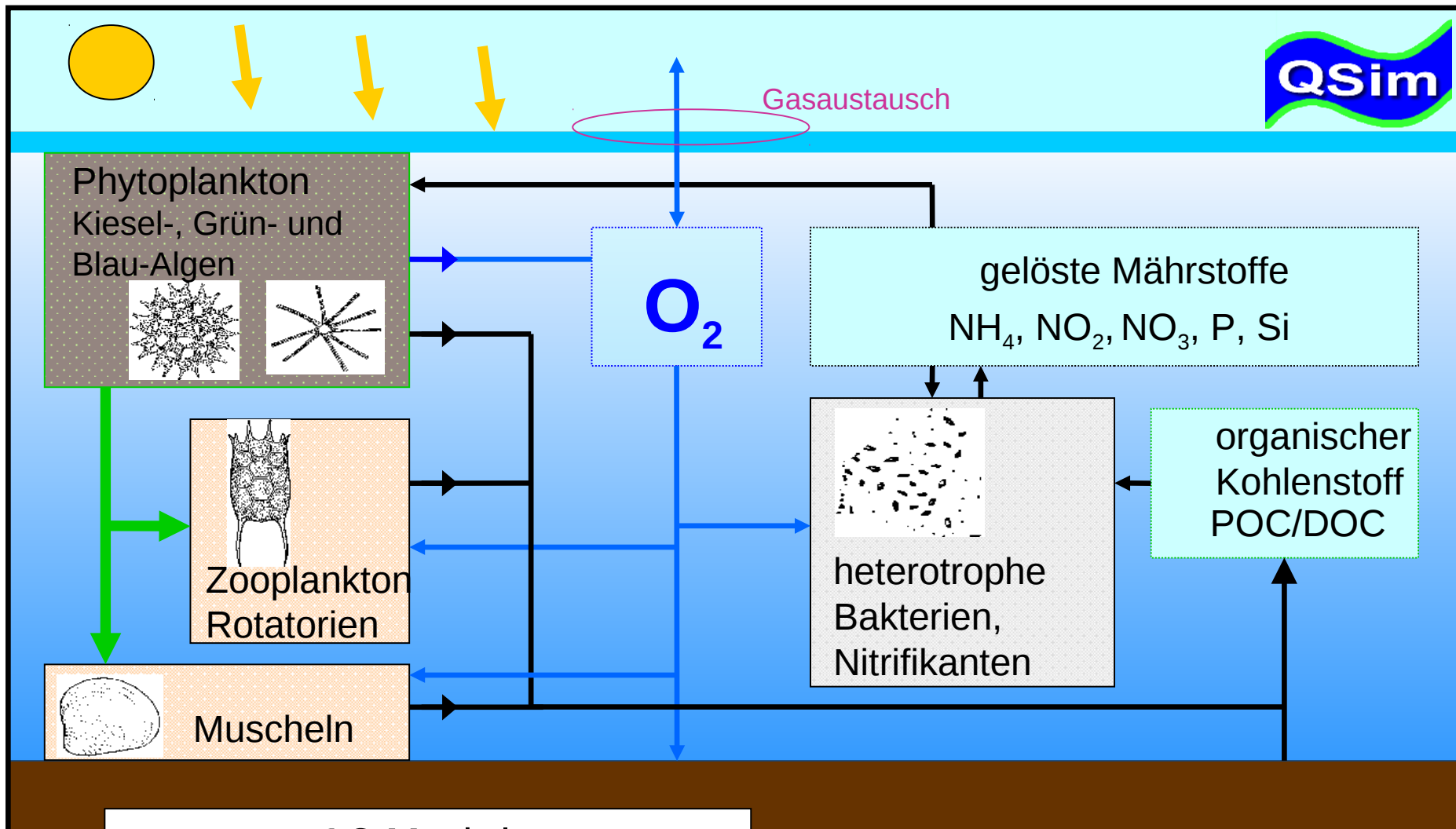


Mehrdimensionale Simulationen der Gewässergüte in Ästuaren - Aufbau und Überprüfung

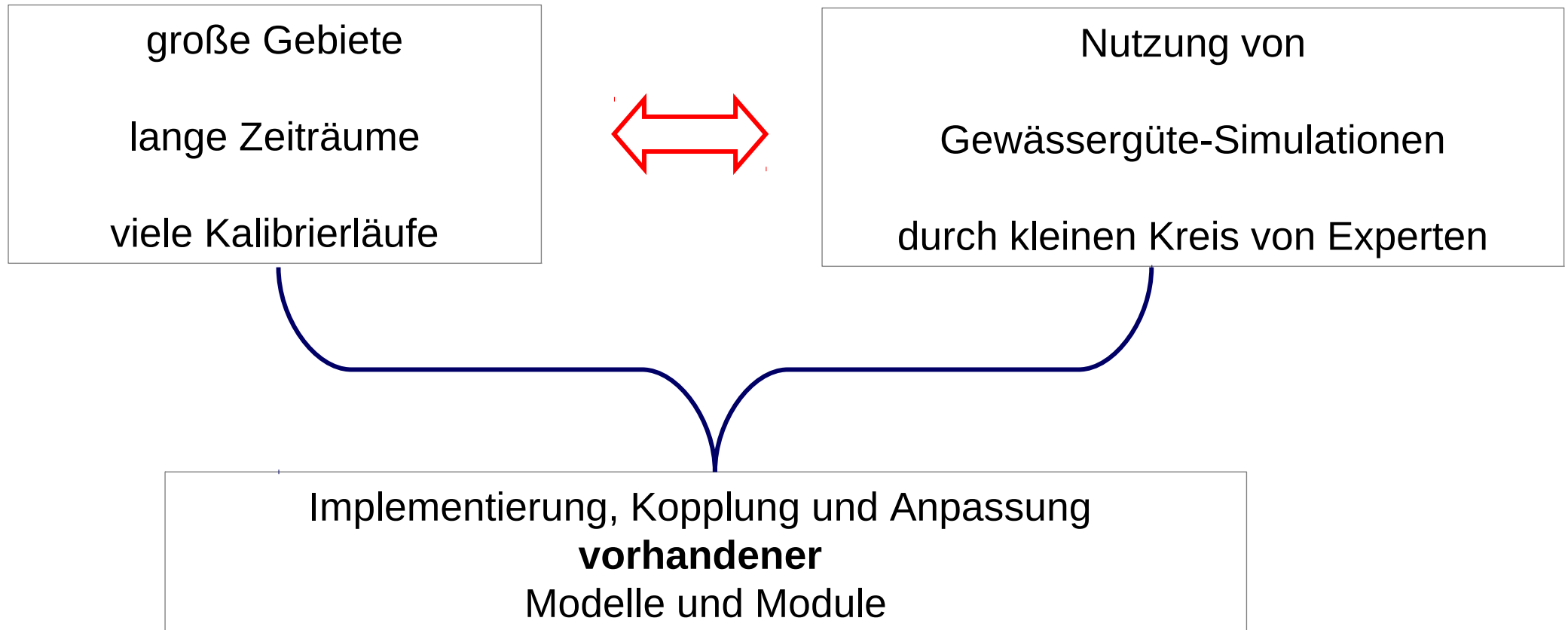
1. **Einführung** *Gütesimulation als Beratungsleistung*
2. **Systemaufbau**
3. **Überprüfung Approximationsgüte**
4. **Ausblick + Resüme**

Sauerstoffbilanz

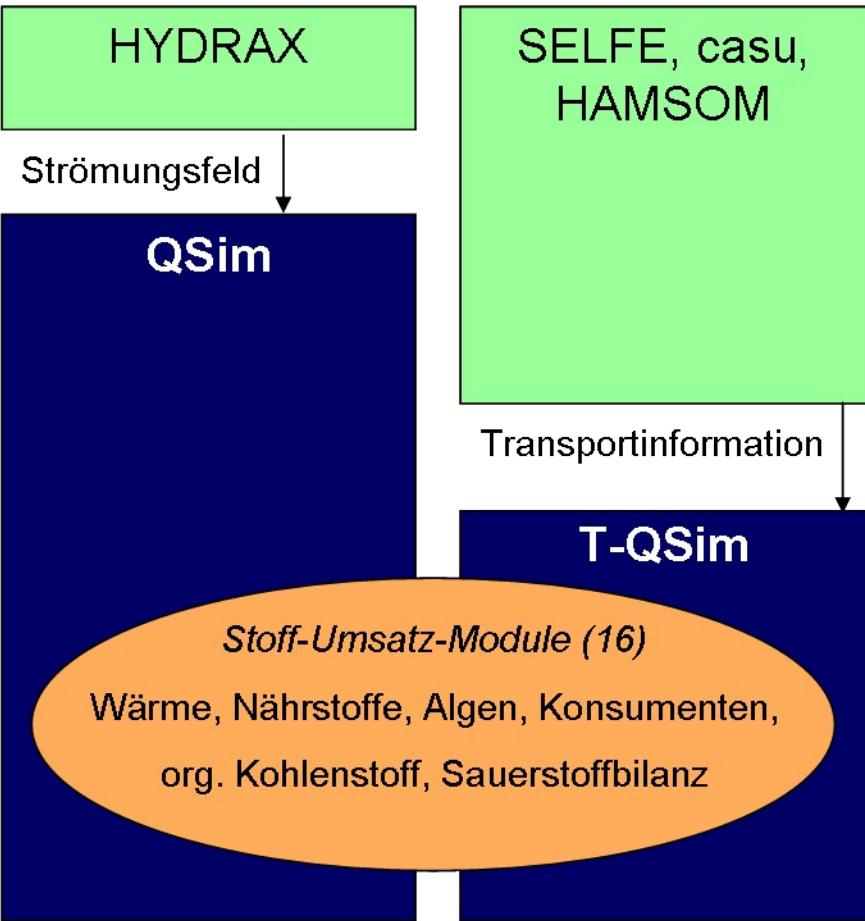


16 Module
70 planktische Konzentrationen
100 Empirische Parameter

Herausforderung für die Hydroinformatik



1D 3D

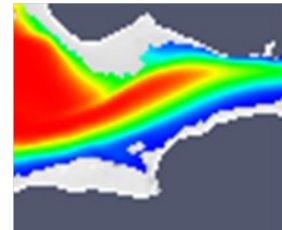
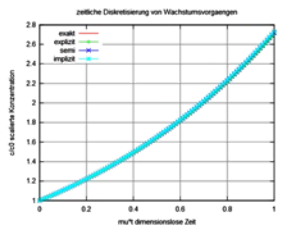


Strömungssimulation
(Impulsbilanz +
Massenerhaltung)

Stoff-Transport
(Advektion+Diffusion)

Stoff-Umsatz

Ergebnis -
Auswertung



Kopplung
(Software)

Kopplung (Numerik)

Strömungssimulation, hydraulischer Treiber, software casu, SELFE ...

Bahnlinien Rückverfolgung
ELM

Turbulenz
Modell

$$c_m(t + \Delta t, \underline{x}) = c_m(t, \underline{x}_{orig}) + \Delta c_m^{diff} + \Delta c_m^{react}$$

offline Speicherung

Gasaustausch:
Q = f (Partialdruckdifferenz,
Sohlschubspannung,
Wassertiefe, Gerinnebreite,
Wind)

fractional step
Algorithmus

$$c_{m,k}(t+\Delta t) = A_{kl}(\Delta t^{adv}) c_{m,l}^{diff,react} \left\{ \begin{array}{l} c_{m,k}^{diff,react} = D_{kl}(\Delta t^{diff}) c_{m,l}^{react} \\ c_{m,k}^{react} = Q_m(c_1(t) \dots c_M(t), \underline{x}, t, \Delta t^{react}) \end{array} \right.$$

$$n_1 \cdot \Delta t^{adv} = n_2 \cdot \Delta t^{diff} = \Delta t^{react}$$

Gewässergüte-Simulation, software T-QSim

Gewinn durch offline-Kopplung

Laufzeiten mit und ohne Transportdateien einlesen/ausgeben

casu mit offline-Ausgabe	137s Rechnung für 10800s	Strömung
casu ohne offline-Ausgabe	128s Rechnung für 10800s	Strömung
QSim-2D mit offline-Einlesen	64s Rechnung für 10800s	Güte
QSim-2D ohne offline-Einlesen	52s Rechnung für 10800s	Güte

1 Gütesimulation bei vorliegender Strömungssimulation:

64s offline <-> 180s online

2 Strömungssimulationen + 20 Gütesimulationen (projekttypische Arbeitsmenge)

1554s offline <-> 3600s online

Rechenzeiten für einen Jahresgang im Elbe-Ästuar mit ca. 50 000 Knoten (2D)

~ 5 Tage Strömung

~ 13 Stunden Güte

3 Stufen der Modellierung

numerischer Algorithmus

$$c_{m,j}(t + \Delta t) = \mu[c_{1,j} \dots c_{M,j}] \cdot c_{m,j}(t) \cdot \Delta t$$

Programmierung

Simulations-Software

```
c(m)=ini(m)
do i = 1 , nt
  c(m)=c(m)*mue(m)*deltat
end do
print*,c(m)
```

numerische Näherung

Gleichungs-System

$$\frac{\partial c_m}{\partial t} = \mu(c_1 \dots c_M) \cdot c_m$$

Modellierungs-Annahmen

Vergleich

Natur

Messungen

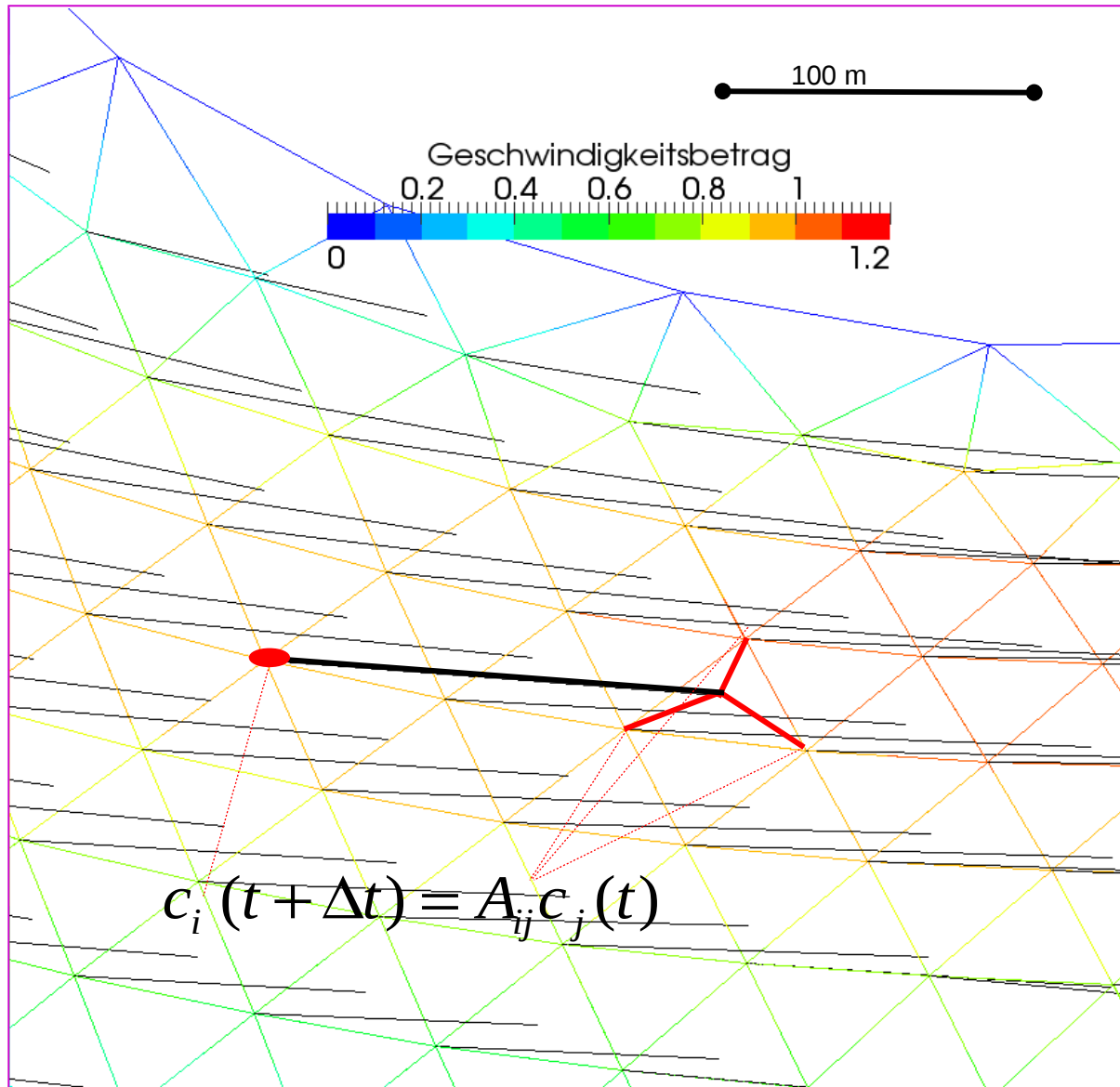
Tabelle Testschemata

Wie lässt sich erproben, ob ein Modul im Gesamtkontext richtig implementiert ist ?

- 1.) Analytische Lösung des Moduls
- 2.) Möglichkeit den Beitrag des Moduls zu isolieren

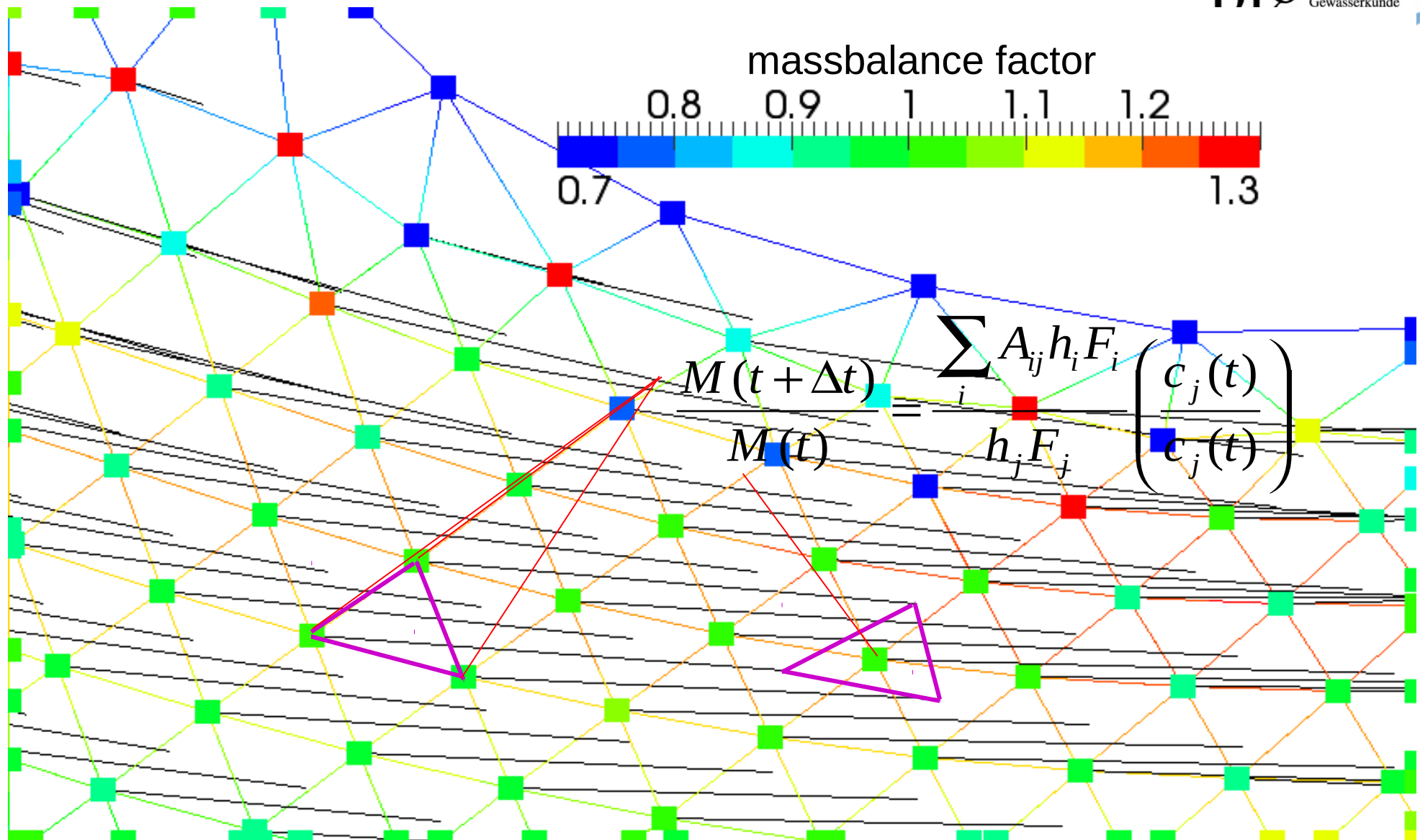
Modul \ Isolationstechnik	Keine Rückwirkung	Isolation mittels 2 Testfällen	Abschalten	Testumgebung
Temperaturbaustein	X			
Zehrung organischer Kohlenstoff			X	
Sauerstoffbilanz	Gasaustausch		X	
Nährstoffe N, P, Si				X
ph-Wert		X		

Euler-Lagrange-Methode Transportinformationen



Advektions-Matrix A
enthält die Wichtungsfaktoren
für die Interpolation um den
Bahnlinienursprung

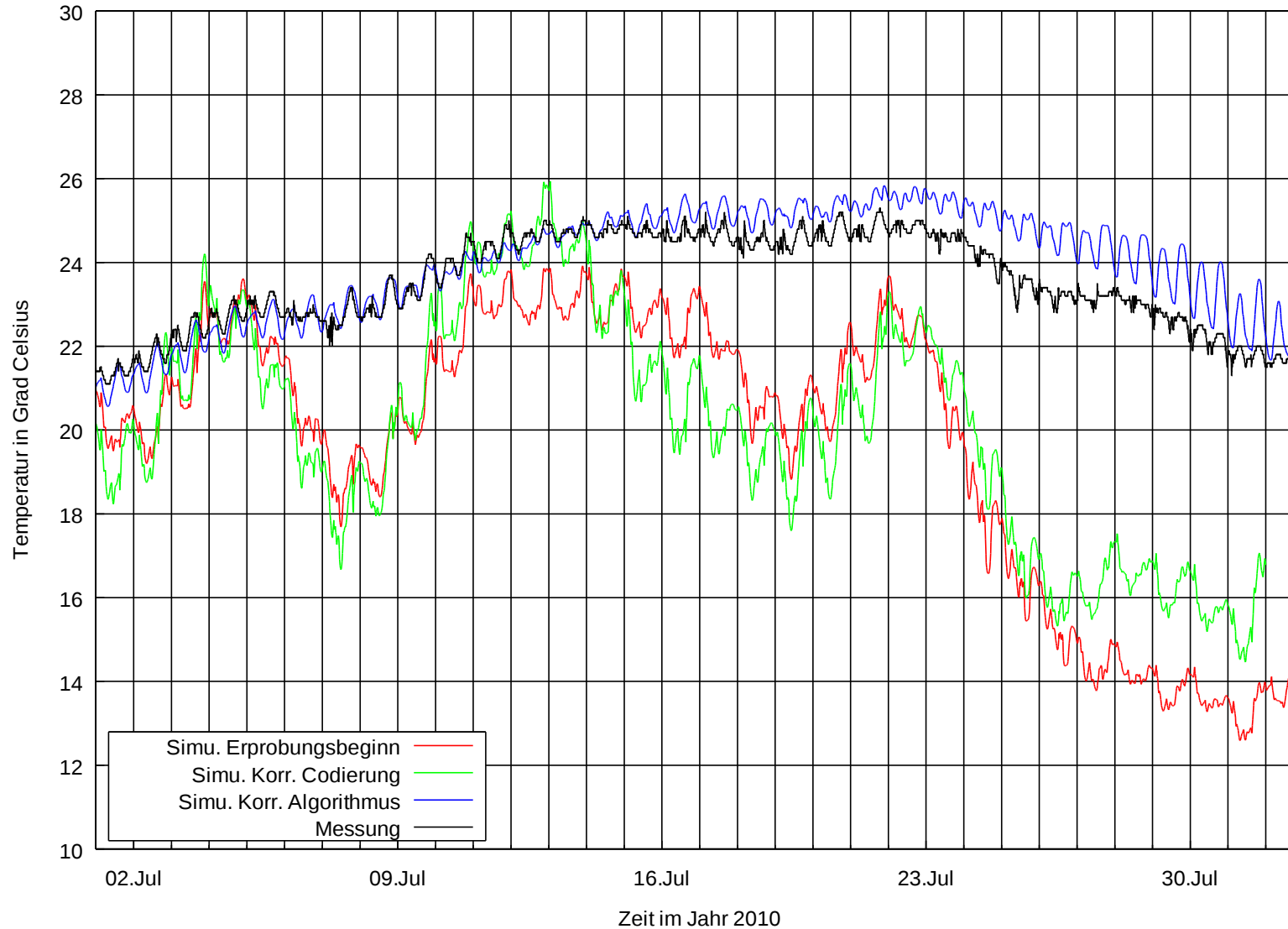
Advektions-Matrix A
ist unabhängig vom
Konzentrationsfeld !

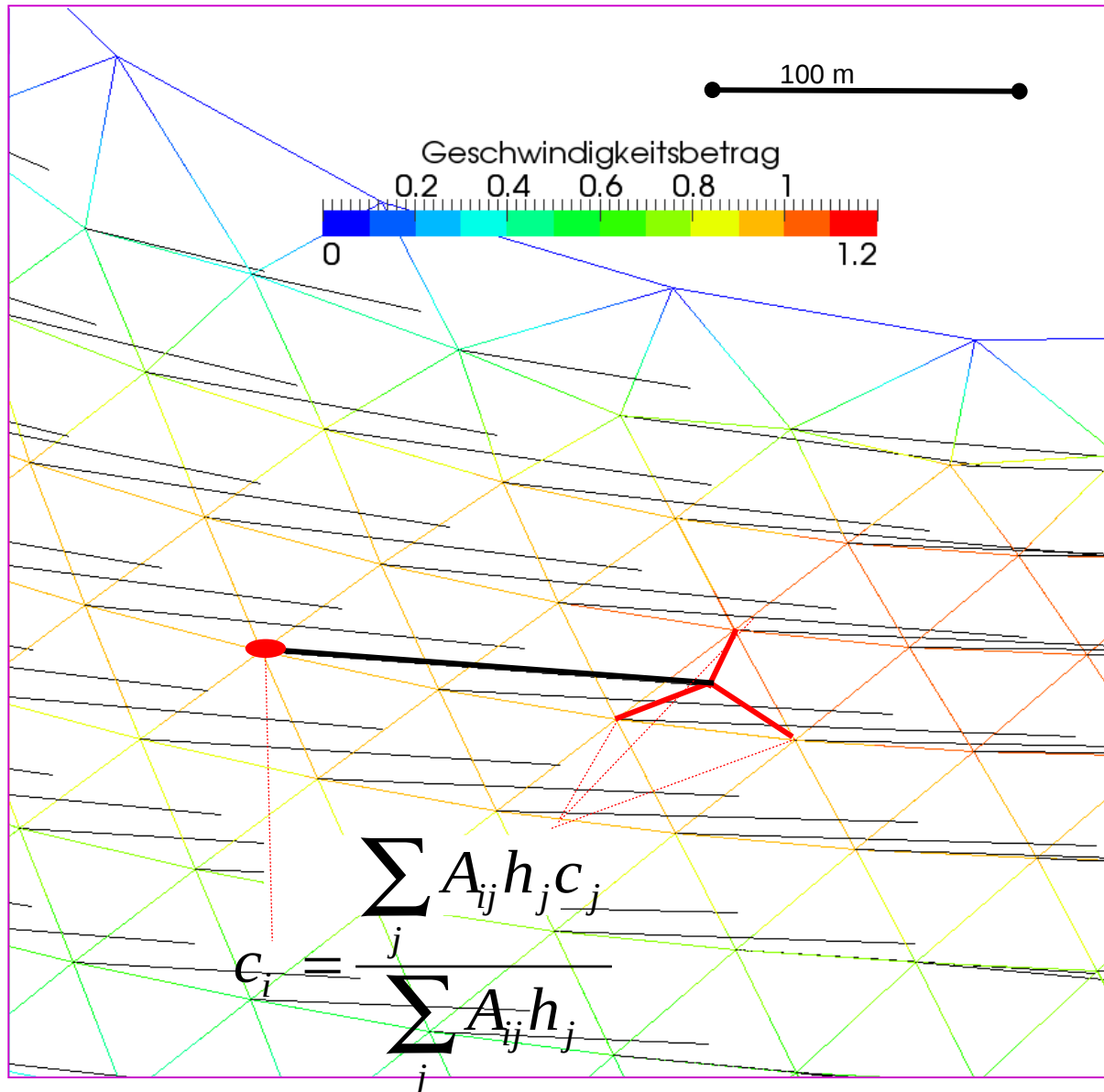


a posteriori Fehlerschätzer: Massenbilanzverhältnis (an jedem Knoten)
weitergegebene Masse / ursprünglich vorhandene Masse

Modellerprobung Vergleich mit Messungen

Elbe-Aestuar Temperaturen ; Ergebnisse Simulation Tonne D1 km 643,0

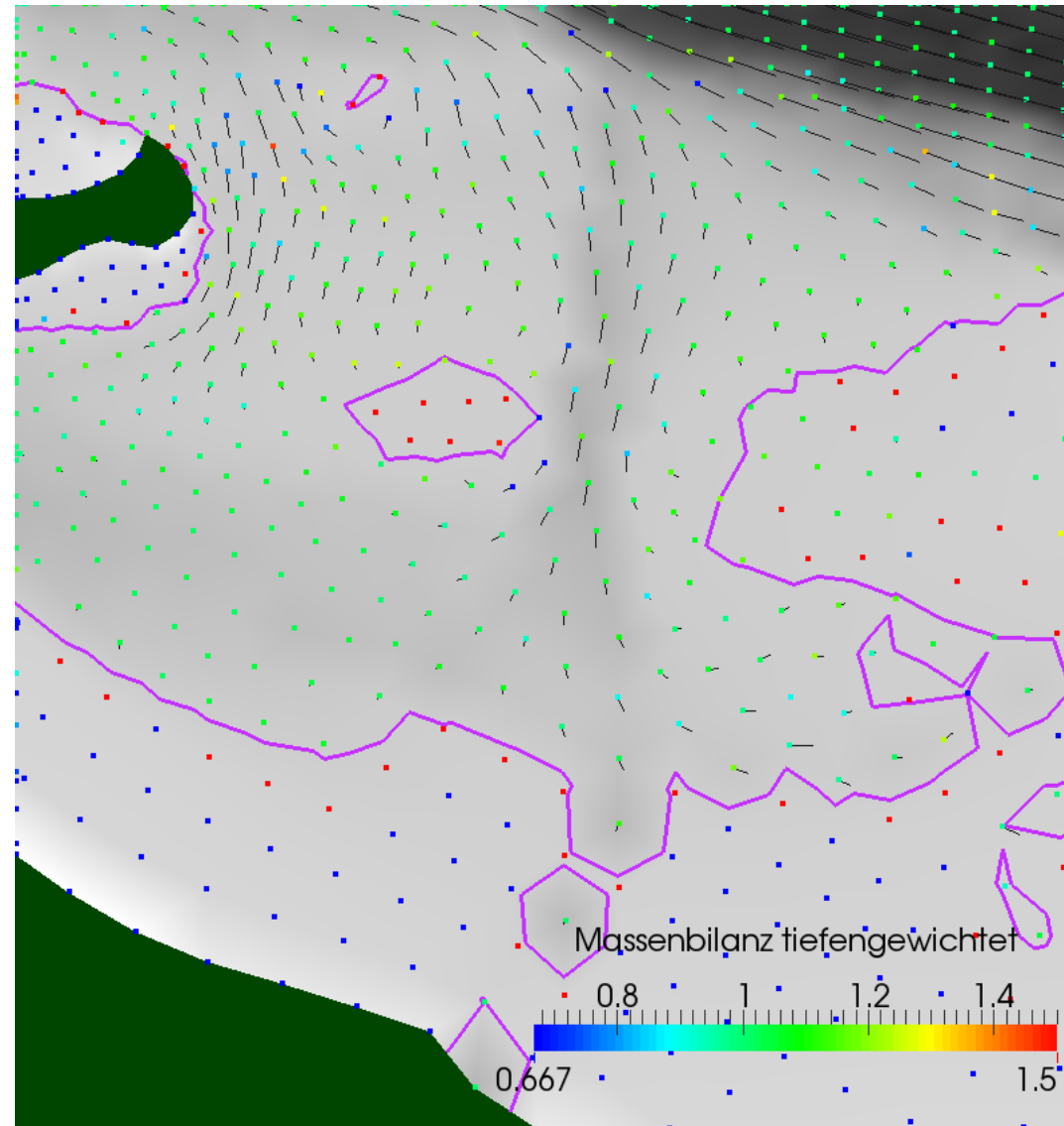
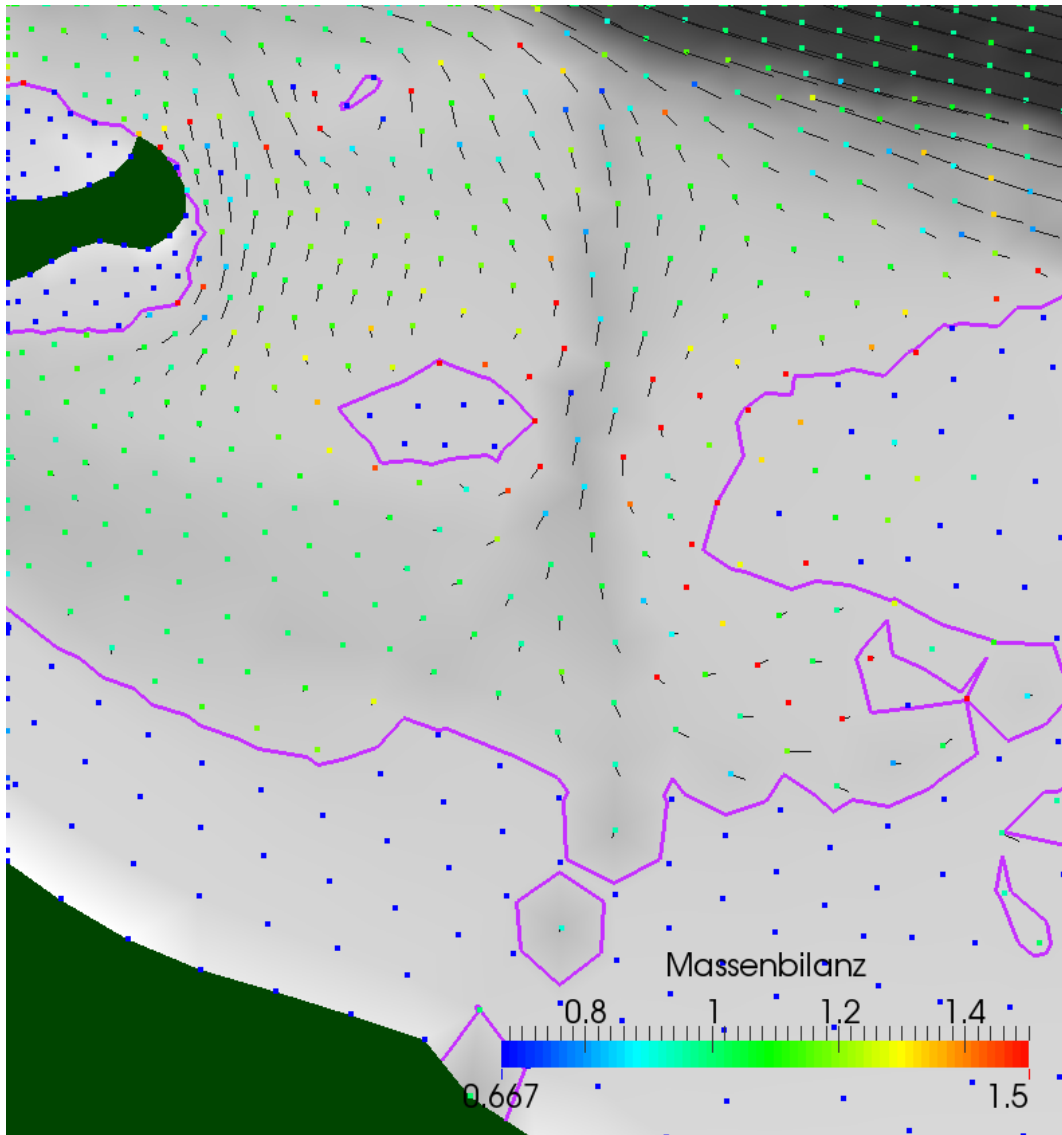
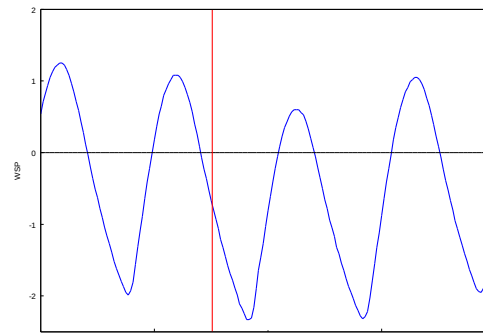


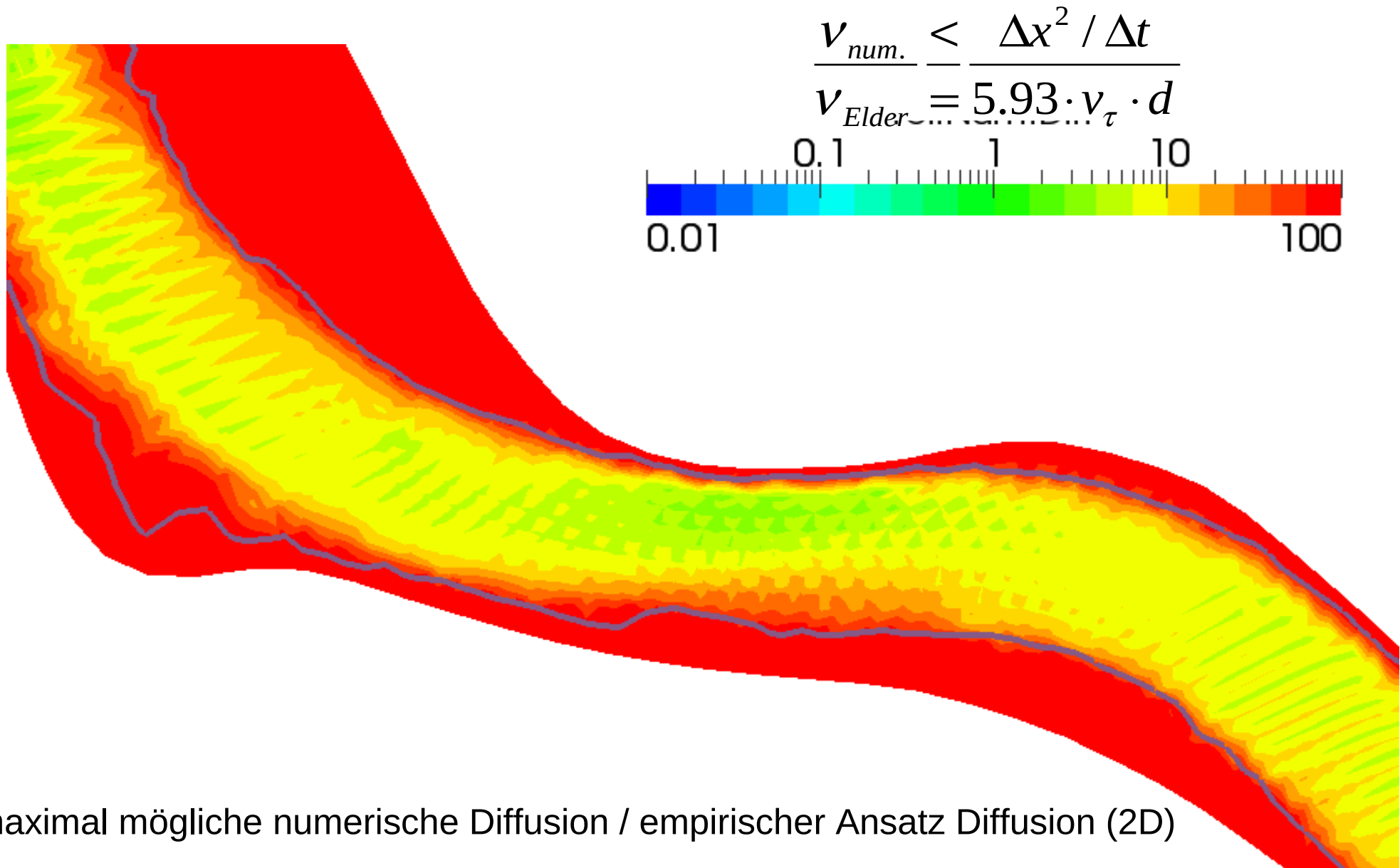


Verfahrensverbesserung
Advektion:

tiefengewichtete Interpolation
um den Strombahnursprung

Verfahrensverbesserung wird im a-posteriori Fehlerschätzer angezeigt





maximal mögliche numerische Diffusion / empirischer Ansatz Diffusion (2D)

Ausblick

Tracerversuche Diffusionsmodellierung + numerische Diffusion

Parallelisierung

Gasaustausch (Messung + Modellierung)

Trends

vom Einzel-Entwickler

zum Komponentenentwickler und/oder Systemintegrator

Institutsübergreifende Entwicklung und Anwendung

von numerischen Modellen organisiert in

open-source-communities.

Resümee

Systemaufbau:

lauffähiges Testsystem seit Anfang 2014

Einsparungen beim Entwicklungsaufwand realisiert

Laufzeitvorteile durch offline-Kopplung

Laufzeiten für Gütemodellierung praktikabel

Überprüfung Approximationsgüte

Testschemata zur Überprüfung der Implementierung im Einsatz

a-posteriori Fehlerschätzer geben wertvolle Einblicke in den
Näherungsalgorithmus