

Rückblick: 14. Holzenergie-Symposium 2016 an der ETH Zürich

Energie aus Biomasse: Verwendungsoptionen und neue Entwicklungen

Am 16. September 2016 trafen sich an der ETH Zürich 230 Fachleute zum 14. Holzenergie-Symposium. Themen der Tagung unter dem Patronat des Bundesamts für Energie waren Verwendungsoptionen für biogene Energieträger, Gesetzgebung zu Aschen und Luftreinhaltung sowie Techniken zur Anlagenoptimierung, Brennstoffaufbereitung und Praxisanwendung [1].

Thomas Nussbaumer*

Zur Umsetzung der Energiestrategie 2050 ist die Nutzung aller erneuerbaren Energieträger erforderlich. In den vergangenen zwei Jahren waren die Voraussetzungen für den Zubau erneuerbarer Energien jedoch schwierig. So hat sich der Erdölpreis von über 100 USD auf unter 50 USD pro Fass mehr als halbiert, während die Handelspreise für Strom auf dem europäischen Markt auf unter 3 Eurocent pro kWh gesunken sind. Die Substitution von Öl und Gas durch Holz oder Fernwärme ist damit in vielen Fällen unattraktiv geworden und die Stromerzeugung aus Biomasse setzt eine kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) voraus. Obwohl zurzeit keine kurzfristige Trendwende erkennbar ist, wurde am 3. September 2016 ein

Meilenstein für den globalen Klimaschutz erreicht. An diesem Tag haben sich die Präsidenten der USA und Chinas, Barack Obama und Xi Jinping vor dem G-20-Gipfel zum Pariser Klimaabkommen bekannt. Die zwei repräsentierten Nationen verursachen 45 % der globalen Treibhausgase, weshalb ihre Mitwirkung für den Klimaschutz zentral ist und die Nachricht deshalb ein positives Zeichen für den langfristigen Einsatz biogener Energieträger setzt.

1 Verwendungsoptionen

Prof. Konstantinos Boulouchos vom Institut für Energietechnik der ETH Zürich beschrieb im Einführungsreferat Optionen zur Verwendung biogener Energieträger. Er zeigte, dass Biomasse

in der Schweiz ein Potenzial von 82 PJ/a (22.8 TWh/a) oder 10 % des Endenergiebedarfs aufweist. Davon entfällt die Hälfte auf Holz, das heute vorwiegend zur Wärmeerzeugung dient. Da Holz chemisch gebundene Energie mit hohem Exergiegehalt ist, also theoretisch zu 100 % in Arbeit umgewandelt werden kann, wird es zunehmend für hochwertigere Anwendungen genutzt, bis anhin vor allem zur Wärme-Kraft-Kopplung (WKK) in Dampfkraftanlagen. Eine von der ETH untersuchte Option ist die Herstellung von synthetischem Methan aus Biomasse (Synthetic Natural Gas, SNG), das ins Gasnetz eingespeist wird. Eine Umwandlung sämtlicher Biomasse zu SNG mit 66 % Wirkungsgrad ergibt 15 TWh Me-



Bild 4: Forschungslabor der Hochschule Luzern – Technik & Architektur.

than pro Jahr, ein Teil davon aus Vergärung und ein Teil aus Holz über Vergasung und Methanisierung. Das biogene Methan könnte im Mobilitätsbereich genutzt werden und bei konsequenter Hybridisierung knapp 50 % des Individualverkehrs versorgen. Gleichzeitig ist aber auch CO₂-freier Strom bei Ausbleiben der fluktuierenden Sonnen- und Windenergie notwendig. Da die verfügbare Biomasse begrenzt ist, stellt sich die Frage, welche Anwendungen am meisten zum Klimaschutz beitragen. Wie Berechnungen nach Bild 1 zeigen, erzielt eine Kilowattstunde erneuerbare Elektrizität zur Substitution fossiler Energien einen abnehmenden Beitrag zur CO₂-Reduktion in folgender Reihenfolge:

1. Ersatz von Kohlekraftwerken oder Vermeidung von EU-Stromimporten.
2. Ersatz von Öl- und Gasheizungen.
3. Elektrifizierung des motorisierten Individualverkehrs.

Die jährlich 15 TWh Methan werden am besten zur Wärme-Kraft-Kopplung in Blockheizkraftwerken (BHKW) genutzt. Heutige Anlagen erzielen einen elektrischen Nutzungsgrad von 40 % (für 250 kW_e) und eine 50 %-ige Wärmenutzung. Dies entspricht jährlich 6 TWh Strom (10 % des Bedarfs) und 7.5 TWh Wärme (8 % des Bedarfs). Dabei fallen 80 % im Winterhalbjahr an. Da Gasmotoren kurze Ein- und Abschaltzeiten (1 bis 5 Minuten) aufweisen, können sie kurzfristige Schwankungen ausgleichen und «Power on Demand» liefern. Die Anlagen weisen dabei eine Betriebsdauer von lediglich 2000 Vollbetriebsstunden pro Jahr auf und ermöglichen einen WKK-Schwarm für 3 GW Spitzenstrom oder knapp 90 % der Leistung aller Kernkraftwerke. Das Potenzial dieses Konzepts wurde in drei Kantonen untersucht und die Ergebnisse bestätigen die Machbarkeit [2]. Ein Vorteil ist dabei, dass optimierte Gasmotoren nahezu null Schadstoffemissionen aufweisen.

Zur Bewertung der SNG-BHKW dient ein Vergleich mit konventionellen WKK-Anlagen. Bild 2 zeigt dazu den Wärmenutzungsgrad in Funktion des Stromnutzungsgrades für WKK-Anlagen mit Organic Rankine Cycle (ORC) und Dampf sowie als Vergleich die KEV-Anforderung nach Energieverordnung (EnV). Diese entspricht der Verbindungslinie von 70 % Wärme und 0 %



Prof. Thomas Nussbaumer leitete das 14. Holzenergie-Symposium und stellte eine Untersuchung der Hochschule Luzern zu Feinstaub aus Holzfeuerungen vor.



Prof. Konstantinos Boulouchos von der ETH Zürich vergleicht Verwendungsoptionen für biogene Energieträger.



Beat Müller, BAFU, stellt die Pläne zur Revision der LRV vor.



Georg Weinhofer von Coop präsentiert die mit Biomasse versorgte Grossbäckerei Schafisheim.

Strom zu 40 % Strom und 0 % Wärme [3]. Die EnV berücksichtigt die Wertigkeit der Elektrizität dabei mit dem Faktor 1.75 wie folgt:

Wärmenutzungsgrad + 1.75 · Stromnutzungsgrad ≥ 70 %.

WKK-Anlagen mit ORC oder Dampf können diese Anforderung erfüllen. Wenn die Umwandlung von Biomasse zu SNG mit 34 % Verlusten berücksichtigt wird, erzielen die SNG-BHKW einen mit der EnV vergleichbaren Wert von 79 % (Bild 3) und erfüllen die Anforderung ebenfalls. Im Vergleich zu konventionellen WKK-Anlagen ermöglichen SNG-BHKW eine dynamischere Betriebsweise für «Power on Demand». Die Nutzung der Wärme setzt dabei einen Wärmespeicher für mehrere Stunden Speicherung voraus.

2 Abfallverordnung

Die Nutzung von Biomasse führt zu Aschen, deren Mengen und Zusammensetzung grosse Unterschiede aufweisen können. Übliche Fraktionen sind Rostasche, Zyklonasche und Filterasche aus Elektroabscheidern oder Gewebefiltern. Die Anforderungen an Aschen sind für Anlagenbetreiber von zentraler Bedeutung. Kaarina Schenk vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) stellte die Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (VVEA, kurz Abfallverordnung), vor [4]. Die VVEA ist seit dem 1. Januar 2016 in Kraft und ersetzt die Technische Verordnung über Abfälle (TVA). Gegenüber der TVA wurden die Bezeichnungen geändert, während ein Grossteil der Anforderungen übernommen wurde. Die VVEA de-

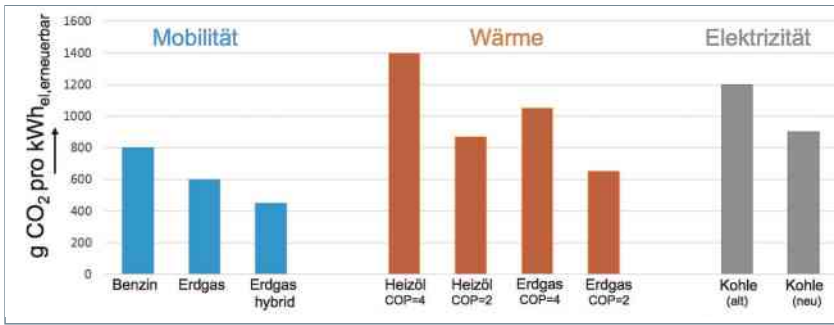


Bild 1: CO₂-Reduktion durch Substitution fossiler Energieträger pro kWh erneuerbare Elektrizität. COP = Coefficient of Performance einer Wärmepumpe. (Boulouchos 2016 in [1])

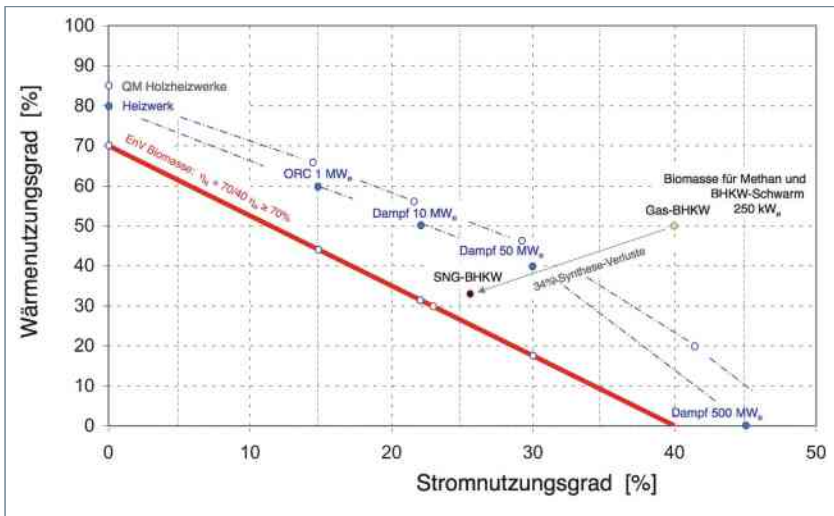


Bild 2: Wärmenutzungsgrad in Funktion des Stromnutzungsgrads für Wärme, Wärme-Kraft-Kopplung und Strom. Zusätzlich ist ein Gas-BHKW mit einem Nutzungsgrad von 40% für Strom und 50% für Wärme eingetragen. Das SNG-BHKW entspricht einem Gas-BHKW, mit 34% Verlusten für die Methanherstellung. (EnV [3], Grafik: T. Nussbaumer)

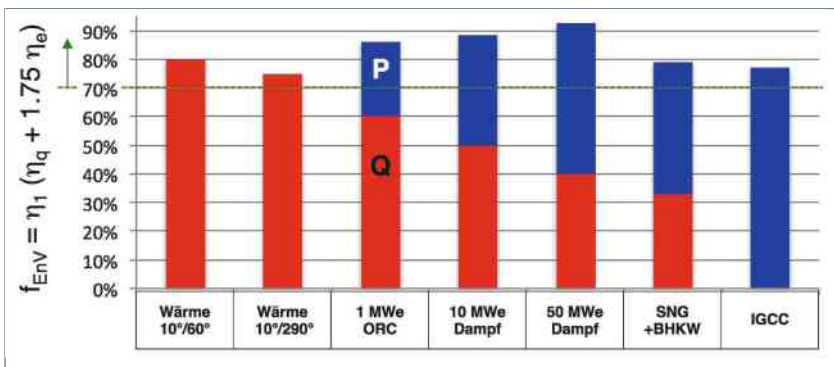


Bild 3: Faktor nach EnV mit einfacher Gewichtung von Wärme und 1,75-facher Gewichtung von Elektrizität. P = Power bzw. Strom, Q = Wärme, SNG = Synthetic Natural Gas, IGCC = Holzgas-Kombikraftwerk. (Grafik: T. Nussbaumer)

finiert die fünf Deponietypen A, B, C, D und E. Der Deponietyp C entspricht der bisherigen Reststoffdeponie, D dem früheren Schlackekompartiment und E der Reaktordeponie. Wichtige Faktoren für Aschen sind der Gehalt an organischem Kohlenstoff (TOC) und an Schwermetallen, insbesondere an Chrom VI. Für die Typen C und D gilt ein TOC-Grenzwert von 20000 mg/kg, für Typ E von 50000 mg/kg. Um die Grenzwerte

einzuhalten, sind nötigenfalls Verfahren zur Schadstoffreduktion erforderlich, etwa durch saures Waschen der Holzaschen. Für einen einheitlichen Vollzug werden derzeit Vollzugsrichtlinien erarbeitet.

3 Luftreinhaltung

Beat Müller vom BAFU zeigte auf, wie die Luftreinhalte-Verordnung (LRV) an den Stand der Technik angepasst wer-

den soll. Im Vordergrund stehen kleine Holzfeuerungen, die bei unsachgemäßem Betrieb oder ungeeigneter Technik hohe Emissionen an Feinstaub und organischen Verbindungen verursachen können. Vorschriften zur Inverkehrbringung sollen die Installation guter Anlagen sichern, während für einen geeigneten Betrieb Vorschriften zum Vollzug notwendig sind. Als Basis zur LRV-Revision dienen zwei Evaluationen zum Stand der Technik und zum Vollzug. In einer Evaluation von Wüest und Nussbaumer [5] wird vorgeschlagen, für Grenzwerte im Betrieb einen Korrekturfaktor gegenüber dem Prüfstand einzuführen. Zudem wird aufgezeigt, dass Holzfeuerungen drei Arten von Feinstaub verursachen:

- primärer, im heißen Abgas gemessener Feinstaub,
- gasförmige Verbindungen, die bei Abkühlung kondensieren, sowie
- in der Atmosphäre gebildete sekundäre Aerosole.

Aufgrund der Umweltrelevanz genügt es jedoch, organische Verbindungen und Feststoffe im Abgas zu begrenzen. Für die Beurteilung ergibt sich als Basisvariante somit eine Messung von Feststoffen und gasförmigen organischen Komponenten (OGC) im heißen Abgas, ergänzt durch Kohlenmonoxid (CO). Als vereinfachte Messungen kommen nur Feststoffe und CO und weiter vereinfacht nur CO infrage. Zusammen mit Vorgaben aus den europäischen Ökodesign-Vorschriften und aus der schweizerischen Bauproduktgesetzgebung wird damit die Revision der LRV geplant. Neben Emissionsgrenzwerten sind Vorschriften für Wärmespeicher und Staubabscheidesysteme sowie eine periodische Feuerungskontrolle bei Holzheizkesseln und eine Sichtkontrolle bei Wohnraumfeuerungen vorgesehen.

Unter dem Stichwort «beReal» stellte Christoph Schmidl von Bioenergy 2020+ (A) eine Untersuchung zur Festlegung praxisnaher Prüfbedingungen für Holzöfen vor. Aufgrund des typischen Benutzerverhaltens wird eine Prüfung vorgeschlagen, die im kalten Zustand beginnt, mehrere Abbrände umfasst und einen Teil der Auskühlphase berücksichtigt. Die Betriebsweise wird durch eine Kurzanleitung, den «Quick-User-Guide», festgelegt. Messparameter sind die Emissionen an CO, OGC, Stickoxiden (NO_x) und Staub sowie der Wirkungsgrad. Die Auswertung erfolgt mittels eines Auswerte-Tools.

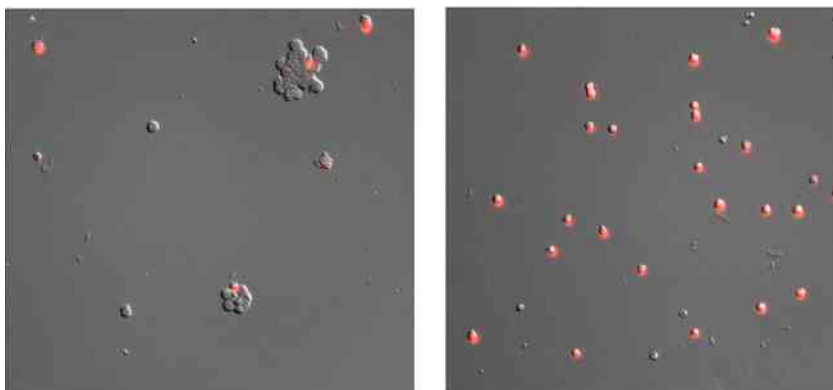


Bild 5: Fluoreszenzsignal zur Detektion abgestorbener Zellen im Biolabor der Hochschule Luzern. (Zotter et al. 2016 in [1])

Für automatische Holzheizwerke kann eine Überwachung in der Praxis Hinweise auf den Betrieb geben und den Vollzug der LRV unterstützen. Adrian Lauber von Verenum stellte dazu die Entwicklung von Langzeitmessungen an automatischen Holzfeuerungen im Auftrag des Bundesamts für Energie und mehrerer Kantone vor. Die «Methode QS 2016» beurteilt die Anlage anhand von drei Kriterien für CO im Feuerungsbetrieb, beim Anfahren und beim

Abfahren. Sie unterscheidet zudem zwischen Anlagen mit und ohne Feinstaubabscheider und beurteilt für Abscheider auch deren Verfügbarkeit. Die Evaluation wird tabellarisch und grafisch auf einer Seite dargestellt und erlaubt eine rasche Identifikation von Betriebszuständen mit erhöhten Emissionen.

Während Emissionsgrenzwerte für Feinstaub auf Gewichtsanteilen im Abgas basieren, können verschiedene Stäube teilweise ganz unterschiedliche Eigen-

schaften aufweisen. Nebst der Konzentration ist deshalb auch die potenzielle Gesundheitsschädigung unterschiedlicher Komponenten wichtig. Untersuchungen dazu sind allerdings aufwendig, weshalb nur zu ausgewählten Verbrennungstypen Daten vorliegen. Die Hochschule Luzern hat deshalb im Auftrag des BAFU eine Methode für eine einfachere Probenahme und Analyse entwickelt. Thomas Nussbaumer stellte diese Arbeit aus dem Verbrennungslabor (Bild 4, erste Seite) und dem Biolabor vor. Die Probenahme erfolgt in Waschflaschen und erfasst in erster Linie die kondensierbaren organischen Verbindungen (COC). In Tests mit menschlichen Lungenzellen wurde nach 24 Stunden die Zellüberlebensrate bestimmt und der Wert bei 50 % entsprechend LD₅₀ ausgewiesen (Bild 5). Die Resultate zeigen, dass die Zytotoxizität von COC für eine Vorschubrostfeuerung unter der Nachweiskennlinie lag und dass auch ein Pelletskessel nur geringe Wirkung zeigte. Ein Holzofen sowie ungünstige Bedingungen im Pelletskessel (Luftmangel und hoher Luftüberschuss) führten zu mehr als einem Faktor 10 hö-



Press-System in 3 Ausführungen

 **inoxPRES**
aus Edelstahl

 **inoxPRES GAS**
aus Edelstahl

 **steelPRES C-STAH**
aus Stahl schwarz verzinkt

Presswerkzeug inkl. Zubehör ist ebenfalls bei uns erhältlich.

Armaturen, Rohrschellen, Flansche und diverses Rohrzubehör aus Edelstahl aus einer Hand ab Lager.

Verlangen Sie unseren übersichtlichen Katalog.

KOHLER
HANS KOHLER AG ZÜRICH

HANS KOHLER AG, Claridenstrasse 20, Postfach
CH-8022 Zürich, Tel. 044 207 11 11, Fax 044 207 11 10
mail@kohler.ch www.kohler.ch ▶ **Online-Shop**

herer Toxizität, wenn die Wirkung auf die verbrannte Holzmenge bezogen wird. Noch wesentlich höhere Toxizität verursachte ein unsachgemäßer Betrieb des Holzofens mit Anfeuern von oben. Die erhöhte Toxizität ist dabei vor allem auf die viel höheren Gehalte an organischen Schadstoffen im Abgas zurückzuführen.

4 Retrofit-Holzgasbrenner

In den letzten Jahren wurden Holzvergaser zur Wärme-Kraft-Kopplung vorgestellt. Daneben versprechen Festbettvergaser Vorteile bezüglich Schadstoffemissionen und Regelverhalten. An der Fachhochschule Nordwestschweiz wird deshalb der Einsatz eines Vergasers für Holzpellets untersucht, der auf einem bestehenden Prototyp basiert und zur Nachrüstung fossiler Öl- und Gasbrenner geeignet ist. Josef Wüest stellte das in Bild 6 beschriebene Prinzip und die gemachten Erfahrungen vor. Die Messungen bestätigen das Potenzial der Holzvergasung zur Erzielung niedriger Schadstoffgehalte mit $\text{CO} < 5 \text{ mg/m}_n^3$, Staub $< 2 \text{ mg/m}_n^3$ und $\text{NO}_x < 100 \text{ mg/m}_n^3$ bei 13 Vol.-% O_2 . Ausserdem ist der Betrieb in einem Leistungsband von 5 kW bis 20 kW möglich. Aufgrund der Erfahrungen wurde ein weiterer Prototyp im Bereich 10 kW bis 50 kW gebaut und die Skalierbarkeit des Prinzips gezeigt.

5 Korrosion

Korrosion führt zu Verschleiss und hohen Unterhaltskosten. In Biomassefeuerungen tritt Korrosion im heissen Bereich (Feuerraum und Überhitzer) und am kalten Ende (Economiser, Luftvorwärmer und Kamin) auf, weshalb zwi-

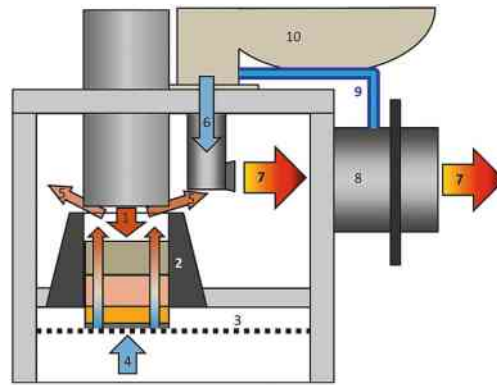


Bild 6: Aufbau des Holzgasbrenners: 1) Pelletszufuhr, 2) Vergasertopf, 3) Rost, 4) Primärluft, 5) Produktgas, 6) Sekundärluft, 7) Vermischung und Oxidation, 8) Venturi-Mischer, 9) Tertiärluft, 10) Gebläse. (Nach Wüest et al. 2016 in [1])

schon Hoch- und Niedertemperaturkorrosion von über 400°C und unter 150°C unterschieden wird. Stefan Retschitzegger von Bioenergy 2020+ (A) befasst sich mit dem Einsatz von Korrosionssonden. Diese werden eingesetzt, um die Ursachen sowie Parameter zur Vermeidung von Korrosion zu ermitteln oder um durch Monitoring Probleme frühzeitig zu erkennen. Die Messprinzipien sind elektrischer Widerstand, linearer Polarisationswiderstand, elektrochemische Impedanzspektroskopie, elektrochemisches Rauschen und Lochfrassaktivität.

6 Aufbereitung von Energieholz

Nicolas Hofmann vom LWF in Freising (D) untersuchte den Einfluss der Brennstofflagerung auf die Qualität von Holzhackschnitzeln (Bild 7). Risiken der Lagerung sind eine Qualitätsverschlechterung sowie Verluste an Trockenmasse und Energieinhalt durch mikrobiologi-

sche Zersetzung. Untersucht wurden Fichtenhackschnitzel aus Waldrestholz und aus Energierundholz mit und ohne Regenschutz im Vergleich zur Lagerung in Poltern (Holzstapel auf Sammelplatz, bereitgelegt zum Abtransport). Im Sommer verringerte sich der Wassergehalt um bis zu 23%. Gleichzeitig trat eine Zersetzung mit einem Trockenmasseverlust von rund 11% auf. Die ungehackte Lagerung in Poltern führte zu einer geringeren Zersetzung, während die Brennstoffmasse durch Abrieseln von Nadeln, Reisig und Rinde sank. Das Abrieseln verursachte jedoch eine Verringerung des Aschegehalts um bis zu 41% und somit eine Verbesserung der Brennstoffqualität.

Daniel Kuptz vom TFZ in Straubing (D) untersuchte die Wirkung der Aufbereitung mittels Sieb- und Trocknungstechnik auf die Verbrennung. Gesiebte Hackschnitzel zeigten deutlich geringere Gehalte an Asche, Feinanteilen und kritischen Elementen. Nach der Aufbereitung konnten die meisten Produkte als Spezifikation B1 oder A2 nach DIN EN ISO 17225-4 klassifiziert werden. Verbrennungsversuche in einer 50-kW-Kippstofffeuerung zeigten, dass die Stickoxidemissionen durch Verringerung des Stickstoffgehalts im Brennstoff reduziert werden konnten, während für CO und Staub kein eindeutiger Trend auftrat.

7 Wärme-Kraft-Kopplung

Tim Steindamm von Seeger Engineering (D) zeigte auf, dass WKK-Anlagen mit einem Wärmespeicher flexibel betrieben und bei variablen Stromtarifen wirtschaftlich optimiert werden können. Als Beispiel diente eine ORC-Anlage von 1 MW_e. Im Projekt wurden verschiede-

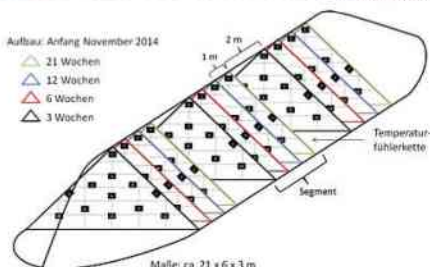


Bild 7: Lager- versuche von Holz in Poltern (links oben) sowie als Hackschnitzel offen und abgedeckt. Foto rechts mit Versuchsanordnung links unten. (Hofmann et al. 2016 in [1])



Bild 8: Verteilzentrum und Grossbäckerei Coop in Schafisheim mit Energiezentrale.
(Weinhofer et al. 2016 in [1])

ne Fahrweisen untersucht und eine leichte Verbesserung der Wirtschaftlichkeit durch Direktvermarktung erzielt. Die Investition des Wärmespeichers zur Erhöhung der Flexibilität war jedoch nicht wirtschaftlich. Die Untersuchungen zeigten trotzdem, dass Wärmespeicher für Anlagen mit Entnahme-Kondensations-Turbinen unter bestimmten Rahmenbedingungen wirtschaftlich sein können und einen Beitrag zur flexiblen Stromerzeugung leisten können.

8 Fernwärmenetze

Die Kapazität und die Verluste von Fernwärmenetzen werden durch die Wärmeverbraucher beeinflusst. Wenn ein Wärmeabnehmer das Fernwärmewasser nicht ausreichend abkühlt, werden die Rücklauftemperaturen erhöht und die Netzkapazität reduziert. Stefan Thalmann von Verenum stellte deshalb eine Methode vor, mit der die Güte aller Wärmeabnehmer ermittelt und daraus das Optimierungspotenzial für das Netz bestimmt wird. Die Analyse basiert auf der Grundlage, dass die Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklauf die übertragbare Wärmeleistung des Netzes bestimmt. Zur Beurteilung eines Verbrauchers wird der sogenannte Mehrverbrauch ermittelt, also die Wassermenge, die im Vergleich zu einem Betrieb bei Referenz-Temperaturspreizung zusätzlich durch die Übergabestation fließt. An zwei untersuchten Fernwärmenetzen wurde je ein Wärmeabnehmer identifiziert, der die Effizienz des Netzes stark negativ beeinflusste. Mit einfachen Massnahmen bei jeweils nur diesem einen Wärmeabnehmer

konnte die gesamte primäre Rücklauf-temperatur um jeweils 1,5 K bzw. um 1,2 K abgesenkt werden. Die Massnahmen erzielten dabei Amortisationszeiten von 2,3 und 3,9 Jahren und erhöhen die Rendite des Netzbetreibers deutlich.

9 Backen mit Holz

Georg Weinhofer, Leiter Logistik der Coop Genossenschaft führte aus, dass Unternehmen eine zentrale Rolle für den Klimaschutz einnehmen müssen. Coop strebt dazu eine CO₂-neutrale Bilanz bis zum Jahr 2023 an. Neben Verkaufsstellen und Transport tragen auch die Verteilzentralen und Bäckereien zu den CO₂-Emissionen bei. Durch den Bau einer neuen Verteilzentrale mit Integration der grössten Bäckerei der Schweiz konnte Coop den Transportaufwand verringern und gleichzeitig Gebäude und Bäckerei auf Energieeffizienz auslegen. Die Zentrale wurde in Schafisheim AG für insgesamt rund 600 Mio. Franken realisiert, wovon 10 Mio. auf die Energiezentrale entfallen (Bild 8).

Da für den mit Thermoöl versorgten Bäckereibetrieb Temperaturen von knapp 300°C erforderlich sind, wurde dazu bis anhin Heizöl und Erdgas eingesetzt. Während Abwärme und Umgebungswärme für diese Temperaturen ungeeignet sind, kommt Biomasse als erneuerbare Energie infrage. Coop betreibt

S&G Mobile Heizzentrale AG



www.mobile-heizzentrale.ch
info@mobile-heizzentrale.ch



Leistung
20–960 KW

- Vermietung mobiler Heiz- und Warmwasserzentralen
- Warmluftöfen Pellets/Öl
- Oellieferung bis 700 Liter möglich
- Hotboy Service – Reparaturstandort

ZH-Oetwil am See / Telefon 044 923 75 70 / Fax 044 923 32 45

deshalb seit 2011 eine Bäckerei mit Energieholz. Für Schafisheim wurde erstmalig die Nutzung von beim Mahlen von Brotgetreide anfallenden, nicht verwertbaren Müllerebenenprodukten (MNP) als Brennstoff berücksichtigt. Für die Umsetzung kommt eine Verwendung von MNP als Pellets zur Anwendung und die Feuerung wurde so ausgelegt, dass je 50 % des Energieanteils mit Holz und mit MNP gedeckt werden, aber auch ein reiner Holzbetrieb möglich ist. Wie Analysen bestätigten, weisen MNP einen hohen Aschengehalt, tiefe Erweichungstemperaturen und einen hohen Stickstoffgehalt auf. Als technische Massnahmen kommen deshalb Abgasrezirkulation, segmentweise Kesselabreinigung, Feinstaubabscheidung und Abgasentstickung mit SNCR (selektive nicht-katalytische Reduktion) zum Einsatz. Die Biomassefeuerung verfügt über eine Leistung von 2,9 MW und die Spitzenlast wird fossil gedeckt. Im Betrieb werden rund 60 000 Tonnen Brot und Backwaren jährlich produziert. Die Biomassefeuerung erreicht dabei rund 6000 Vollbetriebsstunden pro Jahr. Die Anlage ist seit Sommer 2016 in Betrieb und wird vom Bundesamt für Energie als P+D-Projekt unterstützt.

Eine Bilanzierung zeigt, dass für 1 kg Brot oder Backwaren durchschnittlich rund 670 g Mehl und 330 g sonstige Rohstoffe eingesetzt werden (Bild 9). Da beim Mahlen des Getreides rund 25 % MNP anfallen, werden 890 g Getreide benötigt, aus dem 220 g MNP anfallen. Bei einem Heizwert von rund 4,5 kWh/kg entsprechen die MNP knapp 1 kWh. Der Backprozess benötigt rund 0,33 kWh pro kg. Um die Backwärme zu 100 % mit MNP zu erzeugen, würde also ein Drittel der MNP genü-

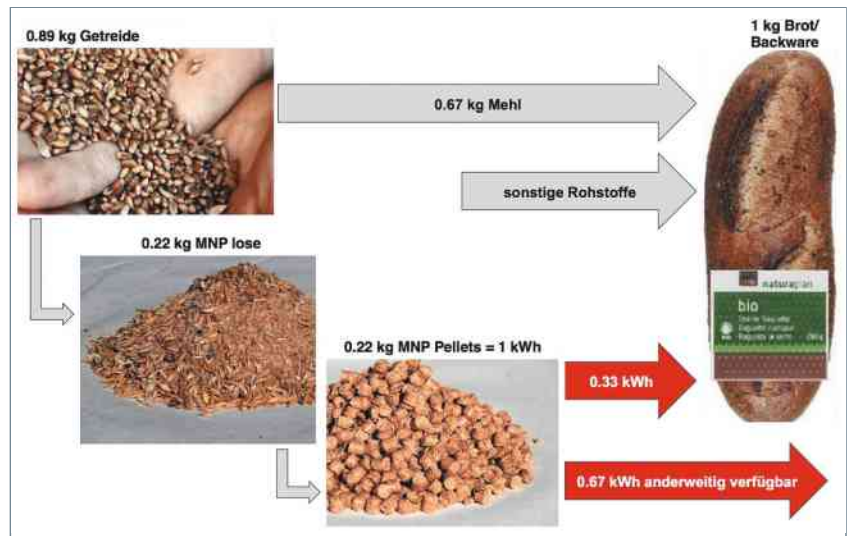


Bild 9: Stofffluss und Energiebilanz der Produktion von 1 kg Brot oder Backwaren. (Weinhofer et al. 2016 in [1])

gen und zwei Drittel für andere Anwendungen zur Verfügung stehen. Mit der Verwendung von MNP zum Backen des Brotes kann damit der Stoffkreislauf geschlossen werden. Holz und MNP werden zudem für hochwertige Prozesswärme genutzt. Eine Potenzialanalyse von Verenum zeigt, dass in der Schweiz rund 266 000 Tonnen MNP pro Jahr mit 1200 GWh Energieinhalt sowie 10 500 Tonnen Getreideabgang mit 47 GWh anfallen. Dies entspricht 0,50 % des Endenergieverbrauchs oder 4,3 % des Prozesswärmebedarfs. Schafisheim benötigt rund 1 % der in der Schweiz anfallenden MNP, sodass ein Potenzial für weitere Anlagen besteht.

10 Fazit

Holz und andere Biomasse steht nur in begrenztem Mass als Energieträger zur Verfügung, weist jedoch zwei entscheidende Eigenschaften auf:

1. Biomasse ist gespeicherte Energie und kann in der Elektrizitätserzeugung als «Power on Demand» oder in der Wärmeversorgung als «Heat on Demand» zur Deckung von Spitzenlasten beitragen.

2. Der Energieinhalt von Biomasse kann theoretisch vollständig in Arbeit umgewandelt werden, ist also hochwertige Exergie. Dies unterscheidet Biomasse von Umweltwärme und Abwärme, die für Niedertemperaturwärme genutzt werden können, aber keine höherwertigen Anwendungen ermöglichen.

Um den Anteil erneuerbarer Energien deutlich zu erhöhen, müssen die verschiedenen Energien in Zukunft so eingesetzt werden, dass sie sich optimal ergänzen und ihre spezifischen Stärken ausnutzen. Dies hat folgende Konsequenzen:

1. Biomasse ist längerfristig für hochwertige Anwendungen zu nutzen. Ein Vergleich des exergetischen Wirkungsgrads zeigt, dass neben Wärme-Kraft-Kopplung auch Prozesswärme einen hohen Exergieanteil aufweist. Bei 10 °C Umgebungstemperatur weist zum Beispiel Backwärme von 290 °C einen Exergiegehalt von 50 % auf. Bei einem Wirkungsgrad zur Wärmeerzeugung von 75 % entspricht dies einem exergetischen Wirkungsgrad von 37,5 %. Wie Bild 10 zeigt, ist dieser Wert höher als bei einer heutigen WKK-Anlage. Warmwasser bei 60 °C weist dagegen lediglich 15 % Exergieinhalt auf, was bei 80 % Wirkungsgrad zur Wärmeerzeugung ei-

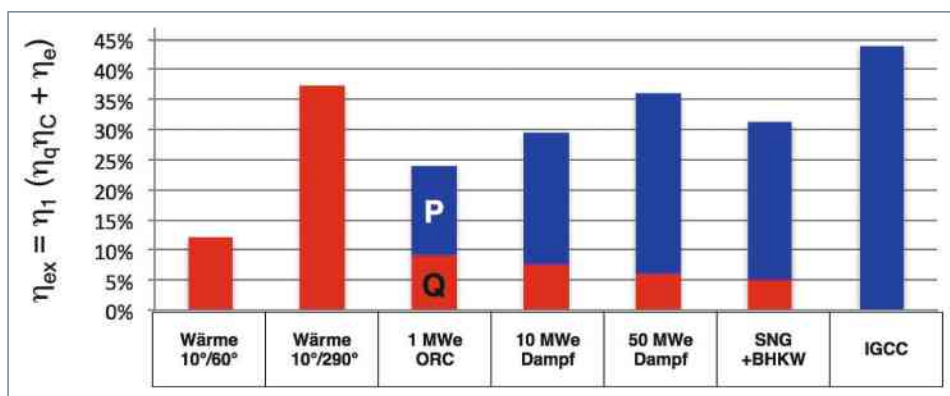


Bild 10: Exergetischer Wirkungsgrad verschiedener Szenarien zur Wärme- und Stromerzeugung aus Biomasse. P = Power bzw. Strom, Q = Wärme, SNG = Synthetic Natural Gas, IGCC = Holzgas-Kombikraftwerk. (Grafik: T. Nussbaumer)

nem exergetischen Wirkungsgrad von 12 % entspricht. Für Raumwärme werden sogar nur rund die Hälfte dieser Werte erreicht, weshalb Raumwärme effizient mit Wärmepumpen aus Umgebungswärme bereitgestellt werden kann.

2. Wegen der hohen Kapitalkosten wird Biomasse sowohl im Stromnetz als auch in Wärmenetzen heute vorwiegend für Grundlast eingesetzt. Da immer weniger fossile Energie für Spitzen genutzt werden kann, wird Biomasse in Zukunft auch zur Abdeckung von Spitzenlast wichtig, um die fluktuierende Produktion von Solarenergie und im Fall von Strom auch von Wind auszugleichen. Diese Nutzung ist bei aktuellen Energiepreisen unwirtschaftlich, sie kann aber mit dem Zeithorizont der Energiestrategie 2050 eine Option für einen wirksamen Klimaschutz werden.

Diese Veränderungen werden zusätzliche Herausforderungen zur Nutzung biogener Energieträger mit sich bringen und bieten gleichzeitig Chancen für neue Entwicklungen. ■

www.holzenergie-symposium.ch

Das Holzenergie-Symposium findet alle zwei Jahre statt. Das nächste Mal am Freitag, 14. September 2018, ETH Zürich.

***Zum Autor:**

Prof. Dr. Thomas Nussbaumer ist Professor für «Erneuerbare Energien» an der Hochschule Luzern – Technik & Architektur in Horw (www.hslu.ch), Inhaber der Firma Verenum in Zürich (www.verenum.ch) und Leiter des Holzenergie-Symposiums (www.holzenergie-symposium.ch).

Literatur

[1] Nussbaumer, T. (Hrsg.): 14. Holzenergie-Symposium: Verwendungsoptionen und neue Entwicklungen. ETH Zürich, 16. September 2016, Verenum, Zürich 2016, ISBN 3-908705-31-2, 194 Seiten (Tagungsband) und Folien, www.holzenergie-symposium.ch

[2] Vögelin, P. et al., ETH Zürich 2016, BFE Publikation 291096, www.bfe.admin.ch/dokumentationenergieforschung/index.html?lang=de&publication=11337

[3] Energieverordnung (EnV) vom 7. Dezember 1998. Artikel 730.01 vom 1.6.2015.

[4] Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (VVEA) vom 4. Dezember 2015, SR 814.600, <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20141858/index.html>

[5] Wüest, J.; Nussbaumer, T.: Luftreinhalte-Verordnung (LRV) – Revision Teil Holzfeuerungen, BAFU 2015, www.bafu.admin.ch/luft/00649/13799/index.html?lang=de

NOL

Unschlagbare Effizienz für kommerzielle Liegenschaften



Bis zu 28% weniger Energiekosten und CO₂-Emissionen. Massiv Heizkosten sparen. NOL ist das effiziente Produkt zur professionellen Anwendung in kommerziellen Liegenschaften, Büro- und Verwaltungsgebäuden. Spielend leicht zu installieren in bestehende Heizsysteme.

www.neurobat.net

NEUROBAT
INTERIOR CLIMATE TECHNOLOGIES



Neurobat AG, CH-5200 Brugg
Tel. 056 552 33 01, office@neurobat.net

Die Online-Energiesparlösung
für kommerzielle Liegenschaften