

MIKRO-BHKW: VIEL STROM UND WENIG ABGASE

Blockheizkraftwerke mit niedriger Leistung (Mikro-BHKW) sind darauf ausgelegt, Ein- und Mehrfamilienhäuser dezentral mit Strom und Wärme zu versorgen. Die ETH Zürich entwickelt zurzeit mit dem Heizungsunternehmen Hoval Aktiengesellschaft (Vaduz) und der Schmierölproduzentin Bucher AG Langenthal ein solches Mikro-BHKW. Dieses verfügt über einen für diese Leistungsklasse sehr hohen elektrischen Wirkungsgrad und verspricht tiefe Schadstoffemissionen. Das neuartige Gerät liegt bisher als Laboranlage und Funktionsmuster vor. Es nutzt Erdgas, ebnet bei Betrieb mit Biogas aber auch den Pfad in eine erneuerbare Energieversorgung.



ETH-Forscher Christian Schürch mit der Laboranlage des Mikro-BHKW. Der Zeigefinger tippt auf die Lambdasonde, rechts davon ein Temperaturfühler zur Messung der Abgastemperatur. Foto: B. Vogel

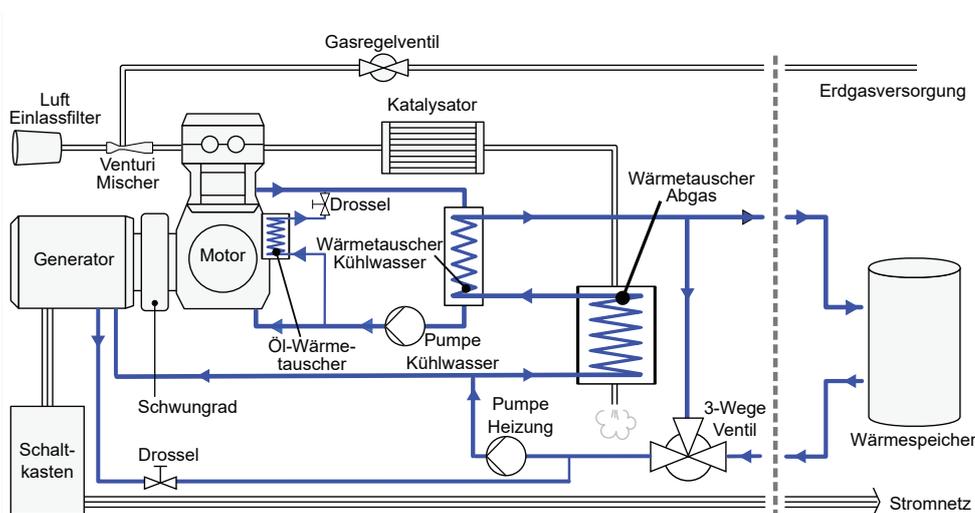


Schritt für Schritt zum Mikro-BHKW: Im Projekt ALADIN I (2011 bis 2014) haben Forscher der ETH-Zürich die technischen Grundlagen eines Mikro-BHKW untersucht (Bild links mit dem ehemaligen ETH-Doktoranden Philipp Vögelin). Im Projekt ALADIN II (2015 bis 2017) entwickelten sie auf der Basis der gewonnenen Erkenntnisse eine Laboranlage (mittleres Bild). Daraus ging ein Funktionsmuster (Bild rechts) hervor, das nun bei der Hoval Aktiengesellschaft (Vaduz), der Bucher AG Langenthal und *sa-charging solutions AG* (Mellingen/AG) getestet und optimiert wird. Der Metallrahmen zeigt die Grösse des Funktionsmusters, rechts angehängt der Schaltschrank. Fotos: B. Vogel (2), Hoval Aktiengesellschaft.

Dezentrale Kraftwerke, die gleichzeitig Strom und Wärme produzieren, liegen im Trend. Das gelingt beispielsweise durch Verbindung von Photovoltaik-Modulen mit einer Wärmepumpe. Eine beliebte Umsetzung sind auch mit Erdgas, Biogas, Holz oder Öl betriebene Blockheizkraftwerke (BHKW). Diese werden in der Schweiz typischerweise für die Versorgung von Industriebetrieben und ganzen Quartieren eingesetzt. Sie erreichen Gesamtwirkungsgrade von 88 bis 95%; dabei fallen bis zu 40% als elektrische Energie an, der Rest als Wärme. Eine jüngere Entwicklung sind Mikro-BHKW im tiefen Leistungsbereich (5 bis 15 kW_e) für die Anwendung in Ein- und Mehrfamilienhäusern sowie in Gewerbebetrieben. Etliche dieser Anlagen sind schon auf dem Markt.

Hohe Effizienz, wenig Abgase

«Die verfügbaren Anlagen hinken mit 22 bis maximal 28% elektrischem Wirkungsgrad der Effizienz grosser Anlagen noch weit hinterher, auch haben sie das Potenzial zur Schadstoffvermeidung noch nicht ausgeschöpft», sagt Christian Schürch, wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Eidgenössisch-Technischen Hochschule (ETH) Zürich. Schürch und sein Forscherteam arbeiten seit mehreren Jahren an der Entwicklung eines Mikro-BHKW mit hohem elektrischem Wirkungsgrad und tiefem Schadstoffausstoss. Wie in einer Gasheizung wird hier Gas verbrannt, allerdings nicht in einem Heizkessel, sondern in einem Motor: Dessen mechanische Energie wird über einen Generator in Strom verwandelt, die in den



Das Schema zeigt den Aufbau des Mikro-BHKW. Illustration: ETHZ.

Abgasen und im Kühlmittel enthaltene Wärme über einen Wärmetauscher für die Bereitstellung von Heizwärme und Warmwasser genutzt.

Das Mikro-BHKW ist jetzt im Begriff, die Prüfstände der akademischen Forschung zu verlassen. Voraussichtlich ab Fröh-sommer 2017 wird eine Pilot- und Demonstrationsanlage bei der Bucher AG Langenthal das Potenzial der Neuentwicklung vor Augen führen. Die Produzentin von Schmierölen, besser bekannt unter dem Produktnamen Motorex, ist als Industriepartner an der Entwicklung des Mikro-BHKW beteiligt. Herzstück des Mikro-BHKW ist ein kleiner, auf Gasbetrieb umgerüsteter Einzylinder-Viertaktmotor der Swissauto Wenko AG in Burgdorf (BE). In seiner Grundform kommt der Motor in Quadbikes oder Motorrädern zum Einsatz. Das Mikro-BHKW basiert auf einer Weiterentwicklung des Motors, welche primär in Hybrid-Antriebssträngen wie in einem Range-Extender-Modul verwendet wird – mit tiefem Verbrauch und hohem mechanischem und elektrischem Wirkungsgrad.

Das Geheimnis des richtigen Öls

Damit dieser Motor mit maximalem Wirkungsgrad betrieben werden kann, ist unter anderem ein optimiertes Schmieröl erforderlich. Aus dem auf Gasbetrieb umgerüsteten Einzylindermotor ergeben sich spezifische Anforderungen an das Schmieröl, das den Spalt zwischen Kolbenring und Zylinderwand abdichtet und den Verschleiss mindert. Ein stabiles Basisöl muss mit den geeigneten Additiven (chemischen Zusätzen) ergänzt werden, damit der Motor bei den im Vergleich zum Einsatz in einem Fahrzeug weitaus längeren Laufzeiten stabil, sicher und mit minimalem Serviceaufwand arbeitet. Um das passende Öl zu mischen, hat die Entwicklungsabteilung der Bucher AG Langenthal über 60 Basisöle und über 600 Additive sowie mehr als 2500 Öltrepturen an der Hand.

Aus früheren Projekten ist bekannt, dass allein der Einsatz eines geeigneten Schmieröls die Energieumsetzung in einem Motor um bis zu 2% verbessern kann. Um hier das Optimum zu erreichen, werden in Langenthal und parallel dazu an der Eidgenössischen Materialprüfanstalt (Empa) in Dübendorf Tests mit verschiedenen Mixturen durchgeführt. «Im Moment steht bei den Versuchen noch der wissenschaftliche Aspekt im Vordergrund, aber wir hoffen, dass wir mit dem zusätzlichen Wissen später ein kommerzielles Schmieröl für Mikro-BHKW herstellen können. Zudem dürfte sich unser Entwicklungsaufwand auch in Lizenzentnahmen bezahlt machen», sagt Markus Staubli, Leiter Key Account Manage-

KAMPF DEN KALTSTART-EMISSIONEN

Je nach Anwendung würden Mikro-BHKW nicht im Dauerbetrieb laufen, sondern häufig ein- und ausgeschaltet. In den ersten Minuten nach Betriebsaufnahme entstehen Kaltstartemissionen, da der Drei-Wege-Katalysator seine volle Wirkung erst nach sieben bis zehn Minuten entfaltet, wenn er auf 650 °C aufgeheizt ist. «Wir wollen sicherstellen, dass die Mikro-BHKW möglichst während ihrer gesamten Betriebszeit, also auch in der Startphase, tiefe Emissionswerte haben», sagt Christian Schürch von der ETH Zürich, der das Projekt ALADIN II leitet.

Ein Weg zu diesem Ziel ist die Verkürzung der Aufwärmzeit des Katalysators, indem der Katalysator wärmeisoliert oder in der Startphase elektrisch beheizt wird. Ein anderer Zugang sind regeltechnische Abschätzungen, um die Zahl der Betriebspausen zu verringern und Stillstandszeiten kurz zu halten. Ferner denkbar sind modifizierte Betriebsarten: Durch Verzögerung des Zündzeitpunkts beispielsweise entstehen heissere Abgase, was den Katalysator schneller erwärmt, aber den mechanischen Wirkungsgrad des Motors mindert, da der Verbrennungsschwerpunkt nicht mehr am optimalen Zeitpunkt liegt. Oder der Motor wird in der Startphase fett gefahren, d.h. mit überschüssigem Brennstoff, und durch Zugabe von Sekundärluft nach dem Motorauslass wird der Restbrennstoff vor und im Katalysator verbrannt, um diesen zu beheizen. «Alle Massnahmen mit Ausnahme der Isolation verringern den Wirkungsgrad der Anlage. Es ist Gegenstand der Forschungsarbeiten herauszufinden, welche Massnahme unter welchen Rahmenbedingungen die beste Wahl ist», sagt ETH-Forscher Schürch.

ETH-Forscher haben realitätsnahe Betriebsprofile entwickelt und werden diese nun an der eigenen Laboranlage und den vier externen Funktionsmustern mit mobilen Abgasanalysegerät untersuchen. BV

ment und Mitglied des Management-Teams bei der Bucher AG Langenthal.

Über 32% elektrischer Wirkungsgrad

Die Pilot- und Demonstrationsanlage in Langenthal ist das Ergebnis jahrelanger Forschung und Entwicklung. Im Projekt ALADIN I (2011 bis 2014) hatten Forscher des ETH-Labors für

Aerothermochemie und Verbrennungssysteme (LAV) einen Einzylinder-Benzinmotor mit 325 ccm der Swissauto Wenko AG auf Gasbetrieb umgerüstet und in ein Kleinkraftwerk zur Erzeugung von Strom (rund 7 kW) und Wärme (rund 14 kW) umgebaut. Statt über ein Gleitlager, wie bei Industriemotoren üblich, verfügt der Motor über ein Wälzlager; dieses hat weniger Reibungsverluste und verspricht damit eine höhere Effizienz bei der Energieumwandlung. Um die ambitionierten Effizienzziele zu erreichen, kommt zudem ein hochwertiger Generator zum Einsatz. Auch nutzt der Wärmetauscher nicht nur die Wärme der nassen Abgase, sondern auch die latente Wärme, welche durch die Kondensation des bei der Verbrennung entstehenden Wasserdampfes frei wird (Brennwertnutzungstechnologie von Hoval). Darüber hinaus wird auch die Abwärme des Motors, des im Gegensatz zur üblichen Industrieanwendung wassergekühlten Generators und des Schmieröls genutzt. Das Mikro-BHKW ist – anders als seine grossen Brüder – mit einem Drei-Weg-Katalysator ausgerüstet. Das erlaubt eine Minimierung der Schadstoffemissionen. Mit Rücksicht auf den Katalysator muss der Mo-

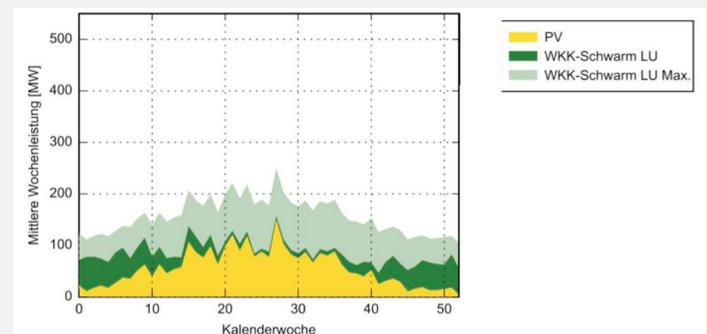
tor stöchiometrisch gefahren werden, das heisst, das Brennstoff-Luft-Gemisch wird vollständig, ohne Luftüberschuss verbrannt.

Im aktuellen Folgeprojekt ALADIN II (2015 bis 2017) wird der auf Gas umgerüstete und mit einem Katalysator bestückte Motor nun in einem kompakten Gehäuse mit Generator, Wärmetauscher und weiteren Komponenten kombiniert und zu einem kompletten, «seriennahen» Funktionsmuster weiterentwickelt. In dieser Anordnung erreicht die Anlage an der ETH Zürich einen elektrischen Wirkungsgrad von 32.7%, womit die Zielvorgabe («über 30%») erreicht ist. Der angestrebte thermische Wirkungsgrad von 60% wird ebenfalls realisiert – bei einer Rücklauf-Temperatur aus dem Heizungskreislauf von 30 °C liegt dieser sogar bei 76% (bezogen auf den unteren Heizwert des Erdgases). Die erzielten Emissionsenkungen für NO_x ($< 5.0 \text{ mg/Nm}^3$), CO ($< 3.0 \text{ mg/Nm}^3$) und HC ($< 3.0 \text{ mg/Nm}^3$; jeweils gemessen im heissen Abgas direkt nach dem Katalysator) sind als Erfolg zu werten: „Die erreichten Werte liegen weit unter den Vorschriften als auch unter

EIN SCHWARM AUS MIKRO-BHKW

Bei Dauerbetrieb erzielt ein Mikro-BHKW die maximale Stromausbeute. Dies ist das Betriebskonzept, das Hoval verfolgt (vgl. Haupttext). Es sind aber auch andere Betriebskonzepte in Diskussion: So könnten Mikro-BHKW eingesetzt werden, um Produktionslücken von Solar- und Windstrom auszugleichen (vgl. Grafik). Um dies wirksam zu tun, müsste eine Vielzahl von Mikro-BHKW in einem Verbund mit hoher Leistung gesteuert werden. Ein Contractor könnte einen solchen Verbund flexibel betreiben, vorwiegend dann, wenn die Strompreise wegen Nachfrageüberschuss hoch sind. Damit dies möglich ist, müssen die beteiligten Haushalte über hinreichend grosse Wärmespeicher (Warmwasserspeicher) verfügen, damit die Mikro-BHKW zeitlich flexibel betrieben werden können.

Eine Forscherteam der ETH Zürich und des Paul Scherrer Instituts hat vor kurzem ein vom BFE mitfinanziertes Projekt abgeschlossen, das Möglichkeiten und Grenzen solcher «Schwärme» aus Mikro-BHKW untersucht hat. «Da die angeschlossenen Gebäude im Winter mehr Wärme benötigen, fällt der Grossteil der Elektrizitätsproduktion eines solchen Schwarms ins Winterhalbjahr; damit ergänzt er ganz natürlich die im Winter tiefere Photovoltaikproduktion», fasst Projektleiter Dr. Gil Georges eines der Hauptergebnisse zusammen. Die ETH-Forscher haben überdies Fallstudien für die Kantone Luzern, Basel und Thurgau erstellt. Demnach liessen sich solche Schwärme betreiben, ohne dass Biomasse aus anderen Kantonen herangeführt werden müsste. Schwärme aus BHKW könnten aber andere Nutzungen von Biomasse und Abfall konkurrenzieren, stellen die Wissenschaftler fest.



Bei Nutzung der verfügbaren nachhaltigen Biomasse (Holz, Abfälle, Gülle) lassen sich mit Mikro-BHKW laut ETH-Studie 6 TWh Strom erzeugen, davon 5.4 TWh im Winter. Das entspricht 16% des aktuellen Winterstrom-Bedarfs in der Schweiz. «Das Konzept des Schwarms funktioniert technisch, doch die entscheidende Frage ist, ob ein tragfähiges Geschäftsmodell entwickelt werden kann», sagt Gil Georges. BV

denjenigen der Konkurrenzanlagen“, sagt Christian Schürch, wissenschaftlicher Mitarbeiter an der ETH Zürich und Leiter des Projekts ALADIN II. «Eine weitere Reduktion ist mit den heutigen Katalysatoren kaum möglich.»

Vier Funktionsmuster im Praxistest

Im nächsten Schritt werden vom Mikro-BHKW nun – ergänzend zur Laboranlage an der ETH – vier Funktionsmuster hergestellt. Mit ihnen werden die Industriepartner die Anlage in den kommenden Monaten und Jahren in Kooperation mit der ETH testen und optimieren. Neben der Anlage in Langenthal steht ein zweites Funktionsmuster beim Heizungsunternehmen Hoval in Vaduz (FL). Hier fokussieren sich die Entwickler auf die Einbindung in Heizsysteme und Verbesserungen der Konstruktion und der Schall-/Wärmeisolation. Mit zwei weiteren Funktionsmustern werden bei der *sa-charging solutions AG* in Mellingen (AG) Dauerlauftests über 1000 bis 2000 Betriebsstunden durchgeführt. Hierbei werden unter anderem verschiedene Betriebsmuster wie Dauerlauf bzw. Ein/Aus-Betrieb (vgl. Textbox S. 3) untersucht.

Hoval ist heute mit mittelgrossen BHKW (20 bis 560 kWel) am Markt vertreten. Mit den Mikro-BHKW würde das Unternehmen seine Produktpalette in der unteren Leistungsklasse erweitern. «Unser Ziel ist ein Mikro-BHKW mit einer elektrischen Leistung von beispielsweise 5 kW und einer Wärmeleistung von 10 kW, das typischerweise ganzjährig die Warmwasserversorgung als Grundlast für ein Mehrfamilienhaus übernehmen würde. Denn nur wenn ein Mikro-BHKW durchgängig läuft, erzeugt es genügend Strom zur Eigennutzung, was für die Wirtschaftlichkeit der Anlage zentral ist», sagt Dipl. Ing. Markus Telian, Leiter F&E bei Hoval.

Betrieb mit nicht-fossilen Gas möglich

Die vier Funktionsmuster müssen nun in den anstehenden Testläufen beweisen, dass sie den Dauerbetrieb mit tiefen Wartungskosten und einem hohen Wirkungsgrad meistern. Auf dieser Grundlage wird die Hoval-Geschäftsführung in voraussichtlich zwei Jahren über Serienproduktion/Markteinführung des Mikro-BHKW entscheiden. Bei den Wirtschaftlichkeitsberechnungen werden die Gaspreise und der Abnahmepreis für Strom eine nicht unwesentliche Rolle spielen. Das Mikro-BHKW kann mit Erdgas oder gleichwertig aufbereitetem Biogas (hoher Methangehalt) betrieben werden. Nach Überzeugung von Peter Regenass, Verwaltungsratspräsident der Bucher-Motorex-Gruppe (Langenthal), werden Mikro-BHKWs in einer Versorgung mit erneuerbaren Energien

künftig eine wichtige Rolle übernehmen: «Ich bin felsenfest überzeugt, dass wir in Zukunft erneuerbaren Strom nutzen werden, um über die Power-to-Gas-Technologie Methan herzustellen, dieses nicht-fossile Gas dann ins Gasnetz einspeisen und zur dezentralen Energieproduktion in Mikro-BHKW nutzen.»

- Für **Führungen** durch die Pilot- und Demonstrationsanlage bei der Bucher Langenthal AG bzw. weitere Auskünfte zum Projekt vonseiten der **Bucher AG Langenthal** kontaktieren Sie bitte: Markus Staubli (markus.staubli@motorex.com), Projektverantwortlicher bei der Bucher AG Langenthal, oder Peter Regenass (peter.regenass@motorex.com), Verwaltungsratspräsident der Bucher-Motorex-Gruppe.
- Auskünfte zum Projekt für das **BFE** erteilt: Stephan Renz (info[at]renzconsulting.ch), Leiter der BFE-Forschungsprogramme Verbrennung und WKK.
- Auskünfte zum Projekt für die **Hoval Aktiengesellschaft** erteilt: Martin Moisi (martin.moisi@hoval.com), Projektverantwortlicher bei der Hoval Aktiengesellschaft.
- Weitere **Fachbeiträge** über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Verbrennungsbasierte Energiesysteme finden Sie unter www.bfe.admin.ch/CT/verbrennung.

PILOT-, DEMONSTRATIONS- UND LEUCHTTURM-PROJEKTE DES BFE

Die Entwicklung eines Mikro-Blockheizkraftwerks im Rahmen des Projekts ALADIN II wird vom Bundesamt für Energie unterstützt. Das von der ETH Zürich mit Industriepartnern realisierte Forschungs- und Entwicklungsvorhaben gehört zu den Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekten, mit denen das Bundesamt für Energie (BFE) die sparsame und rationelle Energieverwendung fördert und die Nutzung erneuerbarer Energien vorantreibt. Das BFE fördert Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte mit 40% der anrechenbaren Kosten. Gesuche können jederzeit eingereicht werden.

- **Informationen** unter:
www.bfe.admin.ch/pilotdemonstration
www.bfe.admin.ch/leuchtturmprogramm