

ENERGIEHOLZNUTZUNG – TRANSFORMATION BIS 2050

Die Energieholznutzung wurde in den letzten 30 Jahren um mehr als 50% erhöht. Dies ermöglichte die Realisierung von unterdessen rund 800 thermischen Netzen. Da das Holzpotenzial begrenzt ist, sollte Energieholz in Zukunft jedoch nicht mehr für ganzjährige Gebäudewärme genutzt, sondern für höherwertige Anwendungen eingesetzt werden. Den grössten Beitrag zur Energieversorgung kann Energieholz erzielen, wenn es für Prozesswärme und als Saisonspeicher für Spitzenlast-Gebäudewärme im Winter eingesetzt wird.

*Thomas Nussbaumer,
Verenum AG und Hochschule Luzern*

RÉSUMÉ

UTILISATION DU BOIS-ÉNERGIE D'ICI 2050

Depuis 1990, l'utilisation du bois-énergie s'est fortement développée dans les chauffages automatiques au bois pour les consommateurs individuels et pour l'approvisionnement d'environ 800 réseaux thermiques. Jusqu'à présent, le bois-énergie est principalement utilisé pour le chauffage des bâtiments. Il existe toutefois une demande pour la chaleur de processus, le couplage chaleur-force, les carburants et le charbon végétal. Comme la quantité de bois renouvelable est limitée, les besoins en bois pour remplacer les combustibles fossiles dépassent de plusieurs fois le potentiel du bois énergie. Pour l'avenir, le bois-énergie devrait donc être utilisé de manière à apporter une contribution maximale à notre approvisionnement énergétique. Le travail présenté décrit ainsi l'efficacité des ressources des filières de valorisation du bois énergie. La comparaison montre qu'à l'avenir, le bois-énergie devrait être utilisé en priorité pour la chaleur de processus et pour le chauffage des bâtiments en période de pointe, car ce sont ces applications qui présentent le plus grand avantage pour le système énergétique. En outre, le couplage chaleur-force avec le bois peut soutenir l'approvisionnement en électricité en hiver. En revanche, d'autres utilisations ne sont pas judicieuses.

EINLEITUNG

Um eine hohe Wertschöpfung zu erzielen, wird Holz entlang einer Kaskade zuerst als Rohstoff genutzt, bei der Energieholz als Nebenprodukt anfällt. Energieholz umfasst Stückholz, Waldhackschnitzel, Restholz, Holzpellets und Altholz und kommt heute vor allem für Gebäudewärme zum Einsatz. Daneben besteht ein Bedarf an Prozesswärme, Wärme-Kraft-Kopplung, Treibstoffen und Pflanzkohle. Der Gesamtbedarf wird die begrenzt nachwachsende Holzmenge künftig um ein Mehrfaches übersteigen. Deshalb gilt für die Zukunft, Energieholz so zu nutzen, dass es einen maximalen Beitrag zur Energieversorgung leistet. Der im Auftrag des Bundesamts für Umwelt und mit Begleitung des Bundesamts für Energie erarbeitete Beitrag [1] vergleicht dazu die Ressourceneffizienz verschiedener Verwertungspfade.

ENERGIEHOLZNUTZUNG UND -POTENZIAL

Der Zubau der Holzenergie erfolgte seit 1990 hauptsächlich über automatische Holzheizungen für einzelne Verbraucher und thermische Netze. Im Jahr 2021 wurden von den 1068 thermischen Netzen in der Schweiz 773 mit Energieholz versorgt [2]. Der aktuelle Energieholzverbrauch beträgt rund

Kontakt: thomas.nussbaumer@verenum.ch

5,8 Mio. m³/a [3–6], was bei einem Heizwert von 2,74 MWh/m³ rund 16 TWh/a an Endenergie entspricht [1]. Der Verbrauch verteilt sich auf 2,6 TWh/a Prozesswärme, 11,8 TWh/a reine Gebäudewärme und 2,4 TWh/a Wärme-Kraft-Kopplung, wovon 0,8 TWh/a der Gebäudewärme angerechnet werden.

Das sicher nutzbare Energieholzpotenzial wird auf 7,3 Mio. m³/a oder 20 TWh/a geschätzt, was einer Zunahme um 25% entspricht. Das theoretische Potenzial an Waldholz wird auf 10,7 Mio. m³/a geschätzt, was rund dem Doppelten der Holzernte und einer theoretischen Zunahme von Energieholz um 70% entspricht [7]. Vorliegend wird als Basisfall von einem Potenzial von 20 TWh/a ausgegangen. Szenarien für 25 TWh/a und 29 TWh/a sind in [1] beschrieben.

ENERGIEBEDARF

Der Endenergieverbrauch der Schweiz beträgt 210 TWh/a. Rund 123 TWh/a oder 59% werden mit Erdöl und Erdgas gedeckt

[6]; zur Substitution werden sie wie folgt unterteilt:

Einfach substituierbare Anwendungen

Zu den Anwendungsbereichen, die einfach und ökonomisch mit Solar-, Wind- und Wasserkraft substituierbar sind, gehören:

- Gebäudewärme (mit Wärmepumpen)
- Boden- und Binnenschiffverkehr (durch Elektromobilität). Dazu ist ein Zubau an Solar- und Windkraft sowie an Energiespeicherung notwendig.

Bedingt substituierbare Anwendungen

Zu den Anwendungen, die durch Solar- und Windstrom nur bedingt substituiert werden können, gehören:

- Prozesswärme über 100 °C
- Spitzenlast-Gebäudewärme im Winter
- Flugtreibstoffe: Dazu können Biotreibstoffe in Form von Biomass-to-Liquids (BtL) produziert werden. Eine Alternative ist die Produktion von Pflanzenkohle aus Holz, die nicht zum Grillieren

oder zur Eisenherstellung [8], sondern zum Beispiel als Bodenverbesserer und Kohlenstoffsenke eingesetzt wird [9], sodass für Netto-Null-Treibhausgasemissionen eine äquivalente Menge fossiler Treibstoffe genutzt werden kann.

Evaluation

Zur Evaluation wird der Energieverbrauch wie folgt unterteilt [1]:

- Die Mobilität nutzt 120 TWh/a fossile Energie. Davon sind 92 TWh/a durch Elektrizität ersetzbar, 28 TWh/a entfallen auf Flugtreibstoffe.
- Der Wärmeverbrauch macht 105 TWh/a aus, davon 15 TWh/a für fossile Prozesswärme, 79 TWh/a für Gebäude.
- Bis 2050 wird für Gebäude eine Reduktion auf 39 TWh/a erwartet [10]. Dieser Bedarf kann durch eine Kombination von Holzheizungen und mit Solarstrom betriebenen Wärmepumpen gedeckt werden. Wenn 50% der geeigneten Dachflächen über PV-Anlagen verfügen, können damit 74% des Jahresbedarfs gedeckt werden. Die restlichen 26% können mit 10 TWh/a Energieholz gedeckt werden, das während rund zehn Wochen Spitzenlastwärme im Winter liefert [10].

VERWERTUNGSPFADE

Tabelle 1 beschreibt die Verwertungspfade für Energieholz. Zur Bewertung wird die Energieform analog zur Energieförderungsverordnung (EnFV) berücksichtigt, die Elektrizität von WKK-Anlagen mit dem 1,75-Fachen der Nutzwärme gewichtet [12]. Vorliegend wird für Elektrizität ein Gewichtungsfaktor von 2 angenommen. Da Treibstoffe wie Elektrizität praktisch 100% Exergie entsprechen, Prozesswärme über 100 °C mit Elektrizität oder Brennstoffen erzeugt wird und für Spitzenlast-Gebäudewärme ein lagerfähiger Brennstoff notwendig ist, werden auch diese Energieformen mit dem Faktor 2 gewichtet.

Für Pflanzenkohle erfolgt ein Vergleich über die Annahme der Sequestrierung mit einer im Gegenzug möglichen Nutzung fossiler Flugtreibstoffe. Nach [9] kann für Pflanzenkohle eine Senkenleistung von rund 2,47 kg CO₂ pro kg Trockensubstanz abgeleitet werden. Mit Berücksichtigung eines Heizwerts von 31 MJ/kg [8] entspricht dies einem CO₂-Emissionsfaktor für sequestrierte Pflan-

Nutzung	Zweck
Prozesswärme a) indirekt durch Holzvergasung b) direkte Verbrennung von Holz	Substitution fossiler Brennstoffe für Prozesswärme ab 100 °C a) z. B. Ersatz von Erdgas durch Holzgas in der Glasproduktion b) z. B. Dampferzeugung oder Ersatz von Kohle in Zementöfen
Gebäudewärme mit Holz als Hauptenergie	Substitution fossiler Brennstoffe
Gebäudewärme Spitzenlast in Kombination mit Wärmepumpen, die mit Solarstrom betrieben werden	– Substitution fossiler Brennstoffe – Substitution von anderem erneuerbarem Winterstrom – Saisonspeicherung von Wärme oder Elektrizität (z. B. anstelle von Power-to-Gas)
Wärme und Strom (WKK)	
Treibstoff aus Holz	Substitution fossiler Flugtreibstoffe, z. B. durch BtL
Pflanzenkohle (PK) aus Holz a) für Grillkohle b) zur Sequestrierung	a) PK dient als Substitut für importierte Grillkohle, die hohe Umweltzerstörungen verursacht [11]. b) PK dient als Kohlenstoffsenke, was für Netto-Null die Nutzung einer äquivalenten Menge fossiler Flugtreibstoffe ermöglicht.

Tab. 1 Verwertungspfade von Energieholz.

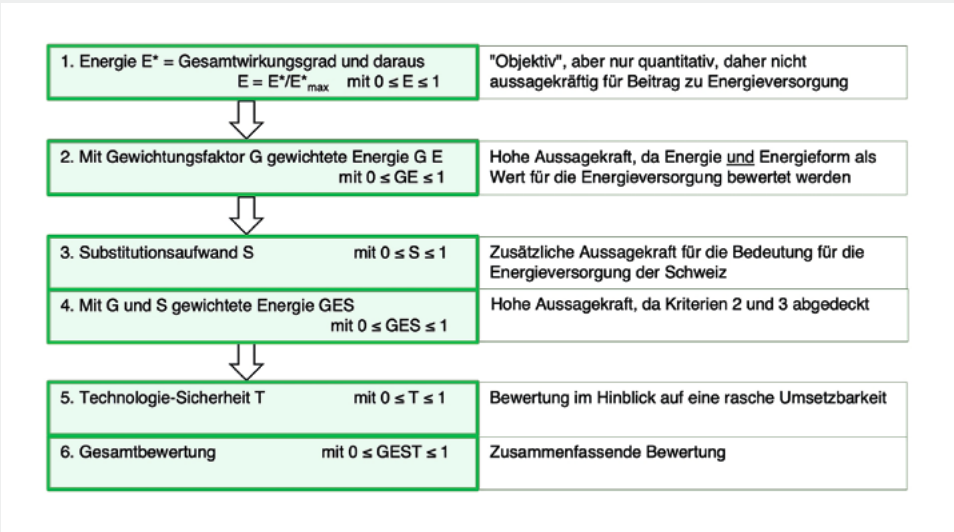


Fig. 1 Vorgehen zur Bewertung der Verwertungspfade nach den Kriterien 1 bis 6.

zenkohle von -74t/TJ [1]. Dies entspricht mengenmässig ungefähr dem CO₂-Emissionsfaktor für Kerosin von 72,8t/TJ [13]. Die Sequestrierung von 1 MJ an Pflanzenkohle erlaubt damit die Nutzung von 1 MJ an fossilem Kerosin mit Netto-Null-CO₂-Emissionen, weshalb auch für Pflanzenkohle aus Holz ein Gewichtungsfaktor von 2 angenommen wird.

PRIORITÄTEN

Die Priorisierung der Verwertungspfade erfolgt nach *Figur 1* anhand folgender Kriterien:

Energie E

Vorab wird der Gesamtwirkungsgrad E* bestimmt und daraus ein relativer Wert $E = E^*/E^*_{\max}$ abgeleitet, wobei E*_{max} dem höchsten Wert von E* entspricht. Damit resultiert eine Rangfolge $0 \leq E \leq 1$ zur Priorisierung z.B. mit $E > 0,9$ für Prio 1.

Gewichtete Energie GE

Die Energieformen werden gewichtet mit $G^* = 1$ für Gebäuwärme und $G^* = 2$ für Elektrizität, Treibstoff, Pflanzenkohle und Spitzenlast-Gebäuwärme. Mit E* und G* wird das Produkt G^*E^* gebildet und der relative Wert $0 \leq GE \leq 1$ bestimmt.

Substitutionsaufwand S

Dieser wird mit S* gewichtet. Ein hoher Wert bedeutet, dass eine Substitution aufwendig ist. Für Prozesswärme, Treibstoff und Pflanzenkohle gilt $S^* = 100\%$. Für Gebäuwärme gilt $S^* = 20\%$. Für Elektrizität wird $S^* = 80\%$ eingesetzt, da diese durch Solar- und Windenergie erzeugt werden kann. Durch Multiplikation von S* mit E* wird ein Total gebildet und daraus ein Wert $0 \leq S \leq 1$ bestimmt.

Gewichtete Energie und Substitutionsaufwand = GES

Aus GE und S wird das Produkt (GES)* und daraus der relative Wert GES bestimmt.

Technologie T

Mit T wird die technologische Reife berücksichtigt mit $T = 1$ für direkte Prozesswärme, Gebäuwärme und Spitzenlast-Gebäuwärme. Da die Vergasung für neue Anwendungen unsicher ist, gilt für indirekte Prozesswärme $T = 0,75$. Treibstoff aus Holz und Pflanzenkohle weisen hohe Unsicherheiten auf und werden mit $T = 0,5$ bewertet.

Kriterium	1				2				3				4				5				6			
	Energieanteil der Produkte E*				Gewichtungsfaktor G*				Substitutionsaufwand S*				GE				Technik T				GES			
Verwertungspfad	Wärme	Strom	Treibstoff	Pflanzenkohle	Total E*	Wärme	Strom	Treibstoff	Pflanzenkohle	G* E*	Relativer Wert	Wärme	Strom	Treibstoff	Pflanzenkohle	Total S*	GE	S	GES*	Relativer Wert	GES	T	Produkt (GES)*	Relativer Wert
Prozesswärme Holzgas	65%				65%	65%				1,30	0,81	100%					0,65	0,81	0,66	0,66	0,66	0,75	0,50	0,50
Prozesswärme Direkt	80%				80%	80%				1,60	1	100%					0,80	1	1,00	1	1,00	1,00	1,00	1
Gebäuwärme	80%				80%	80%				0,80	0,50	20%					0,16	0,20	0,10	0,10	0,10	1,00	0,10	0,10
Gebäuwärme Spitzenlast	80%				80%	80%				1,60	1,00	80%					0,64	0,80	0,80	0,80	0,80	1,00	0,80	0,80
WKK Minimum	50%	20%			70%	0,88				0,90	0,56	20%					0,26	0,33	0,18	0,18	0,18	1,00	0,18	0,18
WKK Mittel	50%	30%			80%	1,00				1,10	0,69	20%					0,34	0,43	0,29	0,29	0,29	1,00	0,29	0,29
WKK Maximum	40%	40%			80%	1,00				1,20	0,75	20%					0,40	0,50	0,38	0,38	0,38	1,00	0,38	0,38
Treibstoff Minimum			40%		40%	0,50				0,80	0,50			100%			0,40	0,50	0,25	0,25	0,25	0,50	0,13	0,13
Treibstoff Mittel			45%		45%	0,56				0,90	0,56			100%			0,45	0,56	0,32	0,32	0,32	0,50	0,16	0,16
Treibstoff Maximum			50%		50%	0,63				1,00	0,63			100%			0,50	0,63	0,39	0,39	0,39	0,50	0,20	0,20
Pflanzenkohle Minimum	25%			25%	50%	0,63				0,75	0,47	20%			100%		0,30	0,38	0,18	0,18	0,18	0,50	0,09	0,09
Pflanzenkohle Mittel	25%			35%	60%	0,75				0,95	0,59	20%			100%		0,40	0,50	0,30	0,30	0,30	0,50	0,15	0,15
Pflanzenkohle Maximum	20%			45%	65%	0,81				1,10	0,69	20%			100%		0,49	0,61	0,42	0,42	0,42	0,50	0,21	0,21

Fig. 2 Bewertung der Verwertungspfade.

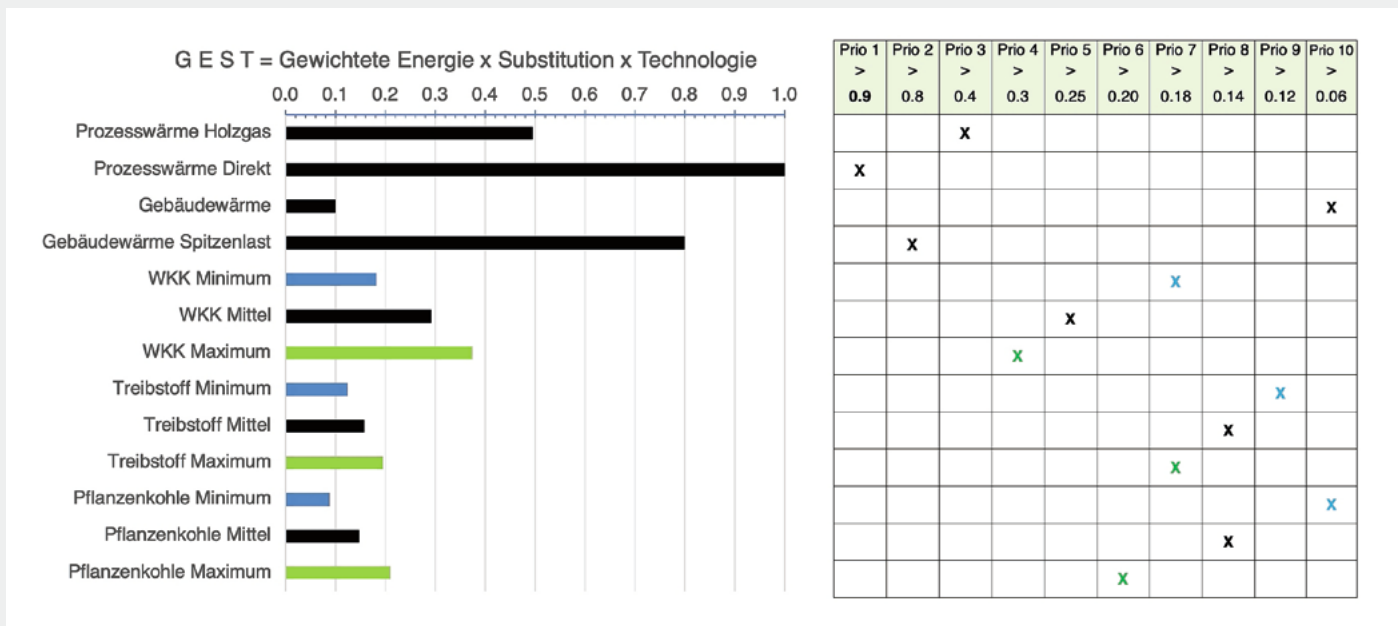


Fig. 3 Resultate der Gesamtbewertung GEST aus gewichteter Energie, Substitutionsaufwand und Technologie-Reife.

Gesamtbewertung GEST

Mit dem Produkt (GEST)* werden alle Kriterien abgedeckt und die relative Gesamtbewertung GEST abgeleitet.

Für die Umwandlungswirkungsgrade werden Erwartungswerte eingesetzt und für WKK, Treibstoff und Pflanzkohle drei Niveaus ausgewiesen. Die Werte beruhen auf Literaturdaten und Schätzungen [1]. Figur 2 zeigt die Bewertung nach den Kriterien 1 bis 6. Figur 3 illustriert die Gesamtbewertung mit folgenden Trends:

Das Kriterium 1 der Energie E zeigt den hohen Gesamtwirkungsgrad von Gebäudewärme und WKK. Diese Bewertung ist einfach verständlich, aber ungeeignet zur Beurteilung des Beitrags des begrenzt verfügbaren Energieholzes zur Energieversorgung.

Die Gesamtbewertung 6 nach GEST zeigt, dass Prozesswärme und Spitzenlast-Gebäudewärme hohe Priorität aufweisen, wobei die direkte Prozesswärme vor der indirekten zu favorisieren ist. Gebäudewärme als Hauptenergie erreicht eine sehr niedrige Priorität; WKK und Treibstoff aus Holz und Pflanzkohle liegen dazwischen – dank etabliertem Stand der Technik erzielt WKK eine höhere Priorität als Treibstoffe und Pflanzkohle.

SZENARIEN

Die Verwertungspfade werden wie folgt für die in Figur 4 beschriebenen Szenarien berücksichtigt:

- Prio-1-Anwendungen sind Prozesswärme (zuerst direkt und danach indirekt) und Spitzenlast-Gebäudewärme mit 26% Energieholz in Kombination mit Wärmepumpen, die mit einer Jahresarbeitszahl von 4,0 mit Solarstrom betrieben werden und den Rest decken [10].
- Bei Prio-2-Anwendungen wird Energieholz zu gleichen Teilen für BtL und Pflanzkohle genutzt, bis die heutigen 28 TWh/a Flugtreibstoff ersetzt sind. Für Flugtreibstoff folgt mit 50% Wirkungsgrad zur Herstellung von BtL oder Pflanzkohle ein Energieholzbedarf von 56 TWh/a. Zusätzlich wird für WKK eine Holznutzung entsprechend 50% der heutigen Flugtreibstoffe angenommen. Da dabei die initiale Umwandlung entfällt, entspricht dies 14 TWh/a Energieholz.
- Energieholz für ganzjährige Gebäudewärme wird als Prio-3-Anwendung berücksichtigt. Dieser Bedarf wird durch mit Energieholz erzeugte Spitzenlast-Gebäudewärme schrittweise reduziert.

Als weitere Annahmen dienen für das Jahr 2020 ein Gebäudewärmebedarf von 79 TWh/a und ein Endenergieverbrauch von 210 TWh/a, wovon 123 TWh/a fossil und potenziell durch Energieholz zu ersetzen sind. Für 2050 wird von 39 TWh/a Gebäudewärme ausgegangen, sodass der Endverbrauch auf 170 TWh/a sinkt und noch 83 TWh/a fossile Energien zu substituieren sind. Figur 5 und 6 zeigen damit folgende Trends [1]:

- Die heutige Energieholznutzung von 16 TWh/a entspricht 7,6% des Endverbrauchs. Bei reduziertem Wärmeverbrauch der Gebäude steigt der Anteil auf 9,4%.
- Wenn die Energieholznutzung bis 2050 auf 20 TWh/a erhöht wird und die Verwendung nach Szenario 1 «weiter wie bisher» überwiegend für Gebäudewärme erfolgt, deckt Energieholz 11,8% des Endverbrauchs. Wenn Energieholz in den Szenarien 2 bis 4 dagegen zunehmend für Spitzenlast eingesetzt wird, steigt der Anteil bis auf 12,5% im Szenario 4, in dem kein Energieholz mehr für ganzjährige Gebäudewärme genutzt wird.
- In allen Szenarien verbleibt ein ungedeckter Bedarf an Prio-1-Anwendungen, sodass für Treibstoff und Pflanzkohle kein Energieholz mehr zur Verfügung steht. Im Szenario 1 beträgt der ungedeckte Prio-1-Bedarf rund 20 TWh/a, das Energieholz reicht somit nur für die Hälfte der Prozesswärme und der Spitzenlast-Gebäudewärme. Im Szenario 4 wird der ungedeckte Bedarf auf 9 TWh/a reduziert und somit mehr als halbiert. Dies zeigt, dass Energieholz bis 2050 nicht mehr für ganzjährige Gebäudewärme genutzt werden sollte.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Der Bedarf an Energieholz in zur Substitution fossiler Energien geeigneten Anwendungen übersteigt das Potenzial

<div>Szenario 1 weiter wie bisher Bisher für Heizungen genutztes Holz wird zu 100% weiter wie bisher genutzt Bisher für Prozesswärme und WKK genutztes Holz wird weiter wie bisher genutzt Das Potenzial wird durch Zubau mit gleichmässigem Ausbau wie bisher ausgeschöpft Der ungedeckte Bedarf an Prio 1 und Prio 2 Anwendungen wird ausgewiesen Der Endenergieverbrauch nach Umstellung auf Holz und Wärmepumpen wird ausgewiesen</div>	<div>Szenario 3 noch 50% ganzjährige Gebäudewärme 50% vom bisher für Heizungen genutzten Holz werden wie bisher genutzt, der Rest für Prio 1 wie 2</div>
<div>Szenario 2 wie bisher aber ohne Zubau an Heizungen wie 1 Potenzial wird durch gleichmässige Aufteilung auf Prio 1 Anwendungen ausgeschöpft wie 1</div>	<div>Szenario 4 keine ganzjährige Gebäudewärme mehr Für Gebäude wird kein Holz (0%) mehr als Haupt-Energieträger genutzt*, nur noch als Spitzenlast wie 3</div>

Fig. 4 Szenarien 1 bis 4 zur Ausschöpfung des Energieholzpotenzials.

um mehr als den Faktor 5. Aus diesem Grund sind Anwendungen zu bevorzugen, die den höchsten Beitrag zur Energieversorgung erzielen. Erste Priorität hat die Erzeugung von Prozesswärme und von Spitzenlast-Gebäudewärme. Im Fall der Gebäude ist die Wärmeversorgung auf eine Kombination von Wärmepumpen und Energieholz zu transformieren, bei der erneuerbare Elektrizität für Wärmepumpen den Hauptteil von rund 74% der Wärme erzeugt und Energieholz den winterlichen Spitzenbedarf deckt. Die Umsetzung kann dezentral und mit Ausbau thermischer Netze erfolgen. Energieholz übernimmt dabei die Funktion der Saisonspeicherung und reduziert den Bedarf an ineffizienteren Technologien wie Power-to-Gas. Die Umwandlung von Holz zu Treibstoff durch Biomass-to-Liquids ist mit einem Wirkungsgrad von rund 50% verbunden, wodurch die Substitutionswirkung halbiert wird. Treibstoffe aus Holz sind deshalb erst dann interessant, wenn Prozess- und Gebäudewärme 100% erneuerbar gedeckt

werden. Wenn der Bodenverkehr bis 2050 elektrisch erfolgt, verbleibt ein Bedarf an Flugtreibstoffen, für den theoretisch auch Energieholz eingesetzt werden kann. Da aber bereits die Anwendungen mit höherer Substitutionswirkung das Potenzial deut-

lich übersteigen, steht für Flugtreibstoffe kein Energieholz mehr zur Verfügung. Daneben besteht ein Interesse an Pflanzkohle aus Holz für die Landwirtschaft und als Kohlenstoffsenke. Wenn für Netto-Null im Gegenzug fossiles Kerosin

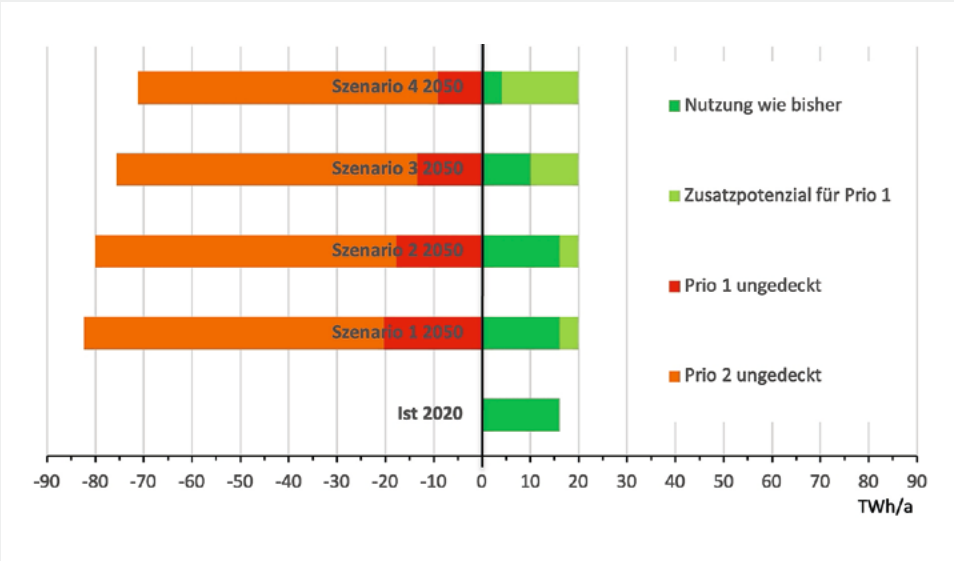


Fig. 5 Energieholzbedarf, unterteilt in Energieholznutzung (Werte > 0) und ungedeckten Bedarf (Werte < 0).

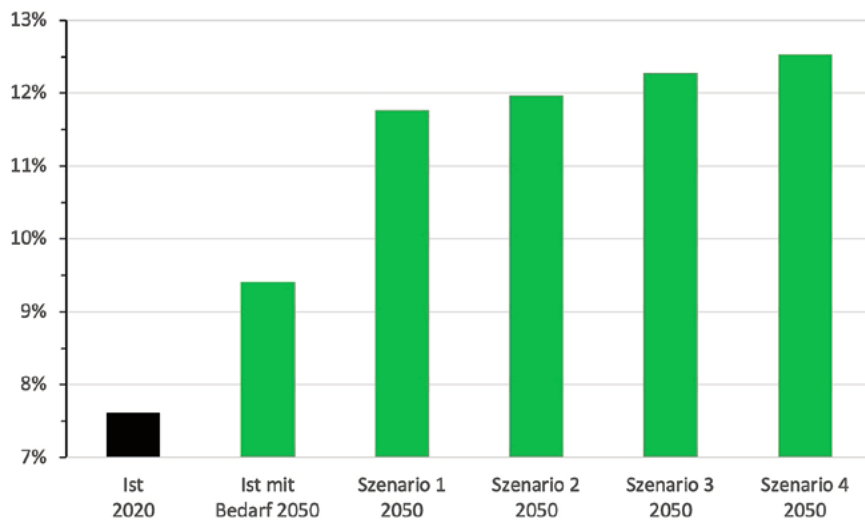


Fig. 6 Anteil Energieholz am Endenergieverbrauch. «Ist» gilt für den heutigen Energieholzverbrauch von 16 TWh/a, «Ist 2020» mit dem Energiebedarf von 2020, «Ist mit Bedarf 2050» gilt für den sanierten Gebäudepark. Die Szenarien 1 bis 4 gelten für den Bedarf 2050 bei Ausschöpfung des Energieholzpotenzials von 20 TWh/a.

verwendet wird, kommt Pflanzkohle auf eine ähnliche Substitutionswirkung wie Treibstoff aus Holz, sodass auch dafür kein Energieholz mehr zur Verfügung steht. Demgegenüber bietet Pflanzkohle Möglichkeiten zur Nutzung schwer verwertbarer biogener Reststoffe. Vor einer Verwendung im Boden sollte sie allerdings zur Substitution importierter Grillkohle eingesetzt werden, da diese Umweltschäden in anderen Weltregionen verursacht [11]. Daneben besteht für Pflanzkohle im Boden noch Klärungsbedarf, da das Bundesamt für Umwelt,

das Bundesamt für Landwirtschaft und die kantonalen Bodenschutzfachstellen einen grossflächigen Eintrag in Schweizer Böden ablehnen [14].

Zusammenfassend heisst dies: Um den grössten Beitrag zur Energieversorgung zu erzielen, sollte Energieholz prioritär für Prozesswärme und für Spitzenlast-Gebäudewärme genutzt werden. Da aber das Energieholzpotenzial nicht ausreichen wird, diese zwei Anwendungen zu decken, sollte Energieholz in Zukunft nicht mehr als Hauptenergieträger für Gebäudewärme genutzt werden. Weil

auch Treibstoffe und Pflanzkohle aus Holz den Beitrag von Energieholz zur Energieversorgung verringern, sind diese Anwendungen nicht zu unterstützen. Daneben kann Energieholz in WKK-Anlagen eine hohe Substitutionswirkung erreichen und mit Winterstrom den Zubau von Solarstromanlagen unterstützen.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Nussbaumer, T. (2023): Verwertungspfade Holzenergie, BAFU, Bern, www.aramis.admin.ch
- [2] Hangartner, D.; Hurni, A. (2022): Liste Thermische Netze, BfE, Bern
- [3] Thees, O. et al. (2017): WSL Berichte Heft 57, Birmensdorf
- [4] Stettler, Y. (2020): Schweiz. Holzenergiestatistik, BfE, Bern
- [5] Hammer, S. et al. (2021): Analyse von Hemmnissen, BfE, Bern
- [6] BfE (2023): Schweiz. Gesamtenergiestatistik 2022, Bern
- [7] Keel, A. (2023): Pflanzkohle-Fachtagung, 16.6.2023, <https://charnet.ch/>
- [8] Wikipedia: Holzkohle. de.wikipedia.org/wiki/Holzkohle, 16.8.2023
- [9] Das Europäische Pflanzkohle Zertifikat: www.european-biochar.org/de, 16.8.2023
- [10] Nussbaumer, T. (2023): HK Gebäudetechnik 1-23, 48-53
- [11] WWF (2018): Marktanalyse Holzkohle 2018, Zürich
- [12] Energieförderungsverordnung (EnFV) vom 1. November 2017, Bern 2023
- [13] BAFU (2023): Faktenblatt CO₂-Emissionsfaktoren, Bern
- [14] Schwilch, G. (2023): Pflanzkohle-Fachtagung, 16.6.2023, <https://charnet.ch/>

RAMSEYER
passion.knowledge.safety

www.ramseyer.ch

NeoVac

Wasserversorgung zukunftsfähig machen.

Wasser messen und schützen, von der Quelle bis zum Wasserhahn. Wasser ist Leben. Die gut ausgebaute und lückenlos funktionierende Versorgung mit sauberem Wasser ist eines der Grundgerüste für die hohe Lebens- und Wohnqualität in der Schweiz. Als Komplettanbieter in der Wasserversorgung ist NeoVac der verlässliche Partner für Planer:innen und Ingenieur:innen sowie Versorgungsunternehmen.

Making energy smarter

neovac.ch

**aqua
pro**

7-9.02.2024

**SCHWEIZER MESSE GLOBALER
WASSERKREISLAUF**

**ESPACE GRUYÈRE
BULLE**

**SPEZIALTHEMA 2024
SPONGE CITY**

Weitere Infos:
www.aqua-pro.ch

[AQUA-PRO.CH](https://aqua-pro.ch)

PRÄSENTIERT VON

**ESPACE
GRUYÈRE**

SPONSOREN

 **SINEF**

 **KSB**

 **ULB**

PARTNER VON
TECHNISCHEN
SEMINAREN

 **distributeurs d'eau romande**

 **grese**

 **SVGW**

 **VSA**