

Substitutionseffekt fossiler Ressourcen durch Energieholznutzung Wärme, Strom oder Treibstoff aus Holz?

Bislang wird nur ein Teil des Energieholzpotenzials genutzt und vorwiegend dezentral und in kleineren Zentralanlagen als Brennstoff zur Wärmeerzeugung, selten mit integrierter Stromerzeugung, eingesetzt. Es gibt aber auch Pläne, den erneuerbaren Rohstoff zu Treibstoffen zu veredeln, um so Benzin und Diesel zu einem sauberen Image zu verhelfen. Was technisch möglich ist, entlarvt eine Analyse allerdings als ressourcenökonomisch nicht zu rechtfertigen. Sinnvoll erscheint es hingegen, in modernen Gas- und Dampfkraftwerken zusätzlich Holzgas zu verbrennen. Werden mit dem erzeugten Strom Wärmepumpen angetrieben, ist die Schonung fossiler Energieträger besonders groß.

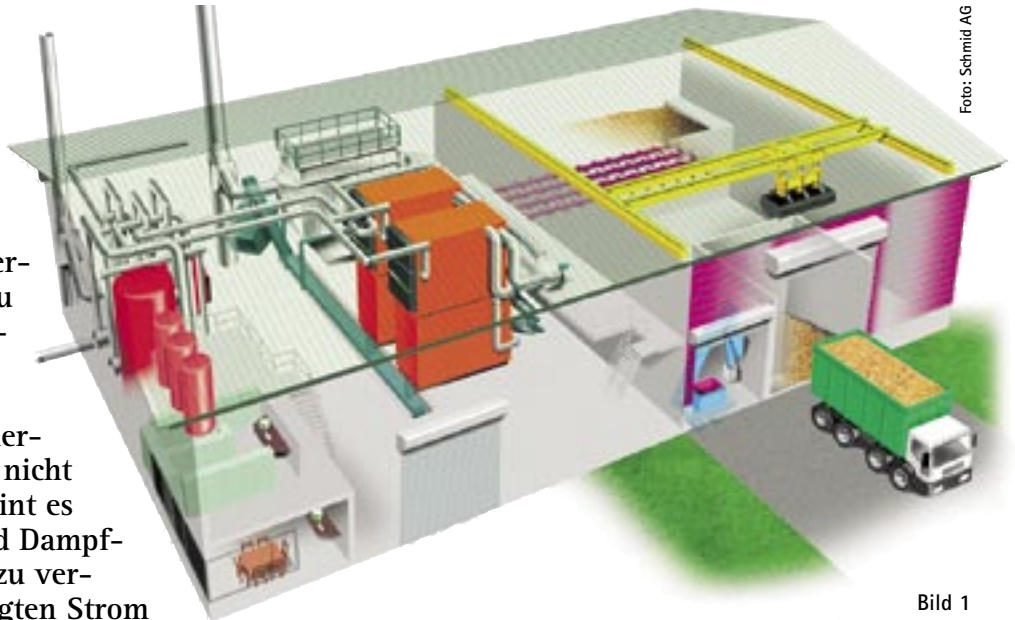


Foto: Schmid AG

Bild 1
Mit einem Energie-Erntefaktor $EF_{NE} > 9$ (Verhältnis von Nutzenergie/nicht erneuerbarer Primärenergie) gehören zentrale Systeme mit Heizanlage für Fernwärme zu den wichtigsten Nutzungsarten von Energieholz

Brennholz ist wohl der älteste vom Menschen genutzte Energieträger. Auch heute noch hat die Holzenergie einen wichtigen Stellenwert. Neben der Wärmeerzeugung in häuslichen Heizungen kommt Energieholz zur Beheizung von Fern- und Nahwärmenetzen sowie zur Wärmekraftkopplung und Stromerzeugung in automatischen Anlagen zum Einsatz. Daneben bestehen in der Europäischen Union große Anstrengungen, biogene Rohstoffe wie Holz und andere Pflanzen zur Treibstoffherstellung einzusetzen, um auch den Verkehrssektor teilweise aus erneuerbaren Quellen zu versorgen.

Obwohl dieses Ziel im Grundsatz sinnvoll ist, muss dennoch hinterfragt werden, in welchen Sektoren biogene Rohstoffe unter gegebenen und künftigen Randbedingungen einen maximalem Nutzen erzielen. Um dies zu beurteilen, ist der Primärenergieaufwand für die gesamte Versorgungskette zu bewerten. Nachfolgend geschieht dies anhand des kumulierten Energieaufwands KEA und des Energie-Erntefaktors EF.

Die Entwicklung der Energieversorgung

Unsere Gesellschaft ist in starkem Maße abhängig von einer funktionierenden (und günstigen) Energieversorgung, welche derzeit zu fast 80% auf fossilen Energie-

trägern basiert. Erdöl und Erdgas finden aber auch als Rohstoff für hochwertige Produkte wie Kunststoffe, Dünger und Pharmazeutika Verwendung. Für diese Anwendungen ist ein Ersatz fossiler Rohstoffe sehr aufwendig, weshalb Erdöl und Erdgas zunächst im Energiesektor durch erneuerbare Energieträger zu substituieren sind.

Wegen der ungebrochenen Zunahme des Energieverbrauchs hat der Anteil erneuerbarer Energieträger an der Weltenergieversorgung in den letzten Jahren allerdings weiter abgenommen. Die stagnierenden und in einigen Ländern bereits rückläufigen Ölfördermengen weisen jedoch darauf hin, dass das Maximum für die Ölförderung bereits in fünf bis zehn Jahren zu erwarten ist [1, 2, 9].

Anschließend werden fossile Energieträger zwar noch weiterhin dominieren, jedoch nicht mehr in ausreichendem Maße vorhanden sein, was einen grundlegenden Wandel in vielen Lebensbereichen auslösen wird. Wenn in der post-fossilen Ära schließlich erneuerbare Energien den Hauptteil der Versorgung decken müssen, wird dies ein deutlich tieferes Verbrauchsniveau zur Folge haben, weshalb für die Auswahl zukünftiger Technologien die Maximierung der Ressourcenökonomie hohe Priorität hat.

Dieser an sich selbstverständliche Grundsatz kommt in der heutigen Zeit mit kurzfristig beinahe unbegrenzt verfügbarer fossiler Energie noch kaum zum Tragen. So ist die nachträgliche Wärmedämmung eines bestehenden Gebäudes bei den heutigen Energiepreisen oft nicht wirtschaftlich, auch wenn – selbst unter Berücksichtigung der Vorleistungen in Form von grauer Energie – insgesamt eine erhebliche Primärenergie-Einsparung erzielt werden könnte.

Daneben führen Marktverzerrungen durch Steuern und Zölle teilweise sogar zu gänzlich falschen Anreizen. Dies gilt zum Beispiel für die Begünstigung des Flugverkehrs im Vergleich zum Landverkehr durch deutlich tiefere Preise für Flugzeugkraftstoffe. Beim Wandel zu erneuerbaren Energien gilt es deshalb, solche Fehlansätze zu vermeiden und diejenigen Energiesysteme auszuwählen, welche eine maximale Primärenergie-Effizienz erzielen.

Holzenergie muss mit maximaler Effizienz eingesetzt werden

Für die künftige Energieversorgung bieten sich verschiedene erneuerbare Energieträger an. Neben Wasserkraft stehen Energieholz, nicht-holzige Biomasse sowie Sonnenenergie, Erdwärme und Wind zur Verfügung. Unter diesen Energieträgern

weist Holz in vielen Ländern das größte kurzfristig realisierbare Potenzial auf.

Da eine hundertprozentig erneuerbare Energieversorgung in den nächsten Jahrzehnten jedoch nicht absehbar ist, und weil Holz zwar erneuerbar, jedoch nur beschränkt verfügbar ist, gilt es, auch Holz mit maximaler Effizienz zu nutzen. Bei der Sonnenenergie, welche die Energieversorgung theoretisch um ein Tausendfaches decken könnte, sind dagegen auch Systeme mit bescheidener Effizienz sinnvoll, sofern sie eine deutlich positive Energiebilanz über die Lebensdauer erreichen.

Kumulierter Energieaufwand und Energie-Erntefaktor

Zur Bewertung der Gesamteffizienz ist nicht nur der Umwandlungswirkungsgrad zum Beispiel einer Feuerungsanlage zu berücksichtigen, sondern es müssen alle Verluste der Versorgungskette berücksichtigt werden. Die entsprechende Methodik ist in [7] und [8] beschrieben. Anhand einer Lebenszyklusanalyse wird der kumulierte Primärenergieaufwand (KEA) bestimmt und als dimensionslose Größe (kea)

bezogen auf die Nutzenergie angegeben. Dessen Kehrwert beschreibt das Verhältnis zwischen erzeugter Nutzenergie und investierter Primärenergie und wird als Energie-Erntefaktor oder kurz Erntefaktor (EF) bezeichnet.

Die Berechnung dieser Kenngrößen erfolgt einmal unter Berücksichtigung aller Betriebsenergie und einmal unter Berücksichtigung lediglich der nicht erneuerbaren Betriebsenergie. Letzteres wird mit dem Index NE gekennzeichnet. Somit gilt:

- Erntefaktor $EF = \text{Nutzenergie} / \text{Primärenergie}$
- Erntefaktor $EF_{NE} = \text{Nutzenergie} / \text{nicht erneuerbare Primärenergie}$

Für alle Energieträger gilt die Bedingung $EF < 1$. Für nicht erneuerbare Energien gilt $EF_{NE} = EF$. Für erneuerbare Energieträger ist $EF_{NE} > EF$, wobei $EF_{NE} > 1$ möglich ist und als Ziel $EF_{NE} > 5$ anzustreben ist.

Für einen Vergleich von nicht erneuerbaren mit erneuerbaren Energieträgern

muss mit dem Erntefaktor EF_{NE} bewertet werden. Wenn dagegen zwei erneuerbare Versorgungsketten miteinander verglichen werden, sollte der Vergleich sowohl anhand von EF_{NE} als auch anhand von EF erfolgen, da ein System nur dann eindeutig besser ist, wenn beide Kennzahlen höher sind.

Bei der Anwendung für die Versorgungswege mit Energieholz zeigen diese Kenngrößen, dass Holzheizungen eine hohe energetische Wertschöpfung erreichen können.

Versorgungsketten mit Holzverbrennung

Zur Nutzung von Holz bieten sich einerseits dezentrale Heizsysteme an, wobei vor allem Stückholzheizungen und Holzpellet-Heizungen von Interesse sind. Zur Nutzung in größeren Anlagen kommen Heizanlagen zum Betrieb von Fernwärmenetzen sowie Anlagen zur Stromerzeugung oder Wärmekraftkopplung zum Einsatz. Die wichtigsten Nutzungsarten von Energieholz und ihre Energie-Erntefaktoren sind:

- dezentrale Systeme mit Stückholzheizung mit einem $EF_{NE} = 14$
- dezentrale Holzpellet-Heizung mit einem $EF_{NE} > 3$ (mit Heizöl getrocknet) bzw. $EF_{NE} > 8$ (erneuerbar getrocknet)
- zentrale Systeme mit Heizanlage für Fernwärme (Bild 1) mit $EF_{NE} > 9$
- Anlagen zur Stromerzeugung und Wärmekraftkopplung mit einem EF_{NE} von 10... 15

Bei einem Jahresnutzungsgrad von 80% – was für gute Anlagen möglich ist – erzielen Heizsysteme und Vergleichsszenarien die in Tabelle 1 sowie in Bild 2 und Bild 3 angegebenen Erntefaktoren.

Der Ersatz einer Ölheizung durch eine Holzheizung ermöglicht eine Reduktion an nicht erneuerbarer Primärenergie um rund 95%. Eine Holzschnitzelheizung mit Wärmenetz oder eine Zentralheizung mit ohne fossile Energie getrockneten Holzpellets erzielt rund 92% Einsparung an fossilen Ressourcen. Stromerzeugung und Wärmekraftkopplung mit Holz weisen ein noch höheres Potenzial auf, sofern Anlagen mit hohem Wirkungsgrad eingesetzt und die Elektrizität zum Antrieb moderner Wärmepumpen zum Ersatz von Öl-, Gas- und Elektroheizungen genutzt werden.

Einfluss des Anlagenwirkungsgrads

Der Erntefaktor einer Feuerungsanlage ist einerseits vom Anlagenwirkungsgrad abhängig. Als Folge der grauen Energie ist er immer tiefer als der Wirkungsgrad. Da verschiedene Energieversorgungsketten einen unterschiedlichen Bedarf an Vorleistungen verursachen, ist die Abhängigkeit des Erntefaktors vom Anlagen-

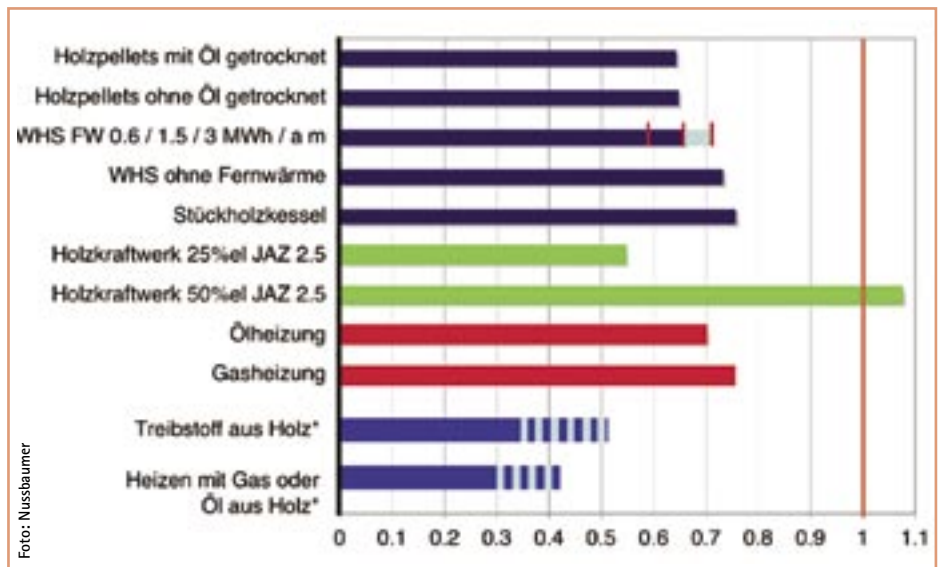


Bild 2 Energie-Erntefaktor EF nach Tabelle 1 für verschiedene Versorgungsketten mit Holz. (Die Angabe in MWh/(a·m) beschreibt die Anschlussdichte des Wärmenetzes; WHS: Waldhackschnitzel.) Für Treibstoff gilt Fußnote 2 in Tabelle 1.

wirkungsgrad und der Brennstoffart von Interesse. Bild 4 zeigt dazu den Einfluss des Jahresnutzungsgrads auf den kumulierten Energieaufwand. Daraus kann zum Beispiel abgelesen werden, dass folgende Szenarien eine identische Gesamteffizienz von $ke_a = 1,5$ entsprechend einem Erntefaktor $EF = 0,67$ aufweisen (Schnittpunkt der Linie $ke_a = 1,5$ mit dem jeweiligen Szenario):

- Stückholzkessel mit 70% Jahresnutzungsgrad
- Holzschnitzelfeuerung mit 72,5% Jahresnutzungsgrad
- Holzschnitzelfeuerung mit 81% Jahresnutzungsgrad und typischem Nahwärmenetz
- Pelletheizung mit 82,5% Jahresnutzungsgrad und mit Holzpellets aus mit Heizöl getrocknetem Sägemehl

Eine Heizzentrale mit Holzschnitzelfeuerung muss also an der Übergabestation an das Nahwärmenetz einen Jahresnutzungsgrad von 81% erzielen, um energetisch gleichwertig zu sein wie eine Stückholzheizung mit 70% Jahresnutzungsgrad. Im Fall des Stückholzkessels ist zu beachten, dass sobald ein Wärmespeicher notwendig ist, der Jahresnutzungsgrad nach dem Wärmespeicher 70% einzuhalten ist und der Wirkungsgrad des Kessels somit höher sein muss.

Der Zahlenvergleich zeigt, dass in der Praxis eine automatische Holzheizung ohne Wärmenetz die höchste energetische Wertschöpfung erwarten lässt, während eine Stückholzheizung mit Speicher, ein (guter) Nahwärmeverbund mit Holzheizung sowie eine Holzpellet-Heizung etwas niedrigere Werte auf ähnlichem Niveau erzielen können. Die verschiedenen Sorti-

Energieversorgungssystem	EF	EF_{NE}	PEV_{NE} in %	ΔPEV_{NE} in %
Stückholzheizung	0,76	14,0	5,0	95,0
Holzschnitzelheizung	0,73	13,0	5,4	94,6
Holzschnitzelheizung mit Wärmenetz	0,66	9,0	7,8	92,2
Holzpellets ohne fossile Energie zur Trocknung	0,65	8,3	8,4	91,6
Holzpellets aus mit Heizöl getrocknetem nassem Holz	0,64	3,3	21,2	78,8
Ölheizung mit Brennwertkessel	0,70	0,7	100,0	0
Stromerzeugung und Wärmekraftkopplung mit Holz (Strom 2,5-fach bewertet, was der Wärmeerzeugung mit Wärmepumpen entspricht)	0,55–1	10–15	5–7	93–95
Treibstoff aus Holz ^{**})	0,36–0,52			
Heizen mit Gas- oder Flüssig-Brennstoff aus Holz ^{**})	0,29–0,42			

^{*)} Für Wärme und Strom sind zudem der relative Verbrauch an nicht erneuerbarer Primärenergie PEV_{NE} im Vergleich zu einer Ölheizung sowie die erzielbare Einsparung ΔPEV_{NE} angegeben. Daten nach [7], außer für Ölheizung gemäß [6] sowie für Treibstoffe gemäß Abschätzung im Text.

^{**)} Die Zahlen für Treibstoff sind nicht direkt mit anderen Ketten vergleichbar, da Treibstoff als Sekundärenergie bewertet ist, während Wärme Nutzenergie darstellt. Aus diesem Grund erfolgt der Vergleich im Text über die Substitutionswirkung.

Tabelle 1 Energie-Erntefaktoren EF und EF_{NE} verschiedener Energieversorgungssysteme mit Holz bezogen auf den Heizwert^{*)}

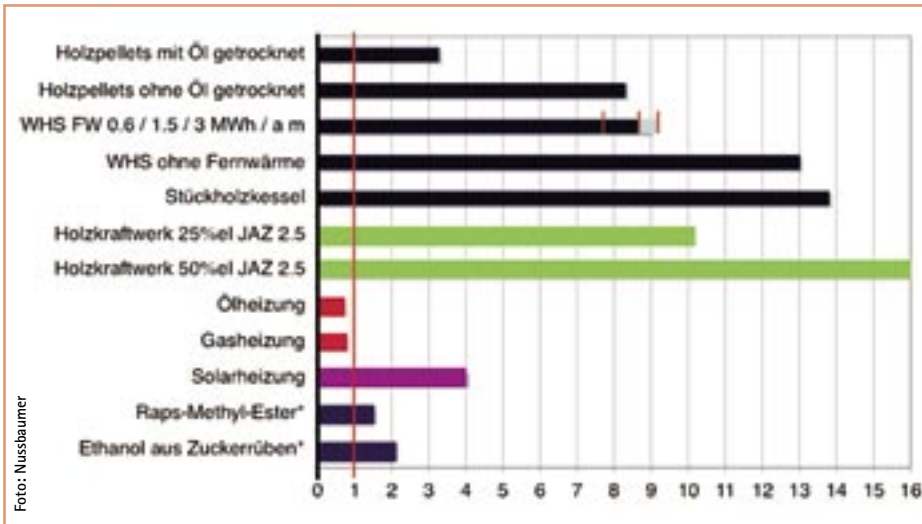


Bild 3 Energie-Erntefaktor EF_{NE} für verschiedene Versorgungsketten mit Holz. Für Treibstoff gilt Fußnote 2 in Tabelle 1. Daten für Holz nach [7], Daten für Öl- und Gasheizung nach [6], Daten für Solarheizung nach [10], Daten für Raps-Methyl-Ester nach [11], Daten für Ethanol nach [4]. (Die Angabe in MWh/(a·m) beschreibt die Anschlussdichte des Wärmenetzes; WHS: Waldhackschnitzel.)

mente an Energieholz ergänzen sich daher in geeigneter Weise und es zeigt sich keine eindeutige Präferenz eines Sortiments in Bezug auf die Ressourcenökonomie.

Einfluss der Brennstoff-Transportdistanz

Bild 5 zeigt den kumulierten Energieaufwand $ke_{a,NE}$ während der gesamten Lebensdauer in Abhängigkeit der Transportdistanz des Brennstoffs. Am Schnittpunkt der Szenarien mit dem y-Wert 1 kann abgelesen werden, dass die Energiebilanz von Holzpellets ab einer Transportdistanz auf der Straße von 4200 km negativ wird. Dies bedeutet, dass ab dieser Distanz der Heizwert des für den Lkw benötigten Dieseltreibstoffs größer ist als der (nach Abzug der Vorleistungen verbleibende) Heizwert der transportierten Holzpellets. Damit wäre der Transport energetisch unsinnig.

Für Holzhackschnitzel ist dieser Punkt wegen der geringeren Energiedichte bereits nach 1850 km erreicht. Diese Werte zeigen zum einen, dass der Transportaufwand bei einer regionalen Versorgung mit Distanzen von weniger als 50 km nur von untergeordneter Bedeutung ist und dabei alle Szenarien einen hohen Energie-Erntefaktor erzielen. Anhand der Schnittpunkte verschiedener Szenarien kann aber auch abgelesen werden, ab welcher Distanz sich der Energieaufwand für die Pelletherstellung lohnt. Holzpellets und Holzschmitzel zur Heizung ohne Wärmenetz weisen auf Basis des Heizwerts bei einer Transportdistanz von 821 km den gleichen Erntefaktor auf. Für kürzere Distanzen sind Holzschmitzel somit bei gleichem Jahresnutzungsgrad vorteilhaft. Wenn dagegen Pellets in Kleinf Feuerungen und Holzschmitzel für ein Nahwärmenetz eingesetzt werden, sind Holzschmitzel bis zu 607 km Distanz vorteilhaft.

Allerdings ist zu beachten, dass die erhöhte graue Energie der Holzpellets zum Großteil zur Trocknung des Rohmaterials dient. Da die Berechnungen gemäß Konvention im deutschsprachigen Raum auf Basis des Heizwerts ausgeführt sind, wird der Energiegewinn durch die Trocknung in der Rechnung nicht erfasst. Auf Brennwert-Basis ergeben sich wesentlich kürzere Transportdistanzen, ab der sich die Pellet herstellung lohnt. Deshalb ist die gezeigte Grafik vor allem qualitativ zu interpretieren und für konkrete Entscheidungen eine detaillierte Kalkulation notwendig.

Substitutionswirkung der Treibstoffherstellung

Die Herstellung von flüssigen oder gasförmigen Treibstoffen aus Holz ist mit

erheblichen zusätzlichen Umwandlungsverlusten verbunden. Da Transportenergie und Heizwärme nicht direkt vergleichbar sind, bietet sich ein Vergleich anhand der Substitutionswirkung der verschiedenen Szenarien – also Wärme und Strom aus Holz versus Treibstoff aus Holz – wie folgt an:

Da Stückholz und Holzschmitzel einen mit Heizöl und Erdgas vergleichbaren Energie-Erntefaktor EF aufweisen (nämlich rund 0,7), ersetzt eine Energieeinheit Holz gerade eine Energieeinheit Erdöl oder Erdgas: 1 MJ Heizwert in Form von Holz ersetzt 1 MJ Heizwert in Form von Heizöl oder Erdgas, wobei in beiden Fällen 1 MJ Primärenergie bewertet ist. Zur Abdeckung unserer Mobilitätsbedürfnisse steht somit beim Ersatz einer Öl- oder Gasheizung durch eine Holzheizung der eingesparte fossile Treibstoff im Verhältnis 1:1 zur Verfügung. Im Fall von Heizöl entspricht dies dem chemisch identischen Dieselöl, im Fall der Gasheizung dem als Motoren- oder Gasturbinen-Treibstoff nutzbaren Erdgas (also vorwiegend Methan).

Für die Treibstoffherzeugung aus Holz kommen vor allem zwei Umwandlungsverfahren in Frage. Zum einen die Pyrolyse zu einem Pyrolyseöl, welches nach einer Reinigung und Aufbereitung als Treibstoff für Dieselmotoren oder Gasturbinen dient. Zum andern die Vergasung von Holz zu einem Produktgas, welches zum Beispiel als Ausgangsstoff zur Fischer-Tropsch-Synthese von Diesel dient, der auch als Sun-Diesel oder BTL (Biomass to Liquid) bezeichnet wird.

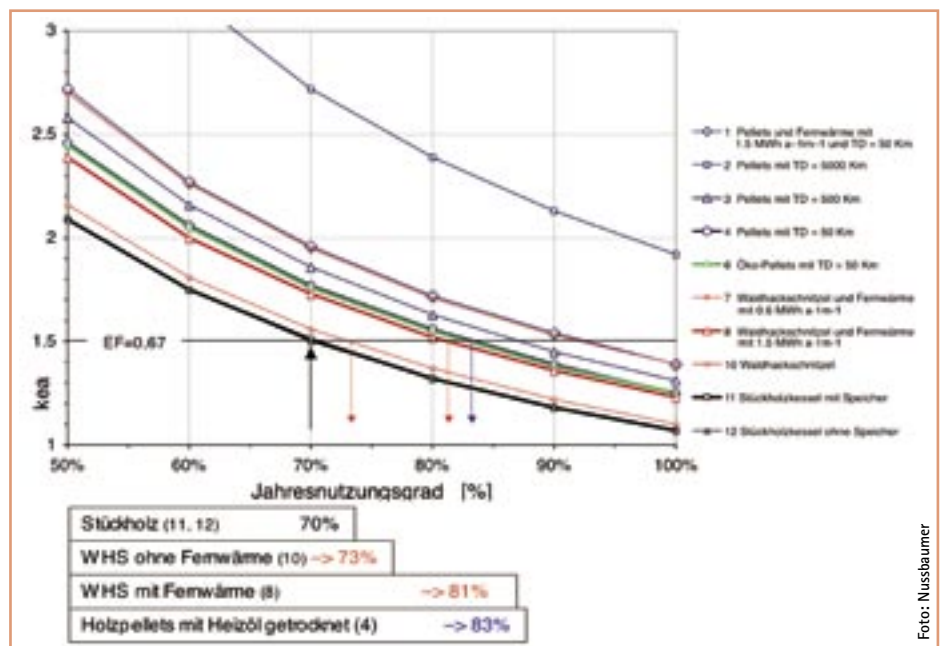


Bild 4 Spezifischer kumulierter Energieaufwand ke_a für Holzheizanlagen in Funktion des Jahresnutzungsgrads nach [7]. Elektrizität ist 2,5fach bewertet

Das Produktgas kann aber auch zur Synthese anderer Treibstoffe wie Methanol, Methan, Wasserstoff oder Benzin verwendet werden. Da die dazu notwendigen Verfahren zwar im Grundsatz bekannt, jedoch nicht im kommerziellen Einsatz sind, ist die Bestimmung des Erntefaktors mit einer größeren Unsicherheit behaftet als bei den Verfahren der Wärme- und Stromerzeugung. Für langfristige Technologie-Entscheidungen interessiert jedoch in erster Linie der unter optimalen Bedingungen erzielbare Erntefaktor, welcher aus den einzelnen Verfahrensschritten nachfolgend abgeschätzt wird.

Für die Holzgewinnung und den Transport ist mit einem Erntefaktor von maximal 0,95 (entsprechend der Stückholzkette), bei langen Transportdistanzen eher von rund 0,9 zu rechnen. Für die Umwandlung in flüssigen oder gasförmigen Treibstoff durch Pyrolyse und Pyrolyseöl-Veredelung oder durch Vergasung und Synthese des Produktgases in Treibstoff kann für eine Großanlage ein Erntefaktor von rund 0,4 bis maximal 0,55 erzielt werden, wie folgende Beispiele zeigen:

Die Pyrolyseöl-Ausbeute aus Holz erreicht voraussichtlich maximal 60% bezogen auf den Heizwert und ist noch mit einem anschließenden Umwandlungswirkungsgrad von rund 80 bis 90% für die Aufbereitung zu einem technisch nutzbaren Treibstoff verbunden. Durch Vergasung kann zwar ein höherer initialer Wirkungsgrad von rund 75% erreicht werden, für die anschließende Aufbereitung zu einem Treibstoff wie Methanol oder Methan ist aber mit einem Wirkungsgrad von lediglich rund 65 bis 75% zu rechnen. In beiden Fällen ist noch die graue Energie zum Bau der Anlage zu berücksichtigen, so dass insgesamt ein Energie-Erntefaktor vom Holz zum Treibstoff von rund 0,4 bis maximal 0,55 resultiert.

Unter Berücksichtigung der Holzgewinnung kann somit unter günstigen Bedingungen ein Erntefaktor vom Holz im Wald zum Treibstoff ab Anlage von rund 0,36 bis 0,52 erreicht werden. Wird damit im heutigen Energiesystem fossiler Treibstoff substituiert (also wie bei der Holzheizung Erdöl oder Erdgas), ist dieser Erntefaktor demjenigen der Holzheizung von rund 0,7 gegenüber zu stellen.

Wird aus Holz hergestellter Treibstoff zum Heizen eingesetzt (zum Beispiel mittels über das Gasnetz verteiltes Methan), vermindert sich der Erntefaktor noch um den Jahresnutzungsgrad der Heizung von 0,8 bis 0,9, so dass unter Berücksichtigung der grauen Energie ein Erntefaktor von weniger als 0,29 bis 0,42 resultiert.

Vergleich von Wärme und Strom mit Treibstoff

Der Vergleich zeigt, dass der Einsatz von Treibstoffen aus Holz im Verkehr lediglich 50 bis 75% der Substitutionswirkung einer Holzheizung erzielt. Wenn aus Holz hergestellter Gas- oder Flüssig-Brennstoff zum Heizen eingesetzt wird, resultiert ein noch geringerer Substitutionseffekt. Für gleiche Wirkung muss über die Treibstoffherstellung somit mindestens die 1,5fache Menge Holz genutzt werden. Umgekehrt erzielt eine Holzheizung einen 35 bis 95% höheren Substitutionseffekt als die Treibstoffsynthese aus Holz.

Ähnliche Resultate gehen aus Ökobilanzen für die CO₂-Einsparung hervor [5]. Im Weiteren zeigen auch so genannte Well-to-wheel-Analysen für die Treibstoffherstellung aus Biomasse wenig versprechende Resultate [3]. Obwohl die Treibstoffsynthese aufwendiger ist und zentrale Großanlagen voraussetzt,

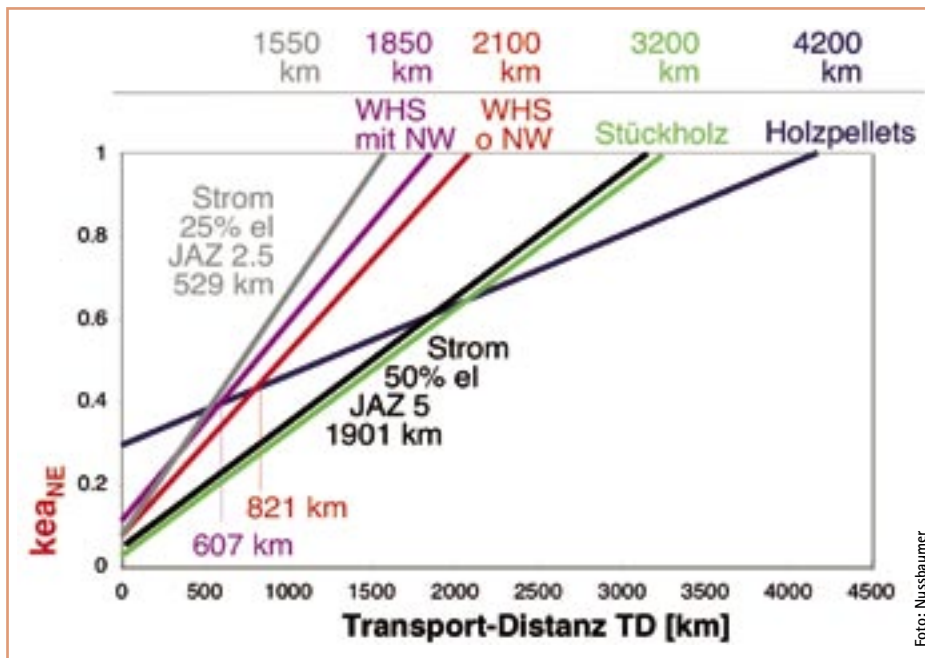


Bild 5 Nicht erneuerbarer spezifischer kumulierter Energieaufwand ke_{NE} als Funktion der Transportdistanz (TD) für verschiedene Versorgungsketten mit Energieholz nach [7]. Fahrdistanz = 2 TD (leere Rückfahrt). Für die Stromerzeugung sind elektrische Kraftwerkwirkungsgrade von 25 und 50% berücksichtigt und die Elektrizität ist mit der angegebenen JAZ von 2,5 und 5 bewertet. (WHS: Waldhackschnitzel, NW: Nahwärme, JAZ: Jahresarbeitszahl einer Wärmepumpe)

ist ihr potenzieller Beitrag zur Energieversorgung geringer als durch Verwendung der gleichen Holzmenge zur Wärme- und Stromerzeugung. Aus Sicht der Ressourcenökonomie ist die Treibstoffherstellung deshalb nicht zu rechtfertigen.

Gleiche Förderbedingungen für erneuerbare Energieträger

Heutige Ziele der Klimapolitik können nur mit rationellem Energieeinsatz und einer vermehrten Nutzung erneuerbarer Energieträger erreicht werden. Als Ansporn dazu sind im heutigen Umfeld Fördermaßnahmen notwendig. Um sicher zu stellen, dass die erneuerbaren Energien einen maximalen Beitrag zur Energieversorgung erzielen, sollten solche Maßnahmen jedoch nicht zu einer Wettbewerbsverzerrung unter den Nutzungsarten eines Energieträgers führen.

Dies ist jedoch gerade dann der Fall, wenn aus Holz hergestellte Treibstoffe von der Mineralölsteuer befreit werden, da zu Heizzwecken eingesetzte fossile Brennstoffe nicht der Mineralölsteuer unterstehen. Die Substitution von 1 Liter Diesel durch Holz-Treibstoff erzielt so eine viel höhere Wertschöpfung als die Substitution von 1 Liter chemisch identischem

Heizöl durch Holz. Da dies dem Gebot der Ressourcenökonomie widerspricht, ist eine Mineralölsteuer-Befreiung von Treibstoff aus Holz deshalb fragwürdig, wenn nicht Wärme und Strom sowie konsequenterweise auch Produkte aus Holz zu gleichwertigen Bedingungen finanziell gefördert werden.

Emissionsminderung bei Wärme und Strom aus Holz

Die Holzenergie kann zum Beispiel in der Schweiz bei einer nachhaltigen Nutzung der Wälder noch mindestens verdoppelt werden, so dass der Beitrag zur Energieversorgung mehr als 5% betragen könnte. Während die Situation in Deutschland vergleichbar ist, kann die Holzenergie in waldreichen Ländern mit geringerer Bevölkerungsdichte einen noch viel größeren Beitrag leisten. Dies gilt beispielsweise für Österreich und Skandinavien.

Heutige Holzheizungen weisen allerdings vergleichsweise hohe Schadstoffemissionen auf, wobei insbesondere Feinstaub und Stickoxide (NO_x) von Bedeutung sind. Die Umweltbelastung von Holzheizungen wird deshalb durch diese zwei Schadstoffe dominiert, weshalb für einen vermehrten Einsatz von Energieholz Maßnahmen zur Emissionsminderung prioritär sind.

In verschiedenen Forschungsprojekten wurden in den vergangenen Jahren Techniken zur Emissionsminderung entwickelt, die eine Schadstoffreduktion zwischen 50% und teilweise bis zu über

90% erzielen. Es gilt nun, diese Techniken in die Praxis umzusetzen, was mit gezielten Maßnahmen unterstützt werden kann. Wenn damit das Verbesserungspotenzial ausgeschöpft wird und ältere Anlagen nachgerüstet oder ersetzt werden, können die Gesamtemissionen der Holzenergie selbst bei einer Verdopplung des Energieholzverbrauchs reduziert werden. Moderne Anlagen zur Wärme- und Stromerzeugung können dann zu den Klimazielen beitragen und gleichzeitig die Umweltbelastung durch Schadstoffe vermindern.

Kombination von Holz und fossilen Brennstoffen

Konventionelle Anlagen zur Stromerzeugung aus festen Brennstoffen basieren auf einer Verbrennungsanlage mit nachgeschaltetem Dampfprozess. Der Wirkungsgrad solcher Anlagen weist systembedingt eine starke Abhängigkeit von der Anlagengröße auf. Während Kleinanlagen unter $1 MW_{el}$ kaum mehr als 10% elektrischen Wirkungsgrad erreichen (und somit nur wärmegeführt betrieben werden sollten), erreichen zum Beispiel Kohlekraftwerke mit mehreren $100 MW_{el}$ elektrische Wirkungsgrade von 40% und darüber.

Anlagen dieser Größe können aber kaum allein mit Holz befeuert werden. Dagegen bietet es sich an, biogene Brennstoffe in Kohlekraftwerken zuzufeuern, um damit typischerweise 5 bis 15% der fossilen Brennstoffe zu ersetzen. Da der Wirkungsgrad der Holznutzung auch unter Berücksichtigung des zusätzlichen Aufbereitungsaufwands höher ist als in einem separaten Holzkraftwerk, ist die Zufeuerung sinnvoll, solange fossile Kraftwerke im Einsatz sind.

Neben der heute bereits etablierten Zufeuerung in Kohlekraftwerken bietet sich auch die Zufeuerung in mit Erdgas befeuerten Kombikraftwerken an. Dabei könnte ein Teil der Kraftwerksleistung durch Holzgas abgedeckt werden, welches in einer großtechnischen Holzvergasungsanlage erzeugt wird. Damit könnte der derzeit höchstmögliche Wirkungsgrad zur Stromerzeugung aus Holz erzielt werden: Bei einem Wirkungsgrad des Gaskraftwerks von rund 60% und Verlusten zur Umwandlung von Holz zu Holzgas von rund 25% ist für Holz ein Stromerzeugungswirkungsgrad von bis zu 45% möglich. Die Technologie für entsprechende Anlagen ist im Grundsatz bekannt und wurde in rein mit Holz betriebenen Demonstrationsanlagen umgesetzt. Die energetisch besonders interessante Angliederung an ein Gaskraftwerk wurde dagegen noch nicht realisiert.

Beide Varianten der Zufeuerung von Holz in fossilen Kraftwerken bieten den Vorteil, dass dank der Anlagengröße eine hochwirksame Abgasreinigung zur Anwendung kommt und somit in der Regel tiefere Reingaswerte an kritischen Schadstoffen wie Feinstaub, Stickoxiden und polychlorierten Dioxinen und Furanen erreicht werden. Daneben bieten Großanlagen die Möglichkeit, minderwertige Energieholzsortimente wie Altholz oder andere in konventionellen Holzheizungen nicht verwertbare Sortimente einzusetzen.

Treibstoffherstellung aus Holz verschwendet Ressourcen

Die Bewertung zeigt, dass die Wärme- und Stromerzeugung aus Holz einen hohen Substitutionseffekt für fossile Energieträger erzielt. Wird Holz dagegen zu Treibstoff umgewandelt, führen die zusätzlichen Umwandlungsverluste zu einer verminderten Primärenergie-Effizienz. Mit Treibstoff aus Holz wird nur ein geringerer Beitrag zur Energieversorgung sowie zur Substitution fossiler Ressourcen erreicht, weshalb Wärme- und Stromerzeugung aus Holz der Treibstoffherstellung vorzuziehen sind.

Dies gilt so lange, wie im betrachteten System vorwiegend Erdöl und Erdgas zur Wärmeerzeugung eingesetzt werden, was noch für mehrere Jahrzehnte zutreffen wird. Denn: Während 1 MJ Heizwert an Holz bei der Wärmeerzeugung 1 MJ Heizwert an fossiler Primärenergie substituiert, ersetzt die gleiche Menge Holz nach Umwandlung zu Treibstoff nur noch 0,5 MJ bis maximal 0,75 MJ fossiler Primärenergie.

Die Treibstoffherstellung aus Holz ist deshalb aus Sicht der Ressourcenökonomie nicht zu rechtfertigen. Die Wärme- und Stromerzeugung in effizienten Anlagen kann einen höheren Beitrag zur Substitution fossiler Ressourcen leisten. Weitere Entwicklungen sollten deshalb prioritär das Ziel verfolgen, die Umweltbelastung der Holzenergieanlagen durch Feinstaub und Stickoxide zu vermindern sowie die Effizienz der Verwertungsketten zu erhöhen.

Eine sinnvolle Option ist daneben auch die Zufeuerung von Energieholz in fossilen Kraftwerken. Neben der heute bereits bekannten Zufeuerung in Kohlekraftwerken bietet die großtechnische Holzvergasung die Möglichkeit zur Einspeisung des Holzgases in Erdgaskraftwerken, womit die derzeit höchstmöglichen elektrischen Wirkungsgrade zur Stromerzeugung aus Holz erzielt werden könnten. ←

Die Studien, auf denen dieser Artikel basiert, wurden im Auftrag der Internationalen Energie Agentur (IEA) sowie des Bundesamts für Energie (BFE, Schweiz) durchgeführt.

Literatur

- [1] Campbell C. J., Laherrère J. H.: The end of cheap oil. Scientific American, March 1998
- [2] Campbell, C. J.: The Coming Oil Crisis. Multi-Science Publishing Co. & Petroconsultants, 1997
- [3] Edwards, R.: Well-to-wheels analysis of biofuels, 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. Rome: 10–14 May 2004, Presentation PD 2.4
- [4] Hartmann, H.; Kaltschmitt, M. (Eds.): Biomasse als erneuerbarer Energieträger. Münster: Landwirtschafts-Verlag, 2002
- [5] Jungmeier, G., Canella, L.: Greenhouse Gas Emissions of Energy Systems with Bio-oil, Science in Thermal and Chemical Biomass Conversion, Victoria, BC, Canada, 2004 (in press)
- [6] Kessler, F.; Knechtle, N.; Frischknecht, R.: Heizenergie aus Heizöl, Erdgas oder Holz, Schriftenreihe Umwelt Nr. 315. Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, 2000
- [7] Nussbaumer, T., Oser, M.: Evaluation of Biomass Combustion based Energy Systems, International Energy Agency (IEA), 2004, ISBN 3-908705-07-X. Download: www.ieabcc.nl oder www.verenum.ch
- [8] Nussbaumer, T.: Erntefaktor von Energiesystemen mit Holzverbrennung, 8. Holzenergie-Symposium. Bern: Bundesamt für Energie, 2004, ISBN 3-908705-10-X
- [9] Rechsteiner, R.: Grün gewinnt, Orell Füssli 2003, ISBN 3-280-05054-5
- [10] Sterkele, U.: Alternativenergie im Kosten- und Ökovergleich. Spektrum der Gebäudetechnik, 5-2001
- [11] Studer, R.; Wolfensberger, U.: Energie- und CO₂-Bilanzen über den Alternativ-Treibstoff Biodiesel, Landwirtschaft Schweiz, 4 (12), 1991

PD Dr. Thomas Nussbaumer ist Privatdozent an der ETH Zürich, Inhaber des Ingenieurbüros Verenum, Vizepräsident von Holzenergie Schweiz und Vertreter des Bundesamts für Energie in der Internationalen Energie Agentur IEA, E-Mail: thomas.nussbaumer@verenum.ch, www.verenum.ch

