

Überblicksbericht 2013

Forschungsprogramm Verbrennung und Wärme-Kraft- Kopplung



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE
Office fédéral de l'énergie OFEN

Titelbild:

Phasen Doppler Anemometrie (PDA) Messeinrichtung bei Wärtsilä Schweiz AG (Quelle: Wärtsilä)

Der Aufbau der neuen PDA-Messeinrichtung wurde in Zusammenarbeit mit der ETH Zürich und der Empa Dübendorf konzipiert und realisiert. Sie wird in Zukunft von allen drei Partnern genutzt werden. Die ETHZ setzt sie für Messungen an der schnellen Expansionsmaschine, die Empa für die Untersuchung an einem Einspritzprüfstand und Wärtsilä für Forschungsarbeiten an der neuartigen Einspritz-Verbrennungskammer ein. Im Projekt *Flex Fuel* erforscht Wärtsilä die Auswirkungen unterschiedlicher Brennstoffe auf das Einspritz- und Zündverhalten in grossen Schiffsdieselmotoren. Die PDA-Messung erlaubt nun in der Einspritz-Verbrennungskammer mit hoher Genauigkeit die Grösse und die Geschwindigkeit der Tropfen im Einspritzstrahl zu messen.

BFE Forschungsprogramm Verbrennung und Wärme-Kraft-Kopplung

Überblicksbericht 2013

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern

Programmleiter BFE (Autor):

Stephan Renz, Beratung Renz Consulting (renz.btr@swissonline.ch)

Bereichsleiterin BFE:

Dr. Sandra Hermle (sandra.hermle@bfe.admin.ch)

www.bfe.admin.ch/forschung/verbrennung

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Einleitung

In den letzten Jahren richteten sich die Anstrengungen der Verbrennungsmotorenindustrie stark auf die Reduktion der Luftschadstoffe wie NO_x und Partikel. Die erforderlichen Massnahmen waren durch den Absenkpfad der Euronorm, welche beispielsweise für schwere Lastwagen 1992 eingeführt wurde und über 6 Stufen schrittweise tiefere Emissions-Standards vorschrieb, vorgegeben. Die letzte Stufe, Euro VI, ist ab 2013/14 gültig und fordert im Vergleich zur ersten Stufe eine Reduktion der NO_x -Emissionen um den Faktor 20 und der Partikelemissionen um den Faktor 36 (für grosse Motoren) [1]. Weil Massnahmen zur Reduktion der NO_x -Emissionen gegenläufig zur Verbesserung des Wirkungsgrads und damit zur Reduktion des Treibstoffverbrauchs wirken, war ein Ziel, den Verbrauch zumindest stabil zu halten.

Nachdem der Absenkpfad für Luftschadstoffe bei Fahrzeugmotoren erfüllt ist, haben nun die Reduktion des Brennstoffverbrauchs und des CO_2 -Ausstosses höchste Priorität. Massnahmen sind die Verbesserung des Wirkungsgrads über alle für den Betrieb relevanten Lastzustände und der Einsatz von erneuerbaren oder CO_2 -armen Brennstoffen und Gemischen davon. Hinzu kommt die Hybridisierung der Antriebe, die neue Anforderungen an den Betrieb der Verbrennungssysteme stellt. Diese Anstrengungen decken sich auch gut mit den Zielen des Bundesrats, die er in der Energiestrategie 2050 [2] formuliert hat: Sparsame und rationelle Energienutzung, stärkere Nutzung erneuerbarer Energien sowie Reduktion der CO_2 -Emissionen.

Bei Verbrennungssystemen, die in Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen (WKK) eingesetzt werden, sind die Anforderungen ähnlich: Eine möglichst hohe Stromausbeute bei tiefen Emissionen und geringem CO_2 -Ausstoss. Hinzu kommen Forderungen eines flexiblen Einsatzes in einem vermehrt durch fluktuierende Stromerzeugungsanlagen geprägten Versorgungssystem. Als Brennstoff wird weiterhin vorwiegend Erdgas genutzt. In der Zukunft wird erwartet, dass neben einem zunehmendem Anteil Biogas auch Wasserstoff, produziert aus überschüssigem Strom, in WKK-Anlagen verstromt wird.

In der Seeschifffahrt steht heute die Herausforderung, die Emission zu reduzieren, an oberster Stelle. Die internationalen Organisationen haben nicht nur im küstennahen Bereich sondern auch für die Hochsee Emissionsvorschriften erlassen [3]. Neben dem bei Hochseeschiffen üblichen Schweröl (Marinediesel) werden deshalb alternative Brennstoffe bis hin zu Zweistoff-Konzepten mit dem Einsatz von Diesel- und Gasbrennstoff (Dual Fuel) erforscht.

Erfreulich ist, dass im Forschungsprogramm Verbrennung und WKK des Bundesamts für Energie (BFE) ein Portefeuille von Projekten gefördert werden kann, die auf unterschiedlicher Ebene Antworten auf die vorgenannten Herausforderungen erforschen. Dies ist dank der in der Schweiz international anerkannten Kompetenzen in der Verbrennungsforschung in der Industrie und an Hochschulen möglich. Dazu gehören Forschungsinstitute im ETH-Bereich und an Fachhoch-

schulen aber auch von zahlreichen global agierenden Herstellern von Verbrennungsmotoren und Gasturbinen. Dies ist durch die lange Tradition der Schweizer Industrie in diesem Bereich, die seit den Anfängen der Entwicklung der Verbrennungskraftmaschinen bahnbrechende Erfindungen hervorgebracht hat, begründet. Dazu gehört beispielsweise die Fiat Power Train Motorenforschung AG [4] in Arbon (ehemals Saurer), welche mit 32 Prüfständen die gesamte Palette der grösseren Dieselmotoren für den Fiat-Konzern entwickelt. Wärtsilä Schweiz AG [5] in Winterthur (ehemals Sulzer) ist das Entwicklungszentrum für grosse Zweitakt-Schiffsdieselmotoren des gleichnamigen finnischen Motorenherstellers. Hier werden Motoren bis zu einer Leistung von 80'000 kW entwickelt, die weltweit in Hochseeschiffen im Einsatz sind. Die Firma Wenko in Burgdorf [6] stellt Motoren im unteren Leistungsbereich (typisch 10–100 kW) her und entwickelt diese zudem für den US-Konzern Polaris Industries [7]. In Bulle ist die Firma Liebherr Machines SA [8] domiziliert, welche für den Liebherr-Konzern die Verbrennungsmotoren entwickelt und dort jährlich ca. 10'000 Stück herstellt. Auch zahlreiche Entwickler und Hersteller von peripheren Komponenten wie Turboladern, Einspritzsysteme, Katalysatoren, Partikelfiltern, Mess- und Steuersystemen sind in der Schweiz aktiv. Pro Jahr investiert die Schweizer Industrie rund 150 Mio. CHF in die Forschung zur Verbesserung von Verbrennungssystemen.

Programmschwerpunkte

Die Verbrennung ist eine Querschnittstechnologie mit zahlreichen Verbindungen zu anderen Forschungsprogrammen des BFE.

Die Zielsetzungen des Programms Verbrennung und WKK [9] richten sich nach den Vorgaben des Konzepts der Energieforschung des Bundes [10].

Erhöhung des exergetischen Wirkungsgrads: Verbrauch Energieresourcen und CO₂-Emissionen reduzieren.;

Reduktion der Schadstoffemissionen: Reduktion von NO_x, Partikel, Metalloxyde, Aerosole auch bei variablen Lastzuständen.;

Optimierung der Systeme für die Nutzung gasförmiger Energieträger: Erdgas, Biogas, Wasserstoff und Gemische davon;

Nutzung von erneuerbare Energieträgern und Anforderungen an diese: Auswirkungen der Brennstoffe auf die Verbrennung sowie die Anforderungen der Verbrennung an die Brennstoffe;

Verbesserung von Forschungsmethoden und Instrumenten: Hochkomplexe Vorgänge im Verbrennungsprozess besser verstehen und abbilden;

Optimierung von WKK-Anlagen als Gesamtsystem inkl. Einbindung in die Strom- und Wärmeversorgung: Flexibler Einsatz hocheffizienter WKK-Systeme als Ausgleich zu Photovoltaik und Wind.

Schwerpunkte 2013–2016 [9]:

- Forschungsmethoden und -instrumente für konventionelle und biogene Energieträger der 2. Generation;
- Variable Brennstoffnutzung und Schadstoffreduktion in grossen Dieselmotoren (Dual Fuel);
- Verbesserung des Wirkungsgrads und Reduktion der Schadstoffe bei der Nutzung von gasförmigen Brennstoffen
- Erweiterte Kenntnisse über massgeschneiderte Brennstoffe für Dieselmotoren
- Optimierung des Gesamtsystems Gemischbildung – Zündung – Verbrennung – Abgasnachbehandlung
- Erhöhung des exergetischen Wirkungsgrads durch Abgasenergienutzung
- Optimierung von WKK-Systemen als Ergänzung zu variablen erneuerbaren Stromerzeugungsanlagen unter Berücksichtigung der Wärmenutzung
- Kommunikation und Vernetzung Akteure in der Schweizer Verbrennungsforschung

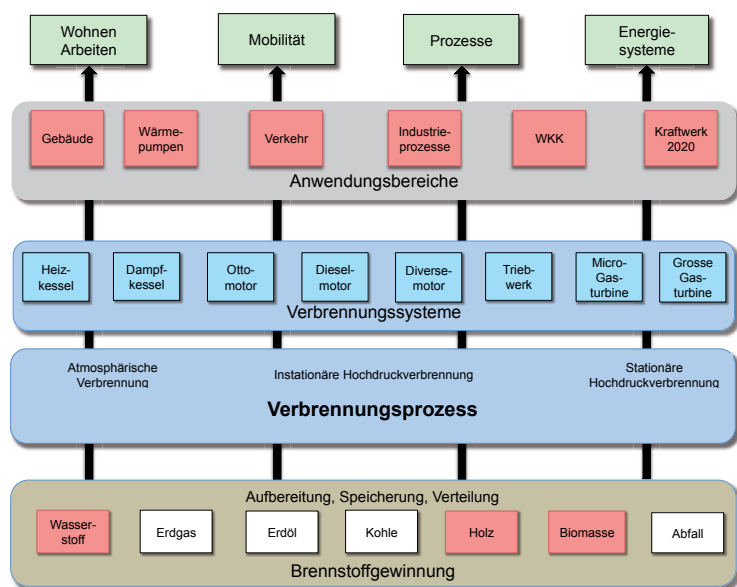
Rückblick und Bewertung 2013

Die Tagung Verbrennungsforschung in der Schweiz brachte über 100 Forschende aus der Industrie und aus Hochschulen zusammen. Sie tauschten sich über aktuelle Projekte sowie über Herausforderungen und Ziele der Industrie aus. Positive Rückmeldungen zeigten, dass die Kontaktpflege im Rahmen eines Schweizer Anlasses sehr erwünscht ist. Nachdem im Vorjahr zahlreiche Projekte abgeschlossen wurden, konnten 8 neue gestartet werden (siehe Seite 11ff), welche verschiedene Schwerpunkte abdecken. Im abgeschlossenen Projekt *Klein-WKK-Anlagen* erzielte ein 7 kW-Motor einen mechanischen Wirkungsgrad von 36 %. Und dies bei NO_x-Emissionen, die um den Faktor 5 unter dem Grenzwert der Stadt Zürich, dem tiefsten in der Schweiz, liegen.

Erfolgreich gestartet wurde der von der Schweiz initiierte und geleitete *Collaborative Task Gas Engines* im Implementing Agreement Combustion der Internationalen Energieagentur (IEA) [11].

Ausblick

Wichtiges Ziel ist das Etablieren einer guten internationalen Zusammenarbeit im neuen IEA Collaborative Task Gas Engines. Das Projekt *Klein-WKK-Anlagen* verfügt über das Potenzial in einem P&D-Projekt weitergeführt zu werden. Anwendungsmöglichkeiten bestehen auch im Kontext zu den Projekten *Biomass-CHP-Plants* sowie *RENERG²*, weshalb in der Forschung die Nutzung biogener oder wasserstoffhaltiger Brennstoffe untersucht werden soll. Resultate werden von den Projekten *Biomass-Micro-GT-CHP*, *ORC-Flügelzellenexpander Gasmotor* und *Xhost Harvester* erwartet, welche innerhalb von P&D-Projekten weitergeführt werden könnten.



Querschnittstechnologie Verbrennung: Vernetzung mit Forschungsprogrammen des BFE (rot) und den Schwerpunkten des Forschungskonzepts des Bundes (grün).

Highlights aus Forschung und Entwicklung

Mit der Förderung von Projekten durch das BFE können Forschungsaufgaben bearbeitet werden, welche vertieft Aspekte der übergeordneten Zielsetzung untersuchen und deren Erfolg nicht von vornherein gegeben ist. Im Berichtsjahr betrug der Finanzbeitrag des Forschungsprogramms Verbrennung und WKK 23 % der gesamten Projektkosten. Dies zeigt eine sehr grosse Hebelwirkung der BFE-Förderung. Die Unterstützung von Projekten orientiert sich an den Zielsetzungen und Schwerpunkten des Programms für die Periode 2013–2016 [9]. Ein Highlight ist die Allokation von Fördermittel in 6 komplementären Projekten, welche den Zielen betreffend *Erhöhung des exergetischen Wirkungsgrads von Verbrennungssystemen und Optimierung von WKK-Anlagen als Gesamtsystem* entsprechen und die Schwerpunkte 6 und 7 sehr gut abdecken. Interessant ist hier auch die Zusammenarbeit mit den Forschungsprogrammen Biomasse und Holzenergie, Netze und Wasserstoff. Ein weiterer sich gut ergänzender Projektbereich ergab sich zum Thema Nutzung von alternativen flüssigen und gasförmigen Brennstoffen, der im Folgenden im Highlight *Brennstoffflexibilität* erläutert wird. Erforscht werden die Eigenschaften neuartiger Brennstoffe, die Verbesserung und Anpassung der Simulationsmodelle für die Darstellung der Verbrennung dieser Brennstoffe sowie der Einsatz von unterschiedlichen flüssigen und gasförmigen Brennstoffen und Kombinationen davon.

Sehr erfolgreich konnte zudem die grundlagenorientierten Arbeiten zur Erforschung der *Energiefreigabe der Moleküle im Verbrennungsprozess* fortgesetzt werden.

Hocheffiziente und bedarfsgerechte Stromerzeugung – auch mit Erneuerbaren

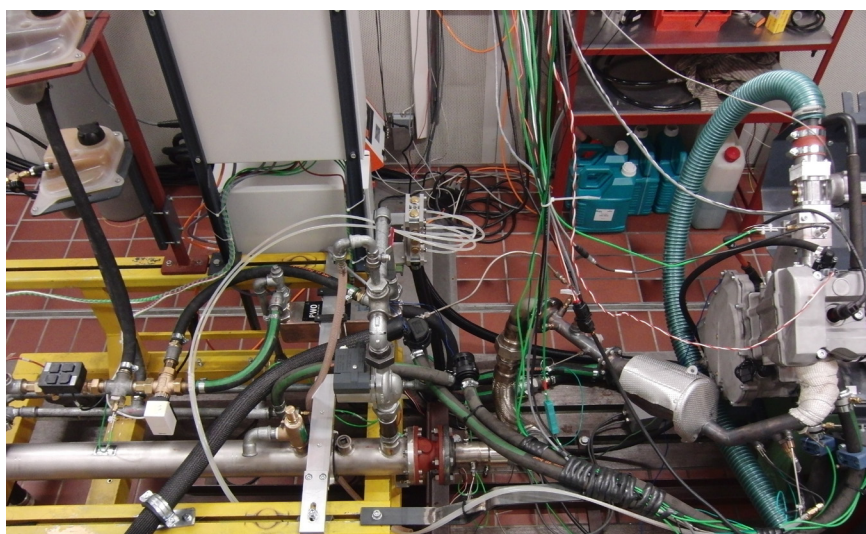
Die Nutzung der Wertigkeit des Energieträgers – z. B. als mechanische Energie eines Verbrennungsmotors – sollte in jedem Fall maximal genutzt werden. Dies gilt vorab für fossile Brennstoffe aber auch für Energieträger aus Biomasse, die auch nur begrenzt verfügbar sind. Verbrennungsmotoren werden nicht nur für den Antrieb von

Fahrzeugen und Maschinen eingesetzt, sondern auch für die Stromerzeugung. Obschon bei der Wärmekraftkoppelung (WKK) die nutzbare Wärme einen wichtigen Beitrag an die Wirtschaftlichkeit solcher Anlagen leistet, sollte aus der Sicht der Forschung die technisch hochwertigere Exergie, d. h. der Strom, im Vordergrund stehen. Dies gilt – wie erwähnt – auch bei Energieträgern aus Biomasse und speziell für Holz. Diese werden bisher nur in Grossanlagen im MW-Bereich für die Stromerzeugung eingesetzt. Bei kleineren Anlagen werden erste Demonstrationsprojekte [13] gezeigt. Im Projekt *Biomass-Micro-GT-CHP (Biomasse befeuerte Heissluft-Mikrogasturbine mit WKK)* wird die Kombination Holzheizkessel und Stromerzeugung im kleineren Leistungsbereich (250 kW Feuerungswärmeleistung) entwickelt. Das Ziel ist, einen elektrischen Wirkungsgrad von 24 % zu erreichen. Vergleichbare Anlagen, die heute demonstriert werden, erreichen einen Wert von 12 %. Zusammen mit der Wärmenutzung sollten in jedem Fall mindestens 80 % erreicht werden. Als Gasturbine wird ein Produkt der Firma Capstone mit einer Nennleistung von 65 kW eingesetzt, das in WKK-Anlagen für die Nutzung von Erdgas und Biogas verwendet wird. Dieses verfügt über einen Rekuperator, der zu einer besseren Nutzung des eingesetzten Energieträ-

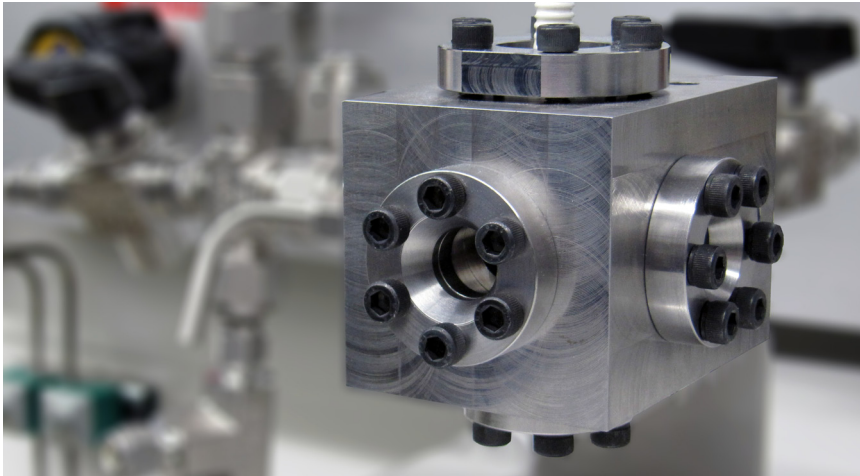
gers verhilft. Die Herausforderung ist, die Übertragung der Feuerungswärme auf die der Turbine zugeführte Heissluft und das Erreichen einer möglichst hohen Temperatur. Problematisch sind die Dimensionen des dafür notwendigen Wärmetauschers und die Wahl eines hitzebeständigen Materials.

Im erst gestarteten Projekt *μXyloCogen (Micro-turbine à air chaud)* wird die gleiche Aufgabe – Strom- und Wärmeerzeugung aus Holz – mit einem nochmals deutlich kleineren Heizkessel erforscht. An einen 5 kW-Holzessel soll ein Mikrogasturbine-Generator-System mit einer elektrischen Leistung von 1 kW angebaut werden. Angestrebt wird ein elektrischer Wirkungsgrad von 15–20 %. In dieser Leistungsklasse wurden bisher Systeme mit Stirling-Motoren erprobt, welche den Schritt zur Marktreife nicht erreicht haben.

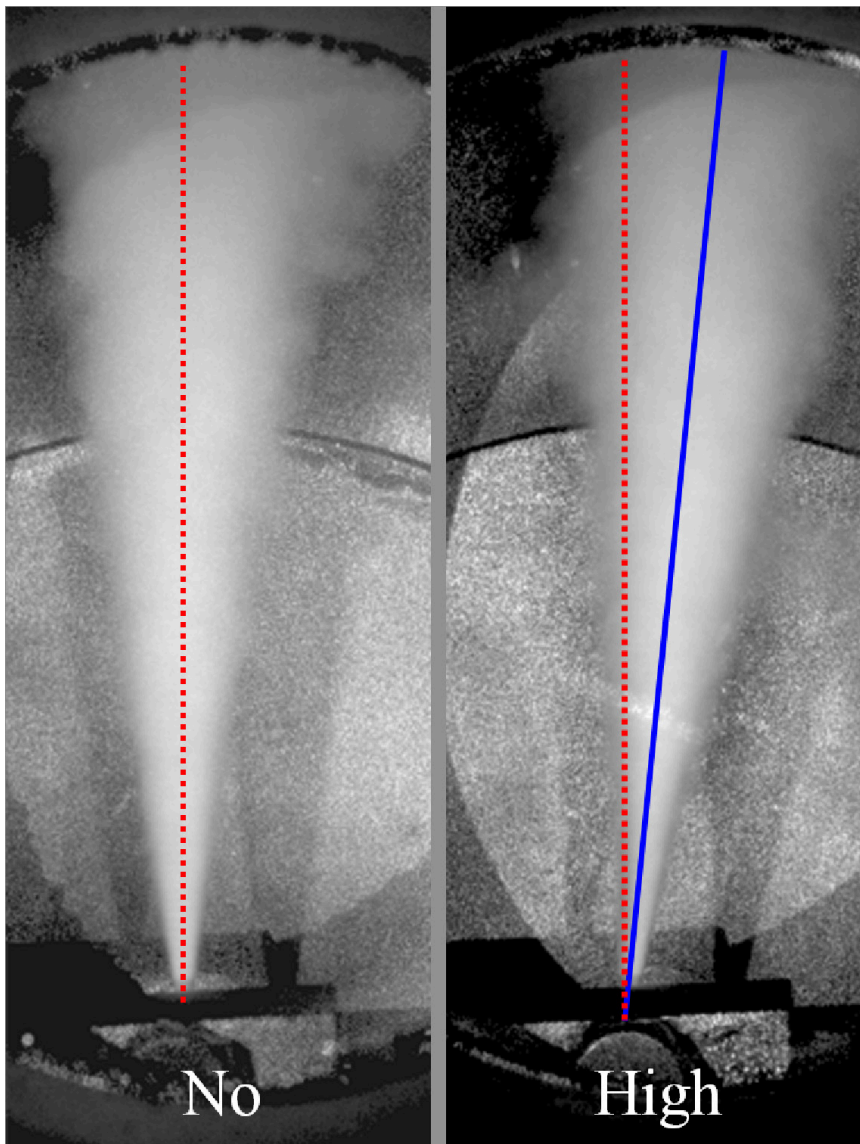
Bei der Nutzung von gasförmigen Brennstoffen wie Erdgas oder Biogas in Verbrennungsmotoren zur Stromerzeugung liegt der elektrische Wirkungsgrad bereits heute deutlich höher. Bei einer Leistung von 500 kW werden 42 % erreicht. In den über 600 °C heissen Abgasen steckt immer noch Exergie, die genutzt werden könnte. Die Herausforderung ist, den Gegendruck zum Motor möglichst nicht zu erhöhen. Dies hätte zur Folge,



Figur 1: Versuchsaufbau und Prüfstand mit dem 1 Zylinder Motor. Dieser wird mit Erdgas betrieben und ist mit einem Katalysator ausgerüstet. Auf dem Bild gut erkennbar (gelber Rahmen) sind die Wärmetauscher für die Gewinnung der diversen Abwärmequellen des Motors. (Quelle: LAV ETHZ)



Figur 2: Heibare Hochdruckzelle zur spektroskopischen Untersuchung der Zündung von Wasserstoff-Methan-Gemischen. Optischer Zugang via Saphirglser und Vorrichtung zum Einbau einer Zündkerze. (Quelle: Empa)



Figur 3: Ablenkung des Einspritzstrahls durch Exzentrizität der Dsenspritzlcher. Die Aufnahme zeigt rot gestrichelt die Achse der zentrischen Einspritzung und blau bei exzentrischer Anordnung der Löcher. (Quelle: Wärtsilä)

dass der Wirkungsgrad im Motor sinkt und am Schluss die Verbesserung aufgehoben wird.

Im Projekt *Xhost Harvester* werden kostengünstige Systeme wie eine inverse Gasturbine untersucht. Diese erzeugt am Auslass des Motors einen Unterdruck und verdichtet die Abgase dann wiederum über den Umgebungsdruck, um sie ausstossen zu können. Bei gut abgestimmten, aufgeladenen Gasmotoren liegt die Verbesserung unter 1 %. Bei Saugmotoren ist die Verbesserung besser und wird mit rund 3 % berechnet. In Feldversuchen wurden schon höhere Werte gemessen. Vielversprechend ist dagegen die «Aactor !GT» genannte atmosphärische Abgasturbine, welche einen Teil «Turbo-Compounding» enthält, ohne dabei den Motor mit einem Gegendruck zu beeinflussen. Im Projekt werden rechnerisch weitere Konzepte zur Verstromung der Abgasenergie verglichen und ein weiteres mit einem «Dreitaktmotor» entworfen. Der Abschluss des Projekts erfolgt 2014.

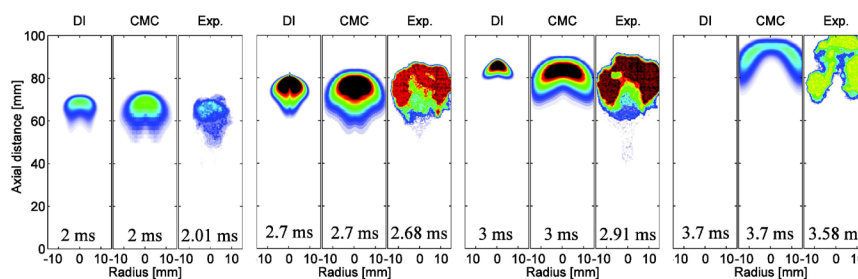
Neu gestartet wurde die Entwicklung und Erprobung eines Flgelzellenexpanders, der mit einem Organic Rankine Cycle die Abgasenergie nutzen wird. Im Gegensatz zu anderen Technologien, welche die kinetische Abgasenergie verwenden, wie beispielsweise der Turbo-Compound, nutzt der ORC lediglich die thermische Abgasenergie. ORC-Systeme können auch andere Abwärmequellen des Motors nutzen und ermöglichen eine maximale Verwertung der Gesamtabwrme zur additiven Stromerzeugung. Im Projekt *ORC Flgelzellenexpander Gasmotor* soll mit einem 500 kW-Motor ein elektrischer Wirkungsgrad von 48 % erreicht werden. Gleichzeitig soll der Gesamtwirkungsgrad als WKK-Anlage erhalten bleiben.

Im Projekt *Klein-WKK-Anlagen* wurde ein 1 Zylindermotor mit 0,325 Litern Hubraum der Firma Wenko aus Burgdorf für den stationären Einsatz und die Nutzung von Erdgas angepasst und optimiert. Das Ziel ist der Einsatz als Kompaktanlage, die beispielsweise in Einfamilienhäusern abgestimmt auf die Nachfrage im Versorgungsnetz Strom erzeugt, die Wärme speichert und für das Brauchwarmwasser und die Raumwrmeversorgung nutzt. Auf dem

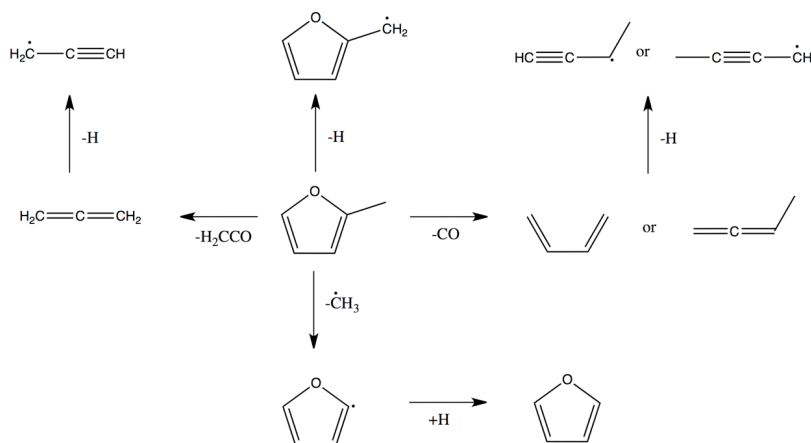
Prüfstand wurde ein mechanischer Wirkungsgrad von 36 % und NO_x -Emissionen von 10 mg/Nm^3 (bei 5 % O_2) erreicht. Der strengste Grenzwert in der Schweiz (Zürich) beträgt 50 mg/Nm^3 . Mit einem marktgängigen Generator wird ein elektrischer Wirkungsgrad von 32 % erreicht. Aufgrund der mittels Katalysator erreichten sehr tiefen Emissionen wurde auf eine Abgasrückführung verzichtet (Figur 1). In einem nächsten Schritt wird der Betrieb mit Biogas untersucht. Ein Verbesserungspotential liegt auch beim Generator, der mit einem Wirkungsgrad von 88 % nur einen Teil der mechanischen Energie in Strom umwandelt. In einem separaten Projekt wurde die Realisierung eines Prototyps vorbereitet. Dieser soll dann als Pilotsystem im Feld erprobt werden.

Der Einsatz derartiger hocheffizienter WKK-Systeme in Kombination mit den Anforderungen des Stromnetzes und den Vorkommen und der Verfügbarkeit von Biomasse als Brennstoff wird im Projekt *Biomass-CHP-Plants* untersucht. Der wachsende Anteil fluktuierender erneuerbarer Stromerzeugung (z. B. Photovoltaik, Wind) macht Massnahmen zur Netzstabilisierung nötig. In diesem Zusammenhang können dezentrale biogene WKK eine wichtige Rolle spielen. Die Entwicklung eines WKK-Schwarm-Modells gestützt auf geografische Daten (z. B. zu Energieressourcen und -infrastruktur) soll das Potenzial für ausgewählte Schweizer Regionen zeigen. Zusätzlich können aus Langzeit-Szenarien des gesamten schweizerischen Elektrizitätssystems günstige Randbedingungen für einen WKK-Schwarm abgeleitet werden. Neben dem Projekthalt ist die Zusammenarbeit von drei ETH-Instituten und dem Paul Scherrer Institut (PSI) interessant: Spezialisten aus den Bereichen Verbrennungsmotoren, Gebäudeenergieversorgung, Geoinformation, Energienetze und Energie-System-Analyse arbeiten zusammen.

Dem gleichen Thema, der fluktuierenden Stromerzeugung und der dabei vor allem im Sommer auftretenden Überschüsse an Strom aus Photovoltaik und Wind, widmet sich das Projekt *RENERG*². Der überschüssige Strom soll in Wasserstoff umgewandelt und gespeichert werden. Dieser kann dann für mobile Anwendungen genutzt



Figur 4: Vergleich des Abbrands und Darstellung des natürlichen Leuchtens (Russbildung) der Flamme. Das CMC-Modell stimmt gut mit dem Experiment überein. Die Direkte Integration (DI) überschätzt die Oxidation und zeigt bereits nach 3ms kein Russleuchten mehr. (Quelle: Combustion and Flow Solutions)



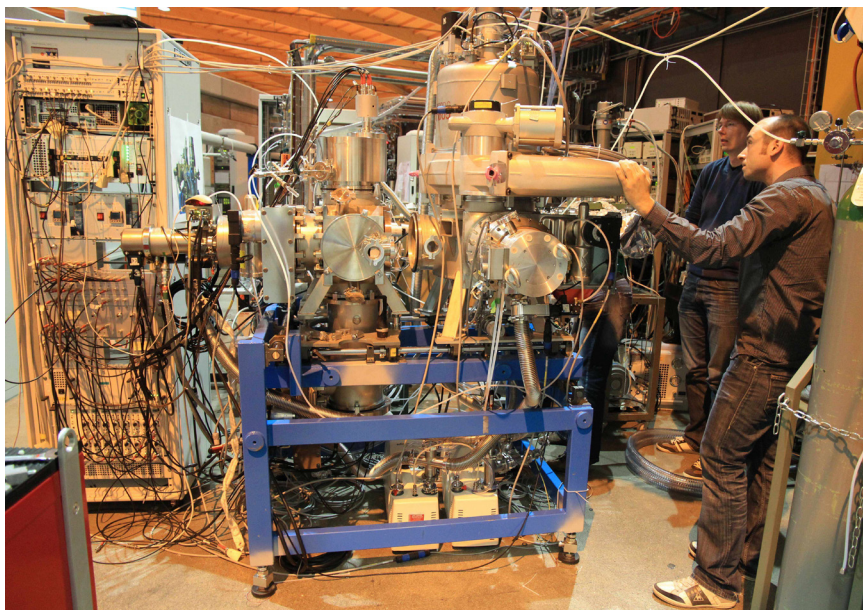
Figur 5: Anfängliche Reaktionen von Methylfuran, wie sie in der Flamme zu erwarten sind. Die thermochemischen Daten aller Produkte müssen für eine aussagekräftige Modellierung bestimmt werden. (Quelle: PSI)

oder mittels Verbrennungsmotoren wiederum in Strom umgewandelt und damit zu einem späteren Zeitpunkt zur Netzstabilisierung eingesetzt werden. Dabei können unterschiedliche Brennstoffpfade wie direkte Nutzung des Wasserstoffs, Methanisierung des Wasserstoffs oder Beimischung in die Erdgasversorgung gewählt werden. Auf die Verbrennung im Motor hat dies einen relevanten Einfluss, weshalb Untersuchungen über das Zündverhalten (Figur 2), den Abbrand und die Klopfestigkeit durchgeführt werden sollen.

Brennstoffflexibilität

Die Reduktion der CO_2 -Emissionen erfordert die Senkung des Verbrauchs an fossilen Energieträgern. Dies kann

durch effizientere Verbrennungssysteme oder durch die Substitution mit erneuerbaren bzw. CO_2 -armen Brennstoffen erfolgen. Dazu gehören vorab Biogas aber auch synthetisch hergestellte Dieselmotorenstoffe oder aus überschüssigem Strom erzeugter Wasserstoff. Die Palette der verfügbaren Brennstoffe weitet sich aus, womit die Anforderungen an die Brennstoffflexibilität von Verbrennungsmotoren steigen. Gefordert wird beispielsweise die Nutzung unterschiedlicher Brennstoffqualitäten und -zusammensetzungen und dies variabel in flüssiger oder gasförmiger Form. Im Projekt *Flex Fuel* untersucht Wärsilä Schweiz AG den Einfluss von verschiedenen Brennstoffen auf den Einspritzstrahl und die Verbrennung (Figur 3). Sie nutzt dafür eine spezielle Verbrennungskammer,



Figur 6: Aufbau der i^2 PEPICO Apparatur an der für die Verbrennungsforschung eingerichteten Endstation an der SLS/VUV Beamline des Paul Scherrer Instituts in Villigen. (Quelle: PSI)

welche den Brennraum eines grossen Dieselmotors mit einem Durchmesser von 500 mm darstellt. Die Verbrennungskammer wurde im Rahmen des EU-Projekts HERCULES [20] realisiert und vom BFE mitfinanziert. Das Projekt HERCULES wird nun schon in seiner dritten Erweiterung bearbeitet. Um Daten aus solchen Experimenten in Rechencodes für die Simulation der Verbrennung nutzen zu können, müssen geeignete Berechnungsmodelle gefunden und diese an die Eigenschaften der Brennstoffe angepasst werden. Das am ETH Laboratorium für Aerothermochemie und Verbrennungssysteme (LAV) mit entwickelte Berechnungsmodell Conditional Moment Closure (CMC) für die Darstellung des Verbrennungsablaufs und der Russbildung in turbulenten reaktiven Strömungen wird im Projekt 3D-CRFD-Modelle diesbezüglich weiter entwickelt. Der Vergleich mit der direkten Integration zeigte für das CMC-Modell deutlich bessere Resultate. Die Validierung erfolgte zunächst für n-heptane mit Daten der Sandia National Laboratories (US). Anschliessend wurden Daten aus dem Projekt HERCULES, also eines grossen Marinemotors mit entsprechend grossem Bohrungsdurchmesser der Einspritzdüse verwendet und eine gute Übereinstimmung für das CMC-Modell

festgestellt (Figur 4). Eine Herausforderung in diesem laufenden Projekt ist die Verfügbarkeit von verlässlichen chemischen Daten, welche die Brennstoffe genügend genau beschreiben (Anzahl Teilchen und Reaktionen), und den Rechenaufwand in einem auch für die Praxis tragbaren Rahmen zu halten. In der weiteren Projektbearbeitung werden langkettige, paraffinartige Brennstoffe untersucht, welche gut den Eigenschaften von XTL-Brennstoffen (aus diversen Substraten wie Biomasse oder Abfall synthetisch hergestellte flüssige Brennstoffe) entsprechen. Dafür muss auch die Hochdruck-Hochtemperatur-Brennkammer des LAV modifiziert werden.

Der Energiefreigabe der Moleküle in der Verbrennung auf der Spur

Der Verbrennungsprozess ist durch die thermochemische Umwandlung der Moleküle des Brennstoffs in die Endprodukte CO_2 , H_2O , NO_x geprägt. Relevant ist der Zündvorgang, mit dem die Energiefreigabe und die nachfolgenden Reaktionen der Verbrennung über zahlreiche Zwischenprodukte bestimmt werden. Massgebend am Zündverhalten beteiligt sind Peroxy-Radikale. Deren

thermochemische Daten sind bisher zu wenig genau bekannt. Dies schlägt sich in Simulationsmodellen in der Berechnung der Reaktionsgeschwindigkeit nieder, welche um den Faktor 10 variieren kann. Damit ist beispielsweise die Entstehung von Stickoxid kaum verlässlich modellierbar. Zur genauen Bestimmung der energetischen und molekularen Zustände (Spinrotationen) der Radikale und weiterer für die Verbrennung relevanter Moleküle werden im Projekt *Molecular Data of Combustion relevant Radicals* am PSI spektroskopische Methoden eingesetzt. An der SLS/VUV Strahllinie [14] wurde im Berichtsjahr die Fragmentierung von Furanen und die Isomer-spezifischen Reaktionen von Xylenen untersucht. Dabei erlaubt der im Vorjahr installierte i^2 PEPICO-Aufbau (double image Photo Electron Photo Ion Coincidence) einzelne Isomere zu bestimmen, selbst wenn deren Ionisationsenergie ähnlich ist und bisher angewandte Verfahren versagen (Figur 5). Mit dem Aufbau, der nicht nur die Elektronen, sondern auch die Ionen abbildet, kann neben der kinetischen Energie der Elektronen auch die der Ionen bestimmt werden. Damit wird es möglich, die während einer Dissoziation freiwerdende Energie zu messen.

An der i^2 PEPICO-Apparatur (Figur 6) wurde eine 1-D Flamme (Flat Flame Burner) installiert, von der Zwischenprodukte extrahiert und einer Messung zugeführt werden können. Einerseits können mit dieser Anordnung direkt Speziesprofile in einer Flamme aufgenommen und mit kinetischen Modellen verglichen werden. Andererseits dient der Brenner auch als Quelle für Radikale, deren Thermochemie intensiv untersucht werden soll. Obschon die Anordnung an sich nicht neu ist, bietet die Kombination der 1-D Flamme mit der an der SLS/VUV Strahllinie möglichen Isomer-spezifischen Detektion bisher nicht erreichbare Untersuchungsmöglichkeiten. 2014 sollen damit verschiedene Messkampagnen durchgeführt werden, mit denen verbrennungsrelevante Moleküle vermessen werden. Ein Schwerpunkt wird der Nachweis von ionisierenden Alky-Perox Radikalen sein. Dabei soll insbesondere die Stärke der C-O₂-Bindung dieser wahrscheinlich instabilen Ionen bestimmt werden können.

Nationale Zusammenarbeit

Die Forscherteams der Schweizer Verbrennungsforschung pflegen über zahlreiche gemeinsame Projekte gute Kontakte und dies auch zwischen Hochschulen und Industrie. Zu nennen sind das Projekt *Dual Fuel*, in dem die ETHZ, das PSI sowie die FHNW Partner sind. Das Projekt ist Teil der vom Competence Centre Energy and Mobility (CCEM) [15] unterstützten Projekte *SCHE-Dual* und *Flex-Fi-Dual* und enthält ein Arbeitspaket, das im Rahmen eines Projektes der deutschen Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen (FVV) [16] mit dem IVK der Universität Stuttgart bearbeitet wird. Eine breit abgestützte nationale Zusammenarbeit von Hochschulinstituten erfolgt im Projekt *Biomass-CHP-Plants*. Involviert sind drei Institute der ETHZ (LAV, GIE, FEN) sowie eines des PSI (EEG). Das Projekt wird von Swisselectric Research [17] unterstützt und die BFE-Forschungsprogramme Biomasse und Holzenergie sowie Netze sind ebenfalls beteiligt. Ähnliches gilt für das Projekt *RENERG²*. Es umfasst die Zusammenarbeit von Instituten der EPFL, der ETHZ, der EMPA, dem PSI sowie der ZHAW. Mitfinanziert wird es vom CCEM, von Swisselectric Research sowie vom Verband der Schweizer Gasindustrie (FOGA) [18]. Beteiligt sind auch die BFE-Forschungsprogramme Netze und Wasserstoff. Im Projekt *Gas Pot* erfolgt eine Zusammenarbeit zwischen der EMPA und der Firma MEMS. Das Projekt wird ebenfalls vom FOGA mitfinanziert. Im

Projekt *Xhost Harvester* arbeitet das Oekozentrum Langenbruck mit Liebherr Maschine Bulle SA, Sa-charging Solution AG, Combustion and Flow Solution GmbH und DLM AG zusammen. Auch im Projekt *Biomass-MicroGT-CHP* ist das Oekozentrum engagiert. Unter der Leitung der FHNW ist zudem die Firma Acrona Systems AG involviert. Das Projekt wird auch vom Kanton Aargau gefördert. Im Projekt *Klein-WKK-Anlagen* arbeiten das LAV ETHZ, Wenko AG und Bucher AG Motorex zusammen.

Jährlich wird an der *ETH Conference on Combustion Generated Nanoparticles* [19] die Problematik der durch die Verbrennung erzeugten Partikel interdisziplinär behandelt. Dabei werden Referate über die Partikelentstehung in der Verbrennung, die Abgasnachbehandlung, die Messtechnik, die atmosphärischen Vorgänge wie auch über biologisch-medizinischen Wirkungsaspekte gehalten. An der alle zwei Jahre stattfindenden Tagung Verbrennungsforschung in der Schweiz trafen sich im November 2013 über 100 Forscher und Entwickler aus den Bereichen Hochschulen und Industrie. Der vom BFE mit organisierte Anlass ist eine Plattform zum Informationsaustausch über aktuelle Themen der Verbrennungsforschung in der Schweiz und bietet Kontaktmöglichkeiten zwischen jungen Forschern und Verantwortlichen aus der Industrie.

Internationale Zusammenarbeit

In mehreren vom BFE unterstützten Projekten erfolgt eine internationale Zusammenarbeit mit Hochschulen und Industriepartnern. Dazu gehört das von der EU im Rahmen des Forschungsprogramms FP7 mit finanzierte Projekt HERCULES [20]: Neben den bereits erwähnten Schweizer Forschungsinstitutionen und Industriepartnern sind auch die Abo Akademi University (FIN), die Helsinki University of Technology (FIN), die National Technical University of Athens (GR) sowie die Wärtsilä Corporation Finnland beteiligt. Das Projekt *Klein-WKK-Anlage* enthält ein Arbeitspaket *Experimentelle Untersuchung und Simulation der Entflammung*, das im Auftrag der FVV erfolgt und zusammen mit dem LVK der TU München bearbeitet wird. Auch das Projekt *Kraftstoffkennzahlen II* wird parallel zu Projekten der FVV bearbeitet, mit entsprechender Zusammenarbeit mit anderen Forschungsstellen in Deutschland. Im Projekt *Molecular data of combustion relevant radicals* findet eine Zusammenarbeit mit den Universitäten Würzburg und Duisburg-Essen, dem DLR Stuttgart sowie den Sandia National Laboratories Livermore (US) statt. Das Projekt arbeitet in der COST Action 901 [21] der EU, in der sich Gruppen von mehr als 20 Ländern austauschen, mit. Zudem wurde eine Mitarbeit im 2013 gestarteten Collaborative Task *Combustion Chemistry* der IEA Combustion gestartet.

Ein wichtiger Informationsaustausch und die Gelegenheit, die Schwerpunkte der Verbrennungsforschung international mitzugestalten, erfolgt in der Mitarbeit in Arbeitsgruppen der IEA. Für die Verbrennung relevant sind das Implementing Agreement Energy Conservation and Emissions Reduction in Combustion (IEA Combustion) [11], die Working Party on Fossil Fuels (WPFF) [22] und das Implementing Agreement Advanced Motor Fuels (AMF) [23] sowie die IEA CHP/DHC Collaborative [12]. Die Schweiz ist in diesen Arbeitsgruppen vertreten.

Grössere Aktivitäten von Schweizer Forschenden erfolgen im IEA Combustion. Dessen Ziel ist, die Entwicklung von Verbrennungstechnologien, die einen verminderten Brennstoffverbrauch und geringere Emissionen aufweisen, voranzutreiben. In Collaborative Tasks werden die Themen Gas Turbines, Sprays in Combustion, Alternative Fuels, Nanoparticle Diagnostics, Homogeneous Charge Compression Ignition, Combustion Chemistry und Gas Engines bearbeitet. Die Mitarbeit der Schweiz sichert eine Vertretung der Interessen im Bereich Verbrennung, eine Mitwirkung bei der Festlegung zukünftiger Schwerpunkte, die Vermittlung Schweizerischer Forschungsergebnisse sowie die Weitergabe der Informationen über internationale Aktivitäten an Interessierte in der Schweiz.

Das von der Schweiz geleitete IEA AMF will die internationale Forschungsnetzwerk bei der Erforschung und Entwicklung, bei der Implementierung und Verbreitung von sauberen, energieeffizienten und nachhaltigen Treibstoffen und den damit zusammenhängenden Fahrzeugtechnologien fördern. Insgesamt gibt es aktuell 12 aktive Annexe, u. a. zu Themen wie «Emission Performance of HD Methane Engines, Alcohol Application in CI engines, Toxicity of Diesel Exhaust (Schweiz hat hier den Lead), Performance Evaluation of Passenger Car, Fuel, and Powerplant Options etc. Bei den zur WPFF ge-

hörenden Implementing Agreements Greenhouse Gas R&D Programme, Enhanced Oil Recovery und IEA Clean Coal Centre sind die Verbesserung des Wirkungsgrads von grossen mit fossilen Brennstoffen befeuerten Kraftwerken und in diesem Kontext Verfahren zur Elimination des CO₂ wichtige Themen. In aktuelle Überlegungen fliessen auch Aspekte der Nutzung von CO₂ mit ein. Die Schweiz hat 2013 intensiv an der Lancierung des neuen Implementing Agreement Gas and Oil Technologies (GOT IEA) mitgewirkt.

Referenzen

[1] EU Emission Standards for HD Diesel Engines: VERORDNUNG (EG) Nr. 595/2009

[2] Botschaft zum ersten Massnahmenpaket der Energiestrategie 2050, Bundesrat, 4.9.2013

[3] Marine Environment Protection Committee, International Maritime Organization (IMO) 65th Session, May 2013

[4] FPT Motorenforschung AG, Arbon (www.fpt-motorenforschung.ch)

[5] Wärtsilä (Schweiz) AG, Winterthur (www.wartsila.com/en_CH/Home)

[6] Wenko AG Swissauto, Burgdorf (www.swissauto.com/)

[7] Polaris Industries Inc., Medina, USA (www.polaris.com)

[8] Liebherr Machines Bulles SA (www.liebherr.com)

[9] Forschungsprogramm Verbrennung und WKK, Konzept 2013–2016, BFE, 2013

[10] Eidgenössische Energieforschungskommission CORE, Konzept der Energieforschung des Bundes 2013 bis 2016, BFE, 2012

[11] International Energy Agency Implementing Agreement on Combustion (www.ieacombustion.net)

[12] IEA CHP/DHC Collaborative (www.iea.org/chp)

[13] Holzbefeuertes Blockheizkraftwerk mit Heissluftturbine

im kleineren Leistungsbereich 80 – 100 kWel, Schmid AG, BFE, Juni 2012

[14] SLSI VUV Beamline Swiss-Light-Source beamline for Vacuum Ultraviolet Radiation, PSI

[15] Competence Centre Energy and Mobility CCEM, (www.ccem.ch)

[16] Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e.V. (www.fvv-net.eu/)

[17] SwisselectricResearch (<http://www.swisselectric-research.ch/de/>)

[18] Forschungsfond der Gasindustrie, FOGA (www.erdgas.ch)

[19] ETH Conference on Combustion Generated Nanoparticles, 2013 (www.nanoparticles.ethz.ch)

[20] High-efficiency Engine R&D on Combustion with Ultra-low Emissions for Ships (HERCULES), EU-FP7

[21] COST European Cooperation in Science and Technology Action CM 901 Detailed Chemical Kinetic Models for Cleaner Combustion (www.ensic.inpl-nancy.fr/cost/)

[22] IEA Working Party on Fossil Fuels (IEA-WPFF) (www.iea.org)

[23] IEA Implementing Agreement Advanced Motor Fuels (www.iea-amf.org)

Laufende und im Berichtsjahr abgeschlossene Projekte

(* IEA-Klassifikation)

- **«KLEIN WKK-ANLAGEN» AUSLEGUNG UND REALISIERUNG VON WKK-ANLAGEN MIT „NULL“-SCHADSTOFF-POTENTIAL UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG BIOGENER ENERGIETRÄGER**

R+D 2.1.4*

Lead:	ETHZ-LAV	Funding:	BFE
Contact:	Konstantinos Boulouchos boulouchos@lav.mavt.ethz.ch	Period:	2011–2014
Abstract: Klein-WKK-Anlage (≤ 10 kW _{el} .) mit el. Wirkungsgrad 35 % und „Null“-Schadstoff-Potential mit Erdgas. Erweiterung auf Biogase geplant. Für die optimale Auslegung des 1 Zylindermotors werden reaktionskinetische und strömungstechnische Grundlagen, insbesondere für den Einsatz gekühlter Abgasrückführung, erarbeitet. Nutzung dieser Grundlagen für Gasmotoren auch im Rahmen eines Projekts mit der FVV.			
- **MOLECULAR DATA OF COMBUSTION RELEVANT RADICALS**

R+D 2.1.4

Lead:	PSI-Combustion	Funding:	BFE
Contact:	Thomas Gerber thomas.gerber@psi.ch	Period:	2011–2014
Abstract: Der Zündvorgang hat einen grundlegenden Einfluss auf den Verlauf der Verbrennung und damit die Entwicklung von Schadstoffen, insbesondere von Russ. Die thermochemischen Daten der Radikale im Zündprozess sollen mit spektroskopischen Messungen im ns - μ s-Bereich genauer als bisher bestimmt werden. Problematisch ist die Erzeugung der Radikale. Zusammenarbeit mit EU-COST-Action 901 und NCCR-MUST.			
- **«GASPOT» POTENZIALE VON BRENNVERFAHREN IN GASMOTOREN FÜR UNTERSCHIEDLICHE GASQUALITÄTEN, DETEKTION VON GASPAREMETERN MITTELS NEUARTIGER SENSORIK**

R+D 2.1.4

Lead:	Empa	Funding:	BFE
Contact:	Patric Soltic patrik.soltic@empa.ch	Period:	2012–2014
Abstract: Erd- und Biogas kann örtlich und zeitlich grosse Schwankungen in der chemischen Zusammensetzung aufweisen. Dies führt zu Problemen bzw. zu ungenutzten Potenzialen in der verbrennungsmotorischen Nutzung in WKK Anlagen, Nutzfahrzeug-, PW- und Schiffsantrieben. Es soll erforscht werden, wie die dem Motor zugeführte Gasqualität mittels eines Sensors quantifiziert und damit das Brennverfahren adaptiert bzw. weiterentwickelt werden kann.			
- **«XHOST HARVESTER» - EINFACHE UND WIRKUNGSVOLLE EFFIZIENZSTEIGERUNG FÜR STATIONÄRE ANTRIEBE**

R+D 2.1.4

Lead:	Oekozentrum	Funding:	BFE
Contact:	Martin Schmid martin.schmid@oekozentrum.ch	Period:	2012–2014
Abstract: Xhost Harvester erzeugt aus der Auspuffabhitze eines Antriebes einen Unterdruck, der via Turbolader die Leistung und die Effizienz des Antriebes steigern kann. Feldversuche zeigten bei bis zu 11% Mehrleistung eine Senkung des spez. Verbrauches von 1.3% bis 7%. Simulationen und Prüfstandsversuche sollen belastbare Aussagen und Zahlen, sowie wissenschaftliche Erklärungen für diese Effizienzsteigerungsmaßnahme liefern.			
- **«BIOMASS-CHP-PLANTS» SYSTEMMODELLIERUNG FÜR DIE BEWERTUNG DES POTENTIALS VON DEZENTRALEN BIOGENEN WKK-ANLAGEN ZUR STABILISIERUNG DES ELEKTRISCHEN NETZES**

R+D 3.4.3

Lead:	ETHZ-LAV	Funding:	BFE
Contact:	Konstantinos Boulouchos boulouchos@lav.mavt.ethz.ch	Period:	2012–2015
Abstract: Der wachsende Anteil von fluktuierender erneuerbarer Stromerzeugung (Photovoltaik, Wind) macht Massnahmen zur Netzstabilisierung nötig. In diesem Zusammenhang können dezentrale biogene Wärmekraftkoppelungsanlagen (WKK) eine wichtige Rolle spielen. Die Entwicklung eines WKK-Schwarm-Modells gestützt auf geographische Daten zu Energiequellen und -verteilung soll das Potential für Schweizer Regionen zeigen.			
- **«KRAFTSTOFFKENNZAHLEN II» CHARAKTERISIERUNG VON HOCHSIEDENDEN/ TEILSYNTHETISCHEN KRAFTSTOFFEN**

R+D 2.1.4

Lead:	ETHZ-LAV	Funding:	BFE
Contact:	Konstantinos Boulouchos boulouchos@lav.mavt.ethz.ch	Period:	2012–2016
Abstract: Experimentelle Charakterisierung teilsynthetischer hochsiedender Kraftstoffe und Entwicklung korrespondierender Reaktionsmodelle für die vollständig homogene selbstzündende Verbrennung (HCCI). Untersuchung der Übertragbarkeit für teilhomogene Verfahren. Erarbeitung einer Kennzahl, welche die Zündwilligkeit der untersuchten Kraftstoffe zuverlässig charakterisiert und die motorische Brennverfahrensentwicklung massgeblich unterstützt.			
- **«3D-CRCD MODELLE» FÜR CO₂- UND EMISSIONSARME MOTORISCHE BRENNVERFAHREN BEI DER DIFFUSIONSGESTEUERTEN VERBRENNUNG BIOGENER/SYNTHETISCHER KRAFTSTOFFE**

R+D 2.1.4

Lead:	combustion and flow solutions GmbH	Funding:	BFE
Contact:	Christian Lämmle laemmle@combustion.flow-solutions.com	Period:	2012–2016
Abstract: Weiterentwicklung eines 3D-CRFD-Modells hinsichtlich Auslegung von CO ₂ - und emissionsarmen motorischen Brennverfahren bei der diffusionsgesteuerten Verbrennung. Fokus der Erweiterungen sind Dieselsurrogate und biogene sowie synthetische Kraftstoffe unter Verwendung detaillierter Reaktionskinetiken, um quantitative Vorhersagen von motorisch relevanten Parametern zu ermöglichen			

- **«BIOMASS-MICRO-GT-CHP» BIOMASSE BEFEUERTE, HEISSLUFT-MIKROGASTURBINE MIT WÄRME-KRAFTKOPPLUNG**

Lead: FHNW

Contact: Timothy Griffin timothy.griffin@fhnw.ch

Abstract: Das Projekt beinhaltet eine Holz-befeuerte Heissluftturbine mit Hochtemperaturwärme- tauscher. Ein integrierter Rekuperator ergibt einen hohen Prozesswirkungsgrad. Eine Prozessanalyse des Systems wird durchgeführt, um die relevanten Parameter zu bestimmen. Weiter soll das Verbrennungssystem untersucht werden und die Hauptrisiken bestimmt werden. Abschliessend wird eine Wirtschaftlichkeitsanalyse durchgeführt.

R+D 3.4.3

Funding: BFE

Period: 2013–2014

- **«FLEX FUEL» UNTERSUCHUNGEN ZUR BRENNSTOFFFLEXIBILITÄT BEI TYPISCHEN BEDINGUNGEN FÜR KÜNFTIGE GROSSDIESEL- UND MEHRSTOFF-MOTOREN**

Lead: Wärtsilä Schweiz AG

Contact: Kai Herrmann kai.herrmann@wartsila.com

Abstract: Ziel des Projektes ist die Klärung des Einflusses nicht-konventioneller Brennstoffe sowie nicht optimaler Brennstoffeigenschaften auf Strahlausbreitung und Verbrennung, unter Bedingungen wie sie für grosse Diesel- und Mehrstoffmotoren künftig zu erwarten sind. Der etablierte, einzigartige Versuchsträger bietet dabei die ideale Basis für derartige Untersuchungen, welche Aktivitäten innerhalb des EU FP7-Projekts HERCULES-C ergänzen.

R+D 2.1.4

Funding: BFE

Period: 2013–2015

- **ORC FLÜGELZELLEXPANDER GASMOTOR**

Lead: Liebherr Machines Bulle AG

Contact: Marcus Quasthoff marcus.quasthoff@liebherr.com

Abstract: Ein Gasmotor-basiertes BHKW (Blockheizkraftwerk) soll mit einem ORC (Organic-Rankine-Cycle) unter der Zielsetzung einer deutlichen Erhöhung des elektrischen Wirkungsgrades ergänzt werden. Als Expansionsmaschine des in diesem Vorhaben zu entwickelnden ORC's soll eine Weiterentwicklung des von den Antragstellern neu entwickelten Flügelzellenexpanders Verwendung finden.

R+D 2.1.4

Funding: BFE

Period: 2013–2015

- **«DUAL FUEL» ENTWICKLUNG FORTGESCHRITTENER CFD-MODELLE UND GEEIGNETER EXPERIMENTELLER VERSUCHSTRÄGER**

Lead: ETHZ-LAV

Contact: Yuri M. Wright wright@lav.mavt.ethz.ch

Abstract: Entwicklung von 3D-CRFD Modellen für die Verbrennung von homogenen CH₄-Grundladungen gezündet mit variabel eingespritzten Mengen von Dieselmotorkraftstoff. Validierung mit experimentellen Daten aus dem Einhubtriebwerk, der Hoch-Temperatur und -Druck Zelle sowie einer neu zu entwickelnden Flexible Rapid Compression Machine. Letztere ist geeignet für Untersuchungen von Diesel-, vorgemischten- und insbesondere Dual Fuel Verbrennungstypen.

R+D 2.1.4

Funding: BFE

Period: 2013–2016

- **«RENERG2» INTEGRATION ERNEUERBARER ENERGIE IN DAS KÜNFTIGE ENERGIESYSTEM**

Lead: PSI

Contact: Thomas J. Schmidt thomasjustus.schmidt@psi.ch

Abstract: Das Projekt beinhaltet Forschungsarbeiten im Bereich der chemischen Stromspeicherung, der effizienten Nutzung des gespeicherten Stroms und der Interaktion mit dem Stromnetz. Das Ziel ist, Effizienzsteigerungs- und Emissionssenkungspotentiale der gesamten Kette, angefangen bei der Wasserstoffproduktion über die Nutzung in Energiewandlern bis hin zu Möglichkeiten zur Netzstabilisierung gegenüber heutigen Technologien aufzuzeigen.

R+D 2.1.4

Funding: BFE

Period: 2013–2016

- **«GASOMEP» METAL – NANOPARTIKEL UND ANDERE NICHTLIMITIERTE EMISSIONEN VON PERSONENWAGEN MIT BENZIN- UND ALKOHOL- MISCHBETRIEB**

Lead: AFHB Abgasprüfstelle FH Biel

Contact: Jan Czerwinski jan.czerwinski@bfh.ch

Abstract: Metall-Nanopartikel (einschliesslich < 20nm) aus Benzin-Personenwagen (12 Fahrzeuge) werden untersucht. Diese Untersuchungen betreffen: Zusammensetzung (EMPA) und Potentiale der Sekundäraerosole (SOA-PSI). Zusätzliche Forschung wird von AFHB durchgeführt an: Nanopartikel beim Kaltstart, flüchtige, nichtlimitierte Komponenten (speziell NO₂, NH₃ & Aldehyde) und Betrieb mit Alkoholen.

R+D 2.1.4

Funding: BFE

Period: 2013–2016

- **«XYLOCOGEN» DEZENTRALISIERTE STROM- UND WÄRMEERZEUGUNG MIT SEHR KLEINER LEISTUNG (1KWE) BASIEREND AUF DER HOLZVERBRENNUNG IM WOHNBEREICH**

Lead: HEIG-VD

Contact: Roger Röthlisberger roger.roethlisberger@heig-vd.ch

Abstract: Das Projekt umfasst die Entwicklung einer Mikro-Gas-Turbine mit externer Verbrennung, welche die Luft als Arbeitsmedium nutzt (Heissluftturbine). Als Brennstoff dient Holz, das in einem kleinen Heizkessel (5 kW_{th}) verbrannt wird und die heisse Luft erzeugt. Das Ziel ist ein erstes komplettes System herzustellen, das an einen handelsüblichen Holzpellet-Ofen angeschlossen werden kann und 1 kWe und 4 kW_{th} erzeugt.

R+D 3.4.3

Funding: BFE

Period: 2013–2017

