

Verwertungspfade Holzenergie:

**Ressourceneffizienz verschiedener Verwertungspfade
zur Nutzung von Energieholz**

Thomas Nussbaumer

Verenum AG, Zürich
Hochschule Luzern – Technik & Architektur, Horw

Im Auftrag des

Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

14.09.2023

1. Ausgangslage und Ziel
2. Grundlagen
3. Verwertungspfade
4. Bewertung und Priorisierung
5. Szenarien zur Nutzung des Energieholzes
6. Schlussfolgerungen

Ausgangslage

1. Holz ist begrenzt verfügbar und kann nur einen kleinen Teil des Bedarfs an Rohstoffen und Energie der Schweiz decken.
2. Für die Schweiz wird vorausgesetzt, dass
 1. der Wald nachhaltig bewirtschaftet und der Wald und das Holz mit Ausnahme ausgewählter Flächen genutzt werden sollen
 2. die Holznutzung im Sinne einer Kaskade prioritär stofflich und nachrangig für Energie erfolgt.

Kurz: Holz soll genutzt werden.

Ziel

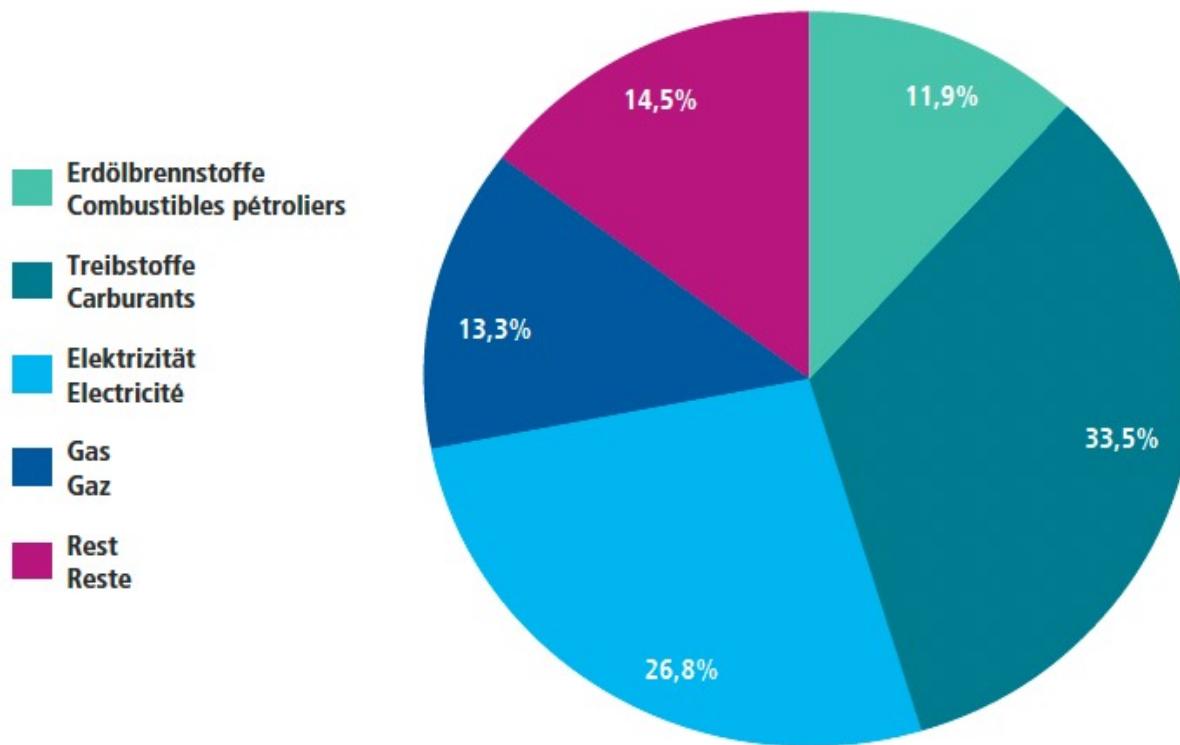
Die Untersuchung soll den Nutzen der Verwertungspfade von Energiewald für das Energiesystem Schweiz und ihren Beitrag zur Erreichung des Ziels von Netto-Null Treibhausgasemissionen im Jahr 2050 aufzeigen.

Kurz: Wie soll Energiewald genutzt werden?

1. Ausgangslage und Ziel
2. Grundlagen
3. Verwertungspfade
4. Bewertung und Priorisierung
5. Szenarien zur Nutzung des Energieholzes
6. Schlussfolgerungen

Endenergieverbrauch der Schweiz 2022

[Gesamtenergiestatistik, BfE 2023]



Zu substituierende
fossile Energieträger:

33.5% + 13.3% + 11.9% + Kohle =

> 58.7 % der heutigen Endenergie

(Substitution kann Primärenergieaufwand erhöhen!)

Bedarf zum Ersatz fossiler Energieträger

Gruppe 1: einfach substituierbar mit erneuerbarer Elektrizität aus Sonne, Wind und Wasserkraft

1. Gebäudewärme durch Wärmepumpen ausser während winterlichem Strommangel

2. Mobilität durch Batterie-Elektroantriebe auf Boden und Binnengewässer

Gruppe 2: schwer substituierbar ausser mit Holz

1. Gebäudewärme (2020: Total 79 TWh/a, 2050: 39 TWh/a)
2050: 26% Spitzenlast von 39 TWh/a

2. Prozesswärme > 100°

3. Flugtreibstoff durch Treibstoff aus Holz (50%) oder Pflanzenkohle und C-Sequestrierung (50%)

4. WKK für Strom und Wärme

Endenergie / Wirkungsgrad = Energieholzbedarf

10 TWh/a 1 10 TWh/a

15 TWh/a 0.75 – 1 17.5 TWh/a

28 TWh/a 0.50 28 TWh/a
0.50 28 TWh/a

14 TWh/a 14 TWh/a

Total mit Holz nur für Spitzenlast-Gebäudewärme

87 TWh/a

Total mit Holz für 100% Gebäudewärme + 29 TWh/a

> 110 TWh/a

Energieholzbedarf > 4 x Energieholzpotenzial

Bemerkungen:

Gebäudewärme: 1. Die fehlenden 29 TWh/a stammen zu 75% aus Umweltwärme und zu 25% aus zusätzlicher Elektrizität
2. Im Bericht stammt ein kleiner Teil der Gebäudewärme von bestehender WKK-Abwärme

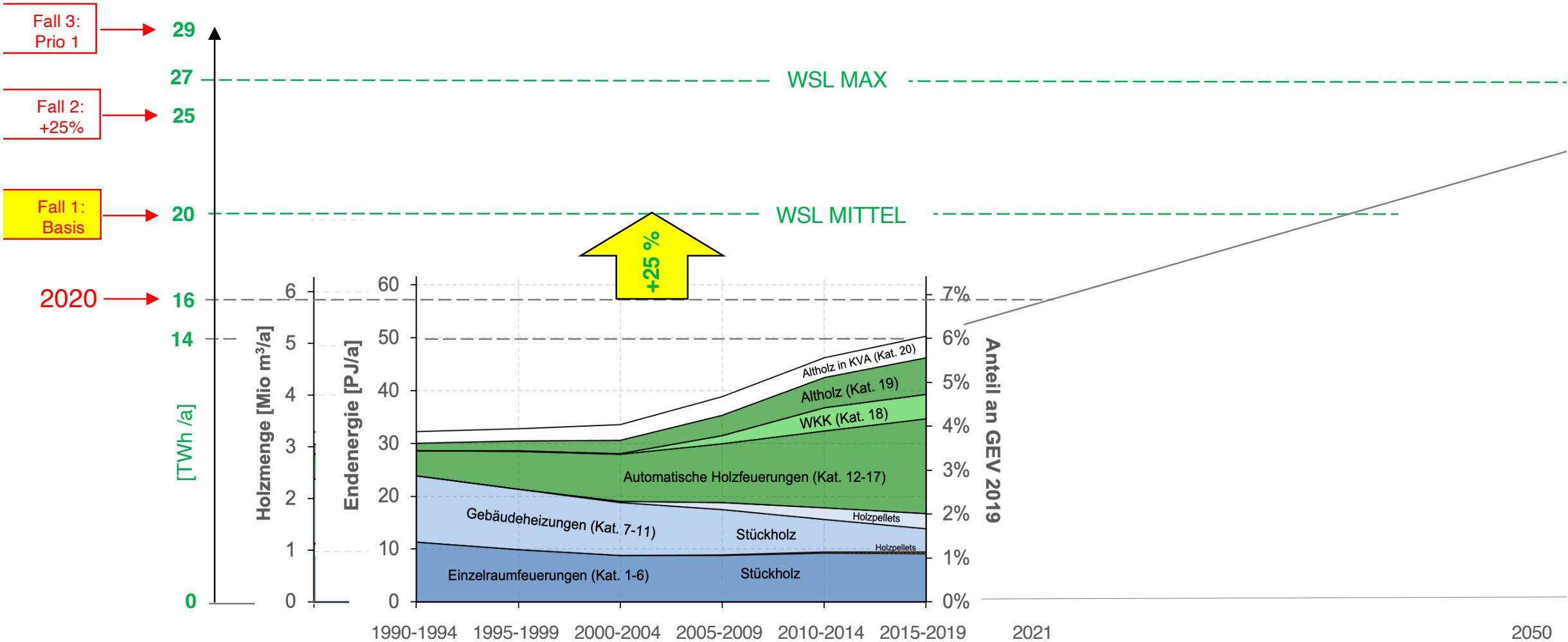
Flugtreibstoff wird aufgeteilt in 50% Treibstoff aus Holz und 50% fossile Treibstoffe dank C-Sequestrierung durch Pflanzenkohle, was pro MJ Holz eine gleichwertige Substitution mit 50% Wirkungsgrad ermöglicht

Zusätzlich wird für WKK ein. Im Bericht werden 14 TWh/a Holz für WKK angenommen, damit gleichviel Endenergie wir für Treibstoff direkt

Annahmen

Energieholzpotenzial der Schweiz

Umrechnung: Verbrauch aktuell ca. 6 Mio. m³ (A. Keel, BAFU-Seminar 14.09.2023) = 59 PJ = 16 TWh (gerundet)



1. Ausgangslage und Ziel
2. Grundlagen
3. **Verwertungspfade**
4. Bewertung und Priorisierung
5. Szenarien zur Nutzung des Energieholzes
6. Schlussfolgerungen

Nutzung von Energieholz	Zweck
Prozesswärme a) durch Holzvergasung b) durch 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 (monovalent oder bivalent mit Holz als Grundlast)	Heute: Substitution fossiler Brennstoffe Künftig: Übergang zur Nutzung von Holz für Spitzenlast
Gebäudewärme Spitzenlast (bivalente Systeme ("hybrid") mit solarstrombetriebenen Wärmepumpen)	Heute: Substitution fossiler Brennstoffe. Künftig: Substitution von sonst erneuerbar zu erzeugendem zusätzlichen Winterstrom für Wärmepumpen oder von Saisonspeicherung von Elektrizität (z.B. mit PtG) oder von Wärme.
Wärme und Strom (WKK)	
Treibstoff aus Holz	Substitution fossiler Treibstoffe z.B. durch SNG oder BtL. Da fossile Treibstoffe für den Bodenverkehr durch Elektromobilität substituiert werden kann, während dies für den Langstrecken-Flugverkehr nicht absehbar ist, wird die Substitution fossiler Flugtreibstoffe bewertet.
Pflanzenkohle (PK) und optional Wärme oder Strom oder Wärme und Strom	Variante 5a: PK dient als Substitut für importierte Grillkohle. Diese wird mit fossiler Energie gleichgestellt und gleich bewertet wie in nachfolgender Variante 5b beschrieben, da importierte Grillkohle aufgrund der in [33] beschriebenen Umweltschäden als ökologisch schädlicher als das Grillieren mit fossiler Energie (in der Praxis mit Gas) angenommen wird. Variante 5b: PK dient als C-Senke. Für Netto-Null THG wird pro sequestriertem C-Atom ein fossiles genutzt, das schwer substituierbar und sequestrierbar ist. Dies gilt für Flugtreibstoffe und fossile Ausgangsstoffe zur Produktion von Kunststoffen und Pharmazeutika. Zur Bewertung der energetischen Nutzungspfade wird Flugtreibstoff (Kerosin) als Substitutionsprodukt bewertet. Wärme und Strom werden wie in obigen Szenarien bewertet.

1. Ausgangslage und Ziel
2. Grundlagen
3. Verwertungspfade
4. **Bewertung und Priorisierung**
5. Szenarien zur Nutzung des Energieholzes
6. Schlussfolgerungen

Einfluss der Energieholzsortimente

Die Bewertung von Energieholz erfolgt ausschliesslich auf Basis des Energieinhalts
und somit ohne Differenzierung verschiedener Energieholzsortimente

Da die Unterschiede zwischen den einzelnen Energieholzsortimenten für die Gesamteffizienz der zu bewertenden Verwertungspfade nur von untergeordneter Bedeutung sind und zwischen den Sortimenten zum Teil Synergieeffekte bestehen, erfolgt die Bewertung im vorliegenden Bericht anhand des Energieinhalts des Energieholzes ohne Differenzierung nach Energieholzsortimenten.

Gewichtung der Nutzenergie

Gewichtungsfaktor für Gebäudewärme: **1.0**

Gewichtungsfaktor für Elektrizität, Prozesswärme, Treibstoff und Pflanzenkohle (PK): **2.0**



Emissionsfaktor von Pflanzenkohle =
Kohlenstoffsenkenfaktor berechnet nach Daten von EBC:

$$EF_{CO_2} = -0.074 \text{ kg CO}_2/\text{MJ} = \mathbf{-74 \text{ t CO}_2 / TJ Pflanzenkohle}$$

Emissionsfaktor von Kerosin oder Flugpetrol nach BAFU*

$$EF_{CO_2} = \mathbf{72.8 \text{ t CO}_2 / TJ Kerosin}$$

1 TJ Pflanzenkohle im Boden erlaubt Nutzung von 1 TJ Kerosin

EBC: Das Europäische Pflanzenkohle Zertifikat: <https://www.european-biochar.org/de>, 16.08.2023

BAFU: Faktenblatt Emissionsfaktoren Feuerungen. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern 2015

Bewertung

1. Energie E^* = Gesamtwirkungsgrad und daraus
 $E = E^*/E_{\max}^*$ mit $0 \leq E \leq 1$

"Objektiv", aber nur quantitativ, daher nicht aussagekräftig für Beitrag zu Energieversorgung



2. Mit Gewichtungsfaktor G gewichtete Energie GE mit $0 \leq GE \leq 1$

Hohe Aussagekraft, da Energie und Energieform als Wert für die Energieversorgung bewertet werden



3. Substitutionsaufwand S mit $0 \leq S \leq 1$

Zusätzliche Aussagekraft für die Bedeutung für die Energieversorgung der Schweiz

4. Mit G und S gewichtete Energie GES mit $0 \leq GES \leq 1$

Hohe Aussagekraft, da Kriterien 2 und 3 abgedeckt



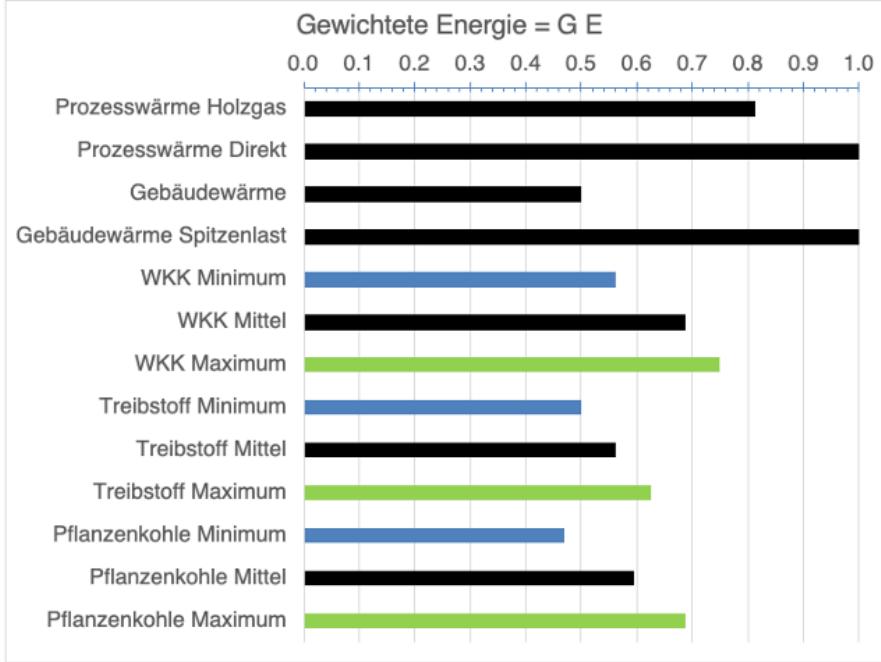
5. Technologie-Sicherheit T mit $0 \leq T \leq 1$

Bewertung im Hinblick auf eine rasche Umsetzbarkeit

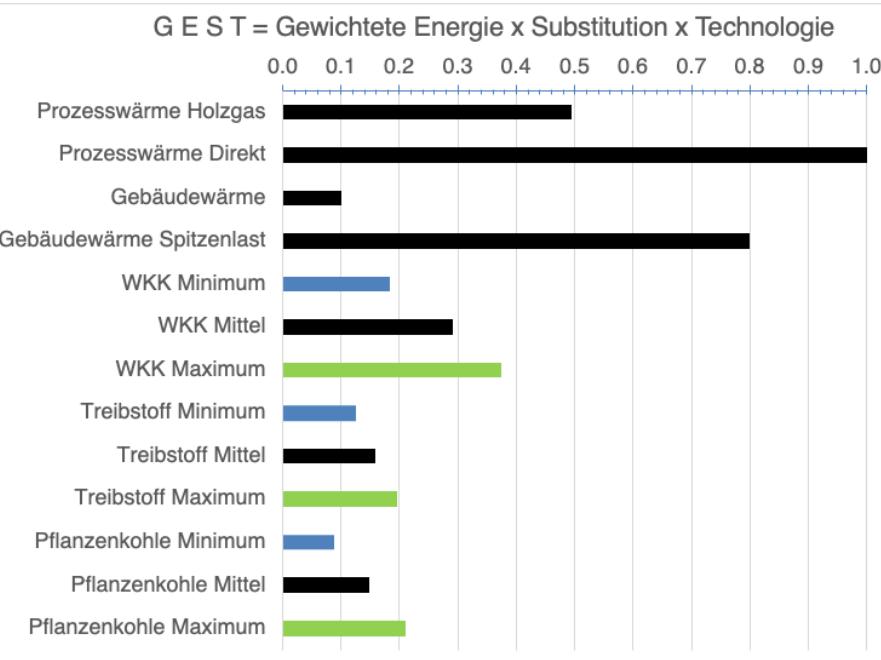
6. Gesamtbewertung mit $0 \leq GEST \leq 1$

Zusammenfassende Bewertung

2. Gewichtete Energie G E mit $0 \leq GE \leq 1$



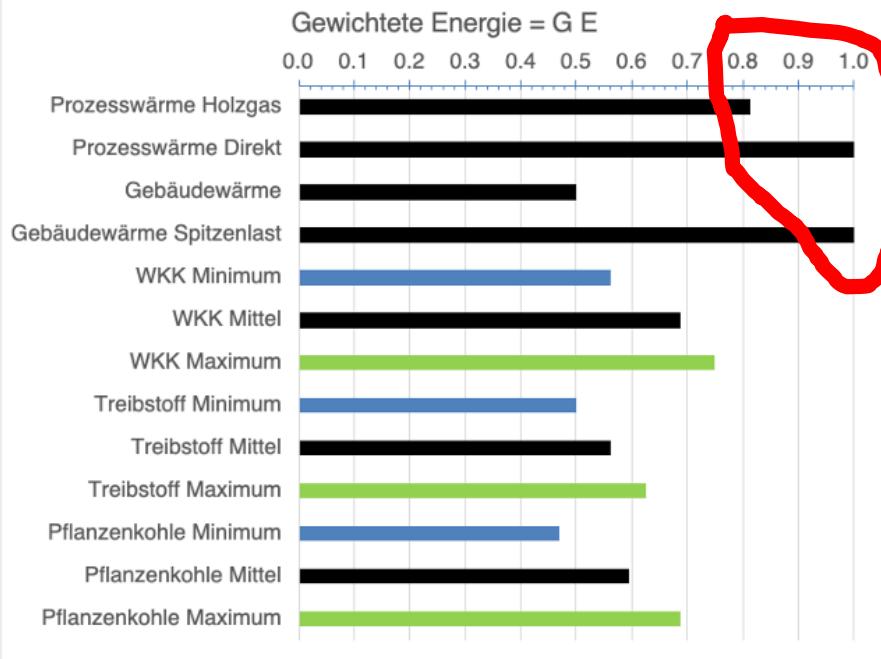
6. Gesamtbewertung mit $0 \leq GEST \leq 1$



Prio 1 E > 0.90	Prio 2 > 0.80	Prio 3 > 0.70	Prio 4 > 0.60	Prio 5 > 0.50	Prio 6 > 0.40	Prio 7 > 0.30	Prio 8 > 0.20	Prio 9 > 0.10	Prio 10 > 0.00
	x								
x					x				
x				x					
		x			x				
			x						
				x					
					x				
						x			
							x		
								x	
									x

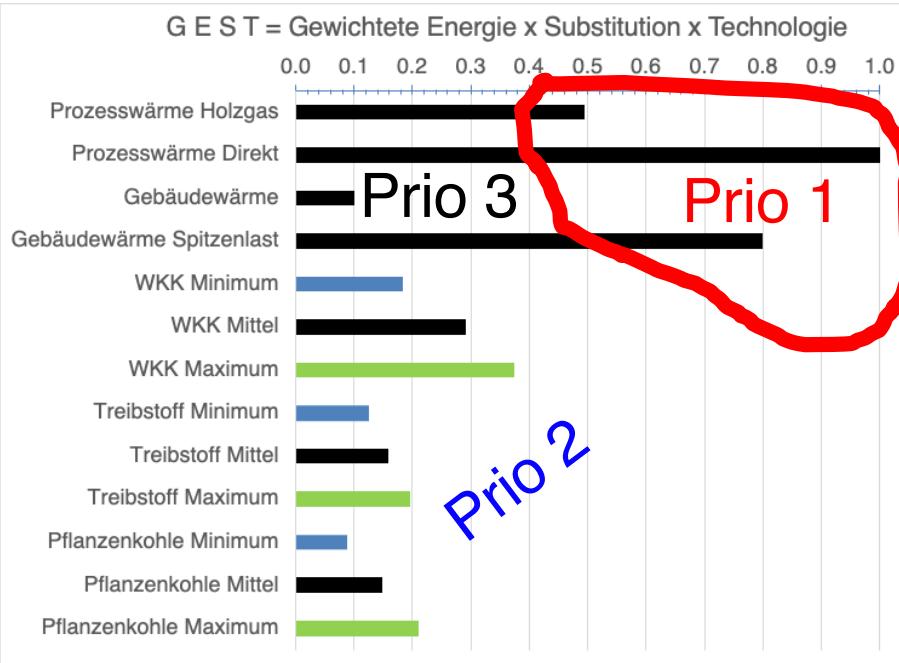
Prio 1 EST > 0.90	Prio 2 > 0.80	Prio 3 > 0.40	Prio 4 > 0.30	Prio 5 > 0.25	Prio 6 > 0.20	Prio 7 > 0.18	Prio 8 > 0.14	Prio 9 > 0.12	Prio 10 > 0.06
	x								
x									x
		x							
			x						
				x					
					x				
						x			
							x		
								x	
									x

2. Gewichtete Energie G E
mit $0 \leq GE \leq 1$



Prio 1	Prio 2	Prio 3	Prio 4	Prio 5	Prio 6	Prio 7	Prio 8	Prio 9	Prio 10
E > 0.90	> 0.80	> 0.70	> 0.60	> 0.50	> 0.40	> 0.30	> 0.20	> 0.10	> 0.00
	x								
x									
x				x					
x			x						
		x		x					
		x		x					
		x		x					
		x		x					
		x		x					

6. Gesamtbewertung
mit $0 \leq GEST \leq 1$



Prio 1	Prio 2	Prio 3	Prio 4	Prio 5	Prio 6	Prio 7	Prio 8	Prio 9	Prio 10
EST > 0.90	> 0.80	> 0.40	> 0.30	> 0.25	> 0.20	> 0.18	> 0.14	> 0.12	> 0.06
	x								
x									
									x
		x							
		x					x		
		x			x				
		x			x				
		x			x				
		x			x				

1. Ausgangslage und Ziel
2. Grundlagen
3. Verwertungspfade
4. Bewertung und Priorisierung
5. **Szenarien zur Nutzung des Energieholzes**
6. Schlussfolgerungen

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 WP wird ausgewiesen

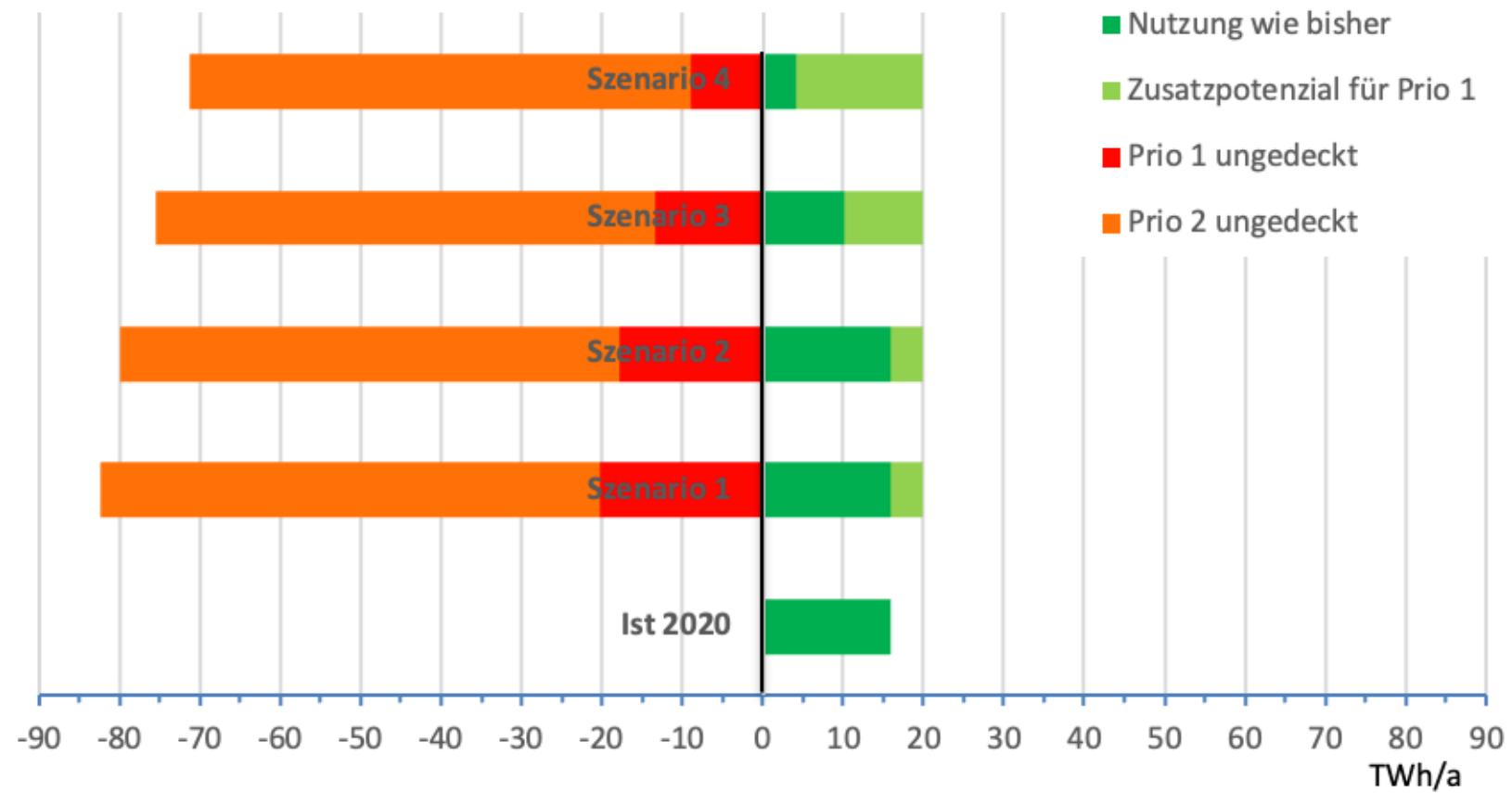
Szenario 2
wie bisher aber ohne Zubau an Heizungen
wie links
wie links
Potenzial wird durch gleichmässige Aufteilung auf Prio 1 Anwendungen ausgeschöpft
wie links

Szenario 3
noch 50% monovalente Heizungen
50% vom bisher für Heizungen genutzten Holz werden wie bisher genutzt*, der Rest für Prio 1
wie links

Szenario 4
keine monovalenten Heizungen mehr
Für Gebäude wird kein Holz (0%) mehr als Haupt-Energieträger genutzt*, nur noch als Spitzenlast
wie links

20 TWh/a

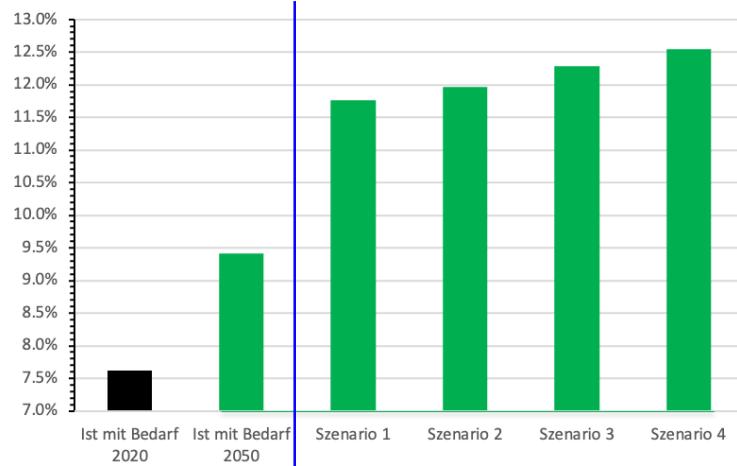
Energieholzbedarf (ganze Balken) unterteilt in
Energieholznutzung (Anteil > 0) und ungedeckten Bedarf (Anteil < 0)
für ein Energieholzpotenzial von 20 TWh/a



16 TWh/a

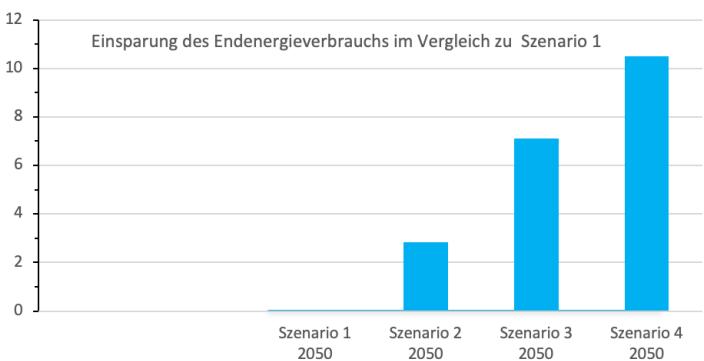
20 TWh/a

Anteil Energieholz am Endenergieverbrauch
für ein Energieholzpotenzial von **20 TWh/a**



TWh/a

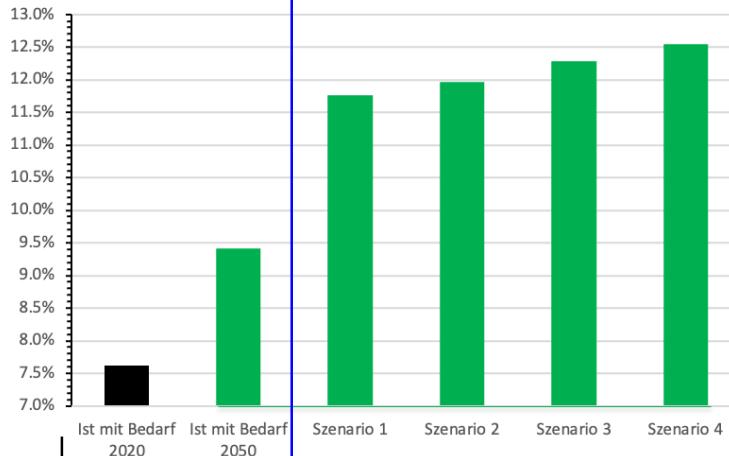
Einsparung des Endenergieverbrauchs im Vergleich zu Szenario 1



16 TWh/a

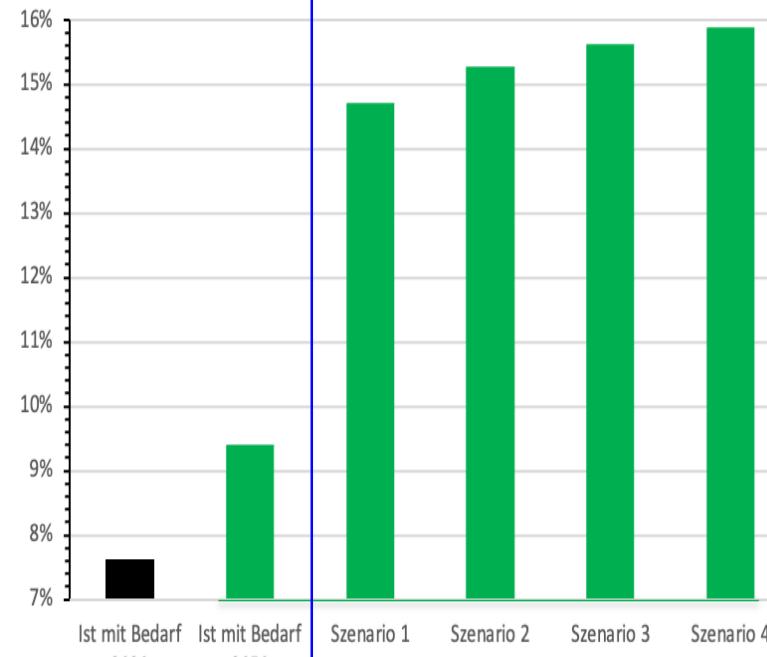
20 TWh/a

Anteil Energieholz am Endenergieverbrauch
für ein Energieholzpotenzial von **20 TWh/a**



16 TWh/a

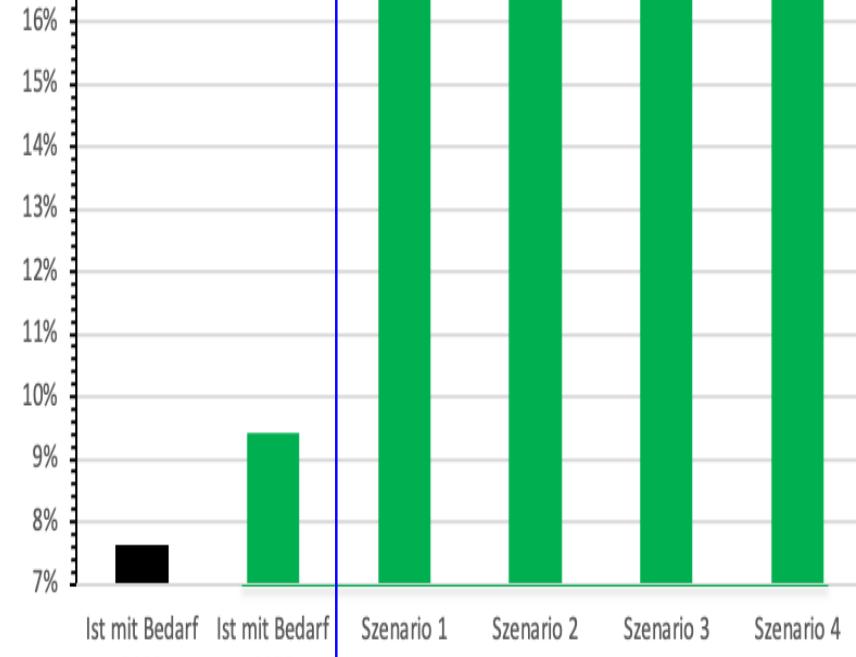
25 TWh/a



19%

16 TWh/a

29 TWh/a



1. Ausgangslage und Ziel
2. Grundlagen
3. Verwertungspfade
4. Bewertung und Priorisierung
5. Szenarien zur Nutzung des Energieholzes
6. Schlussfolgerungen

1. Energieholz sollte in den nächsten Jahrzehnten für **Prozesswärme** und **Gebäudewärme-Spitzenlast** als Prio 1-Anwendungen genutzt werden. Anlagen mit Energieholz als Hauptenergie für Gebäude sollten mit Wärmepumpen ergänzt werden und Energieholz ausschliesslich für Winter-Spitzenlast dienen.
2. Selbst dann reicht das Energieholzpotenzial **nur für rund zwei Drittel** des Bedarfs für Prozesswärme und Gebäude-Spitzenlast, weshalb ergänzende Massnahmen vor allem für Prozesswärme notwendig sind.
3. **Wärme-Kraft-Kopplung** kann als Ergänzung zu den Prio 1-Anwendungen dienen.
4. **Treibstoff aus Holz** und **Pflanzenkohle** mit Sequestrierung des Kohlenstoffs sind in Bezug auf Ressourcen und CO₂-Emissionen etwa gleichwertig, aber **ineffektiver** zur Substitution fossiler Energien als die Prio 1-Anwendungen, weshalb nach Umsetzung der Prio 1-Anwendungen kein Holz mehr zur Verfügung steht. Anstelle von Holz kann aber minderwertige Biomasse zur Herstellung von Pflanzenkohle genutzt werden. Das Potenzial dazu ist allerdings begrenzt und die in der Schweiz produzierte Pflanzenkohle sollte prioritätär für den Ersatz importierter Grillkohle genutzt werden. Eine Verwendung in Böden ist wegen der Ablehnung der zuständigen Fachstellen von Bund und Kantonen bis anhin keine breit einsetzbare Option.