

Vortrag am
Arbeitsbereich Wasserbau der Technischen Universität Hamburg-Harburg
14. April 2004

Forschungsansätze zur Simulation des Transports kohäsiver Sedimente in Ästuaren

Jens Wyrwa

Übersicht

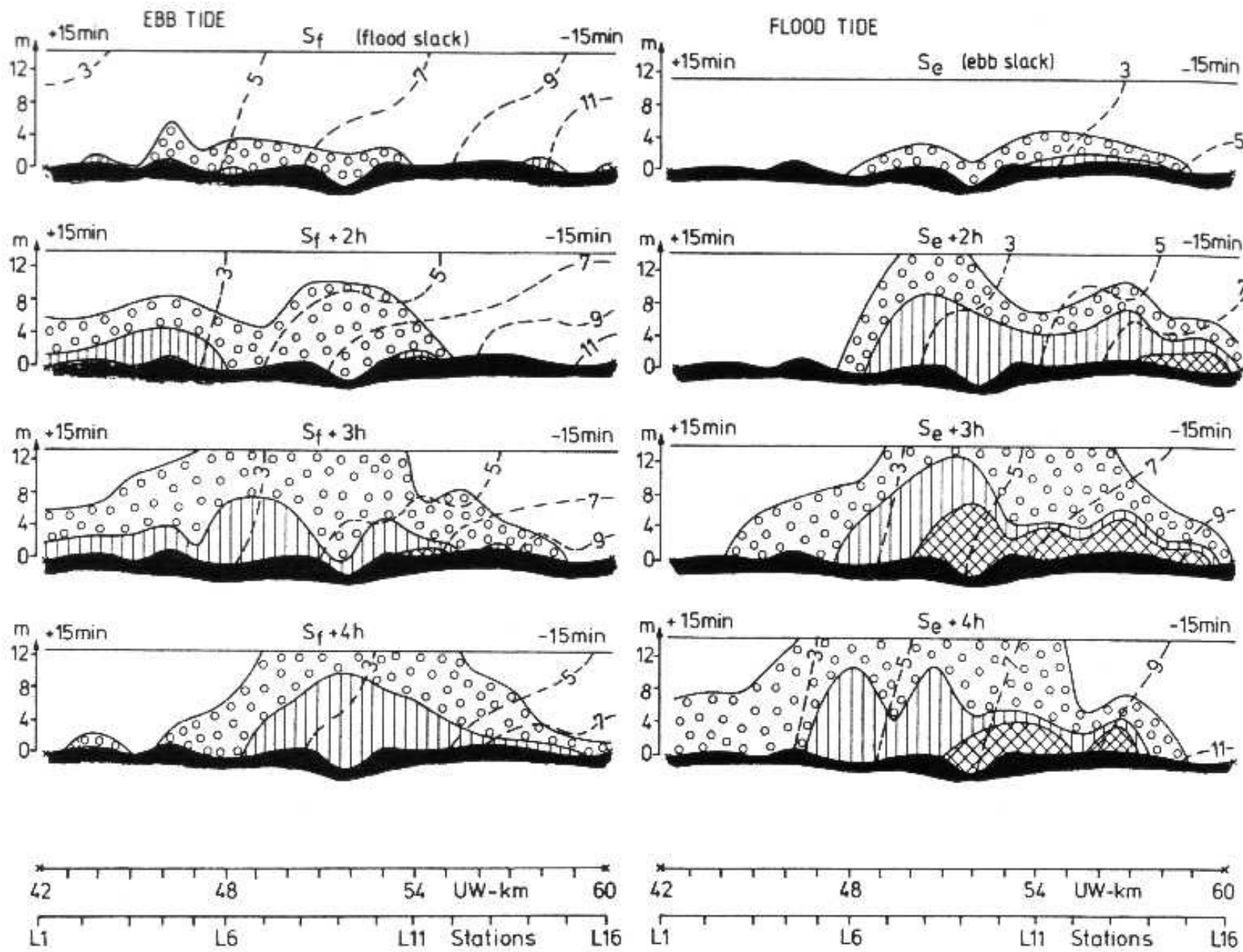
Ausgangspunkte

- Trübungszone und Verschlickung
- Turbulenzdämpfung infolge stabiler Dichteschichtung
- Interaktion mehrerer empirischer Modelle
- Genauigkeitsabschätzung einer Erosions-Simulation





Fragestellungen und Lösungsansätze

- Massenaustausch in horizontalen Scherschichten
- Deposition zwischen Turbulenzkollaps und intermittierender Turbulenz
- Fluid Mud Flow - Modellierung von Dichtesprüngen

Schlussfolgerungen



suspended matter concentration in kg m^{-3}

 <0.1	 0.2-0.4
 0.1-0.2	 0.4-0.8

salinity
--3--

Trübungszone der Weser

In-Situ-Messungen nach RIETHMÜLLER 1988

Ursachen für die Entstehung von Trübungszonen

Residueller Zirkulation

Dichteströmung: Seewasser läuft unter Süßwasser
-> Simulation dichtegetriebener Strömungen

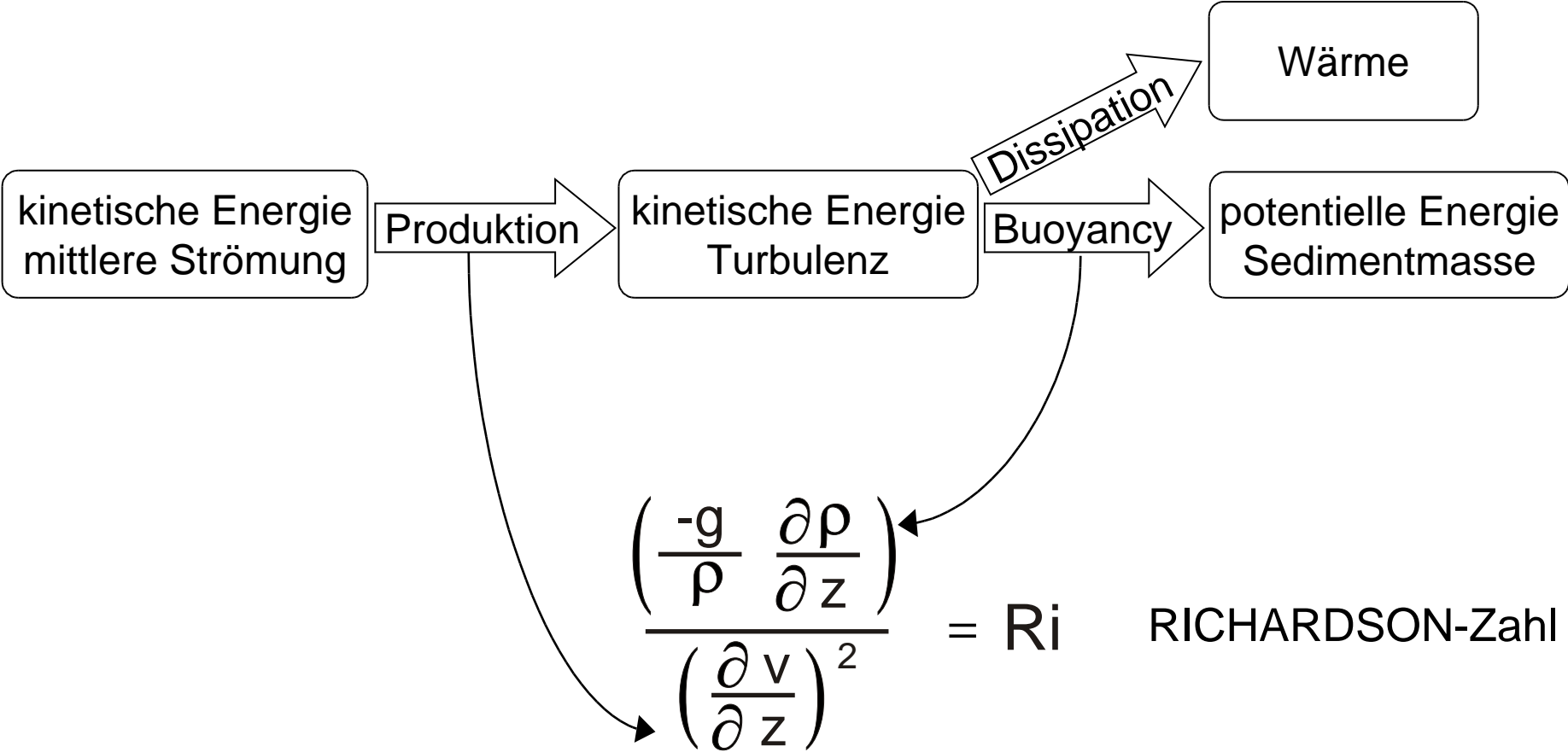
Asymmetrie der Tideströmung

Tideströmung: Tidewelle „kippt über“
d. h. Flutstrom schneller als Ebbstrom
-> Simulation von Oberflächenwellen und Reibung

Asymmetrie der Vermischung

Ebbströmung stabiler geschichtet als Flutströmung
(nach Burchard et al. 1998)
-> Simulation dichtegeschichteter Strömungen

Turbulenzdämpfung durch Dichteschichtung



Veranlassung für Simulation



Kutterhafen Fedderwardsiel

- Verschlickung bedroht Nutzung
- Ziel der Simulation:
reduzierte Unterhaltungskosten
Eingriffsfolgenabschätzung
- Genauigkeit der Simulation z. Z.
unklar und
vermutlich nicht ausreichend

Messbarkeit der Transportrate

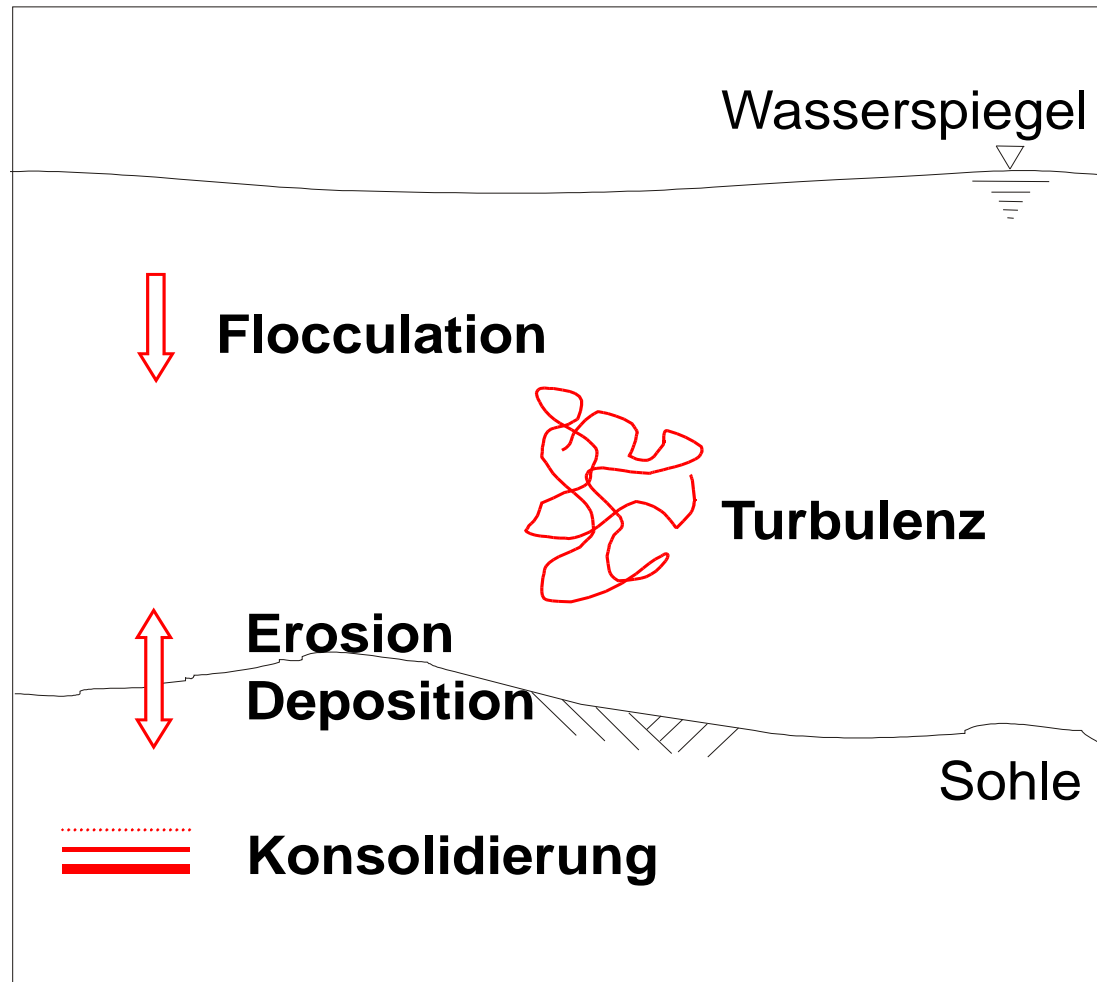
Konzentrationsdifferenz zwischen Ebbe und Flut,
die benötigt wird, um **1 Mio m³ Schlick** pro Jahr ins
Weser-Ästuar von See her hineinzutragen: 2.6 g/m³

Schwebstoffkonzentrationen in der Trübungszone: 100 ... 800 g/m³

Messgenauigkeit optischer Trübungssensoren: 12 %

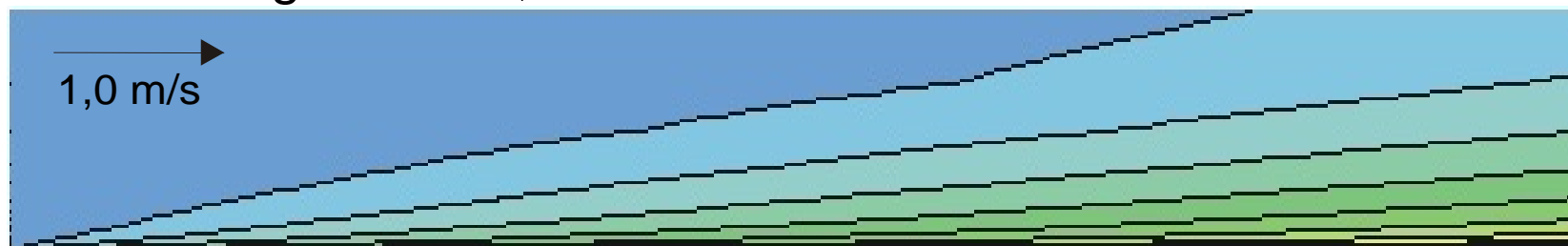
D. h.: Die Genauigkeit von Konzentrationsmessungen reicht nicht aus,
um integrale Stoffströme zu messen.

Zusammenwirken von vier empirischen Modellen



Genauigkeitsabschätzung einer Erosions-Simulation

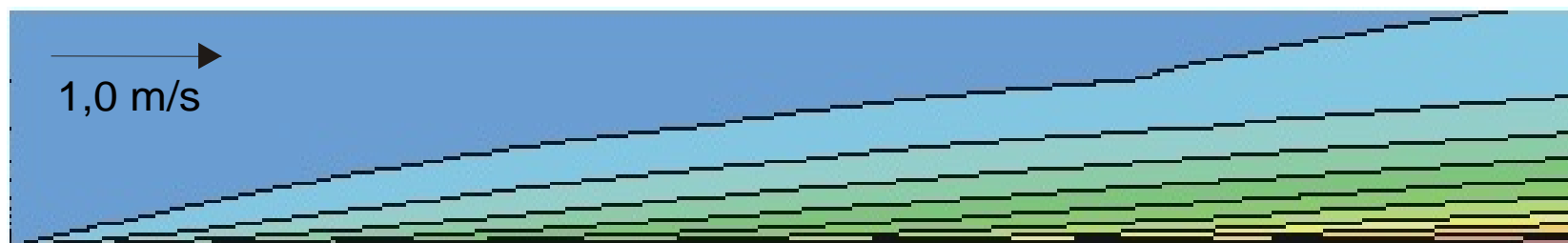
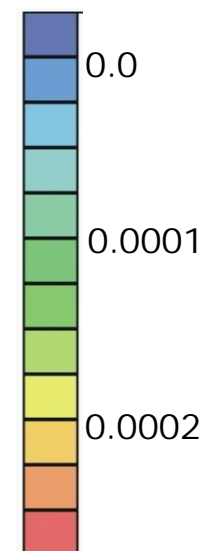
Längsschnitt durch die Konzentrationsverteilung
 Rechteckrinne, 2000 m lang, 10 m Wassertiefe
 Berechnung mit casu, WYRWA 2003



Standard k- ϵ

$$\tau_b = 1.35 \frac{N}{m^2}$$

Konzentration
 Volumenanteil



Standard k- ϵ
 mit GALPERIN
 Stabilitäts-Funktion

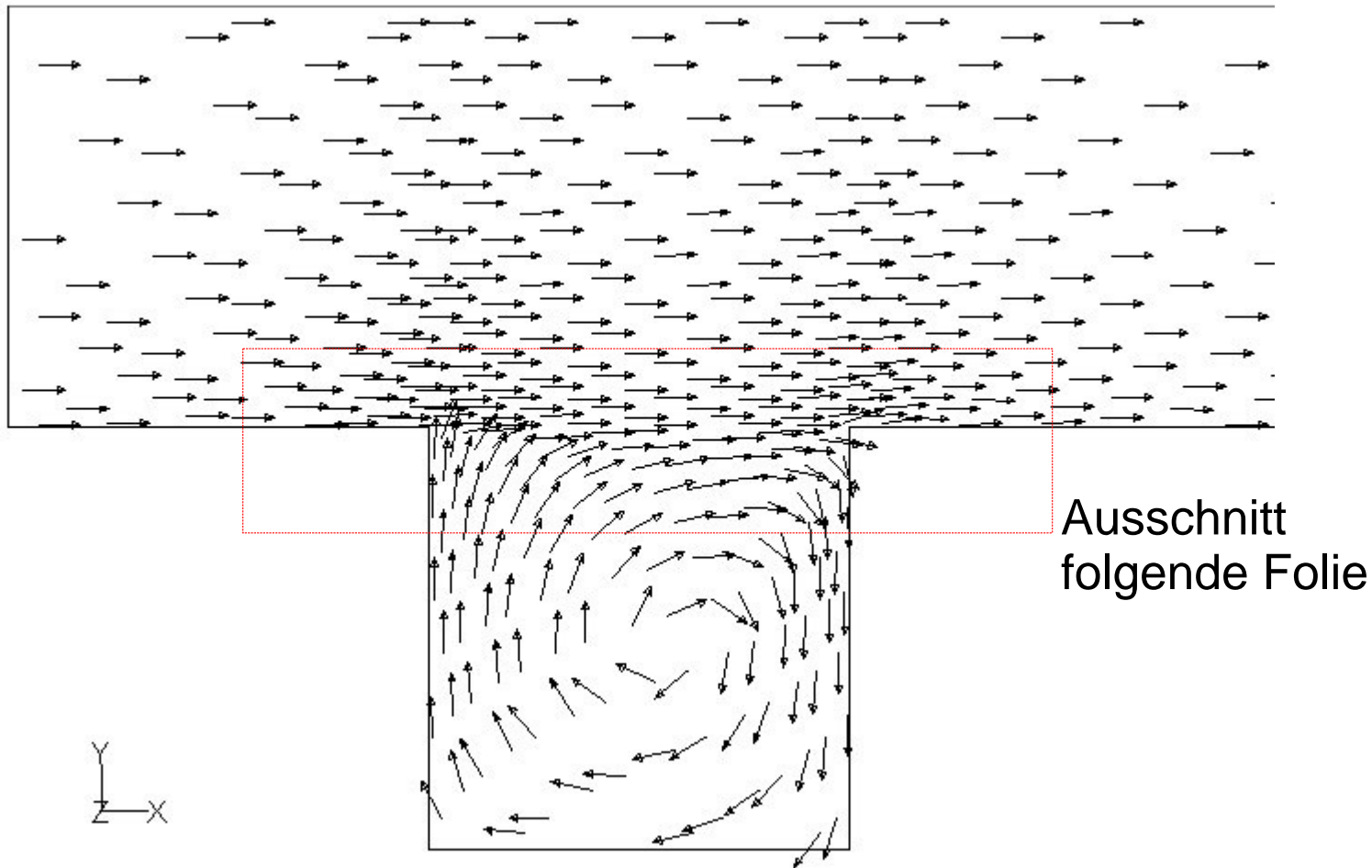
↑
 Massenstrom
 über den unteren
 Gebietsrand
 $0,96 \frac{g}{s m^2}$

$$\tau_b = 1.17 \frac{N}{m^2}$$

Sohlschubspannung
 am Ende der Rinne

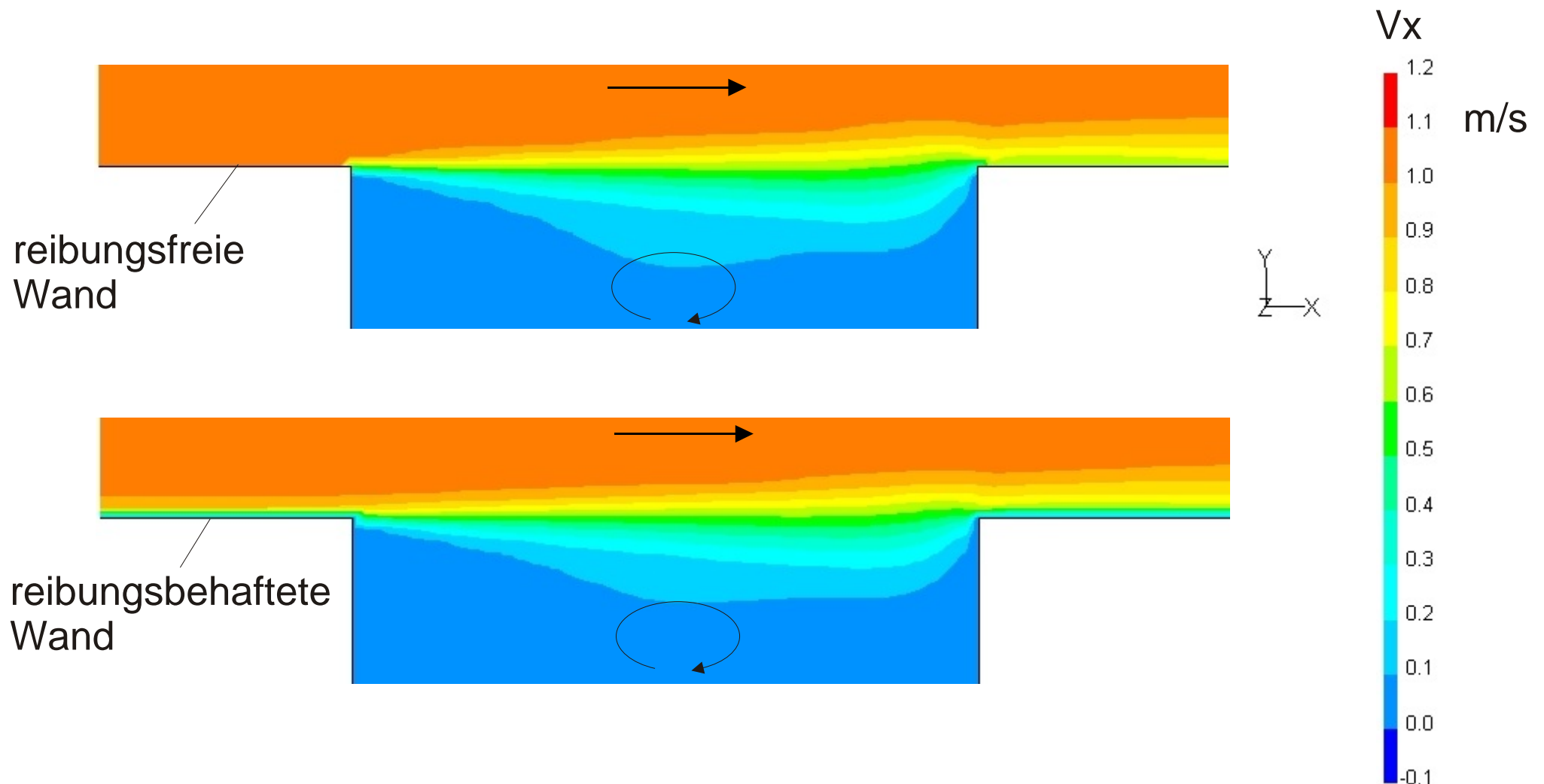


Freie ebene Scherschicht



Horizontaler Schnitt durch eine "freie" ebene Scherschicht
Fließrichtungen in schematischem Quadrathafen
Berechnungen mit FLUENT, WYRWA 2004

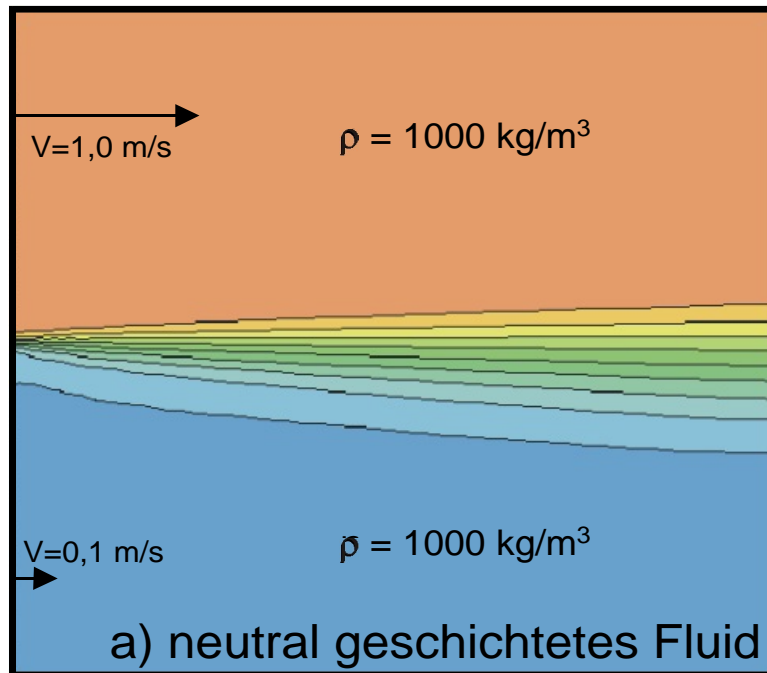
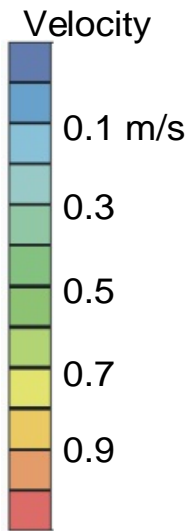
Geschwindigkeitsverteilungen in der Scherschicht



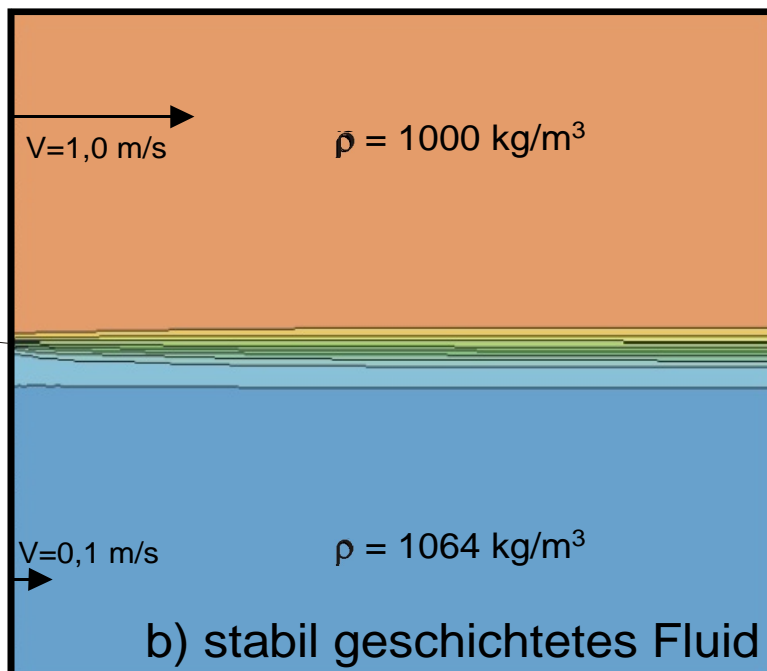
Unterschiedliche Randbedingungen am oberstromigen Ufer führen zu unterschiedlichen Scherschichtbreiten
Berechnungen mit FLUENT, Standard k- ϵ Turbulenzmodell
WYRWA 2004

Freie ebene Scherschicht

Vertikaler Schnitt durch ebene Scherschichten zwischen Strömen mit a) gleicher und b) ungleicher Dichte. Berechnungen mit casu Standard k- ϵ Turbulenzmodell WYRWA 2003



Zufluss
 $Ri=0,2$

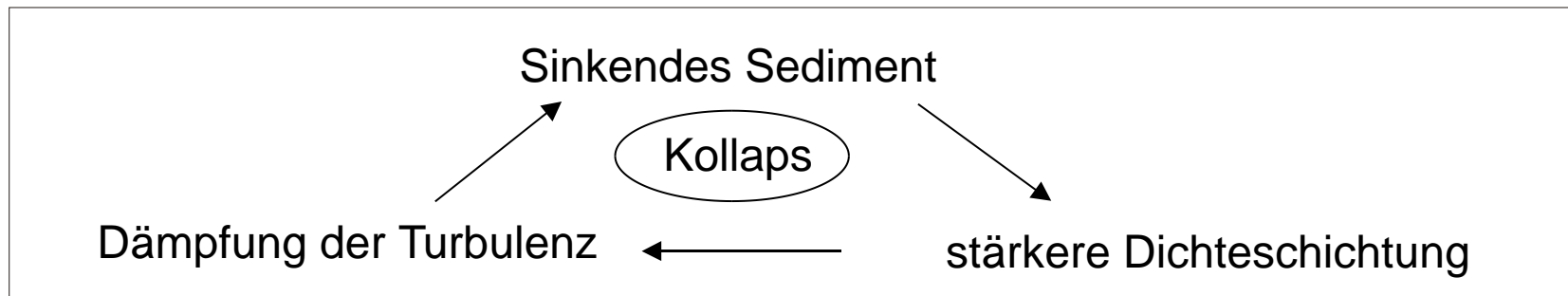
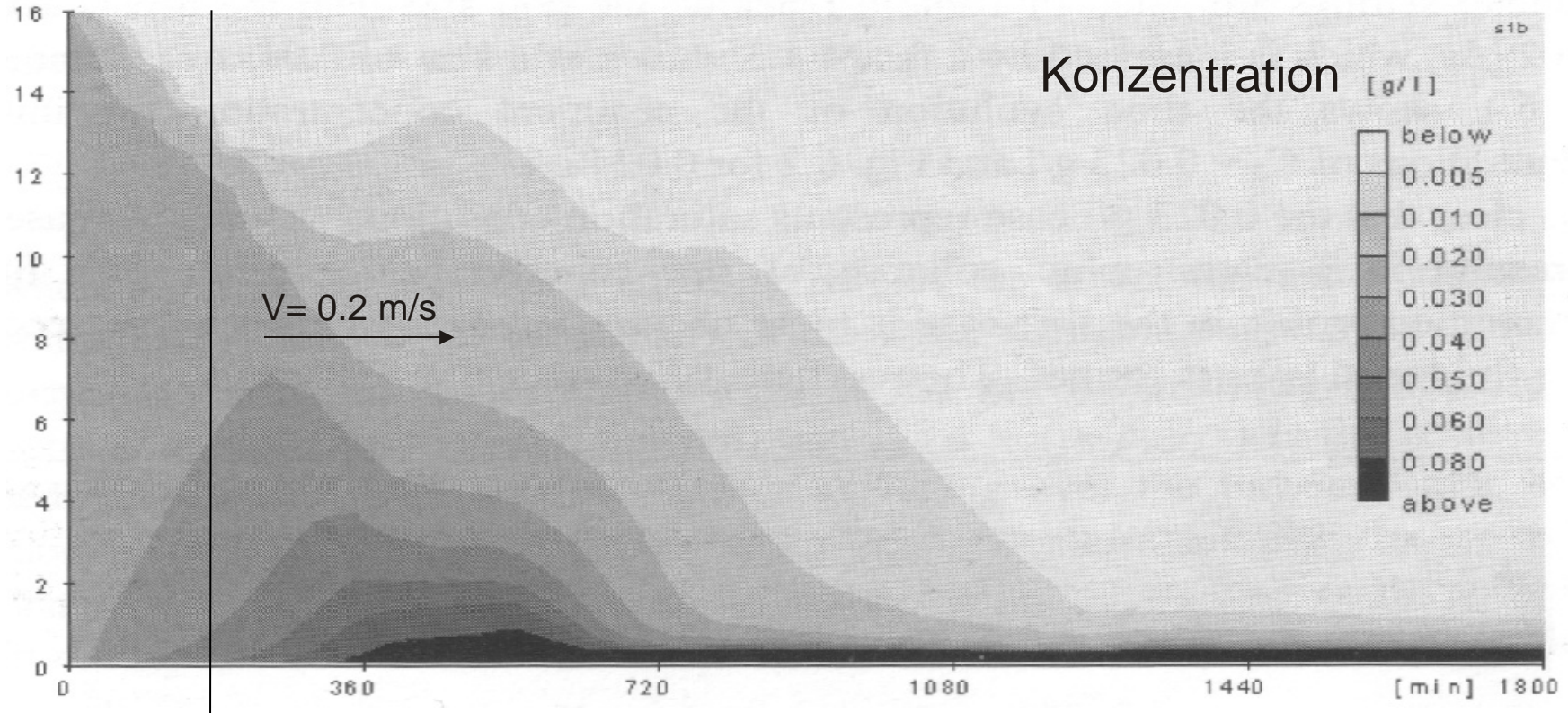


Abfluss
 $Ri=0,45$

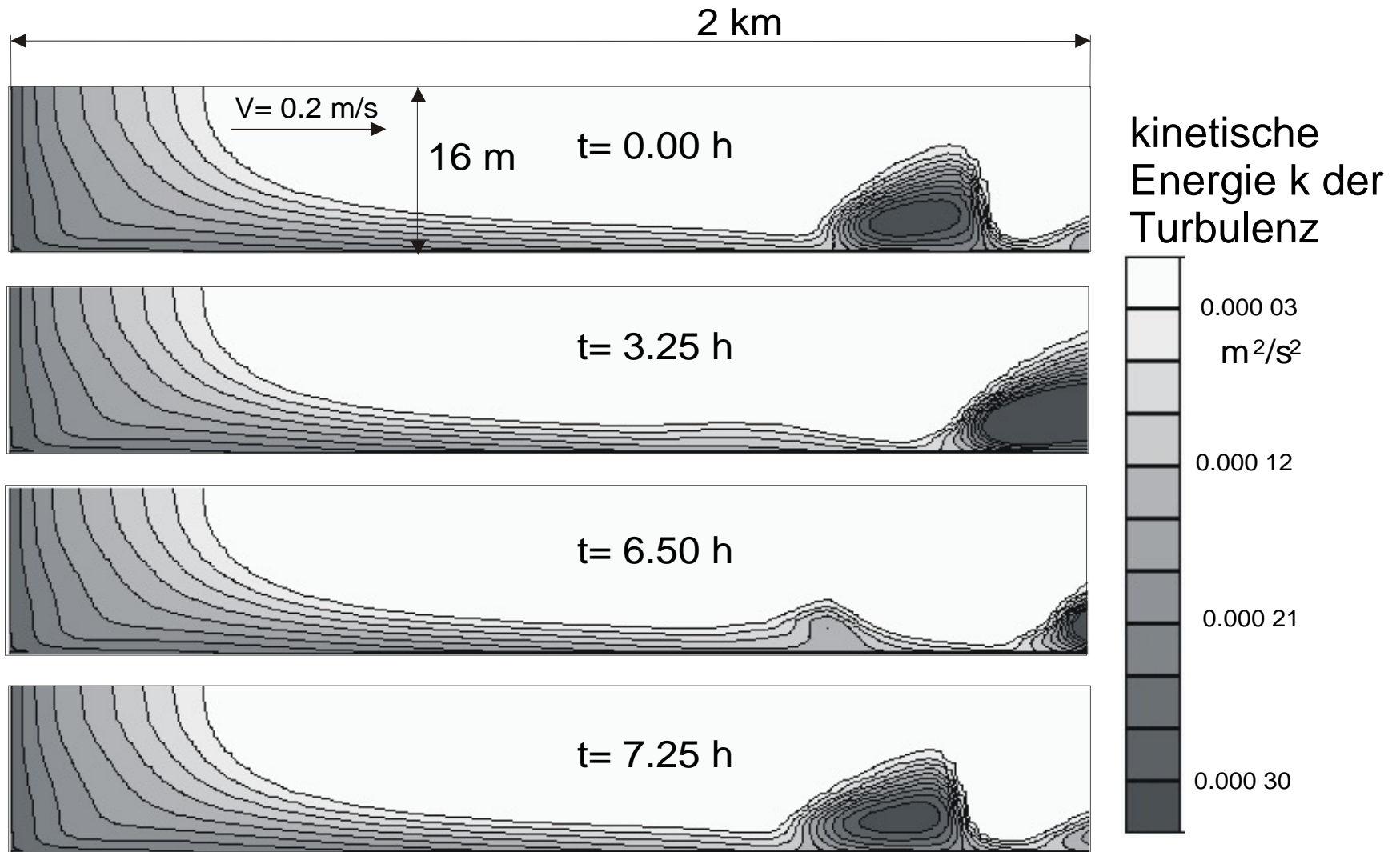
Experimente von
CHU et al. 1984
 $Ri = 0,30 \dots 0,47$

Turbulenzkollaps

[m] Berechnung von WINTERWERP 1999 mit seinem 1DV-Modell



Deposition



Längsschnitt durch die Verteilung der kinetischen Energie der Turbulenz
Randbedingungen wie bei WINTERWERP 1999
Berechnung mit casu, WYRWA 2003

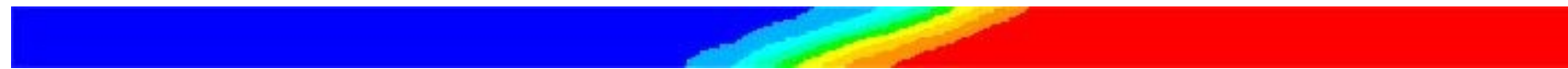
Fluid Mud Flow

leicht

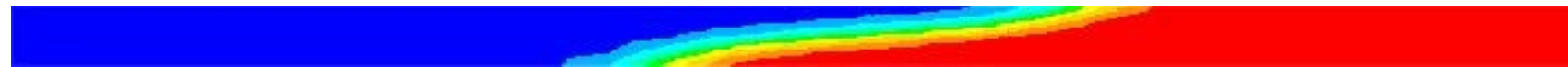
schwer



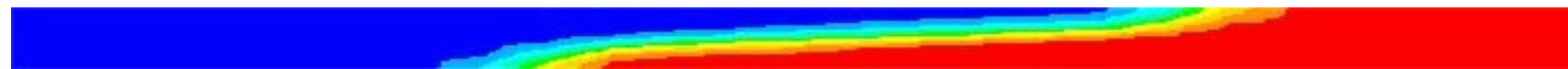
000 s



060 s



120 s



180 s

Dichte

1024.000
kg/m³

1022.000

1020.000

1018.000

1016.000

1014.000

1012.000

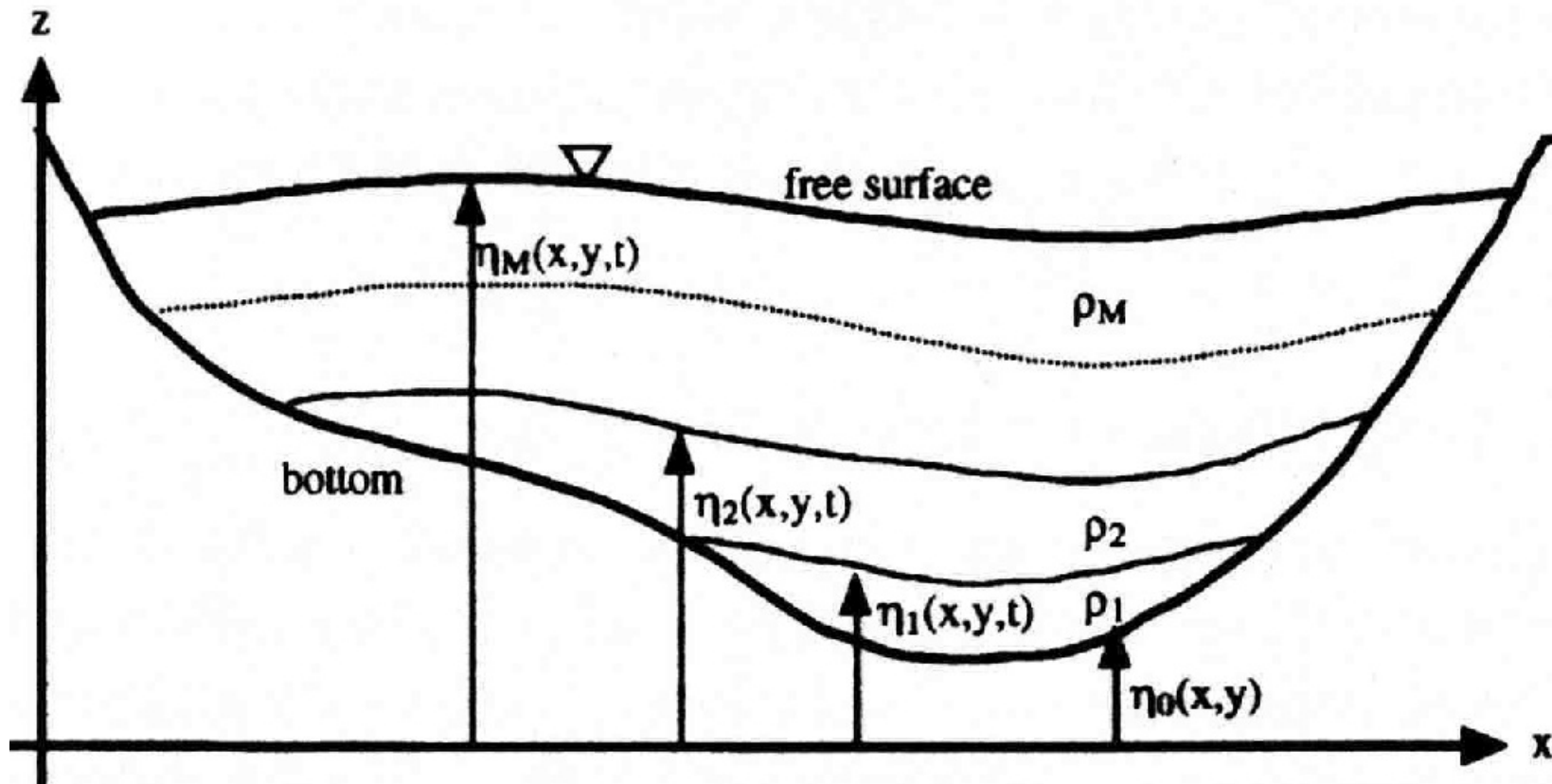
1010.000

1008.000

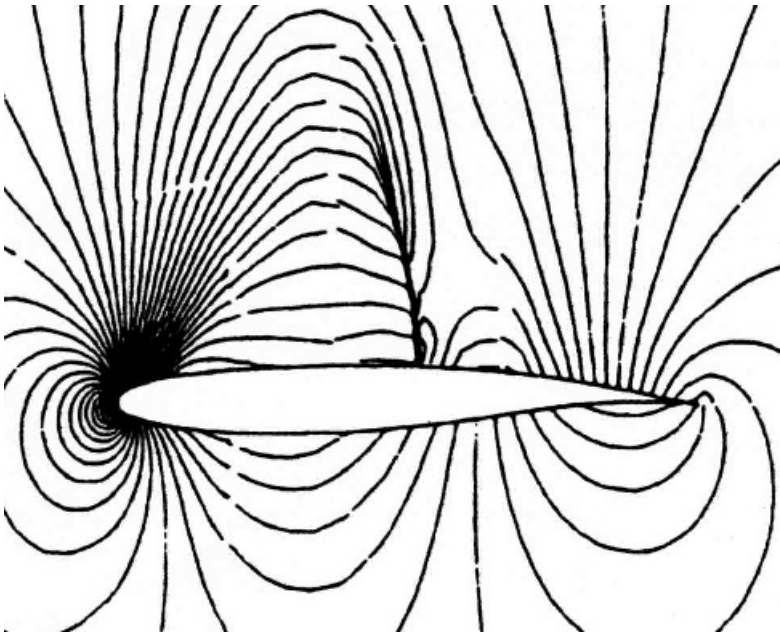
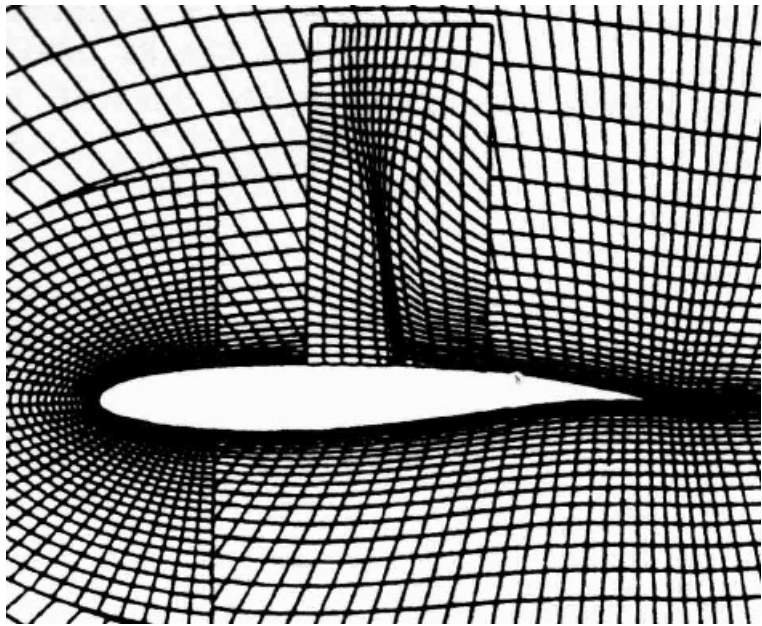
1006.000

Dichtegetriebene Strömung, moderater Dichtegradient
Berechnung mit FLUENT, WYRWA 2004

Interne Grenzflächenwellen

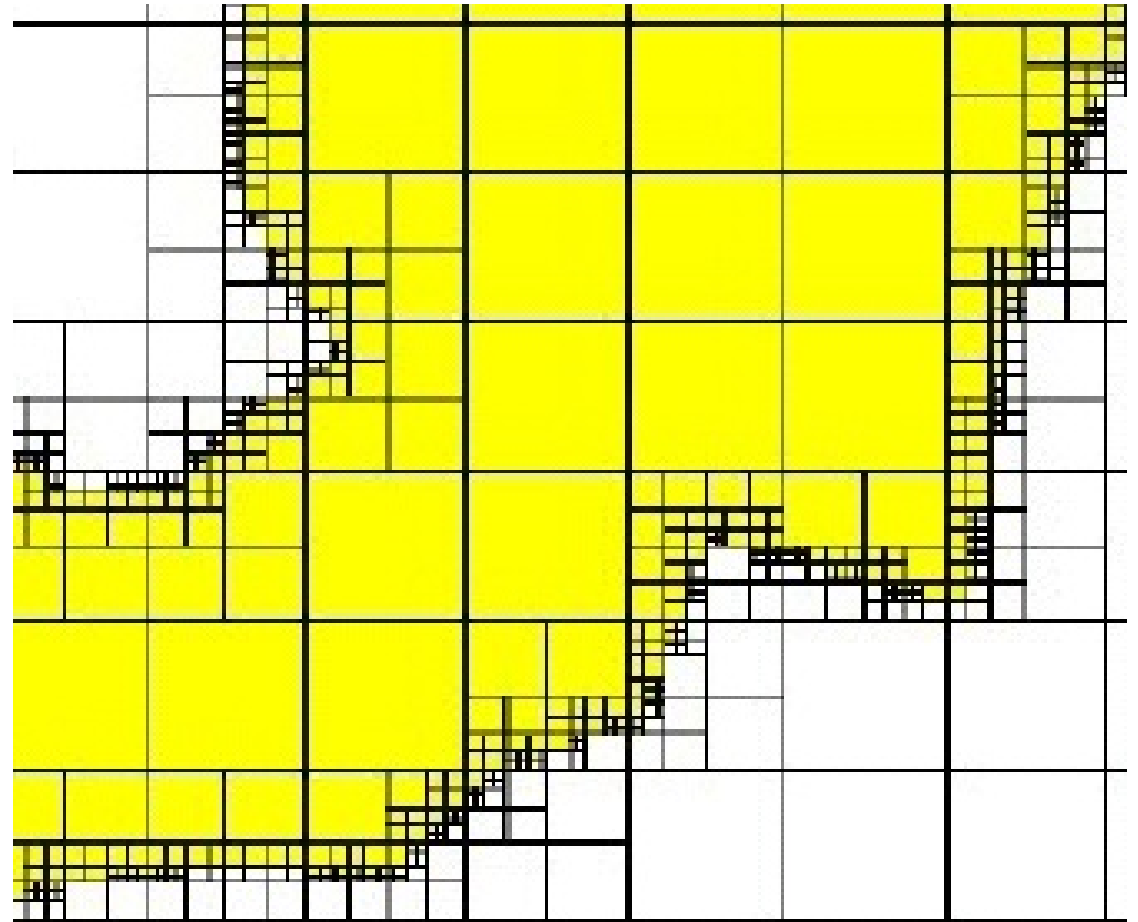


Vorschlag von CASULLI 1997 zur Modellierung von Dichtesprüngen analog zur Darstellung der Gewässeroberfläche



Adaptives Netz
nach MATSUNO et al. 1998

Adaptive Netze



Quadtree Netzverfeinerung
von GELLER 2003
zur Uferabbildung

Schlussfolgerungen I

3D-Strömungssimulation mit 2-Gleichungs-Turbulenzmodellen auch im Wasserbau verfügbar.

casu

- open-source (<http://www.wyrwa.de>)
- 3D-hydrostatisch
- Oberflächenwellen: ohne numerische Diffusion
- Watalgorithmus: schnell, massenerhaltend und stabil

FLUENT

- kommerziell
- voll 3D
- VOF-Methode zur Oberflächenabbildung
- Herkunft Maschinenbau, kaum Anwendungen im Wasserbau

Aufgabe der Wissenschaft:

Genauigkeit der Simulation ermitteln; Einsatzmöglichkeiten herausarbeiten

Schlussfolgerungen II

Freie Scherschichten

- Besonderheiten bzgl. Sohlreibung, Zuströmbedingungen und Dichteschichtung
- In-Situ-Messungen zur Validierung
- Auswertung DNS
- Experimentelles Verständnis

Deposition und Turbulenzkollaps

- Relevanz für den Transportvorgang in der Natur
- Dimensionsanalyse
- Sensitivitätsuntersuchungen
- Grenzschichtmeteorologie
- in Situ Beobachtungen
- experimentelle Nachbildung

Fluid Mud Flow

- Modellierung starker Gradienten
- Anwendung adaptiver Netze
- Eignung vorhandener Verfahren für Fluid Mud
- Beobachtung von Fluid Mud im Ästuar

Wissensdefizite

Lösungsansätze

offene Fragestellungen