

## Ergebnisse der Beweissicherung



**Kolloquium  
am 21. September 2004  
in der TUHH**

Organisiert von:



Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes  
Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg  
Moorweidenstraße 14 - 20148 Hamburg

Mit Beiträgen von:



**WSA  
Hamburg**



**Strom- und Hafengebäude  
Hamburg**



**Bundesanstalt  
für Gewässerkunde  
Koblenz**

## Impressum

### **Tagungsband zum Beweissicherungs-Kolloquium am 21.09.2004**

© Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg, Hamburg 2004

Verantwortlich für den Inhalt: Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg

Für weitergehende Informationen stehen zur Verfügung:

Für den Träger des Vorhabens bezogen auf die WSV-Strecke:

Herr Marušić, WSA Hamburg, Tel: 040/44110-304, E-Mail: NMarusic@hh.wsd-nord.de,

Herr Neumann, WSA Hamburg, Tel: 040/44110-420, E-Mail: LNeumann@hh.wsd-nord.de

Für den Träger des Vorhabens bezogen auf die Delegationsstrecke im Hamburger Staatsgebiet:

Herr Strotmann, Strom- und Hafengebäude Hamburg, Tel: 040/42847-2463,

E-Mail: Thomas.Strotmann@ht.hamburg.de

An der Erstellung des Tagungsbandes haben mitgewirkt:

WSA Hamburg:

Frau Gösch, Frau Kaiser, Herr Leuzinger, Herr Lüdemann, Herr Marušić, Herr Neumann, Frau Schlie,  
Frau Schottstedt

Strom- und Hafengebäude:

Herr Strotmann

Bundesanstalt für Gewässerkunde:

Herr Liebenstein, Herr Uwe Schröder

Projektgruppe Voruntersuchung Fahrrinnenanpassung:

Herr Osterwald, Herr Ferk

**Ergebnisse der Beweissicherung  
Maßnahme  
"Anpassung der Unter- und Außenelbe an die Containerschiffahrt 1999/2000"**

Ort: Technische Universität Hamburg-Harburg, Audimax II  
Termin: 21. September 2004  
Zeitraumen: 10:00 Uhr - 16:00 Uhr

**Programm**

- 10:00 **Begrüßung**  
*Herr BOR Wittmüß, Leiter des WSA Hamburg*
- Organisatorisches**  
*Herr BR z.A. Dipl.-Ing. Marušić, WSA Hamburg*
- Rückblick auf die letzte Fahrrinnenanpassung**  
- Planung, Bauausführung  
- Folgemaßnahmen - Kompensation  
*Herr BR z.A. Dipl.-Ing Marušić, WSA Hamburg*
- Übersicht über die Beweissicherungsmaßnahmen**  
*Herr Dipl.-Ozeanogr. Neumann, WSA Hamburg*
- 11:45 **MITTAGSPAUSE**
- 12:15 **Fachthema: Topographie**  
*Herr Dipl.-Ing. Leuzinger, WSA Hamburg*
- Fachthema: Wasserstandsentwicklung**  
*Herr Dipl.-Ing. Strotmann, Strom- und Hafenausbau*
- Fachthema: Weitere hydrologische Parameter**  
*Herr Dipl.-Ozeanogr. Neumann, WSA Hamburg*
- 14:00 **KAFFEPAUSE**
- 14:30 **Fachthema: Terrestrische Flora I**  
*Herr Dipl.- Ing. Liebenstein, Bundesanstalt für Gewässerkunde*
- Fachthema: Terrestrische Flora II**  
*Herr Dipl.-Geogr. Schröder, Bundesanstalt für Gewässerkunde*
- 15:30 **Ausblick auf die weitere Beweissicherung**  
*Herr Dipl.-Ozeanogr. Neumann, WSA Hamburg*
- Sachstand Weiterer Fahrrinnenausbau  
*Herr BDir Dipl.-Ing. Osterwald, WSD Nord*
- Verabschiedung**  
*Herr BOR Wittmüß, Leiter des WSA Hamburg*

## Inhaltsverzeichnis

<b>Begrüßung</b> .....	<b>4</b>
Leiter des WSA Hamburg BOR Detlef Wittmüß	
<b>Rückblick auf die letzte Fahrrinnenanpassung</b> .....	<b>5</b>
BR z. A. Dipl.-Ing. Nikša Marušić	
<b>Übersicht über die Beweissicherungsmaßnahmen</b> .....	<b>14</b>
Dipl.-Ozeanograph Lothar J.R. Neumann	
<b>Fachthema: Topographie</b> .....	<b>16</b>
Dipl.-Ing. Martin Leuzinger	
<b>Fachthema: Wasserstandsentwicklung</b> .....	<b>23</b>
Dipl.-Ing. Thomas Strotmann	
<b>Fachthema: Weitere hydrologische Parameter</b> .....	<b>46</b>
Dipl.-Ozeanograph Lothar J. R. Neumann	
<b>Fachthema: Terrestrische Flora I</b> .....	<b>53</b>
Dipl.-Ing. (Landespflege) Hubert Liebenstein	
<b>Fachthema: Terrestrische Flora II</b> .....	<b>61</b>
Dipl.-Geogr. Uwe Schröder	
<b>Ausblick auf die weitere Beweissicherung</b> .....	<b>79</b>
Dipl.-Ozeanogr. Lothar J.R. Neumann	
<b>Sachstand weiterer Fahrrinnausbau</b> .....	<b>80</b>
BDir Dipl.-Ing. Jörg Osterwald, Projektgruppe Voruntersuchung Fahrrinnenanpassung von Unter- und Außenelbe Dipl.-Geogr. Ulrich Ferk, Projektgruppe Voruntersuchung Fahrrinnenanpassung von Unter- und Außenelbe	

## BEGRÜßUNG

Leiter des WSA Hamburg BOR Detlef Wittmüß

Sehr geehrte Damen und Herren,

das Thema des heutigen Kolloquiums sind die Zwischenergebnisse der Beweissicherung der letzten Ausbaumaßnahmen im Elbeästuar. Die große Resonanz auf unsere Einladung zeigt uns, dass das Interesse am Schicksal der Elbe trotz der Vielzahl anderer aktueller Themen ungebrochen ist.

Eine nicht immer gleichmäßige Entwicklung des Welthandels infolge der Globalisierung der internationalen Märkte führt zu einer enormen Zunahme der internationalen Transporte. Entsprechend den Gesetzen der Ökonomie werden die im Seehandel verwendeten Schiffe immer größer, was sich unter anderem auch in immer größeren Schiffstiefgängen widerspiegelt.

Von der auf dieses Wachstum angewiesenen Seeverkehrs- und Hafenwirtschaft werden weitere Anpassungen der Fahrrinnen zu den großen Seehäfen gefordert.

Weltweit werden sie geplant und realisiert.

Damit einher gehen natürlich die Auseinandersetzungen um die Möglichkeiten und Grenzen der Fahrrinnenanpassungen.

In diesem Zusammenhang gewinnt die Kontrolle prognostizierter Ausbauwirkungen - die Beweissicherung - im Zusammenhang mit den Kompensationsmaßnahmen für die Eingriffe in Natur und Landschaft bei einer Fahrrinnenanpassung zunehmend an Bedeutung. Darüber hinaus liefert die Beweissicherung eine hervorragende Datenbasis für die Beschreibung der Ist-Zustände künftiger Baumaßnahmen.

In der jüngeren Vergangenheit hat es im Elbeästuar mehrere Ausbaumaßnahmen gegeben.

Beginnend in den dreißiger Jahren bis 1950 ist die Fahrrinne auf einen Tiefgang von 10 m ausgebaut worden. Es folgte der 11 m-, der 12 m- und der 1978 fertiggestellte 13,5 m-Ausbau. Die letzte Anpassung von 1998 bis 2000 hatte das Ziel, Schiffen mit einem Tiefgang von 13,5 m die tideabhängige Erreichbarkeit des Hamburger Hafens zu ermöglichen.

Betrachtet man die wesentlichen Unterschiede der bisherigen Anpassungsmaßnahmen, so wird deutlich, dass bei dem letzten Ausbau erstmalig gezielt die Möglichkeiten eines Tidefahrplanes zur Minimierung der erforderlichen Eingriffe ausgenutzt wurden. Noch beim vorletzten Ausbau war eine durchgängige Vertiefung der Elbe von 13,5 m unter Kartennull erfolgt.

Welches sind nun die wesentlichen Erkenntnisse der bisher durchgeführten Beweissicherungsmaßnahmen? Sind die prognostizierten Auswirkungen in der vorherbestimmten Form und Stärke eingetreten und reichen die Kompensationsmaßnahmen für die erfolgten Eingriffe aus?

Ich hoffe, dass wir Antworten auf diese Fragen erhalten und wünsche der Veranstaltung einen erfolgreichen Verlauf.

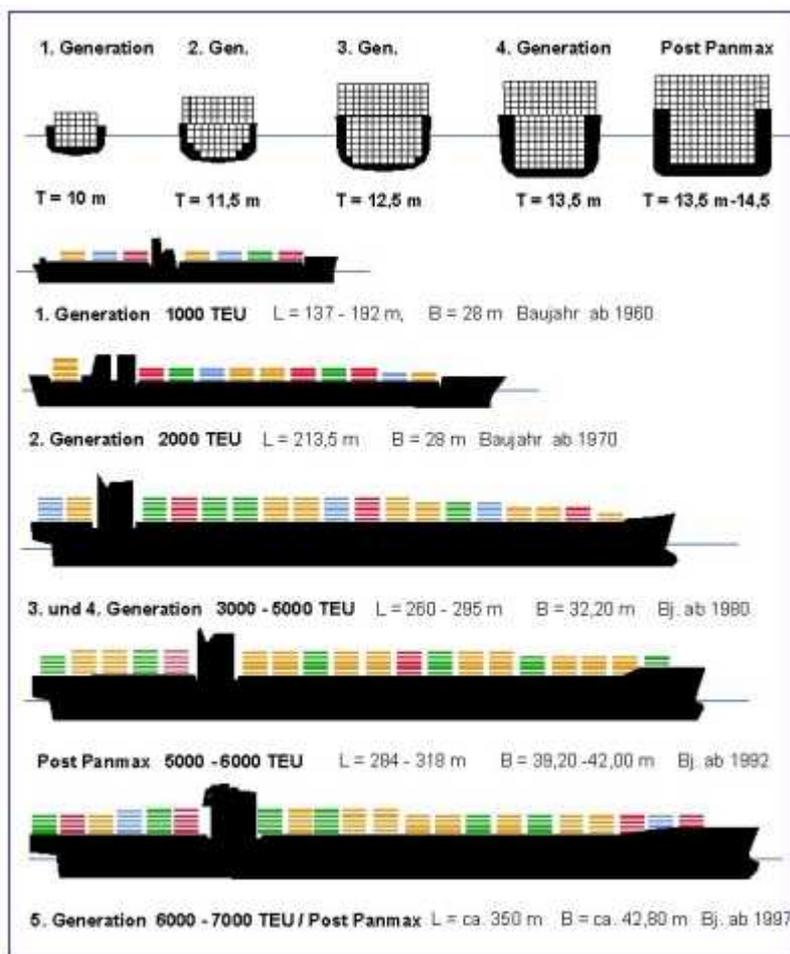
Mit freundlichen Grüßen  
Detlef Wittmüß

## RÜCKBLICK AUF DIE LETZTE FAHRINNENANPASSUNG

BR z. A. Dipl.-Ing. Nikša Marušić

### Allgemeines

Die Bedeutung der Unterelbe liegt in ihrer Funktion als Lebensraum für Menschen, Tiere und Pflanzen, Vorfluter und Verkehrsweg. Diese Kombination hat in der Vergangenheit immer wieder zu Konflikten der verschiedenen Interessengruppen geführt. Nicht zuletzt hat aber gerade der Konflikt dazu beigetragen, dass bis heute der Unterelberaum trotz seiner ökonomischen Nutzung einen ökologisch wertvollen Raum darstellt. Im Spannungsfeld des Erhalts und der Fortentwicklung der Unterelbe als Wasserstraße und Lebensraum hat die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) in Zusammenarbeit mit der Freien- und Hansestadt Hamburg (FHH), die Fahrrinne der Unter- und Außenelbe vertieft und für die Tiefgänge der 4. Generation der Containerschiffe angepasst.



Schiffgrößenentwicklung

Die Elbe ist Bundeswasserstraße; ihre Verwaltung auf hamburgischem Gebiet ist an die FHH delegiert. Der Startschuss zur Planung begann im April 1990 mit dem Antrag der FHH an das Bundesverkehrsministerium die Elbe so auszubauen, dass das Bemessungsschiff (Länge ca. 300 m, Breite ca. 32,2 m, Tiefgang 13,50 m) den Hamburger Hafen unter Ausnutzung der Tide erreichen und verlassen kann. Dieser Antrag basiert auf Staatsverträgen von 1921/22 zwischen der FHH dem Reich, nach dem das Reich

bzw. heute der Bund verpflichtet ist, die Elbe bei Bedarf so auszubauen, dass in der Regel die größten Seeschiffe unter Ausnutzung der Tide den Hamburger Hafen erreichen können. Eine Kosten-Nutzen-Analyse hat den Bedarf des beantragten Ausbaues nachgewiesen, so dass 1992 die Anpassung der Unter- und Außenelbe in den Bundesverkehrswegeplan als vordringlicher Bedarf aufgenommen wurde. Zur Abschätzung der ökologischen Folgen der Maßnahme wurde bereits 1991 auf der Basis des damaligen Planungsstandes eine Voruntersuchung für verschiedene Planungsvarianten durchgeführt.

Allen diesen Varianten gemein war: kein durchgehender Ausbau auf eine einheitliche Wassertiefe, sondern eine den Erfordernissen der Schifffahrt angepasste Wassertiefe mit einer Sockellösung. Bei der weiteren Entwicklung der Ausbauvariante wurde dem 1994 durch die FHH konkretisierten Ausbauziel dadurch Rechnung getragen, dass auch die Sockelstrecke in Reviermitte etwas vertieft wird, um Schiffen zumindest bis 12,50 m Tiefgang tideunabhängige Fahrt zu ermöglichen. Der wesentliche Vorteil dieser Lösung besteht darin, dass, obwohl den Erfordernissen der Schifffahrt Rechnung getragen wird, der Eingriff in den Lebensraum minimiert, Baggerkosten gespart und Baggermengen zukünftig verringert werden. Dies wird unter anderem durch ein neues Baggergutverbringungskonzept erreicht. Dabei wurde nicht, wie in der Unterhaltung üblich, das Baggergut ausschließlich verklappt, sondern z. T. in gesicherten Ablagerungsstellen im ufernahen Unterwasserbereich zur Regulierung der örtlichen Strömung eingebracht. Des Weiteren wurde die Feinstfraktion des Baggergutes an Land auf das Spülfeld Pagensand verbracht, um unter anderem die Sauerstoffbelastung der Elbe zu vermindern.

Die Gesamtkosten für die Planung einschließlich Ausführung und Beweissicherung belaufen sich im Bereich der Bundesstrecke auf rund 105 Mio. Euro.

### **Das Verfahren in der Öffentlichkeit**

Gemäß Bundeswasserstraßengesetz ist vor Durchführung derartiger Baumaßnahmen ein Planfeststellungsverfahren durchzuführen. Bestandteil dieses Verfahrens ist die Erarbeitung einer Umweltverträglichkeitsuntersuchung (UVU), die im Jahre 1993 begann und im Sommer 1997 abgeschlossen wurde. Auf den Ergebnissen der UVU aufbauend wurde der Landschaftspflegerische Begleitplan (LBP) entwickelt. Die Erarbeitung der UVU und des LBP wurde unter Einbeziehung der Naturschutzabteilungen der Länder Niedersachsen, Schleswig-Holstein und Hamburg durchgeführt.

Bestandteil der Planfeststellungsunterlagen sind insgesamt 23 Fachgutachten, die vom Boden bis hin zu Umweltnutzungen reichen. In der Erarbeitungsphase wurden die Unterlagen und der jeweilige Planungsstand auf diversen öffentlichen Veranstaltungen sowie in Einzelgesprächen mit Betroffenen und Umweltverbänden vorgestellt und diskutiert. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse fanden Eingang in die Planung. Sinn und Zweck dieses Vorgehens ist, dass nahezu alle vorhandenen Grundlagen und Erkenntnisse mit einbezogen werden sollen, um die privaten und öffentlichen Belange gegeneinander abwägen zu können und somit eine optimierte Planung entstehen zu lassen.

Im August 1997 wurde das Planfeststellungsverfahren durch öffentliche Auslegung der Unterlagen (12.000 Seiten Papier bei 2,40 m Aktenordnerlänge) in den Gemeinden und unter Beteiligung der Verwaltungen eröffnet. Bis zum Ablauf der Einwendungsfrist im Oktober 1997 gingen ca. 650 Einwendungen ein. Der Umfang dieser Einwendungen reichte von 1 bis zu über 100 Seiten. Im Anschluss hieran wurden die Einwendungen nach Sachargumenten geordnet und zusammengefasst. Zu den insgesamt ca. 1500 Einzelargumenten wurden von den Trägern des Vorhabens (TdV) mit ihren Gutachtern

schriftliche Stellungnahmen erarbeitet und den Planfeststellungsbehörden des Bundes und der FHH vorgelegt.

## Verfahrensablauf Meilensteine im Planungsablauf

4.'90	Antrag der FHH auf Ausbau der Elbe
'91	Planungsvorbereitung und Kosten-Nutzen-Analyse
'92	Aufnahme in den Bundesverkehrswegeplan
'93	§5-Termine nach UVPG
'93-'97	Erstellung der Umweltverträglichkeitsuntersuchung
'94	Endgültige Ausbauzielfestlegung (Z1-Variante)
'97	Eröffnung des Planfeststellungsverfahrens
'97/'98	Erörterungstermine
'99	Endgültiger Planfeststellungsbeschluss
14.12.'99	Fahrrinnenfreigabe für die tideabhängige und tideunabhängige Schifffahrt
Ab '00	Beweissicherung (bis zu 15 Jahren)

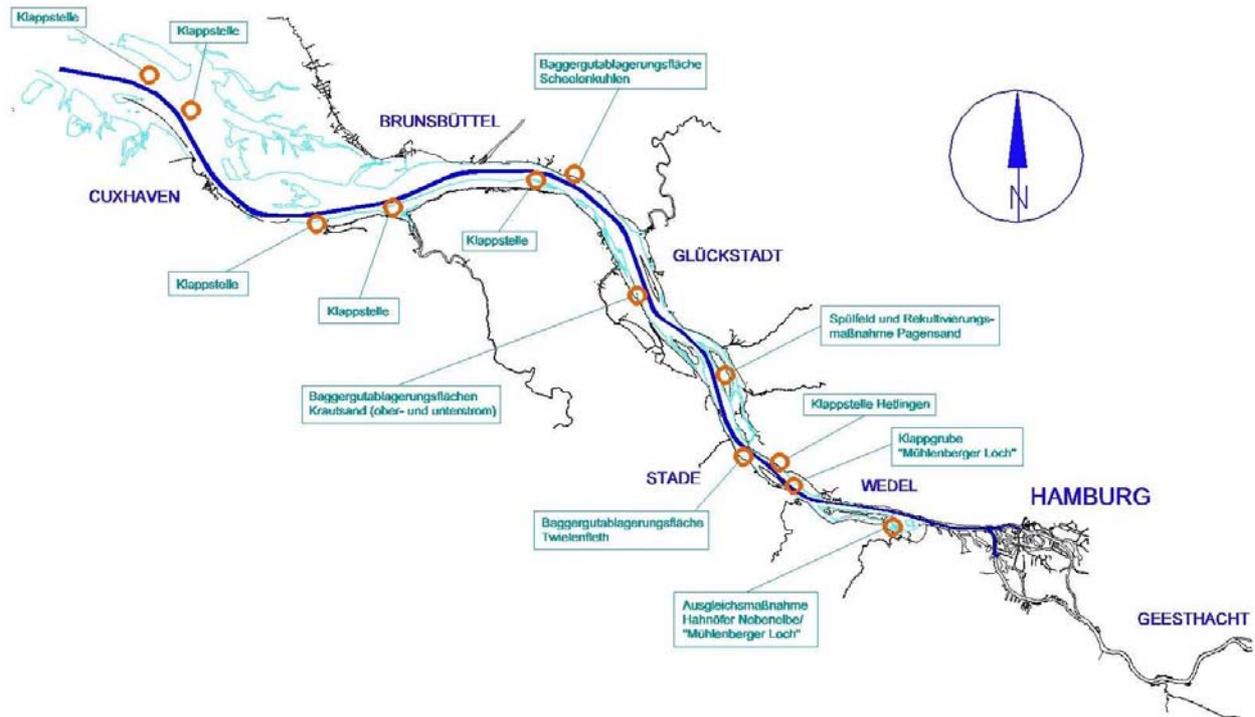
Im Dezember 1997 wurde von Strom und Hafenbau die Erörterung für die Delegationsstrecke der Elbe (Stadtstrecke Hamburg) durchgeführt. Seitens der Planfeststellungsbehörde Wasser- und Schifffahrsdirektion Nord erfolgten 1998 unter großer öffentlicher Beteiligung weitere sechs Erörterungstermine in Niedersachsen und Schleswig Holstein. Im Dezember 1997 wurde zunächst in Anbetracht der Dringlichkeit des Vorhabens eine Vorläufige Anordnung von vorgezogenen Teilmaßnahmen erlassen. Ende 1998 wurden die Planfeststellungsbeschlüsse im Entwurf fertiggestellt an die Länder Niedersachsen, Schleswig-Holstein und Hamburg zur Einvernehmenserteilung versandt.

Die rechtskräftigen Planfeststellungsbeschlüsse mit Anordnung der sofortigen Vollziehung lagen am 22. Februar 1999 vor. Die Baumaßnahmen wurden in der Hamburger Delegationsstrecke am gleichen Tag und im Bereich der Bundeswasserstraßenverwaltung am 16. März 1999 begonnen.

### Vorgezogene Teilmaßnahmen

Aufgrund der Vorläufigen Anordnung konnten noch während des laufenden Planfeststellungsverfahrens durch vorgezogene Teilmaßnahmen erste wirtschaftlich erforderliche Verbesserungen der seewärtigen Zufahrtsbedingungen zum Hamburger Hafen erreicht werden. Nach der bis zum August 1998 fertiggestellten Teilvertiefung konnte die Schifffahrt den Hamburger Hafen tideunabhängig mit 30 cm mehr Tiefgang, also insgesamt mit 12,30 m, erreichen und verlassen. Die Ausführungszeit des Gesamtausbaus wird durch diese Vorgehensweise entscheidend verkürzt.

Die vorgezogenen Teilmaßnahmen umfassten neben der Baggerung von Boden auch die Errichtung eines Spülfeldes und den Bau von zwei Unterwasserablagerungsflächen.



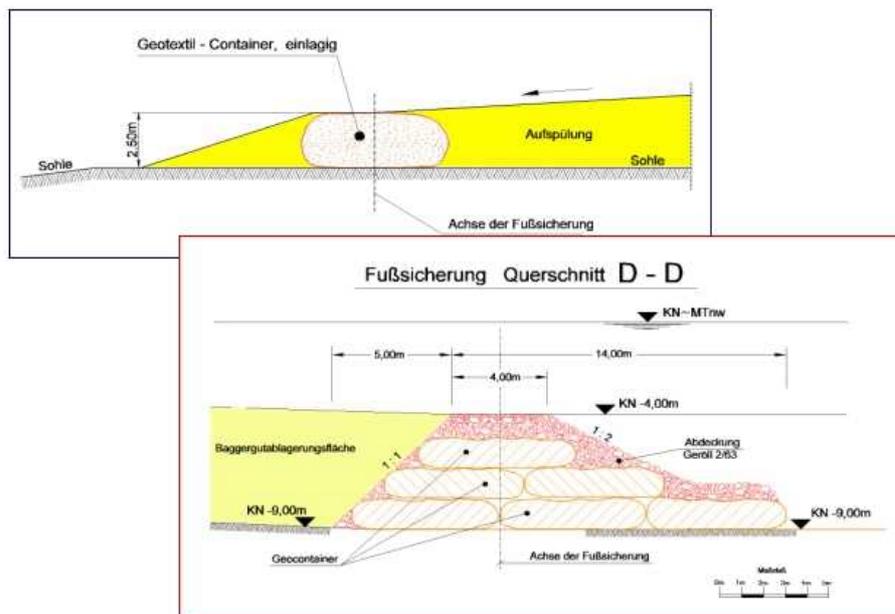
Übersicht: Klappstellen und Baggergutablagerungsflächen

Mit Laderaumsaugbaggern wurden insgesamt ca. 2,5 Mio m<sup>3</sup> Boden gefördert. Das sandige Baggergut wurde auf die Unterwasserablagerungsflächen (im Bereich des WSA Hamburg) und auf Klappstellen (im Bereich des WSA Cuxhaven) verbracht, die Feinstsedimente wurden an Land gespült.

Das Spülfeld mit einer Gesamtfläche von 15,8 ha und Dammhöhen von ca. 4,0 m befindet sich auf der Insel Pagensand und weist eine Bodenaufnahmekapazität von ca. 650.000 m<sup>3</sup> auf.

Zeitgleich mit der Baggerung wurden im Unterwasserbereich die Ablagerungsflächen Krautsand Nord (Kapazität 2,0 Mio m<sup>3</sup>) und Twielenfleth (Kapazität 1,1 Mio m<sup>3</sup>) errichtet. Die fahwasserseitigen Ränder dieser Ablagerungsflächen wurden mit pyramidenförmig übereinanderliegenden Sandsäcken von ca. 300 m<sup>3</sup> Einzelgröße hergestellt. Der Übergang zum Ufer wurde mit steinbeschwerten, gebundenen Buschmatten gestaltet.

## Einbauschematas von Geotextil-Containern



Im Rahmen der Vorgezogenen Teilmaßnahme war lediglich ein kleiner Bereich der Ablagerungsstelle Twielenfleth notwendig. Für den Endausbau standen somit entsprechende Ablagerungskapazitäten für einen frühzeitigen Beginn der Nassbaggerarbeiten zur Verfügung, so dass die Gesamtausführungszeit verkürzt werden konnte.

### Baumaßnahmen

Die Baumaßnahmen zur endgültigen Fahrrinnenvertiefung wurden mit Vorlage der rechtskräftigen Planfeststellungsbeschlüsse begonnen.

Die Nassbaggerarbeiten erfolgten termingerecht am 16. März 1999 und wurden am 14. Dezember 1999 abgeschlossen. Innerhalb dieses Zeitraumes wurden auf einer Strecke von rund 110 km ca. 14,0 Mio m<sup>3</sup> gebaggert. Im Hamburger Bereich (km 638,9 bis 690) wurden von dieser Baggermenge ca. 1,20 Mio m<sup>3</sup> auf Pagensand verspült und 5,3 Mio m<sup>3</sup> im Bereich der Ablagerungsflächen Twielenfleth, Krautsand und Scheelenkuhlen abgelagert.

Die Baumaßnahmen zum Spülfeldbau wurden im Mai 1999 begonnen und Ende August 1999 abgeschlossen. Hierdurch wurde die bestehende Kapazität des im Rahmen der Vorgezogenen Teilmaßnahme errichteten Spülfeldes um weitere ca. 850.000 m<sup>3</sup> erhöht. Die in Anspruch genommene Fläche beträgt ca. 14 ha, die Dammhöhen betragen zwischen 7 bis 8 m. Die Gesamtkapazität der Spülfelder liegt über der rechnerisch ermittelten von 1,5 Mio. m<sup>3</sup>, da durch die Wasserabgabe des Bodens Setzungen auftreten, die zur Volumenreduzierung führen.

Von Mai bis August 1999 wurde die Unterwasserablagerungsfläche Krautsand Süd mit einer Kapazität von 0,75 m<sup>3</sup> hergestellt. Im September 1999 wurde mit einer bereichsweisen Erstellung der Ablagerungsfläche Scheelenkuhlen begonnen, die Arbeiten wurden hier im gleichen Monat abgeschlossen. Der Endausbau ist hier für das Jahr 2000 vorgesehen.

Im Bereich zwischen km 690 bis 748 wurde das gesamte Baggergut (5,5 Mio m<sup>3</sup>) auf insgesamt fünf Klappstellen umgelagert.

### Umsetzung der Schutzauflagen

Die Schutzauflagen sind im Teil III (Schutzauflagen zur Vermeidung nachteiliger Auswirkungen auf Rechte anderer), unter Punkt 7 (Ufertopographie) auf den Seiten 49 - 50 des Planfeststellungsbeschlusses beschrieben.

Zur Vermeidung nachteiliger Auswirkungen auf die Ufertopographie hat sich der TdV mit den Ländern Niedersachsen und Schleswig-Holstein auf die Durchführung nachstehender Maßnahmen geeinigt. Diese Maßnahmen erfüllen zugleich die im Abschlußbericht der "Bund-Länder-Arbeitsgruppe Beweissicherung zum Ausbau der Unter- und Außenelbe zur Herstellung der Fahrwassertiefe von 13,5 m unter Kartennull" noch offengebliebenen Verpflichtungen des TdV aus dem Planfeststellungsverfahren für den 13,5 m-Ausbau. Nach Abschluss der Baumaßnahmen zur Vertiefung der Fahrrinne wurde umgehend mit der Umsetzung der Schutzauflagen begonnen.

Dabei handelt es sich im Wesentlichen um Maßnahmen zur Instandsetzung der Uferdeckwerke (Hetlingen-Juelssand, Lühe-Wisch) um Ufervorspülungen (Steindeich-Bielenberg, Twielenfleth, Kraftwerk Stade-Bützfleth, Krautsand, Hafen Otterndorf-Glameyer Stack), den Bau von Buhnen (Steindeich-Bielenberg, Rosenweide) oder Lahnungen (Östlicher Hullen), sowie das bisher noch nicht notwendig gewordene Nachfüllen der Unterwasserablagerungsflächen (Twielenfleth, Krautsand).

Maßnahme:	Ausführung:
Otterndorf: Ufervorspülung	07/2000
Steindeich-Bielenberg: Deckwerk	06/2001
Twielenfleth: Ufervorspülung	01/2002
Stade-Bützfleth: Ufervorspülung	02/2002
Lühe-Wisch I: Deckwerk	06/2002
Hetlingen-Juelssand: Deckwerk	06/2002
Hullen: Lahnungsbau	10/2003
Krautsand: Ufervorspülung	06/2004
Rosenweide: Buhnen	09/2004
Lühe-Wisch II: Deckwerk	Geplant:2005
Hollenwettern-Brokdorf: Deckwerk	z.Zt. Kein Bedarf

Schutzauflagen

### Ausgleich und Ersatz

Bei den Planungen der Fahrinnenanpassung von Unter- und Außenelbe wurde stets das Ziel verfolgt, bereits im Vorwege Beeinträchtigungen von Natur und Umwelt weitestgehend zu vermeiden. Dennoch hat das Vorhaben Auswirkungen, die im Sinne des Bundesnaturschutzgesetzes als erhebliche und/oder nachhaltige Eingriffe in Natur und Landschaft zu beurteilen sind. Diese müssen durch geeignete landschaftspflegerische Maßnahmen ausgeglichen oder ersetzt werden. Man spricht daher von Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen, oder beide Begriffe zusammengefasst auch von Kompensationsmaßnahmen.

Im Landschaftspflegerischen Begleitplan, der auf die Ergebnisse der UVU aufbaut, wurden die erforderlichen Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen geplant und nach Art, Umfang und Lage in Karten dargestellt und textlich beschrieben. Um das Ausmaß dieser notwendigen Maßnahmen festzustellen, wurde auf Grundlage des in der UVU so weit wie möglich quantitativ ermittelten Eingriffsumfangs der Kompensationsbedarf bestimmt. Dabei spielen Intensität (Art, Dauer) und Umfang der Beeinträchtigungen sowie die Wertigkeit der betroffenen Schutzgüter eine wichtige Rolle. In einer Gegenüberstellung von Eingriff und Ausgleich (Bilanzierung) lässt sich dann feststellen, ob die geplanten landschaftspflegerischen Maßnahmen ausreichend sind, den geforderten Kompensationsbedarf zu erfüllen.

Als Ergebnis der Standortsuche verblieben folgende Gebiete zur Kompensation der Eingriffe in den aquatischen und terrestrischen Bereichen:

- Maßnahmengbiet Hahnöfer Nebelbe/Mühlenberger Loch
- Maßnahmengbiet Belumer Außendeich
- Maßnahmengbiet Stör-Mündungsbereich
- Maßnahmengbiet Spülfeld Pagensand
- Maßnahmengbiet Hetlingen-Giesensand

Wesentliches Ziel der Maßnahme Hahnöfer Nebelbe und Mühlenberger Loch ist die Sicherung und Entwicklung von ökologisch wertvollen Flachwassergebieten. Zur Herstellung von Flachwasserzonen ist hier die einmalige Baggerung einer Rinne von 125 m Breite und 2,5 m Tiefe geplant.

Bei den weiteren Maßnahmen ist eine Aufwertung der Fläche durch die Entwicklung von naturnahen Strukturen und Biotoptypen angestrebt, die im Wesentlichen durch die Extensivierung von Marschflächen erreicht wird.

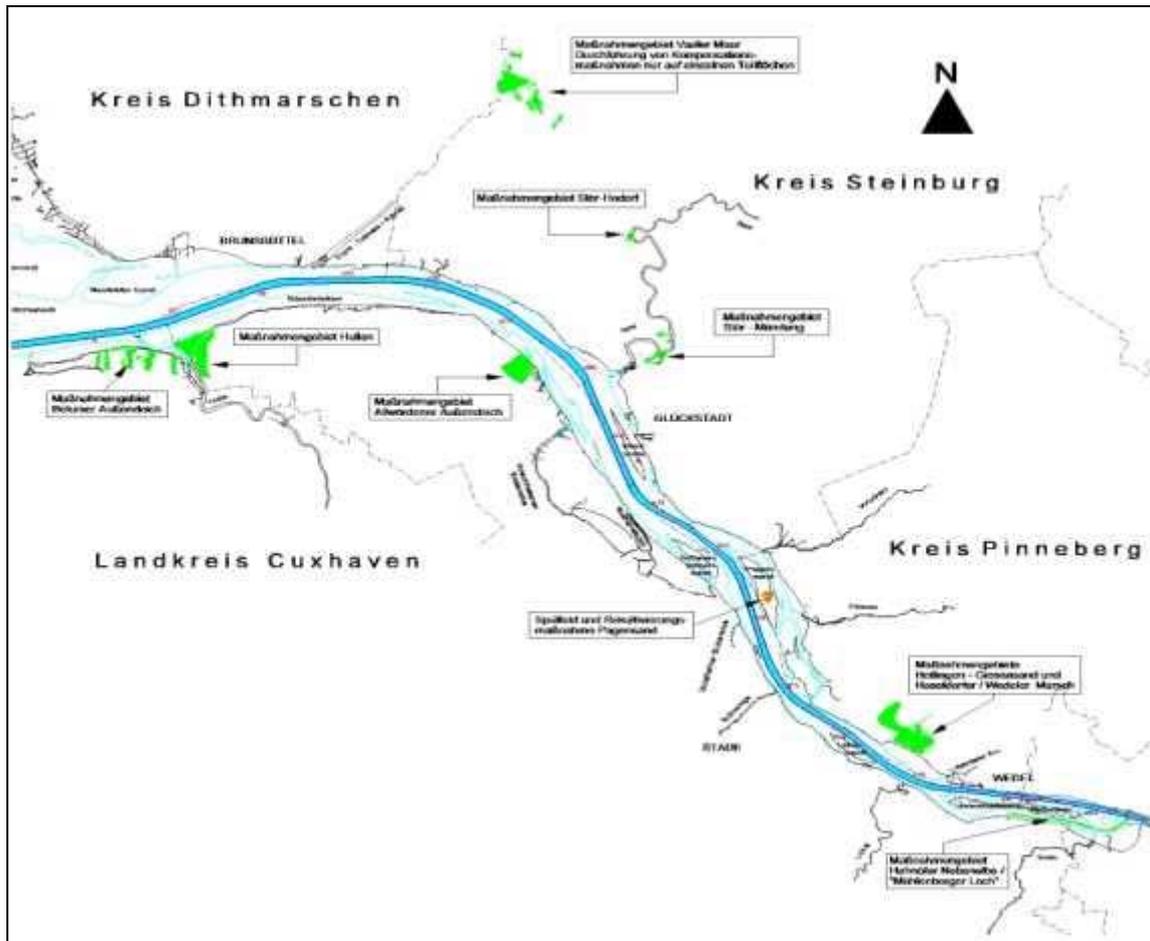
Bis zum Jahr 2000 wurden seitens der TdV's insgesamt ca. 1400 ha für die Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen erworben bzw. aus eigenen Flächen bereitgestellt. Aufgrund der örtlichen Einwände gegen die Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen wurden die TdV's im Planfeststellungsbeschluss dazu verpflichtet, auch außerhalb der ausgelegten Planbereiche geeignete Flächen freihändig zu erwerben, wenn dies auf angemessener am Verkehrswert orientierter Grundlage nicht möglich sein sollte. Die erforderlichen Prüfungen wurden im Oktober 1999 und der gesamte Grunderwerb im Dezember 1999 abgeschlossen.

Im Juli 2000 wurde durch die TdV's eine LBP-Ergänzung bei den Planfeststellungsbehörden vorgelegt. Als Ergebnis der Standortsuche in den durch die Länder vorgegebenen Suchräume wurden die nachstehenden Kompensationsgebiete bestimmt und in die LBP-Ergänzung aufgenommen:

- Hullen und Hörner Außendeich
- Allwördener Außendeich
- Haseldorfer/Wedeler Marsch
- Stör - Mitte
- Vaaler Moor

Auch bei dem Großteil dieser Maßnahmen ist eine Aufwertung der Flächen durch die Entwicklung von naturnahen Strukturen und Biotoptypen angestrebt, die im Wesentli-

chen durch die Extensivierung und z. T. Vernässung von Marschflächen erreicht wird. Im Vaaler Moor wird auf einem Teil der Flächen die Hochmoorrenaturierung angestrebt.



Übersicht Ausgleichs- und Ersatzflächen

Der Ergänzungsbeschluss der Planfeststellungsbehörde steht noch aus. Es wurden auf den planfestgestellten Flächen 87 % der Bewirtschaftungsmaßnahmen (Extensivierung, nat. Sukzession, Jagdeinschränkung) umgesetzt. Auf den noch nicht planfestgestellten Flächen wurden 80 % der Bewirtschaftungsmaßnahmen umgesetzt.

Die Umsetzung der geplanten Vernässungsmaßnahmen und der Hochmoorrenaturierung erfolgt im Anschluss an den Planfeststellungsbeschluss.

Insgesamt werden für die Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen rund 20,0 Mio. € ausgegeben.

### Beweissicherung

Eine besondere Aufgabe besteht bei großen Bauvorhaben in der Kontrolle der im Rahmen der UVU vorausgesagten Auswirkungen, soweit diese Prognosen mit Unsicherheiten behaftet sind und daher zu Entscheidungsvorbehalten im Planfeststellungsbeschluss führen. Diese Aufgabe wird Beweissicherung genannt. Sie besteht in der Messung verschiedener Parameter und deren Vergleich zu den Messergebnissen, die vor Beginn der Baumaßnahmen erfolgten. Aus diesem Grunde haben die TdV's in Zusammenarbeit mit den Ländern ein Messprogramm für die Beweissicherung entwickelt. Exemplarisch seien hier einige Basisparameter genannt, die für spätere Interpretationen

vorgesehen sind. Dabei handelt es sich um Pegel-, Strömungs- und Salzgehaltsmessungen, Vermessung von Vorländern, Wattgebieten sowie Gewässerpeilungen und Makrozoobenthosuntersuchungen.

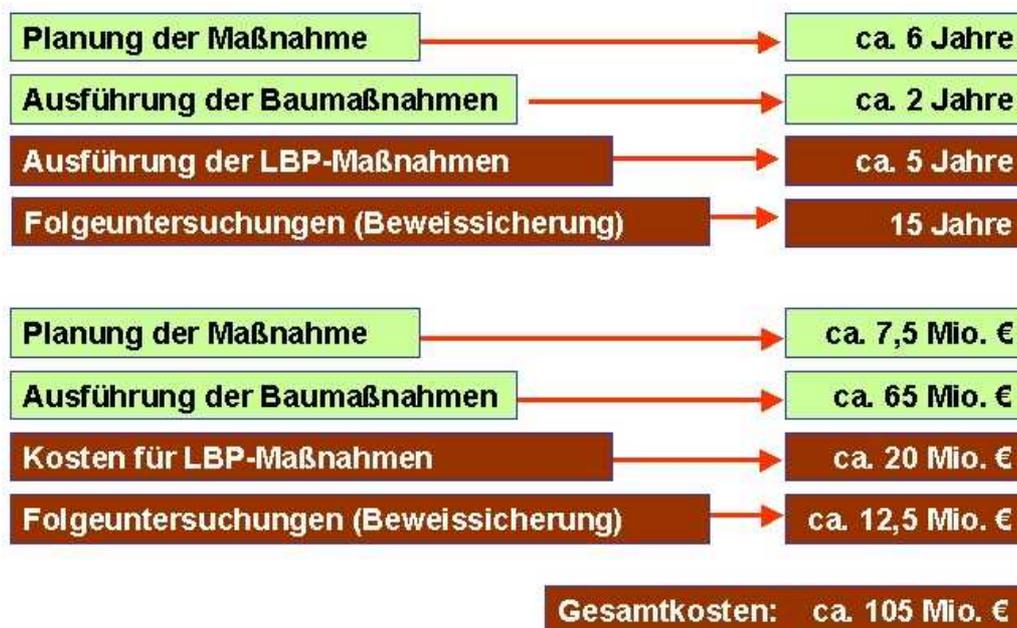
Das bereits vor den Teilmaßnahmen begonnene Beweissicherungsprogramm zur Basismessung ("Nullmessung") deckt sich in vielen Teilen mit den Standardaufgaben der WSV. Jedoch müssen diese den speziellen Bedürfnissen der Beweissicherung angepasst werden, da normalerweise Fragestellungen wie die Verkehrssicherheit und Gewässerunterhaltung im Mittelpunkt der Messungen stehen.

Zusätzlicher Nutzen einer jeden Beweissicherung besteht darin, dass Daten über den Zustand der Umwelt im gesamten Ausbaubereich erhoben werden. Diese Daten können dann gewinnbringend auch für zukünftige Ausbauprojekte und spezielle regionale Fragestellungen mitverwendet werden.

### Zusammenfassung

- Die Ausbaubaggerung der Fahrrinne ist seit Dezember 1999 abgeschlossen.
- Die Herstellung und Verfüllung der Baggergutablagerungsflächen ist abgeschlossen.
- Die Vorspülungen und Ufersicherungsmaßnahmen sind bis auf kleinere Restarbeiten abgeschlossen.
- Die festgestellten LBP-Maßnahmen sind noch in Arbeit.
- Die Beweissicherung wird noch bis zum Jahr 2015 fortgeführt.

## Zeiten und Kosten

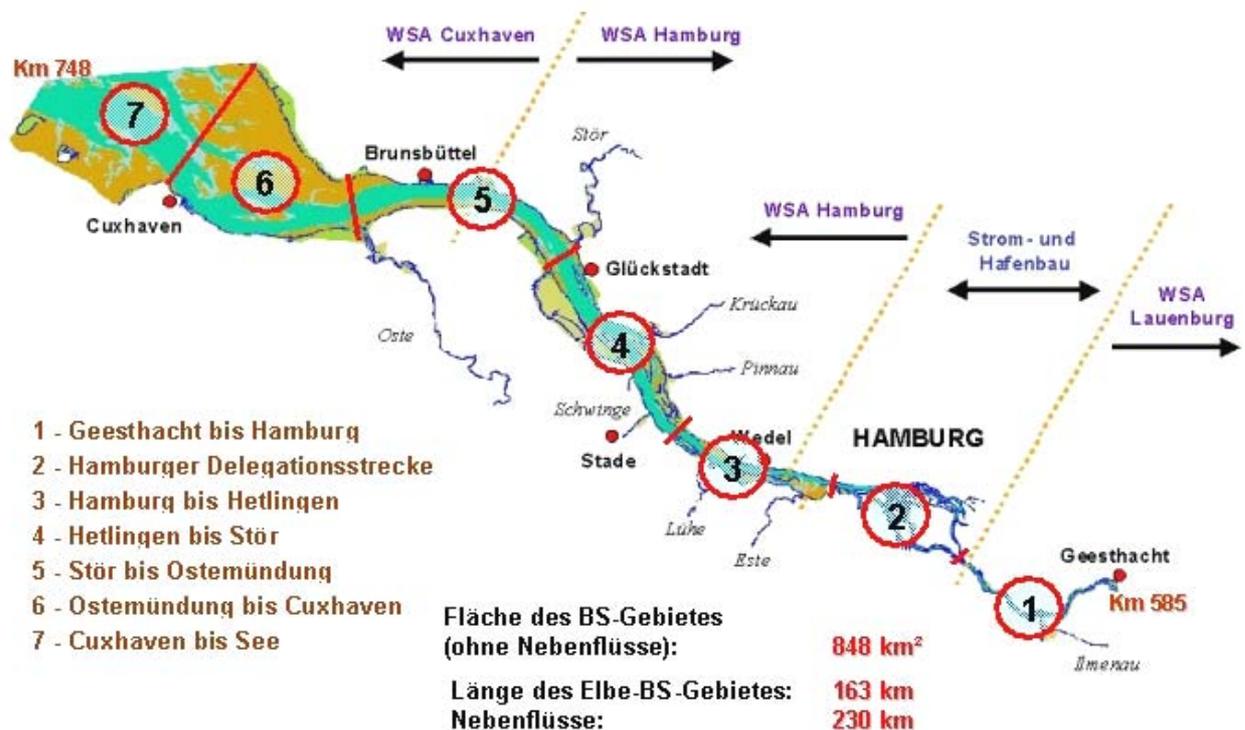


## ÜBERSICHT ÜBER DIE BEWEISSICHERUNGSMAßNAHMEN

Dipl.-Ozeanograph Lothar J.R. Neumann

Die Beweissicherungsmaßnahmen wurden im Planfeststellungsbeschluss vom 22.02.1999 zur letzten Fahrrinnenvertiefung festgeschrieben. Sie basieren auf einem Konzept, welches im Vorwege zwischen den Einvernehmensbehörden und den Trägern des Vorhabens (TdV), dem Wasser- und Schiffsamt Hamburg und dem Amt Strom- und Hafenbau Hamburg, vereinbart wurde.

Ziel der Beweissicherung ist es festzustellen, ob die Auswirkungsprognosen der Umweltverträglichkeitsuntersuchung (UVU) zur letzten Fahrrinnenvertiefung durch den Ausbau überschritten werden und damit zusätzliche Kompensationsmaßnahmen erforderlich machen würden. Aus diesem Grunde ist das zu untersuchende Gebiet identisch mit dem Untersuchungsgebiet der UVU. Neben der Gesamtausdehnung des UVU-Gebietes wurden in die Beweissicherung auch die Abschnittsaufteilung der UVU übernommen, für deren Differenzierung neben hydrographischen und morphologischen Kriterien vor allem die Salinität ausschlaggebend war.



Der Untersuchungsumfang, bzw. die Inhalte der Beweissicherungsmaßnahmen orientieren sich an dem o. g. Ziel. Dazu ist es jedoch erforderlich neben den direkten Parametern, welche die Auswirkungen beschreiben, wie z. B. Flächenverluste, weitere Parameter, wie z. B. Wasserstände, zu untersuchen und zu messen, um die natürlichen Entwicklungen und anthropogenen Eingriffe von den ausbaubedingten Wirkungen der Fahrrinnenvertiefung 1999/2000 unterscheiden zu können.

Zwei Parametertypen charakterisieren das Natursystem der Tideelbe:

---

Die Primärparameter sind die Basis der Beweissicherung, die zur Beurteilung der anderen Beweissicherungsparameter, den Sekundärparametern, herangezogen werden. Bei diesen Primärparametern handelt es sich um:

- die Wasserstände und
- die Topographien sowie
- Sedimente und Schwebstoffe in den Eingriffsbereichen

Bei den Sekundärparametern handelt es sich um:

- Strömungsgeschwindigkeiten
- Physikalische und chemische Parameter (z. B. Salzgehalt, Temperatur, Sauerstoffgehalt)
- Zustand der Lebensräume von Tieren und Pflanzen sowie deren Vorkommen (z. B. Makrozoobenthos)

Neben der direkten und indirekten Messung dieser Parametertypen werden Grundlagendaten erhoben, die das Umweltgeschehen beeinflussen, um ausbaubedingte Entwicklungen besser einschätzen und beurteilen zu können. Dabei handelt es sich um folgende Daten:

- Bau- und Reparaturmaßnahmen am Strom
- Baggerungen und Verklappungen
- Schiffsbewegungen

Abschließend werden im Rahmen der Beweissicherung Erfolgskontrollen der landschaftspflegerischen Maßnahmen ausgeführt, um die Erreichung der Zielsetzungen des Landschaftspflegerischen Begleitplanes zu überprüfen.

Das Beweissicherungsprogramm wird für die Primärparameter über 15 Jahre durchgeführt, für die Sekundärparameter i. d. R. über 10 Jahre. Dazu kommen einige Spezialuntersuchungen, die als einmalige Kampagnen vorgenommen werden (z. B. Schwebstoff- und Sauerstoffuntersuchungen).

## **FACHTHEMA: TOPOGRAPHIE**

Dipl.-Ing. Martin Leuzinger

Mit dem Planfeststellungsbeschluss zum 14,5 m Ausbau der Unter- und Außenelbe von 1999 wurde dem Träger des Vorhabens (dem WSA Hamburg) ein umfangreiches Messprogramm zur Beweissicherung auferlegt. Bezüglich des Themas "Topographie" sieht das Messprogramm u. a. eine flächendeckende, in bestimmten Zeitabständen wiederkehrende Erfassung der Geländegestalt des Untersuchungsgebietes mit anschließender Vergleichsbetrachtung vor. Als Vergleichsgegenstand dient die sog. Prognosetopographie, d. h. die vor der Fahrrinnenvertiefung gemessene Geländetopographie mit der darin eingearbeiteten geplanten Ausbaumaßnahme.

### **Erzeugung der Geländedaten**

Wegen der vorhandenen Land- und Wasserflächen im Untersuchungsgebiet und der damit verbundenen unterschiedlichen Erfassungsverfahren wird räumlich grundsätzlich zwischen dem "nassen" und "trockenen" Bereich unterschieden. Zusätzlich wird infolge der verhältnismäßig hohen Veränderlichkeit der wasserbedeckten Flächen gegenüber den Landflächen auch eine zeitliche Gliederung eingeführt, so dass sich für das gesamte Messprogramm der folgende Ansatz ergibt:

- Im Bereich der Hauptelbe die jährlich wiederholte Erfassung des Gewässergrundes durch Peilung. Unter dem Begriff "Hauptelbe" wird die hauptsächlich vom Elbe-Strom bedeckte Fläche, inkl. der Seitenbereiche und Nebenelben im Bereich zwischen dem Wehr Geesthacht und dem Großen Vogelsand querab von Neuwerk verstanden.
- Im Bereich der Watten und Vorländer erfolgt die Erfassung der Geländehöhen in den Jahren 2002, 2006, 2010 mittels land- und luftgestützter Messverfahren. Im Bereich der großen Wattflächen in der Elbemündung kommt dabei das flugzeuggestützte Laser-Scanning-Verfahren zum Einsatz.

Der Gesamtumfang der so erhobenen Geländedaten bildet die Grundlage für die daraus abzuleitenden Vergleichsuntersuchungen

### **Modellierung und Auswertung der Datenbestände**

Zeitlich zusammenhängende Geländedaten aus den drei genannten Messverfahren werden für die weitergehenden Untersuchungen in einem computergestützten Gesamtmodell zusammengefasst. So ergibt sich nach jeder Jahresaufnahme ein neues Modell der Geländetopographie mit zeitweilig älteren Datenbeständen des Landbereiches. Eine Schwierigkeit bei der Erstellung dieser Modelle, die sich auf die Genauigkeit auswirkt, liegt in der inhomogenen Struktur der Geländedaten, die einerseits aus flächigen Aufnahmen (Laserscanning, Fächerecholot) und klassischen Profilaufnahmen (Peilung/Landvermessung) stammen, andererseits mit einem zeitlichen Versatz zueinander aufgenommen wurden. Diese Modellfehler sind jedoch hinsichtlich der im Planfeststellungsbeschluss geforderten Untersuchungen vernachlässigbar. Um die unterschiedlichen Landschaftsprägungen im Elberaum besser berücksichtigen zu können, wird die Auswertung gesondert in 7 bzw. 12 Teilbereichen, den sog. Untersuchungsgebieten, ausgeführt.

Strukturen die aufgrund ihrer Kleinräumigkeit nicht im Elbmodell berücksichtigt werden können (z. B. Abbruchkanten, Hafengebietungen oder besondere Querprofilaufnahmen), werden einer gesonderten Auswertung in Form von Profil-, Flächen-, oder Abstandsvergleichen zugeführt.

### Schwellenwerte aus dem Planfeststellungsbeschluss

Im Planfeststellungsbeschluss wurden Grenzwerte (sog. Schwellenwerte) festgelegt, bei deren Überschreitung weitere Kompensationsmaßnahmen eingeleitet werden sollen. Diese sog. Schwellenwerte beziehen sich auf Flächen- und Volumenvergleiche von einzelnen Höhengschichten, die aus dem Geländemodell berechnet werden. Untersucht werden die folgenden Parameter:

- Flächenverteilung von Vorland, Watt, Flachwasser- und Tiefwasserbereich. Die Trennlinien der Gebiete werden dabei durch vorgegebene Höhengschichten definiert. Hier liegt der Schwellenwert bei einer Veränderungsrate von größer 5 %.
- Stabilität des Fahrrinnssockels und der Rampen. Hierzu wird der Fahrwasserbereich des Modells horizontal in 1 m-Schichten zerlegt, und deren Volumen über die Jahre verglichen. Der Schwellenwert liegt hier bei einer 15 %igen Änderung einer Schicht.

Für die übrigen topografischen Untersuchungen, wie z. B. den Abbruchkantenmessungen oder bei Profilvergleichen gibt es keine gesonderten Schwellenwerte.

### Ergebnisse aus dem digitalen Elbmodell

Zunächst liefert das digitale Elbmodell zu jeder Jahrespeilung eine nach Tiefenfarben abgestufte Darstellung des Untersuchungsgebietes, wie unten in Bild 1 und 2 für die Aufnahmen von 2002 und 2003 dargestellt. Aus der Gegenüberstellung der zwei Aufnahmen kann eine Differenztopographie berechnet werden, wie in Bild 4 dargestellt.

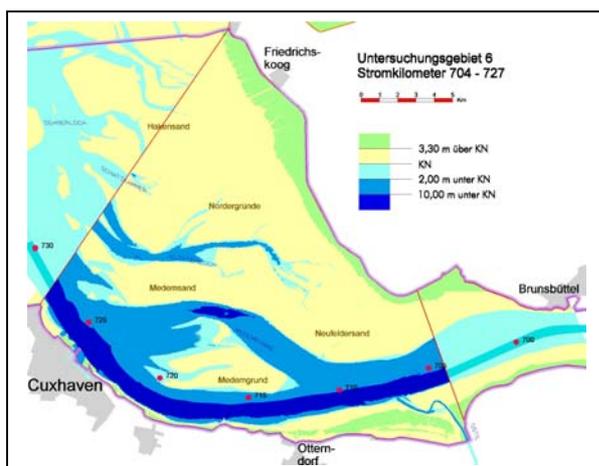


Bild 1: Aufnahme UG 6 von 2002

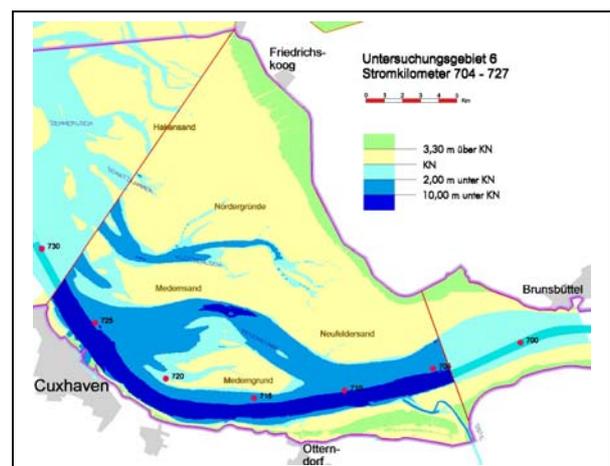


Bild 2: Aufnahme UG 6 von 2003

Aus den hier dargestellten Auswertungen kann ein direkter Flächenvergleich der topografischen Einheiten Vorland, Watt, Flachwasser- und Tiefwasser vorgenommen und mit dem o. g. Schwellenwert verglichen werden, wie in Bild 3 dargestellt

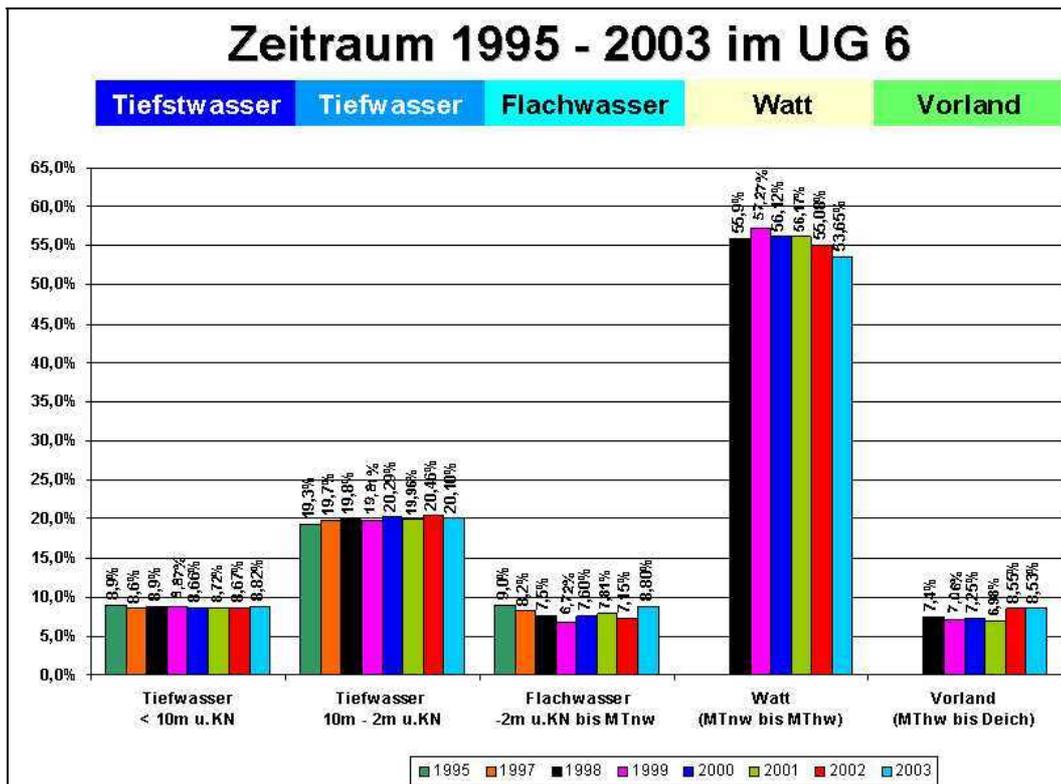


Bild 3: Flächenauswertung UG 6

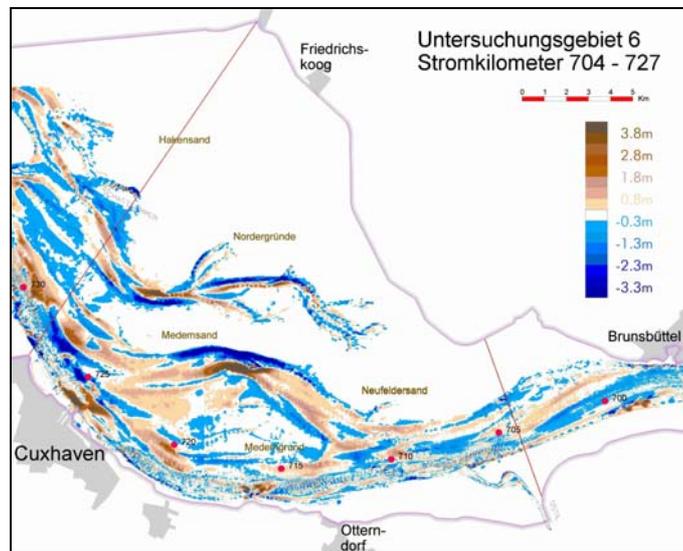


Bild 4: Differenzdarstellung 2002 - 2003 UG 6

Im Ergebnis wurde bei den bisherigen Vergleichen in den Untersuchungsgebieten 1 - 7 der vorgegebene Schwellenwert von 5 % nicht überschritten.

Schwache Trends zur stetigen Flächenzunahme bzw. Flächenabnahme können in wenigen Bereichen beobachtet werden, für gesicherte Erkenntnisse müssen jedoch weitere Messergebnisse abgewartet werden.

Die Auswertung hinsichtlich der Sockel- und Rampenstabilität ist durch die besonderen Verhältnisse im Bereich der Fahrrinne wesentlich differenzierter zu betrachten. Die Untersuchungen zur Volumenänderung der 1 m-Höenschichten werden daher in speziell

gewählten 12 Untersuchungsabschnitten vorgenommen, die nur das Fahrwasser und die darin liegende Fahrrinne betreffen (siehe Bild 5).

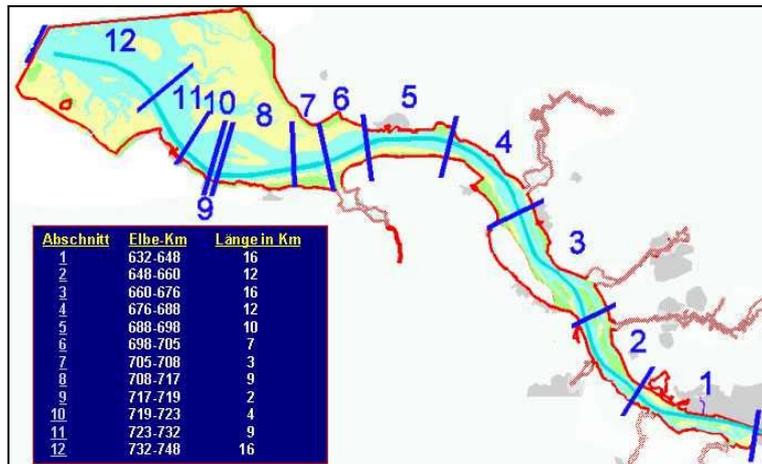


Bild 5: Untersuchungsabschnitte zur Sockel- und Rampenstabilität

Im Ergebnis der Volumenberechnung stehen daher 12 Diagramme, in denen die Volumenverteilung (Menge des in der jeweiligen Höhenschicht vorhandenen Bodenmaterials) für jede Messung aufgetragen ist. Beim Vergleich der jeweiligen Verteilungskurven mit dem Sollzustand der Fahrrinne (d. h. der Prognosetopographie der Umweltverträglichkeitsuntersuchung, Variante Z1), kann es zu Überschreitungen des Schwellenwertes - insbesondere bei Schichten mit geringem Bodenvolumen - kommen. Die Überschreitungen sollten hinsichtlich einer Erosion des Fahrrikkensockels nicht überinterpretiert werden, da in diesen Schichten auch geringe Umlagerungen zu einer Überschreitung der Schwellenwerte führen können. Die Topographie des Fahrwassergrundes wird dabei sehr stark von den natürlichen Bodenumlagerungen beeinflusst. Eine Vorstellung der Veränderlichkeit des Gewässerbodens kann dabei die Betrachtung der Differenztopographien (in Abb. 4 von 2002 zu 2003) geben. Das Maß der Veränderlichkeit dagegen findet sich in der Bandbreite der Verteilungskurven jeder Messung wieder. Daher sollte beobachtet werden, ob sich zukünftig signifikante Trends ergeben, die den Tiefenbereich des Sockels bzw. der Rampe betreffen.

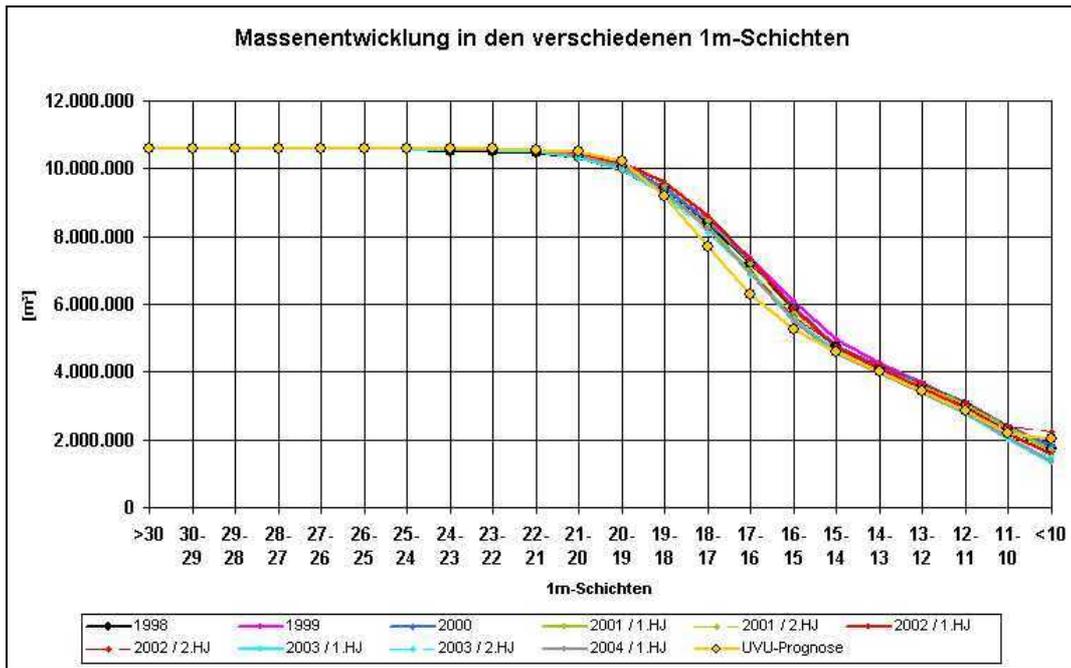


Bild 6: Vergleich der Topographie (1 m-Schichten) mit der Prognosetopographie im Abschnitt 10

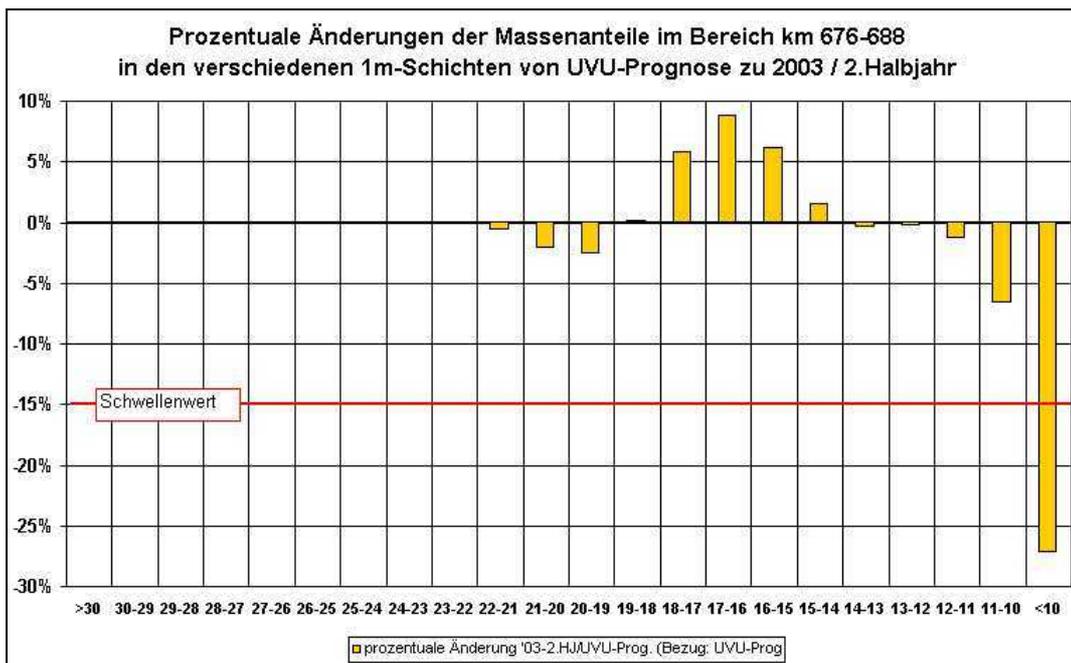


Bild 7: Bilanz der Topographie vom 2. Halbjahr 2003 gegenüber der Prognose der UUV

### Ergebnisse aus den Profilmessungen

Wie eingangs erwähnt, wird das digitale Modell des Untersuchungsgebietes im Vorland- und Wattbereich mit Geländedaten versorgt, die aus den klassischen Profilaufnahmen entstammen. Da sich das Modell jedoch nur für die großräumige Betrachtung von Veränderungen eignet, werden die Profilaufnahmen einer zusätzlichen Auswertung unterzogen, bei der die Darstellung und der Vergleich von Geländequerschnitten (Profilen) im Vordergrund steht. Der Beweissicherung stehen damit bisher über 1400 solcher Querprofilzeichnungen aus dem gesamten Untersuchungsgebiet zur Verfügung. Der Abstand der Profile beträgt 50 bis 250 m. Über die Hälfte dieser Zeichnungen beinhal-

ten dabei nicht nur die aktuellen Aufnahmen von 1998 und 2002, sondern auch ältere Messungen, die teilweise bis ins Jahr 1958 zurückreichen.

Mit den Profilzeichnungen kann die Geländeform und deren zeitliche Veränderung für einen ganz bestimmten Ort dokumentiert werden. Typische Ergebnisse aus den Profilen sind daher die Dokumentation der Höhe, bzw. der Form von Deichkörper, Vorland- und Wattrücken, sowie von Grabenstrukturen, Ufersicherungsbauwerken und Bewuchsgrenzen.

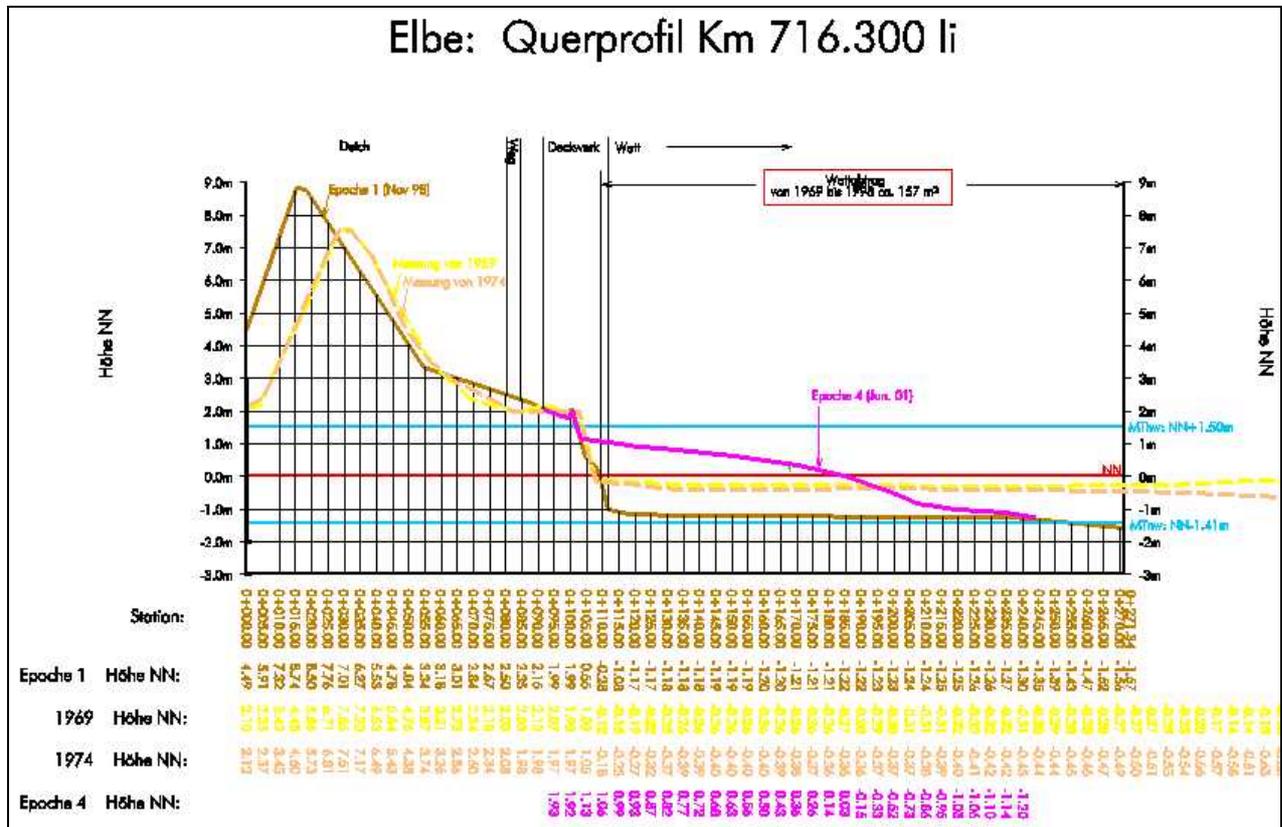


Bild 8: Profilzeichnung bei Elbe-km 716.300, Otterndorf

Weitere Profilvergleiche werden im Bereich der Elbe-Nebenflüsse durchgeführt

### Ergebnisse der Messung von Abbruchkanten

Abbruchkanten sind an verschiedenen Stellen im Unterelberaum zu finden. Sie entstehen dort, wo das Ufer einer besonderen Belastung durch Flut- und Ebbströmung oder durch Wellenschlag ausgesetzt ist und nicht durch besondere bauliche Maßnahmen geschützt ist. Die Abbruchkanten werden im Zusammenhang mit dem letzten Elbeausbau etwa alle 2 - 4 Jahre neu vermessen, um ihre zeitliche Entwicklung zu erfassen. Die folgende Grafik zeigt den Umfang der bisher gemessenen Kanten.

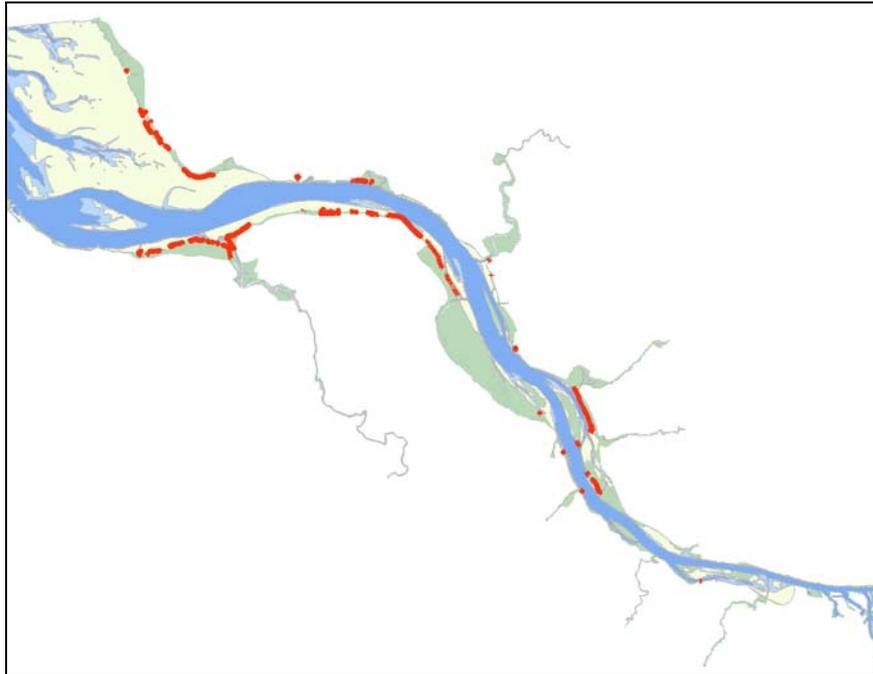


Bild 9: Übersicht der aufgenommenen Abbruchkanten

Aus dem Vergleich mit älterem Karten- oder Luftbildmaterial lässt sich sehr gut ablesen, dass die jüngsten Messungen nur eine sehr kurze Zeitspanne eines großen Bewegungsablaufes beleuchten, der schon über lange Zeiträume fortschreitet. Aus den jüngsten Messungen lässt sich aufgrund der kurzen Zeitspanne bisher kein Wandel der Abbruch-Geschwindigkeit oder der Formgebung ablesen. Sollten die Ufer tatsächlich einer sich ständig erhöhenden Belastung durch Schiffswellen, Tidehub oder Strömungsgeschwindigkeit ausgesetzt sein, so wird sich dies in einem veränderten Abbruchverhalten niederschlagen, das sich jedoch erst nach einigen Jahren zeigt. Insofern können die Ergebnisse der weiteren Messungen mit Spannung erwartet werden.

---

## FACHTHEMA: WASSERSTANDESENTWICKLUNG

Dipl.-Ing. Thomas Strotmann

### Entwicklung der Wasserstände in der Unter- und Außenelbe

#### 1. Einführung

Dem Tidegeschehen kommt in der Beweissicherung eine besondere Bedeutung zu, da die Lebensraumbedingungen im Naturraum Unterelbe mittelbar oder unmittelbar von den hydrologischen Verhältnissen mit ihren periodischen Wasserstandsschwankungen und Strömungsfluktuationen geprägt werden. Die Bandbreite der wechselnden Wasserstände und Strömungen bilden insofern die Grundlage und Rahmenbedingungen für den Zustand und die Entwicklung der Umwelt. Größere und nachhaltige Änderungen der hydrologischen Randbedingungen, insbesondere der Wasserstände, können unter Umständen den Bestand und die Entwicklung der Tier- und Pflanzenwelt dieses Raumes beeinflussen.

Dabei ist der Wasserstand erfahrungsgemäß der Parameter, der noch am ehesten nachweisbar auf eine natürlich oder anthropogen veränderte Gewässerbetttopographie reagiert. Bezogen auf gezeitendominierte Ästuare wie die Unterelbe kann diese Erfahrung insoweit erweitert werden, als die gesamte Charakteristik der Gezeitenwelle durch jede größere Ausbaumaßnahme in einem Tidefluss verändert wird. Die Charakteristik der Gezeitenwelle lässt sich durch verschiedene signifikante Kenngrößen beschreiben, die in den nachfolgenden Untersuchungen noch im Einzelnen näher erläutert werden.

Der Tidenhub spiegelt die Differenz zwischen den Scheitelwerten der Tidekurve wider. Im Allgemeinen wird davon ausgegangen, dass durch eine Querschnittsvergrößerung und Sohlenvertiefung die in den Mündungstrichter eingetragene Tideenergie infolge verminderter Reibungseinflüsse auf weniger Widerstand trifft. Die verringerte Energie-dissipation führt zu der beobachteten Zunahme des Tidenhubs. Dabei sinkt vor allem das Tideniedrigwasser (Tnw) ab, während das Tidehochwasser (Thw) - zumeist in geringerem Umfang - ansteigt.

Diese stark vereinfachte Darstellung der überaus komplexen Vorgänge und Interaktionen zwischen den morphodynamischen und hydrologischen Prozessen in einem schwingenden System werden im wesentlichen aus den theoretischen Grundsatzüberlegungen und Systemstudien abgeleitet, die bereits in den 30er Jahren von HENSEN [1937] am Beispiel der Tideelbe vorgetragen und anhand der ersten größeren Ausbaumaßnahmen der Nachkriegszeit prinzipiell bestätigt wurden.

Nachfolgende Ausbaumaßnahmen gaben ebenfalls keinen Anlass diese idealisierte Vorstellung in Frage zu stellen, weshalb die tendenzielle Abbildung dieser Erwartung in den Ergebnissen hydronumerischer Modellversuche im Vorfeld der letzten Fahrrinnenanpassung auch ein Kriterium bei der Plausibilitätsprüfung gewesen ist.

In der UVU zur Fahrrinnenanpassung wurde die prognostizierte ausbaubedingte Erhöhung des mittleren Tidehochwassers (MThw) aufgrund des damit verbundenen Risikos einer Beeinträchtigung empfindlicher ufernaher Biotope als ein wichtiger ökologischer Wirkfaktor beschrieben. In einem vereinfachten Rechenansatz wurde bei einer prognostizierten Erhöhung des lokalen Tidehochwassers um beispielsweise 2 bis 3 cm pauschal eine flächenmäßige Beeinträchtigung von 3,5 % für ufernahe Biotoptypen (Auwald, Auengebüsch, Röhricht) angenommen. Diese Annahme basiert auf der Tatsache, dass eine Verlagerung des Ufervegetationsgürtels landseitig nicht möglich ist, da dort meist Begrenzungen bestehen (Deich, bewirtschaftete Flächen, Randgräben etc.), die



### 3. Auswerteverfahren zur Überprüfung der Schwellenwerte

Wie bereits angedeutet, legt das Beweissicherungskonzept auch die durchzuführenden Auswertungen und die dabei anzuwendenden Verfahren fest. So sind anhand eines statistischen Rechenverfahrens die ausbaubedingten Wasserstandsänderungen aus den gemessenen Wasserstandsdaten zu ermitteln. In Bezug auf mittlere Tidescheitel und -höhe soll das Verfahren von Niemeyer (1995) Anwendung finden, das auch im Zuge der Beweissicherung für den 13,5 m-Ausbau der Unterelbe angewendet wurde.

Die Abweichungen für die Sturmflutscheitel sind ergänzend zu den MThw über die Änderungen des Staus anhand eines Ansatzes des NLÖ-FSK (NIEMEYER 1997) zu bestimmen, bei dem der Stau im Revier über den Stau an der Mündung und das Oberwasser korreliert wird.

Die Schwellenwerte für die Über- bzw. Unterschreitung der mittleren Tidehoch- bzw. Tideniedrigwasserstände im Bereich der Tideelbe beziehen sich bei wasserwirtschaftlichen Fragestellungen auf die jeweiligen "worst case"-Prognosewerte der BAW-AK, bei allen anderen Aspekten, z. B. ökologischen Fragestellungen, auf die jeweiligen Rechenwerte der BAW-AK (oberer/unterer Rand der "Änderungsbänder", vgl. Abb.2).

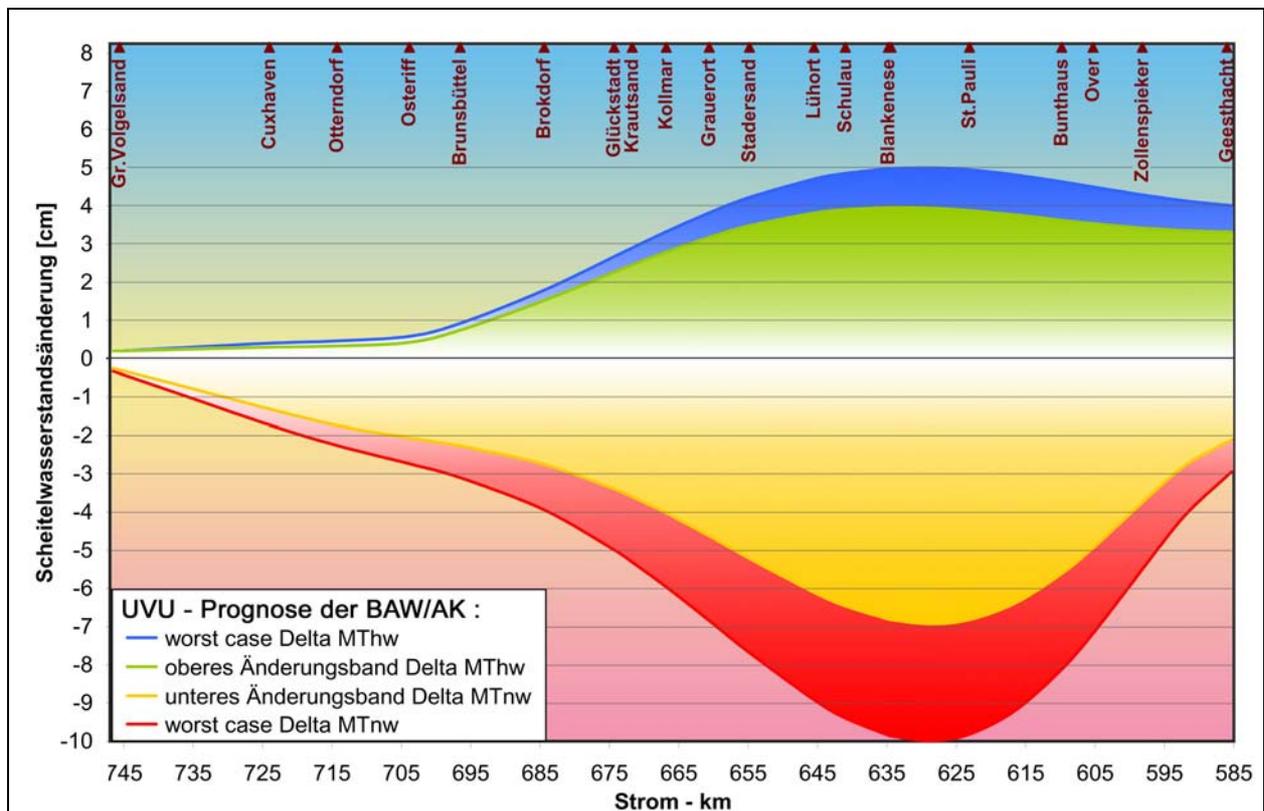


Abb. 2: UVU-Prognose der ausbaubedingten Wasserstandsänderungen

Wird an einem oder mehreren Pegeln der jeweils definierte Schwellenwert im 5-jährigen Mittel überschritten, so sind vom TdV Neuberechnungen in wasserwirtschaftlichen, naturschutzfachlichen und landeskulturellen Bereichen zu veranlassen und Folgewirkungen zeitnah zu kompensieren oder auszugleichen.

Hinsichtlich der Sturmflutscheitel wird der Schwellenwert für erhebliche Abweichungen von der Prognose über die Summe der ausbaubedingten Änderung des MThw und des Staus gebildet und beträgt 3 cm.

#### 4. Langzeitstatistische Entwicklung des Tidegeschehens im Elbeästuar

Aus den Erfahrungen mit früheren Ausbaumaßnahmen ist bekannt, dass die Wasserstände recht schnell auf eine Fahrrinnenvertiefung reagieren. Da die hauptsächlichen Vertiefungsarbeiten im Zuge der jüngsten Fahrrinnenanpassung im Jahre 1999 durchgeführt wurden, müsste sich eine hydrologische Reaktion auf diese Maßnahme also bereits aus den bis dato vorliegenden Wasserstandsdaten erkennen lassen.

Um die jüngste Entwicklung der Wasserstände seit Abschluss der Ausbaumaßnahmen richtig einordnen zu können, muss aber an dieser Stelle zunächst ein Blick auf die historische Entwicklung der Wasserstände sowohl in der Tideelbe als auch in der Nordsee geworfen werden. Wasserstandsaufzeichnungen für die Pegel Cuxhaven und St. Pauli liegen seit 1843, für Helgoland mit Unterbrechungen seit 1911 vor. An dieser Stelle sollte aber ein Rückblick auf die Wasserstandsentwicklung der vergangenen 100 Jahre an den genannten Pegeln ausreichen.

Am Pegel Cuxhaven ist ein seit 1900 verhältnismäßig gleichförmiger Anstieg der Wasserstände im Küstengebiet mit nur sehr seichten Wellenbewegungen, die sich durch eine gleitende Mittelwertbildung über 19 Jahre darstellen lassen, zu beobachten. Dabei fällt der Anstieg des MThw mit rd. 27 cm/Jahrh. wesentlich stärker aus, als der des MTnw mit nur rd. 10 cm/ Jahrh.

Da für die Jahre vor 1990 nur die Scheitelwerte digital vorliegen, ist eine exakte Ermittlung des MTmw bzw. MSL nicht möglich. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass das  $MT_{1/2w}$  den gleichen Trend widerspiegelt, solange die Form der Tidekurve über den betrachteten Zeitraum keine gravierende Veränderung erfahren hat. Da für eine derartige Verformung in der Deutschen Bucht keine Veranlassung besteht, kann gefolgert werden, dass auch der mittlere Meeresspiegel bei Cuxhaven wie das  $MT_{1/2w}$  in den letzten 100 Jahren um rd. 18 cm angestiegen ist. Bei Bemessungsfragen im Hochwasserschutz wird bekanntlich mit einem säkularen Anstieg von 30 cm gerechnet.

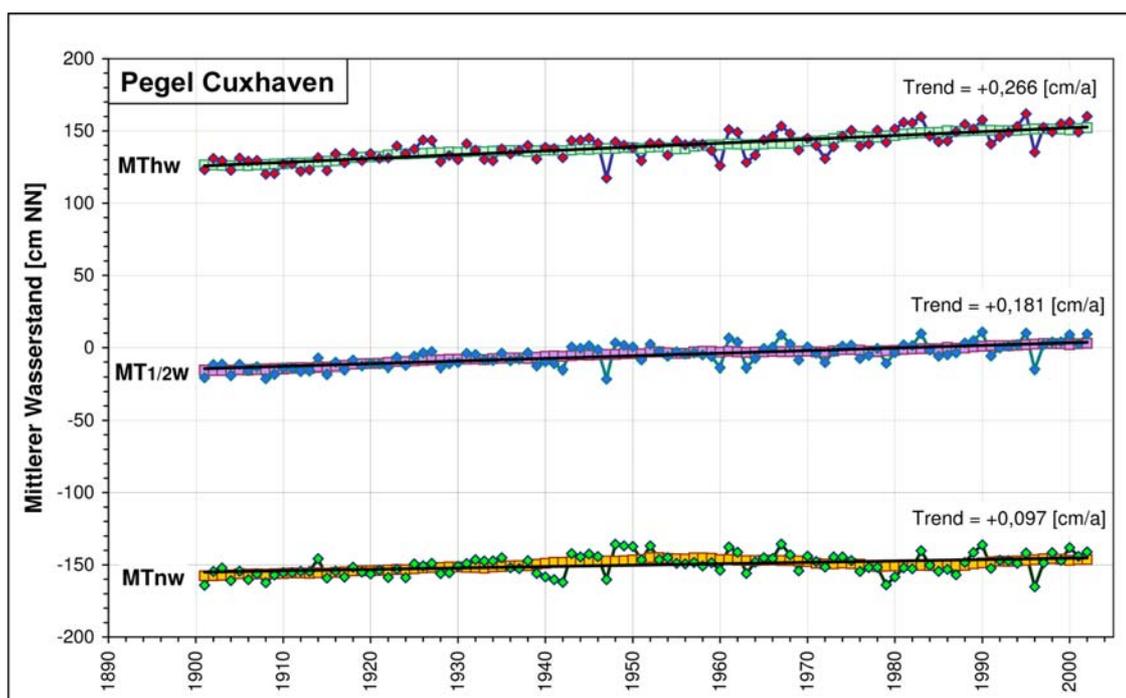


Abb. 3: Entwicklung der Wasserstände am Pegel Cuxhaven

Ein Blick auf die Entwicklung der Wasserstände am Pegel St. Pauli spiegelt die Überlagerung der natürlichen externen Einflüsse und den unbestritten maßgeblichen anthropogenen Eingriffen unterschiedlichster Art in das natürliche Gleichgewichtssystem der Tidelbe unterhalb und oberhalb Hamburgs sowie im Hafen selbst wieder.

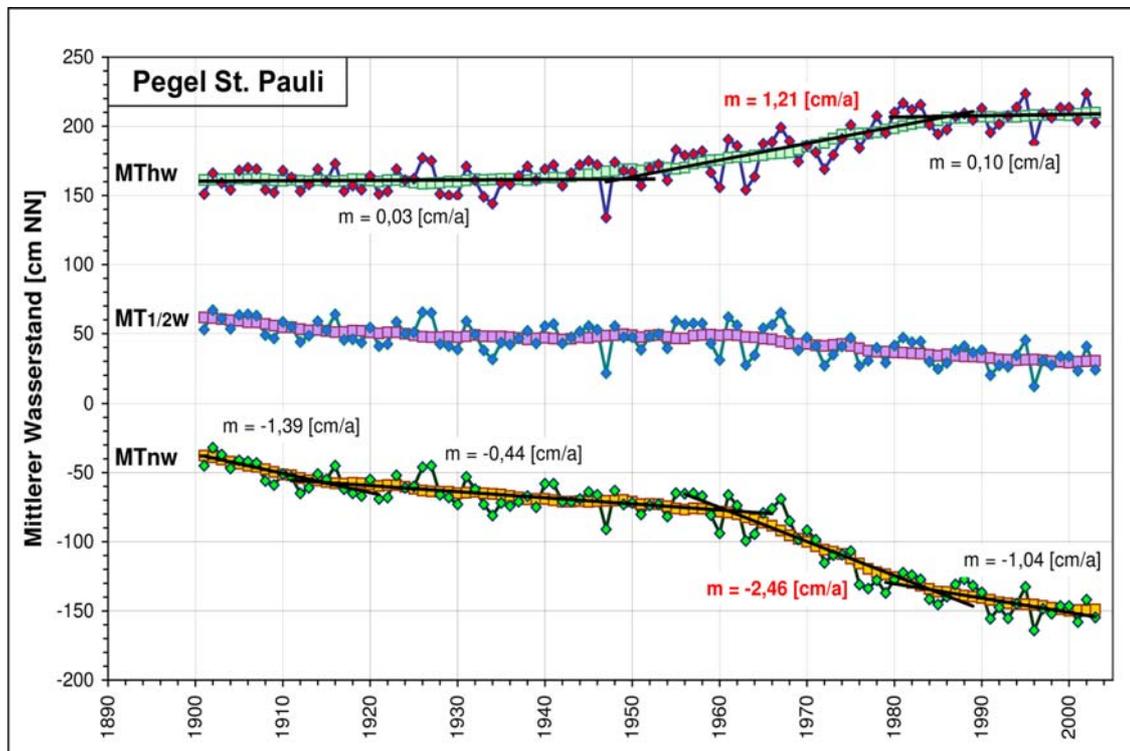


Abb. 4: Entwicklung der Wasserstände am Pegel St. Pauli

Bereits Anfang des 20. Jahrhunderts ist korrespondierend zu den ersten größeren Vertiefungsbaggerungen zur Beseitigung der großen Barren zwischen Blankenese und Wedel ein signifikantes Absinken des MTnw zu registrieren. Weitere Ausbaumaßnahmen in der Folgezeit gingen zunächst einher mit der Anlage neuer Hafenbecken im Hamburger Hafen, die zu einer teilweisen Kompensation der Ausbaufolgen führten und der Errichtung der Tidebarriere durch das Wehr in Geesthacht.

In den '60er und '70er Jahren folgten eine ganze Reihe von Hochwasserschutzmaßnahmen mit der Eindeichung großer Marschenflächen und der Absperrung sämtlicher Nebenflüsse durch Sperrwerke, die offensichtlich maßgeblich zu dem signifikanten Anstieg des MThw beigetragen haben. In die gleiche Zeitspanne fällt auch der KN -13,5 m-Ausbau der Fahrrinne mit einer aus heutiger Sicht zweifelhaften Entnahme von mehr als 30 Mio m<sup>3</sup> Sand für den Deich- und Straßenbau.

Nicht ohne Auswirkungen auf die Entwicklung der Wasserstände am Pegel St. Pauli dürfte auch die seit Mitte der '80er Jahre vorgenommene Verfüllung verschiedener Hafenbecken zur Schaffung von Distributionsflächen im Hamburger Hafen gewesen sein.

In der Summe aller anthropogenen Eingriffe in das Tidesystem in Verbindung mit den natürlichen externen Einflüssen aus der Nordsee muss für das MTnw am Pegel St. Pauli ein Absinken von rd. 110 cm seit Beginn des vergangenen Jahrhunderts konstatiert werden, wovon rund die Hälfte an wertvollem Tidepotenzial allein zwischen 1962 und 1985 verloren gegangen sind. Erfreulicherweise hat sich dieser negative Trend in den letzten Jahren deutlich abgeschwächt. Die Tendenz einer weiteren Abschwächung

scheint was die bisherigen Beobachtungen wiedergeben auch nach dem neuerlichen Ausbau des Fahrwassers in 1999 anzuhalten.

Bei der Entwicklung des MThw ist am Pegel St. Pauli seit Beginn des vergangenen Jahrhunderts in der Summe ein Anstieg von rd. 50 cm zu beobachten, wovon gute 80% in den '60er und '70er Jahren angefallen sind. Seit Anfang der '80er Jahre ist erfreulicherweise nur noch ein verhältnismäßig moderater Anstieg von rd. 10 cm/Jahrh. zu verzeichnen. Alles in allem resultiert damit für den Tidenhub am Pegel St. Pauli ein Anstieg um rd. 1,6 m auf aktuelle 3,6 m.

Als Referenz für die Entwicklung der mittleren Scheitelwasserstände soll gem. einer Auflage im Planfeststellungsbeschluss der Pegel Helgoland die von jeglichen Ausbaumaßnahmen im Ästuar unbeeinflussten Verhältnisse in der Nordsee repräsentieren.

Die Frage nach der Wahl des Referenzpegels ist insofern von Bedeutung als bei den Untersuchungen zu früheren Ausbaumaßnahmen, die getroffenen Aussagen zu den Eingriffsfolgewirkungen häufig auf einer fragwürdigen Schlussfolgerung basieren. Auch wenn die Annahme zutrifft, dass die Entwicklung der Wasserstände an einem von der Mündung genügend weit entfernten Nordseepegel von jedweden Eingriffen im Tidefluss weitestgehend unbeeinflusst ist, so kann im Umkehrschluss nicht gefolgert werden, dass vom Referenzpegel abweichende Wasserstandsentwicklungen im Tidefluss allein den anthropogenen Eingriffen zuzuschreiben sind.

So ist z. B. bekannt, dass ein verändertes Eingangssignal von der Gezeitenseite (hier: aus der Nordsee) im allgemeinen zu einer morphologischen Reaktion im Gewässerbett eines Tideästuars führt, die wiederum (ggf. verstärkt durch Resonanzeffekte) Einfluss auf die hydrologischen Parameter nimmt. Auf weitere natürliche Ursachen der Beeinflussung des Tidegeschehens im Elbeästuar durch großräumige morphologische Veränderungen im Mündungsgebiet (Stichwort: Verlagerung der Medemrinne) wurde schon an anderer Stelle hingewiesen.

Die in Abb. 5 über die letzten rd. 90 Jahre dargestellten langfristigen Entwicklungen der Wasserstände am Pegel Helgoland zeigen, dass insbesondere in jüngster Zeit außergewöhnlich große Veränderungen zu verzeichnen sind, die in der Signifikanz am Pegel Cuxhaven nicht entdeckt werden konnten.

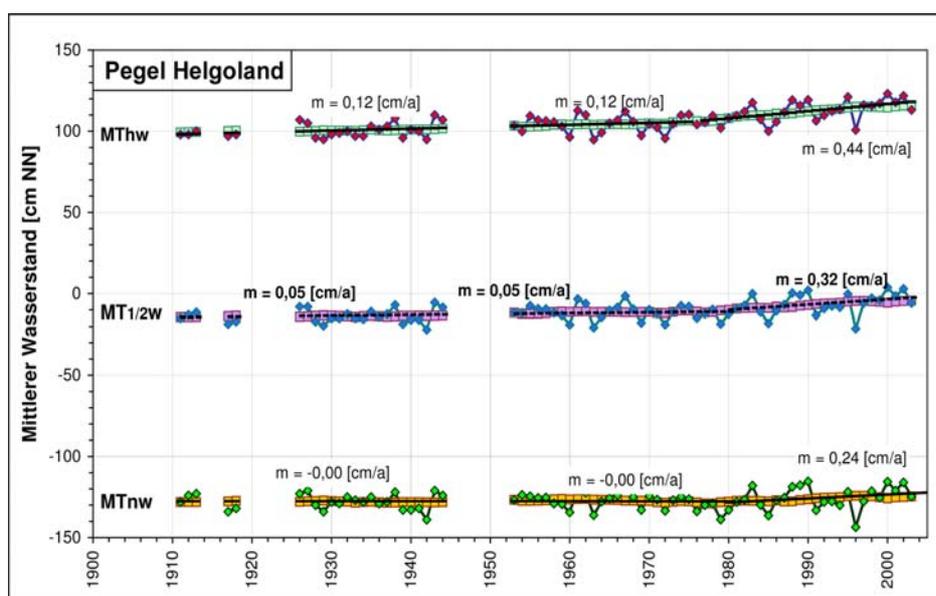


Abb. 5: Entwicklung der Wasserstände (wasserwirtschaftliches Jahresmittel) am Pegel Helgoland

Zunächst kann auch hier - wie schon am Pegel Cuxhaven - festgestellt werden, dass die Entwicklungen für das MT<sub>nw</sub> und das MThw auch auf der offenen Nordsee nicht unbedingt identisch verlaufen müssen. Während für das MT<sub>nw</sub> seit ca. Mitte/Ende der 70er Jahre ein gemäßigter Anstieg um durchschnittlich 24cm/Jahrh. zu verzeichnen ist, beträgt dieser für das MThw temporär immerhin rd. 44 cm/Jahrh, oder bezogen auf die letzten 25 Jahren rd. 11 cm. Gleichzeitig ist auch das MT<sub>1/2w</sub> in den letzten 25 Jahren um rd. 8 cm angestiegen, während es in den rd. 75 Jahren zuvor nur um durchschnittlich 5 cm/Jahrh. angestiegen war.

Die Frage, inwieweit die tendenziellen Entwicklungen der Wasserstände am Pegel Helgoland als repräsentativ für die gesamte Deutsche Bucht und damit auch für das Mündungsgebiet der Elbe angesehen werden können, ist Gegenstand der aktuellen Küstenforschung. Für die nachfolgenden Untersuchungen muss zunächst davon ausgegangen werden, dass sie es sind.

Verstärkt durch Reflexionseffekte sollten die beobachteten Veränderungen der letzten 25 Jahre am Pegel Helgoland eigentlich auch auf die Wasserstände im Mündungsgebiet der Elbe Auswirkungen haben. Um parallel laufende bzw. zeitlich synchrone Entwicklungen an zwei Pegeln zu erkennen, ist es am einfachsten die jeweilige Differenz der Wasserstände zu betrachten. Bei Glättung der Wasserstandsganglinie durch Bildung des gewichteten gleitenden Mittels, kann der langfristige Trend bei entsprechend hoher Auflösung im direkten und sehr anschaulicher Vergleich unmittelbar abgelesen werden.

Dabei zeigt die Differenz der Wasserstandsentwicklung zwischen den Pegeln Helgoland und Cuxhaven (vgl. Abb. 6) über die vergangenen 50 Jahre betrachtet, eine auffällige Asynchronität hinsichtlich der MThw - Kenngröße in den '60er und '70er Jahren. Hier steigt das MThw in zwei Wellenbewegungen überproportional zur Entwicklung am Pegel Helgoland und bleibt danach nahezu konstant während das MThw in Helgoland un-  
aufhörlich weiter steigt, was den Differenzwasserstand mittlerweile wieder auf das Niveau der 50er Jahre zurück gebracht hat.

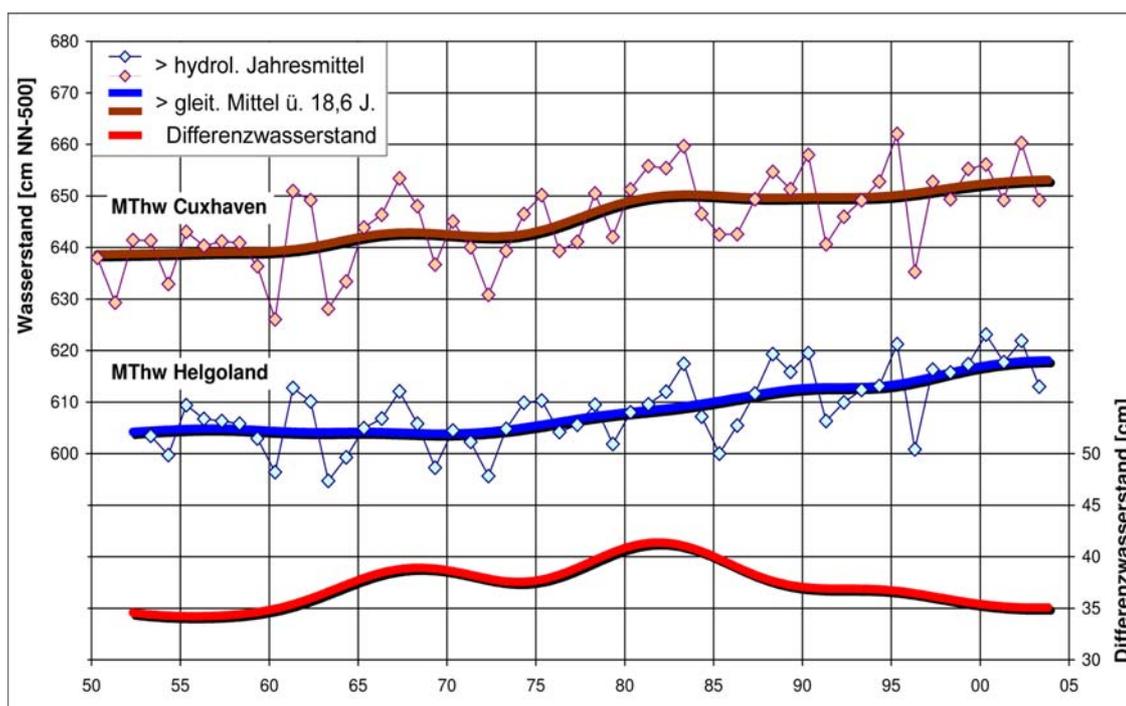


Abb. 6: Vergleich der MThw - Entwicklung zwischen dem Pegel Helgoland und Cuxhaven

Eine Erklärung hierfür könnte möglicherweise in einer Häufung der Sturmflutereignisse mit erhöhten Windstausituationen in den betreffenden Zeiträumen zu finden sein. Die Entwicklung der MTnw-Differenz verläuft schon aufgrund der geringeren Gesamtänderung innerhalb eines Schwankungsbereichs von wenigen Zentimeter relativ konstant. Auf eine Darstellung wird daher an dieser Stelle verzichtet.

Bevor ähnliche Betrachtungen zur relativen Entwicklung der Wasserstände am Pegel St. Pauli angestellt werden, sei an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass die dargestellten Daten bisher noch mit dem Einfluss aus dem Oberwasserabfluss behaftet sind, was bei der langfristigen Betrachtung und Glättung der Wasserstandsentwicklung an einem Ort nicht weiter von Bedeutung ist, jedoch bei einer Aussage über einen kurzfristigen Entwicklungstrend zu einem Vergleichs- oder Referenzpegel berücksichtigt werden muss.

Da die im Revier beobachteten Wasserstände nicht nur vom Gezeitsignal aus der Nordsee, sondern u.a. auch von der Größe des Oberwasserzuflusses geprägt werden (von Geesthacht bis etwa Glückstadt ist der Einfluss exponentiell abnehmend), ist es für vergleichende Betrachtungen und Bewertung von Wasserstandsentwicklungen im Revier notwendig, zuvor den Einfluss der Schwankungen im Oberwasserzuflusses durch eine geeignete funktionale Beziehung zu eliminieren. Weitere Einflussfaktoren auf den Wasserstand im Ästuar sind - abgesehen vom Wasserstand am Referenzpegel Helgoland - an dieser Stelle nicht berücksichtigt.

Für den Pegel St. Pauli lässt sich eine Normierung der mittleren Scheitelwasserstände auf das langjährige Mittel des Oberwasserabflusses am Pegel Neu Darchau von rd. 700 m³/s über die Beziehung durchführen, dass eine Änderung im Oberwasserabfluss von ±1000 m³ zu einer Wasserstandsänderung am Pegel St. Pauli von rd. ±20 cm führt.

$$\overline{Wst}_{norm} = \overline{Wst}_{Reg} + (\overline{Q}_0 - 700) \cdot 0,02^*) [cm] \quad *) \text{ ortsabhängig}$$

Für den Pegel St. Pauli verdeutlichen die Darstellungen der oberwasserabflussnormierten Differenzen der Scheitelwasserstände zum Pegel Helgoland noch einmal sehr deutlich die schon zu Abb. 4 beschriebene Entwicklung in den 60er und 70er Jahren.

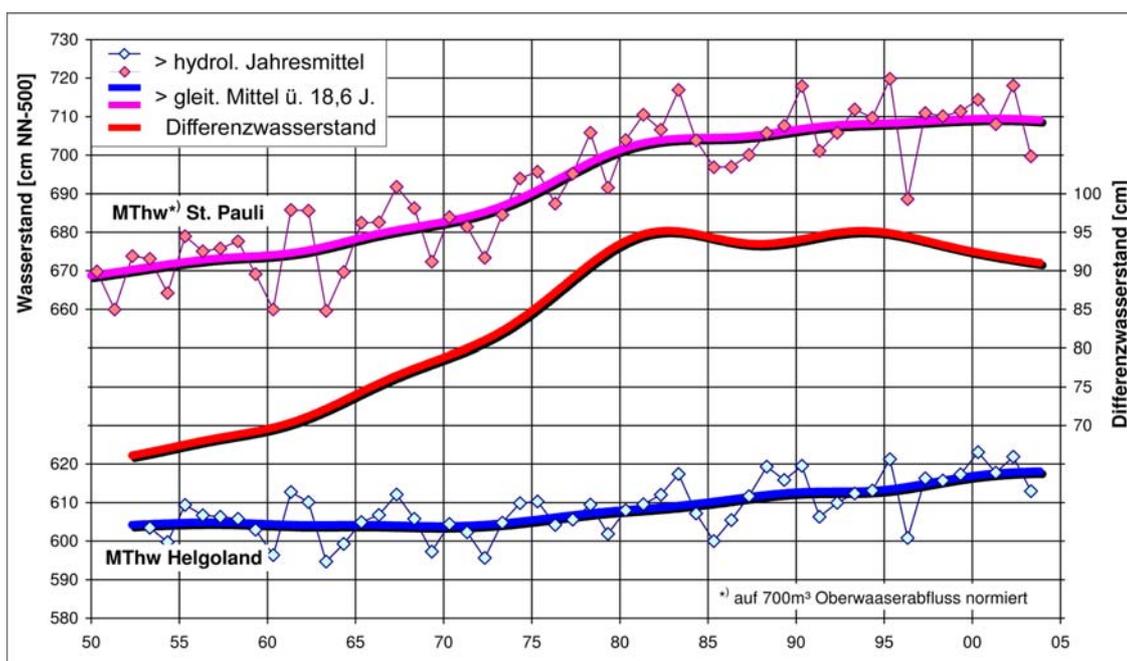


Abb. 7: Vergleich der MThw - Entwicklung zwischen dem Pegel Helgoland und St. Pauli

Hinsichtlich des MThw wird in Abb. 7 aber auch sehr deutlich erkennbar, dass sich der ansteigende Trend am Pegel St. Pauli seit Beginn der 80er nicht nur abgeschwächt, sondern im Vergleich zum Referenzpegel Helgoland zumindest in den letzten rd. 10 Jahren sogar in einen leicht abfallenden Trend umgedreht hat. Diese insbesondere für den Hochwasserschutz als positiv zu bewertende Trendumkehr scheint sich nach derzeitiger Datenlage trotz des Fahrwasserausbaus auch nach 1999 und zwar an allen Pegeln im Revier fortzusetzen.

Hingewiesen sei allerdings nochmals auf den Sachverhalt, dass die mittleren Tidehochwasserstände im Revier während der letzten 15-20 Jahre auf einem mehr oder weniger konstanten Niveau verharren und das relative Absinken de facto dem deutlichen Anstieg des MThw am Referenzpegel Helgoland zuzuschreiben ist.

Inwiefern auch hier die in jüngster Zeit zu beobachtende Phase einer relativ geringen Häufigkeit des Auftretens von schwereren Sturmfluten eine Rolle spielt, wird sich erst in den kommenden Jahren abzeichnen, wenn die Anzahl der Ereignisse wieder ein - im statistischen Sinne - vergleichbares Niveau erreicht hat.

Die Entwicklung des MTnw im Revier (vgl. Abb. 8) verläuft in Relation zum Referenzpegel Helgoland leider nicht so erfreulich wie beim MThw. Auch wenn sich der steile Abwärtstrend aus den 60er und 70er Jahren seit Beginn der 80er Jahre deutlich abgeschwächt hat, so ist eine nachhaltige Stabilisierung des MTnw noch nicht in Sicht.

Auch hier zeigt sich aber, dass ein Teil der Differenzen auf den in jüngster Zeit zu beobachteten Anstieg des MTnw am Referenzpegel Helgoland zurückzuführen ist. Ein Blick auf den jüngsten Trendverlauf des oberwasserabflussnormierten Tideniedrigwassers am Pegel St. Pauli zeigt, dass die tatsächliche Abnahme real gar nicht so groß ist, wie sie durch die Differenz abgebildet wird, da auch hier der zeitgleiche Anstieg des MTnw am Referenzpegel negativ zu Buche schlägt.

Dennoch kann auch für die Entwicklung des MTnw im Revier konstatiert werden, dass nach der Fahrrinnenanpassung von 1999 keine spürbare Veränderung der langfristigen Trends zu beobachten sind.

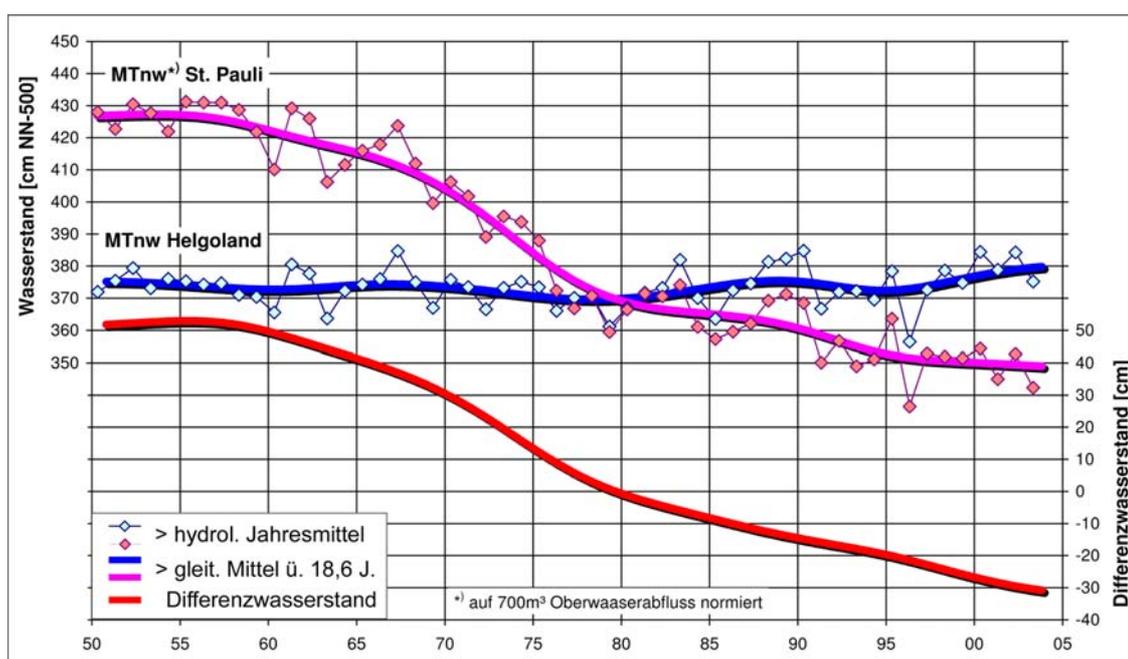


Abb. 8: Vergleich der MTnw - Entwicklung zwischen dem Pegel Helgoland und St. Pauli

## 5. Zur Ermittlung der Änderung von Scheitelwasserständen nach dem Ausbau

Die Kenntnis der ausbaubedingten Änderungen der Tidescheitelwasserstände ist in zweierlei Hinsicht von Interesse. Neben dem bereits einleitend beschriebenen Einfluss der mittleren Tidewasserstände auf die ökologischen Bedingungen im Uferraum, wird davon ausgegangen, dass eine längerfristig andauernde stetige Veränderung der mittleren Tidewasserstände eine Instabilität des Sockels indizieren kann, die gem. Planfeststellungsbeschluss ggf. (d. h. falls auch durch Peilungen bestätigt) durch eine künstliche Materialzugabe zu kompensieren wäre.

Als sog. Frühindikatoren für die Sockelinstabilität sind die Monatsmittelwerte der ausbaubedingten Wasserstandsänderungen zu ermitteln, während zur Beurteilung der ökologischen Folgewirkungen zunächst die im 5-jährigen Mittel ermittelten Wasserstandsänderungen mit den Schwellenwerten der in der UVU prognostizierten Änderungen (vgl. Abb. 2) abzugleichen sind. Erst bei einer Überschreitung dieser Schwellenwerte hat der TdV die Auswirkungen evtl. Überschreitungen untersuchen zu lassen.

Die im Rahmen der Beweissicherung zu ermittelnde Änderung der durch den Ausbau hervorgerufenen mittleren Tidewasserstände sind nach einem statistischen Verfahren durchzuführen, das auf einem Ansatz von NIEMEYER (1995) basiert. Der Ansatz verfolgt das theoretische Konzept, dass die nach einem Eingriff zu beobachtenden Differenzen zwischen den gemessenen und den auf Basis einer funktionalen Approximation berechneten Scheitelwerten als Ausbaufolge zu betrachten sind. Die Koeffizienten zur „Eichung“ der funktionalen Approximation sind dabei innerhalb eines geeigneten Referenzzeitraumes vor dem Eingriff durch eine multiple Regression über die als ausbauneutral angenommenen externen Einflussgrößen für jeden Pegelstandort zu ermitteln.

Das in der Methodik von NIEMEYER (1995) hierzu angewendete Verfahren der Doppelsummenanalyse zur Bestimmung eines geeigneten Referenzzeitraumes ist derzeit strittiger Gegenstand einer im Rahmen der Beweissicherung mit der Ländereinsvernehmensbehörde geführten Diskussion. Nach Auffassung des TdV ist das Verfahren der „Doppelsummenanalyse zur Festlegung geeigneter Referenzzeiträume“ wegen der beliebig justierbaren Toleranzgrenzen, die jegliche Objektivität vermissen lässt, ein ungeeignetes Instrument zur Anzeige wirklich trendfreier Referenzzeiträume.

Diese Auffassung wird im übrigen auch in der internationalen Fachliteratur geteilt. Die Projektgruppe der Beweissicherung hat zur Klärung der Frage, ob die erforderlichen Voraussetzungen hier vorliegen, die BAW als Gutachter eingeschaltet. Die BAW hat dazu ausgeführt, dass es einen geeigneten trendfreien Referenzzeitraum vor der letzten Fahrrinnenanpassung nicht gegeben hat. Dies bestätigen nicht zuletzt auch die langzeitstatistischen Entwicklungen der Tidewasserstände im Kapitel zuvor.

Die im Beweissicherungs-Bericht 2003 dargestellte Erweiterung des Ansatzes erlaubt dagegen auch die Auswertung und Analyse trendbehafteter Zeitreihen. Vor diesem Hintergrund hat der TDV eine geringfügige Modifikation des Berechnungsverfahrens vorgeschlagen.

Basis für die angewendete Methodik ist nach wie vor das statistische Modell nach NIEMEYER (1995), in dem als maßgebende Einflussgrößen zur Beschreibung der örtlichen Wasserstände an einem beliebigen Revierpegel (RP) im Ästuar der mittlere Scheitelwasserstand (entsprechend der Fragestellung MT<sub>nw</sub> oder MT<sub>hw</sub>) und der mittlere Tidenhub (MTh<sub>b</sub>) am Referenzpegel Helgoland, sowie der von der Tide unbeeinflusste mittlere Oberwasserabfluss Q<sub>m</sub>. Für die Elbe sind hierbei die Abflussverhältnisse am Pegel Neu Darchau oberhalb des Wehres in Geesthacht zu Grunde zu legen.

Mit der Wahl dieser drei Einflussgrößen ist einerseits die Voraussetzung gegeben, dass die unabhängigen Variablen von einem Eingriff im Regime unbeeinflusst bleiben, andererseits werden aber auch wesentliche kausale Wirkparameter zumindest implizit erfasst. Neben der direkten Berücksichtigung des Oberwasserabflusses, werden durch die Verwendung des Tidewasserstandes und des Tidenubs am Pegel Helgoland, unweit des Mündungsgebietes der Elbe, auch die in diesen Parametern eingepprägten astronomisch und meteorologisch bedingten Variationen, die zweifellos in einem ursächlichen Zusammenhang mit der Variation des örtlichen Wasserstandes stehen, indirekt erfasst.

In dem von Niemeyer gewählten allgemeinen linearen Modell (ALM) wird die Zielgröße (der örtlich gesuchte Scheitelwasserstand  $MT_{nw}$  bzw.  $MThw$ ) am jeweiligen Revierpegel (RP) durch eine lineare Superposition der gewichteten unabhängigen Einflussgrößen dargestellt, wobei der Einfluss des Oberwasserabflusses in Neu Darchau, soweit er denn vorhanden ist, durch eine nichtlineare Gewichtung erfasst wird.

$$\begin{array}{l}
 \overline{Thw}_{RP} = \widehat{a}_{RP} * \overline{Thw}_{HEL} + \widehat{b}_{RP} * \overline{Thb}_{HEL} + \widehat{c}_{RP} * \overline{Q}_{ND}^{\widehat{d}_{RP}} \\
 \text{bzw.} \\
 \overline{Tnw}_{RP} = \check{a}_{RP} * \overline{Tnw}_{HEL} + \check{b}_{RP} * \overline{Thb}_{HEL} + \check{c}_{RP} * \overline{Q}_{ND}^{\check{d}_{RP}}
 \end{array}
 \left. \begin{array}{l}
 RP = \text{Revierpegel} \\
 HEL = \text{Ref. - Pegel Helgoland} \\
 a - d = \text{Regres. - Koeffizienten}
 \end{array} \right\}$$

Für jeden zu betrachtenden Revierpegel (RP) im Ästuar müssen die Regressionskoeffizienten ( $a_{RP}$ ) bis ( $d_{RP}$ ) jeweils getrennt für die  $Thw$ - bzw.  $Tnw$ -Gleichung durch eine multiple Regressionsanalyse ermittelt werden. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurde hierzu die Software CurveExpert2 © D. G. HYAMS 1995-1998 eingesetzt.

Von besonderer Bedeutung für die statistische Aussagekraft der gewonnenen Regressionskoeffizienten ist der Zeitraum über den die Regressionsanalyse zur Bestimmung der Regressionskoeffizienten ( $a_{RP}$ ) bis ( $e_{RP}$ ) durchgeführt wird. Schließlich stellt die Anwendung stochastischer Methoden zur Beschreibung empirischer Zusammenhänge gewisse Anforderungen an den Umfang und die Homogenität der Datenbasis. Nur wenn die Variationen der berücksichtigten Parameter in der zu erwartenden Bandbreite in der Datenbasis abgebildet sind, können auch die Ergebnisse als repräsentativ angesehen werden. Dabei sollte aus der Analyse jeder Stichprobe innerhalb der zur Verfügung stehenden Grundgesamtheit der Daten vergleichbare Ergebnisse resultieren.

NIEMEYER (1995) weist hinsichtlich der Festlegung des „unbeeinflussten“ Bezugszeitraumes zudem darauf hin, dass die morphologischen Nachlaufwirkungen vorangegangener anthropogener Eingriffe abgeschlossen sein sollten, um das vorgeschlagene Modell sinnvoll anwenden zu können. Eine Differenzierung der aktuellen ausbaubedingten Änderungen von ggf. noch existenten morphologischen Nachlaufwirkungen zurückliegender anthropogener Eingriffe sowie anderen externen oder natürlichen Einflüssen, kann durch das gewählte Modell und den dabei berücksichtigten Parametern allerdings nicht abgebildet werden.

Dass der Referenzzeitraum über den die Regression durchgeführt wird, bzgl. der Wasserstandsentwicklung trendfrei sein muss, um plausible Zukunftsprognosen abgeben zu können erschließt sich auch schon aus der Tatsache, dass der Ansatz keinen zeitdiskreten Term enthält und somit selbst Veränderungen der Verhältnisse, die schon innerhalb des Referenzzeitraumes über die Zeit eingetreten sind, nicht wiedergegeben werden können. Diese Einschränkung ist bei der Analyse und Bewertung der Ergebnisse zu berücksichtigen.

Exemplarisch sei an dieser Stelle die Auswertung der Wasserstandsänderungen nach dem Ausbau für den Pegel Bunthaus durchgeführt, da der allgemein vorhandene Trend oberhalb Hamburgs besonders stark ausgeprägt ist und sich die Probleme mit dem Auswerteverfahren hier am deutlichsten aufzeigen lassen.

Als Referenz zur Bestimmung der Regressionskoeffizienten wurde hier ein Zeitraum von 10 Jahren vor dem Ausbau gewählt. Vorweggenommen sei, dass andere Referenzzeiträume - von der Grundaussage her - keine anderen Ergebnisse liefern, wie eine Parameterstudie über unterschiedliche Zeiträume ergeben hat.

Im so genannten Streudiagramm (vgl. Abb. 9) werden die gemessenen Scheitelwerte den berechneten gegenübergestellt, um die Güte der funktionalen Approximation zu überprüfen. Dabei ist eine gleichmäßige Verteilung der Ereignisse um die Diagonale (IST=SOLL) zu erkennen, was letztlich ja auch das Ziel einer Regressionsrechnung ist.

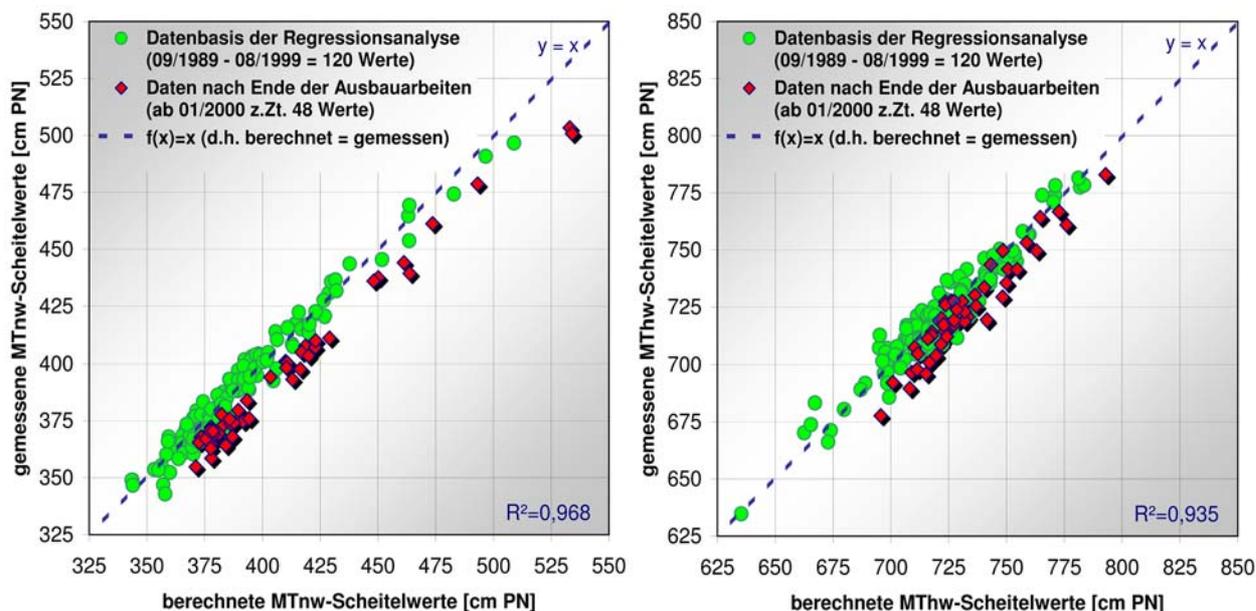


Abb. 9: Streudiagramme der berechneten und gemessenen Scheitelwerte im Referenz- und Prognosezeitraum

Das angegebene Bestimmtheitsmaß  $R^2$  ist das Quadrat des Pearson'schen Korrelationskoeffizienten und bildet ein Maß für den linearen Zusammenhang zweier Variablen. Der mittlere Fehler  $S_{xy}$  bzw. die Standardabweichung ist eine Maßzahl der Streuung.

Die Ereignisse nach dem Ausbau werden auf Basis der im Referenzzeitraum gewonnenen Regressionskoeffizienten berechnet und sollen daher als Prognosewerte bezeichnet werden. Sie liegen im Durchschnitt unterhalb der Diagonalen, d.h. dass die tatsächlich eingetretenen Wasserstände niedriger sind, als sie durch das statistische Modell prognostiziert werden. Tendenziell war dies ja zumindest für die MTnw-Scheitel auch erwartet worden. Für die MThw-Scheitel war man allerdings von steigenden Wasserständen ausgegangen.

Die Methodik des mit der Planfeststellungsaufgabe verordneten Verfahrens nach Niemeyer 1995 endet hier ohne weitere Diskussion der verantwortlichen Ursachen. Die so ermittelten Differenzen zwischen den gemessenen und prognostizierten Wasserständen nun ohne weiteres als „ausbaubedingt“ zu deklarieren, kann vor dem Hintergrund der knapp bemessenen und auf den Millimeter genau definierten Schwellenwerte nicht akzeptiert werden, zumal die Auswirkungen der bereits genannten Einschränkungen des Verfahrens bisher vernachlässigt wurden.

Die ebenfalls durch die Methodik vorgegebene und zuvor gewählte Darstellung des Vergleichs der Ergebnisse von Berechnung und Messung in Form des Streudiagramms erlaubt keine zeitliche Zuordnung der Ereignisse. Interpretationsfähige Ergebnisse erhält man erst, wenn die Differenzen zwischen Rechnung und Messung im Referenzzeitraum (vgl. Abb. 10 grüne Symbole) auch als Zeitreihe aufgetragen werden.

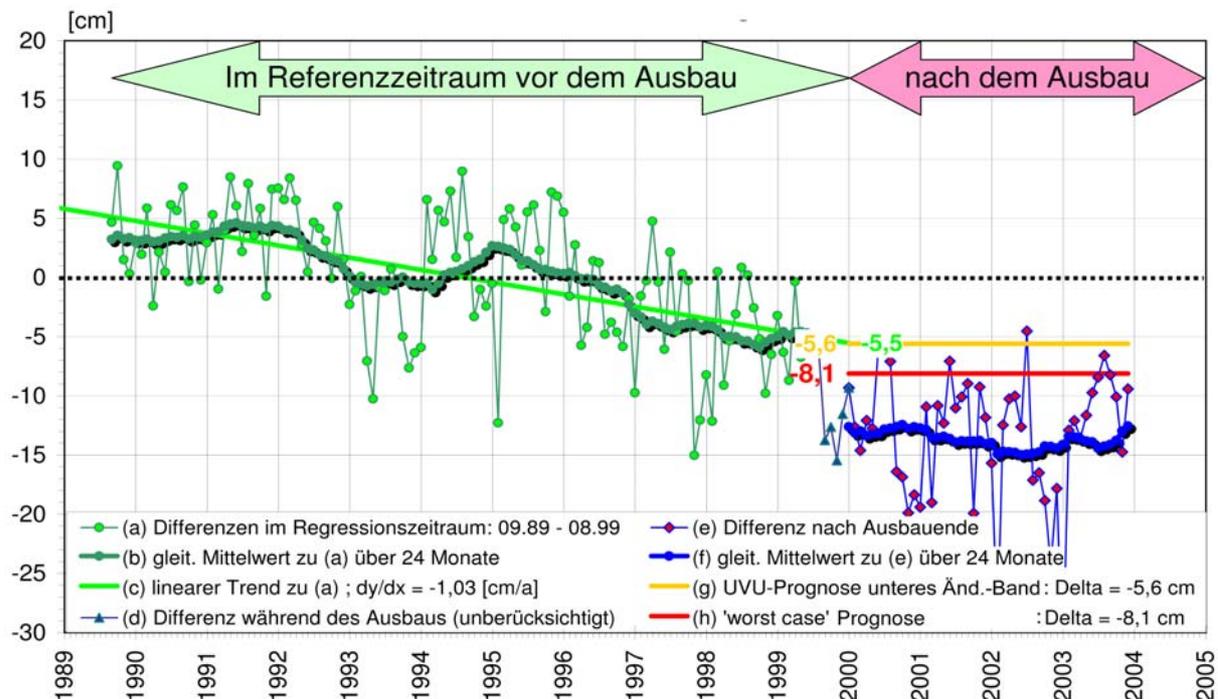


Abb. 10: Ganglinie der MTnw-Differenzen am Pegel Bunthaus, vor und nach dem Ausbau

Fügt man dann noch das übergreifende gleitende Mittel hinzu, so stellt sich - bei entsprechend hoher Auflösung gut erkennbar - die Streuung der Differenzen als trendbehaftet dar. Wie schon erwähnt, enthält der Ansatz keinen zeitdiskreten Term, so dass Veränderungen über die Zeit zwischen den betrachteten Variablen nicht funktional abgebildet werden können und somit einfach in der Differenz zwischen Messung und Berechnung verbleiben.

Dabei fällt auf, dass die Trendlinie etwa in der Mitte des Referenzzeitraumes ihren Nulldurchgang aufweist. Dies ist im Übrigen auch bei jedem anderen gewählten Zeitraum der Fall und liegt in der Natur der Regressionsrechnung begründet, die bestrebt ist die Summe der Fehlerquadrate zu minimieren. Damit dies gelingen kann, müssen sich die Regressionskoeffizienten so einstellen, dass sich die Differenzen und damit schließlich auch die Quadratfehler automatisch zu beiden Seiten der Zeitachse gleichmäßig verteilen, denn:

$$(-2)^2 + 2^2 \ll 4^2.$$

Die berechneten Werte werden somit, gleich wieweit die Prognose auch in Zukunft gerichtet ist, immer um ein konstantes mittleres Niveau fluktuieren, das dem vorhandenen Niveau in der Mitte des Referenzzeitraumes - also in diesem Beispiel um 1995 - entspricht. Dies führt dazu, dass sich die gemessenen Wasserstände bei Fortsetzung des langfristigen Trends immer weiter von den prognostizierten Werten entfernen.

Die Abb. 10. zeigt, dass bereits am Ende des Referenzzeitraumes, also unmittelbar vor Beginn des Ausbaus, die mittlere Abweichung zwischen Berechnung und Messung bei etwa 5,5 cm liegt. Folgt man dem Ansatz von Niemeyer 1995 konsequenterweise, wür-

de das heißen, dass der Schellenwert der UVU-Prognose von 5,6 cm bereits vor dem Beginn der Ausbaumaßnahme quasi vollständig verbraucht wäre.

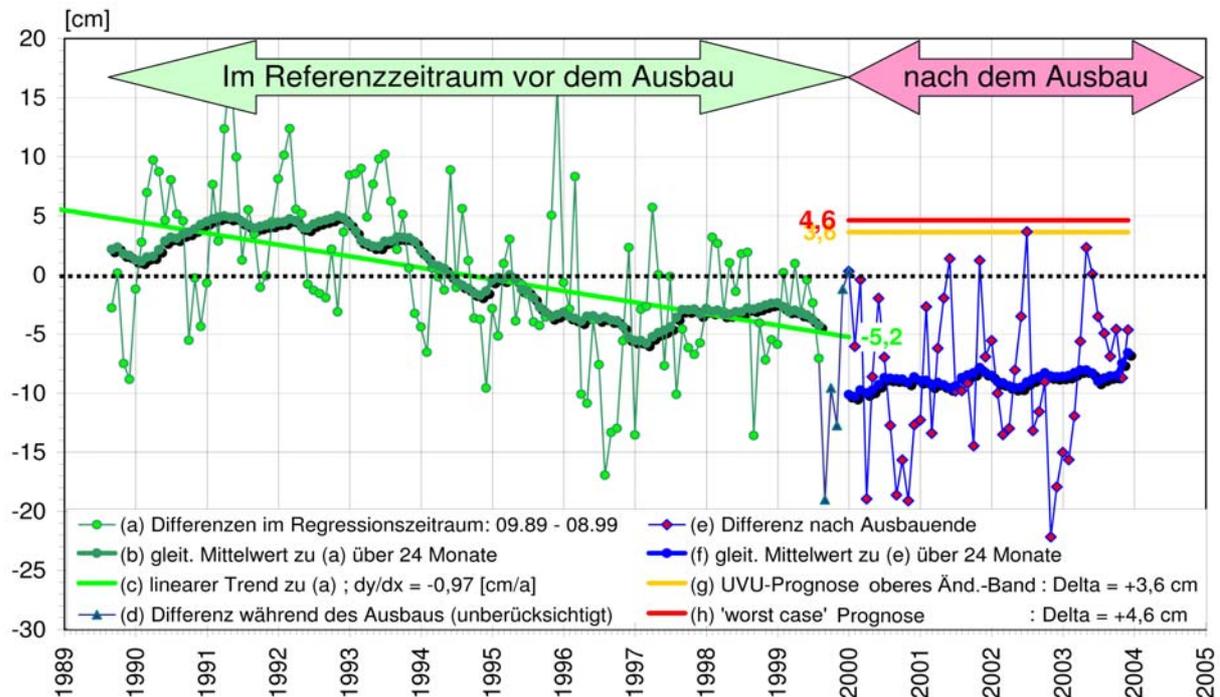


Abb.11: Ganglinie der MThw-Differenzen am Pegel Bunthaus, vor und nach dem Ausbau

Ein ähnliches Bild zeigt die Abb. 11 für die Differenzen der MThw-Scheitel. Auch wenn hier der vorhandene Trend den Ergebnissen weniger schadet, weil er entgegen den Erwartungen auch beim MThw scheinbar sinkende Wasserstände am Revierpegel begleitet, so bleibt die im Niemeyer-Verfahren getroffene Schlussfolgerung, die Differenzen zwischen den berechneten und gemessenen Wasserständen allein dem Ausbau zuzuschreiben dennoch falsch.

Wie bereits im Rahmen der "Langfristigen Wasserstandsentwicklungen" aufgezeigt, bewegen sich die MThw-Scheitel im Revier seit rd. 20 Jahren auf einem mehr oder weniger konstanten bis leicht steigendem Niveau ( $m \cong 0,1 \text{ cm/a}$ ). Ein reales Absinken der MThw-Scheitel kann also de facto nicht registriert werden. Die durch das Verfahren ausgewiesene Zunahme der negativen Differenzen zwischen den gemessenen und prognostizierten Werten ist somit allein auf das Ansteigen der MThw-Scheitel am Referenzpegel in Helgoland zurückzuführen.

Eine Ergänzung des Niemeyer-Ansatzes durch die zusätzliche Einführung eines zeitrelevanten Terms, erlaubt die Berücksichtigung von langfristigen Trends und sollte bei den hier durchzuführenden Auswertungen zulässig sein. Wie die bisherigen Auswertungen gezeigt haben, erscheint dabei die Verwendung einer linearen Funktion hinreichend genau.

$$\overline{Thw}_{RP} = \hat{a}_{RP} * \overline{Thw}_{HEL} + \hat{b}_{RP} * \overline{Thb}_{HEL} + \hat{c}_{RP} * \overline{Q}_{ND}^{\hat{d}_{RP}} + F(t)$$

bzw.

$$\overline{Tnw}_{RP} = \check{a}_{RP} * \overline{Tnw}_{HEL} + \check{b}_{RP} * \overline{Thb}_{HEL} + \check{c}_{RP} * \overline{Q}_{ND}^{\check{d}_{RP}} + F(t)$$

$$\left. \begin{array}{l} RP = \text{Revierpegel} \\ HEL = \text{Ref.-Pegel Helgoland} \\ a - d = \text{Regres.-Koeffizienten} \\ F(t) = \text{lineare Funktion} : a + bm \end{array} \right\}$$

Die Abb. 12, 13 und 14 zeigen in den Streudiagrammen sowie den Ganglinien der Differenzen bei Verwendung dieser Erweiterung eine erheblich bessere Übereinstimmung im Referenzzeitraum. Im Prognosezeitraum nach dem Ausbau wird die Schlussfolgerung die Differenzen dem Ausbau zuzuschreiben, den tatsächlichen Verhältnissen weitaus gerechter.

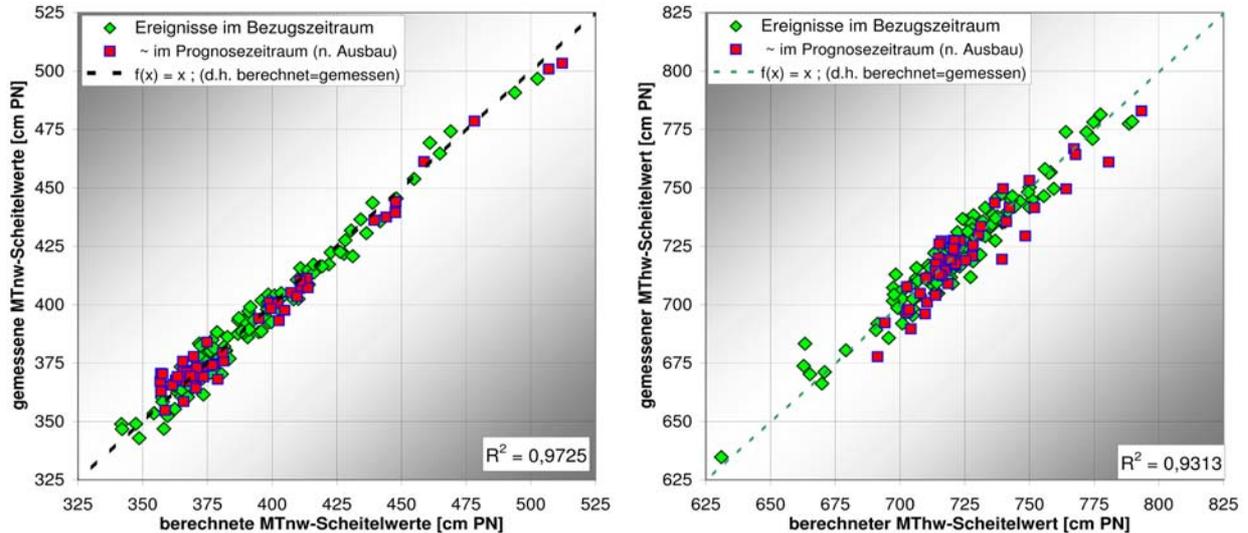


Abb.12: Streudiagramme der im Referenz- und Prognosezeitraum, bei Ergänzung mit  $F(t) = a+bm$

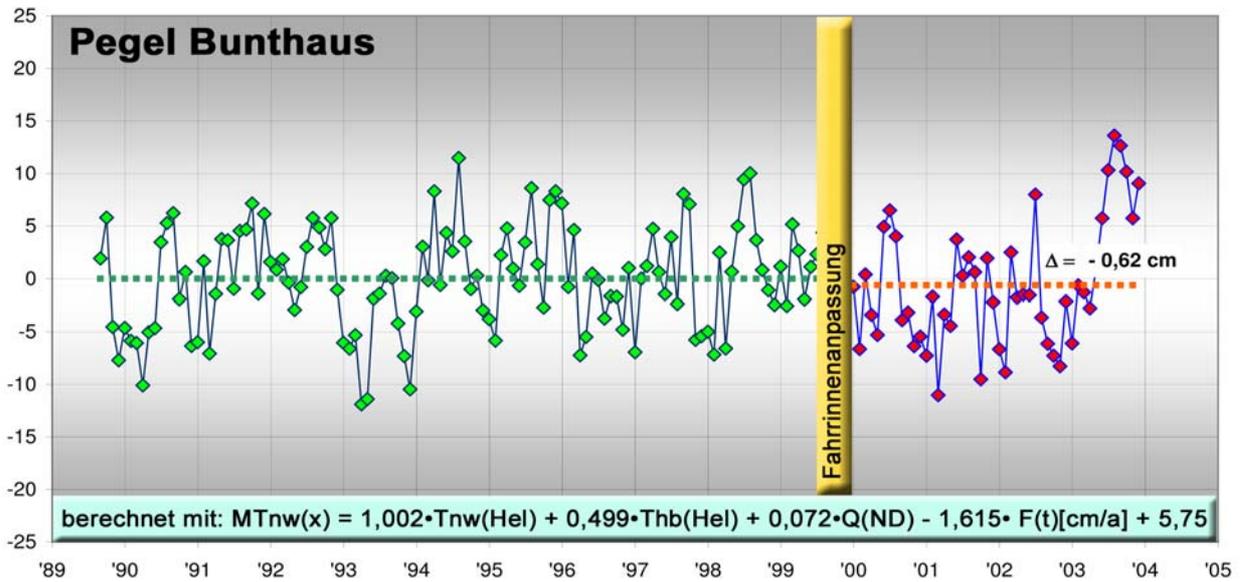


Abb.13: Ganglinie der MTnw-Differenzen am Pegel Bunthaus, bei Ergänzung mit  $F(t) = a+bm$

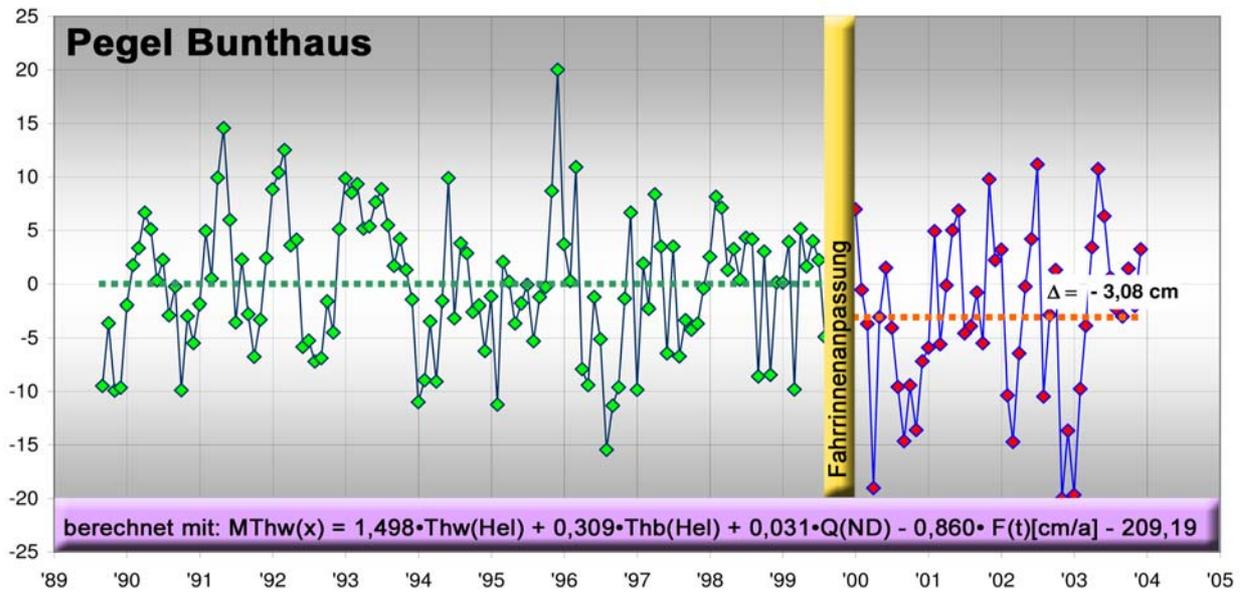


Abb.14: Ganglinie der MThw-Differenzen am Pegel Bunthaus, bei Ergänzung mit  $F(t) = a+bm$

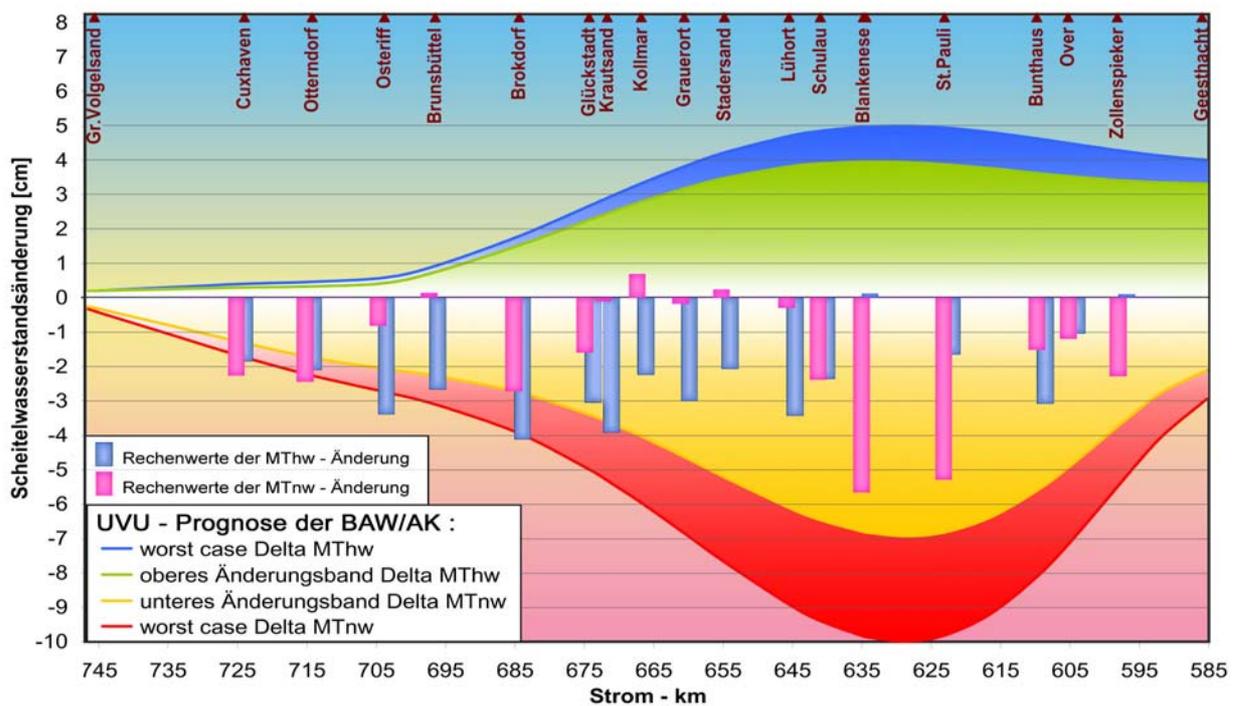


Abb.15: Vergleich der MThw- und MTnw Scheiteländerungen mit den UVU-Prognosen der BAW

Die Abb.15 zeigt einen Vergleich der so ermittelten Scheitelwasserstandsänderungen mit den UVU-Prognosen der BAW und belegt, dass Änderungen, ob nun ausbaubedingt oder natürlicher Art innerhalb der als Schwellenwerte definierten unteren und oberen Änderungsbander liegen.

### 6. Entwicklung der Eintrittshäufigkeit von Sturmflutwasserständen

Ein weitere Auflage im Planfeststellungsbeschlusses schreibt vor, an ausgewählten Pegeln der Außen- und Unterelbe die Sturmflutwasserstände zu erfassen und deren Ein-

trittshäufigkeit nach DIN 4049 mit der Jahresreihe 1956 bis 1995 zu vergleichen. In der DIN 4049 werden Sturmfluten nach der statistisch ermittelten Eintrittshäufigkeit der Höhe ihrer Scheitelwasserstände gekennzeichnet.

Eine "leichte" Sturmflut hat eine Eintrittshäufigkeit von 0,5 - 10 im Jahr,

eine "schwere" Sturmflut 0,05 bis 0,5 und

eine "sehr schwere" Sturmflut <0,05.

Die an den einzelnen Pegeln jeweils festgestellten Grenzhöhen für die einzelnen Schwerestufen werden als Grundrelation für die Beweissicherung herangezogen. Abweichungen der Sturmfluthäufigkeiten sollen über Änderungen der Grenzhöhen definiert werden.

Die Überschreitungshäufigkeiten von Tidehochwassern für die Jahresreihe 1956/95 sind in Abb. 17 am Beispiel des Pegels St. Pauli dargestellt. Ergänzend dazu sind zum Vergleich auch die Jahresreihen 1956/75 sowie 1976/95 abgebildet, um die eingetretenen Veränderungen der Hochwasserscheitel in diesem Zeitraum zu verdeutlichen. So liegt die Grenzhöhe für "leichte" Sturmfluten (Eintrittshäufigkeit: 10 x pro Jahr) auf Basis der Zeitreihe 1956/95 bei 326 cm NN, auf Grundlage der Zeitreihe 1976/95 jedoch bereits bei 343 cm NN. Derartige langfristige Entwicklungen müssen bei einer Bewertung möglicher zukünftiger Änderungen der Eintrittshäufigkeiten von Sturmflutwasserständen berücksichtigt werden.

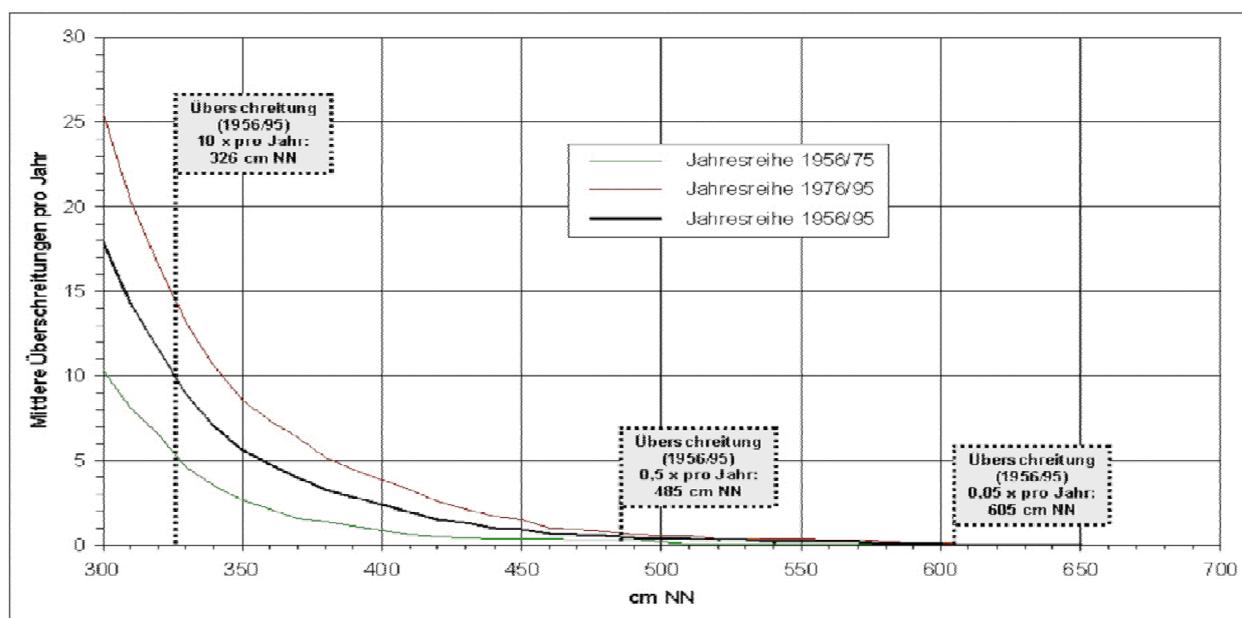


Abb. 16: Mittlere jährl. Überschreitungshäufigkeiten des Thw am Pegel St. Pauli für verschiedene Jahresreihen

Die auf Basis der Zeitreihe 1956/95 ermittelten Grenzhöhen für "leichte", "schwere" und "sehr schwere" Sturmfluten sind für die oben genannten Pegel in Tabelle 1 aufgeführt. Dort finden sich auch die Überschreitungen der ermittelten Grenzhöhen für die gewässerkundlichen Jahre ab 1996.

"Sehr schwere" Sturmfluten sind demnach seit 1996 an keinem Pegel zu verzeichnen gewesen. Die zeitliche Verteilung "schwerer" Sturmfluten ist an den zu betrachtenden Pegeln ausgesprochen ähnlich: 1996, 1997, 1998, 2001 und 2003 waren an keinem Messort "schwere" Sturmfluten zu verzeichnen, in 2000 eine und in 2002 zwei, während im Jahr 1999 in Helgoland, Cuxhaven, Brunsbüttel und Kollmar die entsprechenden

Grenzhöhen ebenfalls einmal, in Schulau, St. Pauli und Zollenspieker dagegen zweimal erreicht oder überschritten wurden.

Die Entwicklung "leichter" Sturmfluten seit 1996 ist etwas differenzierter zu betrachten und wird daher in Abb. 17 zusätzlich veranschaulicht:

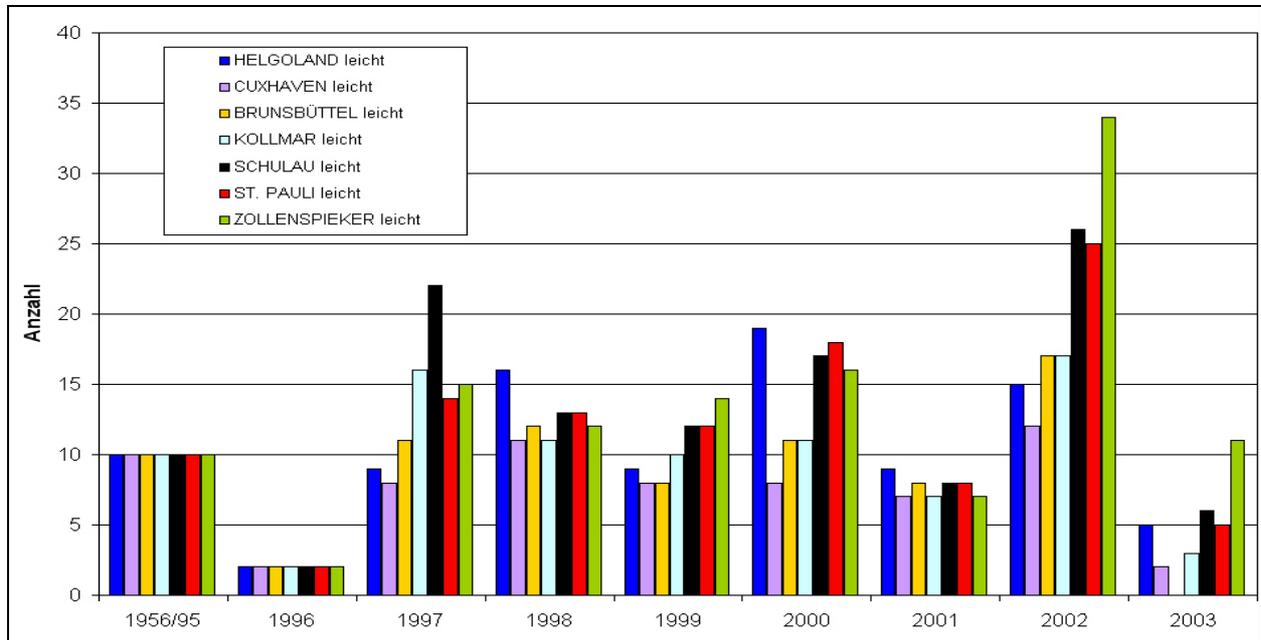


Abb. 17: Anzahl "leichter" Sturmfluten nach DIN 4049 (Basis: Zeitreihe 1956/95)

Tab. 1: Eintrittshäufigkeiten von Sturmflutwasserständen nach DIN 4049 (Basis: Jahresreihe 1956 bis 1995) für die Pegel Helgoland, Cuxhaven, Brunsbüttel, Kollmar, Schulau, St. Pauli und Zollenspieker ab 1996

	Helgoland			Cuxhaven			Brunsbüttel			Kollmar			Schulau			St. Pauli			Zollenspieker		
	Leicht	Schwer	Sehr schwer	Leicht	Schwer	Sehr schwer	Leicht	Schwer	Sehr schwer	Leicht	Schwer	Sehr schwer	Leicht	Schwer	Sehr schwer	Leicht	Schwer	Sehr schwer	Leicht	Schwer	Sehr schwer
Grenzhöhe (cm PN):	667	758	830	767	882	990	765	895	1020	780	926	1060	800	957	1079	826	985	1105	868	1005	1111
1956/95	10	0,5	0,05	10	0,5	0,05	10	0,5	0,05	10	0,5	0,05	10	0,5	0,05	10	0,5	0,05	10	0,5	0,05
1996	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0
1997	9	0	0	8	0	0	11	0	0	16	0	0	22	0	0	14	0	0	15	0	0
1998	16	0	0	11	0	0	12	0	0	11	0	0	13	0	0	13	0	0	12	0	0
1999	9	1	0	8	1	0	8	1	0	10	1	0	12	2	0	12	2	0	14	2	0
2000	19	2	0	8	2	0	11	2	0	11	2	0	17	2	0	18	2	0	165	2	0
2001	9	0	0	7	0	0	8	0	0	7	0	0	8	0	0	8	0	0	7	0	0
2002	15	1	0	12	1	0	17	1	0	17	1	0	26	1	0	25	1	0	34	1	0
2003	5	0	0	2	2	2	fehlt	fehlt	fehlt	3	0	0	6	0	0	5	0	0	11	0	0
2004																					
2005																					
Mittel 96/03:	10,5	0,5	0,0	7,3	0,5	0,0	9,9	0,6	0,0	9,6	0,5	0,0	13,3	0,6	0,0	12,1	0,6	0,0	13,9	0,6	0,0

Generell ist eine Zunahme "leichter" Sturmfluten von der Mündung nach Oberstrom zu verzeichnen, was zum großen Teil auf die Auswahl des Bezugs-Zeitraums 1956/95 zurückzuführen ist. Insbesondere an den oberstromigen Pegeln, die in den letzten Jahrzehnten erheblichen Wasserstandsveränderungen unterlagen, führt die Zugrundelegung dieses Zeitraums zu einer Ermittlung zu niedriger Grenzhöhen. Infolge dessen liegen die Überschreitungshäufigkeiten im jährlichen Mittel der Jahre 1996/2002 an den Pegeln Schulau, St. Pauli und Zollenspieker bei 13 bis 14, während sie in Cuxhaven, Brunsbüttel und Kollmar um 10 oder darunter liegen. Die sehr hohe Anzahl an Überschreitungen am Pegel Zollenspieker im Jahr 2002 ist zudem auf die extremen Oberwasserabflussverhältnisse in diesem Jahr zurückzuführen.

Die Auswahl der Jahresreihe 1956/95 als Grundlage für die Ermittlung von (möglichen) Änderungen der Sturmfluthäufigkeit ist problematisch. In den Zeitraum 1956 bis 1995 fallen eine Reihe großer Baumaßnahmen in und an der Elbe, die die Charakteristik von Sturmfluten im inneren Elbeästuar nachhaltig verändert haben. Neben dem Ausbau der Elbe auf KN -13,50 m sind hier vor allem die Deichbaumaßnahmen an der Elbe hervorzuheben, die maßgeblich zu einer deutlichen Erhöhung der Sturmflutscheitel im Ästuar beigetragen haben. Die Jahresreihe 1956/95, die im Hinblick auf Änderungen der Sturmfluthäufigkeiten als "Grundrelation" herangezogen werden soll, spiegelt die Wasserstandsverhältnisse vor Beginn des letzten Fahrrinnenbaus also nur verzerrt wider. Folgewirkungen der Fahrrinnenanpassung von Unter- und Außenelbe auf die Eintrittshäufigkeiten von Wasserständen lassen sich aus den vorliegenden Daten dennoch nicht ableiten.

#### 7. Ermittlung ausbaubedingter Änderungen so genannter Stauwerte (Niemeyer 1997)

Bei diesem Verfahren soll in ähnlicher Weise wie bei dem Niemeyer 1995 - Verfahren die Veränderung der so genannten Stauwerte während einer Sturmflut nach dem Ausbau untersucht und quantifiziert werden. Als Stau versteht sich hier die Differenz zwischen dem eingetretenen und einem mittleren Hochwasserscheitel, also eine Akkumulation von im wesentlichen Windstau sowie astronomischen Einwirkungen, Fernwellen und sonstigen externen Einflussgrößen. Auch hier geht der Grundgedanke davon aus, dass eine nach dem Eingriff ggf. beobachtete Abweichung von der funktionalen Approximation, die für einen im Planfeststellungsbeschluss nicht näher definierten Zeitraum vor dem Ausbau aufgestellt wird, einzig und allein dem Ausbau zuzuschreiben ist.

Auch bei diesem Ansatz hat der TDV bereits zu Beginn der Beweissicherungsmaßnahme seine Sorgen hinsichtlich der bei diesem vorgeschriebenen Verfahren vorgenommenen Vereinfachungen zu Bedenken gegeben. Abgesehen von der mangelnden Berücksichtigung natürlicher Ursachen die für Änderungen im Sturmflutverlauf verantwortlich gemacht werden müssen, ist eine gewisse Abhängigkeit vom Eintreten statistischer Zufallsgrößen (Sturmflutwasserstände) im Untersuchungszeitraum zu bemängeln. Denn erst bei Vorliegen einer ausreichenden Grundgesamtheit wird eine empirische Beziehung unempfindlich gegenüber einzelnen Ausreißern. Bis diese Grundgesamtheit in ausreichendem Maße vorliegt (statistische Tests können dabei Auskunft über den Vertrauensbereich einer verfügbaren Datenbasis geben), können viele Jahre ohne nennenswerte Sturmflutereignisse ins Land gehen, wie die jüngste Vergangenheit gezeigt hat. Je länger die zu betrachtende Maßnahme zurückliegt, desto schwieriger wird aber auch eine eindeutige ursächliche Zuordnung einer sich möglicherweise abzeichnenden Veränderung.

Ohne die hierzu durchgeführten Auswertungen schon als abgeschlossen bezeichnen zu wollen, sollen hier einige der angesprochenen Problempunkte am Beispiel der Stauentwicklung für den Pegel St. Pauli vorgestellt werden. Zunächst ist die Frage nach einem sinnvollen Referenzpegel und -zeitraum zu diskutieren.

Die Beziehung zwischen den Stauwerten an einem vom Oberwasserabfluss beeinflussten Revierpegel und dem externen unbeeinflussten Referenzpegel ist um einen Term zur Berücksichtigung des Oberwassereinflusses zu erweitern. In sehr guter Näherung kann dieser Einfluss, wie auch jahrzehntelange Erfahrungen mit dem Sturmflutvorhersageverfahren WADI III gezeigt haben, durch einen linearen Term beschrieben werden. Die Unterschiede bei der Verwendung von "nichtlinearen" Funktionen zur Berücksichtigung des Oberwassereinflusses liegen im Millimeterbereich und sind physikalisch nicht begründet. Damit kann der Stau an einem Pegel der dem Einfluss des Oberwassers unterliegt, durch die Funktion:

$$ST_{RP} = a_{RP} \cdot ST_{Ref.-Pegel} + b_{RP} \cdot \bar{Q}_{ND}$$

näherungsweise beschrieben werden, wobei  $\bar{Q}_{ND}$  einen mittleren Oberwasserabfluss der vergangenen 2-6 Tage darstellt. Diese Mittelung macht Sinn, weil die oberwasserbedingte Wasserstandshebung an einem Pegel im Tiderevier nicht vom aktuellen Wert in Neu Darchau abhängig ist, da dieser z. B. Hamburg erst rd. 2 Tage später erreicht.

Wenn im Zuge der Erläuterungen zu den nachfolgenden Darstellungen von oberwasserabflussnormierten Stauwerten am Pegel St. Pauli gesprochen wird, dann ist damit die Differenz ( $ST_{RP} - b_{RP} \cdot \bar{Q}_{ND}$ ) gemeint. Zur Veranschaulichung der effektiven Streubreite und Kontrolle der Funktionsgüte des Steigungskoeffizienten  $a_{RP}$  ist diese Form der Darstellung am besten geeignet.

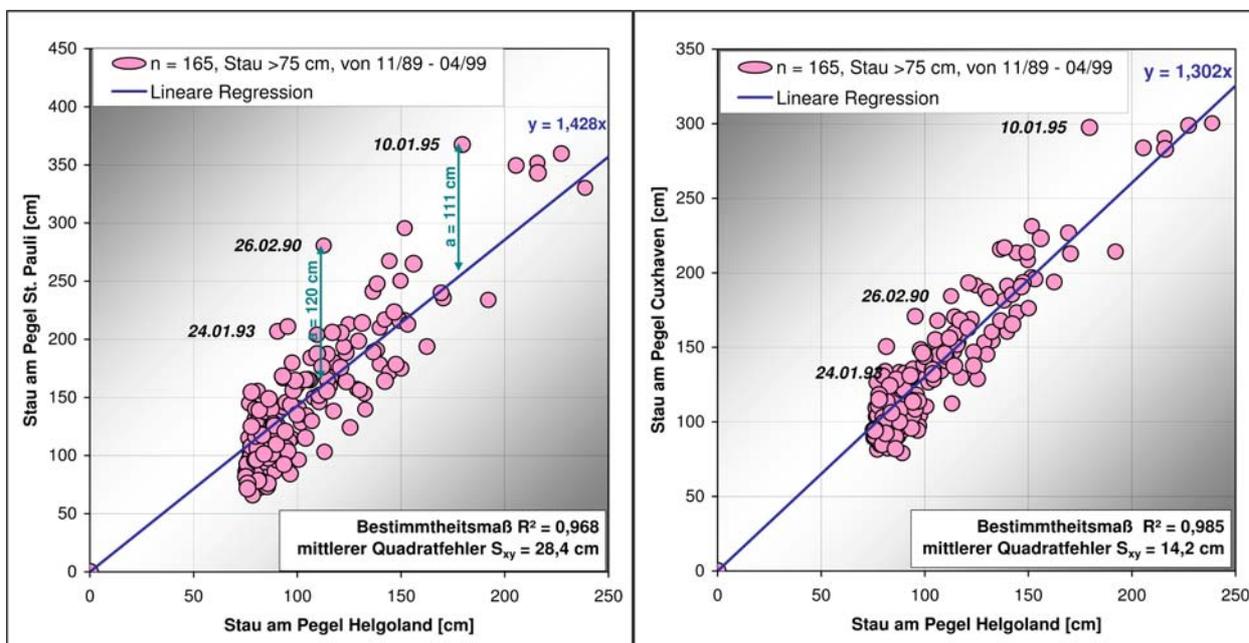


Abb. 18: Beziehung zwischen dem Stau am Pegel St. Pauli u. Helgoland bzw. Cuxhaven u. Helgoland (rechts).

Die exemplarisch für den Zeitraum von 1989-1999 in Abb. 18 dargestellte Auftragung der oberwasserabflussnormierten Stauwerte am Pegel St. Pauli über die Stauwerte am Pegel Helgoland weist eine starke Streuung mit einem mittleren Fehler von 28,4 cm auf. Einzelne Werte weichen bis zu 120 cm von der funktionalen Approximation ab.

Damit fehlt einer funktionalen Beziehung zwischen den Stauwerten in St. Pauli und Helgoland schon im Referenzzeitraum die erforderliche Güte, um zuverlässige Stauwerte für den Zeitraum nach dem Ausbau hinreichend genau prognostizieren zu können. Die Einhaltung eines Schwellenwertes von 3 cm ist vor dem Hintergrund einer derart großen Streubreite ein reines Zufallsprodukt.

Dass diese Streuung vielfach bereits zwischen Helgoland und Cuxhaven im Küstenvorfeld "produziert" wird, zeigt die Auftragung der Stauwerte am Pegel Cuxhaven über die Stauwerte am Pegel Helgoland (vgl. a. Abb. 18 re.). Schon auf dieser relativ kurzen Distanz wird das Ereignis vom 10.01.1995 zu einem so genannten Ausreißer, der durch die funktionale Beziehung die der Datengrundgesamtheit genügt, nicht mehr abgebildet werden kann. Dagegen ist das Ereignis vom 26.02.90 offenbar erst zwischen Cuxhaven und St. Pauli - durch welche Einflüsse auch immer - zum Ausreißer geworden.

Dennoch ist zur Minimierung der äußeren nicht abbildbaren Einflüsse im Küstenvorfeld für diese Aufgabenstellung die Verwendung des Pegels Cuxhaven als Referenzpegel gegenüber Helgoland zu bevorzugen.

Für die in Abb. 19 (links) aufgetragenen 103 Ereignisse im Zeitraum von 11/1989 bis 04/1999 mit Stauwerten am Referenzpegel Cuxhaven von > 115 cm ergibt die durchgeführte Regressionsanalyse für  $b_{RP}$  einen Wert von 0,01 oder 10 cm/1000m<sup>3</sup>, der exakt dem im WADI III verwendeten Wert entspricht. Die Streuung ist erheblich geringer, was auch in einem geringeren mittleren Fehler von 17 cm zu Ausdruck kommt.

In der Abb. 19 (rechts) sind zusätzlich die Ereignisse nach der Fahrrinnenanpassung für den Zeitraum 11/99-05/03 dargestellt. In diesen Zeitraum vielen weitere 28 Ereignisse mit Stauwerten >115 cm am Referenzpegel Cuxhaven. Da bei diesen Darstellungen der Oberwassereinfluss bereits herausgerechnet ist, wird die Höhe des mittleren Abflusses am Pegel Neu Darchau durch die Größe der Symbole repräsentiert, um mögliche systematische Auffälligkeiten leichter zu erkennen.

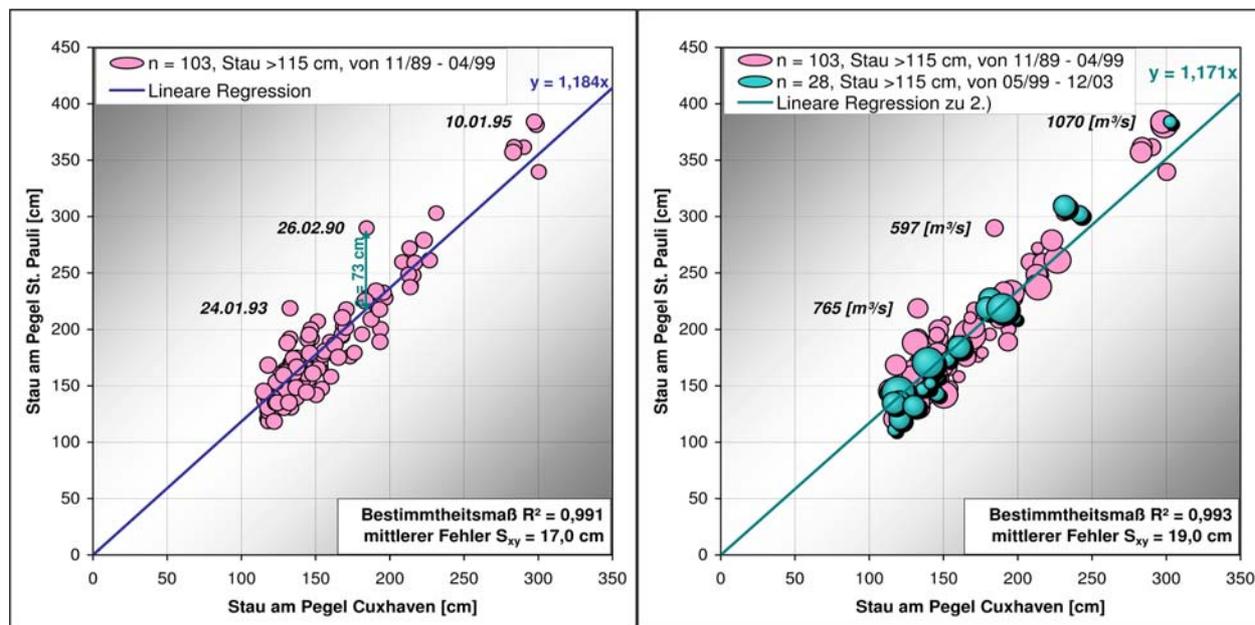


Abb. 19: Beziehung zwischen dem Stau am Pegel Cuxhaven und St. Pauli vor und nach dem Ausbau.

Der exemplarisch für die in Abb. 18 ausgemachten Ausreißer ausgewiesene mittlere Oberwasserabfluss belegt, dass die Ursachen für die größeren Abweichungen woanders gesucht werden müssen. Die Regressionsgerade für die Ereignisse nach dem

---

Ausbau liegt exakt über der für die Daten vor dem Ausbau, d.h. der funktionale Zusammenhang zwischen dem Stau in St. Pauli und Cuxhaven ist gegenüber dem Zeitraum vor dem Ausbau unverändert. Die mittlere Abweichung der 29 Ereignisse von der funktionalen Approximation für die Ereignisse vor dem Ausbau beträgt zzt. +0,3 cm.

### 8. Fazit

Das Ausmaß der Wasserstandsveränderungen wird als ein wichtiger Indikator für die Intensität der Auswirkungen einer Fahrrinnenvertiefung angesehen. Es ist davon auszugehen, dass große Wasserstandsveränderungen einher gehen mit entsprechend starken Veränderungen der weiteren hydrologischen Parameter (z. B. Strömungen), die wiederum gemeinsam u.a. auf Erosion und Sedimentation, die Ufertopographie und weitere Schutzgüter wirken. Im Umkehrschluss folgt daraus, dass geringfügige Wasserstandsänderungen, wie sie auch von der BAW prognostiziert wurden, kaum zu nennenswerten Beeinträchtigungen der Umwelt führen werden.

Die durchgeführten Auswertungen zu den mittleren Scheitelwasserständen zeigen, dass objektiv betrachtet, keine Überschreitungen der UVU-Prognosen eingetreten sind. Insbesondere der erwartete Anstieg des MThw, dem in der UVU eine wichtige Bedeutung zugesprochen wurde, da er zu einer Beeinträchtigung ufernaher Biotope führen kann, ist ausgeblieben.

Die Entwicklung der Stauwerte im Ästuar bei Sturmflutbedingungen lässt ebenfalls keine Tendenz zu Veränderungen in die eine oder andere Richtung erkennen.

Die mit dem Planfeststellungsbeschluss auferlegten stochastischen Methoden sind nicht wirklich geeignet, um die ausbaubedingten von den natürlich verursachten Änderungen zu separieren. Durch die Einführung eines zusätzlichen zeitdiskreten Terms konnte zumindest der langfristige Trend herausgefiltert werden.

## FACHTHEMA: WEITERE HYDROLOGISCHE PARAMETER

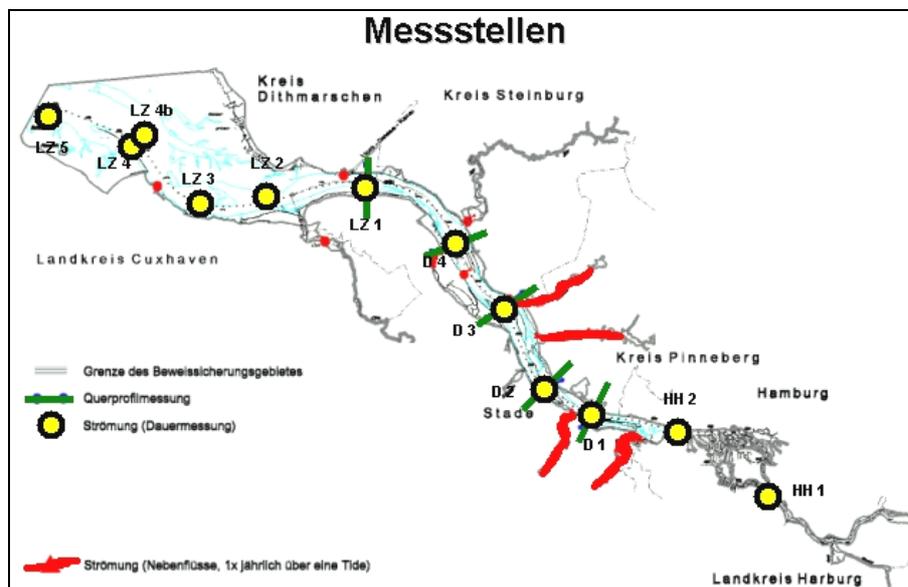
Dipl.-Ozeanograph Lothar J. R. Neumann

Neben den Untersuchungen zur Wasserstandsentwicklung werden in den Anordnungen des Planfeststellungsbeschlusses weitere Untersuchungen hydrologischer Parameter gefordert. Hierbei handelt es sich um:

- Untersuchungen zur Entwicklung der Strömungsgeschwindigkeiten
- Salzgehalts-, bzw. Leitfähigkeitsuntersuchungen
- Dokumentation der Sauerstoffgehalte (ARGE-Elbe-Daten)
- Untersuchungen des Schwebstoff- und Sauerstoffregimes im Umfeld der Baggerarbeiten (Baggern, Verklappen)
- Aufbau eines Sedimentkatasters

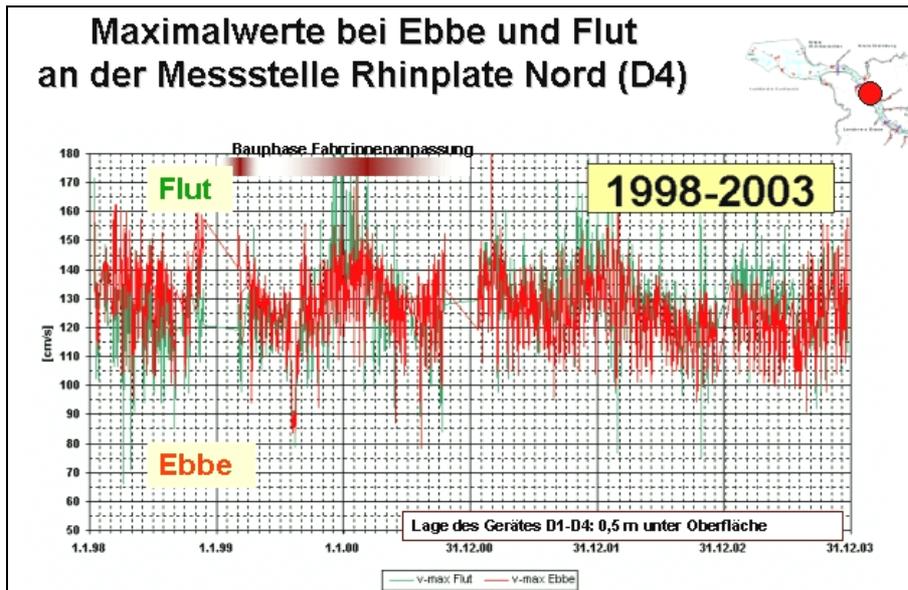
### Strömungsgeschwindigkeiten

Zur Ermittlung von ausbaubedingten Änderungen der Strömungsgeschwindigkeiten wurden im Planfeststellungsbeschluss Dauermessungen an 12 Positionen, Messungen über eine Tide an 4 Positionen in den Nebenflüssen Pinnau, Krückkau, Este, Lühe und Wischhafener Süderelbe sowie Querprofilmessungen über einen Spring-Nipp-Zyklus an den Dauermessstellen D1 bis D4 sowie in den Nebenelben Wischhafener Fahrwasser, Pagensander und Hahnöfer Nebenelbe, angeordnet.



Signifikante Änderungen der Geschwindigkeiten nach Abschluss der Maßnahme im Herbst 2000, die einen Einfluss der neuen Fahrrinntiefen und Breiten anzeigen würden, sind aus den Messergebnissen nicht ableitbar.

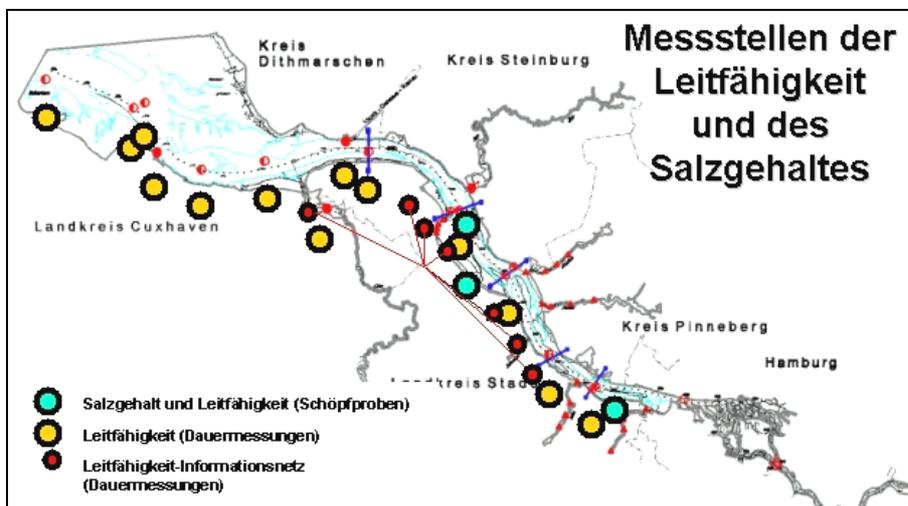
Vor dem Hintergrund der natürlichen Schwankungen von 150 bis 200 cm/sec sind die sehr geringen Änderungen der Geschwindigkeiten von 3 bis 5 cm/sec, die in der Umweltverträglichkeitsuntersuchung auf Grundlage von Rechenmodellen prognostiziert wurden, in der Natur so gut wie nicht nachweisbar.



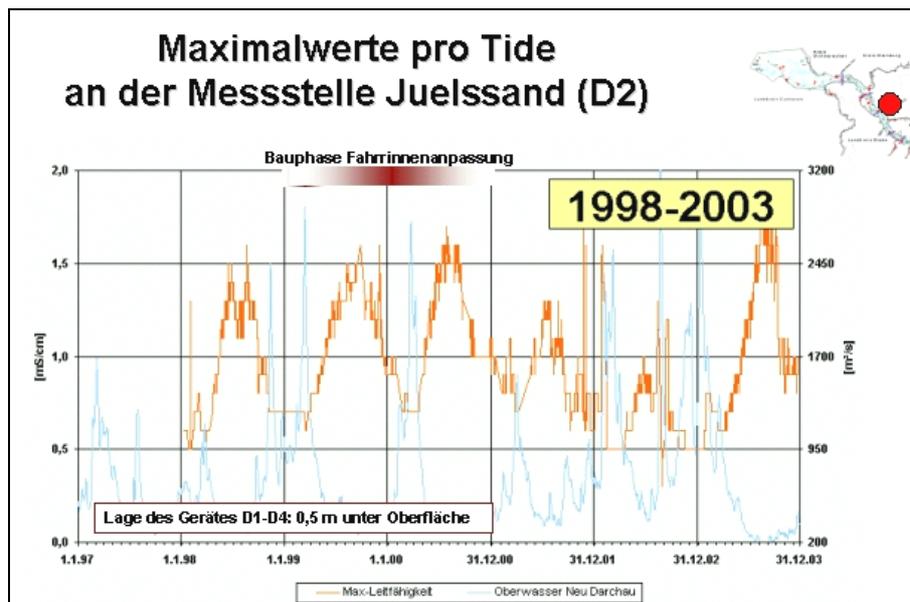
Die im Planfeststellungsbeschluss angeordneten Messintervalle sowie die Auswahl der Messorte sind nicht geeignet kleinräumige Änderungen im Strömungsregime zu erkennen. Sie dienen jedoch auch nicht diesem Zweck, sondern sollen lediglich überprüfen, ob es zu signifikanten Änderungen nach Abschluss der Baumaßnahmen kam, bzw. kommen wird. Dass dies nicht der Fall ist, zeigen sowohl die Ergebnisse der Dauer-messstationen am Fahrwasserrand (siehe beispielhafte Abbildung oben), die 14-tägigen Querschnittsmessungen in der Hauptelbe mit Nebenelben als auch die jährlichen 1-Tidemessungen in den Nebenflüssen. Allen Messreihen ist bislang gemein, dass sie weder einen Sprung in der Ganglinie nach 2000, noch einen sich abzeichnenden Trend, bzw. eine Trendänderung zeigen.

**Salzgehalt, bzw. Leitfähigkeit**

Die Messungen der Leitfähigkeit und der Temperatur, aus denen der Salzgehalt berechnet wird, werden zum einen an den Dauer-messstationen D1 bis LZ5 vorgenommen, zum anderen an Sperr- und Schöpfwerken auf der niedersächsischen Seite der Elbe. Darüber hinaus wird der Salzgehalt von wöchentlichen Schöpfproben vom Stör-sperrwerk und vom Pegel Krautsand analysiert.

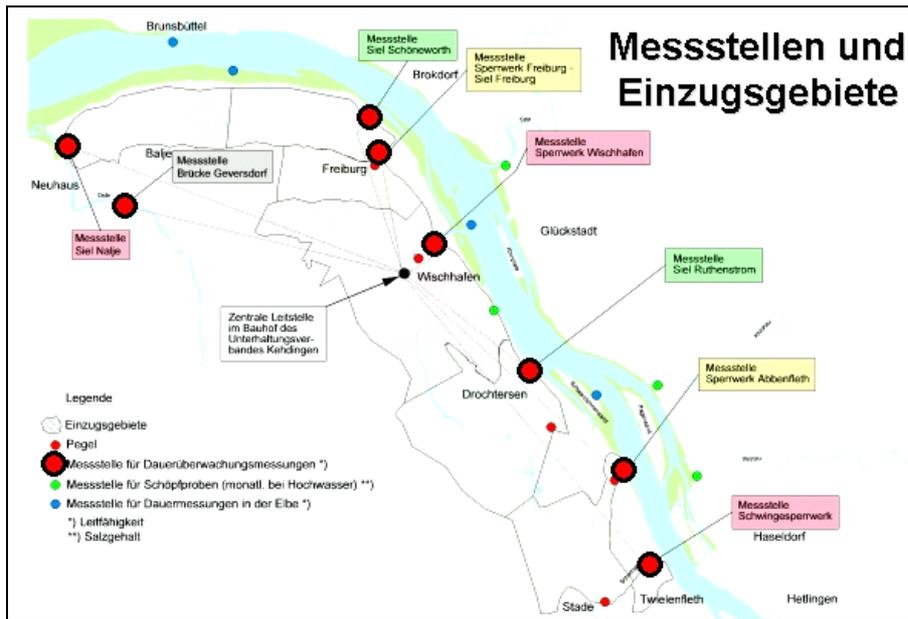


Die Untersuchungen an diesen Orten dienen dazu festzustellen, ob sich die Leitfähigkeit/Salzgehalt signifikant im Längsverlauf der Elbe nach der Baumaßnahme ändert. In der Umweltverträglichkeitsuntersuchung (UVU) wurde eine Verschiebung des sogenannten Salzkeils um 500 m stromauf prognostiziert. Wie schon bei den Strömungsgeschwindigkeiten ist auch die kontinuierliche Untersuchung einer Verschiebung der Salzgehaltsverteilung im Längsschnitt der Elbe mit den verfügbaren Messergebnissen nicht möglich. Gleiches gilt für Trends, die durch die Baumaßnahme beeinflusst würden. Lediglich signifikante Änderungen (Sprünge) nach 2000 würden auf eine Beeinflussung des Regimes durch die Baumaßnahme hinweisen, was jedoch aus den Messreihen nicht ableitbar ist, wie die nachfolgende Abbildung zeigt.



Die Messungen an den Sperr- und Schöpfwerken sind Teil eines Warn- und Informations-Intranet-Systems über die momentan aktuellen Werte der Leitfähigkeit an verschiedenen Standorten. Anhand dieser Informationen ist es möglich für ein Einzugsgebiet (siehe nachfolgende Abbildung) zu bestimmen, ob das verfügbare Elbwasser für die Bereitstellung als Tränke- oder Beregnungswasser geeignet ist.

Die Daten sind jederzeit über ein Intranetsystem für potentiell betroffene Personen oder Institutionen verfügbar.

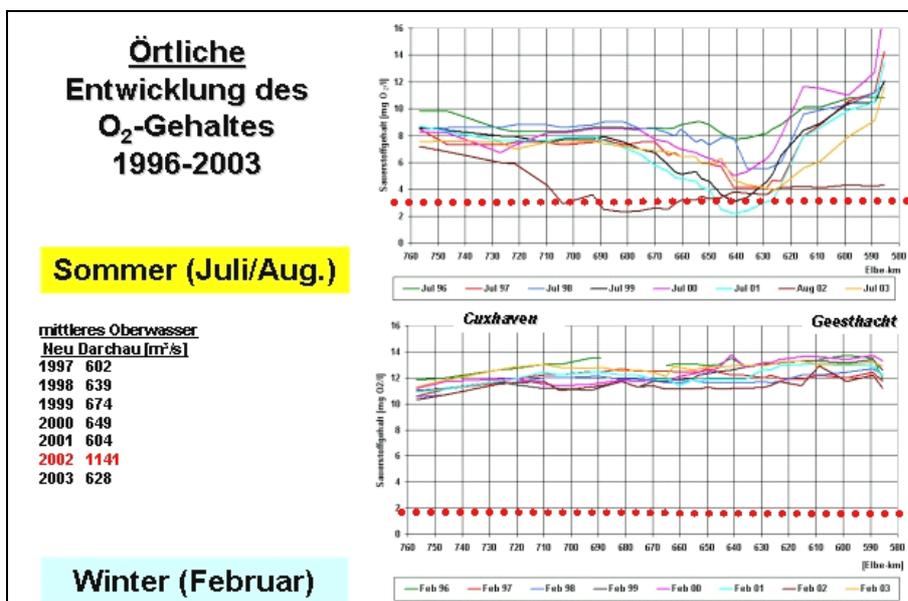


**Sauerstoff (ARGE-Elbe-Daten)**

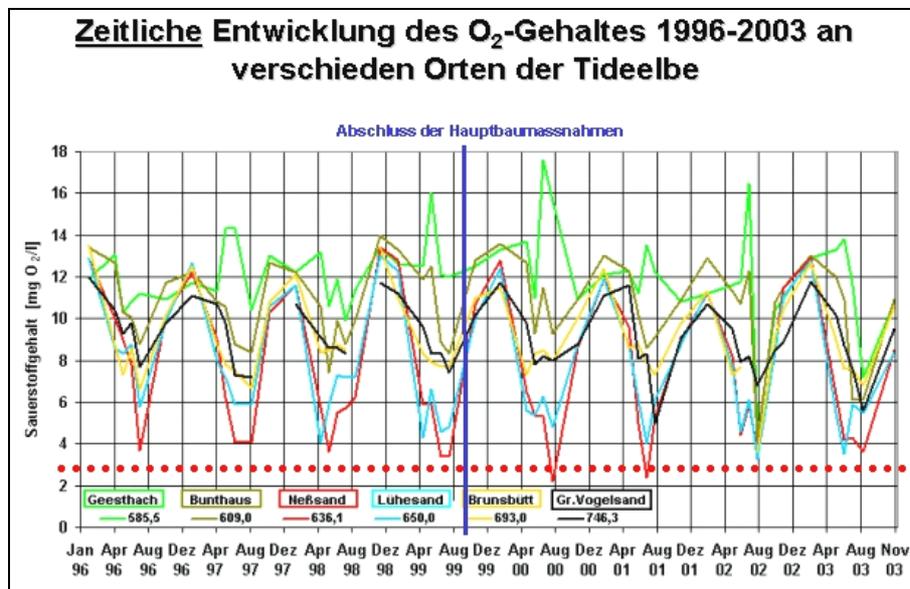
Die Entwicklung des Sauerstoffgehaltes in der Elbe wird im Planfeststellungsbeschluss als "nicht beweissicherungsfähig" eingestuft. Anhand der veröffentlichten Daten der ARGE Elbe soll jedoch die Entwicklung mit den Prognosen der UVU verglichen werden.

Quantitative Prognosen zu einer erheblichen oder/und nachhaltigen Wirkung der Baumaßnahme auf das Sauerstoffregime wurden in der UVU nicht angegeben.

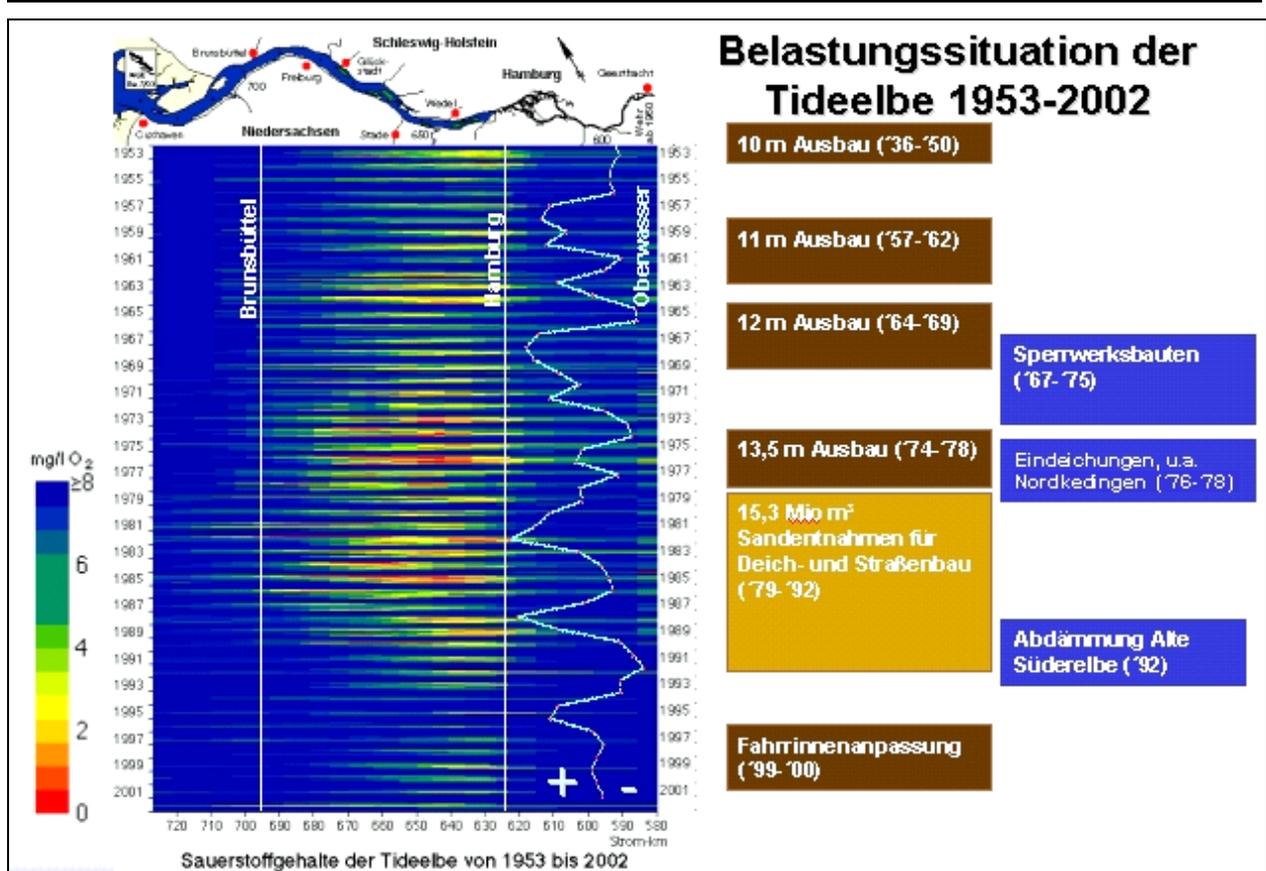
Die Längsschnitt-Messungen im Juli der Jahre 1996 bis 2001 und 2003 zeigen die räumliche Ausdehnung des "Sauerstofftals" in der Tideelbe. Dabei sind Sauerstoffgehalte unter 6 mg O<sub>2</sub>/l innerhalb eines Bereiches von Elbe-km 620 bis Elbe-km 670 zu beobachten. Im Jahr 2001 wurden die niedrigsten Werte aller dargestellten Juli-Messkampagnen registriert; dabei traten oberflächennah Sauerstoffgehalte unter 3 mg/l auf. Das Längsprofil des Sauerstoffs während des Hochwassers im August 2002 (26.8.02) stellte eine extreme Situation dar. Die gesamte Tideelbe ab Wehr Geesthacht bis km 710 wies nur geringe Sauerstoffgehalte von 2,3 - 4,3 mg O<sub>2</sub>/l auf.



Die nachfolgende Abbildung zeigt die zeitliche Entwicklung der Sauerstoffgehalte für sechs Messpunkte entlang der Tideelbe. In diesen oberflächennahen Einzelproben sind die relativ höchsten Sauerstoffgehalte an den von der Mittelelbe geprägten Stationen Geesthacht und Bunthaus zu beobachten. Stromabwärts zu der unterhalb des Hamburger Hafens gelegenen Station Neßsand war ein deutlicher Rückgang der Sauerstoffgehalte zu messen. Diese Station und die Station Lühesand wiesen jeweils im Sommer (1996-2003) Sauerstoffgehalte unter 6 mg/l auf; seit 1998 die Station Neßsand und seit 2002 die Station Lühesand sogar Werte unter 4 mg/l. Die im Bereich des Trübungsmaximums der Elbe liegende Station Brunsbüttel und die vom Nordseewasser beeinflusste Station Gr. Vogelsand wiesen ganzjährig Sauerstoffgehalte zwischen 6,0 und 13 mg/l auf (Ausnahmen waren der durch das Hochwasser verursachte geringe Messwert im August 2002 an Station Brunsbüttel sowie der Messwert von 5,0 und 5,6 mg O<sub>2</sub>/l im August 2001 bzw. 2003 an Station Gr. Vogelsand), damit lagen die Gehalte meist im Bereich der temperaturabhängigen Sauerstoffsättigung.



Direkte Abhängigkeiten zwischen der Entwicklung der Sauerstoffverteilung in der Tideelbe und den Vertiefungsmaßnahmen der Fahrrinne seit den '50er Jahren lassen sich nicht feststellen, wie die nachfolgende Abbildung zeigt. Dies gilt ebenfalls für die letzte Vertiefung in den Jahren 1999/2000, deren Baggermenge nur unwesentlich oberhalb der jährlichen Unterhaltungsmenge lag. Berücksichtigt man zudem den Sachverhalt, das eigentlich ständig irgendwo in der Tideelbe unterhalb der Elbbrücken bei Hamburg gebaggert wird, so entspricht dieses Ergebnis den Erwartungen.

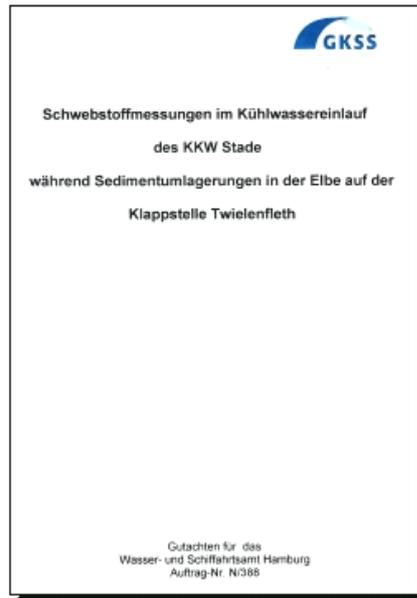


**Schwebstoff- und Sauerstoffregime (Umfeld der Baggertätigkeit)**

Es wurden im Rahmen von einmaligen Messkampagnen Schwebstoffmessungen durchgeführt. Diese fanden im Zulauf zum Kernkraftwerk Stade statt sowie im Bereich des Osteriffs während der Bagger- und Verklappungsvorgänge.

Die Ergebnisse der Einzelkampagnen zeigen zum einen, dass keine Beeinträchtigungen durch Schwebstoffkonzentrationszunahmen während der Verklappungen auf der Baggergutablagerungsfläche Twielenfleth im Zulauf des KKW auftraten, zum anderen, dass weder durch den Baggervorgang noch durch die Verklappungen Auswirkungen auf die Randbereiche der Elbe sowie anliegenden Bereiche (Nebenflüsse, Nebenelben, Häfen und Watten) nachweisbar sind.

Kontinuierliche Messungen der natürlichen Schwebstoffverteilungen in der Elbe, ihren Nebengewässern und Nebenflüssen sind nicht Bestandteil des Beweissicherungsprogramms. Es kann somit von der Beweissicherung keine Aussage zu Veränderungen der flächenhaften Schwebstoffverteilungen und den damit verbundenen Wirkungen durch die Maßnahme 1999/2000 angegeben werden.



### Sedimentkataster

Gemäß Planfeststellungsbeschluss sind im gesamten Untersuchungsgebiet zum Aufbau eines Sedimentkatasters laufend Daten zu den Korngrößen der Sedimente zu erfassen, wenn Daten verfügbar sind. Ein einheitliches Kataster für das gesamte Untersuchungsgebiet der Beweissicherung wurde bislang nicht erstellt.

Im Bereich des WSA Cuxhaven (km 689,1 bis See) wurden jedoch 1998 und 2001 Sedimentationsaufnahmen abgeschlossen, die jeweils Probenahmen in einem Raster von 1 x 1 km zum Inhalt hatten.

Bei den jährlich durchgeführten Untersuchungen zur Sedimentqualität des Baggerguts im Bereich der Hamburger Delegationsstrecke (km 607,5 bis 638,9) wird routinemäßig die Körnungsanalyse mit durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen große Schwankungen in der Körnungszusammensetzung in den Hauptbaggergebieten. Aus den bisherigen Analysenreihen seit 1998 lässt sich kein Trend in der Veränderung der Körnungszusammensetzung in den Hauptsedimentationsgebieten ableiten.

Aktuelle Untersuchungen der flächenhaften Korngrößenverteilung der Sedimente im Revier des WSA Hamburg liegen derzeit nicht vor.

## FACHTHEMA: TERRESTRISCHE FLORA I

Dipl.-Ing. (Landespflege) Hubert Liebenstein

### Anordnungen aus dem Planfeststellungsbeschluss

Der Planfeststellungsbeschluss der WSD Nord (1999) sieht bezüglich der Beweissicherung zur terrestrischen Flora (Vegetation) vor, das Modell der UVU zur Ermittlung der Eingriffserheblichkeit zu überprüfen, da die in der UVU ermittelten Flächen (-verluste) der Biotope in vielen Einwendungen angezweifelt wurden. Zu erfassen sind die folgenden gefährdeten Biotope und Arten:

- Weidenauwald und Weidenauengebüsch
- Röhrichte und Uferstaudenfluren
- Schierlings-Wasserfenchel

Die Biotope sind nach den Anordnungen des Planfeststellungsbeschlusses stromaufwärts von Brunsbüttel in festzulegenden sensiblen Bereichen zu erfassen. Die Erhebungen sind alle zwei Jahre durchzuführen. Sollte sich nach der ersten Erhebung (2 Jahre nach Ausbau) ergeben, dass die Flächenverluste geringer sind als in den Prognosen ausgewiesen, sind keine weiteren Erhebungen mehr durchzuführen

Weiterhin wird eine (Kartier-)Genauigkeit von <5 m im Bereich der als Verlust ausgewiesenen Flächen gefordert. Die Erfassung soll mittels Begehung/Kartierung und/oder CIR (Color-Infrarot)-Befliegung erfolgen. Den Ist-Zustand bilden die Kartierungen der UVU und FFH-Studie sowie weiterführende Daten.

Das Verbreitungsgebiet des Schierlings-Wasserfenchels ist unter Verwendung verfügbarer Daten zu dokumentieren.

Die Geländehöhe im Bereich gefährdeter Biotope ist zu erfassen.

### Flächendeckende flugzeuggestützte Bestandserfassung gefährdeter Biotope

#### Vorgehensweise:

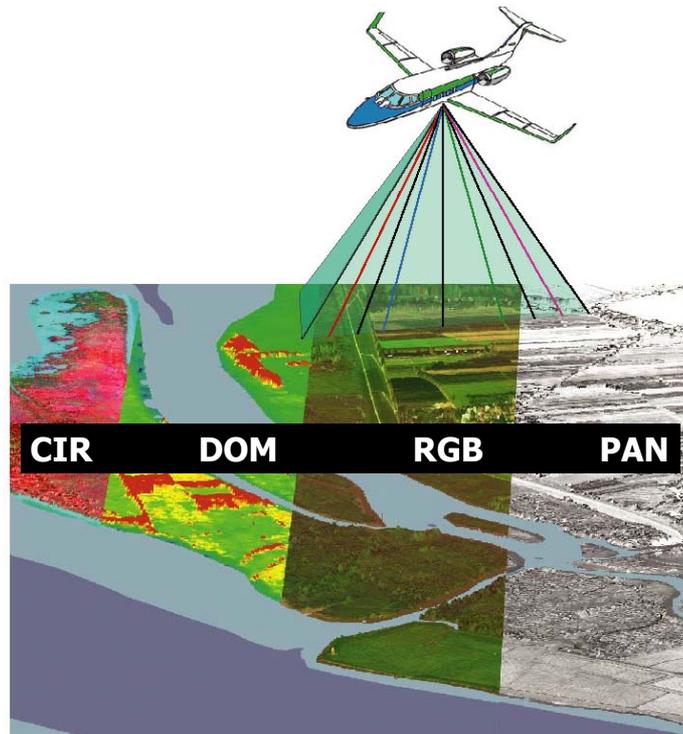
In der UVU wird aufgrund des prognostizierten Anstiegs des MThw von einem Rückgang der gefährdeten Biotope ausgegangen. Wegen der Größe des Gebietes und unzureichender Geländedaten wurden die Flächenverluste der genannten Biotoptypen in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Wasserstandsveränderungen pauschal angesetzt (siehe nachfolgende Tabelle)

Veränderung MThw und prognostizierter Biotopflächenverlust

Bereich	Prognostizierter Anstieg MThw	Prognostizierter Biotopflächenverlust	Betroffene Biotope
ca. Elbe-km 678 bis Elbe-km 688	1 - 2 cm	2 %	Auwaldstrukturen
ca. Elbe-km 663 bis Elbe-km 678	2 - 3 cm	3,5 %	Auwaldstrukturen, Röhrichte und Uferstaudenfluren
ca. Elbe-km 585 bis Elbe-km 663	3 - 4 cm	5 %	Auwaldstrukturen, Röhrichte und Uferstaudenfluren

Die Anforderungen aus dem Planfeststellungsbeschluss hinsichtlich der Häufigkeit, Genauigkeit und Vergleichbarkeit der Untersuchungen sowie der Größe und teilweisen Unzugänglichkeit des Untersuchungsgebietes machte aus Sicht des TdV eine neue Vorgehensweise der Erhebung erforderlich. Eine von der BfG durchgeführte Markt- und

Hochschulrecherche sowie ein anschließendes Pilotprojekt (1999/2000) ergaben, dass eine Befliegung mit einem hochauflösenden multispektralen digitalen Scanner (High Resolution Stereo Camera-Airborne / HRSC-A) und eine nachfolgende weitgehend computergestützte Klassifizierung von Biotoptypen den Anforderungen am besten gerecht werden. Mit der Durchführung dieser Aufgabe wurden das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V., Institut für Weltraumsensorik und Planetenerkundung, Berlin (DLR) und das Institut für Umweltwissenschaften der Hochschule Vechta (IUW) beauftragt.



Bildprodukte der HRSC-A/AX – Befliegung

Im Rahmen des Pilotprojekts wurden am 05.09.1999 drei repräsentative Gebiete (Pagensand, Heuckenlock, Ilmenau-Mündung) mit dem Kamerasystem HRSC-A durch das DLR befliegen und mit den Daten ein semiautomatisierter Klassifikationsprozess zur Ableitung von Biotoptypen durch das IUW entwickelt.

Das Pilotprojekt zeigte, dass

- der Einsatz des HRSC-Scanners grundsätzlich für eine Biotoptypenerfassung geeignet ist und entscheidende Vorteile gegenüber den nur analog auszuwertenden CIR-Aufnahmen hat,
- es möglich ist, auf der Grundlage der digitalen hochauflösenden multispektralen HRSC-Befliegungsdaten eine teilweise automatisierte Klassifizierung von Biotoptypen vorzunehmen,
- die lagemäßige Genauigkeit und der Detaillierungsgrad der Klassifizierung sehr hoch ist,
- diese Fernerkundungsmöglichkeit sehr gut für eine flächenscharfe Abgrenzung von Biotoptypen in sehr großen, schwer überschaubaren oder schwer zugänglichen Gebieten geeignet ist,
- immer wieder auf die Grunddaten zurückgegriffen werden kann, und somit Aussagen jederzeit nachvollziehbar belegt werden können.

---

Durch die Bearbeitung der Daten in einem Geographischen Informationssystem (GIS) können Veränderungen hinsichtlich einer oder mehrerer Folgeaufnahmen genauestens dokumentiert und ein digitaler Vergleich verschiedener Folgeaufnahmen sehr schnell durchgeführt werden.

Das Pilotprojekt zeigte aber auch, dass bei der Anwendung einer solchen Methodik der Biotoptypenkartierung dennoch grundsätzlich nicht auf ergänzende Geländearbeiten durch qualifizierte Vegetationskundler verzichtet werden kann (BfG 2000).

Aufgrund des erfolgreichen Pilotprojektes wurde die erste Befliegungskampagne am 27.08.2000 für den Bereich Geesthacht bis Hamburg mit dem Kameratyp HRSC-A, sowie am 23. und 25. 09. 2000 stromab von Hamburg mit der weiterentwickelten Kamera HRSC-AX durchgeführt.

Die Biotoptypenkartierung aus der Klassifikation dieser Luftbilddaten stellt den Zustand der Biotoptypen unmittelbar nach der beendeten Fahrrinnenvertiefung dar ("Nullmessung"). Diese "Nullmessung" war als Ausgangsmessung für die Veränderungen nach der Fahrrinnenanpassung auch deshalb erforderlich, weil die Biotoptypenkartierung der UVU aufgrund der sehr unterschiedlichen Erfassungsmethoden im Vergleich mit den geometrisch hochgenauen Daten der Befliegung nicht oder nur sehr eingeschränkt miteinander vergleichbar waren. Differenzen zwischen den beiden Kartierungen ergaben sich vor allem durch die unterschiedlichen Grade der Generalisierung und nicht zwangsläufig aufgrund von tatsächlichen Veränderungen der Bestände.

Die Befliegung 2000 wurde auch in der Bund-Länder-Arbeitsgruppe zur Beweissicherung als „Nullmessung“ im Rahmen eines „dynamischen Ist-Zustands“ akzeptiert. Durch die Einbeziehung eines „dynamischen Ist-Zustands“ sollen hauptsächlich die aktuellen Veränderungen der Uferöhrichte durch die letzte Fahrrinnenanpassung vor dem Hintergrund der Röhrichtentwicklung der vergangenen 30 bis 50 Jahre bewertet und das Prognosemodell der UVU überprüft werden. Detaillierte Ausführungen zur längerfristigen Röhrichtentwicklung erfolgen im Vortrag „Terrestrische Flora II“.

Eine erste Wiederholungsbefliegung fand am 29. 07. 2002 statt, d. h. zwei Jahre nach der "Nullmessung", und wurde mit dem Kamerasystem HRSC-AX durchgeführt. Die Biotoptypen wurden wiederum vom IUW der Hochschule Vechta klassifiziert.

Sowohl die Biotoptypenkartierung der UVU als auch die Biotoptypenkartierungen der Befliegungen 2000 und 2002 wurden in ein GIS überführt und die Veränderungen dargestellt.



Ergebnisse der Biotoptypenkartierung 2000 und 2002 aus dem Bereich Pagensander Nebenelbe/Pinnau-Mündung (hauptsächlich vorkommende Biotoptypen - violett: Flusswatt-Röhricht; hellgrün: Grünland)

### Ergebnisse:

Die Röhrichtverluste, die möglicherweise auf Änderungen des MThw zwischen den Jahren 2000 und 2002 zurückzuführen sind, liegen für das untersuchte Beweissicherungsgebiet unter den in der UVU prognostizierten Werten. Die Ergebnisse des Flächenvergleichs werden im nachfolgenden Vortrag „Terrestrische Flora II“ vorgestellt.

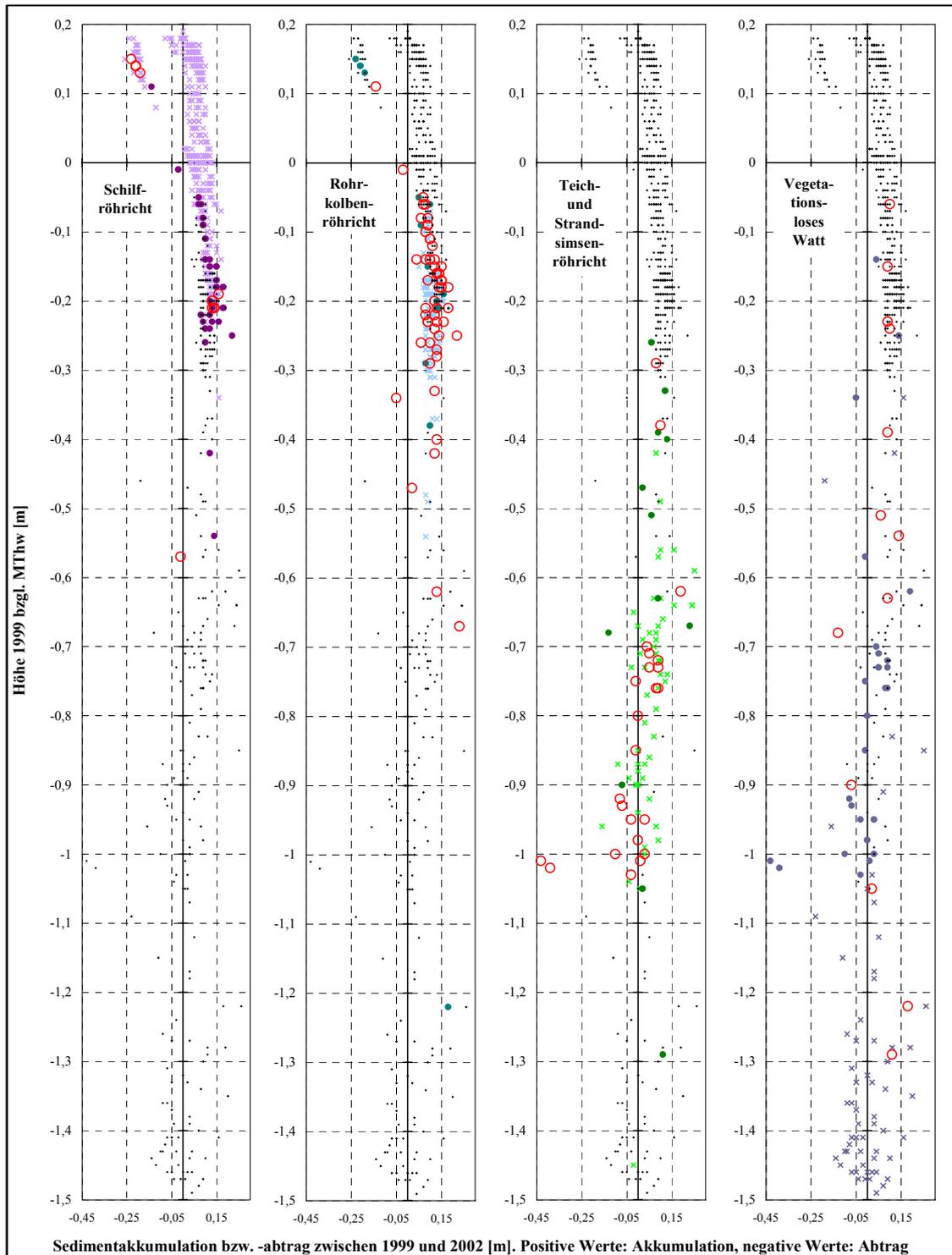
### **Transektuntersuchung**

#### Vorgehensweise:

Zur detaillierten Erfassung von Gelände- und Bewuchsänderungen werden in Bereichen mit gefährdeten Biotopen Transektmessungen (3 Geländequerschnitte mit je 2 m Abstand) durchgeführt. Dies geschieht in ausgewählten Naturschutzgebieten und an Standorten des Schierlings-Wasserfenchels.

Transektuntersuchungen erfolgten in den Jahren 1999 und 2002 in den Gebieten Eschschallen, Heuckenlock, Osterwiesen (Ilmenaumündung) und im Bereich des Priels bei Overhaken. Dabei wurden sehr detailliert Gelände- und Bewuchsänderungen erfasst und in Profilen dargestellt. Die Geländeänderungen für die beiden Messzeiten sind direkt aus den Profildarstellungen zu entnehmen.





Entwicklung verschiedener Röhrichttypen und des vegetationslosen Watts im Vorland von Eschschallen im Vergleich der Jahre 1999 und 2002 (Sundermeier 2004).

*Kleine schwarze Punkte: Berücksichtigte Transektpunkte.  
 Kreuze: Vegetationseinheit war 1999 und 2002 am Transektpunkt vorhanden.  
 Volle farbige Kreise: Vegetationseinheit nahm zwischen 1999 und 2002 am Transektpunkt zu.  
 Leere rote Kreise: Vegetationseinheit nahm zwischen 1999 und 2002 am Transektpunkt ab.*

**Ergebnisse:**

Die festgestellten Veränderungen aufgrund der Differenzbildung der Gesamtlängen eines Vegetationstyps je Transekt lassen auf keine grundlegenden Veränderungen

schließen. Es sind kleinere Verschiebungen, z. B. im Bereich weniger Prozente, innerhalb verschiedener Abschnitte der Transekte zu beobachten.

Die weitergehenden vergleichenden Betrachtungen führten nach SUNDERMEIER (2004) zu folgenden Ergebnissen:

Im Transekt Heuckenlock breitete sich im Zuge der natürlichen Sukzession das Weidengebüsch auf Kosten des Schilf-Röhricht aus. Der Schilfbestand verdichtete sich auf relativ tief liegenden Standorten auf Kosten des vegetationslosen Watts.

Im Transekt Eschschallen weiteten sich im geschlossenen Röhrichtgürtel auf relativ tief liegenden Flächen Schilfbestände auf Kosten der Rohrkolbenbestände aus. Die geschlossene Röhrichtgrenze zur Elbe hin blieb lagestabil. Das dem Röhrichtgürtel inselartig vorgelagerte Teich- und Strandsimsen-Röhricht ging zugunsten des vegetationslosen Watts zurück.

In der Ilmenauniederung breitete sich im untersuchten Transekt Schilf und Rohrglanzgras auf Kosten von Wasser-Schwaden und Brennnessel aus.

Ein Verlust, wie ihn die UVU prognostiziert, konnte nur für die lückigen Röhrichte im Vorland von Eschschallen, die dem geschlossenen Röhrichtgürtel auf tief liegenden Standorten vorgelagert sind, festgestellt werden. Ansonsten verdichten sich die untersuchten Bestände des Schilf-Röhrichts auf tief liegenden Standorten. Der Schilfzuwachs wird durch die Geländeaufhöhung gefördert. Das Weidengebüsch im Heuckenlock breitete sich ebenfalls auf relativ tief liegenden Wuchsorten aus. In der Ilmenauniederung werden Schilf- und Rohrglanzgras-Röhrichte vermutlich aufgrund einer verringerten Nährstoffbelastung begünstigt. Dieser Effekt könnte den Einfluss veränderter Tidekennwerte überlagern.

### Entwicklung gefährdeter Pflanzenarten

#### Vorgehensweise:

Im Rahmen der Beweissicherung ist auch das Verbreitungsgebiet des Schierlings-Wasserfenchels unter Verwendung verfügbarer Daten zu dokumentieren, aber auch darzustellen, wie sich die Population dieser Art entwickelt und verändert. Dazu wurden die Standorte von über 500 Einzelpflanzen und Gruppen dieser vom Aussterben bedrohten, nur im Süßwasser-Gezeitenbereich der Elbe vorkommenden Pflanzenart im NSG Heuckenlock (1999 bis 2002), an der Este-Mündung sowie im Overhaken (jeweils in den Jahren 2000, 2001 und 2002) nach Lage und Höhe genau vermessen. Ergänzend dazu wurden Ergebnisse des E+E-Vorhabens „Pilotprojekt zur nachhaltigen Sicherung des Lebensraums des Schierlings-Wasserfenchels (*Oenanthe conioides*) an der Elbe in Hamburg“ des Botanischen Vereins zu Hamburg e.V. zur Auswertung herangezogen.

Ungefähre Individuenzahlen von *Oenanthe conioides* an verschiedenen Fundorten von 2000 bis 2002 (nach BELOW 2003)

Individuenzahlen/ Fundorte	Juni-Aug. 2000					Juli/Aug. 2001					Juli 2002				
	Keiml.	Ros.	Ad.	Summe	Summe Ros+Ad	Keiml.	Ros.	Ad.	Summe	Summe Ros+Ad	Keiml.	Ros.	Ad.	Summe	Summe Ros+Ad
Fährmannsander Watt	-	-	-	-	-	0	50	100	150	150	-	-	-	-	-
Anleger Wittenbergen	-	-	-	-	-	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0
Neßsand	0	70	30	100	100	-	-	-	-	-	0	100	80	180	180
Mühlenberger Loch	0	61	0	61	61	0	45	4	49	49	0	34	4	38	38
Moorburger Hafen	0	3	0	3	3	0	5	0	5	5	0	5	1	6	6
unter d. Elbbrücken	0	30	3	33	33	0	87	2	89	89	17	55	7	79	62

Individuenzahlen/ Fundorte	Juni-Aug. 2000					Juli/Aug. 2001					Juli 2002				
	Keiml.	Ros.	Ad.	Summe	Summe Ros+Ad	Keiml.	Ros.	Ad.	Summe	Summe Ros+Ad	Keiml.	Ros.	Ad.	Summe	Summe Ros+Ad
Haken (Mitte)	0	1	9	10	10	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-
Schweenssand	4	185	13	202	198	27	171	4	202	175	8	79	6	93	85
Heuckenlock	100	520	65	685	585	7	363	246	616	609	98	1209	212	1519	1421
Overhaken	0	13	1	14	14	0	0	0	0	0	0	4	2	6	6
Zollenspieker	0	19	0	19	19	0	9	0	9	9	1	3	0	4	3
Laßrönne	0	60	1	61	61	4	7	1	12	8	3	28	5	36	33
Altengamme	190	54	10	254	64	100	25	0	125	25	0	0	0	0	0
Gesamtsumme im Tidegebiet	294	1016	132	1442	1148	138	763	357	1258	1120	127	1517	317	1961	1834

Ergebnisse:

Es zeigen sich starke jährliche Schwankungen der Populationen des Schierlings-Wasserfenchels an den einzelnen Fundorten. Da über die genauen Lebensraumanprüche dieser Pflanzenart noch relativ wenig bekannt ist, lassen sich auch über die Gründe für diese Schwankungen – seien sie natürlicher oder anthropogener Art – noch keine Aussagen treffen. Soweit man anhand drei- bis vierjähriger Aufnahmen vermuten kann, scheint die Häufigkeit der Art infolge ihrer zweijährigen Lebensform auch in einem zweijährigen Zyklus zu schwanken.

Im Jahr 2002 konnten die meisten Pflanzen seit Beginn der Untersuchung gezählt werden. Dieses Ergebnis lässt auf keine nachteiligen Auswirkungen der Fahrrinnenvertiefung auf den Schierlings-Wasserfenchel schließen.

**Literatur**

BELOW, H. (2003): Zwischenbericht des E+E-Vorhabens zur Ansiedlung des Schierlings-Wasserfenchels *Oenanthe conioides* (Untersuchungen des Teilprojektes Populationsbiologie und Ökologie zur Populationsentwicklung des Schierlings-Wasserfenchels im Jahr 2002)

BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE (2000): Computergestützte Klassifizierung von Biotoptypen auf Grundlage digitaler hochauflösender multispektraler Scannerdaten (HRSC-A), Abschlussbericht, BfG-1231

PLANUNGSGRUPPE ÖKOLOGIE + UMWELT NORD (PÖUN) (1997): Umweltverträglichkeitsuntersuchung zur Anpassung der Fahrrinne der Unter- und Außenelbe an die Containerschifffahrt, Teil 1: Umweltverträglichkeitsuntersuchung (UVU). Untersuchung im Auftrag der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg und der Freien und Hansestadt Hamburg, Wirtschaftsbehörde, Amt Strom- und Hafenbau, Hamburg.

SUNDERMEIER, A. (2004): Vegetationsveränderungen zwischen 1999 und 2002 entlang von vier Transekten im tidebeeinflussten Vorland der Unterelbe, Koblenz (unveröffentlicht).

WASSER- UND SCHIFFFAHRTSVERWALTUNG DES BUNDES, WASSER- UND SCHIFFFAHRTSDIREKTION NORD, PLANFESTSTELLUNGSBEHÖRDE (1999): Planfeststellungsbeschluss für die Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenelbe an die Containerschifffahrt von km 638,9 bis km 747,9, Az. A4-143.3/15.

## FACHTHEMA: TERRESTRISCHE FLORA II

Dipl.-Geogr. Uwe Schröder

### Auswertung und Interpretation der Röhrchentwicklung anhand der Befliegungsergebnisse und historischer Luftbilder (der letzten 30 bis 50 Jahre)

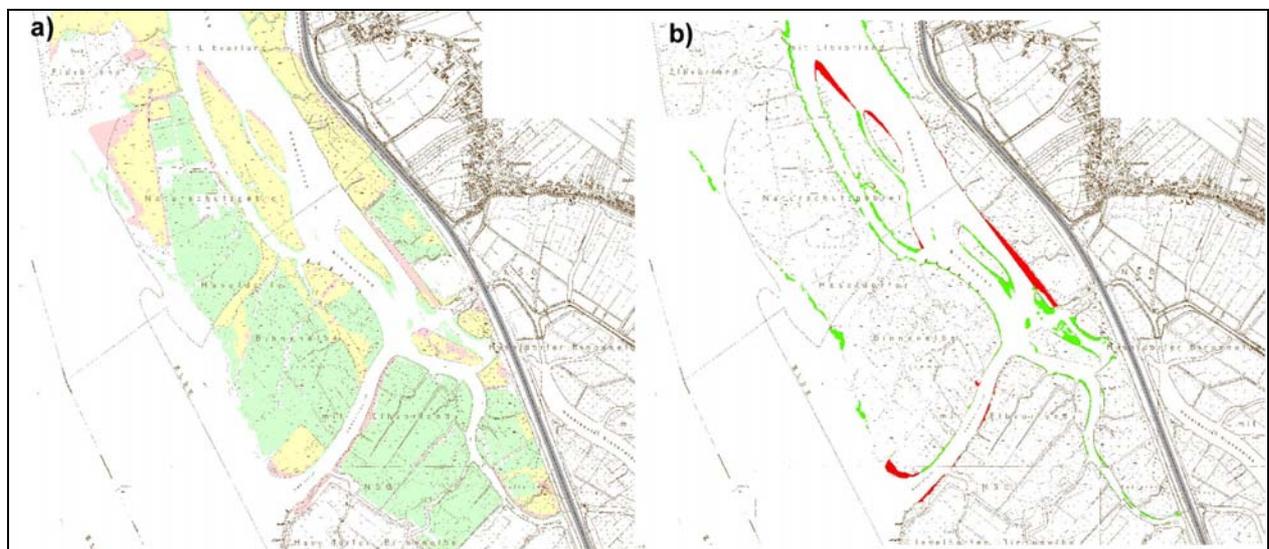
Im Folgenden werden die Ergebnisse aus den Befliegungen von 2000 und 2002 vorgestellt und mittels eines „dynamischen Ist-Zustands“ interpretiert.

#### Methodische Grundüberlegungen und Verschneidung der Daten der ersten Folgebefliegung 2002 mit den Daten der "Nullbefliegung" 2000

Da im Planfeststellungsbeschluss keine einzelnen Biotoptypen (im Sinne der niedersächsischen Kartieranleitung) aufgeführt sind, sondern pauschal Röhrichte und Uferstaudenfluren untersucht werden sollen, wurden aus den Ursprungsdatensätzen entsprechende Biotoptypengruppen gebildet. Diese Biotoptypengruppen bilden sich aus den Untereinheiten, die in der UVU als besonders betroffen beschrieben und in der 2000er und/oder 2002er Erfassung kartiert wurden.

Die topologisch bereinigten Daten wurden im GIS mit einander verschnitten. Anschließend wurde der neue Datensatz mit einer Schablone verschnitten, die die unterschiedlichen Zonen der prognostizierten MThw-Erhöhrungen aus der UVU berücksichtigt (siehe Tabelle auf der ersten Seite in Terrestrische Flora I).

In Zone 1 sind nur Weidenauwälder und Weidengebüsche betroffen, in Zone 2 und 3 Weidenauwälder/Weidengebüsche und Röhrichte. Der prognostizierte Verlust der Röhrichte für Zone 2 wurde mit 3,5 % und der für die Zone 3 mit 5 % in der UVU beziffert.



a) Unbereinigte Differenzdarstellung der Röhrichte (UVU –Befliegung 2000) im Bereich der Haseldorfer Binnenelbe  
(Rot: Abnahme; Grün: Zunahme; Gelb: keine Veränderung der Röhrichte)

b) Bereinigte Differenzdarstellung der Röhrichte (UVU - 2000) im Bereich der Haseldorfer Binnenelbe  
(Rot: Abnahme; Grün: Zunahme der Röhrichte)

Eine einfache aufsummierte Gegenüberstellung (Differenzbildung) der Flächengrößen dieser Biotoptypengruppen kann aber nur eingeschränkt auf die Entwicklung der Röhrichte Rückschluss geben. Abbildung 01 a) zeigt eine unbereinigte Differenzdarstellung der Röhrichte aus der Verschneidung der UVU-Kartierung mit den Daten der Nullmes-

sung. Sehr deutlich treten die Röhrichtzunahmen aufgrund von Nutzungsaufgaben von Korbweidenplantagen zutage.

*Regelbasierte Filterung (Bereinigung):*

Über eine Abfrage in der Datenbank wurden die Röhrichtveränderungen markiert, die im direkten Einflussbereich der Elbe stehen. Mit dieser Abfrage wird festgelegt, dass eine Röhrichtzunahme nur dann angezeigt ist, wenn das neue Röhricht auf vorher vegetationslosen Flächen steht (z. B. auf Watt oder Sand). Röhrichte, die auf ehemals genutzten Flächen (z. B. Weideland) stehen, gehen nicht in die Bilanz ein. Im Gegensatz dazu ist eine Röhrichtabnahme nur dann angezeigt, wenn aus den ehemaligen Röhrichtflächen vegetationslose Flächen wie z. B. Watt, Wasser oder Sandstrand hervorgehen. Eine Veränderung z. B. von Röhricht in Weidengebüsch geht als natürliche Sukzession auch nicht in die Bilanz der Röhrichtentwicklung ein (siehe Abbildung 01 b).

Ergebnisse aus der Verschneidung für die Röhrichte und Uferstauden

Die Ergebnisse der Verschneidung sind in Tabelle 01 dargestellt. In der „Nullmessung“ 2000 wurden 1234,3 ha Röhrichte und Uferstauden erfasst, in der ersten Wiederholungsmessung 1222,0 ha.

Die Differenz dieser Werte ergibt einen Flächenverlust von 12,3 ha für die Röhrichte und Uferstauden oder von 1 % bezogen auf die Fläche der Röhrichte und Uferstauden von 2000.

Bezogen auf die Zonen 2 und 3 stellt sich ein differenzierteres Bild dar:

In Zone 3, dem Bereich mit einem prognostizierten Anstieg des MThw von mehr als 3 cm, ist eine Abnahme der Röhricht- und Uferstaudenflächen von 16,9 ha (1,9 %) zu verzeichnen.

In Zone 2, dem Bereich mit einem prognostizierten Anstieg des MThw von 2 – 3 cm, ist demgegenüber eine Zunahme der Röhrichte und Uferstauden festzustellen: 4,6 ha (1,4 %).

Ergebnisse der Verschneidung

	Zone 3 (5,0 % Verluste <sup>1)</sup> )		Zone 2 (3,5 % Verluste <sup>1)</sup> )		Gesamt	
	ha	% <sup>2)</sup>	ha	% <sup>2)</sup>	ha	% <sup>2)</sup>
Röhricht/Uferstauden 2000	904,9		329,4		1234,3	
Röhrichte/Uferstauden 2002	888,0		334,0		1222,0	
<b>Ungefiltert</b>	<b>ha</b>	<b>%<sup>2)</sup></b>	<b>ha</b>	<b>%<sup>2)</sup></b>	<b>ha</b>	<b>%<sup>2)</sup></b>
Zunahmen	86,1	9,5	36,4	11,1	122,5	9,9
Abnahmen	-103,0	-11,4	-31,8	-9,7	-134,8	-10,9
<b>Summe (aus Zunahme und Abnahme)</b>	<b>-16,9</b>	<b>-1,9</b>	<b>4,6</b>	<b>1,4</b>	<b>-12,3</b>	<b>-1,0</b>
<b>Regelbasiert gefiltert</b>	<b>ha</b>	<b>%<sup>2)</sup></b>	<b>ha</b>	<b>%<sup>2)</sup></b>	<b>ha</b>	<b>%<sup>2)</sup></b>
Zunahmen	27,8	3,1	7,9	2,4	35,7	2,9
Abnahmen	-25,7	-2,8	-12,3	-3,7	-38	-3,1
<b>Summe (aus Zunahme und Abnahme)</b>	<b>2,1</b>	<b>0,2</b>	<b>-4,4</b>	<b>-1,3</b>	<b>-2,3</b>	<b>-0,2</b>

<sup>1)</sup> im Sinne der Prognosen der UVU; <sup>2)</sup> im Verhältnis zur Fläche der Röhrichte und Uferstauden im Jahr 2000

---

Die gefilterten Werte stellen sich gänzlich anders dar. In Zone 2 ist insgesamt eine Röhrichtabnahme von 4,4 ha also 1,3 % der Röhricht- und Uferstaudenfläche 2000 zu verzeichnen, im Gegensatz zu der ungefilterten Variante (Röhrichtzugewinn in Zone 2).

In Zone 3 stellt sich im gefilterten Zustand ein Gewinn an Röhrichten und Uferstauden ein (2,1 ha, also 0,2 %).

In der Summe der beiden Zonen bleibt ein Verlust der Röhrichte und Uferstauden von 2,3 ha (0,2 %).

Werden nur die gefilterten Werte der Röhrichtabnahmen betrachtet, also für die Abnahmen, die aufgrund ihrer Lage und der Art der Veränderung hydrologisch begründet sein können, so ergibt sich für die Zone 2 ein Verlust von 3,7 %, ein Wert, der etwa der Prognose der UVU entspricht (3,5 %).

In Zone 3 betragen die reinen Abnahmen der Röhrichte und Uferstauden 2,8 % und bleiben so unterhalb der Prognose der UVU (5 %).

Ob diese Veränderungen - wie in der UVU prognostiziert - ausbaubedingte Veränderungen aufgrund eines Anstiegs des MThw sind, ist damit nicht nachgewiesen. Um die festgestellten Veränderungen hinsichtlich der Aussagen in der UVU bewerten zu können, muss geprüft werden, ob der in der UVU angenommene Zusammenhang zwischen Veränderung des MThw und der Verschiebung der Röhrichtgrenzen nachgewiesen werden kann. Dies geschieht unabhängig davon, ob ein ausbaubedingter Anstieg des MThw stattgefunden hat oder nicht. Zur Beantwortung dieser Frage ist es sehr wesentlich, die aktuellen Veränderungen in einen größeren zeitlichen Rahmen zu betrachten.

Diesbezüglich wurden verschiedene Teilräume mit aktuellen großen und bedeutsamen Röhrichtvorkommen ausgewählt und für diese Räume raumzeitliche Modelle aufgebaut, um die Röhrichtentwicklung in historischer<sup>1</sup> Zeit nachvollziehen zu können. Diese Entwicklung soll als „dynamischer Ist-Zustand“ verstanden werden.

### **Ermittlung der historischen Röhrichtentwicklung in ausgewählten Gebieten**

Dieses Teilprojekt gliedert sich in folgende Schritte:

1. Datenrecherche
2. Abgrenzung von Teiluntersuchungsgebieten (TUG) und Auswertung (Auswahl) der Daten
3. Aufbereitung und Interpretation der analogen Unterlagen
4. Entwicklung einer übertragbaren Methode zur Analyse und Bewertung der Daten
5. Analyse der digitalen Daten zu den einzelnen TUG anhand der Methode

#### Datenrecherche (Potenzielle Unterlagen zur Ableitung der historischen Röhrichtentwicklung)

Die Recherche beinhaltet die Erfassung von Daten (insbesondere Luftbildern, Kartierungen), die sich für die Ableitung und Darstellung flächenhafter Veränderungen von Röhrichten im Bereich der Unterelbe etwa für den Zeitraum 1950 bis heute eignen. Die

---

<sup>1</sup> Der Begriff historisch wird in diesem Zusammenhang für den Zeitraum der letzten 30 – 50 Jahre verwendet.

Datenrecherche wurde Ende 2001 abgeschlossen und ist in einer Datenbank niedergelegt.

Die gesichteten Unterlagen sind in dem Informationssystem hinsichtlich verschiedenster Kriterien eingeordnet (z. B. Datum der Befliegung, Tidestand, Verfügbarkeit, räumliche Ausdehnung etc.). So können geeignete Unterlagen schnell gesichtet werden. Über die räumlichen Abgrenzungen der recherchierten Unterlagen wurde die Daten in ein Geographisches Informationssystem (GIS) implementiert.

Teiluntersuchungsgebiete zur Erfassung historischer Röhrichtflächen

Für die Dokumentation und Auswertung historischer Röhrichtbestände wurden zunächst 14 TUG festgelegt:

Teiluntersuchungsgebiete zur Erfassung historischer Röhrichtbestände (Grün: Bearbeitet, innerhalb des für die Beweissicherung relevanten Gebietes; Rot: Nicht bearbeitet; Weiß: Bearbeitet, außerhalb des für die Beweissicherung relevanten Gebietes)

Nr.	Teiluntersuchungsgebiete
1	Neufelder Watt
2	Belumer Außendeich
3	Nordkehdingen
4	Sankt Margarethen
5	Allwördener Außendeich
6	Wischhafener Nebelbe
7	Rhinplate und Bielenburg
8	Schwarztonnensand
9	Pagensand und Eschschallen
10	Haseldorfer Binnenelbe (siehe Nr. 15)
11	Fährmannsander Watt
12	Hahnöfer Nebelbe und Mühlenberger Loch
13	Heuckenlock
14	Zollenspieker
15	Haseldorfer Binnenelbe 1

Die TUG 4 (St. Margarethen) und 11 (Fährmannsander Watt) wurden zunächst zurückgestellt. Das TUG 10 (Haseldorfer Binnenelbe) wurde aus pragmatischen Gründen (kurzfristige Verfügbarkeit von Luftbildplänen) in die Gebiete 10 (Haseldorfer Binnenelbe) und 15 (Haseldorfer Binnenelbe 1) geteilt (siehe auch Tabelle 02). Das neue TUG 15 umfasst den nördlichen und größten Teil des ursprünglichen Gebietes.

Wesentlicher Auswahlgrund für die TUG war das aktuelle Vorkommen großer Röhrichtkomplexe. Außerhalb dieser Gebiete kommen zurzeit kaum große zusammenhängende Röhrichte vor. Es wird davon ausgegangen, dass zumindest auch in jüngster Vergangenheit die Verteilung der großen Röhrichtkomplexe ähnlich war. Die Anzahl und die Ausdehnung der TUG ergeben eine quasi flächendeckende Erfassung der wichtigsten Röhrichtvorkommen an der Unter- und Außenelbe. 90 % der Röhrichte die 2000 kartiert wurden, werden durch die acht TUG im Untersuchungsgebiet der terrestrischen Lebensräume der Beweissicherung abgedeckt.

Auswahl geeigneter Unterlagen

Aus den aufbereiteten Ergebnissen der Datenrecherche wurden mittels GIS-Abfragen drei Befliegungen der Wasser- und Schifffahrtsdirektion (WSD) Nord (insgesamt 114 Luftbildpläne) und 52 Kontaktabzüge von zehn verschiedenen Befliegungen der Landesvermessungsämter ausgewählt, um ein raumzeitliches Modell der quantitativen

---

Röhrichtentwicklung der letzten 50 Jahre an der Unter- und Außenelbe aufzubauen. Die Auswahlkriterien für in Frage kommende Unterlagen waren:

- Der Aufnahmezeitpunkt (Jahreszeit)
- Gleichzeitige Abdeckung möglichst vieler Gebiete mit einer Befliegung
- Verfügbarkeit
- Tide zum Aufnahmezeitpunkt
- Radiometrische Qualität

Nicht für alle Gebiete liegen entsprechende Unterlagen für den gesamten Zeitraum vor.

Um möglichst ähnliche Zeitreihen für alle Gebiete zu bekommen, wurden die o.g. Kriterien fallweise stärker oder schwächer bewertet.

#### Aufbereitung und Interpretation der analogen Unterlagen

Die analogen Unterlagen wurden im Auftrage der BfG vom Büro für Biologische Bestandsaufnahmen in Hamburg gescannt und georeferenziert. Anschließend wurden die Röhrichte in den einzelnen Gebieten für jeden ausgewählten Bildflug erfasst und on Screen digitalisiert.

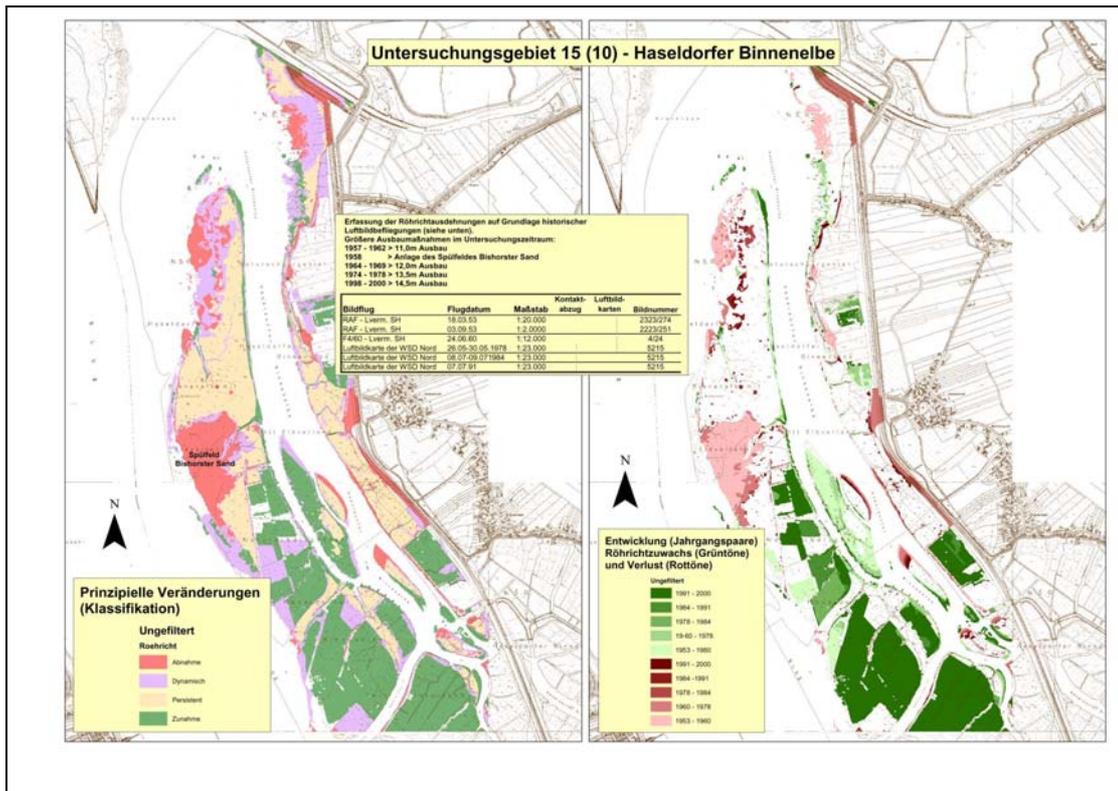
Die Luftbilder wurden mit der Software MicroStation-Descartes der Fa. Bentley georeferenziert. Im Schnitt wurden pro Luftbild (Luftbildkarte) 10 bis 20 Geländepunkte ausgewählt. Als Lagereferenz wurde die DBWK2 und die Deutsche Grundkarte verwendet.

Die Bilddaten wurden anschließend unter ArcView 3.2 fachkundig von Dr. Jean Loup Ringot interpretiert und on Screen digitalisiert. Es wurde ein eigener Kartierschlüssel zur möglichen Röhrichtdifferenzierung erstellt.

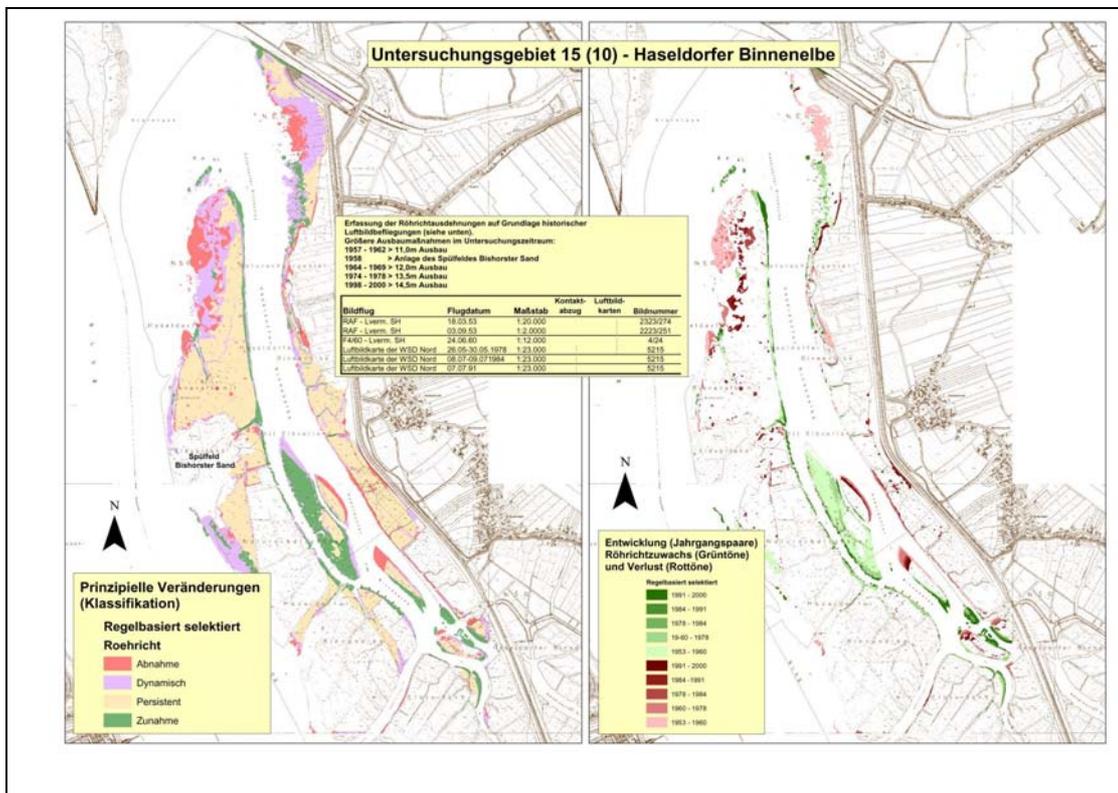
#### Entwicklung und Test eines raumzeitlichen Modells zur Röhrichtentwicklung (Entwicklung einer übertragbaren Methode)

Zur Überprüfung des methodischen Vorgehens wurden die Daten des Teiluntersuchungsgebietes (TUG) 15 (Haseldorfer Binnenelbe<sup>1</sup>) beispielhaft aufbereitet und analysiert. Die Ergebnisse dieser Entwicklung wurden auf die weiteren TUG übertragen.

Bearbeitet wurden Luftbilder (Kontaktabzüge) aus den Jahren 1953 und 1960, Luftbildkarten der WSD Nord aus den Jahren 1978, 1984, 1991 und die Ergebnisse der Klassifikation der 2000er HRSC-A-Befliegung. Die einzelnen Datensätzen zur historischen Röhrichtausdehnung und die Daten der Nullmessung wurden miteinander verschnitten und eine Personal Geodatabase erzeugt. Diese wurde unter Access weiter bearbeitet. Zusätzlich zu den kartierten Attributen (siehe Tabelle 03) wurden für die einzelnen Jahrgänge die differenzierten Röhrichteinheiten zu einer neuen Einheit (Röhricht: ja/nein) zusammengefasst. In weiteren Attributfeldern wird aufbauend aus dem neuen Attribut (Röhricht: ja/nein) die Entwicklung von Jahrgang zu Jahrgang und aller Jahrgänge berechnet. Des Weiteren wurden unter ArcGIS weitere Selektionen durchgeführt, um entsprechend zum Vorgehen beim Verschneiden der Biotoptypenkartierungen, die Bereiche auszunehmen, in denen Veränderungen offensichtlich nicht im Zusammenhang mit der hydrologischen Situation der Elbe stehen, sondern auf andere Faktoren zurückzuführen sind (z. B. Nutzungswandel und/oder Baumaßnahmen).



Darstellungen der klassifizierten Entwicklung und der Gesamtentwicklung auf Grundlage von Jahrgangspaaren, ungefiltert



Darstellungen der klassifizierten Entwicklung und der Gesamtentwicklung auf Grundlage von Jahrgangspaaren, regelbasiert gefiltert

In der oberen Abb. ist die Röhrichtentwicklung in Bezug auf die prinzipiellen Veränderungen (linke Seite) im Vergleich mit der Entwicklung auf Grundlage der Jahrgangspaaren

---

re (rechte Seite) dargestellt. Grundlage für die prinzipiellen Veränderungen sind die Entwicklungsklassen:

- Röhrichtzunahme
- Röhrichtabnahme
- Dynamische Bereiche

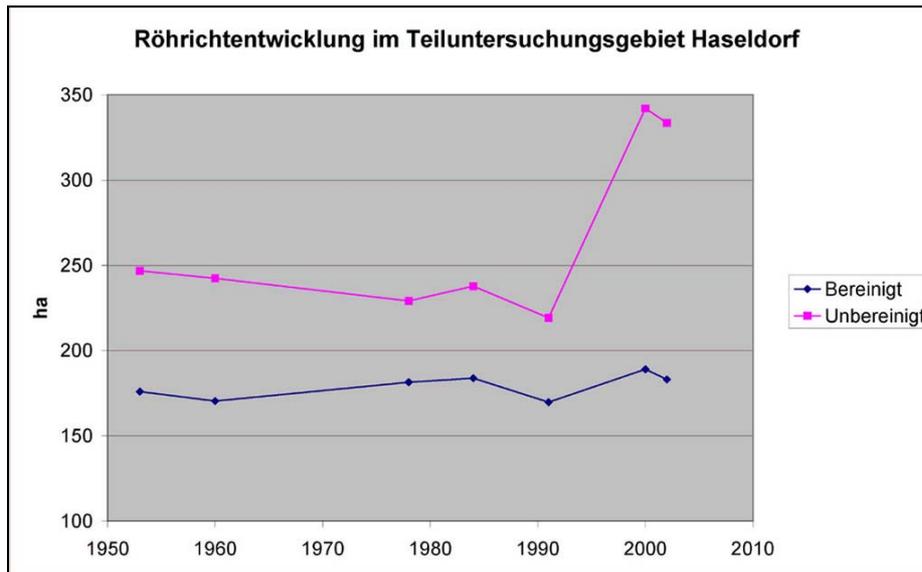
Mittels ihrer sind schnell Bereiche auszugliedern, die hinsichtlich Veränderungen von Röhrichten

- a) stabil sind oder
- b) ständigen Schwankungen unterliegen oder
- c) sich nachhaltig verändert haben.

Sehr deutlich treten dort die Röhrichtverluste im Bereich des 1958 angelegten Spülfeldes Bishorster Sand zutage. Sehr starke Röhrichtzunahmen hingegen sind in den südlichen Bereichen auszumachen, die auf die Nutzungsaufgabe von Weidenkulturen zurückgehen. Die untere Abbildung der vorangegangenen Seite zeigt die Entwicklungsdarstellungen, wenn nutzungsbedingte Veränderungen herausgefiltert wurden. Veränderungen im Bereich der Deiche (Bau des Landschaftsdeiches und des Pinnau-Sperrwerkes), des Spülfeldes und in landwirtschaftlich genutzten Gebieten sind nicht dargestellt. Nur die Veränderungen im direkten Uferbereich werden dargestellt.

In der Darstellung der Gesamtentwicklung auf Grundlage der Jahrgangspaare zeigen sich neben dem sehr dynamisch geprägten Nordteil insbesondere im Bereich der Haseldorfer Binnenelbe auch gerichtete Entwicklungen. Ganze Inseln „wandern“ scheinbar nach Süden, da am nördlichen Ende der Insel die Röhrichte von Jahrgang zu Jahrgang zonenweise zurückgehen und am südlichen Ende der Insel im gleichen Maße wieder eine Ansiedlung erfolgt. In dieser Darstellung sind die Entwicklungen von einem Jahrgang zum nächsten berücksichtigt. Eine Zunahme z. B. von 1960 bis 1978 ist nur dann als solche symbolisiert, wenn vor 1960 keine Röhrichte vorhanden waren und nach 1978 auch kein Rückgang mehr zu verzeichnen war. Alle dynamischen Bereiche sind somit ausgeklammert.

Neben der Darstellung der räumlichen Entwicklung interessieren auch die quantitativen Daten. In Abbildung 04 sind die ermittelten Röhrichtflächen für die einzelnen Jahre aufsummiert und die fehlenden Jahre mittels einer linearen Interpolation dargestellt. Es wird eine mögliche mittlere Entwicklung der Röhrichte auf Grundlage der erfassten Jahrgänge veranschaulicht. Mögliche Schwankungen zwischen den erfassten Jahrgängen müssen vorausgesetzt werden. Ihr Ausmaß ist aber aus den vorhandenen Daten nicht ableitbar.



Entwicklung der Röhrichte (linear interpoliert)

Die Differenzen zwischen der „unbereinigten“ Kurve, also die Summe aller Röhrichte im TUG und der „bereinigten“ Kurve, also die Summe der Röhrichte, die nicht durch direkte anthropogene Maßnahmen beeinflusst sind, zeigt sehr gut das Maß und die Bedeutung direkter anthropogener Eingriffe an. Liegen beide Kurven eng beieinander und folgen auch derselben Richtung, so ist dies ein Indiz für relativ geringfügige direkte äußere Einflüsse. Streben die Kurven jedoch auseinander und/oder in entgegengesetzte Richtungen, so ist das ein Indiz für massive anthropogene Eingriffe. In der Zeit von 1960 bis 1978 fällt die unbereinigte Kurve, während die bereinigte Kurve ansteigt. Dies ist auf die umfangreichen Aufspülungen am Bishorster Sand zu erklären. In der darauf folgenden Zeit bis 1992 sind keine direkten Eingriffe zu verzeichnen. Danach werden die Nutzungsaufgaben auf den Inseln Drommel und Auberg mit der Folge großer Röhrichtentwicklungen augenfällig.

### Analyse der digitalen Daten in den einzelnen TUG

Im Folgenden werden drei ausgewählte möglichst repräsentative Teiluntersuchungsgebiete vorgestellt:

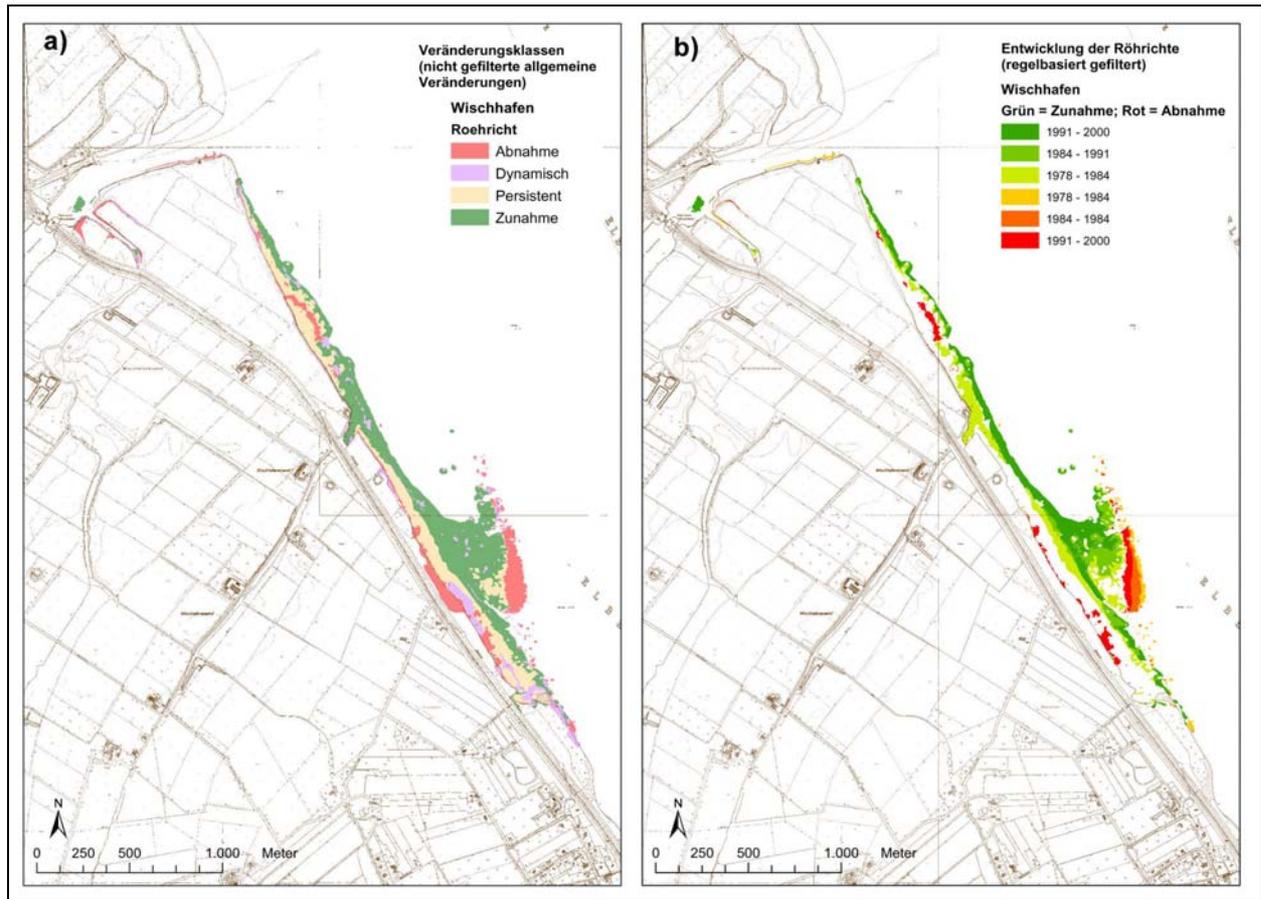
- Wischhafen (TUG 6): Sehr homogene weitgehend ungestörte Röhrichtentwicklung (Zunahmen und Abnahmen)
- Pagensand/Eschschallen (TUG 9): Teilweise durch direkte Eingriffe stark anthropogen beeinflusste Röhrichtentwicklung (Pagensand), typische Ausprägung einer sich kontinuierlich verlagernden Abbruchkante (Eschschallen)
- Heuckenlock (TUG 13): Beispiel für die Entwicklung der Röhrichte stromaufwärts von Hamburg (Rückgang von Röhrichtern durch Sukzession)

### Die historische und aktuelle Entwicklung der Röhrichte im Teiluntersuchungsgebiet Wischhafen (TUG 6)

Für dieses TUG fanden Luftbildkarten von 1978, 1984, 1992 sowie die Befliegungsdaten von 2000 und 2002 Verwendung.

Die Röhrichte am linken Elbufer stromaufwärts der Mündung der Wischhafener Nebelbe bei Krautsand haben sich im Untersuchungszeitraum stark verändert.

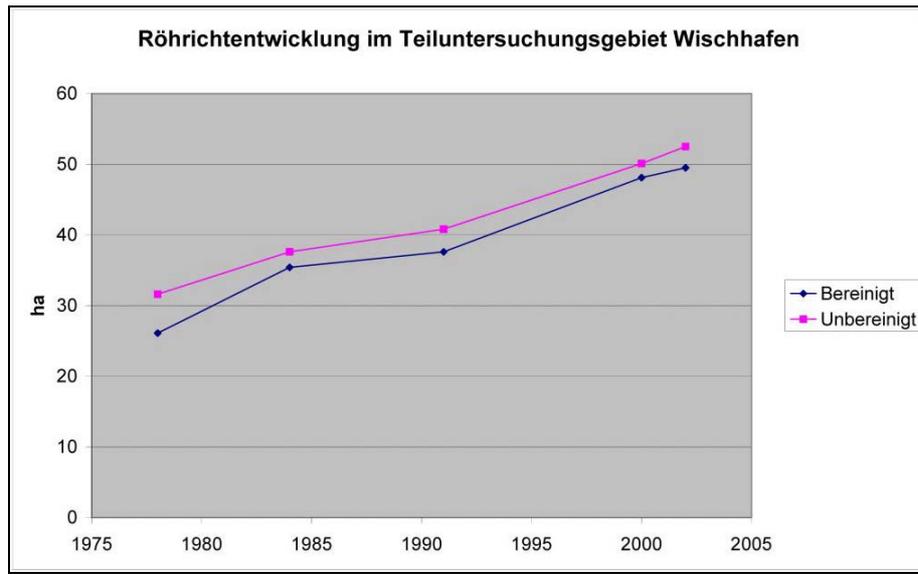
In nachfolgender Abb. a) (Veränderungsklassen) sind Gebiete mit Verlust und Zunahme die stärksten Klassen. Dynamische Bereiche treten in den Hintergrund. Insgesamt nehmen die Röhrichte seit 1978 deutlich zu. Die Zunahmen scheinen sich in den etwas „geschützteren“ Lagen zu konzentrieren. Die Verluste sind überwiegend in exponierten, dem Fahrwasser zugewandten, Bereichen zu verzeichnen. Dies wird auch in der nachfolgenden Abb. b) deutlich, die in den exponierten Röhrichtbereichen eine kontinuierliche Abnahme ausweist. Auch der Röhrichtzuwachs scheint kontinuierlich zu sein.



a) Darstellung der prinzipiellen Veränderungen anhand von Veränderungsklassen im TUG 6 (Wischhafen);  
b) Röhrichtentwicklung im TUG 6 (Wischhafen) (Veränderungen aufgrund von Nutzungswandel usw. wurden ausgeblendet)

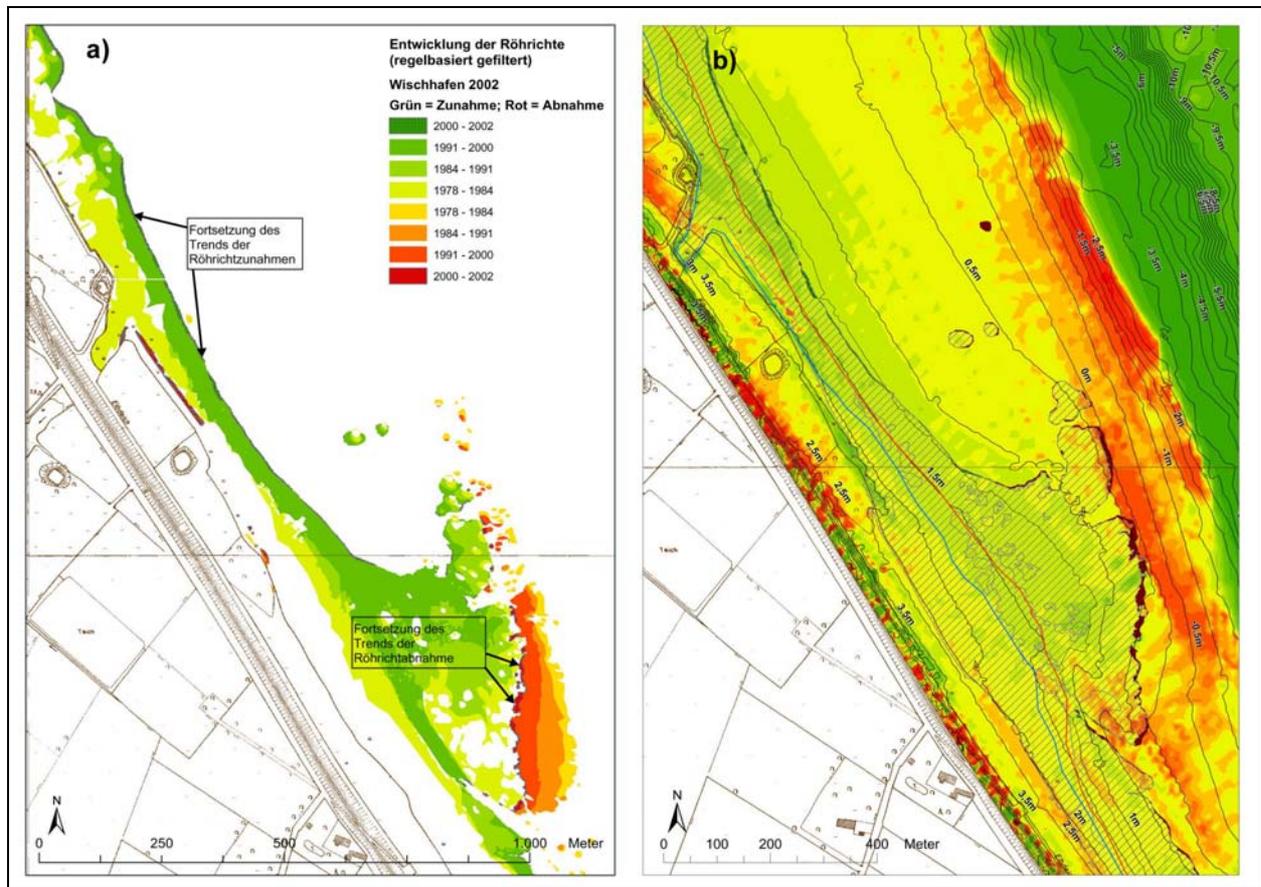
In der Gesamtheit hat sich das Röhricht in diesem Gebiet um das 1,8-fache seiner ursprünglichen Ausdehnung im betrachteten Zeitraum ausgedehnt, also fast verdoppelt. Zu einem ähnlichen Wert gelangt man, wenn die Verluste und Zunahmen, die aus Nutzungsänderungen oder direkten Baumaßnahmen resultieren, nicht mit eingerechnet werden.

Der fast lineare Trend der quantitativen Röhrichtentwicklung im TUG Wischhafen setzt sich in der Zeit nach dem Ausbau der Fahrrinne in gleicher Weise fort (siehe nachfolgende Abbildung).



Röhrichtentwicklung 1978 bis 2002 (linear interpoliert) im TUG 6 (Wischhafen)

Auch die räumlichen Veränderungen des Röhrichts passen sich dem historischen Trend genau an. Die oben beschriebenen Gebiete mit Röhrichtzunahmen weisen auch in der Zeit von 2000 bis 2002 diesen Trend auf und dem entsprechend ist das etwas exponierte Gebiet im südlichen Abschnitt von weiteren Verlusten betroffen (s. nachfolgende Abb. a).



a) Entwicklung der Röhrichte 1978 bis 2002 im TUG 6 (Wischhafen);  
 b) Höhendifferenzmodell im TUG 6 (Wischhafen)

Das Differenzmodell des WSA Hamburg aus der terrestrischen und bathymetrischen Nullmessung (1999) und der 1. Wiederholungsmessung (2002) im Rahmen der Beweissicherung zeigt, dass in dieser Zeit großflächig Sediment abgelagert wurde. An einigen Stellen zeigt sich aber auch Erosion. In der vorigen Abbildung (b) ist das Differenzmodell farbig codiert mit fließenden Übergängen dargestellt. Die Grün-Töne stehen für die Sedimentationsgebiete und die Rot-Töne für die Erosionsgebiete. Die Intensität der Farben entspricht der Stärke von Erosion und Sedimentation. Zusätzlich sind die Isohypsen des Geländemodells der ersten Wiederholungsmessung, die gemessenen MThw-Linien (Nullmessung = blau, 1. Wiederholungsmessung = rot) sowie die Flusswatttrörichte aus der 2002er Biotoptypenerfassung mit dargestellt. Die Rörichtgrenzen verlaufen parallel den Isohypsen und entsprechend den MThw-Linien. Der größte Teil der Rörichte behauptet sich zwischen ca. 2 m ü. NN und ca. 1 m ü. NN. Im südlichen Teil des TUG dehnt sich das Röricht wasserseitig aus und besiedelt auch tiefer liegende Bereiche (bis ca. 0 m ü. NN). Aber auch das Gelände zeigt dort eine leichte Ausbuchtung. Der größte Teil der Rörichtflächen befindet sich in Bereichen aktueller Auflandung. An der wasserseitigen Rörichtgrenze mit vorherrschenden Ablandungen sind auch die historischen und aktuellen Rörichtverluste zu verzeichnen. Die Auflandungen im TUG Wischhafen werden auch durch die Verlagerung der MThw-Linie seit der Nullmessung in Richtung Strom verdeutlicht.

Mit der Auflandung und der damit verbundenen Verschiebung der MThw-Linie korrespondiert die Entwicklung des Rörichts (in diesem Fall die Rörichtzunahme) sehr gut, solange die Rörichte in Bereichen angesiedelt sind, die den gleichen Bedingungen unterliegen, die auch ursächlich für die MThw-Linien-Verschiebung sind. Ist dies gegeben, verschiebt sich auch die wasserseitige Rörichtgrenze. Jedoch ist in diesem Fall nicht die Erhöhung des MThw sondern die Sedimentation die Ursache für die Verschiebung der MThw-Linie und somit zumindest zum Teil für die Entwicklung der Rörichte. Theoretisch sind somit sowohl die Höhendifferenzen als auch die Differenzen des MThw maßgebliche Parameter für die Entwicklung der Rörichte.

Ändern sich die Bedingungen innerhalb der Rörichtfläche, Sedimentation in Ufernähe und somit Verschiebung der MThw-Linie in Richtung Strommitte und Stagnation bzw. Erosion in Bereichen der wasserseitigen Rörichtgrenze, verschieben sich die MThw-Linie und die eulitorale Rörichtgrenze nicht parallel. Eine Verlagerung der MThw-Linie in Richtung Strommitte hat also nicht zwangsläufig eine entsprechende Verschiebung der Rörichtgrenzen zur Folge.

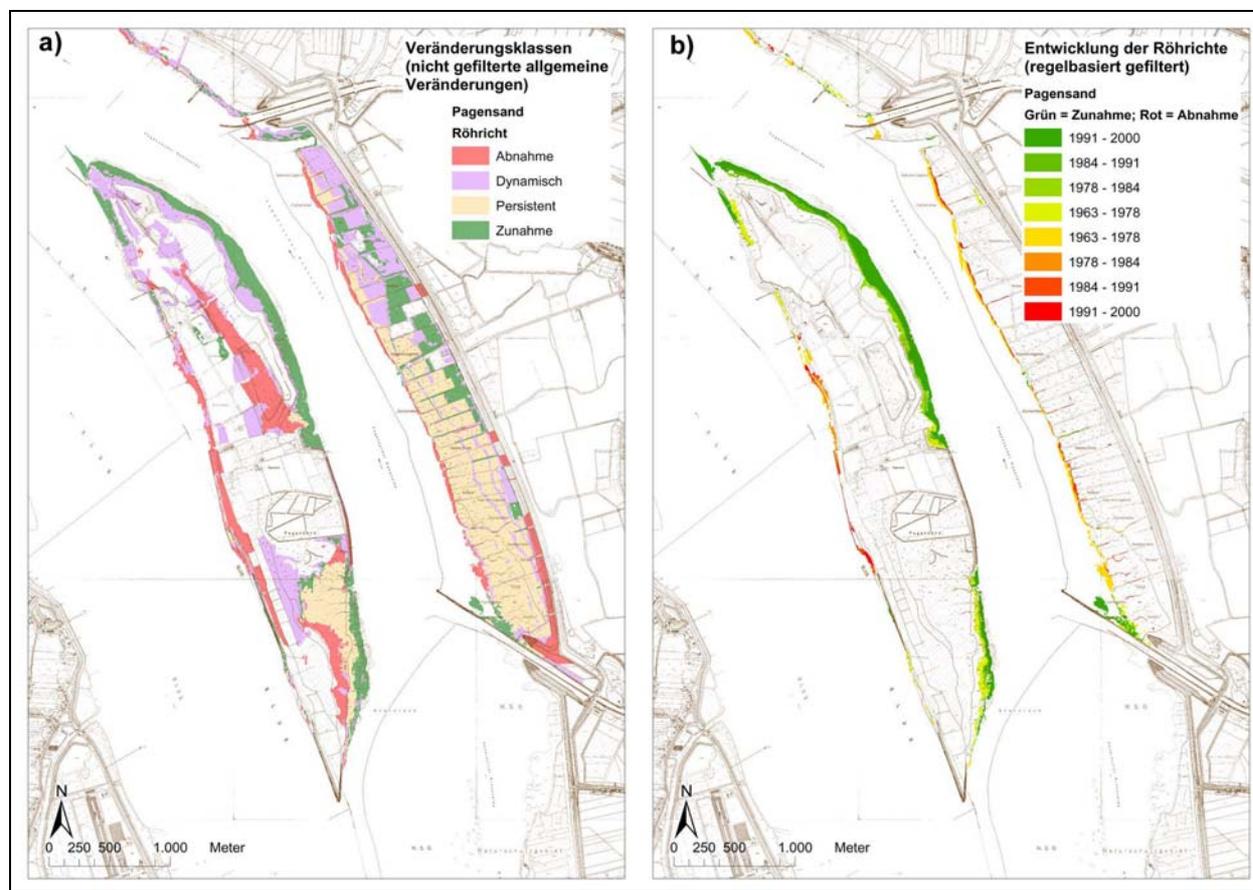
Es zeichnet sich ab, dass verschiedenste Parameter für die Entwicklung des Rörichts in diesem Gebiet verantwortlich sind. Welche Parameter dies im Einzelnen sind und in welchem Verhältnis sie zueinander stehen, kann im Rahmen der Beweissicherung nicht geklärt werden.

#### Die historische und aktuelle Entwicklung der Rörichte im Teiluntersuchungsgebiet Pagensand/Eschschallen (TUG 9)

Das TUG Pagensand liegt zwischen Elbe-km 659 und Elbe-km 666 und umfasst die Insel Pagensand und das Naturschutzgebiet Eschschallen zwischen den Nebenflüssen Pinnau im Süden und Krückau im Norden. Luftbilder von 1963, Luftbildkarten von 1978, 1984, 1992 sowie die Befliegungsdaten von 2000 und 2002 konnten für dieses TUG ausgewertet werden.

Pagensand:

Die Insel Pagensand ist durch große Baumaßnahmen und Nutzungsumwandlungen gekennzeichnet. Bereits auf den Luftbildern von 1963 sind Aufspülungen besonders im Norden der Insel gut zu erkennen. Bis 1978 haben sich in diesem Bereich die Röhrichte stark ausgedehnt. Seit 1978 wurden auf Pagensand im Rahmen des 13,5 m-Ausbaus der Elbe wieder große Gebiete aufgespült. Insbesondere die Nordhälfte der Insel wurde komplett umgestaltet und die großen Röhrichtzonen am Ufer zur Pagensander Nebelbe wurden bei diesen Maßnahmen komplett überspült. In der Zeit nach den Aufspülungen bildeten sich in den neu entstandenen Uferbereichen neue Röhrichtgürtel, die sich rasch ausbreiteten und an der landeinwärts liegenden Grenze sukzessive von Weidenauengebüsch und Weidenauwald abgelöst wurden. Mittlerweile hat sich eine typische Uferzonierung entwickelt. In der untern stehenden Abbildung ist die kontinuierliche Zunahme des Röhrichts an der Pagensander Nebelbe zu erkennen. Die Ausbreitung der Röhrichte in die Pagensander Nebelbe setzt sich bis zum Jahr 2000 fort - siehe nachfolgende Abb. a) und b) .



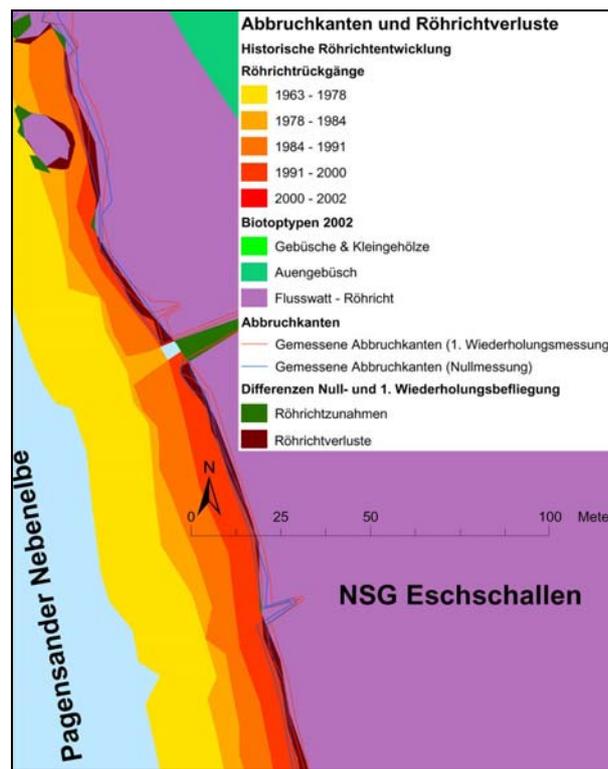
a) Darstellung der prinzipiellen Veränderungen anhand von Veränderungsklassen im TUG 9 (Pagensand);  
 b) Darstellung der Röhrichtentwicklung im TUG 9 (Pagensand/Eschschallen) (Veränderungen, die offensichtlich nicht auf hydrologische Veränderungen zurückzuführen sind, wurden ausgeblendet)

Am Ufer der Insel Pagensand an der Pagensander Nebelbe setzt sich die beschriebene Ausbreitung der Röhrichte nach 2000 im Wesentlichen fort, wenn auch die Geschwindigkeit der Ausdehnung, die in den 1990er Jahren zu verzeichnen war, sich abgeschwächt hat. Zwischen 1991 und 2000 ist das Röhricht teilweise um 100 m und mehr in die Pagensander Nebelbe vorgerückt. Aktuell sind die Röhrichtzunahmen eher stagnierend. Im Norden der Insel sind auch Röhrichtrückgänge zu erkennen. Auf der Fahrrinnenseite der Insel dominieren Röhrichtverluste, die aber keinen kontinuierli-

chen Verlauf aufzeigen. Die Verluste lassen sich z. T. durch Aufforstungen bzw. Sukzession erklären.

Eschschallen:

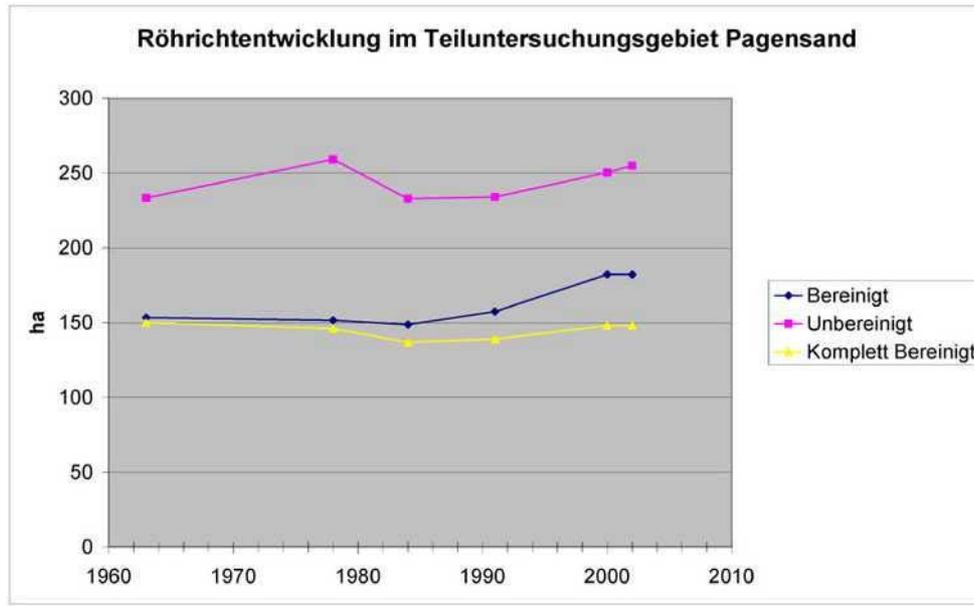
Im nördlichen Teil des heutigen Naturschutzgebietes Eschschallen haben sich seit 1978 Röhrichte angesiedelt, vermutlich auf brach gefallenem Grünland. Seit der Unterschutzstellung haben sich die Röhrichte im Bereich Eschschallen insbesondere durch Nutzungsaufgaben weiter ausgebreitet. An der Uferlinie scheint aber ein kontinuierlicher Rückgang des Röhrichts vorherrschend zu sein. Die Röhricht-Wassergrenze hat sich seit 1963 um ca. 30 bis 40 m landeinwärts verschoben (siehe nachfolgende Abbildung).



Großmaßstäbige Darstellung der Röhrichtrückverlagerung an der Abbruchkante an der Pagensander Nebelbe im NSG Eschschallen

Diese Tendenz setzt sich nach dem Ausbau weiter fort. Dies wird sowohl aus der berechneten Differenz der Biotoptypenklassifikationen der Nullbefliegung und der ersten Wiederholungsbelegung deutlich als auch aus den vor Ort mit GPS eingemessenen Abbruchkanten, die ebenfalls zweifach (Nullmessung und erste Wiederholungsmessung) durch das WSA Hamburg aufgenommen wurden.

Die Entwicklung der Röhrichte im TUG Pagensand/Eschschallen ist in dem Zeitraum 2000 bis 2002 als relativ stabil zu bezeichnen. In der nachfolgenden Abbildung ist im Gegensatz zu den bisher verwendeten Diagrammen zur Röhrichtentwicklung ein dritter Datensatz mit aufgenommen worden (Komplett Bereinigt). Diese Angaben beziehen sich ausschließlich auf Röhrichtflächen, die zum einen offensichtlich nicht durch Baumaßnahmen und/oder Nutzungsänderungen verloren gegangen sind, zum anderen aber auch nicht auf Flächen entstanden sind, die künstlich (z. B. durch Aufspülungen) angelegt wurden (diese Gebiete konnten nur manuell abgegrenzt werden).



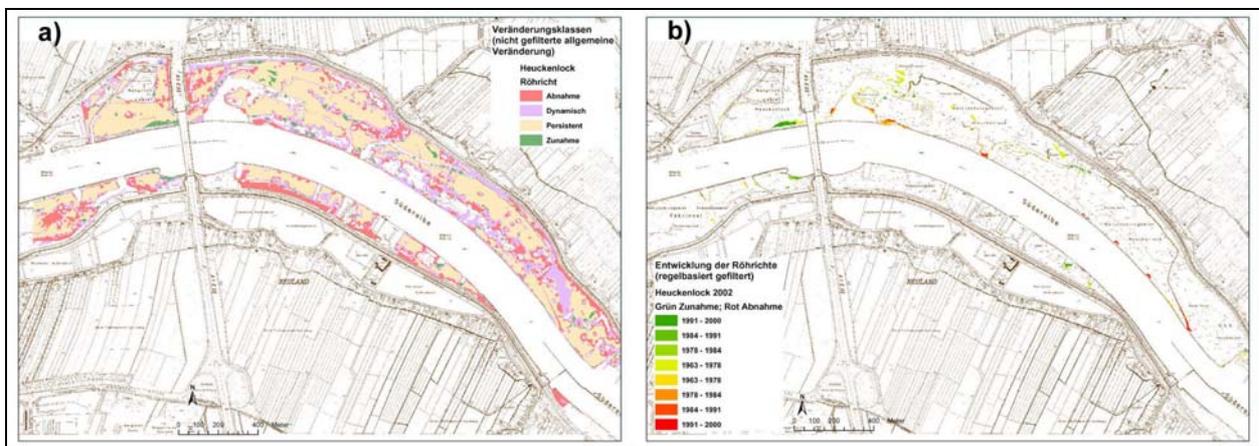
Röhrichtentwicklung von 1963 bis 2002 (linear interpoliert) TUG 9 (Pagensand)

Die unbereinigten Daten zeigen nach den Aufspülungen von 1974 - 1978 einen deutlichen Rückgang in der Röhrichtentwicklung. Danach besiedelt das Röhricht die neuen Standorte und dehnt sich bis heute stetig aus. In den bereinigten Daten ist der Rückgang der Röhrichte nach den Aufspülungen deutlich geringer, da Verluste aus direkten Eingriffen herausgerechnet wurden. Die Kurve "Komplett Bereinigt" in der oben stehenden Abb. ist relativ ausgeglichen.

Die historische und aktuelle Entwicklung der Röhrichte im Heuckenlock (TUG 13)

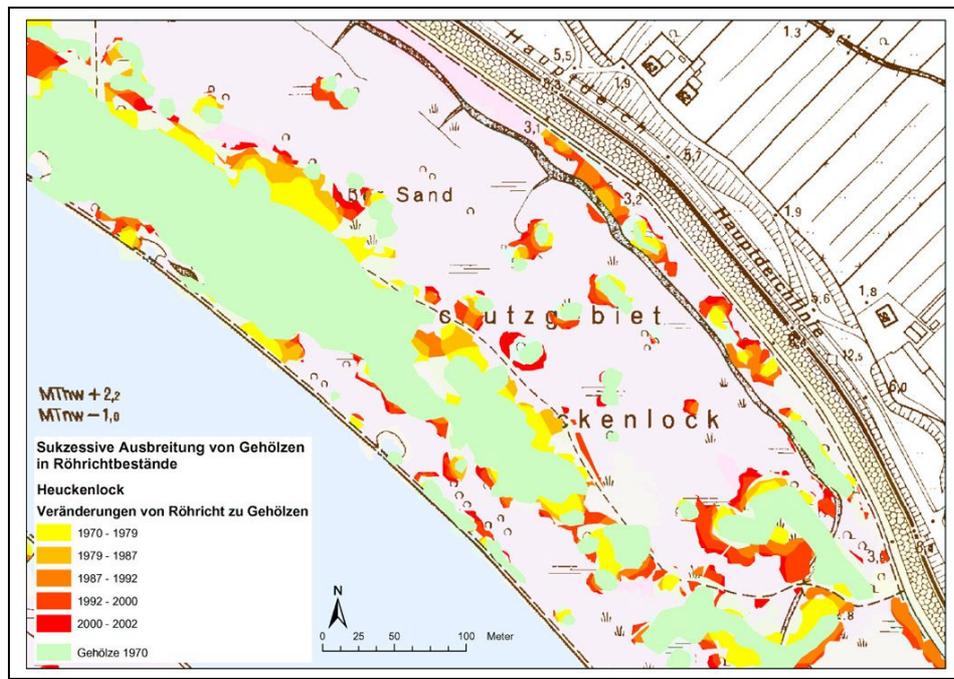
Das TUG Heuckenlock liegt an der Süderelbe zwischen der Bunthaus Spitze und der Autobahn A1 und umfasst im Wesentlichen die Naturschutzgebiete Heuckenlock am rechten Elbufer und Schweenssand am linken Elbufer.

Das TUG ist sehr eng gefasst. Anders als in allen anderen TUG gibt es für die Röhrichte praktisch keinen Raum zur Ausdehnung. Die Ufer sind meist befestigt und im Hinterland sind die Röhrichtflächen durch die Deiche begrenzt. Verluste können hier nicht wie in den anderen Gebieten durch die Besiedelung neuer Flächen ausgeglichen werden.



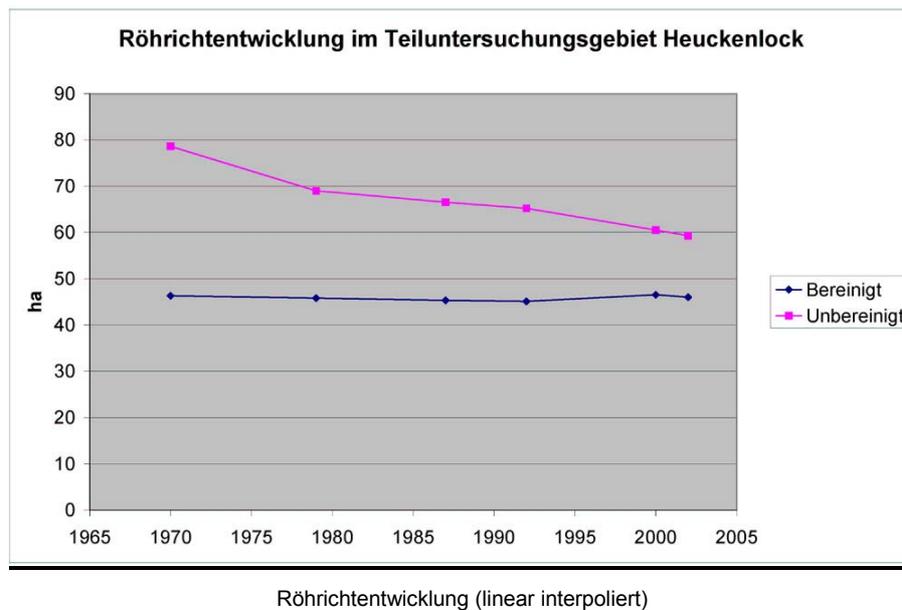
- a) Darstellung der prinzipiellen Veränderungen anhand von Veränderungsklassen im TUG 13 (Heuckenlock);
- b) Darstellung der Röhrichtentwicklung im TUG 13 (Heuckenlock) (Veränderungen, die offensichtlich nicht auf hydrologische Veränderungen zurückzuführen sind, wurden ausgeblendet)

In Abb. a) sind größere Flächen mit Röhrichtverlusten gekennzeichnet. In vielen Fällen ist dieser Verlust auf die Verdrängung von Röhricht durch Gehölze zurückzuführen. Da in Abbildung b) nur die Veränderungen dargestellt sind, die nicht auf Sukzession oder direkte Baumaßnahmen zurückzuführen sind, zeigen sich hier nur noch geringe Veränderungen. In nachfolgender Abb. wird die sukzessive Ausbreitung der Gehölze deutlich. Dargestellt sind jeweils für die Jahrgangspaare die Ausdehnung von Gehölzen auf Kosten der Röhrichte.



Gehölzentwicklung im TUG 13 (Heuckenlock)

Die oben stehende Abbildung verdeutlicht noch einmal die angesprochenen Umstände und Entwicklungen des Röhrichts. Durch die abgeschlossene Lage des TUG verringern sich die Röhrichtflächen kontinuierlich (unbereinigte Kurve). Verluste, die u. a. auf Sukzession bzw. Verdrängung durch angepflanzte Gehölze zurückzuführen sind, können nur bedingt durch die Besiedlung neuer Flächen kompensiert werden. Werden nur die Röhrichtbereiche betrachtet, die nicht durch Nutzungswandel und/oder Sukzession beeinflusst werden, ergibt sich eine sehr ausgeglichene Bilanz.



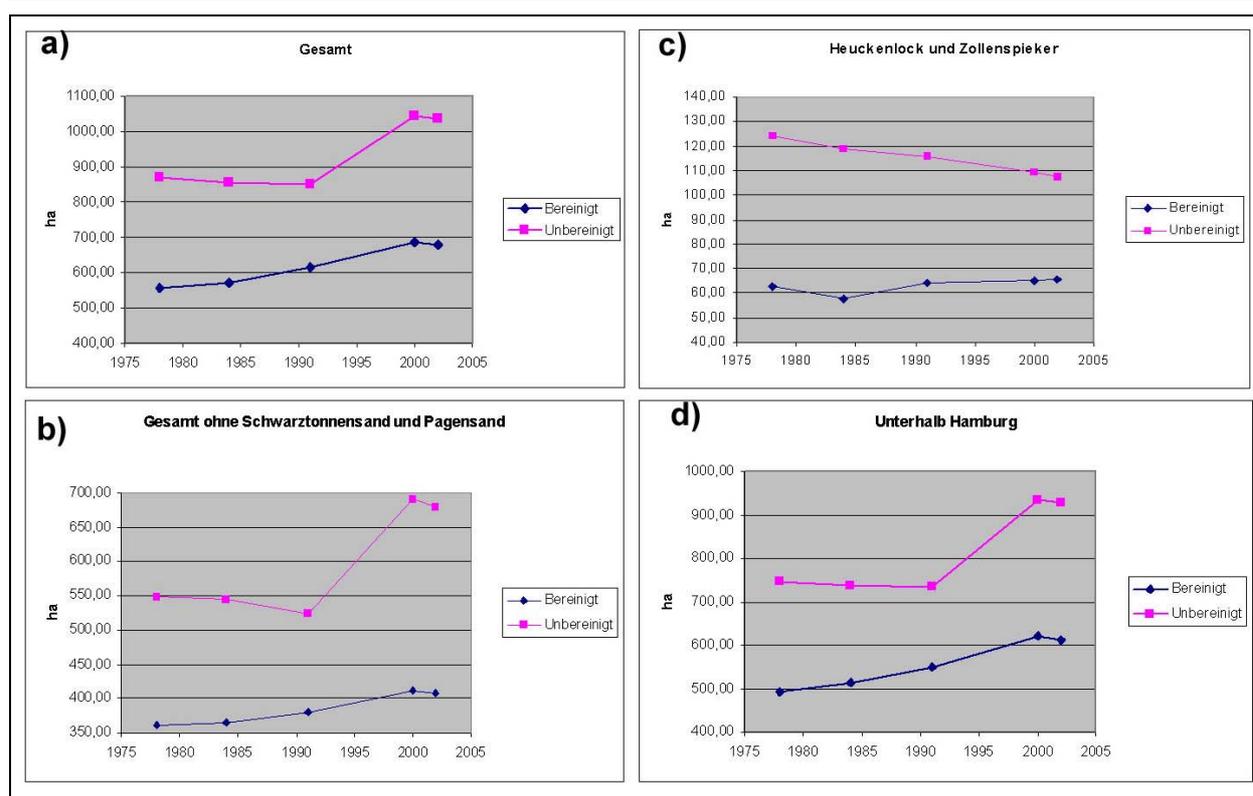
### Zusammenfassende Betrachtung der historischen und aktuellen Röhrichtentwicklung

Die unterschiedlichen Bedingungen, unter denen die Röhrichte in den verschiedenen Gebieten vorkommen, machen eine gemeinsame Interpretation schwierig. Insbesondere die Gebiete, die durch direkte anthropogene Eingriffe nachhaltig verändert wurden sind gesondert zu betrachten. Auch die Bereiche stromaufwärts von Hamburg sind nur bedingt mit den Gebieten stromab von Hamburg zu vergleichen.

#### Entwicklung der Röhrichte in historischer und aktueller Zeit

Werden die Ergebnisse aller Teiluntersuchungsgebiete des Beweissicherungsgebietes zusammen dargestellt, so ist deutlich zu erkennen, dass die Röhrichte in den letzten 30 Jahren kontinuierlich zugenommen haben. Dies ist sowohl in der unbereinigten als auch in der bereinigten Darstellung zu erkennen. Insbesondere die bereinigte Darstellung zeigt für die Summen der Röhrichtflächen der im Rahmen der Beweissicherung untersuchten Gebiete (siehe nachfolgende Abbildung a) einen stetigen Anstieg. Auch wenn die TUG Pagensand (TUG 9) und Schwarztonnensand (TUG 8), aufgrund der künstlich neu geschaffenen Standorte für Röhrichte, nicht mit in die Bilanz eingehen, ändert sich die Steigung der bereinigten Kurve kaum (siehe nachfolgende Abbildung b).

Die Abbildung c) und d) zeigen den Unterschied auf, der zwischen den Standorten der Röhrichte und Uferstaudenfluren oberhalb und unterhalb von Hamburg gemacht werden muss. Während stromabwärts von Hamburg (Abbildung d) die Röhrichtentwicklung einen ähnlichen Verlauf zeigt wie die Gesamtröhrichtflächen (Abbildung a), d. h. die Röhrichte breiten sich aus, nehmen stromaufwärts von Hamburg (Abbildung c) die Röhrichte ab (unbereinigte Darstellung) bzw. bleiben in ihrer Ausdehnung etwa gleich (bereinigte Darstellung).



Röhrichtentwicklung der letzten 30 Jahre in allen TUG und in ausgewählten Regionen ähnlicher Entwicklungsbedingungen

Im Vergleich zum Anstieg der Röhrichtflächen bis zum Jahr 2000 wurde ein leichter Rückgang der Röhrichte zwischen 2000 und 2002 im gesamten Untersuchungsgebiet festgestellt. Dieser Rückgang liegt unter den Prognosewerten der UVU. Eine Umkehr der bisherigen Entwicklung lässt sich aus diesem Rückgang der Röhrichte jedoch nicht schließen. Da die Kurven das Ergebnis einer linearen Interpolation verschiedener Einzelmessungen (Kartierungen) sind, kann der tatsächliche Verlauf zwischen den in den interpolierten Abschnitten durchaus stärker variieren.

### Abhängigkeit des Röhrichts vom MThw

Weiterhin sind die Ursachen für einen Rückgang des Röhrichts nicht eindeutig:

Es zeigt sich, dass das MThw in den letzten 30 Jahren an allen die TUG betreffenden Pegeln mehr oder weniger kontinuierlich angestiegen ist. Entgegen der Aussage der UVU, die bei einem Anstieg des MThw einen Rückgang der Röhrichte prognostiziert, hat das Röhricht - zumindest im Bereich stromab von Hamburg - sowohl hinsichtlich der unbereinigten als auch der bereinigten Gesamtflächen in diesem Zeitraum zugenommen. Eine mögliche Korrelation zwischen dem Anstieg des MThw und einer entsprechenden Reaktion des Röhrichts, wie in der UVU angenommen, muss daher diskutiert werden.

Die MThw-Linie, die sich aus dem Schnittpunkt der Höhe des MThw und der Höhe des Geländes ableitet, scheint dennoch ein wesentlicher Parameter für die Ausdehnung des Röhrichts zu sein. Dies ist sehr gut im TUG 6 (Wischhafen) zu erkennen. Dort orientiert sich die wasserseitige Röhrichtgrenze z. T. exakt an einer bestimmten Höhenlinie. Jedoch folgt einer Erhöhung des MThw nicht zwangsläufig eine horizontale Verlagerung der MThw-Linie in Richtung Deich. Andere Parameter, wie die Sedimentation, können die horizontale Verschiebung der MThw-Linie mindern oder sogar umkehren.

---

In Bereichen, in denen Erosion vorherrscht, sind häufig Abbruchkanten vorzufinden. Diese Abbruchkanten reagieren auf eine Erhöhung des MThw ganz anders als flach geneigte Ufer. Der Verlust von Röhrichten in diesen Bereichen ist in erster Linie eine direkte Folge der Erosion (Unterspülung des Rhizoms, Abbrechen ganzer Bodeneinheiten mit Vegetation) und nicht das Ergebnis eines langsamen Anpassungsprozesses an veränderte Wasserstände.

Am Pegel Bunthaus ist das MThw in den letzten 30 Jahren um ca. 30 cm gestiegen. Theoretisch (nach UVU-Modell) hätten Röhrichte und Weidengehölze im TUG Heuckenlock zurückgehen müssen. Insbesondere die Weidengebüsche und die Weidenauwälder wären zugunsten der Röhrichte betroffen. Ein Rückgang der Röhrichte ist jedoch zugunsten von Weidengebüsch und Weidenauwald zu verzeichnen. Die Gehölze expandierten im untersuchten Zeitraum.

Es hat sich gezeigt, dass eine monokausale Ableitung der Röhrichtausdehnung von der MThw-Linie und entsprechend von Änderungen des MThw nicht ausreicht, um die räumlichen Entwicklungen der Röhrichte und Uferstauden umfassend zu erklären.

Einer besonderen Bedeutung kommt der Dynamik des Flusssystems der Unter- und Außenelbe zu. Zu einem ausgewählten Zeitpunkt sind je nach Standort ein bestimmtes MThw und somit eine MThw-Linie für die Röhrichte und Uferstauden von Bedeutung. Da eine Änderung des MThw nur über einen längeren Zeitraum wirksam werden kann und das System hoch dynamisch ist, verändern sich in diesem Zeitraum auch andere Standortfaktoren, sodass eine monokausale Ableitung der Änderung des MThw auf die Standortbedingungen von ufernahen Biotoptypen nicht oder nur unter Berücksichtigung anderer maßgeblicher Parameter (z. B. Sedimentation) zulässig wäre.

## **AUSBLICK AUF DIE WEITERE BEWEISSICHERUNG**

Dipl.-Ozeanogr. Lothar J.R. Neumann

Nach der gültigen Rechtslage (bestehende Anordnungen im Planfeststellungsbeschluss) gilt für den Fortgang der Beweissicherung :

- Die Untersuchungen der Entwicklungen der abiotische Parameter Wasserstand, Strömung, Leitfähigkeit/Salzgehalt, Sediment und Sauerstoff werden bis zum Jahr 2015 fortgeführt.
- Die topographische Entwicklung wird bis zum Jahr 2010 fortgeführt.
- Die Untersuchungen der Entwicklungen der ökologischen Parameter (Biotope, Makrozoobenthos, Arten) werden voraussichtlich mit dem Jahr 2004 eingestellt.
- Die Grundlagenuntersuchungen werden bis zum Jahr 2015 fortgeführt.

Darüber hinaus wird geprüft, welche Parameter nicht mehr Aussagen für die Ziele der Beweissicherung erbringen und somit deren Untersuchungen in Abstimmung mit den Einvernehmensbehörden der Länder Schleswig-Holstein, Hamburg und Niedersachsen eingestellt werden können.

Bei Realisierung einer neuen Fahrrinnenvertiefung ergäbe eine Fortführung der Beweissicherung gemäß den Anordnungen im Planfeststellungsbeschluss von 1999 gemessen an deren Zielen keinen Sinn mehr, denn durch die neuerlichen Maßnahmen würde das System derart verändert werden, dass ausbaubedingte Wirkungen der Vertiefungsmaßnahmen von 1999/2000 alleine voraussichtlich nicht mehr nachweisbar wären. Für einen derartigen Fall ergäben sich folgende Modelle für eine modifizierte Beweissicherung:

### Modell 1:

Die jetzigen Beweissicherungsmaßnahmen werden, wie im Planfeststellungsbeschluss von 1999 festgelegt, weitergeführt, ergänzt um zusätzliche Untersuchungen, die den Anforderungen einer neuen Maßnahme Rechnung tragen.

### Modell 2:

Die jetzigen Beweissicherungsmaßnahmen werden, soweit sie in Teilen des Untersuchungsgebietes und -inhaltes der neuen Maßnahme entsprechen, als Teil einer neuen Beweissicherung fortgeführt.

### Modell 3:

Die jetzigen Beweissicherungsmaßnahmen werden im Einvernehmen mit den Ländern beendet. Gleichzeitig wird ein komplett neues Beweissicherungsprogramm, welches allein der neuen Maßnahme Rechnung trägt, durch einen neuen Planfeststellungsbeschlusses angeordnet.

## SACHSTAND WEITERER FAHRINNENAUSBAU

BDir Dipl.-Ing. Jörg Osterwald, Projektgruppe Voruntersuchung Fahrrinnenanpassung von Unter- und Außenelbe  
Dipl.-Geogr. Ulrich Ferk, Projektgruppe Voruntersuchung Fahrrinnenanpassung von Unter- und Außenelbe

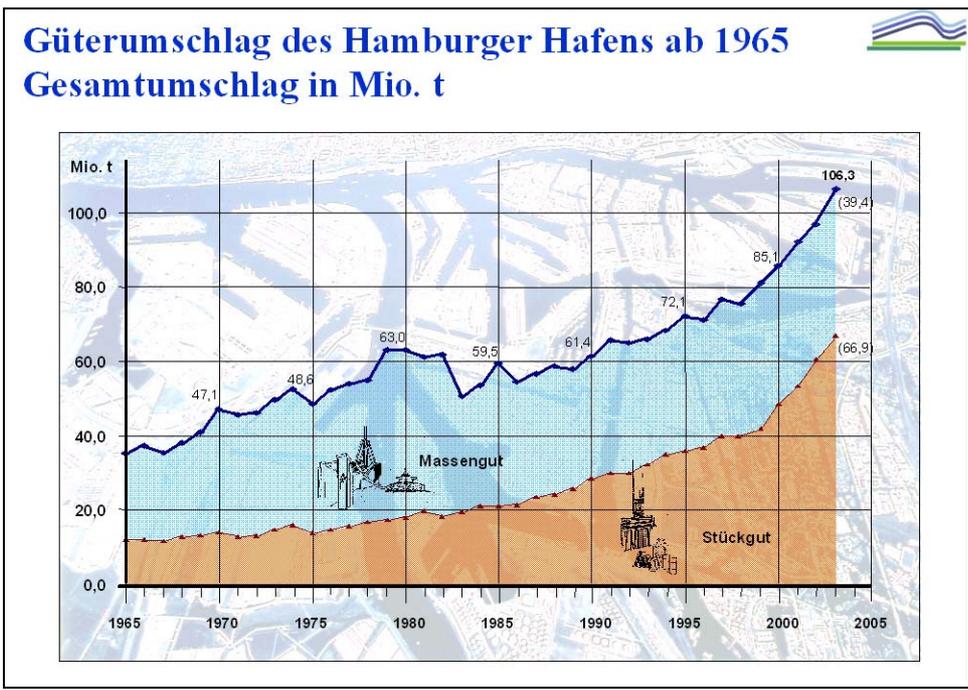
### Wirtschaftlicher Hintergrund

Angesichts der Bedeutung des Hamburger Hafens für die wirtschaftliche Entwicklung der gesamten Metropolregion hat die Freie und Hansestadt Hamburg im Februar 2002 vor dem Hintergrund der anhaltenden Größenentwicklung international verkehrender Großcontainerschiffe einen Antrag auf eine weitere Anpassung der Fahrrinne von Unter- und Außenelbe an die Entwicklungen der weltweiten Containerschifffahrt beim Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW) gestellt.

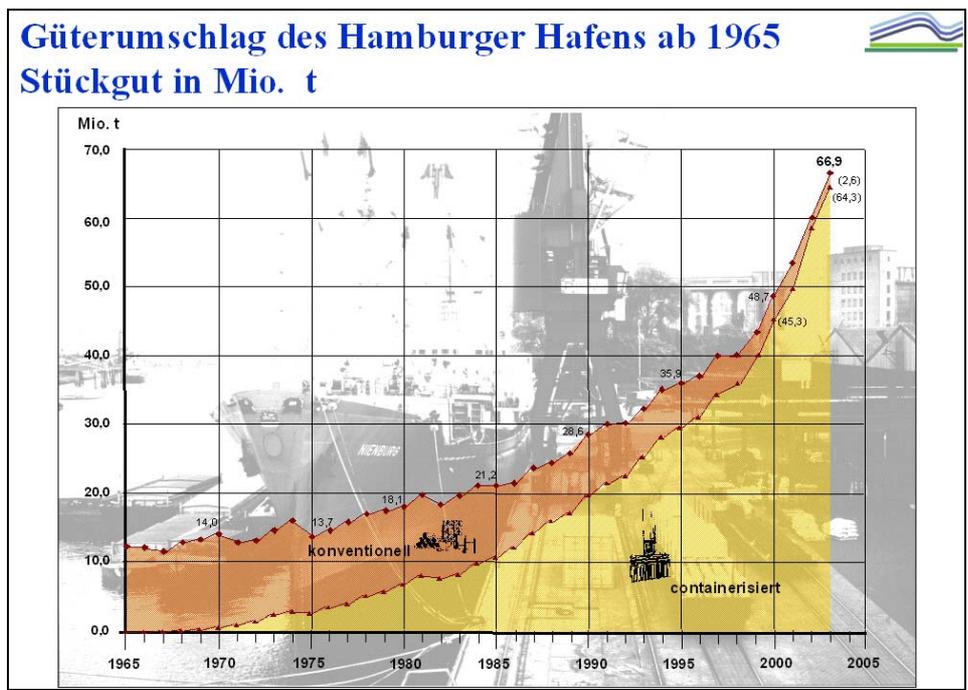
Der Hamburger Hafen ist als größter deutscher Seehafen ein zentraler Wirtschaftsmotor für Hamburg und die gesamte norddeutsche Region. Grundlage seiner weit über die Hamburger Stadtgrenzen hinaus reichenden Bedeutung ist sein stetiger, bis heute anhaltender wirtschaftlicher Erfolg. Diese günstige wirtschaftliche Ausgangsposition ist das Ergebnis vielfältiger privater und öffentlicher Investitionsmaßnahmen in den vergangenen Jahren und Jahrzehnten.

Hamburg bietet als Metropole mit einem reich gegliederten Branchenmix der hier angesiedelten Unternehmen alle erforderlichen Dienstleistungen rund um das Transportgeschehen. Hieraus erwächst nicht nur ein weiterer Wettbewerbsvorteil des Hamburger Hafens, sondern vor allem auch seine große arbeitsmarktpolitischen Bedeutung: Etwa 150.000 Arbeitsplätze, die zu einem großen Teil von Arbeitnehmern in Niedersachsen und Schleswig-Holstein wahrgenommen werden, sind direkt und indirekt an das Hafengeschehen gebunden.

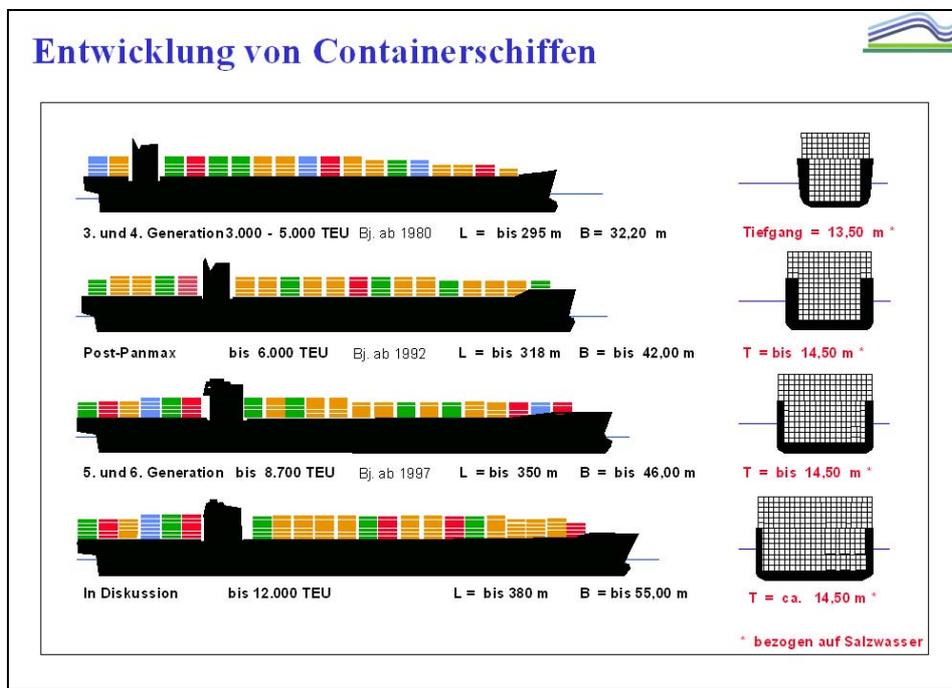
Diese gute Wettbewerbsposition des Hamburger Hafens wird zusätzlich durch dessen günstige wirtschaftsgeographische Lage zu den Märkten Ost- und Südosteuropas sowie Skandinaviens gestärkt. Gerade die politische und wirtschaftliche Liberalisierung Osteuropas hat in diesem Zusammenhang einen wichtigen Beitrag zur sehr positiven Entwicklung des Hafens in den vergangenen Jahren geleistet. Ihren Niederschlag hat diese günstige wirtschaftliche Ausgangsposition in einer seit Jahren andauernden Zunahme des Güterumschlages gefunden. So hat der Gesamtumschlag des Hamburger Hafens von 61,4 Mio. t in 1990 auf 106,3 Mio. t in 2003 zugenommen (s. nachfolgende Abb.).



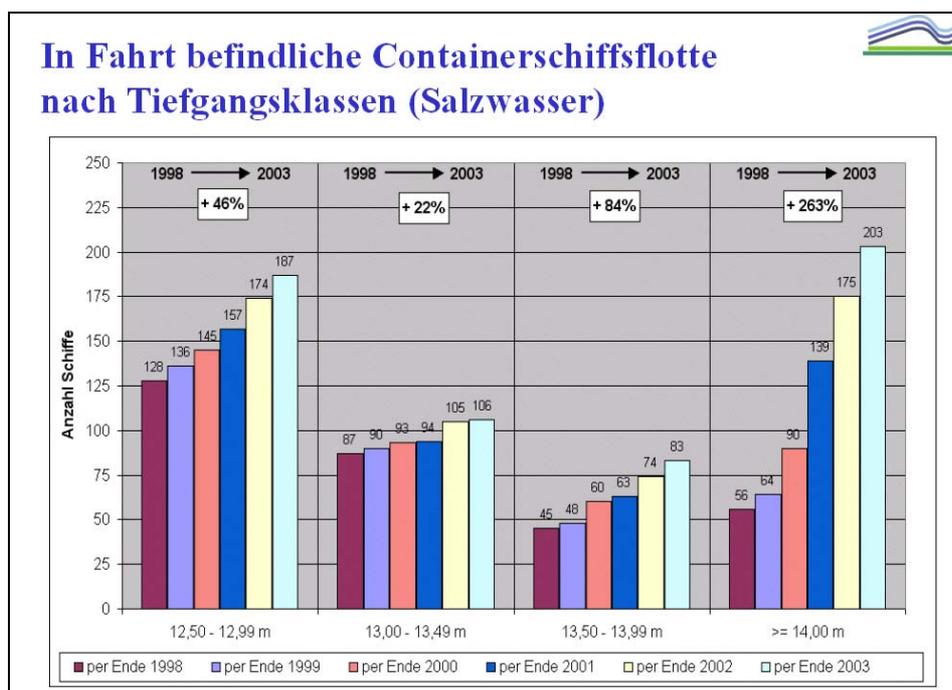
Die sich aus dieser günstigen Ausgangssituation ergebenden wirtschaftlichen Potenziale können allerdings nur dann ausgeschöpft werden, wenn große Containerschiffe den Hamburger Hafen weitgehend ohne Behinderungen erreichen und vor allem wieder verlassen können. Die jüngste, in 1999 abgeschlossene Vertiefung der Fahrrinne von Unter- und Außenelbe hat diesen Zusammenhang eindrucksvoll belegt. So hat der Containerumschlag nach Abschluss der Baggerarbeiten nochmals einen deutlichen Wachstumsimpuls erhalten und hat allein von 1999 bis 2003 um ca. 60 % zugenommen (s. nachfolgende Abb.).



Bereits Ende der 1990er Jahre hat allerdings eine Entwicklung zu noch größeren und damit tiefer gehenden Containerschiffen eingesetzt. So werden derzeit verstärkt Containerschiffe mit einer Tragfähigkeit von etwa 8.000 TEU und einem Maximaltiefgang von bis zu 14,50 m in Dienst (s. nachfolgende Abb.).



Insbesondere in diesem Tiefgangssegment weist die Containerschiffflotte das stärkste Wachstum auf (siehe nachfolgende Abb.). Die beantragte Fahrrinnenanpassung zielt vor diesem Hintergrund darauf ab, dass künftig Containerschiffe mit einem max. Tiefgang von rd. 14,50 m den Hamburger Hafen bedienen können.



## Aktueller Sachstand

Grundlage der Planungen ist ein Containerschiff mit einem maximalen Tiefgang von 14,50 m in Salzwasser, einer Breite von 46 m und einer Länge von 350 m. Die planerischen Überlegungen sehen für das voll abgeladene Bemessungsschiff einen tideabhängigen Verkehr vor. Im tideunabhängigen Verkehr ist ein maximaler Tiefgang von 13,50 m vorgesehen (siehe nachfolgende Abb.).



### Kriterien für die Auswahl der Zielvariante

- ① **Ausbauziel** muss bedarfsgerecht erreicht werden.
- ② **Technische** und **nautische** Randbedingungen müssen berücksichtigt werden.
- ③ **Hydrologische** und **ökologische Beeinträchtigungen** müssen so weit wie möglich **vermieden** werden.
- ④ Variante muss ein **volkswirtschaftliches** Nutzen-Kosten-Verhältnis mit einer möglichst **hohen Rentabilität** aufweisen.

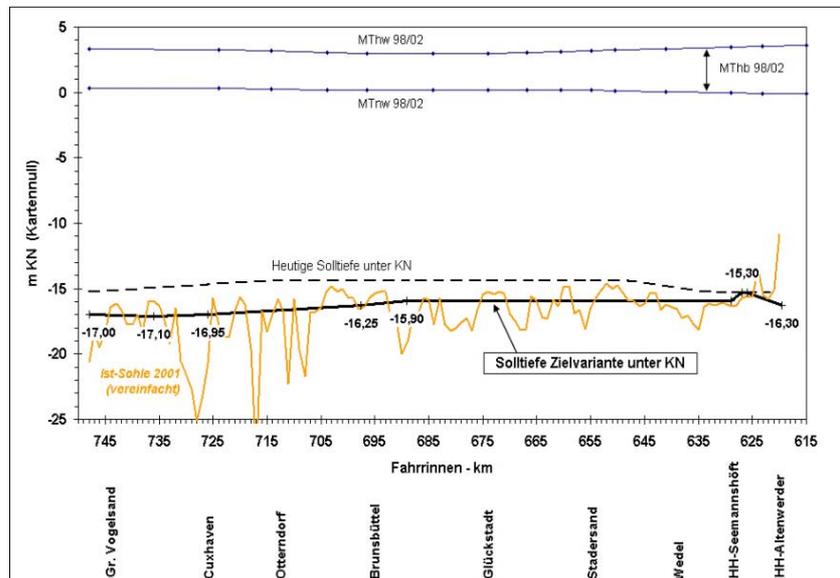
Das *Ausbaubaggergut* soll grundsätzlich im System Elbe verbleiben, um die ausbaubedingten Wasserstandsänderungen zu minimieren. Die Unterbringung des Baggergutes in strombaulich wirksame und zugleich ökologisch vorteilhafte Unterwasserablagerungsflächen hat vor diesem Hintergrund Vorrang vor anderen Verbringungsarten, z. B. der Unterbringung auf Klappstellen (s. nachfolgende Abb.).

### Ziele des integrierten Strombaukonzepts

- Minimierung von ausbaubedingten Wasserstandsänderungen
- Langfristige Reduzierung der Unterhaltungsbaggermengen
- Verbesserung der Ufersicherung an erosionsgefährdeten Böschungen
- Vermehrung von Flachwasserbereichen mit ihren wertvollen Lebensräumen sowie gutem Lichteinfall und Sauerstoffeintrag

Die Ausbaustrecke der Fahrrinnenanpassung reicht von der Außenelbe (Großer Vogel-sand) bis in den Hamburger Hafen zum Containerterminal Altenwerder (Süderelbe) bzw. zum mittleren Freihafen (Norderelbe, s. nachfolgende Abb.).

### Die Zielvariante: Solltiefen im Längsschnitt



Die von einer gemeinsamen Projektgruppe aus Mitarbeitern der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes und der Hamburger Behörde für Wirtschaft und Arbeit unter Beteiligung der Bundesanstalten für Wasserbau und Gewässerkunde durchgeführte ökologische und ökonomische Voruntersuchung zur Fahrrinnenanpassung erbrachte die nachfolgend zusammengefassten Ergebnisse:

- ⇒ Eine weitere Fahrrinnenanpassung ist aus hydrologischer Sicht machbar. Die Modellergebnisse der Bundesanstalt für Wasserbau zu den hydrologische Folgen zeigen, dass die ausbaubedingten Änderungen der Tidewasserstände gering sind und sich im Zentimeterbereich bewegen. Das Tidehochwasser wird nicht erhöht; in großen Teilen der Tideelbe wird sogar eine Dämpfung des derzeitigen Tidehubs erreicht. Dies ist auf ein umfassendes integriertes Strombaukonzept zurückzuführen, das fester Bestandteil der Ausbauplanungen ist.
- ⇒ Die Hochwasserneutralität einer weiteren Fahrrinnenanpassung ist gegeben. Hinsichtlich des zentralen Punktes 'Hochwasserschutz' wurde durch ein gutachterliches Testat der Bundesanstalt für Wasserbau für extreme Sturmfluten bei gleichzeitigem sehr hohem Oberwasserabfluss festgestellt, dass die Auswirkungen der Fahrrinnenanpassung das Deichsicherheitsniveau an der Untereelbe gegenüber dem heutigen Zustand nicht verschlechtern.
- ⇒ Eine weitere Fahrrinnenanpassung ist aus ökologischer Sicht vertretbar. Die Umweltfolgen bleiben nach den Ergebnissen einer Umweltrisikoeinschätzung in einem überschaubaren Rahmen („mittleres Umweltrisiko“) und können mit geeigneten Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen kompensiert werden.
- ⇒ Eine weitere Fahrrinnenanpassung ist volkswirtschaftlich hoch rentabel. Das in einer Wirtschaftlichkeitsuntersuchung ermittelte Nutzen-Kosten-Verhältnis beträgt 12,0. Auch unter der Annahme einer Realisierung des in Planung befindlichen Jade-Weser-Ports in Wilhelmshaven ist ein gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis größer 4 ermittelt worden. Eine Fahrrinnenanpassung von Unter- und Außenelbe ist daher auch aus gesamtwirtschaftlicher Sicht als sinnvoll zu beurteilen.

## Ausblick

Nach dem Abschluss der Voruntersuchungen ist die nächste Verfahrensetappe nunmehr die Aufnahme des Projektes in den so genannten „Vordringlichen Bedarf“ des Bundesverkehrswegeplanes. Hierfür ist ein Beschluss des Bundeskabinetts sowie die Zustimmung der Nachbarländer erforderlich. Eine entsprechende Vorlage befindet sich derzeit beim Bund in der Ressortabstimmung.

Nach einem positiven Beschluss des Bundeskabinetts zur Aufnahme der Fahrrinnenanpassung in den Bundesverkehrswegeplan werden anschließend in einer Hauptuntersuchung die Antragsunterlagen für das Planfeststellungsverfahren erstellt werden. Neben einer technischen Detailplanung gehören dazu eine ausführliche Umweltverträglichkeitsuntersuchung (UVU) sowie ein Landschaftspflegerischer Begleitplan (LBP), in dem geeignete Ausgleich- und Ersatzmaßnahmen zur Kompensation möglicherweise verbleibender Umweltfolgen entwickelt werden.

In diesem Zusammenhang ist zu betonen, dass in jedem Fall nur ein Fahrrinnenausbau realisiert werden wird, der zu keinerlei Einschränkung der Deichsicherheit links und rechts der Elbe führt. Darüber hinaus wird angestrebt, den Fahrrinnenausbau so umweltschonend wie möglich umzusetzen. Dass dies gelingen kann, zeigt dass für die letzte Fahrrinnenvertiefung durchgeführte Beweissicherungsverfahren. Danach sind die für den letzten Fahrrinnenausbau prognostizierten Umweltauswirkungen weder erreicht noch gar übertroffen worden.