



OTTO VON GUERICKE
UNIVERSITÄT
MAGDEBURG

VST

FAKULTÄT FÜR VERFAHRENS-
UND SYSTEMTECHNIK

Forschungsbericht 2014

Institut für Strömungstechnik und Thermodynamik

INSTITUT FÜR STRÖMUNGSTECHNIK UND THERMODYNAMIK

Universitätsplatz 2, 39106 Magdeburg
Tel. +49 (0)391 67 18654, Fax +49 (0)391 67 12840
thevenin@ovgu.de

1. Leitung

Prof. Dr.-Ing. D. Thévenin (geschäftsführender Leiter)
Prof. Dr.-Ing. F. Beyrau
Prof. Dr.-Ing. E. Specht

2. Hochschullehrer

Prof. Dr.-Ing. F. Beyrau (Lehrstuhl für Technische Thermodynamik)
Prof. Dr.-Ing. E. Specht (Lehrstuhl für Thermodynamik und Verbrennung)
Prof. Dr.-Ing. D. Thévenin (Lehrstuhl für Strömungsmechanik und Strömungstechnik)
Prof. Dr.-Ing. (i. R.) J. Schmidt
Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. (i. R.) H. J. Kecke
Jun.-Prof. Dr.-Ing. F. Herz

3. Forschungsprofil

Lehrstuhl für Technische Thermodynamik (Prof. Dr.-Ing. F. Beyrau).

- Experimentelle Untersuchungen von Wärme- und Stofftransportprozessen: Einlaufströmungen und Mikrokanäle; Mikro-Makro-Wechselwirkungen bei der Sprühkühlung; Wärmetransportprozesse im Verbrennungsmotor.
- Ein- und zweiphasiger Wärmeübergang unter Mikrosystembedingungen: Experimentelle Untersuchung des Wärmeübergangs in Kapillarrohren und Mikrokanalverdampfern bei ebener und Ringspalt-Geometrie; Betriebscharakteristik von Kompaktverdampfern und Dimensionierung.
- Wärmeübergang und Strahl-Wand-Wechselwirkungen bei Sprühprozessen: Messung des Wärmeübergangs mittels Infrarotthermografie und Korrelation mit den charakteristischen Sprühstrahlparametern; Mikromodell auf Basis von Einzeltropfen; PDA-Messungen zur Sprühstrahlcharakterisierung.
- Automotive: thermische Motorsimulation und Energiemanagement; Spraycharakterisierung und Gemischbildung sowie Wandfilmbildung bei der motorischen Verbrennung, Einsatz optischer Messmethoden (PDA, PIV, LIF/LIEF), Druckkammeruntersuchungen.
- Infrarotthermografie, Phasen-Doppler-Anemometrie, Thermographic Particle Image Velocimetry und Thermoanalyse: Anwendung und Weiterentwicklung von Methoden zur Bestimmung von Wärmeübergangskoeffizienten, Temperaturfeldern, Tropfengrößen- und Geschwindigkeitsverteilungen, sowie der thermischen Stoffwerte.

Lehrstuhl für Thermodynamik und Verbrennung (Prof. Dr.-Ing. E. Specht)

- Industrieofenprozesse: Wärmeübergangsbedingungen in Tunnelöfen, Wärmeübergangsmessungen in einem Versuchsdrehrohröfen, Simulation des Kalkbrennens in Schachtöfen, Simulation von Prozessen in Drehrohröfen. Simulation des Sinterns von Keramik in Tunnelöfen.
- Berechnung von Flammen. Optimierung von Brennern und Luftzuführung für Ausbrand, Flammenlänge, Vermischung und Vergleichmäßigung.
- Simulation des Abkühlvorganges bei der Härtung von Metallen. Modellierung der Plastizität, Berechnung von

Gefüge, Wärmespannungen und Verzug, Ermittlung einer Strategie zur verzugsfreien Abkühlung.

Lehrstuhl für Strömungsmechanik und Strömungstechnik (Prof. Dr.-Ing. D. Thévenin)

- Zweiphasenströmungen: experimentelle und numerische Untersuchung von partikel- und blasenbeladenen Strömungen, sowie von tropfenbeladenen Strömungen im Zweiphasenwindkanal (Anwendungen für Meteorologie, Automobilindustrie); Einsatz verschiedener optischer Messmethoden (LDV, PDA, PTV, PIV-LIF, Shadowgraphy, 3D-Videotechnik).
- Strömungen mit chemischen Reaktionen: Charakterisierung des Mischungsverhaltens in Mischern mit chemischen Reaktionen; Untersuchung der Flammen/Wirbel- und der Flammen/Akustik-Wechselwirkung; Eigenschaften von turbulenten Flammen in Brenner- und Motorensystemen; Vorhersage der Schadstoffemissionen in Brennern; plasma-gestützte Verbrennung.
- Strömungsmaschinen: Untersuchung der Strömung und der Instabilitäten in Laufrädern und Gehäusen, insbesondere im off-design-Betrieb; Betriebsverhalten und Wirkungsgrad von Pumpen, auch bei Förderung von Flüssigkeit-Gas-Gemischen; Berechnung und Optimierung unkonventioneller Systeme (Savonius- und Darrieus-Turbinen, Tesla-Turbinen und -Pumpen...); Validierung von Strömungsberechnungsverfahren.
- Biomedizinische und bioverfahrenstechnische Strömungen (z.B. Hämodynamik zerebraler Aneurysmen, Wave-Bioreaktoren).
- Eigenschaften von Flüssigkeiten: Rheologie, Widerstandsverminderungsprozesse in Suspensionen, hydraulischer Transport.
- Entwicklung numerischer Methoden und Computerprogramme für die Simulation laminarer und turbulenter 3D-Strömungen, evtl. mit Berücksichtigung chemischer Reaktionen; Kopplung mit einer Optimierungsschleife.
- Anwendung und Weiterentwicklung optischer Messmethoden: PIV; LIF und Two-Tracer LIF; LDA/PDA; Rayleigh; Shadowgraphy; Dreifarben Particle Tracking Velocimetry; quantitative Spezies-Messungen in reaktiven Strömungen; Filmdickenmessung; simultane quantitative Messungen (z.B. PIV-LIF, Zweiphasen-PIV).

4. Serviceangebot

Wir bieten unter anderem:

- Experimentelle Bestimmung und numerische Berechnung von Um- und Durchströmungsfeldern in ruhenden und rotierenden Systemen, bei Ein- und Zweiphasenströmungen
- 3D-Simulation des Strömungs-, Konzentrations- und Temperaturfeldes mit CFD-Programmsystemen
- Druckverlust- bzw. Durchflußbestimmung, Kennwertermittlung für Durchströmungselemente
- Rheologische Untersuchungen, Fließverhaltensbestimmung von Flüssigkeiten, Suspensionen und nicht Newtonschen Fluiden
- Numerische Strömungs- und Temperaturfeldberechnungen, Analyse und Bewertung von Wärmetransportvorgängen
- Infrarotthermografische Untersuchungen mit hoher örtlicher und zeitlicher Auflösung
- Untersuchung von Intensivkühlprozessen und Kühlstreckenauslegung
- Messung der Betriebscharakteristik von Klein- und Mikro-Wärmeübertragern bei ein- und zweiphasigem Betrieb
- Durchführung von Thermoanalysen (simultane thermogravimetrische und kalorische Messungen, TG, DTA, DSC, LFA) bis 1600 °C
- Messung von Geschwindigkeitsverteilungen sowie Partikelgrößen- und -dichteverteilungen (2 Komponenten LDA und PDA, Shadowgraphy)
- Messungen mit autonomen Sonden in Industrieanlagen
- Düsenuntersuchungen (Sprühstrahlcharakteristiken und Wärmeübergang, insbesondere an hoch erhitzten Oberflächen) sowie Ermittlung von Sprühstrahl-Wand-Wechselwirkungen
- Spraycharakterisierung bei der motorischen Verbrennung mit optischen Messtechniken (PDA, PIV, LIF/LIEF)
- Berechnung der Spannungen, der Gefügezusammensetzung und der Formänderung bei der Kühlung von Metallen
- Numerische und experimentelle Prozesssimulation in Schacht-, Drehrohr- und Rollenöfen

5. Methoden und Ausrüstung

Am Institut stehen hochqualitative Messmethoden und numerische Simulationsprogramme zur Verfügung. Details hierzu finden Sie auf den jeweiligen Internetseiten der Lehrstühle.

6. Kooperationen

- Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg
- Prof. Andreas Seidel-Morgenstern, MPI Magdeburg
- Prof. Bernhard Preim, Inst. für Simulation und Grafik, FIN
- Prof. Georg Rose, Lehrstuhl für Medizinische Telematik und Medizintechnik, FEIT
- Prof. Gunther Brenner, T.U. Clausthal
- Prof. Jens Strackeljan, IFME
- Prof. Kai Sundmacher, MPI Magdeburg
- Prof. Klaus Tönnies, Inst. für Simulation und Grafik, FIN
- Prof. Martin Skalej, Zentrum für Radiologie, FME
- Prof. Szilard Szabo, University of Miskolc (Ungarn)
- Prof. Udo Reichl, MPI Magdeburg
- Prof. Ulrich Maas (KIT, Technische Thermodynamik)
- Prof. Uwe Riedel, Univ. Stuttgart & DLR
- Prof. Volker John, Freie Universität Berlin
- Volkswagen AG Wolfsburg

7. Forschungsprojekte

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Dominique Thévenin

Projektbearbeiter: Dipl.-Ing. Philipp Berg, Dipl.-Ing. Christoph Roloff, PD Dr.-Ing. Gábor Janiga

Kooperationen: Prof. Bernhard Preim, Inst. für Simulation und Grafik; Prof. Georg Rose, Lehrstuhl für Medizinische Telematik und Medizintechnik, FEIT; Prof. Martin Skalej, Zentrum für Radiologie, FME

Förderer: Industrie; 01.08.2012 - 30.10.2014

Blutflussquantifizierung

Thema dieses Projekts ist die Quantifizierung von Blutfluss in Gefäßen auf Grundlage angiographischer Bilddaten. Aus klinischer Sicht kann das beispielsweise bei der Behandlung von Stenosen oder Aneurysmen eine wichtige Rolle spielen. Hierbei sollen sowohl 2D DSA Serien (bei fixer Angulation des C-Bogens) als auch 3D Datensätze basierend auf geeigneten Rotationsangiographien verwendet werden. Zugrundeliegende Algorithmen zur Flusssschätzung sollen zunächst unter Verwendung von Phantomen, Patientendaten (offline, retrospektive Analyse) und Flussmessgeräten validiert werden. Es erfolgt außerdem eine Validierung der bildbasierten Ergebnisse unter Verwendung von Flusskathetern, Doppler-Ultraschallmessungen und Particle Tracking Velocimetry (PTV).

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Dominique Thévenin

Projektbearbeiter: M.Sc. Bernhard Linseisen

Förderer: Industrie; 01.08.2013 - 31.12.2014

CFD-Simulation einer Helium-Leckage und Konsequenzen für die Sicherheit

Bei sehr komplexen experimentellen Anlagen ergeben sich zwangsläufig viele Fragestellungen, die eine direkte Auswirkung auf Sicherheitsvorkehrungen haben. Insbesondere ist es bis jetzt nicht endgültig geklärt, welche Auswirkungen einer Helium-Leckage für ggf. anwesende Mitarbeiter, zum Beispiel in einem unterirdischen Tunnel, haben könnte. Genau diese Frage soll im Rahmen des vorliegenden Projektes geklärt werden. Vorrangiges Ziel dieses Forschungsprojektes ist es daher, auf Basis der CFD (Computational Fluid Dynamics) eine Sicherheitsanalyse für die Konsequenzen einer Helium-Leckage durchzuführen.

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Dominique Thévenin
Projektbearbeiter: M.Sc. Lisa-Maria Wagner
Kooperationen: Prof. Matthias Kraume, FG Verfahrenstechnik, TU Berlin
Förderer: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG); 01.01.2014 - 31.12.2018

Dispersion und Koaleszenz in gerührten mizellaren Dreiphasensystemen

Apolare Edukte können in mizellaren Lösungsmittelsystemen mit wasserlöslichen Katalysatoren umgesetzt werden. Um eine ökonomisch sinnvolle Reaktionsgeschwindigkeit und eine schnelle Abscheidung des Produkts zu erreichen, müssen die Bedingungen so eingestellt werden, dass sich ein Dreiphasensystem bildet. Die Tropfengrößenverteilungen (TGV) der durch den Rührer erzeugten bidispersen Systeme sind für beide Prozessschritte entscheidend, wurden aber bisher noch nicht charakterisiert. Diese TGV sollen durch Erweiterung experimenteller (AG Kraume) und numerischer Methoden (AG Thévenin) bestimmt werden.

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Dominique Thévenin
Projektbearbeiter: Dipl.-Ing. Jan Meyer, Dr.-Ing. Bernd Wunderlich
Förderer: BMWi/AIF; 01.12.2011 - 31.12.2014

Entwicklung einer neuen Pumpen-Zentrifuge zur Trennung von flüssigen Stoffmengen auf Basis einer Kreiselpumpe mit Pitot-Rohren

Ziel des Projektes ist es, eine neue Technologie zur Trennung von Flüssigkeitsgemischen zu entwickeln. Ausgehend von einer Kreiselpumpe mit Pitot-Rohr wird ein neuartiges Verfahren entwickelt, das die Trennung von Flüssigkeitsgemischen wie z.B. Öl/Wasser, mit einer wesentlich höheren Reinheit der getrennten Stoffe, einer höheren Leistungsfähigkeit, und zu geringeren Kosten, im Vergleich mit bisher angewendeten Verfahren bzw. Technologien, ermöglicht. Darüber hinaus sollen die Prozessparameter an die Gemischzusammensetzung angepasst werden können. Dieses Projekt wird auf Basis von Computersimulation/CFD durchgeführt und mit experimentellen Messungen am Prototyp validiert.

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Dominique Thévenin
Projektbearbeiter: Dipl.-Ing. Christoph Roloff
Kooperationen: Prof. Szabo Szilard, Technical University of Miskolc (Ungarn)
Förderer: Deutscher Akademischer Austauschdienst e.V. (DAAD); 01.01.2014 - 31.12.2015

Entwicklung eines innovativen Turbulenzgenerators

Two types of turbulence generators are applied in practice: passive and active generators. Compared to the passive ones, the advantage of the active generators is the higher possible turbulence level and flexibility. However, the active generators are much more expensive than the passive ones. Therefore, our aim is to develop an innovative active generator that is much cheaper than the presently applied ones but obtaining the same or even higher turbulent intensity. It will be the appropriate instrument to convert main flows with low turbulence intensity into flows with suitably adjusted turbulent properties.

Widely used laser-based measurement techniques developed in the past decades (e.g. PIV, PTV, LDV, CTA) provide the opportunity to investigate such turbulence generators and perform pointwise or planar measurements at high sampling rate for the rapidly changing flow quantities.

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Dominique Thévenin
Projektbearbeiter: Dipl.-Ing. Martin Theile
Kooperationen: Prof. Egon Hassel, Lehrstuhl für Technische Thermodynamik, Univ. Rostock
Förderer: Industrie; 01.10.2013 - 30.09.2014

Entwicklung von Spraymodellen für die mehrphasige Strömungssimulation in Ottomotoren

Um weiteres Optimierungspotential bei Otto-Motoren aufzudecken und um zukünftige Entwicklungen noch schneller und sicherer durchführen zu können, wäre es sehr vorteilhaft, wenn auf Basis etablierter Simulationsprogramme zuverlässige und realistische aber relativ schnelle Simulationen turbulenter Sprays möglich wären.

Vorrangiges Ziel dieses Projektes ist es daher, entsprechende Modelle ggf. einzubauen und für eine Referenzkonfiguration zu testen und zu vergleichen, um erste Aussagen bzgl. der Genauigkeit und der damit

verbundenen numerischen Komplexität (Rechenzeit, Hauptspeicherplatz) abzuleiten. Endziel dieses Projektes ist es, das Verständnis und die Quantifizierung der zyklischen Schwankungen in Verbrennungsmotoren auf Basis der CFD zu ermöglichen.

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Dominique Thévenin

Projektbearbeiter: M.Sc. Abouelmagd Abdelsamie

Kooperationen: Prof. Ulrich Maas (KIT, Technische Thermodynamik)

Förderer: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG); 01.08.2010 - 31.07.2015

Ermittlung der Zündwahrscheinlichkeit in turbulenten Strömungen anhand Direkter Numerischer Simulation

Die Bedingungen, die zu einer erfolgreichen Selbstzündung führen, wurden in der Vergangenheit vorwiegend experimentell oder mit stark vereinfachten Modellen ermittelt. Eine quantitative numerische Vorhersage erfordert eine sehr gute Beschreibung der turbulenten Strömungseigenschaften zusammen mit entsprechenden chemischen, diffusiven und thermodynamischen Modellen. Dies führt zu extrem hohen Rechenzeiten, so dass dieser Lösungsweg bis jetzt für eine praktische Verwendung zur sicherheitstechnischen Beurteilung unpraktikabel bleibt. Es ist deswegen erforderlich, entsprechende Untersuchungen weiterzuführen, insbesondere mit dem Ziel, validierte, reduzierte Modelle zu entwickeln. Dies wird in dem vorliegenden Projekt auf Basis direkter numerischer Simulationen mit einer exakten Beschreibung aller physikalisch-chemischen Eigenschaften erfolgen.

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Dominique Thévenin

Projektbearbeiter: Dr.-Ing. Thomas Hagemeyer

Förderer: Industrie; 01.04.2014 - 31.01.2015

Experimentelle Untersuchung der für die Fahrzeugverschmutzung relevanten Benetzung und Filmbildung von Wasser auf unterschiedlichen Werkstoffen

Bei der Entwicklung von Fahrzeugen ist die Fahrzeugverschmutzung, insbesondere wegen Regen, von großer Bedeutung. Auch bei starkem Regen und Wind darf die Sicht des Fahrers nicht beeinträchtigt werden. Die bei diesem Vorgang auftretenden physikalischen Vorgänge sind von hoher Komplexität (Instationarität, Turbulenz, Mehrphasenströmung, Filmbildung und -zerfall). Die numerische Modellierung dieser Phänomene ist noch nicht mit hinreichender Genauigkeit erfolgt. Dies ist u. a. ein Hinweis darauf, dass zuverlässige experimentelle Messungen, die für eine Entwicklung und Validierung numerischer Modelle unentbehrlich sind, noch nicht abschließend durchgeführt wurden. Ziel dieses Projekts ist es daher, solche experimentelle Daten grundlegender Natur zu erfassen, mit denen eine für die Praxis anwendbare Simulationskette quantitativ validiert werden kann. Hierfür sollen Grundlagenversuche bezüglich der Benetzung, Film- und Rinnsalbildung für unterschiedliche Werkstoffe mit unterschiedlichen Anströmbedingungen durchgeführt werden, um eine verlässliche Datenbasis für die Validierung von Berechnungsmodellen zu erarbeiten.

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Dominique Thévenin

Projektbearbeiter: M.Sc. Nils Lichtenberg

Förderer: Industrie; 01.08.2011 - 30.09.2014

Mathematische Modellierung und experimentelle Untersuchung der Strömung in einem Gießcaster

Zur energieeffizienten Herstellung von Stahl soll ein Gießverfahren optimiert werden. Hierbei wird die Schmelze aus der Pfanne direkt der Gießmaschine zugeführt. Die Zuführung soll strömungstechnisch optimiert werden. Hierbei sollen möglichst wenig Gase und Feuerfestmaterial eingeblasen werden. Die Strömung soll folglich eine geringe Turbulenz aufweisen.

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Dominique Thévenin

Projektbearbeiter: Dipl.-Ing. Christoph Roloff

Kooperationen: Prof. Jürgen Tomas, Lehrstuhl Mechanische Verfahrenstechnik, Otto-von-Guericke-Universität

Förderer: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG); 01.07.2013 - 30.06.2015

Modellierung und dynamische Simulation mehrstufiger Partikel-Querstromtrennungen in einem turbulenten Fluidstrom

Die experimentelle Untersuchung, Modellierung, dynamische Simulation und Bewertung mehrstufiger Partikel-Querstromtrennungen in einem turbulenten Fluidstrom wurde gezielt für das Schwerpunktprogramm "DynSim"

ausgewählt, weil dieser typische Trennprozess für die Abtrennung einer großen Zahl von Rohstoffen, Abfällen, Zwischen- und Nebenprodukten in vielen Branchen der stoffwandelnden Wirtschaft eingesetzt wird. Trotz seiner nachweislich guten Prozessleistungen ist damit immer noch eine Reihe ungelöster verfahrenstechnischer Problemstellungen verbunden, wie z.B. fluktuierende Luftströmung und Partikelbelastungen im Trennraum, ausgeprägte stochastische Prozessdynamik sowie resultierende mangelhafte Prozessgüte (Trennschärfe) und Produktqualität (Reinheit). Die nachhaltige Lösung dieser Probleme erfordert die Bereitstellung physikalisch begründeter, multiskaliger und zur Vorhersage geeignete Modelle für die Bewertung und Simulation der Prozessdynamik vernetzter stochastischer Querstrom-Trennungen, die sich künftig bequem in Fließschema-Simulationen der Feststoffverfahrenstechnik einbinden lassen. Im Einzelnen werden zeitlich und örtlich aufgelöste, analytische und numerische Modelle für die Prozesskinetik und das vernetzte dynamische Querstrom-Trennverhalten der Partikel hinsichtlich ihrer Trennmerkmale Korngröße, -dichte und -form entwickelt. Parallel dazu werden effiziente numerische Simulationen des turbulenten Strömungsfeldes innerhalb des Trennapparates durchgeführt. Stationäre sowie instationäre, Reynolds-gemittelte Navier-Stokes-Gleichungen werden mit den Bewegungsgesetzen der Partikeltranslation und -rotation dank der Diskreten-Elemente-Methode, gekoppelt. Damit werden die Partikel-Bewegungsbahnen in der echten Geometrie der abgeknickten Kanalelemente berechnet. Nach ersten, einseitig gekoppelten Simulationen mit einfachen Wandmodellen werden realistischere Simulationen unter Berücksichtigung physikalischer Partikel-Wand- und Partikel-Partikel-Kollisionen durchgeführt. Die quantitative Validierung der eingesetzten Modelle erfolgt über zeitlich und dreidimensional örtlich aufgelöste Messungen im Trennapparat auf Basis der Particle Tracking Velocimetry. Bei Bedarf können für die Modellüberprüfung Direkte Numerische Simulationen der Zweiphasenströmung auf Mikro-Ebene eingesetzt werden. Die verfahrenstechnische und energetische Prozessgüte (Trennschärfe, spezifischer Energieeintrag) und Produktqualität der Trennversuche und numerischen Experimente werden modellgestützt bewertet und optimiert. Dem folgen in der zweiten Förderperiode die Berechnung und Bewertung dynamischer Veränderungen der Prozessgüte und Produktqualität bei sprunghaftigen und harmonischen Schwankungen des Aufgabestromes, der Beladungen und der Trennmerkmale Korngröße, -dichte und -form. Abschließend werden in der dritten SPP-Phase diese Bewertungs- und Simulationsmodelle in ein multiskaliges, modular aufgebautes Prozess-Systemmodell eingebettet.

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Dominique Thévenin

Projektbearbeiter: Dipl.-Ing. László Daróczy

Förderer: BMWi/AIF; 01.07.2013 - 31.08.2015

Multivariante Optimierung des Profils eines H-Darrieus-Rotors mit geraden Blättern auf der Grundlage genetischer und hybrider Algorithmen zur Strömungssimulation

Dieses Projekt zielt auf die gemeinsame, arbeitsteilige Entwicklung einer Kleinwindenergieanlage mit vertikalem Rotor unter Verwendung eines H-Darrieus-Rotors. Dieser ermöglicht in der geplanten Dimensionierung eine Installation ohne genehmigungsrechtliche Zulassung der Überwachungsbehörden und soll streng nach der Zulassungsfreiheit zugrundeliegenden DIN /VDE 61400-2 ausgelegt sein. Die Zielstellung erfordert technologische und materialtechnische Neuerungen bei der Produktgestaltung, um vorrangig die extrem hohen Anforderungen der auf 20 Jahre zu gewährleistenden Festigkeitseigenschaften zu erreichen. Insgesamt wird eine Ausführung der Kleinwindanlage geplant, die für die dezentrale Eigenversorgung geeignet ist, zulassungsfrei ist sowie im privaten und kleingewerblichen Betrieb mit guter Wirtschaftlichkeit zu handhaben ist.

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Dominique Thévenin

Projektbearbeiter: Dipl.-Ing. Philipp Berg, PD Dr.-Ing. Gábor Janiga

Kooperationen: Prof. Bernhard Preim, Inst. für Simulation und Grafik, FIN; Prof. Georg Rose, Lehrstuhl für Medizinische Telematik und Medizintechnik, FEIT; Prof. Martin Skalej, Zentrum für Radiologie, FME

Förderer: Land (Sachsen-Anhalt); 01.01.2012 - 31.12.2014

Numerische Modellierung von Strömungen in Aneurysmen

Die Behandlung von Aneurysmen (Aussackungen an Gefäßen im peripheren Gefäßsystem) ist im Allgemeinen eine Aufgabe der Gefäßchirurgie. Die Behandlung von intrazerebralen Aneurysmen wird inzwischen möglichst minimal-invasiv durchgeführt, da die Ergebnisse im Vergleich zu einer offenen Operation besser sind. Dabei wird ein Katheter über das periphere Gefäßsystem in den Kopf und dann in das Innere des Aneurysmas vorgeschoben und dieses mit Platindraht ausgefüllt (coiling), mit dem Ziel, den Bluteinstrom in das Aneurysma soweit zu reduzieren, dass

eine Thrombose und im weiteren Verlauf eine Fibrose des Aneurysmas eintritt. Eine neue Therapiestrategie ist das Einbringen von Implantaten wie z.B. Stents in das Trägergefäß auf Höhe des Aneurysmas, so dass der Blutfluß im Bereich der Aussackung qualitativ und quantitativ so verändert wird, dass der Hauptblutstrom am Aneurysma vorbeiführt und die Wandbelastung unter den kritischen Wert reduziert wird. Aufgrund des extrem hohen Eingriffsriskos sind jedoch derartige Interventionen nur indiziert, wenn bereits eine Aneurysmaruptur eingetreten ist oder diese mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit zu erwarten ist. Die Beurteilung des Risikos einer Ruptur eines Aneurysmas ist daher ein zentrales Problem der präoperativen Diagnostik. Dafür muss der Blutfluss im Bereich des Aneurysmas zuverlässig analysiert werden können und im Hinblick auf eine zukünftige Verbesserung der Behandlung eine mögliche positive Beeinflussung durch existierende und noch zu entwickelnde Implantate valide abgeschätzt werden. Die Entwicklung dafür geeigneter Methoden ist die Kernaufgabe des vorliegenden Forschungsprojektes.

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Dominique Thévenin

Projektbearbeiter: M.Sc. Timo Oster

Kooperationen: Prof. Holger Theisel, Inst. für Simulation und Grafik

Förderer: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG); 01.10.2014 - 30.09.2017

On-the-fly Postprocessing von Features aus Strömungsdaten von Direkten Numerischen Simulationen

Direkte numerische Simulation (DNS) ist der derzeit wohl bestmögliche Ansatz zur numerischen Simulation von turbulenten Strömungen. DNS-Ansätze für hohe Reynolds-Zahlen benötigen allerdings Milliarden von Gitterpunkten und werden über Tausende von Zeitschritten berechnet. Werden noch komplexere Strömungen zusammen mit chemischen Reaktionen behandelt, muss eine Vielzahl von Variablen in Raum und Zeit analysiert und korreliert werden, um reduzierte Modelle zu erhalten und zu testen. Dies führt zu riesigen Mengen von Rohdaten (derzeit Terabytes oder sogar Petabytes), die in akzeptabler Zeit weder gespeichert noch über Netzwerk übertragen werden können. Es ist zu erwarten, dass in naher Zukunft der Aufwand zur Übertragung und Speicherung der Daten den Aufwand zu deren Erzeugung übersteigen wird, und dass die Datenspeicherung/Übertragung zum Flaschenhals der DNS wird.

Um dies zu lösen, wird ein Postprocessing der Strömungsdaten vorgeschlagen, welches gleichzeitig und simultan zur DNS erfolgt. Dieses erfolgt in Form einer on-the-fly Feature-Extraktion: relevante Features der Strömungs- und Skalarfelder werden parallel zur DNS extrahiert und abgespeichert, so dass die Strömungs-Rohdaten selbst gar nicht mehr gespeichert werden müssen. Dieser Ansatz hat das Potential, dass nur noch ein Bruchteil der ursprünglichen Datenmenge gespeichert werden muss, ohne wesentliche Information über der Strömung zu verlieren. Um dies umzusetzen, ist jedoch eine Reihe von Herausforderungen in der Datenanalyse, der Feature Extraktion, der Parallelisierung und der numerischen Simulation zu lösen.

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Dominique Thévenin

Projektbearbeiter: M.Sc. Lisa-Maria Wagner, Dr.-Ing. Katharina Zähringer

Kooperationen: Prof. Kai Sundmacher, MPI Magdeburg

Förderer: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG); 01.01.2014 - 31.12.2018

Optimale Reaktionsführung in flüssigen Mehrphasensystemen

In diesem Projekt erfolgen der Aufbau und die Inbetriebnahme eines segmentierten Mehrphasenreaktors mit ortsverteilter Konzentrations- und Temperaturführung im Miniplant-Maßstab, als technische Approximation der optimalen Reaktionsführung für die Hydroformylierung von 1-Dodecen in TMS. Mit Hilfe experimenteller Charakterisierung des reaktionstechnischen bzw. transportphysikalischen Reaktorverhaltens wird ein detailliertes Reaktormodell entwickelt, welches für die modellgestützte Reaktoroptimierung genutzt wird.

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Dominique Thévenin

Projektbearbeiter: M.Sc. Toni Eger, PD Dr.-Ing. Gábor Janiga

Förderer: Industrie; 01.07.2014 - 30.06.2017

Simulationsbasierte Optimierung der Kühlung elektrischer Generatoren

Um elektrische Generatoren weiter zu verbessern, ist es notwendig, innovative Simulationsmethoden zu entwickeln, mit denen flexibel und effizient optimale Konfigurationen sehr früh während der Entwicklungsphase unter Berücksichtigung aller relevanten Bedingungen (Abmessungen, Fertigungsprozess, Kosten...) identifiziert werden können. Mit dem

gleichen Werkzeug können auch eventuell auftretende Probleme bei einer späteren Entwicklungsstufe schnell gelöst werden.

Solche durchgreifenden Verbesserungen des im Betrieb verwendeten Simulationsmodells erfordern den Einsatz einer Optimierung auf Basis der numerischen Strömungssimulation (*Computational Fluid Dynamics*, CFD). Vorrangiges Ziel dieses Forschungsprojektes ist es daher, einen effizienten und zielführenden Simulationsprozess auf Basis relevanter Indikatoren zu entwickeln. Anschließend kann auf Basis der CFD-O eine optimale Auslegung für die Kühlung elektrischer Generatoren abgeleitet werden.

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Dominique Thévenin

Projektbearbeiter: M.Sc. Nils Lichtenberg

Förderer: Industrie; 01.08.2011 - 31.12.2014

Strömungstechnische Optimierung eines Verteilers für Stahlschmelze

Für eine effiziente und kostengünstige Herstellung von hochwertigen Stahlprodukten sollen kleine Mengen zusätzlicher Komponenten in die Schmelze homogen eingebracht werden. Daraus resultieren mindestens zwei Schwierigkeiten:- die zugeführten Komponenten müssen binnen weniger Sekunden in der Schmelze homogen verteilt werden;- für den Eintrag in die Schmelze ist ein spezielles Verfahren hierfür zu entwickeln, das bei hohen Umgebungstemperaturen betrieben werden kann.

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Dominique Thévenin

Projektbearbeiter: M.Sc. Kiryl Pliavaka, Dr.-Ing. Katharina Zähringer

Kooperationen: Prof. Uwe Riedel, Univ. Stuttgart & DLR

Förderer: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG); 01.07.2011 - 30.06.2014

Verbrennung erneuerbarer Brennstoffe unter Zuhilfenahme nicht-thermischer Plasmas

Die Bedeutung nicht-thermischer Plasmas für Verbrennungsanwendungen wurde bereits in verschiedenen Projekten gezeigt, die hauptsächlich Wasserstoff- oder Methanflammen verwendeten. Ein Hauptproblem blieb jedoch bisher ungelöst: die Anregung der reagierenden Spezies durch elektronische Stöße funktioniert gut bei Unterdruck, wird aber, mit den vorhandenen Plasmageneratoren, nicht bei erhöhtem Druck oder sogar Atmosphärendruck erreicht. Hieraus ergaben sich folgende Zielsetzungen,:

1. Entwicklung, Aufbau und Charakterisierung eines atmosphärischen Brenners mit nicht-thermischer Plasmaunterstützung,
2. Quantifizierung der resultierenden Flammenveränderungen, der Verbrennungs-effizienz und Emissionsreduktion.

Als wichtigstes Ergebnis der experimentellen Arbeiten kann festgehalten werden, dass es im Rahmen dieses Projektes erstmals gelang unter atmosphärischen Bedingungen elektronisch angeregten Sauerstoff mittels Plasmaanregung darzustellen, diesen spektroskopisch nachzuweisen und als Oxydationsmittel einem Brenner zuzuführen.

Die dadurch hervorgerufenen Veränderungen typischer Flammenfrontmarker (OH, CH, C₂) wurden daraufhin mittels spontaner Emission und Laser-induzierter Fluoreszenz (LIF) quantifiziert. Mit zunehmender Plasmastärke kann bei all diesen Messungen eine Zunahme der Intensität der betrachteten Moleküle und somit der Flammenaktivität festgestellt werden. Diese Zunahme bewegt sich im Allgemeinen im Bereich von 10 bis 20%, verglichen mit dem Fall ohne Plasma. Mittels Raman-Messungen konnten auch die Hauptkomponenten in der Flamme bestimmt werden. Hierbei ergaben sich einige interessante Ergebnisse. Insbesondere konnte hier die Aktivität des Singlet-Sauerstoffs bei nicht-gezündeten Methan-Sauerstoff-Mischungen nachgewiesen werden. So erscheint hier eindeutig auch das Spektrum der Verbrennungsprodukte H₂O und CO₂, deren Intensität auch mit zunehmender Plasmaleistung steigt, obwohl keine Flamme vorhanden ist.

Bei Wasserstoff-Flammen war eine verstärkte Luftzufuhr aus der Umgebung in das Zentrum der Flamme zu beobachten, was zu Veränderungen in der Flammenstruktur führt. Dies kann auch bei einer Erhöhung der Plasmaleistung beobachtet werden. Im Gegensatz zu Methan, kann bei Wasserstoff im ungezündeten Fall kein Produkt (H₂O) festgestellt werden.

Auch die Ergebnisse von Geschwindigkeitsmessungen in den ungezündeten und gezündeten Mischungen, zeigen die Auswirkungen des Plasmas auf die Flammenstruktur. Das Strömungsfeld wird durch das Plasma beschleunigt und stärkere Turbulenzen treten auf. Dies führt dann zur stärkeren Zufuhr der Umgebungsluft.

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Eckehard Specht

Projektbearbeiter: M.Sc. Mohamed A. Karali; weiterer Projektleiter: Jun.-Prof. Dr.-Ing. Fabian Herz

Förderer: BMWi/AIF; 01.07.2012 - 30.06.2015

Analyse und Modellierung des transversalen Wärmetransportes in das Schüttbett von direkt und indirekt beheizten Drehrohröfen

Grundsätzliches Forschungsziel ist es, durch ein mathematisches Modell ergänzt um Validierungsversuche im halb-/technischen Maßstab, die wichtigen, aber prinzipiell nicht messbaren axialen Temperaturverläufe des Schüttgutes, des Gases und der Feuerfestauskleidung zu verstehen und zu quantifizieren. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der modelltechnischen Beschreibung des axialen Schüttguttransportes, der axialen Dispersionsvorgänge, der transversalen Schüttbettbewegung und der Wärmeübergangsmechanismen.

Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse soll der Einfluss der Auslegungsparameter: Durchmesser, Länge, Neigung des Rohres

der Betriebsparameter: Drehzahl des Rohres, Durchsatz des Schüttgutes und des Gases der Materialparameter: Partikeldurchmesser, Bewegungsverhalten, thermo-physikalische Stoffwerte (Wärmeleitfähigkeit, spezifische Wärmekapazität, Schüttdichte) und der Beheizungsparameter: Art des Brennstoffes, Flammenlänge, Verteilung der Energiedichte bei indirekter Beheizung analysiert werden.

Auf Grund der Vielzahl der Parameter sollen mit dem Modell auf theoretischem Wege die Bedingungen ermittelt werden, mit denen die Qualität von Produkten verbessert und industrielle Prozesse optimiert werden können. Weiterhin sollen mit den Ergebnisse Drehrohröfen und deren Prozesse genauer und damit sicherer ausgelegt werden können. Das Modell soll dabei in seiner Handhabbarkeit den industriellen Anwendungen entsprechen.

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Eckehard Specht

Projektbearbeiter: M.Sc. Tino Redemann

Förderer: BMWi/AIF; 01.07.2012 - 30.06.2014

Energieeffizienzsteigerung von Tunnelöfen durch Erhöhung der konvektiven Wärmeübertragung durch Umwälzeinrichtungen und optimierte Besatzstapel

Im Rahmen des geplanten Forschungsvorhabens soll mit Hilfe von Umwälzventilatoren auf möglichst einfache Weise eine Verbesserung der konvektiven Wärmeübertragung in den Tunnelöfen der Ziegelindustrie erreicht werden. Durch die höhere Wärmeübertragung kann ein beträchtlicher Teil an fossiler Energie eingespart werden. Dafür muss jedoch elektrische Energie für die Ventilatoren zusätzlich aufgewendet werden. Für die gesamte aufzuwendende Primärenergie muss daher das Minimum gefunden werden. Ziel des Vorhabens ist somit ein Konzept zu entwickeln, vorhandene Tunnelöfen relativ einfach umrüsten zu können, so dass eine schnelle Umsetzung der Ergebnisse in der Industrie zu erwarten ist und teure Neubauten von Öfen nicht notwendig sind. Durch die damit einher gehende Optimierung der Umwälzeinrichtungen sollen Anlagenbauern und Ziegler Grundlagen zur Verfügung gestellt werden, die es ermöglichen, bei Neu- und Umbauten von Tunnelöfen entsprechenden Einfluss auf den Energieverbrauch und damit auf die Wirtschaftlichkeit der Ziegelproduktion zu nehmen, ohne die Produktqualität zu beeinträchtigen.

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Eckehard Specht

Projektbearbeiter: M. Sc. X. Liu; weiterer Projektleiter: Jun.-Prof. Dr.-Ing. Fabian Herz

Förderer: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG); 01.10.2012 - 30.09.2015

Misch- und Wärmeübergangsvorgänge in Drehrohröfen

Zur Simulation von Prozessen in Drehrohröfen werden die Feststoffbewegung, der Wärmeübergang und die Verbrennung simuliert. Für die Vermischung von Hubregion und Kaskadenschicht wurden vereinfachte Modelle auf Basis einfacher Stoffwerte, wie z. B. Schüttwinkel, entwickelt. Der Wärmetransport in der bewegten Schicht wird mit einem Versuchsdrehrohröfen mit 5 m Länge und einem Innendurchmesser von 400 mm experimentell untersucht. Die Verbrennung und Flammenform wird mit CFD simuliert.

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Eckehard Specht
Projektbearbeiter: M.Sc. Bassem Hallak, M.Sc. Mohammadpour
Förderer: BMWi/AIF; 01.01.2012 - 31.12.2015

Simulation des Kalkbrennens in Schachtöfen

Die axialen Temperaturverläufe des Gases, der Kalkpartikel und der Kalzination werden berechnet. Der Einfluss des Brennstoffs, der Steinqualität, der Steingrößenverteilung, des Durchsatzes und der Ofengeometrie werden untersucht.

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Eckehard Specht
Projektbearbeiter: Dr.-Ing. Ashok Nallathambi
Förderer: Industrie; 01.12.2010 - 31.12.2014

Simulation of Direct Chill Casting of Metals

Für den Erstarrungsprozess beim Strangguss von NE-Metallen werden die Temperatur-, Gefüge-, Spannungs- und Verzugfelder simuliert. Der Einfluss der örtlichen Kühlbedingungen beim Aufspritzen von Wasser und beim Übergießen mit Wasserstrahlen aus der Kokille wird untersucht. Daraus werden optimale Kühlstrategien entwickelt.

Projektleiter: Prof. Dr. Frank Beyrau
Projektbearbeiter: M.Sc. P. Dragomirov, Dr. Ing. J. Sauerhering
Förderer: Land (Sachsen-Anhalt); 01.01.2012 - 31.12.2014

COMO II: R1 Range Extender: Brennverfahren und Kraftstoffe

Die Applikation einer Verbrennungskraftmaschine als Range-Extender in einem Elektrofahrzeug bedarf einer Optimierung hinsichtlich der zu erwartenden Anforderungen in dem resultierenden Antriebsgesamtsystem. Im Rahmen des Projektes wurde für einen nicht aufgeladenen Dieselmotor das Gemischbildungs- und Brennverhalten an ausgewählten Betriebspunkten mittels optischer Messverfahren an einer Druckkammer sowie an einem Transparentmotor untersucht. Hieraus folgend konnte abschließend ein hinsichtlich der Emissionen und der Effektivität optimiertes Brennverfahren abgeleitet werden.

Projektleiter: Prof. Dr. Frank Beyrau
Förderer: Industrie; 01.01.2014 - 31.08.2014

Optische Untersuchungen an einem Transparentmotor

Für die Analyse innermotorischer Prozesse steht am IKAM ein aufgeladener, selbst zündender Transparentmotor zur Verfügung. Im Laufe des Jahres wurden an diesem Kolbenwandtemperaturmessungen bei variierenden Werkstoffen mittels UV-angeregter thermischer Phosphore, die Rußbildung bei variablen Muldengeometrien sowie die Spraybildung bei variablen Einspritzdrücken mittels Hochgeschwindigkeitskinematografie für verschiedene Auftraggeber untersucht.

Projektleiter: Prof. Dr. Frank Beyrau
Förderer: Industrie; 01.10.2014 - 30.09.2016

Untersuchung des Zerstäubungsverhaltens an 10MW Ölbrenner-Rücklaufdüsen

Die Untersuchung der Spraybildung an Ölzerstäuberdüsen mit dem Ziel einer Optimierung hinsichtlich der Partikelgrößen bei gegebenen Vorlaufdrücken ist Gegenstand dieses Projektes. Hierbei kommen Patternormessungen zur Bestimmung der Beaufschlagungsdichten, Highspeedkinematografie zur Analyse von Spraywinkel und Sprayzerfalldynamik sowie Phasen Doppler Anemometrie zur Ermittlung von Partikelgeschwindigkeiten und Durchmessern zur Anwendung. Die Untersuchungen werden mit Wasser durchgeführt, wobei ausführliche Voruntersuchungen zur Übertragbarkeit der Ergebnisse vorliegen.

Projektleiter: Prof. Dr. Jürgen Schmidt
Projektbearbeiter: Dipl.-Ing. Stephan Baer
Kooperationen: Prof. Dr. rer. nat. habil. Lutz Tobiska, FMA-IAN; Prof. Dr.-Ing. Eckehard Specht, FVST-ISUT
Förderer: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG); 01.04.2010 - 30.09.2014
Mikro-Makro-Wechselwirkungen von strukturierten Medien und Partikelsystemen (Graduiertenkolleg 1554, Teilprojekt: Wärmeübergang bei der Sprühkühlung)

Ein Themenbereich des Graduiertenkollegs befasst sich mit Festkörpern unter thermischer Beanspruchung. Bei stofflichen Veränderungen von Festkörpern sind die auf der Mikroebene stattfindenden Vorgänge in der Regel stark temperaturabhängig. Diese Vorgänge sind zudem mit Umwandlungsenthalpien verbunden. Zur gezielten Einstellung von stofflichen Eigenschaften müssen somit thermische Lasten erzeugt werden. Beispielsweise müssen Metalle von hohen Temperaturen definiert abgekühlt werden, um bestimmte Gefüge oder Härten zu erhalten. Hierfür benötigt man Kühlverfahren, mit denen gezielt lokale Wärmeübergangskoeffizienten eingestellt werden können. Besonders geeignet ist die Sprühkühlung, auf die sich die Arbeiten im Kolleg konzentrieren. Untersucht werden der Wärmeübergang und die Sprühstrahl-Wand-Wechselwirkungen auf der Mikro- und Makroebene im Bereich des Übergangs- und des stabilen Filmsiedens.

Projektleiter: Jun.-Prof. Dr.-Ing. Fabian Herz

Projektbearbeiter: weitere Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Eckehard Specht, Prof. Dr.-Ing. Viktor Scherer

Kooperationen: Prof. Dr.-Ing. Viktor Scherer, Ruhr-Universität Bochum

Förderer: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG); 01.06.2013 - 31.05.2015

Experimentelle und numerische Untersuchungen zur Herleitung eines dynamischen Schüttbettmodells für Drehrohre unter Berücksichtigung von Ver- und Entmischungsvorgängen

Es soll ein mathematisches Modell zur Beschreibung des Wärmetransportes innerhalb des Schüttbettes auf Grundlage der Analyse des Ver- und Entmischungsverhaltens entwickelt werden. Hierfür sollen an der OvGU Magdeburg experimentelle Untersuchungen an einer bereits vorhandenen Batch-Drehtrommel durchgeführt werden. Dabei werden unter verschiedenen Bedingungen Partikelfraktionen unterschiedlicher Körnung und Anfangstemperatur miteinander vermischt. Mittels bereits erprobter Messtechnik wird innerhalb der Schüttung der Temperaturengleich erfasst und daraus die Vermischung analysiert. An der Universität Bochum sollen mittels DEM-Simulationen die mikrostrukturellen Vorgänge innerhalb der Schüttung sichtbar gemacht werden. Die Kenntnis des individuellen Bewegungsverhaltens der Partikel ist notwendig zur Entwicklung physikalisch begründeter Wärmetransportmodelle. Die experimentellen Untersuchungen und die auf die Experimente ausgerichteten DEM-Simulationen sollen in Abhängigkeit von Geometriegrößen, Materialeigenschaften, Betriebsparametern und identifizierbaren Bewegungsunterschieden ausgewertet und anschließend in ein dynamisches, makroskopisches Modellierungskonzept überführt werden.

Projektleiter: PD Dr. Gábor Janiga

Projektbearbeiter: Kristin Kerst; Luís G. Medeiros de Souza

Kooperationen: apl. Prof. Dr. habil. Michael Mangold, Max-Planck-Institut für Dynamik komplexer technischer Systeme; Prof. Andreas Seidel-Morgenstern, MPI Magdeburg

Förderer: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG); 01.09.2013 - 31.08.2015

Simulation der Hydrodynamik und CFD-basierte Geometrie-Optimierung in Kristallisatoren

- Simulation des 3D konischen Kristallisators (Strömung und Partikel)
- Beschreibung der Partikelgröße entlang des Kristallisators
- CFD-basierte Optimierung des Kristallisators

Die Arbeiten erfolgen im Verbund mit der Arbeitsgruppe von Prof. Seidel-Morgenstern am MPI Magdeburg und der Arbeitsgruppe von apl. Prof. Mangold am MPI Magdeburg. Das Projekt ist Teil des DFG-Schwerpunktprogramms SPP 1679 "Dynamische Simulation vernetzter Feststoffprozesse".

Projektleiter: Dr.-Ing. Katharina Zähringer

Projektbearbeiter: M. Sc. P. Kováts

Förderer: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG); 01.05.2014 - 30.04.2017

Experimentelle Charakterisierung des gas-flüssig Stofftransfers in einer reaktiven Blasensäule am Beispiel einer Neutralisationsreaktion

Zur quantitativen Untersuchung des Stofftransfers in einer Blasensäule soll in der ersten Projektphase, als Grenzfall für eine schnelle Reaktion, der Übergang von CO₂ in leicht basisches Wasser, also eine Neutralisations-/Ansäuerungsreaktion, betrachtet werden. Dieses einfache System bietet sich an, um das komplexe experimentelle Messprotokoll zu optimieren und außerdem, um bereits vor Ende der ersten Phase erste

Validierungsdaten und Vergleiche mit den numerischen Projekten im SPP zu ermöglichen. Die im Experiment erfolgende pH-Wert-Änderung wird mit Hilfe von Indikatorstoffen (z.B. Uranin) und Laser-induzierte Fluoreszenz (LIF) sowohl räumlich, als auch zeitlich aufgelöst vermessen. Mit Hilfe einer Kalibrierung und den bekannten Eingangs- und Ausgangsströmen können somit sofort quantitative Rückschlüsse auf den Stoffübergang erhalten werden. Um eine Verschattung des Messvolumens, ebenso wie Reflexionen und Brechung des Laserlichts durch die Blasen zu berücksichtigen, wird ein zweiter, pH-unabhängiger Tracer eingesetzt, der es erlaubt die eigentlichen Messbilder zu korrigieren (2-Farben-Verfahren). Das Messverfahren wird zunächst für Blasketten und dann für kleine Blaskollektive in verschiedenen Volumenströmen und Blasendurchmessern eingesetzt. Nach Optimierung des Messverfahrens wird letztendlich ein typischer Blasenschwarm untersucht. Durch Verwendung von Hochgeschwindigkeitskameras kann der zeitliche Verlauf sowohl der Blasendurchmesser und -trajektorien, als auch des Stoffübergangs aufgelöst werden. Für die Bestimmung der Blasengeschwindigkeiten und -bahnlinien wird die Particle Tracking Velocimetry (PTV) eingesetzt, für die viel Erfahrung in der Gruppe vorliegt. Die Geschwindigkeitsfelder der flüssigen Phase werden mit Particle Imaging Velocimetry (PIV) verfolgt. Diese kann, als stereo-PIV eingesetzt, auch die Flüssigkeitsbewegung in drei Dimensionen auflösen. Auf diese Weise können dann der Einfluss des Strömungsfeldes auf den Stoffübergang quantifiziert und auch Vergleichsdaten für numerische Projekte des SPP zur Verfügung gestellt werden.

Da die Stoffdaten der Flüssigphase ebenfalls eine sehr große Rolle für den erfolgenden Stoffübergang spielen, sollen im Rahmen des Projekts auch die Viskosität und Oberflächenspannung verändert werden. Hierzu sollen verschiedene Glycerin/Wasser-Mischungen zum Einsatz kommen, deren Viskositäten und Oberflächenspannungen bekannt sind. Auch hierbei sollen wiederum der Stofftransport und die Hydrodynamik, soweit möglich, simultan erfasst werden. Alle experimentellen Ergebnisse werden von Beginn an in einer Datenbank den anderen Projekten und der Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Sie können somit auch als Validierungs- und Vergleichsdaten für numerische Berechnungen herangezogen werden

8. Eigene Kongresse, wissenschaftliche Tagungen und Exponate auf Messen

Herr Prof. Dr.-Ing. Frank Beyrau hat an der Organisation des 35th International Symposium on Combustion in San Francisco als "Co-Chair for the Diagnostics Colloquium" mitgewirkt.

Herr Prof. Dr.-Ing. Dominique Thévenin hat das Kolloquium "60 Jahre Forschung und Lehre auf dem Gebiet der Strömungsmaschinen" an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg organisiert.

9. Veröffentlichungen

Begutachtete Zeitschriftenaufsätze

Abdallahman, Khalid H. M.; Specht, Eckehard

Influence of salt mixture on the heat transfer during spray cooling of hot metals

In: International journal of heat and mass transfer. - Amsterdam [u.a.]: Elsevier, Bd. 78.2014, S. 76-83;

[Imp.fact.: 2,522]

Berg, Philipp; Stucht, Daniel; Janiga, Gábor; Beuing, Oliver; Speck, Oliver; Thévenin, Dominique

Cerebral blood flow in a healthy circle of willis and two intracranial aneurysms - computational fluid dynamics versus four-dimensional phase-contrast magnetic resonance imaging

In: Journal of biomechanical engineering. - New York, NY: ASME; Bd. 136.2014, 4, Paper Nr. BIO-13-1247, insges. 9 S.;

[Imp.fact.: 1,519]

Cito, S.; Geers, A. J.; Arroyo, M. P.; Palero, V. R.; Pallarés, J.; Vernet, A.; Blasco, J.; San Román, L.; Fu, W.; Qiao, A.; Janiga, Gábor; Miura, Y.; Ohta, M.; Mendina, M.; Usera, G.; Frangi, A. F.

Accuracy and reproducibility of patient-specific hemodynamic models of stented intracranial aneurysms - report on the virtual intracranial stenting challenge 2011

In: Annals of biomedical engineering. - Dordrecht [u.a.]: Springer Science + Business Media B.V, 2014; <http://dx.doi.org/10.1007/s10439-014-1082-9>;

[Imp.fact.: 3,231]

Daróczy, László; Jármai, Károly

From a quasi-static fluid-based evolutionary topology optimization to a generalization of BESO
In: Engineering optimization. - London: Taylor & Francis, insges. 17 S., 2014;
[Imp.fact.: 1,230]

Elattar, H. F.; Stanev, Rayko; Specht, Eckeard; Fouda, A.

CFD simulation of confined non-premixed jet flames in rotary kilns for gaseous fuels
In: Computers & fluids. - Amsterdam [u.a.]: Elsevier Science, Bd. 102.2014, S. 62-73;
[Imp.fact.: 1,532]

Hagemeier, Thomas; Bordás, Róbert; Zähringer, Katharina; Thévenin, Dominique

Two-perspective fluorescence analysis of droplets creeping down a tilted plate
In: Experiments in fluids. - Berlin: Springer; Vol. 55.2014, Art. 1639, insgesamt 14 S.;
[Imp.fact.: 1,572]

Hagemeier, Thomas; Glöckner, Hannes; Roloff, Christoph; Thévenin, Dominique; tomas, Jürgen

Simulation of multi-stage particle classification in a zigzag apparatus
In: Chemical engineering & technology. - Weinheim: Wiley-VCH Verl.-Ges, 2014; <http://dx.doi.org/10.1002/ceat.201300670>;
[Imp.fact.: 1,366]

Herz, Fabian; Specht, Eckeard

Comparative life cycle assessment of various pipe materials
In: BFT international. - Gütersloh: Bauverl, 5, S. 48-54, 2014;

Janiga, Gábor

Large eddy simulation of the FDA benchmark nozzle for a Reynolds number of 6500
In: Computers in biology and medicine. - Amsterdam [u.a.]: Elsevier Science, Bd. 47.2014, S. 113-119;
[Imp.fact.: 1,475]

Jiang, Peng; Wang, Qian; Specht, Eckeard

Experimental study on heat transfer of pressurized spray cooling on the heated plate by using 45° full cone nozzles
In: Applied mechanics and materials. - [S.l.]: Scientific.Net, Bd. 535.2014, S. 32-36;

Komossa, H.; Wirtz, S.; Scherer, V.; Herz, Fabian; Specht, Eckeard

Transversal bed motion in rotating drums using spherical particles - comparison of experiments with DEM simulations
In: Powder technology. - Amsterdam [u.a.]: Elsevier Science, Bd. 264.2014, S. 96-104;
[Imp.fact.: 2,269]

Oeltze-Jafra, Steffen; Lehmann, Dirk Joachim; Kuhn, Alexander; Janiga, Gábor; Theisel, Holger; Preim, Bernhard

Blood flow clustering and applications in virtual stenting of intracranial aneurysms
In: IEEE transactions on visualization and computer graphics. - New York, NY: IEEE, Bd. 20.2014, 5, S. 686-701;
[Imp.fact.: 1,898]

Oster, Timo; Lehmann, Dirk Joachim; Fru, Gordon; Theisel, Holger; Thévenin, Dominique

Sparse representation and visualization for direct numerical simulation of premixed combustion
In: Computer graphics forum. - Oxford: Wiley-Blackwell, Bd. 33.2014, 3, S. 321-330;
[Imp.fact.: 1,638]

Ranut, Paola; Janiga, Gábor; Nobile, Enrico; Thévenin, Dominique

Multi-objective shape optimization of a tube bundle in cross-flow
In: International journal of heat and mass transfer. - Amsterdam [u.a.]: Elsevier, Bd. 68.2014, S. 585-598;
[Imp.fact.: 2,868]

Schmeyer, Ellen; Bordás, Róbert; Thévenin, Dominique; John, Volker

Numerical simulations and measurements of a droplet size distribution in a turbulent vortex street

In: Meteorologische Zeitschrift. - Stuttgart: E. Schweizerbart Science Publishers, 2014; <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2014/0570>;

[Imp.fact.: 1,160]

Shalaby, Hemdan; Luo, Kai H.; Thévenin, Dominique

Response of curved premixed flames to single-frequency and wideband acoustic waves

In: Combustion and flame. - Amsterdam [u.a.]: Elsevier Science, Bd. 161.2014, 11, S. 2868-2877;

[Imp.fact.: 3,708]

Siewert, Christoph; Bordás, Róbert; Wacker, Ulrike; Beheng, Klaus D.; Kunnen, Rudie P. J.; Meinke, Matthias; Schröder, Wolfgang; Thévenin, Dominique

Influence of turbulence on the drop growth in warm clouds, Part I: comparison of numerically and experimentally determined collision kernels

In: Meteorologische Zeitschrift. - Stuttgart: E. Schweizerbart Science Publishers, 2014; <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2014/0566>;

[Imp.fact.: 1,160]

Specht, Eckehard

Einfluss der Wasserqualität auf den Wärmeübergang bei der Kühlung heißer Metalle

In: Gaswärme international. - Essen: Vulkan-Verl., 5, S. 77-82, 2014;

Specht, Eckehard

Heat transfer in spray quenching of hot metals

In: Heat processing. - Essen: Vulkan-Verl., 4, S. 63-69, 2014;

Stanev, Rayko; Mitov, Iliyan; Specht, Eckehard; Herz, Fabian

Geometrical characteristics of the solid bed in a rotary kiln

In: Journal of chemical technology and metallurgy. - Sofia: University of Chemical Technology and Metallurgy, Bd. 49.2014, 1, S. 82-89;

Yu, Liang Yu; Redemann, Tino; Specht, Eckehard

Modeling for prediction of porcelain products temperature profiles in a tunnel kiln

In: Applied mechanics and materials. - [S.l.]: Scientific.Net, Bd. 968.2014, S. 151-155;

Zähringer, Katharina

The use of vitamins as tracer dyes for laser-induced fluorescence in liquid flow applications

In: Experiments in fluids. - Berlin: Springer, Bd. 55.2014, 4, insges. 11 S.;

[Imp.fact.: 1,907]

Buchbeiträge

Berg, Philipp; Baumgarten, Kathrin; Geist, Silvio; Stucht, Daniel; Speck, Oliver; Janiga, Gábor

Relative pressure field computation in human arteries based on 4D PC-MRI velocities

In: IEEE 11th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI), 2014. - Piscataway, NJ: IEEE, S. 417 - 420;

Kongress: ISBI; 11 (Beijing): 2014.04.29-05.02;

Berg, Philipp; Roloff, Christoph; Janiga, Gábor; Thévenin, Dominique

Vergleich zwischen hämodynamischer Simulation und optischer Lasermessung des Blutflusses in zwei zerebralen Aneurysmen

In: Digitales Engineering zum Planen, Testen und Betreiben technischer Systeme. - Magdeburg, insges. 6 S., 2014;

Daroczy, Laszlo; Mohamed, Mohamed H.; Janiga, Gábor; Thévenin, Dominique

Analysis of the effect of a slotted flap mechanism on the performance of an H-darrieus turbine using CFD

In: ASME Turbo Expo 2014, Volume 3B: Oil and gas applications; organic rankine cycle power systems; supercritical CO₂ power cycles; wind energy. - New York, N.Y.: ASME; 2014, Paper Nr. GT2014-25250, S. V03BT46A003, insgesamt 10 S.;
Kongress: ASME Turbo Expo; (Düsseldorf, Germany): 2014.06.16-20;

Evangelos, Tsotsas; Arun, S. Mujumdar; Eckehard, Specht

Impinging jet drying

In: Modern drying technology. - Weinheim an der Bergstrasse, Germany: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co, S. 1-26, 2014;

Glöckner, Hannes; Hagemeyer, Thomas; Roloff, Christoph; Thévenin, Dominique; Tomas, Jürgen

Experimental investigation on the multistage particle classification in a zigzag air classifier

In: World Congress on Engineering, WCE 2014; Vol. 2. - Hong Kong: IAENG, S. 1487-1492
Kongress: WCE 2014; (London): 2014.07.02-04;

Hermann, Rottengruber; Dragomirov, Plamen; Buchatyi, Denis; Sauerhering, Jörg; Hadler, Jens; Schmidt, Jürgen

Comparative analysis of the DI diesel engine in-cylinder fluid flow applying PIV-measurement and CFD-simulations

In: 10th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, HEFAT 2014. - EDAS, S. 1993-2002
Kongress: HEFAT; 10 (Orlando, Florida): 2014.07.14-16[Beitrag auf USB-Stick];

Janiga, Gábor

Turbulent flow simulation in a pipe based on Large Eddy Simulation

In: The publications of the MultiScience - XXVIII. microCAD, international multidisciplinary scientific conference.
- Miskolc: Univ.; 2014, Artikel-Nr. D16, insgesamt 8 S.[Beitrag auf CD-ROM];

Lucius, Andreas; Lehwald, Andreas; Thévenin, Dominique; Brenner, Gunther

Experimental and numerical analysis of flow instabilities in a radial fan

In: ASME Turbo Expo 2014, Volume 1A: Aircraft engine; fans and blowers. - New York, N.Y.: ASME; 2014, Paper Nr. GT2014-27112, S. V01AT10A032, insgesamt 10 S.;

Meyer, Jan; Daroczy, Laszlo; Thévenin, Dominique

New design approach for pitot-tube jet pump

In: ASME Turbo Expo 2014, Volume 1A: Aircraft engine; fans and blowers. - New York, N.Y.: ASME; 2014, Paper Nr. GT2014-25310, S. V01AT10A004, insgesamt 8 S.;

Kongress: ASME Turbo Expo; (Düsseldorf, Germany): 2014.06.16-20;

Möhrli, Lothar; Specht, Eckehard

Wärmeübertrager

In: Döbel. - Berlin [u.a.]: Springer Vieweg, S. 730-736, 2014, 24., aktualisierte Aufl.;

Nafsun, Aainaa Izyan Biuti; Herz, Fabian; Scherer, V.; Wirtz, S.; Komossa, H.

The contact heat transfer in rotary drums in dependence on the particle size ratio

In: Proceedings of the 15th International Heat Transfer Conference, IHTC-15. - Kyoto; 2014, Art. IHTC15-8844, insgesamt 11 S.;

Nafsun, Aainaa Izyan Biuti; Herz, Fabian; Specht, Eckehard

Analysis of heat penetration into the solid bed of rotary drums

In: 10th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, HEFAT 2014. - EDAS, S. 2136-2140
Kongress: HEFAT; 10 (Orlando, Florida): 2014.07.14-16[Beitrag auf USB-Stick];

Nafsun, Aainaa Izyan Biuti; Herz, Fabian; Specht, Eckehard; Scherer, V.; Wirtz, S.

The contact heat transfer in rotary kilns and the effect of material properties

In: 10th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, HEFAT 2014. - EDAS, S. 2112-2118

Kongress: HEFAT; 10 (Orlando, Florida): 2014.07.14-16[Beitrag auf USB-Stick];

Rauchegger, Christian; Bayley, Susan; Schröder, Volkmar; Thévenin, Dominique

Dispersion of heavy gases - experimental results and numerical simulations

In: , insges. 13 S., 2014;

Specht, Eckehard

Intensivkühlung heißer Metalle mit Flüssigkeiten

In: Grote, Karl-Heinrich:: Dubbel. - Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 757-769, 2014;

Specht, Eckehard

Konstruktionselemente von Apparaten und Rohrleitungen

In: Grote, Karl-Heinrich:: Dubbel. - Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 737-756, 2014;

Specht, Eckehard; Becker, Friedherz H.

Drehrohröfen

In: Grote, Karl-Heinrich:: Dubbel. - Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 690-699, 2014;

Specht, Eckehard; Becker, Friedherz H.

Feuerfestmaterialien

In: Grote, Karl-Heinrich:: Dubbel. - Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 727-729, 2014;

Specht, Eckehard; Becker, Friedherz H.

Industrieöfen

In: Grote, Karl-Heinrich:: Dubbel. - Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 684-689, 2014;

Specht, Eckehard; Becker, Friedherz H.

Öfen für geformtes Gut

In: Grote, Karl-Heinrich:: Dubbel. - Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 705-726, 2014;

Specht, Eckehard; Becker, Friedherz H.

Schacht-, Kuppel- und Hochöfen

In: Grote, Karl-Heinrich:: Dubbel. - Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 700-704, 2014;

Specht, Eckehard; Redemann, Tino

Vereinfachtes eindimensionales Modell zur Berechnung der Erwärmung der Atmosphäre durch anthropogene CO₂-Emissionen

In: Kraftwerkstechnik 2014. - Freiberg: SAXONIA, S. 89-100

Kongress: Kraftwerkstechnisches Kolloquium; 46 (Dresden): 2014.10.14-15;

Zähringer, Katharina; Pliavaka, Kiryl; Thévenin, Dominique; Kuntner, Nikolaj; Riedel, Uwe

Influence of excited oxygen generated by a RF plasma discharge on atmospheric partially-premixed CH₄/O₂ and H₂/O₂ flames

In: 45th AIAA Plasmadynamics and Lasers Conference 2014. - Reston, VA: AIAA; <http://dx.doi.org/10.2514/6.2014-2241>

Kongress: AIAA Plasmadynamics and Lasers Conference; 45 (Atlanta, Ga.): 2014.06.16-20;

Lehrbücher

Specht, Eckehard

Wärme- und Stoffübertragung in der Thermoprozesstechnik - Grundlagen, Berechnungen, Prozesse. - Essen: Vulkan-Verl., 2014; XV, 550 S.: zahlr. Ill., graph. Darst. - (Edition gwi-ewi), ISBN 3802729730;

Artikel in Kongressbänden

Berg, Philipp; Abdelsamie, Abouelmagd; Janiga, Gábor; Thévenin, Dominique

Large Eddy Simulation in intracranial aneurysms - should transition be considered in numerical modeling?

In: 11th World Congress on Computational Mechanics (WCCM XI), insges. 2 S., 2014;

Kongress: World Congress on Computational Mechanics; 11 (Barcelona): 2014.07.20-25;

Daróczy, László; Janiga, Gábor; Thévenin, Dominique

Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations of an H-Darrieus rotor with different turbulence models

In: 11th World Congress on Computational Mechanics (WCCM XI), insges. 2 S., 2014;

Kongress: World Congress on Computational Mechanics; 11 (Barcelona): 2014.07.20-25;

Eshghinejadfard, Amir; Abdelsamie, Abouelmagd; Oster, Timo; Thévenin, Dominique

Impact of the collision model for fully resolved particles interacting in a fluid

In: ASME 2014 4th Joint US-European Fluids Engineering Division summer meeting (FEDSM2014) and ASME 2014 12th International Conference on Nanochannels, Microchannels, and Minichannels (ICNMM2014). - New York, N.Y: ASME; 2014, Art. FEDSM2014-21447, insgesamt 12 S.

Kongress: FEDSM; 4 (Chicago, Ill.): 2014.08.03-07[Beitrag auf DVD];

Meyer, Jan; Thévenin, Dominique

3D CFD calculations for a Pitot-Tube Jet Pump and Experimental Validation

In: 15th International Symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery, ISROMAC 2014. - Honolulu, Hawaii

Kongress: ISROMAC; 15 (Honolulu, Hawaii): 2014.02.24-28;

Politz, Christina; Roloff, Christoph; Philipp, Florian; Ehlers, Hauke; Schröder, Andreas; Geisler, Reinhard

Free flight boundary layer investigations by means of Particle Image Velocimetry

In: Lisbon 17th 2014 International Symposium on Applications of Laser Techniques to Fluid Mechanics, from 7 to 10 of July; The Calouste Gulbenkian Foundation, Lisbon, Portugal. - Lisbon, insges. 9 S.;

Roloff, Christoph; Berg, Philipp; Bendicks, C.; Zähringer, Katharina; Janiga, Gábor; Thévenin, Dominique

Flow investigation inside a cerebral giant aneurysm

In: Lisbon 17th 2014 International Symposium on Applications of Laser Techniques to Fluid Mechanics, from 7 to 10 of July; The Calouste Gulbenkian Foundation, Lisbon, Portugal. - Lisbon, insges. 8 S.;

Zähringer, Katharina

Chlorophyll and other naturally occurring tracer dyes for laser-induced fluorescence in liquid flow applications

In: Lisbon 17th 2014 International Symposium on Applications of Laser Techniques to Fluid Mechanics, from 7 to 10 of July; The Calouste Gulbenkian Foundation, Lisbon, Portugal. - Lisbon, insges. 7 S.;

Dissertationen

Boye, Gunar; Schmidt, Jürgen [Gutachter]; Tsotsas, Evangelos [Gutachter]

Wärmeübergang und Strömungsformen beim Sieden in Minikanälen. - Magdeburg, Univ., Fak. für Verfahrens- und Systemtechnik, Diss., 2014; XVIII, 141 S.: graph. Darst.;

Kemski, Thomas; Tschöke, Helmut [Gutachter]; Specht, Eckehard [Gutachter]

Anpassung eines Dieselmotors zur NO_x-Speicher-Katalysator-Regeneration. - Zugl.: Magdeburg, Univ., Fak. für Maschinenbau, Diss., 2014; Göttingen: Cuvillier, 1. Aufl.; VII, XVII, 188 S.: Ill., graph. Darst.; 21 cm, ISBN 978-3-95404-700-0;

Penumakala, Pavan Kumar; Specht, Eckehard [Gutachter]; Bertram, Albrecht [Gutachter]

Thermomechanical simulation of continuous and semi-continuous casting of metals. - Zugl.: Magdeburg, Univ., Fak. für

Verfahrens- und Systemtechnik, Diss., 2014; Barleben: Docupoint-Verl.; XIV, 177 S.: graph. Darst.; 21 cm - (Micro-macro transactions; 14), ISBN 978-3-86912-113-0;

Rajasekaran, Sangeetha; Tobiska, Lutz [Gutachter]; Schmidt, Jürgen [Gutachter]

Finite element simulation of an impinging liquid droplet on a hot solid substrate. - Zugl.: Magdeburg, Univ., Fak. für Mathematik, Diss., 2014; Barleben: Docupoint-Verl.; VIII, 94 S.: graph. Darst.; 21 cm - (Micro-macro transactions; 11), ISBN 978-3-86912-110-9;

Varga, Patrick; Schmidt, Jürgen [Gutachter]; Tschöke, Helmut [Gutachter]; Rottengruber, Hermann [Gutachter]

Thermisches Modell eines Verbrennungsmotors zur Untersuchung des Warmlaufverhaltens /von Patrick Varga. - Magdeburg, Univ., Fak. für Verfahrens- und Systemtechnik, Diss., 2014; XIV, 122 S.: graph. Darst.;