

Forschungsbericht 2005

Institut für Strömungstechnik und Thermodynamik



Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Fakultät für Verfahrens- und Systemtechnik

Institut für Strömungstechnik und Thermodynamik

Universitätsplatz 2, 39106 Magdeburg
Tel. +49 (0)391 67 18654, Fax +49 (0)391 67 18570
dominique.thevenin@vst.uni-magdeburg.de

1. Leitung

Prof. Dr.-Ing. D. Thévenin (geschäftsführender Leiter)
Prof. Dr.-Ing. J. Schmidt
Prof. Dr.-Ing. E. Specht
Dr.-Ing. H.-V. Wömpner
Herr S. Brüggemann

2. Hochschullehrer

Prof. Dr.-Ing. J. Schmidt (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. Dr. h.c. (i. R.) H. J. Kecke
Prof. Dr.-Ing. (i. R.) H.-K. Iben

3. Forschungsprofil

Lehrstuhl Technische Thermodynamik (Prof. Dr.-Ing. J. Schmidt)

- Simulation des Wärme- und Stofftransportes bei Prozessen mit Phasenumwandlungen und chemischen Reaktionen: Modellierung und Berechnung der Transportprozesse in Membranreaktoren und an katalytisch beschichteten Membranen, in Einlaufströmungen und Mikrokanälen; Lösung inverser Probleme bei der Sprühkühlung; Temperaturfeld- und Schmelzbadsimulation von Schweißprozessen; Mikro-Makro-Wechselwirkungen bei der Sprühkühlung.
- Ein- und zweiphasiger Wärmeübergang unter Mikrosystembedingungen: Experimentelle Untersuchung des Wärmeübergangs in Kapillarrohren und Mikrokanalverdampfern bei ebener und Ringspalt-Geometrie; Untersuchungen zum Initialpunkt; Betriebscharakteristik von Kompaktverdampfern und Dimensionierung.
- Wärmeübergang und Strahl-Wand-Wechselwirkungen bei Sprühprozessen: Messung des Wärmeübergangs bei der Sprühkühlung und Korrelation mit den charakteristischen Sprühstrahlparametern; Mikromodell auf Basis von Einzeltropfen; PDA-Messungen zur Sprühstrahlcharakterisierung; Untersuchungen zur Strahldynamik und von Strahl-Wand-Wechselwirkungen bei der Benzindirekteinspritzung mittels PDA, Infrarotthermografie und Hochgeschwindigkeitsvisualisierung.
- Kühlung von Walzdraht und Feinstahl: Wärmeübergang in Intensivkühlrohren; Kühlstreckengestaltung und Auslegung von

Luftkühlstrecken (z. B. STELMOR-Verfahren); Simulationsprogramm zur Beschreibung des Abkühlprozesses.

- Infrarotthermografie, Phasen-Doppler-Anemometrie und Thermoanalyse: Anwendung und Weiterentwicklung von Methoden zur Bestimmung von Wärmeübergangskoeffizienten, von Tropfengrößen- und Geschwindigkeitsverteilungen, sowie der thermischen Stoffwerte.

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

- Industrieofenprozesse: Wärmeübergangsbedingungen in Rollenöfen, Wärmeübergangsmessungen in einem Versuchsdrehrohröfen, Simulation des Kalkbrennens in Schachtöfen, Simulation von Prozessen in Drehrohröfen.
- 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 blasen- und partikelbeladenen Strömungen in der Verfahrenstechnik; Einsatz verschiedener optischer Messmethoden (LDA, PDA, PIV-LIF, Shadowgraphy, 3D-Videotechnik). Hydraulischer Transport von körnigem Material mittels Newton'scher und nicht-Newton'scher Fluide, Anlagenauslegung.
- Eigenschaften von Flüssigkeiten: Rheologie, Verfestigungsverhalten mineralischer Suspensionen, Widerstandsverminderungsprozesse in Suspensionen.
- Strömungsmaschinen: Untersuchung der Strömung und der Instabilitäten in Laufrädern und Gehäusen von Kreiselpumpen, insbesondere im off-design-Betrieb; Betriebsverhalten und Wirkungsgrad von Kreiselpumpen, auch bei Förderung von Flüssigkeit-Gas-Gemischen; Verifizierung von Strömungsberechnungsverfahren (PIV/CFX oder Fluent).
- Strömungen mit chemischen Reaktionen: Untersuchung der Flammen/Wirbel- und der Flammen/Akustik-Wechselwirkung; Eigenschaften von turbulenten Flammen in Brenner- und Motorensystemen; Vorhersage der Schadstoffemissionen in Gas-Haushaltsbrennern.
- Weiterentwicklung numerischer Methoden: sehr genaue Computerprogramme für die Simulation laminarer und turbulenter 3D-Strömungen mit Berücksichtigung chemischer Reaktionen; Kopplung mit einer mathematischen Optimierungsschleife.
- Anwendung und Weiterentwicklung optischer Messmethoden: PIV; LIF; LDA/PDA; Rayleigh; Shadowgraphy; quantitative Spezies-Messungen in reaktiven Strömungen; simultane quantitative Messungen (z.B. PIV-LIF, Zweiphasen-PIV).

4. Forschungsprojekte

Projektleiter: Prof. Dr. Jürgen Schmidt

Förderer: DFG; 01.07.2002 - 30.06.2007

Einfluss von Fluidodynamik und Membranoberflächenstruktur auf Auslegung und Betrieb von Membranreaktoren (Forscherguppe)

Ziel des Projektes sind die Untersuchung des Einflusses der fluidseitigen Transportprozesse an glatten und strukturierten katalytisch beschichteten Membranen und deren gezielte Beeinflussung zur Prozessverbesserung. Dabei soll der Weg einer detaillierten numerischen Simulation unter Einsatz moderner CFD-Methoden beschriftet werden. Ausgehend von der realen Kinetik der betrachteten Reaktionen ist eine genaue Beschreibung der Transportprozesse unerlässlich und Voraussetzung für die Übertragung der Ergebnisse in den technischen Maßstab. Hierzu sind die Entwicklung komplexer heterogener Modelle sowie spezieller Diskretisierungs- und Lösungskonzepte erforderlich. Die entwickelten Simulationsprogramme sollen projektübergreifend Untersuchungen zum Einfluß der fluidseitigen Transportprozesse und präzise Aussagen über die in 1D-Transportmodellen benötigten Übergangskoeffizienten ermöglichen. Die Simulationsrechnungen zielen insgesamt auf ein besseres Verständnis der Teilprozesse, auf die Bewertung des Einflusses relevanter Betriebs- und Geometrieparameter insbesondere auch bezüglich der Wärmeabfuhr und damit letztlich auf eine effektive Prozessgestaltung. Mit den simulationsbasierten Untersuchungen zur Oberflächenstrukturierung und zur Prozessführung in Mikrokanälen werden dabei neue Wege zum Entwurf von katalytisch beschichteten Membranreaktoren beschriftet.

Projektleiter: Prof. Dr. Jürgen Schmidt

Förderer: Industrie; 01.04.2004 - 31.01.2005

Ermittlung thermophysikalischer Eigenschaften für Alugussproben

Für die Bewertung und Simulation des Verhaltens thermisch belasteter Bauteile ist die möglichst präzise Kenntnis der thermischen Stoffwerte erforderlich. Bestimmt werden die spezifische Wärmekapazität mittels DSC-Analyse, die Dichte mit Hilfe eines Schubstangendilatometers und der Temperaturleitkoeffizient unter Verwendung einer Laserflash-Anlage, jeweils im Temperaturbereich von Raumtemperatur bis 300 °C. Der Wärmeleitkoeffizient wird aus den drei genannten Größen rechnerisch ermittelt.

Projektleiter: Prof. Dr. Jürgen Schmidt

Projektbearbeiter: Prof. Dr.-Ing. J. Schmidt, Prof. Dr.-Ing. E. Specht

Förderer: AiF; 01.12.2005 - 01.11.2007

Ermittlung und vergleichende Bewertung der Temperaturabhängigkeit der thermophysikalischen Stoffwerte bis 1600 °C als Simulationsgrundlage von Wärmebehandlungsprozessen in Industrieöfen

Die Zuverlässigkeit von Simulationsrechnungen hängt in sehr starkem Maße von der Qualität der zu Grunde gelegten Wärmeübergangsbedingungen und der thermophysikalischen Stoffwerte ab. Bei der Ermittlung der Wärmeübergangsbedingungen sind in den letzten Jahren ebenfalls große Fortschritte erzielt worden. Mit der zur Verfügung stehenden Rechnerkapazität kann der örtliche Strahlungsaustausch zwischen den Werkstücken und der umgebenden Gasatmosphäre unter Berücksichtigung der Wandstrahlung relativ gut berechnet werden. Die als Grundlage hierfür benötigten Emissionsgrade sind in mehreren AiF-Forschungsvorhaben für eine Vielzahl von Metallen und Keramiken temperaturabhängig unter realen

Wärmebehandlungsatmosphären gemessen worden. Der konvektive Wärmeübergang kann mittels kommerzieller Computational Fluid Dynamics (CFD) Programmsysteme relativ gut ermittelt werden.

Die Qualität der zur Verfügung stehenden thermophysikalischen Stoffwerte lässt demgegenüber erheblich zu wünschen übrig. Die Stoffwerte sind in der Regel nur für niedrige Temperaturen gemessen worden. Für neuere Werkstoffe sind solche Werte nicht oder erst spärlich vorhanden. Die in verschiedenen Quellen für den gleichen Werkstoff angegebenen Werte weichen oft erheblich voneinander ab. Dies gilt sowohl für die Wärmegüter als auch die Hochtemperaturbaustoffe der entsprechenden Industrieöfen.

Die Bereitstellung von thermophysikalischen Stoffwerten stellt sich folglich für Simulationsrechnungen sowohl für Wärmebehandlungsprozesse als auch für die Konstruktion von Wärmebehandlungsanlagen als zunehmendes Grundlagenproblem dar. In letzter Zeit sind neue Techniken entwickelt worden, wie beispielsweise die Laser-Flash-Technik, mit denen sich die thermophysikalischen Stoffwerte bis in den Hochtemperaturbereich mit großer Genauigkeit messen lassen.

Projektleiter: Prof. Dr. Jürgen Schmidt

Projektbearbeiter: Prof. Dr.-Ing. J. Schmidt

Förderer: Industrie; 01.09.2005 - 01.12.2009

Experimentelle Ermittlung von Sprühstrahlcharakteristiken einer Benzin-Mehrlochdüse unter Druckkammerbedingungen

Ottomotoren mit Direkteinspritzung besitzen gegenwärtig das größte Potenzial zur Kraftstoffeinsparung und Minimierung der Schadstoffemission. Forschungs- und Entwicklungsbedarf bei der Entwicklung derartiger innovativer Motoren besteht in der Optimierung der Gemischaufbereitung und insbesondere hinsichtlich der sicheren Entflammung des Gemisches.

Mehrlochdüsen werden in diesem Zusammenhang als aussichtsreiche Einspritztechniken gesehen, weil mit ihnen eine größere Varianz der Spraycharakteristiken in Aussicht steht. Solche Spraycharakteristiken sind im vorliegenden Projekt experimentell unter Anwendung der PDA-Messtechnik zu ermitteln. Im Einzelnen sind dies Tropfengehwindigkeiten, -durchmesser und -dichten. Mit der eingesetzten Messtechnik sind 2D-Messungen vorgesehen.

Motorrelevante Zustände werden in der vorhandenen Druckkammer realisiert, so die Kammertemperatur und den Kammerdruck. Variationen des Düsendruckes bis 300 bar sind vorzunehmen.

Projektleiter: Prof. Dr. Jürgen Schmidt

Förderer: DFG; 01.01.2003 - 31.12.2005

Mikromodell für den Wärmeübergang bei der Sprühkühlung hoch erhitzter Metalle (Graduiertenkolleg)

Die Modellierung der Mikrostruktur von Werkstoffen erfordert bei der Sprühkühlung eine Modellierung des Wärmeübergangs auf der Mikroebene, verursacht durch die Interaktion von Einzeltropfen mit der Wand. Das Mikromodell soll für ein repräsentatives Volumenelement entwickelt werden, wobei zunächst vereinfachende Annahmen getroffen werden. Durch Homogenisierung auf Basis der mittels Lasermesstechnik (PDA, LDA) bestimmbarer Strahlparameter können mittlere Wärmeübergangskoeffizienten für die Makroebene ermittelt werden, die wiederum mit experimentell bestimmten Werten verglichen werden sollen.

Projektleiter: Prof. Dr. Jürgen Schmidt
Projektbearbeiter: Prof. Dr.-Ing. J. Schmidt
Förderer: DFG; 01.10.2005 - 01.12.2008

Numerische Simulation der Transportprozesse in Reaktoren mit katalytisch beschichteten Membranen (CMR)

Aufbauend auf den in der ersten Periode durchgeführten Untersuchungen zu Teilproblemen steht in der Verlängerung ein heterogenes Gesamtmodell des Reaktors im Mittelpunkt. Dieses beschreibt unter Einbeziehung der Ergebnisse von TP2 und TP3 detailliert die Reaktion und die Transportprozesse in der Membran und den angrenzenden fluiden Phasen, wobei die Kopplung mit den Geschwindigkeitsfeldern und die instationäre Formulierung wesentliche Merkmale der Modellierung sind. Die im Forschungsbericht angegebenen Referenzberechnungen haben deutlich gemacht, dass angepasste Gitter für die Steigerung der Recheneffizienz gerade für die geplanten 3D-Anwendungen benötigt werden. Es sollen daher adaptive Finite-Elemente-Methoden für die nichtlinearen Probleme zum Einsatz kommen. Die durch robuste Fehlerschätzer gestützten und numerisch abgesicherten Lösungen mit MooNMD sollen im Vergleich von Detailuntersuchungen eine Bewertung der mit den kommerziellen Programmpaketen erzielbaren Genauigkeit ermöglichen. Mit FLUENT werden Simulationsrechnungen für CMR durchgeführt, die die wechselseitige Kopplung der Transportprozesse in allen Bereichen des Reaktors berücksichtigen. Nur in dieser Weise sind realistische Erkenntnisse erzielbar, wie die Resultate der 1. Förderperiode zeigen. Im Ergebnis sollen wesentliche Aussagen zur Membrankonfiguration in Verbindung mit der Wahl der Permeationsströme sowie zum effektiven Betrieb von CMR hinsichtlich Ausbeute und Selektivität gewonnen werden. Die Bestimmung effektiver Betriebsparameter wird durch die Implementierung geeigneter Optimierungsmethoden in MooNMD unterstützt. Die Simulationen für aufgeprägte Druckoszillationen im Sauerstoffkanal dienen der Abschätzung einer möglichen Prozessintensivierung. Gemeinsam mit den TP3, 6 und 8 werden Referenzfälle untersucht, wodurch der Transfer von Erfahrungen gesichert wird und ein hoher Synergieeffekt erzielt werden kann.

Projektleiter: Prof. Dr. Jürgen Schmidt
Förderer: AIF; 01.07.2003 - 30.06.2005

Simulation thermomechanischer Vorgänge beim Laserstrahlschweißen unter Berücksichtigung transienter Einflüsse im Nahtbereich

Für den Anwendungsfall des Strahlschweißens mit Hochleistungslasern soll eine 3D-Simulation des Prozesses zur Vorhersage der Nahtqualität sowie des Bauteilverzuges und der induzierten Eigenspannungen im Dünnschichtbereich ermöglicht werden, wobei erstmals eine wechselseitige Kopplung von Prozess- und Strukturmodell vorgesehen ist. Die Zielstellung besteht in der Entwicklung von Algorithmen zur Simulation von Temperaturverteilung und Nahtausbildung unter Verwendung eines mitbewegten Mikromodells und zur Aufbereitung der lokalen Daten für die wechselseitige Kopplung mit der transienten Berechnung des Gesamtproblems (Makromodell) sowie in deren Anwendung.

Projektleiter: Prof. Dr. Jürgen Schmidt

Projektbearbeiter: Prof. Dr.-Ing. J. Schmidt

Förderer: Industrie; 01.03.2005 - 01.12.2005

Untersuchung der löschtechnischen Wirksamkeit von Wassernebel-Sprühtechniken zur hochdynamischen Unterdrückung von Kraftstoffbränden

Kraftstoffbrände, ausgelöst z. B. bei Beschuss von mannschaftsbesetzten militärischen Fahrzeugen, entwickeln sich mit hoher zeitlicher und energetischer Dynamik. Sollen die Fahrzeuginsassen ein solches Ereignis unbeschadet überstehen, so müssen solche Fahrzeugbrände bereits während des Entstehungsprozesses unterdrückt werden.

Im Projekt wird die diesbezügliche Wirksamkeit von Wassernebel-Sprühtechniken untersucht. Dabei wird zunächst die Prozessdynamik bewertet und die Wirkungsmechanismen werden analysiert. Es erfolgt der Aufbau einer Versuchsanordnung, mit der die Geschwindigkeits- und Durchmesserpektren der Wassertropfen ermittelt werden. Zum Einsatz gelangt dabei eine 2D-PDA-Messtechnik.

Die wesentlichen Einflussgrößen auf den Löschprozess werden experimentell bestimmt. Dabei wird u. a. der Startdruck, der Flüssigkeitsstand im Vorratsbehälter sowie die Düsenkonstruktion variiert und der Einfluss von Zusatzstoffen untersucht. Die Analyse- und Messergebnisse werden in Vorschlägen zur physikalisch-technischen Gestaltung und zum zeitlichen Ablauf des Löschprozesses zusammengefasst.

Projektleiter: Prof. Dr. Jürgen Schmidt

Projektbearbeiter: Prof. Dr.-Ing. J. Schmidt, Prof. Dr.-Ing. H. Tschöke

Förderer: Land (Sachsen-Anhalt); 01.12.2005 - 01.12.2006

Untersuchung der Spraystabilität von HD-Injektoren für das strahlgeführte Direkteinspritzverfahren bei Ottomotoren

Die stabile Zündung und Entflammung beim strahlgeführten Verfahren erfordern eine optimale Gemischaufbereitung. Dies ist nur in Verbindung mit einer von Betriebszuständen relativ unabhängigen Sprayerzeugung durch erreichbar. Die Sprayausbildung wird bereits durch den Austrittszustand des Kraftstoffes aus der Düse wesentlich beeinflusst. Wichtige Einflussgrößen sind damit die Temperaturverteilung in der Düse und die Zuströmtemperatur des Kraftstoffes. Deren Einfluss auf die charakteristischen Sprayparameter und ist nicht ausreichend geklärt und Grenztemperaturen, auch in Abhängigkeit der Betriebsparameter und im Hinblick auf die Einstellung zweiphasiger Strömungszustände in der Düsenbohrung, sind nicht bekannt. Unbekannt ist ebenfalls die Rolle des Wärmeübergangs zwischen Düsenkörper bzw. Düsennadel und Kraftstoff.

Wesentliche Ziele des Projektes sind deshalb die Ermittlung des Einflusses der mittleren Injektor- und Kraftstoffzulauftemperaturen auf die Änderung der wesentlichen Sprayparameter in Bezug auf einen Referenzzustand unter Berücksichtigung von Temperaturdifferenzen, die für unterschiedliche Motorbetriebszustände relevant sind bzw. die hinsichtlich der Kraftstofftemperatur vom winterlichen Kaltstart bis zu maximalen Werten unter extremen Lastbedingungen reichen, die Ableitung zulässiger Schwankungen der Injektorbetriebs- und der Kraftstofftemperatur bzw. von Grenztemperaturen zur Sicherung eines stabilen Motorbetriebes, die Untersuchung des kraftstoffseitigen Wärmeübergangs bis zum Austritt aus der Düsenbohrung und die Bestimmung der Kraftstoffaustrittstemperatur.

Projektleiter: Dr. Günter Scholz
Projektbearbeiter: Dr. Scholz
Förderer: Industrie; 01.04.2005 - 31.12.2005

Rheologische Untersuchungen von Versatzstoffsuspensionen

Von Einsturz gefährdete Hohlräume des Salzbergbaues können durch Einbringen von Versatzsuspensionen, die in situ verfestigen, stabilisiert werden. Als Versatzstoffe werden Rückstände aus der Müllverbrennung eingesetzt. Die Gewährleistung der Förderfähigkeit der Suspensionen erfolgt über Untersuchungen der physikalischen und strömungs-technischen Eigenschaften der Komponenten. Über rheologische Untersuchungen der Suspensionen werden Aussagen zur Mischbarkeit, zu den Fließeigenschaften und zu dem Druckverlust bei der Rophrförderung abgeleitet.

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Eckehard Specht
Projektbearbeiter: Dipl.-Ing. Frank Puschmann
Kooperationen: Forschungsgemeinschaft Industrieofenbau e.V. (FOGI)
Förderer: Haushalt; 01.07.2003 - 30.09.2006

Experimentelle Untersuchung der Verdampfungskühlung von heißen Metallen mit Sprühnebel

Mit der Verdampfungskühlung mit Sprühnebel soll ein neues Kühlverfahren untersucht werden, bei dem die Problematik des undefinierten Zusammenbruchs des Wasserfilms nicht auftritt und bei dem die Kühlgeschwindigkeit höher ist als bei der Kühlung mit Gasen. Die Kühlung ist dadurch gekennzeichnet, daß das aufgebrachte Wasser auf der Oberfläche vollständig verdampft und sich kein geschlossener Wasserfilm mit anschließendem Zusammenbruch ausbilden kann.

Großen Einfluß auf die Tropfenverdampfung haben u.a. Tropfengröße- und -geschwindigkeitsverteilungen.

Ziel ist es, durch Variation dieser Verteilungen die Grenze der Wasserbeaufschlagungsdichte, ab der sich ein geschlossener Film auszubilden beginnt, zu beeinflussen, da der abgeführte Wärmestrom dem verdampften Wassermassenstrom proportional ist und somit die Kühlgeschwindigkeit bei der Verdampfungskühlung bestimmt.

Die Verteilungen der Tropfengeschwindigkeit und der -größe werden mit einem Phasen-Doppler-Anemometer (PDA) bestimmt. Durch die für PDA-Systeme hohe Laserleistung von 4 W ist es möglich, in Nebel- und Dampfgebieten zu messen.

Die Sprühnebel werden mit kommerziellen Luft-Wasser Zweistoffdüsen erzeugt.

Die praktische Anwendung der Verdampfungskühlung mit Sprühnebel liegt in der Behandlung metallischer Güter. Diese müssen nach Walz- und Wärmebehandlungsprozessen definiert abgekühlt werden.

Alle Kühlverfahren mit Flüssigkeiten weisen im Prinzip den gleichen Mechanismus der Wärmeübertragung auf. Dabei bildet sich auf der anfänglich heißen Oberfläche zunächst ein Dampffilm aus, der einen direkten Kontakt mit der Flüssigkeit verhindert. In diesem Stadium der sogenannten Filmverdampfung ist der Wärmeübergang noch relativ gering. Sobald die Oberflächentemperatur die Leidenfrosttemperatur unterschritten hat, bricht der Dampffilm zusammen. Die Flüssigkeit kommt mit der Oberfläche in Berührung, und es setzt eine starke Blasenbildung ein. In diesem Stadium der sogenannten Blasenverdampfung ist die Wärmeübertragung überaus hoch und die Kühlwirkung folglich sehr intensiv.

Die Leidenfrosttemperatur hängt neben der Badtemperatur und Badgeschwindigkeit noch von weiteren Einflußgrößen wie Körpergeometrie, Oberflächenrauigkeit, Art des Metalls, Art der Flüssigkeit, Qualität der Flüssigkeit usw. ab. Diese Einflußgrößen sind nicht immer eindeutig

beschreibbar, so daß die Leidenfrosttemperatur und damit die ühlgeschwindigkeit technisch nicht genau genug eingestellt werden kann. Dies hat zur Folge, daß eine relativ große Streuung der Stoffeigenschaften der zu kühlenden Werkstoffe auftritt.

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Eckehard Specht

Förderer: AIF; 01.10.2005 - 31.12.2007

Messung thermophysikalischer Stoffwerte bis 1600 °C

Die Wärmeleitfähigkeit, die spezifische Wärmekapazität und die thermische Ausdehnung werden für eine Vielzahl neuerer Metalle und Keramiken bis zu Temperaturen von 1600 °C gemessen. Die Genauigkeit bei der Ermittlung von solchen Stoffwerten wird durch Vergleich mit verschiedenen Messmethoden untersucht.

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Eckehard Specht

Förderer: DFG; 01.01.2002 - 31.12.2006

Minimizing Stress and Equalizing Hardness by Controlled Quenching

Mit einem komplexen thermomechanischen Modell werden für Abkühlvorgänge von Metallen die Temperatur, das Gefüge, die Härte, die Spannungen und der Verzug simuliert. Es wird gezeigt, wie durch eine definierte Einstellung des örtlichen Wärmeübergangs die Eigenschaften gleichmäßig und der Verzug minimiert werden kann.

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Eckehard Specht

Projektbearbeiter: M. Sc. X. Liu

Förderer: DAAD; 01.10.2002 - 31.12.2006

Prozesssimulation 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 Versuchsdrehrohrföfen 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

Förderer: DFG; 01.04.2004 - 31.12.2006

Reaktionsverhalten von Koksen

Der Einfluss der Temperatur, Korngröße, innere Oberfläche und Porenstruktur auf die Umsatzgeschwindigkeit von Koksen wird experimentell und theoretisch untersucht. Ausgegangen wird zunächst von der endothermen Boudouard-Reaktion, danach wird auch die exotherme Verbrennung mit einbezogen.

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Eckehard Specht

Projektbearbeiter: M. Sc. A. Nirmolo

Förderer: Land (Sachsen-Anhalt); 01.01.2002 - 31.12.2006

Simulation der Verbrennung in Drehrohröfen

Mit dem CFD-Programmsystem FLUENT wird die Verbrennung und die Flammenausbreitung in Drehrohren simuliert. Untersucht werden u. a. der Einfluss von Luftvorwärmung, Drall, und Brennstoffart. Das Ziel der Untersuchungen besteht darin, wie mit der Art des Brenners die Flamme beeinflusst werden kann.

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Eckehard Specht
Förderer: Land (Sachsen-Anhalt); 01.01.2003 - 31.12.2006

Simulation von Schachtofenprozessen

Das Erwärmungs- und Reaktionsverhalten verschiedener Stoffe im Gegenstrom bei Schachtofenprozessen wird simuliert. Der Einfluss der Korngröße, Gastemperatur und Durchsatzgeschwindigkeit wird untersucht. Simuliert wird das Temperatur- und Konzentrationsprofil im Querschnitt.

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Dominique Thévenin
Projektbearbeiter: Dr. K. Zähringer/Dr. G. Janiga
Kooperationen: Prof. Gabriel WITTUM, IWR, Univ. Heidelberg
Förderer: DFG; 20.12.2004 - 31.12.2006

Analyse, Modellbildung und Berechnung von Strömungsmischern mit und ohne chemische Reaktionen

Gegenstand des Projekts ist die Simulation von Strömung und Mischungsverhalten statischer Mischer. Dabei wird in erster Linie auf die Phänomene, die auf sehr kleinen Skalen passieren Wert gelegt. Zur Berechnung einer solchen Strömung müssen ausgereifte Modelle eingesetzt werden, die in der Lage sind einerseits die turbulenten Fluktuationen als auch andererseits die Diffusionsprozesse auf Subskalenebene adäquat zu repräsentieren. In Bezug auf die Turbulenzmodellierung ist daher die Grobstruktursimulation (englisch Large-Eddy Simulation (LES)) ins Auge gefaßt worden, da dabei nur die auf dem Rechengitter nicht mehr darstellbaren Strömungsstrukturen modelliert werden müssen.

Zur Validierung dieser Berechnungen werden eigens hierfür in Magdeburg Validierungsexperimente durchgeführt. Hierfür werden mittels Particle-Image-Velocimetry und Laser-Doppler-Velocimetry die Geschwindigkeitsfelder im Mischer vermessen. Die Konzentrationsverteilung kann durch Laser-Induzierte-Fluoreszenz charakterisiert werden, so daß auch durch den simultanen Einsatz dieser Meßmethoden ein nahezu vollständiges Bild der Strömungsverhältnisse im Mischer gewonnen werden kann. Aufgrund dieser Daten können die neu zu entwickelnden numerischen Methoden validiert werden.

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Dominique Thévenin
Projektbearbeiter: Prof. Dominique Thevenin, M. Sc. Hemdan Shalaby
Kooperationen: Dr. Alain Laverdant, ONERA (Frankreich), Prof. Johannes Janicka, T.U. Darmstadt, Leiter der DFG-Forschergruppe "Verbrennungslärm"
Förderer: DFG; 15.03.2004 - 30.09.2007

Direkte numerische Simulation der Flammen/Akustik-Wechselwirkung

Dieses Vorhaben verfolgt gleichzeitig zwei Ziele. Auf der einen Seite wird die Wechselwirkung zwischen einer turbulenten Flamme und einer akustischen Welle detailliert untersucht. Hierbei wird bestimmt, inwieweit die Flamme zu einer Verstärkung bzw. zu einer Dämpfung der akustischen Welle führt. Neuere Versionen des berühmten Rayleigh-Kriteriums können anhand dieser Simulationen entwickelt und getestet werden. Parallel dazu werden mehrere turbulente

Flammen berechnet, die als Validierung für die Ergebnisse der Grobstruktursimulation, die in anderen Gruppen durchgeführt wird, verwendet werden. Für beide Probleme werden numerische Simulationen mit den selben Programmen durchgeführt. Es handelt sich um sogenannte Direkte Numerische Simulationen (DNS), da diese die einzige Möglichkeit bieten, die gewünschte Genauigkeit und Modellunabhängigkeit zu erreichen. In der DNS werden keine separaten Modelle für die Turbulenz eingesetzt, sondern die Navier-Stokes-Gleichungen direkt gelöst. Die Beschreibung der Flamme erfolgt anhand akkurater physikalischer Modelle, unter Berücksichtigung aller wichtigen Zwischenradikale. Diffusionsprozesse und thermodynamische Eigenschaften werden mit hoher Genauigkeit beschrieben, so dass hiermit auf jeden Fall genaue Angaben über die innere Struktur der Flamme und der reaktiven Strömung gewonnen werden. Sowohl Vormischflammen wie auch Diffusionsflammen werden berechnet. Dieses Projekt wird im Rahmen der DFG-Forschergruppe "Verbrennungslärm" durchgeführt.

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Dominique Thévenin

Projektbearbeiter: Dr. B. Wunderlich, Dr. G. Janiga, Prof. D. Thevenin

Förderer: DAAD; 01.01.2005 - 31.12.2006

Einfluss des Turbulenzmodells auf die numerische Vorhersage komplexer Strömungen mit Wärmeaustausch

Das Modellieren des konvektiven Wärmetransports in komplexer Strömungen, die Ausarbeitung von numerischen Methoden für die Lösung der Energiegleichung des am Lehrstuhl für Strömungs- und Wärmetechnische Maschinen in Entwicklung befindlichen stochastischen Turbulenzmodells nach Czigere, sowie der Vergleich der erzielten Ergebnisse mit Resultaten, die durch die Anwendung unterschiedlicher Turbulenzmodelle erhalten wurden, stellen die grundlegende Zielsetzung des Projekts dar.

Bei mit Wärmeübertragung verbundenen Aufgaben ist eine äußere Einflussnahme durch Regelung oder Steuerung in Abhängigkeit von der Temperatur sehr oft erforderlich. Die Simulation von solchen Prozessen verlangt wegen der zeitlich veränderlichen Randbedingungen, die sehr oft keinen deterministischen Charakter haben, eine spezielle Handhabung. Ein weiteres Ziel des gemeinsamen Projekts ist die Ausarbeitung von solchen Unterprogrammen, die an industrielle Rechenprogramme angepasst werden können und die Handhabung der genannten adaptiven Randbedingungen ermöglichen.

Die Untersuchung der komplexen Strömungen mit Wärmeaustausch dient der Optimierung von wärmetechnischen Prozessen. Die Magdeburger Forschergruppe konnte unter der Leitung von Prof. Thévenin bereits beachtliche Ergebnisse bei der Kopplung von industriellen Rechenprogrammen unter Anwendung von Optimierungsverfahren erzielen. Im Rahmen des gemeinsamen Projekts sollen in Magdeburg am dort vorhandenen Parallelrechnersystem zeitaufwendige Simulationsrechnungen mit unterschiedlichen Parametern ausgeführt werden. Am Lehrstuhl für Strömungs- und Wärmetechnische Maschinen der Universität Miskolc beschäftigen sich Doktoranden mit der numerischen Simulation des konvektiven Wärmetransports in turbulenten Strömungen.

Für die Validierung der Modellansätze und der Rechenergebnisse ist die Durchführung von Versuchen und Vergleichsmessungen von großer Bedeutung. Im Rahmen des gemeinsamen Projekts soll eine Versuchseinrichtung zusammengestellt werden, mit der die Erscheinungen des Wärmetransports und Wärmeaustausches in komplexer Strömungen messtechnisch untersucht werden können.

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Dominique Thévenin
Projektbearbeiter: Prof. Dominique Thevenin, M. Sc. Ali Bourig
Kooperationen: Dr. Alain Laverdant, ONERA (Frankreich), Prof. Johannes Janicka, T.U. Darmstadt, Leiter der DFG-Forschergruppe "Verbrennungslärm"
Förderer: Land (Sachsen-Anhalt); 01.10.2005 - 30.09.2008

Verringerung der Abgasemissionen aus der Verbrennung durch die Verwendung von angeregten Radikalen

Die Ansprüche der Verbraucher und die durch Emissionen hervorgerufenen gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen weiterhin zu einer Verschärfung der tolerierbaren Normen für Verbrennungssysteme (Automotoren, Gasturbinen, Haushalts-heiz-kessel, industrielle Kessel...). Die heutzutage angewandten Methoden, basierend auf einer besseren Regelung des Betriebspunktes im Kessel oder auf einer nachfolgenden katalytischen Reinigung, sind effizient, stoßen aber immer mehr an ihre Grenzen. Unter den Alternativen ist die Verwendung von elektronisch oder vibrationell angeregten Spezies während der Verbrennung, um das Betriebsverhalten zu ändern und die direkten Emissionen zu mindern oder in einer zweiten Stufe, um Schmutzstoffe zu zersetzen und unschädlich zu machen, noch sehr wenig untersucht. Die Projektpartner haben bereits einige Vorarbeiten zu verwandten Themen geleistet. Diese Untersuchungen sollen nun anhand einer Initialfinanzierung auf systematische Art weiter- und näher an die Anwendungsreife herangeführt werden. Das beantragte Forschungsprojekt besteht aus mehreren experimentellen und numerischen Unterbereichen, die nacheinander von ein und dem selben, gemeinsam betreuten Doktoranden in Orléans (Frankreich, Région Centre) und anschließend in Magdeburg durchgeführt werden. Ziel des Projektes ist es, die Einsatzfähigkeit von angeregten Radikalen (hier basierend auf O₂) in der Verbrennung zum Zwecke der Emissionsverminderung nachzuweisen und die entsprechenden Mechanismen aufzuklären. Dies soll an Hand experimenteller und theoretisch-numerischer Untersuchungen an Modellbrennern erfolgen. Diese umfassen spektroskopische Untersuchungen der Flamme und der Verbrennungsprodukte, Untersuchungen des Stabilisierungsverhaltens der Flammen, numerische Berechnung und Validierung der durch die angeregten Radikale veränderten Reaktionsmechanismen und den Vergleich der experimentellen und numerischen Ergebnisse.

Projektleiter: Dr. Bernd Wunderlich
Projektbearbeiter: Dr. B. Wunderlich, Dr. V. Wömpner, DI N. Krause
Förderer: Industrie; 01.12.2004 - 31.03.2005

Volumenstrommessung in einem Belüftungsrohr für Kläranlagenreinigungspumpen

Für das Beimischen von Gasen (Luft) zu einem flüssigen Treibstrom mittels einer Strahlpumpe (Injektor oder Ejektor) sind viele Anwendungen bekannt. Dazu zählt auch das Reinigen des Bodens von Kläranlagen. Dabei sorgt die Luftbeimengung für ein Auffächern des von einer Kreiselpumpe gelieferten Impulsstrahles, der im Bedarfsfall die Sedimente am Boden der Klärkammer aufwirbeln soll.

Für den Betreiber der Kläranlage ist es wichtig, die pro Zeiteinheit eingetragene Luftmenge zu kennen. Diese ist abhängig von den Druckverhältnissen in der Strahlpumpe und somit vom jeweiligen Wasserstand im Klärbecken.

Da bis jetzt für die in diesem Projekt betrachteten Pumpen entsprechende Daten nur ungenau bekannt sind, ist es erforderlich, eine Reihe von Lufteintragsmessungen durchzuführen. Dabei spielen Probleme wie Kalibrierung und Messgenauigkeit natürlich eine wichtige Rolle.

Um so nah wie möglich an die realen Einsatzbedingungen zu gelangen, werden diese Messungen in einem realen wassergefüllten Klärbecken durchgeführt. Die Messung der lokalen Geschwindigkeit im Zentrum einer Einlaufdüse wurde als Messverfahren ausgewählt. Dazu wurde der Nachweis einer konstanten Geschwindigkeitsverteilung in dieser Ebene erbracht.

5. Eigene Kongresse und wissenschaftliche Tagungen

"Perspektiven der Strömungsmechanik"; jährliches Treffen, organisiert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG); 18.11 bis 20.11.2005; Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

6. Veröffentlichungen

Originalartikel in internationalen Zeitschriften

Leonhardt, Henry ; Meinecke, Dirk ; Mustafa, Tarek ; Gerlach, Klaus Louis

Newly-developed measuring device for the quantitative assessment of thermal and pain thresholds of peripheral nerves.

In: Biomed. Tech. 50(2005), Nr. 9, S. 268 - 270

[Imp.fact.: 0.830]

Liu, Xiaoyan ; Specht, Eckehard ; Mellmann, Jochen (ext.)

Experimental study of the lower and upper angles of repose of granular materials in rotating drums.

In: Powder technology [Amsterdam] 154(2005), S. 125 - 131

[Imp.fact.: 0.986]

Liu, Xiaoyan ; Specht, Eckehard ; Mellmann, Jochen (ext.)

Slumping-rolling transition of granular in rotary kilns.

In: Chemical engineering science [Amsterdam] 60(2005), S. 3629 - 3636

[Imp.fact.: 1.562]

Pietzsch, Robert (ext.) ; Brzoza, Mirosław ; Kaymak, Yalcin ; Specht, Eckehard ; Bertram, Albrecht

Minimizing the distortion of steel profiles by controlled cooling.

In: Steel research international [Düsseldorf] 76(2005), Nr. 5, S. 399 - 407

[Imp.fact.: 0.140]

Woche, Hermann ; Specht, Eckehard ; Schmidt, Jürgen

Local heat transfer in tubes after sudden change of diameter.

In: Chemical engineering & technology [Weinheim] 28(2005), Nr. 6, S. 677 - 683

[Imp.fact.: 0.542]

Originalartikel in nationalen Zeitschriften

Agustini, Sri ; Specht, Eckehard

Influence of the regenerative heat of the wall on the overall heat transfer in rotary kilns
= Einfluss der regenerativen Wärme der wand auf den gesamten Wärmeübergang in Drehrohröfen.

In: Cement International [Erkrath] 3(2005), Nr. 5, S. 61 - 73

Brzoza, Mirosław ; Specht, Eckehard ; Ohland, J. (ext.) ; Luebben, Th. (ext.) ; Belkessam, O. (ext.) ; Fritsching, U. (ext.) ; Mayr, P. (ext.)

Düsenfeldanpassung bei der flexiblen Gasabschreckung.

In: Härterei-Technische Mitteilungen : HTM [München] 60(2005), Nr. 3, S. 166 - 172

Junge, Karsten (ext.) ; Specht, Eckehard ; Telljohann, Uta (ext.) ; Deppe, Dirk (ext.)

Trocknung von Ziegelrohlingen.

In: Ziegelindustrie international : ZI [Gütersloh] 8(2005), S. 39 - 51

Leonhardt, Henry ; Meinecke, Dirk ; Gerlach, Klaus Louis

Quantitative Bestimmung der Thermosensibilität bei Unterkieferfrakturen.

In: Mund-Kiefer-Gesichts-Chir. 9(2005), Nr. 5, S. 312 - 316

Lui, Xiaoyan ; Specht, Eckehard ; Mellmann, Jochen (ext.)

Beeinflussung der Abrollbewegung und transversalen Partikelverweilzeit in Drehrohröfen
= Factors influencing the rolling motion and transverse particle residence time in rotary kilns.

In: ZKG International [Walluf] 58(2005), Nr. 2, S. 62 - 73

Oencuel, Alper A. ; Elsner, M.P. (ext.) ; Thevenin, Dominique ; Seidel Morgenstern, Andreas

Numerische Untersuchung der Kristallisation zur Enantiomerentrennung in komplexen Strömungen.

In: Chemie - Ingenieur - Technik [Weinheim] 77(2005), Nr. 8, S. 1040 - 1041

[Imp.fact.: 0.306]

Woche, Hermann ; Nirmolo, Aryoso ; Skroch, Rainer (ext.) ; Specht, Eckehard

Intensivmischung von radialen Düsenstrahlen mit einer Hauptströmung = Intensive mixing of radial nozzle jets with a main flow.

In: Gas-Wärme international [Essen] 54(2005), Nr. 5, S. 301 - 306

Buchbeiträge (einschließlich Lehrbuchbeiträge)

Brzoza, Mirosław ; Specht, Eckehard ; Ohland, J. (ext.) ; Belkessam, O. (ext.) ; Luebben, T. (ext.) ; Fritsching, U. (ext.)

Minimizing stress and distortion for shafts and discs by controlled quenching in a field of nozzles.

In: Zoch, Hans-Werner (Hrsg.) ; Luebben, Th. (Hrsg.): Distortion engineering, IDE 2005 (1st international conference Bremen, Germany 14-16 September 2005). - proceedings. Bremen

: Univ., 2005, S. 397 - 404 (IDE 2005)

Krol, Jacek ; Specht, Eckehard

Influence of quality of water and surface roughness on quenching rate.

In: Müller, H. R. (Hrsg.): Continuous casting 2005 (international conference Neu-Ulm Germany 14 - 16 November 2005). Weinheim : Wiley-VCH, 2005, S. 118 - 123

Krol, Jacek ; Specht, Eckerhard ; Puschmann, Frank

Atomized spray for adjustment of local heat transfer in metal quenching.

In: International Centre of Heat and Mass Transfer, ICHMT (Veranst.): Heat and mass transfer in spray systems, SPRAY-05 (international symposium Antalya Turkey 5 - 10 June 2005).

- proceedings. New York, NY : Begell House, 2005, 9 S., [Elektronische Ressource] (SPRAY 05)

Hochschulschriften

Chmielowski, Mirosław

Modellierung der unter- und oberseitigen Wärmeübertragung an plattenförmiges Gut in Rollenöfen. 2004, 128 S. Magdeburg, Univ., Fak. für Verfahrens- und Systemtechnik, Diss., 2005