

Die Trübungszone in der Tideelbe - Beschreibung der räumlichen und zeitlichen Entwicklung

1. Die räumliche Verteilung der Trübungszone

Die Elbe weist wie alle tidebeeinflussten Ströme eine Trübungszone im Ästuarbereich auf (Abb. 1). In dem Bereich zwischen dem Hamburger Hafenausgang (km 628) und der Insel Scharhörn (km 745) sind die Schwebstoffgehalte deutlich höher als in dem oberhalb gelegenen limnischen Bereich und dem marinen Nordseebereich. Die Trübungszone entsteht durch eine Akkumulation von Schwebstoffen, weil über längere Zeiträume der Netto-Transport von Feststoffen in Richtung Nordsee kleiner ist als der Transport von oberstrom. In Phasen mit geringem Oberwasserabfluss wächst das Schwebstoffinventar an. Ein Hochwasserereignis hingegen verdriftet einen großen Teil der Schwebstoffe in die Nordsee, wo die Wattbereiche gespeist werden. Während eines ausgeprägten Hochwassers wird in wenigen Tagen ein erheblicher Teil der Schwebstoff-Jahresfracht, den der Fluss von oberstrom herbei transportiert hat, aus der Mündung geschoben.

Die Trübungszone und die Brackwasserzone sind in der Elbe nicht deckungsgleich. Vielmehr kann schon am Hamburger Hafenausgang ein erster Anstieg der Schwebstoffkonzentrationen beobachtet werden, obwohl der Salzgehalt des Elbewassers noch keinen Meerwassereinfluss erkennen lässt.

Die ARGE ELBE entnimmt die Wasserproben für das Standard-Messprogramm bei voll laufendem Ebbestrom ca. 1 h vor dem Tideniedrigwasser aus der Fahrwassermitte. In der Regel sind das oberflächennahe Proben. Die Messwerte in Abb. 1 zeigen, dass der Schwerpunkt der Trübungszone zwischen der Schwingemündung und Brunsbüttel liegt. Trotz der großen Streuung der Werte lassen sich ortsfeste Spitzen und Täler erkennen. Die Spitzen sind in der Regel an Orten ausgeprägt, an denen die Wasserstraßenverwaltung einen erhöhten Aufwand für die Unterhaltungsbaggerung hat.

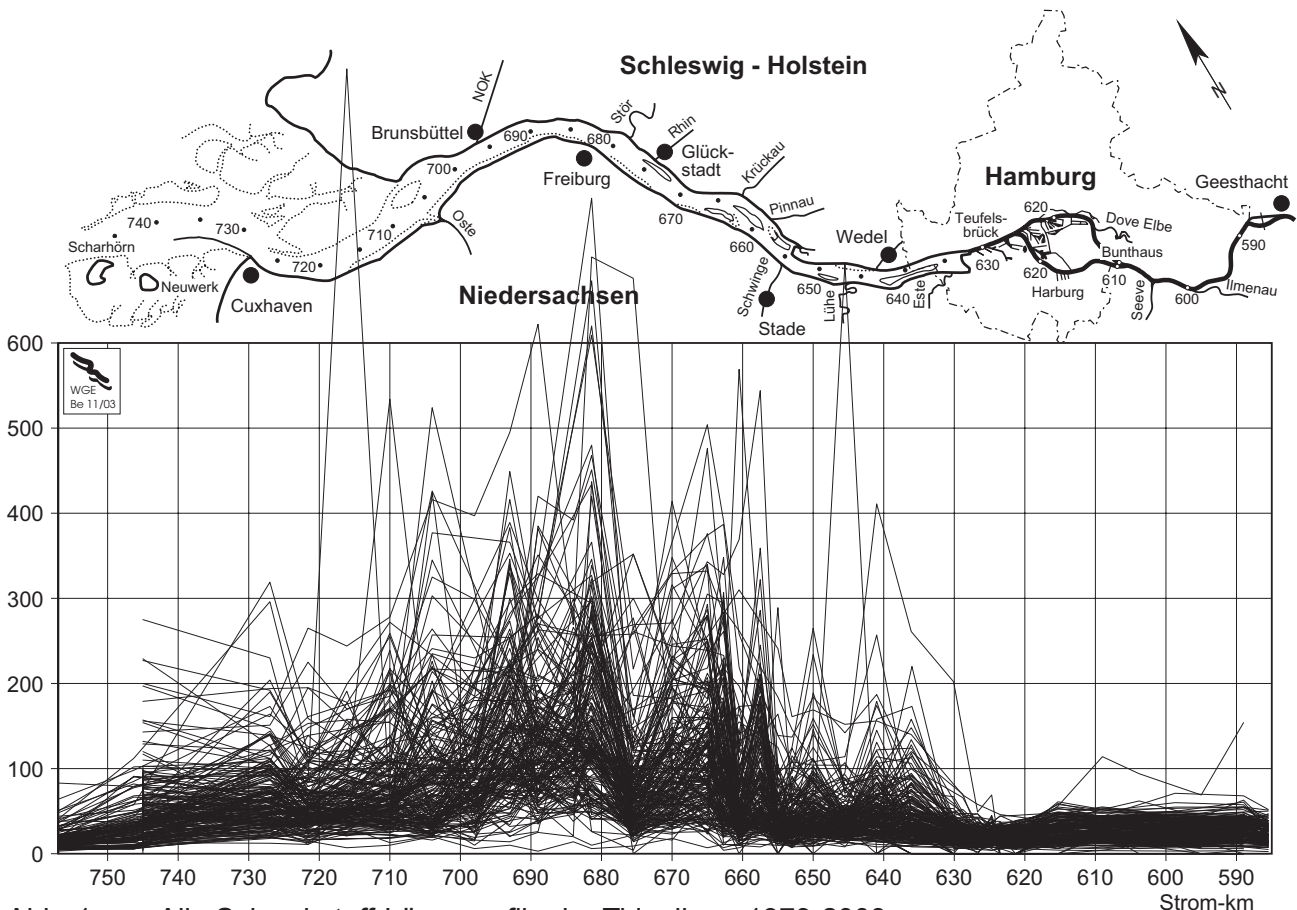


Abb. 1 Alle Schwebstoff-Längsprofile der Tideelbe – 1979-2003

2. Die Einflussgrößen auf die Trübungszone

Die Einflussgrößen auf die Trübungszone sind:

- das Tidegeschehen (Astronomie, Wetter, Strömungsverlauf)
- die Morphologie des Flusses
- der Oberwasserabfluss
- die Zusammensetzung der Schwebstoffe (mineralische und organische Anteile)

In Abb. 2 sind Schwebstoffgehalte zu verschiedenen Tidezeitpunkten in dem Querprofil bei Grauerort dargestellt. Gut erkennbar ist der Einfluss der wechselnden Strömungsgeschwin-

digkeit und der damit einhergehenden Turbulenzen auf die Aufwirbelung, Vermischung und die erneute Sedimentation während der Strömungskenterung. Die Gehalte der Abfiltrierbaren Stoffe variierten über den Querschnitt und die Zeit zwischen 14 und 289 mg/l. Erwartungsgemäß finden sich die höchsten Gehalte in den bodennahen Proben, die 1 m über Grund entnommen wurden. Der Ort und Zeitpunkt der Wasserprobenentnahme für das Standard-Messprogramm der ARGE ELBE ist als „Standardprobe“ (oben Mitte) gekennzeichnet.

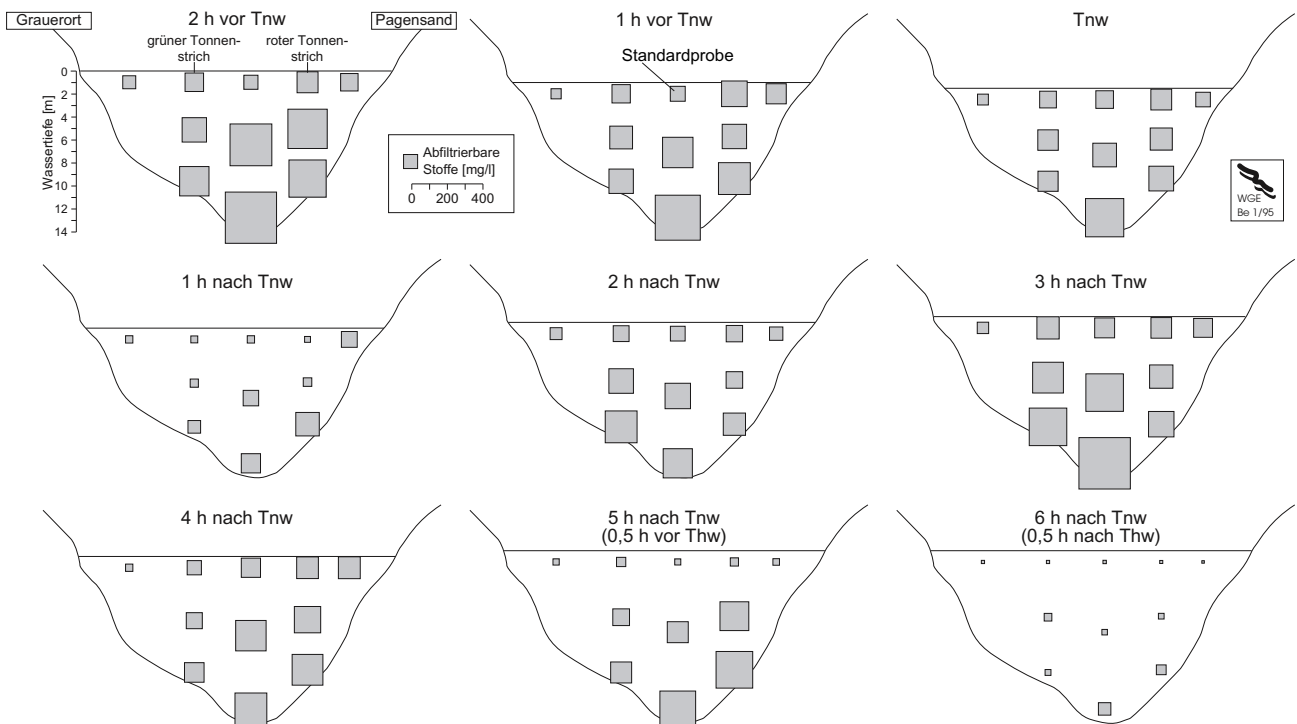


Abb. 2 Verteilung der Abfiltrierbaren Stoffe im Querprofil Grauerort zu verschiedenen Tidephasen – Messung vom 02.04.1992

Zeitweise gibt es einen stromauf gerichteten Netto-Transport von Feststoffen, der zu der Akkumulation in der Trübungszone führt. Es sind 2 Mechanismen bekannt (LANG 1990, SPINGAT 1997):

- Bei der Kenterung des Ebbstromes schiebt sich mit der ersten Flut an der Sohle im Fahrwasser eine „Meerwasserzunge“ unter das Süßwasser. Absinkende Feststoffe gelangen in diesem Bereich in das salzhaltigere Wasser mit höherer Dichte. Die Sinkgeschwin-

digkeit nimmt wegen des Dichteanstiegs deutlich ab und die Feststoffe werden bodennah weiter stromauf transportiert, als bei Ebbe wieder stromab. Dieser Mechanismus wirkt ungefähr im Bereich zwischen Cuxhaven und Brunsbüttel.

- In den ausgebauten, tidebeeinflussten Unterläufen der Ströme ist eine mit dem Ausbau der Flüsse zunehmende Asymmetrie zwischen Flut- und Ebbstrom zu beobachten. Mit der ersten Flut werden Spitzenge-

schwindigkeiten der Strömung beobachtet, die während der Ebbephase nicht erreicht werden. Diese Asymetrie nimmt stromauf in Richtung Hamburg zu. Wenn während der Flutphase mehr Feststoffe, die während der Kenterzeit sedimentiert sind, erodiert und transportiert werden, als während der

Ebbephase, dann ist der Transport der Feststoffe insgesamt stromauf gerichtet. Dieses Phänomen ist als „tidal pumping“ bekannt. Dieser Mechanismus wirkt zwischen Hamburg und Cuxhaven und ist allein für den Anstieg der Schwebstoffe oberhalb der Brackwasserzone zuständig.

3. Das Schwebstoffinventar

Für die Abschätzung der Schwebstoffmengen, die sich während der Niedrigabfluss- und der Hochwasserphasen in der Trübungszone befinden, wurden die Längsprofilmessungen in Abflussklassen (unter 500, 500-900 und über 900 m³/s) sortiert. Die Werte in den 3 Oberwasserklassen wurden gemittelt. Auf der Basis von Querprofil-Messungen bei Glückstadt, Grauerort und Seemannshöft wurden die mittleren Gehalte der Oberflächenproben auf einen Querschnittsmittelwert hochgerechnet. Diese Werte sind in Abb. 3 zusammen mit den

gemittelten Chlorid-Längsprofilen dargestellt. Der Einfluss des Oberwasserabflusses auf die Lage der Brackwasserzone und die Lage und Größe der Trübungszone ist gut zu sehen. Der erste Anstieg der Schwebstoffgehalte unterhalb Hamburgs geschieht deutlich oberhalb des Anstiegs der Chloridwerte.

Zwischen Hamburg-Seemannshöft und Cuxhaven (km 628-726) wurde das Wasservolumen (1 h vor Tnw) in Kilometerabschnitten berechnet und die Schwebstoffmengen aufsummiert.

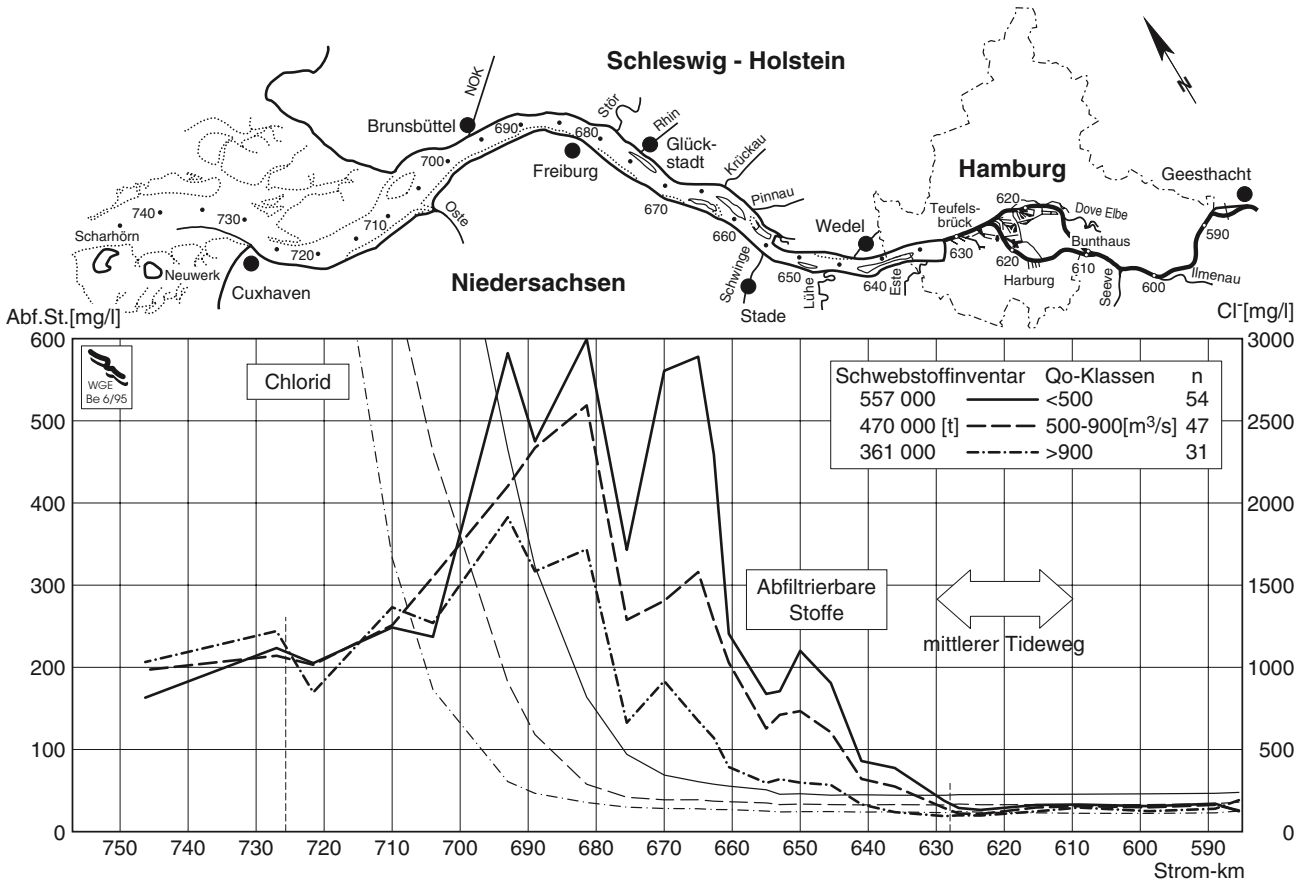


Abb. 3 Abschätzung des Schwebstoffinventars der Tideelbe in Abhängigkeit vom Oberwasserabfluss auf der Basis der Längsprofilmessungen von 1979 bis 1994

In der kleinen Tabelle in Abb. 3 stehen die Ergebnisse.

Die Mittelelbe transportiert im Mittel 600 000 bis 700 000 t/a Schwebstoffe. Über das Wehr Geesthacht gelangen diese in die Tideelbe. Ein

Teil bleibt in den Hamburger Hafenbecken liegen. Durch Baggararbeiten werden hier 200 000 bis 300 000 t jährlich entnommen. Der verbleibende Teil sammelt sich in der Trübungszone. Durch ausgeprägte Frühjahrshochwässer werden ca. 200 000 t in die Nordsee verdriftet.

4. Die Brackwasserzone

Die Auswirkungen der Veränderung des Strömungs- und Transportregimes eines Tideflusses können durch Messungen gelöster Stoffen leichter nachgewiesen werden, als durch Messungen von Schwebstoffgehalten. Deshalb wird hier auf Chloridmessungen in der Brackwasserzone eingegangen.

Die Brackwasserzone ist der Mischungsbereich zwischen Süßwasser und Meerwasser. Die Vermischung geschieht durch den Wechsel der Flut- und Ebberströmung und den damit verbundenen Turbulenzen. Die Lage der Brackwasserzone wird massgeblich von dem Oberwasserabfluss bestimmt. In Abb. 4 ist die Lage

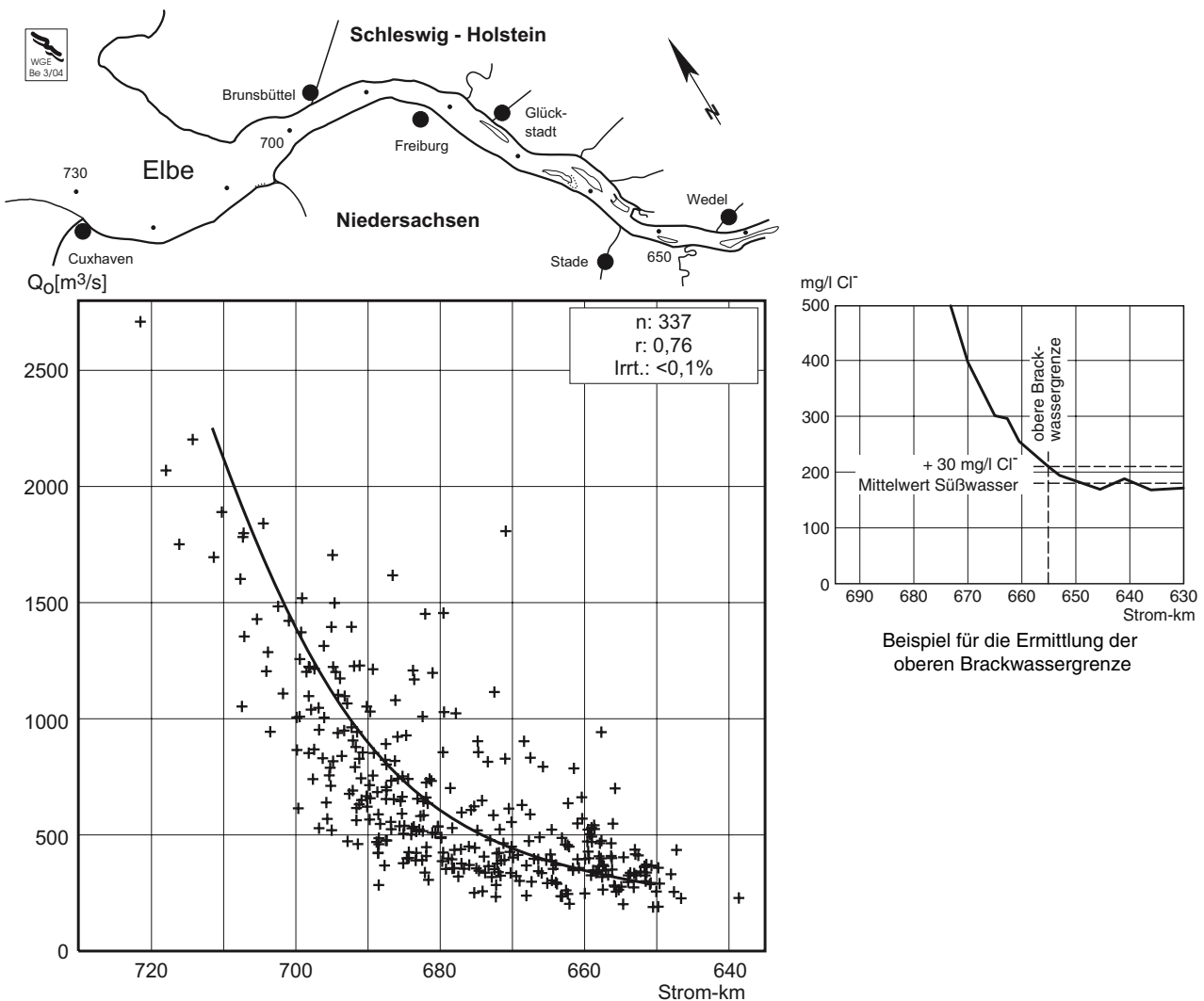


Abb. 4 Die Lage der oberen Brackwassergrenze in der Tideelbe (1h vor Tnw) in Abhängigkeit vom Oberwasserabfluss (gewichtetes 3-Wochenmittel) – Auswertung der Chlorid-Längsprofile von 1953 bis 2003

der oberen Brackwassergrenze (nach der Definition von BERGEMANN, 1995) in Abhängigkeit von dem Oberwasserabfluss dargestellt. Über eine Strecke von bis zu 80 km verschiebt der Oberwasserabfluss die obere Brackwassergrenze, wenn der Abfluss vom sommerlichen Niedrigwasser bis zu einem extremen Hochwasser ansteigt. Das August-2002-Hochwasser z. B. schob reines Süßwasser bis nach Cuxhaven. Außerdem wird während einer Tide im Mittel ein Tideweg von 20 km zwischen den Kenterpunkten zurückgelegt.

bungszone im Vergleich zu dem Juli 2002-Längsprofil zu sehen. Die Brackwasserzone wurde ca. 30 km, die obere Brackwassergrenze sogar rd. 50 km stromab verschoben. Die Veränderung in der Trübungszone ist deutlich geringer. Ein Schwebstoffpool aus dem Raum Freiburg wurde wohl in den Bereich Cuxhaven verdriftet, aber der Schwerpunkt der Trübungszone scheint ortsfest geblieben zu sein. Dieses Beispiel zeigt, dass Änderungen der Transportprozesse von Feststoffen erheblich komplexer sind als von gelösten Stoffen.

In Abb. 5 ist die Wirkung des August-2002-Hochwasser auf die Brackwasser- und Trü-

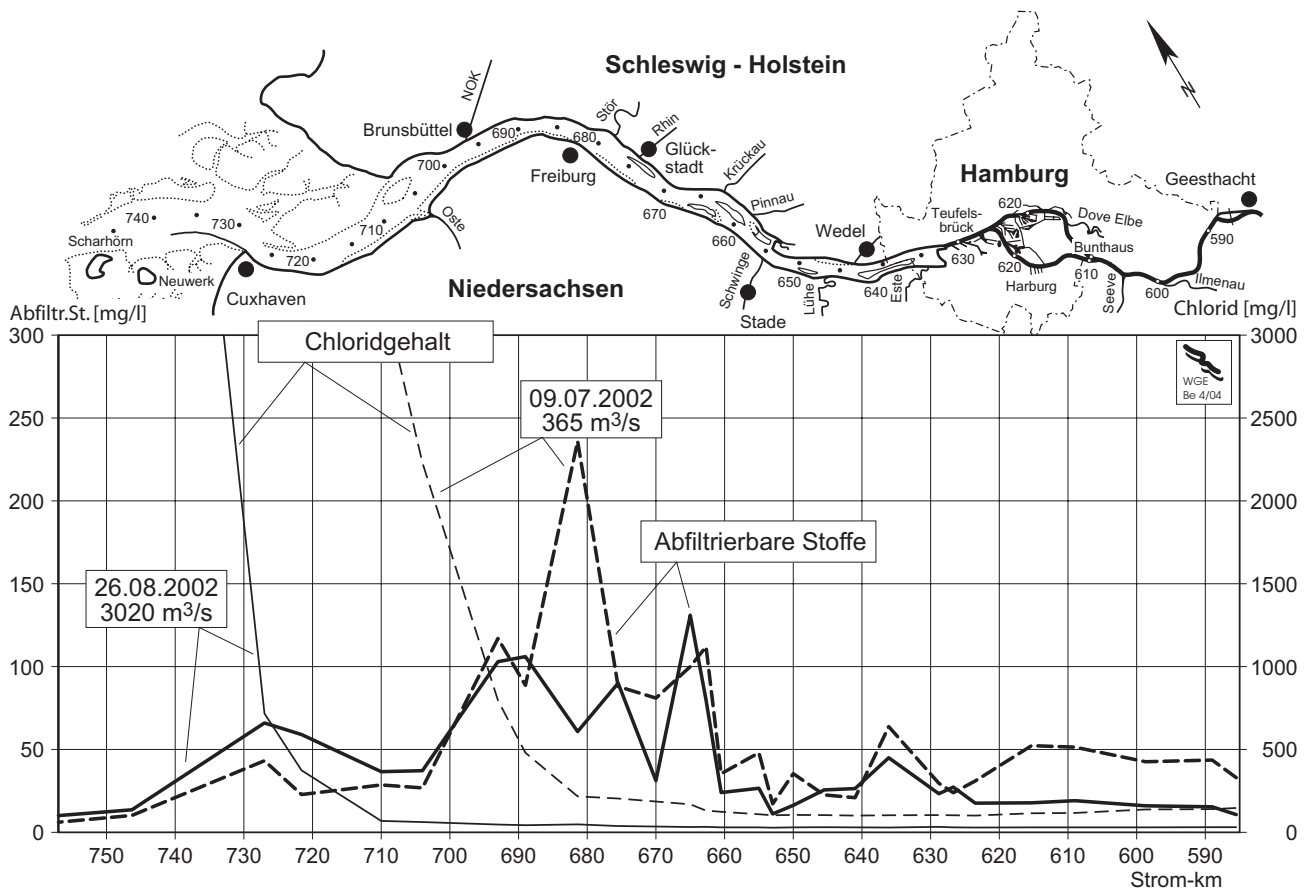


Abb. 5 Vergleich der Längsprofile Juli und August 2002 - Abfiltrierbare Stoffe und Chloridgehalt

Die Auftragung einer Zeitreihe von 1953 bis 2003 in Abb. 6 zeigt, dass die obere Brackwassergrenze in diesem Zeitraum stromauf gewandert ist, wenn man Messungen bei niedrigen Oberwasserabfluss vergleicht. Dieser ist statistisch signifikant, weil ein längerer Zeitraum betrachtet wurde. Änderungen in kürzeren Zeitabschnitten, wie z. B. nach der letzten Fahrwasservertiefung, sind wegen der gro-

ßen Streuung der Werte statistisch nicht signifikant.

In der betrachteten Zeit wurde das Fahrwasser der Elbe zwischen Hamburg und Cuxhaven 4 mal vertieft. Die Solltiefen des Fahrwassers änderten sich wie folgt:

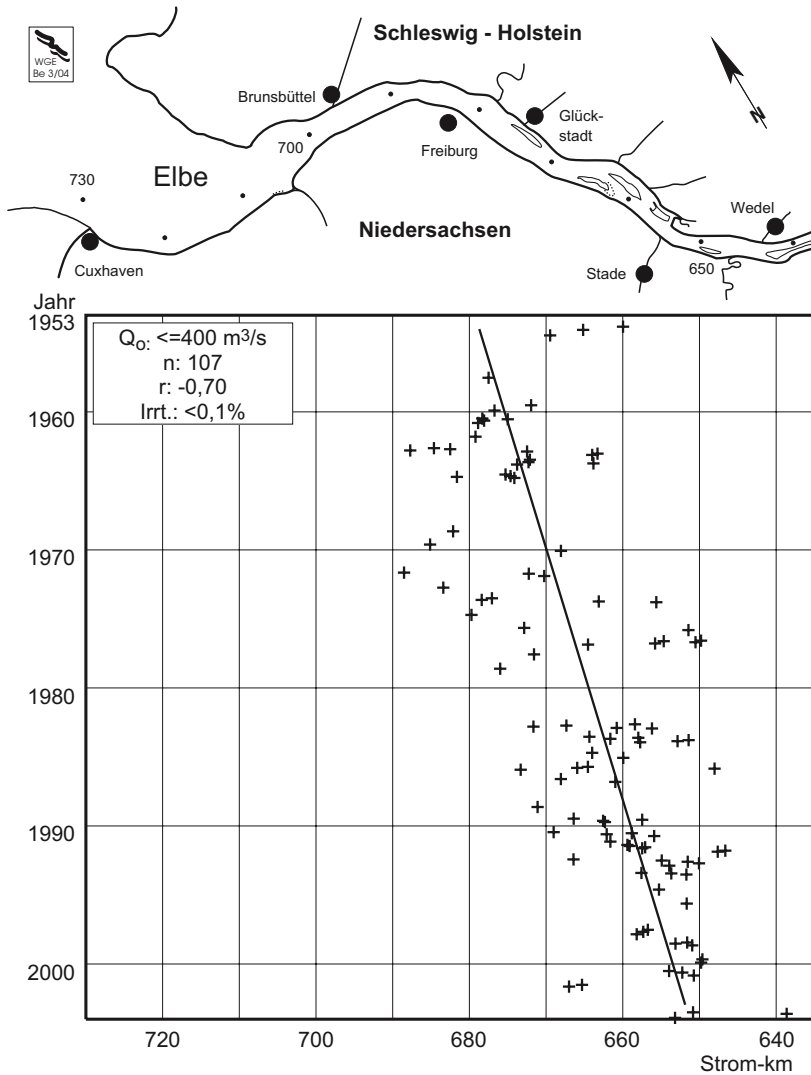


Abb. 6 Die zeitliche Entwicklung der Lage der oberen Brackwassergrenze (1h vor Tnw) bei niedrigen Oberwasserabflüssen – Auswertung der Chlorid-Längsprofile von 1953 bis 2003

- 10,0 m (1950)
- 12,0 m (1962)
- 12,5 m (1970)
- 13,5 m (1976)
- 14,5-15,3 m (1999)

Außerdem wurden beginnend mit den 1960er Jahren etliche Hafengebäude in Hamburg zugespült und die Alte Süderelbe abgedämmt.

Damit wurde der obere Flutraum verkleinert. Die Folge war ein Anstieg des mittleren Tidenhubes am Pegel St. Pauli von 2,4 auf 3,6 m. An den unterhalb gelegenen Pegeln fiel der Tidenhubanstieg allerdings geringer aus. Im Zusammenhang mit diesen morphologischen und hydrodynamischen Veränderungen steht die Verschiebung der Brackwasserzone.

5. Zeitliche Veränderung der Trübungszone

Die im vorhergehenden Kapitel aufgezeigten Änderungen der Transportprozesse in der Brackwasserzone lassen erwarten, dass sich diese auch auf die Trübungszone ausgewirkt haben. Es wurden deshalb 3 Schwebstoff-Zeitreihen (Abb. 7) bei Pagensand Mitte/Grauer-

ort, Brunsbüttel und Cuxhaven und die Schwebstoff-Längsprofile (1979-2003) auf statistisch signifikante Trends untersucht. Es wurde hierfür der Einfluss des Oberwasserabflusses durch eine Sortierung in Oberwasserklassen ausgewertet. Auch der Einfluss von

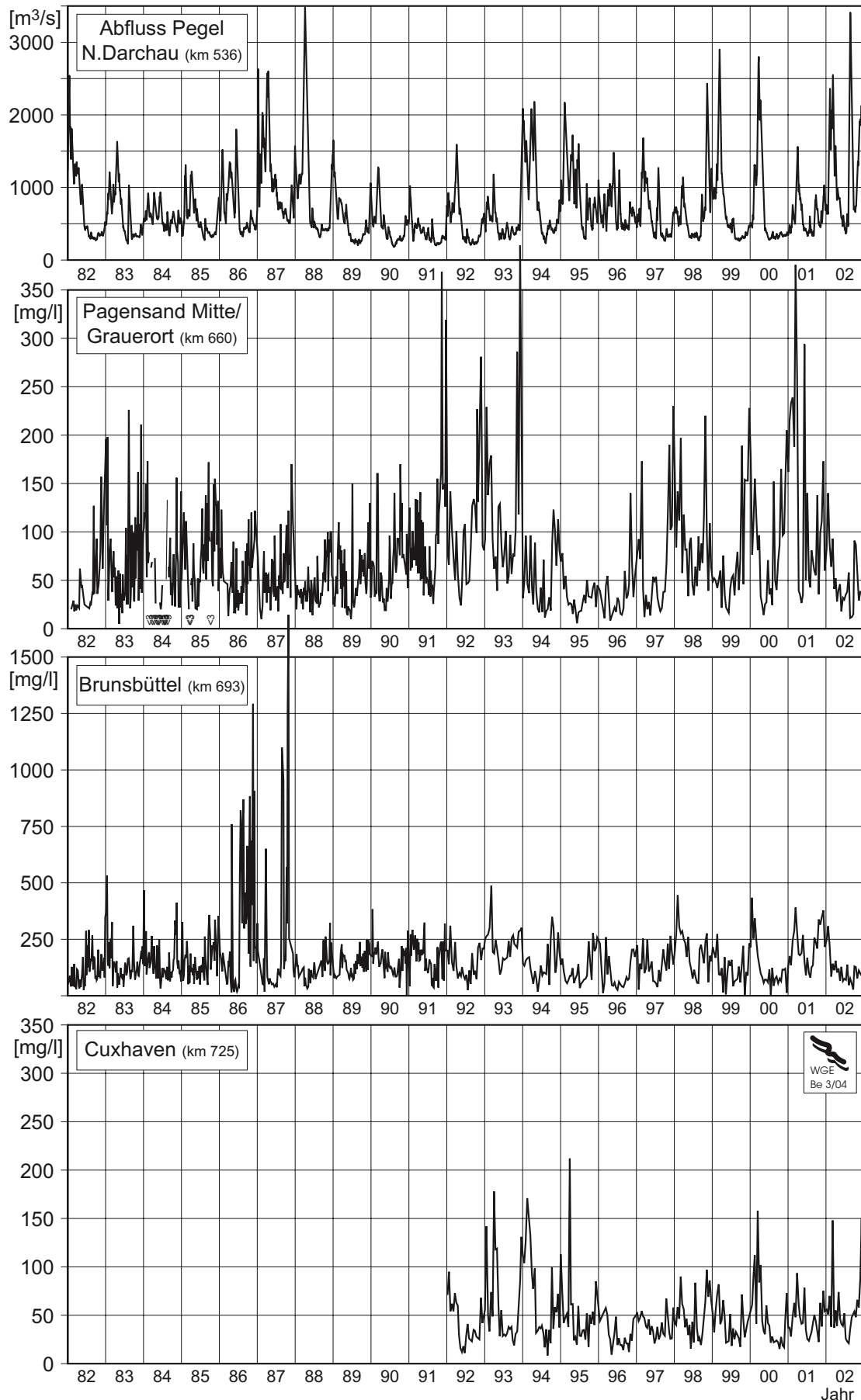


Abb. 7 Zeitreihen der Gehalte von Abfiltrierbaren Stoffen (1 h vor Tnw) von 1982 bis 2002

Bakterien und Algen, die die Schwebstoff-flockenbildung maßgeblich beeinflussen, wurde über die Messgrößen POC und Wassertemperatur ausgewertet. Es ergab sich auf der Basis dieser Werte keine signifikante Abhängigkeit der Schwebstoffgehalte vom Oberwasserabfluss und auch eine jahreszeitliche Entwicklung konnte nicht beschrieben werden. Signale (Spitzenwerte) laufen nicht wie im limnischen Bereich der Elbe durch einen betrachteten Streckenabschnitt durch. So haben die hohen Werte bei Brunsbüttel in den Jahren 1986 und 1987 keine Entsprechung an der Messstelle Pagensand Mitte. Umgekehrt tauchen die ho-

hen Winterwerte (1991-93) bei Pagensand nicht bei Brunsbüttel auf. Die große Variabilität der Schwebstoffwerte konnte nicht verkleinert werden. Deshalb konnte aus keiner der Zeitreihen ein zeitlicher Trend herausgefiltert werden. Das Rauschen der Werte ist also größer als der vermutete Effekt der morphologischen und hydrodynamischen Änderungen, die in dem untersuchten Zeitraum stattgefunden haben. Das bedeutet nicht, dass diese Änderungen vernachlässigbar sind. Die Änderungen sind nur mit dem hier versuchten Ansatz nicht nachzuweisen.

6. Literatur

BERGEMANN, M., Die Lage der oberen Brackwassergrenze im Elbeästuar, Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen, 39. 1995, H. 4/5, S. 134-137 (<http://www.arge-elbe.de/wge/Download/DTexteH.html>)

LANG, G., Zur Schwebstoffdynamik von Trübungszonen in Ästuarien, Institut für Strömungsmechanik und Elektronisches Rechnen im Bauwesen der Universität Hannover, Bericht Nr. 26/1990, ISSN 0177 - 9028

SPINGAT, F. M., Analyse der Schwebstoffdynamik in der Trübungszone eines Tideflusses, Leichtweiss-Institut für Wasserbau der Technischen Universität Braunschweig, Heft 139/1997, ISSN 0343 - 1223