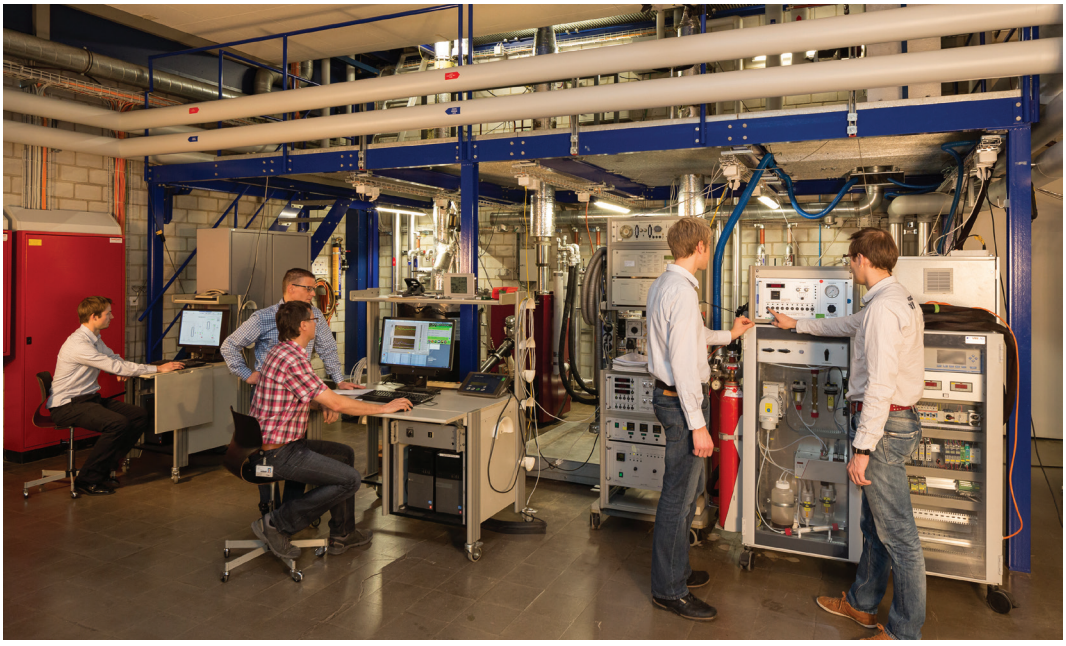
Nur keine heisse Luft

Holzheizungen liegen im Trend, gerade auch für die Produktion von Heizwärme und Warmwasser in Wärmeverbünden. Gefragt sind Anlagen, die die in Pellets und Hackschnitzeln gespeicherte Holzenergie dank optimaler Verbrennung bestmöglich in Wärme verwandeln und die Umwelt mit einem Minimum an Feinstaub und Abgasen belasten. Ein Forschungsprojekt an der Hochschule Luzern erarbeitet Grundlagen, damit Heizungshersteller optimierte Regelkonzepte entwickeln können.



Wissenschaftler untersuchen im Labor der Hochschule Luzern, wie Holzfeuerungen mit hohem Wirkungsgrad und tiefen Emisssionen betrieben werden können. Foto: Hochschule Luzern

Dr. Benedikt Vogel, im Auftrag des Bundesamts für Energie (BFE)

Das Basler Energieversorgungsunternehmen IWB plant zur Zeit den Bau eines zweiten grossen Holzkraftwerks mit 28 MW Leistung zur Versorgung des Basler Fernwärmenetzes. Viele andere Betreiber von Fern- und Nahwärmenetzen in der Schweiz setzen ebenfalls auf Holz, aber auch Industriebetriebe und Privatleute. Der Brennstoff stammt aus heimischen Wäldern und ermöglicht eine CO_2-neutrale Energieproduktion. Trotz dieser Vorzüge ist der Energieträger Holz nicht unproblematisch. Bei seiner Verbrennnung entsteht Feinstaub, der durch Elektroabscheider aus der Abluft entfernt werden muss. Zudem fallen Abgase wie z.B. Stickoxide an, die die Atemwege reizen und sauren Regen verursachen.

Prof. Thomas Nussbaumer arbeitet an der Hochschule Luzern - Technik & Architektur mit seinem Forscherteam seit Jahren daran, die Nachteile von Holzheizungen zu verringern. Im Zuge dieser Arbeiten haben die Wissenschaftler zum Beispiel Vorschläge erarbeitet, wie sich die Verfügbarkeit von Feinstaubabscheidern verbessern lässt. Im Fokus

Fachbeitrag zu den Erkenntnissen aus einem Forschungsprojekt im Bereich Biomasse und Holz, das vom Bundesamt für Energie finanziell unterstützt wird.

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

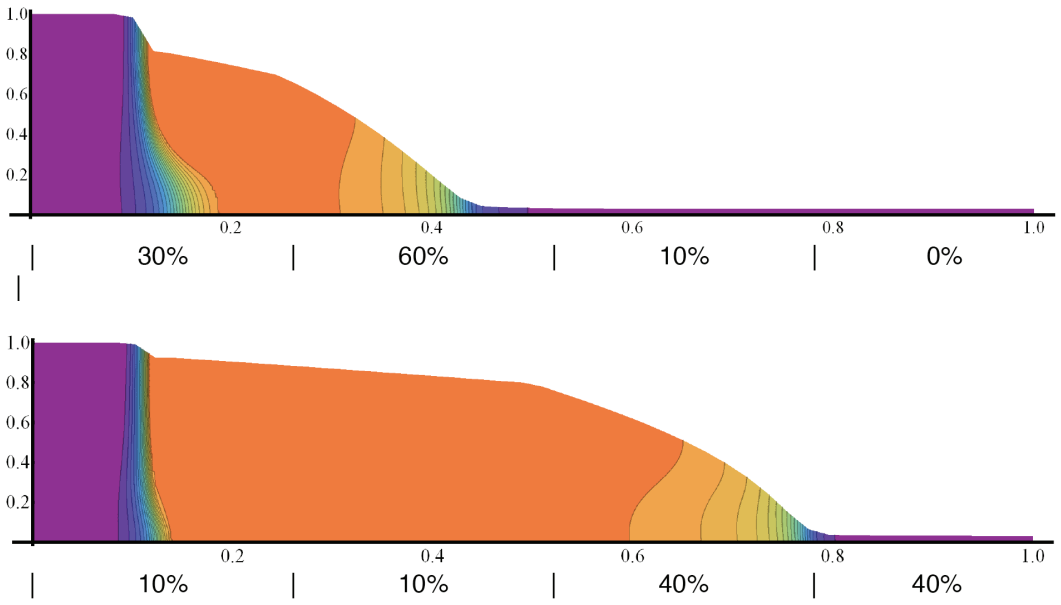
Bundesamt für Energie BFE

eines aktuellen Forschungsprojekts stehen mittelgrosse Holzheizungen in der Grössenordnung von 0,5 MW bis 10 MW Leistung. Solche Heizanlagen werden typischerweise für Nahwärmenetze zur Versorgung von Wohnquartieren eingesetzt sowie in der Industrie zur Erzeugung von Wärme einschliesslich Prozesswärme. Holzfeuerungen setzen die im Holz gespeicherte Energie heute mit einem Wirkungsgrad von rund 90 % in Wärme um – falls sie bei Volllast betrieben werden und optimal eingestellt sind. „In der Praxis wird dieser Wert aber oft nicht erreicht, der tatsächliche Wirkungsgrad liegt dann bei 80 % und weniger“, sagt Thomas Nussbaumer.

Mit einer Testanlage mit 150 kW Leistung untersuchen Wissenschaftler an der Hochschule Luzern, wie sich die Verbrennungsvorgänge in mittelgrossen Holzheizungen optimieren lassen. Foto: Hochschule Luzern

Effizienzeinbussen bei Teillast

Der Grund für diese Einbussen: Die Heizungen laufen im Frühling und im Herbst, wenn der Wärmebedarf geringer ist, nur in Teillast und erzielen dann nicht mehr den maximal erreichbaren Wirkungsgrad. Zudem wird den Feuerungen im Verbrennungsprozess oft mehr Luft als nötig zugeführt. Die Folge ist ein Überschuss an heissen Abgasen, die über den Kamin entweichen. Durch diesen Luftüberschuss verpufft ein Teil der Energie ungenutzt, was den Wirkungsgrad mindert. „Unsere Forschung will die Grundlagen be-



Die Illustration zeigt den Einfluss der Luftzufuhr auf die Länge des Brennstoffbetts: Wird 90 % der Luft in den ersten beiden Zonen zugeführt (oben), läuft der Verbrennungsprozess schneller ab – nur 47 % des Rostes sind mit Brennstoff bedeckt. Werden hingegen 80 % der Luft in den letzten beiden Zonen zugeführt, verbrennen die Hackschnitzel erst später – das Brennstoffbett deckt nun 80 % des Rostes ab. Illustrationen: Kiener/Martinez/Nussbaumer 2014

Blick in die Brennkammer einer Holzfeuerung (im kalten Zustand): Die Hackschnitzel werden durch den treppenförmigen Vorschubrost nach vorn transportiert und dabei durch Vergasung thermisch zersetzt. Links: Ausgangszustand mit Schichten aus (eingefärbten) Hackschnitzeln. Rechts: Endzustand nach Transport durch Rostbewegung. Fotos: Hochschule Luzern

reitstellen, damit Holzheizungen auch dann mit hohem Wirkungsgrad von 90 % arbeiten, wenn sie bei einer Leistung von nur 30 oder 40 % betrieben werden", sagt Nussbaumer.

Die Hochschule Luzern hat am Standort Horw ein halbes Dutzend Schul- und Laborgebäude. In Trakt I haben die Forscher eine Holzheizung mit 150 kW Leistung aufgebaut. Mit der Testanlage untersuchen sie seit Anfang 2014 Verbrennungsvorgänge, wie sie in mittelgrossen Holzheizungen ablaufen. Laborleiter Dr. Jürgen Good führt den Besucher an die Rückseite der Anlage, die einen ganzen Raum ausfüllt. Good zeigt auf vier Rohre, die seitlich an der Heizung emporragen. Jedes der Rohre saugt Luft an, die mit je einem Gebläse in den Brennraum befördert wird und dort in vier verschiedenen Zonen für die Verbrennung der auf einem Rost liegenden Hackschnitzel sorgt. „Das ist die zentrale Neuerung unserer Anlage", sagt der an der ETH ausgebildete Maschineningenieur, „denn herkömmlicherweise erfolgt die Luftzufuhr unter den Rost nur in zwei Zonen, manchmal auch nur in einer einzigen. Indem unsere Anlage über vier unabhängige Rostzonen mit separat geregelter Luftzufuhr verfügt, können wir die Verbrennung feiner steuern."

Feinsteuerung der Verbrennung

Die Luftzufuhr ist zentral für die Steuerung des Verbrennungsprozesses. Ist die Luftzufuhr nämlich zu gross, führt das nicht nur zu Effizienzverlusten, sondern auch zu unliebsamen Verschlackungen des Brennstoffs und zu Ablagerungen im Brennraum. Um eine optimale Verbrennung zu erreichen, muss die Luftzufuhr spezifisch geregelt werden – abhängig davon, ob die Anlage mit Voll- oder Teillast läuft, ob der Rost ganz oder teilweise mit Hackschnitzeln bedeckt ist, wie feucht die Hackschnitzel sind und welche Stärke die Hackschnitzel-Schicht aufweist.

Das Luzerner Forschungsprojekt wird vom Schweizerischen Nationalfonds im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms 66 „Ressource Holz" unterstützt und vom Bundesamt für Energie mitfinanziert. Die bisherigen Resultate zeigen, dass die Brennstoffumwandlung und die Rostbedeckung durch die Luftverteilung beeinflusst werden. „Durch Verschiebung der Luft in Richtung erster Rosthälfte wird das Brennstoffbett bei sonst unveränderten Bedingungen kürzer, durch Verschiebung in die zweite Rosthälfte länger", schreiben die Luzerner Forscher in einem Zwischenbericht, und ergänzen: „Obwohl die Luftverteilung damit als zusätzliche Regelgrösse zur Verfügung steht, zeigen die Messungen auch, dass die Rostbewegung das Brennstoffbett und das Abbrandverhalten in den untersuchten Betriebspunkten stärker beeinflusst als die Luftverteilung." Aus diesen und weiteren Messresultaten und

Simulationen erarbeiten die Wissenschaftler Vorschläge für Regelkonzepte, die den Herstellern bei der Entwicklung effizienter und emmissionsarmer Holzheizungen helfen. Ob die Vorschläge aus der Wissenschaft von der Industrie umgesetzt werden können, ist nicht zuletzt eine Frage des Preises. Der relativ hohe Preis ist denn auch der Grund, warum Holzfeuerungen mit vier Zonen heute trotz ihrer Vorzüge bei kleineren und mittleren Anlagen noch nicht zum Einsatz kommen.

Kooperation mit Industriepartner

Die Hochschule Luzern kooperiert in dem Projekt mit der Schmid energy solutions AG (Eschlikon/TG), der grössten Schweizer Herstellerin von Holzheizungen. „Die theoretischen Erkenntnisse aus der Forschung helfen uns bei der Optimierung bestehender und bei der Konstruktion künftiger Anlagen", sagt Roland Schmid, Leiter Technik in dem Thurgauer Familienunternehmen. Zwei wichtige Punkte sind für ihn Effizenz und Emissionen: „Beim Wirkungsgrad besteht noch ein erhebliches Verbesserungspotenzial, und bei den Emissionen ist der Stickoxid-Ausstoss bisher vor allem bei grösseren Anlagen relevant, gewinnt aber auch für kleinere Anlagen unter 2 MW Leistung zunehmend an Bedeutung", sagt Schmid.

Mittelgrosse Holzheizungen im einstelligen MW-Bereich stossen heute 150 bis 250 mg Stickoxid (NO_x) pro Kubikmeter Abluft aus. Wie hoch der Wert genau ist, hängt davon ab, ob es sich beim Brennstoff um reines Holz handelt, oder ob Reste von Rinden und Nadeln mit verbrannt werden. Weitere Einflussfaktoren sind Wassergehalt und Stückgrösse des Brennholzes.

In Siedlungsgebieten ist die Stickoxid-Belastung heute schon hoch, insbesondere durch den Verkehr. Der zusätzliche Ausstoss durch Holzheizungen müsse daher auf ein Minimum reduziert werden, umreisst Thomas Nussbaumer das Ziel seiner Forschungsaktivitäten. „Unser nächstes Ziel ist, den NO_x-Ausstoss gegenüber heute um 40 % zu senken." Dies wollen die Wissenschaftler ohne Zugabe von Reduktionsmitteln erreichen, wie sie heute in Kehrichtverbrennungsanlagen oder Dieselmotoren eingesetzt werden. Vielmehr soll durch eine entsprechende Steuerung des Verbrennungsprozesses erreicht werden, dass das während der Pyrolyse gebildete NO_x im Verbrennungsprozess selbst – noch vor dem Ausbrand der Gase in der Nachbrennkammer – abgebaut wird (vgl. Textbox unten). Die Forscher der Hochschule Luzern erarbeiten die Grundlagen, welche es künftig ermöglichen sollen, die Holzfeuerungen so zu regeln, dass sie für einen grossen Bereich von Brennstoffqualitäten und Lasten minimale Emissionen haben.

Lösungen vorausschauend entwickeln

Das Luzerner Projekt ist auch Ausdruck einer Neuausrichtung in der Forschung im Bereich Holzheizungen. Lange Zeit hatte die Wissenschaft ihre Aufmerksamkeit in erster Linie der Feinstaub-Problematik gewidmet, da die Verbrennung von Holz beträchtliche Mengen an Feinstaub verursacht. Seit 2007 gelten nun schärfere Grenzwerte für grössere Heizanlagen, und durch den Einbau von Filtern konnte die Umweltbelastung seither entschärft werden. In der Folge bekommt die NO_x-Produktion zunehmend Beachtung. Die Umweltbelastung durch den Heizungssektor liegt zwar hinter Verkehr und Zementindustrie zurück. Allerdings stossen Holzheizungen mehr Stickoxide aus als Gas- und Ölheizungen. „Ich möchte hier zusammen mit der Industrie vorausschauend Lösungen entwickeln, um damit die Bedingungen für eine verstärkte Nutzung der Holzenergie zu bereiten, wie sie auch durch die Energiestrategie des Bundes vorgezeichnet ist", sagt Thomas Nussbaumer.

» Weitere Auskünfte zu dem Projekt erteilt Sandra Hermle (sandra.hermle[at]bfe.admin.ch), Leiterin des BFE-Forschungsprogramms Biomasse und Holz.
» Weitere Fachbeiträge über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Holz und Biomasse unter: www.bfe.admin.ch/CT/biomasse

Verbrennung in zwei Schritten

Wer zuhause ein Cheminee betreibt, legt ein Scheit nach und freut sich, wie es unter einem wohligen Knistern verbrennt. Chemisch gesehen besteht der Verbrennungsprozess aus zwei aufeinander folgenden Schritten: Im ersten Schritt kommt es unter Zufuhr von Luft und Wärme zu einer thermischen Zersetzung des Holzes, bei der sogenanntes Pyrolysegas (bestehend aus Kohlenmonoxid/CO, Methan/CH_4, Wasserstoff/H_2) und Holzkohle entsteht. Das Pyrolysegas brennt dann im zweiten Schritt wiederum mit Luft in einer sichtbaren Gasflamme aus und setzt dabei in einer chemischen Reaktion (Oxidation) Energie frei. Gleichzeitig wird die Holzkohle zu Kohlenmonoxid umgewandelt, wobei die unbrennbare Asche übrig bleibt. Weil die Temperaturen durch die Wärmeabgabe tief sind und die Mischung zwischen Gas und Luft unvollständig ist, ist die Verbrennung jedoch unvollständig. In einer mit Pellets oder Hackschnitzeln betriebenen Holzfeuerung wird deshalb für den ersten Schritt gezielt sogenannte Primärluft zugeführt, während die Pyrolysegase anschliessend mit Sekundärluft vermischt werden und in einer heissen Brennkammer ausbrennen. Um hohe Temperaturen zu erzielen, wird die dabei freigesetzt Energie erst anschliessend in einem Wärmetauscher zur Erhitzung von Wasser genutzt, das dann für Heizzwecke oder als Warmwasser eingesetzt wird. Die Asche wird dabei teils aus dem Feuerraum ausgetragen und teils als Staub mit dem Abgas mitgerissen, der in grösseren Anlagen in nachgeschalteten Abscheidern abgetrennt wird. Asche besteht im wesentlichen aus Kalzium, Kalium, Natrium, ist also jener Feststoff, der übrig bleibt, wenn aus Holz sämtlicher Kohlenstoff und Wasserstoff durch Verbrennung entfernt wurde.

Die Luzerner Forscher studieren die Verbrennungsvorgänge an einer 150 kW-Anlage. Zudem erstellen sie Computermodelle für zwei Teilprozesse einer Vorschubrostfeuerung:

Modellierung der Brennstoffumwandlung: Das Brennstoffbett-Modell (Fuel Bed Model) stellt dar, wie die Holzhackschnitzel in Gase, Asche und unverbrannten Kohlenstoff umgewandelt werden. Mit dem Modell untersuchen die Forscher, wie eine vollständige Brennstoffkonversion auf dem Rost bei gleichzeitig hoher Ausbrandqualität der Gase mit tiefem Luftüberschuss erzielt werden kann. Das Modell ermöglicht die Erarbeitung von Steuer- und Regelkonzepten, um bei sich ändernden Brennstoffeigenschaften wieder einen definierten Idealzustand der Brennstoffumwandlung auf dem Rost zu erlangen.

Modellierung des Pyrolyse-Gasstroms: Mit der Methode der numerischen Strömungsmechanik (CFD) wird untersucht, an welcher Stelle und mit welcher Geschwindigkeit die (Sekundär-) Luft in den Brennraum eingedüst werden muss, damit sich eine bestmögliche Mischung mit dem Pyrolysegas einstellt. Eine gute Mischung ist bedeutsam für den (anschliessenden) Oxidationsprozess: Luftüberschuss, Abgase und Feinstaub können auf dem Weg tief gehalten werden, und zwar nicht nur bei Nenn-, sondern auch bei Teillast. In diesem Zusammenhang ist auch zu erwähnen, dass die Luzerner Forscher ein grosses Know-how aufgebaut haben, um Pyrolysegase präzise zu messen. BV

Bundesamt für Energie BFE
Mühlestrasse 4, CH- 3063 Ittigen, Postadresse: CH-3003 Bern
Telefon +41 (0)58 462 56 11, Fax +41 (0)58 463 25 00
cleantech@bfe.admin.ch, www.bfe.admin.ch

08/2015