



# Überblick: Das System Tideelbe

harro.heyer@baw.de

www.baw.de

Zur Definition eines Ökosystems gehören

Organismen, **physikalische Kräfte und Faktoren**, und ein bestimmter Raum.

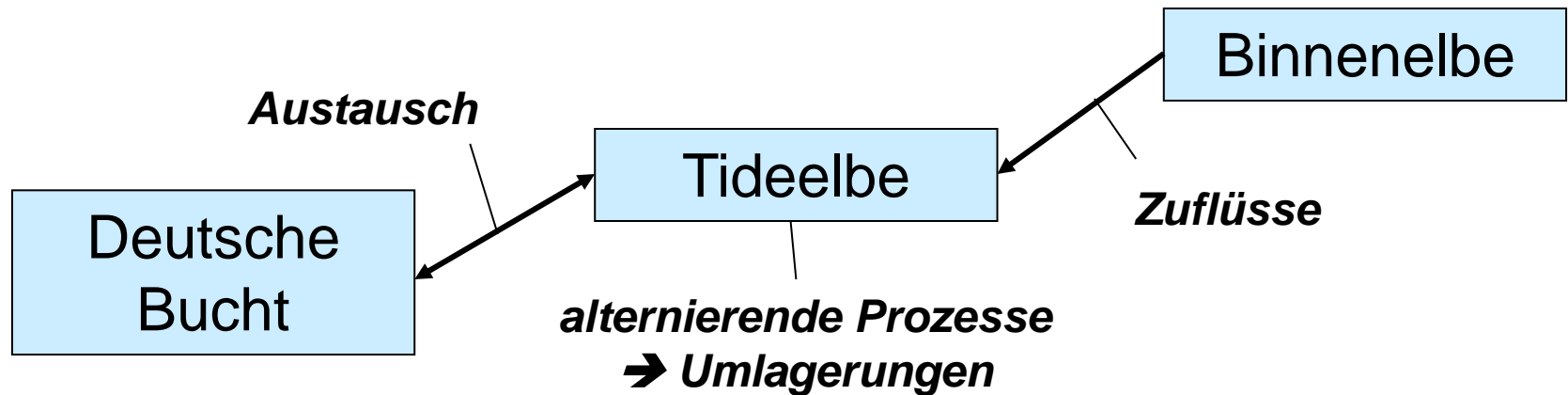
.... Ökosysteme sind **offen, dynamisch und komplex**

.... Ökosysteme haben biotische und **abiotische Elemente und Strukturen**.

Die Strukturen sind durch **Wechselwirkungen** miteinander verbunden.

<http://de.wikipedia.org/wiki/%C3%96kosystem>

# Offenes System - Einflüsse von Außen



- Zuflüsse: Oberwasser (sehr variabel) mit Sedimenten
- Austausch: Flut- und Ebbestromvolumen mit Sedimenten
- Umlagerungen: Alternierende Transporte in den Rinnen / Überfluten / Sedimentation in seitlichen Räumen

# Einflussfaktoren - Systemzustand

Die **Flussgeometrie** beeinflusst das Systemverhalten maßgeblich. Sie prägt die Strömungen.

**Strömungen** werden angetrieben durch

- das Wasserspiegelgefälle der **Tidewelle**
- den **Oberwasserzufluss**
- unterschiedliche **Fluidichte** (Salzgehalt, Temperatur, Sedimentgehalt)
- den **Wind** (Schub an Wasseroberfläche)

Die Strömungen **transportieren feste Stoffe** (z.B. Sedimente) und **gelöste Stoffe** (z.B. Salz). Strömungen verändern die Wasserstände.

Der **Feststofftransport** verändert die Flussgeometrie in langfristigen Zeitspannen. Man spricht von der **Morphodynamik** der Tideelbe.

Der Stofftransport verändert die **Habitate** der Tideelbe.

# Inhaltliche Struktur

- Flussgeometrie – Urstromtal, Geometrieparameter im heutigen Zustand
- Mittlere Wasserstände / Tidewelle / Tidekurve – Veränderungen
- Bedeutung Wasserspiegelgefälle
- Oberwassermengen
- Salzgehalt – Abhängigkeit vom Oberwasser - Bedeutung Fluiddichte
- Strömung, Feststofftransport , tidal pumping, Sedimentverteilung
- Morphologische Entwicklung – Rinnendynamik - Veränderung Flussgeometrie
- Habitate
- Ursachen der Verlagerung von Baggermassen nach Hamburg

# Flussgeometrie

## Urstromtal, Geometrieparameter im heutigen Zustand

### **Saale-Eiszeit**

Bildung des Elbe-Urstromtals.

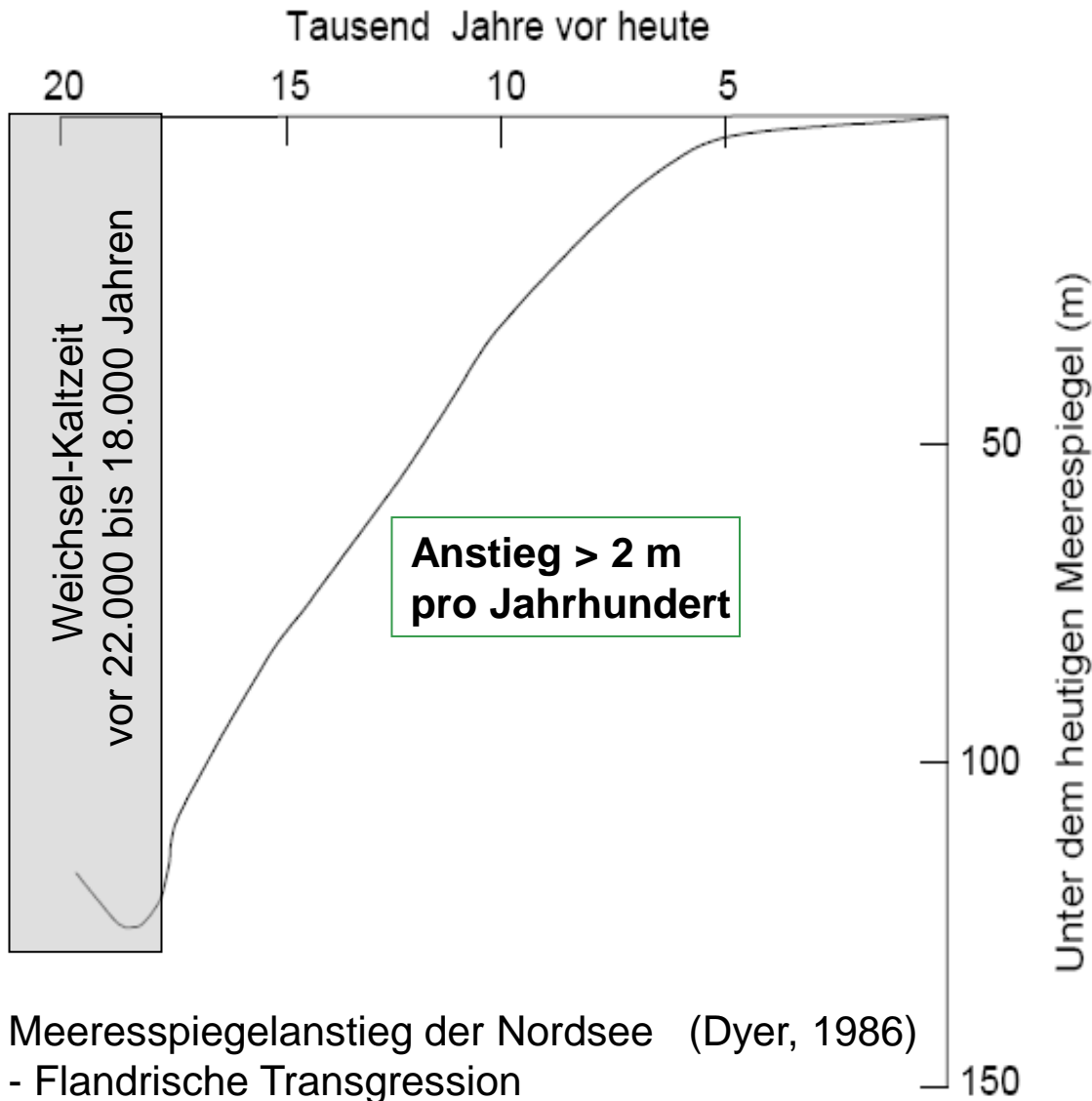
Schmelzwassersande von Süden und Norden eingetragen.

### **Weichsel-Kaltzeit**

Eismassen nur nördlich der heutigen Elbe.

Glaziale Schmelzwässer als breiter Urstrom in die Nordsee.

→ Gestaltung Elbtal in seiner heutigen Form.

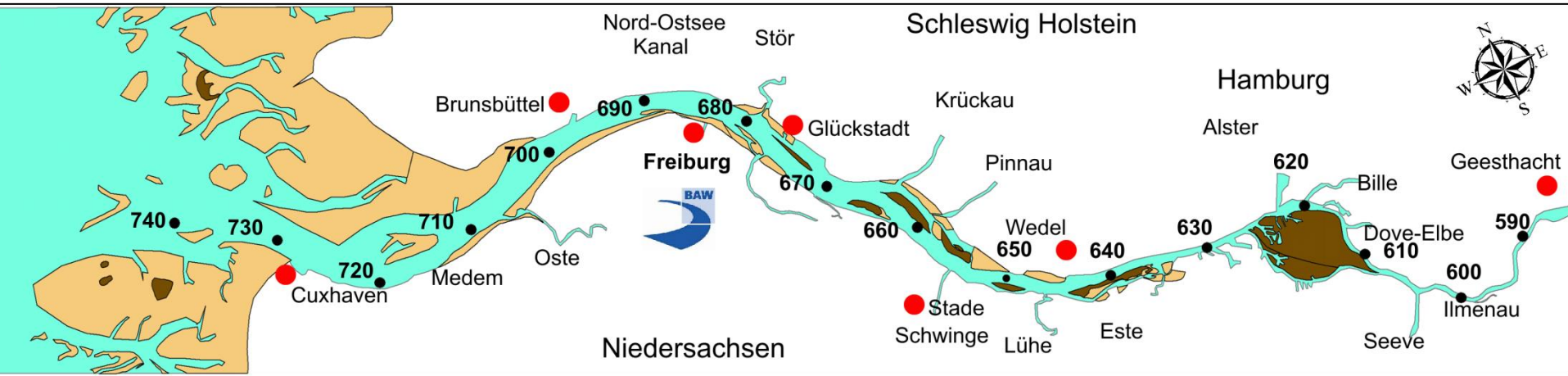


Meeresspiegelanstieg der Nordsee (Dyer, 1986)  
- Flandrische Transgression

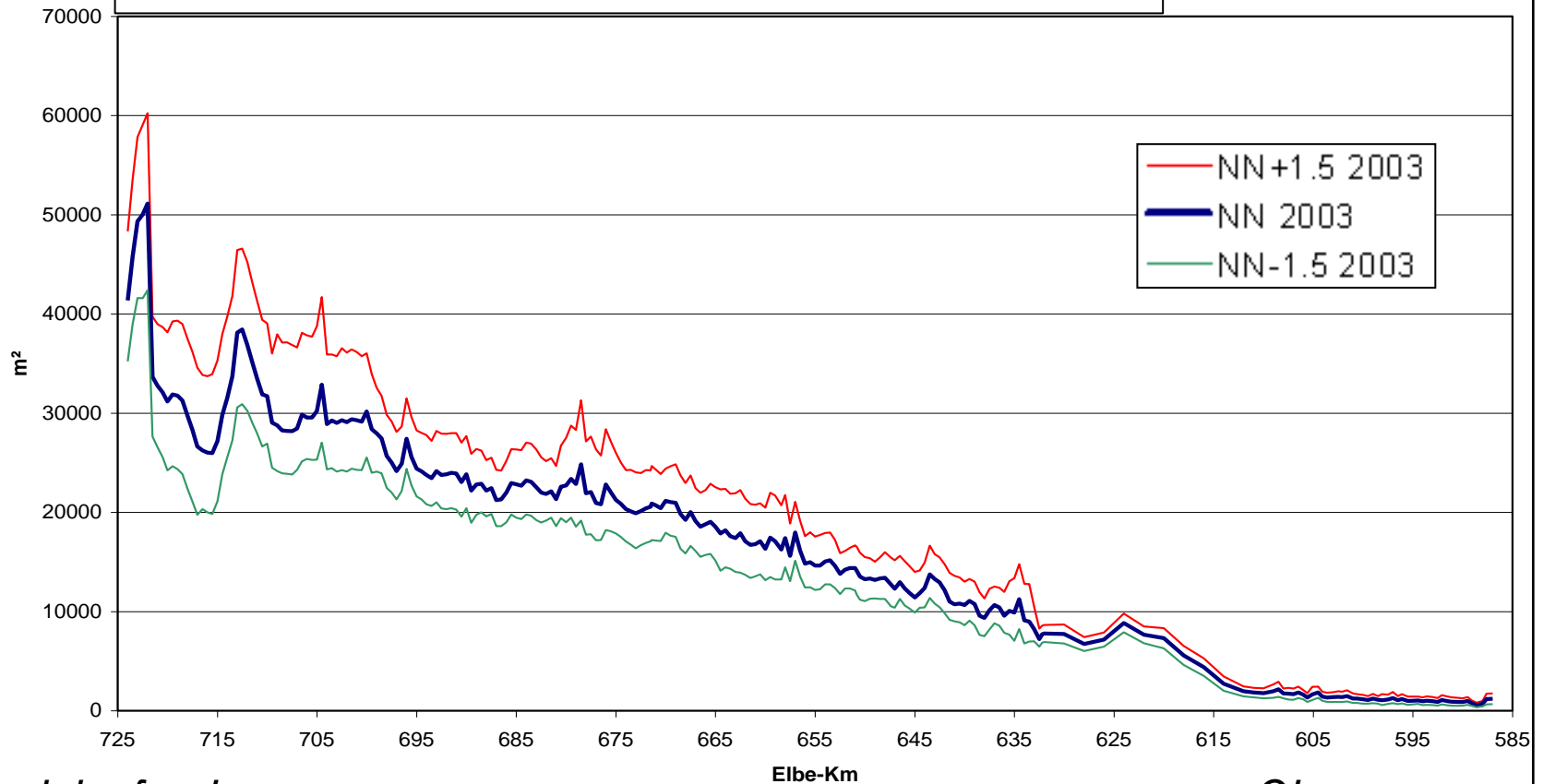
Bokuniewicz (1995):  
Die **Täler der Flachlandästuarien** an der Nordseeküste „ertranken“ im Zuge der flandrischen Transgression, so dass sie **heute aufgrund ihres unausgeglichene Sedimentregimes als „Sedimentfallen“ betrachtet werden müssen.**

Die Sedimentation konnte den Meeresspiegelanstieg nur Teilweise ausgleichen.

# Die Tideelbe – Gestalt heute



# Querschnittsflächen der Tideelbe



*einlaufende  
Tidewelle*



*Oberwasser-  
zufluss*





# Mittlere Wasserstände

## - Tidewelle / Tidekurve – Veränderungen

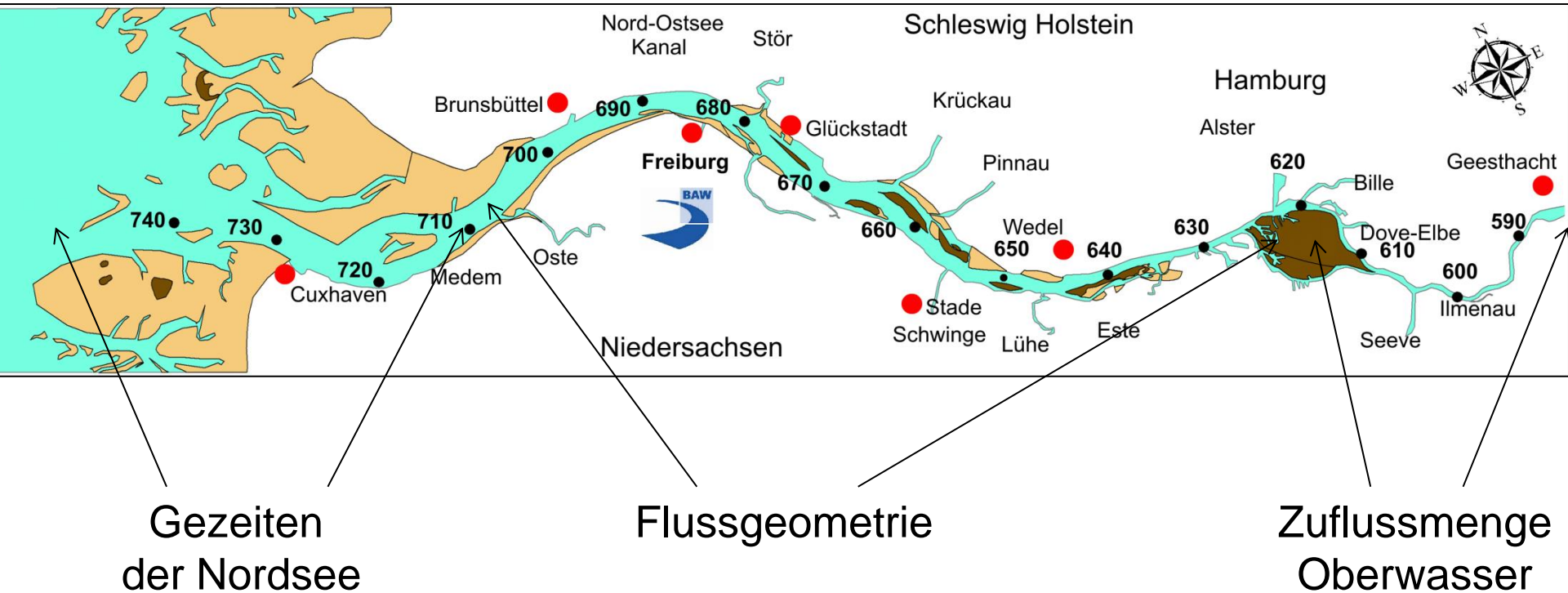
- Der Wasserstand wird mündungsnah durch Gezeiten der Nordsee und stromaufwärts von Hamburg durch das Oberwasser stark beeinflusst.
- In der langfristigen Rückschau (über 100 Jahre) ist
  - das MThw Cuxhaven stärker angestiegen als der mittlere Meeresspiegel,
  - das MTnw St. Pauli viel stärker abgesunken als das MThw angestiegen ist.

→ Zunahme Asymmetrie der Tidewelle
- Die mittlere Flutdauer ist in St. Pauli ca. 35 Min. kürzer als in Cuxhaven  
→ Zunahme der Asymmetrie der Tidekurve auf dem Weg nach Hamburg.

*Zum Verständnis: Unterscheide Tidekurve (Betrachtung am Ort)  
von Tidewelle (Betrachtung über Flusslänge)*

# Wasserstand

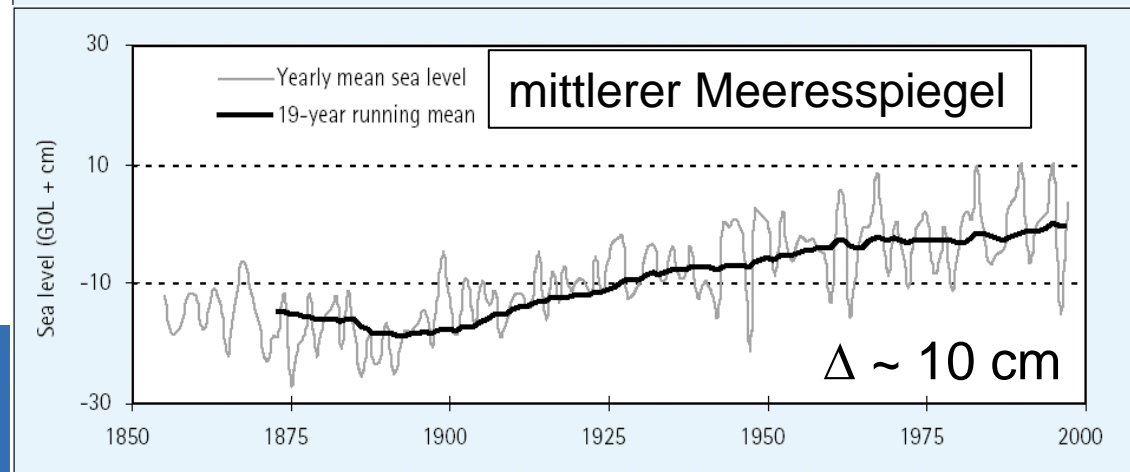
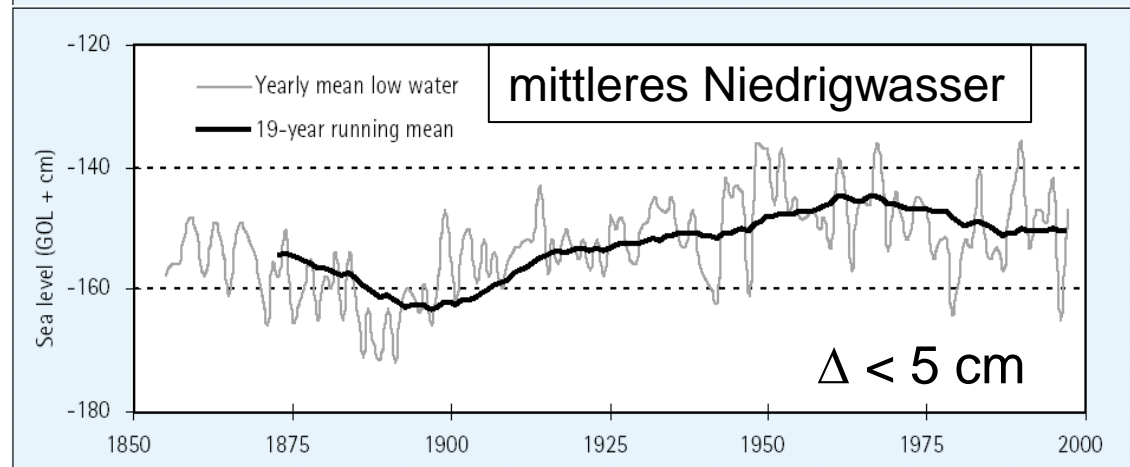
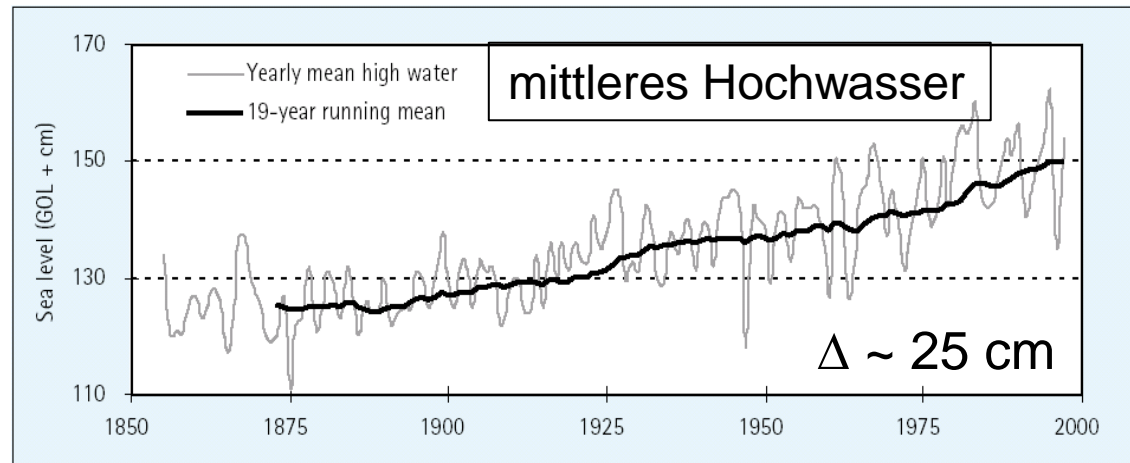
## – dominierende Einflussfaktoren von Außen



# Säkulartrends Cuxhaven

**Wichtig ist es  
19-jährige Mittelwerte  
zu analysieren**

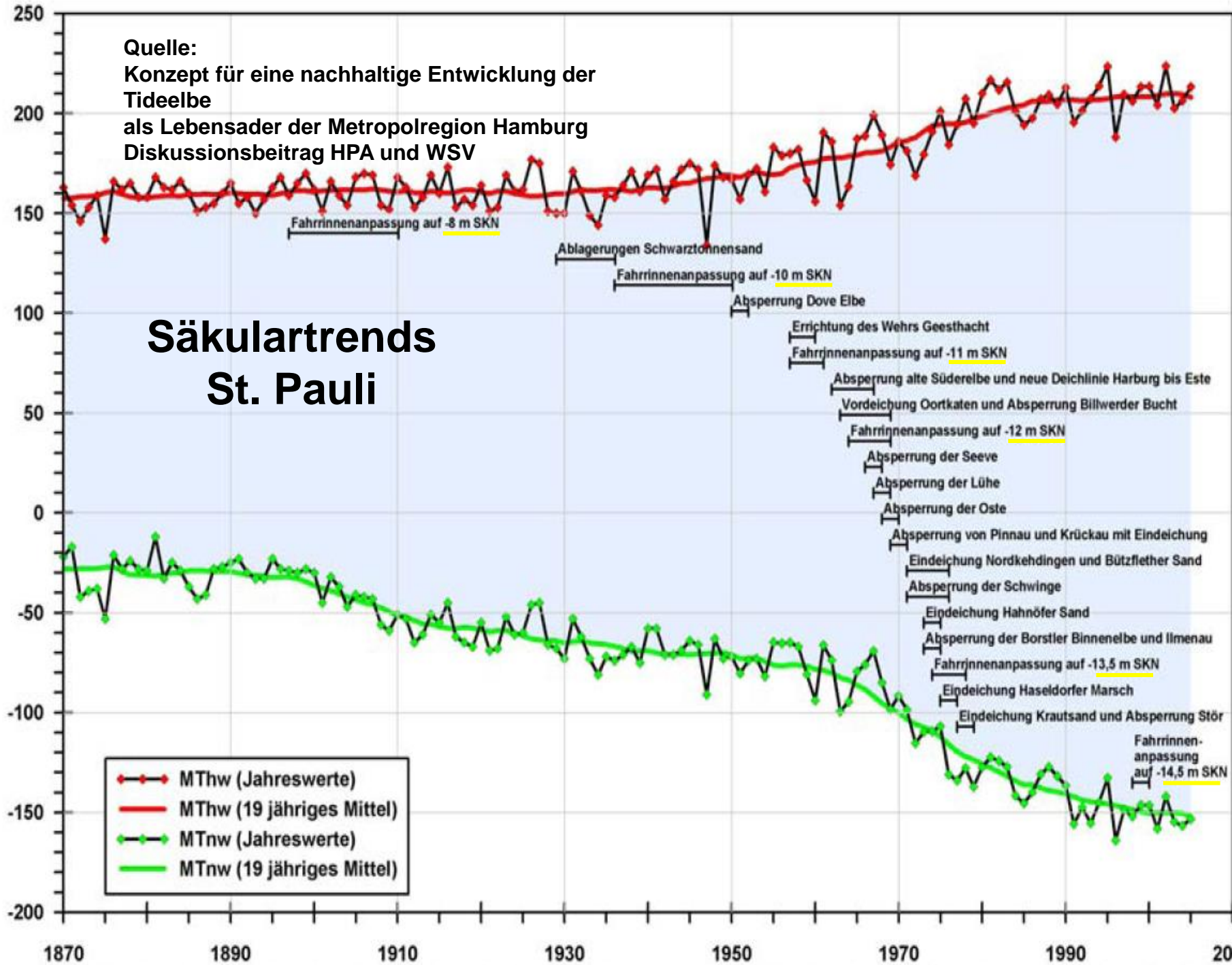
Figure 4.1:  
Mean MHW, MSL and MLW  
at gauge Cuxhaven.



Quelle:  
 Konzept für eine nachhaltige Entwicklung der  
 Tideelbe  
 als Lebensader der Metropolregion Hamburg  
 Diskussionsbeitrag HPA und WSV

# Säkulartrends St. Pauli

Wasserstand Pegel St. Pauli [cmNN]



- ◆◆ MThw (Jahreswerte)
- MThw (19 jähriges Mittel)
- ◆◆ MTnw (Jahreswerte)
- MTnw (19 jähriges Mittel)

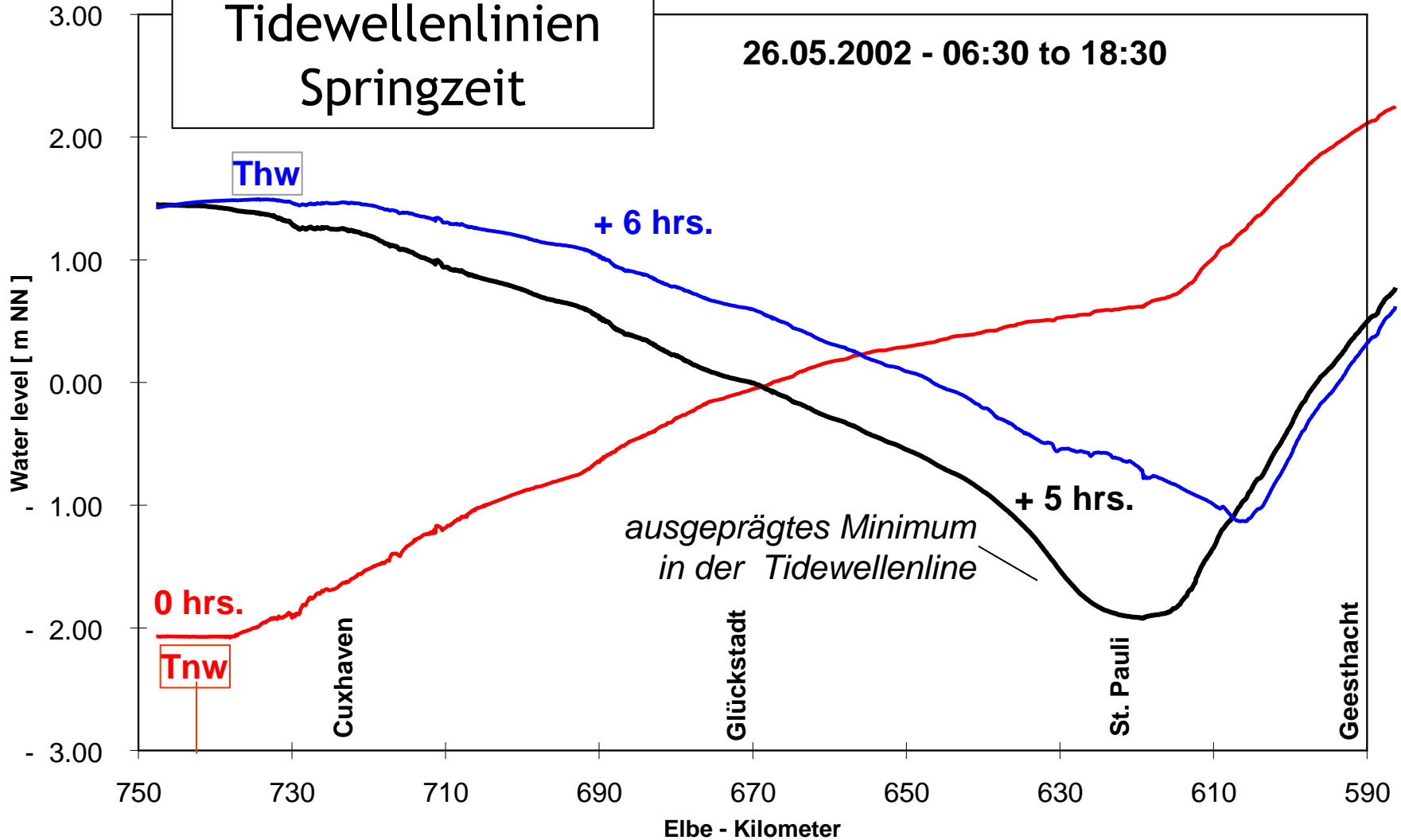
# Bedeutung Wasserspiegelgefälle

- Das Wasserspiegelgefälle ist die größte antreibende Kraft der Strömung.
- Zeitpunkt Thw in Cuxhaven – ausgeprägtes Tnw-Minimum in Hamburg
  - **Großes Wasserspiegelgefälle von Schulau nach Hamburg**
  - **Dominanz der Sedimenttransporte in die Delegationsstrecke / in den Hamburger Hafen.**

Strombauziel: Tnw in Hamburg wieder anheben.
- Heute steigt der Wasserstand in Hamburg um ca. 1,5 m pro Stunde in der ersten Flutstromphase. Vor mehr als 50 Jahren betrug der Wert ca. 0,9 m/h.

# Ausgewählte Tidewellenlinien Springzeit

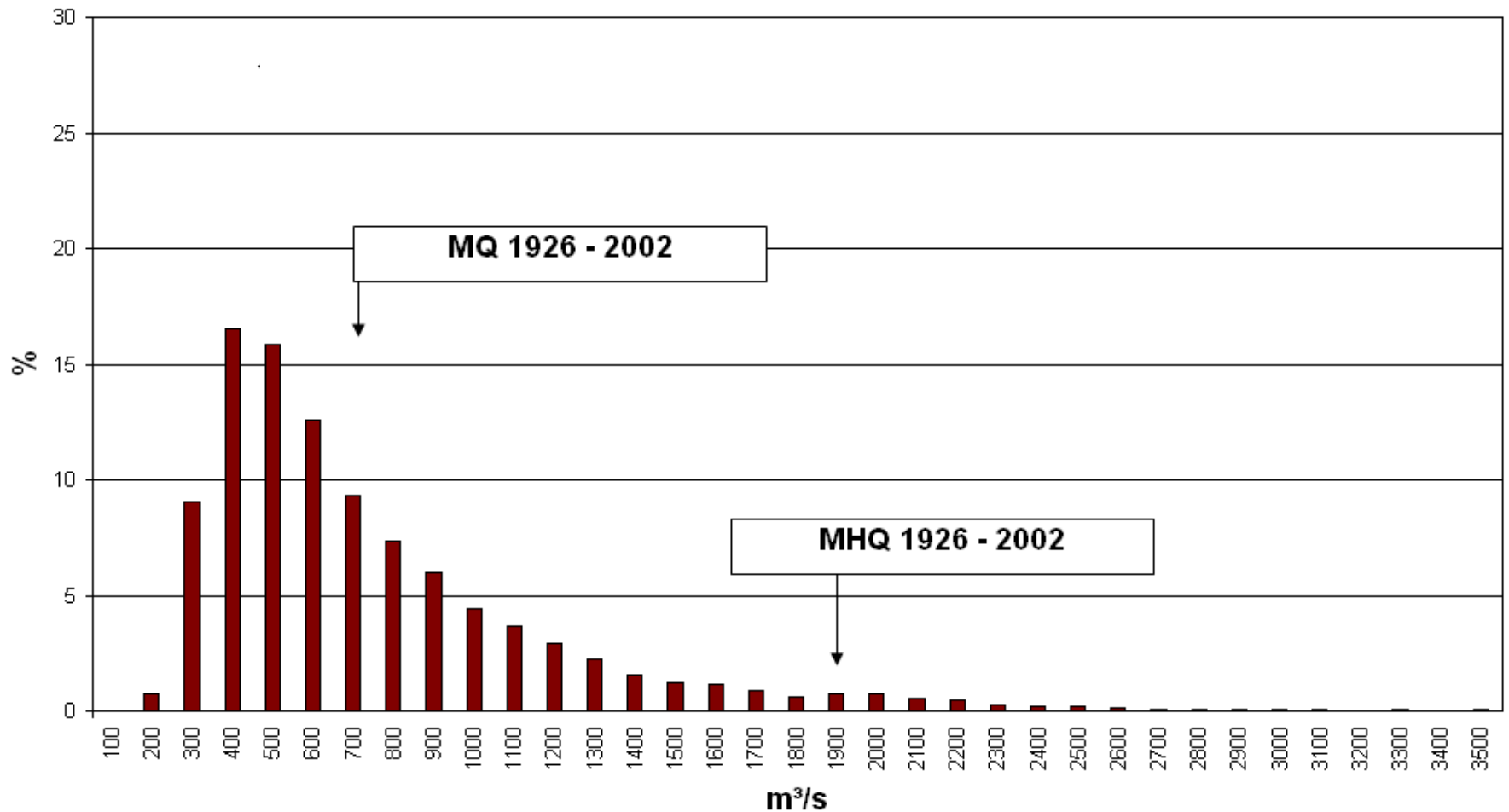
26.05.2002 - 06:30 to 18:30



# Oberwassermengen

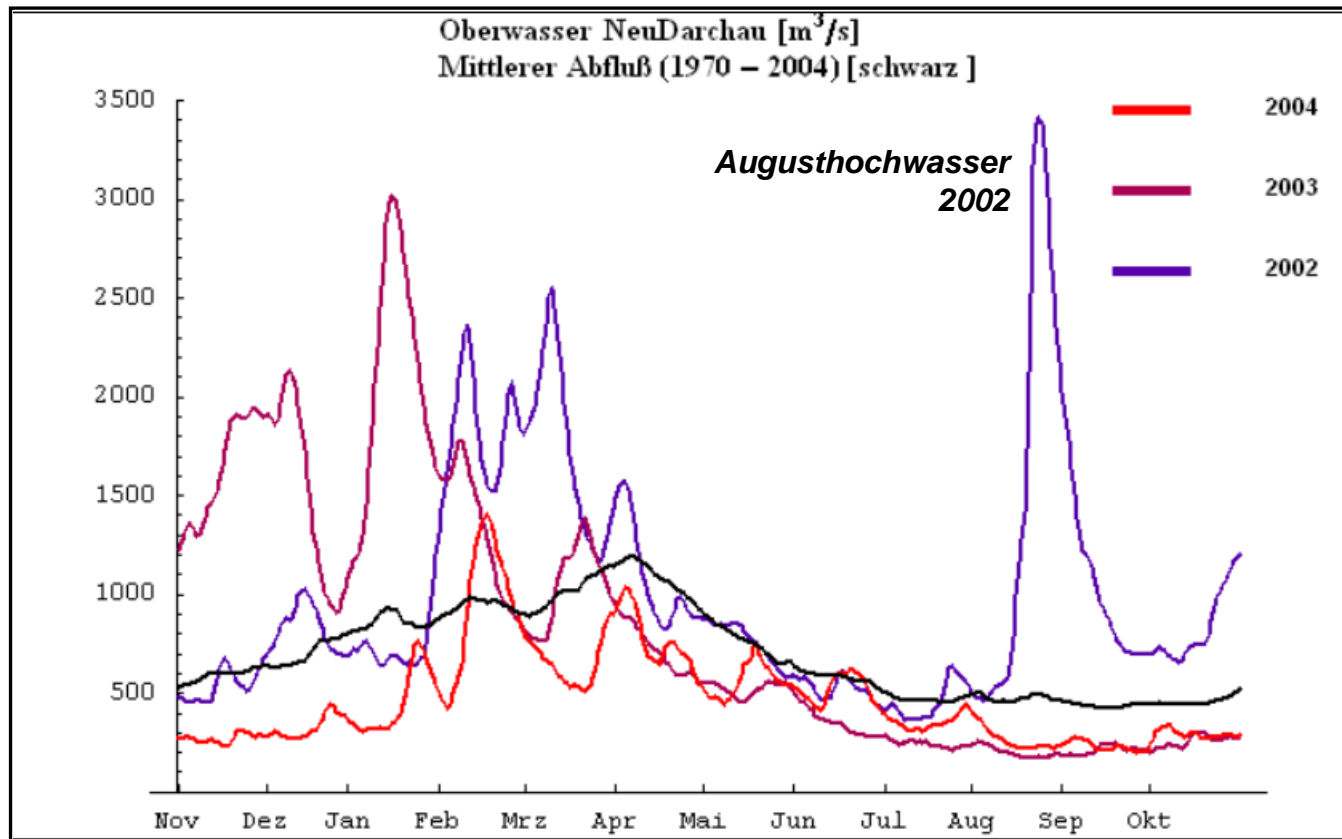
- Große Spannbreite der mittleren Hauptwerte des Abflusses der Binnenelbe
- Die mittlere Häufigkeitsverteilung ist für Analysen maßgeblich. Die häufigsten Oberwassermengen liegen zwischen 300 und 900 m<sup>3</sup>/s.
- Für das Sedimentmanagement muss die mittlere Verteilung über die Jahreszeiten berücksichtigt werden. Einzelne Jahre weichen erheblich ab.
- Extreme Hochwasserereignisse können in der Binnenelbe große Sedimentmassen erodieren.

## Häufigkeitsverteilung des Oberwasserzufflusses in Neu Darchau 1970 - 2006





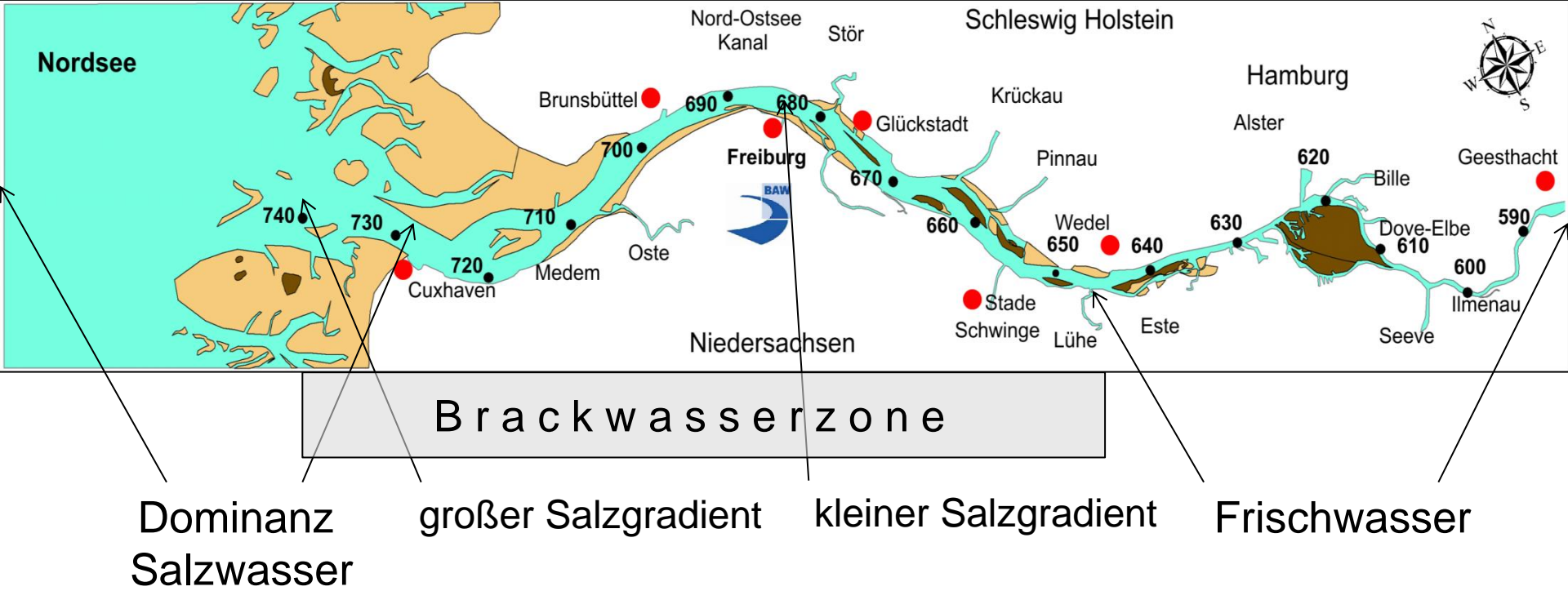
# Mittlere Oberwassermenge Neu Darchau und drei ausgewählte Jahre

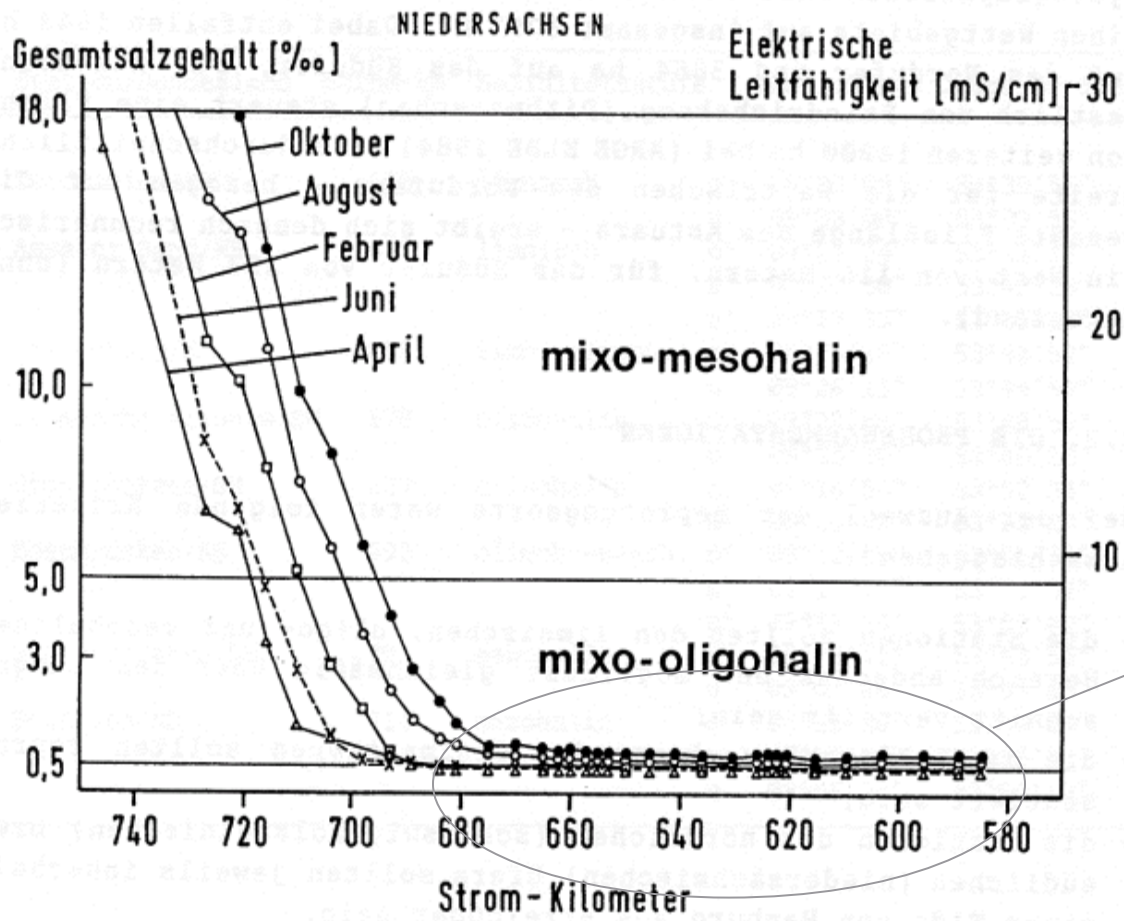
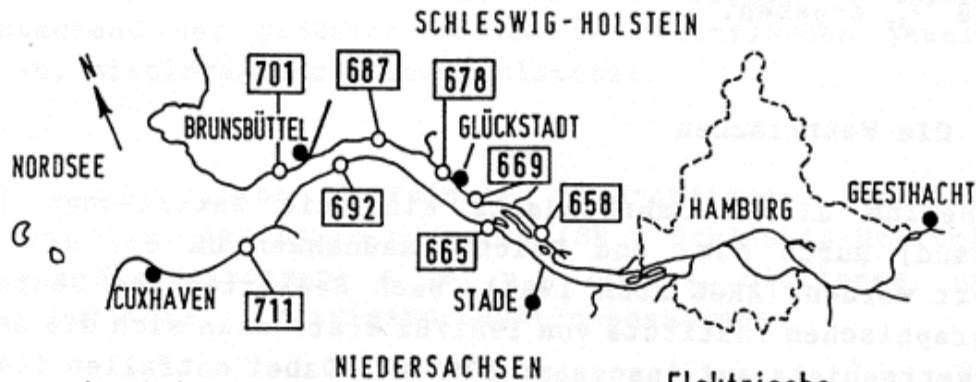


# Salzgehalt – Abhängigkeit vom Oberwasser

- Die Brackwasserzone bildet sich durch Vermischung von Salz- und Süßwasser  
- Salzgehalte 30 bis 0,5 PSU.
- Brackwasserzone - unterer Abschnitt großer Salzgradient  
- oberer Abschnitt sehr geringer Salzgradient
- Der große Salzgradient beeinflusst den Sedimenttransport signifikant.
- Die Tidewelle verlagert die Brackwasserzone kurzfristig.
- Veränderungen Oberwasserzufluss – verzögerte Anpassung in der Lage
- Der Salzgehalt wird für Vergleichszwecke bei Kenterung Flutstrom gemessen.

# Charakteristik Salzgehalt





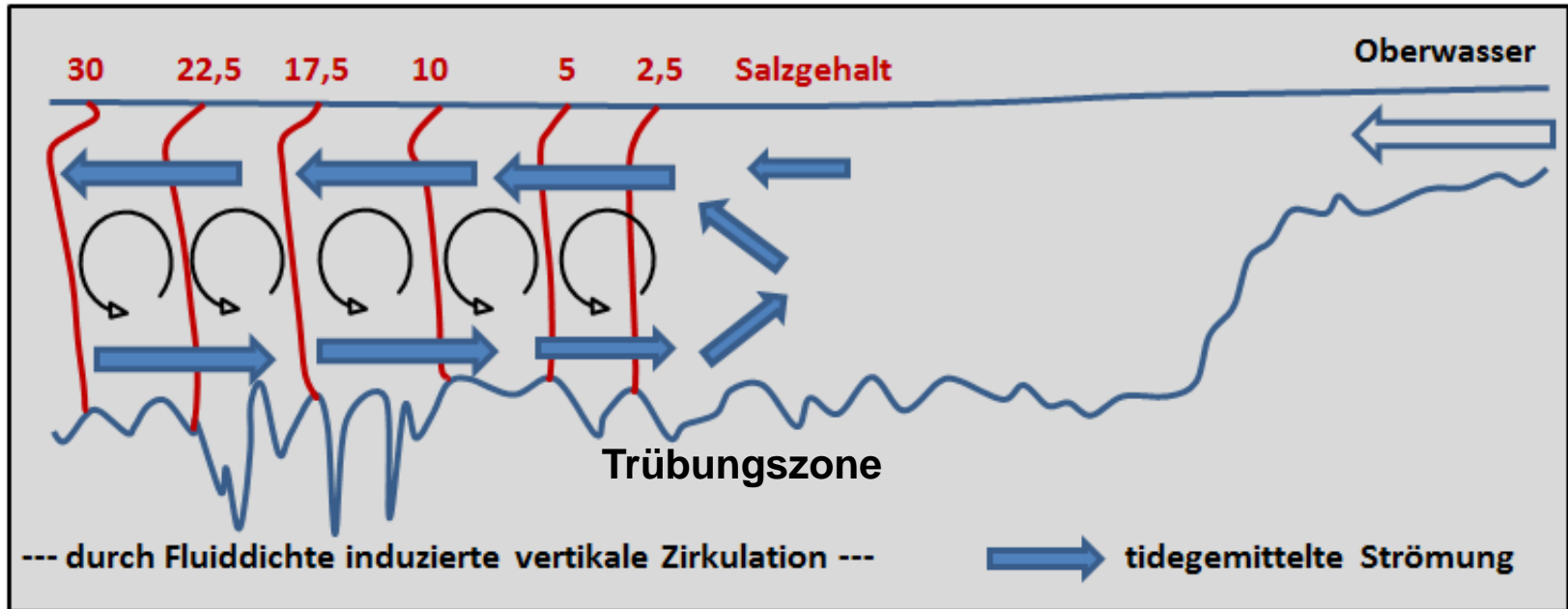
**Flaches Auslaufen der Kurven**

nach Gätche 1990

# Bedeutung Fluiddichte

- Dichte des Wassers ist maßgeblich vom Salzgehalt abhängig.  
Brackwasser (20 °C) wiegt mit 30 PSU Salzgehalt ca. 1021 kg/m<sup>3</sup>  
mit 1 PSU Salzgehalt ca. 999 kg/m<sup>3</sup>.
- Der großer Salzgradient erzeugt die vertikale Zirkulation in der Tideelbe.  
➔ In Zone des großen Salzgradienten besteht bodennahe Flutstromdominanz.

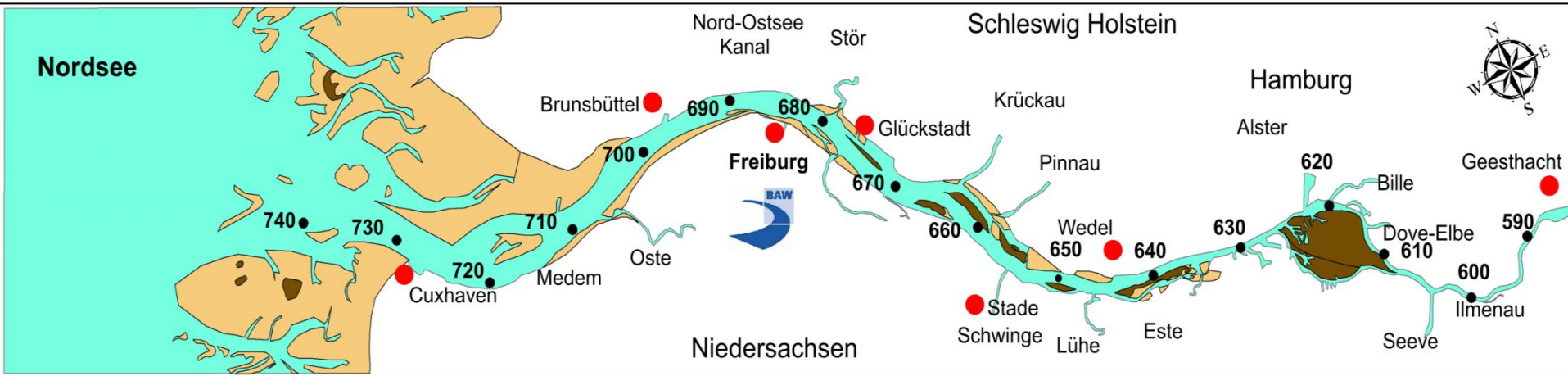
# Mechanismus der vertikalen Zirkulation



# Strömung, Feststofftransport, tidal pumping, Sedimentverteilung

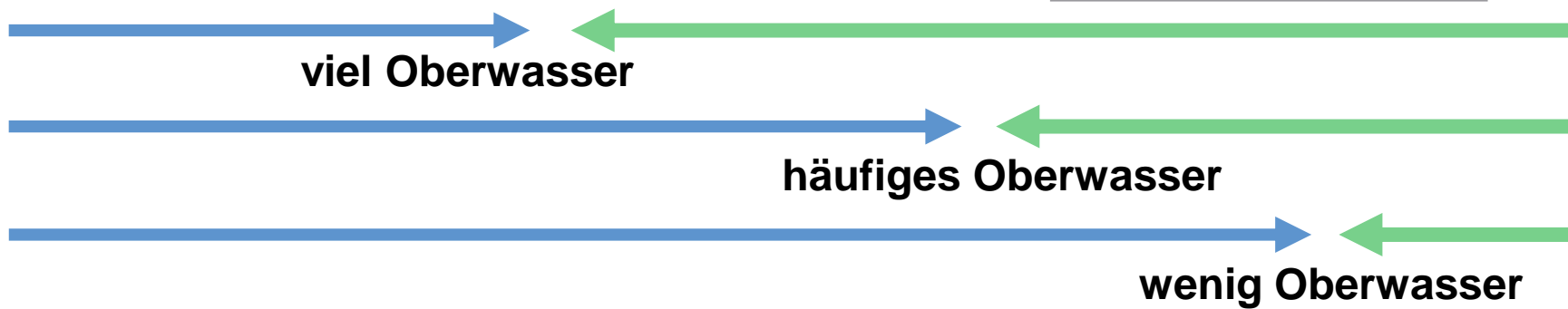
- In die Tideelbe werden marine und fluviale Sedimente eingetragen.
- Grobe Abschätzung für den Eintrag mit dem Oberwasser:  
Im Mittel ca. 880.000 t / Jahr bei einer Sedimentkonzentration von 40 g/m<sup>3</sup>.
- Einzelmessungen der BAW über eine Tide:
  - In tiefer Rinne bei Cuxhaven und in der Trübungszone → Transport in Flut- und Ebbestromphase in etwa ausgeglichen,
  - unterhalb von Hamburg → Flutstromphase transportiert ca. die doppelte Sedimentmasse der Ebbestromphase.
- Tidal pumping wurde mit mathematischen Simulationsmodellen analysiert.
- Dominanzbereiche des mittleren Schwebstofftransports wurden in Abhängigkeit vom Oberwasser visualisiert.
- Fahrrinne mit weit überwiegend sandigen Sedimenten (Dünen und Rippel)

# Charakteristik bilanzierter Sedimenttransporte



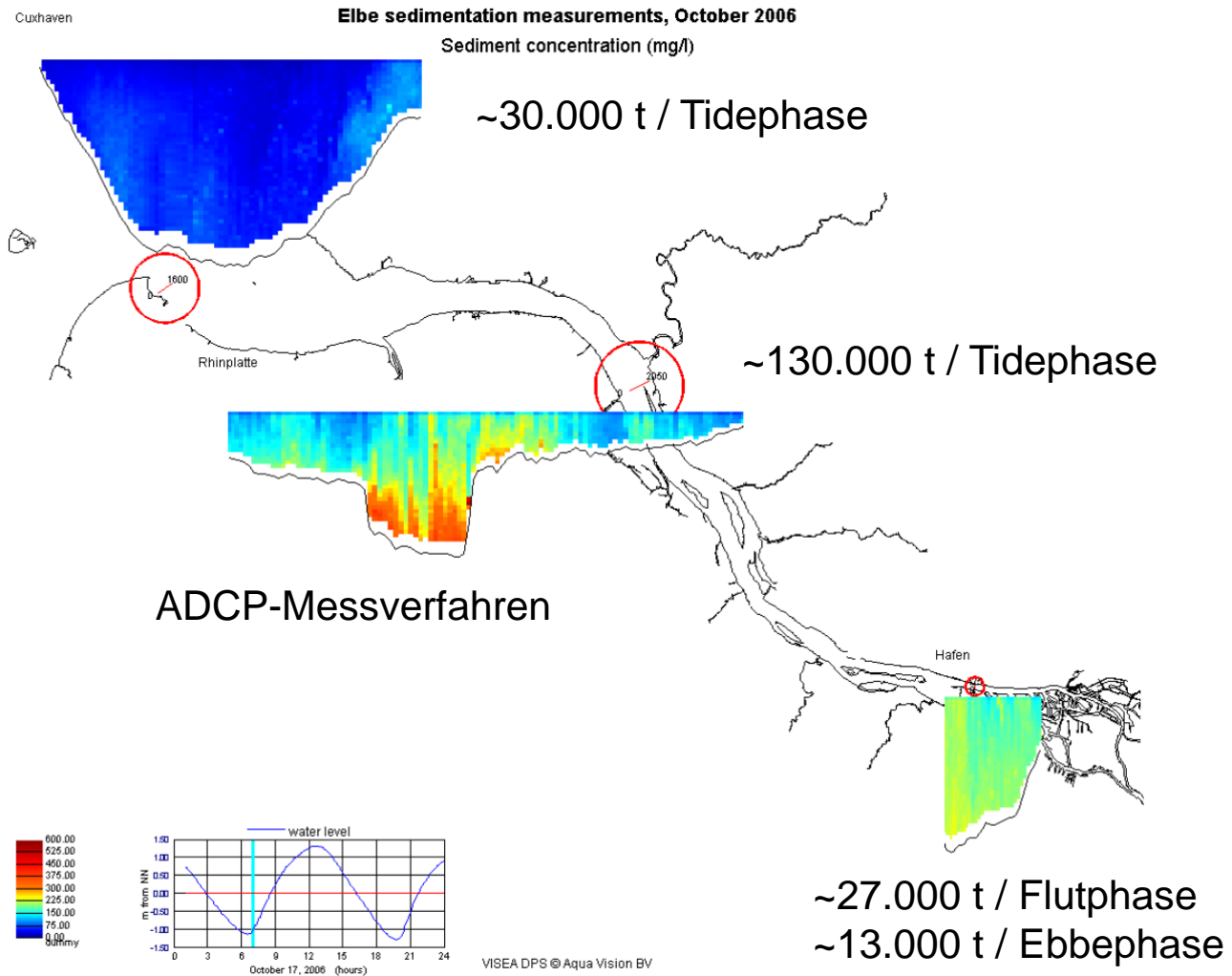
**Transport  
mariner Sedimente**

**Transport  
fluvialer Sedimente**





# Messungen Transport der Schwebstoffe



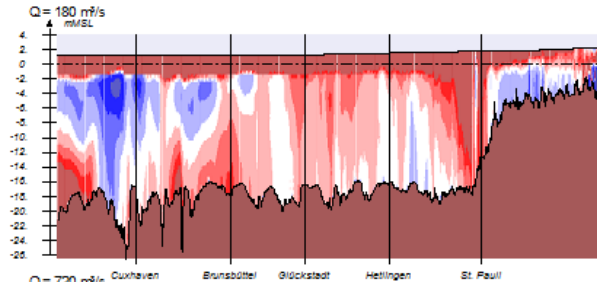
# Dominanz des mittleren Schwebstofftransports

Oberwasser

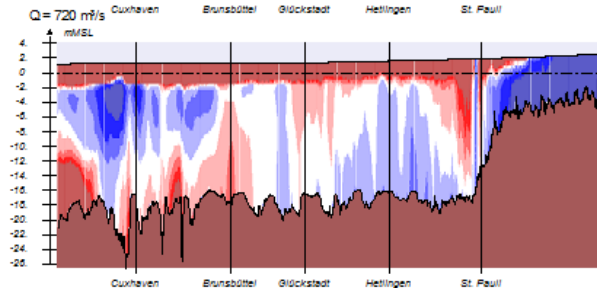
F:E mittlerer Schwebstofftransport

Längsprofil durch das Elbeästuar

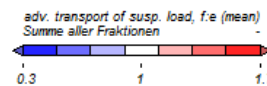
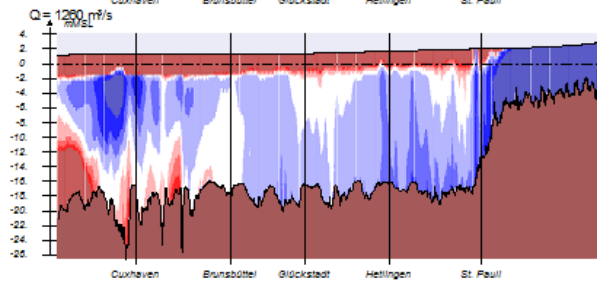
Q = 180 m<sup>3</sup>/s



Q = 720 m<sup>3</sup>/s



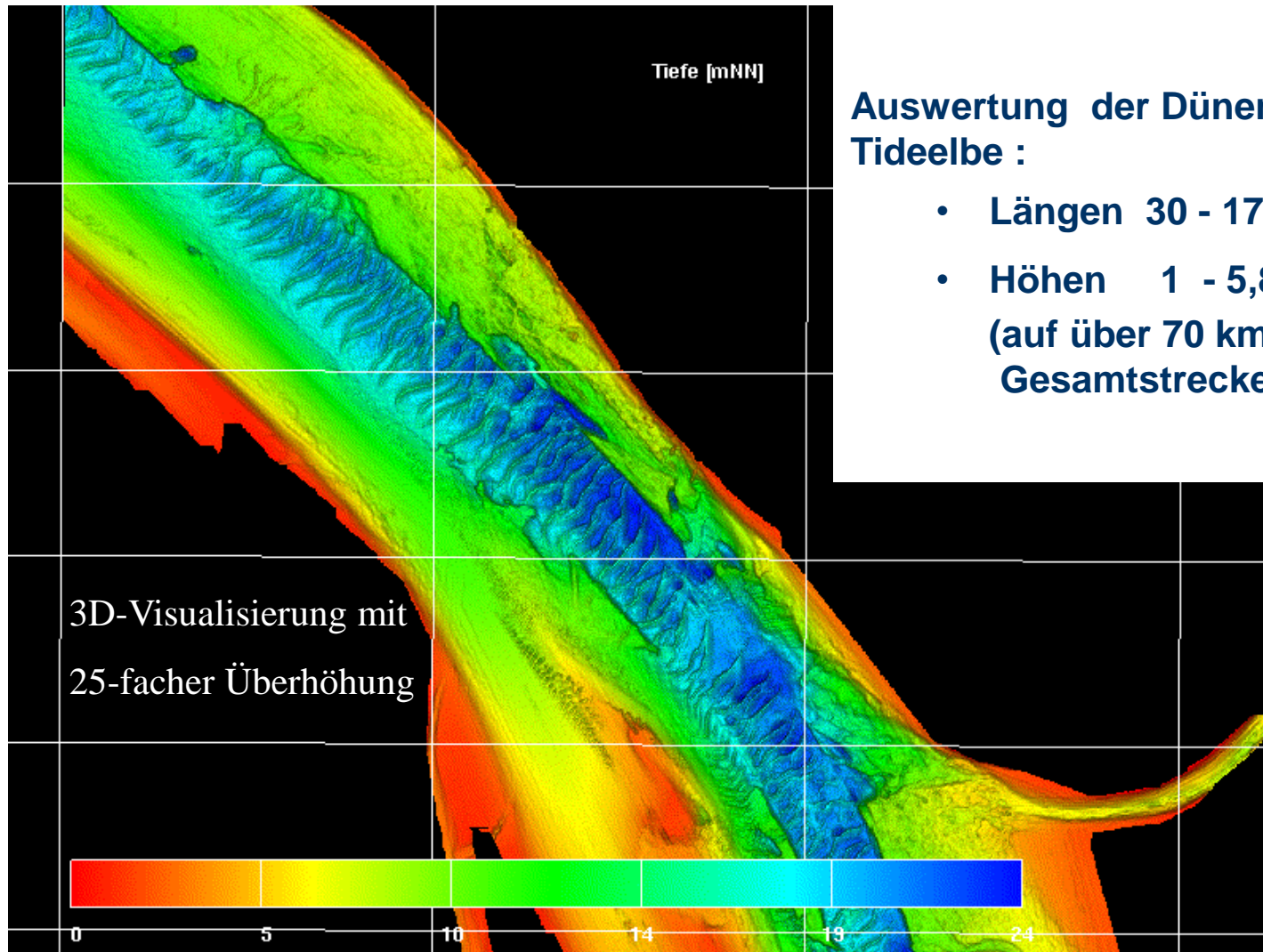
Q = 1260 m<sup>3</sup>/s



**Transport stromauf  
dominiert**

**Transport stromab  
dominiert**

# Beispiel Dünenstrecke Bereich Störbogen



## Auswertung der Dünen in der Tideelbe :

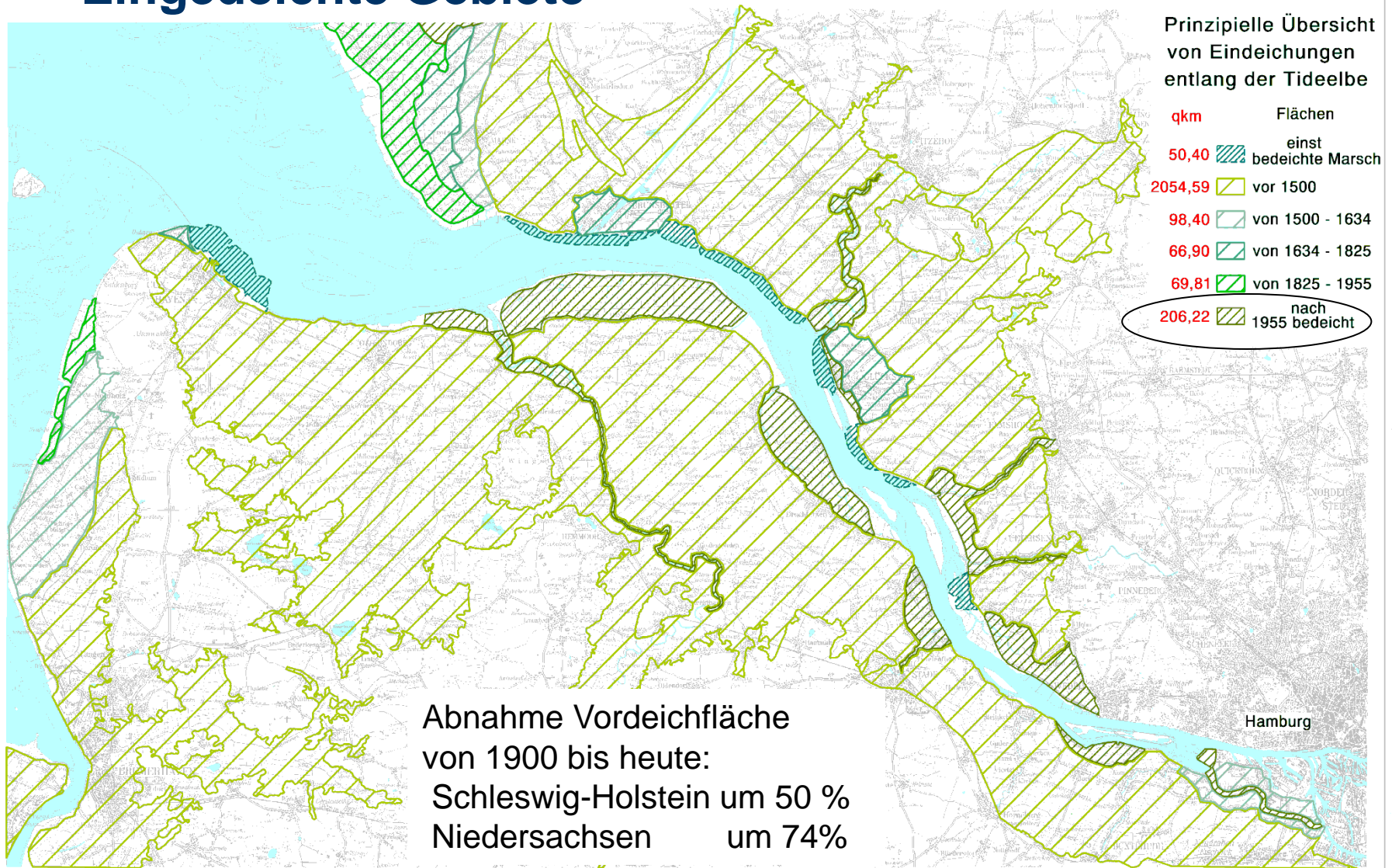
- Längen 30 - 175 m
- Höhen 1 - 5,8 m  
(auf über 70 km der  
Gesamtstrecke > 1 m)

# Morphologische Entwicklung – Rinnendynamik

## Veränderung der Flussgeometrie

- Der Deichbau hat sehr viel Retentionsraum genommen.
- Sedimentation in Seitenbereichen hat den Retentionsraum reduziert.
- Die Fahrrinne wurde wiederholt vertieft.
- Sedimententnahmen
- Elbmündung:
  - In natürlichen morphodynamische Zyklen werden durch Rinnenverlagerung erhebliche Sedimentmassen umgelagert.
  - Die dämpfende Wirkung von Sänden und Wattgebieten wurde reduziert.

# Eingedeichte Gebiete



Herausgeber: Vermessungs- und Kartenstelle bei der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nord; Stand: 6/2006

# Sedimenteintrag nach einer Sturmflut



<http://www.haseldorfer-marsch.de/haseldorfermarsch/sturmfluten/index.html>

# Habitate

## **Substrat und morphologische Dynamik prägen die Habitate.**

Die Sedimentbeschaffenheit beeinflusst

- die Bodenformen
- den hydraulischen Widerstand (Bodenreibung)
- die Lebensräume für Pflanzen und Tiere.

Man unterscheidet die Habitate zunächst nach der Wassertiefe.

Vergleich Elbe und Weser - Wassertiefen kleiner MTnw – 2m  
(Flachwasser-, Intertidal- und Marschflächen):

- ca. 50 % des Elberaums
- ca. 70 % des Weserraums

# Ursachen der Verlagerung von Baggermassen nach Hamburg

- Abnahme Retentionsraum durch Deichbau, Sperrwerke und Auflandungen
- Anpassungen der Fahrrinne
  - Zunahme transportierter Sedimentmassen
  - Abnahme Spülwirkung des Oberwassers
  - Zunahme Flutstromdominanz (insbes. Schulau bis Hamburg)
  - Zunahme vertikale Zirkulation (Stofftransport in die Trübungszone)
  - Zeitlich begrenzt: Morphologischer Nachlauf
- Maßnahmen im Hamburger Hafen
  - Zunahme Sedimentationspotenzial - z. B. Aufweitung Zufahrt zum CTA
  - Minderung des Flutraums (reduzierte Hafenwasserfläche)
- Elbmündung: große Sedimentdynamik, verminderte Dämpfung der Tidewelle
- Zeitlich begrenzt : Sedimentimport nach Hochwasserwellen
- „Zwang zur Kreislaufbaggerei“ – vermeidbare Zunahme der Baggermassen



# **Von der Erkenntnis zum Leitbild im Handeln gelangen**

