

Engler-Bunte-Institut des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) und Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe (TZW) im Jahre 2010

Forschung, Engler-Bunte-Institut, DVGW-Forschungsstelle, Forschungsstelle für Brandschutztechnik, Technologiezentrum Wasser, Tätigkeitsbericht, Forschung und Lehre, Ausbildung, Weiterbildung

Henning Bockhorn, Fritz H. Frimmel, Josef Klinger, Thomas Kolb und Rainer Reimert

Dieser Bericht soll einen Überblick über aktuelle Entwicklungen und Aktivitäten im Jahr 2010 am Engler-Bunte-Institut, der DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut sowie der Forschungsstelle für Brandschutztechnik ermöglichen. Ebenso wird über das aus dem Engler-Bunte-Institut hervorgegangene Technologiezentrum Wasser (TZW) berichtet. Wie in den vergangenen Jahren erscheinen die gasspezifischen Beiträge im gwf-Gas/Erdgas und die wasser-spezifischen Beiträge des TZW und des EBI im gwf-Wasser/Abwasser. Im Mittelpunkt des Berichtes steht die Entwicklung der oben angegebenen Einrichtungen mit Beiträgen über die universitäre Lehre, die Ausbildung und Weiterbildung, über Forschungs- und Entwicklungsprojekte, über Beratung und Firmkontakte sowie über sonstige Aktivitäten. Der Bericht streift ebenso die Entwicklung des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT), das durch die Zusammenführung der Universität Karlsruhe (TH) und des Forschungszentrums Karlsruhe als neue Struktur mit den Aufgaben einer Landesuniversität und einer Großforschungseinrichtung des Bundes in der Helmholtz-Gemeinschaft entstanden ist.

Zur Geschichte und zum Umfeld

Das Engler-Bunte-Institut am Karlsruher Institut für Technologie ist hervorgegangen aus der ehemaligen „Lehr- und Versuchsgasanstalt“ (1907–1919), die wiederum in das „Gasinstitut“ (1919–1959) bzw. das „Institut für Gastechnik, Feuerungstechnik und Wasserchemie“ (1959–1971) überführt wurde. Wesentlich für diese nun mehr als hundertjährige Entwicklung ist die enge Verbindung zur Praxis, die dadurch zum Ausdruck kommt, dass die „Lehr- und Versuchsgasanstalt“ und später das „Gasinstitut“ zwar wirtschaftlicher Besitz des Deutschen Vereins von Gas- und Wasserfachmännern (DVGW, heute: Deutscher Verein des Gas- und Wasserfach e.V.)

Karlsruhe Institute of Technology in 2010

This report aims at giving an overview about actual developments and activities of the Engler-Bunte-Institute, its Research Centers as well as the Water Technology Center (TZW) which developed from the Engler-Bunte-Institute. As usual, the gas related parts can be found in gwf-Gas/Erdgas and the water related parts in gwf-Wasser/Abwasser. The report highlights academic teaching, courses and advanced education, and focuses on scientific research and development projects, on consulting and contacts to business companies as well as on other activities of the Engler-Bunte-Institute, the DVGW-Research Center, the Research Center of Fire Protection Technology and the Water Technology Center (TZW). The report is also focused on the development of the Karlsruhe Institute of Technology (KIT), which evolved from the fusion of the University of Karlsruhe (TH) and the Research Centre of Karlsruhe.

waren, ihre Leiter aber in Personalunion Lehrstuhlinhaber an der Technischen Hochschule Karlsruhe. Im Jahr 1959 wurde das Gasinstitut ein staatliches Hochschulinstitut mit der entsprechenden personellen und baulichen Ausstattung, wobei die in der Zwischenzeit eingetretenen Veränderungen durch die Gründung einer Abteilung für Wasserchemie und die Namensgebung des Instituts: Gastechnik, Feuerungstechnik und Wasserchemie berücksichtigt wurden.

Seit 1971 schließlich führt das Institut den Namen „Engler-Bunte-Institut“. Die enge Verbindung zum DVGW und damit zur Praxis des Gas- und Wasserfaches äußert sich darin, dass die jeweiligen Lehrstuhlinhaber,

gegenwärtig „Chemische Energieträger – Brennstofftechnologie“, „Verbrennungstechnik“ und „Wasserchemie“ auch in Personalunion Leiter der fachlich entsprechenden Bereiche einer Forschungsstelle des DVGW im Engler-Bunte-Institut sind.

Im Jahr 2009 wurde die Verschmelzung der Universität Karlsruhe (TH) mit dem Forschungszentrum Karlsruhe zum Karlsruher Institut für Technologie (KIT) mit den Aufgaben einer Landesuniversität und einer Großforschungseinrichtung in der Helmholtzgemeinschaft vollständig Wirklichkeit. Seit dem 1. Oktober 2009 existiert das Karlsruher Institut für Technologie als „legal entity“, und die Pläne, mit denen die Universität Karlsruhe (TH) im Wettbewerb um die Förderung von Exzellenz-Universitäten erfolgreich war, sind zum größten Teil umgesetzt. Mittlerweile sind die Strukturen eingerichtet, in denen in Zukunft Lehre, Weiterbildung und Forschung auf höchstem Niveau durchgeführt werden sollen. Die Schwerpunktsetzung des KIT als ein internationales Zentrum der Forschung auf dem Gebiet der Energie und des Wassers ist sichtbar geworden und hat in den KIT-Zentren „Energie“ sowie „Klima und Umwelt“ eine entsprechende Struktur. Das Engler-Bunte-Institut ist wichtiger Teil des KIT-Zentrums Energie für die Bereiche Energieumwandlung und Erneuerbare Energien sowie des KIT-Zentrums Klima und Umwelt im Bereich Wasserversorgung.

Der vorliegende Tätigkeitsbericht enthält Beiträge der einzelnen Bereiche des Engler-Bunte-Instituts und des Technologiezentrums Wasser (TZW).

Die zahlreichen Projekte aus dem Gas- und Verbrennungsfach sowie dem Wasserfach zeugen von der internationalen Bedeutung der Lehrstühle und der Praxisnähe der ihnen zugeordneten Laboratorien und Technologieeinheiten. Einen Schwerpunkt bildet der Sonderforschungsbereich 606 „Instationäre Verbrennung: Transportphänomene, chemische Reaktionen, Technische Systeme“ (Sprecher: *H. Bockhorn*), der in seiner letzten Förderperiode bis zum Ende des Jahres 2012 mit 19 Teilprojekten (Förderumfang insgesamt ca. 8 Mio Euro) nunmehr die in den vergangenen Jahren entwickelten Grundlagen auf praxisnahe Systeme überträgt. Das vom KIT in 2010 erfolgreich eingeworbene EU-Großprojekt KIC InnoEnergy (Knowledge & Innovation Community) wird mit starker Beteiligung des EBI aufgebaut werden. Darüber hinaus arbeiten die drei Bereiche des Engler-Bunte-Instituts in zahlreichen Verbund-Großprojekten an maßgeblicher Stelle mit. Hierzu finden sich detaillierte Angaben auf den nächsten Seiten.

Mittlerweile hat der zweite Kurs des 2006 erstmals eingeführten englischsprachigen Master-Studiengangs „Utilities and Waste – Sustainable Processing“ seine Ausbildung abgeschlossen. Der dritte Kurs dieser erfolgreichen Initiative geht in sein zweites Jahr. Der Studiengang wird im Wesentlichen von den drei Lehrstühlen des Engler-Bunte-Instituts getragen. Aufbauend auf vertiefende

Spezialvorlesungen über Brennstoffe, Verbrennungsvorgänge, die thermische Abfallbehandlung und über moderne Wassertechnologien wird von den Studierenden ein „Design Project“ bearbeitet, in dem eine praxisnahe Aufgabenstellung bis ins Detail ausgearbeitet wird.

Neben der Studierenden- und Doktorandenausbildung stand wie immer auch die Weiterbildung der bereits im Beruf stehenden Fachleute auf dem Programm. Der Gaskurs wurde als traditionsreicher und geschätzter Dauerbrenner auch 2010 wieder durchgeführt, ebenso wie der jährliche Erfahrungsaustausch der Chemiker und Ingenieure des Gasfachs, sowie der GDCH-Fortbildungskurs „Praxisgerechte Wasserbeurteilung“.

Die in der Praxis konkret anstehenden Fragestellungen werden vor allem in der DVGW-Forschungsstelle, der Abteilung Gastechologie, dem Prüflaboratorium Gas und der Forschungsstelle für Brandschutztechnik bearbeitet. Das Technologiezentrum Wasser mit seiner praxisgerechten Kompetenz in Analytik, Aufbereitung, Ressourcenschutz, Korrosion, Verteilungsnetze und Umweltbiotechnologie bedient Wasserversorgungsunternehmen, Behörden und Verbände.

Viele der Projekte wurden und werden durch Institutionen wie der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), dem Deutschen Verein des Gas- und Wasserfachs (DVGW), dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), der Europäischen Kommission und anderen Drittmittelgebern des Bundes und des Landes gefördert. Ein erheblicher Anteil wird aber auch durch Forschungsaufträge aus der Industrie und von Unternehmen finanziert. Schließlich trugen Stiftungen und gemeinnützige Fördervereinigungen zur Umsetzung so mancher Forschungs idee bei.

Aus all dem erwuchs eine beachtliche Zahl von Publikationen, die zum großen Teil in den führenden internationalen Fachjournalen nach strenger Begutachtung erschienen sind. Die Listen der Veröffentlichungen sind den Berichten der einzelnen Bereiche zu entnehmen.

Auch das Jahr 2010 hat gezeigt, dass das Engler-Bunte-Institut mit seinen Lehrstühlen, Prüfstellen und der DVGW-Forschungsstelle sowie das Technologiezentrum Wasser des DVGW gut aufgestellt sind. Neu eingeworbene Forschungsprojekte weiten die Kooperationen innerhalb Deutschlands und international aus. Die Neubesetzung des Lehrstuhls für „Chemie und Technik von Gas, Erdöl und Kohle“ wurde im Jahr 2010 abgeschlossen. Dieser Lehrstuhl wird fortan die Bezeichnung „Chemische Energieträger – Brennstofftechnologie“ tragen. Die Vorbereitungen zur Neubesetzung des Lehrstuhls Wasserchemie – zukünftig Lehrstuhl für Wasserchemie und Wassertechnologie sind abgeschlossen, so dass die Kontinuität in der Forschung und Lehre gewährleistet werden kann.

Weitere Informationen sind auf den nächsten Seiten und im Internet auf den Seiten des Instituts und der einzelnen Bereiche zu finden.

1. Aktivitäten des Lehrstuhls und des Bereiches Chemie und Technik von Gas, Erdöl und Kohle und der Abteilungen Gastechologie und Materialprüfung der DVGW-Forschungsstelle

Prof. Dr.-Ing. Rainer Reimert (bis 30.09.2010), Prof. Dr.-Ing. Thomas Kolb (seit 01.10.2010), Prof. Dr.-Ing. Georg Schaub

1.1 Lehre und Forschung

Neben den „klassischen“ Gebieten der Brennstofftechnik und -chemie, die sich mit fossilen und erneuerbaren Brennstoffen befassen, deckt der Bereich auch einen Teil der Lehre in den Grundlagen für die eigene Fakultät ab. Zu nennen sind hier die Organisch-chemische Prozesskunde, die Einführung in das Life-Science-Engineering und diverse Praktika für die Studienrichtungen Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen. Die von Dr. Bajohr angebotene Vorlesung „Energieträger aus Biomasse“ findet gute Resonanz bei deutschen wie auch bei ausländischen Studierenden.

Als Konsequenz seiner Entpflichtung zum 1. Oktober 2010 hat Herr Reimert im Wintersemester 2010/2011 seine letzte Vorlesung, den Brennstoffzellen und den Batterien gewidmet, abgehalten. Indirekt wird er noch einige Zeit durch das Abnehmen von mündlichen Prüfungen der Lehre verbunden bleiben.

Die bisherigen Forschungsarbeiten des EBI I zur Nutzung nachwachsender Energie-Rohstoffe werden fortgeführt. Bearbeitet werden hier einerseits verfahrenstechnische Aspekte der Biogaserzeugung über Fermentation als auch solche zur Biomassevergasung. Neu begonnen wurden begleitende Arbeiten zur Wasserstoffherzeugung mittels Mikro-Algen. Die Arbeiten zur Stahlhärtung durch Aufkohlung fanden durch das Carbo-Nitrieren eine logische Fortsetzung. Mit der Brennstoffaufbereitung für Brennstoffzellen befassen sich noch drei Forschungsarbeiten, die alle in ihren Endphasen sind (s. auch abgeschlossene Promotionen) und nicht mehr weitergeführt werden.

Die Planung einer Holzvergasungsanlage für die Energieversorgung Filstal (EVF), an der das KIT über das Engler-Bunte-Institut beteiligt war und weiter sein sollte, ist in einer kritischen Phase, weil die Wirtschaftlichkeit aufgrund unerwartet hoher Investitionen und seit Planungsbeginn stark gestiegener Holzpreise fraglich geworden ist.

Mit der Übernahme der Leitung durch Herrn Kolb zum 1. Oktober 2010 wurde der Bereich I des EBI umbenannt in „Chemische Energieträger – Brennstofftechnologie“, ceb mit dem Lehrstuhl für „Verfahrenstechnik chemischer Energieträger“. EBI ceb befasst sich in Lehre und Forschung mit der verfahrensspezifischen Charakterisierung fossiler und biogener, fester, flüssiger und gasförmiger Brennstoffe sowie der Verfahrenstechnik und der Chemie der Brennstoffumwandlung und -aufbereitung. Die Pflichtvorlesungen in den Studiengängen der Fakultät leiten hin zu den vom EBI getragenen Vertiefungsvorlesungen der Hauptfächer

- Chemie und Technik fossiler und erneuerbarer Brennstoffe
- Umweltschutz-Verfahrenstechnik: Richtung Brennstoffe, Verbrennung und Umwelt

Die Forschungsarbeiten des EBI ceb konzentrieren sich auf fossile und biogene Brennstoffe, deren verfahrensspezifische Charakterisierung sowie die Verfahrenstechnik und die Chemie der Brennstoffumwandlung und -aufbereitung, insbesondere bei hohem Druck. Weitere Arbeitsschwerpunkte sind die Synthese von Brennstoffen, neue Bio-Brennstoffe und die Nutzung chemischer Energieträger als Energiespeicher.

Die grundlagenorientierten F&E-Arbeiten des EBI ceb werden ergänzt durch die Arbeiten zur Flugstromvergasung der Abteilung Vergasungstechnologie am Institut für Technische Chemie ITC vgt am Campus Nord des KIT. Durch die enge Verbindung zwischen EBI ceb und ITC vgt werden die anwendungsnahen Forschungseinrichtungen des Campus Nord auch für die Ausbildung der Studierenden verstärkt genutzt.

Die Forschungsarbeiten zur Flugstromvergasung am ITC vgt sind in der „Programmorientierten Förderung, PoF“ im Helmholtz-Forschungsbereich „Energie“, Programm „Rationelle Energiewandlung und Nutzung, REUN“ und mit der auf Biomasse ausgerichteten Anwendung der Flugstromvergasung im Programm „Erneuerbare Energien, EE“ verankert. Damit ist das EBI ceb in die Forschungsstrukturen der HGF eingebunden.

Der zum EBI ceb gehörende Bereich Gastechologie der DVGW-Forschungsstelle am EBI befasst sich in Forschung und Anwendung mit Technik und Verfahren der Gaserzeugung, -verteilung und -verwendung.

Die Forschungsaktivitäten des Bereichs Gastechologie wurden in 2010 stark ausgebaut, wobei insbesondere die „Innovationsoffensive Gastechologie“ des DVGW einen Schwerpunkt bildet.

EBI ceb ist im KIT-Zentrum Energie in Topic 1 „Energieumwandlung“ sowie in Topic 2 „Erneuerbare Energien“ mit den Themenschwerpunkten Brennstoffe, Vergasung und Kraftwerkstechnik sehr stark vertreten. Herr Kolb ist als stellvertretender Sprecher Topic 2 in die Leitungsstrukturen des KIT-Zentrums Energie eingebunden. Herr Schaub wirkt im KIT-Zentrum Klima und Umwelt in Topic 4 „Technikbedingte Stoffströme“ mit.

Das vom KIT in 2010 erfolgreich eingeworbene EU-Großprojekt KIC InnoEnergy (Knowledge & Innovation Community) ist mit dem an der Co-Location Deutschland definierten Arbeitsschwerpunkt „Energie aus chemischen Brennstoffen“ mit seinen Forschungs- und Ent-

wicklungsprojekten auf die Unterstützung der Ziele des SET-Plans der EU ausgerichtet. Die Verminderung der CO₂-Emissionen, die Erhöhung des Anteils regenerativer Energie an der Energiebereitstellung und die Erhöhung der Effizienz von Energiewandlungsprozessen sind die wesentlichen Zielgrößen.

Alle Bereiche des EBI sind mit Projekten im Arbeitsgebiet „Energie aus chemischen Brennstoffen“, das von Herrn Kolb koordiniert wird, vertreten.

Im Jahr 2010 wurden im Bereich folgende Promotionsverfahren abgeschlossen:

- *Wolf, Markus*: Minimierung des Druckverlusts durch Optimierung der CO-Entfernungsstufe für ein stationäres PEM-Brennstoffzellenheizgerät (Referent: Prof. Dr.-Ing. R. Reimert; Korreferent: Priv.-Doz. Dr. Sven Kureti)
- *Rohde, Martin*: In-situ H₂O-Removal via Hydrophilic Membranes during Fischer-Tropsch and other Fuel-related Synthesis Reactions (Referent: Prof. Dr.-Ing. G. Schaub; Korreferent: Prof. Dr.-Ing. A. Seidel-Morgenstern)

1.2 Laufende wissenschaftliche Arbeiten des Lehrstuhls

Niederdruck-Carbonitrieren

Im Rahmen des vom BMBF geförderten Verbundprojektes „Entwicklung und Untersuchung des Unterdruck-Carbonitrierens zur Großserienreife – CARBONIT“ werden erstmals die beim Carbonitrieren gekoppelt ablaufenden Pyrolyse- und Stofftransportprozesse untersucht. Experimentell und modellierend/simulierend werden die homogene Pyrolyse der Einsatzstoffe und die parallel dazu ablaufenden heterogenen Aufkohlungs- und Aufstickungsreaktionen einschließlich der Diffusionsvorgänge im Stahl untersucht. Der gegenseitige Einfluss der gleichzeitig ablaufenden Reaktionen kann mit einer Thermowaage, welche mit einem Online-Massenspektrometer und einem Gaschromatographen gekoppelt ist, bestimmt werden. Die örtlich veränderlichen Konzentrationen von Kohlenstoff und von Stickstoff in den Stahlproben werden von einem der Projektpartner über GDOS (Glow Discharge Optical Spectroscopy) gemessen. Ziel des Projektes ist die Übertragung der experimentell gewonnenen Erkenntnisse auf ein am EBI entwickeltes CFD Modell, um damit Carbonitrierergebnisse und Abgaszusammensetzungen in einer großtechnischen Anlage zuverlässig voraus berechnen zu können.

Brennstoffzellen

Erfolgreich beendet wurden die Entwicklungsarbeiten zur Minimierung des Druckverlusts bei der Herstellung von ausreichend reinem Wasserstoff für ein auf Erdgas basierendes PEM-Brennstoffzellen-Heizgerät. Mit seiner Dissertation konnte Herr Wolf zeigen, dass durch Verwendung hoch aktiver Katalysatoren in Reaktoren mit wabenförmigen Katalysatorträgern und durch optimierte Temperaturniveaus ein Druckverlust der gesam-

ten Prozesskette unter 5 mbar erreichbar ist. Damit wäre eine Druckerhöhung des Erdgases vor Eintritt in die Brennstoffzelle nicht erforderlich. In weiteren Arbeiten wurde für die Hochtemperaturbrennstoffzelle (SOFC) gezeigt, dass das der Anode zugeführte Brenngas nur einen geringen Anteil an Kohlenwasserstoffen, speziell an höheren Kohlenwasserstoffen verträgt, ohne dass es zur Verkokung kommt. Die Modellierung von Stoff- und Energietransport unter Einschluss der Reformier- und der Oxidationsreaktionen in einer SOFC-Zelle zeigt Wege zu einer optimalen Gestaltung im Hinblick auf eine homogene Temperaturverteilung auf.

Fischer-Tropsch-Synthese

Für die Erzeugung alternativer Kohlenwasserstoff-Kraftstoffe wird die Kombination von Fischer-Tropsch-Synthese und Produktaufarbeitung in einem Reaktor untersucht. Durch diese Kombination könnten die nötigen Investitionen gesenkt und damit der Bau kleinerer Anlagen (z.B. bei Biomasse als Einsatzstoff) begünstigt werden. Von wissenschaftlichem Interesse ist hier die Kinetik der Hydroprocessing-Reaktionen der Fischer-Tropsch-Primärprodukte unter Synthesebedingungen. Das Projekt wird zusammen mit dem Institut für Chemische Verfahrenstechnik bearbeitet, wo die Katalysatoren formuliert, hergestellt und mit Modellreaktionen getestet werden. In einem weiteren Vorhaben werden verschiedene Kombinationen von CO-Konvertierungsreaktion und Fischer-Tropsch-Synthese mit einem Co-Katalysator untersucht. Hier ist das Ziel, reaktionstechnisch günstige Lösungen zu finden, wenn bei CO-reichen Synthesegasen (wie sie i.a. bei Biomasse als Rohstoff vorliegen) Co-Katalysatoren mit ihren Selektivitätsvorteilen für die Synthese verwendet werden sollen.

Thermochemische Vergasung von Biomasse und assoziierte Prozesse

Als Teil des von der Helmholtz-Gemeinschaft geförderten und vom KIT Campus Nord (ehem. Forschungszentrum Karlsruhe) initiierten Verbundprojektes „Synthesegaserzeugung aus Öl/Koks-Slurries aus Biomasse“ wurden Wege zur Steigerung der Effektivität der Flugstromvergasung von flüssigen und festen biomassestämmigen Produkten aus der Schnellpyrolyse untersucht. Zum Erzielen einer höheren Rohgasreinheit sollte die Betriebsführung des Vergasers im Hinblick auf die Minimierung der Rußbildung optimiert werden. Das Projekt wurde im Lauf des Jahres 2010 abgeschlossen. Weiterführende Untersuchungen beschäftigen sich mit der Charakterisierung der gebildeten Ruße hinsichtlich ihrer Vergasbarkeit in situ. Ziel ist es, Betriebsbedingungen zu finden, bei denen der in der Vergasung gebildete Ruß möglichst vollständig noch im Vergasungsreaktor abgebaut wird.

Das vom Wirtschaftsministerium Baden Württemberg geförderte Projekt „Gaserzeugung aus Biomasse

III“ wurde in Zusammenarbeit mit dem ITC vgt des KIT Campus Nord abgeschlossen. Im Rahmen dieses Projektes wurde die Vergasungsanlage REGA ertüchtigt, um darin biomassestämmige Koks-/Pyrolyseöl-Slurries zu vergasen und die Wirksamkeit einer gestuften endothermen in situ Reformierung von Propan zur Rohgaskühlung zu untersuchen. Die Propanreformierung dient als Vorversuch zur Evaluierung einer zweiten, der Flugstromvergasung nachgeschalteten, endothermen Vergasung von Biomasse-Koks („chemischer Quench“). Die Arbeiten konzentrieren sich hierbei auf die verfahrensspezifische Charakterisierung verschiedener Biomasse-Kokse und auf die Quantifizierung von unerwünschten Nebenprodukten aus dem Koks bei verschiedenen Betriebsbedingungen. Mit Hilfe mathematischer Modelle wird ein Verfahrenskonzept erarbeitet, welches die Minimierung der Nebenprodukte zum Ziel hat.

Thermochemische SNG-Erzeugung

Im Rahmen des Leuchtturmprojekts „Technologieplattform Bioenergie und Methan“ des Landes Baden-Württemberg und des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit werden Konzepte zur Heißgasreinigung entwickelt.

Als einen Schritt bei der thermochemischen Erzeugung von SNG aus Biomasse bearbeitet der Bereich Gastechologie der DVGW-Forschungsstelle im Rahmen eines EU-Projektes und eines Projektes der Landesstiftung Baden-Württemberg die Methanisierung in katalytisch beschichteten metallischen Wabenreaktoren. Neben ihrem einfachen Aufbau bieten Metallwaben bei der stark exothermen Methanisierung den Vorteil, dass bei ihnen wegen eines guten Wärmeleitvermögens die Reaktionswärme effektiv abgeführt werden kann. Dadurch lässt sich in den metallischen Wabenreaktoren eine homogenere Temperaturverteilung als in herkömmliche Festbettreaktoren realisieren, was vorteilhaft zur Steuerung der Produktselektivitäten genutzt werden kann.

Fermentative SNG-Erzeugung

Im Rahmen des BMBF-Verbundvorhabens B2G „Innovative Erzeugung von gasförmigen Brennstoffen aus Biomasse“ entwickelt der Bereich Gastechologie der DVGW-Forschungsstelle in Zusammenarbeit mit der Universität Hohenheim u.a. ein neuartiges Druck-Fermentationsverfahren, das die Biogasproduktion in Hinblick auf die anschließende Aufbereitung auf Erdgasqualität und Einspeisung in das Erdgasnetz signifikant verbessern soll. Dabei werden die Vorteile einer zweistufigen Fermentation mit dem neuen Ansatz einer Druckfermentation in der zweiten Stufe kombiniert. Das erzeugte Rohbiogas liegt bei dieser Prozessvariante bereits auf Einspeisedruckniveau vor und enthält einen höheren Methananteil als bei den etablierten drucklosen Verfahren. Dadurch wird sich die Aufbereitung des

Biogases deutlich vereinfachen, da weniger Kohlendioxid abgetrennt werden muss und auch eine anschließende Kompression des Biogases vor der Einspeisung entfällt.

Neben der Prozessoptimierung der fermentativen Erzeugung wird auch die Eignung von ionischen Fluiden für Gasreinigungsprozesse untersucht.

Wasserstoffherzeugung mit Mikroalgen

Die Kultivierung von Mikroalgen findet heute großes Interesse zur Erzeugung von chemischen Energieträgern (Biomasse, Bioöle, H₂). Begleitend zu Forschungsarbeiten der Reaktorentwicklung am Institut für Bio- und Lebensmitteltechnik, Bereich Bioverfahrenstechnik werden damit verbundene Systemfragen behandelt, insbesondere die Integration einer Gastrennung mit Membranen und CO₂-Rückführung. Der wegen der Sonnenstrahlung instationäre Gesamtprozess wird mit seinen Teilvorgängen und Geschwindigkeiten mathematisch beschrieben, das Modell mit gleichzeitig experimentell ermittelten kinetischen Parametern aus der Arbeitsgruppe der Bioverfahrenstechnik gefüllt. Für die Validierung der Modelle der Gastrennung werden Experimente zur H₂/CO₂-Trennung mit Membranen in einer entsprechenden Laborapparatur durchgeführt. Modellrechnungen sollen helfen, wichtige Einflussgrößen auf das Wachstum und die H₂-Bildung der Mikroalgen zu identifizieren und auf dieser Basis günstige Prozessanordnungen und optimierte Prozessführungsstrategien mit minimalem Energiebedarf zu ermitteln.

Flugstromvergasung von hochviskosen Suspensionsbrennstoffen

Die Umsetzung von hochviskosen Suspensionsbrennstoffen im druckgeladenen Flugstromvergaser ist das übergeordnete Forschungsthema der Abteilung Vergasungstechnologie vgt am ITC. An der Versuchsanlage PAT wird das Zerstäubungsverhalten von Suspensionen im Zweistoff-Zerstäuber in Abhängigkeit des Reaktordrucks untersucht. Am atmosphärischen Technikumsvergaser REGA werden Modellbrennstoffe und technische Suspensionsbrennstoffe (Slurries) aus der Pyrolyse von Rest-Biomasse (Stroh) unter vergasenden Betriebsbedingungen umgesetzt und die Abhängigkeit der Synthesegas-Qualität von den Prozessparametern Stöchiometrie, Temperatur, Verweilzeit, Zerstäubungsqualität sowie von der Brennstoff-Spezifikation bewertet. Die Forschungsarbeiten werden im Rahmen der Helmholtz-Programme REUN und EE durchgeführt.

1.3 Tagungen und Veranstaltungen

Erfahrungsaustausch für Chemiker und Ingenieure des Gasfachs

Gefördert durch die jeweils lokal ansässigen Unternehmen der Gaswirtschaft wird der „Erfahrungsaustausch“ an wechselnden Orten abgehalten. So führte die

„Deutschlandreise“ die Chemiker und Ingenieure des Gasfachs im Jahr 2010 nach Lindau, dem bayerischen Zipfel am und im „Schwäbischen Meer“, dem Bodensee. Dort diskutierten sie ausführlich die in **Tabelle 1** aufgeführten Themen. Die Vortragsinhalte sowie Auszüge aus der fachlichen Diskussion können wie bewährt und üblich den auf den Vorträgen basierenden Veröffentlichungen im GWF des laufenden Jahrgangs 2011 entnommen werden.

Angereichert wurde das gasfachliche Programm um einen Besuch im Dorniermuseum in Friedrichshafen und um eine Besichtigung des idyllisch am Ufer des Bodensees gelegenen Wasserwerks Nonnenhorn der Stadtwerke Lindau, die sich auch dankbarerweise als Sponsor an der Veranstaltung beteiligten. Das Begleitprogramm fand seinen krönenden Abschluss durch eine Drei-Länder-Bootsfahrt auf dem Bodensee. Auch während des dort eingenommenen Abendessens wurden die Gasthemen weiter behandelt, z.B. durch den Versuch, strittige Punkte bei der Neuformulierung der G 260 zu klären.

Weitere Veranstaltungen

Neben dem Erfahrungsaustausch bietet die DVGW-Forschungsstelle mehrere Fortbildungsveranstaltungen an, deren Inhalte ebenfalls in **Tabelle 1** zusammengeführt sind.

1.4 Aus der Tätigkeit der Abteilungen Gastechnologie und Materialprüfung der DVGW-Forschungsstelle

Die Schwerpunkte des Bereichs Gastechnologie liegen in der verfahrens- und sicherheitstechnischen Bearbeitung von gas- und brennstofftechnischen Fragestellungen. Hierzu gehören Forschungs- und Entwicklungsprojekte ebenso wie Kontroll- und Überwachungsaufgaben bei Gasversorgern und Industrieunternehmen sowie Labortätigkeiten.

Neben den bereits in Kap. 1.2 erwähnten öffentlich geförderten, wissenschaftlich orientierten Arbeiten wurden 2010 auch zahlreiche DVGW-Forschungsvorhaben in den Themenfeldern Gasbeschaffenheit, Odorierung, Biogas, Messtechnik und Systemanalyse bearbeitet. Zu nennen ist in diesem Zusammenhang vor allem die DVGW-Innovationsoffensive „Gastechnologie“, bei der auch neue Aspekte wie die Konvergenz der vorhandenen Energiesysteme, Smart Gas Grids und Nutzung der Erdgasinfrastruktur als Stromspeicher untersucht werden. Auch das DVGW-Forschungsprogramm „Biogas“ wurde mit mehreren Projekten fortgesetzt. Neben der Vermeidung und Entfernung von Sauerstoff bei der Einspeisung von Biogas stehen Materialfragen im Fokus der Untersuchungen.

Zum Bereich gehören auch die Laboratorien Materialprüfung und Brennstoffanalytik. Die Materialprüfung im Prüflaboratorium Gas der DVGW-Forschungsstelle

Tabelle 1. Veranstaltungen im Jahr 2010.

Titel	Inhalte
Workshop „Erzeugung und Einspeisung von Methan aus Biomasse“	Prozessketten von der Biomasse bis hin zur Einspeisung oder Endnutzung Sicherheitsaspekte, technische und rechtliche Grundlagen Praxiserfahrung und zukünftige Entwicklungen
Erfahrungsaustausch der Chemiker und Ingenieure des Gasfachs 2010 in Lindau am Bodensee	Zukünftige Gasnetze: Herausforderungen und Chancen Biogastechnologie Innovative Technologien zur Kopplung von Strom- und Gasnetz Smart Grids und Smart Metering
Gaskursus 2010	Grundlagen der Gastechnologie und des DVGW-Regelwerks Mess- und Sicherheitstechnik; juristische Rahmenbedingungen Erdgasproduktion und -speicherung Neue Technologien (Speicherung, Transport, Instandhaltung, Biogas)

befasst sich vornehmlich mit der Prüfung von Dichtungsmaterialien aus Elastomeren, synthetischen Fasern oder PTFE sowie von Korrosionsschutzmaterialien, Lecksuchmitteln und Schmierstoffen. In der Regel führen diese Prüfungen, die nach nationalen oder europäischen Normen sowie nach Prüfgrundlagen des DVGW durchgeführt werden, zu Zertifizierungen durch die DVGW CERT GmbH in Bonn. Einen nicht unerheblichen Umfang nehmen im Rahmen der Prüftätigkeit die jährlich wiederkehrenden Überwachungsprüfungen an zertifizierten Produkten ein. 2010 wurden auch erste Projekte zu Materialfragen in Verbindung mit Biogas gestartet.

Das Brennstoff-Laboratorium ist auf brennstoffanalytische Methoden wie Gaschromatographie, Schwefel- und Odoriermittelanalytik, Brennwert, Flammpunkt und Zündpunkt spezialisiert. Außerdem werden Methoden für Probenahmen und Analysen zur Unterstützung der Außendiensttätigkeiten und Forschungsvorhaben entwickelt. 2010 wurde beispielsweise eine Probenahme- und Analyseverfahren für siliziumorganische Verbindungen in Biogas optimiert.

Zu den Außendiensttätigkeiten gehören insbesondere mobile Vorort-Messungen für die Analyse von Odoriermitteln, Klär-, Bio- und Deponiegasen sowie von Gasen aus Industrieprozessen. Auch die Überwachung der Gasbeschaffenheit an CNG-Tankstellen, insbesondere im Hinblick auf die Einhaltung des Schwefelgrenzwertes und den Anfall von ölartige Verunreinigungen und Partikeln, stellt eine wichtiges Aufgabengebiet dar. Daneben wurde 2010 die Sanierung eines alten Gaswerksstandorts begonnen, die parallel von einem Forschungsvorhaben zum Thema Natural Attenuation begleitet wird.

Auch die Gremienarbeit spielte 2010 eine wichtige Rolle. Die Mitarbeiter waren in zahlreichen nationalen und internationalen Normungsgremien vertreten.

1.5 Veröffentlichungen

- Graf, F.; Bajohr, S. (Hrsg.): Biogas – Erzeugung, Aufbereitung, Einspeisung; Oldenbourg Industrieverlag GmbH, 2010; ISBN: 978-3-8356-3197-0
- Kröger, K.; Graf, F.: Odoriermittel und Odorierung in der öffentlichen Gasversorgung. In: Odorierung, Hrsg. Pritsching, K., Vulkan-Verlag GmbH, 2010, ISBN 978-3-8027-5625-2
- Graf, F.: Das Gasnetz als Sammelsystem: Potenziale und Grenzen von Biogas, synthetischem Gas und Wasserstoff; EWP 61 (2010) 11, S. 38 – 41
- Burmeister, F.; Graf, F.; Krause, H.; Gröschl, F.: Stand der Innovationsoffensive „Gastechologie“ des DVGW, EWP 61 (2010) 6, S. 26 – 31
- Graf, F.: Ergebnisse des DVGW-Messprogramms „Biogaserzeugung und -aufbereitung“, 1. VDI-Kongress „Biogas – Aufbereitung und Einspeisung“, 22./23.06.2010 Frankfurt, Tagungsband S. 179 – 190, ISBN 978-3-9812881-5-5
- Graf, F.: Erzeugung und Einspeisung von Methan aus Biomasse, Umweltpolitische Ziele der EU: Deutsch-französische Beiträge zur Zielerreichung; Tagungsband des ersten deutsch-französischen Workshops Energiewirtschaft und Nachhaltigkeit in Karlsruhe am 29.-30. Januar 2009 (ISBN: 978-3-86644-455-3), S. 77 – 89
- Graf, F.; Köppel, W.; Karch, U.; Kiefer, J.; Ball, T.: Langfristige Auswirkungen auf die Umwelt bei der Erzeugung und Einspeisung von Biogas; EWP 61 (2010) 3, S. 49 – 55
- Kröger, K.; Graf, F.; Riedl, J.: Ergebnisse eines DVGW-Messprogramms zur Bestimmung der CNG-Qualität an Erdgastankstellen; gwf – Gas/Erdgas 151 (2010) 3, S. 152 – 160
- Graf, F.; Köppel, W.: Ergebnisse des DVGW-Messprogramms „Biogaserzeugung und -aufbereitung“; gwf – Gas/Erdgas 151 (2010) 3, S. 110 – 119
- Köppel, W., Bajohr, S.; Graf, F.: Aufbereitung von Biogas – Stand, Erfahrungen und neue Entwicklungen; gwf – Gas/Erdgas 151 (2010) 3, S. 120 – 132
- Unruh, D.; Pabst, K.; Schaub, G.: Fischer-Tropsch Synfuels from Biomass: Maximizing Carbon Efficiency and Hydrocarbon Yield; Energy & Fuels 24 (2010), S. 2634 – 2641
- Timmermann, H.; Sawady, W.; Reimert, R.; Ivers-Tiffée, E.: Kinetics of (reversible) internal reforming of methane in solid oxide fuel cells under stationary and APU conditions; J. Power Sources 195 (2010), S. 214 – 222
- Buchholz, D.; Khan, R. U.; Bajohr, S.; Reimert, R.: Computational Fluid Dynamics Modelling of Acetylene Pyrolysis for Vacuum Carburing of Steel; Ind. Eng. Chem. Res. 49 (2010) 3; S. 1130 – 1137

- Seifert, H.; Kolb, T.; Leibold, H.: Synthesegas aus biogenen Reststoffen und Gasreinigung; Berliner Abfallwirtschaftskonferenz – Optimierung der Abfallverbrennung, 27./28. Januar 2010
- Gehrmann, H.-J.; Kolb, T.; Seifert, H.; Mark, F.E.; Frankenhaeuser, M.; Schanssema, A.; Wittstock, K.; Kolb, J.J.: Synergies of Biomass and Solid Recovered Fuel in grate type Energy from Waste Plants; Environmental Engineering Science 27(7) (2010) S. 557 – 567
- Gehrmann, H.-J.; Mätzing, H.; Kolb, T.; Seifert, H.: Experimental and numerical investigation of wood particle combustion in a fixed bed; ProcessNet Fachausschuss „Abfallbehandlung und Werkstoffrückgewinnung“, Magdeburg, 17. – 19. Februar 2010
- Kolb, T.; Reimert, R.; Seifert, H.; Weber, R.; Willenbacher, N.; Zarzalis, N.: Flugstromvergasung von hochviskosen Suspensionsbrennstoffen; FuE-Arbeiten am KIT. Symposium KIT Zentrum Energie – Kompetenzbereich „Systeme und Prozesse“, Karlsruhe, 24./25. März 2010
- Kolb, T.; Leuckel, W.; Reimert, R.; Seifert, H.; Weber, R.; Willenbacher, N.; Zarzalis, N.: Flugstromvergasung von hochviskosen Suspensionsbrennstoffen; FuE-Arbeiten am KIT. DGMK-Fachtagung „Konversion von Biomassen“, Gelsenkirchen, 10. – 12. Mai 2010
- Kolb, T.: Country Activities and Reports: Germany 1st Semi-Annual Task Meeting, IEA Task 33: Thermal Gasification of Biomass, Helsinki, Finnland, 1. – 3. Juni 2010
- Kolb, T.; Jakobs, T.; Seifert, H.; Zarzalis, N.: Biomass to Syngas by Entrained-Flow Gasification R&D on Atomization and Fuel Conversion; 35th Int. Conference on Clean Coal & Fuel Systems, Clearwater FL, USA, 6 – 10 June 2010
- Ortwein, P.; Woiwode, W.; Fleck, S.; Eberhard, M.; Kolb, T.; Wagner, S.; Gisi, M.; Ebert, V.: Absolute diode laser-based in situ detection of HCl in gasification processes; Experiments in Fluids, Springer Verlag 2010
- Mätzing, H.; Gehrmann, H.-J.; Kolb, T.; Seifert, H.: Experimental and Theoretical Investigation of Biomass Conversion in a Fixed Bed; International Conference on Thermal Treatment Technologies & Hazardous Waste Combustors (IT3), San Francisco, USA; May 17 – 20, 2010
- Gehrmann, H.-J.; Nolte, M.; Kolb, T.; Seifert, H.; Waibel, P.; Matthes, J.; Keller, H.: Coverbrennung von Ersatzbrennstoffen in Kraftwerksfeuerungen; 42. Kraftwerkstechnisches Kolloquium, Dresden, 12. – 13.10.2010
- Fleck, S.; Fertl, P.; Kolb, T.: Conversion of model fuel in an entrained flow gasifier – influence of the gasification conditions on the syngas quality; 3rd Int. Symp. on Energy from Biomass and Waste, Venice, Italy, 8 – 11 November 2010

2. Aktivitäten des Lehrstuhls und Bereichs Verbrennungstechnik, der DVGW-Forschungsstelle, Bereich Verbrennungstechnik, und der Forschungsstelle für Brandschutztechnik

Prof. Dr.-Ing. Henning Bockhorn, Prof. Dr.-Ing. Nikolaos Zarzalis, Prof. Dr.-Ing. Thomas Kolb (bis 30.09.2010)

2.1 Lehre und Forschung

Die im Bereich Verbrennungstechnik angebotenen und durchgeführten Lehrveranstaltungen stellen die Energiewandlung durch Verbrennung unter den Aspek-

ten Erhöhung der Effizienz, Schonung der Ressourcen, Reduzierung der Kosten, Risiken und Schadstoffemissionen in den Mittelpunkt. Erkenntnisse aus der Forschung können unmittelbar in der Lehre vermittelt wer-

den. Hierbei wird auch auf die Umsetzung des erlernten Stoffes in technische Problemstellungen Wert gelegt, z.B. im Rahmen der „Hochtemperaturtechnik“ mit entsprechenden Exkursionen.

Im Weiterbildungsstudiengang „Utilities and Waste – Sustainable Processing“ (Organisator Prof. Zarzalis), an dem auch die anderen Lehrstühle des Engler-Bunte-Instituts beteiligt sind, wurde vom Bereich Verbrennungstechnik der verbrennungs- und abfalltechnisch relevante Teil der Vorlesungen bestritten. Dieser Studiengang wurde im Jahr 2010 vom Centrum für Hochschulranking CHE evaluiert und im Gesamtindikator „Internationale Orientierung“ in der Spitzengruppe angeordnet. Auch das Feed-Back des Deutschen Akademischen Austausch Dienstes (DAAD) war äußerst positiv, so dass für den in 2010 neu begonnenen Jahrgang erneut ein Stipendium mehr bewilligt wurde. Die Studenten des zweiten Jahrgangs konnten im Jahr 2010 mit großem Erfolg den Studiengang abschließen, wobei ein Student bereits eine Promotionsstelle an der Fakultät für Chemieingenieurwesen und Verfahrenstechnik angenommen hat und zwei weitere Studenten eine Promotion anstreben. Ein Student des bereits 2008 beendeten Studienganges wurde an der University of Maine Graduate School, USA als Stipendiat aufgenommen.

Von den Dozenten des SFB 606 wird eine Ringvorlesung jeweils im Wintersemester durchgeführt, in der einzelne Dozenten des SFB Teilgebiete der Verbrennung für einen breiten Interessentenkreis aufbereiten und Erkenntnisse diesbezüglich weitergeben.

Im Rahmen der Vorlesung „Hochtemperaturverfahrenstechnik“ (Prof. Zarzalis) wurde eine Exkursion für Studierende zu einer Firma aus dem Bereich Energieumwandlung/Hochtemperaturverfahrenstechnik, der IBUtec advanced materials AG in Weimar, durchgeführt. Im Rahmen der Vorlesung „Spezielle Probleme der Kraftwerkstechnik“ (Dr. Walz) wurde eine Exkursion zum Kernkraftwerk in Philippsburg durchgeführt

Die Forschungsschwerpunkte im Bereich Verbrennungstechnik lassen sich wie folgt zusammenfassen

- Entwicklung schadstoffarmer Verbrennungskonzepte für Fluggasturbinen und stationäre Gasturbinen,
- Emission von Schadstoffen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe,
- Entwicklung von Alternativen zum Einsatz von fossilen Brennstoffen,
- Methoden zur mathematischen Modellierung und Vorausberechnung von Verbrennungsvorgängen und -einrichtungen,
- Lärmentstehung bei Verbrennungsvorgängen,
- Optimierung von Verbrennungsverfahren.

Die Forschungsarbeiten im Bereich Verbrennungstechnik des Engler-Bunte-Instituts orientieren sich an den drängenden Problemen der Deckung des steigen-

den Energiebedarfs durch fossile und erneuerbare Rohstoffe: Entwicklung schadstoffarmer Verbrennungskonzepte für Fluggasturbinen und stationäre Gasturbinen, Emission von Schadstoffen aus der Verbrennung fossiler und in verstärktem Maße auch nicht-fossiler Brennstoffe, Entwicklung von Alternativen zum Einsatz von fossilen Brennstoffen, energetische Verwertung von Biomassen, Emission von Lärm aus Verbrennungsprozessen, Methoden zur mathematischen Modellierung und Vorausberechnung von Verbrennungsvorgängen und Verbrennungseinrichtungen, Optimierung von Verbrennungsverfahren. Die entsprechenden Forschungsvorhaben werden in einer Reihe von internationalen und nationalen Verbundvorhaben und direkten Industriekooperationen durchgeführt.

Einen breiten Standbein der Forschungsaktivitäten bildet der von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderte Sonderforschungsbereich Instationäre Verbrennung: Transportphänomene, Chemische Reaktionen, Technische Systeme (SFB 606), an dem Institute aus vier Fakultäten des KIT sowie dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR, Stuttgart beteiligt sind. Mit insgesamt 6 laufenden Projekten wird vom Bereich Verbrennungstechnik in der abschließenden dritten Förderperiode wieder ein wesentlicher Anteil der Forschungsarbeiten in den Bereichen Selbstzündung, der grundlagenorientierten Beschreibung der turbulenten Flammenausbreitung, Beschreibung von Emissionen und der Rußbildung sowie der Minimierung von Flammeninstabilitäten übernommen.

Instationäre Vorgänge bei der Verbrennung wirken sich über die Schwankung des Strömungs- und Druckfeldes auch auf die Emission von Lärm aus. Konsequenterweise wird daher im Verbundprojekt Verbrennungslärm der DFG zusammen mit drei weiteren Instituten der RWTH Aachen, der TU Berlin und der TU Darmstadt die Entstehungsmechanismen des Verbrennungslärms untersucht.

Im Rahmen der ebenfalls von der DFG geförderten Forschergruppe Anwendung monolithischer Netzwerkstrukturen in der Verfahrenstechnik (FOR 583) wird in der nunmehr zweiten Förderperiode mit zwei Teilprojekten die Anwendung von keramischen Schwämmen für die Stabilisierung von Verbrennungssystemen untersucht.

Darüber hinaus ist als Großverbundforschungsvorhaben die Initiative Kraftwerke des 21. Jahrhunderts aufzuführen. Diese Initiative der Länder Baden-Württemberg und Bayern und der Industrie geht inzwischen in die zweite fünfjährige Förderperiode und es werden in diesem Rahmen aktuell in zwei Teilprojekten Untersuchungen sowohl experimentell als auch numerisch für einen Brenner durchgeführt, der in einer Querströmung mit Restsauerstoffgehalt aufgrund hoher Scherraten eine abgehobene Verbrennung mit geringer Schad-

stoffbildung und gleichzeitig hoher Resistenz gegen Flammenschwingungen ermöglicht.

In einem Projekt der DFG Forschergruppe Physicochemical-based Models for the Prediction of safety-relevant Ignition Processes (FOR 1447) wird die Zündbarkeit brennbarer Gase durch heiße Partikel mit einem Durchmesser von bis zu 1 mm erforscht. Die Arbeiten fokussieren sich dabei auf die Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen den jeweiligen Parametern und Prozessen, welche die Zündung beeinflussen.

Im DFG-Schwerpunktprogramm 1299 Adaptive Oberflächen für Hochtemperatur-Anwendungen der DFG wird in einem Projekt die kontrollierte Erzeugung von Oberflächenstrukturen untersucht. Das Hauptziel des Vorhabens ist die Entwicklung neuartiger Siliziumoxidkarbid-Beschichtungen, die adaptive Oberflächeneigenschaften aufweisen und in ihrer Struktur Haifischhaut imitieren. Diese Oberflächeneigenschaften resultieren aus dem Vorhandensein biegsamer Fasern an der Oberfläche, deren Ausrichtung sich mit der Temperatur ändert.

Ein besonders grundlegender Ansatz für die Behandlung des Energieproblems wird im Verbundprojekt SOLAR2FUEL mit der Energie Baden-Württemberg EnBW, der BASF SE und der Universität Heidelberg verfolgt. In diesem vom BMBF geförderten Projekt wird eine neuartigen Technologie für die chemische Umwandlung von Kohlenstoffdioxid (CO₂) in Wertprodukte mit Hilfe von Sonnenlicht untersucht. Im Fokus steht die Gewinnung von Methanol als klimaneutralen Kraftstoff für Verbrennungsmotoren oder Brennstoffzellen. Die stoffliche Verwertung von CO₂ aus stationären Quellen könnte dabei einen wichtigen Beitrag zu einer nachhaltigen Energiewirtschaft und der Vermeidung von klimaschädlichen CO₂-Emissionen leisten. Ebenso in Zusammenarbeit mit EnBW und dem European Institute for Energy Research (EIFER) wird im Projekt Green Coal die Karbonisierung kohlenstoffbasierter Einsatzstoffe experimentell hinsichtlich der technischen Durchführung untersucht. Untersucht werden hierbei Biomassen wie z.B. Holz, Stroh, Grasschnitt etc. und Reststoffe wie z.B. Fruchtschalen und Treber aus der Getränkeindustrie oder auch Klärschlämme.

Im Rahmen europäischer Forschungsprojekte ist der Bereich Verbrennungstechnik vor allem an Verbundprojekten der Luftfahrt beteiligt: Im Rahmen von NEWAC (New Aero Engine Core Concepts) werden vier innovative Konzepte der Fluggasturbinen untersucht und bezüglich ihres Potentials zur Schadstoffminderung und Effizienz beurteilt. Das Exzellenznetzwerk ECATS (Environmentally Compatible Air Transport Systems) beschäftigt sich als Expertengruppe ausgehend vom Antrieb über das Nahfeld der Turbine und der lokalen Beeinflussung der Luftqualität bis zu globalen Auswirkungen des Luftverkehrs auf die Umwelt. Dabei werden im Rahmen eines virtuellen Brennstoffzentrums unter

anderem spezielle Kenngrößen alternativer und biogener Brennstoffe für die Luftfahrt untersucht. Auf technologische Aspekte wie Anwendbarkeit solcher Brennstoffe fokussiert sich auch das Projekt ALFA-BIRD (Alternative Fuels and Biofuels for Aircraft Development) in dem Kenngrößen turbulenter Verbrennung alternativer Brennstoffe unter erhöhtem Druck untersucht werden. Die Erweiterung des bereits vorhandenen Wissensstandes für Einzelaspekte mit Bezug zu Zündung, Akustik und Instabilitäten ist das Thema des europäischen Verbundprojektes KIAI (Knowledge for Ignition, Acoustics and Instabilities), wobei der Bereich Verbrennungstechnik sich mit der Aufgabe des Wiederzündens unter Höhenbedingungen beschäftigt. Auch mit dem Ziel des europäisch finanzierten Projekts TECC-AE (Technologies Enhancement for Clean Combustion in Aero Engines), dem Design und der Entwicklung eines neuen Ultra Low NO_x Einspritzsystems für Gasturbinen, wird auf die nachhaltige Nutzung der Energie in der Luftfahrt hingearbeitet.

Der Bereich Verbrennungstechnik des Engler-Bunte-Instituts bildet eine wichtige Säule des KIT-Zentrums Energie, das im Zuge der Verschmelzung der Universität Karlsruhe (TH) und des Forschungszentrums Karlsruhe zum Karlsruher Institut für Technologie (KIT) entstand. Das KIT weist einen seiner Schwerpunkte im Bereich der Energieforschung aus. Das KIT-Zentrum Energie besteht seit 1.1.2008 und bündelt die gesamte Kompetenz im Bereich der Energieforschung im KIT.

Im Jahr 2010 wurden die folgenden Dissertationen fertiggestellt:

Oliver Brunn: Modellierung des dreidimensionalen Strahlungswärmeaustauschs in Verbrennungsräumen mittels Monte Carlo Methode (*Prof. Dr.-Ing. N. Zarzalis, Prof. Dr.-Ing. C. Posten*).

Michael Russ: Druckabhängigkeit der Stabilitätsgrenzen für das Auftreten periodischer Verbrennungsinstabilitäten in Gasturbinenbrennkammern (*Prof. Dr.-Ing. H. Büchner, Prof. Dr.-Ing. K. Schaber*).

2.2. Laufende wissenschaftliche Arbeiten

Der folgende Überblick streift einige der wichtigsten Forschungsvorhaben aus dem Bereich der Verbrennungstechnik. Aus Platzgründen kann keine vollständige Übersicht gegeben werden. Hierzu sei auf direkte Kontakte hingewiesen, die sich einfach über die Internetadresse <http://www.vbt.uni-karlsruhe.de> herstellen lassen.

Modellierung des dreidimensionalen Strahlungswärmeaustauschs in Verbrennungsräumen mittels Monte Carlo Methode (*Dr.-Ing. O. Brunn*)

Der Strahlungswärmeaustausch stellt bei Hochtemperaturprozessen den dominierenden Wärmeübertragungsmechanismus dar. Der Einfluss der genauen Vor-

hersage des Strahlungsaustauschs auf die Berechnungsergebnisse eines simulierten Verbrennungssystems wird besonders bei den sich ergebenden Flammentemperaturen und Wandtemperaturen ersichtlich. Zudem werden durch die Rückkopplung der Wärmestrahlung mit dem Strömungsfeld auch die Mischungs- und reaktionskinetischen Prozesse in einer Flamme durch den Strahlungswärmeaustausch beeinflusst.

Die bei Verbrennungsprozessen maßgeblichen strahlungsaktiven Rauchgaskomponenten sind Kohlendioxid und Wasserdampf sowie Kohlenmonoxid. Die einzelnen Gase strahlen in diskreten Spektralbanden, die je nach Molekül stärker oder schwächer ausfallen und sich gegenseitig überlagern können. Die einzelnen Strahlungsbanden sind in eine Vielzahl von Spektrallinien unterteilt. Um ein aufwändiges line-by-line Berechnungsverfahren zu vermeiden, wurde bei den durchgeführten Berechnungen zur Erfassung des spektralen Charakters der Strahlungseigenschaften ein Statistical-Narrow-Band Ansatz zur Modellierung verwendet.

Werden rußende Flammen betrachtet, kann die durch den Flammenruß abgegebene Strahlungswärme deutlich größer als die der Verbrennungsgase werden. Zur korrekten Vorhersage der Strahlungsintensität ist es notwendig, die Strahlungseigenschaften von Ruß ebenfalls spektral zu modellieren. Für die untersuchten Propanflammen konnte mit dem verwendeten Ansatz eine sehr gute Übereinstimmung zwischen gemessenen und berechneten Intensitätsspektren erzielt werden. Wegen unterschiedlicher Rußformen und der Veränderung der Rußstruktur mit fortschreitendem Rußalter ist für die Charakterisierung der Strahlungseigenschaften von Flammenruß momentan keine für alle Brennstoffe allgemeingültige Modellierung verfügbar. Eine weitere Vertiefung der Untersuchungen der Strahlungseigenschaften des Rußes kann zukünftig die Vorhersagequalität der Wärmeabgabe rußender Flammen verbessern.

Zur Berechnung des Strahlungswärmeaustauschs wurde ein statistisches Lösungsverfahren verwendet. Das zur Lösung der Strahlungstransportgleichung entwickelte, dreidimensionale Monte-Carlo Berechnungsverfahren beruht auf grundlagenorientierten Ansätzen. Diesem Verfahren liegt die Annahme zugrunde, dass sich Strahlung in Form einzelner Energiebündel, die entlang zufällig ermittelter Raumrichtungen und bei zufällig ermittelten Wellenlängen emittiert werden, modellieren lässt. Mit dieser Annahme kann man auf Lösen eines Differenzialgleichungssystems verzichten. Stattdessen benötigt man einen Strahlenverfolgungsalgorithmus, welcher es ermöglicht, die einzelnen Energiebündel durch das Rechengitter zu verfolgen. Mit dem entwickelten Verfahren erfolgt die Ermittlung der Intensitätsabschwächung eines Energiebündels durch ein strahlungsaktives, emittierendes und absorbierendes jedoch nicht streuendes Medium wahlweise mit grau modellierten oder spektral aufgelösten Strahlungsei-

genschaften. Streuungseffekte wurden im Rahmen dieser Arbeit nicht untersucht. Durch eine für die Strahlenverfolgungsprozedur geeignete Parallelisierung kann für eine hohe Anzahl an Energiebündeln das Berechnungsprogramm effizient betrieben werden. Eine weitere Steigerung der Effizienz des entwickelten

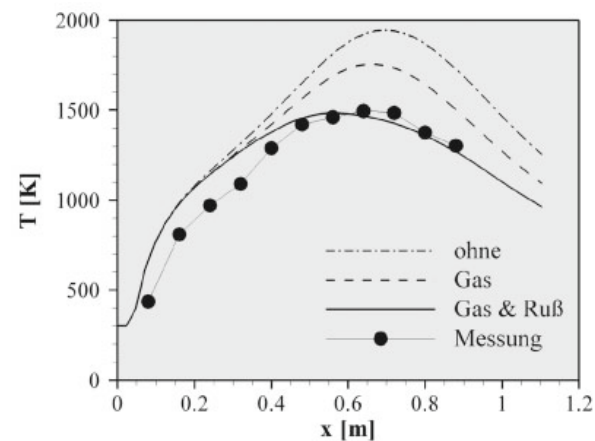
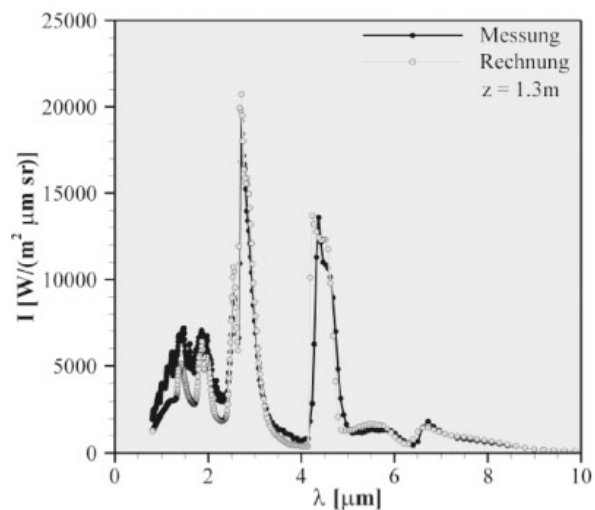
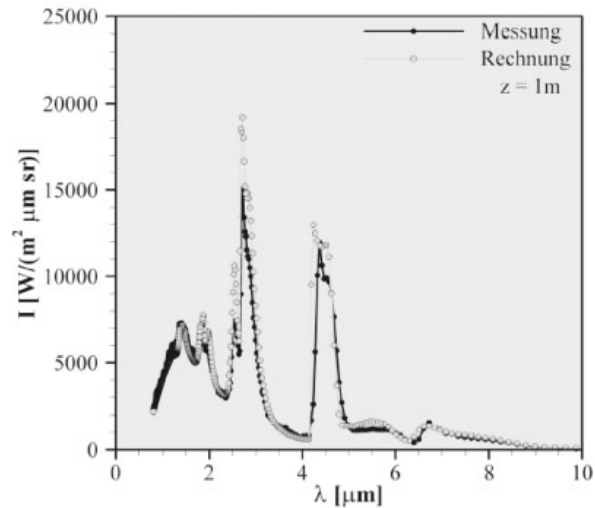


Bild 2.1. Aus gemessenen Temperatur- und Konzentrationsverteilungen berechnete Strahlungsintensität im Vergleich mit gemessenen Werten.

Bild 2.2. Propanfreistrahlf Flamme: Vergleich der berechneten und gemessenen Temperaturen entlang der Symmetrieachse.

Berechnungsverfahren kann beispielsweise durch eine Optimierung des Vergrößerungsverfahrens erreicht werden. Anhand mehrerer akademischer Testfälle konnte die hohe Genauigkeit des vorgestellten Berechnungsverfahrens demonstriert werden. Im Vergleich zu den Lösungen anderer Berechnungsmethoden werden mit dem hier entwickelten Verfahren in allen untersuchten Fällen gut übereinstimmende Ergebnisse erzielt. Zur Untersuchung realer Flammen werden zur Ermittlung des Strahlungswärmeaustauschs sowohl Temperatur- als auch Speziesverteilung mit einem kommerziellen Strömungslöser ermittelt. Durch die Kopplung beider Berechnungsverfahren kann der Strahlungsquellenwert beim Lösen der Energieerhaltungsgleichung berücksichtigt werden. Die durchgeführten Untersuchungen an zwei unterschiedlichen Propanflammen belegen die Eignung des beschriebenen Verfahrens zur Modellierung technischer Verbrennungssysteme. Insbesondere hinsichtlich der berechneten Flammentemperaturen und Flammenlängen konnten sehr gute Übereinstimmungen mit entsprechenden Messdaten erzielt werden.

Druckabhängigkeit der Stabilitätsgrenzen für das Auftreten periodischer Verbrennungsinstabilitäten in Gasturbinenbrennkammern (Dr.-Ing. M. Russ)

Die in der Literatur beschriebenen und gemeinhin als Verbrennungsschwingungen bezeichneten Phänomene haben folgende, messbare gemeinsame Eigenschaften: Jeweils werden zeit-periodische Schwankungen des statischen Druckes in der Brennkammer beobachtet, welche bei einer oder mehreren diskreten Frequenzen auftreten. Abhängig von der auftretenden Amplitude und dem Druckübertragungsverhalten der stromauf des Brennermundes angeordneten Bauteile, können sich diese Schwankungen in dem Brenner vor-

geschalteten Anlagenteile wie Luft- und Brennstoffzufuhr, Mischungseinheiten und Regeleinrichtungen hinein ausbreiten. Hierbei können sich, abhängig von den charakteristischen Zeitmaßen der zugrunde liegenden Rückkopplungsmechanismen, Schwingungen im Frequenzbereich von wenigen Hz bis hin zu mehreren kHz ausbilden. Das am häufigsten beobachtete und als niederfrequente, selbsterregte, periodische Verbrennungsinstabilität bezeichnete Phänomen gilt als selbsterhaltend und kann bei entsprechender Druckschwankung zu Schädigungen im Gesamtsystem führen. Bei ausreichend hoher Anregungsamplitude und geeigneter Phasenlage ist das Produkt aus Wärmefreisetzungsrate und Brennkammerdruck, integriert über die Schwingungsperiode, größer Null. Zusätzlich müsste sich für die Selbsterhaltung der Verbrennungsschwingung die zeitlichen Phasenverzugswinkel zwischen Massestromschwankung am Düsenaustritt, der Wärmefreisetzungsrate der Flamme und der Druckamplitude in der Brennkammer in Summe auslösen. Ist nun ein Verbrennungssystem im einfachsten Fall bestehend aus Brenner, Flamme und Brennkammer vorgegeben, ist auch die Geometrie des Brenners und der Brennkammer festgelegt. Wenn somit das Übertragungsverhalten der Komponenten „Brenner“ und „Brennkammer“ nahezu vorgegeben und identifiziert ist, liegt der verbleibende Freiheitsgrad zur Erfüllung der genannten Stabilitätskriterien zur Selbsterregung- und Erhaltung von periodischen Verbrennungsinstabilitäten lediglich bei der Systemkomponente „Flamme“.

Das dynamische, also das frequenzabhängige Verhalten von Vormischflammen konnte in Arbeiten, auf welche die vorgestellten Untersuchungen aufbauen, als eines, das entsprechend dem regelungstechnischen frequenzabhängigen Verlauf des idealen Totzeitgliedes entspricht, identifiziert werden. Weiterhin wurde gezeigt, dass diese regelungstechnische Totzeit im System Brenner-Flamme-Brennkammer einer physikalisch sinnvollen, flammeninternen Gesamtverzugszeit entspricht. Darauf basierend konnte bereits ein physikalisches Flammenmodell entwickelt und nachgewiesen werden, dass die Vorhersage und Skalierung dieser Verzugszeit und damit die Skalierung der Schwingungsneigung des Gesamtsystems in Abhängigkeit aller technisch relevanten, feuerungstechnischen Betriebsparameter für atmosphärische Druckbedingungen ermöglicht.

Das Ziel dieser Arbeiten war es, das in der Literatur vorgestellte, physikalische Modell für Hochdruckbedingungen unabhängig vom eingesetzten Brennstoff weiterzuentwickeln bzw. zu verifizieren und so ein Werkzeug zu entwickeln, das zukünftig die zuverlässige Vorhersage von periodischen Verbrennungsinstabilitäten bereits in der Konzeptionsphase von Verbrennungsanlagen wie der Gasturbine ohne zeit- und kostenintensive „trial & error“-Methoden ermöglichen kann.

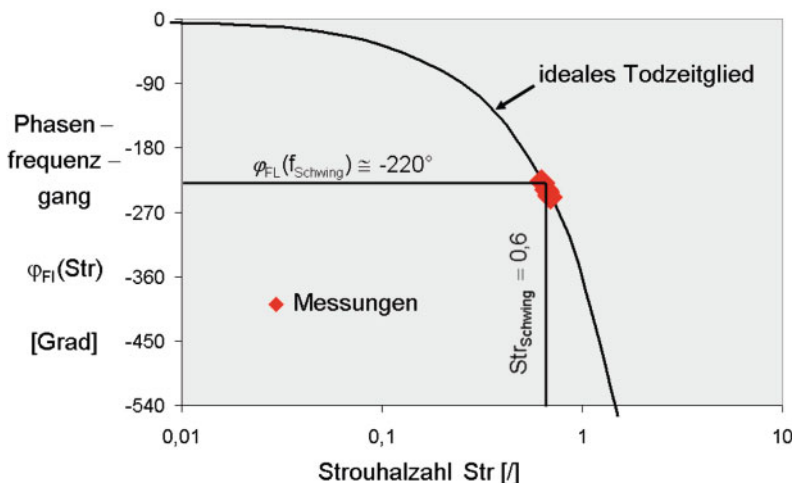


Bild 2.3. Phasendifferenzwinkel der Ergasvormischflammen unter erhöhtem Betriebsdruck bei Auftreten selbsterregter, periodischer Verbrennungsinstabilitäten.

Dazu wurde ein Versuchsbrenner entwickelt, mit dessen Hilfe die Betriebsparameter mittlere thermische Leistung, Gemischluftzahl, Vorwärmtemperatur, sowie die theoretische Drallzahl der Brenneraustrittsströmung in weiten, technisch relevanten Bereichen stufenlos zu variieren waren. Damit konnte nachfolgend durch Messungen von Flammentransferfunktionen in Abhängigkeit dieser systematisch variierten, feuerungstechnischen Betriebsparameter, das aus der Literatur bekannte physikalische Modell zur Vorhersage und Skalierung des dynamischen Verhaltens von Vormischdrallflammen für dieses Verbrennungssystem und damit auch die Universalität des Modells für atmosphärische Druckbedingungen bestätigt werden. Weiterhin war es möglich, durch Variation des eingesetzten Brennstoffes (Methan-LP-, Ethan-LP-, Erdgas-H-LP-, und Kerosin-LPP-Flammen) die Skalierungsvorschrift zur Vorhersage der Flammenverzugszeit in Abhängigkeit der Brennstoffeigenschaften herzuleiten und erstmalig experimentell nachzuweisen.

Darauf aufbauend konnte der nun auf Hochdruckbedingungen bis 20 bar skalierte Versuchsbrenner an die entwickelte Hochdruckbrennkammer adaptiert werden. Es wurden mittels der entwickelten Hochdruck-Pulsationseinheit erstmalig Messungen von Flammenfrequenzgängen unter Variation des mittleren Betriebsdruckes von 1–5 bar durchgeführt. Bei der Analyse dieser Messungen zeigte sich, dass als Funktion der Strouhalzahl alle Phasen- und Betragsfrequenzgänge unabhängig von ihrer Betriebsparameterkombination und ebenfalls unabhängig vom Versuchsbrenner mit der Phasenwinkel funktion des idealen Totzeitgliedmodells zusammenfallen.

In einem weiteren Schritt konnte anschließend das physikalische Flammenmodell analytisch mittels der Herleitung der Druckabhängigkeit der turbulenten Brenngeschwindigkeit für hochturbulente Vormischflammen erweitert werden. Dieses analytische Modell zur druckabhängigen Vorhersage des dynamischen Verhaltens von Vormischflammen wurde mit den erzielten Messergebnissen unter Fremdanregung (Flammentransferfunktionen) verglichen und bestätigt. Auch die Übertragbarkeit des entwickelten Skalierungsgesetzes zur Vorhersage des dynamischen Verhaltens von Vormischflammen unter Druck auf den Fall selbsterregter periodischer Verbrennungsinstabilitäten wurde darauf aufbauend nachgewiesen. Hierzu wurde das entwickelte Hochdruckverbrennungssystem zur Ausbildung von selbsterregten Druck-/Flammenschwingungen gebracht und die zugehörigen Betriebsparameterkombinationen in einer dreidimensionalen Stabilitätskarte dokumentiert.

Aus der Analyse der Phasendifferenzwinkel zwischen Massestromschwankung am Düsenaustritt und der periodischen Wärmefreisetzungsrate der Flamme zeigte sich, dass im Falle selbsterregter, periodischer Verbrennungsinstabilitäten gemäß der beschriebenen Stabili-

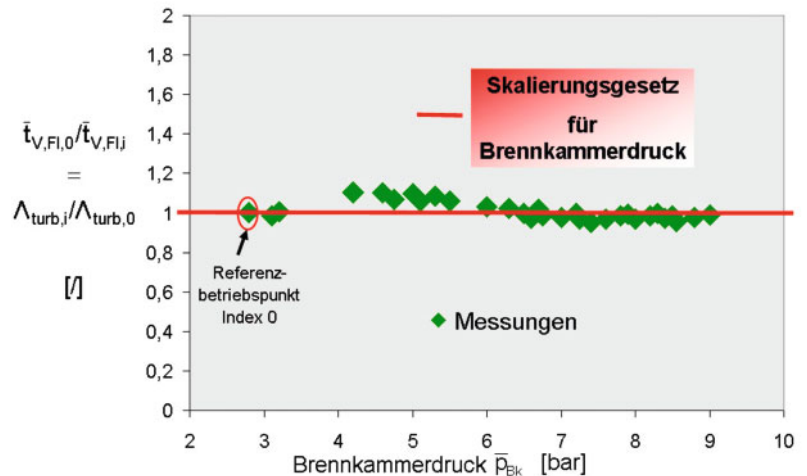


Bild 2.4. Skalierungsgesetz für selbsterregte, periodische Verbrennungsinstabilitäten in Abhängigkeit aller relevanten Betriebsparameter.

tätskriterien ein konstanter kritischer Phasenwinkel vorherrscht, was bei vorliegender nahezu konstanter Schwingungsfrequenz nach dem Modell des idealen Totzeitgliedes einer konstanten Gesamtverzugszeit der Vormischflamme entspricht. Mit dem nun um den Einfluss des mittleren Betriebsdruckes erweiterten physikalischen Flammenmodell und den davon abgeleiteten Skalierungsvorschriften konnte diese Gesamtverzugszeit der jeweiligen Vormischflamme in sehr guter Übereinstimmung berechnet werden.

2.3 Forschungsstelle für Brandschutztechnik

Dipl.-Ing. Dieter Brein

Die Forschungsstelle für Brandschutztechnik entwickelt Verfahren zur Prüfung vorbeugender baulicher und anlagentechnischer Brandschutzmaßnahmen, entwickelt und validiert Bemessungsverfahren für Fragestellungen rund um die Entstehung, die Ausbreitung und die Bekämpfung von Bränden – sowohl für Gebäude des privaten als auch für Gebäude und Bauwerke der gewerblichen/industriellen Nutzung. In Zusammenhang mit Aufgaben des Bereichs Gas, Erdöl und Kohle stehen/standen die Beratung von Unternehmen der Gas-/Energieversorgung durch Ausarbeitung von sicherheitstechnischen Gutachten (Störfallanalysen etc.) zu Fragen der Speicherung von Erdgas bzw. Flüssiggas in Behältern und Großanlagen.

Für Versuche im realen Maßstab steht eine große Brandversuchshalle in unmittelbarer Nähe zur Forschungsstelle zur Verfügung. Die Forschungsarbeiten dienen unter anderem dazu, das Sicherheitsniveau von Bauwerken auch unter geänderten architektonischen Vorgaben durch Beiträge zur Erarbeitung ganzheitlicher Brandschutzkonzepte zu erhalten. Dies dient in gleicher Weise der Personensicherheit als auch der materiellen Schadensbegrenzung.

Im Berichtszeitraum wurden neben umfangreichen Tätigkeiten in den Bereichen Beratung und Auslegung von Einzelmaßnahmen wie etwa zur Rauchfreihaltung von Flucht- und Rettungswegen im Rahmen von Brandschutzkonzepten grundlegende Forschungsarbeiten durchgeführt. Zu diesen Arbeiten zählen Grundlagenarbeiten zur Risikoermittlung bei Tiefgaragen im Hinblick auf die Gefährdung durch gasbetriebene Fahrzeuge. Die Untersuchungen schließen neben numerischen Strömungssimulationen Modellversuche an einem 1:18 Modell eines Tiefgaragengeschosses einer Großgarage ein.

Anwendungsbereiche von Wassernebelanlagen für den stationären Einsatz werden im realen Maßstab untersucht, wobei Bemessungsregeln angestrebt werden, um für unterschiedliche Nutzungen wirtschaftliche Anlagentechnik entwickeln zu können. Die bereits in der Praxis mit unterschiedlichen Druckstufen angewandten Systeme werden hierbei auf Eignung untersucht, wobei besonderer Wert auf die Ermittlung des Einflusses von Randbedingungen gelegt wird.

Validierungsversuche zur Überprüfung der Gültigkeit von Simulationsverfahren zur Vorhersage der Ver Rauchung großer Räume auch bei niedrigenergetischen Bränden mit spezifisch hoher Rauchentwicklung ergänzen die Arbeiten zu den Grundlagen der Rauchfreihaltung. Darüber hinaus wird untersucht, wie das Ansprechverhalten von Branddetektoren durch deren Lage im Raum, Ventilationsbedingungen und Brandentstehungsdynamik beeinflusst wird.

Im Forschungsbereich Löschen werden Vorzüge und Nachteile von Neuentwicklungen im Bereich des manuellen Löscheinsatzes der Feuerwehr aufgezeigt, zum Beispiel bei dem Medium Druckluftschäum.

Lüftungsanlagen bei gentechnischen Laboren müssen so betrieben werden können, dass sie auch beim stationären Löscheinsatz die Druckkaskade – Unterdruck im Labor – aufrechterhalten. Hierzu werden Grundlagenuntersuchungen an einer Versuchseinrichtung im realen Maßstab durchgeführt.

Ein weiteres Thema ist das Verhalten von Verglasungen bei thermischer Beanspruchung im Brandfall bis zur Rissbildung / bis zum Zerplatzen von Scheiben. Hierbei wird ein numerisches Modell untersucht und dessen Aussagefähigkeit mittels Brandversuchen überprüft.

Die vorbeschriebenen Arbeiten der Forschungsstelle lassen sich damit umreißen, dass hierdurch ein Beitrag zur Einschätzung der Anwendungsgrenzen von – im weitesten Sinne – Schutzeinrichtungen geleistet wird, so dass erkennbar wird, welche praxisrelevanten Konsequenzen sich aus einer Überforderung der Systeme ergeben können. Hierbei stehen die Unversehrtheit der Einsatzkräfte und der von diesen zu schützenden Personen im Vordergrund.

Die Forschungsstelle beteiligt sich intensiv in nationalen und internationalen Gremien vornormativen und

normativen Charakters an der weiteren Entwicklung des Fachgebiets. Die Einbindung in das KIT in Karlsruhe eröffnet darüber hinaus den Dialog in einem Fachgebiet, das durch die Notwendigkeit zur Interdisziplinarität gekennzeichnet ist, wobei in Einzelfällen Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen des KIT erfolgt, so zum Beispiel bei der Bewertung der Auswirkung von Winddruckverhältnissen bei Gebäuden auf die Wirksamkeit von Entrauchungsöffnungen.

Unterstützung erfährt die wissenschaftliche und beratende Tätigkeit der Forschungsstelle auch durch ihre in Deutschland einzigartige und seit Jahrzehnten gepflegte Fachbibliothek, die kontinuierlich ausgebaut und durch die Dokumentationsabteilung unterstützt wird. Diesen Service stellt die Forschungsstelle auch extern zur Verfügung. Die Forschungsergebnisse werden als Berichte der Länder der Bundesrepublik Deutschland zur Verfügung gestellt. Eine Liste der bisher veröffentlichten Berichte enthält die Internetadresse <http://www.ffb.uni-karlsruhe.de>, die Dokumentationsergebnisse können kostenlos online über denselben Zugang recherchiert werden.

2.4 DVGW-Forschungsstelle und Prüflaboratorium Gas

Dipl.-Ing. Jürgen Stenger

Um dem technischen Fortschritt im Bereich der Geräte- und Armaturentwicklungen folgen zu können, wurden im Berichtszeitraum erneut beachtliche Investitionen in modifizierte und neue Prüfkapazitäten getätigt. Die entsprechenden Aufwendungen wurden dabei um 15% gegenüber dem Vorjahr erhöht. Die Prüfstelle bleibt dadurch auf dem Stand der Technik, ist im In- und Ausland konkurrenzfähig und von Herstellerprüfständen weitgehend unabhängig.

Die prüftechnischen Möglichkeiten und die neben dem gastechnischen Know-how seit Jahren aufgebauten Kompetenzen in den Bereichen Elektrik, Elektronik und Sensorik, verbunden mit den Kapazitäten des KIT, schaffen die Basis, der Industrie speziell für neue innovative Technologien als Partner zur Verfügung zu stehen. Dies ist im Zusammenhang mit der aktuellen Marktsituation und zunehmender ausländischer Konkurrenz von größter Bedeutung.

Auch im zurückliegenden Jahr entstanden beachtliche Aufwendungen durch die von der DVGW-Satzung bedingte Mitarbeit in der Regelsetzung. Neben den DVGW-internen Gremien und Ausschüssen wird im nationalen (NAGas, NHRS, FNH, DKE), europäischen (CEN, CENELEC, EU-Kommission) und internationalen (IEC, ISO) Bereich mitgearbeitet. Die Kosten für diese Arbeiten müssen weitgehend aus eigenen Deckungsbeiträgen erwirtschaftet werden.

Die Ingenieure der Prüfstelle arbeiten in vielen Normungsgremien als Experten mit und übernehmen darü-

ber hinaus folgende Sprecher- oder Vorsitzfunktionen auf europäischer und internationaler Ebene:

Europäische Normung

- KWK-Geräte – CEN/CENELEC JWG (Obmann)
- Allgemeine Anforderungen an Regel- und Steuereinrichtungen für Gasgeräte – CEN (Obmann)
- Elektrische Sicherheit von Gasgeräten – CENELEC (Obmann)
- Gasboiler – CEN (Deutscher Sprecher)
- Wasserheizer – CEN (Deutscher Sprecher)
- Anforderungen an elektrische Regel- und Steuereinrichtungen für Druckgeräte – CENELEC (Obmann)

Internationale Normung

- Absperrventile für Gas und Öl – ISO (Obmann)
- Elektrische Ventile Gas, Wasser, Öl (Obmann)

GASQUAL

EU-Projekt über die Untersuchung der Auswirkungen erweiterter Gasbeschaffenheiten

Im Rahmen des Mandats „M/400 EN“ der EU-Kommission „MANDATE TO CEN FOR STANDARDISATION IN THE FIELD OF GAS QUALITIES“ wurde ein Konsortium von benannten Stellen, Prüfstellen und Herstellern von CEN beauftragt, eine Projektstudie durchzuführen, welche anhand von Untersuchungen erweiterter Gasbeschaffenheiten im H-Gasbereich die Einflüsse auf neue oder im Markt befindliche Gasgeräte in der EU beschreibt.

Das Ziel ist die Erstellung von Standards für neue, anwendbare Grenzen von Gasbeschaffenheiten. Ausgehend von den Ergebnissen der EASEE-Gas Studie wird ein erweitertes Kennfeld im H-Gas-Bereich mit variierendem Wobbe-Index von 45,66 MJ/m³ bis 55,26 MJ/m³ und einer relativen Dichte von 0,555 bis 0,710 untersucht.

Das von der EU geförderte Projekt soll im Laufe des Jahres 2011 abgeschlossen werden.

„Innovationsinitiative Gastechologie“

Wesentliche Impulse im Bereich der häuslichen Gasanwendung soll die „DVGW-Innovationsinitiative Gas“ stimulieren, die hierzu mehrere Projekte zu den Gas(+)-Technologien Mikro-Kraft-Wärme-Kopplung (μ -KWK), Brennstoffzellen und Gaswärmepumpen (GWP) ins Leben gerufen hat. Die Forschungsstelle am EBI beteiligt sich an allen drei Projekten.

Ziele der Untersuchungen der genannten Systeme sind u.a. die Bestimmung von Kennlinien, Normnutzungsgraden und die Optimierungsmöglichkeiten über Wärmespeichervariation. Darüber hinaus werden die Abgaszusammensetzung, der Stromverbrauch und die Stromerzeugung sowie Wasserbedarf und Kondensatzusammensetzung betrachtet. Nach Abschluss der Testphase sollen die Geräte für Schulungsmaßnahmen und Demonstration der Technologien zur Verfügung stehen. In Zusammenarbeit mit den Karlsruher Stadtwerken

werden die Geräte nach Abschluss der Untersuchungen in einem dafür eingerichteten Demonstrationslabor betrieben und vorgeführt. Im Bereich der Projekte gelang es, mehrere Testsysteme, die sich z.T. noch in der Entwicklungs-/Feldtestphase befinden, zu akquirieren.

Brennstoffzellen im System Gebäude/Anlagentechnik

Hier werden zwei Systeme untersucht, die über integrierte Zusatzheizsysteme verfügen. Das System Galileo 1000 N der Firma Hexis, basiert auf der Feststoffoxid-Brennstoffzellen (SOFC)-Technologie und befindet sich im Feldteststadium. Einen anderen Ansatz verfolgt die Firma Baxi Innotech mit ihrem Feldtestgerät, einer Niedertemperatur-Protonen-Austauschmembran (PEM)-Brennstoffzelle und einem vorgeschalteten Reformierungsreaktor, der mittels partieller Oxidation eine hinreichend hohe Wasserstoffqualität intern bereitstellen kann. Beide Brennstoffzellen stellen jeweils ca. 1 kW elektrische und ca. 1,7 kW thermische Leistung zur Verfügung.

Kraft-Wärme-Kopplung im System Gebäude/Anlagentechnik

Unter den Testkandidaten befinden sich das Gas-Otto-Motor-System Vaillant Ecopower e3.0 des Herstellers Power-Plus Technologies aus Gera. Dieses System mit einer elektrischen Leistung von 3 kW und einer Wärmeleistung von ca. 8 kW wurde bereits früher auf den Prüfständen des EBI bezüglich der Leistungsdaten vermessen und steht für eine am Markt bereits etablierte, ausgereifte KWK-Technologie. Als weitere motorische μ -KWK-Varianten konnten zwei Stirling-Systeme für die Untersuchung gewonnen werden. Ein Organic-Rankine-Cycle (ORC)-Stirling der britischen Firma Genlec nutzt neben Wasser ein organisches Lösungsmittel mit niedrigerer Verdampfungstemperatur für den Generatorantrieb, der als Leistungsdaten bis zu 1 kW elektrisch und ca. 8 kW thermisch für den reinen BHKW-Betrieb vorweisen kann. Dieses System wird bereits in Großbritannien vermarktet. Die Firma Senertec steuert mit dem Dachs Stirling ein Feldtestgerät bei, das neben dem Freikolben-Stirlingmotor bereits über einen integrierten 540 l Pufferspeicher verfügt. Beide Stirlingsysteme verfügen über integrierte Zusatzheizgeräte mit 18 – 20 kW Leistung.

Anwendungspotenziale der Gaswärmepumpe

Ebenfalls in den Bereich der Anwendungstechnologien fällt ein Projekt zur Umweltwärmenutzung durch Gaswärmepumpen. Neben Laboruntersuchungen von Luft/Wasser- und Sole/Wasser-Gaswärmepumpen steht hier vor allem die Auswertung von Feldtestdaten an, die unterschiedliche Systemauslegungen und Nutzerverhalten aufzeigen.

Untersuchung der Auswirkungen von Gasbeschaffenheitsschwankungen

Vom Ansatz sehr ähnlich konnte ein DVGW-Projekt zum Thema Gasbeschaffenheitsschwankungen erfolgreich

beantragt werden, in dem Auswirkungen vor allem auf industrielle und gewerbliche Prozesse beleuchtet werden sollen. Dieses Projekt wird verschiedene Quellen für die Gasbeschaffenheitsschwankungen betrachten, untersucht die Auswirkungen auf Verbrennungseigenschaften und will vor allem Kompensationsansätze aufzeigen. Das ambitionierte Ziel dieses Projektes ist es, eine Roadmap für den Energieträger Gas für die nächsten Jahre und mit größerer Auflösung bis 2050 aufzuzeigen. Basis ist hierbei eine vorbehaltlose, kritische Betrachtung von Energieplänen aus der Politik, der Wirtschaft und der Wissenschaft. Ein bereits erkennbarer Nebeneffekt wird sein, die derzeit stark unterschätzten Möglichkeiten des Energieträgers Gas (Wasserstoff, Biogas, SNG) aufzuzeigen. Speziell bei der Energiespeicherung von regenerativ erzeugtem Überschuss-Strom, wie er zum Teil bereits jetzt vereinzelt anfällt, und dem weiteren Ausbau der regenerativen Stromerzeugung auf Basis von Windkraft und Photovoltaik, bietet der Gassektor kapazitiv größere und kostengünstigere Speichermöglichkeiten als Batteriekonzepte. Wie im Fall der KWK-Projekte findet sich auch in diesem Projekt die Konvergenz von Strom und Gas.

Biogasanwendung

Mit Untersuchungen zur Korrosionsbeständigkeit von Gasarmaturen z. B. gegenüber Biogasbestandteilen und diversen industrienahen Beratungen tritt das Prüflaboratorium im Bereich F&E auch vermehrt als Dienstleister gegenüber der Industrie auf. Zusammen mit dem Lehrstuhl Verbrennungstechnik am EBI kann universitäre Forschung und DVGW-Expertise in bereits laufende und geplante öffentliche und industrielle Projekte eingebracht werden.

Kraft-Wärme-Kopplung, Mikro KWK-Geräte, Entwicklung und Normung

Das Prüflaboratorium Gas der DVGW-Forschungsstelle betreut die Normungstätigkeiten für Mikro-KWK-Geräte in vielfältigen Gremien. Auf Europäischer Ebene wird ein neuer Produktstandard für gasbetriebene Mikro-KWK-Geräte erarbeitet. Das bearbeitende Gremium ist „CEN/CENELEC JWG FCGA“ (Joint Working Group Fuel Cell Gas Heating Appliances). Den Vorsitz hat Herr J. Endisch, langjähriger Prüflaboratorium, inne, der ebenfalls als Obmann das deutsche Spiegelgremium DKE 384.0.5 (NAGAS/DKE Gemeinschaftsausschuss) betreut. Es wird ein Produktstandard auf Basis der veröffentlichten Europäischen Norm EN 50465:2008 (Brennstoffzellen-Gasheizgerät mit einer Nennwärmebelastung kleiner oder gleich 70 kW) entwickelt, welcher Anforderungen an Konstruktion, Funktion, Verbrennung und Sicherheit beschreibt und ebenfalls eine Harmonisierung unter der Gasgeräte-Richtlinie anstrebt. Der Produktstandard wird auch einige Parameter der rationellen Energienutzung beschreiben, eine Korrelation mit der Entwicklung der „Eco-Design-Richtlinie“ hat

hier Auswirkungen auf die Bearbeitung. Die Beratungen am Entwurf wurden Ende 2010 abgeschlossen, die Veröffentlichung des Entwurfs zur Prüfung und Stellungnahme wird für die erste Hälfte 2011 erwartet.

Im Rahmen der Mitarbeit im Arbeitsausschuss DIN NHRS NA 041-01-68 AA „Mikro KWK Anlagen – Normnutzungsgrade – Emissionsfaktor“ wurden im Prüflaboratorium Untersuchungen an Mikro-KWK-Anlagen durchgeführt. Der während den Beratungen des Arbeitskreises anhand der Untersuchung erarbeitete Entwurf wurde im Juli 2010 zur Prüfung und Stellungnahme der Öffentlichkeit präsentiert. Die Messverfahren sind in die Untersuchungsprogramme der DVGW-Innovations-Initiative eingeflossen.

Elektrische Ausrüstung und elektronische Sicherheitskomponenten von Gasgeräten, Entwicklung und Normung

Das Prüflaboratorium Gas der DVGW-Forschungsstelle betreut die Normungstätigkeiten für elektrische Ausrüstung und elektronische Sicherheitskomponenten von Gasgeräten sowie die Prüfungen sicherheitsrelevanter Software in vielfältigen Gremien. Dazu gehören auf Europäischer Ebene die Arbeiten in den Arbeitskreisen von CEN (European Committee for Standardization) für die gastechische Anwendung sowie in Betreuung entsprechender Arbeitskreise bei CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization) auf der Seite der generischen Standards. Darüber hinaus betreuen die Prüflaboringenieure der DVGW-Forschungsstelle ebenfalls die Internationalen Gremien auf diesen Gebieten bei IEC (International Electrotechnical Commission) und ISO (International Organization for Standardization) sowie deren Spiegelgremien auf nationaler Ebene bei DIN (NAGAS, NHRS) und DKE (Deutsche Kommission für Elektrotechnik).

Besonders zu erwähnen sind auch die fortgeschrittenen Tätigkeiten bei CEN TC 58 bzgl. der Anpassung vielfältiger Normen (EN 298, EN 161, EN 126,...) auf die 2007 entstandene Gasgerätekomponentennorm EN 13611 sowie die Revision des Standards für Feuerungsautomaten EN 298, welche Ende 2010 in die letzte Beratungsphase getreten ist. Die Revision der EN 298 umfasst eine Zusammenfassung mit der Norm EN 230 für Ölfeuerungsautomaten, so dass es in Zukunft einen gemeinsamen Standard für Gas- und Ölfeuerungsautomaten EN 298 geben wird. Die enge Verbindung der Anforderungen zeigt sich auf deutscher Ebene in Form eines seit langer Zeit bestehenden Gemeinschaftsausschusses NA 041-03-31 GA Gemeinschaftsarbeitsausschuss zwischen NHRS und DKE, die stellvertretende Obmannschaft ist Hn. J. Endisch anvertraut.

Langjährige Bestrebung der Mitarbeiter der DVGW-Forschungsstelle, die Anforderungen hinsichtlich Fehlerbetrachtung, SW-Begutachtung und Störfestigkeit gegen elektromagnetische Störgrößen in den unterschiedlichen Gremienzweigen zu harmonisieren

zeigen jetzt Erfolge. Nach vielen Sitzungen zu den unterschiedlichen Normenreihen (IEC/EN 60335, IEC/EN 60730, EN 13611, EN 298, ...) mit zahlreichen Interessensvertretern aus bis zu 39 Ländern konnten Prüfschärfen und Prüfmethode weitestgehend aufeinander abgestimmt werden. Harmonisierungen auf diesem Gebiet werden zunehmend ein essentieller Faktor für den wirtschaftlichen Erfolg der Hersteller in der Gasgerätebranche.

OMS (Open Metering System)

Bedingt durch die Umsetzung europäischer Vorgaben (EU Mandat M441), ist das Thema Smart Metering omnipräsent. Es soll hierdurch dem Verbraucher ermöglicht werden, jederzeit vollständig über seinen Gas-, Wasser-, Strom oder Wärmeverbrauch informiert zu sein. Dadurch soll langfristig die effizientere Nutzung der vorhandenen Energie gewährleistet werden.

Das Prüflaboratorium ist aufgrund seines Know-hows in der europäischen Normung und in der Prüfung selbst stark in der Arbeit der OMS-Gruppe (eine Interessensgemeinschaft von Herstellern, die im Wesentlichen in den Verbänden FIGAWA, ZVEI und KNX organisiert sind) eingebunden. Das Ziel dieser Zusammenarbeit ist eine europäische Prüfgrundlage auf Basis schon vorhandener Normen (EN 13757 ...). Hierzu wurde eine OMS Spezifikationen entwickelt, die in eine vorläufige Prüfgrundlage (VP) umgesetzt werden soll.

Aufgrund der sehr guten Zusammenarbeit in der entsprechenden Arbeitsgruppe 3 ist es möglich, diese VP, zumindest für unidirektionale Zähler bis Ende August 2011 in den sog. Gelbdruck zu geben, dem ein Einspruchsverfahren in den zuständigen Gremien des DVGW folgt. Parallel zur Erstellung dieses Standards wird die Testumgebung entwickelt, so dass im November 2011 erste OMS-zertifizierte unidirektionale Zähler aus dem Gas-, Wasser- und Wärmebereich möglich sein werden. In einem weiteren Schritt erfolgt bis Ende des Jahres die Einarbeitung der Anforderungen einer OMS Schnittstelle an den Datenkonzentrator (MUC), womit dann im Jahre 2012 diese ebenfalls zertifiziert werden könnte.

Gaszähler Labor

Das Prüflaboratorium Gas hat im abgelaufenen Jahr seine Möglichkeiten im Bereich der Überprüfung von Haushaltsgaszählern erweitert und verbessert. Hierzu wurde ein eichamtlich abgenommener Gaszählerprüfstand (siehe **Bild 2.5**) bis zu den Durchflüssen von 16m³/h in Betrieb genommen, welcher Prüfungen u.a. nach der EN 1359 (Balgengaszähler) beschleunigt. Um die Optimierungen weiter voran zu treiben, wurde in Gebäude 40.15 ein neues Labor eingerichtet. Nach den Umbauten, die sich noch in das Jahr 2011 hineinziehen, entsteht hiermit die Möglichkeit, die notwendigen Prüfungen kosten- und zeitoptimiert in einem Labor durchzuführen.

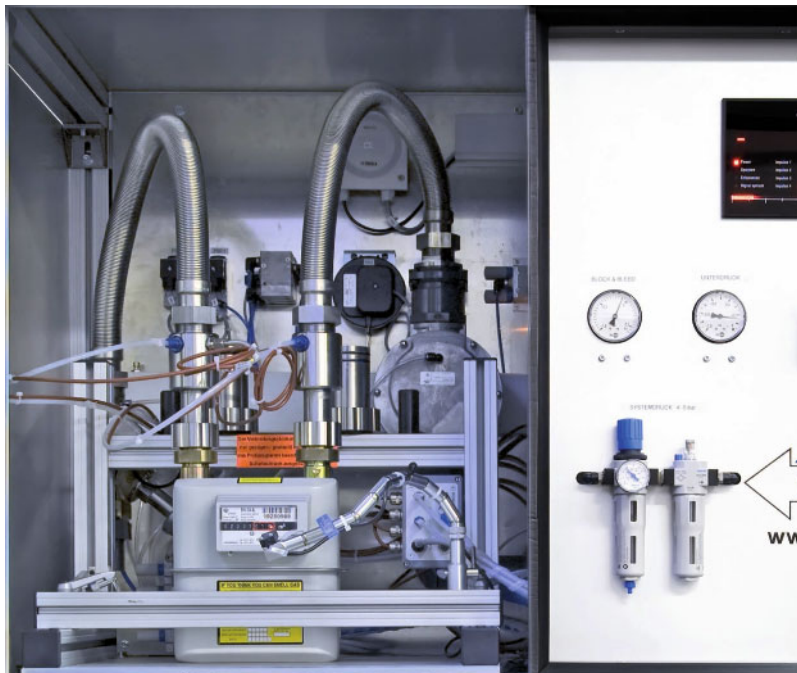


Bild 2.5. Gaszähler-Prüfstand.

Druckregelgeräte und Sicherheitsabsperreinrichtungen

Für Prüfungen dieser Produkte, die auf der Basis von DIN EN 334 und DIN EN 14382 durchgeführt werden, verfügt das Labor seit Langem über Prüfmöglichkeiten bis zu einem Eingangsdruck von 40 bar. Auf diesem Prüfstand können auch alle Prüfungen an Haus-Druckregelgeräten und an Gerätedruckreglern realisiert werden.

Seit dem vergangenen Jahr befindet sich ein Prüfstand im Aufbau, auf dem Prüfungen für höhere Drücke realisiert werden können, wobei für alle Prüfungen eine Medium- und Umgebungstemperatur von -40°C bis +60°C unter Druckbeaufschlagung möglich ist. Auf dem neuen Prüfstand sind folgende Prüfungen möglich:

- Gas-Druckregelgeräte mit Eingangsnennweiten bis DN 150 für Betriebsdrücke bis 150 bar
- Sicherheits-Absperrventile und andere Absperrrichtungen für Betriebsdrücke bis 150 bar und Nennweiten bis DN 600

Für die erforderlichen Prüfungen ist eine normgerechte Prüfstrecke (siehe **Bild 2.6**) vorhanden, bei der die in der Norm vorgesehene Durchflussmessung mit verdichteter und gekühlter bzw. erwärmter Luft durchgeführt wird. Hierfür ist ein Druckspeicher mit einem geometrischen Inhalt von ca. 5 m³ und einem Maximaldruck von 160 bar vorhanden. Der Speicherdruck wird 2-stufig auf den Versorgungsdruck des Druckregelgerätes vermindert. Die durch das Prüfgerät durchfließende Luft wird entweder auf das entsprechende Temperaturniveau angewärmt oder abgekühlt.

Mit dieser Einrichtung lassen sich Durchflüsse von ca. 20000 m³/h (bezogen auf Normbedingungen) erreichen. Die Durchflussmessung erfolgte mit Mess-



Bild 2.6. Gas-Druckregler-Prüfstand.

turbinen entsprechender Größe und Umrechnung der Durchflusswerte auf Standardbedingungen. Die Prüfbedingungen (Eingangsdruk, Ausgangsdruk, Durchflussmenge, Umgebungstemperatur) werden automatisch erfasst und grafisch dargestellt. Bei der Prüfung von Sicherheits-Absperrventilen ist eine Einrichtung vorhanden, mit welcher der Druckanstieg bzw. der Druckabfall am jeweiligen Messort reproduzierbar im Messbereich normgerecht eingestellt und verändert werden kann. In Kürze werden auch Schallmessungen an Gas-Druckregelgeräten möglich sein, um die Wirkung von schallreduzierenden Einbauten für bestimmte Durchflussmengen einwandfrei nachweisen zu können.

2.5 Veröffentlichungen

- Charwath, M.; Hentschel, J.; Suntz, R. and Bockhorn, H.: Characterisation of the flame properties of moderately oscillating sooting methane-air diffusion flames. Combustion generated fine carbonaceous particles, H. Bockhorn, A. D'Anna, A. F. Sarofim, H. Wang (ed.), Karlsruhe, p. 589-604, 2010.
- Cárdenas, C.; Suntz, R. and Bockhorn, H.: Experimental Investigation of the Mixing-Process in a Jet-in-Crossflow Arrangement by Simultaneous 2d-LIF and PIV. Springer series on Heat and Mass Transfer, Micro and Macro Mixing, H. Bockhorn et al. (ed.), Berlin, Heidelberg, p. 87-103, 2010.
- Denev, J. A.; Fröhlich, J.; Falconi, C. J. and Bockhorn, H.: Direct Numerical Simulation, Analysis and Modelling of Mixing Processes in a Round Jet in Crossflow. Springer series on Heat and Mass Transfer, Micro and Macro Mixing, H. Bockhorn et al. (ed.), p. 143-164, 2010.
- Dinkov, I.; Odinius, M.; Habisreuther, P. and Bockhorn, H.: Characterization of the mild combustion regimes of liquid fuels by homogeneity parameters – Experimental and numerical investigation. SPEIC10 Towards Sustainable Combustion, Spanish and Portuguese Sections of The Combustion Institute, 16-18 June, Tenerife, Spain, 2010.
- Djordjevic, N.; Habisreuther, P. and Zarzalis, N.: Porous burner for application in stationary gas turbines: An experimental investigation of the flame stability, emissions and temperature boundary condition. SPEIC10 Towards Sustainable Combustion, Spanish and Portuguese Sections of The Combustion Institute, June 16-18, Tenerife, Spain, 2010.
- Frassoldati, A.; Cuoci, A.; Faravelli, T.; Ranzi, E.; Colantuoni, S.; Martino, P. d.; Cinque, G.; Kern, M.; Marinov, S.; Zarzalis, N.; Costa, I. D. and Guin, C.: Fluid Dynamics and Detailed Kinetic Modelling of Pollutant Emissions from Lean Combustion Systems. Proceedings of ASME Turbo Expo 2010: Power for Land, Sea and Air (CDROM), ASME, June 14-18, Glasgow, UK, p. GT2010-22551, 2010.
- Galeazzo, F. C. C.; Donnert, G.; Habisreuther, P.; Zarzalis, N.; Valdes, R. J. and Krebs, W.: Measurement and Simulation of Turbulent Mixing in a Jet in Crossflow. Proceedings of ASME Turbo Expo 2010: Power for Land, Sea and Air (CDROM), ASME, p. GT2010-22709, 2010.
- Haessler, H.; Bockhorn, H.; Pfeifer, C. and Kuhn, D.: Formaldehyde-LIF of dimethyl ether during auto ignition at elevated pressures. SPEIC10 Towards Sustainable Combustion, Spanish and Portuguese Sections of The Combustion Institute, June 16-18, Tenerife, Spain, 2010.
- Kasabov, P. and Zarzalis, N.: Experimental study of the fuel distribution and reaction zone location of lifted flames at elevated pressure. SPEIC10 Towards Sustainable Combustion, Spanish and Portuguese Sections of The Combustion Institute, June 16-18, Tenerife, Spain, 2010.
- Marinov, S.; Kern, M.; Merkle, K.; Zarzalis, N.; Peschiulli, N.; Turrini, F. and Sara, O. N.: On Swirl Stabilized Flame Characteristics Near the Weak Extinction Limit. Proceedings of ASME Turbo Expo 2010: Power for Land, Sea and Air (CDROM), ASME, June 14-18, Glasgow, UK, p. GT2010-22335, 2010.
- Marinov, S.; Kern, M.; Zarzalis, N.; Peschiulli, N. and Turrini, F.: Spray Characteristic Investigation of a Kerosene Fuelled Swirl Flame. SPEIC10 Towards Sustainable Combustion, Spanish and Portuguese Sections of The Combustion Institute, June 16-18, Tenerife, Spain, 2010.
- Matthes, S.; Erhardt, G.; Gierens, K.; Petzold, A.; Brok, P.; Hagström, M.; Helmig, C.; Isaksen, I. S.; Laroche, P.; Vancassel, X.; Lee, D.; Raper, D.; Panidis, T.; Mathioudakis, K.; Tsalavoutas, T.; Kurtenbach, R.; Wiesen, P.; Wilson, C.; Habisreuther, P.; Schäfer, K. and Zarzalis, N.: ECATS – Mission of Association for an environmentally compatible air transport system. DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. – Forschungsberichte, 10, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., p. 140-145, 2010.
- Nalcaci, O. O.; Böke, N. and Ovez, B. A. A.: Adsorption Behaviour of Herbicides onto Biodegradable Polycaprolactone. The 6th Eastern Mediterranean Chemical Engineering Conference for Collaborative Research in Mediterranean Countries Proceedings, p. 94, 2010.
- Nalcaci, O. O.; Ozgen, S. and Ovez, B.: Metal Contamination Characteristics Of Lepidium Sativum In Phosphate, Salinity and Nitrate Contaminated Media, Journal of Environmental Engineering 136 (11), p. 1260-1266, 2010.
- Reichert, D.; Montoya, A.; Liang, X.; Bockhorn, H. and Haynes, B. S.: Conformational and Thermodynamic Properties of Gaseous Levulinic Acid, Journal of Physical Chemistry A 114, Nr. 46, p. 12323–12329, 2010.
- Vukadinovic, V.; Habisreuther, P. and Zarzalis, N.: Experimental Study on the Influence of Pressure and Temperature on the Bur-

ning Velocity and Markstein Number of Jet A-1 Kerosene. Proceedings of ASME Turbo Expo 2010: Power for Land, Sea and Air (CDROM), ASME, June 14-18, Glasgow, UK, p. GT2010-22535, 2010.

Zhang, F.; Habisreuther, P.; Hettel, M. and Bockhorn, H.: Application of a Unified TFC Model to Numerical Simulation of a Turbulent Non-Premixed Flame. Proceedings of the 8th International ERCOFTAC Symposium on Engineering Turbulence Modelling and Measurements - ETMM8, 2, European Research Collaboration on Flow Turbulence and Combustion, ERCOFTAC, June, 9-11, Marseilles, France, p. 681-686, 2010.

Zhang, F.; Habisreuther, P.; Hettel, M. and Bockhorn, H.: Proceedings Application of a unified TFC model to numerical simulation of a lifted turbulent partially premixed flame. Euromech Fluid Mechanics Conference - 8, Bad Reichenhall, Germany, 13-16. Sept., 2010.

Autoren



Prof. Dr.-Ing. **Henning Bockhorn**
Engler-Bunte-Institut der Universität
Karlsruhe (TH) |
Karlsruhe |
Tel. +49 721 608-42570 |
E-Mail: Henning.bockhorn@vbt.uni-karlsruhe.de



Prof. Dr. rer.nat. **Fritz H. Frimmel**
Engler-Bunte-Institut der Universität
Karlsruhe (TH) |
Karlsruhe |
Tel. +49 721 608-42580 |
E-Mail: fritz.frimmel@ciw.uni-karlsruhe.de



Prof. Dr.-Ing. **Thomas Kolb**
Engler-Bunte-Institut der Universität
Karlsruhe (TH) |
Karlsruhe |
Tel. +49 721 608-42561 |
E-Mail: Thomas.Kolb@kit.edu



Prof. Dr.-Ing. **Rainer Reimert**
Engler-Bunte-Institut der Universität
Karlsruhe (TH) |
Karlsruhe |
Tel. +49 721 608-44891 |
E-Mail: rainer.reimert@ciw.uni-karlsruhe.de



Dr. rer. nat. **Josef Klinger**
Technologiezentrum Wasser |
Karlsruhe |
Tel. +49 721 9678-110 |
E-Mail: josef.klinger@tzw.de

Parallelheft gwf-Wasser | Abwasser

In der Ausgabe 7-8/2011 lesen Sie u. a. folgende Beiträge:

Haakh	Pflanzenschutzmittelrückstände und Gewässerschutz – neue Lösungsansätze
Röstel	Wasserpreiskontrolle in Deutschland – Wie stellt sich die Branche dazu?
Roth / Mikat / Wagner	Der Einfluss moderner Haushaltsgeräte auf den Trinkwasserbedarf der Haushalte
Bockhorn u.a.	Engler-Bunte-Institut des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) und Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe (TZW) im Jahre 2010