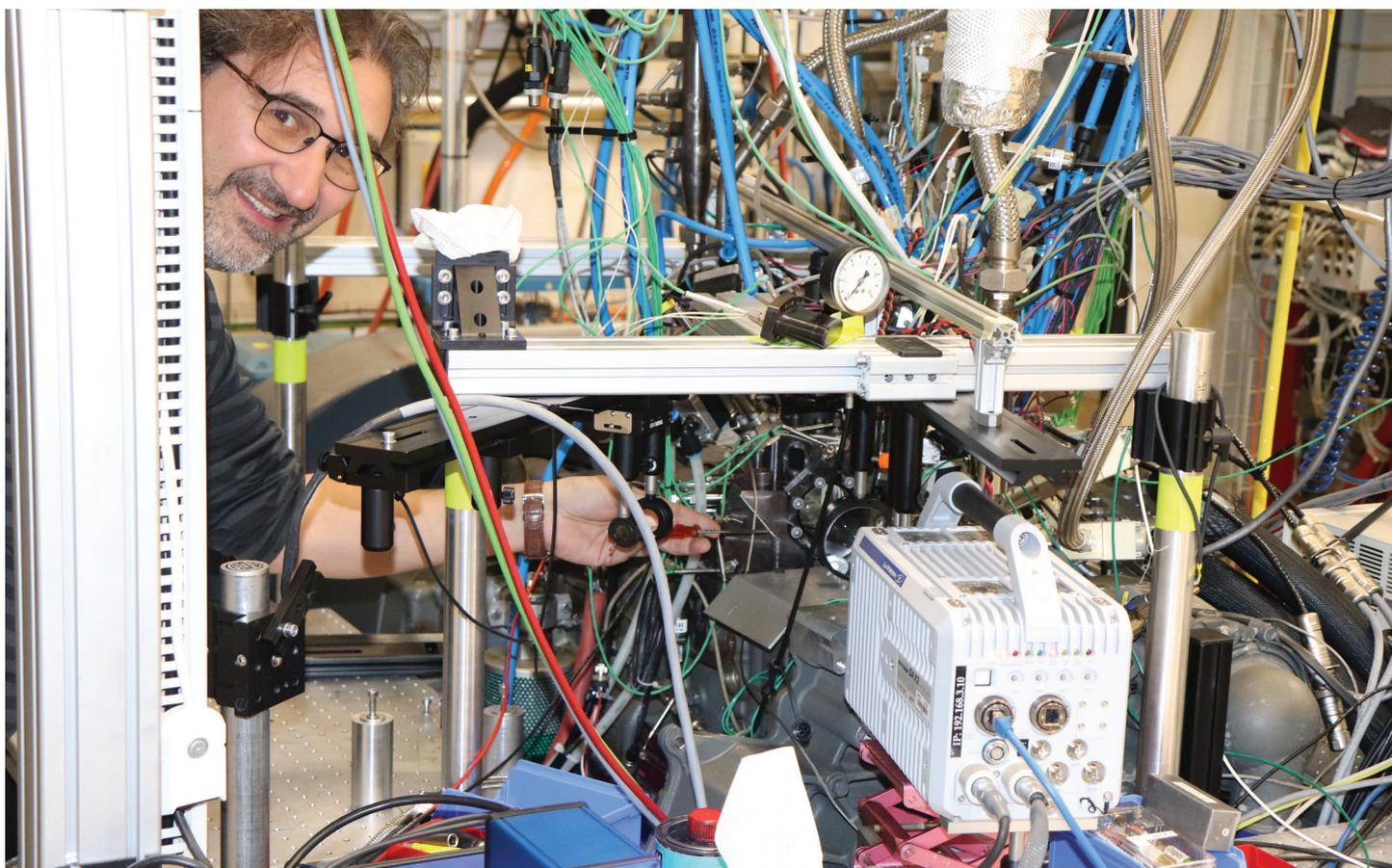


DAMIT VERBRENNUNG KLIMAVESTRÄGLICH WIRD

Mit der Elektrifizierung von Personenwagen und Nutzfahrzeugen verliert der klassische Verbrennungsmotor an Bedeutung. Ausgedient haben Otto- und Dieselmotoren auf absehbare Zeit aber nicht, denn in bestimmten Anwendungen sind sie nur schwer substituierbar. Ein in den letzten Jahren neu aufgebautes Forschungszentrum an der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) in Windisch erarbeitet Grundlagen, um Grossmotoren nachhaltiger zu machen. Im Zentrum stehen Verbrennungsprozesse mit klimaneutralen Treibstoffen.



Der Prüfstand Flex-OeCoS im neu errichteten «Combustion Research Laboratory» an der Fachhochschule Nordwestschweiz in Windisch: Prof. Kai Herrmann zeigt mit dem Schraubenzieher auf die Stelle, wo sich die optische Brennkammer befindet, mit der sich neuartige Brennverfahren für alternative Treibstoffe realitätsnah untersuchen lassen. Foto: B. Vogel

Die Elektrifizierung des Verkehrs ist ein Megatrend. Die Zahl der verkauften Elektroautos steigt an, der Ausbau der Ladeinfrastruktur wird vorangetrieben. Die öffentliche Diskussion rund um die Elektrifizierung dreht sich wegen der unmittelbaren Bedeutung hauptsächlich um den Strassenverkehr. Doch diese Sichtweise greift zu kurz, wie Kai Herrmann, Professor an der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) am Standort Windisch betont: «Die Elektrifizierung ist in vielen Bereichen sinnvoll. Trotzdem dürften grosse, mit klimaneutralen Kraftstoffen betriebene Verbrennungsmotoren in einer Übergangsphase weiter eine Rolle spielen. Es geht um Anwendungen, bei welchen erneuerbare Energien nicht permanent zur Verfügung stehen bzw. eine Speicherung nicht realisierbar ist, beispielsweise Grossmotoren, die Frachtschiffe antreiben oder bei Bedarf die dezentrale Stromerzeugung sicherstellen, wenn kein Wind weht oder die Sonne nicht scheint.»

Verbrennungsforschung in Windisch

Kai Herrmann kommt aus der Welt der Grossmotoren. Bevor er 2016 Professor in Windisch wurde, arbeitete er an der ETH Zürich ausgebildete Maschinenbauingenieur unter anderem bei der Schweizer Tochter des finnischen Schiffsmotoren-Herstellers Wärtsilä. Über die Jahre pflegte er Kontakte zu der aus Wärtsilä hervorgegangenen Winterthur Firma Gas & Diesel (WinGD), zum Messtechnik-Unternehmen Kistler (Winterthur), zum Maschinenbau-Konzern Liebherr (Bulle) und zur FPT Motorenforschung AG, dem traditionsreichen Forschungs- und Entwicklungszentrum für Nutzfahrzeugmotoren in Arbon. Mit diesem Erfahrungshintergrund



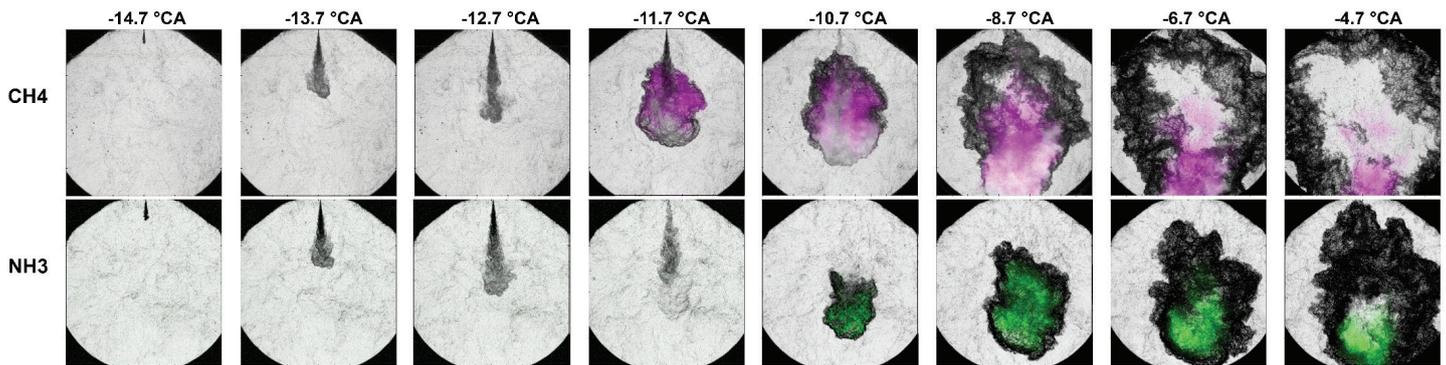
Campus der Hochschule für Technik der FHNW in Windisch. Im Gebäude rechts hinten befindet sich das Verbrennungslabor von Prof. Kai Herrmann. Im Vordergrund erinnert eine Sulzer-Dampfmaschine mit einem Generator von Brown Boveri aus dem Jahr 1915 an die Errungenschaften der Schweizer Industriegeschichte. Foto: B. Vogel

hat Kai Herrmann seit 2018 am FHNW-Institut für Thermo- und Fluid-Engineering (ITFE) an der Hochschule für Technik in Windisch ein Zentrum für Verbrennungsforschung aufgebaut.

Die Besonderheit des Labors ist ein Prüfstand zur Untersuchung von Verbrennungsprozessen, wie sie in Motoren ablaufen. Das ITFE hatte den «Flex-OeCoS» – so der Name des Prüfstands – gemeinsam mit dem Laboratorium für Aerothermochemie und Verbrennungssysteme (Prof. K. Boulouchos) der ETH Zürich entwickelt (vgl. Textbox S. 4). Die Forschungsanlage war zunächst an der ETH in Betrieb genommen worden. Nach der Emeritierung von Prof. Boulouchos im Jahr



Die Gruppe Verbrennungsforschung von Kai Herrmann umfasst nur wenige permanent angestellte Personen. Viele Aufgaben werden von Studierenden im Rahmen ihrer Bachelor- bzw. Masterarbeiten oder vereinzelt auch Dissertationen durchgeführt. Das Labor arbeitet mit diversen Universitäten (z.B. KIT Karlsruhe, Uni Stuttgart) zusammen. Auch Gastaufenthalte von Doktoranden (z.B. Polytechnica Valencia, TU Graz) haben sich etabliert. Foto: B. Vogel



Die beiden Bilderfolgen zeigen von links nach rechts die zeitliche Entwicklung der Zündung eines Methan/Luft- (oben) bzw. Ammoniak/Luft-Gemischs (unten) in der optischen Brennkammer des Flex-OeCoS-Prüfstands. Bei Ammoniak ist die verzögerte Entflammung (Zündung) bzw. die langsamere Flammenausbreitung gut zu erkennen. Fotos: ITFE

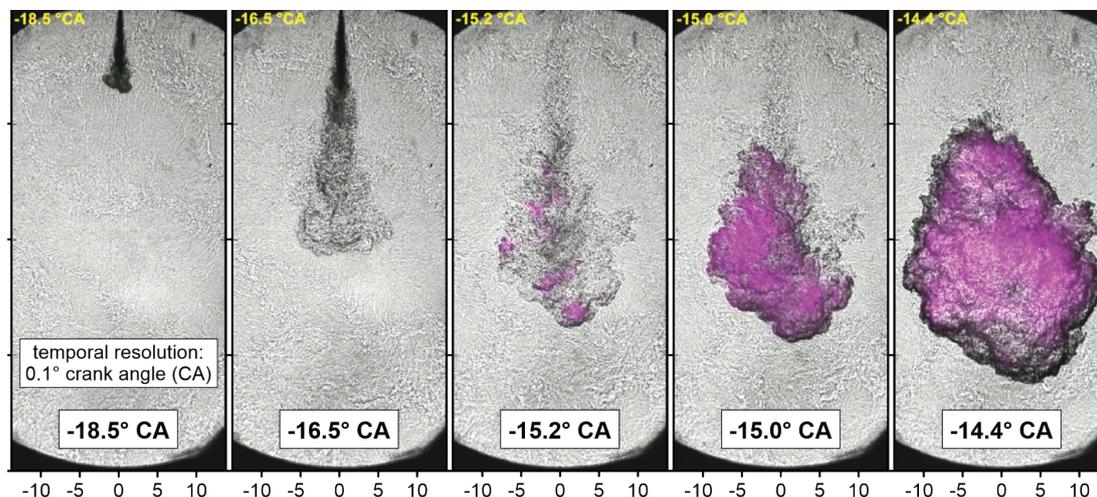
2019 wurde sie nach Windisch transferiert und dort wesentlich weiterentwickelt. Seither dient sie der Erforschung von Brennverfahren, die es erlauben, erneuerbare Kraftstoffe effizient und weitgehend emissionsfrei einzusetzen. Diese Kraftstoffe werden mit erneuerbaren Energien synthetisch hergestellt und enthalten keine Energieträger fossilen Ursprungs. Bei Verwendung von «grünem» Wasserstoff, aber auch von «grünem» Ammoniak oder Methanol können die CO_2 -Emissionen aus dem Betrieb eines Verbrennungsmotors als klimaverträglich eingestuft werden.

Umstellung auf Dual-Fuel-Betrieb

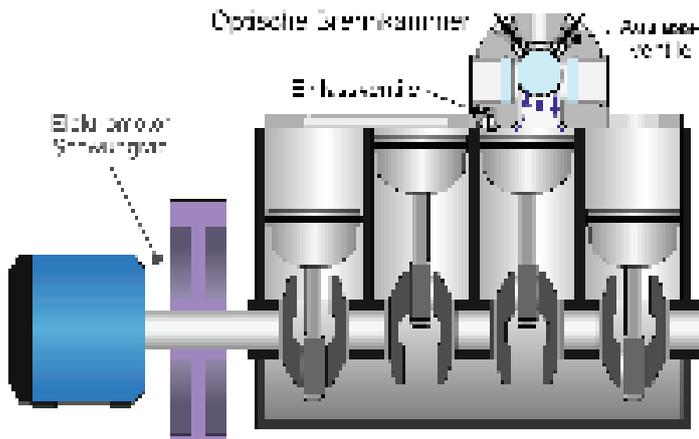
Der Forschungsschwerpunkt von Kai Herrmann und seinem Team liegt auf Grossmotoren, wie sie in Hochseefrachtschiffen zum Einsatz kommen. Gross bedeutet in diesem Fall: Motoren mit bis zu 110 000 PS (80 Megawatt) Leistung und einem Verbrauch von 30 Tonnen Treibstoff auf 100 Kilometer. Die neueste Generation dieser Motoren nutzt das Dual-Fuel-Brennverfahren: Als Treibstoff dient nicht mehr

Schweröl oder Schiffsdiesel wie früher, sondern ein Erdgas-Luft-Gemisch, das über einen separaten Mechanismus gezündet wird. Die Zündung erfolgt direkt im Brennraum durch einen flüssigen Brennstoffstrahl («Pilot») zum Beispiel aus Diesel. Bei grösseren (2-Takt-) Motoren geschieht die Zündung nach demselben Prinzip in einer Vorkammer. Mit der Umstellung von Schweröl/Schiffsdiesel auf Erdgas wird der Ausstoss von Schadstoffen je nach Motortyp um 40 bis 80% (NO_x , SO_x) und mehr gesenkt, der Ausstoss des Treibhausgases CO_2 um immerhin 15 bis 20 %.

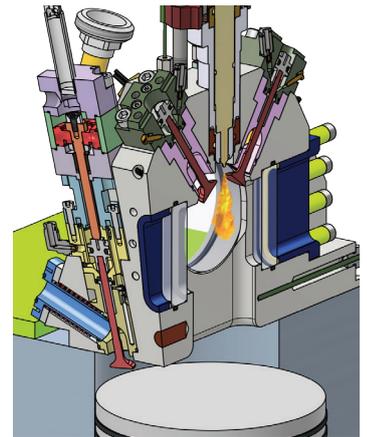
Das ist ein bemerkenswerter Fortschritt, bedeutet mit Blick auf die Dekarbonisierung des Schiffsverkehrs auf den Weltmeeren aber doch nur einen Zwischenschritt. «Wir wollen mit unserer Forschung einen Beitrag leisten, die Treibhausgas-Emissionen von Grossmotoren weiter zu senken», sagt Kai Herrmann. «Das gelingt, wenn wir an den mit Erdgas betriebenen Motoren Verbesserungen erzielen, oder wenn wir



Die FHNW-Wissenschaftler können durch simultane Anwendung von optischen Messverfahren (Schlieren/Chemilumineszenz) zwischen verdampfendem Brennstoff und dem entflammten Teil des Treibstoffgemisches (durch Einfärbung hervorgehoben) unterscheiden und damit die Zündvorgänge und die Flammenausbreitung anschaulich machen. Foto: ITFE



Links die schematische Darstellung des Flex-OeCoS-Prüfstands. Die optische Brennkammer ist in der Abbildung rechts vergrößert zu sehen: Der zentrierte Pilot-Kraftstoffinjektor entzündet bei der Dual-Fuel Verbrennung ein Gas-Luft-Gemisch. Illustration: ITFE



die Motoren so weiterentwickeln, dass sie mit erneuerbaren, klimaneutralen Treibstoffen betrieben werden können.» Mit diesem Ziel führten und führen Mitarbeitende um Kai Herrmann mehrere Forschungsprojekte durch. Sie werden durch internationale Programme und direkte Zuwendungen der Industrie (z.B. WinGD) finanziert, aber auch durch Beiträge des BFE. Dabei wird auch mit deutschen Hochschulen wie RWTH Aachen, KIT Karlsruhe und Universität Stuttgart kooperiert, und es werden Doktorandinnen und Doktoranden ausgebildet.

Alternativkraftstoffe Ammoniak und Methanol

Zwei Projekte (PROGrESS, REFER) widmen sich dem Problem

der Vorentflammung. Gemeint ist damit eine Fehlzündung des Erdgas-Luft-Gemisches in Dual-Fuel-Motoren, hervorgerufen durch eine ungewollte Selbstentzündung von Schmieröl in der Brennkammer. Die Forscher wollen die Gründe für diese Fehlzündung herausfinden und so die Voraussetzung schaffen, dass Motorenhersteller die «Störfunktion» mit Blick auf einen optimalen Betrieb (Effizienz, Emissionen) mit geeigneten Massnahmen unterbinden können.

Bei der Erforschung von alternativen Treibstoffen legen die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen in Windisch den Akzent auf Ammoniak und Methanol. Beide Stoffe dienen als Energieträger für Wasserstoff, können mit erneuerbaren

EIN WELTWEIT EINMALIGER PRÜFSTAND

Der Prüfstand am Institut für Thermo- und Fluid-Engineering an der Hochschule für Technik der FHNW in Windisch (AG) trägt den Namen Flex-OeCoS. Das Akronym steht für: «Flexibility regarding Optical engine Combustion diagnostics and/or the development of corresponding Sensing devices and applications». Frei übersetzt heisst das: Der Prüfstand dient der Untersuchung von motorischen Verbrennungsprozessen und der Entwicklung von zugehörigen Sensoren.

Herzstück der in dieser Form weltweit einmaligen Forschungsanlage ist eine optisch zugängliche Brennkammer (Zylinderkopf) auf einem Liebherr-Motorblock. Der Prüfstand darf jedoch nicht als 1-zu-1-Abbild eines Motors verstanden werden. Die Brennkammer ist nämlich nur 60 x 20 mm gross. Allerdings ist der Prüfstand so konstruiert, dass sich mit ihm die Bedingungen reproduzieren lassen, wie sie im Brennraum von Motoren herrschen. Die Vorgänge, die auf dem Prüfstand ablaufen, sind somit übertragbar auf reale Motoren.

FHNW-Professor Kai Herrmann nennt den Prüfstand ein «Kunstwerk». Die Begeisterung des Wissenschaftlers für seine Forschungseinrichtung hat gute Gründe: Die optisch zugängliche Brennkammer des Flex-OeCoS ermöglicht die detaillierte Untersuchung von Verbrennungsvorgängen unter motor-relevanten Betriebsbedingungen wie Druck, Temperatur und Strömung. Durch dessen Flexibilität (z.B. variable Ventilsteuerung, Einspritzung, Aufladung etc.) und die aufwendige messtechnische Instrumentierung können unterschiedlichste Brennverfahren untersucht und Messdaten mit hoher Präzision erfasst werden. Mit Hilfe von optischer Messtechnik lassen sich über Spezialkameras mit bis zu 50 000 Bildern pro Sekunde zudem die Vorgänge in der Brennkammer mit hoher zeitlicher Auflösung beobachten.



Moderne Frachtschiffe werden durch Dual-Fuel-Motoren angetrieben, die Erdgas (mit Diesel-Zündung) verbrennen. Die Forschenden an der FHNW in Windisch wollen unter anderem wissen, wie solche Motoren in Zukunft auch mit alternativen, klimaneutralen Treibstoffen betrieben werden könnten. Foto: Shutterstock

Energien (z.B. Wind- oder Solarstrom) synthetisch hergestellt werden und lassen sich gut in flüssiger Form speichern. Synthetisches Methanol (CH_3OH) stösst bei der Verbrennung nur so viel CO_2 aus, wie bei der Herstellung aus der Atmosphäre entnommen wurde und gilt somit als klimafreundlich. Ammoniak (NH_3) ist kohlenstofffrei, allerdings kann bei der Verbrennung das überaus klimaschädliche Treibhausgas N_2O (Lachgas) entstehen.

Zündwilligkeit erhöhen

Ammoniak ist Gegenstand eines FHNW-Forschungsschwerpunkts mit zwei Projekten (CREDO, N_2O off). Im Rahmen dieser Projekte wird am Flex-OeCoS-Prüfstand unter anderem untersucht, wie sich Gemischbildung, Zündverzug, Flammenausbreitung und Wärmefreisetzung verhalten. Des Weiteren interessiert, bei welchen Verbrennungsbedingungen die Entstehung von Lachgas möglichst unterbunden werden könnte. Ferner wollen die Forschenden klären, wie die Zündwilligkeit des schwer entflammaren Ammoniak durch Beimischung von Wasserstoff erhöht werden kann. Die Erforschung der entsprechenden Brennverfahren am Prüfstand stellt wichtige Grundlagen zur Beantwortung dieser Fragen bereit.

Im Rahmen dieses Forschungsschwerpunkts wurde bzw. wird untersucht, ob sich in Dual-Fuel-Motoren das Erdgas durch CO_2 -reduzierte Kraftstoffe und der zur Zündung benötigte

Pilot durch OME ersetzen liesse. Mit dem sauerstoffhaltigen synthetischen Dieseleratzstoff OME (für: Oxymethyldimethylether) liesse sich fossiler Treibstoff ganz eliminieren, und die Russbildung könnte unterbunden werden. Allerdings müsste aufgrund des geringeren Heizwerts von OME die Einspritzmenge angepasst werden, damit der Motor nach wie vor «rund läuft», wie die FHNW-Forschenden zeigen konnten.

Grosses Interesse der Motorenhersteller

Am Prüfstand der Fachhochschule in Windisch lassen sich auch dieselmotorische Verbrennungsprozesse untersuchen. In einem Forschungsvorhaben (Adapted Fuels) wollten die Forscher wissen, wie sich die Zündunwilligkeit von Methanol (als möglichem Dieseleratz) überwinden lässt. In den Versuchen gelang dies mit einer Zumischung von 10 % Diethylether (auch bekannt als Narkosestoff Äther). Diese Ergebnisse könnten längerfristig den Weg zu weniger klimaschädlichen Kraftstoffen für verbrennungsmotorische Anwendungen (z.B. Wärme-Kraft-Kopplungs-Anlagen) ebnen. In einem weiteren Projekt (GIHPCO) wird untersucht, ob bzw. mit welchen «Zündhilfen» sich eine Hochdruckgas-Einspritzung (analog zu flüssigem Diesel) im Brennraum direkt entzünden liesse. Schliesslich laufen im Rahmen eines weiteren Forschungsprojekts (TurbFlow-PIVPOD) Untersuchungen über die für Zündvorgänge essentielle Gemischbildung.

Noch lässt sich nicht abschätzen, welche Resultate aus der Verbrennungsforschung die grösste Bedeutung für die Antriebs- und Energiesysteme der Zukunft haben werden. Der Wettbewerb um die besten Ideen ist jedenfalls lanciert. Die Firma WinGD entwickelt Grossmotoren für Marine Antriebssysteme, welche mit Ammoniak bzw. Methanol betrieben werden. Die Firma Silent-Power AG (Cham) nutzt CO₂-neutrales Methanol u.a. in einer Wärme-Kraft-Kopplungs-Anlage zur Erzeugung von Wärme und Strom. Die Firma Casale (Lugano) will sich unter anderem mit Anlagen zur Herstellung von «grünem» Ammoniak profilieren. Kai Herrmann ist überzeugt, mit seiner Forschung einen Beitrag hin zu einer fossil-freien Energieversorgung zu leisten. «Das Interesse an unserer Forschung ist momentan gross», sagt der Verbrennungsexperte.

- Weitere **Informationen** zu den einzelnen Forschungsprojekten finden Sie auf der Aramis-Plattform unter dem Link www.aramis.admin.ch/Projektsuche, indem Sie im Suchfeld das Akronym des Projekts eingeben.
- **Auskünfte** zu den BFE-geförderten Forschungsprojekten erteilt Stephan Renz (info@renzconsulting.ch), externer Leiter des BFE-Forschungsprogramms Verbrennungsbasierte Energiesysteme.
- Weitere **Fachbeiträge** über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Verbrennung unter www.bfe.admin.ch/ec-verbrennung.