

Energieholz für Wärme und Strom wird in der Energiestrategie 2050 unterschätzt

Beitrag von Holz zur Energiewende

Holz trägt heute rund 4 Prozent zur Energieversorgung bei und ermöglicht einen Anstieg auf 6 Prozent bis 2020. Als direkt lagerbarer Energieträger ist Holz ideal zur Ergänzung von Sonne und Wind. Weil das Potenzial begrenzt ist, ist Holz so zu nutzen, dass die Effizienz zur Substitution fossiler Ressourcen maximal ist.

Moderne Holzheizung mit Feinstaubabscheideranlage.
(Foto: Schmid AG energy solutions)



Prof. Dr. Thomas Nussbaumer*

Der Energie-Erntefaktor zeigt, dass mit Wärme, Strom und Wärmekraftkoppelung bis zu 90 % an fossiler Energie und fossilem CO₂ ersetzt werden. Es gilt deshalb, Energieholz für Wärme und Strom zu nutzen. Damit kann mehr fossile Energie substituiert werden, als wenn Holz zu Treibstoffen umgewandelt wird, um anschliessend fossile Energieträger zu ersetzen. Der Beitrag beschreibt Techniken und Nutzen von Energieholz nach Studie [1] mit Ergänzungen zur Umsetzung.

Wandel der Energieversorgung zur Nachhaltigkeit

Unsere Energieversorgung ist heute von nicht erneuerbaren Ressourcen abhängig. Daneben dienen Produkte aus Erdöl und Erdgas auch für Dünger, Kunststoffe, Textilien, Farben und Medikamente. Da die fossilen Ressourcen begrenzt sind und ihr Verbrauch lange vor deren Erschöpfung zu Klimaänderungen führt, braucht es Massnahmen für einen sanften aber effektiven Wandel. Prioritär ist dabei die Erhöhung der Energieeffizienz, was im Gebäudebereich mit Niedrig-, Null- und Plusenergiegebäuden möglich ist. Beim Verkehr sind ebenfalls technische Fortschritte möglich, jedoch nicht in gleichem Umfang. So kann Elektromobilität noch keine nachhaltige Mobilität erzielen. Das Gleiche gilt für Biotreibstoffe, die den Verbrauch nicht decken und zudem



Flamme einer Rostfeuerung. (Foto: Verenum)

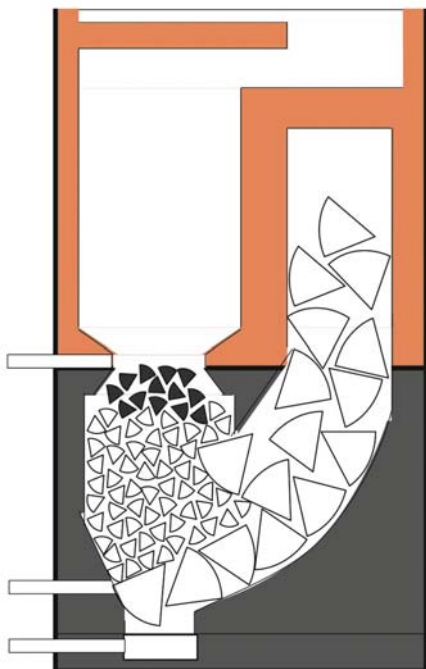


Bild 1: Holzofen mit zweistufiger Verbrennung [7].

Nahrungskonkurrenz und Umweltschäden bewirken können. Trotz dieser Unterschiede gilt für Wohnen und Mobilität, dass zur Effizienzsteigerung oft elektrische Aggregate eingesetzt werden. Beispiele sind die kontrollierte Lüftung oder Elektroantriebe im Verkehr. Ein Fortschritt ist dies nur, wenn die Einsparung ein Mehrfaches des Zusatzverbrauchs an Strom ausmacht. Ein Ziel ist deshalb auch, erneuerbare Energien direkt zur Substitution fossiler Energien im Gebäude zu nutzen und zur Strom-

produktion einzusetzen. Für beide Fälle kann Solarenergie einen grossen Beitrag leisten und ideal durch speicherbares Energieholz ergänzt werden. Weil Holz begrenzt ist, sind zu dessen Nutzung jedoch hohe Wirkungsgrade und eine maximale Substitutionswirkung sicherzustellen. Der Wandel zu einer nachhaltigen Energieversorgung gelingt am ehesten, wenn nicht nur spektakuläre neue Technologien mit Jahrzehnten Entwicklungszeit verfolgt, sondern ab sofort diejenigen Techniken genutzt werden, die bereits verfügbar sind und in den nächsten Jahrzehnten eine maximale Substitution fossiler Energien erzielen. Dieses Vorgehen nach dem Grundsatz «pick the low hanging fruit first» ist aus ökonomischer Sicht vernünftig und aus ökologischer Sicht effektiv, weil die beschränkten Mittel mit maximaler Wirkung eingesetzt werden.

Biomasse-Potenzial

Global ist Biomasse heute mit rund 11 % Anteil am Primärenergieverbrauch der wichtigste erneuerbare Energieträger und ihr Anteil kann noch verdoppelt bis verdreifacht werden [2]. Auch in der Schweiz kann Biomasse einen wichtigen Beitrag zur Energieversorgung leisten. So wurden im Jahr 2008 rund 4,3 Mio. m³ Holz für Energie verwendet und rund 4 % des Energieverbrauchs gedeckt (Tabelle 1, [3]). Dieser Anteil kann bis 2020 auf rund 6 % des heutigen Energieverbrauchs [3] oder noch um rund 1 Mio. m³ pro Jahr mehr [4] gesteigert werden.

Sortimente

Um die Nutzung zu optimieren, ist eine Unterscheidung der Holzsortimente wichtig. Einerseits gilt es, Holz vorab stofflich zu nutzen, um endliche Ressourcen direkt zu substituieren. Diese Kaskadennutzung erzielt höhere CO₂-Einsparungen und eine höhere ökonomische Wertschöpfung [3]. Bei Zunahme der Holzenergie wird das Schliessen der Stoffkreisläufe bedeutend, während gleichzeitig die Anforderungen an die Entsorgung der Asche steigen. Sofern die Aschen aufbereitet und die Schadstoffe entsorgt werden, kann die Energieholznutzung zu einer Dekontamination der Umwelt beitragen, indem durch Verkehr und Landwirtschaft freigesetzte Schwermetalle über die Asche der Umwelt wieder entzogen werden. Gleichzeitig ist anzustreben, Rostasche von nicht belasteten Standorten in den Kreislauf zurückzuführen.

Holznutzung für Wärme und Strom

Nebst der Wärmeerzeugung dient Holz auch zunehmend zur Wärmekraftkopplung. Dazu kommen Dampfkraftanlagen von 1 MW_e bis über 50 MW_e sowie bis 5 MW_e auch Anlagen mit Organic Rankine Cycle (ORC) zum Einsatz. Für die in der Schweiz angestrebte Energieausnutzung ist dabei ein weitgehend wärmegeführter Betrieb erforderlich. So verlangt die kostendeckende Einspeisevergütung [5] eine Gesamtnutzung als Wärme in Funktion der Stromnutzung, die über der Verbindungslinie von 70 % Wärme und 40 % Strom liegt. Dies ent-

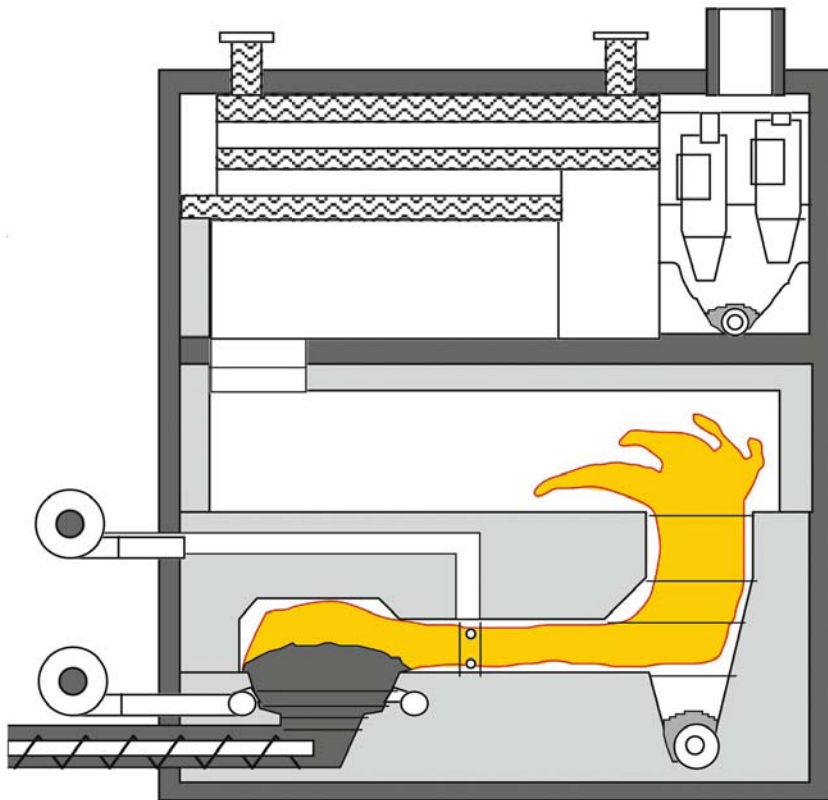


Bild 2: Unterschubfeuerung für Holz Brennstoffe mit geringem Aschegehalt [8].

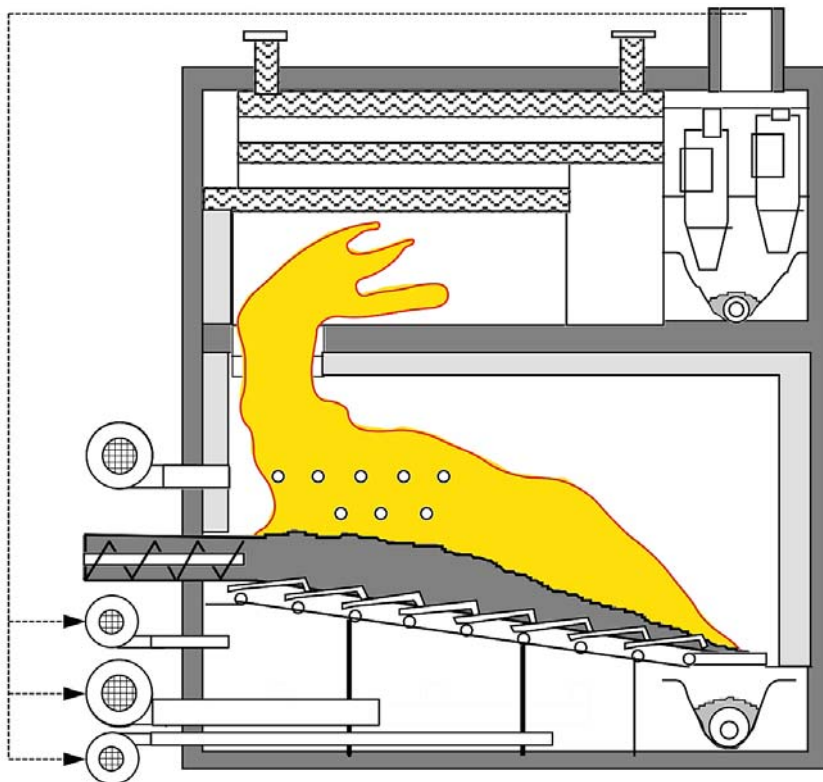


Bild 3: Vorschubrostfeuerung [8]. Beispiel mit drei Sektoren und Abgasrezirkulation.

spricht einem Wert von 70 %, berechnet aus 1-facher Wärmenutzung plus 1,75-facher Stromnutzung. Zur reinen Stromerzeugung wäre ein elektrischer Wirkungsgrad von 40 % erforderlich, während heutige Dampfkraftanlagen je nach Größe 10 bis 25 % erreichen.

Substitutionseffekt von Holz

Wärme und wärmegeführte Wärmekraftkopplung aus Holz erzielen eine hohe Effektivität zur Substitution fossiler Energieträger. Heizen mit Holzpellets (ohne fossile Trocknung) oder Fernwärme aus Holz ermöglichen ge-

genüber Heizöl eine Einsparung um 92 % (Tabelle 2, [6]). Diese Substitution ergibt sich aus den Erntefaktoren der über den Lebenszyklus verbrauchten nicht erneuerbaren Energie, die für Holzenergie Werte zwischen 8,3 und 14 aufweisen. So erzielt Fernwärme aus Holz einen Erntefaktor von 9,0 im Vergleich zu 0,70 für Wärme aus Heizöl. Für 1 MJ Wärme aus Heizöl werden somit $1/0,70 = 1,43$ MJ fossile Primärenergie benötigt im Vergleich zu $1/9,0 = 0,111$ MJ für Holz, was der Einsparung um 92 % nach Tabelle 2 entspricht. Wärme aus Stückholz oder automatischen Feuerungen erzielt eine Substitution von bis zu 95 % und Wärmekraftkopplung von rund 93 %. Demgegenüber erzielt Treibstoff aus Holz einen deutlich niedrigeren Substitutionseffekt, da die initiale Umwandlung von Holz zu Treibstoff einen Wirkungsgrad von unter oder kaum deutlich über 50 % aufweist und am Ende ebenfalls Erdöl oder Erdgas ersetzt wird. Die Umwandlung von Holz zu Treibstoff wird deshalb erst dann interessant, wenn die Wärme- und die Stromversorgung 100 % erneuerbar gedeckt werden.

Entwicklungstrends

Um das Potenzial von Holz zur Energieversorgung auszuschöpfen, sind Entwicklungen zur Anlagenoptimierung und Schadstoffminderung, insbesondere Feinstaub, zu unterstützen. Für handbesockelte Anlagen sind Feuerungen mit tiefen Emissionen, langer Abbranddauer und Verhinderung von Fehlbetrieb prioritär (Bild 1, [7]). Für grössere Leistungen kommen automatische Feuerungen zum Einsatz, die dank kontinuierlicher Brennstoffzufuhr und Regelung eine schadstoffarme Verbrennung erzielen können. Für Brennstoffe mit geringem Aschegehalt sind Unterschubfeuerungen geeignet (Bild 2, [8]), während in Vorschubrostfeuerungen auch Holz mit hohem Asche- und Wassergehalt genutzt werden kann (Bild 3). Eine Herausforderung ist der Betrieb bei Teillast und variierendem Wassergehalt, weshalb der im Feuerungsleistungs-Diagramm gezeigte Einsatzbereich erweitert werden soll (Bild 4). Bei Rostfeuerungen dienen dazu eine sektorielle Brennstoffumwandlung auf dem Rost und aerodynamische Massnahmen zur Optimierung des Teillastbetriebs [9]. Dazu kommen numerische Strömungsberechnungen (CFD) sowie experimentelle Untersuchungen mit Laser-Messverfahren zum Einsatz. Bild 5

zeigt die Messeinrichtung und Bild 6 Resultate von Messung und Rechnung. In Zukunft gewinnen auch die Stickoxide an Bedeutung, weshalb die gestufte Verbrennung zur Stickoxidminderung von Interesse ist. Daneben gilt es, die Verfügbarkeit von Feinstaubabscheidern durch regeltechnische Massnahmen zu erhöhen. Für automatische Holzfeuerungen kommen Elektroabscheider sowie für trockene Brennstoffe auch Gewebefilter zum Einsatz (Bild 7). Für nasse Brennstoffe kann der Wirkungsgrad durch Abgaskondensation erhöht und mit einer Nass-Elektroabscheidung kombiniert werden. Für einen guten Anlagenbetrieb wird eine Qualitätssicherung nach QM Holzheizwerke[®] empfohlen. Wie die Energiedichte nach Bild 8 zeigt, sind Holzpellets vorteilhaft für beschränkte Raumverhältnisse und für kleine Anlagenleistungen.

Bei der Stromerzeugung aus Holz sind die elektrischen Wirkungsgrade begrenzt und es besteht ein deutlicher Skaleneffekt (Economies of scale), weshalb neue Technologien auf Basis der Holzvergasung von Interesse sind [10]. Damit können die elektrischen Wirkungsgrade nahezu verdoppelt werden. In kleineren Anlagen kann Holzgas in Motoren von 50 kW_e bis 1 MW_e genutzt werden. Dazu existieren Entwicklungen, die wegen hoher Kosten und hohem Betriebsaufwand bis anhin nicht kommerziell etabliert sind. Erst in den letzten Jahren konnten in Europa über 200 Holzvergasungsanlagen mit 50 kW_e bis 200 kW_e installiert werden, wobei trockener und homogener Brennstoff verlangt wird und der Durchbruch damit aussteht. Für Anlagen über 10 MW_e

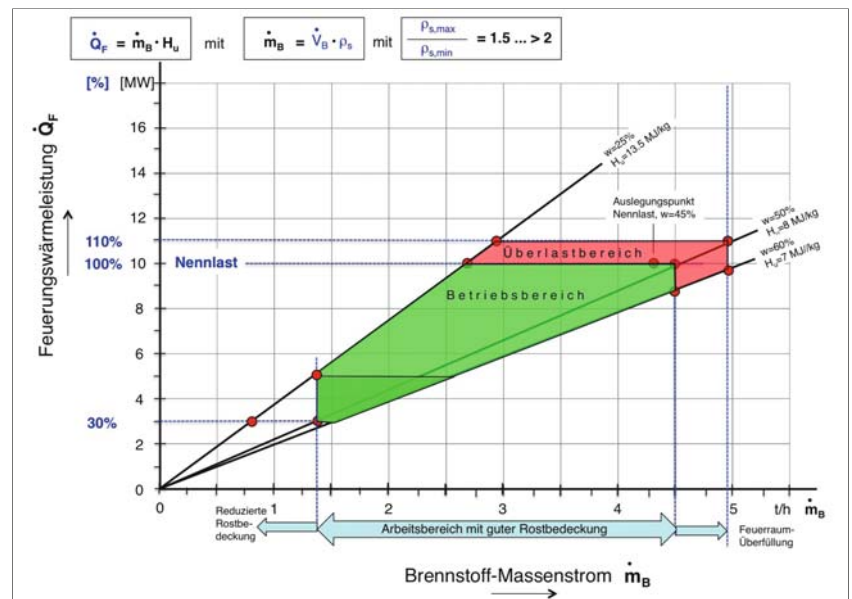


Bild 4: Feuerungsleistungs-Diagramm einer 10 MW-Rostfeuerung mit Auslegungs-Wassergehalt $w = 45\%$.

gilt es, die Kombikraftwerkstechnik durch Wirbelschichtvergasung mit Gas- und Dampfturbine mit elektrischen Wirkungsgraden von bis zu über 40% in die Praxis umzusetzen (Bild 9, [11]). Mit diesen Techniken kann Holz rasch und kostengünstig mobilisiert werden und einen maximalen Beitrag zur Energiewende leisten.

Beitrag von Holz zur Energiestrategie 2050 in der Schweiz

Seit dem Beschluss zum Ausstieg aus der Kernenergie im Mai 2011 entwickelt der Bund die Energiestrategie 2050, die auch eine Reduktion der fossilen CO₂-Emissionen verfolgt. Dazu wurden die Energieperspektiven verfasst [12], wo-

bei im Szenario «Neue Energiepolitik» für Energieholz folgende Trends erwartet werden:

- 1. Die Stromproduktion aus Holz zur Wärmekraftkopplung soll von heute 0,5 PJ/a auf 4,5 PJ/a im Jahr 2050 gesteigert werden (Tabelle 8-62 in [12]).
- 2. Die mit Holz beheizte Wohnfläche soll bis 2030 zunehmen, danach bis 2050 jedoch auf die Hälfte der heutigen sinken, sodass ihr Anteil bei zunehmender Wohnfläche von 8,5 auf 3,1% sinkt (Tabelle 8-4 in [12]). Entsprechend wird für die Endenergienachfrage an Holz zur Wärmeversorgung bis 2050 eine Abnahme um knapp 60% von 37,4 PJ/a auf 15,6 PJ/a erwartet (Tabelle 8-37 in [12]). →

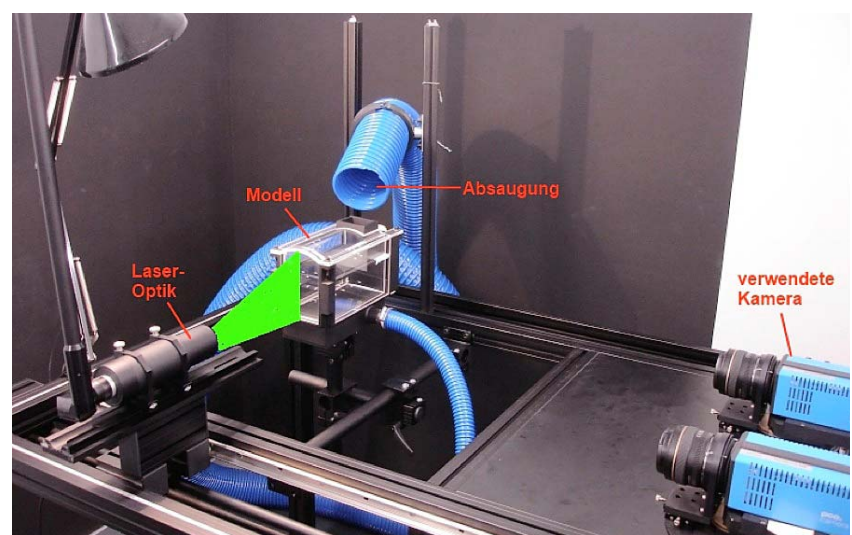


Bild 5: Strömungsexperimente. Modell und Versuchsaufbau mit Laser und Hochgeschwindigkeits-Kamera für Particle Image Velocimetry (PIV).

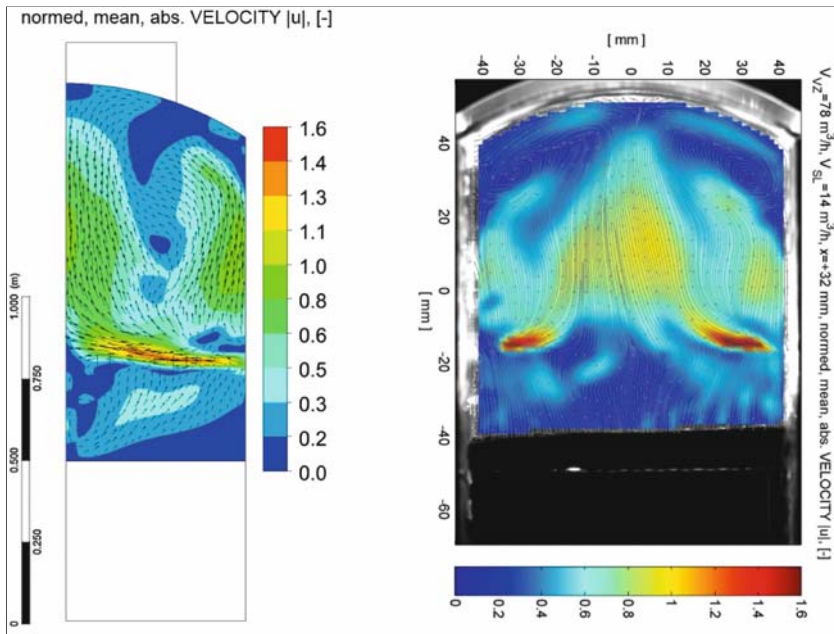


Bild 6: Eindringtiefe der Sekundärlufteindüsung [9]. Links: Berechnung mit CFD (Computational Fluid Dynamics, Strömungsberechnungen), rechts: Messung am Modell.

Grobabscheider		Feinstaubabscheider					
1. Massenkraft-Abscheider		2. Filternde Abscheider		3. Elektrostatische Abscheider (≠ Filter !)		4. Nasswäscher + Massenkraftabscheider	
> 50 µm	> 5 µm	> 0.01 µm		> 0.01 µm		> 1 µm	
Schwerkraft	Fliehkraft	Speicherfilter mit Tiefen-Filtration (im Filter)	Abreinigungsfilter mit Oberflächen-Filtration (Kuchen)	Trocken-Elektro-abscheider	Nass-Elektro-abscheider	Durchströmte Flüssigkeit	Tröpfchen-Eindüsung
Absetzkammer	Zyklon	Grobfilter, Schwebstoff-filter (z.B. für Reini-luft als Einwegfilter)	Gewebe-filter, Taschen- und Schlauchfilter, Schütt-schichtfilter	Platten-EA (Rohr-EA)	Rohr-EA, Platten-EA	Kolonnen-wäscher mit Böden oder Füllkörper	Waschturm, Venturi- und Radialstrom-wäscher
		➡ Rohgas ⬅ Reingas					

Bild 7: Staubabscheideverfahren.

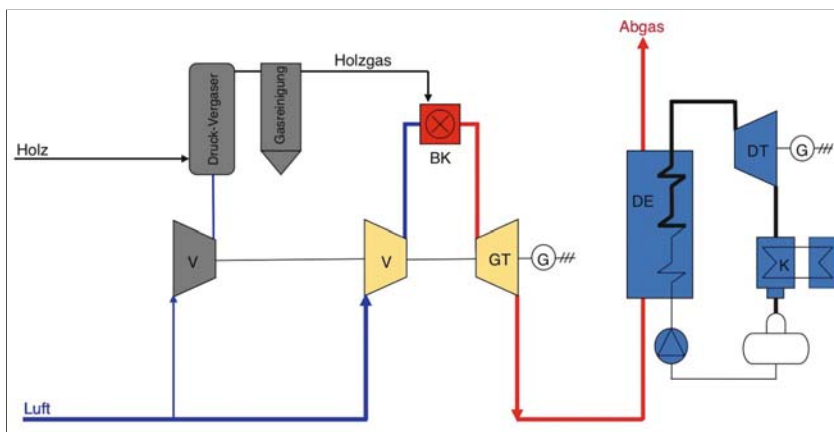


Bild 9: Prinzip eines Holzgas-Kombikraftwerks [11].

- 3. Gleichzeitig wird für flüssige Biotreibstoffe ein Anstieg vorausgesagt, der bis 2050 mit 37,2 PJ/a etwa dem Heizwert des heutigen Energieholzverbrauchs entspricht (Tabelle 8-37 in [12]). Wenn für 1 MJ Biotreibstoff 2 MJ an Biomasse benötigt werden, entspricht der Bedarf für Biotreibstoffe dem Doppelten des heutigen und dem Fünffachen des prognostizierten Holzverbrauchs für Wärme.

Fazit aus Sicht der Ressourcenökonomie

Der für die Energiestrategie 2050 prognostizierte Trend zur vermehrten Wärmekraftkopplung mit Holz ist sinnvoll, da damit eine hohe Wertschöpfung erzielt wird. Demgegenüber ist die Prognose des um knapp 60% abnehmenden Holzverbrauchs für Wärme aus ressourcenökonomischer Sicht nicht gerechtfertigt. Soweit der abnehmende Holzverbrauch dabei zu einer Verschiebung zu Biotreibstoffen führt, wird die Substitution fossiler Energien gegenüber der Wärme- und Stromproduktion aus Holz dadurch verringert. Damit Holz einen maximalen Beitrag zur Energiewende leisten kann und dieser rasch erschlossen wird, sind neben der hochwertigen Verwendung von Holz als Roh- und Werkstoff effiziente Anwendungen zur Wärme- und Stromproduktion aus Holz zu fördern. ■

* Der Autor, Prof. Dr. Thomas Nussbaumer, ist Professor für «Erneuerbare Energien» an der Hochschule Luzern – Technik & Architektur in Horw (www.hslu.ch) und Inhaber der Firma Verenum in Zürich (www.verenum.ch).

Literatur

[1] Nussbaumer, T., Schweiz Z Forstwes, 164, 2013 (im Druck)
 [2] Kaltschmitt, M.; Thrän, D., Energie aus Biomasse, Springer 2009, 7–35
 [3] Manser, R., 11. Holzenergie-Symp, Zürich 2010, 23–35
 [4] Thees, O., Kaufmann, E., Schweiz Z Forstwes, 164, 2013 (im Druck)

Brennstoff	Energiedichte		Lagervolumen
	MWh/m ³	(-)	
Holzschnitzel	0,7 – 1	1	
Stückholz	1,5 – 2	2	
Holzpellets	3,2	3 – 4	
Heizöl	10	10	

Bild 8: Energiedichte von Brennstoffen.

Tabelle 1: Energieholzverbrauch 2008 und Potenzial bis 2020 in Mio. m³/a nach [3]. Werte in PJ/a berechnet mit 1 Mio. m³ = 2400 GWh = 8,64 PJ. GEV = Gesamtenergieverbrauch im Jahr 2008.

Sortiment	2008			2020		
	Mio. m ³ /a	PJ/a	% GEV	Mio. m ³ /a	PJ/a	% GEV
Energieholz aus dem Wald	2,1	18,1	2,0	3,1	26,8	3,0
Flurholz	0,9	7,8	0,9	1,2	10,4	1,2
Restholz aus der Holzverarbeitung	0,7	6,0	0,7	1,1	9,5	1,1
Altholz	0,3	2,6	0,3	0,6	5,2	0,6
Altpapier	0,3	2,6	0,3	0,3	2,6	0,3
Total	4,3	37,2	4,1	6,3	54,4	6,0

Tabelle 2: Energie-Erntefaktoren EF und EF_{NE} nach [6]. EF bewertet erneuerbare und nicht erneuerbare Ressourcen, EF_{NE} nur die nicht erneuerbaren. Für Wärme und Strom sind der relative Verbrauch an nicht erneuerbarer Primärenergie PEV_{NE} im Vergleich zu einer Ölheizung sowie die Einsparung Δ PEV_{NE} angegeben. Eta_e = elektrischer Wirkungsgrad.

	EF [-]	EF _{NE} [-]	PEV _{NE} [%]	Δ PEV _{NE} [%]
Stückholzheizung	0,76	14	5%	95%
Automatische Holzheizung	0,73	13	5%	95%
Automatische Holzheizung mit Fernwärme	0,66	9,0	8%	92%
Holzpellets aus ohne fossiler Energie getrocknetem Holz	0,65	8,3	8%	92%
Holzpellets aus mit Heizöl getrocknetem nassem Holz	0,64	3,3	21%	79%
Ölheizung mit Brennwertkessel	0,70	0,70	100%	0%
WKK mit Holz mit Eta _e = 25% und Strom 2,5-fach bewertet	0,55–1,0	10	5%	93%
WKK mit Holz mit Eta _e = 45% und Strom 2,5-fach bewertet	1,0	15	7%	95%
Treibstoff aus Holz	0,36–0,52			
Heizen mit Gas- oder Flüssig-Brennstoff aus Holz	0,29–0,42			

[5] KEV, Artikel 7a EnG, Biomasse Anh. 1. 5 EnV, BfE, 2011 Bern

[6] Nussbaumer, T., BWK 57 (2005) 12, 59–61

[7] Odermatt, P., Nussbaumer, T., 12. Holzenergie-Symp, Zürich 2012, 31–52

[8] Nussbaumer, T., Energy & Fuels, Vol. 17, No 6 (2003) 1510–1521

[9] Kiener, M., Nussbaumer, T., 12. Holzenergie-Symp, Zürich 2012, 53–70

[10] Hofbauer, H., Kaltschmitt, M., Energie aus Biomasse, Springer 2001, 427–505

[11] Nussbaumer, T., BWK 5 (2006) 58–62

[12] Prognos: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, BfE, Basel 12.9.2012



swissbau.ch

Besuchen Sie uns in Halle 1.2 Stand A94

Mobile Energie Sie suchen. Wir liefern.

Mobil in Time ist Schweizer Marktführer für mobile Wärmelösungen. Ihre individuelle mobile Heizzentrale liefern wir schnell, direkt und sofort betriebsbereit.

Entdecken Sie die Welt der mobilen Energie: mobilintime.ch

24 h-Service-Hotline
0848 201 201



Mobil in Time AG
Kompetenzpartner für mobile Energie

Miete | Planung | Verkauf