

Warum braucht man Numerische Strömungsmechanik?

Die numerische Strömungsmechanik, im Englischen *Computational Fluid Dynamics* (CFD), ist ein interdisziplinäres Forschungsgebiet, welches u.a. Chemiker, Biologen, Mediziner, Physiker, Mathematiker, Informatiker und Ingenieure verbindet. Die Grundlagen der Strömungsmechanik basieren auf physikalischen Gesetzen, wie z.B. der Erhaltung der Masse, Newtons Bewegungsgesetzen und dem 1. Hauptsatz der Thermodynamik. Mit Hilfe der Mathematik können diese Gesetze zu einem System sogenannter *partieller Differentialgleichungen* umgeformt werden. Könnten wir diese Gleichungen *analytisch* lösen, d.h. eine Lösung direkt mit dem Bleistift auf's Papier bringen, wäre der Ingenieur z.B. in der Lage, die Strömung um ein Auto, den Verbrennungsvorgang in einem Triebwerk oder den Auftrieb und Widerstand eines Tragflügels *exakt* zu berechnen. **Das geht im Allgemeinen leider nicht.** Und gerade hier setzt die *Numerik* an, welche versucht die in den Gleichungen auftretenden

Integrale und Ableitungen zu *approximieren*. Somit macht man bei der Berechnung einer *Lösung* (z.B. dem Druckverlauf, dem Dichte- oder Geschwindigkeitsprofil) der partiellen Differentialgleichung also einen Fehler. Die gute Nachricht ist, dass die Mathematik auch die Theorie liefert, um diese Fehler *abzuschätzen* und zu minimieren. Mit Hilfe des Computers kann man diese approximierten Gleichungen dann numerisch lösen. Dabei macht man wiederum einen Fehler, da er Zahlen nicht unendlich genau darstellen kann. Die Zahl π , welche eine unendliche Anzahl von Stellen hat, kann z.B. nur auf eine endliche Zahl von Stellen gerundet dargestellt werden. Bei der Abschätzung und Minimierung dieser Fehler liefert uns die Informatik Beistand. Solide Kenntnisse in Mathematik, Informatik und Physik sind also Voraussetzung, um mit numerischer Strömungssimulation (auf einem nach *Interesse* zu wählenden Spezialgebiet) einen Beitrag zur angewandten und Grundlagenforschung zu leisten.

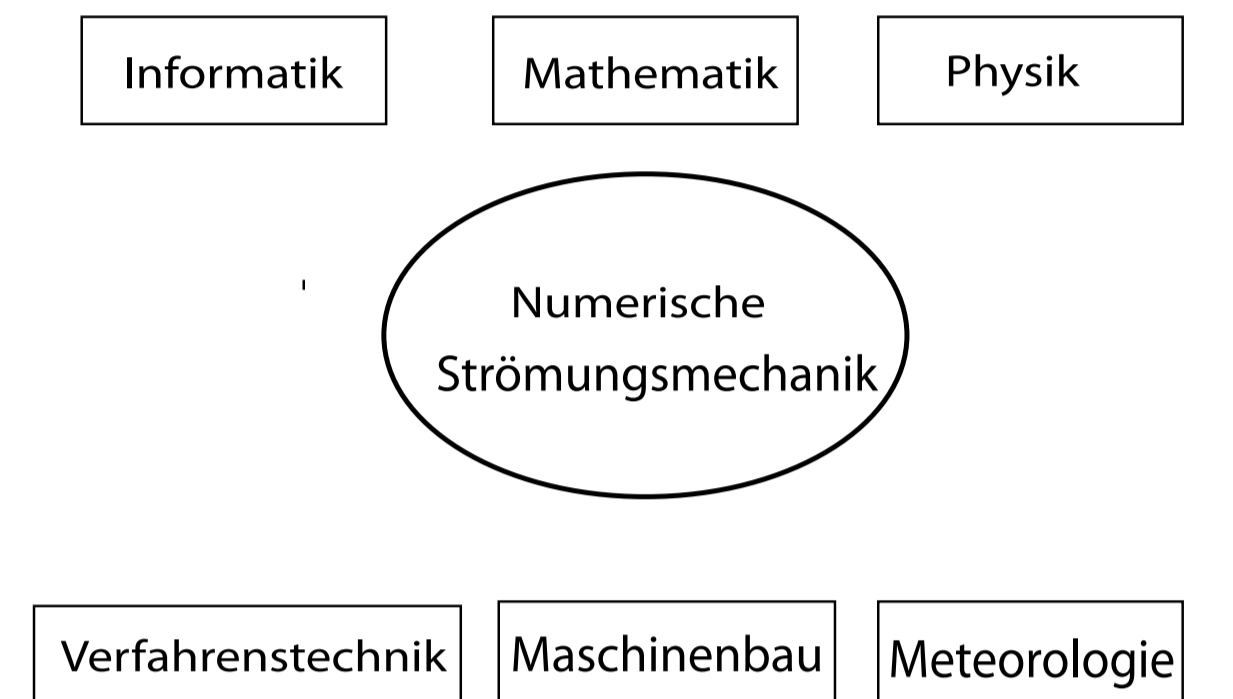
Numerische Strömungsmechanik ist inhärent interdisziplinär!

Die Modellierung komplexer Strömungs- und Transportvorgänge in Natur und Technik mit dem dabei stattfindenden Transport von Partikeln (Stäuben, Tropfen, Blasen), den ggf. überlagerten chemischen Reaktionen und der Entstehung von Kräften, Lärm und Schwingungen ist für verschiedenste Fachgebiete relevant. Sie spielt z. B. eine entscheidende Rolle für die Auslegung und den Betrieb von Anlagen in der Verfahrenstechnik, der Energietechnik, des Maschinen- und Anlagenbaus sowie der Fahrzeug- und Flugzeugindustrie, bei der Planung und Klimatisierung von Bauwerken bis hin zu den in der Natur vorkommenden Strömungen in Gewässern und der Atmosphäre, so z.B. bei

- der Modellierung und Optimierung von Verbrennungsprozessen und chemischen Reaktionen,
- der Modellierung komplexer geophysikalischer Strömungen,
- Modellen zur Brandausbreitung,

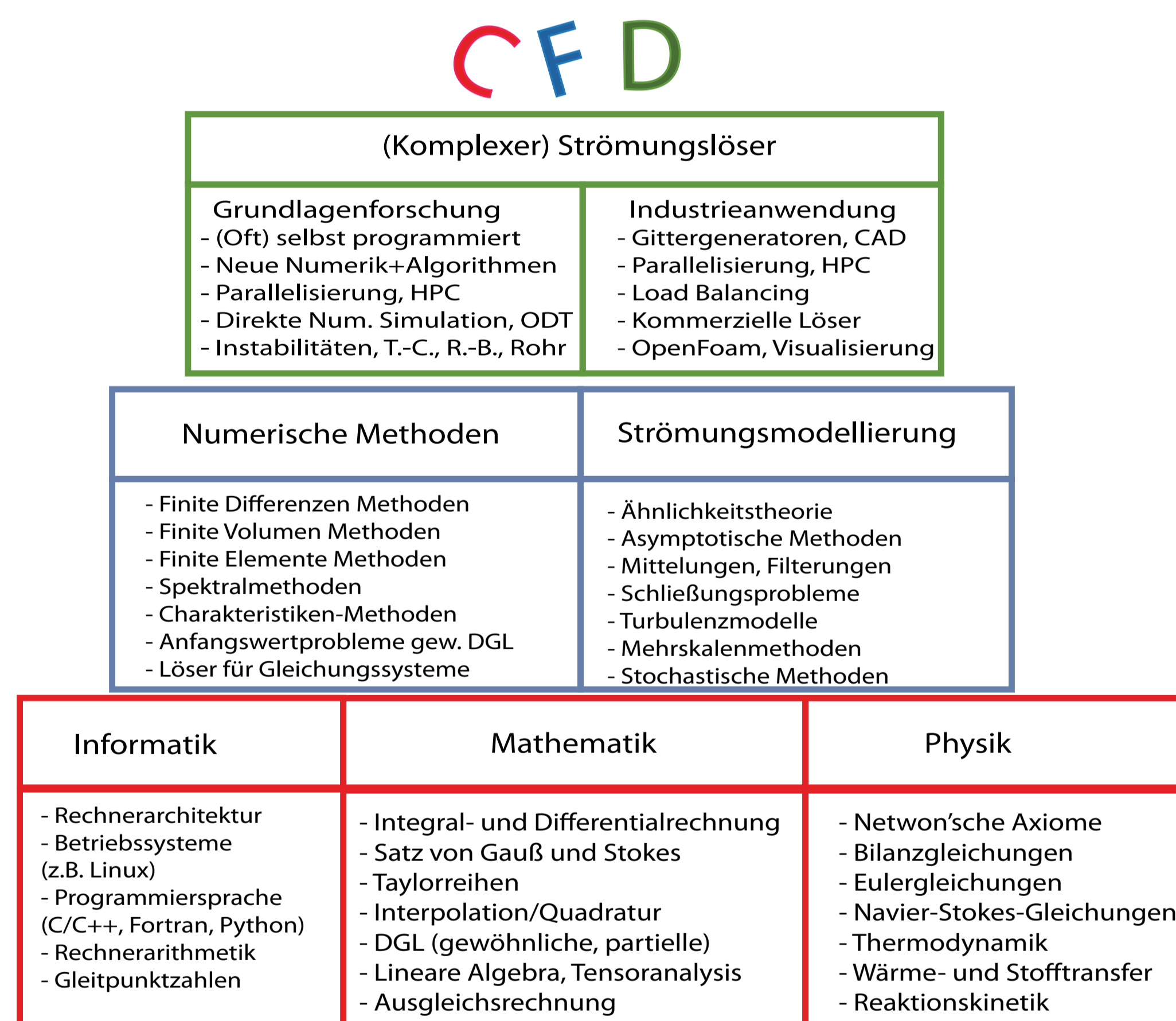
- Simulation von Schallabstrahlung,
- der Abgasreinigung und Abwasserbehandlung,
- und der Entwicklung von Fahrzeugen, Motoren, Flugzeugen und Triebwerken.

Das *Center for Flow and Transport Modeling and Measurement (CFTM²)* ist eine fakultätsübergreifende Initiative an der BTU Cottbus, welche Aufgaben aus diesen Themenbereichen durch eine Synergie verschiedener Lehrstühle lösen möchte.



Unsere Sicht einer Pyramide der Numerischen Strömungsmechanik

Schon die alten Ägypter wussten, dass man beim Pyramidenbau von unten anfangen sollte. So ist es auch bei der numerischen Strömungsmechanik. Die Verlockung ist groß, sich aus dem Internet einen Strömungslöser herunterzuladen oder Lizenzen zu kaufen und nach einem Tag fröhlich zu simulieren und bunte Bilder (also CFD, „Coloured Fluid Dynamics“), zu generieren. Ohne das Problem, die zu lösenden Gleichungen, die numerische Methode des Löser und die Tücken des Rechnens auf Computern zu verstehen, generiert man eher einen gesellschaftlichen Schaden, als dass man hilft. Die Pyramide ist eine subjektive Darstellung ohne Anspruch auf Komplettheit.



Die Rolle der Juniorprofessur Strömungsmodellierung

Innerhalb der BTU

Die Juniorprofessur Strömungsmodellierung stellt eine interdisziplinäre Schnittstelle an der BTU dar. Derzeitige Mitglieder haben einen Hintergrund aus dem Ingenieurwesen, der angewandten Mathematik, der Physik und der Meteorologie. Die Juniorprofessur ist zudem Mitglied im *CFTM²*. Neben mehreren Einzelaktivitäten wird im Rahmen eines EFRE-Projektes gemeinsam mit Prof. Egbers auf dem Gebiet der Konvektion geforscht. Im Rahmen des BMBF-Projektes *GeoEn* wird mit mehreren Lehrstühlen verschiedener Fakultäten der BTU Cottbus interagiert (Siehe Bsp. in der unteren Box).

sinnvoll ergänzt. In Vorlesung 2. und 3. stehen die *Strömungsmodellierung* und die *physikalischen Grundlagen* im Mittelpunkt. Solange es den vom *CFTM²* geplanten Studiengang *Computational Fluid Dynamics* an der BTU nicht gibt, wird kein Studiengang den in der Pyramide dargestellten Lehrstoff abdecken können. Wir können den interessierten Studenten aber Ratschläge zum Selbststudium geben und auf das Fächerangebot anderer Fakultäten verweisen. Machen Sie dazu einen Termin mit einem der Mitarbeiter in Raum 160 aus.

Lehre

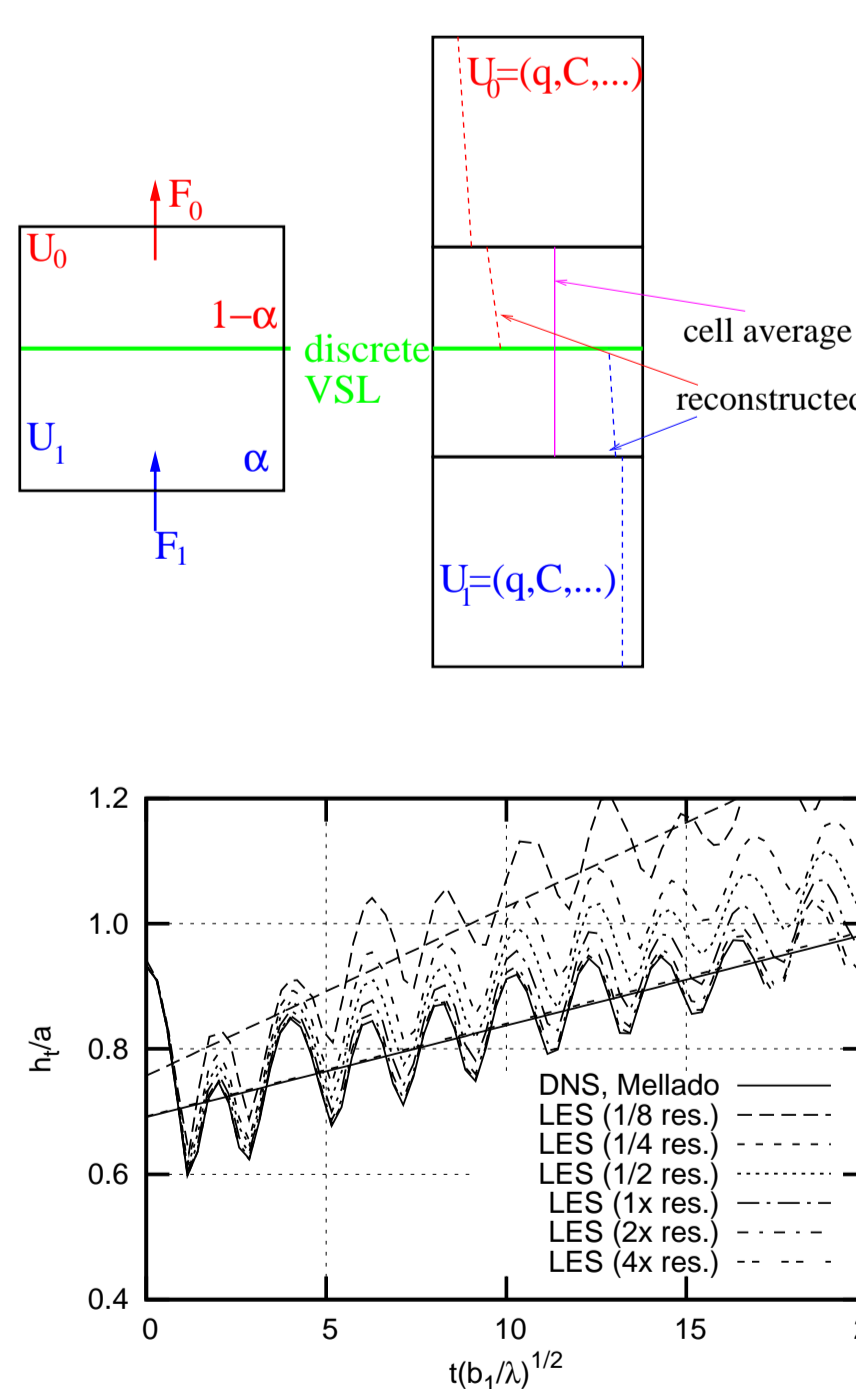
- Z. Zt. werden die folgenden Vorlesungen angeboten
- Numerische Methoden in der Strömungs- und Gasdynamik (Vorlesung + Übung)
 - Heterogene Mehrskalmethoden in der Strömungsmechanik (Vorlesung)
 - Turbulenzmodellierung (Seminar)
- Auf die Pyramide (linke Box) bezogen werden in 1. Grundlagen der Mathematik und Physik kurz wiederholt. Danach liegt der Schwerpunkt auf den *Numerischen Methoden*. Dabei werden die Lehrinhalte der Vorlesung von Prof. Bader, CFD-Methoden,

Kooperationen außerhalb der BTU

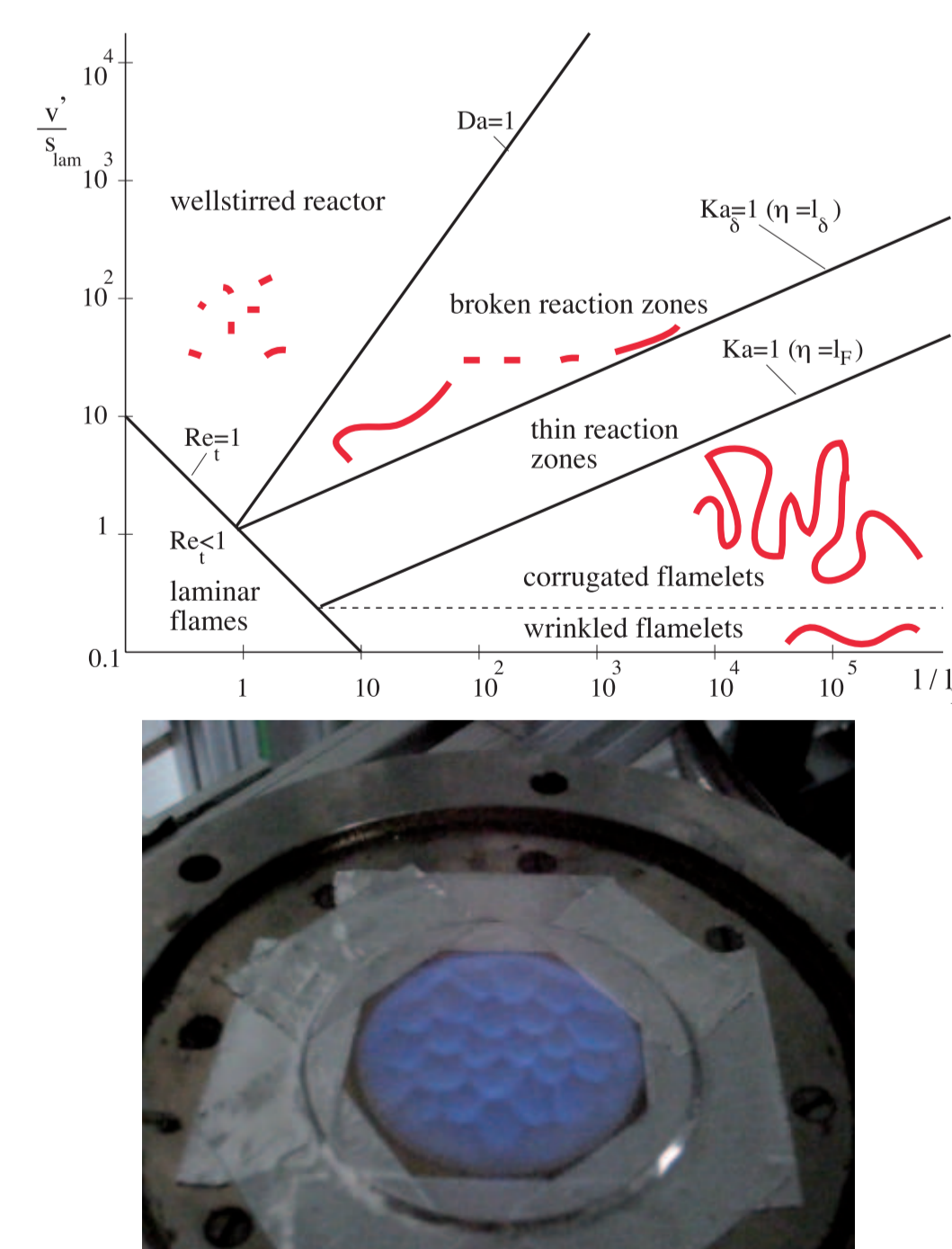
Geförderte und ungeforderte Kooperationen über den Bereich der BTU hinaus bestehen mit folgenden Institutionen:

- Max Planck Institut für Meteorologie in Hamburg
- Institut de Recherche sur les Phénomènes Hors Equilibre (IRPHE), Marseille, Frankreich
- Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Madrid, Spain
- Combustion Research Facility, SANDIA National Laboratories, Livermore, Kalifornien, USA
- Freie Universität Berlin, Fachbereich Mathematik & Informatik

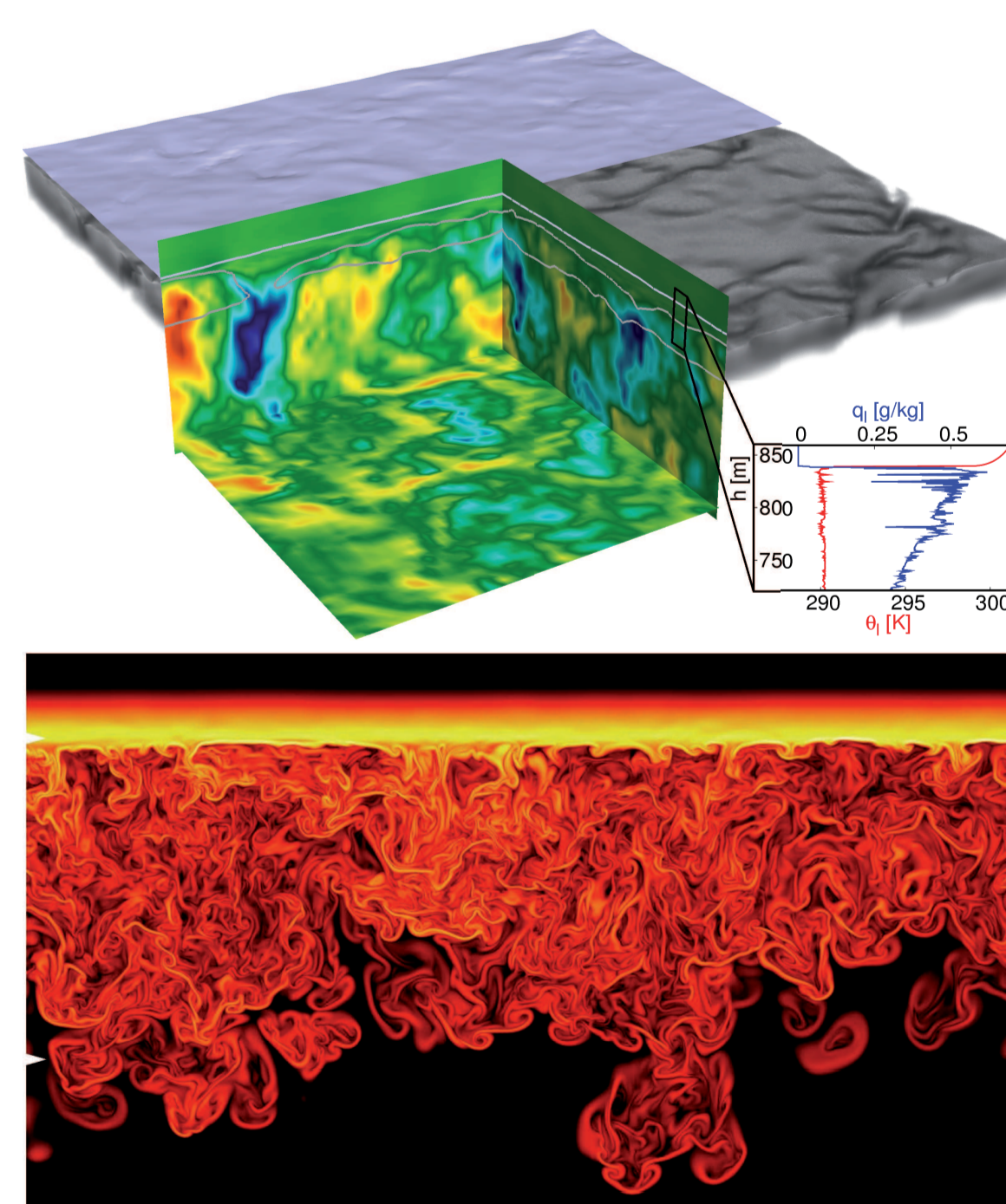
Numerische Analysis



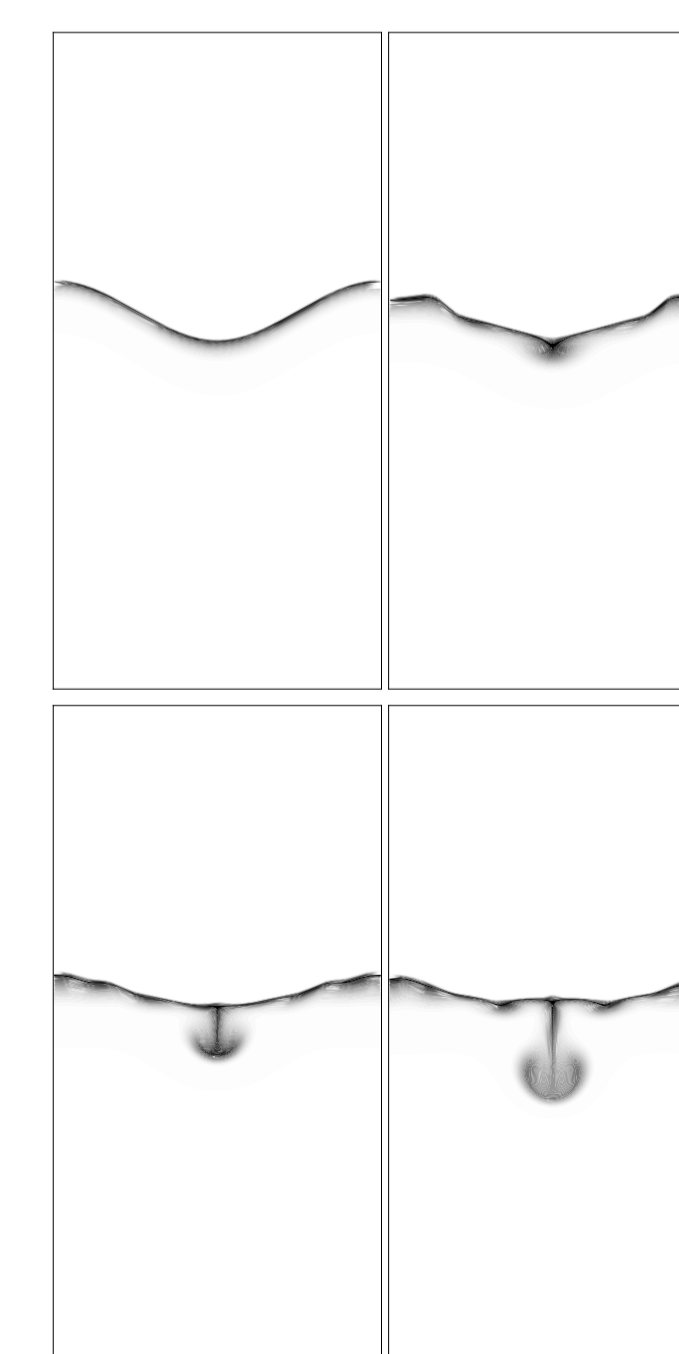
Verbrennungsdynamik



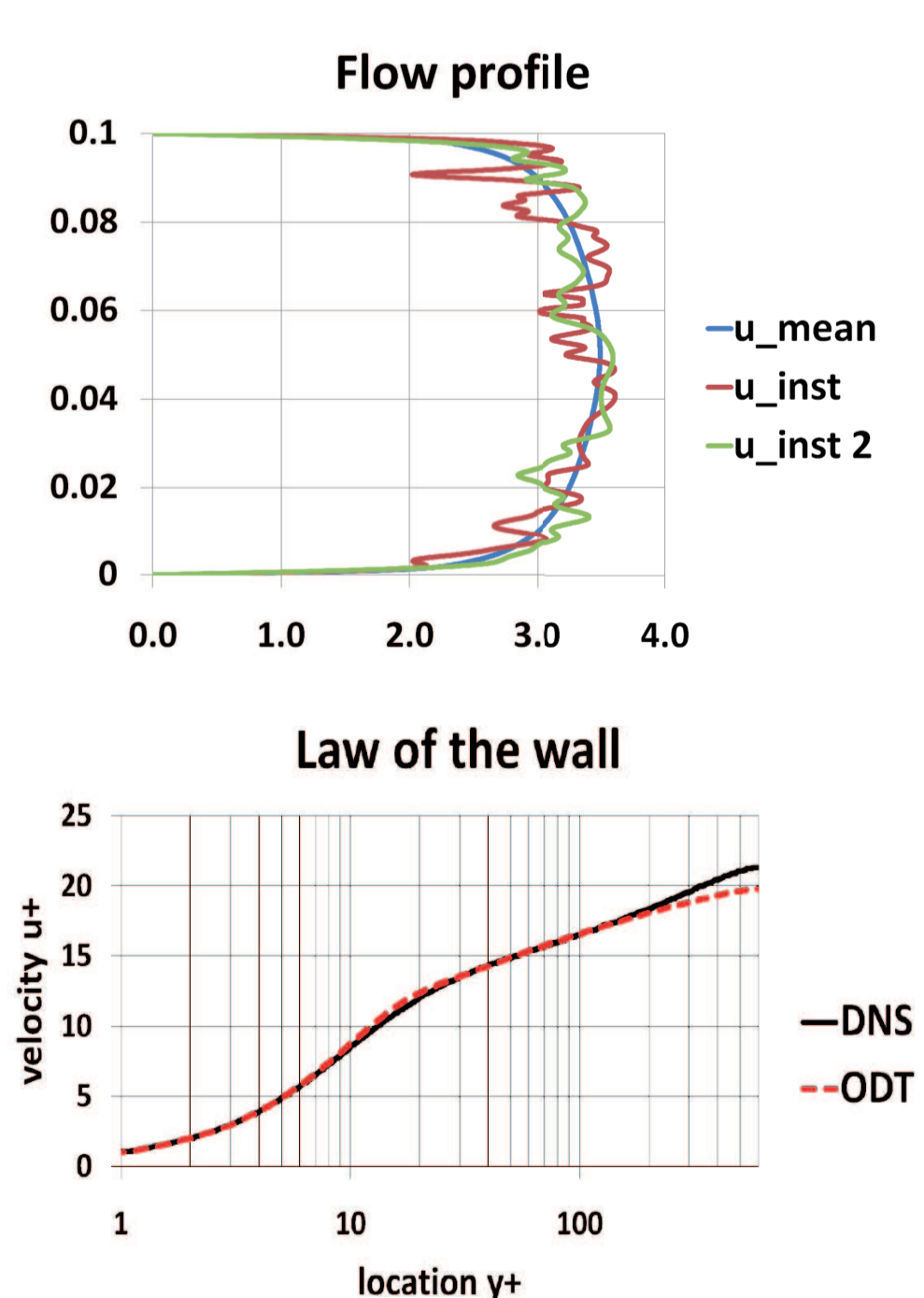
Meteorologie



Instabilitäten



Stochastische Modelle



Literatur

[1] Kerstein, A.R. One-dimensional turbulence: Model formulation and application to homogeneous turbulence, shear flows, and buoyant statistical flows. *J. Fluid Mech.*, **392**, 277-334, (1999).

[2] Mellado, J. P., Stevens, B., Schmidt, H., Peters, N., Buoyancy reversal in cloud-top mixing layers, *Q. J. Roy. Met. Soc.*, **135**, 963-978, DOI: 10.1002/qj.417, (2009).

[3] Mellado, J. P., Stevens, B., Schmidt, H., Peters, N., Two-fluid formulation of the cloud-top mixing layer, *Theoretical and Computational Fluid Dynamics*, DOI 10.1007/s00162-010-0182-x, (2010).

[4] Mellado, J. P., Stevens, B., Schmidt, H., Peters, N., Probability density functions in the cloud-top mixing layer, *New Journal of Physics*, **12**, 085010, (2010).

[5] Schmidt, H., Klein, R. Flexible flame structure modelling in a Flame Front Tracking Scheme, *Analysis and Numerics for Conservation Laws*, Editor G. Warnecke, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, (2005).

[6] Schmidt, H., Kerstein, A.R., Nédélec, R., Wunsch, S., Saylor, B. J., Numerical simulation of a laboratory analog of radiatively induced cloud-top entrainment, *Theoretical and Computational Fluid Dynamics*, (submitted 2011).

[7] Dietze, E., Mellado, J.P., Stevens, B., Schmidt, H., LES vs. DNS simulation of a two-dimensional evaporatively driven cloud-top mixing layer, *Theoretical and Computational Fluid Dynamics*, (submitted 2011).

[8] Jiménez, C., J. Quinard, J. Graña-Otero, H. Schmidt, G. Searby, Unsteady response of hydrogen and methane flames to pressure waves, *Combustion and Flame*, (submitted 2011).

[9] Schmidt, H., Jiménez, C., Numerical study of the direct pressure effect of acoustic waves in planar premixed flames, *Combustion and Flame*, **157**, 1610-1619, (2010).

[10] Moeck, J., Oevermann, M., Paschereit, O. C., Klein, R., Schmidt, H., A two-way coupling for modeling thermoacoustic instabilities in a flat flame Rijke tube, *Proc. Combust. Inst.*, **32**, 1199-1207, (2008).

[11] Oevermann, M., Schmidt, H., Kerstein, A. R., HCCI combustion modeling using detailed chemistry coupled to LEM-based advection, *Combustion and Flame*, **155**, 370-379, (2008).