

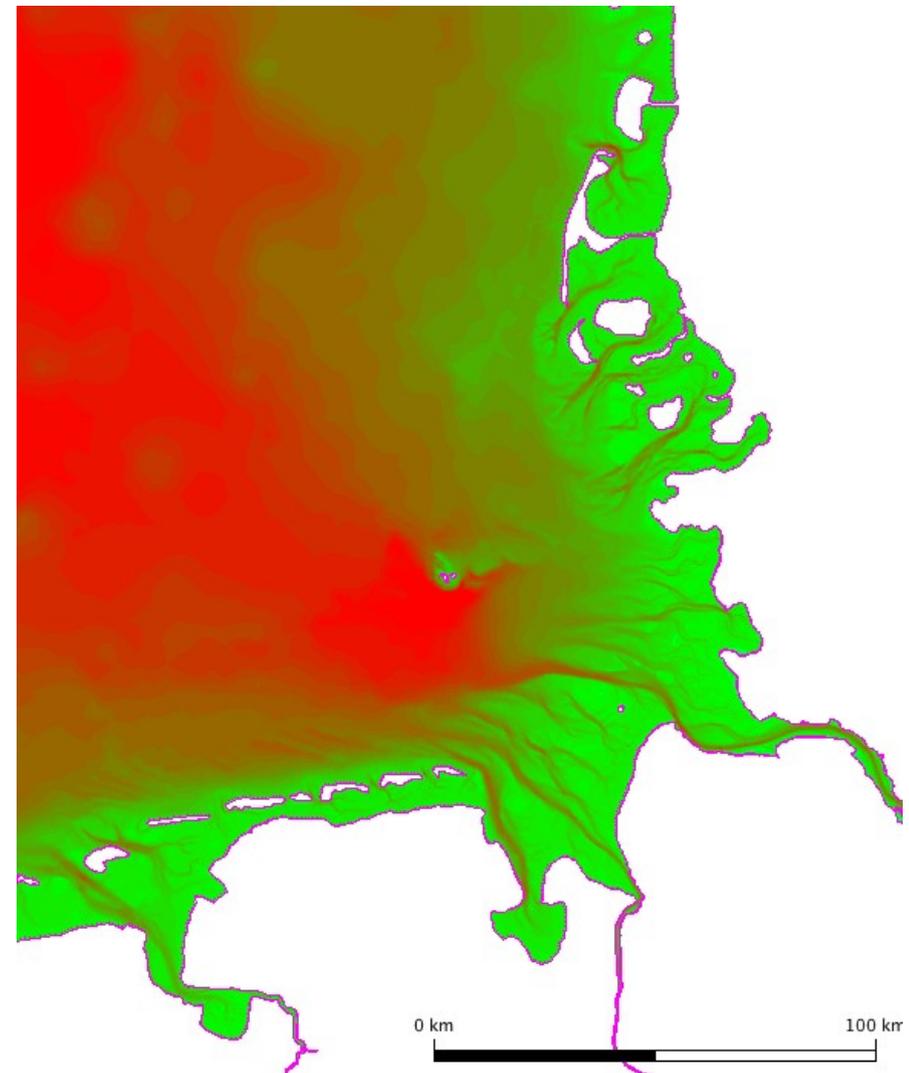


Identifikation morphologischer Tendenzen und Geschwindigkeiten

Peter Milbradt
Institut für Bauinformatik
Leibniz Universität Hannover

Morphodynamik

- Veränderung der Erdoberfläche
- Auf- bzw. Abtrag von
 - Stränden
 - Dünen
 - Watten
- Migration der Rinnen
- Wandern von Sandbänken
- ...
- Wirkung von Hydrodynamik und Meteorologie





Morphodynamische Analyse

Geänderte Rahmenbedingungen und neue Anforderungen an das Verständnis der morphodynamischen Entwicklungen.

- **Beobachtung** auf der Basis regelmäßiger Vermessungen
 - **Analyse** der Vermessungsdaten
 - **Datenbasierte** Modellansätze
 - **Prozessbasierte** Simulationsmodelle
-
- Vermessungsdaten beinhalten die Wirkung aller komplexen Interaktion der unterschiedlichsten Prozesse.
Welche Informationen können den Vermessungsdaten entlockt werden?

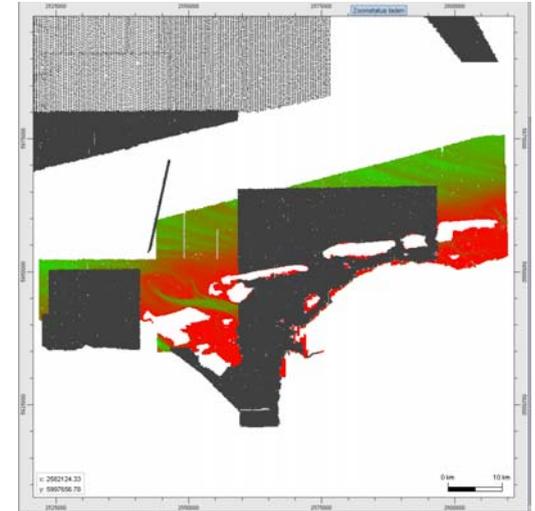
Projektpartner

- LKN-Husum
- BAW-DH
- NLWKN
- StAUN-Rostock
- Institut für Bauinformatik



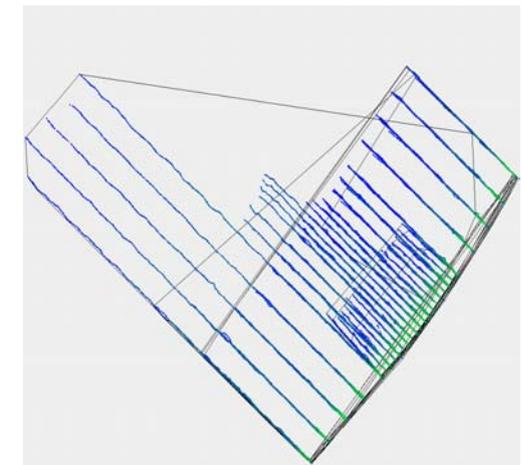
Vermessungsdaten

- Datenerhebung
 - verschiedener Institutionen
 - unterschiedlichen Zielsetzung
 - verschieden Messverfahren
- stetig wachsende Datenmengen



Echolotmessungen aus dem Jahren 1992 (schwarz) und 1995 (farbig).

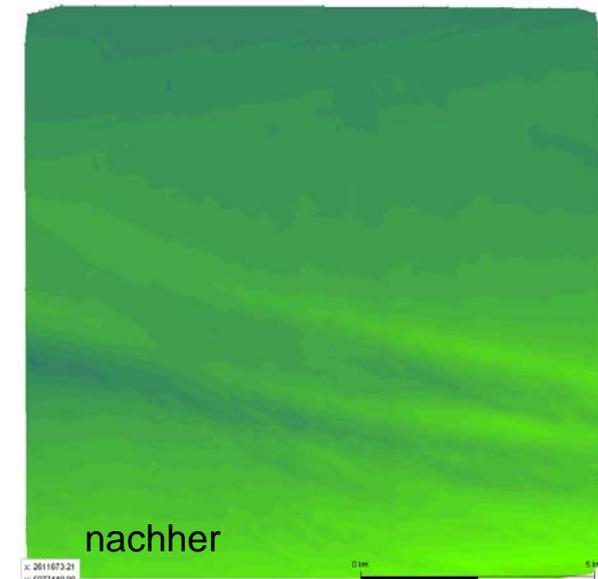
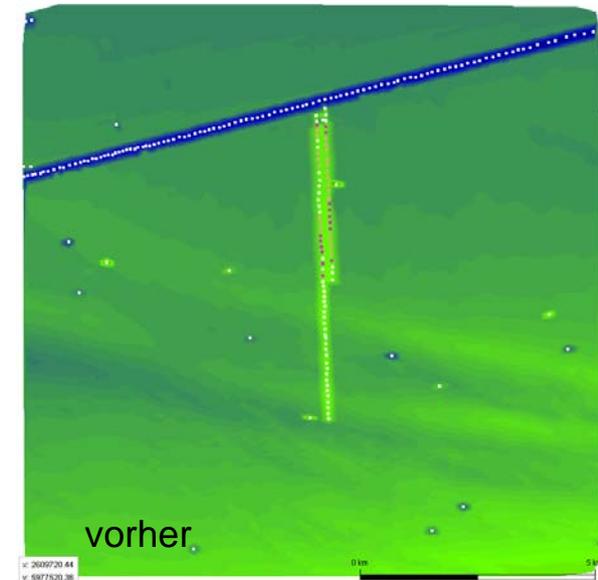
Herkunft	Jahr	Vermessungen	Punkte	Ø
ALR	1980 – 1999	391	3463000	466
	1999	65	632393	9730
BSH	1992	83	18560	223
	1993	5	3307	661
	1998	100	20157	201
	2001	42	22255	529
EMD	1990	2794	135849	49
	1991	2909	159672	54
	1992	1442	101202	70
	1993	1160	168967	146
	1994	1230	170669	139
	1995	1152	289905	252
	1996	1476	297638	202
	1997	1545	362835	235
1998	1293	407864	316	
		15687	6254273	



Profilvermessungen vor Ahrenshoop

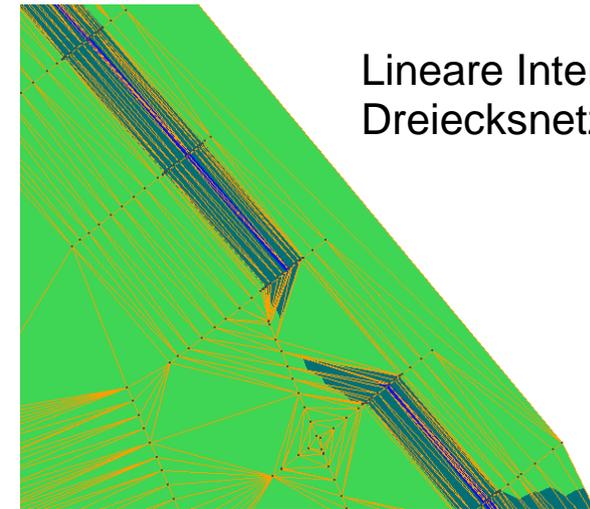
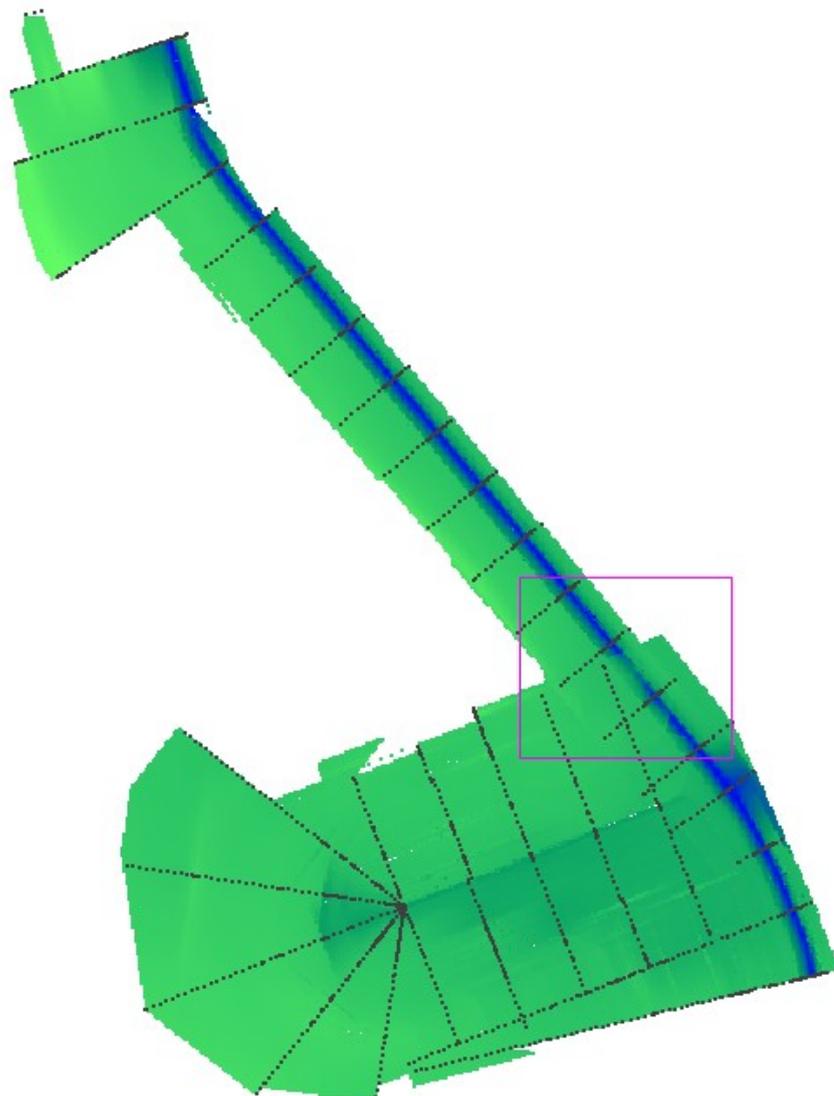
Plausibilisierung

- Metadaten
 - Datumsangaben
 - *Angaben zur Genauigkeit*
- Vermessungsdaten
 - Koordinatensysteme
 - lagegleiche Punkte
 - Ausreißer
- teilautomatisierte Identifikation
und
reversible Korrektur

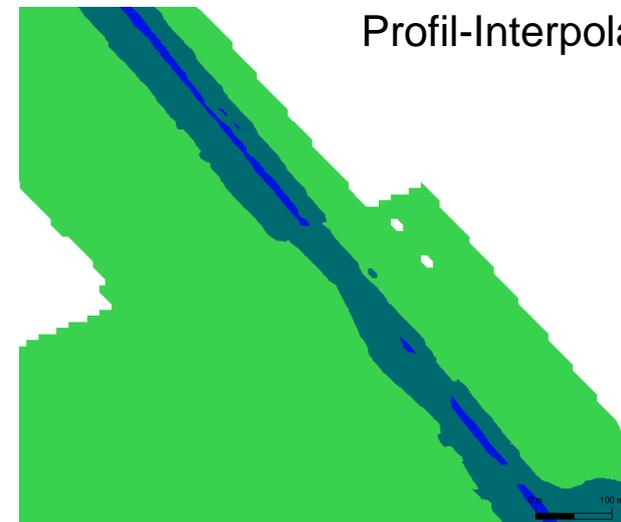


angepasste Interpolationen

- Profile- bzw. Isolinien-Interpolation



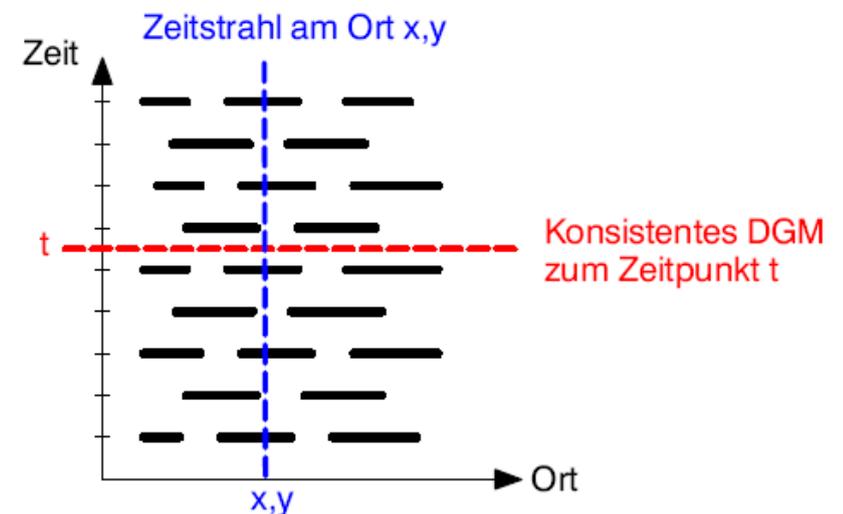
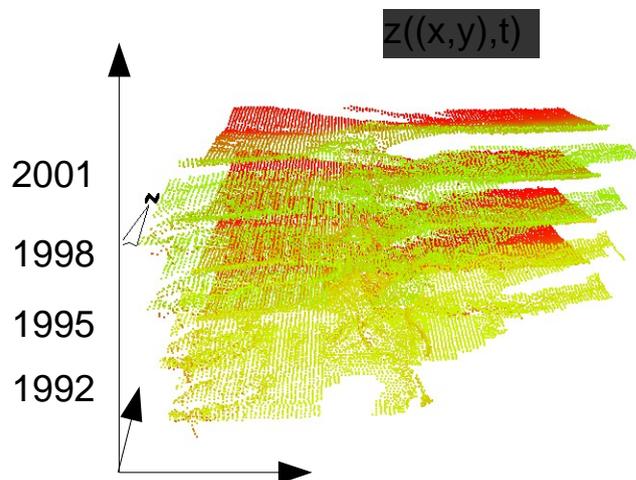
Lineare Interpolation auf
Dreiecksnetz



Profil-Interpolation

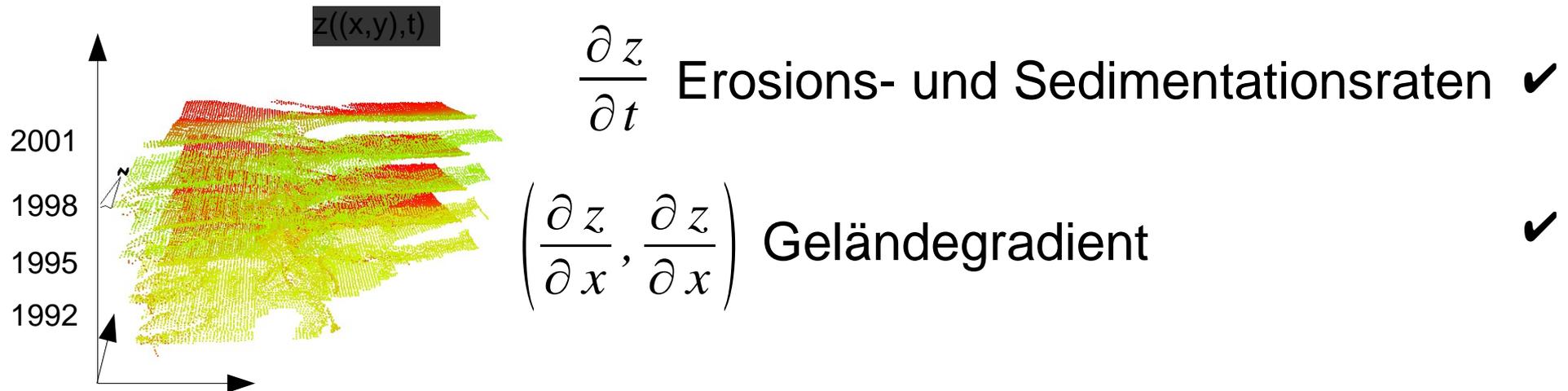
Geländemodelle in Raum und Zeit

- Klassisch: *Ein DGM nähert eine Geländeoberfläche durch eine begrenzte Menge von Stützstellen an.*
- in **Raum** und **Zeit**:
Ein Digitales Geländemodell wird aufgefasst als eine Menge von Basisdatensätzen und deren Metainformationen zuzüglich einer Interpretationsvorschrift für jeden der Basisdatensätze und deren zeitliche Einordnung.



Raum-Zeit-Bathymetrie

Wird das Digitale Geländemodell in Raum und Zeit als skalare Funktion z über dem 3-dimensionalen Raum $((x,y),t)$ aufgefasst, so lassen sich klassische Analysen durchführen:

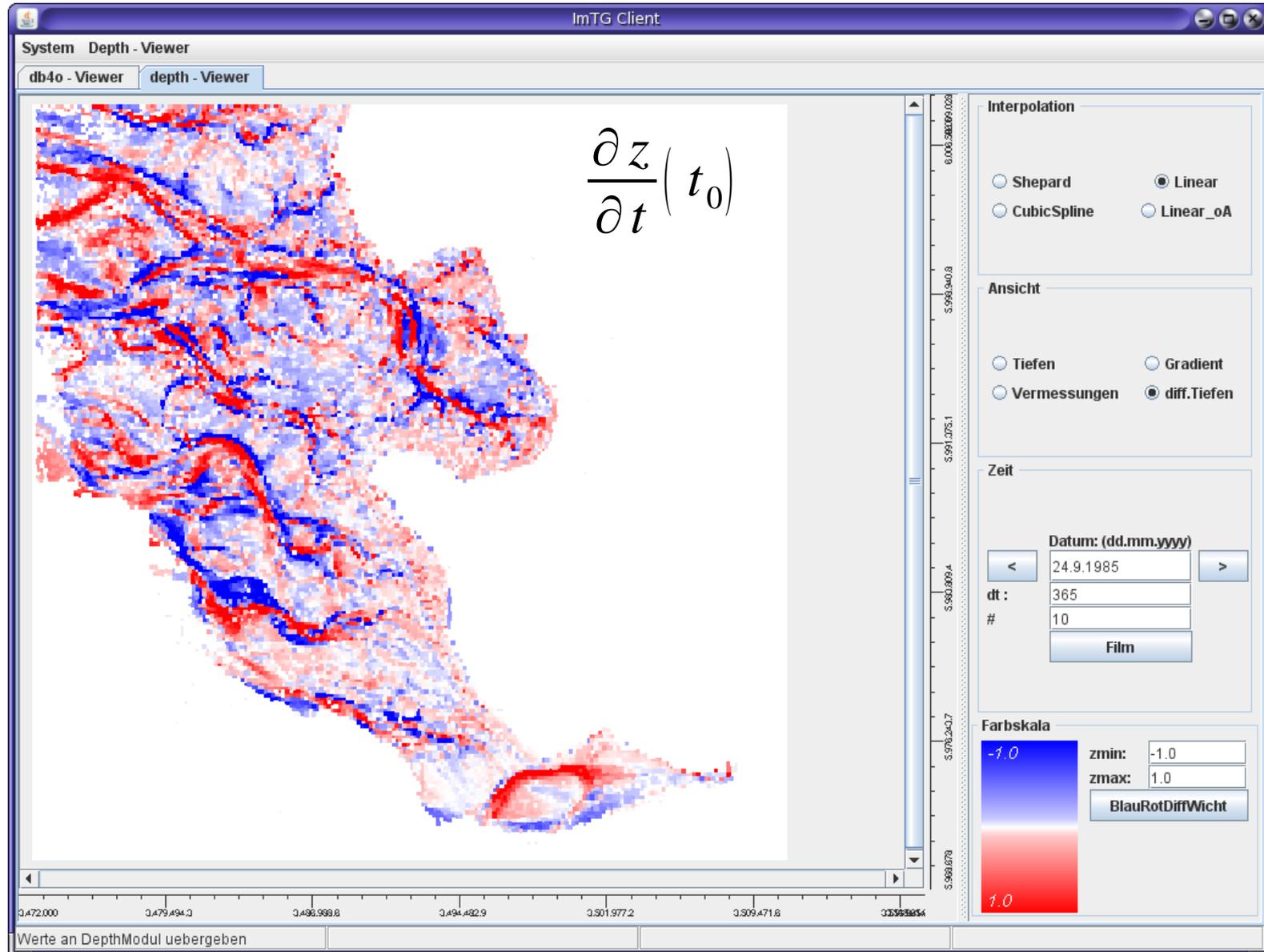


$$\frac{\partial z}{\partial t} \quad \text{Erosions- und Sedimentationsraten} \quad \checkmark$$

$$\left(\frac{\partial z}{\partial x}, \frac{\partial z}{\partial x} \right) \quad \text{Geländegradien} \quad \checkmark$$

$$\left(\frac{\partial x}{\partial t}, \frac{\partial y}{\partial t} \right) \quad \text{Geschwindigkeit des Wanderns von Bodenstrukturen ?} \\ \text{(morphologische Geschwindigkeiten)}$$

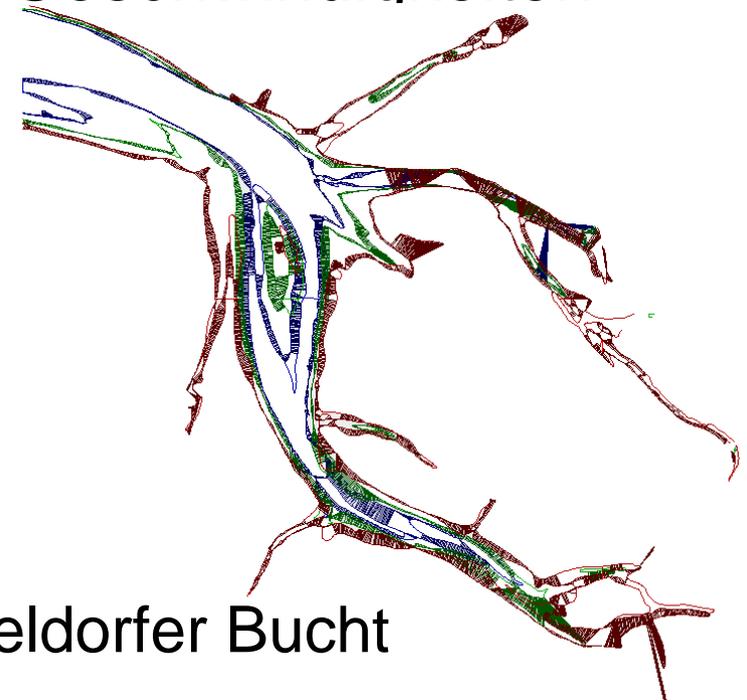
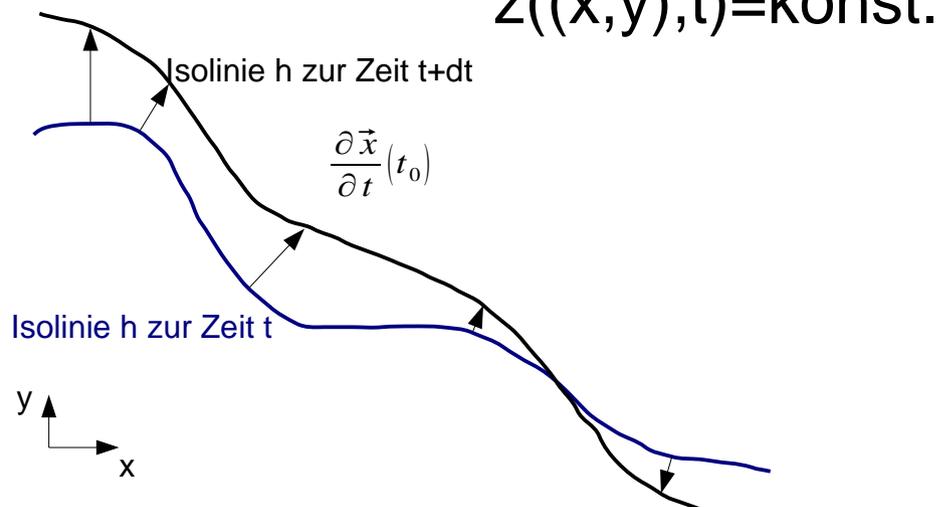
Erosions- und Sedimentationsraten



morphologische Stabilitätskarte

Morphologische Geschwindigkeit

- **Unter einer morphologischen Geschwindigkeit wird die Geschwindigkeit verstanden, mit denen sich morphologische Strukturen bewegen.**
 - das Wandern von Dünen
 - das Verschwenken von Rinnen
- **Bestimmung der morphologischen Geschwindigkeiten**
 - Verfolgen von Isolinien
 $z((x,y),t)=\text{konst.}$



Meldorfer Bucht



Morphologische Geschwindigkeit

- Der Satz über implizite Funktionen liefert ein Werkzeuge für eine generalisierte Bestimmung der morphologischen Geschwindigkeiten:
 - zeitvariante Tiefenverteilung $z((x, y), t): \mathbb{R}^2 \times \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$
 - Isolinie ist implizite Funktion $z((x, y), t) - konst = 0$
 - sind die örtlichen Ableitungen $\neq 0$ so existiert lokal die Funktionen $x(t)$ und $y(t)$ mit $z((x(t), y(t)), t) = konst$
 - zusätzlich können die zeitlichen Ableitungen von $x(t)$ und $y(t)$ berechnet werden

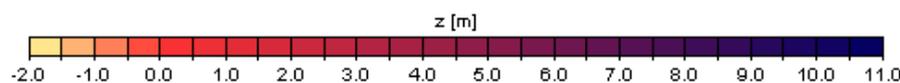
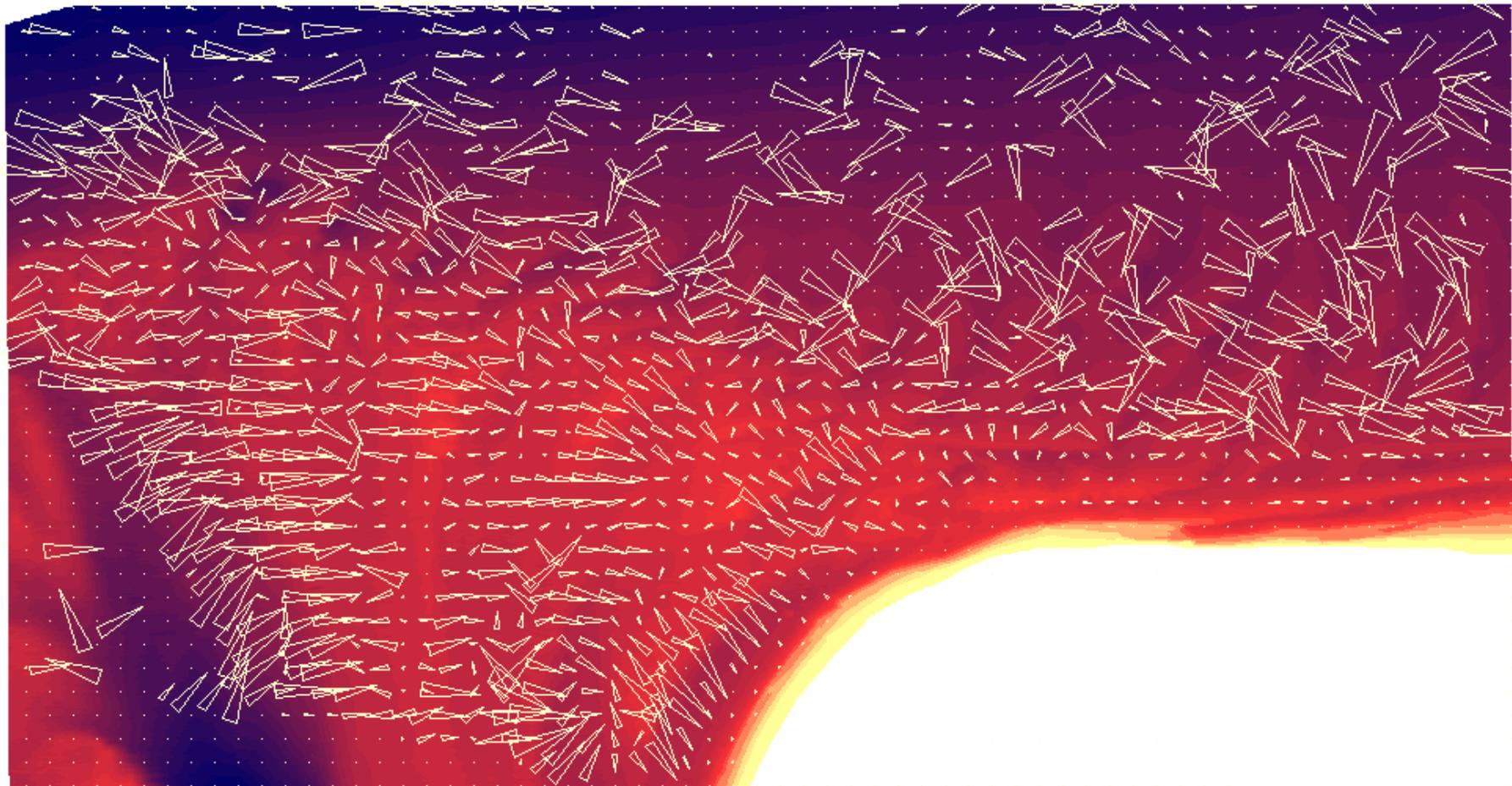
$$\frac{\partial x(t)}{\partial t} = - \left(\frac{\partial z}{\partial x} \right)^{-1} \cdot \frac{\partial z}{\partial t}$$

$$\frac{\partial y(t)}{\partial t} = - \left(\frac{\partial z}{\partial y} \right)^{-1} \cdot \frac{\partial z}{\partial t}$$

also die Geschwindigkeit mit der sich ein Isopunkt in der Zeit bewegt

Morphologische Geschwindigkeiten

Langeoog



Geschwindigkeit  500.0 [m/a]



Tiefenverteilung 2002

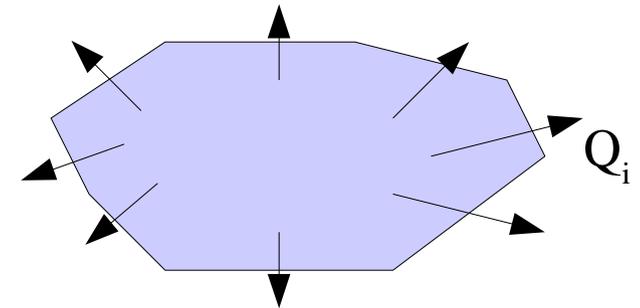
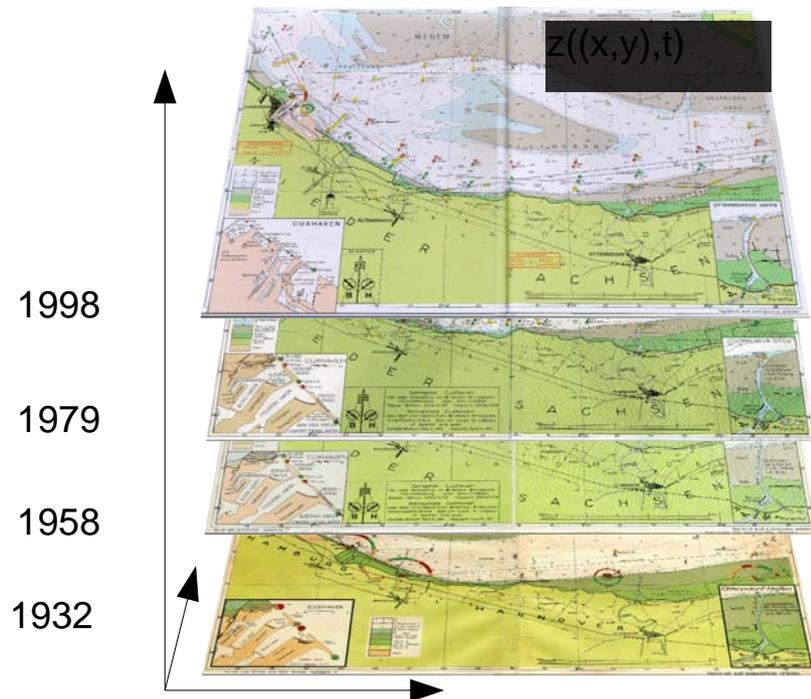
morphologische Geschwindigkeiten
[Beträge bis 800m/Jahr]



Morphologische Geschwindigkeiten

- auf der Basis der bathymetrischen Oberfläche bestimmt die Geschwindigkeiten mit denen sich *Isolinien* bewegen
- Berechnung auf der Basis der Oberfläche der Gradienten bestimmt die Geschwindigkeiten mit der sich *Bruchkanten* bewegen
- resultierende Transportrichtung des Sedimentes entsprechen in der Regel nicht den morphologische Geschwindigkeiten

resultierende Sediment-Transporte



$$\frac{\partial z}{\partial t} = \frac{\sum Q_{ein} - Q_{aus}}{A}$$

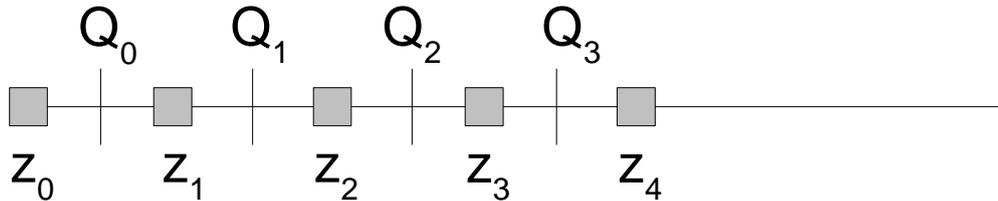
Die Entwicklung des Meeresboden unterliegt einer Kontinuitätsgleichung - sowohl in einem kurzfristigen als auch in einem langfristigen Sinne.

resultierende Transportraten

1-dimensional / Flußmorphodynamik

Umkehrung der Finiten Volumen Methode

Anzahl der Freiheitsgrade Q_i entspricht den Änderungsraten dz



$$\Delta z_i = \frac{\Delta t}{\Delta x} (Q_{i-1} - Q_i)$$

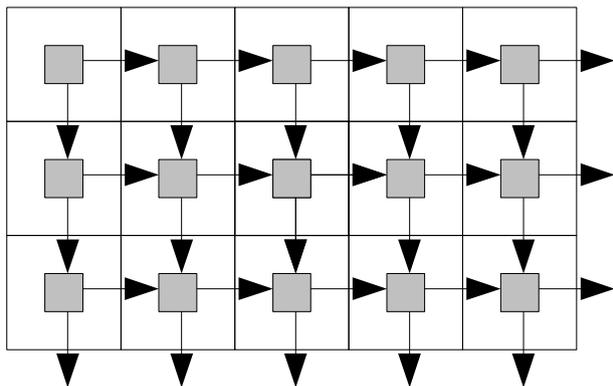
Es gibt nur eine ausgezeichnete Richtung.

resultierende Transportraten

2-dimensional / Küsten- und Ästuarmorphodynamik

Umkehrung der Finiten Volumen Methode

Anzahl der Freiheitsgrade $Q_{i,x/y}$ ist doppelt so groß wie die der Änderungsraten dz

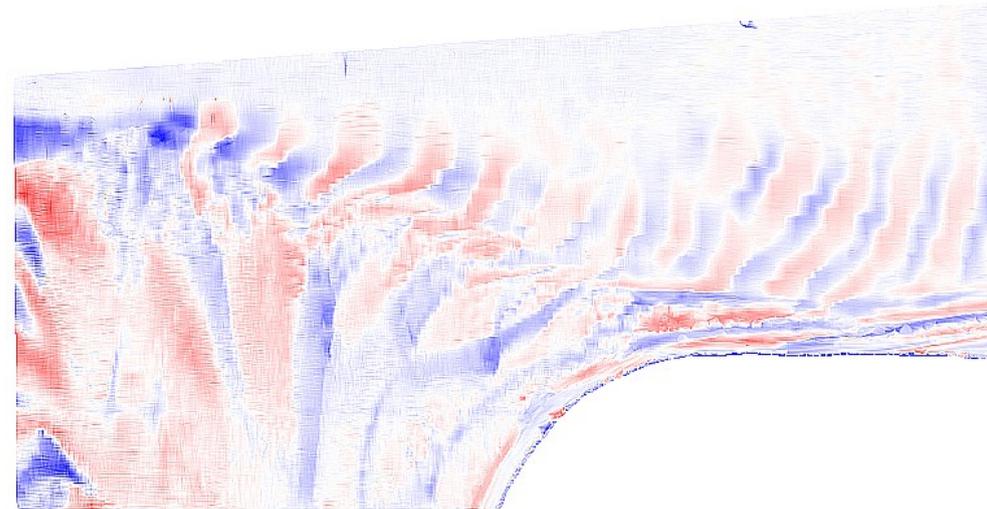
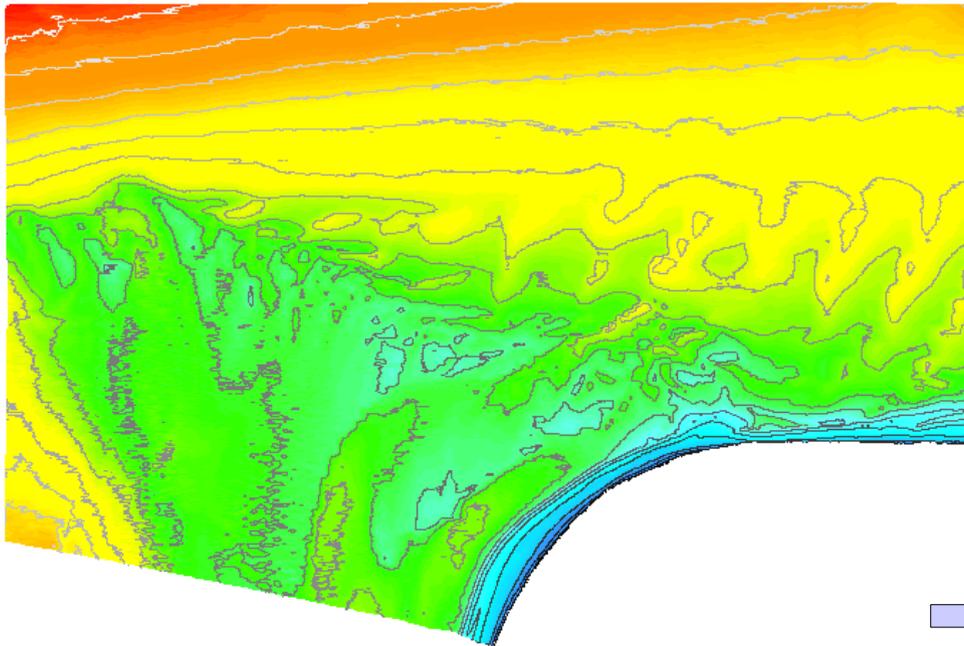


$$\frac{A}{\Delta t} \Delta z_{i,j} = Q_{i,j}^x - Q_{i+1,j}^x + Q_{i,j}^y - Q_{i,j+1}^y$$

Iterative Bestimmung Lösung des Inversen Problems

Tiefenänderungen

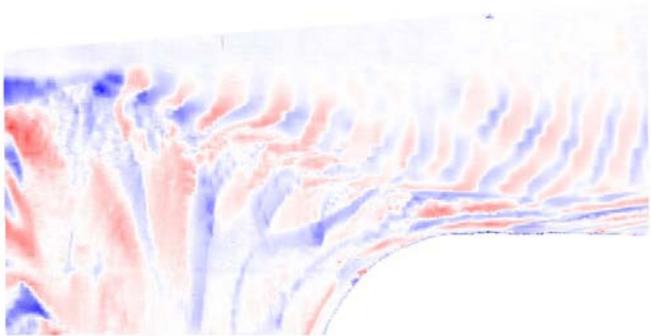
Langeoog - Zeitraum von 2002 bis 2003



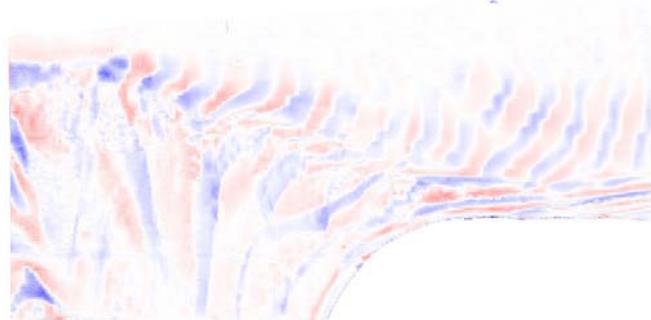
gemessene Tiefenänderungen
[-5m,5m]

resultierende Transportraten

Langeoog - Zeitraum von 2002 bis 2003

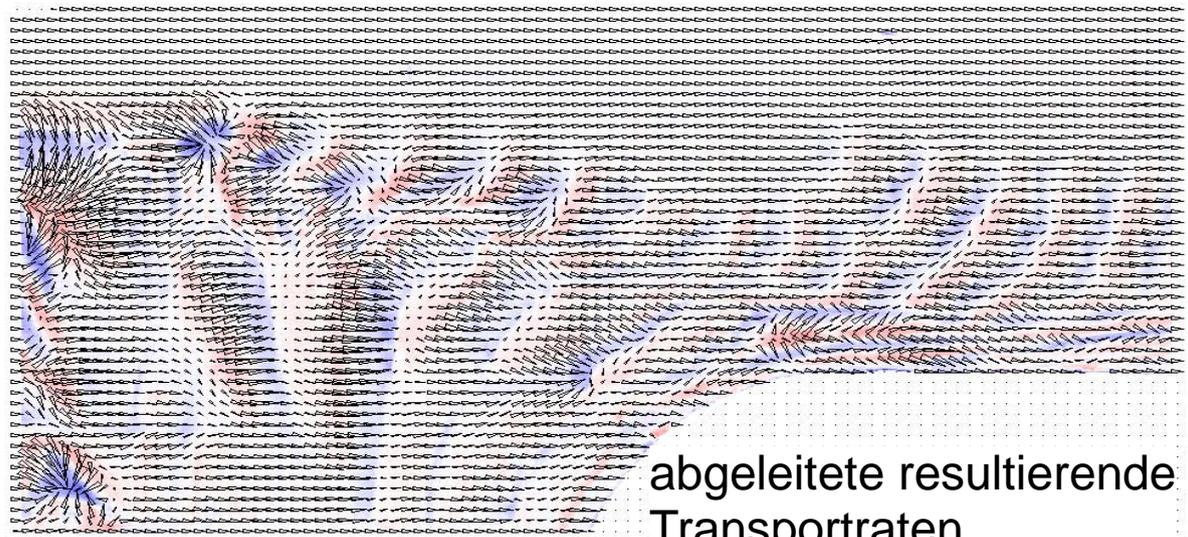


gemessene Tiefenänderungen
[-5m,5m]



abgeleitete Tiefenänderungen
[-5m,5m]

→ inverses FVM ↘

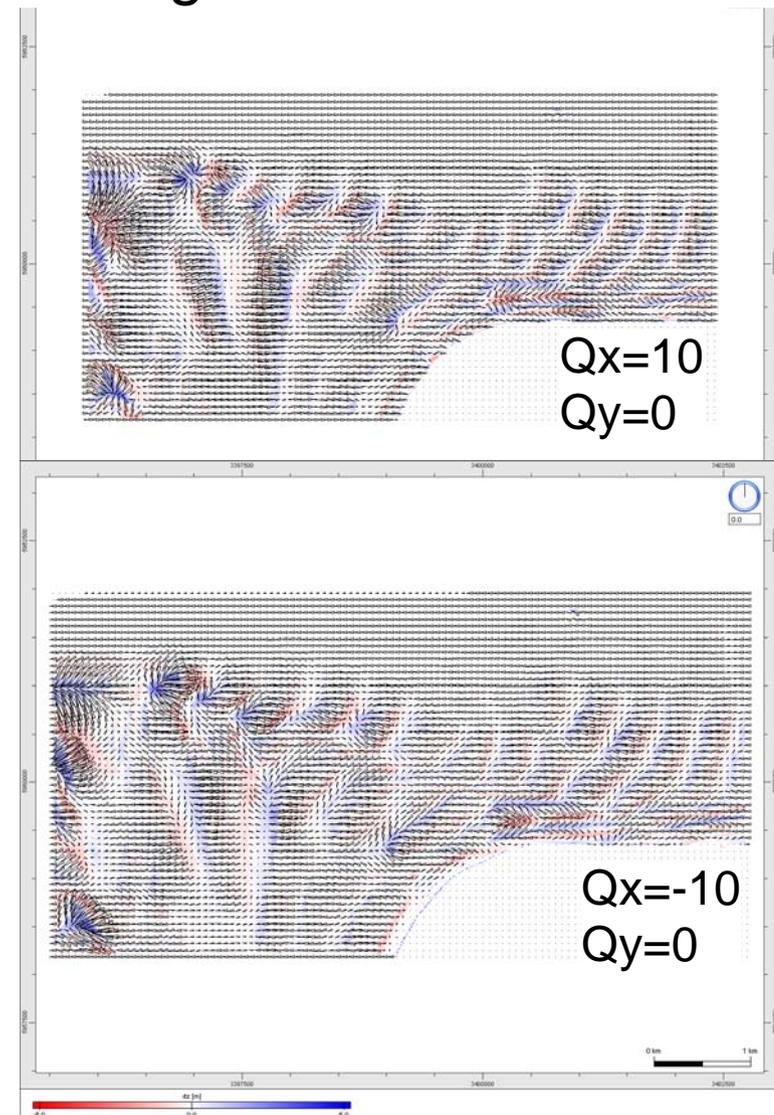
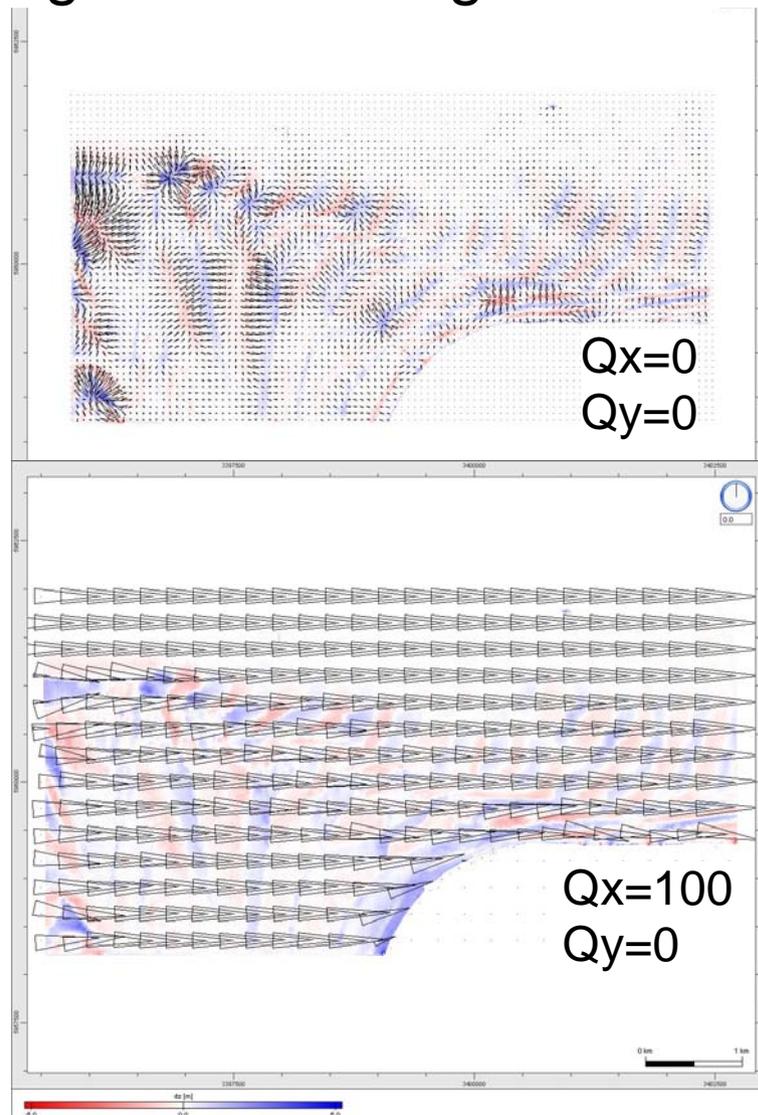


abgeleitete resultierende
Transportraten

← FVM ↙

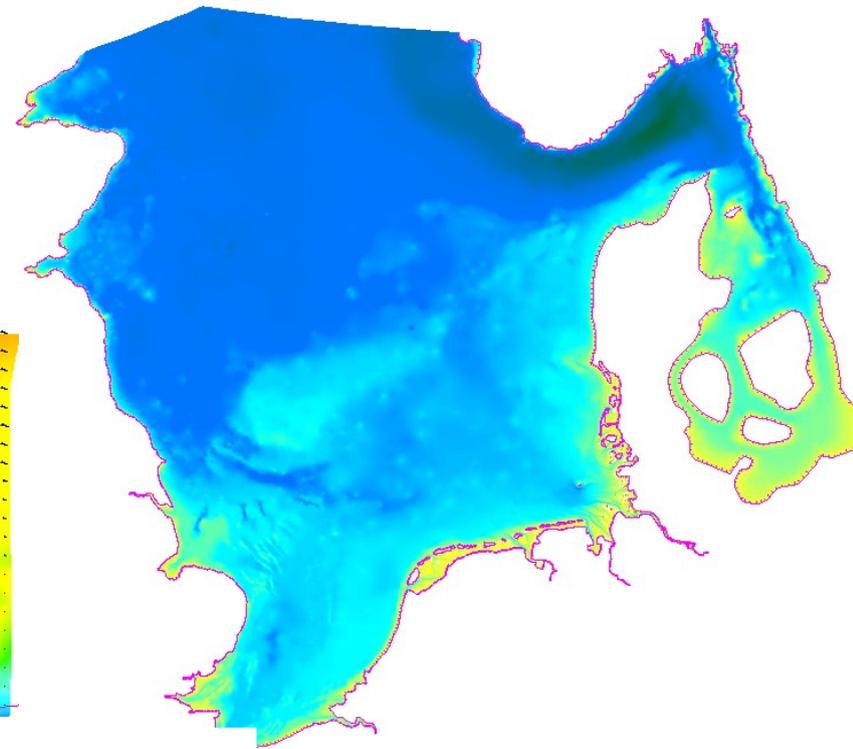
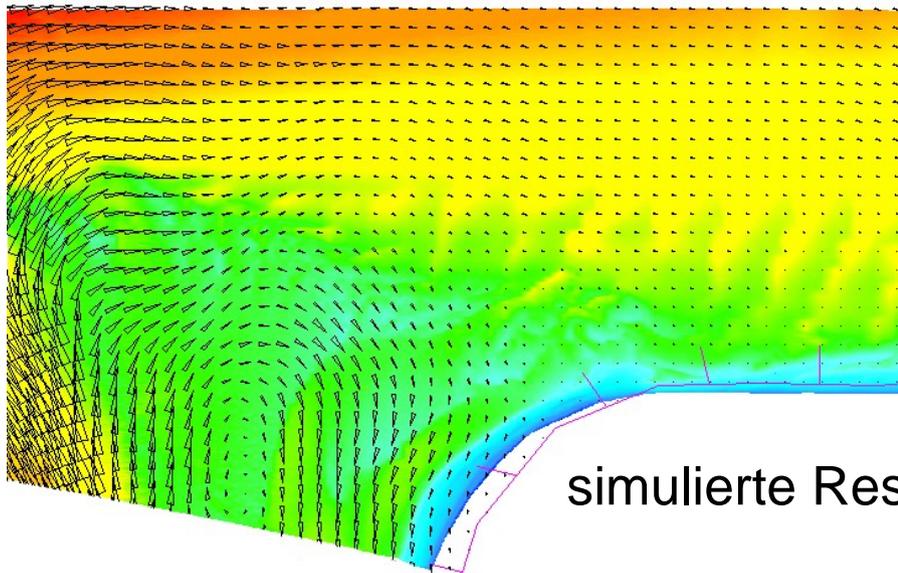
resultierende Transportraten

Die resultierenden Transportraten sind nur bis auf eine zugrunde liegenden Hintergrundtransport eindeutig.



Ausblick

- großräumige Resttransporte
- größere Modellgebiete – geschlossen
- prozessbasierte morphodynamische Modelle
- Kornverteilung
- Holistische daten- und prozess-
basierter Modellierung



simulierte Resttransportraten

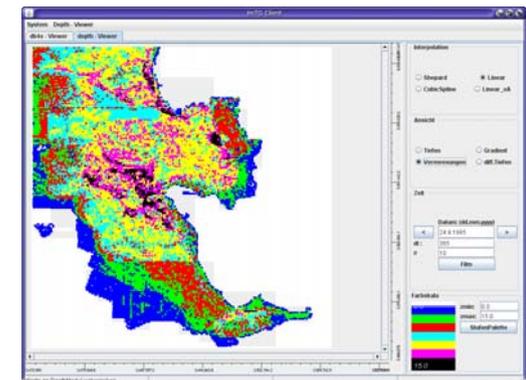
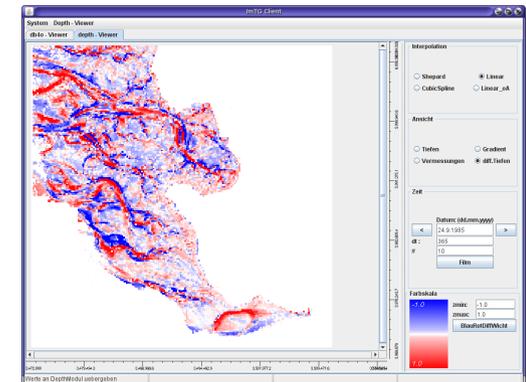
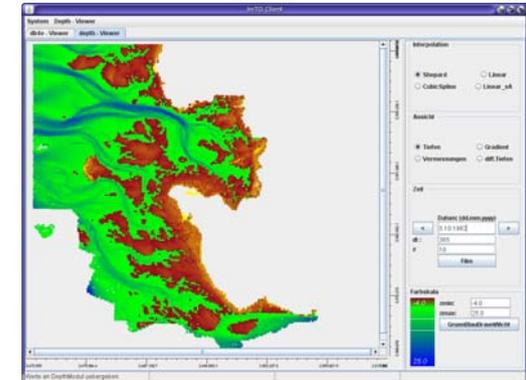


Bearbeitungsschwerpunkte

- Zusammentragen und Verifikation der Projektdaten
- teilautomatisierten Aufbereitung der Metadaten
- Aufbau der Bathymetrie-Datenbank
- Entwurf und der Implementierung unterschiedlicher Sichten
- Weiterentwicklung der Raum-Zeit-Interpolation
- Bathymetriesimulation
 - quasikonsistente Bathymetrien
 - morphologische Aktivitätskarten
- Entwicklung von Methoden zum Ableiten morphologischer Geschwindigkeiten

Ausblick

- Berücksichtigung räumlicher und zeitlicher Unstetigkeiten
 - z.B. anthropogener Eingriffe.
- Verifikation der entwickelten Methoden
- durchgängiges Prozessing der Metadaten
 - Konfidenzregionen
 - Genauigkeiten
 - Zeitstempel
- Qualitätsgesichertes Prozessing der Vermessungsdaten
 - Strukturserhaltung





Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Peter Milbradt
Institut für Bauinformatik
Leibniz Universität Hannover