen sich ausgedehnte Wattflächen am Ufer entlang, die Teil des Nationalparks „Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer“ sind. Seewärts von Cuxhaven ist die seitliche Begrenzung der Außenelbe nur bei Tideniedrigwasser sichtbar. Sie wird durch die Wattflächen von Duhnen, Neuwerk und Scharhörn im Süden geformt. Nördlich der Rinne befand sich vor etwa 40 Jahren eine Kette miteinander verbundener Sände. Seit ungefähr 1990 lässt sich hier jedoch die Erosion des Großen Vogelsands sowie ein Verlust des westlichen Teils von Gelbsand beobachten. Eine klar erkennbare Nordgrenze der Außenelbe existiert daher heute nicht mehr. Das Flussbett, das die flache Litoralzone durchschneidet, besteht hauptsächlich aus Mittel- und Grobsanden. In tieferen Bereichen kommen auch alluviale Mudde vor.

Die durch Vielfalt gekennzeichnete morphologische Struktur des Elbeästuars wird in erheblichem Maße durch die Gezeiten beeinflusst, und sein natürlicher Zustand ist durch einen intensiven Transport von Feststoffen und die damit verbundene permanente Umformung des Flussbettes und der Vorländer geprägt. So gibt es Verzweigungen, Verlagerungen, ständig wechselnde Gewässerbreiten, Auskolkungen und Auflandungen in Form von Wattflächen, Sänden und Inseln sowie Nebenrinnen und Uferabbrüche. Neben den internen Sedimentquellen liefert auch die Nordsee Material in Form von Grobsanden, die in das Elbeästuar eingetragen werden. Feinere Feststoffe werden wiederum vom Oberlauf der Elbe nach unterstrom transportiert. Im Ästuar werden diese Sedimente durchmischt, um sich dann für eine kurze Zeit oder dauerhaft abzusetzen. Die Sedimentation geschieht dabei vorzugsweise in Flachwassergebieten wie Nebenrinnen oder Hafenbecken, wo niedrigere Strömungsgeschwindigkeiten vorherrschen.

3 Wichtige hydrologische Parameter

Die Tidewelle breitet sich von der Mündung des Flusses bis zur Tidegrenze aus, wobei ihre Fortschrittsgeschwindigkeit hauptsächlich von der Wassertiefe abhängt. Im Gegensatz zum tiefen Ozean ist die Wassertiefe im Tidefluss beinahe in der Größenordnung der Tidewellenamplitude, was dazu führt, dass der Fluss bei Tideniedrigwasser in einem signifikant anderen Bett verläuft als bei Tidehochwasser. Dies ist besonders unterhalb von Elbe-Km 715 erkennbar, wo der Querschnitt bei Tidehochwasser 75 % größer ist als bei Tideniedrigwasser (s. Abbildung 3). Als Ergebnis dieser Verhältnisse schreitet der Berg der Tidewelle (Tidehochwasser) schneller fort als das Wellental (Tideniedrigwasser), was zu einer Verformung der Tidekurve mit einer relativ langen Zeit des Tidefalls und einer entsprechend kürzeren Zeit des Tidedestiegs führt.

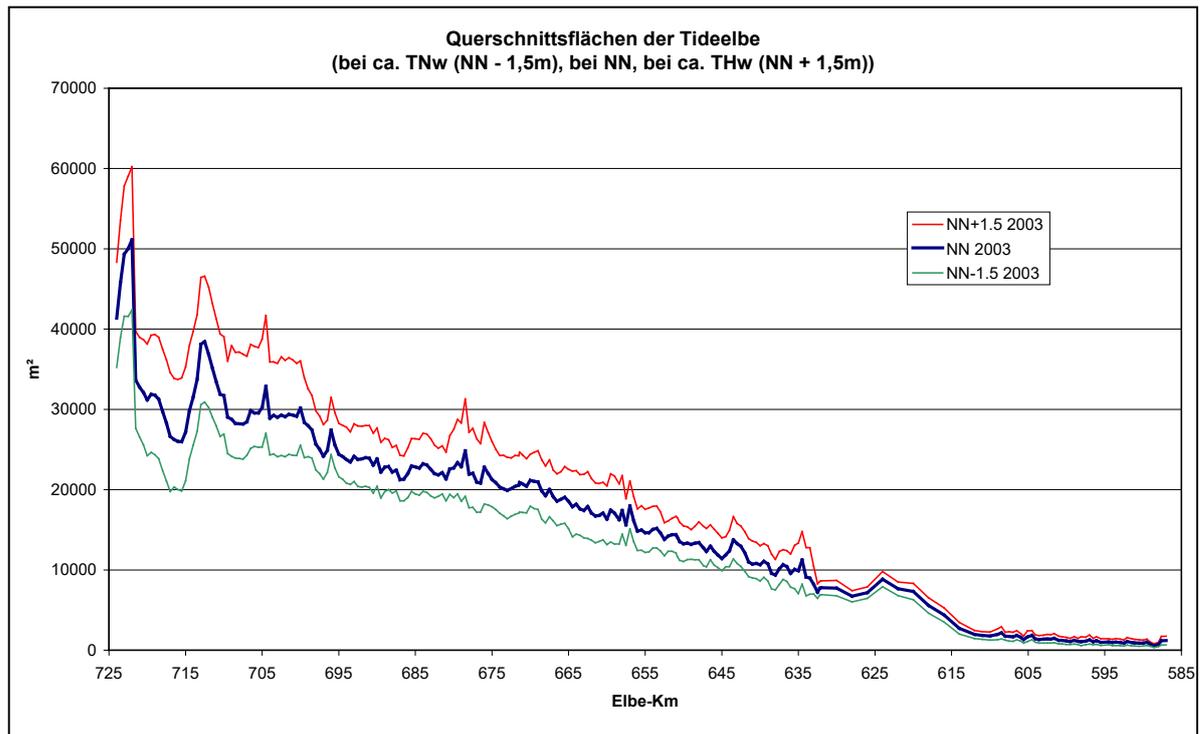


Abbildung 3: Querschnittsflächen im Tidebereich der Elbe.

Der am Pegel Neu Darchau gemessene Abfluss erreicht die Tideelbe über das Wehr Geesthacht (Tidegrenze) mit einer Verzögerung von ein bis zwei Tagen als Oberwasserzufluss.

Tabelle 2: Oberwasserzufluss am Pegel 'Neu Darchau' (DGJ 2014; www.DGJ.de).

Niedrigster beobachteter Zufluss	145 m ³ /s
Mittlerer niedrigster Zufluss	276 m ³ /s
Mittlerer Zufluss	712 m ³ /s
Mittlerer höchster Zufluss	1960 m ³ /s
Höchster beobachteter Zufluss	4080 m ³ /s

Von See kommend steigt das mittlere Tideniedrigwasser (MTnw) bis Glückstadt um ca. 15 cm an, um dann in Richtung Hamburg wieder abzusinken. Dabei ist das MTnw in Hamburg im Laufe der letzten 30 Jahre kontinuierlich gefallen und liegt aktuell 23 cm niedriger als in Cuxhaven. Das MThw zeigt entlang der Tideelbe eine andere Entwicklung: Von See kommend bis Glückstadt nimmt das MThw nur gering zu, bevor es von dort um weitere ca. 60 cm bis nach Hamburg ansteigt (Abbildung 4). Dieser Anstieg ist in den letzten 30 Jahren um ca. 35 cm größer geworden und kann im Wesentlichen den morphologischen Veränderungen des Flussbettes der Elbe und ihrer Seitenräume in diesem Zeitraum zugeschrieben werden.

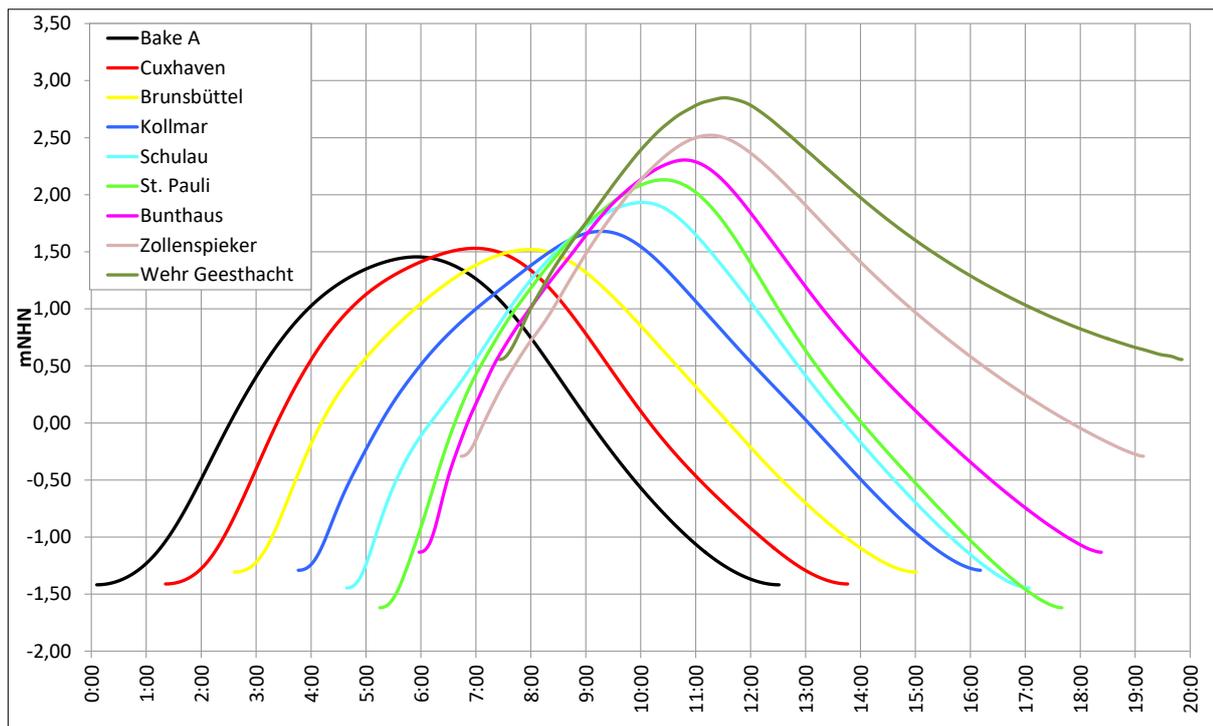


Abbildung 4: Entwicklung der Tidekurven entlang der Elbe (mittlere Tidekurven 2011–2015).

In Abbildung 5 und 6 sind die Tidewellenlinien bei Spring- und Nippzeit dargestellt. Sie geben Auskunft über die in der Tideelbe anzutreffenden Wasserspiegellagen und die Steig- und Fallgeschwindigkeiten des Wasserstandes bei Normaltiden. Liegen die Tidewellenlinien eng beieinander, so sind die Steig- bzw. Fallgeschwindigkeiten klein, liegen sie weit auseinander, so sind diese Geschwindigkeiten groß. Obwohl die Gradienten des Wasserstandes sowohl bei Flut als auch bei Ebbe von See bis Hamburg nahezu gleich groß sind, werden die maximalen Strömungsgeschwindigkeiten im Fahrwasser von Hamburg Richtung See fast kontinuierlich größer. Dabei steigen die Ebbestromgeschwindigkeiten stärker an als die Flutstromgeschwindigkeiten. Deutlich ist auch die durch den abrupten Wandel der Breite und Tiefe der Topographie bei Bunthaus und durch das Wehr in Geesthacht ausgelöste Änderung des Tideregimes zu erkennen: Während unterhalb Hamburgs die Tidewellenlinien bei Flut und bei Ebbe nahezu den gleichen Betrag der Neigung haben, sind die Linien oberhalb Bunthaus bei Flut sehr viel weniger geneigt als bei Ebbe, was durch die starke Verformung der Tidewelle auf diesem Weg ausgelöst wird.

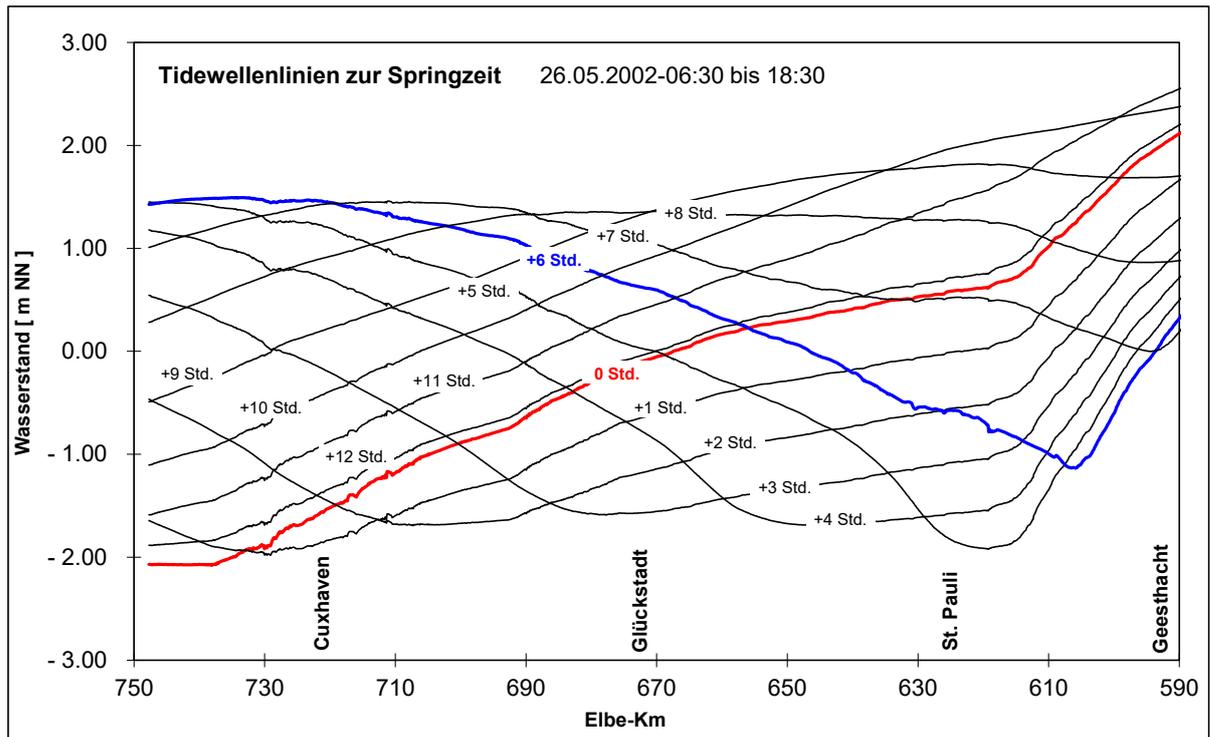


Abbildung 5: Tidewellenlinien zur Springzeit.

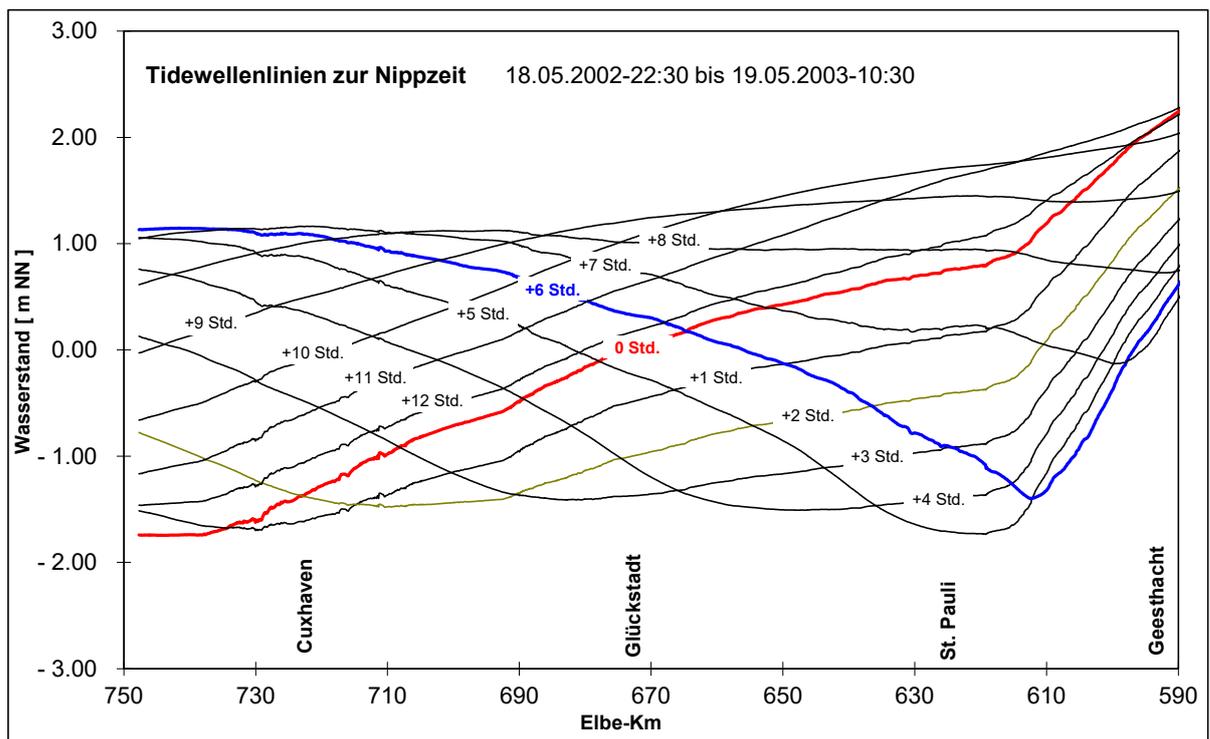


Abbildung 6: Tidewellenlinien zur Nippzeit.

In Abbildung 4 ist auch zu sehen, wie die Tidewelle auf ihrem Weg von der Nordsee stromaufwärts verformt wird. Die ursprünglich nahezu sinusförmige Welle wird durch die unterschiedliche Fortschrittsgeschwindigkeit des Wellenberges und des Wellentales so verformt, dass der Flutast steiler und der Ebbeast flacher wird. Die auf die Strömung wirkende Bodenreibung und der Oberwasserzufluss tragen ebenfalls zu diesem Phänomen

bei. In Tabelle 3 sind die nach stromauf abnehmende Flutdauer und die zunehmende Ebbedauer deutlich zu erkennen.

Tabelle 3: Asymmetrien der Tidedauer (Gewässerkundliche Hauptwerte 2011–2015).

Pegel	Mittlere Flutdauer (Min.)	Mittlere Ebbedauer (Min.)
Helgoland	341	404
Cuxhaven	338	407
Glückstadt	336	409
Schulau	323	422
Blankenese	320	425
St. Pauli	310	435
Zollenspieker	272	473

Der Tideverlauf wird darüber hinaus auch wesentlich von der Größe des Oberwasserzuflusses verändert. Dies zeigt Abbildung 7, in der die Ebbe- und Flutdauern im Elbeästuar bei einem Oberwasserzufluss von 300 m³/s und von 2000 m³/s dargestellt sind. Je größer der Oberwasserzufluss ist, desto länger wird die Ebbedauer und umso kürzer wird die Flutdauer, wobei der Effekt nach unterstrom hin abnimmt. Dass dieses Phänomen sich nicht einfach nur mit der Oberwassermenge erklären lässt, sondern auch mit Resonanz und Reflexion zu tun hat, zeigt sich in einem minimalen Effekt bei Glückstadt: Hier ergibt sich aufgrund der Änderung des Oberwasserzuflusses nahezu keine Änderung der Flut- und Ebbedauern.

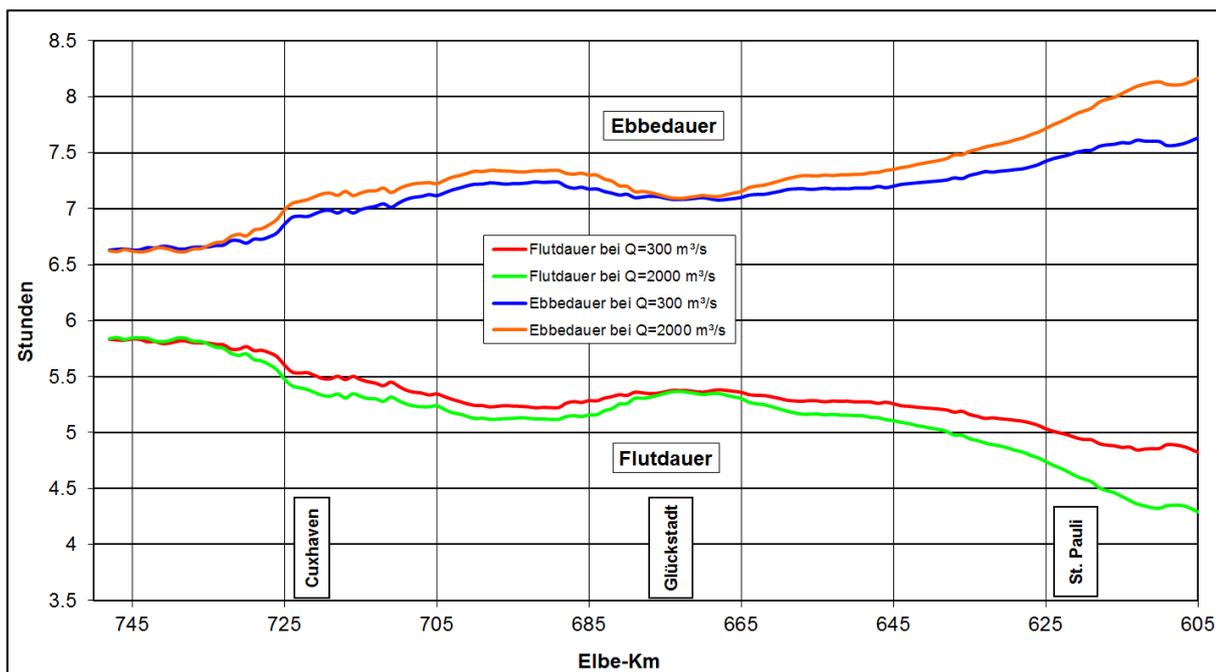


Abbildung 7: Abhängigkeit der Flut- und Ebbedauern vom Oberwasserzufluss.

Die Menge des Oberwasserzuflusses beeinflusst wie in einem Binnenfluss das Mittelwasser in Abhängigkeit von der Flussbreite. Zusätzlich bewirkt eine Zunahme der Oberwassermenge oberhalb von St. Pauli eine Dämpfung des Tidehubs. Diese Dämpfung kann in der Oberen Tideelbe bis zu 2 m betragen, wenn der Zufluss von 300 m³/s auf 2000 m³/s zunimmt.

Der Einfluss des Windes über der Nordsee (Deutsche Bucht) bei Sturm aus Richtungen um Nordwest führt zu beträchtlichen Erhöhungen der Tidehochwasserstände entlang der Elbe, oft auch zu Sturmfluten. Dass Starkwind und Sturm aus Richtung Osten ebenfalls signifikante Änderungen der Wasserstände verursachen, ist für die Küstenbevölkerung weniger relevant, bedeutet aber für die Schifffahrt eine Verschlechterung der Tiefgangsbedingungen. Abbildung 8 zeigt exemplarisch, was ein Starkwind der Stärke 7, der über mehrere Tage aus östlicher Richtung weht, bewirkt: Gegenüber den astronomisch vorausgerechneten Wasserständen sinkt das Tidehochwasser um bis zu 1 m ab, das Tideniedrigwasser ist um ca. 0,5 m niedriger. Diese Wirkung des Windes tritt wie bei einer Sturmflut nahezu ohne Zeitverzögerung ein und lässt ebenso schnell wieder nach.

Abbildung 9 zeigt die Entwicklung der Jahreswerte der mittleren Tidehoch- und -niedrigwasserstände am Pegel Cuxhaven-Steubenhöft und in Hamburg-St. Pauli seit 1880. Während am Pegel Cuxhaven nur ein geringer positiver Trend des Tidehochwassers zu beobachten ist und das Tideniedrigwasser keinen signifikanten Trend zeigt, sieht diese Entwicklung am Pegel St. Pauli deutlich anders aus: In den vergangenen 50 Jahren ist dort das M_{Tnw} um ca. 1 m abgesunken und das M_{Thw} um ca. 0,2 m angestiegen. An dieser Entwicklung haben die in der Vergangenheit vorgenommenen Vertiefungen des Fahrwassers der Elbe einen Anteil, der jedoch von der Art der Vertiefung abhängt. So ist z. B. die Reaktion auf die durchgehende Vertiefung des Fahrwassers auf 13,5 m unter KN (Kartennull) zwischen 1974 und 1978 sowohl beim M_{Thw} als auch im M_{Tnw} deutlich sichtbar, während eine Reaktion der Wasserstände auf die Vertiefung im Jahre 1999 nicht erkennbar ist. Auch der Verlust an Wasservolumen innerhalb des Tideprismas, der sich im Hamburger Hafen mit der Umwandlung von Hafenbecken in Containerflächen einstellte, hat einen in dieselbe Richtung gehenden Einfluss auf den Tidehub. Untersuchungen der Bundesanstalt für Wasserbau, Dienststelle Hamburg (BAW-DH) haben gezeigt, dass die ohne Zutun des Menschen stattfindenden Sedimentumlagerungen im Bereich der Außen- und Unterelbe ähnlich große Effekte beim Wasserstandsgeschehen hervorrufen wie die Vertiefungsmaßnahmen. Als Beispiel können hier die Verlagerung der Medemrinne und die Öffnung des Lücher Loches im Elbmündungstrichter in den letzten 20 Jahren genannt werden.

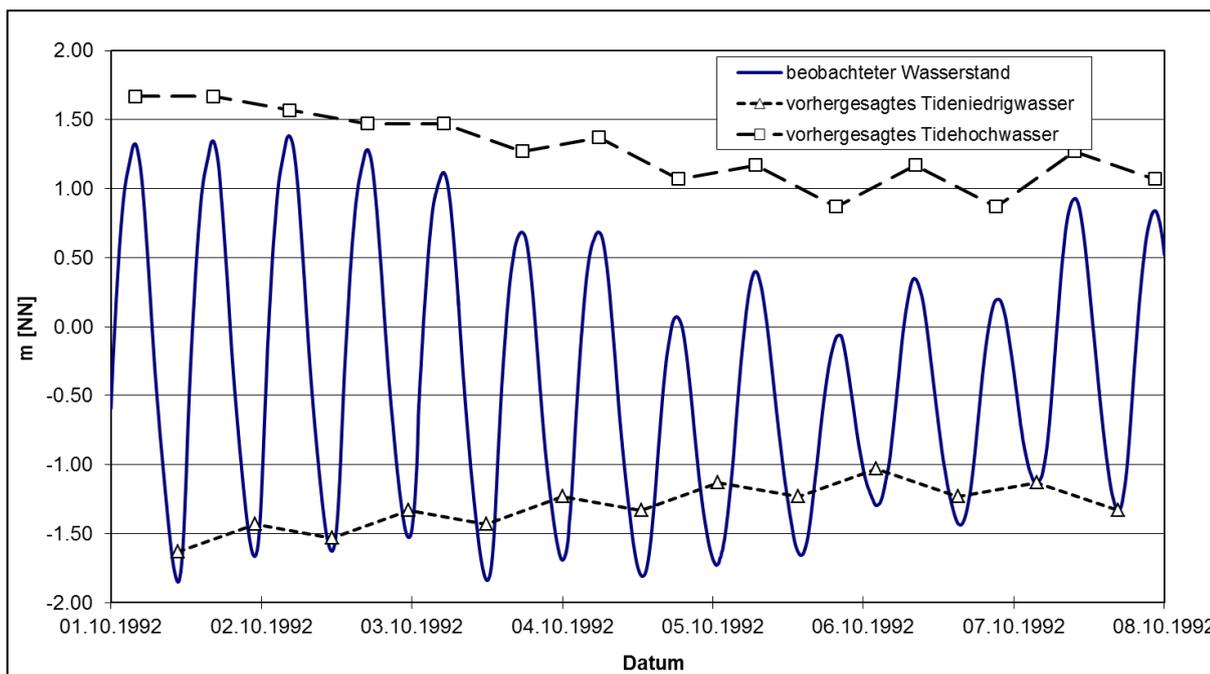


Abbildung 8: Wasserstand in Cuxhaven bei einer ausgeprägten Ostwind-Wetterlage, Vorhersage und Beobachtung.

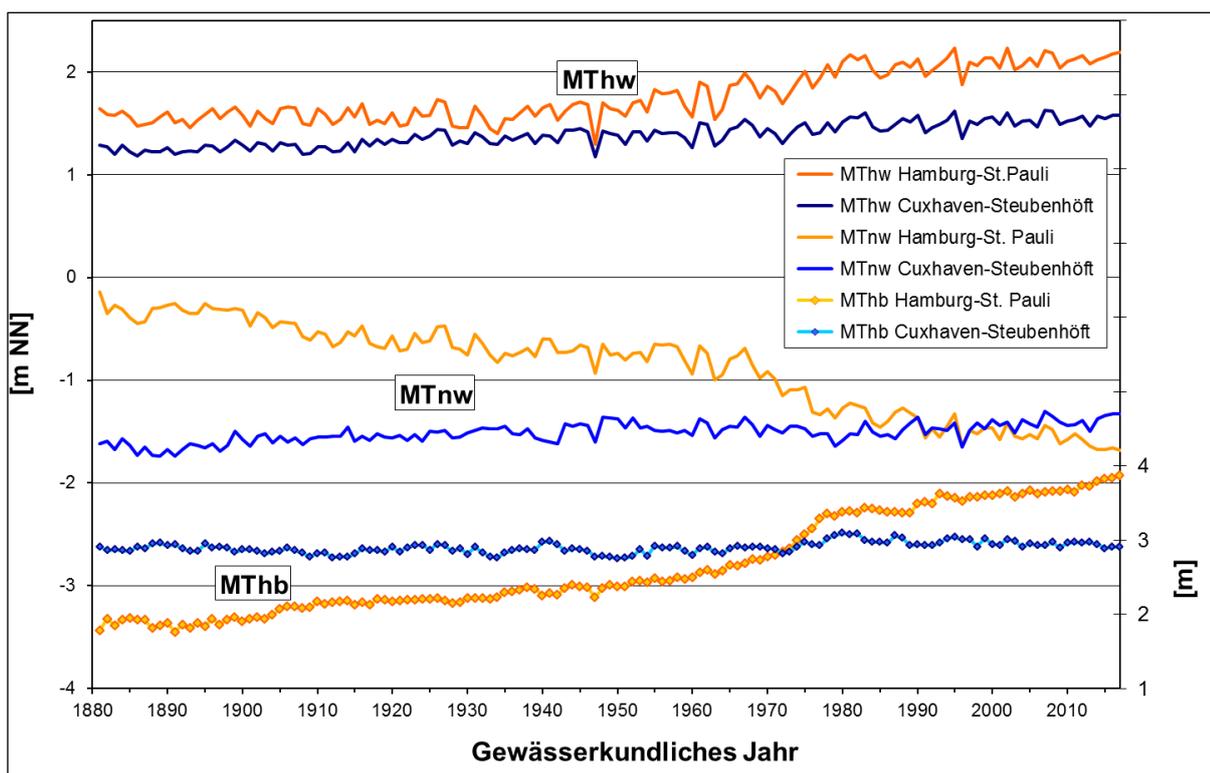


Abbildung 9: Entwicklung des mittleren jährlichen Tidehochwassers, Tideniedrigwassers und Tidehubs an den Pegeln Cuxhaven-Steubenhöft und Hamburg-St. Pauli seit 1880.

Die Salzgehalte in der Tideelbe reichen von nahezu reinem Süßwasser bis zu Salzwasser mit einem Salzgehalt von ca. 32 an der Grenze der Außenelbe zur Deutschen Bucht. Die Lage und Ausdehnung der Brackwasserzone (Bereich, in dem sich Süß- und Salzwasser vermischen) wird maßgeblich von der Menge des Oberwasserzuflusses, vom mittleren Wasserstand der Nordsee und vom Tidehub bestimmt. Bei mittleren Verhältnissen liegt

die obere Brackwassergrenze bei Kenterung des Flutstroms (K_f) bei ca. Elbe-Km 660 und bei Kenterung des Ebbestroms (K_e) etwa bei Elbe-Km 680 (Abbildung 10). Bei über mehrere Tage andauernden geringeren Oberwasserzuflüssen kann die obere Grenze der Brackwasserzone nach Bergemann (1995) bis Elbe-Km 645 vorrücken. Auch meteorologisch bedingte erhöhte Wasserstände in der Deutschen Bucht sorgen für einen gegenüber mittleren Verhältnissen erhöhten Salzgehalt in der Unterelbe.

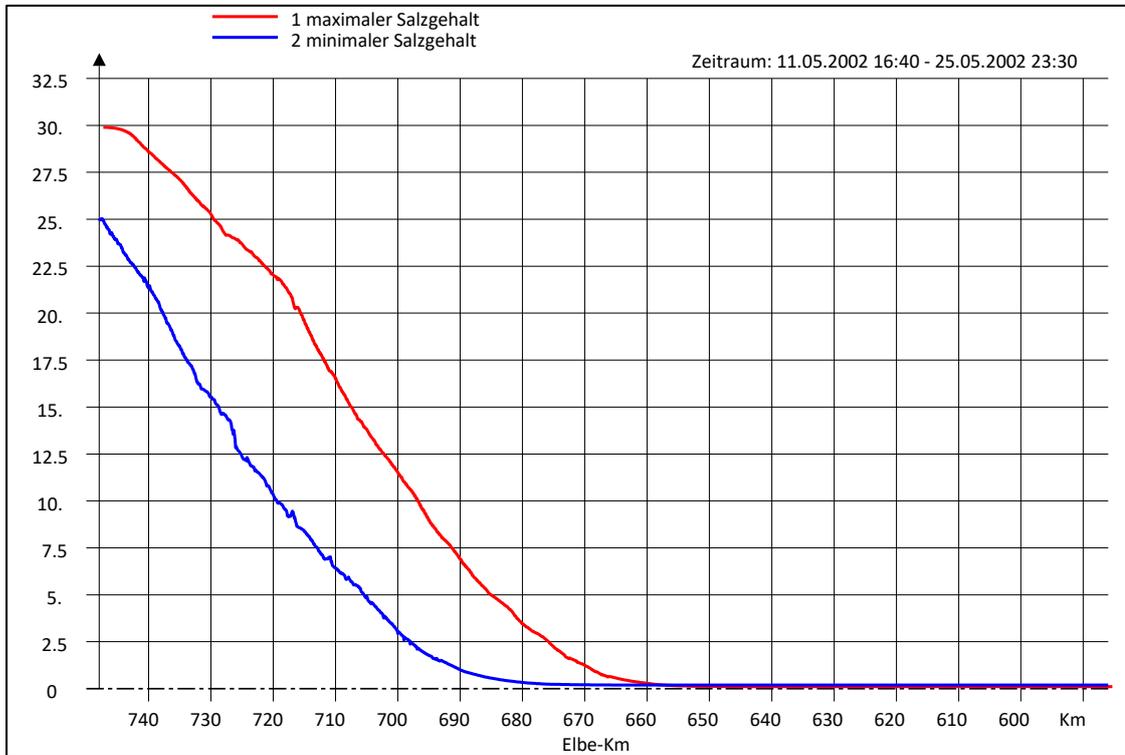


Abbildung 10: Minima und Maxima des Salzgehaltes in der Elbe bei mittleren Tideverhältnissen.

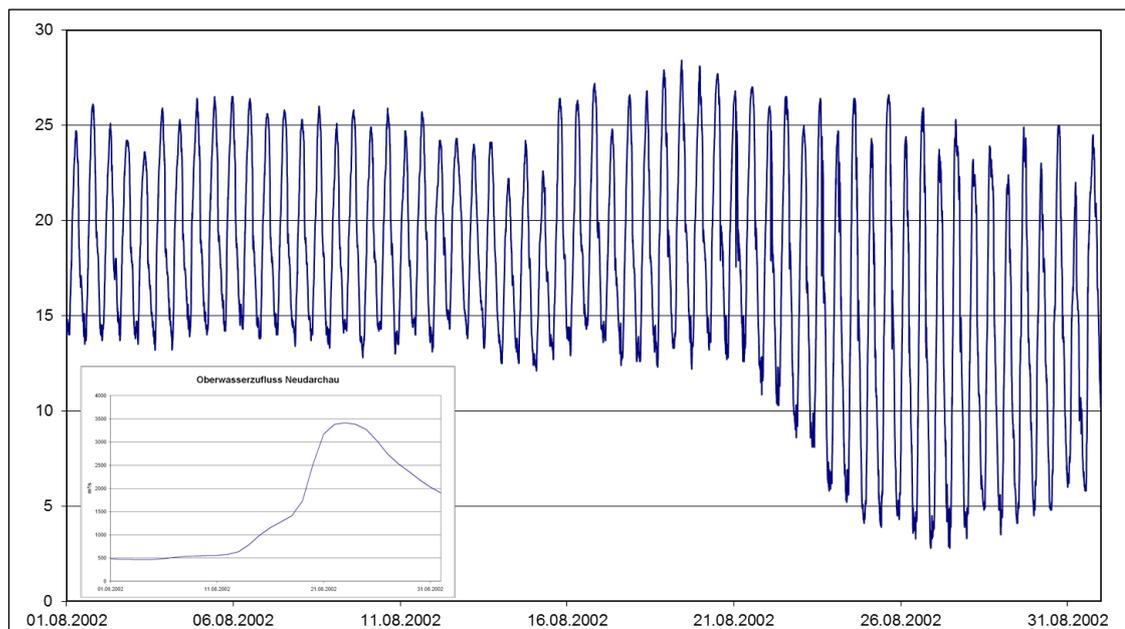


Abbildung 11: Entwicklung des Salzgehaltes an Position LZ4 bei Elbe-Km 731,1 bei einem sehr hohen Oberwasserzufluss.

Die Auswirkungen eines hohen Oberwasserzuflusses werden für die Position LZ4 bei Elbe-Km 731,1 in Abbildung 11 dargestellt. Im August 2002 nahm der Oberwasserzufluss bei Neu Darchau innerhalb weniger Tage von $500 \text{ m}^3/\text{s}$ auf fast $3.500 \text{ m}^3/\text{s}$ zu. Der Salzgehalt, der vorher im Tiderhythmus zwischen ca. 14 und 26 gependelt hatte, bewegte sich nun zwischen 3 und 26. Die Brackwasserzone wird durch so ein Ereignis nicht nur seewärts verschoben, sondern auch in ihrer Längsausdehnung gestaucht, wobei die Amplitude des Salzgehaltes an einem Ort erheblich zunehmen kann.

Während der Wasserstand und der Salzgehalt in einem Ästuar eine gleichmäßige großräumige Verteilung aufweisen, ist die Strömungsgeschwindigkeit ein Parameter, der starken räumlichen und zeitlichen Schwankungen unterworfen ist. Dies geht aus den Abbildung 12 und 13 deutlich hervor: Sie zeigen die maximalen Flut- und Ebbestromgeschwindigkeiten in der Mitte der Fahrrinne der Unter- und Außenelbe für die Jahre 1970 und 2002. Stromauf von Glückstadt in Richtung Hamburg ist eine ausgeprägte Flutstromdominanz erkennbar, eine Situation, die bereits vor etwa 1970 existierte, jedoch nur in reduzierter Form oberhalb von Lühesand und nicht so signifikant wie heute. Infolgedessen kommt es zum „Tidal Pumping“-Effekt, d. h. Feststoffe werden von den unteren Flussabschnitten stromauf transportiert, was zu verstärkten Sedimenteintreibungen in die Fahrrinne und in die Hamburger Hafenbecken führt.

Ein Gesamtbild über auftretende Schwebstoffkonzentrationen und das Verhalten der Trübungszone im Elbeästuar muss aus Einzelmessungen verschiedener Behörden und Institutionen konstruiert werden (Kappenberg 1996; ARGE Elbe 2000). Die Form und Lage der Trübungszone verändert sich demnach in Abhängigkeit vom Oberwasserzufluss. Die maximalen Schwebstoffkonzentrationen erreichen bei hohem Oberwasserzufluss ($Q > 900 \text{ m}^3/\text{s}$) etwa $0,35 \text{ kg}/\text{m}^3$. Dieses Maximum befindet sich bei Elbe-Km 690. Die Trübungszone ist bei dieser Oberwassersituation gedrängter als bei einem geringeren Zufluss von z. B. $500 \text{ m}^3/\text{s}$. Im zweiten Fall liegt die Maximalkonzentration bei ca. $0,6 \text{ kg}/\text{m}^3$ wobei die Trübungszone rund 10 km weiter stromauf bei Elbe-Km 680 liegt (FHH 1997).

Ergebnisse aus dem dreidimensionalen mathematischen Elbe-Modell der BAW-DH bekräftigen diese Aussage (Abbildung 14). Hier werden die querschnittsgemittelten Ergebnisse dargestellt, die für einen konstanten Oberwasserzufluss von $350 \text{ m}^3/\text{s}$ (rote Linien) und einen variablen Oberwasserzufluss von rund $800 \text{ m}^3/\text{s}$ (schwarze Linien) berechnet wurden. Das Modell zeigt sowohl die seewärtige Verlagerung der Trübungszone bei höheren Oberwasserzuflüssen als auch einen flutstrominduzierten Transport (Nettotransport > 0) oberhalb der Trübungszone nach oberstrom, der ebenfalls vom Oberwasserzufluss abhängt.



Abbildung 12: Maximale Ebbestromgeschwindigkeiten in der Elbe (Werte für 1970 und 2002).

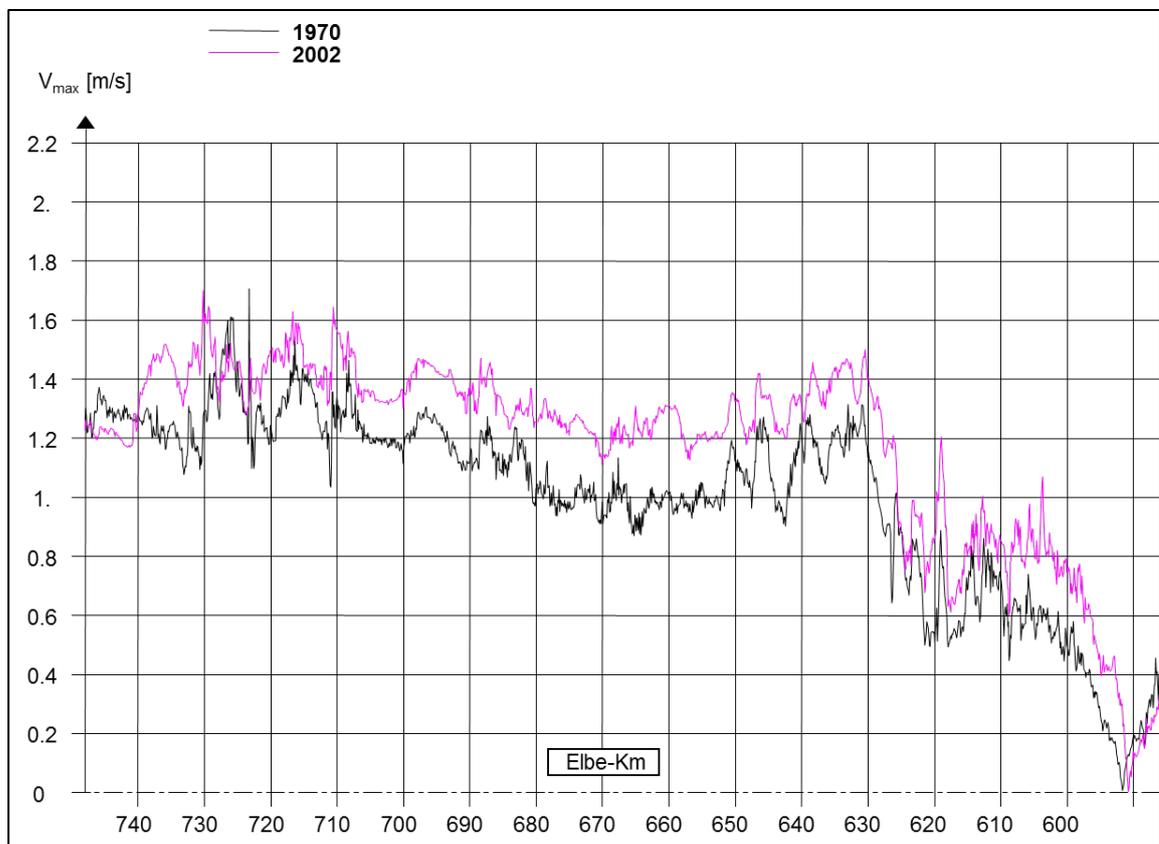


Abbildung 13: Maximale Flutstromgeschwindigkeiten in der Elbe (Werte für 1970 und 2002).

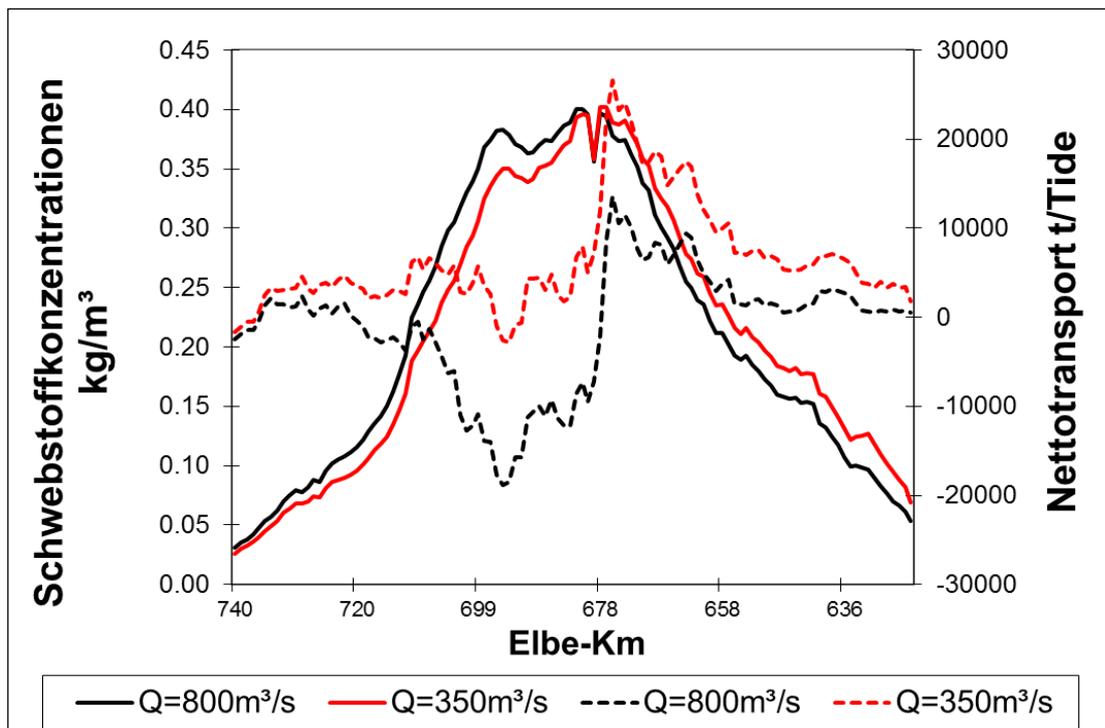


Abbildung 14: Charakteristika des Schwebstofftransports.

Die Schwebstoffkonzentrationen variieren beträchtlich über den Querschnitt und während eines Tidezyklus. Aktuelle Berechnungen dieser Konzentration auf Basis des Backscatter-Signals von ADCP-Messungen (Abbildung 15) vermitteln einen ersten Einblick in diese Dynamik (Maushake und Aardom 2007). Sohlnahe Schwebstoffkonzentrationen in der Größenordnung von $O \gg 1 \text{ kg/m}^3$ kommen nicht nur in der Trübungszone, sondern auch im Hamburger Hafengebiet vor.

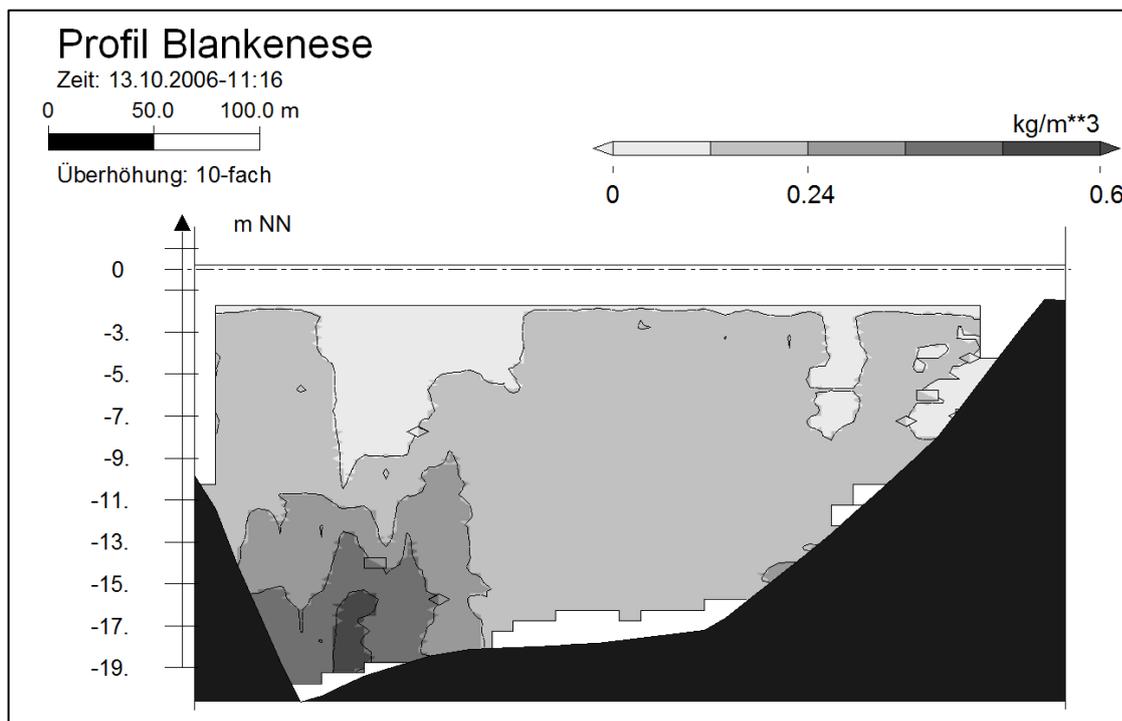


Abbildung 15: Schwebstoffe an einem Querschnitt bei Blankenese.

4 Baumaßnahmen im Elbeästuar

Flussbauliche Maßnahmen bewirkten wesentliche Veränderungen in der Unter- und Außenelbe. Bereits seit dem 15. Jahrhundert hatten die Hamburger Düpe-Herren und später die Düpe-Kommission (eine Kommission zur Überwachung der für die Schifffahrt notwendigen Tiefe im Hafen und der Elbe) die Aufgabe, die Fahrrinntiefe der Unterelbe zu überwachen. Reichte die Tiefe der Fahrrinne in einem Bereich für die damaligen Schiffe nicht aus, gab es nur wenige Möglichkeiten, solche Fehlstellen zu beseitigen.

Zwischen 1840 und 1850 kamen erste Überlegungen auf, eine Verbesserung der Fahrwasserverhältnisse insbesondere im Bereich des Hamburger Stromspaltungsgebiets durch systematische Strombaumaßnahmen herbeizuführen. Anfänglich wurden Bagger im Hafengebiet eingesetzt, wo sie die erforderlichen Wassertiefen sicherten, bis später größere Bau- und Regulierungsarbeiten möglich wurden. Die Hansestadt Hamburg sicherte sich das Recht, die Norderelbe und den Köhlbrand auszubauen. Zusätzlich haben ein Durchstich bei Kaltehofe und der Bau des Bunthäuser Leitdamms für eine größere Durchströmung der Norderelbe gesorgt. Weitere Maßnahmen zur Regulierung der Elbe von der Seevemündung bis Brunshausen schufen die Grundlagen für den Verlauf der heutigen Elbe.

Durch den Bau eines 7,5 km langen Leitdamms zwischen Schweinsand und Hanskalbsand wurde die natürliche quergerichtete Sanddrift in die Fahrrinne hinein verhindert. Die grundlegende Form der Inselgruppe wurde bereits 1911 geschaffen, als auf der Südseite des Leitdamms die Verklappung von Sand auf Tidemittelwasserniveau erfolgte. Im Zuge späterer Fahrrinnenausbauten erfolgte die Aufhöhung der Insel zu ihrer heutigen Höhe. Auf der westlichen Seite von Schweinsand entstand bis 1968 die neue Insel Neßsand. Während des Ausbaus der Fahrrinne im Jahr 1969 wurden die Inseln Hanskalbsand, Neßsand und Schweinsand miteinander verbunden. Heute bilden sie eine einzige zusammenhängende Insel zwischen der Hauptelbe und der Hahnöfer Nebenelbe.

Auch mit dem Bau eines Leitdamms bei Pagensand in den Jahren 1922–1930 sollte die unkontrollierte Verlagerung der Fahrrinne verhindert werden, in diesem Fall eine weitere Verlagerung des Malsandes „Hungriger Wolf“. Von 1928 bis 1936 folgte dann der Leitdamm nördlich von Pagensand in Verbindung mit mehrmaligen Abbaggerungen des Schwarztonnensandes. Zwischen 1971 und 1977 wurden große Teile der Insel Schwarztonnensand durch Aufspülung erhöht und lagen damit schließlich über MThw. Die Inseln Lühesand und Rhinplatte, jetzt mit einer vom Menschen vorgegebenen Form, dienen als Leit-Inseln der Steuerung und Konzentration der Strömungen. Die Querschnitte des Flusses sollen dadurch jeweils so groß sein, dass die Räumkraft der Strömung für Haupt- und Nebenrinnen ausreicht.

Zum Schutze der Flussufer und zur Stabilisierung des Fahrrinnenverlaufs wurden außerdem umfangreiche Buhnensysteme gebaut. Einige der Buhnen sind so groß und mit einer besonders flachen Neigung gebaut, dass sie die Entwicklung beruhigter Vorland- und Uferbereiche begünstigen, wodurch der Röhrichtbewuchs begünstigt wird. Dadurch können Habitate entstehen, wie sie in früheren Zeiten möglicherweise existiert haben.

Der Buhnenbau entlang des Osteriffs, die Abbaggerungen der Ostebank und der Bau des Leitdamms Hermannshof in der Nähe des Neufelder Watts wurden von 1922 bis 1937 durchgeführt. Auch diese Maßnahmen dienten der Herstellung und Aufrechterhaltung

ausreichender Wassertiefen sowie der Stabilisierung des Fahrwassers. Sie sollten außerdem die Baggermengen an der Baggerstelle Ostebank reduzieren,

Im hochdynamischen Mündungsgebiet hatte sich ein 3-Rinnensystem entwickelt, das durch den Bau des Leitdamms „Kugelbake“ auf zwei Rinnen reduziert wurde und die Lage der Rinnen stabilisierte. Die Arbeiten am Leitdamm fanden in mehreren Bauphasen in der Zeit von 1939 bis 1962 statt. Zu Beginn war der Leitdamm auf 9 km Länge ausgeführt; von 1975 bis 1977 wurde er dann auf ca. 10 km verlängert.

Zu den jüngsten Strombaumaßnahmen zählen die Unterwasser-Baggergutablagerungsflächen bei Krautsand und Twielenfleth, die im Zuge der vorherigen Fahrrinnenanpassung im Jahr 1999 angelegt wurden. Sie sollten die lokale Baggergutmenge reduzieren, indem die höheren Strömungsgeschwindigkeiten die Sedimente in diesen Gebieten in ständiger Bewegung halten.

Erst nach 1834 standen wirkungsvolle Gerätschaften (beispielsweise Dampfbagger) für Veränderungen der Fahrrinne in größerem Maßstab zur Verfügung. In der Folge konnte bis 1868, vornehmlich durch die Beseitigung von einzelnen Sänden und Rippeln, eine schiffbare Wassertiefe in der Unterelbe von 5,30 m hergestellt werden. Danach erfolgten, ausgelöst durch die rasante Entwicklung des Seeverkehrs und der Schiffsgößen, die folgenden Ausbauten:

- 10,0 m Ausbau von 1936 bis 1950
- 11,0 m Ausbau von 1957 bis 1962
- 12,0 m Ausbau von 1964 bis 1969
- 13,5 m Ausbau von 1974 bis 1978
- 14,5 m Ausbau von 1999 bis 2000

Die angegebenen Tiefen beziehen sich auf das jeweilige Kartennull, welches dem mittleren Springtideniedrigwasser entsprach. In Abbildung 16 ist die Entwicklung der Wassertiefen in der Fahrrinne der Elbe von 1970 bis 2002 dargestellt, wobei das jeweils vorhandene Längsprofil in der Fahrrinne sehr viel komplexer war als die in der Aufzählung oben angegebene Mindesttiefe (Abbildung 16). Die durchgeführten Ausbauten beinhalteten neben einer Vertiefung auch eine Verbreiterung der vorhandenen Fahrrinne, so dass die Tidedynamik erheblich verändert wurde.

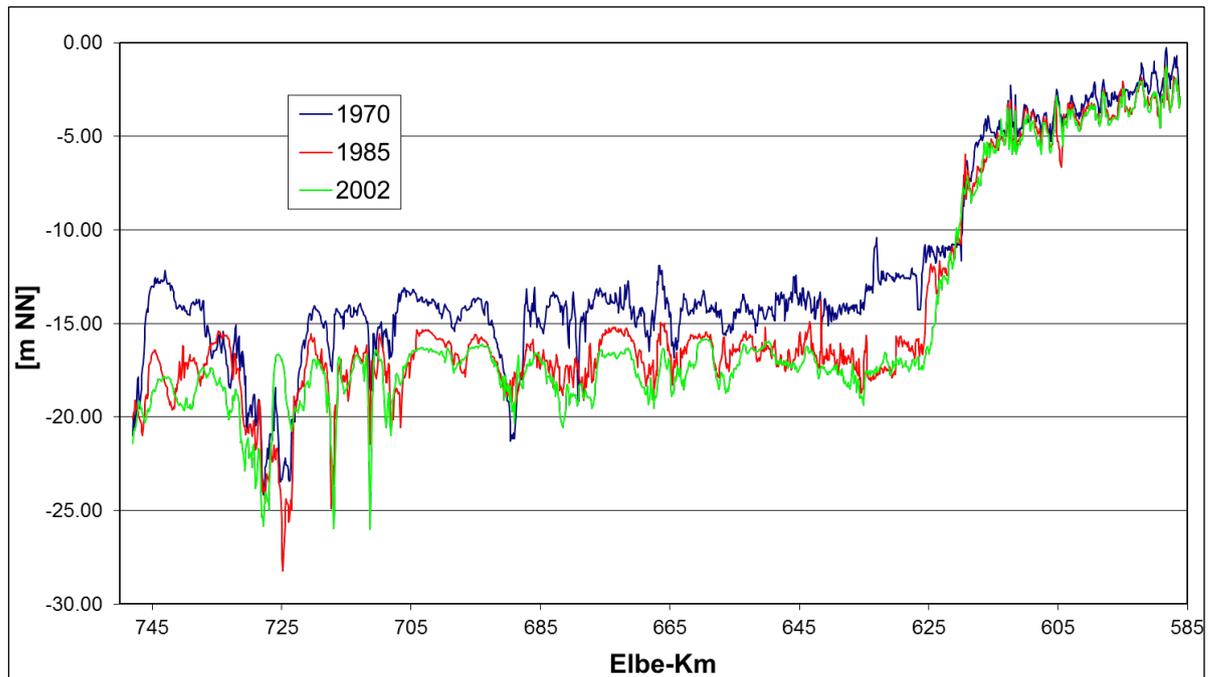


Abbildung 16: Entwicklung der Wassertiefen in der Fahrrinne der Elbe seit 1970.

Auch die Veränderung der Wasserflächen hatte großen Einfluss auf die Tidedynamik. Bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts befand sich der Hamburger Hafen am Nordufer der Elbe. Ab ca. 1880 wurde dann mit dem Bau von Hafenbecken auf der Südseite der Elbe begonnen, so dass bis ca. 1970 die der Tide ausgesetzte Wasserfläche um fast 1000 ha vergrößert wurde. In der Zeit von 1970 bis 2015 wurden im Rahmen der städtebaulichen Entwicklung Hamburgs und verschiedener Hafenumstrukturierungsmaßnahmen ca. 200 ha dieser Wasserflächen wieder zu Land umgewandelt. Weitere rd. 170 ha ökologisch wertvolle Wasserflächen wurden 2001–2003 im Mühlenberger Loch vor den Toren Hamburgs für die Werkserweiterung der EADS (heute Airbus SE) aufgefüllt.

Etwa seit dem 13. Jahrhundert bestehen durchgängige Deichlinien an beiden Ufern der Tideelbe. Die Entwässerung des Hinterlandes führte zu Setzungen. Durch das Vorhandensein der Deiche erreichen die Ablagerungsprozesse während Sturmfluten jedoch nicht das Hinterland, dessen Höhe daher nicht mit der Höhe des Deichvorlandes mitwächst. So liegen heute große eingedeichte Flächen unter dem Niveau des mittleren Meeresspiegels.

Als Folge der schweren Sturmfluten von 1962 und 1976 wurden die Deichlinien an der Tideelbe neu gestaltet und deutlich verkürzt. Durch die neuen Deiche wurden der Tide und den Sturmfluten große Überschwemmungsflächen entzogen. Von 1900 bis heute sind die Vorlandflächen von Schleswig-Holstein und Niedersachsen um 50 % bzw. 74 % verkleinert worden.

Die seit 1968 an den Mündungen der Nebenflüsse der Elbe gebauten Sturmflutsperrwerke sowie die Abdämmungen entlang der Unterelbe haben nur eine geringe Auswirkung auf die Tidedynamik bei mittleren Verhältnissen. Ihr Einfluss auf die Sturmfluthöhen im Elbeästuar ist jedoch erheblich. So wurden in Niedersachsen 10.600 ha der vormals 13.900 ha großen Vorlandfläche und in Schleswig-Holstein von 19.700 ha Vordeichsfläche 14.800 ha eingedeicht. Dies entspricht drei Viertel des vorher existierenden Deichvorlandes (Abbildung 17).

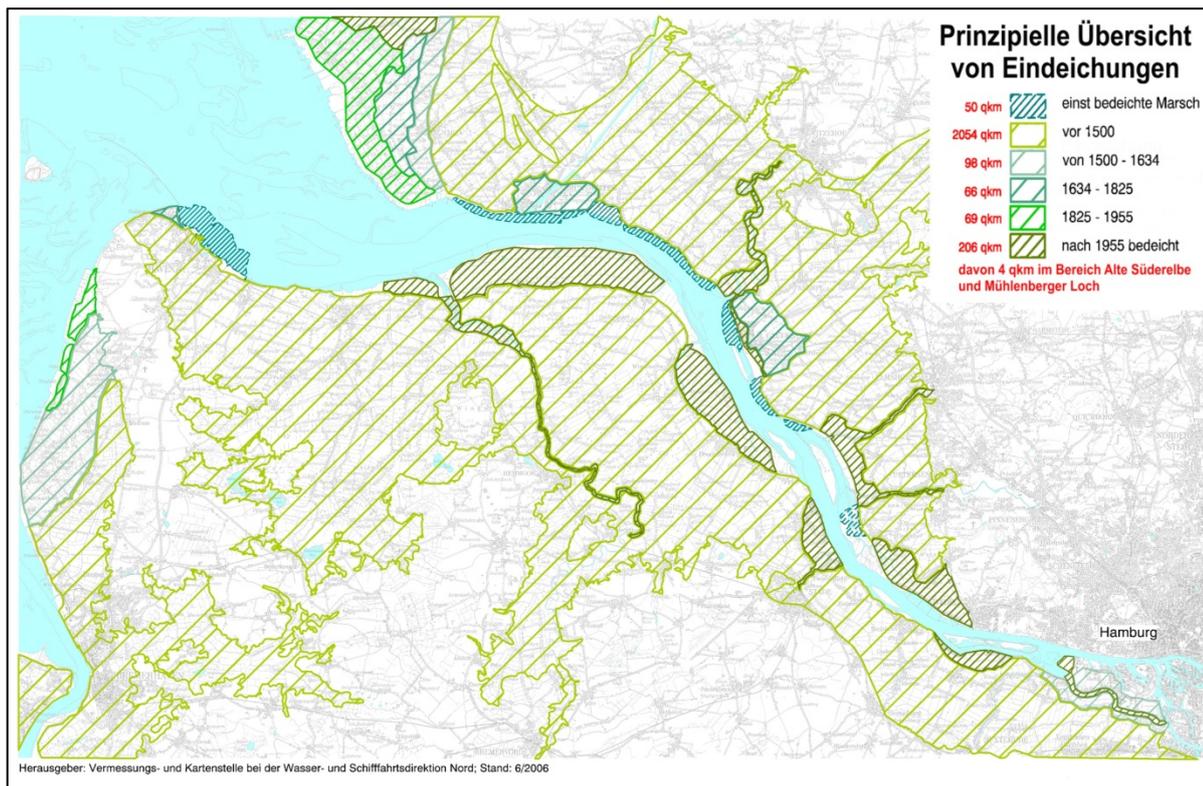


Abbildung 17: Verlust von Überschwemmungsflächen.

Inzwischen hat man erkannt, wie wichtig Flutraum entlang der Tideelbe für den Abbau der Tideenergie und die Reduzierung des Stromauftransports von Sedimenten ist. Die Hamburg Port Authority hat daher gemeinsam mit der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) ein auf drei Eckpfeilern basierendes Leitbild für die Tideelbe entwickelt:

1. Umsetzung eines ganzheitlichen Sedimentmanagements,
2. Dämpfung der einschwingenden Tideenergie durch strombauliche Maßnahmen im Bereich der Elbmündung und
3. Schaffung von Tidevolumen zwischen Glückstadt und Geesthacht zur Dämpfung der Tide im Hamburger Raum.

Letzteres umfasst die (Wieder-) Anbindung von Nebenarmen, Seitenflüssen und anderen Wasserflächen, die Räumung von starker Sedimentation betroffener Bereiche sowie die Herstellung tidebeeinflusster Flachwasserbereiche in derzeit eingedeichten Gebieten. Im Rahmen eines breit angelegten Dialogs mit den Ländern Niedersachsen und Schleswig-Holstein und unter Beteiligung der relevanten Stakeholder werden verschiedene Szenarien durch das Forum Tideelbe auf ihre Eignung als Flutraum geprüft (www.forum-tideelbe.de). Trotz des begrenzten Raums wurden auch in Hamburg mehrere Bereiche identifiziert, in denen Szenarien zur Schaffung von Flutraum vorstellbar sind. Neben der Entschlickung der von starker Sedimentation betroffenen Hafenbecken, wie etwa dem Sprehafen, betrifft dies verschiedene Szenarien im Raum der Norderelbe/Dooveelbe.

Als erstes Pilotprojekt entsteht gegenwärtig im Bereich des bereits rückgedeichten ehemaligen Spülfelds Spadenlander Busch/Kreetsand auf einer Fläche von rd. 30 ha ein tidebeeinflusster Flachwasserbereich mit rd. 1 Mio. m³ zusätzlichem Tidevolumen.

Synergieeffekte entstehen bei diesem Pilotprojekt nicht nur mit dem Naturschutz, sondern auch mit der Naherholung und der Umweltbildung.

5 Wassertiefenunterhaltung

Zur Gewährleistung der Leichtigkeit und Sicherheit des Schiffsverkehrs auf der Elbe und im Hamburger Hafen müssen das ganze Jahr hindurch Unterhaltungsbaggerungen durch Hopper-Saugbagger, Löffelbagger und Wasserinjektionsgeräte vorgenommen werden. Aus wirtschaftlichen Gründen wird dabei eine Minimierung der Baggergutmengen angestrebt. Darüber hinaus ist auch aufgrund der Auswirkungen auf das Benthos, auf die Eigenschaften des Flussbettes (Korngröße und Beschaffenheit) sowie auf die Schwebstoff- und Sauerstoffkonzentration ein umweltschonender Baggerbetrieb erforderlich.

Mit dem Baggergut wird je nach Zielsetzung und Sedimentqualität in unterschiedlicher Weise umgegangen: Entweder wird das Material aus dem Gewässer entnommen oder an eine andere Stelle im Ästuar bzw. in der Nordsee umgelagert. Die Umlagerung innerhalb des Ästuars erfolgt durch Verklappung an Stellen mit ausreichender Tiefe, an denen dies zu keinen Störungen führt. Allerdings hat dieses Verfahren bestimmte Grenzen hinsichtlich der Kontamination der Sedimente. Schadstoffhaltiges Material wird dem Gewässer entnommen und an Land behandelt. Je nach Grad der Kontamination kann das Material entweder für Baumaßnahmen eingesetzt werden oder muss auf einer Deponie entsorgt werden.

Um die erforderlichen Wassertiefen im Hamburger Hafen aufrechtzuerhalten, müssen je nach Oberwasserzufluss jährlich rd. 3–9 Millionen m³ Sedimente gebaggert werden, von denen rund 0,5–1,0 Millionen m³ an Land verbracht werden. Mit Ausnahme eines kleineren Anteils, der im Wesentlichen für Bauzwecke verwertet wird, wird dieses Baggergut auf Deponien entsorgt. Von November bis März wird die größere Menge bei der Insel Neßsand an der Landesgrenze umgelagert. Die verantwortlichen Behörden der Stadt Hamburg haben eine gemeinsame Handlungsanweisung vereinbart, insbesondere um die ökologischen Auswirkungen der Umlagerung zu minimieren. Diese beinhalten zeitliche, räumliche und technische Schutzmaßnahmen. Ein weiterer Anteil der zu baggernden Sedimente wird seit dem Jahr 2005 in das Schlickfallgebiet der deutschen Bucht bei Tonne E3 verbracht. Dadurch wird ein Beitrag zur Entlastung des inneren Ästuars geleistet und ein Teil der überschüssigen Sedimente ausgetragen. Die erforderlichen Austragsmengen liegen derzeit bei jährlich rd. 1–3 Millionen m³.

Auch im übrigen Ästuar bis hinaus in die Mündung sind in regelmäßigen Abständen Unterhaltungsarbeiten erforderlich. So muss die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) bis zu 12 Millionen m³/a Baggergut umlagern. Im Einmündungsbereich des Nord-Ostsee-Kanals gibt das regionale Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt (WSA) Brunsbüttel jedes Jahr Baggerarbeiten in Auftrag, die ein Volumen von ca. 7 Millionen m³ beinhalten. In den Nebenrinnen der Elbe und ihrer Nebenflüsse müssen rund 0,6 Millionen m³/a Baggergut umgelagert werden, um die schiffbaren Tiefen aufrechtzuerhalten.

Um einheitliche Maßstäbe und Kriterien für den Umgang mit Baggergut im Gewässer zu schaffen sowie negative Auswirkungen auf die Umwelt und legitime menschliche Nutzungen weitestgehend zu minimieren, bestehen Regelungen für den Binnen- (HABAB-WSV 2017) und Küstenbereich (GÜBAK 2009). Diese sind darauf ausgelegt,

die Anforderungen des europäischen und nationalen Gewässer-, Meeres- und Naturschutzes zu erfüllen und wirtschaftliche Belange wie Hafen- und Verkehrswirtschaft, Tourismuswirtschaft und Fischerei zu berücksichtigen.

Seit der Veröffentlichung des Strombau- und Sedimentmanagementkonzepts für die Tideelbe (2008), in dem erstmalig eine einheitliche Sichtweise bzgl. der Unterhaltung an der Tideelbe zwischen HPA und WSV vereinbart wurde, beinhaltet das gemeinsame Sedimentmanagement Bestrebungen zur Verbesserung der Sedimentqualität und zur Reduzierung der Baggermengen. Das Konzept wird durch begleitende Aktivitäten und die Berücksichtigung neuer Erkenntnisse kontinuierlich weiterentwickelt und durch die ministerielle Unterstützung der Küstenländer Schleswig-Holsteins, Niedersachsens und Hamburgs gefördert.

6 Laufende Überwachung und Analyse

Die ersten regelmäßigen Tidebeobachtungen im deutschen Küstengebiet fanden auf Anordnung der „Hamburgischen Schiffahrts- und Hafendeputation“ ab 1841 statt. Zu diesem Zweck wurden Messstationen in Hamburg-St. Pauli und in Cuxhaven errichtet. Seither sind die Hochwasser- und Niedrigwasserscheitelwerte lückenlos erfasst worden (Stehr 1964). Heute werden die Wasserstände an 29 Pegeln in der Tideelbe zwischen Geesthacht und der Bake A in der Außenelbe erfasst. Die Strömungsgeschwindigkeiten werden seit 1997/98 an 13 Messstationen gemessen (teilweise in zwei unterschiedlichen Wassertiefen); einige dieser Messgeräte sind mit einem zusätzlichen Sensor für die Messung der Trübung ausgestattet. An fünf ausgewählten Flussprofilen erfolgen Einzelmessungen über die Querschnitte. Die Leitfähigkeit und Temperatur werden seit 1987 an einigen Positionen der Elbe laufend gemessen.

Im Zuge der Fahrrinnenvertiefung auf 13,5 m wurde die Bund-Länder-Arbeitsgruppe „Beweissicherung“ eingerichtet, die in einem zweiteiligen technischen Abschlussbericht Daten zu den Änderungen von Wasserständen, Strömungsgeschwindigkeiten, Salzgehalten und Uferentwicklungen vorgelegt hat. Im Unterschied dazu wurde in den Planfeststellungsbeschlüssen für die Vertiefung auf 14,5 m ein deutlich umfassenderes Monitoring-Programm vorgeschrieben, dessen Schwerpunkt auch auf den biotischen Parametern liegt. Die Berichte und Daten können auf www.portal-tideeelbe.de heruntergeladen werden. Unabhängig von Monitoringauflagen gehört die ständige Beobachtung der Tideelbe zu den zentralen Aufgaben der gewässerkundlichen Abteilungen der zuständigen Verwaltungen des Bundes und Hamburgs.

7 Danksagung

Die Autoren danken Herrn Dr. Holger Weilbeer (BAW) für seinen Beitrag zum Thema Schwebstoffe in der Elbe.

8 Literaturverzeichnis

ARGE Elbe: Stoffkonzentrationen mittels Hubschrauber entnommener Elbewasserproben (1979–1989). Bericht. Arbeitsgemeinschaft für die Reinhaltung der Elbe, <http://www.arge-elbe.de/wge/Download/Berichte/00Hubschr.pdf>, 2000.

Bergemann, M.: Die Lage der oberen Brackwassergrenze im Elbästuar – Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen 39, 4/5, 134–237, 1995.

DGJ, Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch im Internet, DGJ-Pegeldaten und Gewässerkundliche Jahrbücher des Bundes und der Länder, Elbegebiet, Teil III. dgj-daten.bafg.de/Elbe/Neu_Darchau/5930010_WQ.pdf, 2014.

FFH – Freie und Hansestadt Hamburg, Wirtschaftsbehörde, Strom- und Hafenbau: Umlagerung von Baggergut aus dem Hamburger Hafen in der Tideelbe, 1997.

GÜBAK – Gemeinsame Übergangsbestimmungen zum Umgang mit Baggergut im Küstenbereich. https://www.bafg.de/Baggergut/DE/04_Richtlinien/guebag.pdf, 2009.

HABAB-WSV - Handlungsanweisung für den Umgang mit Baggergut aus Bundeswasserstraßen im Binnenland. https://izw.baw.de/publikationen/umwelt-handbuch/0/20180403_HABAB_WSV%202017.pdf, 2017.

IKSE – Int. Komm. zum Schutz der Elbe: Die Elbe und ihr Einzugsgebiet. Ein geographisch-hydrologischer und wasserwirtschaftlicher Überblick, 2005.

Kappenberg, J.; Schymura, G.; Kuhn, H.; Fanger, H.-U.: Spring-neap Variations of Suspended Sediment Concentration and Transport in the Turbidity Maximum of the Elbe Estuary. In: Arch. Hydrobiolog. Spec. Issues Advanc. Limnol. 47, 323–332, Stuttgart, 1996.

Maushake, C.; Aardom, J.: Suspended Sediment Measurements on the River Elbe Using ADCP, Underwater Acoustic Measurements 07 UAM07 proceedings, Heraklion, Greece, 2007.

Stehr, E.: Die Wasserwirtschaft, 54, 8, 1964.