ARGE Elbe-Workshop

„Gewässermorphologie der Elbe“

Hydromorphologie des Elbeästuars

Dr. Günther Eichweber

Wasser- und Schiffahrtsdirektion Nord

Kiel

Inhalt:

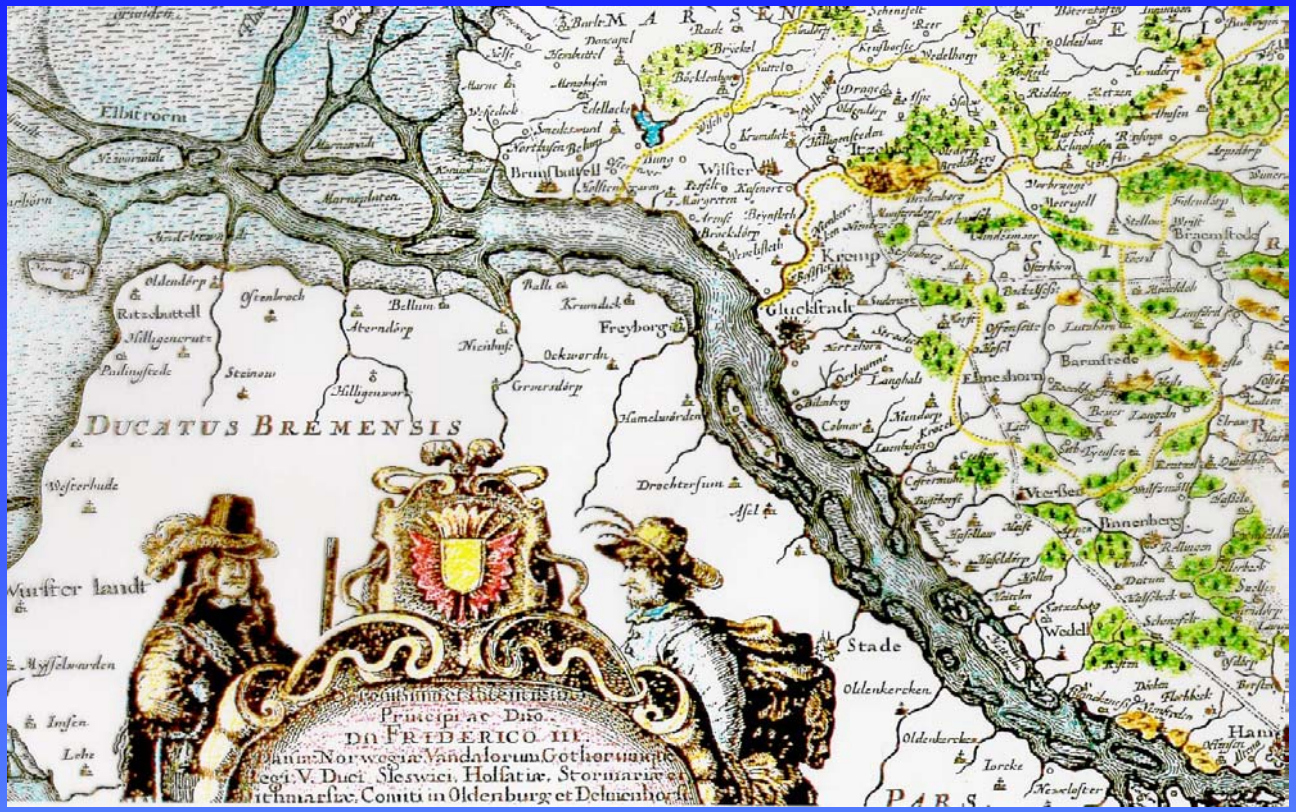
Geschichtliche Entwicklung

Maßnahmen für Hochwasserschutz und Vertiefungen

Sedimentdynamik der Tideelbe

Besonderheiten der Tidedynamik der Elbe

Die Elbe 1650



Die Elbe heute

Veränderter Sedimenthaushalt durch Deichbauten und Absperrung der Nebenflüsse

Überflutungsraum bei Sturmfluten

bis 1000: ca. 2500 km^2

heute: ca. 2% davon!

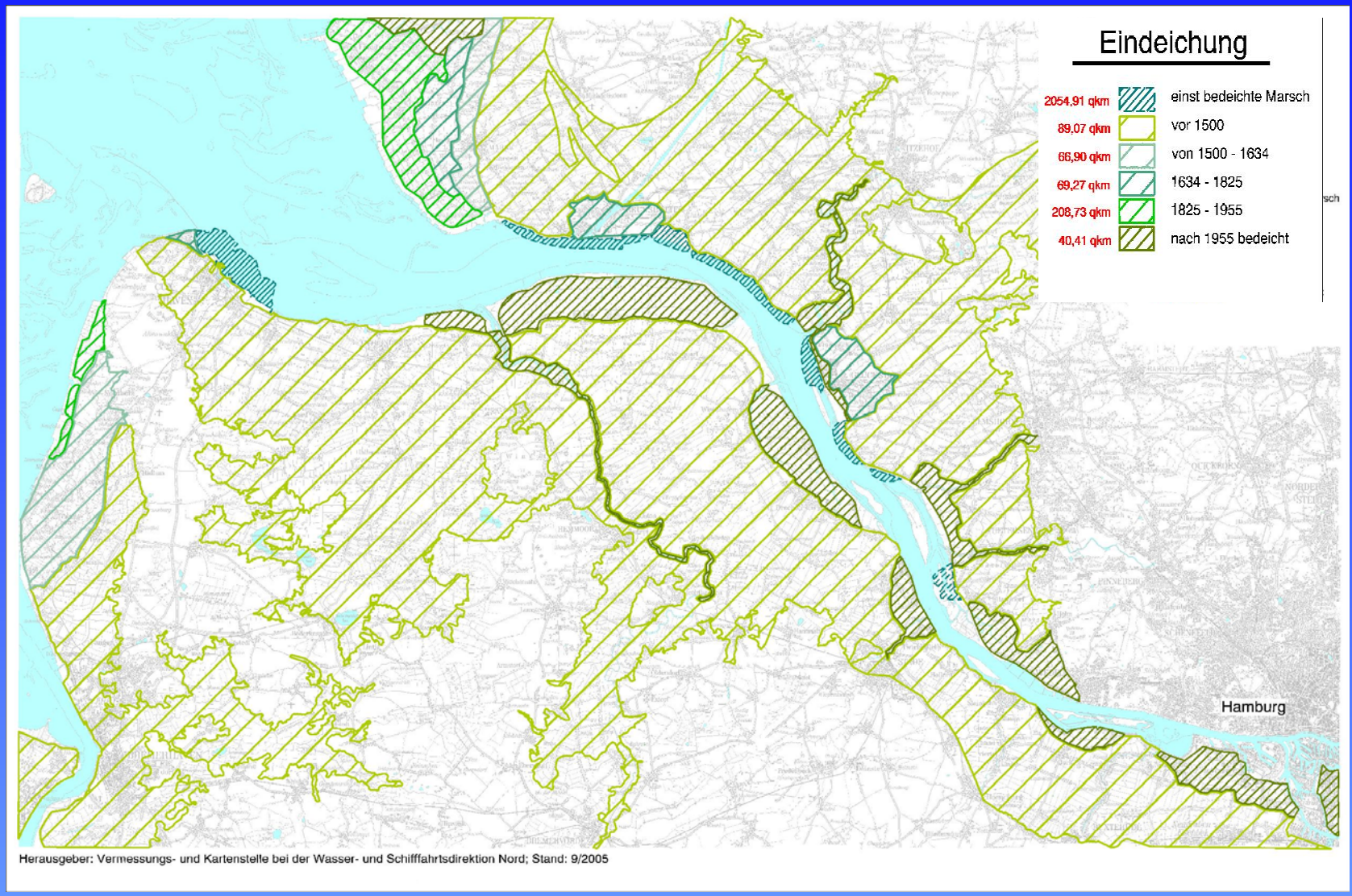
Sedimenteintrag auf die Überflutungsflächen

vor Deichbauten: 5 Mio m^3/a

1955: 500.000 m^3/a

heute: 100.000 m^3/a

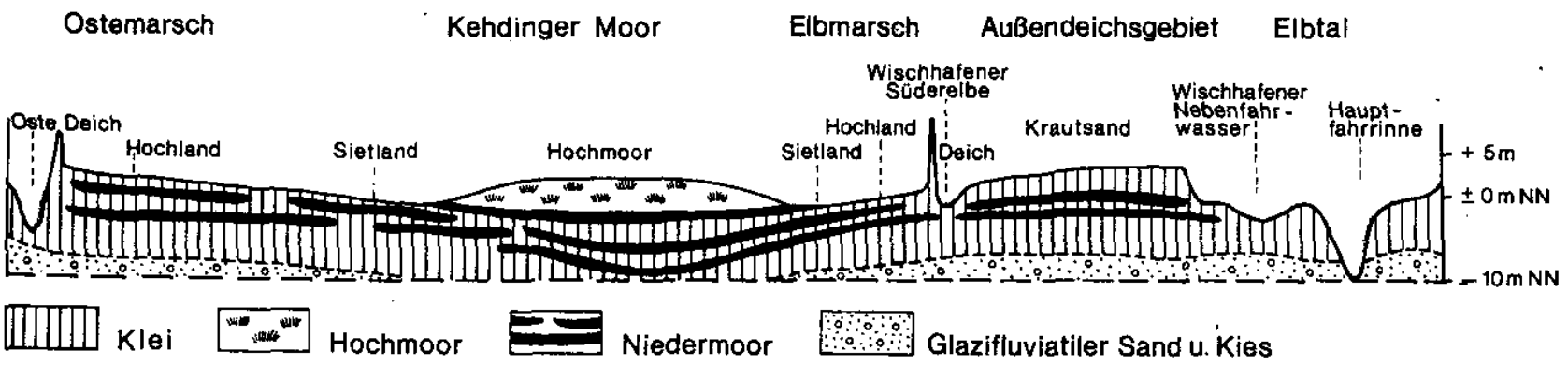
Rückbau der Überflutungsbereiche der Tideelbe



Sedimentation zwischen Oste und Elbe:

In Flußnähe sind die Raten am höchsten

In größerer Entfernung bilden sich Moore



Strombau früher

Veränderungen:

Geschlossene Deichlinie ab 1200

Rückbau der Randgewässer

Inseln wurden zu Festland

Sandbänke zu Inseln aufgespült

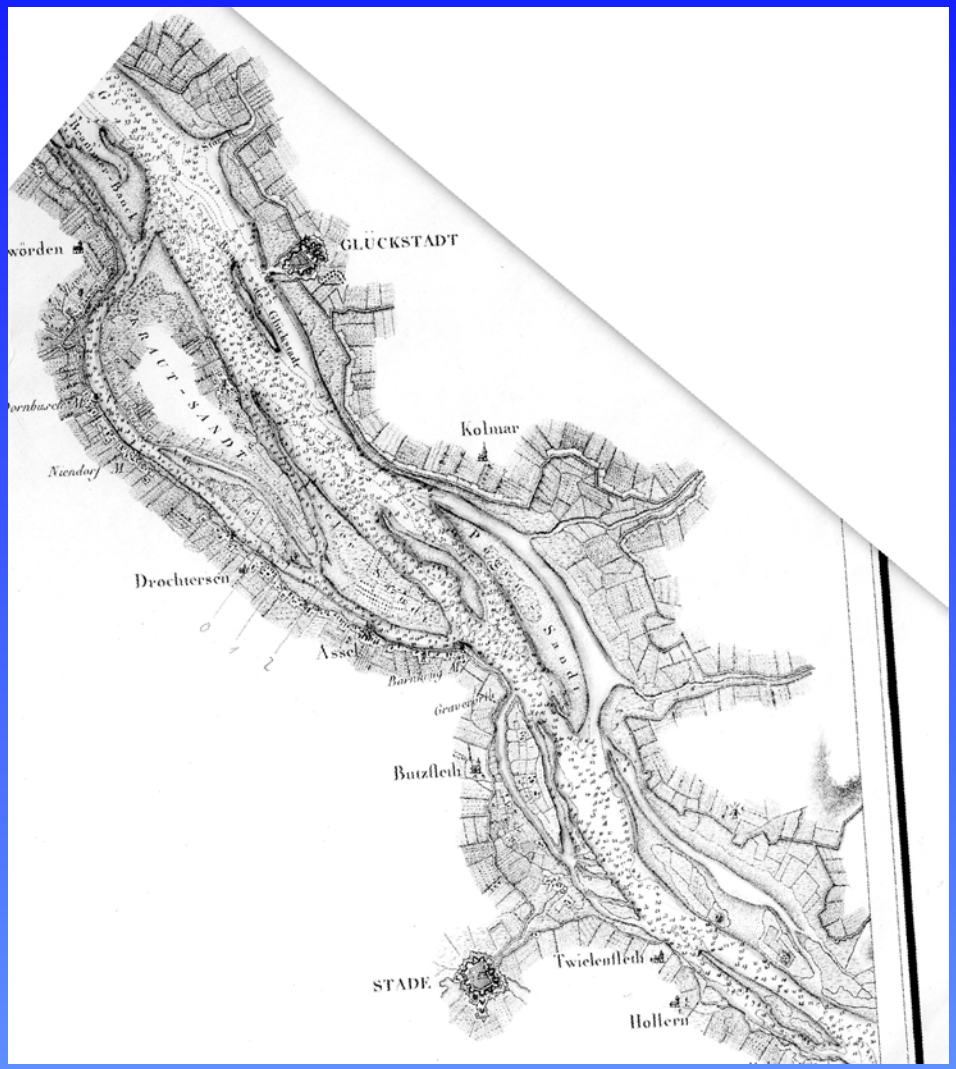
⇒ Formeninventar ähnelt dem ursprünglichen

⇒ Spielraum verkleinert

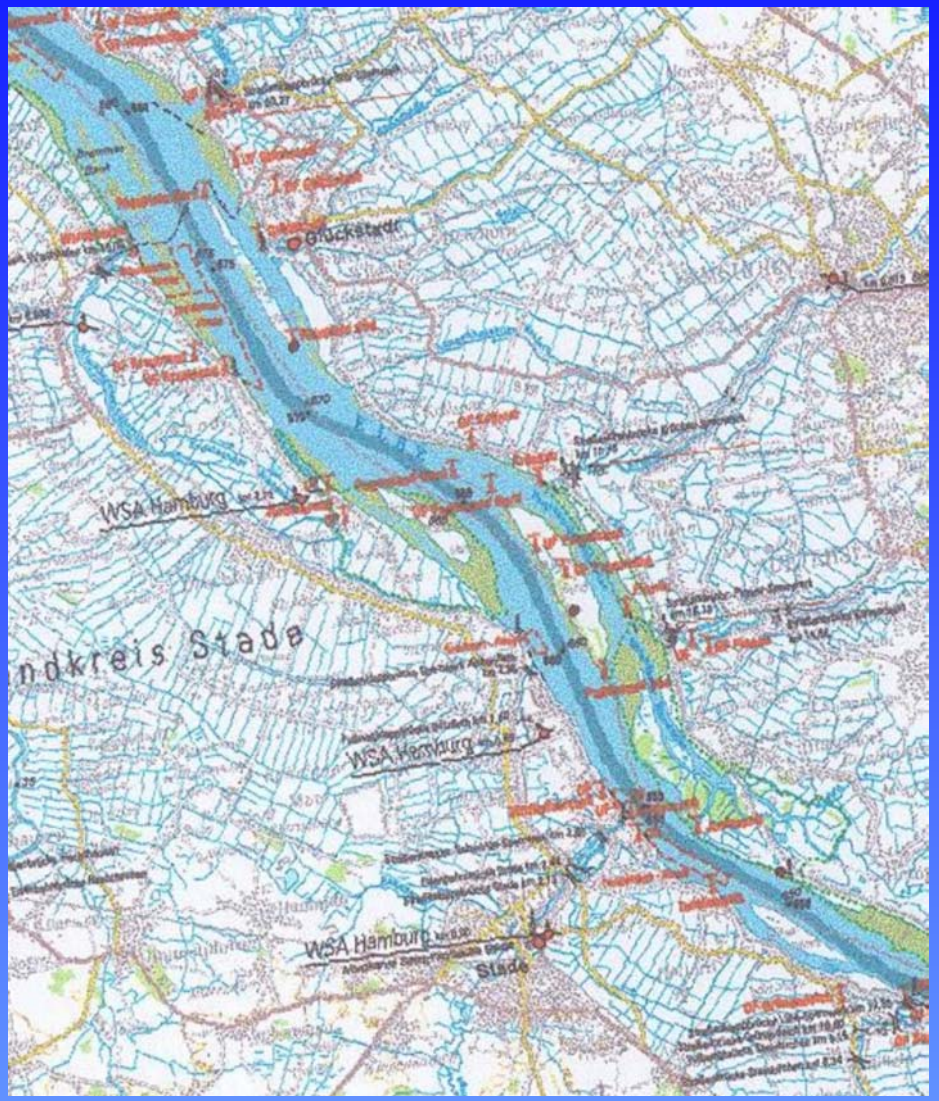
⇒ Verstärkte Tide

Die Elbe bei Glückstadt 1721

Die Elbe bei Glückstadt 1812



Die Elbe bei Glückstadt heute



Aufgespülte Inseln

Landunter

Mehrmals im Frühjahr und Herbst wurden die Deichvorländer der Nebenflüsse
durch Sturmfluten überspült

Absperrung der Nebenflüsse

Landschaftsveränderung durch Hochwasserschutz

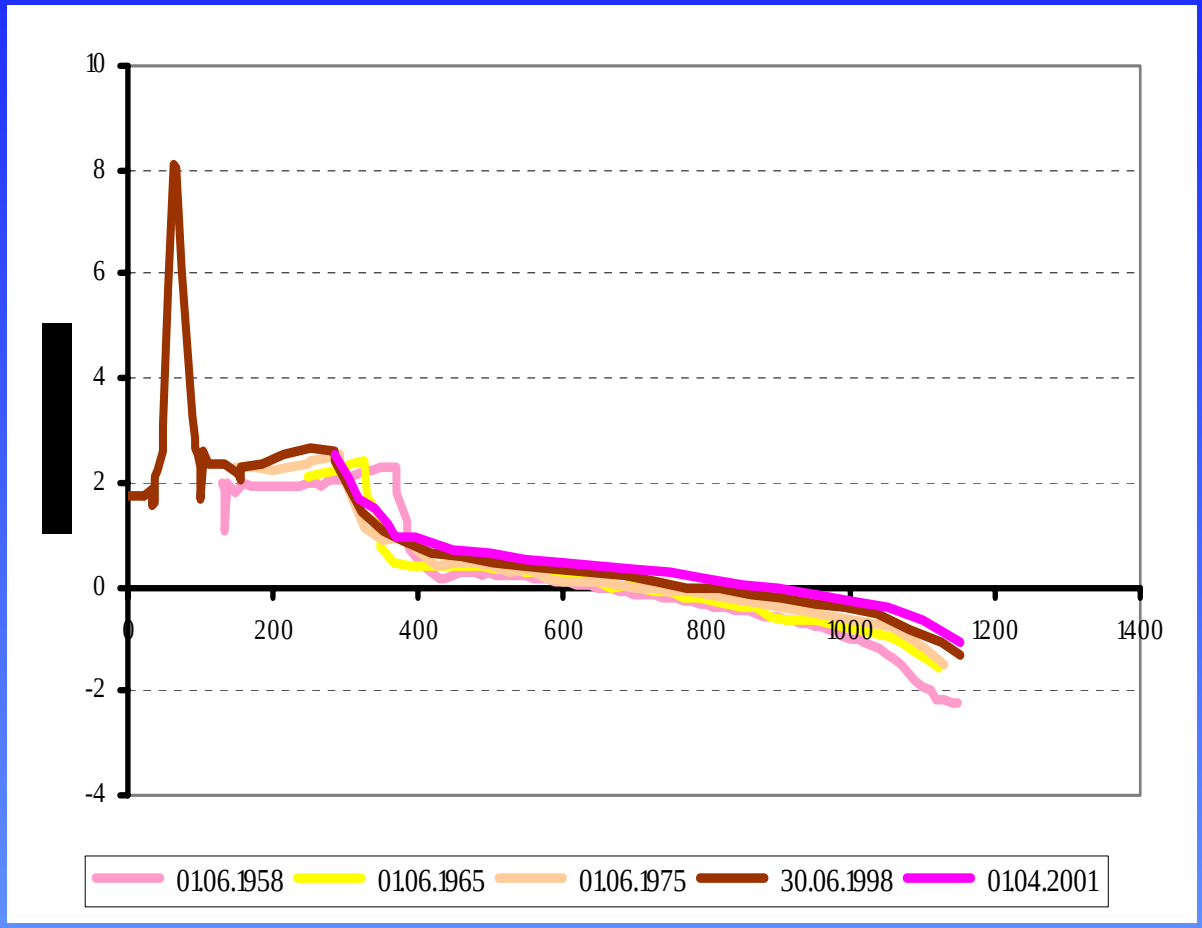
Störmündun
1900

Störmündung
1972

Störmündung
heute

Vorlandsedimentation

Verringerter Überflutungsraum => erhöhte Sedimentationen



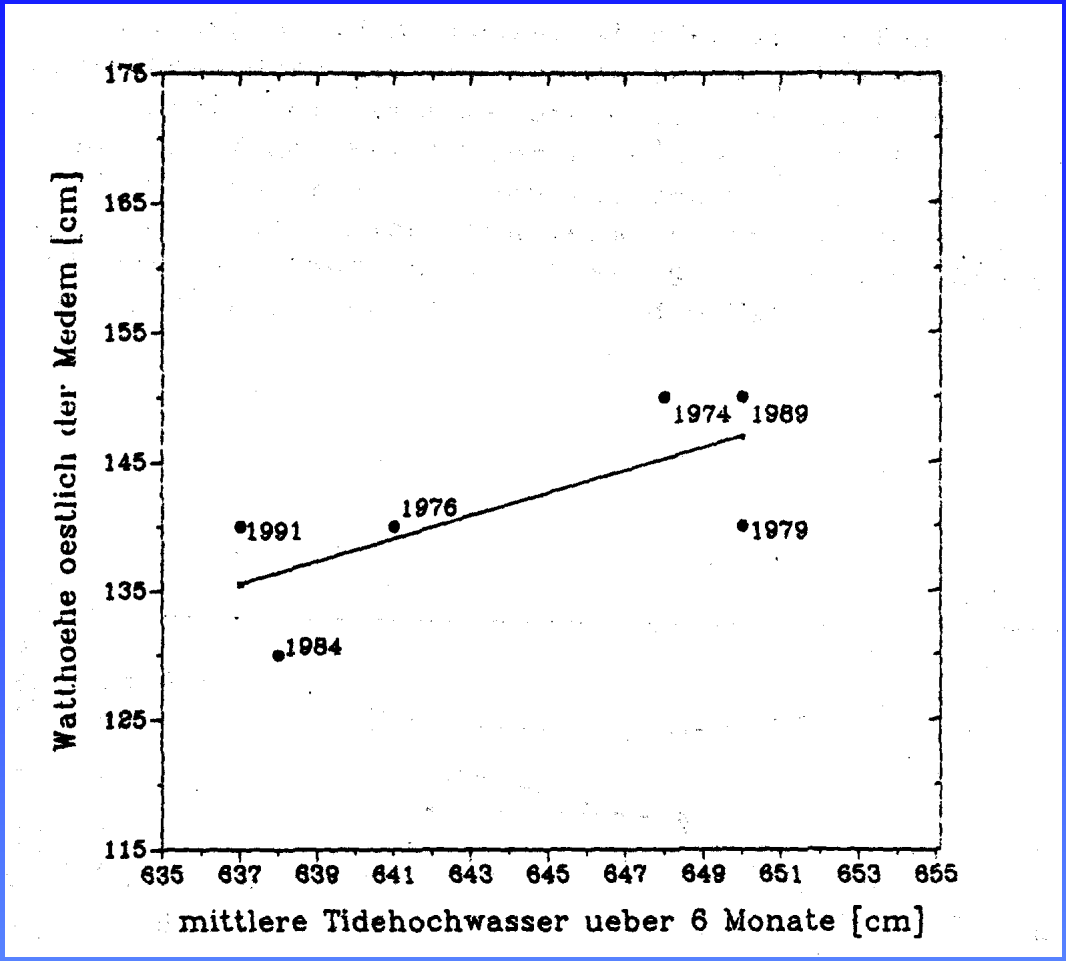
Sturmflutwasserstände

Anstieg bei Hamburg zwischen 1950 und 1980 um 50 – 60cm

Ursachen: zu ca. 2/3 Vordeichungen, Sperrwerke
zu ca. 1/3 Vertiefungen

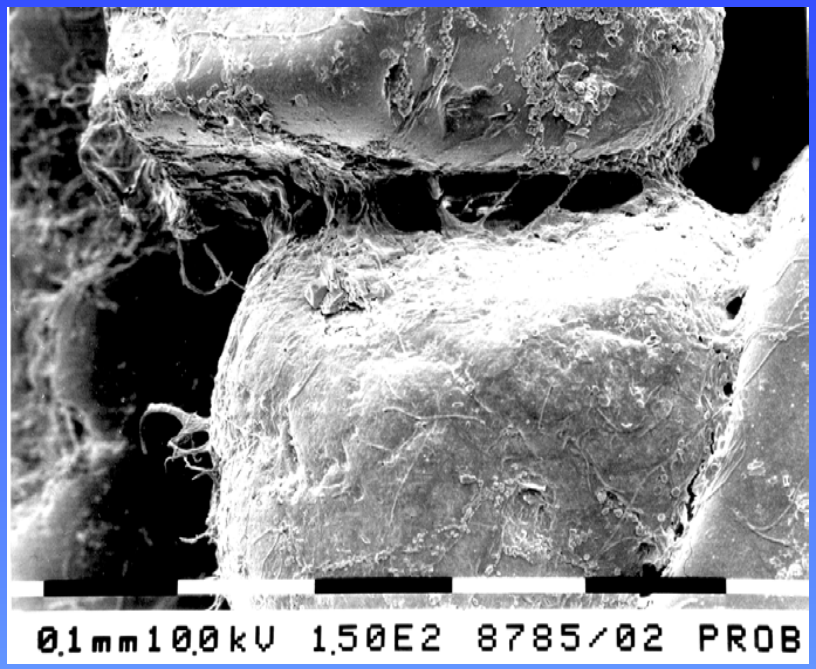
Sedimentdynamik:

die Höhe der Wattflächen folgt dem Hochwasserstand



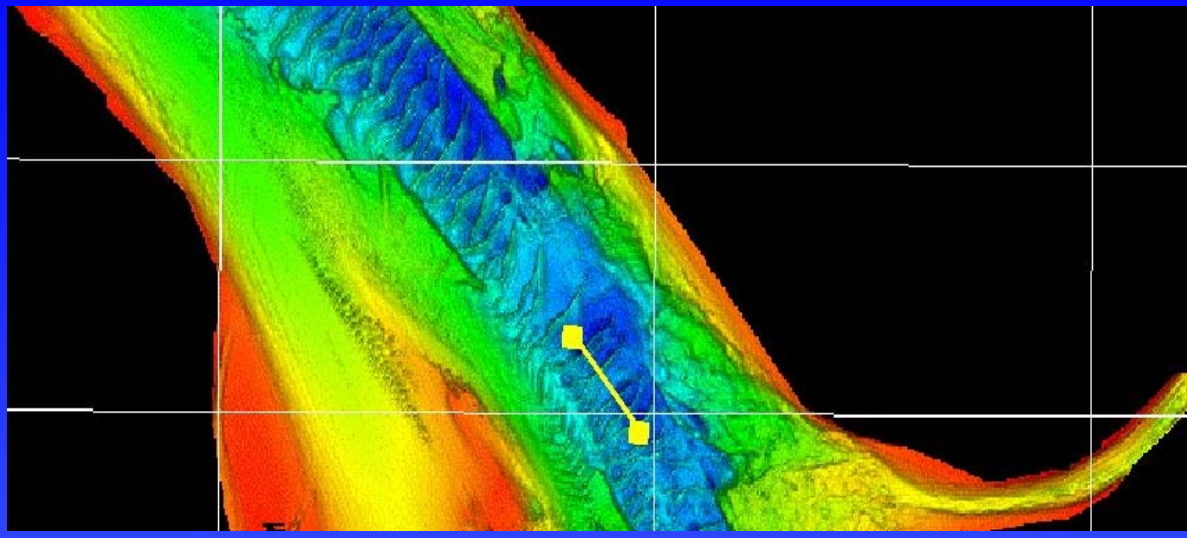
Biologische Stabilisierung von Wattflächen

Beispiel: Cyanobakterien verbinden Sandkörner

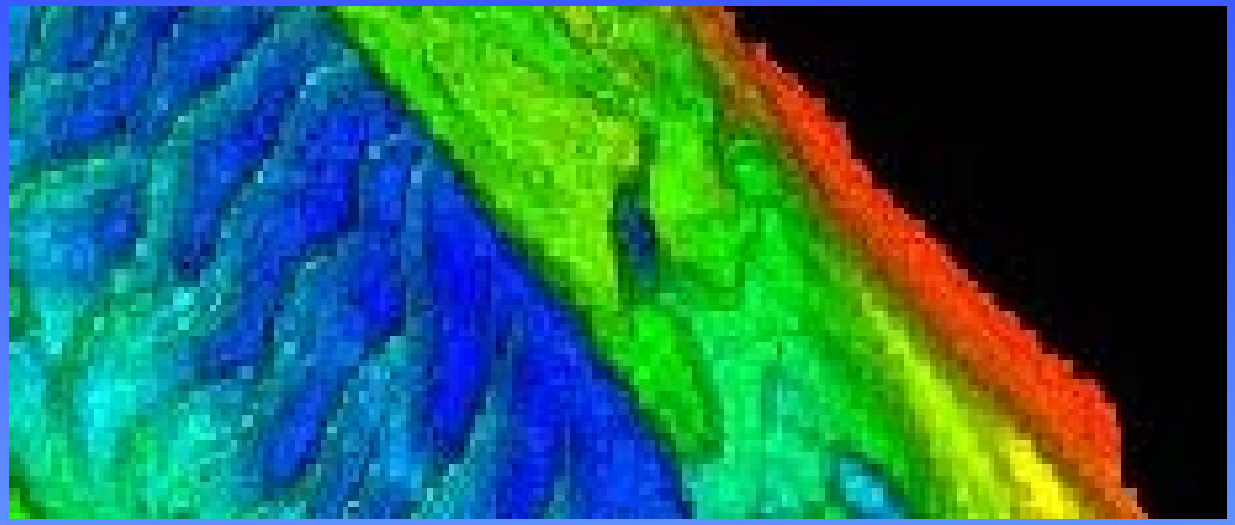


Sedimentdynamik:

Baggerungen um 1930 und 1950 haben Kleischichten durchstoßen

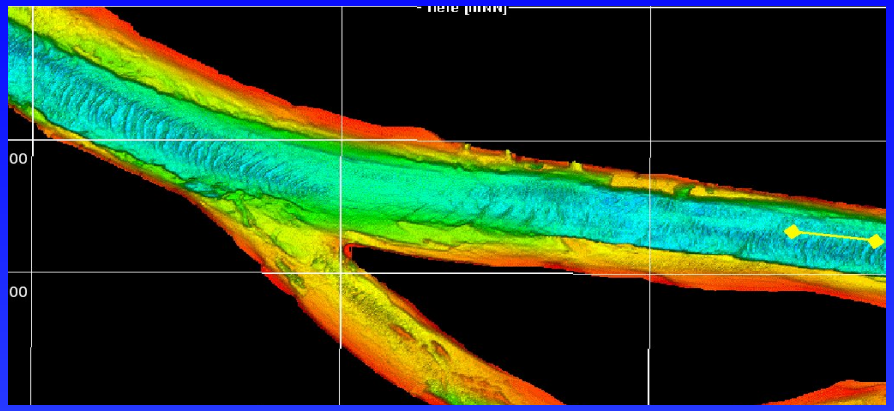


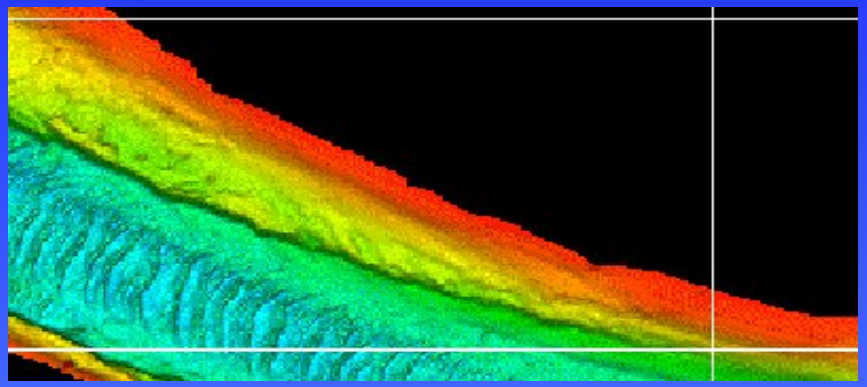
=> => => => =>



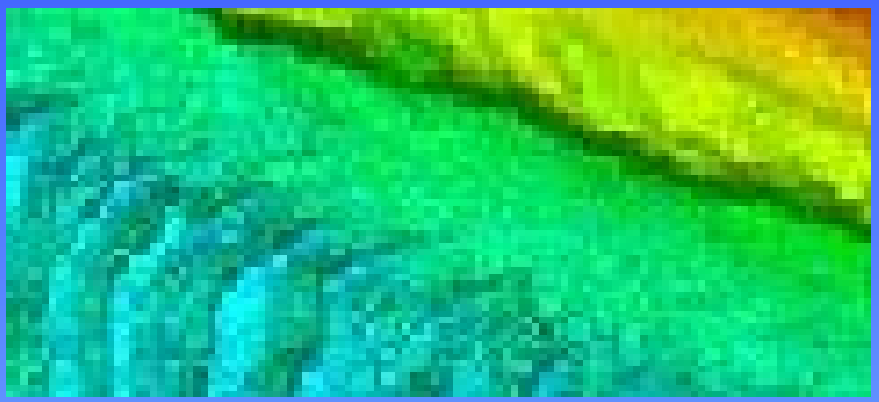
das heutige Transportregime wurde durch Freilegung der Sandschichten erst geschaffen

Beispiel Störbogen

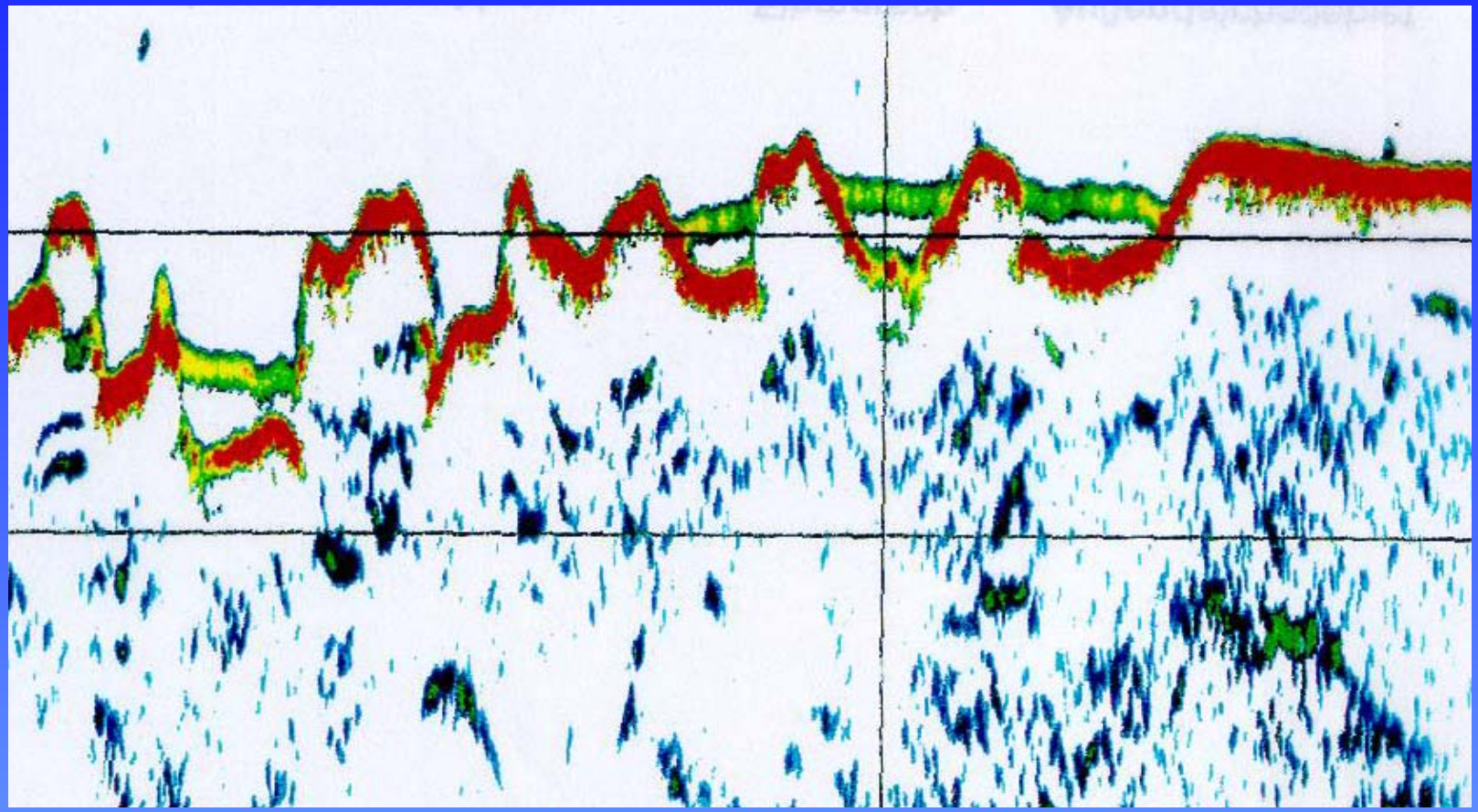




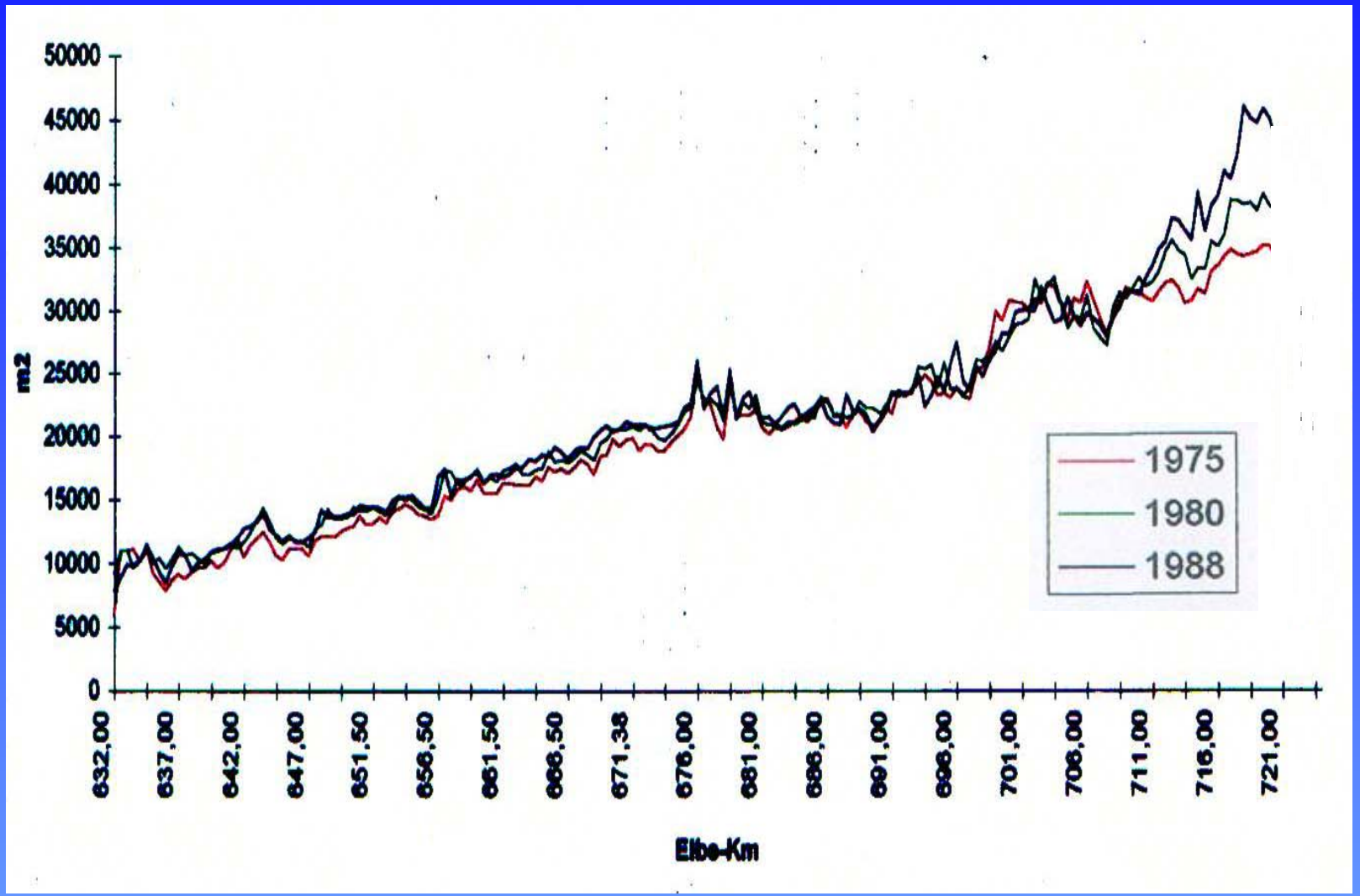
Erosionsfeste Kleikanten begrenzen die Morphodynamik - Beispiel Hanskalbsand



Es existieren zwei Transportregime:
Schlick und Sand verhalten sich unterschiedlich.
Beispiel: Sedimentation von Schlick in den Riffeltälern

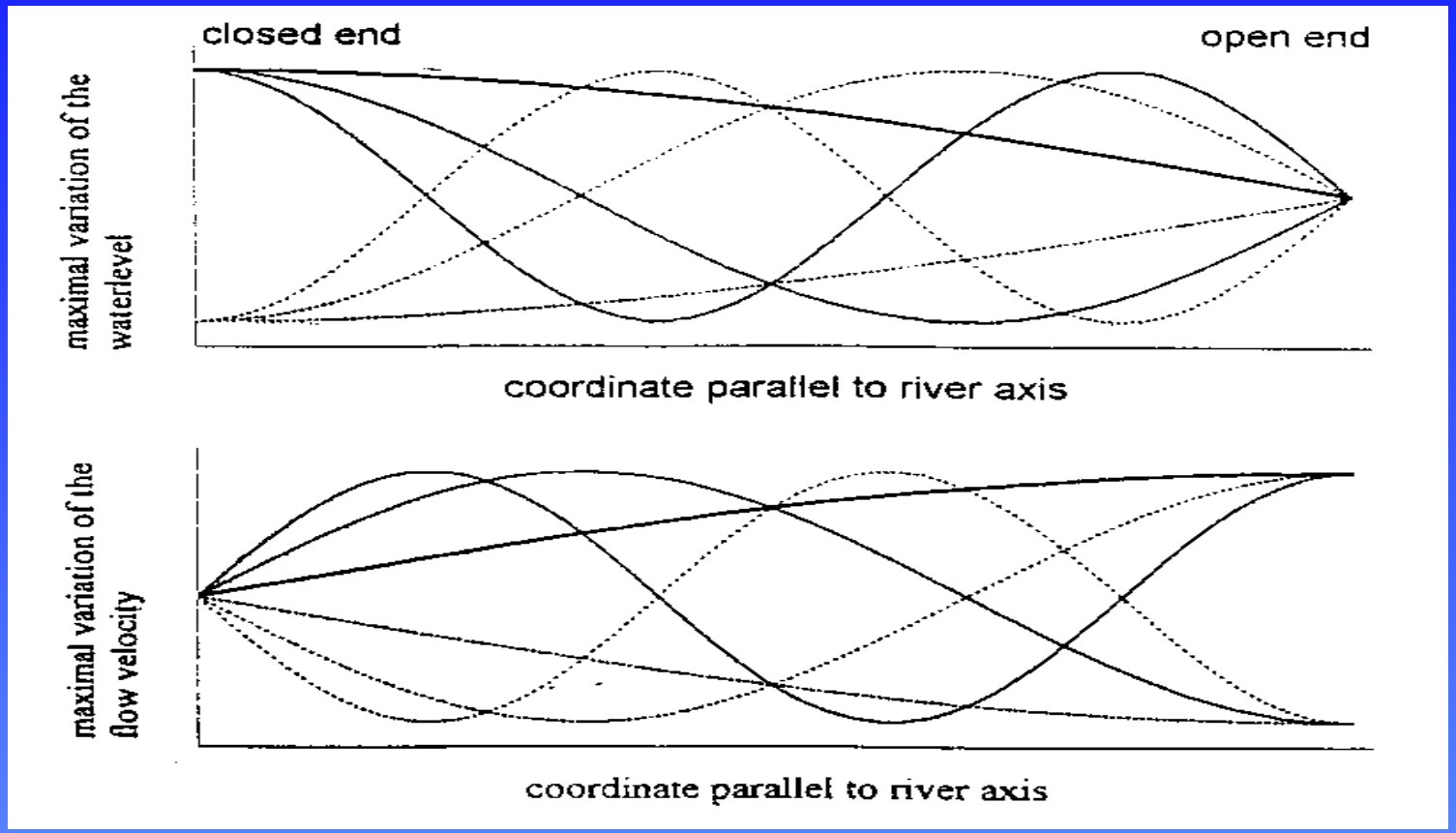


Querschnittsentwicklung in der Tideelbe 1975, 1980 und 1988: Durch die verstärkten Strömungen weitet sich das Flußbett auf. Im Mündungsbereich ist die Erosion am stärksten



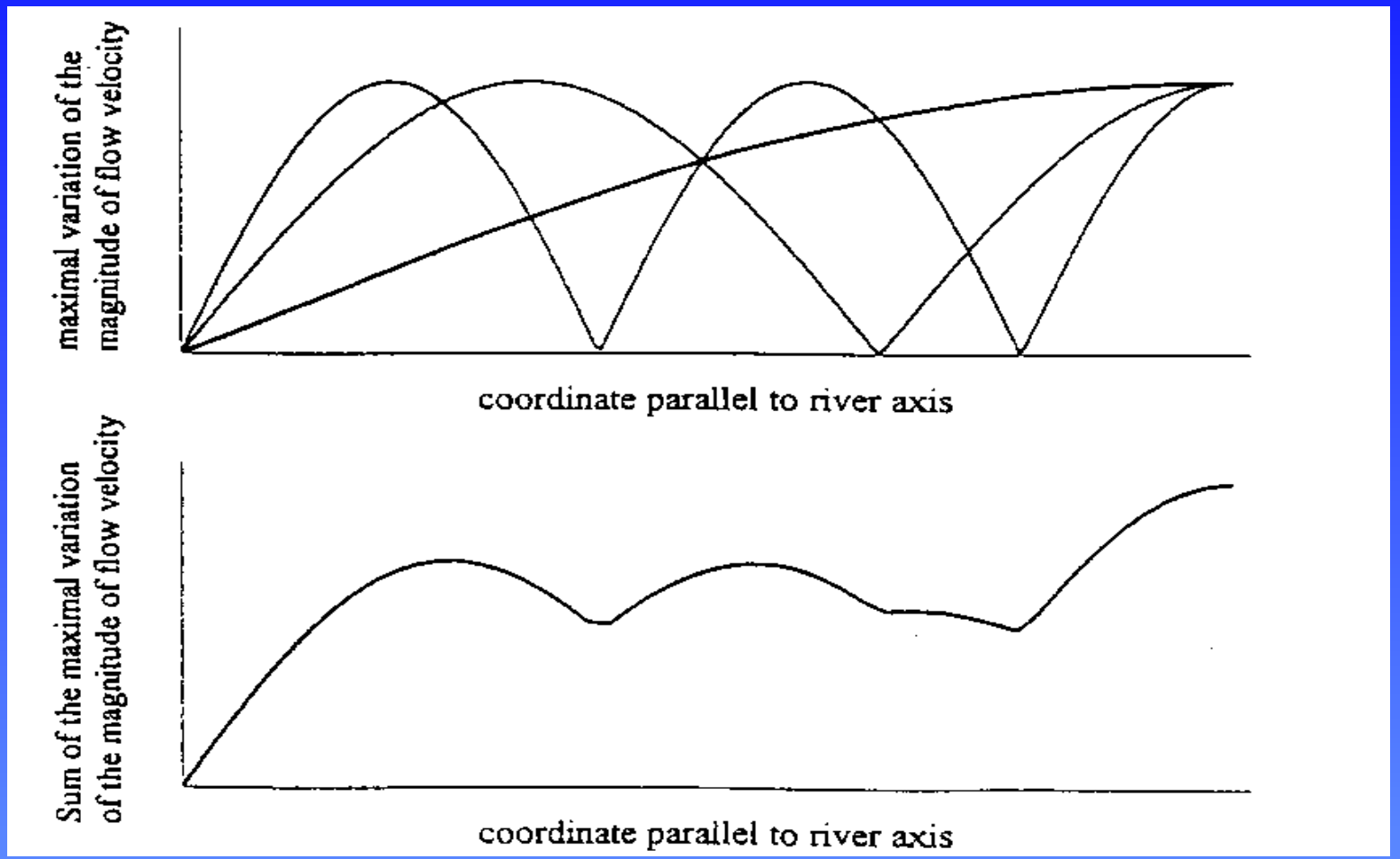
Resonanz des reflektiven Ästuars:

Es bilden sich nur ungerade Obertiden, d.h. die Periode der Grundschwingung von 12 h 25 min wird durch eine ungerade Zahl geteilt



Die Graphen zeigen den qualitativen Verlauf von Wasserständen und Strömungen der Grundschwingung und der ersten zwei Oberschwingungen im einseitig offenen System

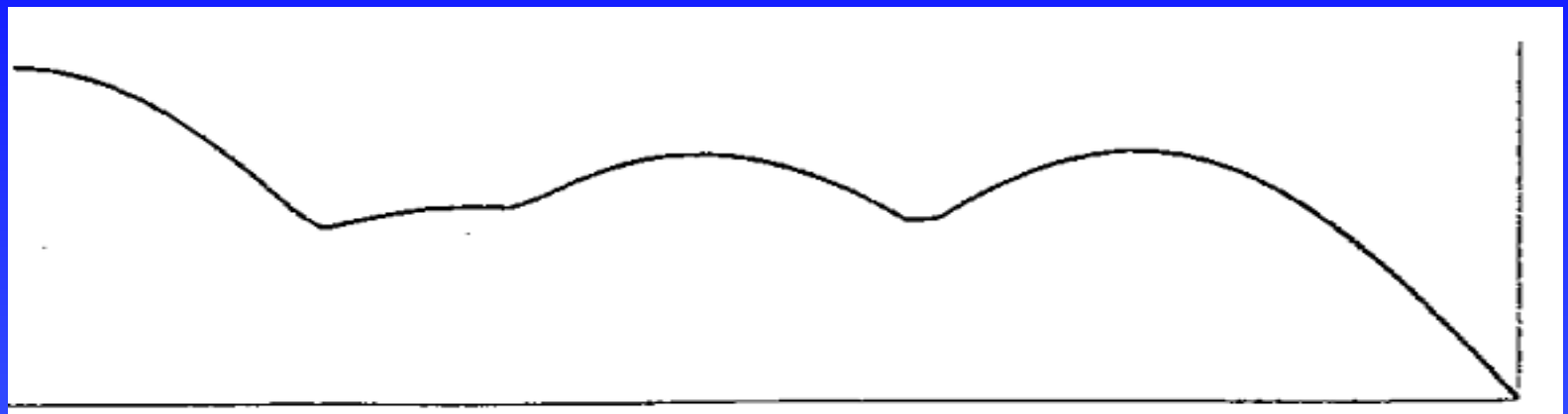
Qualitativer Beitrag der ersten 2 Oberschwingungen zu den Strömungen

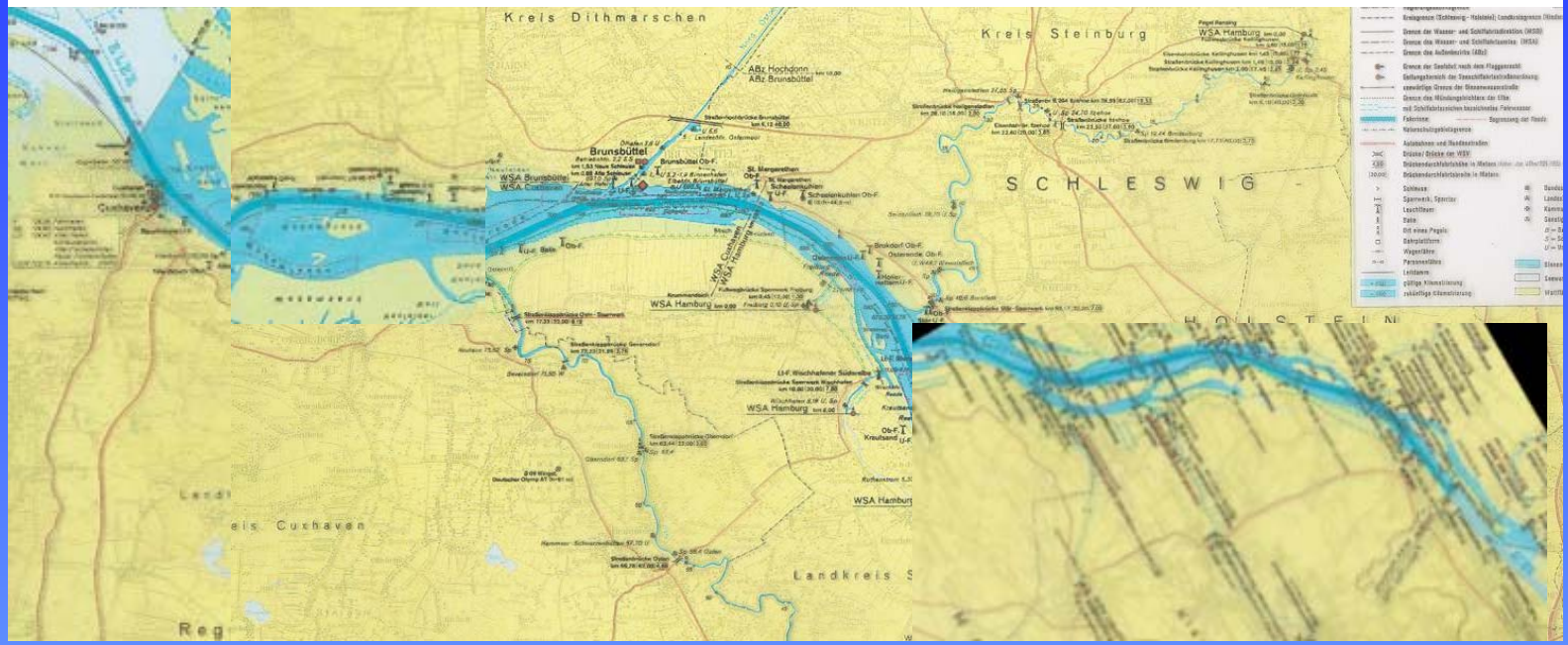


Der Kurvenverlauf der Tideelbe – Mäander?

Gedankenexperiment:
Klappt man die nach Süden laufenden Krümmungen nach Norden, so erhält man eine Darstellung, die der Energieverteilung der ersten 2 Oberschwingungen ähnlich sieht:

Qualitativer Beitrag der ersten 2 Oberschwingungen zu den Strömungen und Mäander der Tideelbe





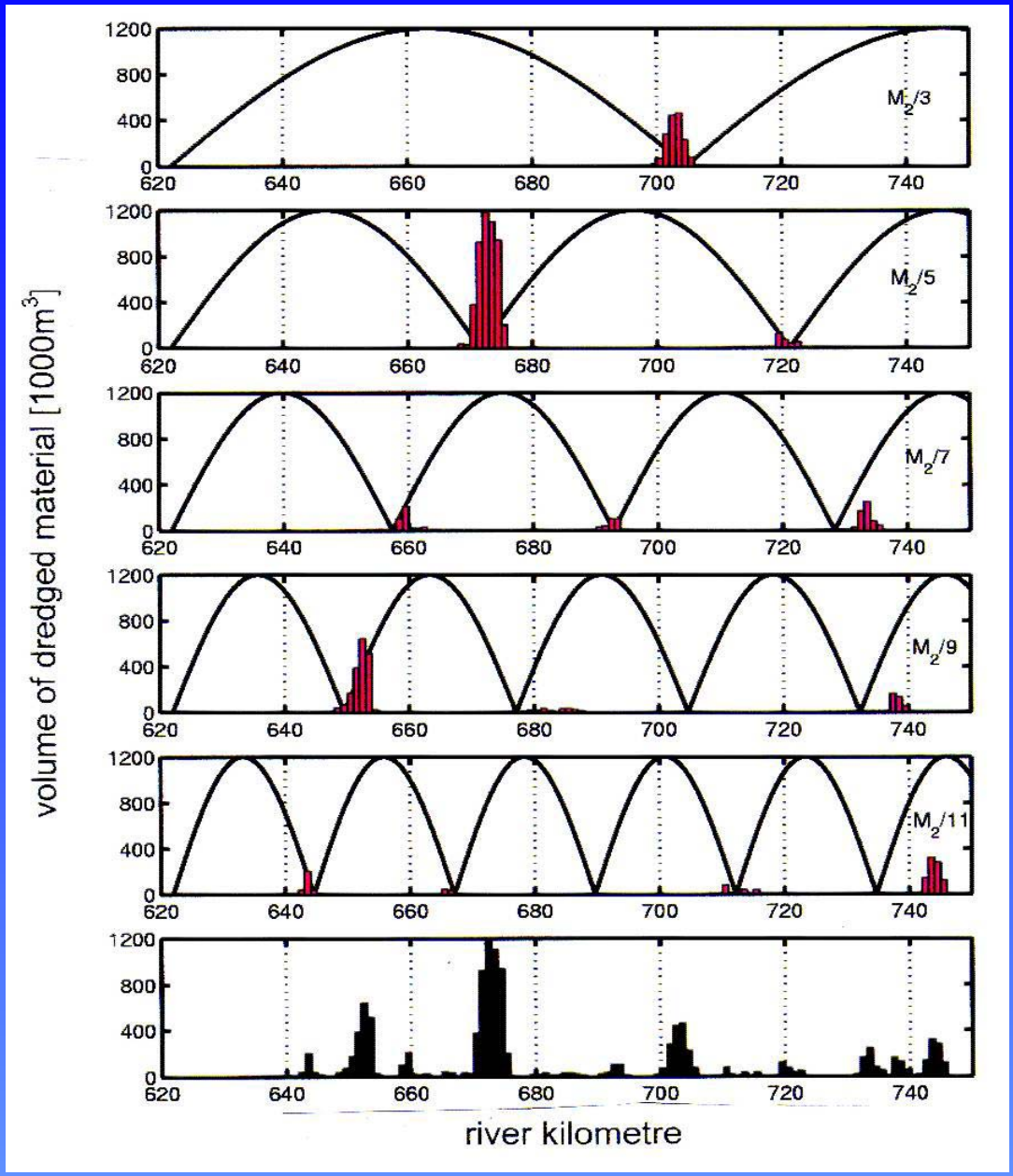
Hypothese:

Wo die Oberschwingungen hohe Energie haben, bilden sich Kurven mit großen Wassertiefen aus.

Wo die Oberschwingungen geringe Energie haben, liegen die flachen Wendepunkte des Stromverlaufes – die Baggerstellen.

Der Kurvenverlauf wird also von der Tideresonanz geprägt.

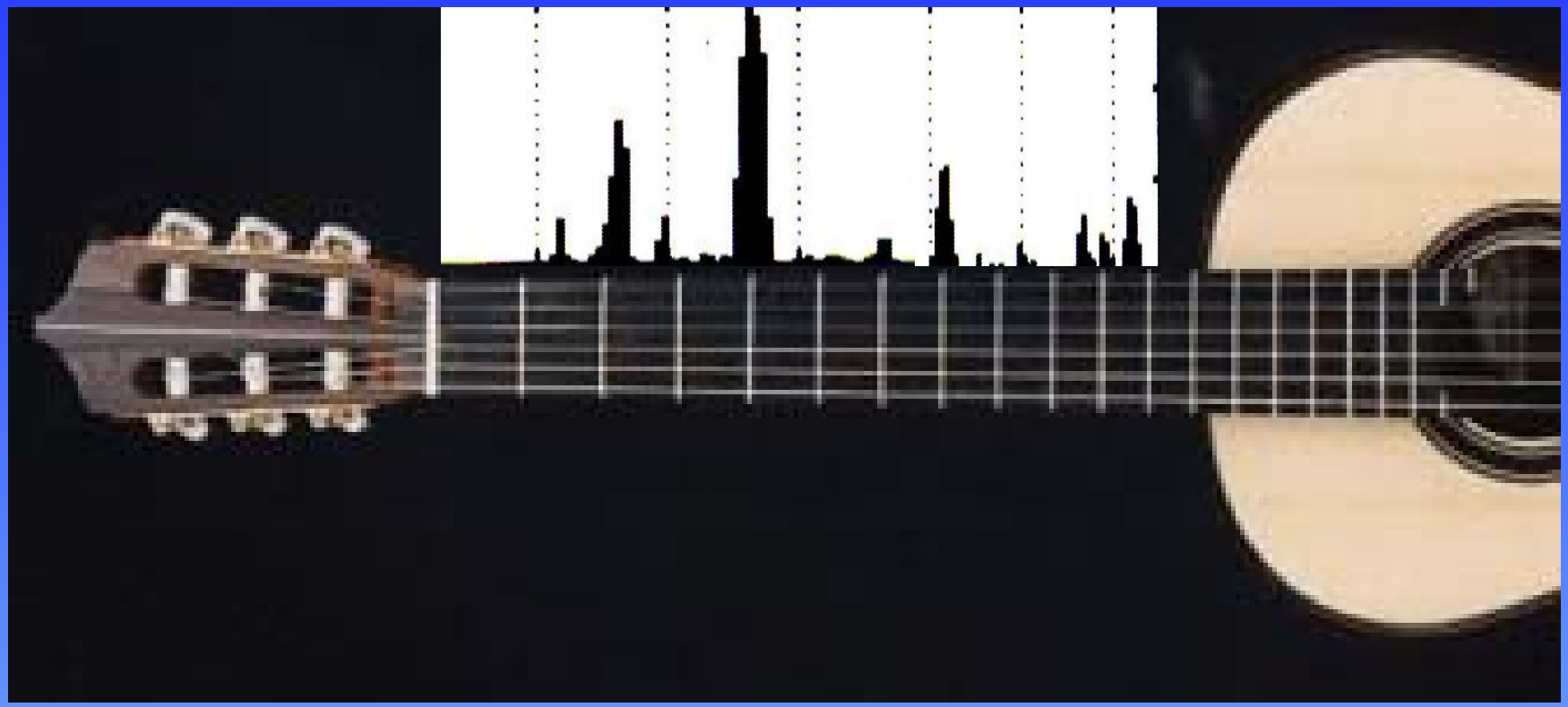
Qualitative Amplituden der Obertiden:
die Minima stimmen mit den Baggerstrecken überein,
die Maxima mit den Übertiefen



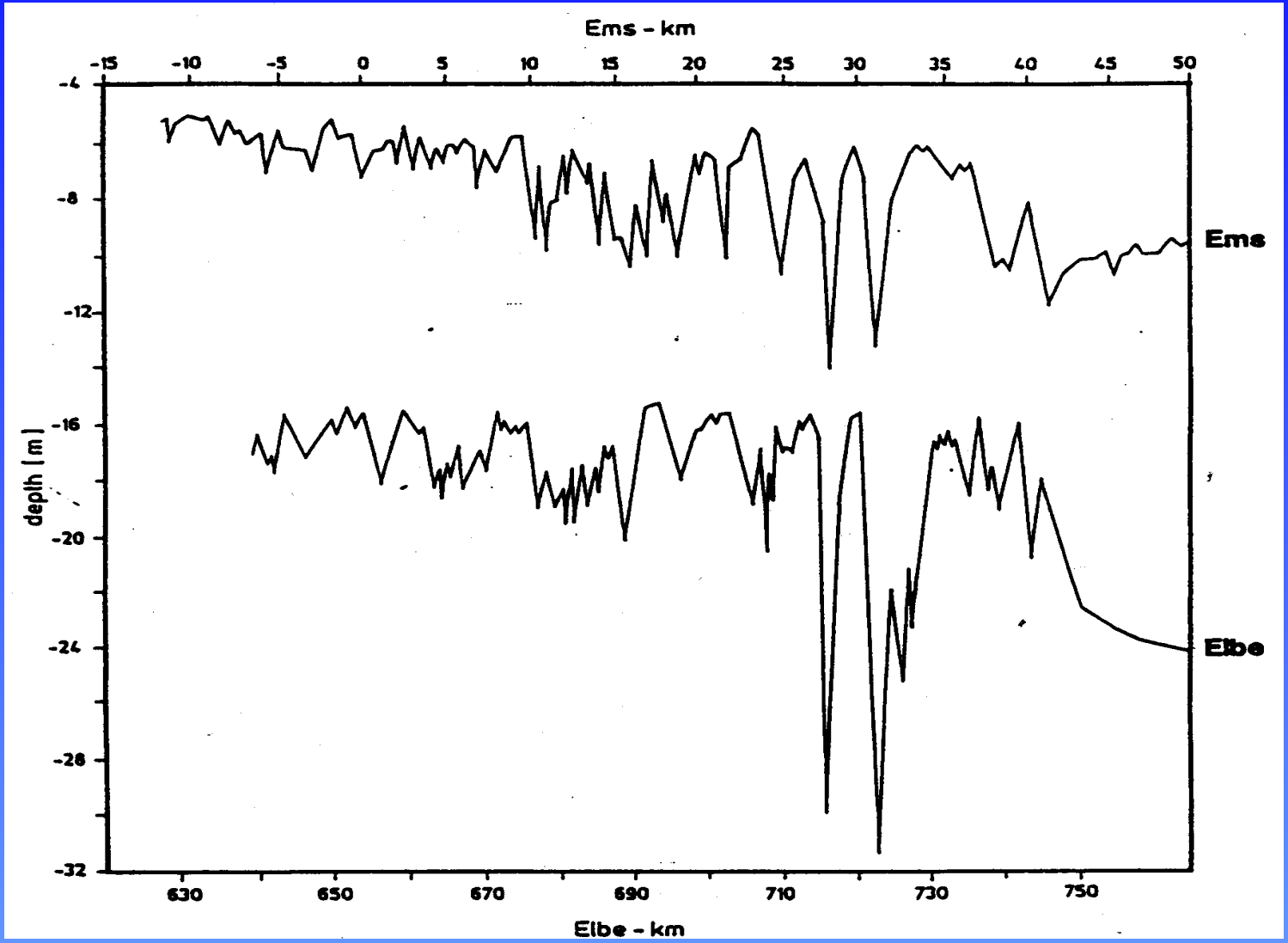
Die Anordnung der Baggerstellen entspricht einem einfachen arithmetischen Schema:

Hamburg Scharhörn

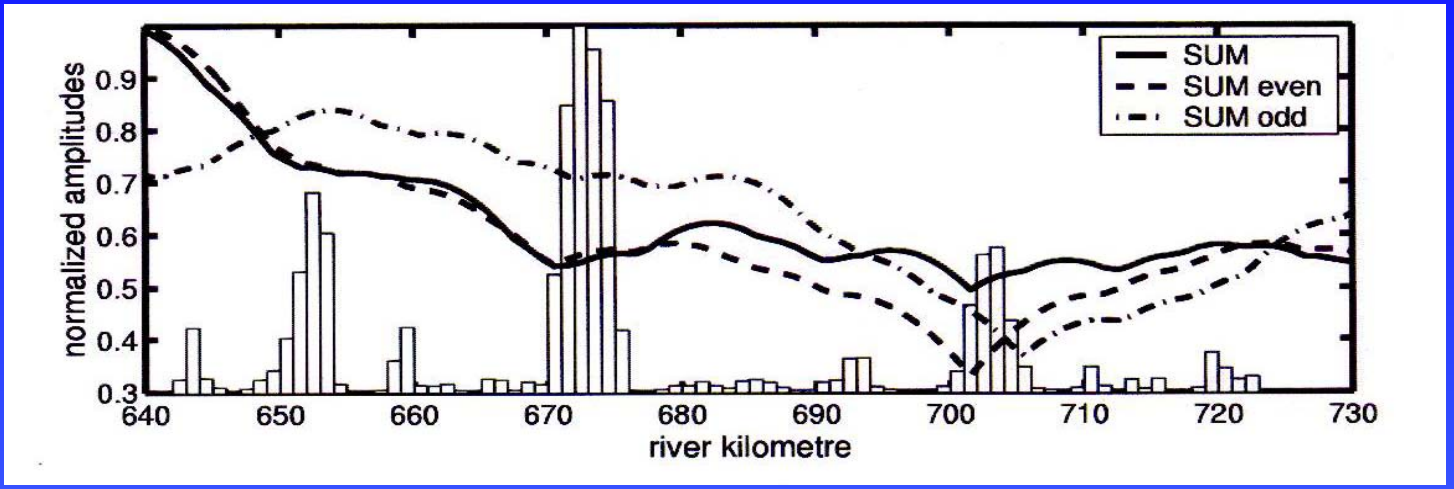
Die Obertiden der Elbe gleichen den Obertönen des Saiteninstruments: an den Baggerstellen lassen sich Obertöne anregen.
Links Hamburg (alter Elbtunnel) – rechts in der Saitenmitte die Mündung bei Scharhörn



Ähnlichkeit der Tiefen von Elbe und Ems im Maßstab 1 : 2,5
Identische Resonanzmuster!

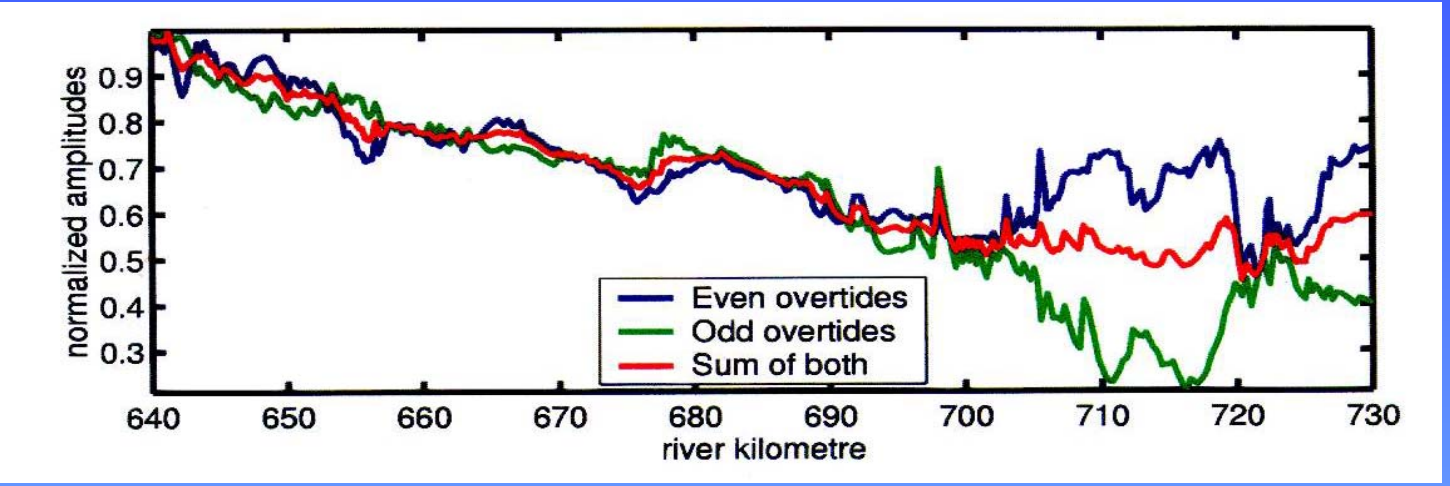


Beitrag der Obertiden nach theoretischem Ansatz und Strömungsmessungen

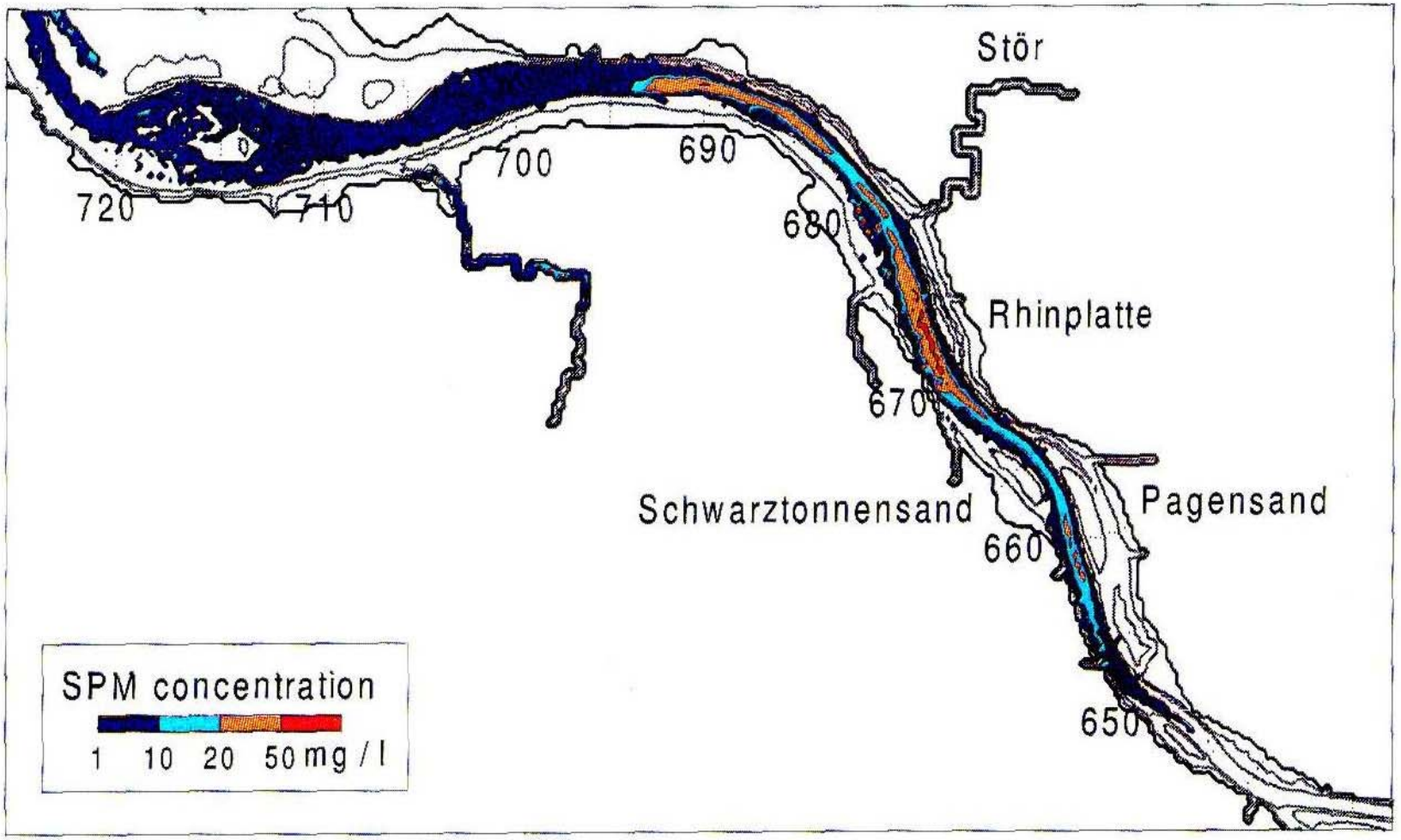


Beitrag der Obertiden im numerischen Modell

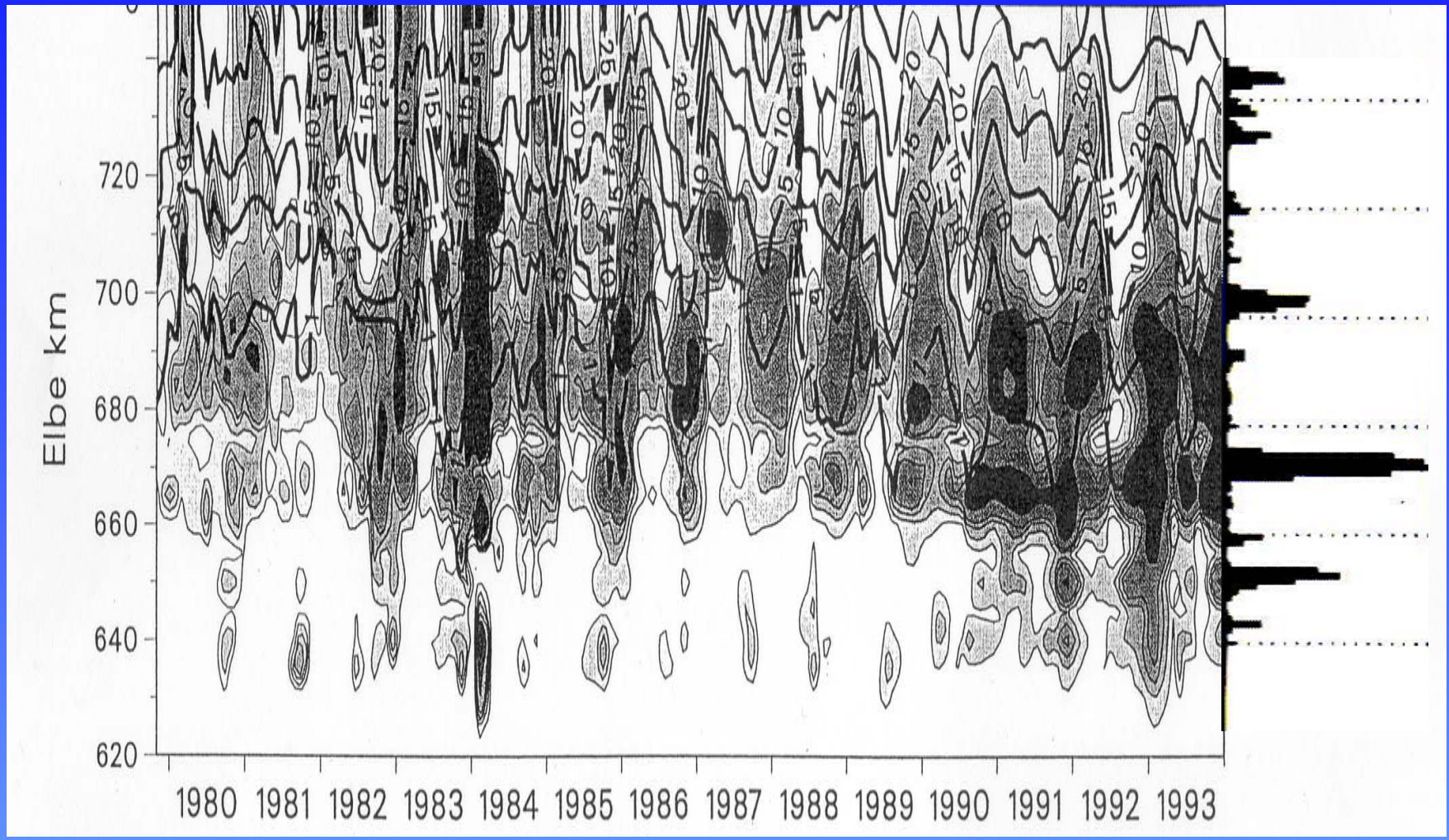
(Rolinski and Eichweber, 2000)



Modellergebnisse der Schwebstoffkonzentrationen
(Rolinski and Eichweber, 2000).



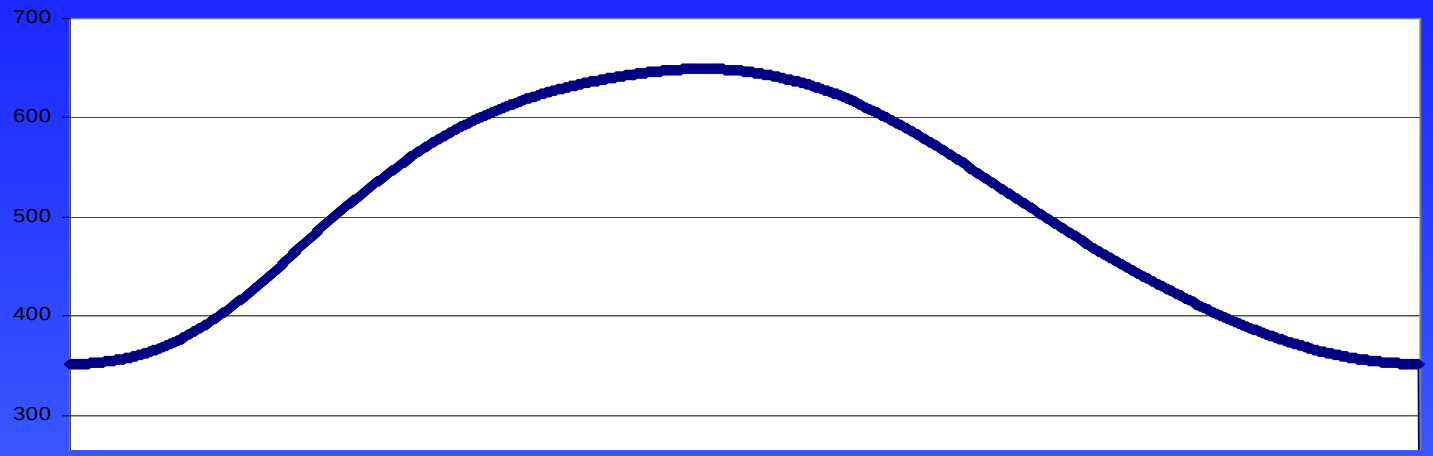
Schwebstoffdaten der ARGE korrelieren zum Teil mit der Lage der Baggerstellen



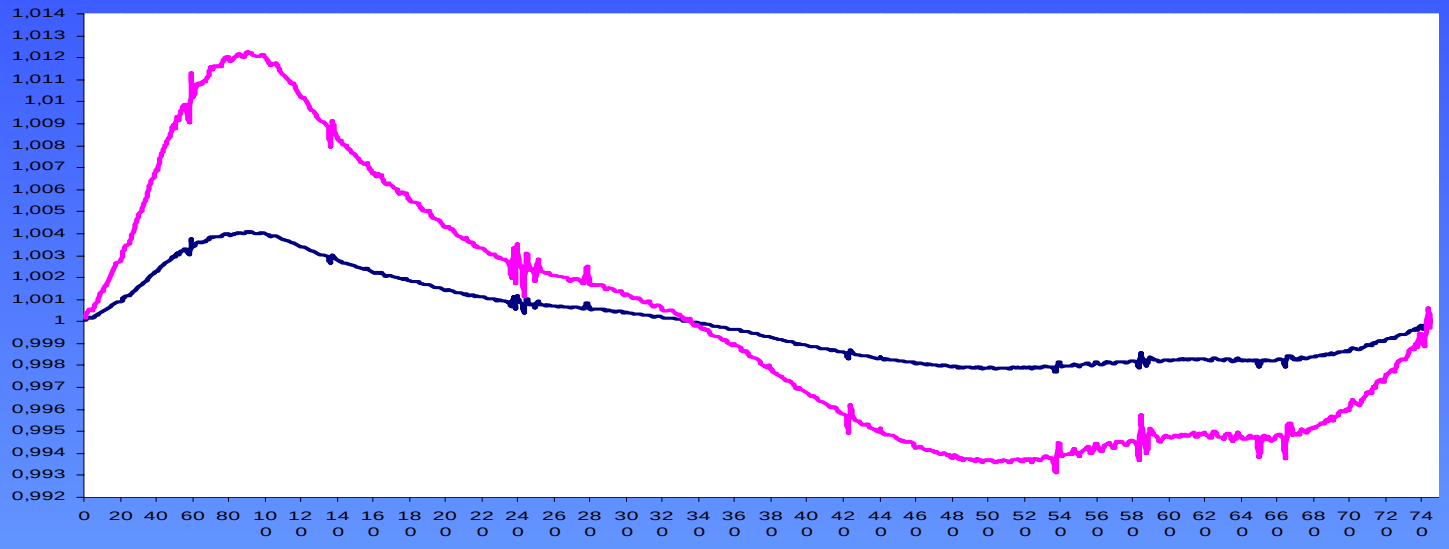
Prozesse - residuelle Transporte

Stromauf gerichteter Sedimenttransport durch kurzzeitige starke Flutströmungen

Tidekurve mit steilem Anstieg in der Flutphase



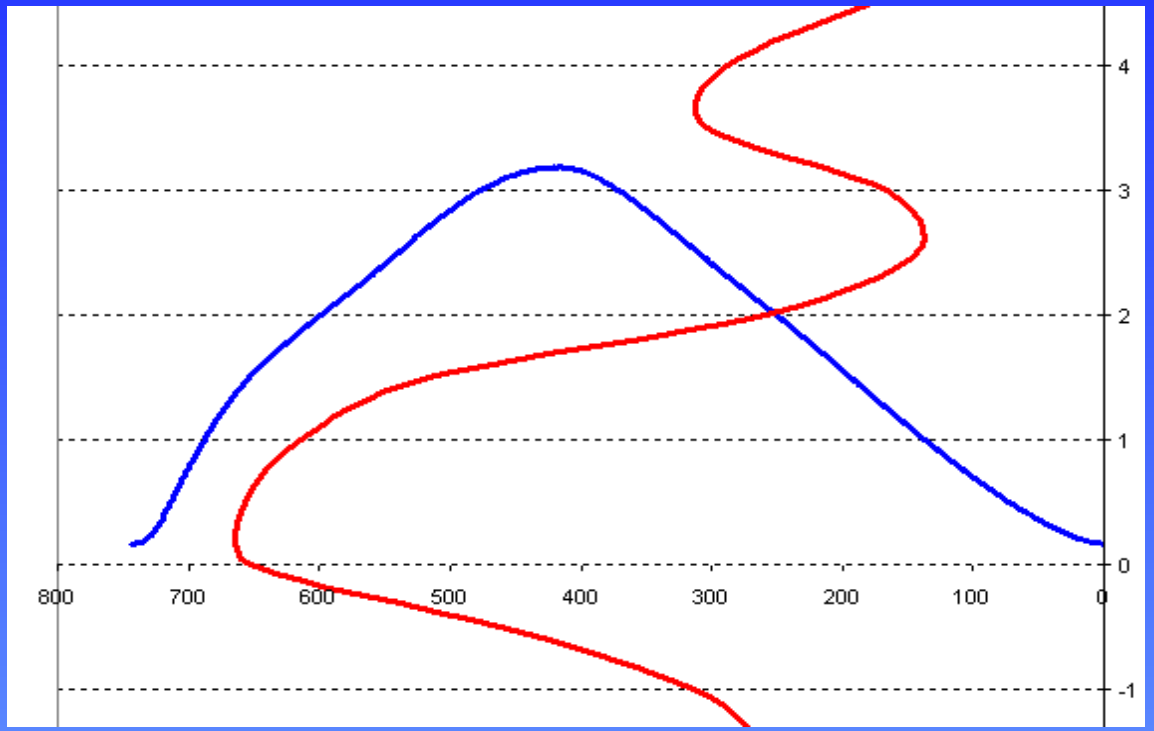
Strömungen (blau) und Sediment-transporte (rot) der Flut- und Ebbphase



Die Tidekurve aus der Sicht des Hydrologen:

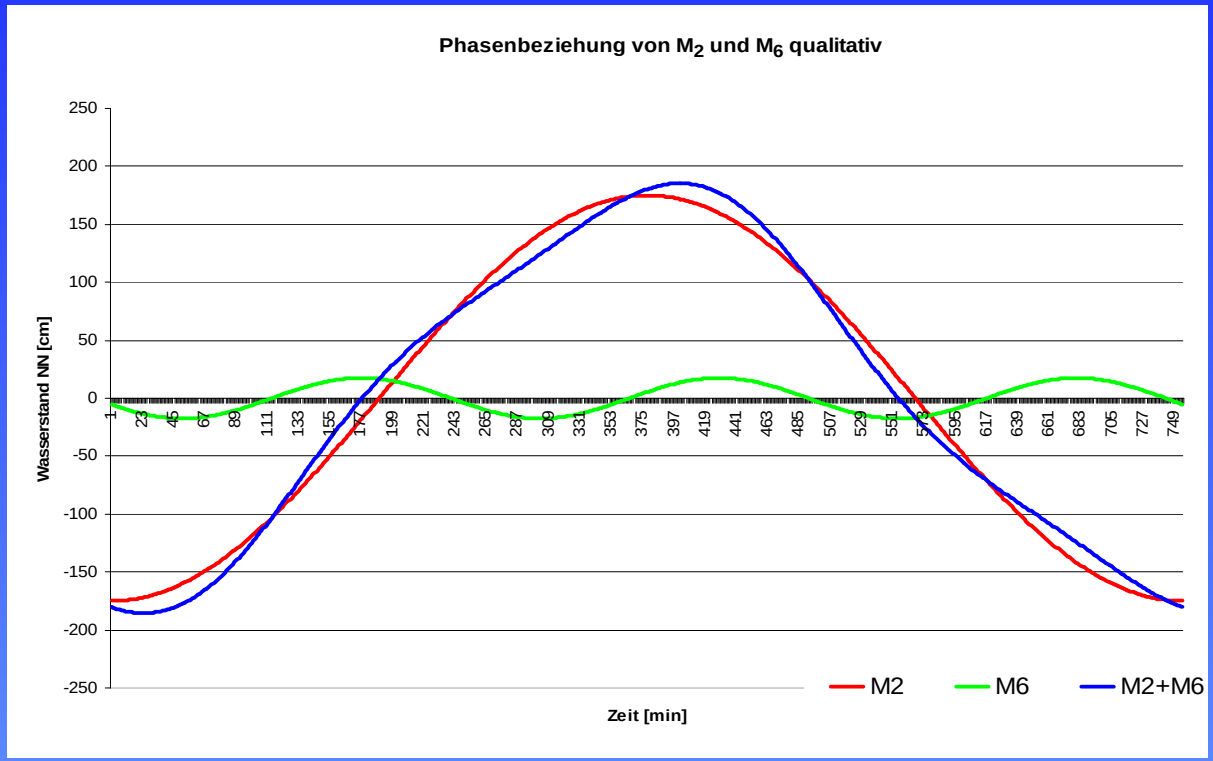
Die Asymmetrie der Tidekurve (blau) wird erzeugt durch die topographische Niveauflächenverteilung (rot, von rechts nach links; die Maxima bei 0 bis 1m und bei 3,5m entsprechen der Wattfläche und der Deichvorlandfläche)

Der Knick der Wasserstandsganglinie ca. 1 ½ Stunden nach Niedrigwasser entsteht durch die Querschnittserweiterung bei Überströmung des Watts



Die Tidekurve aus der Sicht des Ozeanographen: Die Asymmetrie der Tidekurve (blau) wird erzeugt durch die Überlagerung der halbtägigen Tide (rot) und der sechsteltägigen Tide (grün)

Der Knick der Wasserstandsganglinie ca. 1 ½ Stunden nach Niedrigwasser entsteht durch die Überlagerung zweier Sinuskurven



Kopplung durch Wechselwirkungen

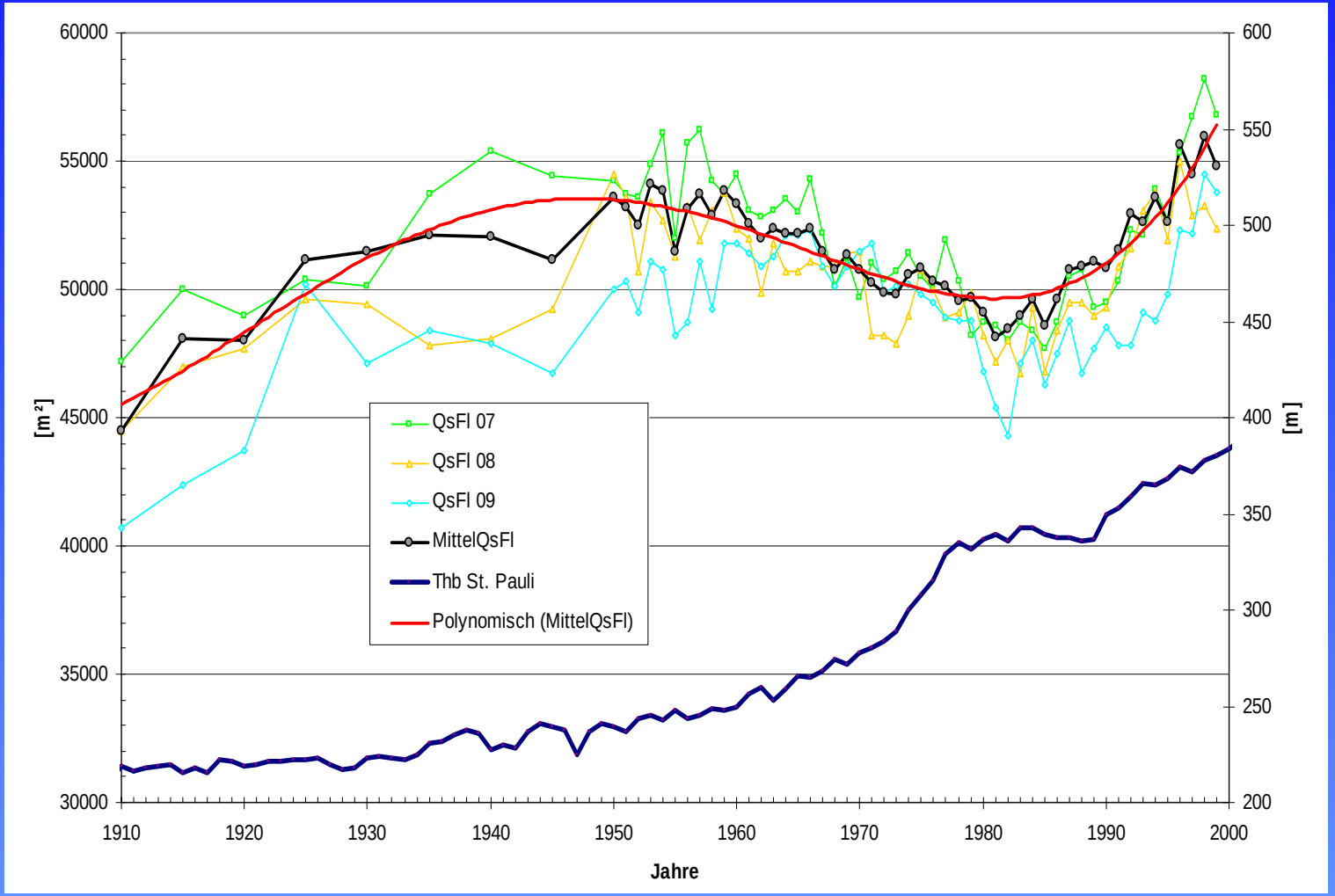
Faßt man die zwei Betrachtungen zusammen, so folgt:

- die Tidekurve
- die Höhe und Ausdehnung des Watts
- die Eintreibungen an der Ostemündung
- die stromauf gerichteten Sedimentbewegungen
- die Sedimentation im Hamburger Raum

sind alle durch Wechselwirkungen verbunden!

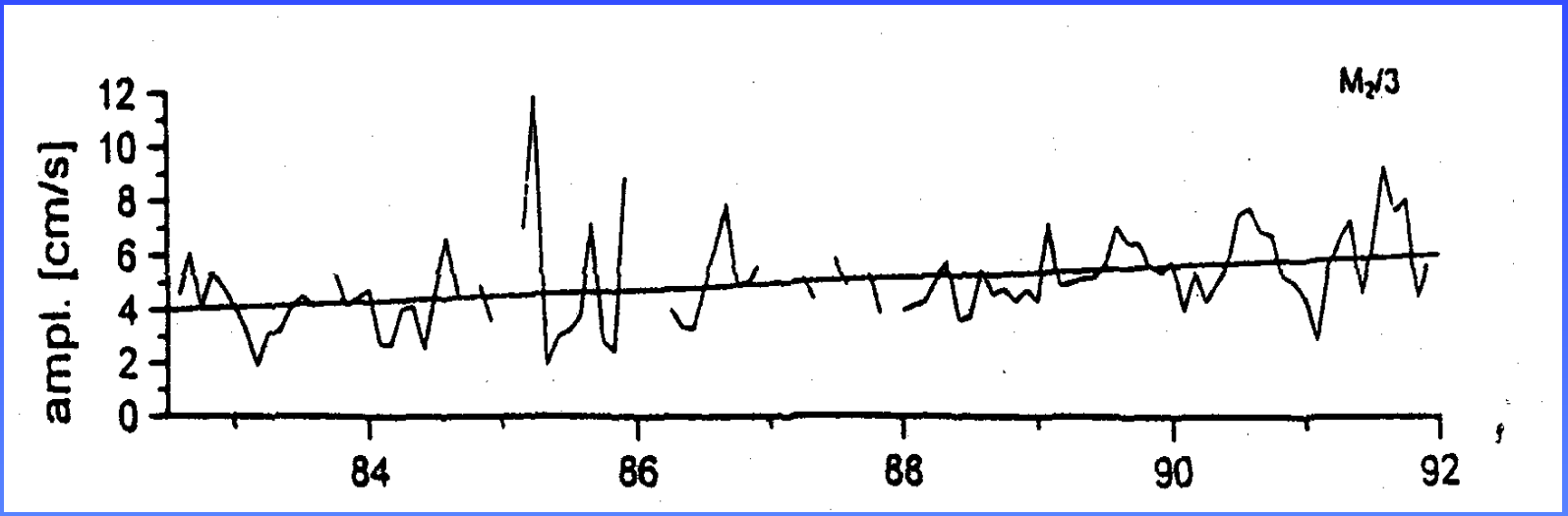
Das wichtigste Bindeglied dieser Wechselwirkungen ist die M_6

Selbstorganisierte Resonanz nach Bakker (1998): Mündungsquerschnitt und Tidehub verstärken sich gegenseitig



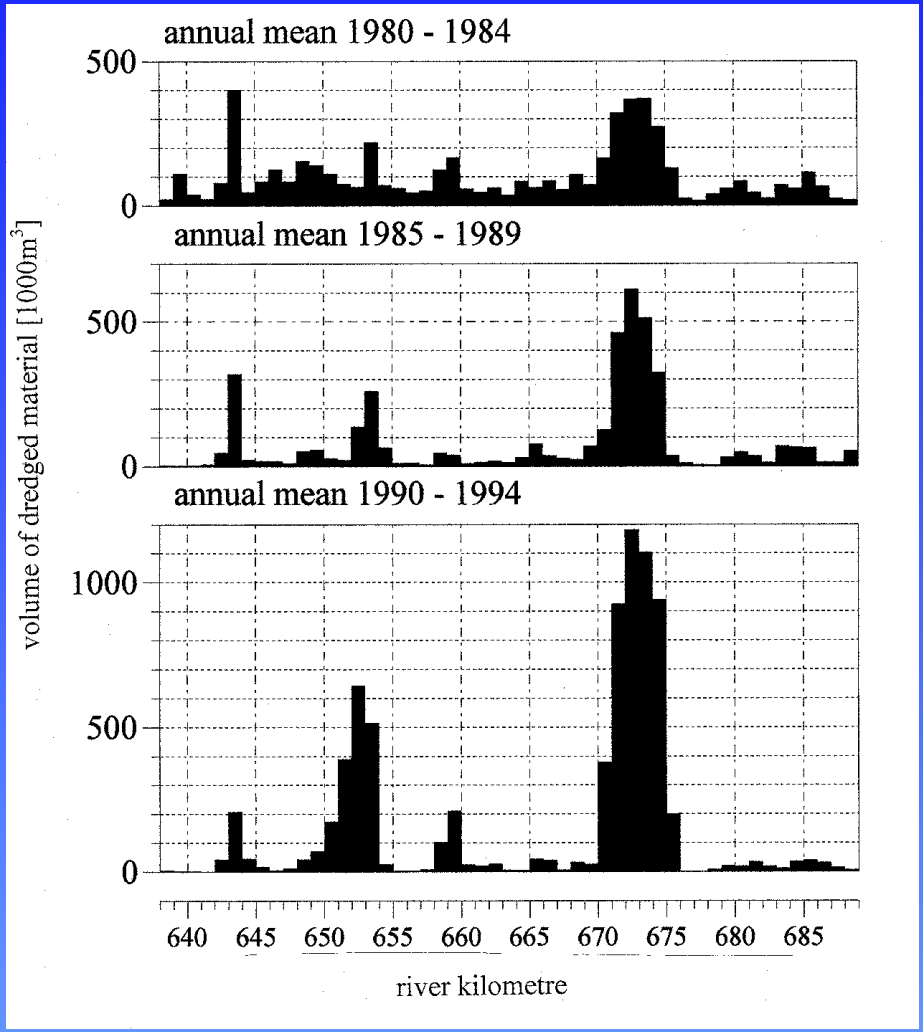
Auch kurzperiodische Obertiden entwickeln sich durch selbstorganisierte Resonanz

Indiz: die Amplitude der sechsteltägigen Tide nahm in 10 Jahren um 50% zu



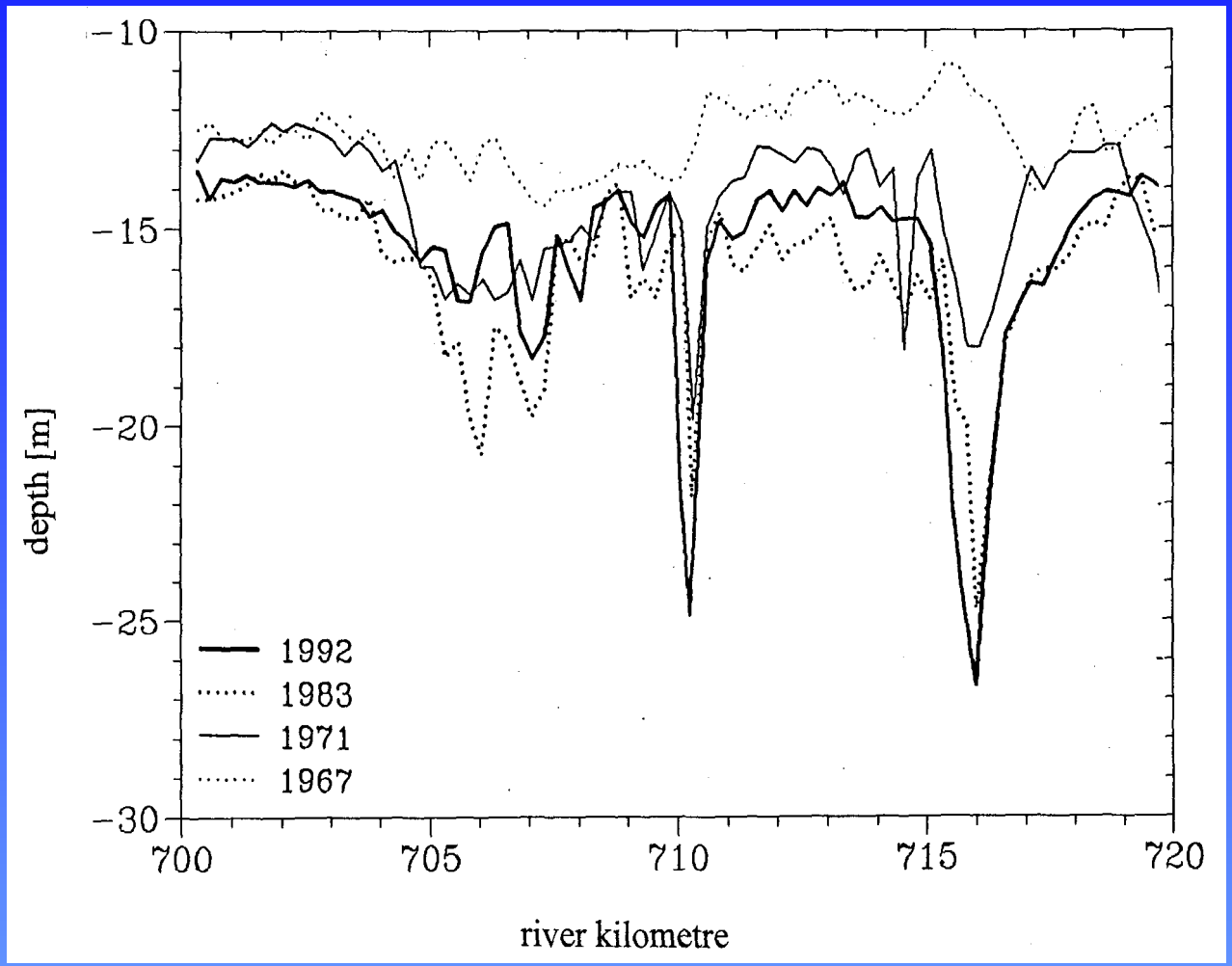
Auch kurzperiodische Obertiden entwickeln sich durch selbstorganisierte Resonanz

Indiz: die Eintreibungen des Sedimentes in Baggerstellen konzentrieren sich auf immer kleinere Bereiche



Auch kurzperiodische Obertiden entwickeln sich durch selbstorganisierte Resonanz

Indiz: es entstehen neue Übertiefen an Orten, wo Obertiden Strömungsmaxima aufweisen



Fazit:

Die Entwicklung der Tideelbe ist geprägt von

Meeresspiegelanstieg

Deichbau
Strombau
Fahrrinnenausbauten

besonderer Tidedynamik
durch die Gezeitenresonanz

Literatur:

Bakker, T.: Effect Resonance on Morphology of Tidal Channels. ICCE Copenhagen 1998.

Eichweber, G.; Lange, D.: Über die Bedeutung der Reflexion von Obertiden für die Unterhaltungsaufwendungen in der Tideelbe. Die Küste, H. 58, 1996.

Eichweber, G.; Lange, D.: Tidal Subharmonics and Sediment Dynamics in the Elbe Estuary. 3rd Internat. Conf. Hydroscience and Engineering. Cottbus 1998.

Eichweber, G.: Sediment Dynamics in the Elbe Estuary and the Improvement of Maintenance. XVII World Dredging Congress, Hamburg 2004.

Eichweber, G.: Integration von wasserbaulichen und ökologischen Zielsetzungen. BUND-Veranstaltung „Tide-Elbe: Naturraum oder Wasserstraße?“. Hamburg, 2005

Rauschelbach, H.: Harmonische Analyse der Gezeiten des Meeres. Arch. Dt. Seewarte 24, 1924.

Rolinski, S.; Eichweber, G.: Deformations of the Tidal Wave in the Elbe Estuary and their Effect on Suspended Particulate Matter Dynamics. Phys. Chem. Earth (B), Vol.25, No. 4, pp. 355-358, 2000.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!