

Wechselwirkung von Rissen und Trocknung in porösen Medien unter Berücksichtigung der turbulenten Grenzschicht

Stephan Lenz, Martin Geier, Manfred Krafczyk

Forschungsvorhaben:

Motivation:

Bei der numerischen Simulation trocknungsbedingter Risse in porösen Medien ist es derzeit unklar, wie sich die Risse auf die Trocknungsdynamik auswirken. Aktuelle Modelle für die Rissentwicklung berücksichtigen den Einfluss von Rissen auf den Feuchtigkeitstransport nicht.

Ziel dieses Projektes ist es, die Wechselwirkung von Rissen und turbulenter Grenzschicht auf das Trocknungsverhalten mittels numerischer Strömungssimulation zu quantifizieren und ein makroskopisches Modell zu formulieren, welches in die Rissmodellierung Eingang findet.

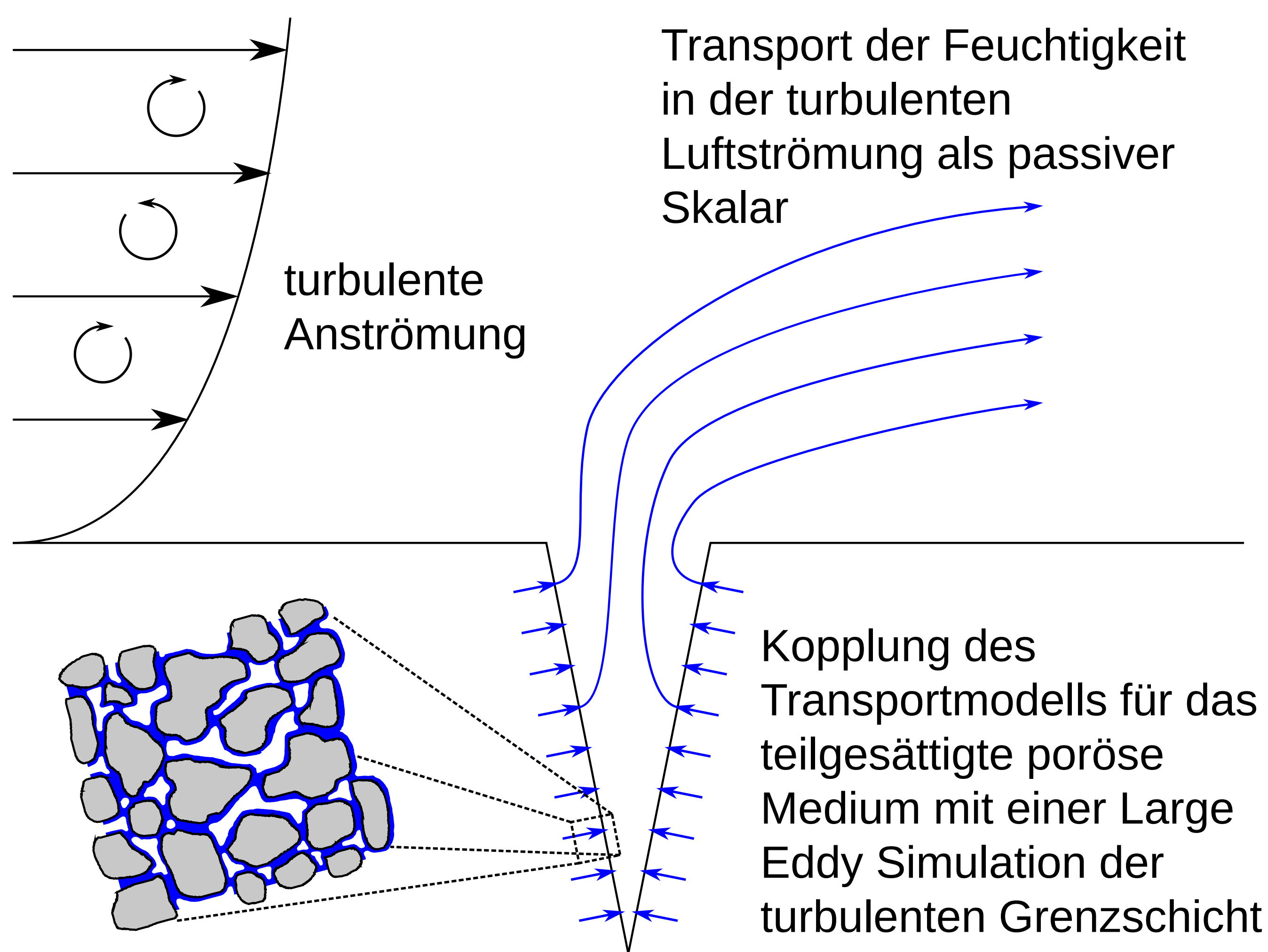


Abbildung 1: Simulationsskizze zur mehrskaligen Modellierung des Feuchtigkeitstransportes

Numerik:

Gas-Kinetic Scheme:

Für die Strömungssimulation wird ein Gas-Kinetic Scheme (GKS) verwendet. GKS sind explizite Finite-Volumen Methoden zur Lösung von Strömungsproblemen [1]. Die Flüsse werden dabei aus der Gaskinetik hergeleitet. Effiziente Modelle für den Transport skalarer Größen (hier mit X bezeichnet) existieren ebenfalls [2].

Erhaltungsgrößen:

$$\underline{W} = (\rho, \rho \vec{u}, \rho E, \rho X)^T$$

Finite-Volumen Update:

$$\underline{W}_i^{n+1} = \underline{W}_i^n - \frac{1}{V_i} \sum_j \mathcal{F}_j A_j$$

Kinetische Flussdefinition:

$$\mathcal{F}_j = \int_{t_n}^{t_{n+1}} \int_{-\infty}^{\infty} (\vec{n}_j \cdot \vec{u}) \psi f_j d\mathcal{E} dt$$

basierend auf einer Verteilungsfunktion $f_j = f_j(\vec{u}, \underline{W}_j, \nabla \underline{W}_j)$

Hierbei ist zwischen der makroskopischen Fluidgeschwindigkeit $\vec{u}$ und der mikroskopischen Partikelgeschwindigkeit $\vec{u}$ zu unterscheiden.

Turbulenzmodellierung:

Die Turbulenz wird mittels Large-Eddy Simulation modelliert. Das bedeutet, dass der Großteil der turbulenten Skalen in Raum und Zeit aufgelöst wird. Die kleinsten Skalen zeichnen sich durch weitgehende Isotropie aus und können mit geeigneten Eddy-Viskositätsmodellen approximiert werden. Die hohe räumliche und zeitliche Auflösung stellen hohe Anforderungen an die Effizienz der Implementierung.

Parallelisierung:

General-Purpose-Graphics-Processing-Units (GPGPUs):

Grafikkarten waren historisch für die massiv parallele Bearbeitung einfacher Aufgaben konzipiert. Mittlerweile eignen sie sich nicht nur zum Rendern von Bildern, sondern auch zur Lösung von Strömungsproblemen mit hochauflösenden numerischen Methoden. Daher wird das GKS für dieses Projekt für GPGPUs implementiert.

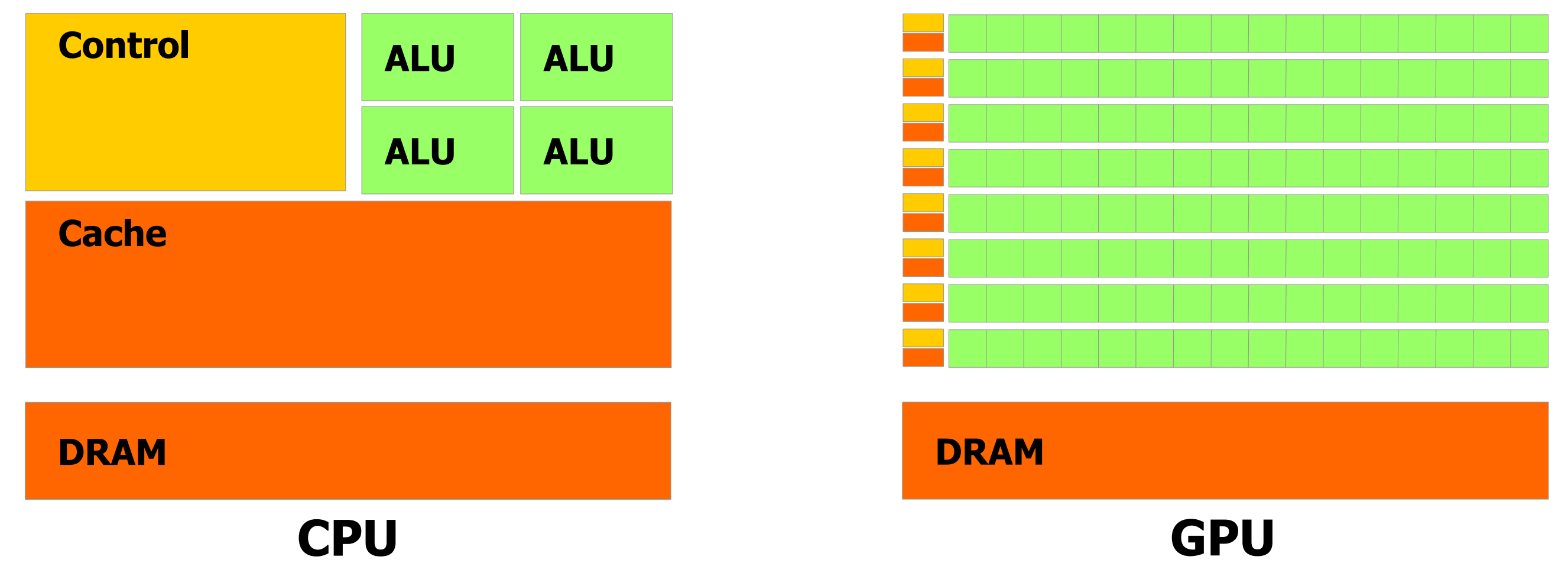


Abbildung 2: Vergleich (größtenteils) serieller CPU und massiv parallelen GPU Architekturen (Quelle: NVIDIA)

Darüber hinaus ist für dieses Projekt ist eine hierarchische Multi-Level-Parallelisierung vorgesehen, um die verfügbare Hardware auf dem Phoenix-Cluster optimal zu nutzen:

- Knoten zu Knoten Kommunikation via MPI
- GPU zu GPU Kommunikation via NVIDIA NVLink
- Shared Memory Parallelisierung auf den GPUs

Vorarbeiten:

Ein Gas-Kinetic Scheme für freie Konvektion bei großen Temperaturunterschieden:

Für die Simulation von Bränden werden thermisch kompressible Methoden benötigt. In diesem Projekt wurde die Eignung eines Gas-Kinetic Schemes für solche Strömungen in zwei Dimensionen untersucht [3]. Dadurch wurden erste Erfahrungen mit dem GKS gesammelt.

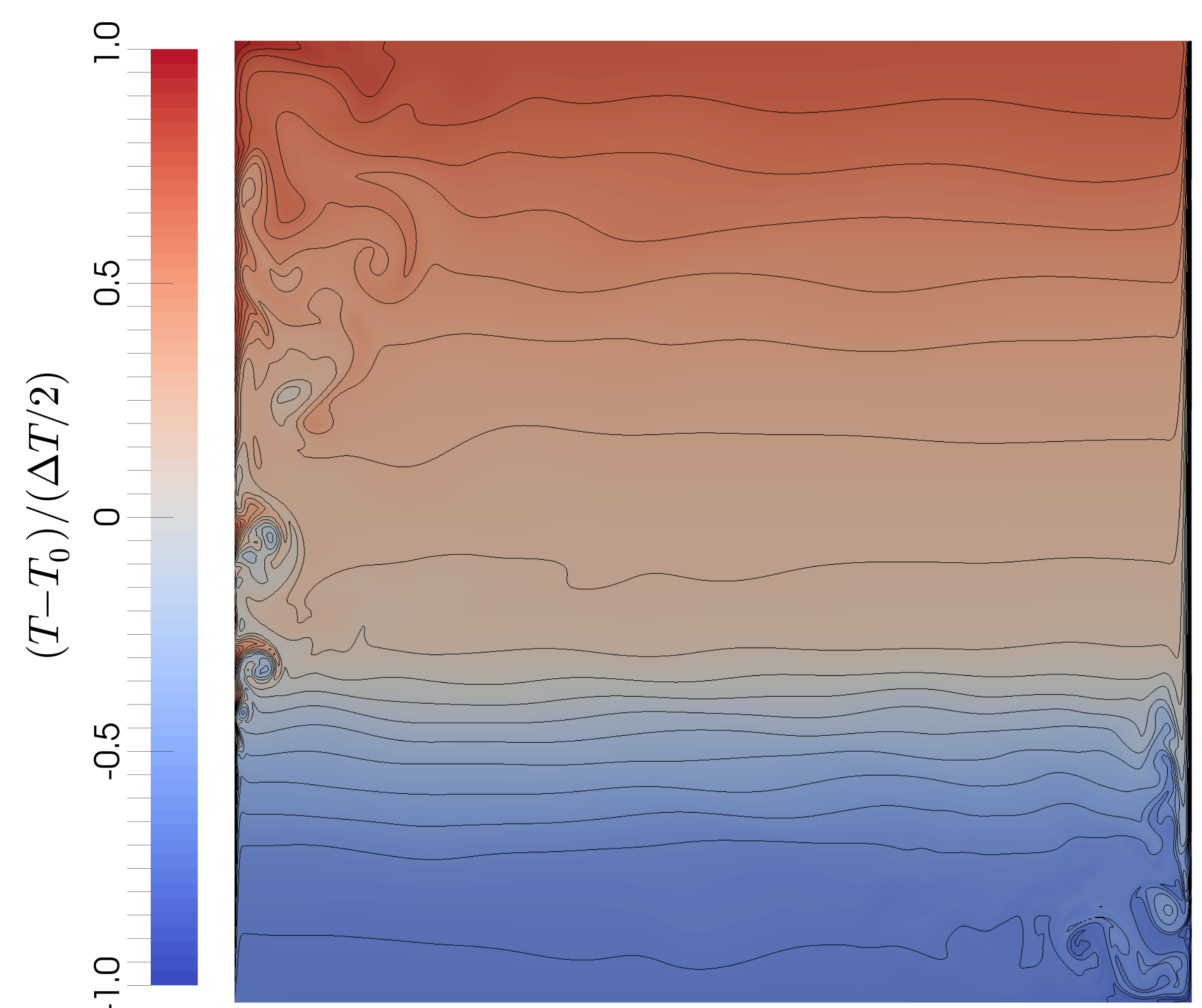


Abbildung 3: Turbulente freie Konvektion bei einem großen Temperaturunterschied simuliert mit einem GKS

Referenzen:

- [1] K. Xu, A Gas-Kinetic BGK Scheme for the Navier-Stokes Equations and Its Connection with Artificial Dissipation and Godunov Method, Journal of Computational Physics 171 (1) (2001) 289-335
- [2] Q. Li, S. Fu, K. Xu, A compressible Navier-Stokes flow solver with scalar transport, Journal of Computational Physics 204 (2) (2005) 692-714
- [3] S. Lenz, M. Krafczyk, M. Geier, S. Chen, Z. Guo. Validation of a two-dimensional gas-kinetic scheme for compressible natural convection on structured and unstructured meshes. Submitted to International Journal of Thermal Sciences, 2017