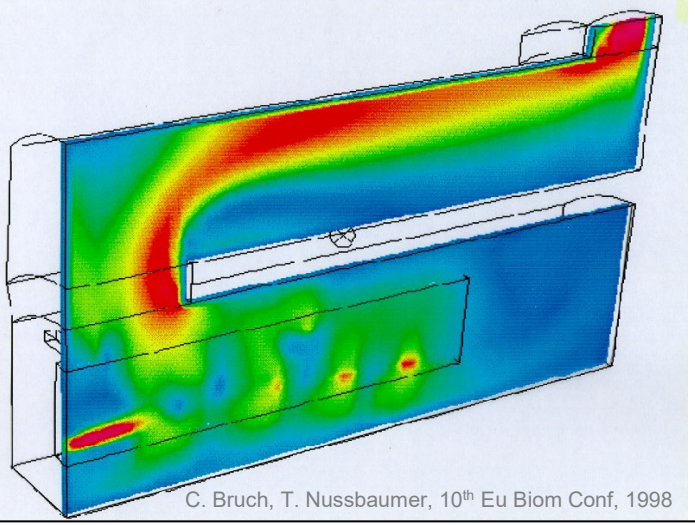


AI generated
by ChatGTP
10.9.2026

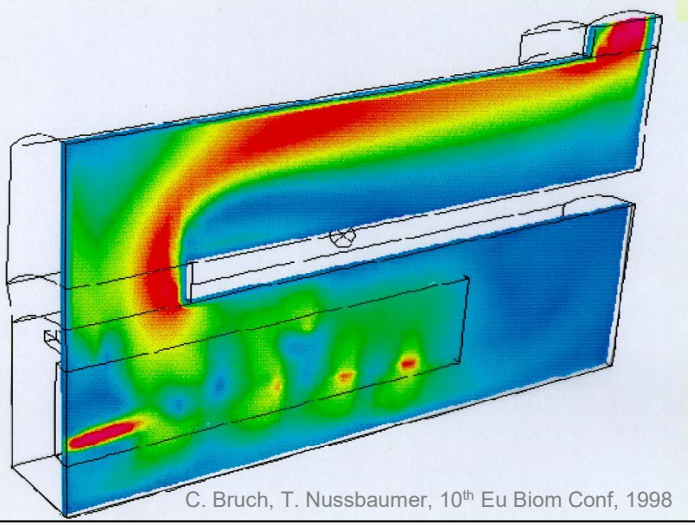

C. Bruch, T. Nussbaumer, 10th Eu Biom Conf, 1998

Danke für Ihre Teilnahme und willkommen zum

19. Holzenergie-Symposium

11. September 2026

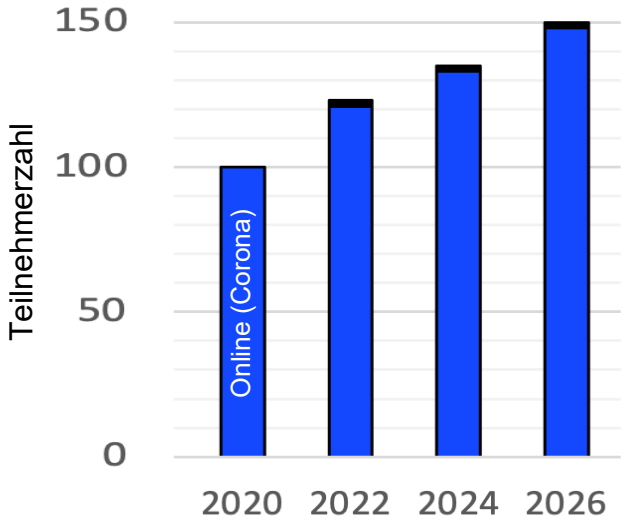
ETH Zürich HG D 1.1

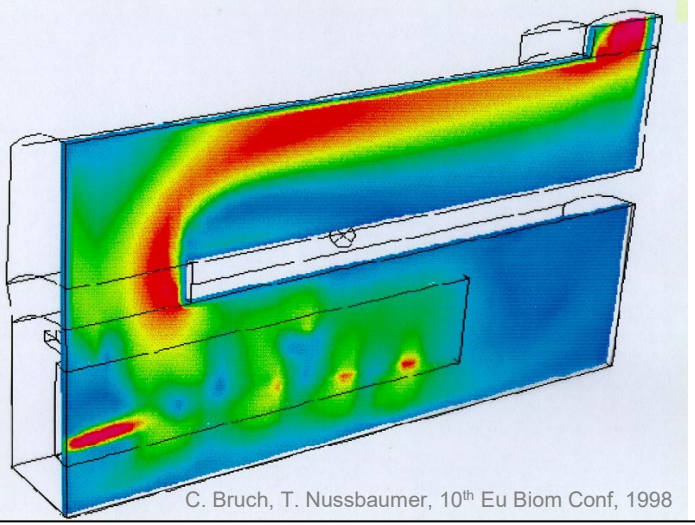


19. Holzenergie-Symposium

11. September 2026

ETH Zürich HG D 1.1




C. Bruch, T. Nussbaumer, 10th Eu Biom Conf, 1998

19. Holzenergie-Symposium

11. September 2026

ETH Zürich HG D 1.1

Organisation verenum

Sponsoren

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU
Office fédéral de l'environnement OFEV
Ufficio federale dell'ambiente UFAM

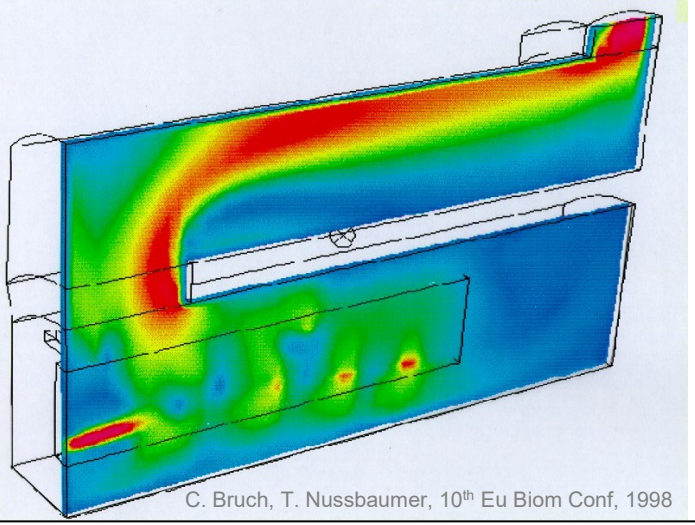
Mit Unterstützung von energieschweiz

Partner

Holzenergie SCHWEIZ

HOLZFEUERUNGEN SCHWEIZ

Schweizerischer Verband für UMWELT TECHNIK


C. Bruch, T. Nussbaumer, 10th Eu Biom Conf, 1998

19. Holzenergie-Symposium

11. September 2026

ETH Zürich HG D 1.1

Organisation
Prof. Dr. Thomas Nussbaumer
Stefan Thalmann
Dr. Peter Zotter

Beirat
Dr. Beat Müller & Rainer Kegel, BAFU
Dr. Matthias Bendig, BfE
Dominik Noger, Cercl'Air
Dr. Urs Rhyner, SVUT
Laurent Audergon, Holzenergie Schweiz
Markus Heitzmann, Holzfeuerungen Schweiz
Dr. Reinhold Spörl, Holzfeuerungen Schweiz

2022

www.uvek.admin.ch 13.09.2022

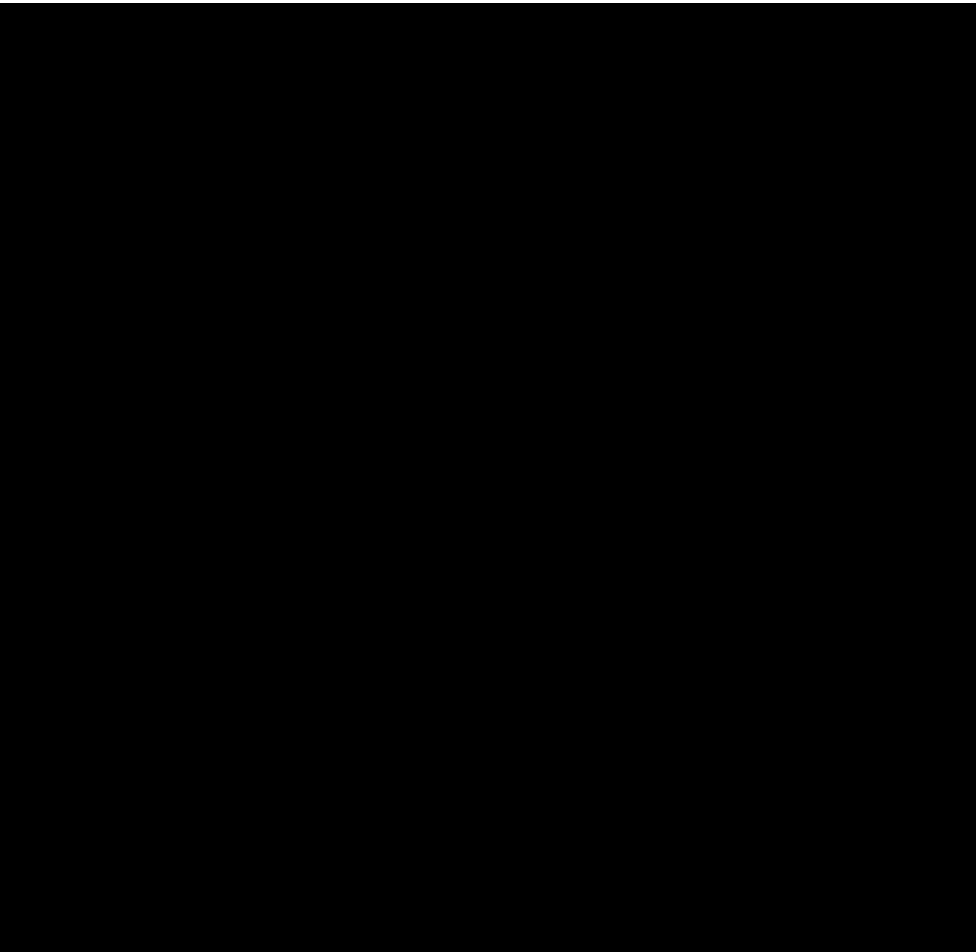
Energie: Stärkung der Versorgungssicherheit

Resilienz



Der Krieg in der Ukraine hat eine weltweite Energiekrise ausgelöst.

2022 → 2024



Neue Zürcher Zeitung, 16.08.2024

Den Sommerstrom in den Winter retten?

"Das ist möglich bis 2035"

sagt Avenir Suisse

und präsentiert die Rechnung:

https://www.nzz.ch/wirtschaft/sommerstrom-fuer-den-winter-komplett-unrealistisch-sagt-studie-ld.1844839

2024

Das macht dann 5 Billionen Franken und eine Landfläche in der Grösse des Thurgaus



https://www.nzz.ch/wirtschaft/sommerstrom-fuer-den-winter-komplett-unrealistisch-sagt-studie-ld.1844839

2026 ← 2024

20 Minuten

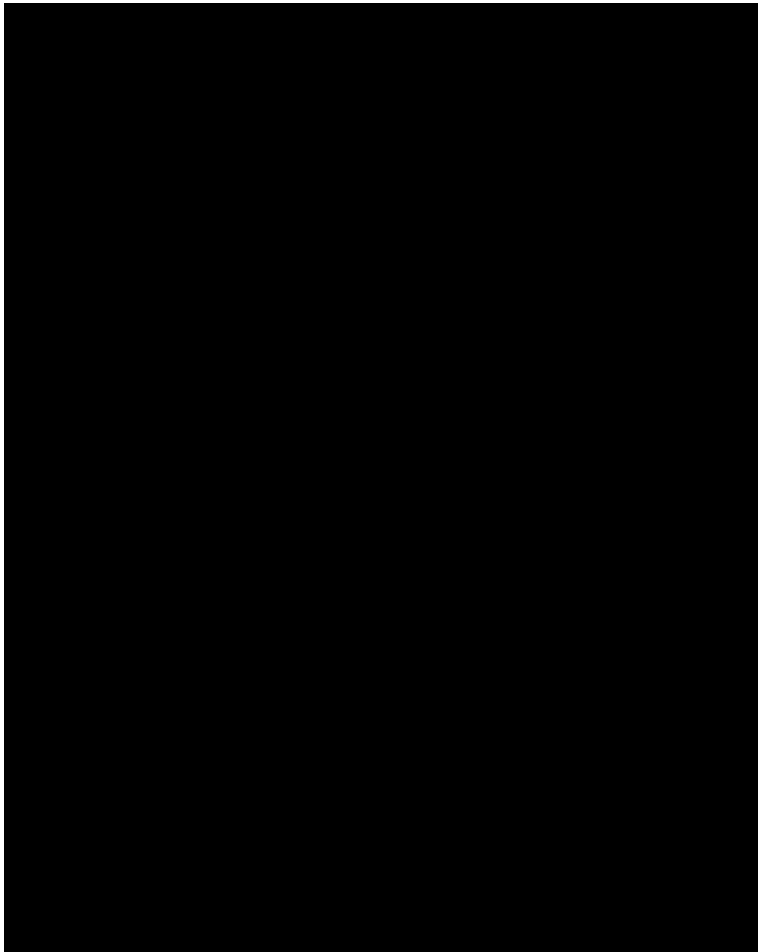
KNAPPER WINTERSTROM?

Ex-ETH-Präsident warnt: «Nehmen Sie Holz vor die Hütte»

Wird im Winter die Energie knapp? Ex-ETH-Präsident Lino Guzzella warnt davor und rät zum Kauf von Holzscheiten. Während die grüne Nationalrätin



An einem Vortrag an der Universität Luzern warnte der ehemalige ETH-Präsident und Professor Lino Guzzella vor einer Energieknappheit im Winter und rät zum Kauf von Feuerholz. (Archivbild) Tamedia/Reto Oeschger



2026 ← 2024

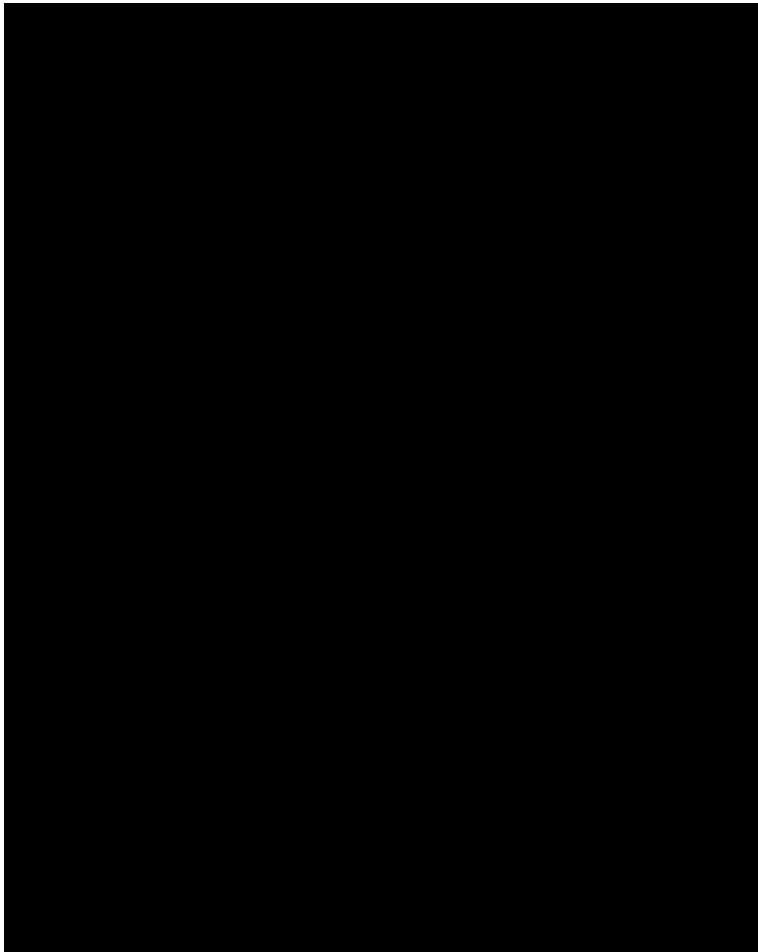
20 Minuten

KNAPPER WINTERSTROM?

Ex-ETH-Präsident warnt: «Nehmen Sie Holz vor die Hütte»

Wird im Winter die Energie knapp? Ex-ETH-Präsident Lino Guzzella warnt davor und rät zum Kauf von Holzscheiten.

ChatGTP visualisiere "Holz vor der Hütte Winter Schweiz"



2026

20 Minuten

KNAPPER WINTERSTROM?

Ex-ETH-Präsident warnt: «Nehmen Sie Holz vor die Hütte»

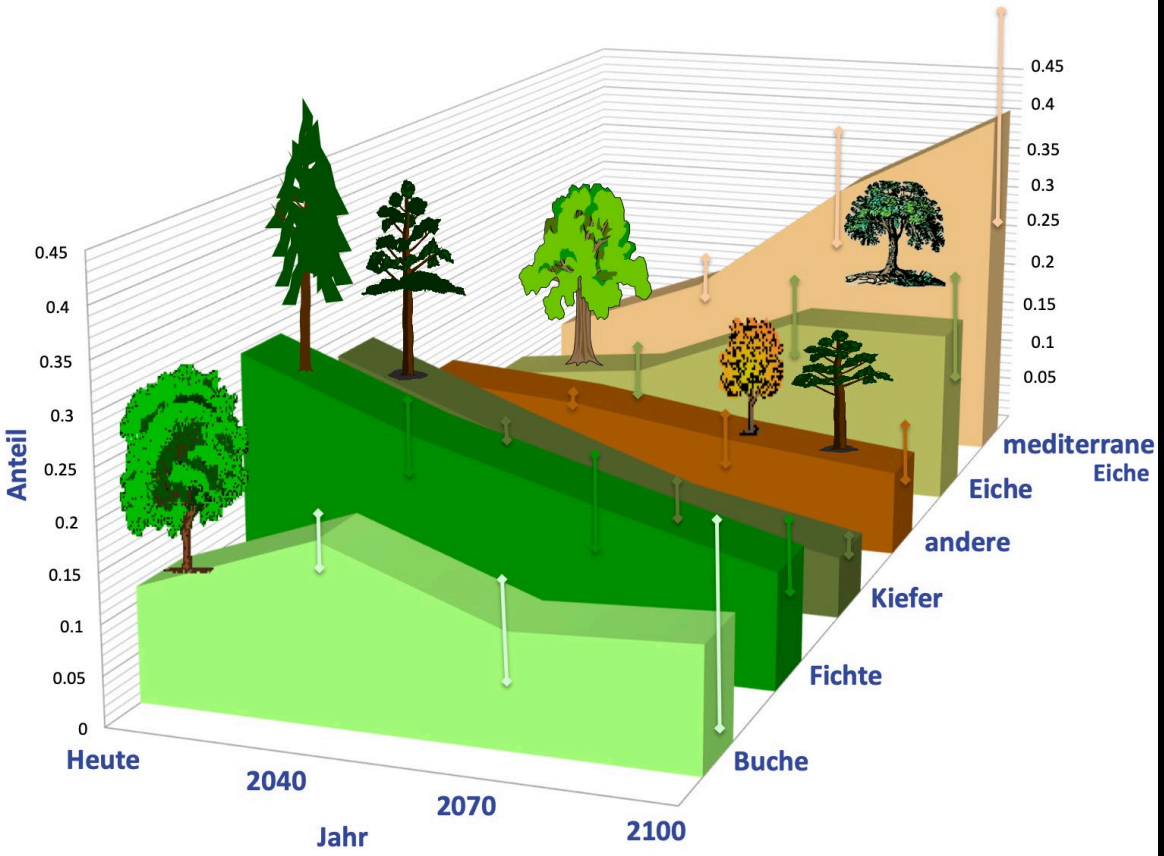
Wird im Winter die Energie knapp? Ex-ETH-Präsident Lino Guzzella warnt davor und rät zum Kauf von Holzscheiten.

ChatGPT visualisiere "Holz vor der Hütte Winter Schweiz"



AI generated by ChatGTP 9.9.2026

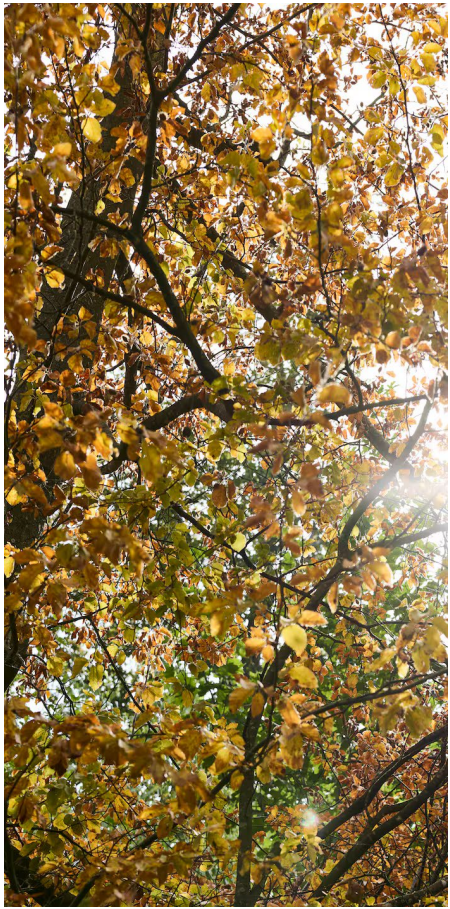
2024



[Marc Hanewinkel: Entwicklung der Anteile der Hauptbaumarten in Europa im Szenario A1FI bis 2100, 18. Holzenergie-Symposium, ETH Zürich 11.09.2022]

2024

2026



2026



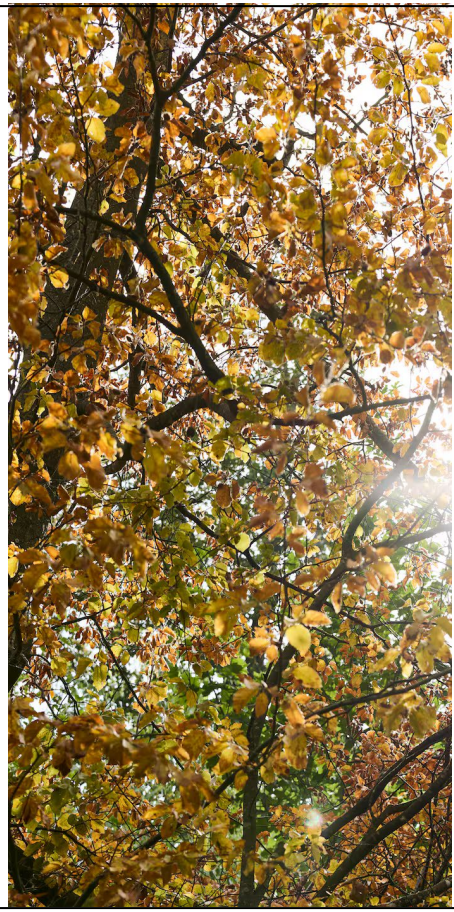
Blick

Hitzesommer in der Schweiz

Kantonsförster schlägt Alarm: «Wenn Bäume schreien könnten ...»

"Die Folgen des Klimawandels setzen den Wäldern schwer zu"

Publiziert: 09.08.2026



Rolf Manser, Forstingenieur ETH
1998 – 2018 BAFU, Leiter Abteilung Wald
seit 2018 Chef Amt für Wald, Jagd und Fischerei, Kanton Solothurn

Historie: R. Manser: Holzpotenzial der Schweiz und Entwicklungs-strategien aus Sicht des Bundes, 11. Holzenergie-Symposium, 2010

Resilienz

Teil 1	**Klimapolitik und Multi-Energie-Systeme. Moderation: T. Nussbaumer**
Teil 2	**Konzepte zur CO_2-Reduktion. Moderation: S. Thalmann**
Teil 3	**Schadstoffminderung und Ascheverwertung. Moderation: P. Zotter**

Teil 1 Klimapolitik und Multi-Energie-Systeme. Moderation: T. Nussbaumer

9:20 Rolle der Holzenergie zur Versorgung der Schweiz & ihr Beitrag zur Klimapolitik des Bundes, *Dr. Frank Rutschmann, Leiter Sektion Erneuerbare Energien, BFE*

9:50 Multi-Energie-Systeme - Hybride Wärmeerzeugung mit Energieholz für Spitzenlast, *Stefan Thalmann, Verenum AG & Martin Kiener, Enop*

10:15 Prädiktive, optimierungsbasierte Einsatzsteuerung von sektorübergreifenden Bioenergiesystemen, *Dr. Markus Gölles, BEST, Graz (Ö)*

Teil 2	**Konzepte zur CO_2-Reduktion. Moderation: S. Thalmann**
11:10	Technik, Energiebilanz und Emissionen von Pflanzenkohleanlagen im Praxisbetrieb - Lessons learned, *Philipp Vögelin, IWB*
11:35	Holz-WKK mit Kompressionswärmepumpe versus Holzheizkessel mit Absorptionswärmepumpe, *Dr. Reinhold Spörl, Schmid Mawera Group*
12:00	Prozessintegration, Effizienz und Kosten von CCS für Holzheizkraftwerk, KVA und Vergärungsanlage, *Prof. Dr. Beat Wellig, Hochschule Luzern*
12:25	CO_2-Abscheidung bei Holzfeuerungen ab 5 MW durch optimierte Integration und umweltverträgliches Lösungsmittel, *Nico Lenggenhager, SaveEnergy*
12:50	Diskussion: CCS und NET
13:00	**Mittagessen**

Teil 3	Schadstoffminderung und Ascheverwertung. Moderation: P. Zotter
14:15	Ultra-Low-NO_X-Technologie für Rostfeuerungen von 700 kW bis 8 MW mit optimierter, adaptiver Luftstufung, *Martin König, Schmid Mawera Group*
14:40	Energy Recovery Center, Bühler (Uzwil) und Vyncke (Harelbeke, Belgien) 14:40 Ausgangslage und Motivation, *Konstantinos Lanaras, Bühler Group* 14:50 Gestufte Verbrennung als Low-NO_X- Technologie für Biomassebrennstoffe in einer Wirbelschichtfeuerung, *Hans Fastenaekels, Vyncke*
15:10	Praxis zur Verwertung und Entsorgung von Aschen aus Holzenergieanlagen, *Michael Tobler, Holz & Forst Consulting*
15:30	Entsorgung und Verwertung v. Holzaschen aus Sicht des Bundes, *Dr. Matthieu Buchs, Leiter Sektion Rohstoffkreisläufe, Abteilung Abfall & Rohstoffe, BAFU*
15:50	Diskussion: Ascheverwertung

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE
Office fédéral de l'énergie OFEN
Ufficio federale dell'energia UFE
Uffizi federal d'energia UFE

energieschweiz



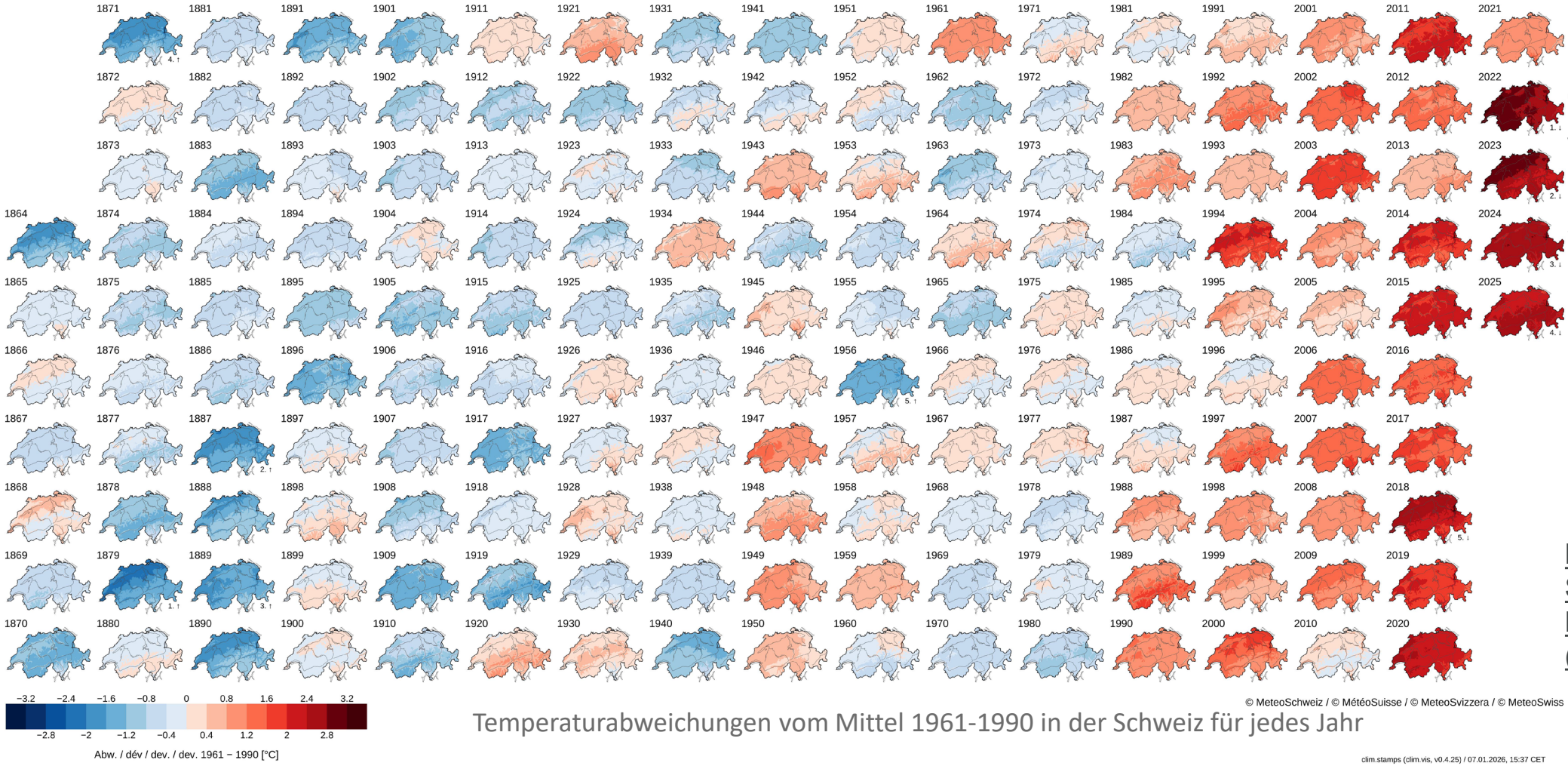
Ormalingen BL, August 2026, Dominik Plüss/Tages-Anzeiger

DER BEITRAG DER HOLZENERGIE ZUR KLIMAPOLITIK DES BUNDES



Jurasüdhang am Bielersee, 13. August 2026 (AFP)

DIE KLIMAERWÄRMUNG IST REAL. SIE WIRD SEIT DER INDUSTRIALISIERUNG DURCH DEN MENSCHEN VERURSACHT.



Temperatur-Veränderung im Jahresmittel seit vorindustrieller Zeit:

Global:
+1.4 °C (COP29 Baku)

Schweiz:
+3.0 °C

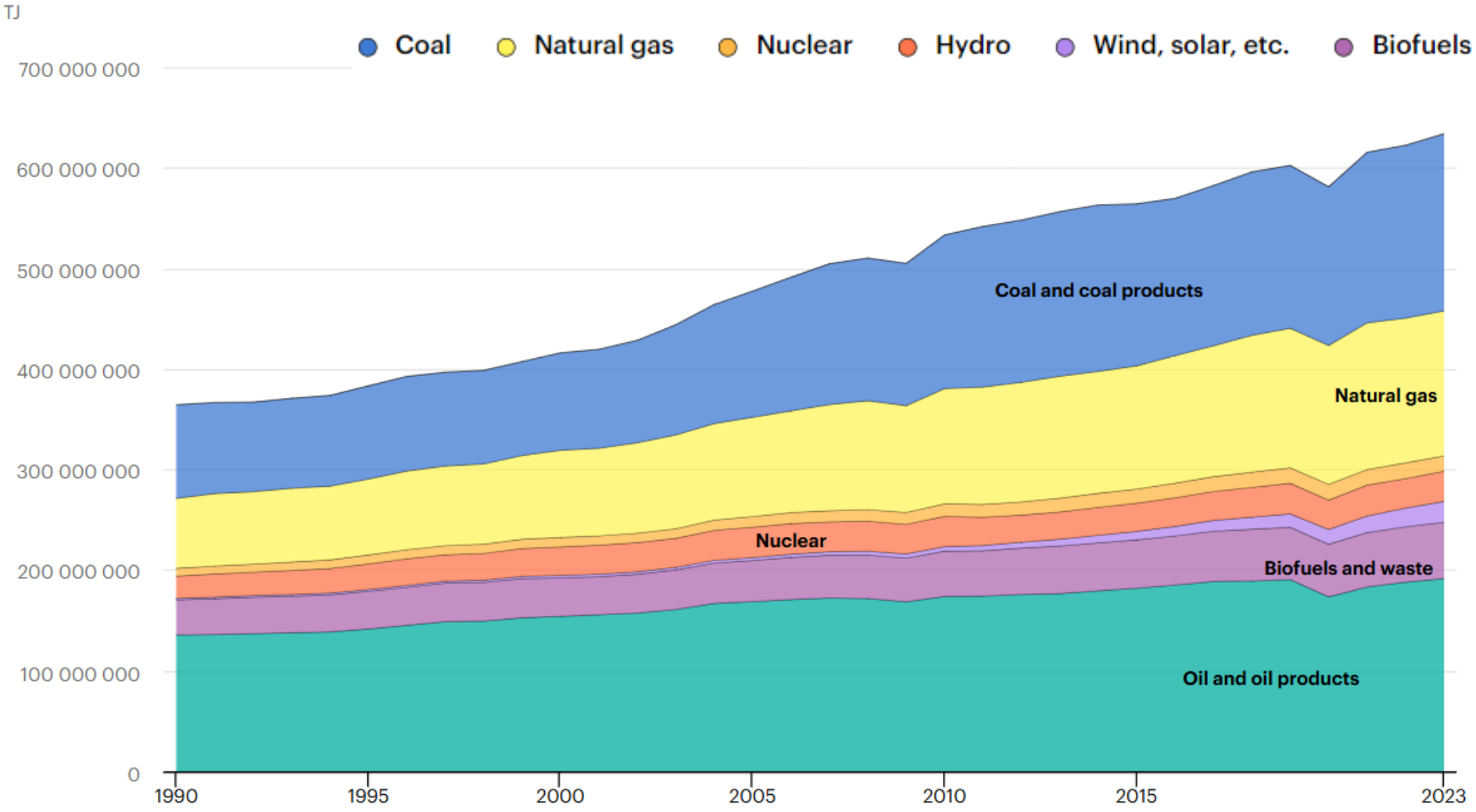
Klimawandel Schweiz - MeteoSchweiz (admin.ch)

© MeteoSchweiz / © MétéoSuisse / © MeteoSvizzera / © MeteoSwiss

Temperaturabweichungen vom Mittel 1961-1990 in der Schweiz für jedes Jahr

clim.stamps (clim.vis, v0.4.25) / 07.01.2026, 15:37 CET

75% DES ENERGIEVERBRAUCHS WIRD NACH WIE VOR DURCH FOSSILE ENERGIEN GEDECKT (CH UND WELTWEIT)



Total energy supply
by source, World, 1990-2023
IEA – International Energy Agency – IEA

Energie-Dashboard
Bundesamt für Energie



Ölraffinerie nach israelisch-US-amerikanischen Angriffen in Teheran, Iran, 9. März 2026 (Majid Saeedi, Getty Images)



Ölraffinerie in Tuapse, Russland, nach Angriffen ukrainischer Drohnen am 21. April 2026 (IMAGO/Boris Morozov)

DIE SCHWEIZ IST MIT DER ENERGIE- UND KLIMA-GESETZGEBUNG AUF DEM WEG, WENN AUCH LANGSAM.

Klima- und Innovationsgesetz (KLG)
Die Stimmbevölkerung stimmt dem Gesetz am 18. Juni 2023 mit 59.1% zu.

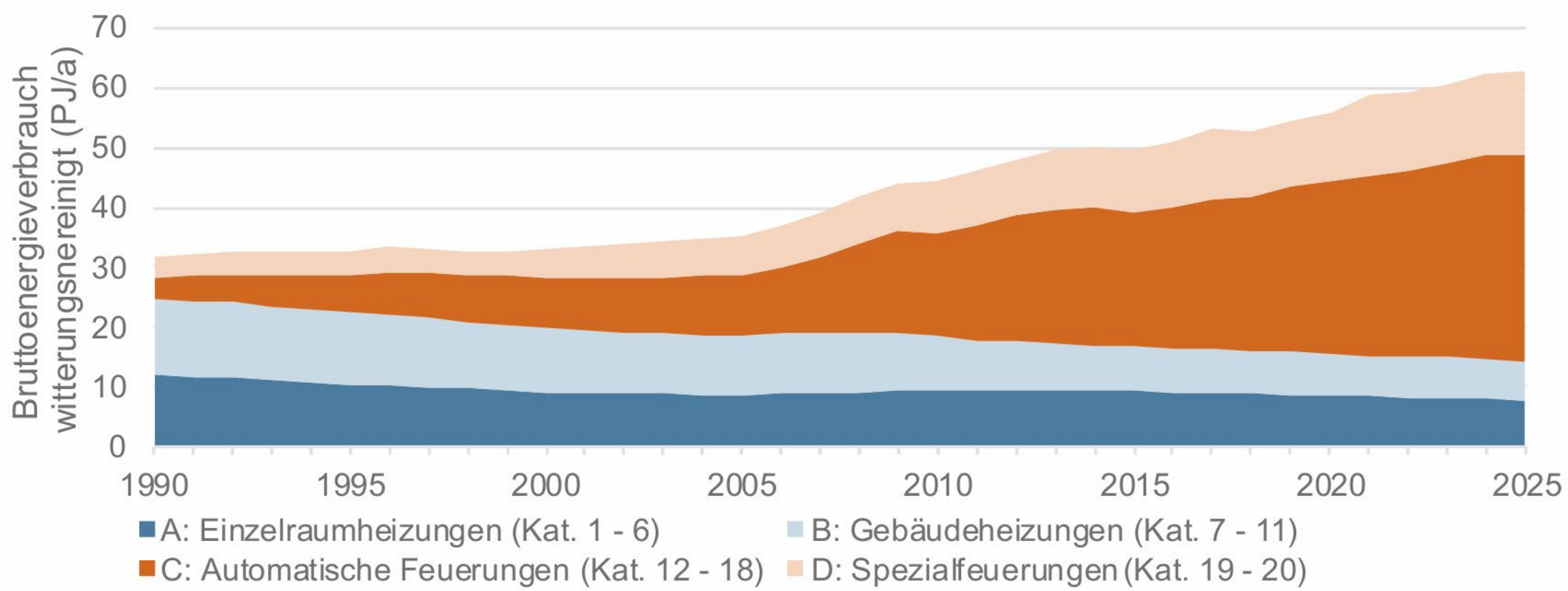
Bundesgesetz über eine sichere Stromversorgung mit erneuerbaren Energien
Die Stimmbevölkerung stimmt dem Gesetz am 9. Juni 2024 mit 68.7% Ja-Stimmen zu.



THEMEN

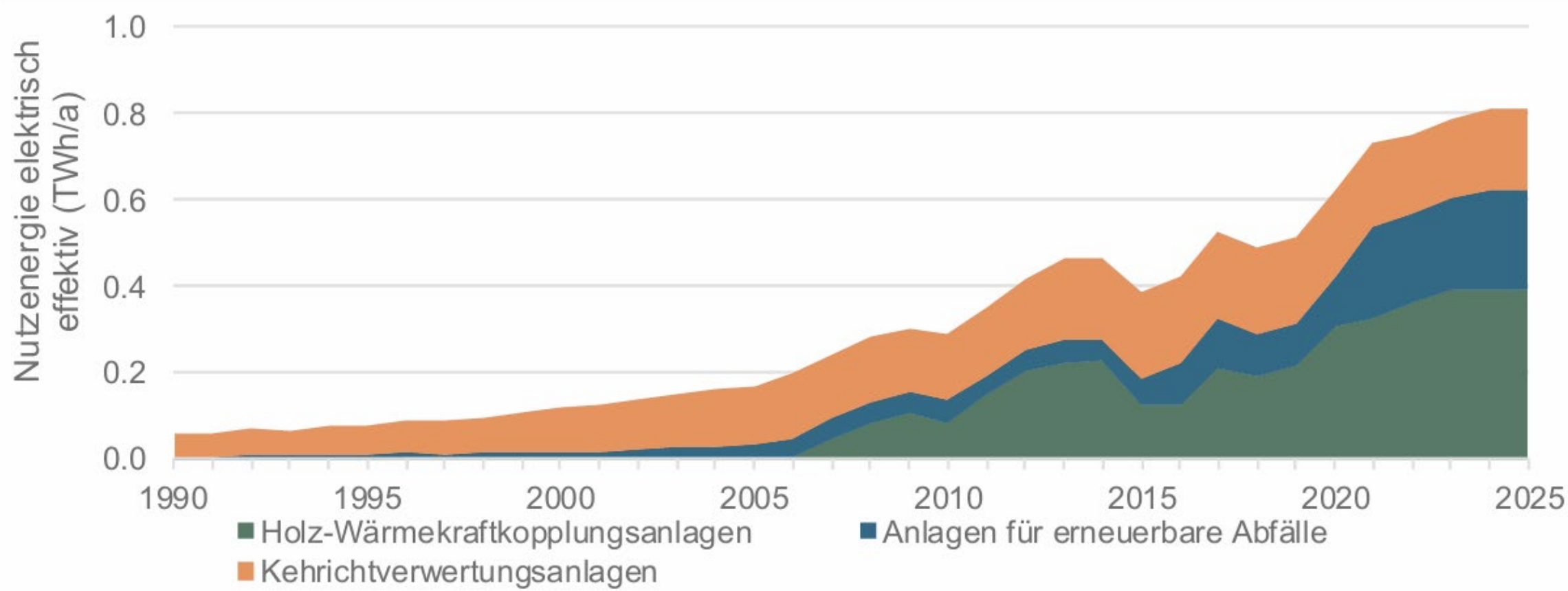
- Holznutzung aktuell
- Neue Anforderungen an die Holzenergienutzung
- Zielbilder Klimaneutrale Schweiz und Energieholznutzung

DER BRUTTOENERGIEVERBRAUCH AUS HOLZ HAT SICH IN DEN LETZTEN 20 JAHREN FAST VERDOPPELT.



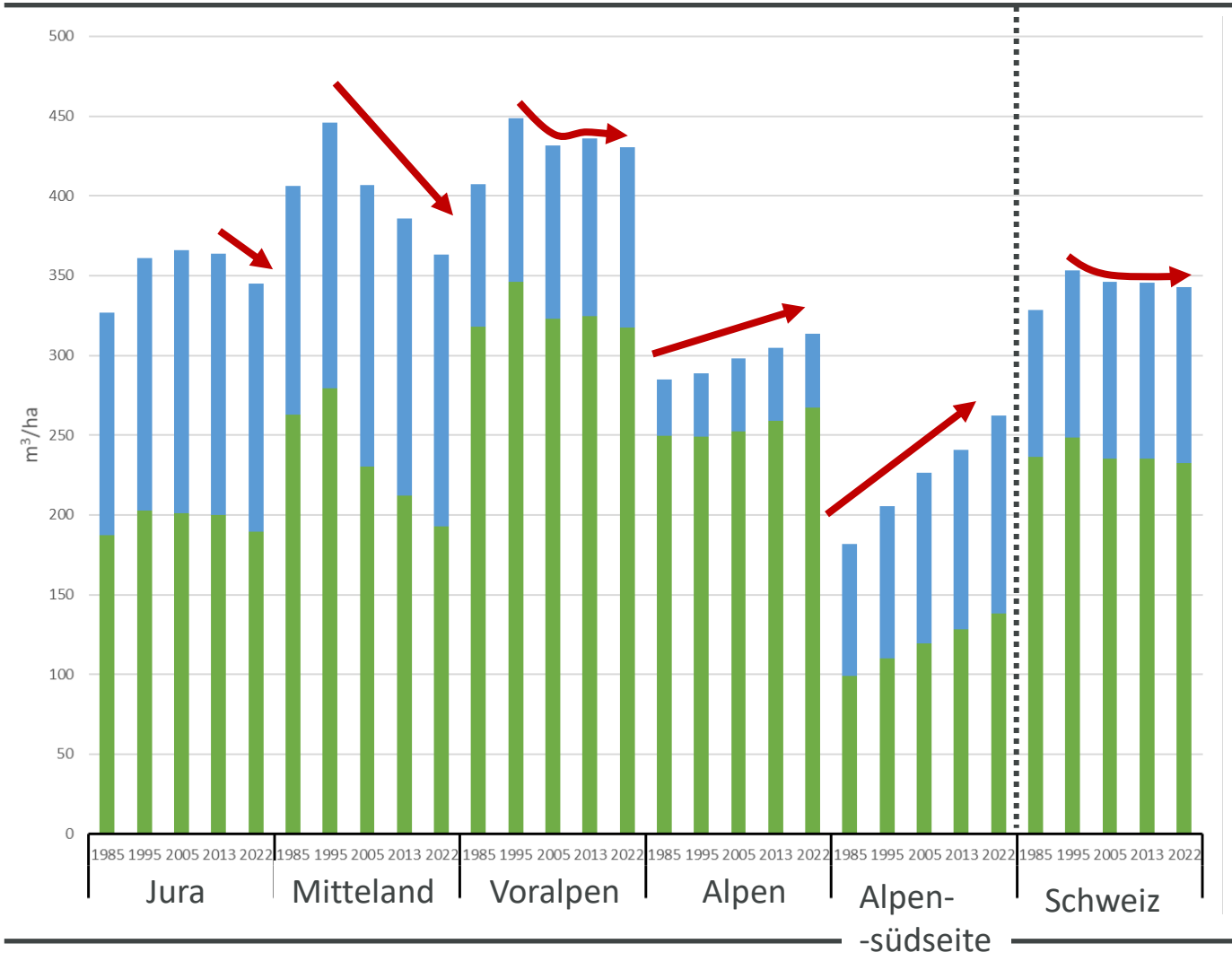
Quelle: Holzenergiestatistik Jahresbericht zur Erhebung für das Jahr 2025

DIE ELEKTRISCHE NUTZENERGIE AUS HOLZ MACHT RUND 1.4% DES CH-STROMVERBRAUCHS AUS.



Quelle: Holzenergiestatistik Jahresbericht zur Erhebung für das Jahr 2025

DER HOLZVORRAT ENTWICKELT SICH REGIONAL UNTERSCHIEDLICH.





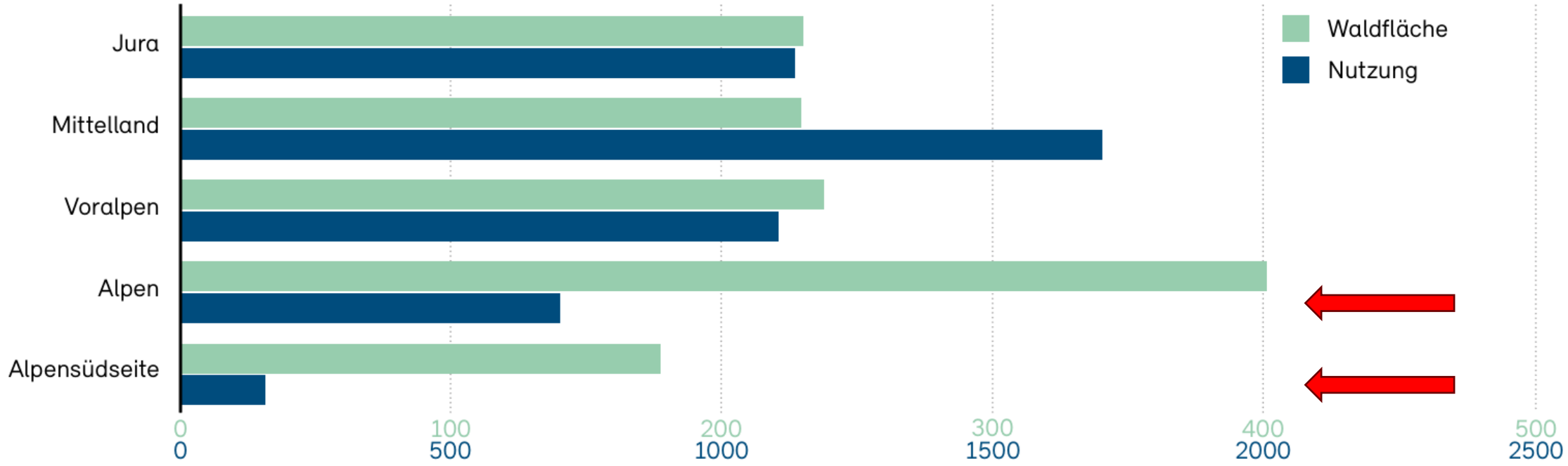
Koppelprodukt

Quelle: WSL, Landesforstinventar LFI
LFI 1 bis LFI 5

VOR ALLEM DIE SCHWER ZUGÄNGLICHEN GEBIETE KÖNNTEN NOCH BESSER GENUTZT WERDEN.

Nach Forstzonen 2024

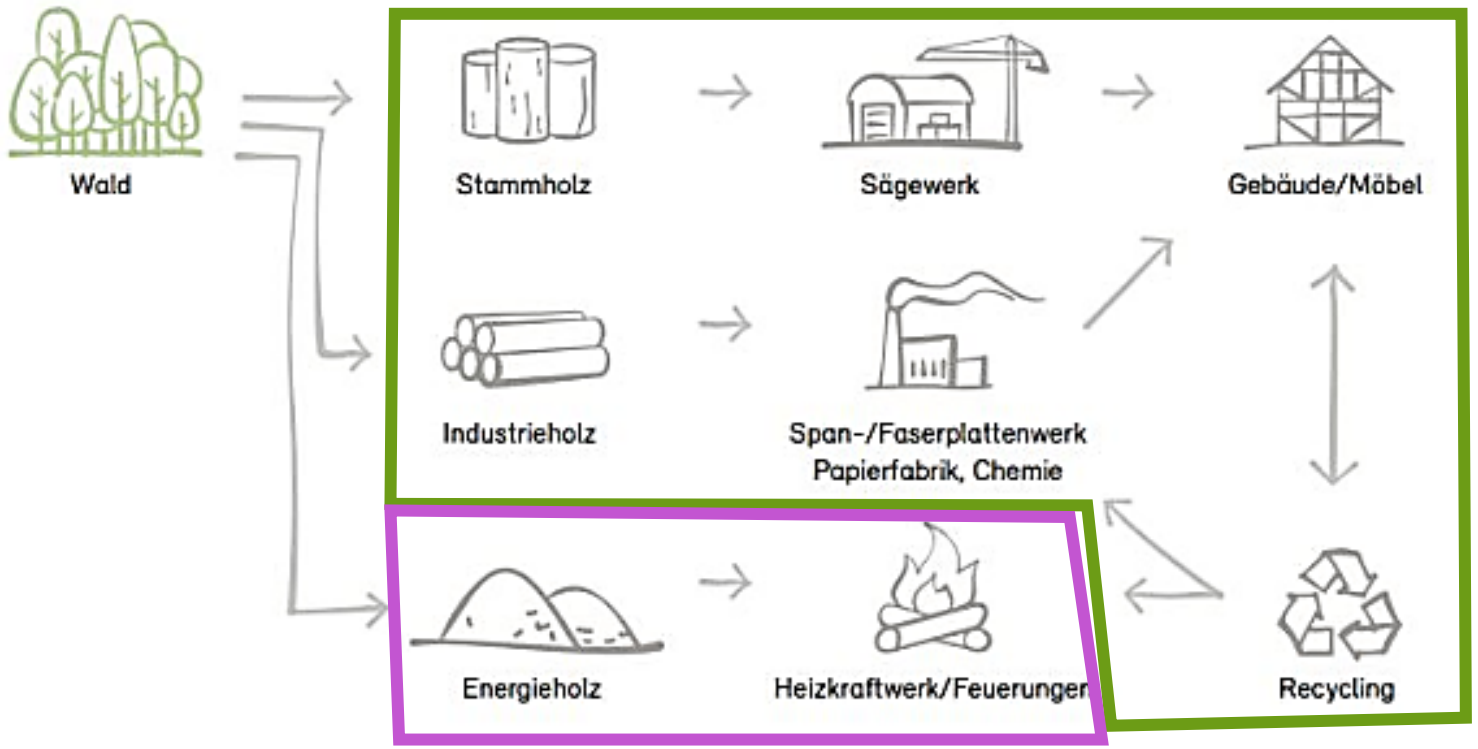
in 1000 ha bzw. 1000 Fm



Quelle: Schweizerische Forststatistik, BFS

JEDER BAUM KANN NUR EINMAL VERBRANNT WERDEN.

Aber vorher kann er mehrfach genutzt werden!



Wertschöpfungspotential:

stofflich 6

zu

energetisch 1

BAFU

DAS ENERGIEHOLZ WIRD NICHT FÜR ALLE GEPLANTEN PROJEKTE REICHEN.

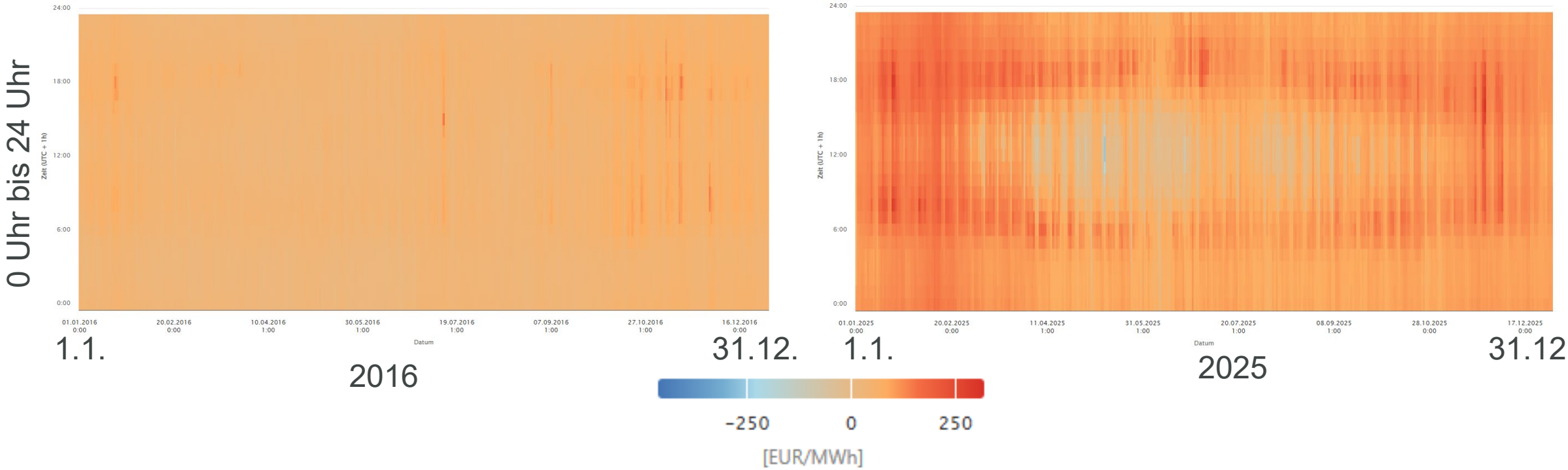
	Verbrauch 2024[1]		Potenzial total		Potenzial noch verfügbar		Zukünftiger Verbrauch Projekte[2]		Zukünftiger Verbrauch Projektideen[3]	
	m^3	MWh	m^3/Jahr	MWh/Jahr	m^3/Jahr	MWh/Jahr	m^3/Jahr	MWh/Jahr	m^3/Jahr	MWh/Jahr
	1	2	3	4	5	6	7	8	7	8
Waldenergieholz	3 102 043	8 019 511	3 566 600	9 220 499	464 557	1 200 988	391 935	1 013 244	509 770	1 317 875
Flurholz	306 796	793 138	437 100	1 130 006	130 304	336 868	12 450	32 186	10 600	27 403
Pellets	821 361	2 164 340	821 361	2 164 340	0	0	98 730	260 160	0	0
Restholz	838 279	2 658 824	921 600	2 923 098	83 321	264 275	26 755	84 861	1 500	4 758
Altholz	1 337 185	3 715 019	1 338 184	3 717 795	999	2 775	213 900	594 265	247 500	687 614
Total	**6 405 664**	**17 350 832**	**7 084 845**	**19 155 738**	**679 181**	**1 804 905**	**743 770**	**1 984 716**	**769 370**	**2 037 650**

1 Witterungsbereinigt
2 Projekte: grössere Anlagen mit guten Realisierungschancen,
3 Projektideen: grössere Anlagen in Vorabklärung, Zeithorizont 2031

Quellen: BFE, Schweizerische Holzenergiestatistik; BAFU, Grundlagen Monitoring Holzenergie, WSL, Biomassenpotenziale der Schweiz für die energetische Nutzung, Kantonale Potenzialstudien Datengrundlage für Jahrbuch Wald und Holz 2025.

Das «verplante» Holz übersteigt das verbleibende Potential.

DIE STROMPREISE SCHWANKEN IMMER STÄRKER. DIE (HOLZ)-KRAFTWERKE MÜSSEN SICH DARAN ANPASSEN.



- Sommerbedarf nimmt ab, teilweise negative Preise.
- Winterbedarf nimmt zu.

→ Förderinstrumente müssen neue Marktrealitäten berücksichtigen.

DAS NETTO-NULL-ZIEL BIS 2050 VERLANGT EINE DEKARBONSIERUNG ALLER BEREICHE.

Klima- und Innovationsgesetz (KLG) 2023 mit 59.1% angenommen

Emissionen der Schweiz auf Netto-Null bis 2050 (gegenüber 1990)

Gebäude:
- 2040: – 82%
- 2050: – 100%

Verkehr:
- 2040: – 57%
- 2050: – 100%

Industrie:
- 2040: – 50%
- 2050: – 90%

Rest: **Negativemissionstechnologien** (NET)

WIE SIEHT 2050 DIE ENERGIE-SCHWEIZ AUS? ZIELBILD KLIMANEUTRALE SCHWEIZ

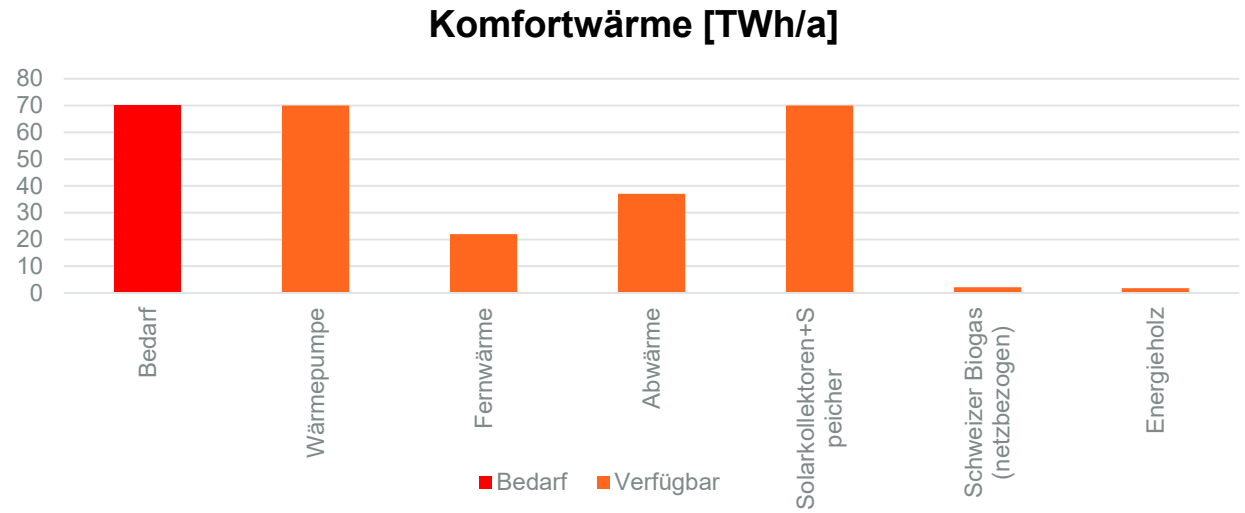


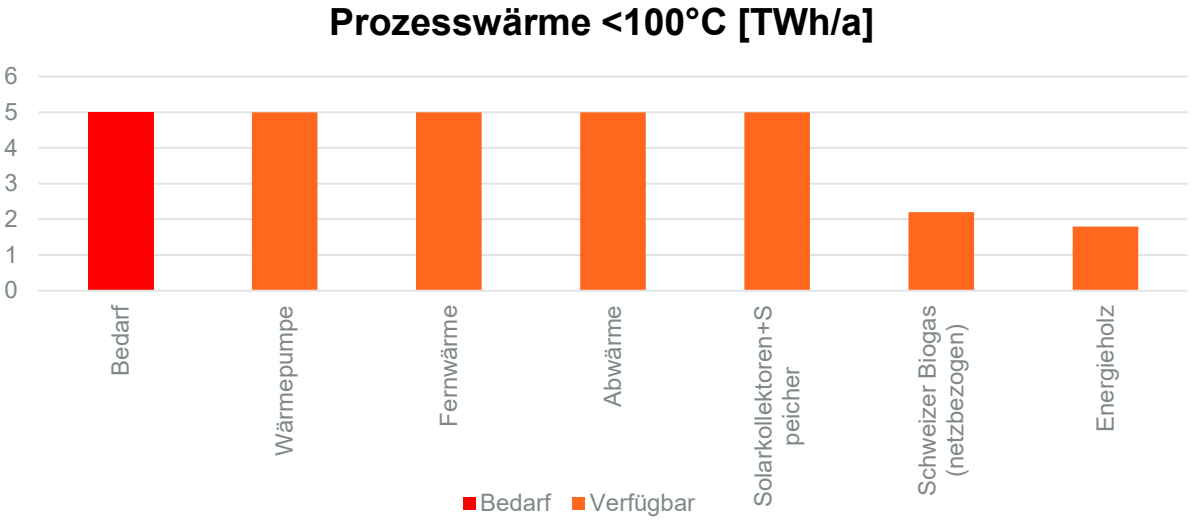
Grafik: Dina Tschumi; Prognos AG

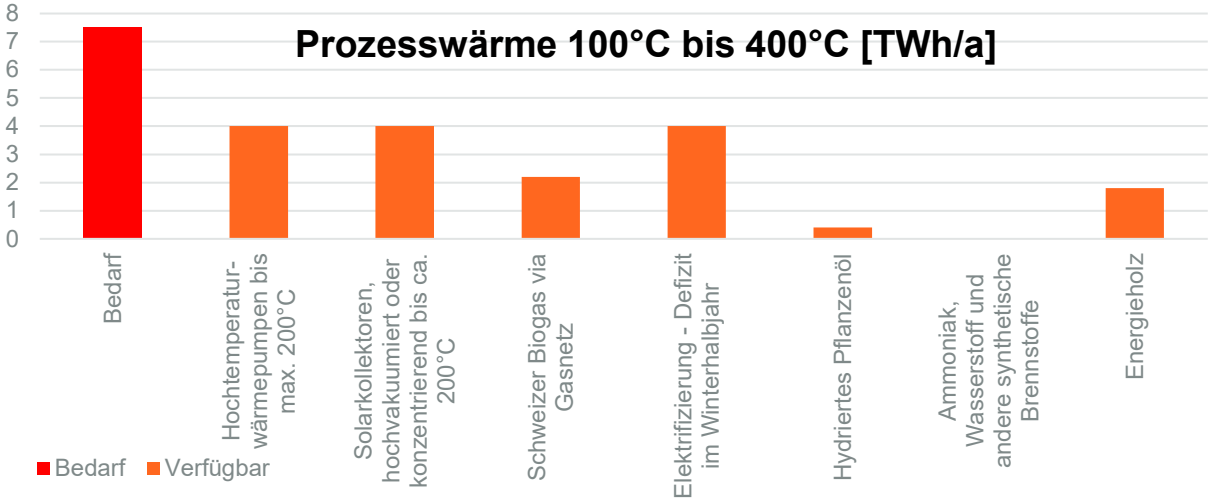
Energieperspektiven 2050+ (admin.ch)

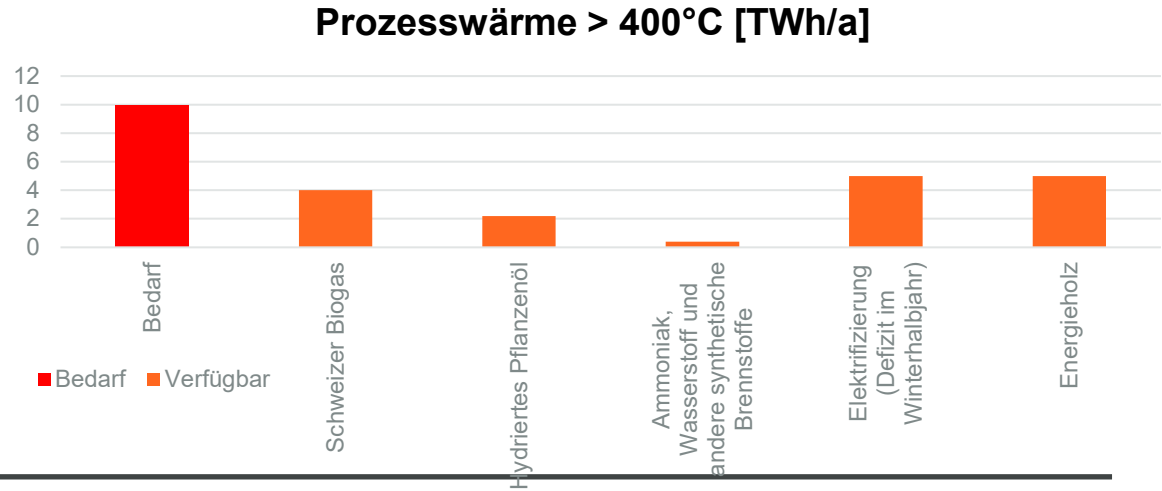
Power Switcher | Axpo

WOFÜR SETZT MAN WELCHE WÄRMEQUELLE EIN?

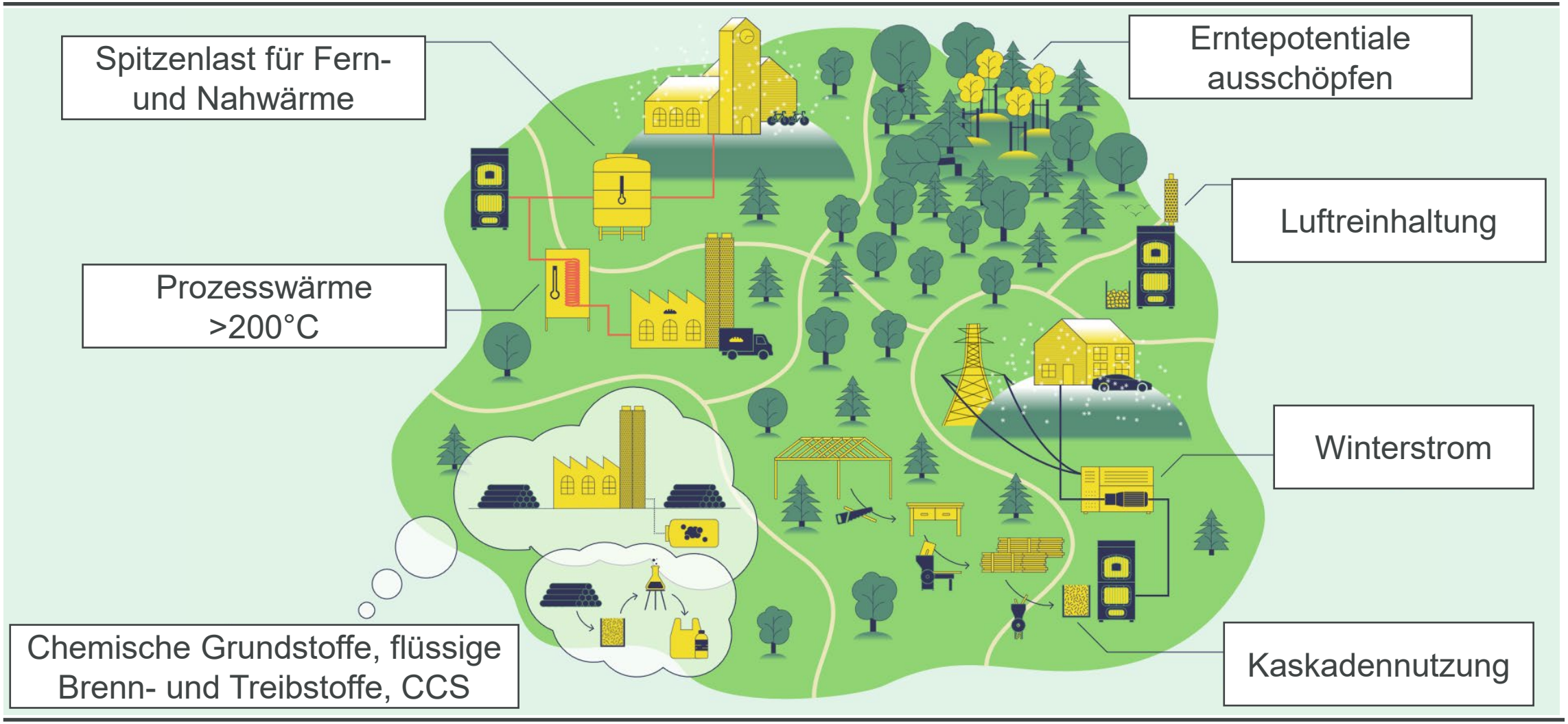








WOFÜR WIRD ENERGIEHOLZ KÜNFTIG SINNVOLL VERWENDET?





Frank Rutschmann

HERZLICHEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT!

Multisource Wärmeproduktionsanlagen

Holzenergie in Kombination mit weiteren Energieträgern

Stefan Thalmann, Verenum AG
Martin Kiener, EnOp GmbH

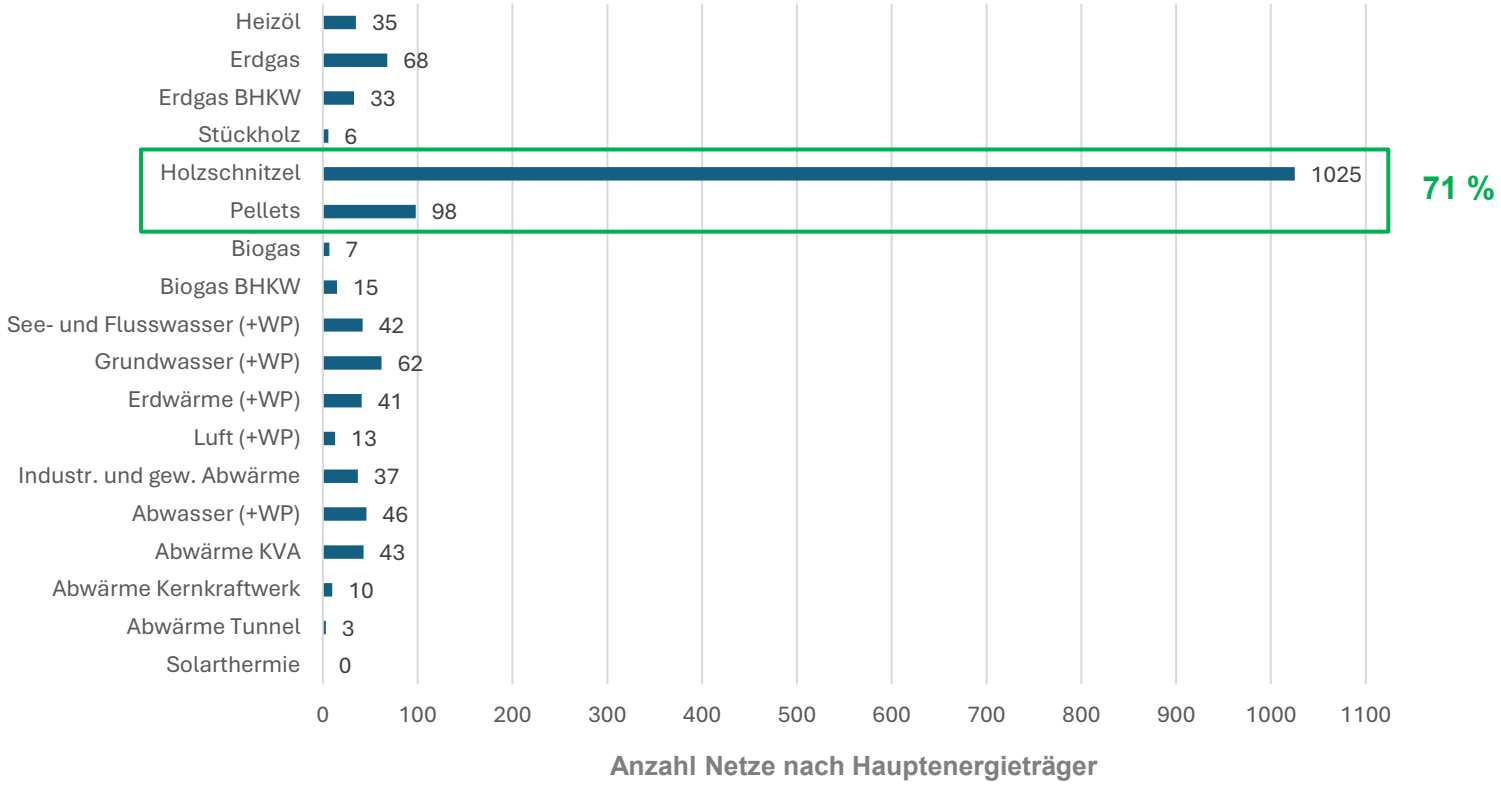
19. Holzenergie-Symposium, 11. September 2026, ETH Zürich

verenum EnOp

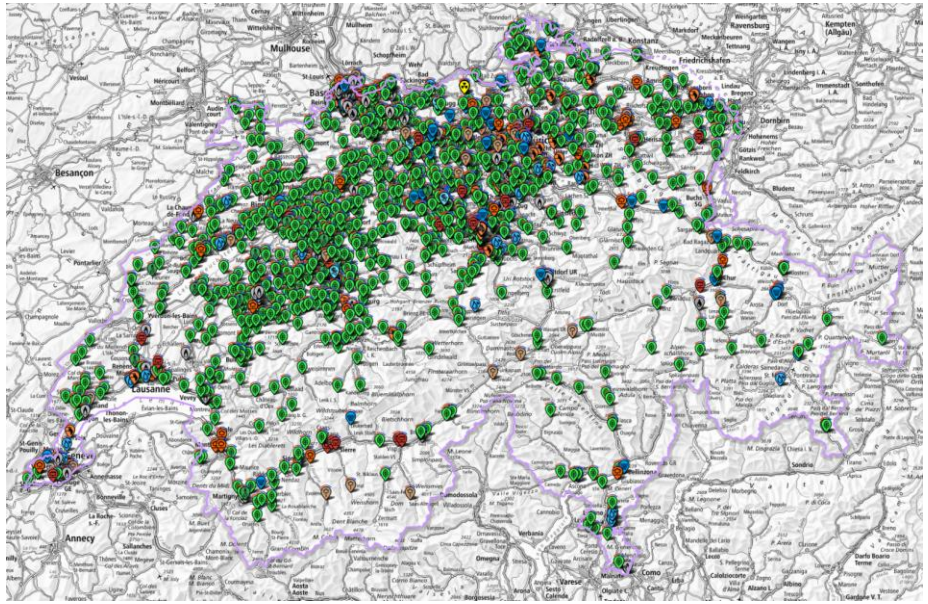
QM Holzheizwerke

Ausgangslage

- Viele **bestehende thermische Netze** mit Hauptenergieträger Holz



71 %



Karte mit Daten zu thermischen Netzen in der Schweiz.
https://map.geo.admin.ch

Quelle: Karten der Schweiz - Schweizerische Eidgenossenschaft - Thermische Netze». Zugegriffen: 31. August 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://map.geo.admin.ch/#/map?lang=de&center=2658218.18,1200447.11&z=1&topic=energie&layers=ch.bfe.thermische-netze&bgLayer=ch.swisstopo.pixelkarte-grau&catalogNodes=energie,2420,2427,2480,2429,2431,2434,2436,2767,2441,3206,2419

verenum EnOp QM Holzheizwerke

Ausgangslage – Zielkonflikt

- Viele **bestehende thermische Netze** mit Hauptenergieträger Holz
- **Begrenztes Energieholzpotenzial**, regional unterschiedlich
- **Ausbau** der thermischen Netze
- Steigende Nachfrage nach **Energieholz für Prozesswärme**

Übergeordnetes Projektziel

- Aufzeigen wie Energieholz dort eingesetzt wird, wo es den **grössten Nutzen** aufweist
- **Wissenslücke schliessen** – bisher nur konzeptionelle Angaben im Planungshandbuch QM Holzheizwerke
- Realisierte Multisource-Wärmeproduktionsanlagen **praxisnah dokumentieren**
- Wiederkehrende **Muster** und belegte **Erfahrungswerte** herausarbeiten
- **Gesammelte Erkenntnisse** für Planer und Betreiber zugänglich machen
- Zu weiteren Anlagen mit kombinierter Wärmeproduktion **inspirieren.**

Was bedeutet Multisource im Kontext des Projekts

- Wärmeproduktionsanlagen mit **diversen Energieträgern inkl. Energieholz**
- **Bedingungen** an die portraitierten Anlagen:
  - Energieholz ist dabei nicht zwingend Hauptenergieträger
  - Projekteigner und Investoren haben Investitionsentscheid getroffen.
  - Anlagen sind in der Ausführungsplanung, stehen kurz vor oder sind bereits in Betrieb.
  - Keine vagen Machbarkeits- oder Konzeptstudien.
- Ziel war es **15 bis 20 Anlagen** zu porträtieren.
- Aufbereiten der zur Verfügung gestellten Information in einer **standardisierten Übersicht je portraitierter Anlage** (4 bis 6 Seiten)
- **Konsolidierung und Synthese** der Informationen, alles in einem Bericht zusammengeführt.

22 Portraitierte Anlagen

Nutzungsart	Anlagenbeispiel	Standort	Kanton / Bundesland
Klassischer Wärmeverbund	Wärmeverbund Falkenstrasse	CH-8200 Schaffhausen	SH
	Wärmeverbund Mutschellen	CH-8968 Mutschellen	AG
	Wärmeverbund Rheinfelden	CH-4310 Rheinfelden	AG
	Wärmeverbund Therwil	CH-4106 Therwil	BL
	Wärmeverbund Aesch	CH-4147 Aesch	BL
	Wärmeverbund Leukerbad	CH-3954 Leukerbad	VS
	Wärmeverbund Hardau	CH-8004 Zürich	ZH
	Wärmeverbund Muri	CH-5630 Muri	AG
	Wärmeverbund Schaffhausen Ost	CH-8200 Schaffhausen	SH
	Wärmeverbund Aarwangen	CH-4912 Aarwangen	BE
	Wärmeverbund Wald im Pinzgau	AT-5742 Wald im Pinzgau	S
	Wärmeverbund St. Ruprecht	AT-8181 St. Ruprecht an der Raab	St
	Wärmeverbund Gleisdorf	AT-8200 Gleisdorf	St
	Wärmeverbund Lenzerheide	CH-7078 Lenzerheide, GR	GR
	Wärmeverbund Herrliberg	CH-8704 Herrliberg	ZH
	Wärmeverbund Verbier	CH-1936 Verbier	VS
Industrie mit Wärmeverbund	Wärmeverbund Villmergen Industrie	CH-5612 Villmergen	AG
	Wärmeverbund (anonym)		
	Wärmeverbund Le Noirmont	CH-2340 Le Noirmont	JU
	Pflanzenkohleproduktion Luthern	CH-6156 Luthern	LU
Mehrfamilienhaus	Mehrfamilienhaus Luzern	CH-6003 Luzern	LU
Schulareal	Schule Seuzach	CH-8472 Seuzach	ZH

verenum EnOp

QM Holzheizwerke

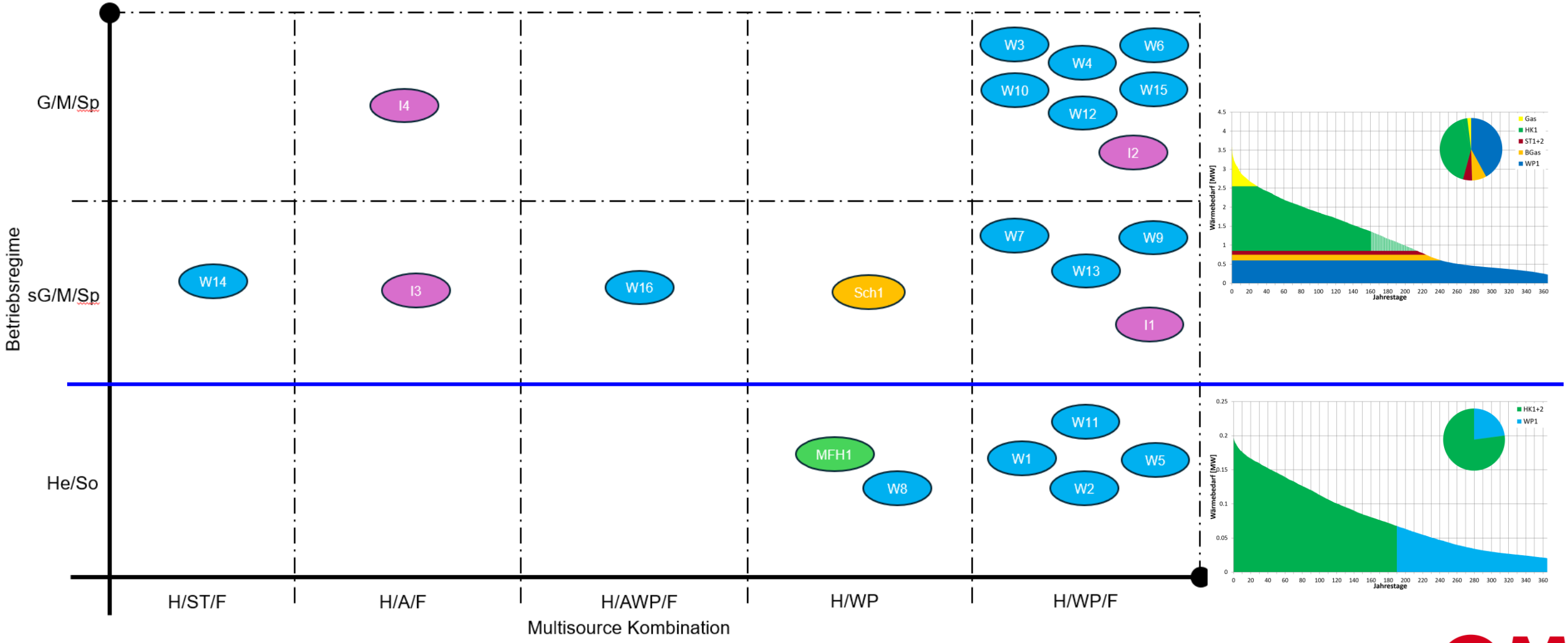
Typische Kombinationen

H/WP:	Holzfeuerung mit Kompressionswärmepumpe
H/WP/F:	Holzfeuerung mit Kompressionswärmepumpe und fossiler Spitzenlast / Redundanz
H/AWP/F:	Holzfeuerung mit Absorptionswärmepumpe und fossiler Spitzenlast / Redundanz
H/ST/F:	Holzfeuerung mit Solarthermie und fossiler Spitzenlast / Redundanz
H/A/F:	Holzfeuerung mit direkt nutzbarer Abwärme und fossiler Spitzenlast / Redundanz

Typische Betriebsarten

He/So:	Saisonale Aufteilung nach **He**izsaison- und **So**mmerbetrieb.
G/M/Sp:	Klimaunabhängige Abdeckung des Leistungsbedarfs durch Stapelung der Produktionsleistung der Anlagensysteme (Grundlast/Mittellast/Spitzenlast)
sG/M/Sp	Grundsätzlich eine klimaunabhängige Abdeckung des Leistungsbedarfs durch Stapelung der Produktionsleistung der Anlagensysteme, jedoch bei einzelnen Anlagensystemen nur bis zu einer gewissen Aussentemperatur (saisonale Grundlast/Mittellast/Spitzenlast).

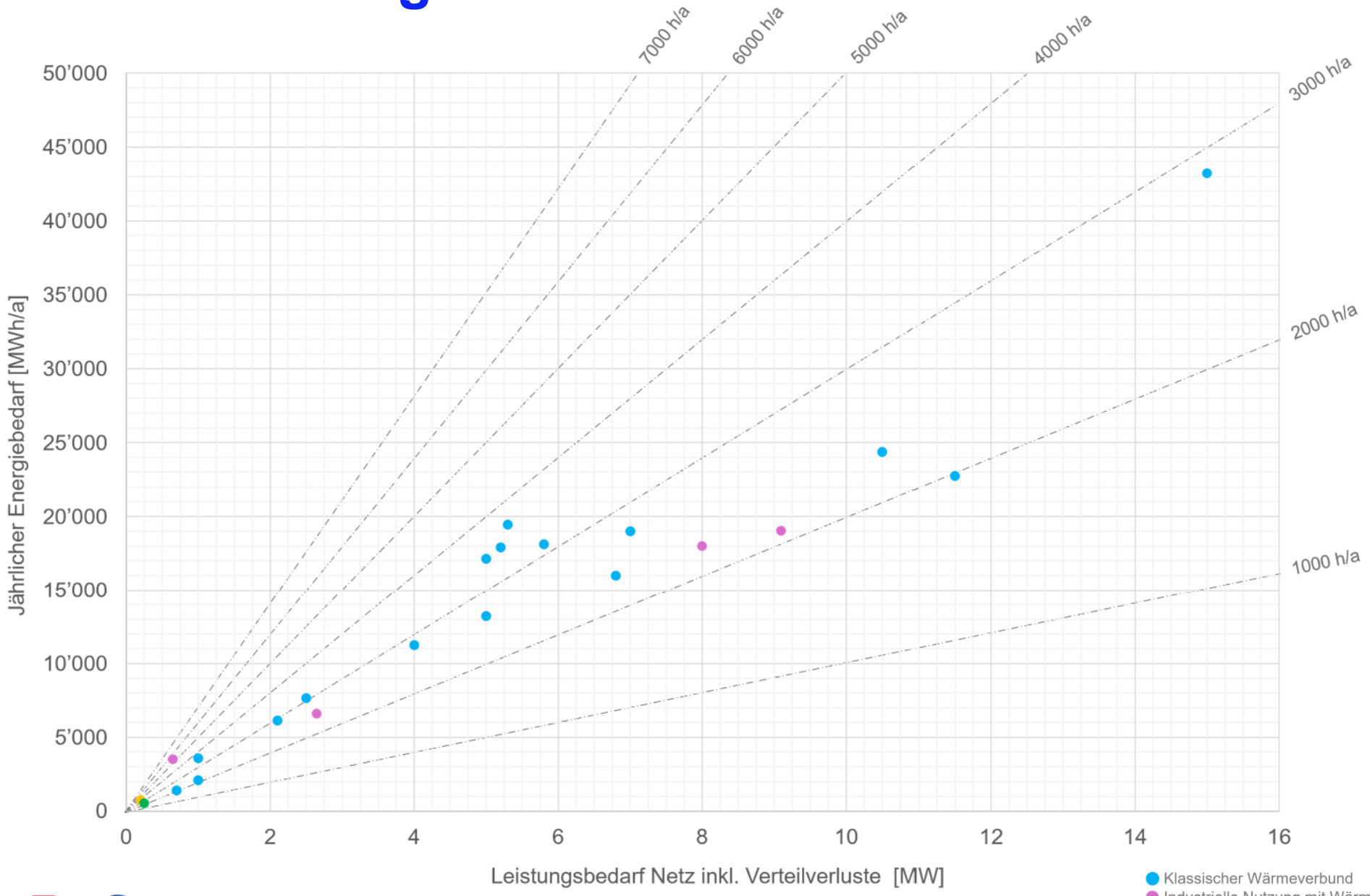
Multisource-Kombinationen und typische Betriebsarten



- Klassischer Wärmeverbund
- Industrielle Nutzung mit Wärmeverbund
- Mehrfamilienhaus
- Schulareal

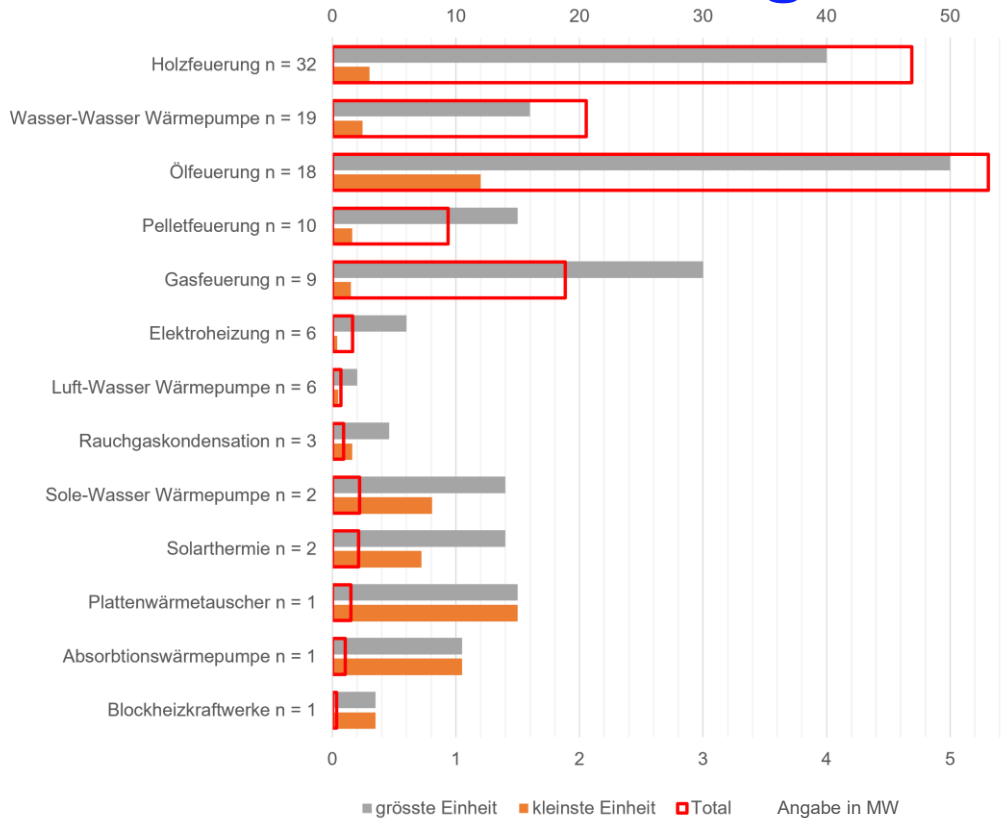
verenum EnOp QM Holzheizwerke

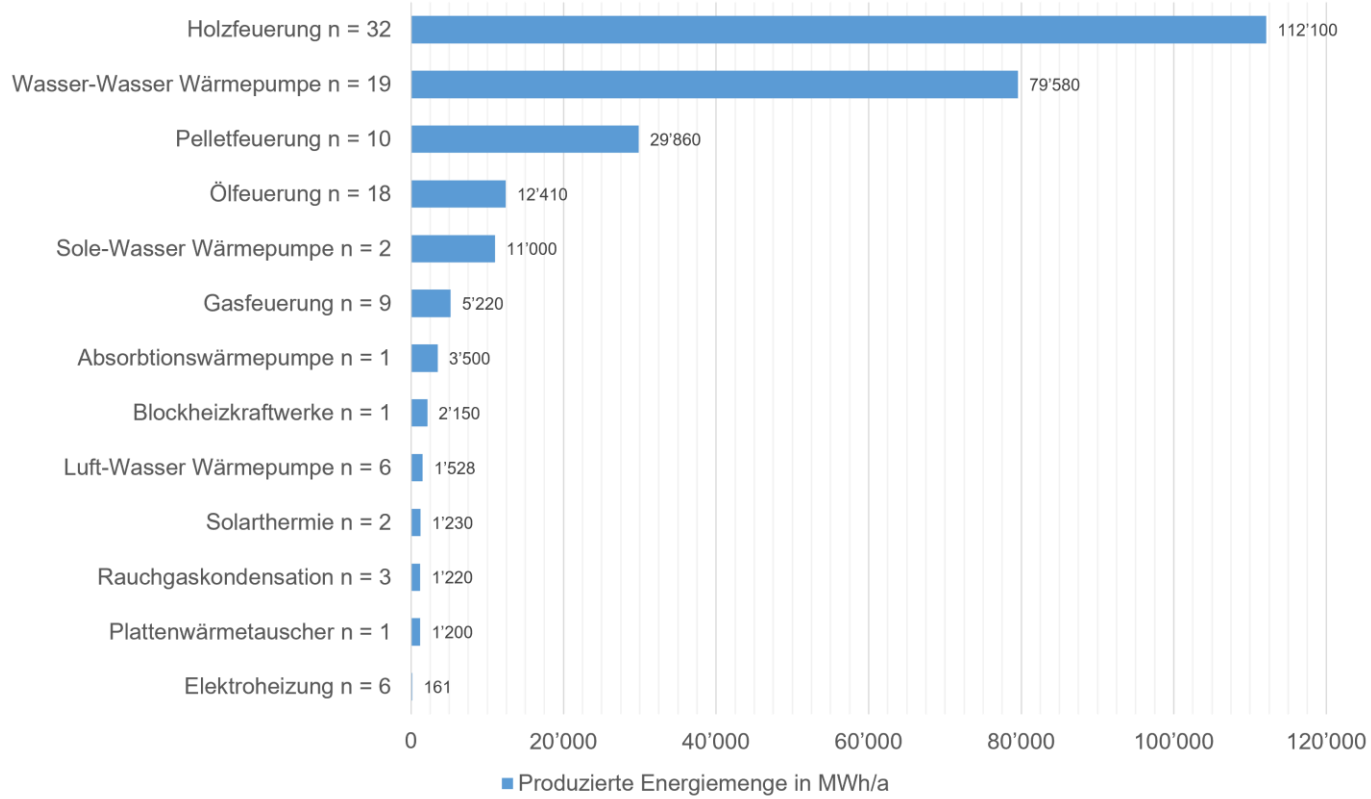
Energie- und Leistungsbedarf



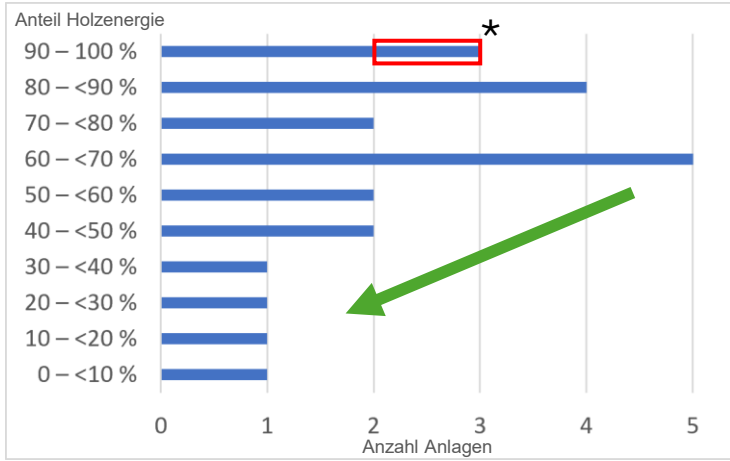
verenum EnOp QM Holzheizwerke

Installierte Leistungen / Produzierte Energiemengen





- Anteil der erneuerbaren Energiemenge beträgt gut 93.3%
- Mit grossem Anteil Strom für WP und Schweizer Strommix reduziert sich der Anteil erneuerbar auf rund 90.9%.



Anteil Holzenergie im Mittel ungefähr 65%
Bei Zweidrittel der Anlagen liegt der Anteil über 60%

* Spezialfall Pflanzenkohleanlage mit Abwärmenutzung für Wärmeverbund

verenum EnOp QM Holzheizwerke

Abgeleitete Empfehlungen aus den Rückmeldungen zu technischen wie auch nicht-technischen Herausforderungen

1. Zieldefinition und Rahmenbedingungen früh klären

gesetzliche und politische Vorgaben (kantonales Energiegesetz, Anteil Erneuerbar), bestehende Infrastruktur, Wirtschaftlichkeit, Bewilligungen, Versorgungssicherheit, Flexibilität

2. Verfügbare Energiequellen standortspezifisch prüfen

Verfügbarkeit, zeitlicher Verlauf, Temperaturniveau, Genehmigungsfähigkeit und langfristige Sicherung
Holzenergie gezielt einsetzen: bei hohen Temperaturen, Spitzenlast oder Prozesswärme

3. Systemkonzept und Betriebsregime früh festlegen

Rolle der einzelnen Systeme im Jahresverlauf (saisonal, Grund-, Mittel- und Spitzenlastsysteme)
Abhängig vom Energieträger, beeinflusst Dimensionierung, Hydraulik, Speicher, Regelung und Wirtschaftlichkeit.

4. Anlagen sorgfältig dimensionieren

Überdimensionierung: ungünstiger Teillastbetrieb, häufiges Takten, höhere Investitionskosten und tiefe Auslastung
Unterdimensionierung: gefährdet Versorgungssicherheit
Abstimmung bei Kombinationen: Mindestlasten, Laufzeiten, Speicherbewirtschaftung und Temperaturanforderungen

5. Hydraulik, Schnittstellen und Regelung integral planen

Mit zunehmender Anzahl Energiequellen steigt die Komplexität der Systemintegration.
Hydraulische Einbindung, Temperaturstufen, Speicher, Prioritäten der Erzeuger, Umschaltpunkte und Regelstrategien müssen früh geplant werden.
Klar definierte Schnittstellen zwischen Planung, Ausführung, Leittechnik und Betrieb → frühzeitig etablieren

6. Realisierung und Inbetriebnahme phasenweise absichern

Die Systeme nicht nur komponentenweise in Betrieb nehmen (Gesamtsystem).
Neben der Funktionsprüfung braucht es eine systematische Optimierung der Betriebsfälle, insbesondere für Übergangszeiten, Sommerbetrieb, Spitzenlastfälle und Störsituationen.
Genügend Zeit für Tests, Nachjustierungen und Schulung des Betriebspersonals vorsehen.

7. Betrieb, Monitoring und Optimierung sicherstellen

Aktives und kontinuierliches Monitoring der wichtigsten Kennzahlen (Energieproduktion, Laufzeiten, Starts, Jahresarbeitszahlen, Temperaturen, Speicherverhalten, fossiler Anteil, Auslastung etc.).
Voraussetzung, um Fehlfunktionen zu erkennen und die Anlage schrittweise zu optimieren

Abgeleitete Empfehlungen aus den Rückmeldungen zu technischen wie auch nicht-technischen Herausforderungen

1. **Zieldefinition und Rahmenbedingungen früh klären**

   gesetzliche und politische Vorgaben (kantonales Energiegesetz, Anteil Erneuerbar), bestehende Infrastruktur, Wirtschaftlichkeit, Bewilligungen, Versorgungssicherheit, Flexibilität

2. **Verfügbare Energiequellen standortspezifisch beurteilen**

   Verfügbarkeit, zeitlicher Verlauf, Temperaturniveau, Genehmigungsfähigkeit und langfristige Sicherung
   Holzenergie gezielt einsetzen: bei hohen Temperaturen, Spitzenlast oder Prozesswärme

3. **Systemkonzept und Betriebsregime früh festlegen**

   Rolle der einzelnen Systeme im Jahresverlauf (saisonal, Grund-, Mittel- und Spitzenlastsysteme)
   Abhängig vom Energieträger, beeinflusst Dimensionierung, Hydraulik, Speicher, Regelung und Wirtschaftlichkeit.

4. **Anlagen sorgfältig dimensionieren**

   Überdimensionierung: ungünstiger Teillastbetrieb, häufiges Takten, höhere Investitionskosten und tiefe Auslastung
   Unterdimensionierung: gefährdet Versorgungssicherheit
   Abstimmung bei Kombinationen: Mindestlasten, Laufzeiten, Speicherbewirtschaftung und Temperaturanforderungen

5. **Hydraulik, Schnittstellen und Regelung integral planen**

   Mit zunehmender Anzahl Energiequellen steigt die Komplexität der Systemintegration.
   Hydraulische Einbindung, Temperaturstufen, Speicher, Prioritäten der Erzeuger, Umschaltpunkte und Regelstrategien müssen früh geplant werden.
   Klar definierte Schnittstellen zwischen Planung, Ausführung, Leittechnik und Betrieb → frühzeitig etablieren

6. **Realisierung und Inbetriebnahme phasenweise absichern**

   Die Systeme nicht nur komponentenweise in Betrieb nehmen (Gesamtsystem).
   Neben der Funktionsprüfung braucht es eine systematische Optimierung der Betriebsfälle, insbesondere für Übergangszeiten, Sommerbetrieb, Spitzenlastfälle und Störsituationen.
   Genügend Zeit für Tests, Nachjustierungen und Schulung des Betriebspersonals vorsehen.

7. **Betrieb, Monitoring und Optimierung sicherstellen**

   Aktives und kontinuierliches Monitoring der wichtigsten Kennzahlen (Energieproduktion, Laufzeiten, Starts, Jahresarbeitszahlen, Temperaturen, Speicherverhalten, fossiler Anteil, Auslastung etc.).
   Voraussetzung, um Fehlfunktionen zu erkennen und die Anlage schrittweise zu optimieren

Rolle der Holzenergie und Bedeutung für QM Holzheizwerke

- Systemintegration rückt ins Zentrum
- Vom Hauptenergieträger zum Systembaustein
- Hebelwirkung bei den hunderten bestehenden Wärmeverbünden
- Einsatz dort, wo hohe Temperaturen nötig sind
- Mittel- und Spitzenlast, Prozesswärme und saisonale Absicherung

QM Holzheizwerke - Qualitätssicherung über den ganzen Lebenszyklus
(Planung, Inbetriebnahme, Betrieb)

verenum EnOp

QM Holzheizwerke

Herzlichen Dank für ihre Aufmerksamkeit!

Auftraggeber:	Bundesamt für Energie, EnergieSchweiz
Begleitgruppe und Mitfinanzierung:	Kanton Aargau Departement Bau, Verkehr und Umwelt
	Verband Holzenergie Schweiz
	Verband Thermische Netze Schweiz
	Schweizerischer Verband für Kältetechnik

Und natürlich allen mitwirkenden Eigentümern, Betreibern und Planenden der portraitierten Anlagen.

Autoren:
Martin Kiener, EnOp GmbH
Stefan Thalmann, Verenum AG, 8006 Zürich

Mit Unterstützung von
energieschweiz

verenum EnOp

QM Holzheizwerke



BEST
Bioenergy and
Sustainable Technologies

Prädiktive, optimierungsbasierte Einsatzsteuerung von sektorübergreifenden Bioenergiesystemen

19. Holzenergie-Symposium, 11.09.2026, ETH Zürich

Markus Gölles, Valentin Kaisermayer, Daniel Muschick,
Jakob Fuchsberger, Andreas Moser, Bernd Riederer, Daria Shabatska

FFG Forschung wirkt.
Bundesministerium Innovation, Mobilität und Infrastruktur
Bundesministerium Wirtschaft, Energie und Tourismus
wirtschaftsagentur wien
Für die Stadt Wien
Das Land Steiermark
Wirtschaft, Arbeit, Finanzen, Wissenschaft und Forschung
SFG
NEUES DENKEN. NEUES FÖRDERN.

Herausforderungen im Betrieb zukünftiger (Bio-)Energiesysteme

- **Nachhaltige Energie- und Ressourcenversorgung** erfordert
  - flexibles, sektorübergreifendes Energie- und Ressourcensystem
  - das spezifische Vorteile der verschiedenen Technologien und Ressourcen nutzt

- **Zunahme von Komplexität und Variationsbreite** durch
  - Integration von erneuerbaren (meist volatilen) Energiequellen
  - Verstärkte Sektorkopplung
    - meist relevanter Anteil an Wärme, z.B. KWK oder Elektrolyseure
  - Integration von (Langzeit)Speichern
  - Neue Preismodelle / Plattformen für Flexibilitätsbereitstellung

Zunehmende Komplexität und Variationsbreite erfordert

flexible und effiziente Einsatzsteuerung aller Komponenten

Anforderungen an Einsatzsteuerungen

Optimaler Betrieb
(Kosten, CO_2 Emissionen, …)

→ **Optimierungsbasiert**
Gewährleistet optimalen Betrieb des Systems durch gezielte Nutzung aller Technologien

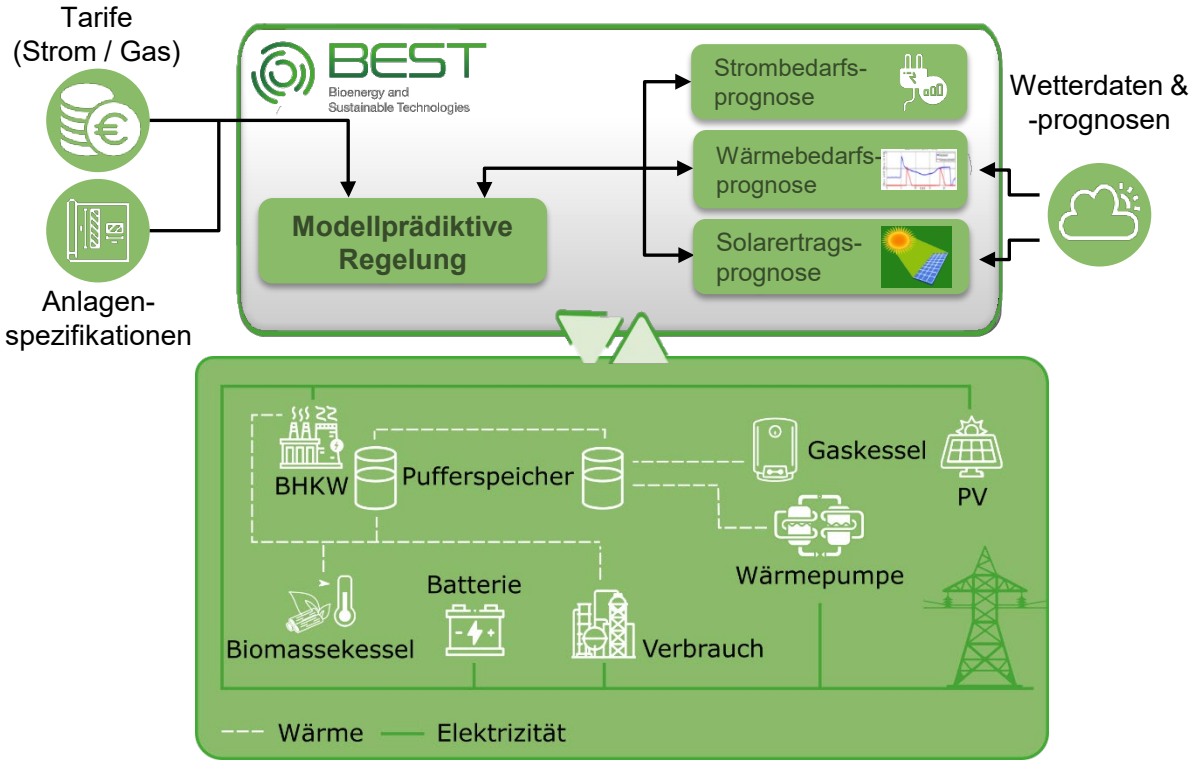
Volatilität
von Erzeugung und Verbrauch

→ **Prädiktiv**
Integration von Wetter- und Marktpreisprognosen
Berechnung von Verbrauchs- und Ertragsprognosen

Variationsbreite
der Konfigurationen

→ **Modular**
Automatische (Re-)Formulierung des Optimierungsproblems basierend auf Spezifikationen der Komponenten

Modulares, prädiktives, optimierungsbasiertes Energie- und Ressourcensteuerungssystem



Ein Software-Framework für viele Anwendungen

Einfamilienhäuser

Energiemanagement zur Erhöhung von Komfort und Effizienz



EEG / BEG

Synchronisation individueller Produktionen und Verbräuche

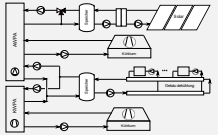




Solarthermie

Solare(s) Kühlen, Prozesswärme, Fernwärme

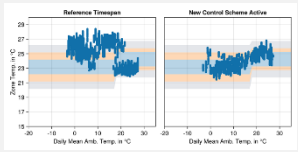




Gebäude / Quartiere

Heizen und Kühlen bei gesteigertem Komfort





Fernwärme

Wärmeversorgung ganzer Städte mit Hunderten Verbrauchern



Gewerbe und Industrie

Steuerung von Energieerzeugung, -speicherung und -verbrauch





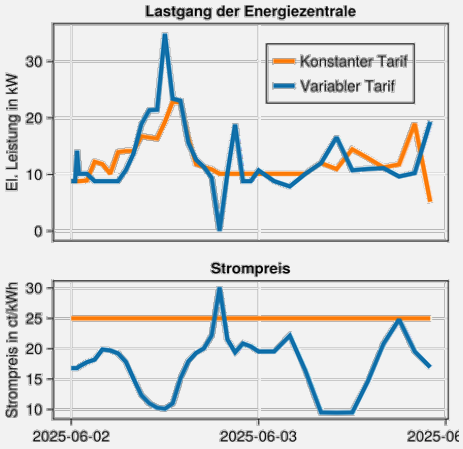


Ermöglicht sektorübergreifende, flexible, systemdienliche Betriebsführung

Flexibilitätsbereitstellung für den Stromsektor

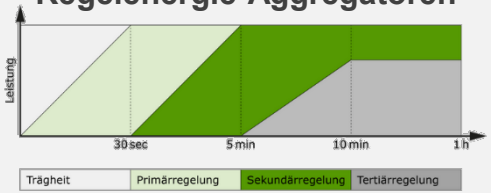
Dynamische Strompreise

Zeitliche Verschiebung von Verbrauch / Erzeugung



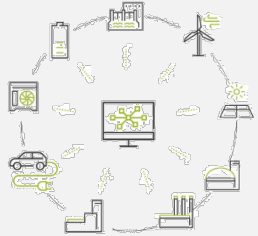
Teilnahme am Intraday-Handel

Regelenergie-Aggregatoren



© A1 Energy Solutions

Virtual Power Plants



© Next Kraftwerke

Flexibilität für Verteilnetze

Beispielhafte Initiative in Österreich: Stromausgleich Österreich



Stromausgleich Österreich

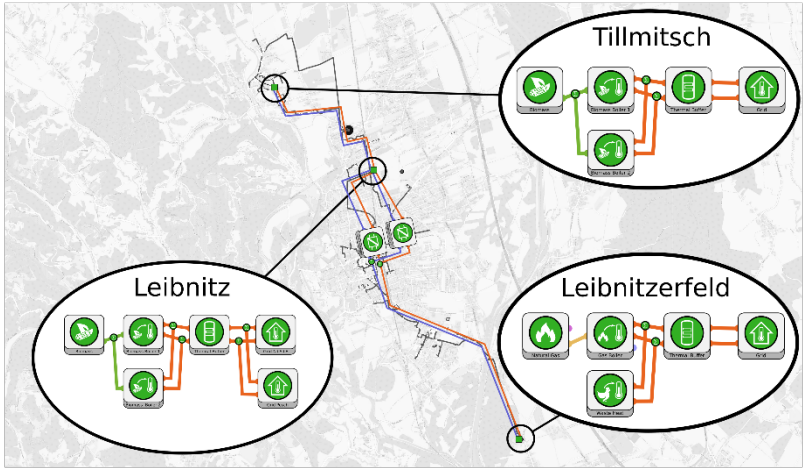
© APG

Großes Potential in Flexibilitätsbereitstellung durch den Wärmesektor

Umsetzungsbeispiel 1
Zusammenschluss von 2 Nahwärmenetzen

Nahwärmenetze				
Netz	**Kapazität Produktion**	**Jährlicher Wärmebedarf**	**Kapazität Speicher**	**Potential Abwärme**
Tillmitsch*	2 x 800 kW Biomassekessel	~ 4 GWh	25 m³	
Leibnitz*	3,2 & 2,4 MW Biomassekessel	~ 12 GWh	75 m³	
Leibnitzerfeld	6 MW Gaskessel	~ 15 GWh	2 x 223 m³	~ 4.5 MW

Wärmeübertrager	
Netze	**Kapazität**
Leibnitz ↔ Leibnitzerfeld	4 MW

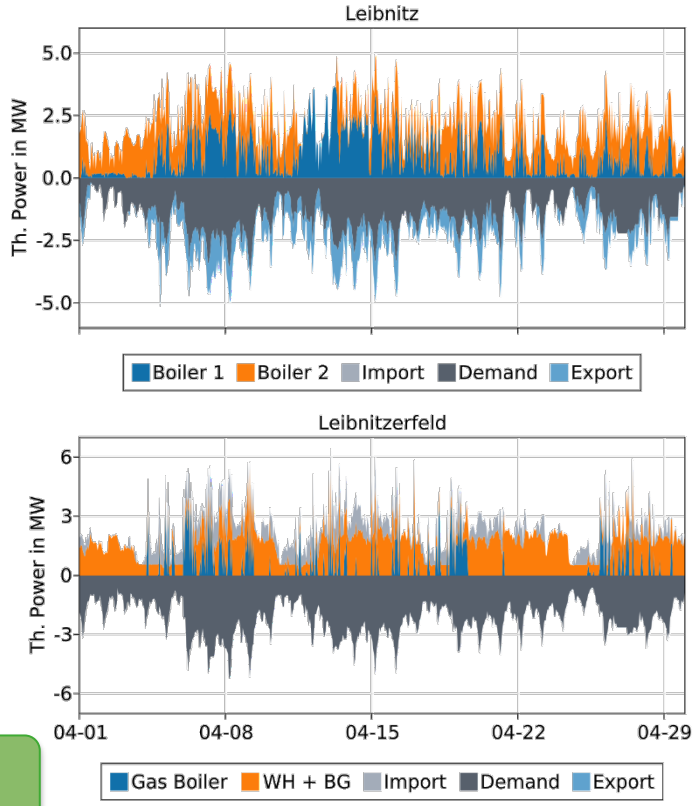


* Netze in Tillmitsch und Leibnitz haben gleichen Eigentümer → Betrachtung als 1 Netz mit 2 Einspeisepunkten

Umsetzungsbeispiel 1
Zusammenschluss von 2 Nahwärmenetzen

- **Langzeitvalidierung nur mit eingeschränkten Entscheidungsrechten**
  - Beschränkung auf Entscheidung des zu übertragenden Wärmestromes
  - → Substitution von Wärme aus Gas durch Biomasse
    - 6,65 GWh (in 13 Monaten)
    - 31% des Gesamtverbrauchs (Leibnitzerfeld)

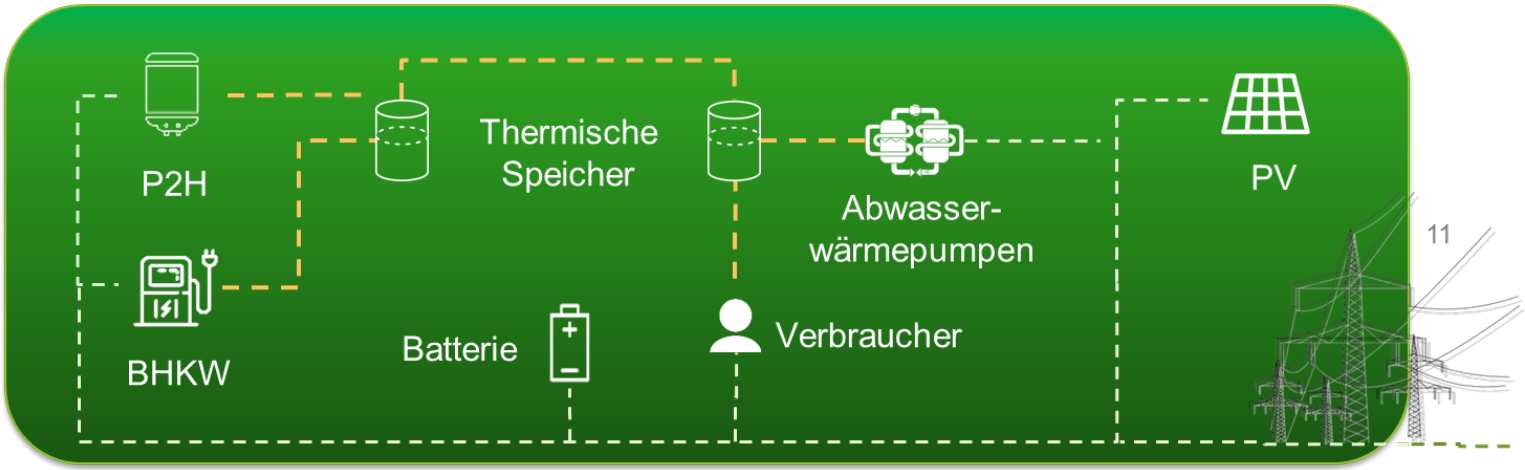
- **Kurzzeitige Validierung der vollständig optimierungsbasierten Einsatzsteuerung**
  - alle Erzeuger und Wärmeübertrager
  - → Erhöhte Nutzung der Übergabestation bis zu 60%



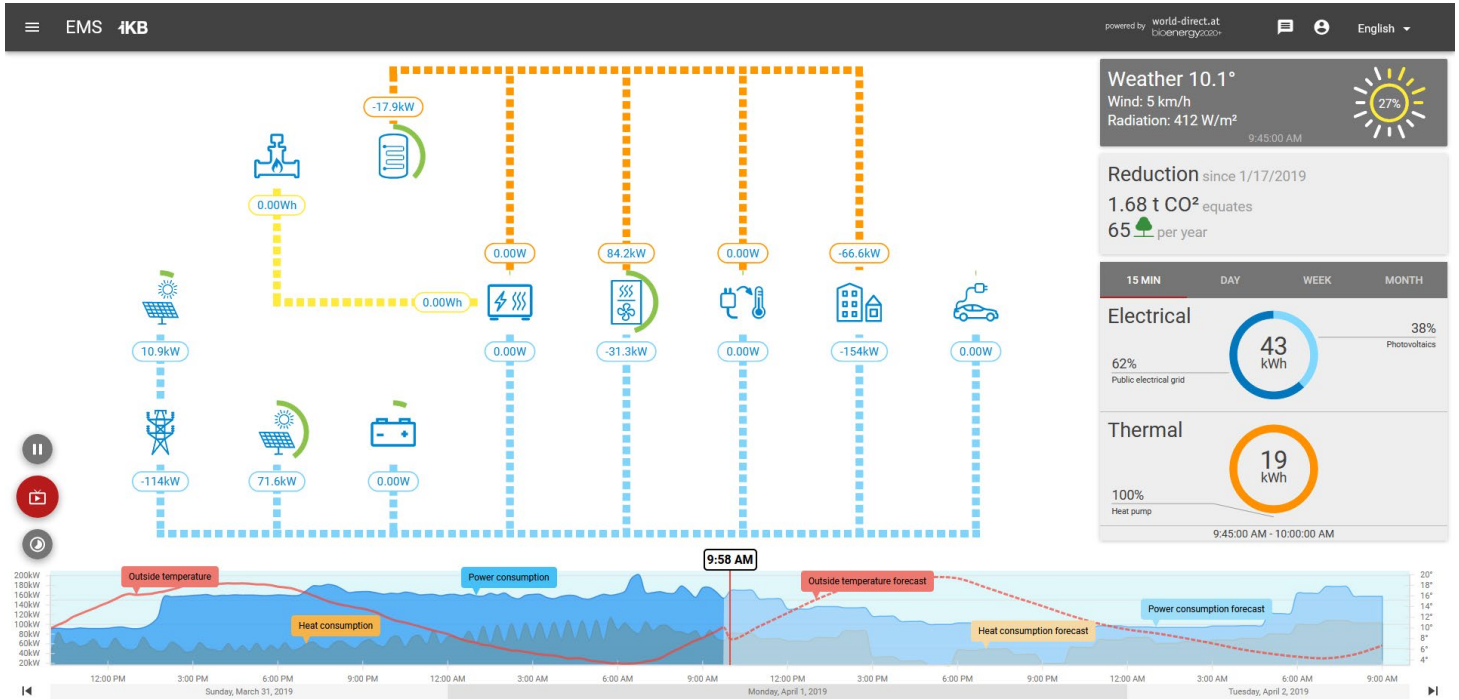
Vertrauensaufbau bei Betreiber*innen erforderlich

Umsetzungsbeispiel 2
iKB – Smart City Lab

- Demonstrator der Innsbrucker Kommunalbetriebe
- Zentrale Regelung mehrerer, auf mehrere Standorte verteilter, Wärmeerzeuger (BHKW, Wärmepumpe, P2H) und Speicher



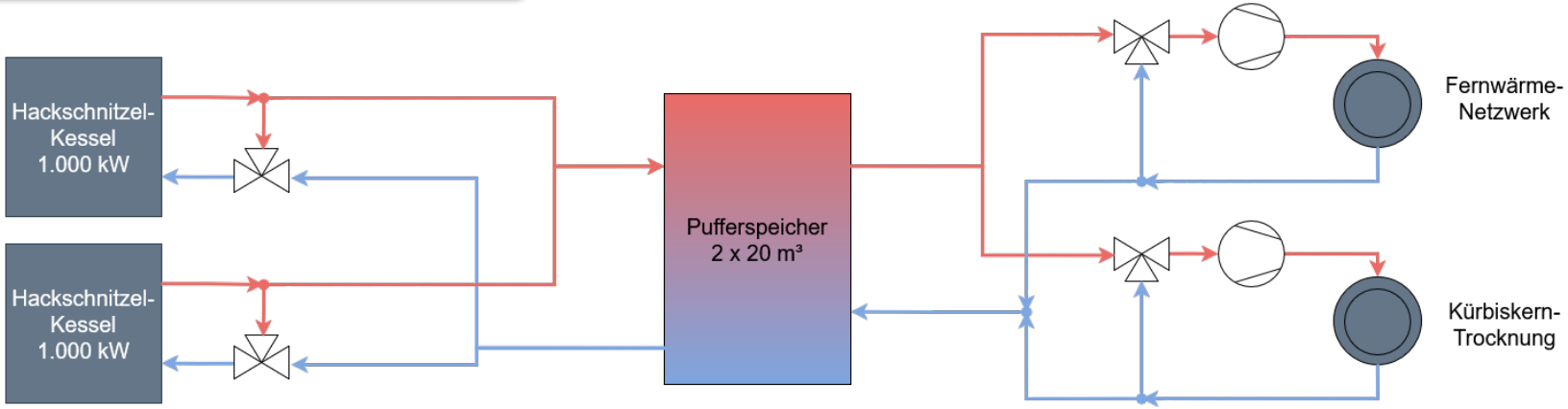
Umsetzungsbeispiel 2
iKB – Smart City Lab



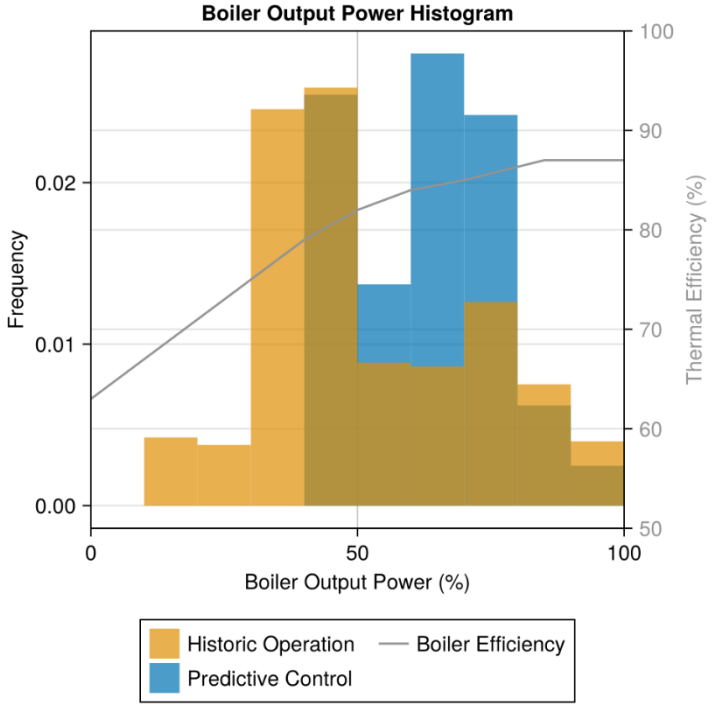
Nachvollziehbarkeit erhöht Akzeptanz bei Betreiber*innen

Potentialabschätzung 1
Einfaches Nahwärmenetz mit zusätzlicher Trocknungsanlage

Nahwärme Kreuzstätten (AUT)



Potentialabschätzung 1
Einfaches Nahwärmenetz mit zusätzlicher Trocknungsanlage



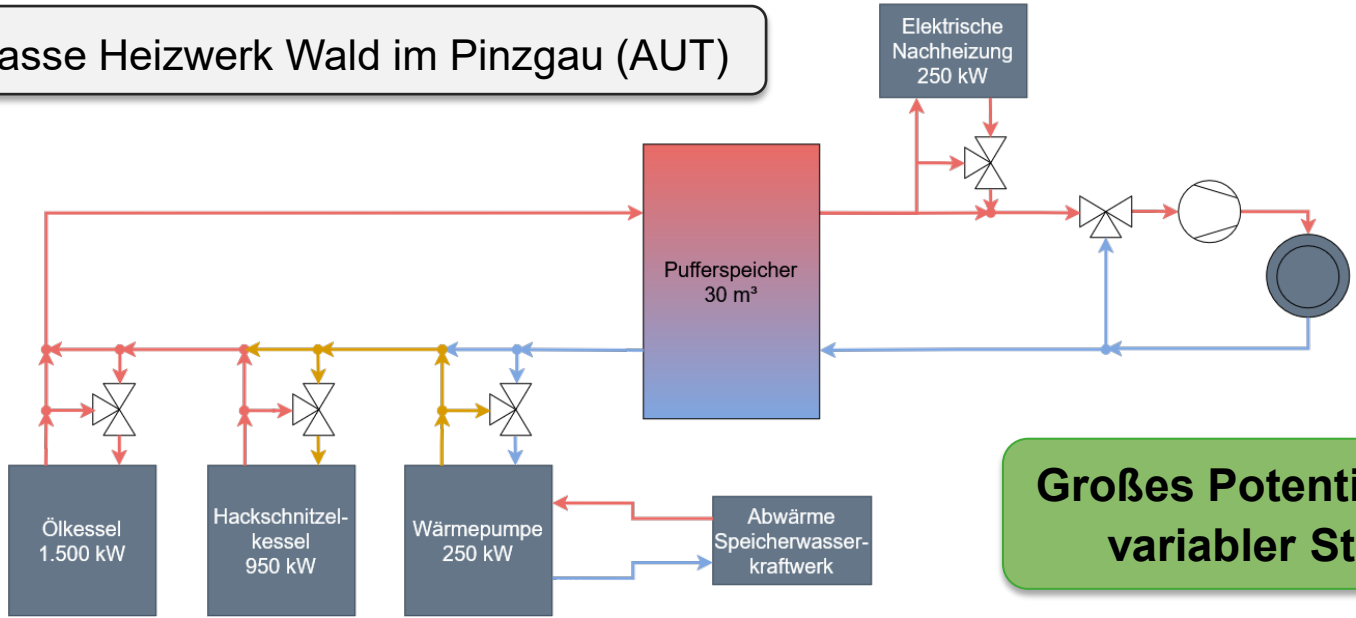
Reduktion der Wärmegestehungskosten durch effizienteren Betrieb: **-4.3%**

Reduktion der Starts/Stopps: **-22.5%**

Schon einfache Systeme profitieren durch effizienteren Kesselbetrieb

Potentialabschätzung 2
Abwärmenutzung (Speicherkraftwerk) in einem Nahwärmenetz

Biomasse Heizwerk Wald im Pinzgau (AUT)



Großes Potential in Nutzung variabler Strompreise

Reduktion der Wärmegestehungskosten durch Nutzung niedriger Strompreise: **-29.5%**

Zusammenfassung und Ausblick

- Zunehmende Komplexität, Variationsbreite und Volatilität erfordern flexible und vorausschauende Einsatzsteuerung aller Komponenten

- Großes Potential in Verwendung optimierungsbasierte, prädiktiver übergeordneter Einsatzsteuerungen

- Breite Nutzung erfordert
  - Vertrauensaufbau bei Betreiber*innen (Nachvollziehbarkeit, effiziente Potentialabschätzung)
  - Standardisierung der Schnittstellen für kosteneffiziente Implementierung



BEST
Bioenergy and
Sustainable Technologies

Prädiktive, optimierungsbasierte Einsatzsteuerung von sektorübergreifenden Bioenergiesystemen

19. Holzenergie-Symposium, 11.09.2026, ETH Zürich

Markus Gölles, Valentin Kaisermayer, Daniel Muschick,
Jakob Fuchsberger, Andreas Moser, Bernd Riederer, Daria Shabatska

FFG Forschung wirkt.
Bundesministerium Innovation, Mobilität und Infrastruktur
Bundesministerium Wirtschaft, Energie und Tourismus
wirtschaftsagentur wien
Für die Stadt Wien
Das Land Steiermark
Wirtschaft, Arbeit, Finanzen, Wissenschaft und Forschung
SFG
NEUES DENKEN. NEUES FÖRDERN.



von natur aus
klimafreundlich

iwb

Technik, Energiebilanz und Emissionen von Pflanzenkohleanlagen im Praxisbetrieb

Philipp Vögelin, Innovationsmanager | 09.09.2026

www.iwb.ch/pflanzenkohle

pflanzenkohle@iwb.ch

Pflanzenkohle in der Energiebranche?

Erfunden von prähistorischen Kulturen
→ Bodenfunde mit pyrogener Kohle

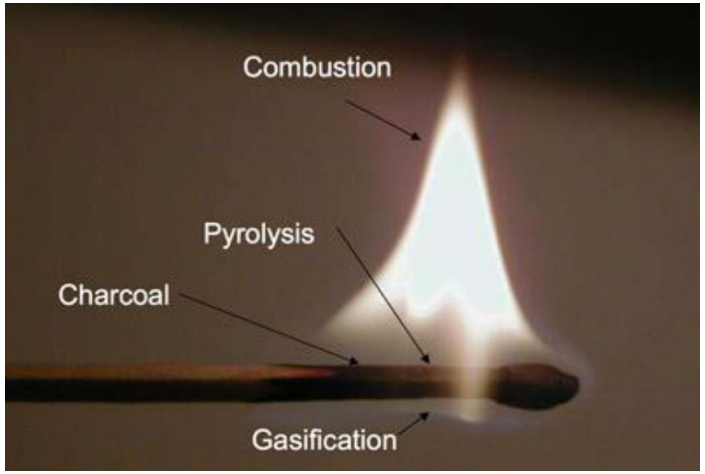
Pyrolyse: thermische Umwandlung ohne Luftzugabe
Biomasse enthält Sauerstoff, darum
→ ½ Kohle und ½ Gase (energetisch)

Automatische Anlagen mit Wärmenutzung seit den 2010er dank Pionieren in A/CH/D

Innovationsabteilung findet branchenfremdes Thema durch Projekt für Kohle aus Kaffeepulpen
→ Fast alle Biomassen geeignet









Bilder: Survivalinternational, Bruno Glaser, Pyrolyse Thomas Reed, Referent

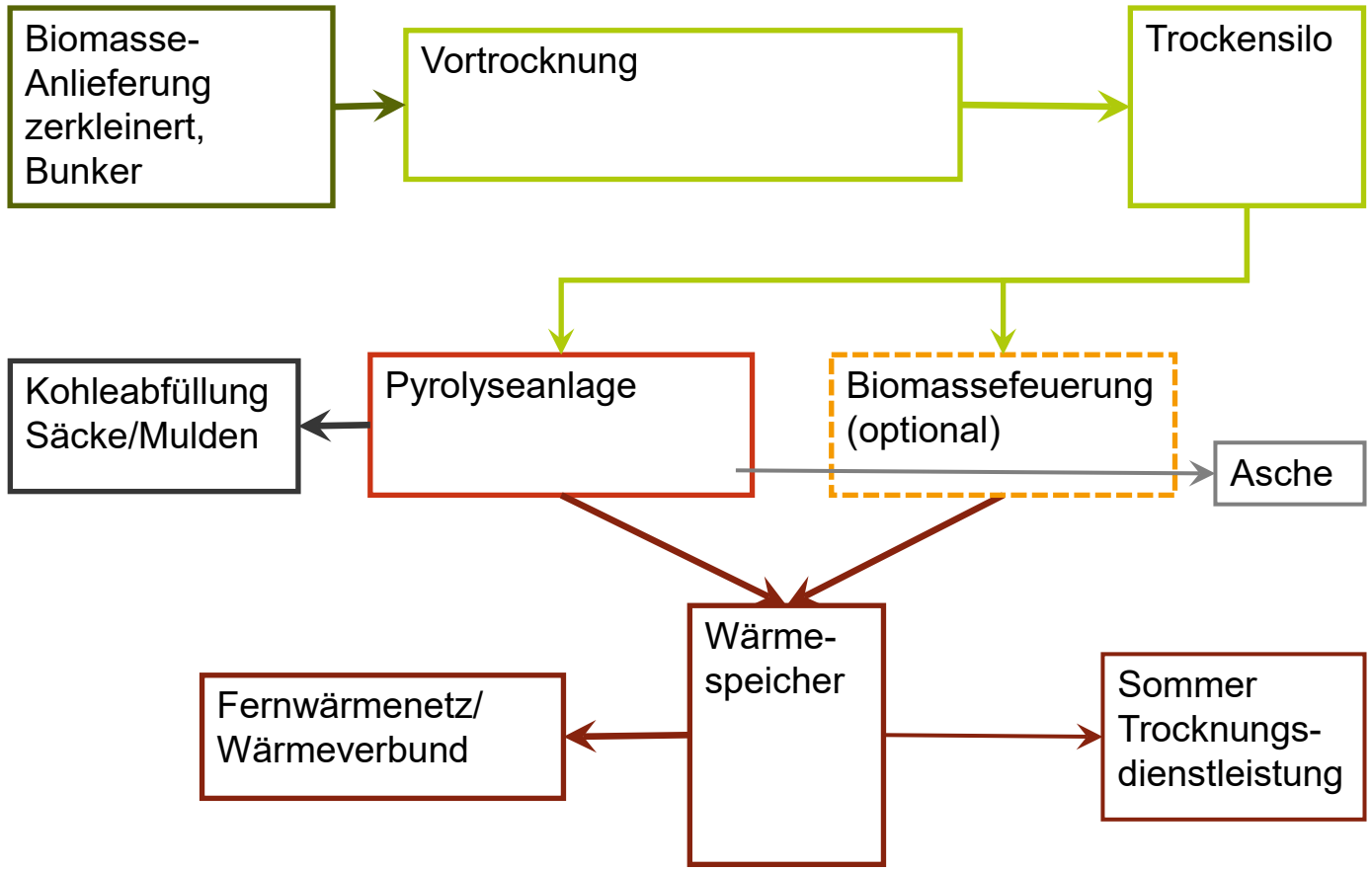
Pilotanlage Basel & neuer Standort Maisprach

Basel (2021): teils überdacht, IWB-Areal
- 1900 t/a Landschaftsholz
- Kohle 400 t/a, Abwärme 550 kW
- Vortrocknung 250 kW
- Fernwärmeeinspeisung 300 kW
- Neuerstellung wäre ca. 5 MCHF

Maisprach (2025): in Gebäude für gemeindeeigenen Wärmeverbund
- 1200 t/a Landschaftsholz
- Kohle 250 t/a, Abwärme 450 kW
- Vortrocknung 180 kW
- Verbund 270 kW
- Neuerstellung wäre ca. 3.5 MCHF

Sommer: Stückholztrocknung in Mulden

Typisches Grundkonzept



Wirtschaftlichkeitsrechnung

Produktionsanlage, keine Wärmeanlage!

Umsatzanteile:

- Kohle ~ 50-75 %
- Wärme ~ 25-35 %
- KSZ ~ 15-20 %
  (Kohlenstoffsenkenzertifikate momentan ¼ des Kohlepreises)

Fazit aus mehreren Vorprojekten:

→ Lange Abschreibungsdauer nötig
→ Risiko Anlagenbau-/Reife
→ Risiko Kohlevermarktung

Beispielannahmen:

- 20 Jahre
- Nettobarwert = 0

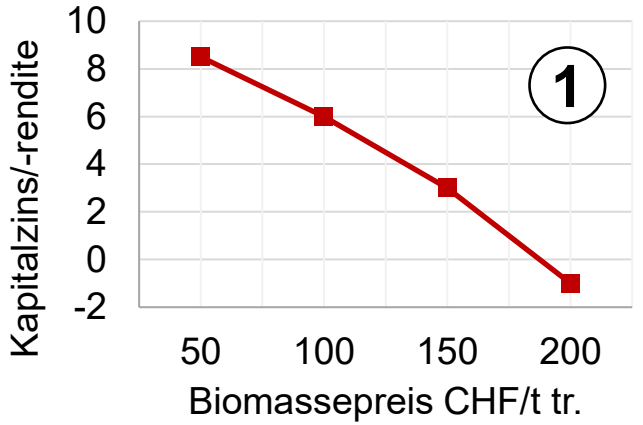
- ½ Vollzeitstelle
- Unterhalt 2 % auf Invest.

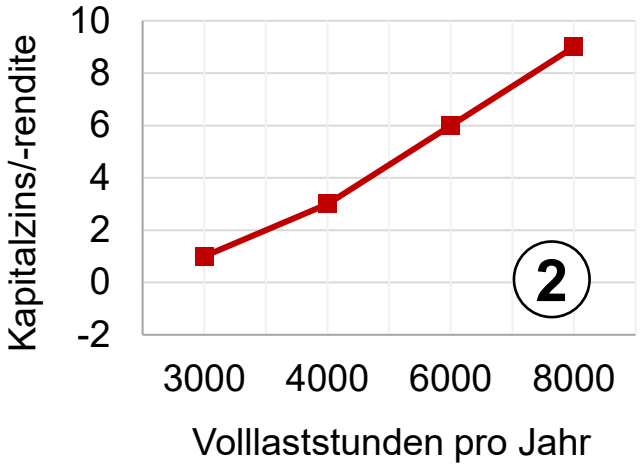
- Kohlepreis = 1600 CHF/t (trocken, inkl. KSZ)
- Wärmepreis = 7 Rp./kWh

(1) Volllaststunden = 6000

(2) Biomassepreis = 100CHF/t trocken

(Waldhackschnitzel ca. 220 CHF/t)





Landschaftsholz wegen Preis & Veredelung Restbiomasse

Breites Spektrum, Normung[1] nur via
- Korngrössen
- optionale Gehalte an Asche / Fremdstoffen

Sehr anspruchsvoll, da nicht Standard beim Energieanlagenbau!

Beispielfoto: Landschaftsholz

Feinanteil/Siebdurchgang	
< 3.15 mm	15-25 %
Wassergehalt	35-55 %
Aschegehalt	5-15 %
Ascheerweichung	> 1100 °C
Stickstoff	0.5-1.0 %
Schwefel	< 0.04 %







[1] SN EN ISO 17225

Anlieferung & Fördertechnik

Wenn Tief-/Hochbau nicht möglich ist, gibt es Schubboden-Mulden:

- Nur kleine Transportdistanzen
- Brückenbildung am Austrag möglich mit erhöhtem Feinanteil
  → Lösung: Edelstahlbleche innen

Förderbänder ungeeignet wegen Selbstblockierung und Leckagen

Je höher der Feinanteil und/oder längliche Körnung, desto

- grössere Spiralförderer
  z.B. 35 anstatt 20 cm
- Breitere Übergangsquerschnitte oder freier Abwurf anstatt Fallschutzgitter













Bilder: IWB

Vortrocknung für Pyrolyse

Wassergehalt von 35-55 auf 10-20 %

Bandtrockner:
hohe Luftgeschwindigkeiten sorgen für Abluftstaub → Filter nötig

Schubbodentrocknung: tiefe Luftgeschwindigkeiten, Staub setzt sich im Bunker, Abluft <10 mg/Nm^3
Aber zu hoch für Wärmerückgewinnung
→ Filter nötig

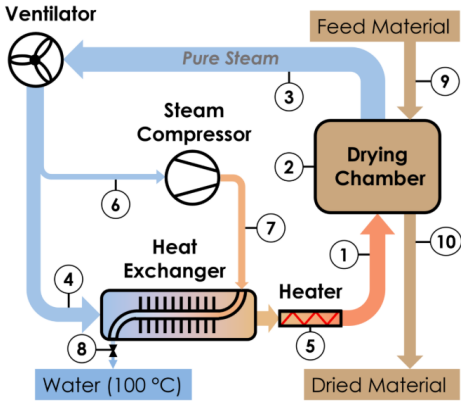
Interessante Alternativen:
- Wälzbetttrockner
- Dampftrockner, Abluft entfällt!
- Integrierte Trocknung in Pyrolyse











Integrierte Trocknung in Pyrolyseanlage – in Entwicklung?

Bilder: IWB, stronga.com, Allgaier, AquaAero

Pyrolyseanlagen & Biomassekessel

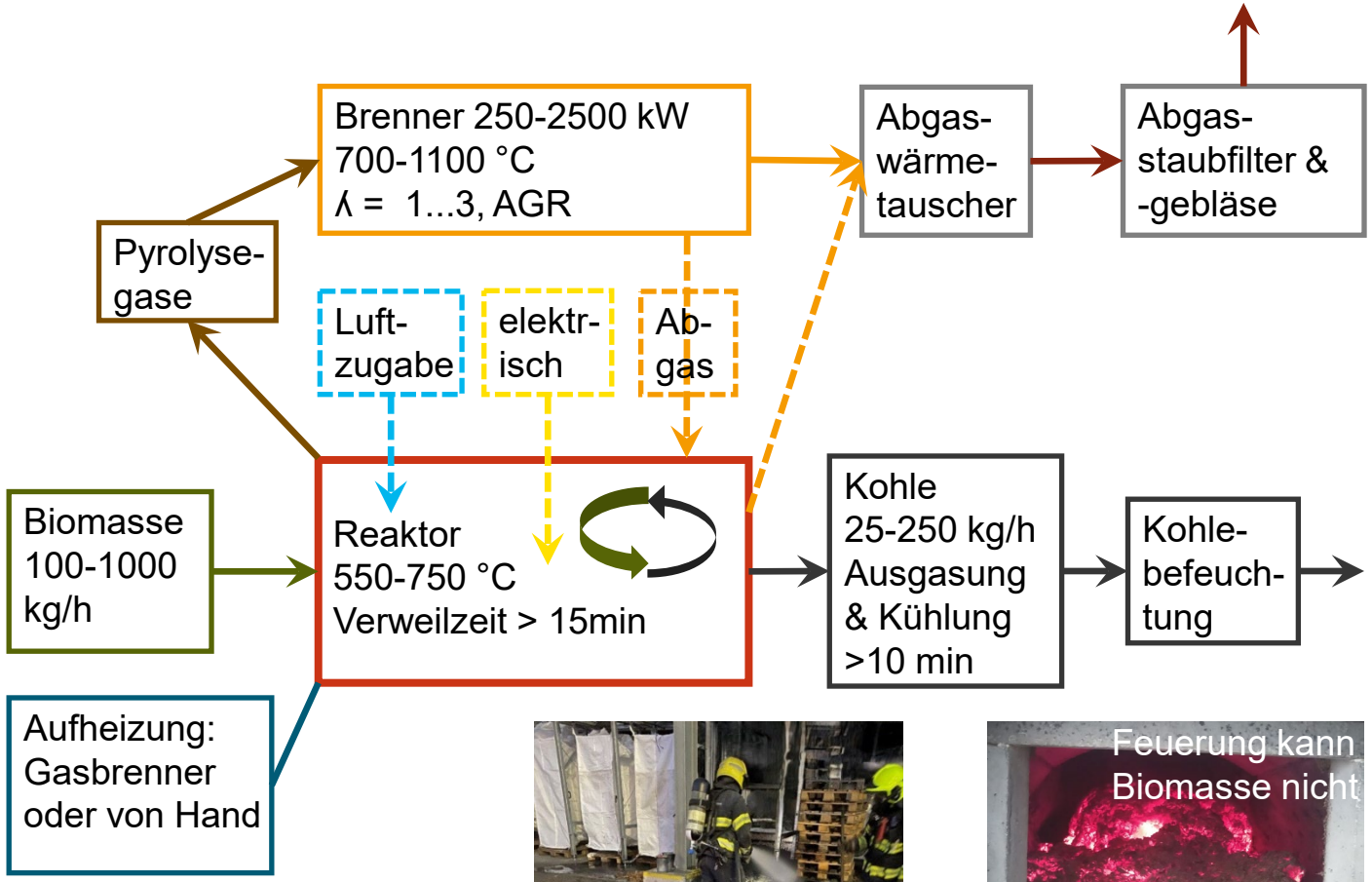
Einfaches Verfahren = zuverlässig

Prozessbeheizung und -regelung:
Je kürzer die Totzeit, desto besser

- Abgas-Rückkoppelung möglichst kurz
- Direkte Luftzugabe, gut
- Elektrowiderstandsheizung, gut

Abfallcodes der Biomasse nach VEVA[2] gibt Einstufung nach LRV[3] vor

- CO und HC unproblematisch
- NOx v.a. durch Biomassestickstoff, ggf. Harnstoffeindüsung
- Staub durch Biomassefeinanteil und Bauweise, ggf. grosse Staubfilter



Kohlekühlung/-befeuchtung schlecht

Feuerung kann Biomasse nicht

[2] Verordnung über Verkehr mit Abfällen, [3] Luftreinhalteverordnung; Bilder: IWB

Kohleabfüllung

Nach Ausgasung und Abkühlung:
Fördertechnik dicht für Trockenkohle!
gesteuerte, kalibrierte Befeuchtung

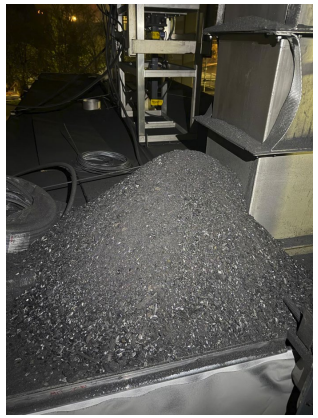
- Oberfläche reaktiv
- Adsorptionswärme mit Wasser
- Glimmbrandgefahr
- Konstanter Wassergehalt ± 2 %-Pkt.

Schüttdichte variiert stark
→ Wiegen, Trockenmasse bestimmen

Absackung in 1 oder 2 m^3 Säcke:

- Füllgewicht schwankend, aufwändig
- Für Kunden vielfach zu gross/klein

→ Muldenabfüllung effizienter
→ Kleingebinde für Haushalte













Bilder: IWB

Pflanzenkohle im Erdboden

Poröser, teils inerter Zusatzstoff

Spezifische Oberfläche:
50 (Schlämme) – 500 m^2/g (reines Holz)

DüV[4] regelt den Einsatz in Landwirtschaft UND Grünflächen:
- Einsatzstoffe für Pyrolyse
- Schadstoffgehalte der Kohle

Spezialeinsatz möglich:
Adsorption von Schadstoffen (z.B. PFAS, Schwermetalle) in Oberböden
→ langfristige Verdünnung



[4] Düngerverordnung, Bild: keep-it-gruen.de

Pflanzenkohle im Erdboden

Kompostierung mit 5-30 %-vol. Kohle
- Kohlekompost 5-20 % in Erdsubstrate
- Stadtbäume & Grünflächen
- Stalleinstreu

Beschränkter Nutzen in Landwirtschaft [5]
- Kohlekompost für Setzlinge
- Stalleinstreu senkt N-verlust/Geruch
- Langfristig Humusaufbau
- Kohlekosten aufs Produkt, schwierig

Kohleabsatz IWB seit Mitte 2025 schwierig, mögliche Gründe:
- Tiefpreis-Importe/-Vergaserkohlen
- Weniger Ausschreibungen von Gemeinden / Liegenschaftsverwalter











[5] Agroscope Science Nr. 112/2021; Bilder: Stadtgärtnerei BS, Grünstadt ZH, IWB, Realsport SA

Pflanzenkohle in Baustoffen

Bedarf meist < 1-3 mm → Mahlung
Höhere Schadstoffgehalte zugelassen als bei Bodenanwendung[6]
Hier ggf. Vergaserkohle geeignet

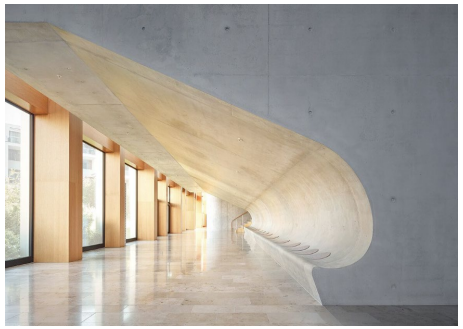
Zusatz im Strassenbelag verkleben
Bitumen besser → weniger Spurrinnen, ev. höhere Lebensdauer[7]
Verputze als Feuchte/-Geruchsspeicher!

Zusatz in Zement bzw. Beton bringt keinen materialtechnischen Vorteil[8]
Beim Ziel der Kohlenstoffsenke
→ setzt man Kohle im Erdboden oder anderen Baustoffen ein mit Mehrwert und rechnet Zertifikate dem Beton zu.









[6] Verordnung Vermeidung Entsorgung Abfällen, [7] Tiefbauamt Basel; [8] Innosuisse 104025; Bilder: TBABS, ithaka-journal.net, cemsuisse.ch

Kohlenstoffsenkenzertifikate (KSZ)

Kohlenstoff der Biomasse
- ist aus atmosphärischem CO_2
- bleibt zur Hälfte als Kohle übrig

Annahmen zur langfristigen Stabilität:
Im Boden -27 % über 100 Jahre
In Baustoffen 1000 Jahre

Durch aktuelle Gesetze & Politik gibt es eine Zahlungsbereitschaft für diese CO_2-Äquivalente der Pflanzenkohle

IWB stellt KSZ selber und erst nach Einbringung aus
→ freier CO_2 -Markt Schweiz
(z.Z. kein internationaler Handel möglich)

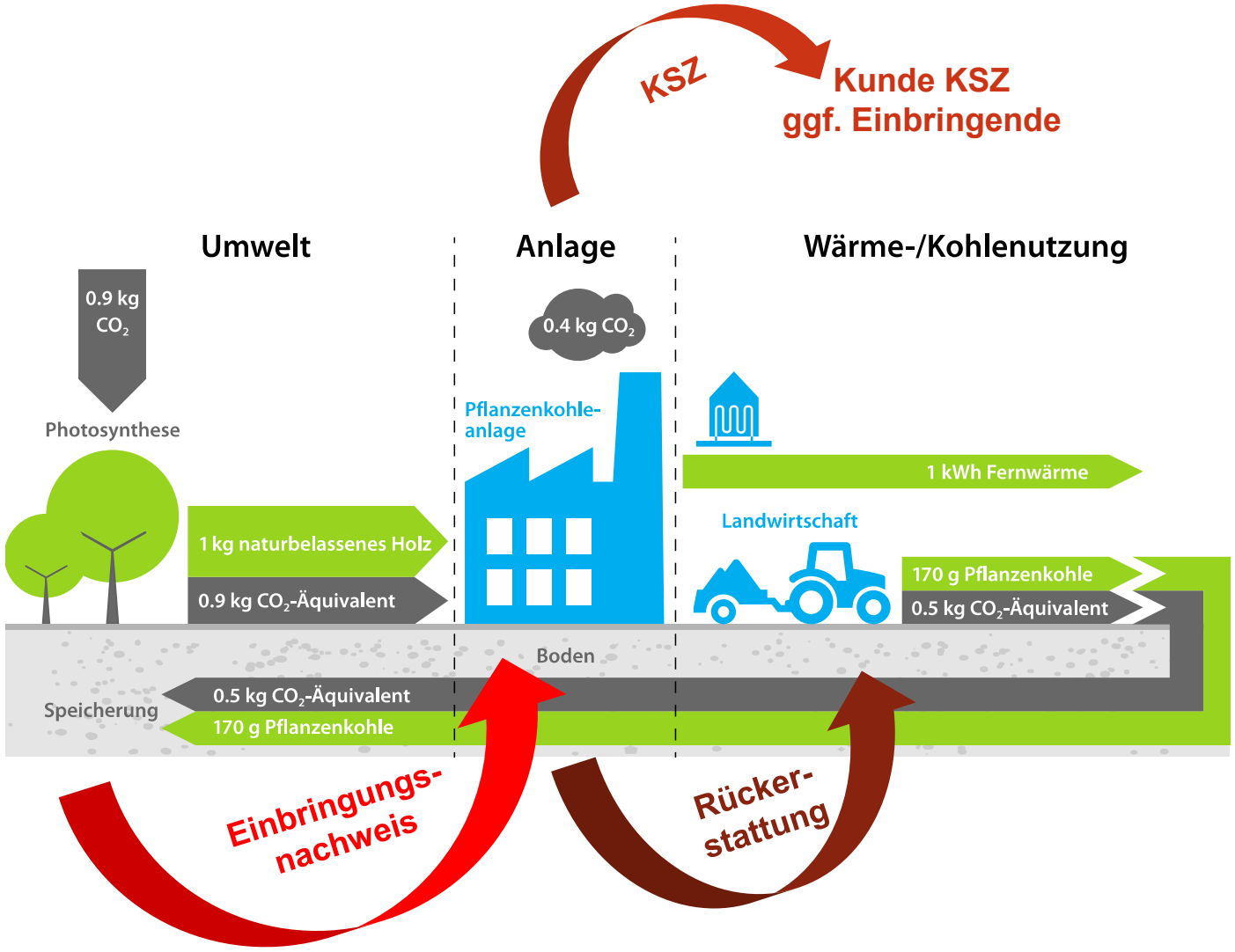


Bild: IWB



von natur aus
klimafreundlich

iwb

Danke fürs Interesse – Diskussion

Philipp Vögelin, Innovationsmanager | 09.09.2026
Dr. sc. Mech. Eng. ETH

www.iwb.ch/pflanzenkohle

pflanzenkohle@iwb.ch

SCHMID MAWERA
Energy Pioneers

Holz-WKK mit Kompressionswärmepumpe versus Holzheizkessel mit Absorptionswärmepumpe

Performance- und Kostenvergleich für feuchtes Energieholz

Dr.-Ing. Reinhold Spörl, Schmid Mawera Group

Einführung: Zwei Pfade zur Wärmebereitstellung aus feuchtem Holz

Welcher Pfad erzeugt aus derselben Menge feuchtem Holz mehr nutzbare Wärme – und welches System ist wirtschaftlich vorteilhafter?

Untersuchungsrahmen: Feuchtes Energieholz → zentrale Heizwärmeversorgung (VL/RL 85/55 °C) im einstelligen MW_{th}-Bereich → technischer und wirtschaftlicher Vergleich

Pfad A: Direkte, hocheffiziente Wärmenutzung



Holzheizwerk + aktive Abgaskondensation (aAGK) + Absorptionswärmepumpe (AWP)

Pfad B: Strom als Zwischenstufe



Holz-WKK (**ORC**) + Kompressionswärmepumpe (KWP)
(Untersuchter Fall: ohne zusätzliche Rauchgaskondensation)

Warum ORC als WKK-Vergleich für Anlagen im einstelligen MW_{th}-Bereich?

Holzvergaser:

- Hohe elektrische Wirkungsgrade mit trockenem Brennstoff;
- Bei feuchten Waldhackschnitzeln reduziert die notwendige Trocknung die Gesamtausnutzung deutlich.
- Gleichstrom-Vergaser-BHKW-Referenzfall im BFE-Technologiemonitoring erreicht mit M40 etwa **55 % Netto-Gesamtnutzungsgrad** (Strom + Wärme) [1].

Gegendruck-Dampfturbinen <1 MW_{el}:

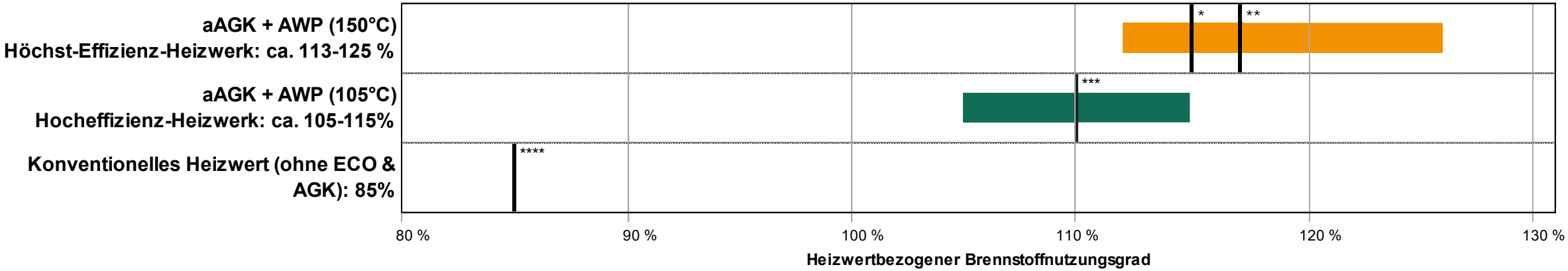
- Typischerweise etwa **10–12 % Netto-Stromwirkungsgrad** [12];
- Effizientere Konzepte überwiegend in grösseren Leistungsklassen.
- IEA/BIOS zum Einsatzbereich: **ORC bis 6 MW_{el}**; Dampfturbinen überwiegend **>2 MW_{el}** [4].

Abkürzungen: aAGK = aktive Abgaskondensation; AWP = Absorptionswärmepumpe; KWP = Kompressionswärmepumpe; WKK = Wärme-Kraft-Kopplung

Quelle: [1] BFE/Nussbaumer et al., 2025/2026; [12] IEA Bioenergy Task 32, 2026

Vergleichsanlage: Kondensierendes Heizwerk mit aktiver Abgaskondensation (aAGK)

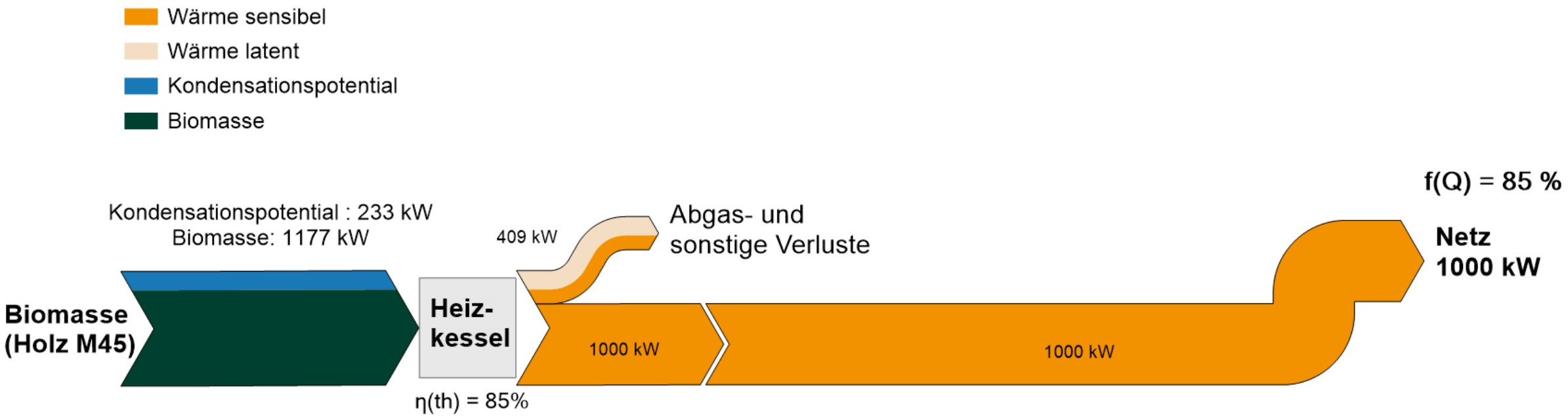
- **Kenngrösse:** Brennstoffnutzungsgrad (heizwertbezogen): **f_Q = Nutzwärme / Brennstoffleistung (H_u-bezogen)**
- Meist wird mit konventionellen Heizwerken ohne AGK verglichen: Brennstoffnutzungsgrad **$f_Q \approx 85$ %**
  In einem Grossteil der Wärmenetze sind die Rücklauftemperaturen zu hoch für die Kondensation (> ca. 50 °C).
- Mit (Absorptions-)Wärmepumpe (AWP) lässt sich die AGK deutlich unterhalb der Netzrücklauftemperatur betreiben.
- **Erkenntnis:** Moderne hocheffiziente Heizwerke mit aAGK erreichen **heizwertbezogene Nutzungsgrade $f_Q > 100$ %.**
  (Heizwertbezogen impliziert, dass Werte über 100 % durch zusätzlich nutzbar gemachte Kondensationswärme möglich sind. Das entspricht der Brennwerttechnik.)



* Auslegungsfall mit 150°C AWP und VL/RL 55°C/85°C, M45
** Auslegungsfall mit 150°C AWP und VL/RL 50°C/95°C, M50
*** Typische Auslegung mit 105°C AWP und VL/RL 55°C/85°C, M50
**** Typischer Kesselwirkungsgrad in Studien des BFE und bei QM Holz: [1] BFE/Nussbaumer et al., 2025/2026, [2] QM Holzheizwerke, 2022, [3] BAFU/Nussbaumer, 2023

Fazit: WKK+KWP muss gegen hocheffizientes Heizwerk mit (aktiver) Abgaskondensation verglichen werden.

Herkömmliches Heizwerk mit Brennstoff-Nutzungsgrad f_Q von ca. 85 %

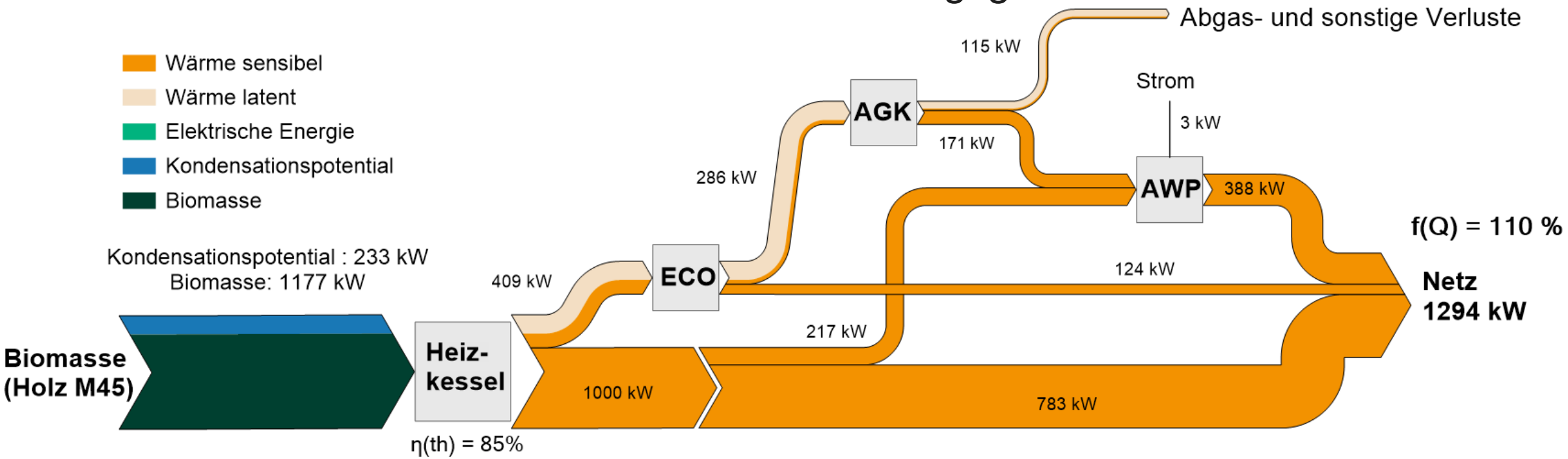


- Herkömmliches Heizwerk (**ohne ECO und AGK**):
  Aus Brennstoffleistung von 1’177 kW (heizwertbezogen) werden ca. **1’000 kW Nutzwärme**.
- Brennstoff-Nutzungsgrad f_Q:

$$f_Q = \frac{\dot{Q}_{\text{Nutzwärme}}}{\dot{Q}_{\text{Brennstoff (heizwertbezogen)}}} = \frac{1000\ \text{kW}}{1177\ \text{kW}} = 85\ \%$$

Hinweis: Annahme Netz-Rücklauf bei ca. 55 °C, daher keine passive Kondensation möglich

aAGK mit 105 °C AWP hebt den Brennstoff-Nutzungsgrad auf ca. 110 %

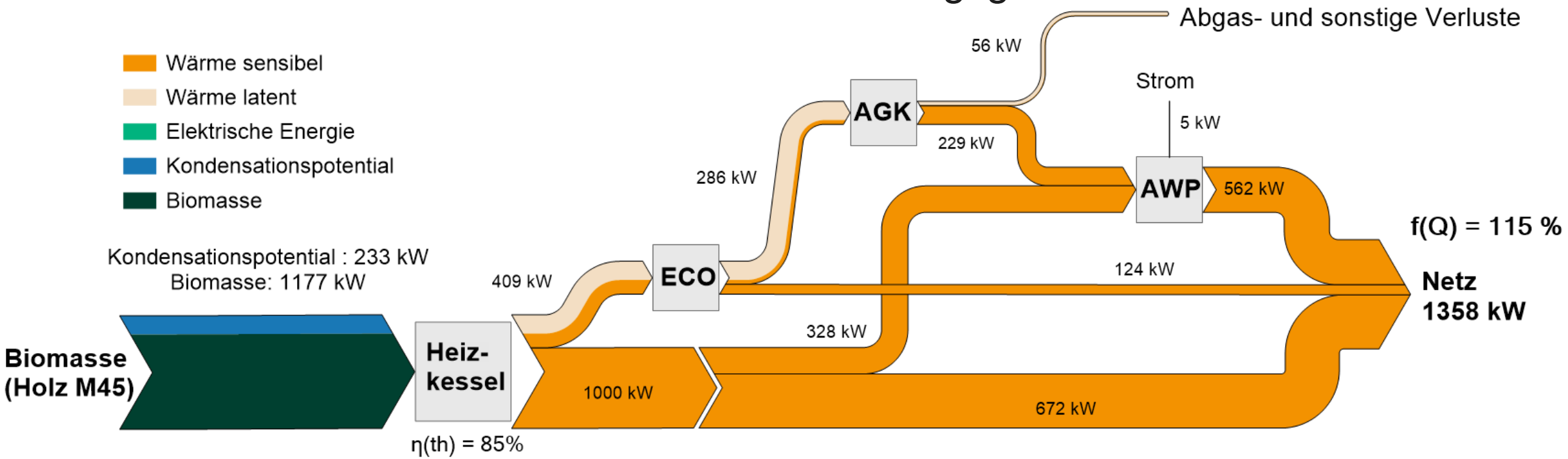


- Heizwerk **mit ECO, aAGK und 105 °C AWP**:
  Aus Brennstoffleistung von 1’177 kW (heizwertbezogen) werden ca. **1’294 kW Nutzwärme**.
- Brennstoff-Nutzungsgrad f_Q:

$$f_Q = \frac{\dot{Q}_{\text{Nutzwärme}}}{\dot{Q}_{\text{Brennstoff (heizwertbezogen)}}} = \frac{1294\ \text{kW}}{1177\ \text{kW}} = 110\ \%$$

Hinweise: Annahme Netz-Rücklauf bei ca. 55 °C; 105 °C AWP = Mit 105 °C Warmwasser angetriebene Absorptionswärmepumpe (AWP); AGK = Abgaskondensation

aAGK mit 150 °C AWP hebt den Brennstoff-Nutzungsgrad auf ca. 115 %



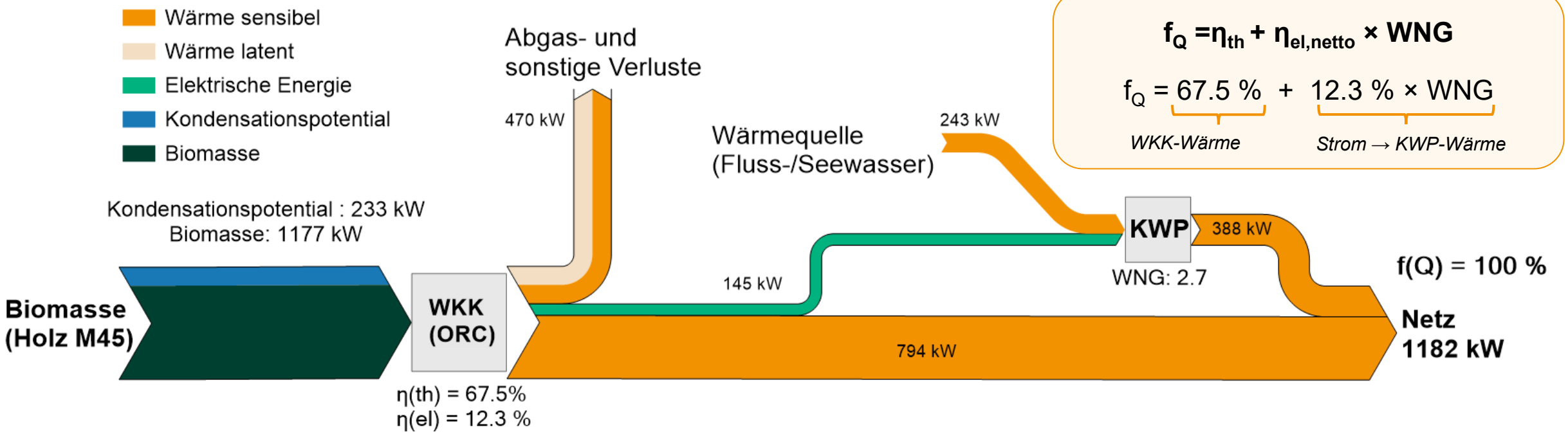
- Höhere AWP-Antriebstemperatur von 150 °C ermöglicht tiefere Kondensationstemperatur
- Mehrwärme gegenüber 105 °C AWP von ca. 60 kW entsteht ausschliesslich in der AGK.

- Heizwerk **mit ECO, aAGK und 150 °C AWP**:
  Aus Brennstoffleistung von 1’177 kW (heizwertbezogen) werden ca. **1’353 kW Nutzwärme**.
- Brennstoff-Nutzungsgrad f_Q:

$$f_Q = \frac{\dot{Q}_{\text{Nutzwärme}}}{\dot{Q}_{\text{Brennstoff (heizwertbezogen)}}} = \frac{1353\ \text{kW}}{1177\ \text{kW}} = 115\ \%$$

Hinweise: Annahme Netz-Rücklauf bei ca. 55 °C; 150 °C AWP = Mit 150 °C Heisswasser angetriebene Absorptionswärmepumpe (AWP); AGK = Abgaskondensation

WKK mit Kompressions-Wärmepumpe: Nettostrom erschliesst externe Quellwärme



$$f_Q = \eta_{th} + \eta_{el,netto} \times WNG$$

$$f_Q = \underbrace{67.5\ \%}_{\text{WKK-Wärme}} + \underbrace{12.3\ \% \times WNG}_{\text{Strom} \rightarrow \text{KWP-Wärme}}$$

KWP-Wärmenutzungsgrad:

$$WNG = \frac{\dot{Q}_{Nutzwärme}}{P_{el,Verdichter} + P_{el,Hilfsenergien}}$$

- Hilfsenergien: Ventilatoren, Pumpen, Abtauung
- Hier: WNG = 2.68 mit Quelltemp. 10 °C und Netzvorlauftemp. 85 °C

Für diese Studie abgeleitete ORC-Kenndaten auf Basis IEA/BIOS [4]:

Übertragung der Daten einer ca. 12-MW-Referenzanlage (Estland), auf die Systemgrenze dieser Studie :

- η_{th} = 67.5 % (Nennwert ohne AGK; für den Jahresvergleich angesetzt)
- $\eta_{el,netto}$ = 12.3 % (Jahreswert)

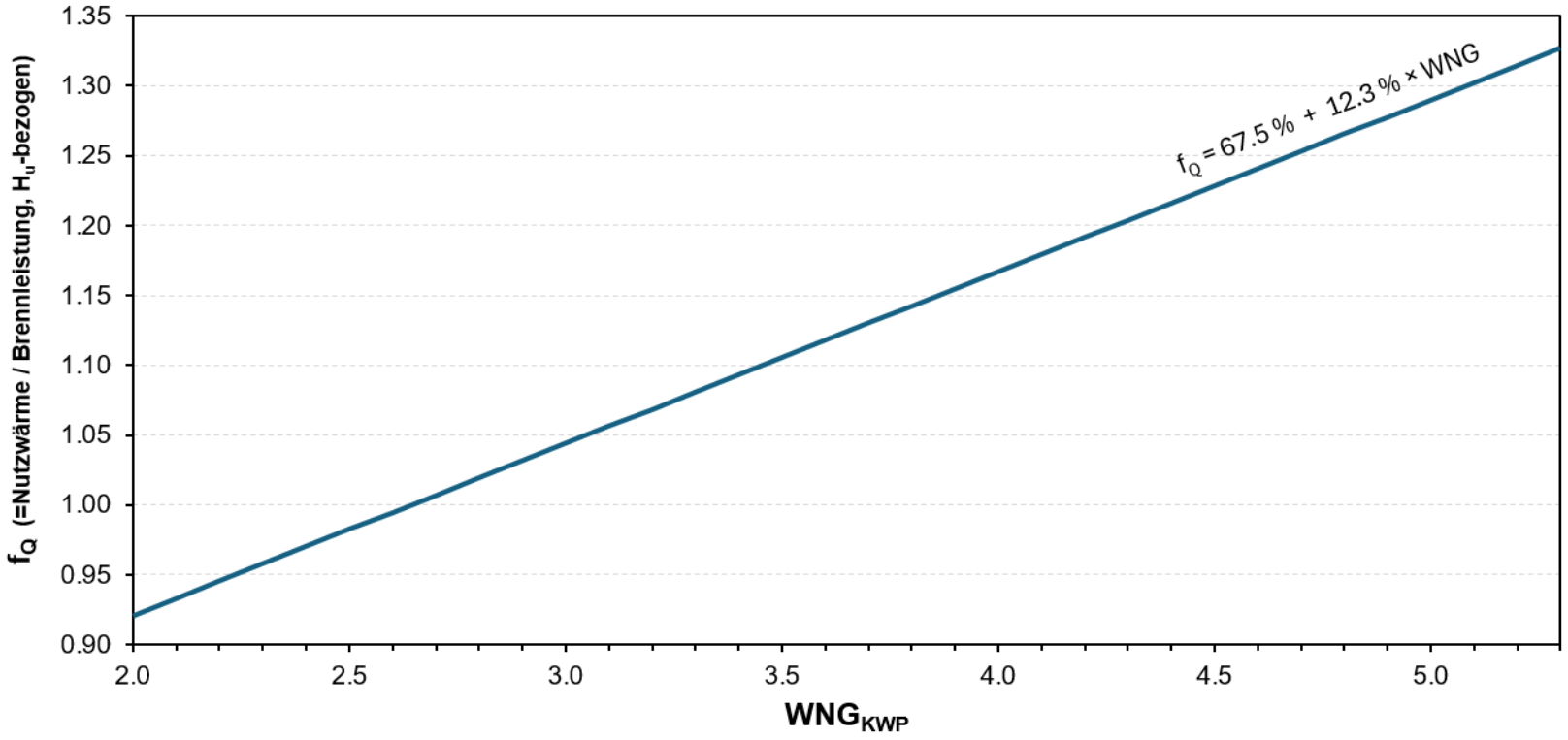
- **WKK-Anlage (ORC)** mit Stromnutzung in **KWP**:
  Aus Brennstoffleistung von 1'177 kW (heizwertbezogen) werden ca. **1'182 kW Nutzwärme**.
- Brennstoff-Nutzungsgrad f_Q:

$$f_Q = \frac{\dot{Q}_{Nutzwärme}}{\dot{Q}_{Brennstoff\ (heizwertbezogen)}} = \frac{1182\ kW}{1177\ kW} = 100\ \%$$

- ORC-**Nettostrom** erzeugt zusätzliche Nutzwärme bspw. aus Fluss-/Seewasser mittels **KWP**

Quelle: [4] IEA Bioenergy Task 32 / BIOS, 2015

Energetischer Break-even: Wie effizient muss die KWP sein?

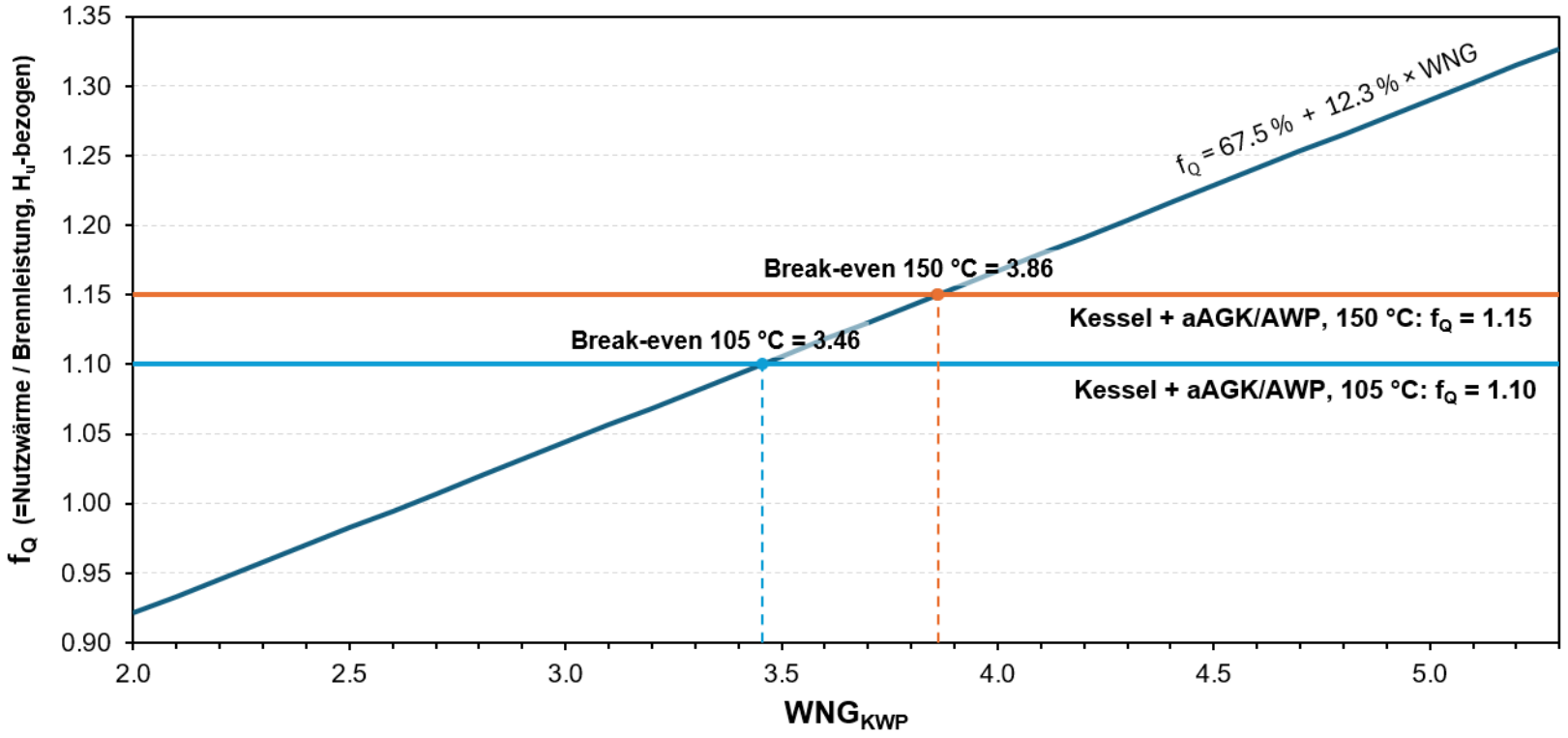


$$f_Q = \eta_{th} + \eta_{el,netto} \times WNG$$

$$f_Q = \underbrace{67.5\,\%}_{\text{WKK-Wärme}} + \underbrace{12.3\,\% \times WNG}_{\text{Strom} \rightarrow \text{KWP-Wärme}}$$

$$\text{mit } WNG = \frac{\dot{Q}_{Nutzwärme}}{P_{el,Verdichter} + P_{el,Hilfsenergien}}$$

Energetischer Break-even: Wie effizient muss die KWP sein?



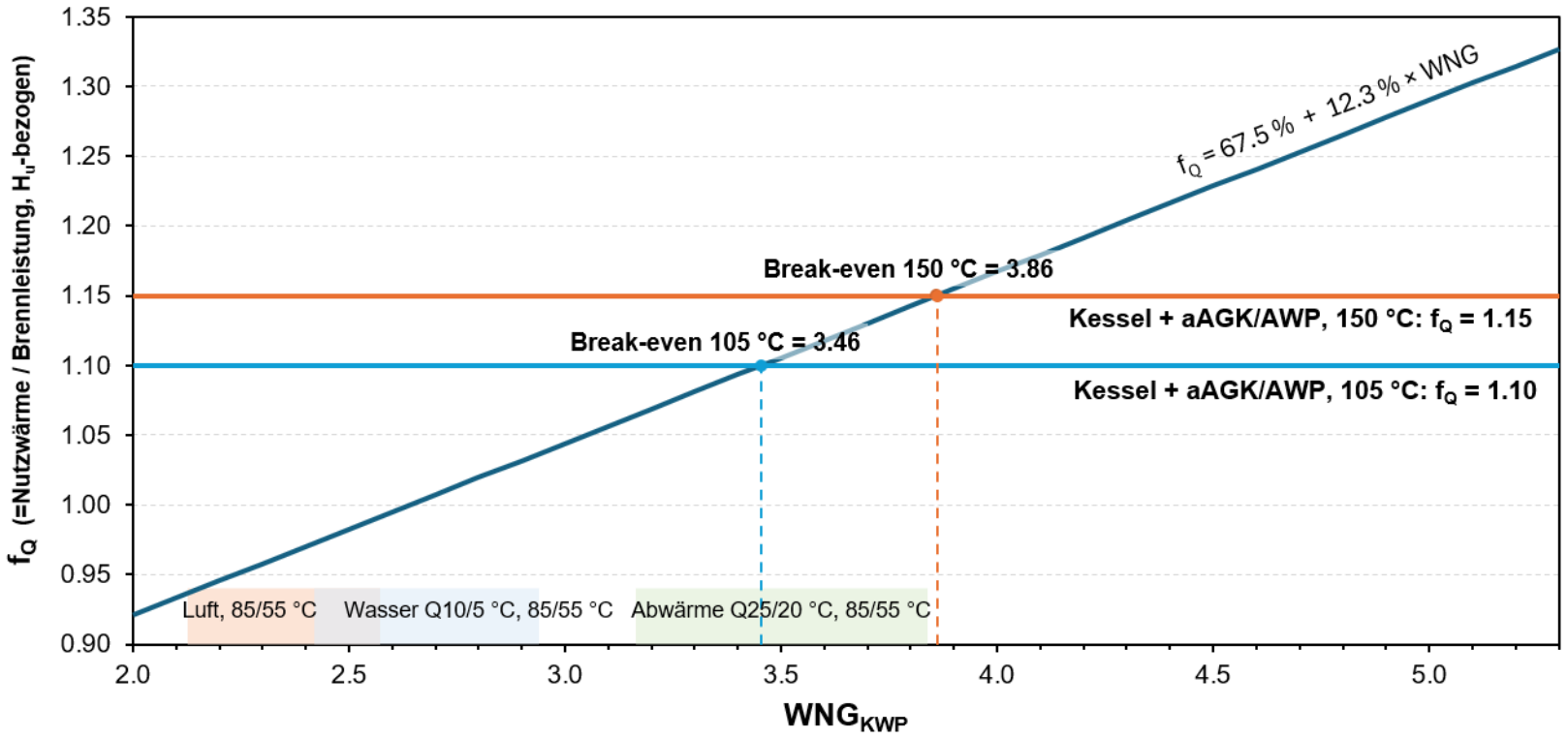
$$f_Q = \eta_{th} + \eta_{el,netto} \times WNG$$

$$f_Q = \underbrace{67.5\,\%}_{\text{WKK-Wärme}} + \underbrace{12.3\,\% \times WNG}_{\text{Strom} \rightarrow \text{KWP-Wärme}}$$

$$\text{mit } WNG = \frac{\dot{Q}_{Nutzwärme}}{P_{el,Verdichter} + P_{el,Hilfsenergien}}$$

- Break-even **AWP 105 °C**: **WNG = 3.46**:
- Break-even **AWP 150 °C**: **WNG = 3.86**

Energetischer Break-even: Wie effizient muss die KWP sein?



Berechnete Vergleichsbänder WNG bei VL/RL 85/55 °C:

- Variation über **Lorenz-Gütegrad η_l = 45-55 %**
- **Inkl. Hilfsenergie**: 0.01 kWh_{el}/kWh_{th} für Ventilator bzw. Quellenhydraulik; Aussenluft zusätzlich temperaturabhängige **Abtauenergie** bis zu 0.03 kWh_{el}/kWh_{th}
- **Quellen**: Aussenluft - wärmebedarfsgewichtet für Zürich/Kloten, inkl. Abtauung; Wasser: 10→5 °C; Abwärme: 25→20 °C
- Beachte: Warme Abwärme ist nur vorteilhaft, wenn Temperatur, Leistung und Verfügbarkeit gesichert sind.

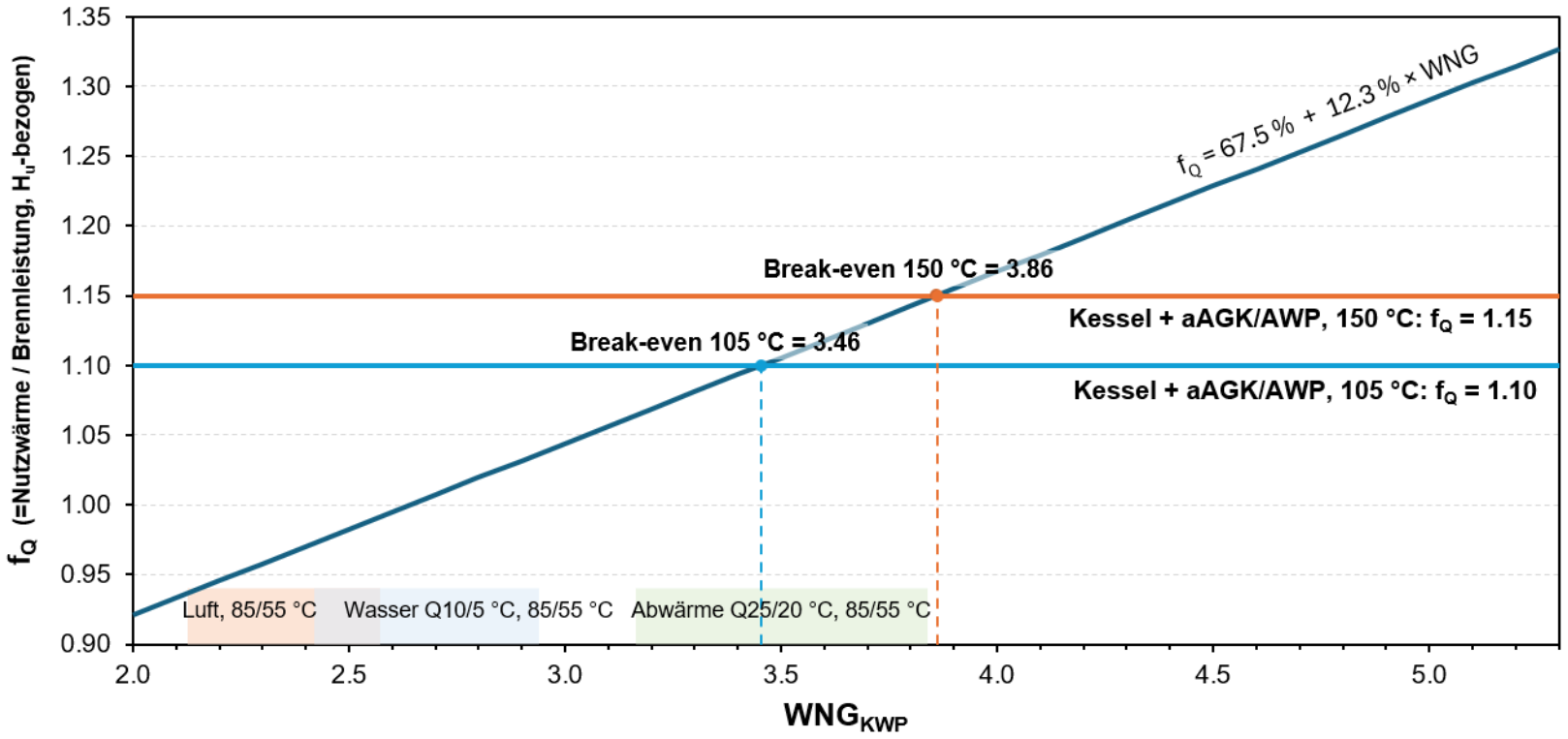
$$f_Q = \eta_{th} + \eta_{el,netto} \times WNG$$

$$f_Q = \underbrace{67.5\,\%}_{\text{WKK-Wärme}} + \underbrace{12.3\,\% \times WNG}_{\text{Strom} \rightarrow \text{KWP-Wärme}}$$

$$\text{mit } WNG = \frac{\dot{Q}_{Nutzwärme}}{P_{el,Verdichter} + P_{el,Hilfsenergien}}$$

- Break-even **AWP 105 °C**: **WNG = 3.46**:
- Break-even **AWP 150 °C**: **WNG = 3.86**

Energetischer Break-even: Wie effizient muss die KWP sein?



Berechnete Vergleichsbänder WNG bei VL/RL 85/55 °C:

- Variation über **Lorenz-Gütegrad η_l = 45-55 %**
- **Inkl. Hilfsenergie**: 0.01 kWh_{el}/kWh_{th} für Ventilator bzw. Quellenhydraulik; Aussenluft zusätzlich temperaturabhängige **Abtauenergie** bis zu 0.03 kWh_{el}/kWh_{th}
- **Quellen**: Aussenluft - wärmebedarfsgewichtet für Zürich/Kloten, inkl. Abtauung; Wasser: 10→5 °C; Abwärme: 25→20 °C
- Beachte: Warme Abwärme ist nur vorteilhaft, wenn Temperatur, Leistung und Verfügbarkeit gesichert sind.

$$f_Q = \eta_{th} + \eta_{el,netto} \times WNG$$

$$f_Q = \underbrace{67.5\,\%}_{\text{WKK-Wärme}} + \underbrace{12.3\,\% \times WNG}_{\text{Strom} \rightarrow \text{KWP-Wärme}}$$

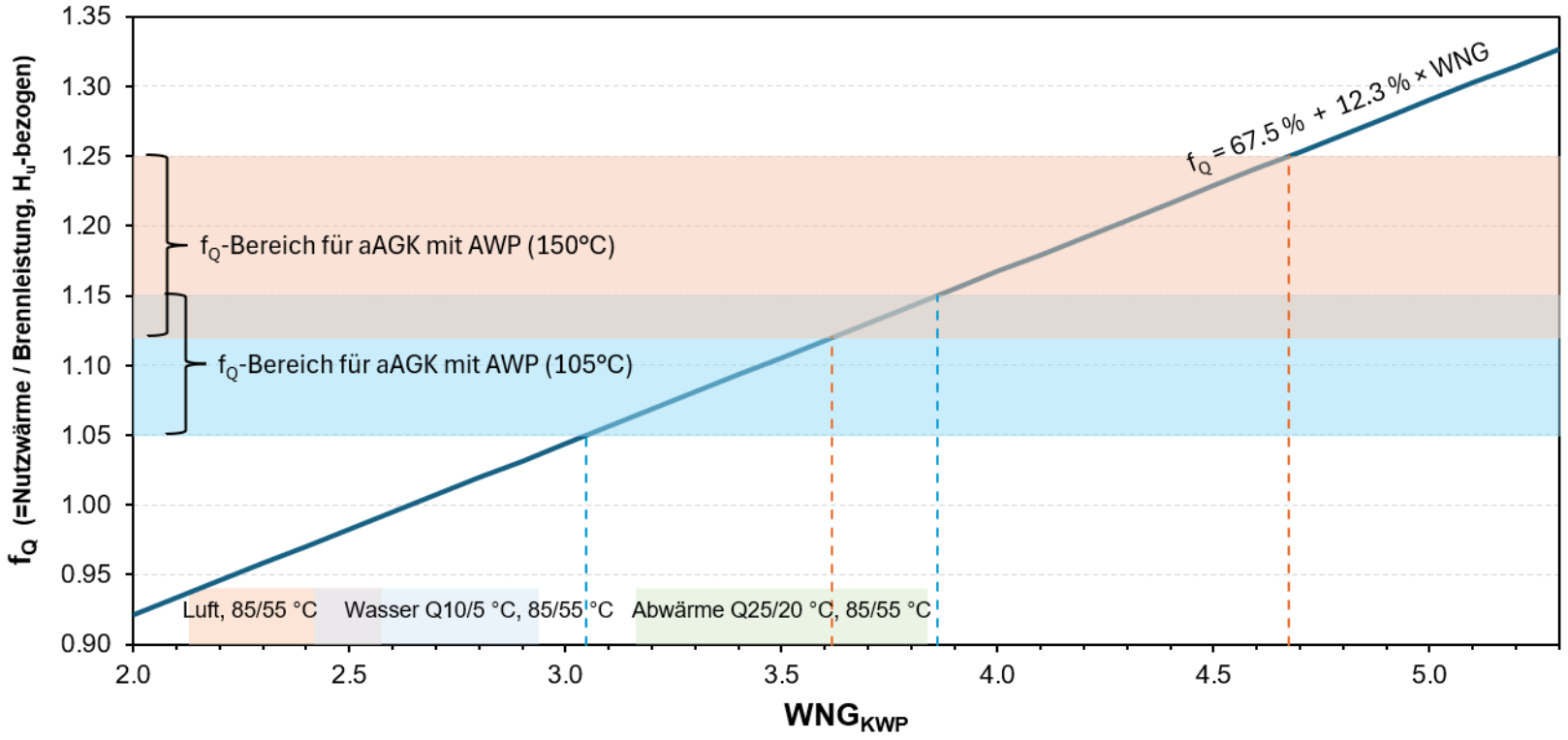
$$\text{mit } WNG = \frac{\dot{Q}_{Nutzwärme}}{P_{el,Verdichter} + P_{el,Hilfsenergien}}$$

Bei VL/RL 85/55 °C:

- Break-even **AWP 105 °C**: **WNG = 3.46**:
  - Luft/Wasser: Unter Break-even
  - Abwärme (25 °C): Break-even erreichbar
- Break-even **AWP 150 °C**: **WNG = 3.86**
  - Luft/Wasser: Klar unter Break-even
  - Abwärme (25 °C) knapp darunter

Hinweis: «Abwärme 25/20 °C» kann als Vergleichsfall für ORC+KWP+aAGK dienen (ausreichende aAGK-Leistung vorausgesetzt); zusätzliche aAGK-/Integrationskosten sind hierbei noch nicht berücksichtigt.

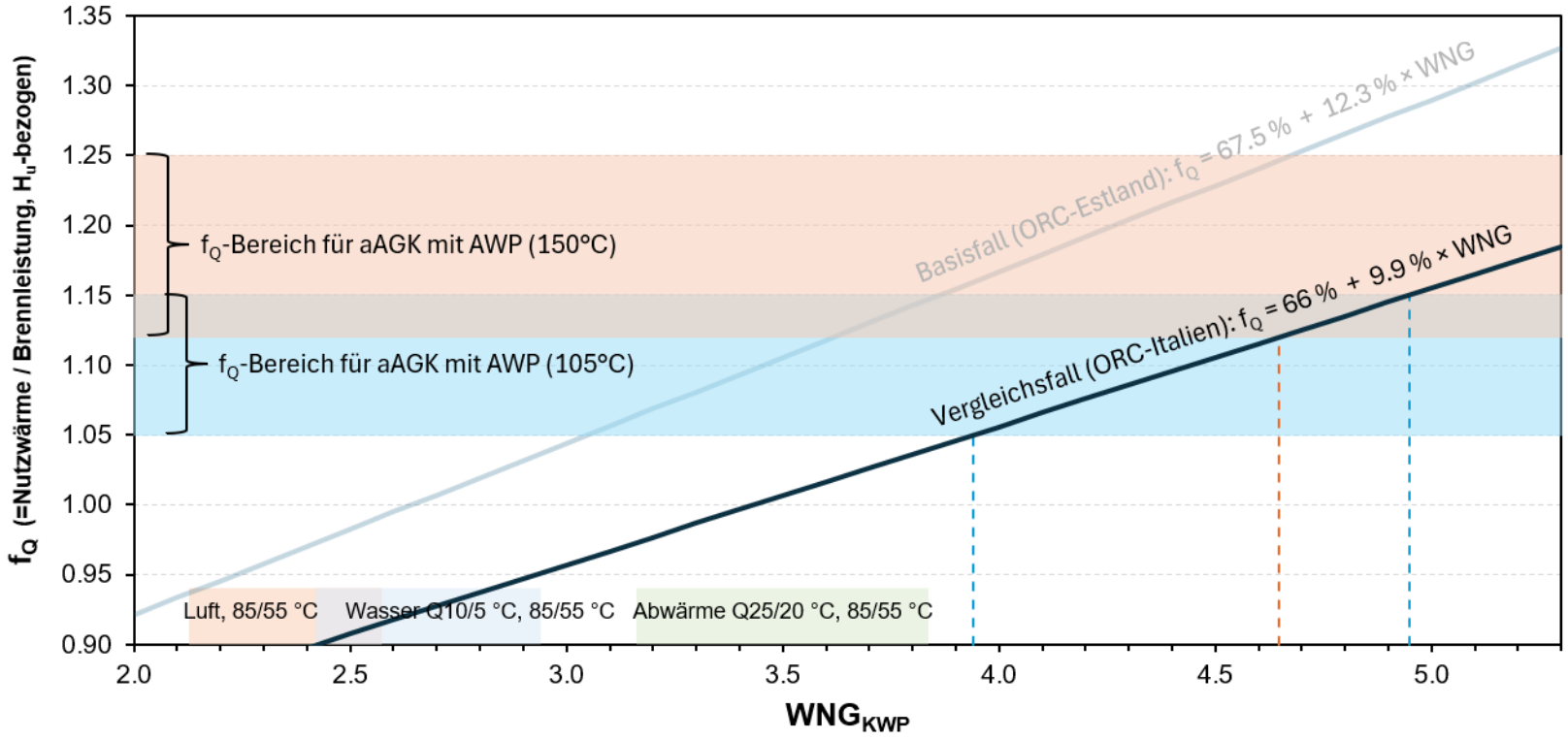
Energetischer Break-even: Wie robust ist das Ergebnis?



Variation der AWP-Nutzungsgrade f_Q bestätigt Kernaussage:

- **AWP 105 °C** mit f_Q = 1.05 - 1.15:
  - Break-even: WNG = 3.05 - 3.86
  - Luft/Wasser: Unter Break-even
  - Abwärme (25 °C): Break-even erreichbar
- **AWP 150 °C** mit f_Q = 1.12 - 1.25:
  - Break-even: WNG = 3.62 - 4.67
  - Luft/Wasser: Klar unter Break-even
  - Abwärme (25 °C): Break-even nur im unteren f_Q-Bereich erreichbar

Energetischer Break-even: Wie robust ist das Ergebnis?



Variation ORC-Referenz mit Daten von Prando et al., 2015 [13]:

- Italienische Anlage mit 5.8 MW Nutzleistung (Nennlast): 4.8 MW_{th} + 1.0 $MW_{el,brutto}$
- Brennstoff: getrocknete Hackschnitzel M15–M25
- Gemessener Betriebspunkt bei 94 % Last: **η_{th} = 66.0 %, $\eta_{el,netto}$ = 9.9 %** (η bezogen auf Heizwert H_u)
- ORC-Kondensator: ca. 90/55 °C im Nennpunkt

$$f_Q = \eta_{th} + \eta_{el,netto} \times WNG$$

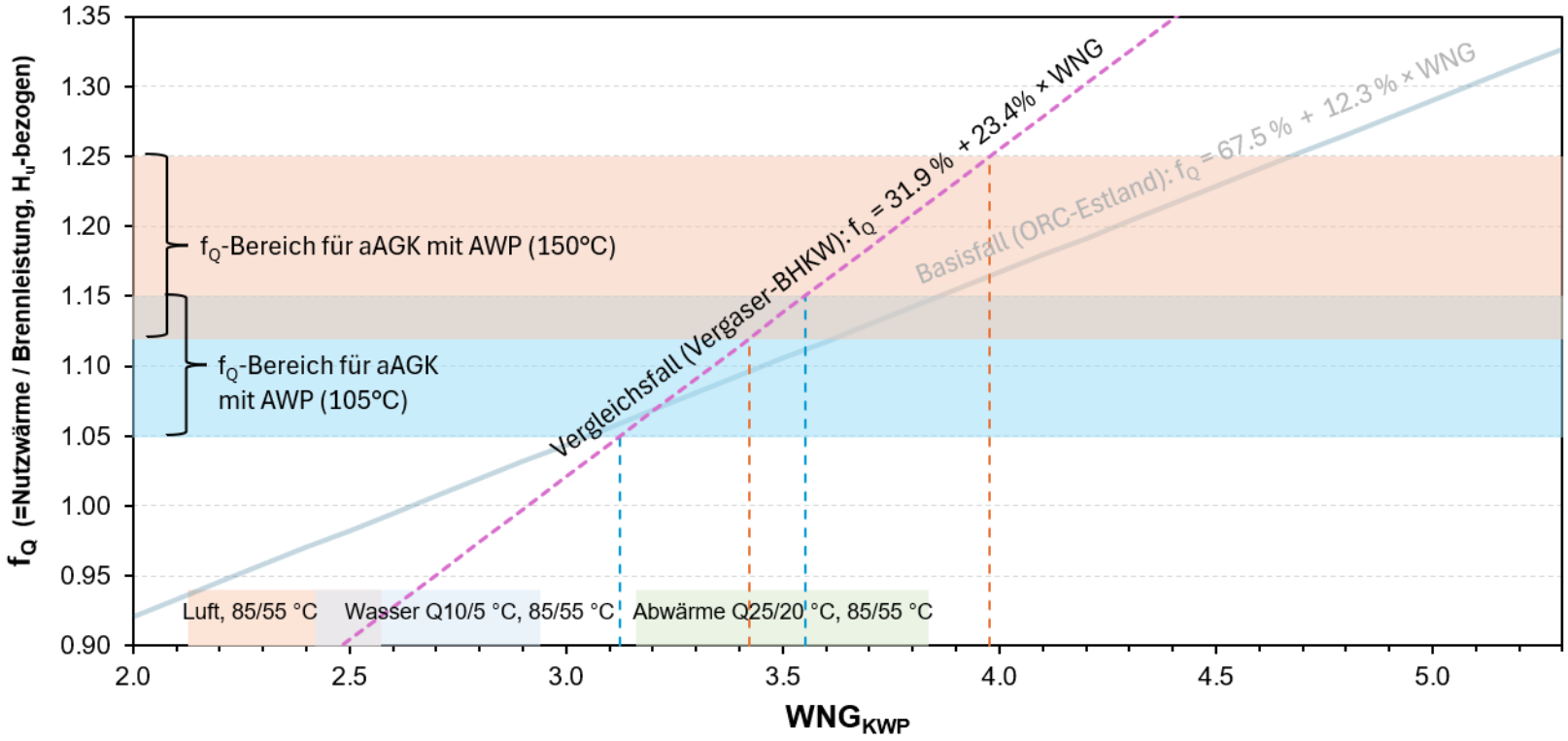
$$f_Q = \underbrace{66.0\ \%}_{\text{WKK-Wärme}} + \underbrace{9.9\ \% \times WNG}_{\text{Strom} \rightarrow \text{KWP-Wärme}}$$

$$\text{mit WNG} = \frac{\dot{Q}_{\text{Nutzwärme}}}{P_{el,\text{Verdichter}} + P_{el,\text{Hilfsenergien}}}$$

Variation der ORC-Referenzanlage bestätigt Kernaussage:

- **AWP 105 °C** mit f_Q = 1.05 - 1.15:
  - Break-even: WNG = 3.94 - 4.95
  - Luft/Wasser: Klar unter Break-even
  - Abwärme (25 °C): Unter Break-even
- **AWP 150 °C** mit f_Q = 1.12 - 1.25:
  - Break-even: WNG = 4.65 - 5.96
  - Alle Quellen klar unter Break-even

Energetischer Break-even: Wie robust ist das Ergebnis?



Vergleichsfall mit Vergaser-BHKW (Daten von BFE/Nussbaumer et al., 2025/2026 [1]):

- Modellierter Fall (keine Messung) auf Basis Spanner Re2 HKA 35/50/70, 35/50/70 kW_{el} + 70/100/130 kW_{th}
- Waldhackschnitzel ≈ M40, inkl. technischer Trocknung auf M9
- Basiswerte: **$\eta_{th,netto}$ = 31.9 %, $\eta_{el,netto}$ = 23.4 %, $\eta_{gesamt,netto}$ = 55.3 %** (η bezogen auf Heizwert H_u)

Der Stromanteil gewinnt mit steigendem WNG an Gewicht – der niedrige thermische Nutzungsgrad wirkt dem entgegen.

$$f_Q = \eta_{th} + \eta_{el,netto} \times WNG$$

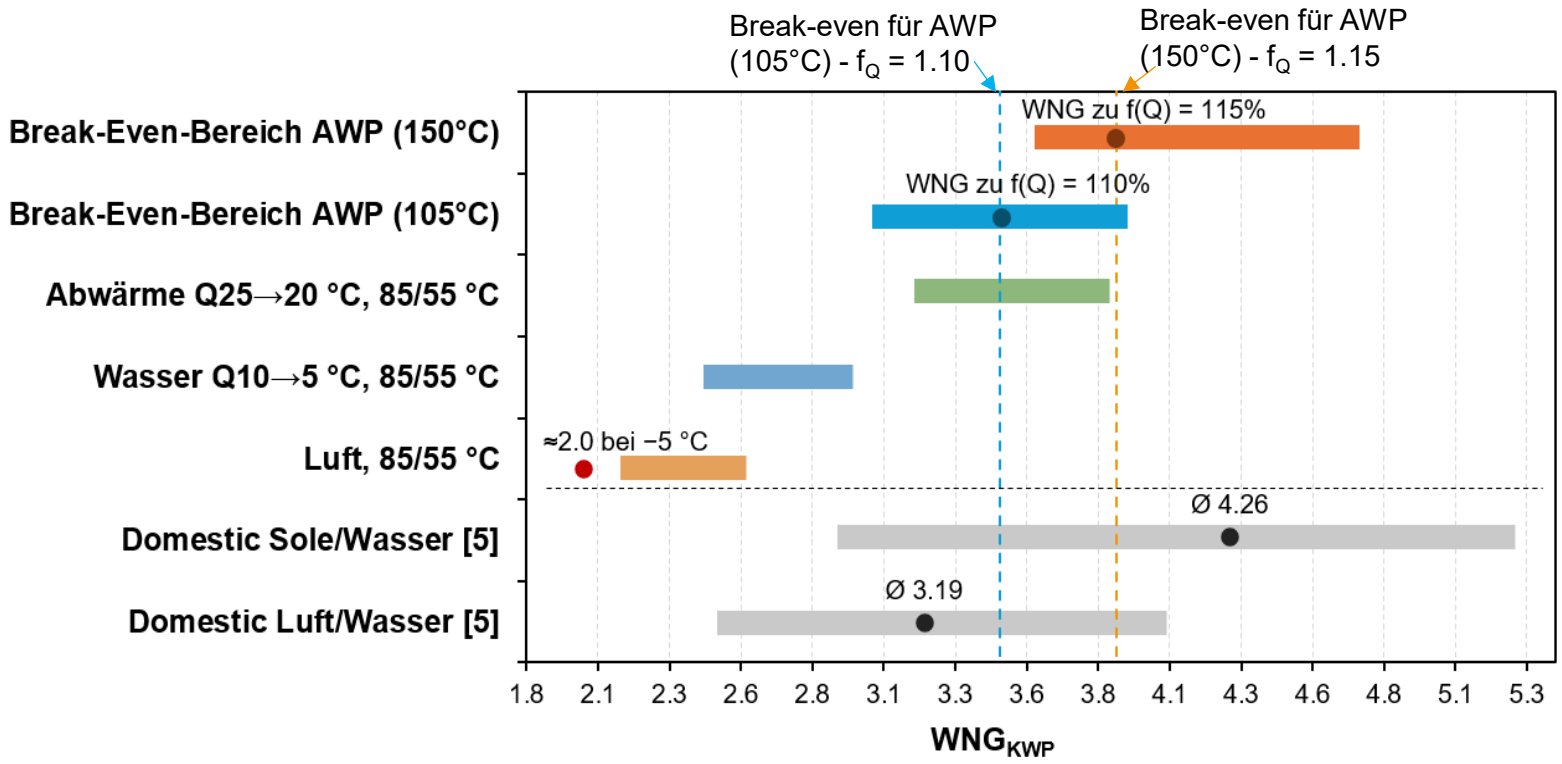
$$f_Q = \underbrace{31.9\ \%}_{\text{WKK-Wärme}} + \underbrace{23.4\ \% \times WNG}_{\text{Strom} \rightarrow \text{KWP-Wärme}}$$

$$\text{mit WNG} = \frac{\dot{Q}_{Nutzwärme}}{P_{el,Verdichter} + P_{el,Hilfsenergien}}$$

Vergaser-BHKW mit höherem Stromanteil verschiebt den Break-even:

- **AWP 105 °C** mit f_Q = 1.05 - 1.15:
  - Break-even: WNG = 3.12 - 3.55
  - Luft/Wasser: Unter Break-even
  - Abwärme (25 °C): Break-even erreichbar
- **AWP 150 °C** mit f_Q = 1.12 - 1.25:
  - Break-even: WNG = 3.42 - 3.98
  - Luft/Wasser: Klar unter Break-even
  - Abwärme (25 °C): teilweise im Break-even

Einordnung hoher WNG-Werte von Haushalts-KWP



Haushalt/Domestic-KWP - Feld-Jahreswerte des WNG [5]:

Luft/Wasser 2.47-4.04, Ø 3.19; Sole/Wasser 2.89-5.26, Ø 4.26; mittlere Vorläufe ca. 36 °C.

Berechnete Vergleichsbänder WNG bei VL/RL 85/55 °C:

- Variation über Lorenz-Gütegrad η_l = 45-55 %; Inkl. Hilfsenergie: 0.01 kWh_{el}/kWh_{th} für Ventilator bzw. Quellenhydraulik; Aussenluft zusätzlich temperaturabhängige Abtauenergie bis zu 0.03 kWh_{el}/kWh_{th}
- Quellen: Aussenluft - wärmebedarfsgewichtet für Zürich/Kloten (zusätzlich Beispielfall: Luft-WNG bei -5 °C), inkl. Abtauung; Wasser: 10→5 °C; Abwärme: 25→20 °C

Jahres-WNG von Domestic-KWP sind keine geeignete Vergleichsbasis für diese Studie:

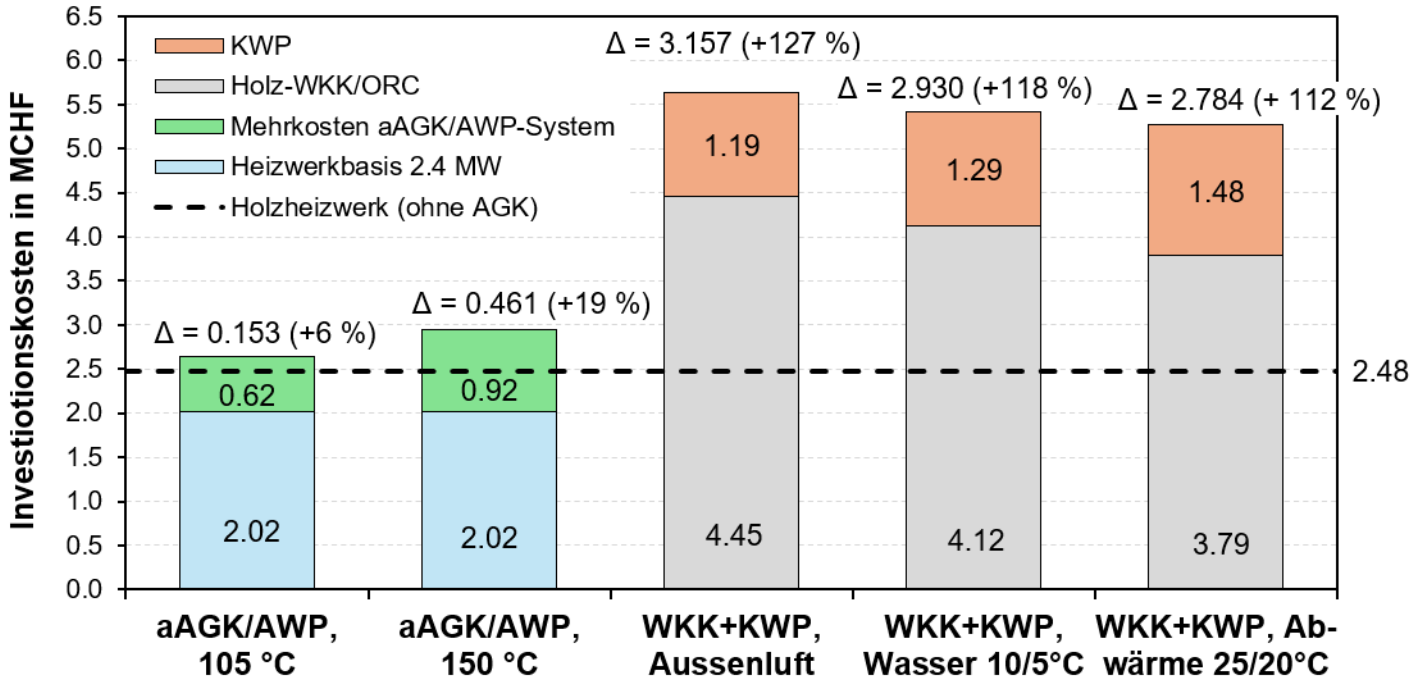
- Domestic-WNG sind wegen deutlich tieferer Heiztemperaturen (bspw. Ø-VL ≈ 36 °C in [5]) **nicht auf 85/55 °C übertragbar**.
- In Kälteperioden sinkt der WNG: **Kältere Quelle + höhere erforderliche Vorlauf-temperatur → Winter-WNG < Jahres-WNG**

Stromsystemperspektive

- **WKK-Nettostrom kann bilanziell dem Strombedarf dezentraler KWP gegenübergestellt werden**, der bei Wärmeversorgung durch ein Heizwerk entfällt.
- **Netzeinspeisung des WKK-Stroms**: Bewertung mit **repräsentativer Winterperformance des installierten KWP-Bestands**, nicht mit Best-Case-Jahres-KWP.
- **Winterstrom**: systemisch besonders wertvoll – gerade **in Kälteperioden** jedoch **niedrigerer KWP-WNG und höherer Strombedarf**.

Quellen: [5] BFE/OST, 2023

Vergleich der Investitionskosten bei gleicher Nutzwärmeleistung



Δ: Mehrinvestition in MCHF / % ggü. konventionellem Heizwerk gleicher Nutzwärmeleistung

Mehrkosten aAGK/AWP-System: ECO, aAGK & AWP; bei 150 °C inkl. Mehrkosten Heisswasserausführung

Investitionskosten:

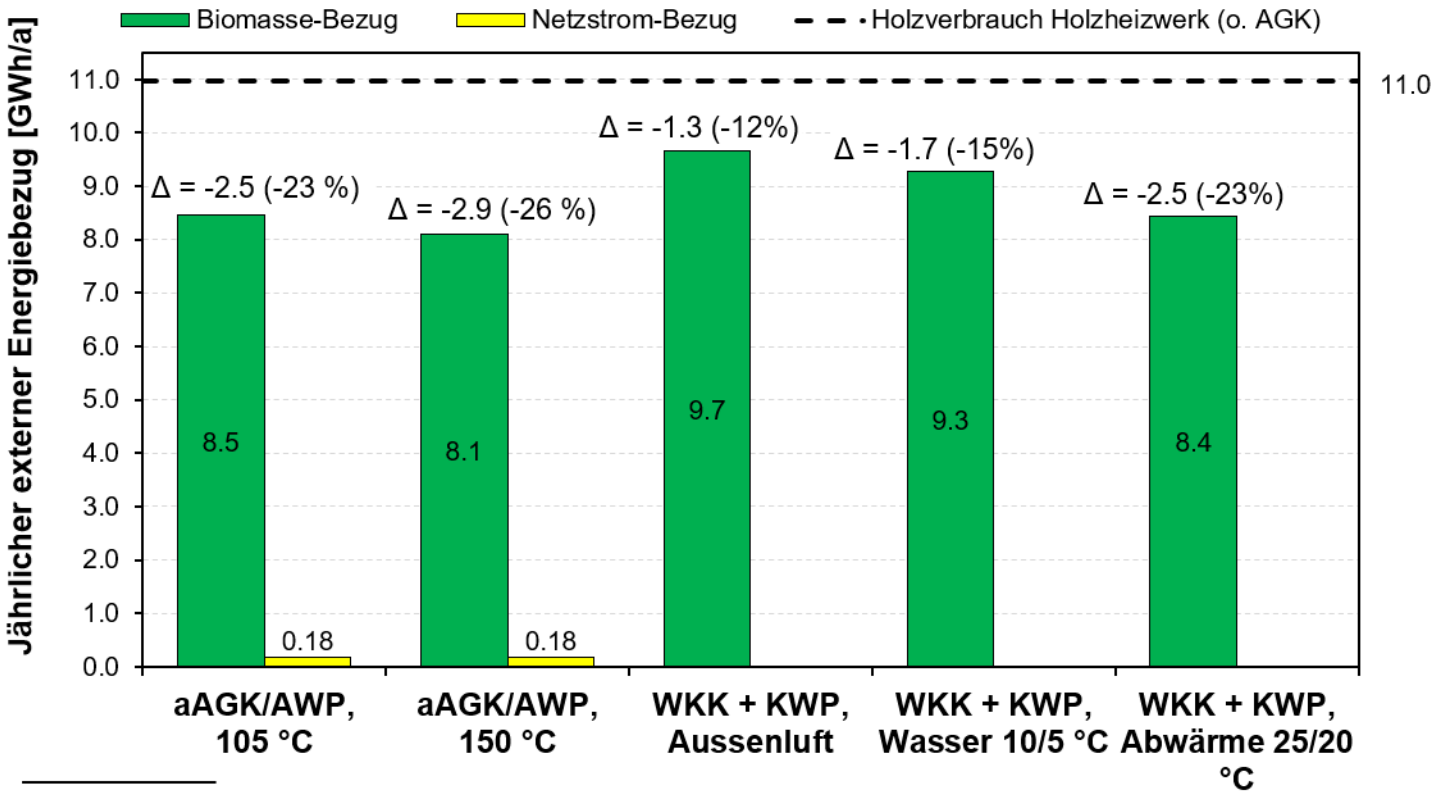
- **Im modellierten Vergleich ist WKK + KWP deutlich investitionsintensiver: +112 bis +127 %** gegenüber konventionellem Heizwerk gleicher Nutzwärmeleistung
- **aAGK/AWP dagegen nur +6 % bzw. +19 %** gegenüber dem Referenzheizwerk
- **aAGK/AWP: Höhere Brennstoffausnutzung reduziert erforderliche Kesselleistung** und kompensiert damit einen Teil der aAGK/AWP-Mehrkosten
  (hier: 2.4 MW Kessel für 3.1 MW Nutzwärme)

Hinweise:

- Vereinfachte Kostenabschätzung auf Basis skalierter Referenzkosten; keine Angebotskalkulation.
- Investitionskosten Anlagentechnik inkl. anteiliger Gebäude-/Integrationskosten, exkl. Grundstück; Preisstand CHF 04/2025.
- KWP-CAPEX ohne projektspezifische Kosten zur Erschliessung externer Wasser-/Abwärmequellen.
- Ergebnisse robust gegenüber den untersuchten CAPEX-Annahmen (siehe Back-Up).
- Nutzwärmeleistung für alle Systeme: 3.1 MW (entspricht einem 2.4 MW Heizkessel mit aAGK und 105 °C AWP mit f_Q = 1.10)

Quelle: Eigene Modellierung; Kostenbasis: SMG-Projektdaten 2025/2026; [4] IEA Bioenergy Task 32 / BIOS, 2015; [6] DEA, 2026; [7] Eurostat, 2025; [8] ECB, 2025; Details: siehe Anhang

Brennstoff- und Netzstrombedarf bei gleicher Nutzwärmeleistung



Δ: Differenz Holzverbrauch gegenüber konventionellem Holzheizwerk

Vergleichsbasis:

- 3.1 MW Nutzwärme (VL/RL: 85/55 °C);
- VBH = 3.000 h/a;
- Brennstoffenergie (heizwertbezogen; M45)

Energiebedarf:

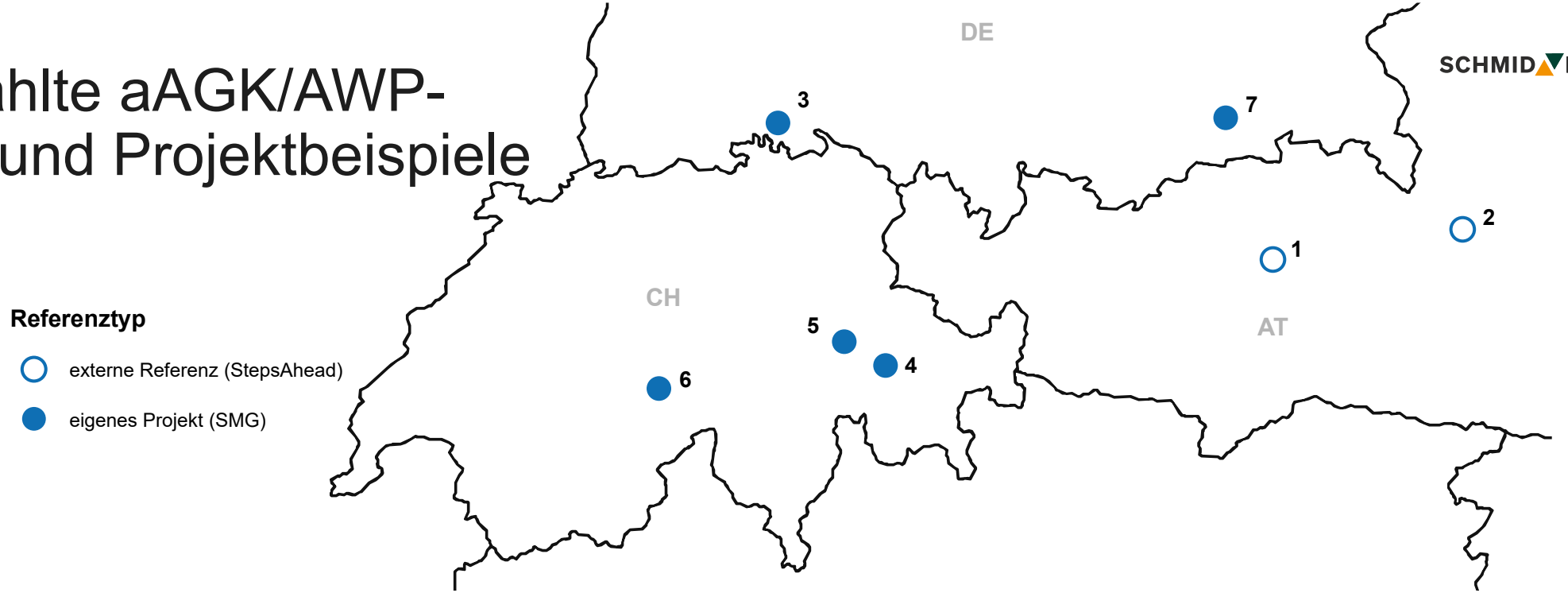
- Alle untersuchten Systeme benötigen **weniger Biomasse** als das konventionelle Heizwerk ohne aAGK
- **WKK + KWP mit Aussenluft oder Wasser benötigt mehr Biomasse als aAGK/AWP** – besonders ausgeprägt bei Aussenluft
- Nur Abwärme (25 °C) erreicht in etwa Brennstoffparität zu aAGK/AWP 105 °C.
- Externer Netzstrombezug bleibt in aAGK/AWP-Fällen gegenüber dem Biomassebedarf klein.

Hinweise:

- Stromverbrauch aller für Wärmeerzeugung erforderlichen Verbraucher enthalten; Biomasse als Brennstoffenergie heizwertbezogen
- WKK+KWP: KWP-Strom wird bilanziell durch ORC-Nettostrom gedeckt, daher externer Netzstrombezug = 0 (Hinweis: technischer Stromverbrauch ≠ 0)
- Keine zeitaufgelöste Jahressimulation: Jahresäquivalente Bilanz; zeitliche Last-/Temperaturverläufe, Wirkungsgrade, Stromdeckung und Leistungsspitzen nicht abgebildet.

Quelle: Eigene Modellierung; Basis: SMG-Projektdaten 2025/2026; [4] IEA Bioenergy Task 32 / BIOS, 2015; [6] DEA, 2026; Details: siehe Anhang

Ausgewählte aAGK/AWP-Anlagen und Projektbeispiele



ID	Wärmeleistung Biomassekessel	Wärmeleistung Heizwerk inkl. aAGK/AWP	Mehrleistung ECO/aAGK/AWP (Auslegung im Nennbetrieb)	AWP-Typ	Details
1	4.00 MW (3 MW + 1 MW)	5.18 MW	+1.18 MW / +30 %	105 °C	Erste Heizsaison 2023/24: 26.2 % zusätzlich gewonnene Wärme durch aAGK + ECO [9, 10]
2	Gesamt ca. 5 MW	6.7 MW	+1.70 MW / +34 %	150 °C	Punktuelle Kundenmessung 12/2020: bis zu 49 % zusätzlich gewonnene Wärme durch aAGK + ECO [9]
3	3.30 MW (0.9 MW + 2.4 MW)	4.25 MW	+0.95 MW / +29 %	105 °C	
4	4.80 MW (2 x 2.4 MW)	5.83 MW	+1.03 MW / +21 %	105 °C	
5	3.60 MW (1.2 MW + 2.4 MW)	4.65 MW	+1.05 MW / +29 %	105 °C	
6	6.20 MW (2.4 MW + 3.8 MW)	7.38 MW	+1.18 MW / +19 %	105 °C	Erweiterung: 2.4-MW-Bestandskessel + neuer 3.8-MW-Kessel mit aAGK und AWP für beide Kessel.
7	3.20 MW	4.01 MW	+0.81 MW / +25 %	105 °C	

Quellen: Eigene Anlagen-/Projektbeispiele; externe Betriebserfahrungen: [9] STEPSAHEAD, 2026; [10] EUROSOLAR, 2024

Zusammenfassung

Bei Wärmenetzen mit VL/RL 85/55 °C setzt das hocheffiziente Heizwerk mit aAGK den Benchmark:

- **aAGK/AWP reduziert den Biomassebedarf deutlich** (in den berechneten Fällen: ca. 23 bzw. 26 %) gegenüber einem konventionellen Heizwerk – bei nur **geringer Mehrinvestition** (hier: +6 bis +19 %).
- **105 °C aAGK/AWP wird bereits in mehreren Projekten umgesetzt**. 150 °C AWP bietet weiteres Effizienzpotenzial; höherer Betreiberaufwand hemmt die Umsetzung – **Gezielte Förderung könnte zusätzliche Effizienzgewinne erschliessen**.
- **WKK+KWP ist energetisch nur mit hochwertiger Wärmequelle (25 °C) konkurrenzfähig:** Systeme mit Luft- und Wasserquelle bleiben unter dem Benchmark; warme, gesicherte Abwärme ermöglicht etwa Parität zum 105 °C aAGK/AWP-System.
- **Im modellierten Vergleich ist WKK+KWP deutlich investitionsintensiver**: +112 bis +127 % gegenüber dem konventionellen Heizwerk.
- **Grosses Nachrüstpotenzial:** Aktive Abgaskondensation mit AWP (und grundsätzlich auch KWP) ermöglicht Kondensationsnutzung trotz hoher Rücklauftemperaturen auch bei Bestandsanlagen.

Fazit:

- **aAGK/AWP** erschliesst bei feuchtem Holz ein **grosses Effizienz- und Biomasseeinsparpotenzial** – im Neubau wie in der Nachrüstung.
- Bei üblichen Luft- und Wasserquellen ist **aAGK/AWP** in den betrachteten Konfigurationen gegenüber WKK+KWP **energetisch und wirtschaftlich überlegen**.

SCHMID MAWERA
Energy Pioneers

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

- **Kontakt für kommerzielle Anfragen:**

Stephan Tanner (Leitung Vertrieb Schweiz)
Hörnlistrasse 12 | 8360 Eschlikon | Schweiz
+41 79 459 03 04 | stephan.tanner@schmid-energy.ch

- **Kontakte für technische Fragen zu aAGK- und AWP-Systemen:**

Dr. Reinhold Spörl (Leiter Produkt und Innovationsmanagement)
Hörnlistrasse 12 | 8360 Eschlikon | Schweiz
+41 71 973 74 21 | reinhold.spoerl@schmid-energy.ch

Dr. Max Weidmann (zuständiger Produktmanager)
Hörnlistrasse 12 | 8360 Eschlikon | Schweiz
+41 71 973 74 07 | max.weidmann@schmid-energy.ch

Literatur/Quellen

[1] Nussbaumer, T.; Schildhauer, T.; Bauer, C. (Hrsg.) (2025/2026): Biomass conversion: gasification, methanation, and pyrolysis – Technology monitoring. BFE/PSI/Verenum.

[2] Good, J.; Thalmann, S.; Nussbaumer, T. et al. (2022): QM Holzheizwerke – Planungshandbuch. Band 4, 3. Auflage. Arbeitsgemeinschaft QM Holzheizwerke / QM Thermische Netze.

[3] Nussbaumer, T. (2023): Verwertungspfade Holzenergie – Ressourceneffizienz verschiedener Verwertungspfade zur Nutzung von Energieholz. Verenum AG / Hochschule Luzern, im Auftrag des BAFU.

[4] IEA Bioenergy Task 32 / BIOS (2015): Techno-economic evaluation of decentralised CHP with steam turbine and ORC.

[5] BFE/OST (2023): Feldmessungen von Wärmepumpen-Anlagen, Heizsaison 2022/23.

[6] Danish Energy Agency (2026): Technology Data for Generation of Electricity and District Heating.

[7] Eurostat (2025): Preisindizes / Inflationsdatenbank für Preisnormalisierung.

[8] European Central Bank (ECB) (2025): Euro foreign exchange reference rates.

[9] STEPSAHEAD Energiesysteme GmbH (2026): Referenzen / Absorption heat pumps for biomass boilers.

[10] EUROSOLAR AUSTRIA (2024): Österreichischer Solarpreis 2024 – Biomasseheizwerk Gerlos.

[11] Holzenergie Schweiz (2026): Preisindex Schnitzel, Ausgabe Januar 2026.

[12] IEA Bioenergy Task 32 (Biomass Combustion) (2026): Power generation and cogeneration: https://task32.ieabioenergy.com/overview/power-generation-cogeneration/ (Abruf: August 2026)

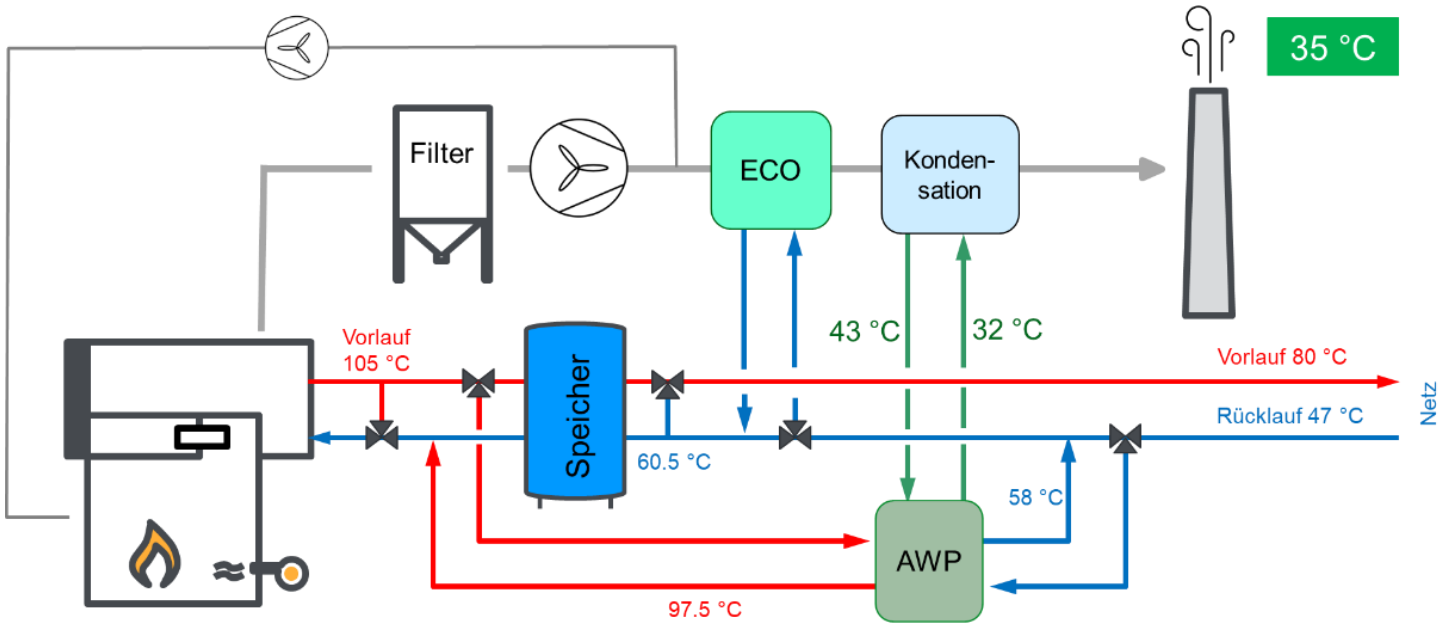
[13] Prando, D.; Renzi, M.; Gasparella, A.; Baratieri, M. (2015): Monitoring of the energy performance of a district heating CHP plant based on biomass boiler and ORC generator. Applied Thermal Engineering 79, 98–107. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2014.12.063.

SCHMID MAWERA
Energy Pioneers

Backup

Hydraulische Einbindung von ECO, Abgaskondensation und AWP

- **Systemlösung von Schmid:** Biomasse-Heizkessel + (ECO) + aktive Abgaskondensation mit AWP
- **Detaillierte wärmetechnische Auslegung des Gesamtsystems für das Heizwerk** zusammen mit unserem Partner STEPSAHEAD (führender AWP-Anbieter im DACH-Raum; exklusives Konzept für Schmid-Kernmärkte)
- **Neueste Feuerungsregelung Revolution adaptive** für konstant niedriges Rest-O_2 und hohen Wassertaupunkt
- **AWP: Antrieb durch Wärme** des Biomassekessels (statt Strom)
  - **Nutzung der Antriebswärme** zur Rücklaufanhebung
  - **Niedriger Strombedarf:** Strombedarf ca. 1–2 % der gehobenen Wärmeleistung
  - **Effiziente Abgaskondensation** bei Netzrücklauftemperaturen > 50 °C (Aktive Kühlung der Kondensationsanlage durch AWP)
- **Wirkungsgradsteigerung:** 20–40 % mehr Nutzwärme bei gleichem Brennstoffeinsatz
- **AWP mit 105 °C Warmwasser:** keine Heisswasseranlage nötig → Einsparung von Investitions- und Betriebskosten

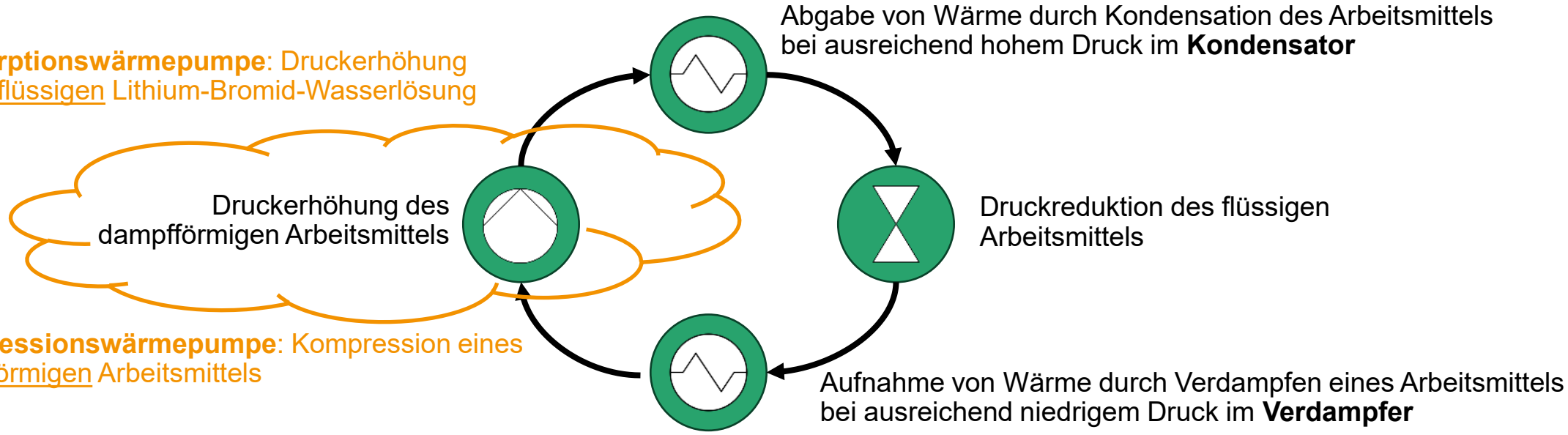


Wirkprinzip von Wärmepumpen

Technik / Wirkprinzip:

- Wärmepumpen nutzen die Druckabhängigkeit der Siede- bzw. Kondensationstemperatur eines Arbeitsmittels

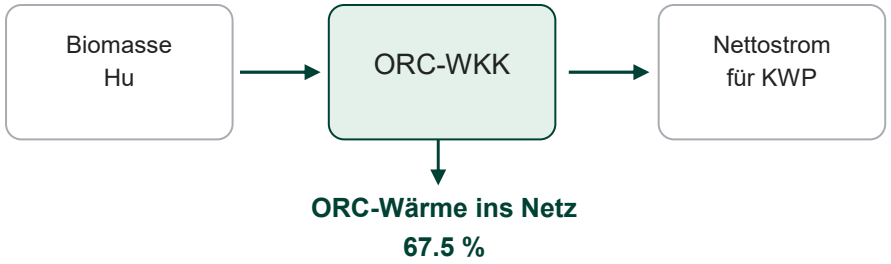
  → Niedriger Umgebungsdruck = niedrige Siedetemperatur
  (Beispiel: Wasser kocht auf Meereshöhe bei 100 °C, auf 3000 m bereits bei 90 °C (reduzierter Luftdruck))
- Wärmepumpen sind eine «Ansammlung» von Wärmetauschern mit zwischengeschalteten Elementen zur Druckerhöhung bzw. zur Drosselung.
- Die Arbeitsschritte einer Wärmepumpe sind:



Verwendete ORC-Kennwerte

Warum wird mit 67.5 % Wärme und 12.3 % Netto-Strom gerechnet – und nicht direkt mit allen publizierten ORC-Werten?

Projekt-Systemgrenze



IEA-Referenz [4] → Projektgrenze

Referenzwert	Verwendung im Vergleich
74.8 % Jahreswärme inkl. FGC	nicht direkt verwendet
67.5 % Wärme ohne FGC	Basis für ORC-Wärme in dieser Studie
12.3 % Netto-Jahresstrom	Basis für ORC-Strom in dieser Studie
14.4 % Netto-Nennstrom	nur für Dimensionierung und CAPEX

Keine Abgaskondensation bei 55 °C Rücklauf möglich, daher wird deren Anteil an der Nutzwärme nicht berücksichtigt.

Herleitung der ORC-Kennwerte:
Grundlage ist die **estnische ORC-Referenzanlage aus IEA Bioenergy Task 32 / BIOS [4]**. Für den Nennpunkt werden ca. 14.2 MW(Hu) Brennstoffleistung und 9.58 MWth ORC-Nutzwärme ohne Abgaskondensation angegeben. Daraus ergibt sich:

- $\eta_{th} = \frac{9.58}{14.2} = 67.5\%$
- Die elektrische Nennleistung beträgt ca. 2.40 MWel,brutto bzw. 2.05 MWel,netto; daraus ergäbe sich am Nennpunkt $\eta_{el,net} \approx 14.4\%$.
- Für den Systemvergleich wird jedoch nicht der elektrische Nennwert, sondern der im IEA/BIOS-Bericht ausgewiesene Netto-Jahresstromwirkungsgrad von 12.3 % verwendet. Dieser berücksichtigt den Eigenstrombedarf der Gesamtanlage und bildet den Jahresbetrieb besser ab.
- Der publizierte Jahreswärmewirkungsgrad von 74.8 % wird nicht übernommen, da er die am Referenzstandort genutzte Abgaskondensation enthält. Da die ORC-WKK-Anlage in dieser Studie ohne Abgaskondensation bilanziert wird, wird der thermische Nennwert ohne Abgaskondensation von 67.5 % als Basis verwendet.
- Die Kombination 67.5 % thermisch / 12.3 % elektrisch netto ergibt sich aus einem thermischen Nennwert und einem elektrischen Jahreswert und ist kein gemeinsam gemessener Betriebspunkt.
- Die Angabe zur Anlagen-Gesamtleistung von 12 MW bezieht sich auf die nominale thermische + elektrische Bruttoleistung: 9.58 + 2.40 ≈ 11.98 MW
- Für die normierte Projektbilanz werden die Wirkungsgrade direkt auf den gemeinsamen Brennstoffinput übertragen:
- $\dot{Q}_{th,Nutz,ORC} = 0.675 \cdot \dot{Q}_{Holz,Hu}$
- $P_{el,net} = 0.123 \cdot \dot{Q}_{Holz,Hu}$
- Bei 1’176.5 kW(Hu) ergeben sich damit 794.14 kWth ORC-Wärme und 144.71 kWel,net.

[4] IEA Bioenergy / BIOS, 2015

Basis zur Kostenrechnung: Investitionen, Skalierung und Preisnormalisierung

Umrechnung	Faktor
PPI 2015 → Apr. 2025	1.26141
PPI 2020 → Apr. 2025	1.19969
EUR → CHF, Apr. 2025	0.936995 CHF/EUR
Einheitliche Preisbasis: CHF April 2025	

$$I_{EUR,Apr25} = I_{EUR,Basis} \times (PPI_{Apr25} / PPI_{Basis})$$
$$I_{CHF,Apr25} = I_{EUR,Apr25} \times 0.936995$$

Anlagenteil	Kostenbasis	Skalierung / Ergebnis
ECO + aAGK + AWP, 105 °C	SMG-Projektwert 733 kEUR Apr. 2025 + 15 % bauseitig	Projektanker nach Währungsumrechnung: ca. 0.790 MCHF; Skalierung mit Potenzansatz n = 0.8 auf die erforderliche AWP-Leistung → 0.616 MCHF, (Variationen des Exponenten: n = 1 / 0.7)
ECO + aAGK + AWP, 150 °C	Faktor 1.50 auf skalierten 105-°C-Tech-CAPEX	I_{150} = 1.50 · I.105 → 0.923 Mio. CHF
WKK-/ORC-Inkrement	IEA/BIOS 2015: 7.175 Mio. EUR_{2015} bei 2.05 $MW_{el,net}$	Potenzansatz $I_2 = I_1 \times (P_2/P_1)^n$, mit n = 0.8 (und Variationen n = 1 / 0.7), P: Leistung; P_2 = projektspezifische nominale ORC-Nettoleistung $(\eta_{el,net,N} = 14.4\,\%)$; Preisfortschreibung 2015 → Apr. 2025 und EUR → CHF. P_2 Hauptfälle ca. 0.464 / 0.422 / 0.379 MWel,net für Aussenluft / Wasser / warme Abwärme.
Holzheizwerkbasis	DEA „Wood chips HOP, small - 2020“: 5.34 MW_{th} bei 0.638 Mio. EUR_{2020}/MW_{th} Referenzinvestition I_1 ≈ 3.407 Mio. EUR_{2020} bei 5.34 MW_{th}	Potenzansatz $I_2 = I_1 \times (P_2/P_1)^n$, mit n = 0.8 (und Variationen n = 1 / 0.7), P: Leistung; Skalierung auf jeweilige thermische Zielgrösse, Preisfortschreibung 2020 → Apr. 2025 und EUR → CHF
KWP	DEA 2026: 1 / 3 / 10 MW_{th}	stückweise log-lineare Interpolation (und Variation +/- 15%)

KWP-Interpolation zwischen DEA-Stützstellen: $I(P) = I_1 \cdot \left(\frac{I_2}{I_1}\right)^{\frac{\ln(P/P_1)}{\ln(P_2/P_1)}}$

DEA-Stützwerte werden exakt getroffen; keine pauschale Exponentenschätzung über 1–10 MW.

KWP-Stützstellen	1 MW_{th}	3 MW_{th}	10 MW_{th}
Aussenluft in Mio. EUR_2025	1.265	3.630	10.710
Wasser / Abwärme in Mio. EUR_2025	1.243	3.135	9.975

KWP-WNG Jahresbilanz/Wirtschaft:

Aussenluft 2.35, Wasser 2.68, Abwärme 3.50
Dimensionierung Aussenluft: WNG = 2.0 zur Berücksichtigung ungünstiger Winterbedingungen; bei Wasser/Abwärme entspricht der Auslegungs-WNG dem Jahreswert.

[4] IEA Bioenergy / BIOS, 2015; [6] Danish Energy Agency, 2026; [7] Eurostat, 2025; [8] ECB, 2025

Details zur Kostenrechnung: Annahmen und Ergebnisse

Parameter	Hauptfall	Sensitivität
Nutzwärmeleistung	3.1059 MW	fest
Vollbenutzungsstunden	3’000 h/a	2’500–3’500
Wärmeproduktion	9’318 MWh_{th}/a	-
Nutzungsdauer	20 a	–
realer Kalkulationszins	3.0 %	2–4 %
Holzpreis	6.0 Rp./kWh_Hu	5–7
Strombezug	25 Rp./kWh_el	20–30
Wert ORC-Überschussstrom	10 Rp./kWh_el	7.5–12.5

Kostenblock	Ansatz / Quelle
Holz	Holzenergie Schweiz [11]
Heizwerk O&M	DEA 2026 [6]
KWP fixe/variable O&M	DEA 2026 [6]
WKK/ORC O&M	IEA Bioenergy/BIOS 2015 [4]
AWP/aAGK O&M	Modellannahme
Strom	Modellannahme
Preisindizes & Wechselkurse	Eurostat [7] & ECB [8]

Wärmegestehungskosten total

Variante	CHF/MWh_{th}
Heizwerk + aAGK/AWP 105 °C	88.6
Heizwerk + aAGK/AWP 150 °C	89.6
WKK + KWP Aussenluft	113.6
WKK + KWP Wasser	109.4
WKK + KWP warme Abwärme	102.2

Herleitung der Investitionskosten und der Mehrinvestition

Variante	Holzheizwerk [Mio. CHF]	aAGK/AWP [Mio. CHF]	Holz-WKK/ORC [Mio. CHF]	KWP [Mio. CHF]	Voll-CAPEX [Mio. CHF]	CAPEX konventionelles Referenz-Heizwerk [Mio. CHF]	Mehrinvestition [Mio. CHF]
Heizwerk + aAGK/AWP 105 °C	2.02	0.62	-	-	2.64	2.48	0.153
Heizwerk + aAGK/AWP 150 °C	2.02	0.92	-	-	2.94	2.48	0.461
WKK + KWP Aussenluft	-	-	4.45	1.19	5.64	2.48	3.157
WKK + KWP Wasser	-	-	4.12	1.29	5.41	2.48	2.930
WKK + KWP warme Abwärme	-	-	3.79	1.48	5.27	2.48	2.784

Hinweise:

- Investitionskosten Anlagentechnik berücksichtigt inkl. Gebäude- und bauseitiger Integrationskosten; exkl. Grundstück.
- Mehrinvestition: Voll-CAPEX der jeweiligen Variante abzüglich CAPEX eines konventionellen Heizwerks mit derselben Nutzwärmeleistung (3’105 kW)
- Referenz-Heizwerk ohne AGK: Wärmeleistung = 3.1059 MW_{th}; Brennstoffverbrauch = 10.962 GWh_{Hu}/a; Stromverbrauch = 0.197 GWh_{el}/a; CAPEX = 2.483 MCHF; Wärmegestehungskosten = 105.85 CHF/MWh_{th}

[4] IEA Bioenergy / BIOS, 2015; [6] Danish Energy Agency, 2026;
[7] Eurostat, 2025; [8] ECB, 2025; [11] Holzenergie Schweiz, 2026

Details zur Kostenrechnung: Ergebnisse und Sensitivitäten

Robustheit der Mehrinvestition: ΔCAPEX ggü. konventionellem Holzheizwerk gleicher Nutzwärmeleistung

Variante	günstig [Mio. CHF]	Hauptfall [Mio. CHF]	ungünstig [Mio. CHF]
Heizwerk + aAGK/AWP 105 °C	0.072	0.153	0.202
Heizwerk + aAGK/AWP 150 °C	0.361	0.461	0.520
WKK + KWP Aussenluft	2.263	3.157	3.785
WKK + KWP Wasser	2.031	2.930	3.576
WKK + KWP warme Abwärme	1.874	2.784	3.457

Fazit: Die untersuchten CAPEX-Annahmen verändern die grundsätzliche Rangfolge nicht.

Hinweise: Günstig / Hauptfall / ungünstig: Potenzexponent n = 1.00 / 0.80 / 0.70; Bei KWP: −15 % / Hauptwert / +15 %. Das Referenz-Heizwerk wird im jeweiligen Sensitivitätsfall mit demselben n skaliert.

Berechnung Brennstoffverbrauch:

- Jahresnutzwärme: 3.1059 MW × 3.000 h/a = 9.318 GWh_th/a
- Biomassebedarf: E_Holz = Q_Nutz / f_Q
- WKK+KWP: f_Q = η_th + η_el,netto × WNG

Robustheit des Brennstoffverbrauchs gegenüber der energetischen Performance
Strom aufgrund des niedrigen Verbrauchs nicht variiert

Variante	günstig [GWh_{Hu}/a]	Hauptfall [GWh_{Hu}/a]	ungünstig [GWh_{Hu}/a]	Variation
Heizwerk + aAGK/AWP 105 °C	8.10	8.47	8.87	f_Q = 1.15 / 1.10 / 1.05
Heizwerk + aAGK/AWP 150 °C	7.76	8.10	8.32	f_Q = 1.20 / 1.15 / 1.12
WKK + KWP Aussenluft	9.41	9.67	9.95	WNG bei η_l = 55 / 50 / 45 %
WKK + KWP Wasser	8.99	9.28	9.58	WNG bei η_l = 55 / 50 / 45 %
WKK + KWP warme Abwärme	8.13	8.43	8.76	WNG bei η_l = 55 / 50 / 45 %

Fazit: Die untersuchten Variationen verändern die grundsätzliche Rangfolge nicht.

Berechnung WNG Ober / Haupt / Unter (mittels Lorenz-Gütegrad ηL = 55 / 50 / 45 %)

Quelle	WNG Ober	WNG Haupt	WNG Unter	η_L Ober / Haupt / Unter
Aussenluft	2.565	2.348	2.128	0.55 / 0.50 / 0.45
Wasser 10→5 °C	2.939	2.679	2.418	0.55 / 0.50 / 0.45
Warme Abwärme 25→20 °C	3.836	3.499	3.160	0.55 / 0.50 / 0.45

Elektrische Jahresbilanz und Systemgrenzen

Variante	Heizwerk-Hilfe [MWh_{el}/a]	AWP-Hilfsstrom [MWh_{el}/a]	KWP-Systemstrom [MWh_{el}/a]	ORC-Nettostromerzeugung [MWh_{el}/a]	Externer Netzstrombezug* [MWh_{el}/a]	spez. Netzbezug [kW_{el}/MW_{th}]
Heizwerk + aAGK/AWP 105 °C	152.2	24.6	–	–	176.7	19.0
Heizwerk + aAGK/AWP 150 °C	152.2	31.6	–	–	183.8	19.7
WKK + KWP Aussenluft	im ORC-Netto enthalten	–	1189.1	1189.1	0.0	0.0
WKK + KWP Wasser	im ORC-Netto enthalten	–	1140.9	1140.9	0.0	0.0
WKK + KWP warme Abwärme	im ORC-Netto enthalten	–	1036.8	1036.8	0.0	0.0
Konventionelles Heizwerk (o. AGK)	196.9	–	–	–	196.9	21.1

* 0 externer Netzbezug ≠ 0 technischer Stromverbrauch

Eigene Modellierung auf Basis [4], [6], [7], [8], [11]

Exkurs: Vergaser-WKK & Wirkungsgrade

Table 4.1: Efficiencies of base case for Spanner Re2 HKA 35, 50 & 70 kWel. Red: assumptions, blue: calculated values. "Input dry wood" describes the efficiencies in the case of dry wood delivered to the plant. "Input moist wood" describes the efficiencies in case of moist wood delivered to the plant, considering the heat consumption for technical drying. Values in brackets: not used for economic calculations for co-current gasifiers, since moist wood is assumed. The net electrical efficiency considers the self-consumption of electricity for the plant. The net efficiency for heat considers the self-consumption of heat for the biomass drying and heat dissipation used for control purposes.

	Product	Symbol	Input	
			Dry wood	Moist wood
Gross Efficiency	Electricity	η_e	28.4%	28.4%
	Heat	η_q	56.9%	56.9%
	Total	η_{tot}	85.3%	85.3%
Gross efficiency weighted by EnFV 2.2.3 = 1 Q + 1.75 El ≥ 70%		η_{ex}	106.6%	106.6%
Self-consumption of heat for dryer			(0.0%)	20.0%
Heat dissipation for control purposes			(5.0%)	5.0%
Self-consumption of electricity			(3.0%)	5.0%
Net effciencies	Electricity	η_e	(25.4%)	23.4%
	Heat	η_q	(51.9%)	31.9%
	Total	η_{tot}	(77.3%)	55.3%
Net efficiency weighted = 1 Q + 1.75 El		η_{ex}	(96.4%)	72.9%

[1] BFE/Nussbaumer et al., 2025/2026, Tab. 4.1

Exkurs: Vergaser-WKK & Wirkungsgrade

Table 4.3: Assessment: Efficiency, air pollution, and experiences for combustion, gasifier CHP, and biochar plants. In this table, all efficiencies describe net values which consider electricity consumption for the plant operation and heat and electricity consumption for fuel drying and sieving for all carbonization systems and for all gasification systems except for the counter-current gasifier from Regawatt. The energy production costs refer to the following assumptions:
- Fuel price of 60 CHF/MWh
- Capital cost for an annual interest rate of 3.0% for a calculation period of 20 years
- Operation with 6000 annual full load hours (except for the high values for the biomass boilers, which is valid for 2000 annual full load hours).
- Efficiencies: η_e = electrical efficiency, η_q = heating efficiency, η_b = biochar efficiency, η_{tot} = total efficiency = $\eta_e + \eta_q + \eta_b$, η_{ex} = 1.75 $\eta_e + \eta_q + \eta_b$.

Conversion	Application	Company (country)	Fuel input per unit	Net Efficiencies				Exergetic Value w. El = 1.75	Impact on air pollution	Quantity of experience	Reliability and success due to experience	Energy production cost
				η_e [%]	η_q [%]	η_b [%]	η_{tot} [%]	η_{ex} [%]	PM NO_x VOC		(independent of quantity of exp.)	[CHF/MWh]
Combustion	Heat for 6000 h/a Heat for 2000 h/a	Many suppliers	0.3 – 5 MW	-3	82-88		82-85	**78-82**	Low	High	High	90–120 130–220
Gasification	CHP	Spanner Re (GER)	125 – 246 kW	23-26	32-38		55-64	**72-84**	Low	Medium	Medium	180–250
		Wegscheid (GER)	200 – 420 kW						Low	Medium	Medium	
		Glock (AUT)	80 – 210 kW						uncertain	uncertain	uncertain	
		Burkhardt (GER)	190 – 610 kW 500 – 1100 kW						Low	Medium	Medium	
		Lipro (GER)	200 – 340 kW						Very low	Small	High	
		Regawatt (GER)	1 – 5 (20)[4] MW	23-24	40-45		63-69	**80-87**	Low	uncertain	uncertain	
	CHP + Biochar	Syncraft (AUT)	1.4 – 3.5 MW	23-24	31-36	8-12	64-70	**81-88**	Low	Medium	Medium	

[1] BFE/Nussbaumer et al., 2025/2026, Tab. 4.3

Warum hohe KWP-WNG niedrige Temperaturhübe brauchen

Definition und Näherung

$$WNG = \frac{\dot{Q}_{Nutzwärme}}{P_{el,Verdichter} + P_{el,Hilfsenergien}}$$

$$COP_{Carnot} = \frac{T_{Senke}}{T_{Senke} - T_{Quelle}}$$

Temperaturen in Kelvin

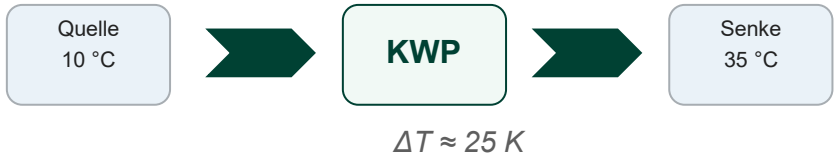
$$COP = \eta \times COP_{Carnot}$$

$$\eta \approx 0.45\text{-}0.55$$

$$WNG = \frac{1}{\frac{1}{COP} + Hilfsenergie + Abtauenergie}$$

Temperaturhub als Kernfaktor

Niedertemperatur-Gegenfall

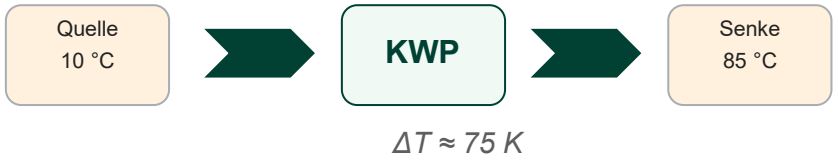


Quelle 10 °C / Senke 35 °C

TQ = 10 °C = 283.15 K
TS = 35 °C = 308.15 K

COPCarnot = TS / (TS − TQ)
COPCarnot = 308.15 / (308.15 − 283.15)
COPCarnot = 12.33

Zentrales 85/55-°C-Netz



Quelle 10 °C / Senke 85 °C

TQ = 10 °C = 283.15 K
TS = 85 °C = 358.15 K

COPCarnot = TS / (TS − TQ)
COPCarnot = 358.15 / (358.15 − 283.15)
COPCarnot = 4.78

HSLU Hochschule Luzern

Prozessintegration, Effizienz und Kosten von CCS für Holzheizkraftwerk, KVA und Vergärungsanlage

Prof. Dr. Beat Wellig
CC Thermische Energiesysteme und Verfahrenstechnik
Hochschule Luzern – Technik & Architektur

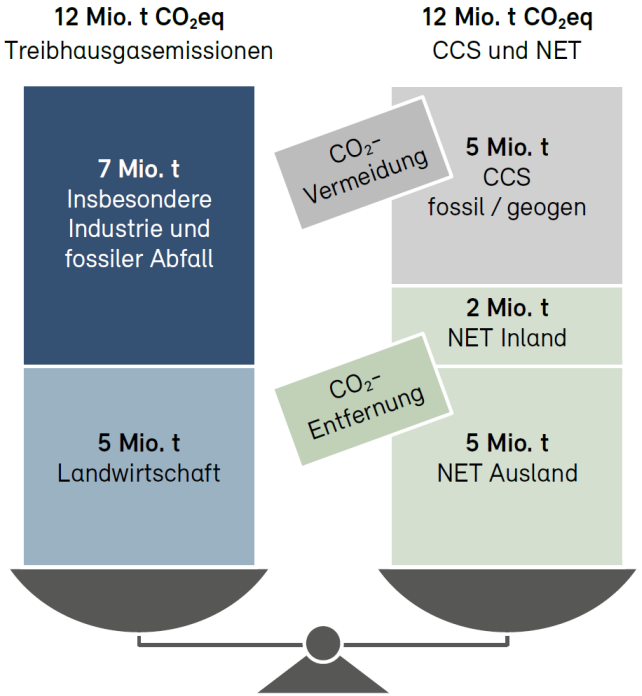
19. Holzenergie-Symposium, 11. September 2026, ETH Zürich

Null heisst Null

Zur Erreichung von Netto-Null müssen schwer vermeidbare Emissionen ausgeglichen werden.

Die Schweiz muss, je nach Szenario, jährlich **10 bis 15 Millionen Tonnen CO_2** dauerhaft speichern (im Inland und Ausland).

Quelle: Modellvergleich SWEET-CROSS (CooRdination Of Scenarios for SWEET), www.sweet-cross.ch/results/



CCS: Carbon Capture and Storage, NET: Negative Emission Technologies
Quelle: Langfristige Klimastrategie, Bericht des Bundesrats, 2021

Null heisst Null

Was bedeuten 10 bis 15 Mio. Tonnen negative CO_2-Emissionen pro Jahr?

2050 muss jährlich mehr CO_2 dauerhaft gespeichert werden, als alle Gebäude in der Schweiz heute emittieren (rund 9.4 Mio. Tonnen CO_2-eq/Jahr).

Quelle: Treibhausgasinventar, BAFU



CO_2-Abscheidung aus Punktquellen

Punktquellen mit biogenen Brennstoffen:

- KVA
- Holzheizkraftwerke
- Klärschlamm-Verbrennungsanlagen
- Biogasanlagen



BFE-Projekt «Process Integrated Carbon Capture PICC»

Ziele

- Guidelines für Design, Optimierung und Integration von CO_2-Abscheidungsanlagen
- Einflusses der CO_2-Abscheidung auf das integrierte System
- Quantifizierung der Auswirkungen von CCUS auf das Schweizer Energiesystem (ETHZ, in dieser Präsentation nicht behandelt)



BFE-Projekt «Process Integrated Carbon Capture PICC»

Projektpartner in PICC

KVA Linth



HHKW Galgenen



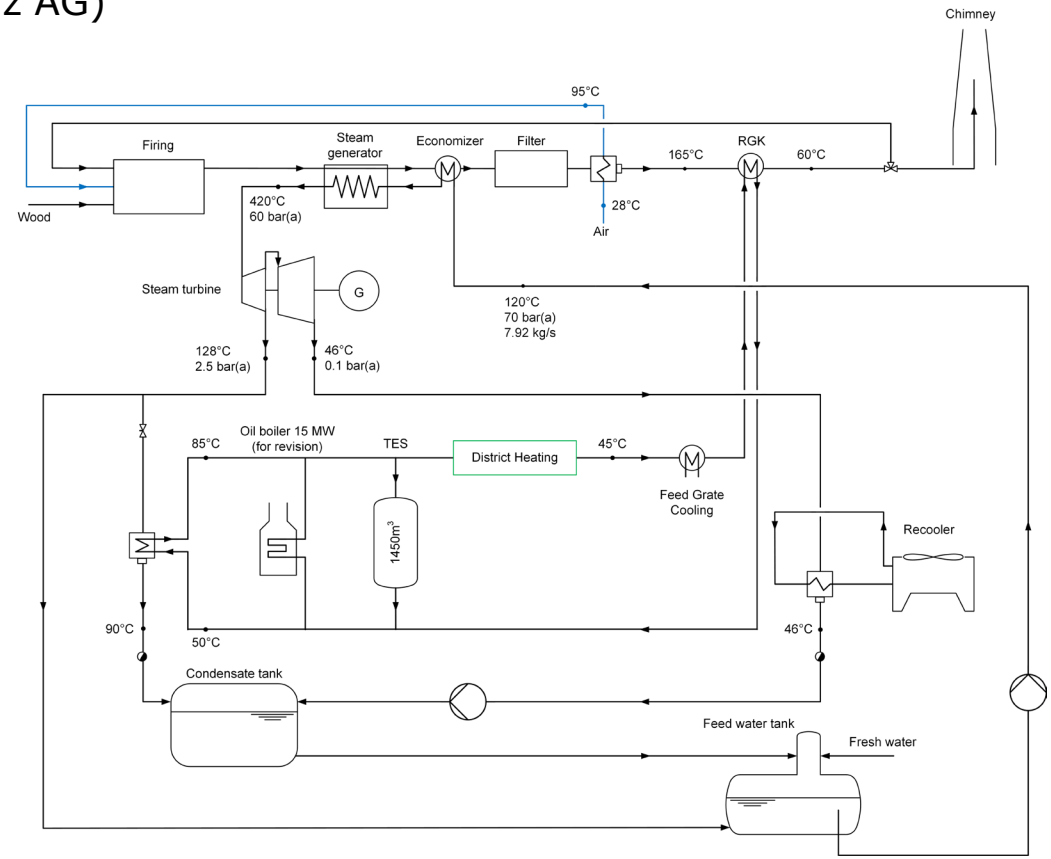
KSV/ARA Werdhölzli



HHKW Galgenen (Energie Ausserschwyz AG)

Beispielhafte Fallstudie

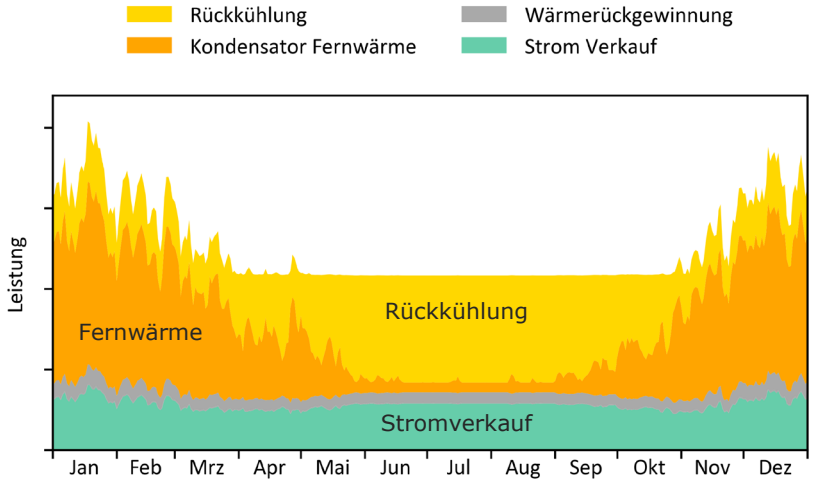
- Verbrennung von Altholz und Holzschnitzeln
- Thermische Leistung 22 MW_{th} (Kesselleistung)
- Emittierte CO_2-Menge 46‘000 t CO_2 /a
- Wärmeverbraucher: Fernwärmenetz (FW) und interne Prozesse

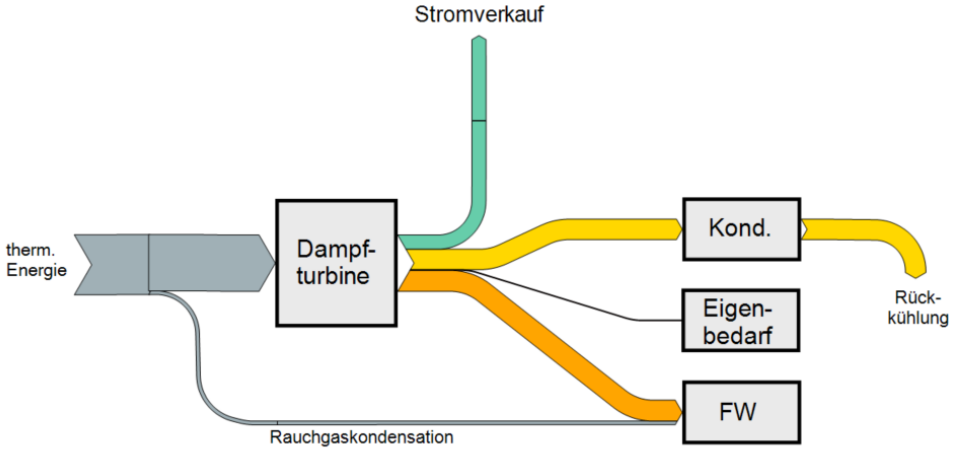


HHKW Galgenen

Ist-Zustand

Stromproduktion, Wärmeproduktion für Fernwärmenetz: Jahresverlauf und Sankey-Diagramm

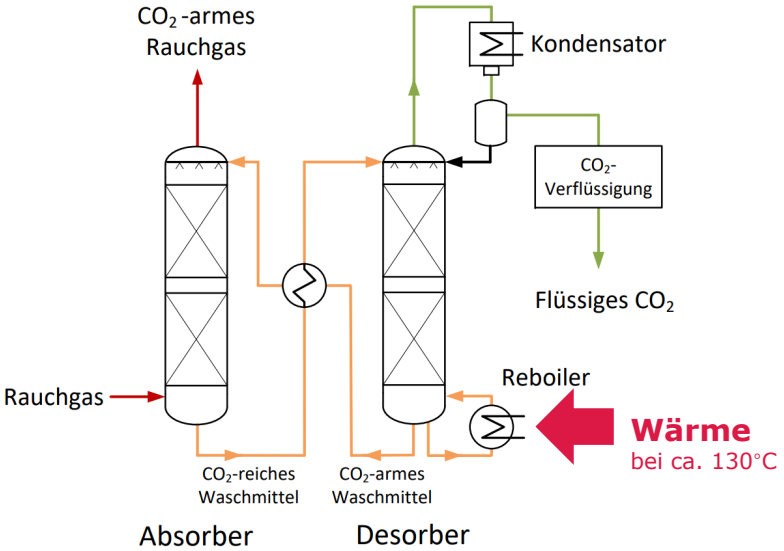




Frage: Wie kann man eine CO_2-Abscheidungsanlage optimal integrieren?

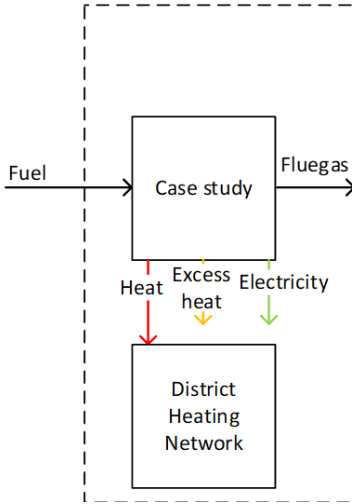
Herausforderung

Amin-Wäsche und Verflüssigung



Abscheidung von 1 kg CO_2 benötigt grob 0.9 kWh Wärme und 0.2 kWh Strom.

Integration CO_2-Abscheidungsanlage

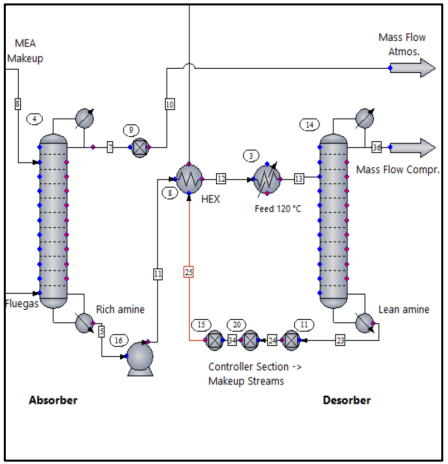


«**Streit um die Wärme**» → thermoökonomisch optimale Integration der CO2-Abscheidungsanlage

Methodik

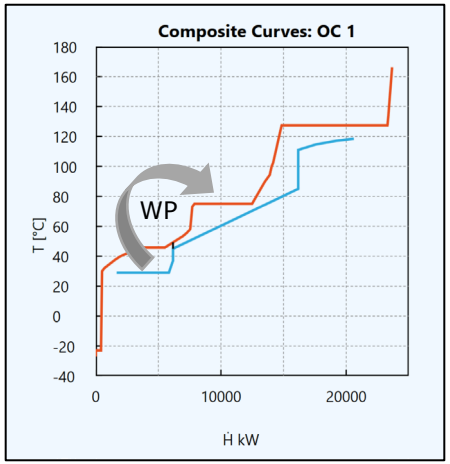
Integriertes Prozessdesign

I. Prozess-Simulation
Optimierung CO_2-Abscheidungsanlage mit CHEMCAD



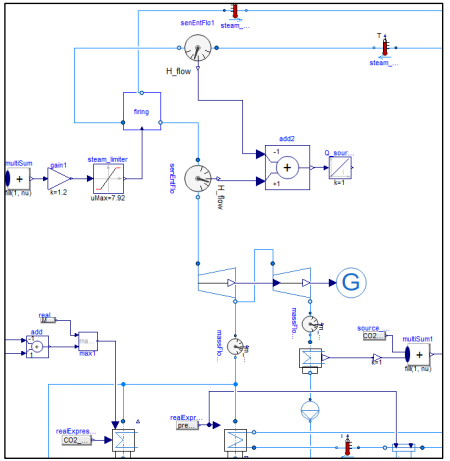
Amin-Wäsche

II. Pinch-Analyse
Optimale Wärmeintegration mit PinCH Software



Variante mit Wärmepumpe

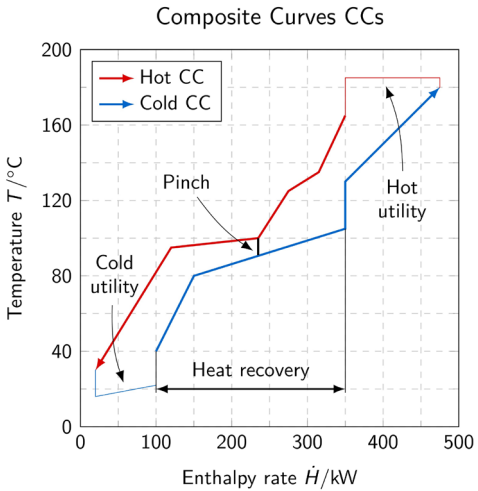
III. Simulation Gesamtsystem
Betriebscharakteristik und Variantenstudien mit Modelica

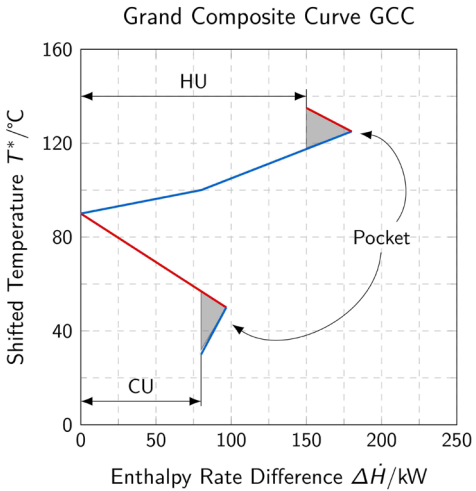


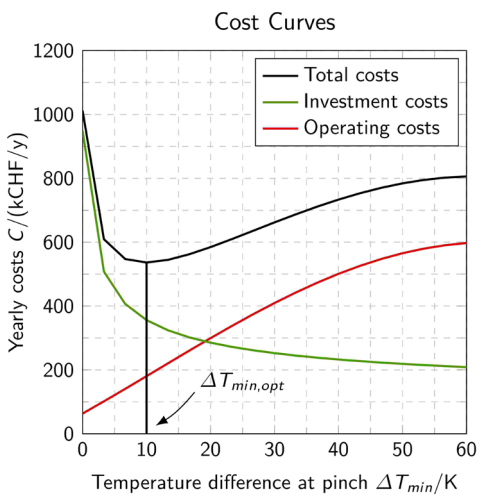
Integriertes Gesamtsystem

Exkurs Pinch-Analyse

System-orientierte Methode, um den optimalen Energieeinsatz und das optimale Anlagedesign unter der Randbedingung minimaler Kosten zu ermitteln. Die **Pinch-Analyse** ist das wichtigste Werkzeug für die energetische Prozessintegration.





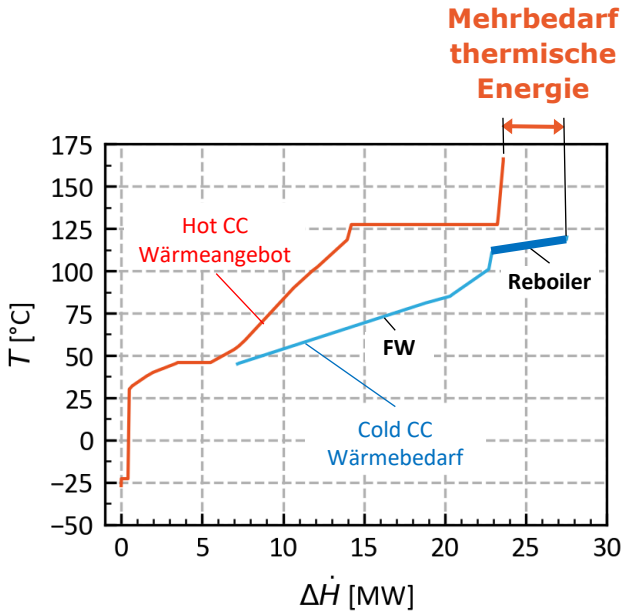


Der «Pinch» teilt das Gesamtsystem in zwei Untersysteme – mit Wärmedefizit oberhalb und Wärmeüberschuss unterhalb des Pinches. Wichtig: Eine korrekt integrierte Wärmepumpe arbeitet über den Pinch.

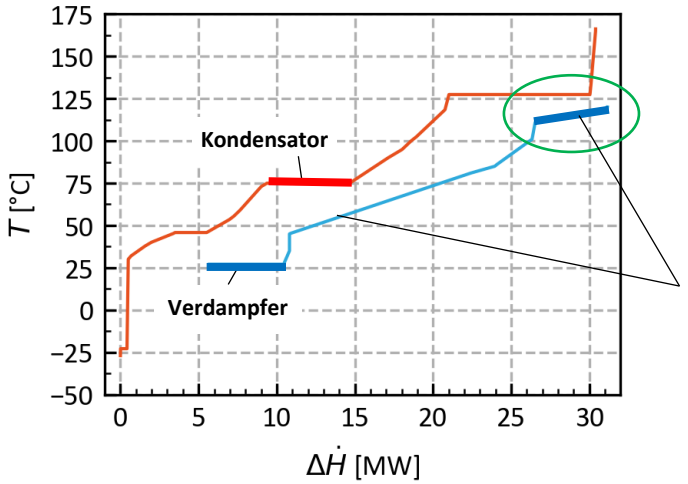
HHKW Galgenen

Composite Curves des Gesamtsystems

1) Integration CO_2-Abscheidungsanlage führt zu Mehrbedarf an Holz (und Rückkühlung)



2) Integration CO_2-Abscheidungsanlage **mit Wärmepumpe** ermöglicht die Optimierung des Gesamtsystems



Wärme für FW und Reboiler ist gedeckt!

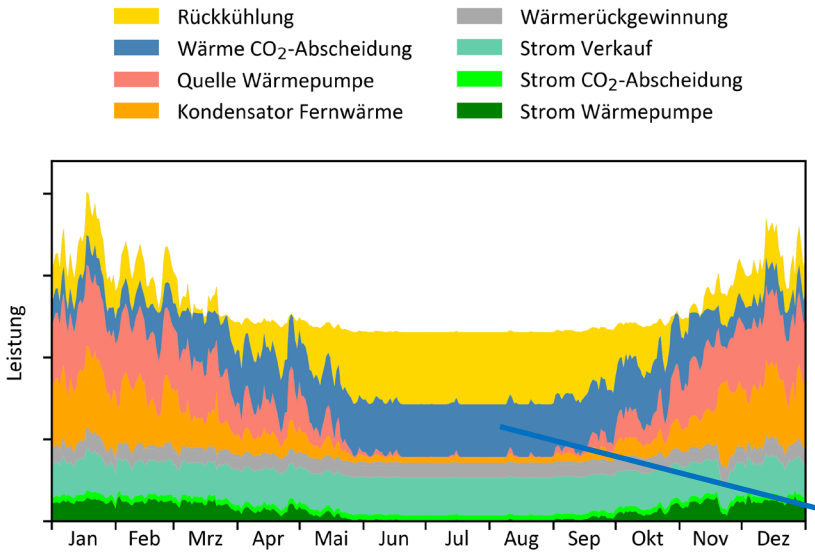
(CCs für durchschnittlichen Wintertag)

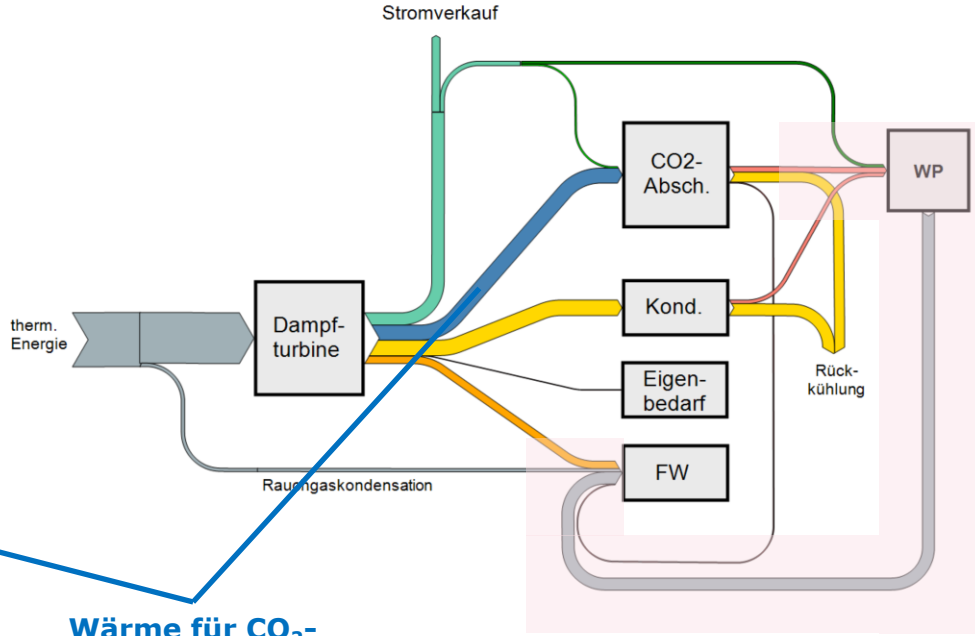
HHKW Galgenen

Integration CO_2-Abscheidung und Wärmepumpe

Vergleich mit Ist-Zustand:

Holzverbrauch	-7%
Fernwärmeverkauf	identisch
Stromverkauf	-23%
Abgeschiedenes CO_2	**84%**





Wärme für CO_2-Abscheidung

HHKW Galgenen

Techno-ökonomische Analyse (ohne Transport und Endlagerung)

	ohne WP	mit WP
Betriebskosten [Mio. CHF/a]		
CO_2-Abscheidungsanlage, Zwischenlagerung, EEMs	1.6	1.7
Annualisierte Investitionskosten [Mio. CHF/a]		
CO_2-Abscheidungsanlage	4.2	4.0
EEM (inkl. WP und WÜ)	0.01	0.5
Betriebs- und Investitionskosten [Mio. CHF/a]	5.8	6.2
Mehrkosten Holz [Mio. CHF/a]*	1.2	-0.2
Verringerung Einnahmen [Mio. CHF/a]* (Mindereinnahmen Stromverkauf)	0.5	2.1
Jährliche Gesamtkosten [Mio. CHF/a]	7.5	8.1
Gesamtmenge CO_2 abgeschieden [t CO_2/a]	40’900 (72%)	38’000 (90%)
Spezifische CO_2-Abscheidungskosten [CHF/t CO_2]	**183**	**211**

*verglichen mit Szenario 2026 ohne CO_2-Abscheidung

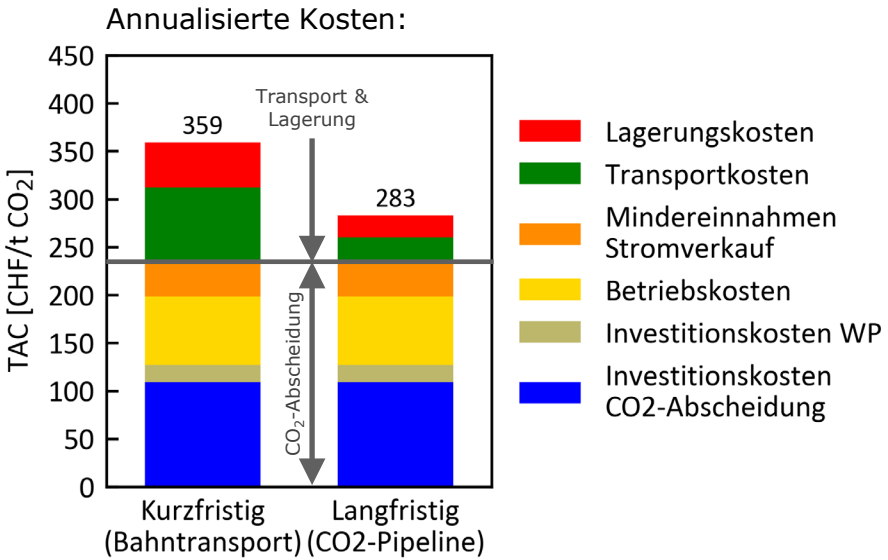
Vergleich der Fallstudien

- In allen Fallstudien Szenarien ohne/mit Wärmepumpen betrachtet (genügend Wärmequellen vorhanden).
- Grössere CO_2-Abscheidungsanlagen sind wie erwartet wirtschaftlich interessanter. Der Strom spielt eine wichtige Rolle für die Wirtschaftlichkeit («Umverteilung» Wärme/Strom).
- Die Temperaturanforderungen der Prozesse (KVA, HHKW, KSV) beeinflusst die Wirtschaftlichkeit aufgrund der möglichen Wärmerückgewinnung.

	Einheit	**KVA Linth**	**KSV Werdhözli**	**HHKW Galgenen**
Jährliche Abscheidung	t CO_2/a	**120'000**	**19'800**	**38'000**
FW-Vorlauftemperatur	°C	90	74	85
FW-Rücklauftemperatur	°C	57	49	45
Strompreis	CHF/MWh_{el}	80	160	130
Grösse der WP	$MW_{th,Kond}$	17.1	1.6	5.1
Annualisierte Investitions-kosten für CO_2-Abscheidungsanlage	Mio. CHF/a	7.5	2.3	4.0
Spezifische Kosten	**CHF/t CO_2**	**130**	**222**	**211**

Take-aways

- Die CO_2-Abscheidung beeinflusst Gesamtsystem stark (Strom- und Wärmeerzeugung).
- Erfolgt die Integration mit einer Wärmepumpe, wird für die CO_2-Abscheidung keine zusätzliche thermische Energie (z.B. Holz) benötigt.
- Die Wirtschaftlichkeit ist von vielen Faktoren abhängig. Die Kosten für die CO_2-Abscheidung betragen je nach Fallstudie und Anlagen-konfiguration **150-250 CHF/t CO_2**.



Kosten für Transport und Lagerung: P. Eckle, M. Krüger, M. Spokaite: Feasibility of a demonstrator for the carbon capture and storage value chain in CH with a waste-to-energy plant. https://www.suslab.ch/ms-ccs-feasibility

HSLU Hochschule Luzern

Vielen Dank!

Bundesamt für Energie BFE, Carina Alles

Projektpartner:
- HHKW Galgenen, Urs Rhyner
- KVA Linth, Daniel Marxer
- KSV/ARA Werdhölzli, Daniel Rensch

Projektteam:
- Hochschule Luzern HSLU: Dario Allgäuer, Benjamin Ong und weitere Mitarbeiter
- Energy Science Center ETH Zürich, Gianfranco Guidati

CO_2-Abscheidung bei Holzfeuerungen ab 5 MW

durch optimierte Integration und umweltverträgliches Lösungsmittel

19. Holzenergie-Symposium 2026 | CH-Zürich | 11.09.2026

Nico Lenggenhager | Product Manager Carbon Capture

SCAN QR CODE OR CLICK TO SAVE CONTACT!

Inhalt

01 SAVE ENERGY CO_2-Abscheidung

02 CAPT – Prozesstechnologie

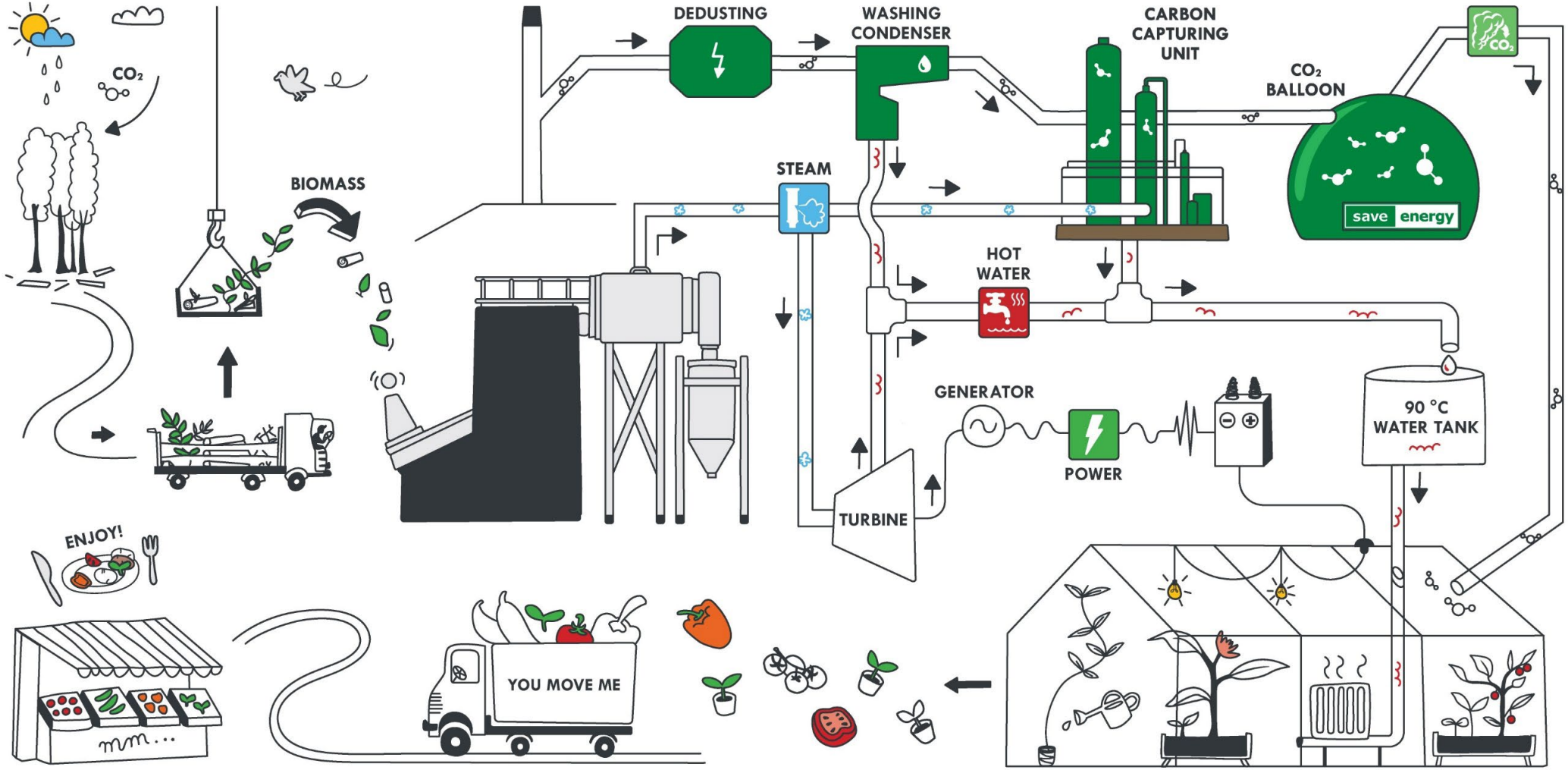
03 Spezifische Parameter

04 Einblick in die Praxis

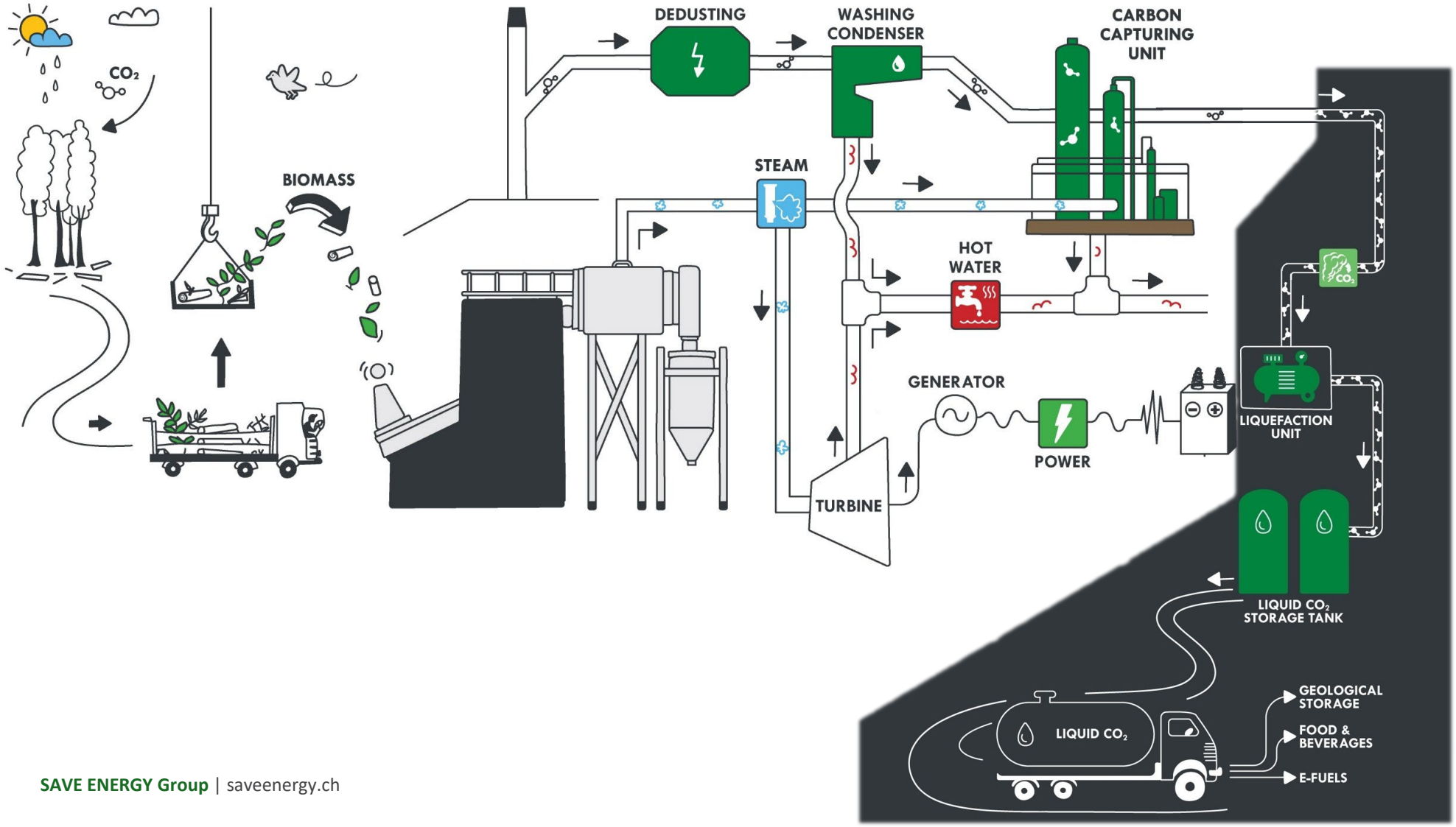
01

SAVE ENERGY CO_2 – Abscheidung Applikationen (Fokus Gewächshaus)

Anlagenübersicht



Anlagenübersicht mit Verflüssigung

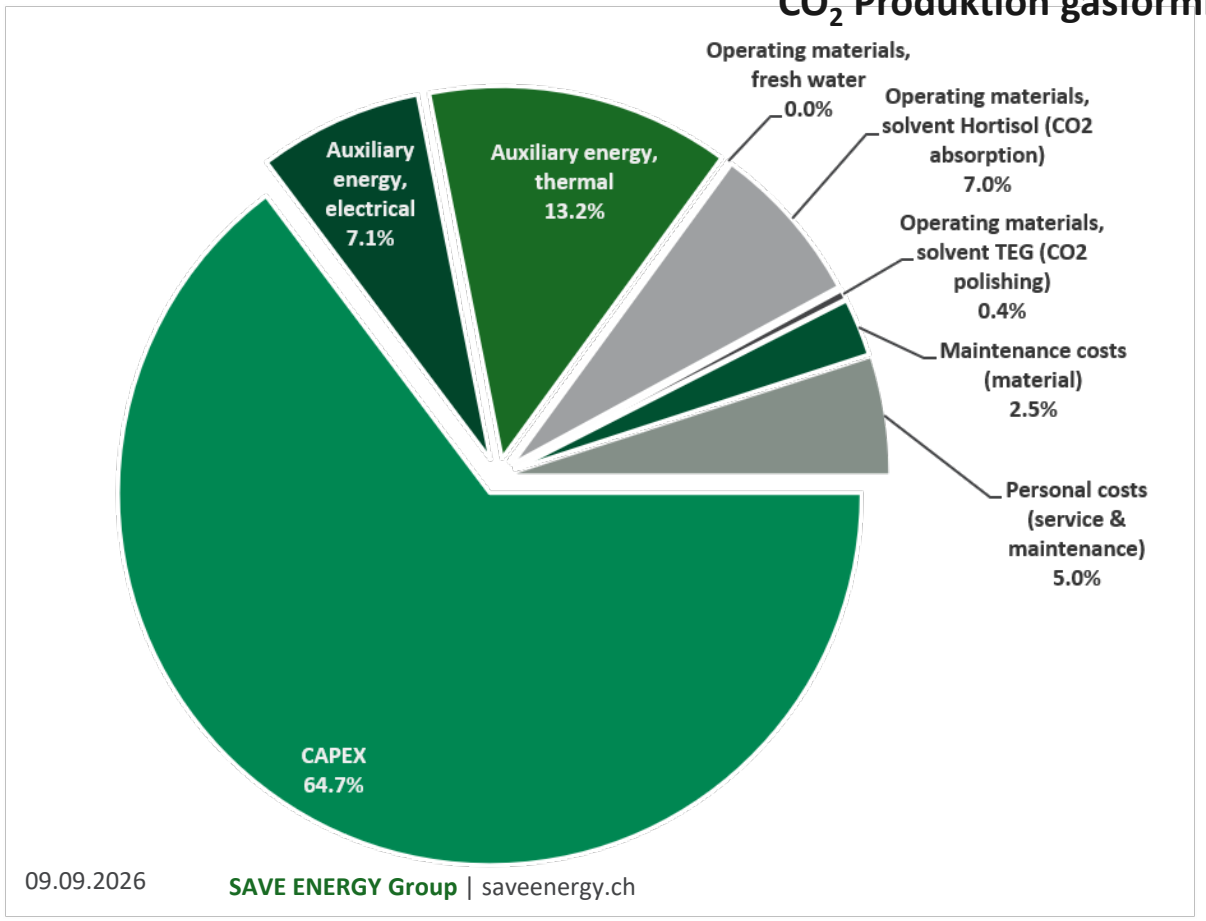


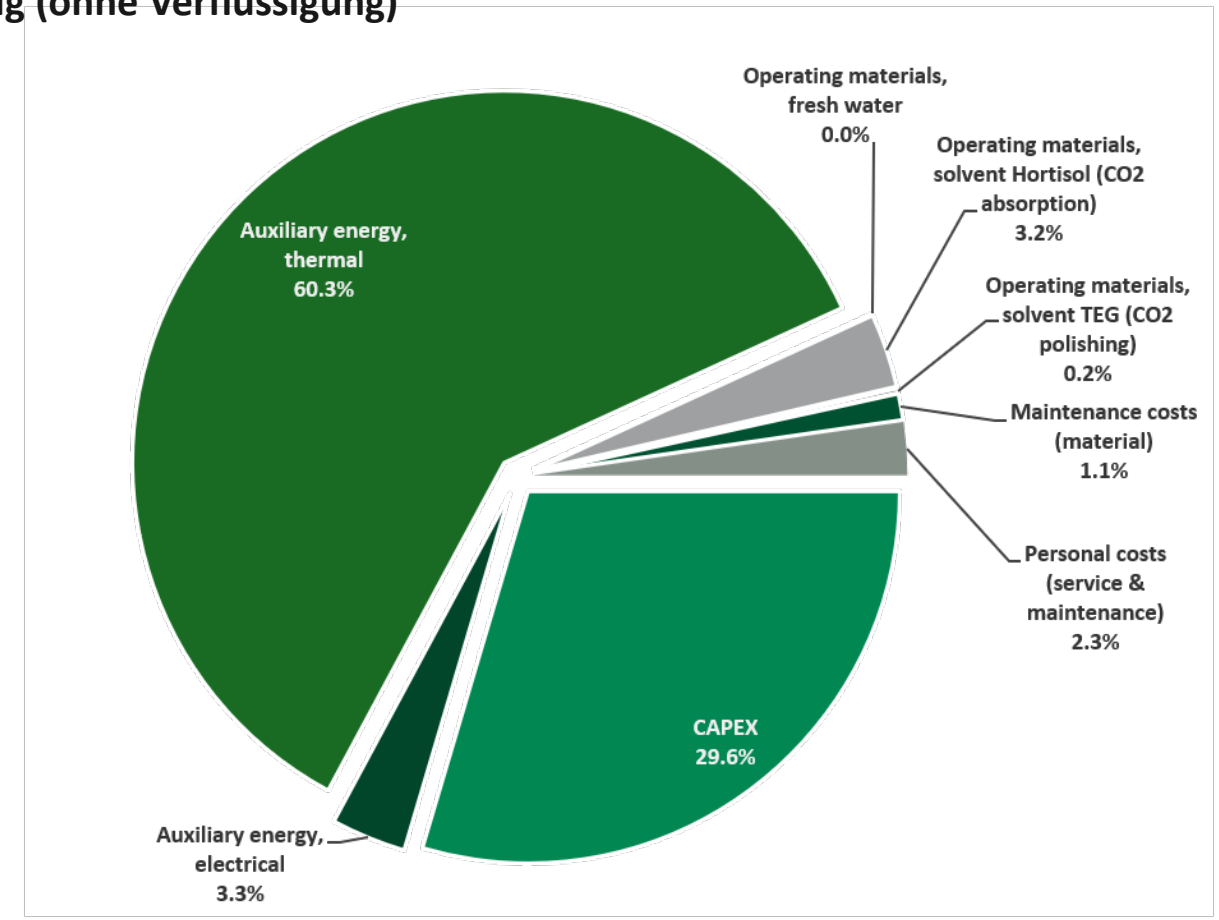
Betriebskostenaufteilung

90 % WRG

Aufteilung der Betriebskosten pro Jahr [%]
(bei einer wirtschaftlichen Lebensdauer von 10 Jahren)
Basierend auf spez. Brennstoffkosten: 0.05 [EUR/kWh]
CO_2 Produktion gasförmig (ohne Verflüssigung)

0 % WRG

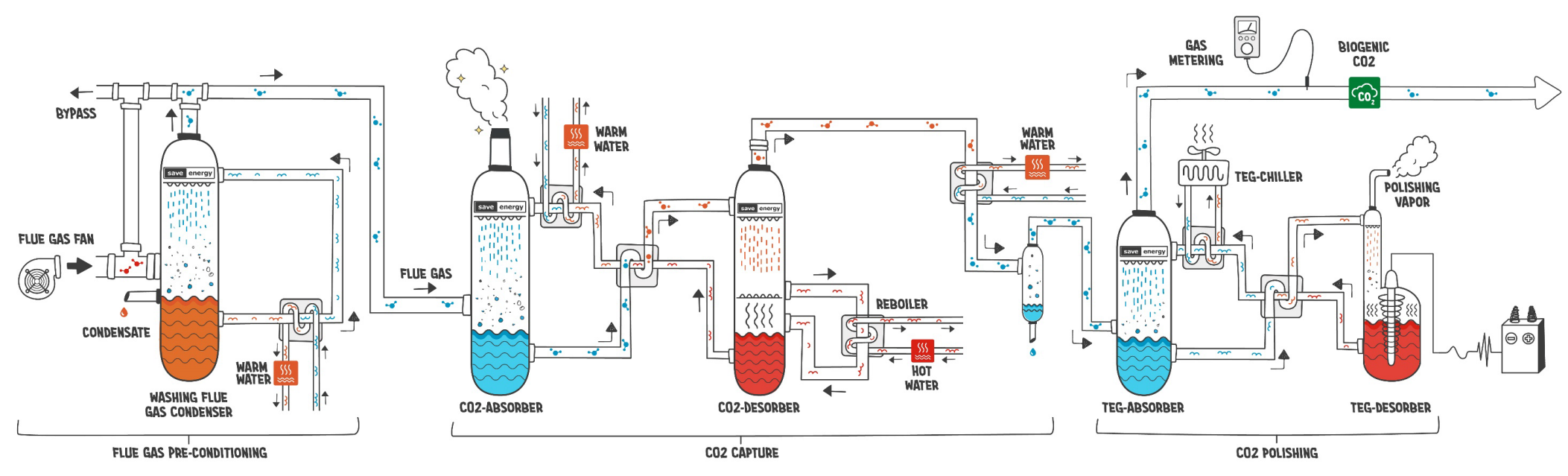




02

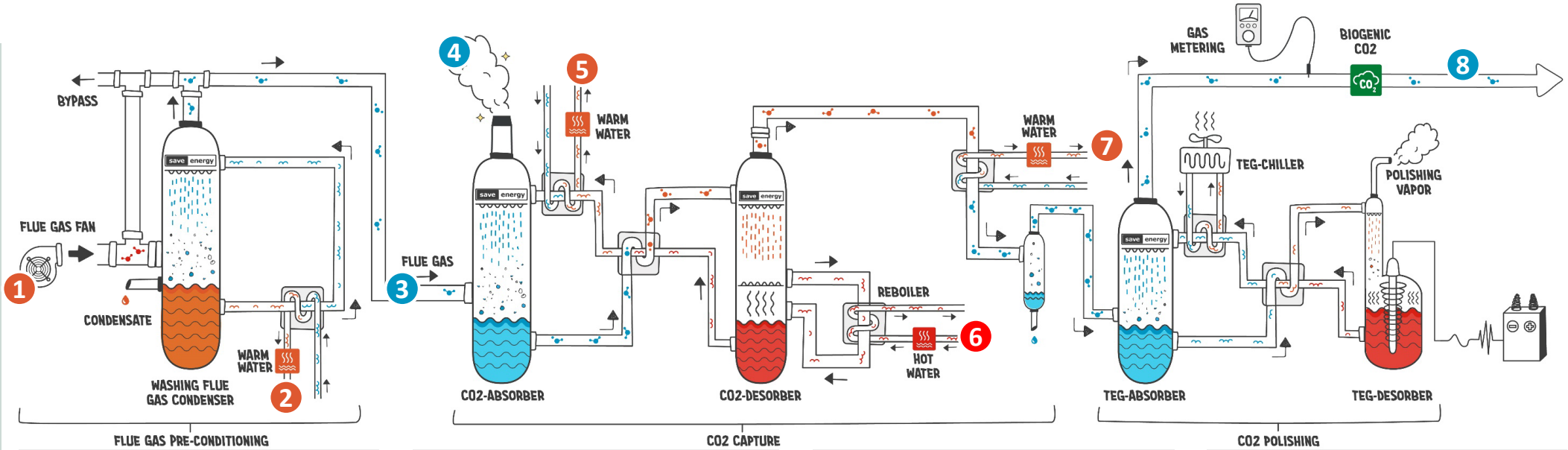
CAPT – Prozesstechnologie

CAPT – Prozessübersicht



CAPT – Prozessübersicht

Referenz für 1.0 [ton/h] gasförmiges CO_2



1 Abgaseintritt, staubfrei
I_v = 9'200 [Am^3/h] **@6 [vol-%] $O_{2, wet}$**
$P_{th, Kessel}$ = 2.8 [MW] / T = **150** [°C]
x_{H_2O} = **19.9** [vol-%] (W45)
x_P < 10 [mg/Nm^3] @6 [vol-%] O_{2dry}

3 Eintritt, CO_2-reiches Abgas
T = 39.5 [°C] (max. < 50 [°C])

5 WRG 1
$P_{th, WRG}$ = 1.2 [MW_{th}]
(≥ 90% von Reboiler Heizleistung)
T_R < 35 [°C] (< 45 [°C])
T_F < 55 [°C] (< 55 [°C])

7 WRG 2
(Werte in WRG 1 enthalten)

2 WRG-Abgaskondensator
$P_{th, WFGC}$ = 0.7 [MW_{th}] / 680 [l/h]
(WRG 25% von $P_{th, Kessel}$)
T_R < 35 [°C] (< 45 [°C])
T_F < 55 [°C] (< 55 [°C])

4 Austritt, CO_2-armes Abgas
Abscheiderate >80%

6 Heizleistung Reboiler
$P_{th, Reboiler}$ = 1.3 [MW_{th}]
Heisswasser:
T_F > 140 [°C] → T_R > 120 [°C]
oder Dampf:
3 – 3.5 [bara] Dampf mit
135 – 140 [°C] Kondens.-Temp.

8 Austritt biogenes CO_2
(trocken, gasförmig)
I_m = 1.0 [ton/h] CO_2
CO_2 ≈ 99%
H_2O = 6'000 [ppm V] (DP = 0 [°C])

SAVE ENERGY USP
SAVE ENERGY CAPT Technologie bietet:

Maximaler Gesamtwirkungsgrad durch aktives Management von Wärmequellen und Verbrauchern mittels SaveEnergy Heat Management

→ **Senkt die Produktionskosten für CO_2**

Fortschrittliches, umweltfreundliches und vollständig biologisch abbaubares Lösungsmittel auf Salzbasis (HORTISOL®) für einen stabilen und zuverlässigen Betrieb

→ **Geringe Wartungskosten für nachhaltiges und biogenes CO_2**



03

Spezifische Parameter

Hauptschnittstellen

Interface	Beschreibung
1. Abgas Zusammensetzung	Abgasvolumen, Temperatur und Schadstoffgehalt (insbes.: Staub, HCl, SO_x, NO_x). Der Schadstoffgehalt bestimmt die erforderliche Abgasreinigung vor dem Absorber. Die verwendete Biomasse bzw. der verwendete Brennstoff gibt hierfür einen Anhaltspunkt.
2. Interface zum Kessel	Ein Dampf- oder Heisswasserkessel ist erforderlich, um Wärme in der erforderlichen Temperaturstufe bereitzustellen, idealerweise bei 140 [°C]. Die verfügbare Wärmemenge bestimmt die CO_2-Abscheidungsrate.
3. Interface zu Wärmesenke	Zur effektiven Kühlung des CO_2-Abscheidungsprozesses ist eine geeignete Wärmesenke erforderlich, idealerweise im Bereich von 35 bis 50 [°C]. Bis zu 90 % der Hochtemperaturwärme können auf einem niedrigeren Temperaturniveau rekuperiert werden.

Mögliche Abnehmer

- Gewächshäuser CCU
- Endlagerung CCS (geologisch oder in Baustoffen)
- Lebensmittel- & Getränkeindustrie
- Trockeneishersteller
- E-Methanol / E-Fuels
- …

04

Spezifische Parameter

LUTTELGEEST | NETHERLANDS



MW
15

MW
5

ton/h
5.5

Kennzahlen – Gesamtbetrieb

Kennzahl	Anzahl	Bemerkung
Gewächshausfläche gesamt	**223 ha**	Total 6 gelistete Produktionsstätten in Luttelgeest, Marknesse und Nootdorp
Jahresproduktion	**Ca. 50 Millionen kg Paprika pro Jahr**	Paprika: rot, gelb, orange und grün
Saisonpersonal	**ca. 800 Mitarbeiter**	
Energiesystem	**Geothermie, Biomasse, PV und KWK**	Ca. 95 % des Wärmebedarfs der Gewächshäuser

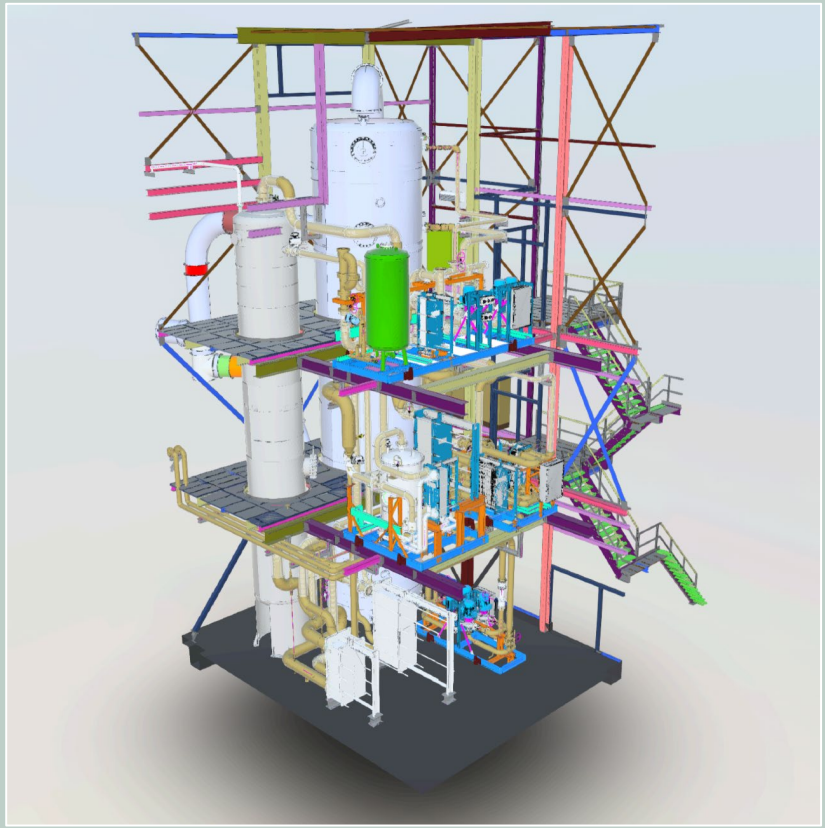


Kennzahlen – CCU

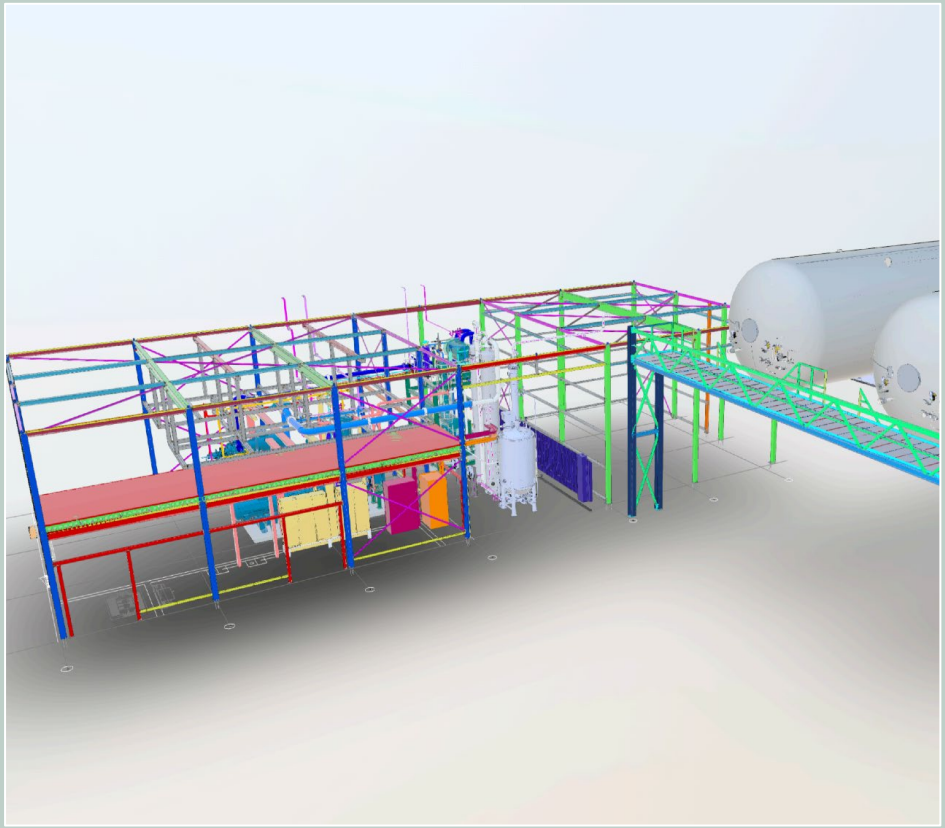
Kontinuierlicher Verbrauch	Anzahl	Bemerkung
CO_2-Produktionsrate (flüssig)	**5.0 [ton_{CO_2}/h]** **~20’000 [ton_{CO_2}/a]**	Bedingungen für flüssiges CO_2: 18 [bar] / -23 [°C]
Grösstes Bauteil	**Durchmesser 4.0 [m], Höhe 18 [m]**	Absorber
CO_2 Speicherkapazität	**+/- 1’300 [ton]**	Dichte, gasförmig: 2 [kg/m³] Dichte, flüssig: 1’020 [kg/m³] (18 [barg], -23 [°C])
Lösungsmittel	**33.6 [ton]**	Hortisol ist ein biogenes, vollständig biologisch abbaubares und nichtflüchtiges Lösungsmittel. Chargenbetrieb.
Wärmebedarf	**7.4 [MW] (max)**	Vorlauf-Temperatur: 140 [°C] Heisswasser

Luttelgeest | Netherlands

CO_2 – Absorption



CO_2 – Polishing & Verflüssigung



Luttelgeest | Netherlands









Luttelgeest | Netherlands



Luttelgeest | Netherlands





Luttelgeest | Netherlands



Luttelgeest | Netherlands





Luttelgeest | Netherlands







Luttelgeest | Netherlands



Kontaktieren Sie uns

IS SAVE ENERGY AG

Hauptsitz Schweiz

Hörnlistrasse 12 | 8360 Eschlikon TG | Schweiz
+41 43 204 20 20 | info@saveenergy.ch | saveenergy.ch

SCHMID MAWERA
Energy Pioneers

Ultra-Low-NOx-Technologie für Rostfeuerungen von 700 kW bis 8 MW mit optimierter, adaptiver Luftstufung

Martin König, Head of Department Process Engineering

19. Holzenergie-Symposium - 11.9.2026

Inhalt

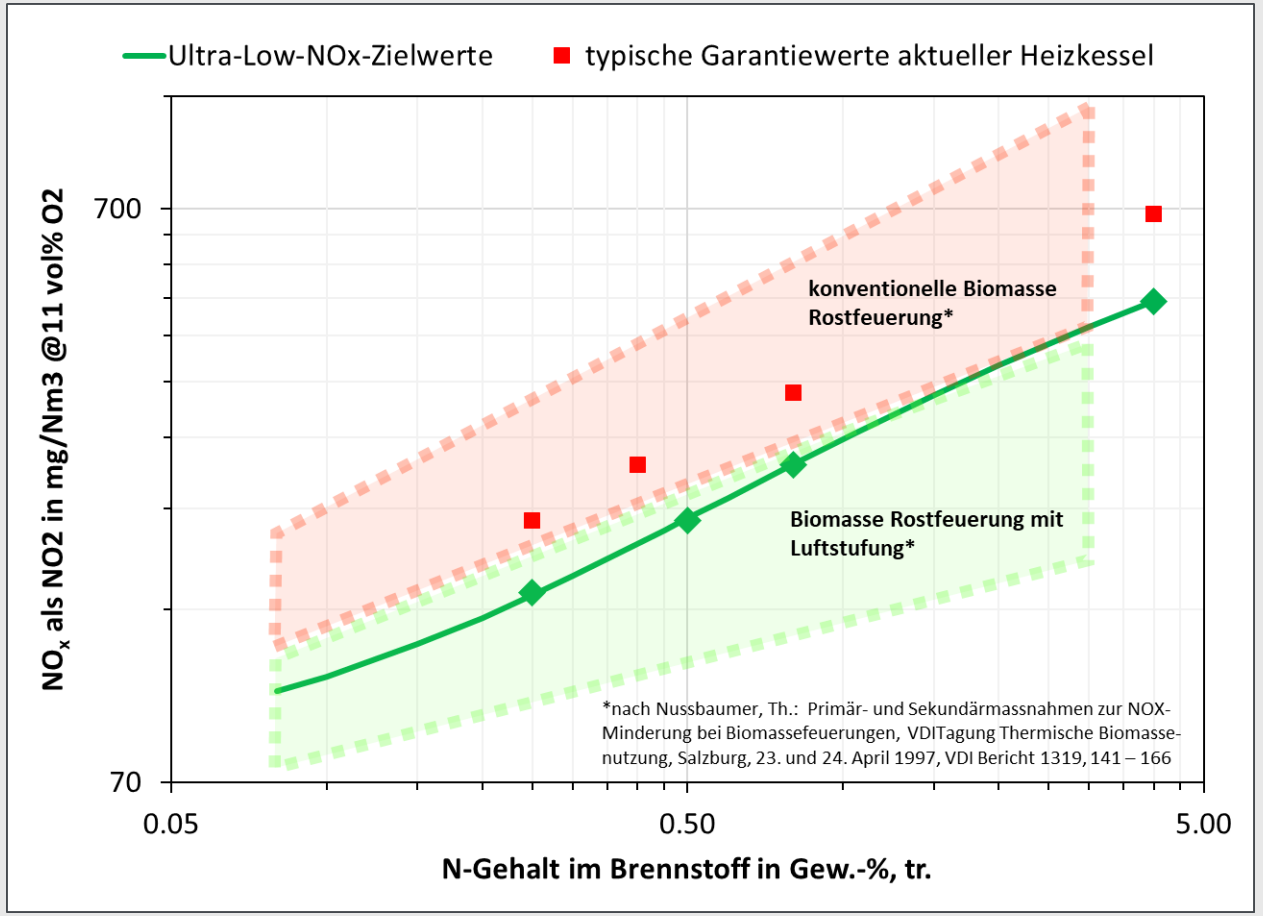
1. **Potenzial NOx-Reduktion durch Luftstufung, Herausforderungen und Erweiterung der Revolution adaptive**
2. **Prüfstand und Messungen UTSR-900 ULN**
3. **Fazit und Ausblick**



SE-Sävar UTSR-8000 ULN

Potenzial der NOx-Reduktion durch Luftstufung vs. Praxis

- Veröffentlichungen zeigen, dass mit Luftstufung bei Laboranlagen eine deutliche Reduktion der NOx-Emissionen erreicht werden kann (Bild rechts).
- Optimale Reduktionsbedingungen können durch die schwankenden Brennstoffqualitäten in der Praxis nicht dauerhaft eingehalten werden.
- **Mit der Regelung Revolution adaptive hat Schmid Mawera eine Grundlage geschaffen, um schwankenden Brennstoffqualitäten in der Praxis zu bewältigen.**



NOx-Reduktion durch Luftstufung

NOx

- NOx sind Verbindungen von Stickstoff N und Sauerstoff O (meistens NO und NO_2)
- NOx ist gesundheits- und umweltschädlich: daher Emissions-Grenzwerte
- **Bei Biomassefeuerungen kommt der Stickstoff zur NO_x-Bildung aus dem Brennstoff.**

Reduktion durch Luftstufung

- Wenn in Bereichen der Brennkammer **zu wenig Sauerstoff O_2 vorhanden** ist (unterstöchiometrische Bedingungen), wird NOx als Oxidationsmittel für brennbare Gase verbraucht.
- Dabei wird ***NO*** abgebaut und der Stickstoff verlässt als N_2 die Verbrennung.

Beispiele:

$NO + NH_2 \rightarrow H_2O + N_2$
$NO + CO \rightarrow CO_2 + 0{,}5\ N_2$
$NO + CH_4 \rightarrow CO + 2H_2 + 0.5\ N_2$

Um NOx-Emissionen zu reduzieren, erzwingt man in der Feuerung **unterstöchiometrische Zonen**, um den **NOx-Abbau zu fördern.**

NOx-Reduktionszonen im Standard UTSR-XXXX.32

Herausforderungen:

- Der Abbau von NO braucht ca. >0,5 s Verweilzeit bei 950 – 1200 °C [1], [2].
- Die Standard Feuerungen bieten in der Reduktionszone oft nicht genügend Verweilzeit.
- Die Luftmengen müssen gut abgestimmt sein, um reduzierende Bedingungen aufrecht zu halten.
- Die Verbrennungsgase enthalten auch HCN, NH_i-Verbindungen: Diese können bei der Nachverbrennung neues NOx bilden.
- Bei ungünstiger Sekundärluftzufuhr kommt es zu einer unvollständigen Verbrennung (CO-Emissionen, Leistungsprobleme). Dies ist besonders bei feuchtem Brennstoff ein Problem.

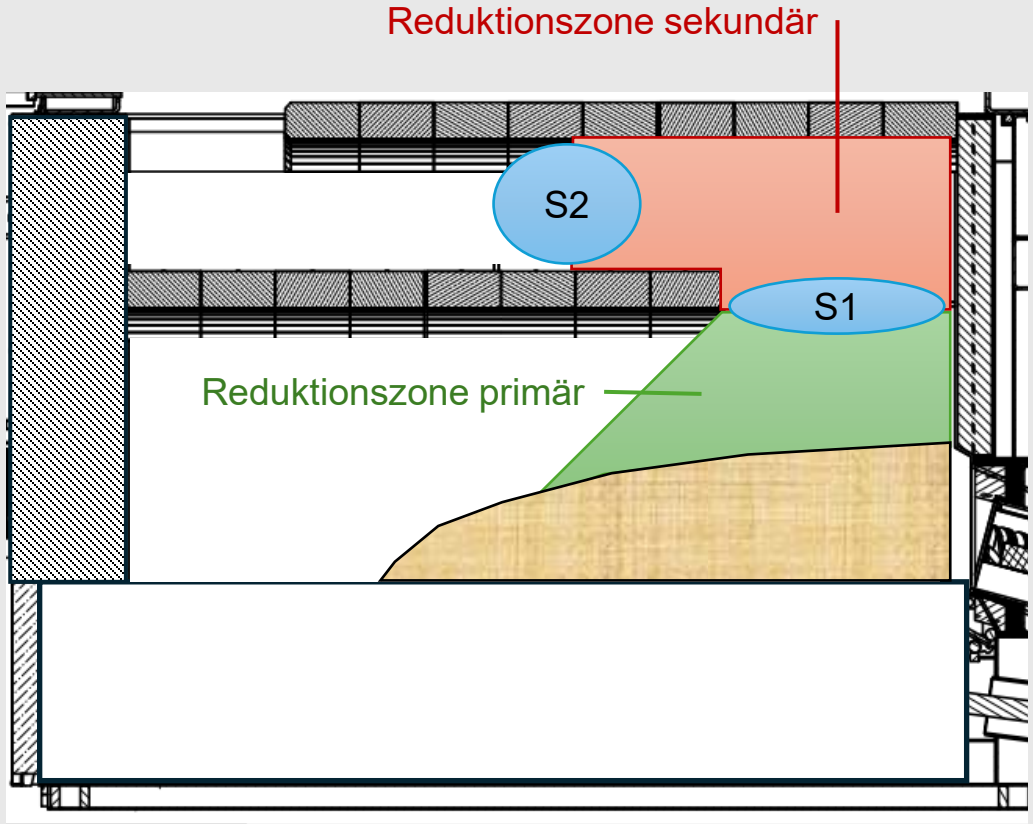


Bild: Standard-Brennkammer UTSR-XXX.32-1

Quellen:

[1] Nussbaumer, Th., Primär- und Sekundärmassnahmen zur NOx-Minderung bei Biomassefeuerungen, VDI Tagung Thermische Biomassenutzung, Salzburg, 23. und 24. April 1997, VDI Bericht 1319, 141-166.

[2] Spliethoff Et al., Basic effects on Nox emission in air staging and reburning at a bench-scale test facility, Elsevier Fuel, Vol. 75, No. 5, pp. 560-564, 1996.

Lösungsansatz für Brennkammern mit Ultra-Low-NOx-Technologie (ULN)

Ansatz:

- Zwei zusätzliche Gaszüge in der Brennkammer.
- Weitere Sekundärluftstufen (S3, S4).
- Erweiterung der Revolution adaptive, um NOx-Reduktionsbedingungen optimal aufrecht zu erhalten.

Auswirkung:

- (+) Die Standard-Brennkammer UTSR sowie der Standardkessel können verwendet werden.
- (+) Standardkessel muss nicht gedreht werden.
- (+) Starke Erhöhung der Verweilzeiten
- (–) Die Anlagen werden durch den zusätzlichen Bauraum höher.

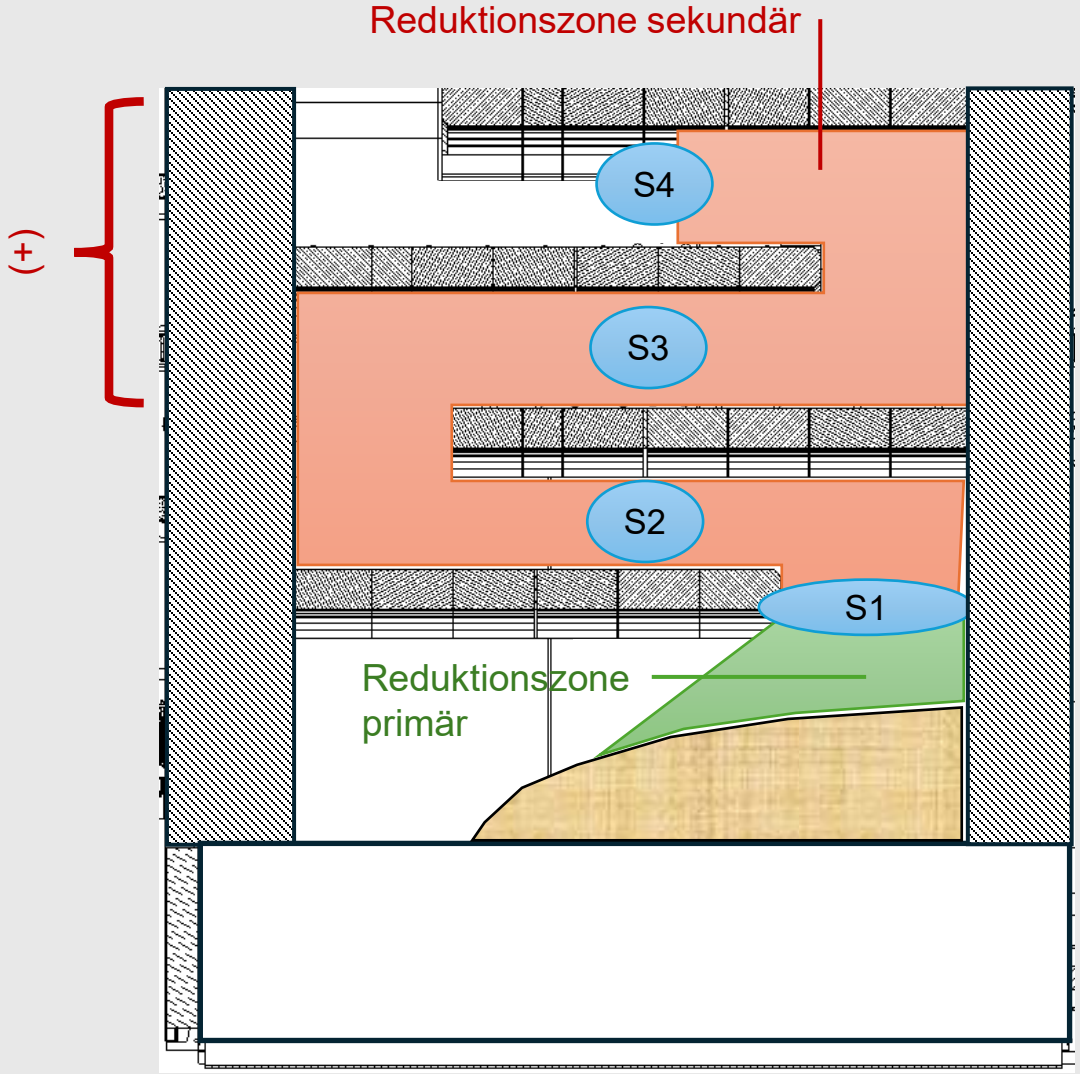


Bild: Konzept Ultra-LowNOx-Brennkammer

Was ist die Revolution adaptive?

Generell:

Adaptive Feuerungsregelung für UTSR-Anlagen (Warm-/ Heisswasser und Dampfanlagen).

- **Beinhaltet komplett neue Regelansätze**
- **Harmonisierung verschiedener Regler**
- **Mehr Freiheiten für Regler und nur ein Parametersatz für verschiedene Brennstoffqualitäten**



Den Mehrwert der Revolution adaptive für die Regelung der Luftstufung nutzen

Eine Feuerungsregelung, die mit **nur einem Parametersatz und <u>ohne</u> Benutzereingriffe auf wechselnde Brennstoffqualität und -feuchte** reagiert und so stets eine optimale Verbrennung und Wärmeproduktion sicherstellt.





Erweiterung der Revolution adaptive mit Luftstufenregler für das Ultra-Low-NOx (ULN) Set-up

Merkmale der Revolution adaptive

Auch bei wechselnder Brennstoffqualität:

- Erreichen und Nachfahren der Soll-Leistung
- Betrieb mit konstantem und tiefem Restsauerstoff ($O_2 \approx 6$ %)
- Optimale Regelung der Abgasrückführung
- Möglichst stabiles Glutbett auf dem Rost

Erweiterung für die adaptive Ultra-Low-NOx (ULN) Regelung

Auch bei wechselnder Brennstoffqualität:

- Gezielte und geregelte Luftzugabe in den einzelnen Verbrennungsluftzonen
- Vorgabe und Regelstrecken um NOx-Reduktionsbedingungen gezielt zu erreichen und aufrecht zu halten

SCHMID MAWERA
Energy Pioneers

Prüfstand und Messungen UTSR-900 ULN

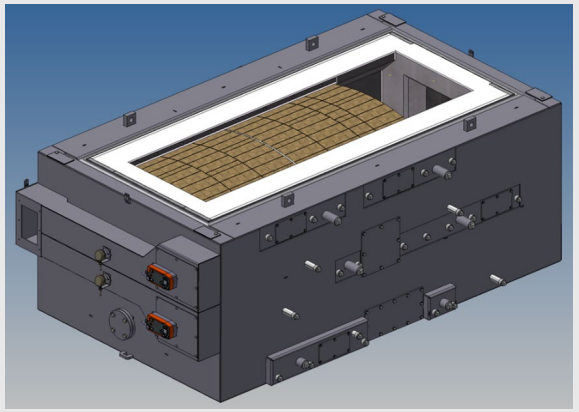
Was wurde gebaut? Was wurde getestet?

Umbau Prüfstand UTSR-900 in Eschlikon



Prüfstand:

- UTSR-900 in Eschlikon (bereits vorhanden) mit 900 kW Nennleistung
- **Nachrüstung:** Zwischenzug zwischen Standard-Brennkammer und Wärmetauscher



Beispiele von Brennstoffen bei den Ultra-LowNOx-Tests

Rinde:

Wassergehalt: M50

N-Anteil: 0,3 – 0,4 %TS



Waldhackschnitzel WH:

Wassergehalt: <M45

N-Anteil: 0,3 – 0,4 %TS



WH / Landschaftspflege:

Wassergehalt: <M45

N-Anteil: 0,5 – 0,6 %TS



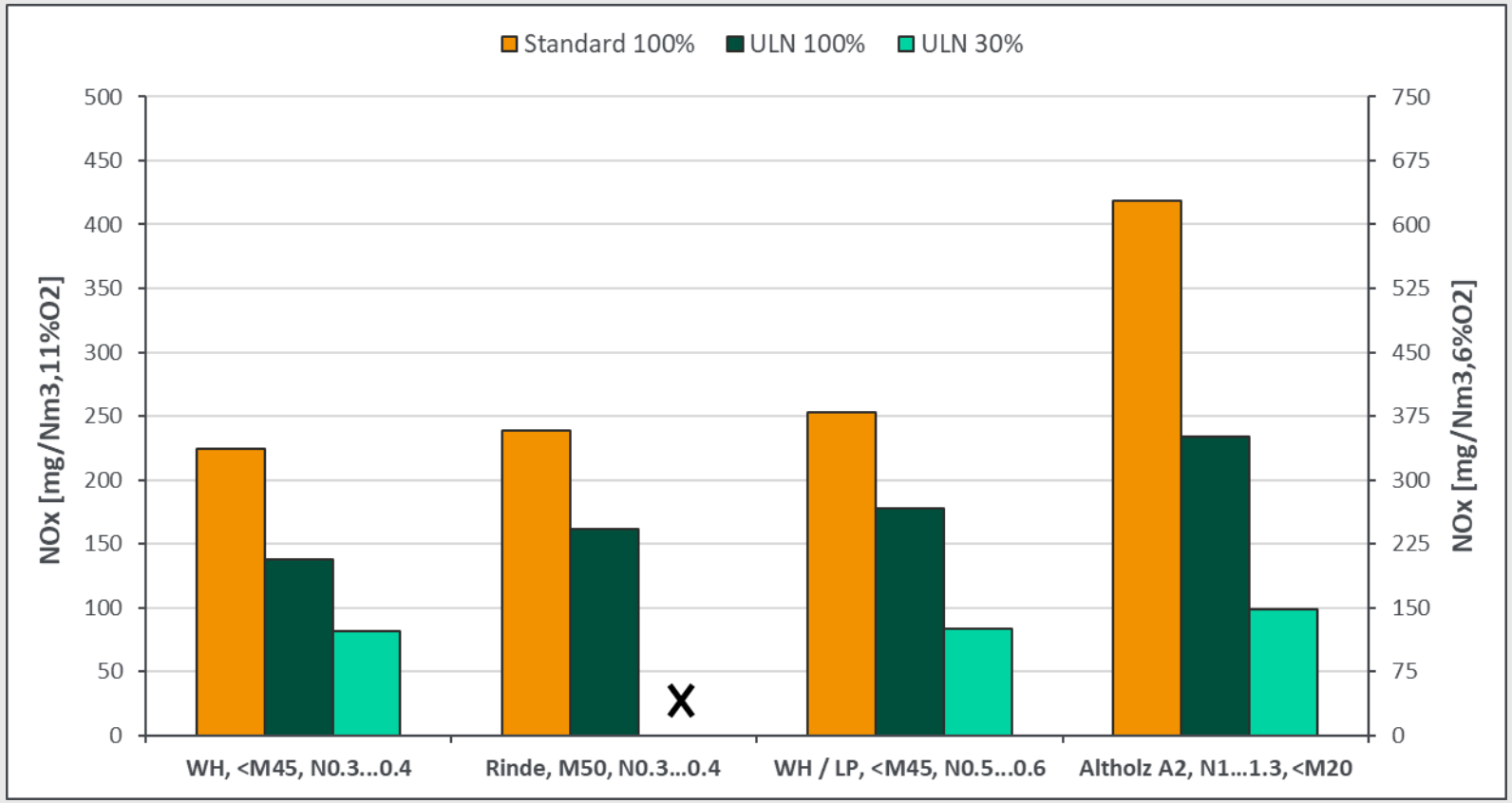
Altholz A2:

Wassergehalt: <M20

N-Anteil: 1,0 – 1,30 %TS

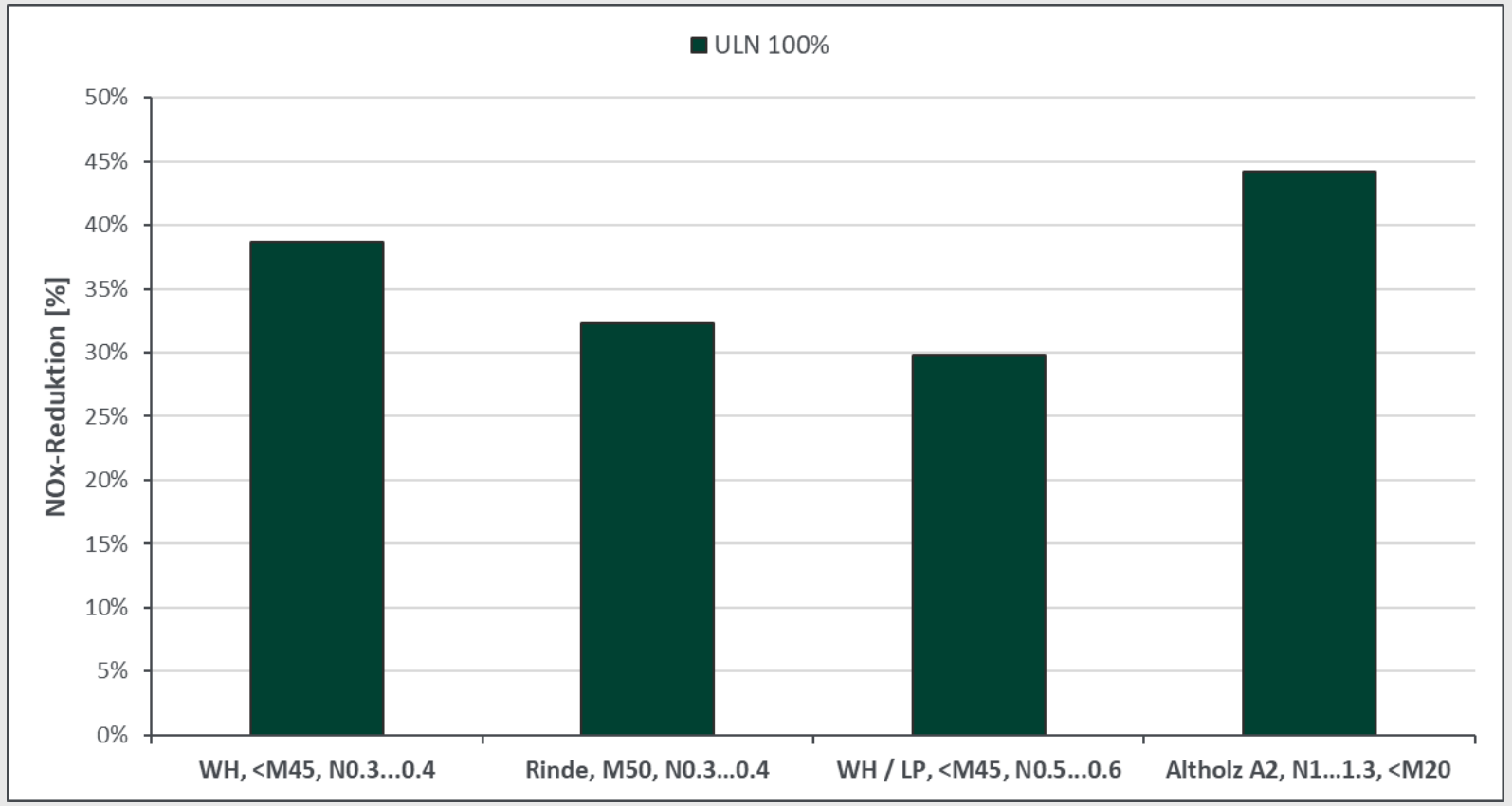


Ergebnisse **NOx-Messungen** am Prüfstand UTSR-900 ULN



- Die Standardwerte stammen von Messungen vor dem Umbau und von anderen Anlagen.
- Die Standardwerte können auch nachgebildet werden, in dem man die Stufung wie bei einer Standardfeuerung einstellt.
- Mit der neuen Regelung lassen sich Messpunkte einfach und schnell anfahren.
- Die Brennstofffeuchtigkeit und der Feinanteil haben einen massgebenden Einfluss auf die Reduktionen.
- In Teillast sind die Verweilzeiten viel länger, wodurch sich die Reduktion verstärkt.

Ergebnisse **NOx-Reduktionen** im Vergleich zum Standard am Prüfstand UTSR-900 ULN



- Die in der Literatur beschriebenen Reduktionen von 30-50% lassen sich in der Praxis erreichen.
- Relevant für Auslegungen sind die Reduktionen bei 100% Leistung:
  - WH 39%
  - Rinde 32%
  - WH / LP 30%
  - Altholz A2 (trocken) 44%
- Mit höherem Stickstoffgehalt sind grössere Reduktionen möglich, wobei das resultierende NOx höher ist.

Fazit aus den Tests

- Mit der neuen Regelung lassen sich auch bei verschiedenen Brennstoffqualitäten optimale Betriebszustände einfach und schnell anfahren und NOx-reduzierende Bedingungen in der Praxis aufrecht halten.
- Die erwarteten NOx-Reduktionen durch Luftstufung aus der Literatur von min. 30% (im Vergleich zum Standard) wurden in den Tests unter Praxisbedingungen bestätigt.
- Die Reduktionen werden stark von Brennstofffeuchtigkeit und Feinanteil beeinflusst.
- Die gewonnenen Erkenntnisse bezüglich NOx-Reduktionsvorgängen in der Feuerung werden zur Optimierung des Standards verwendet.

Ausblick Tests:

- Weitere Test zu Langzeitversuchen und Optimierungen der Regler laufen auf dem Prüfstand weiter.



Ausblick und aktuelle Projekte

Ausblick:

- Aufbau einer Reihe von Brennkammertypen 700 kW – 8 MW
  - *Je nach Feuerungstyp bis 2.4 MW ist die Technologie nachrüstbar*
- Konstruktionen verschiedener Grössen bereits vorhanden und weitere werden je nach Bedarf erstellt.

Laufende Projekte:

- FR-Bapaume 2.4 MW (Lieferung März 2027)
- FR-Château-Gontier 3.8 MW (Lieferung Okt. 2026)
- FR-Cannes 5MW (Lieferung Jan. 2027)
- Weitere Anlagen mit 1.2 MW, 1.6 MW, 2 MW, 5 MW und 8 MW in verschiedenen Märkten offeriert.



SCHMID MAWERA
Energy Pioneers

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

Bühler and Vyncke.

Turning biomass into a sustainable energy solution.

Konstantinos Lanaras
Senior Energy Consultant & Trial Plant Manager

BÜHLER

Strategic partnership for a carbon-neutral food industry.



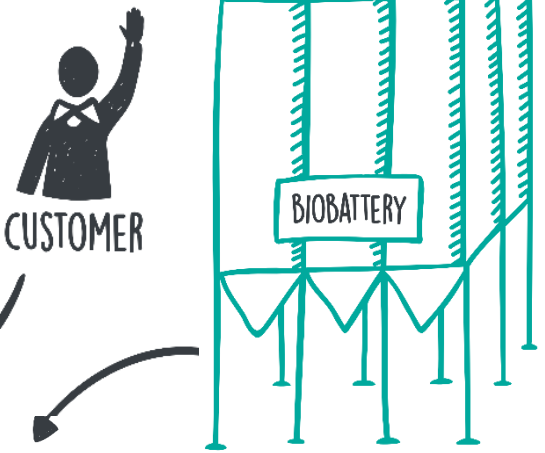
BÜHLER

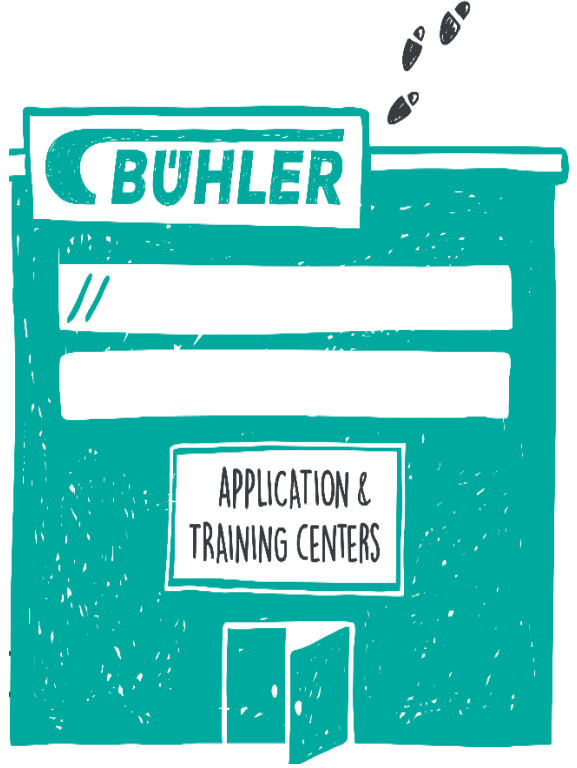
Expertise in biomass fine grinding and preparation, resulting in the most optimum fuel.

CLEAN ENERGY TECHNOLOGY
VYNCKE

Latest technologies for clean biomass combustion, optimizing the energy yield.









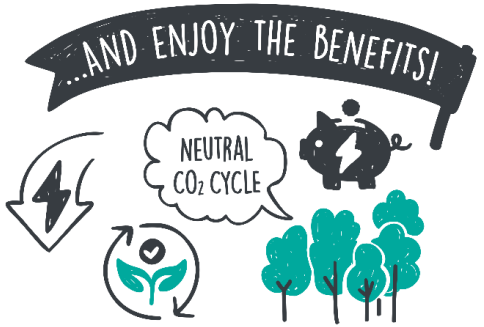






STRATEGIC PARTNERSHIP FOR A CARBON-NEUTRAL FOOD INDUSTRY

HOW?



Energy Recovery Centre

Strategische Partnerschaft für eine CO_2-neutrale Lebensmittelindustrie

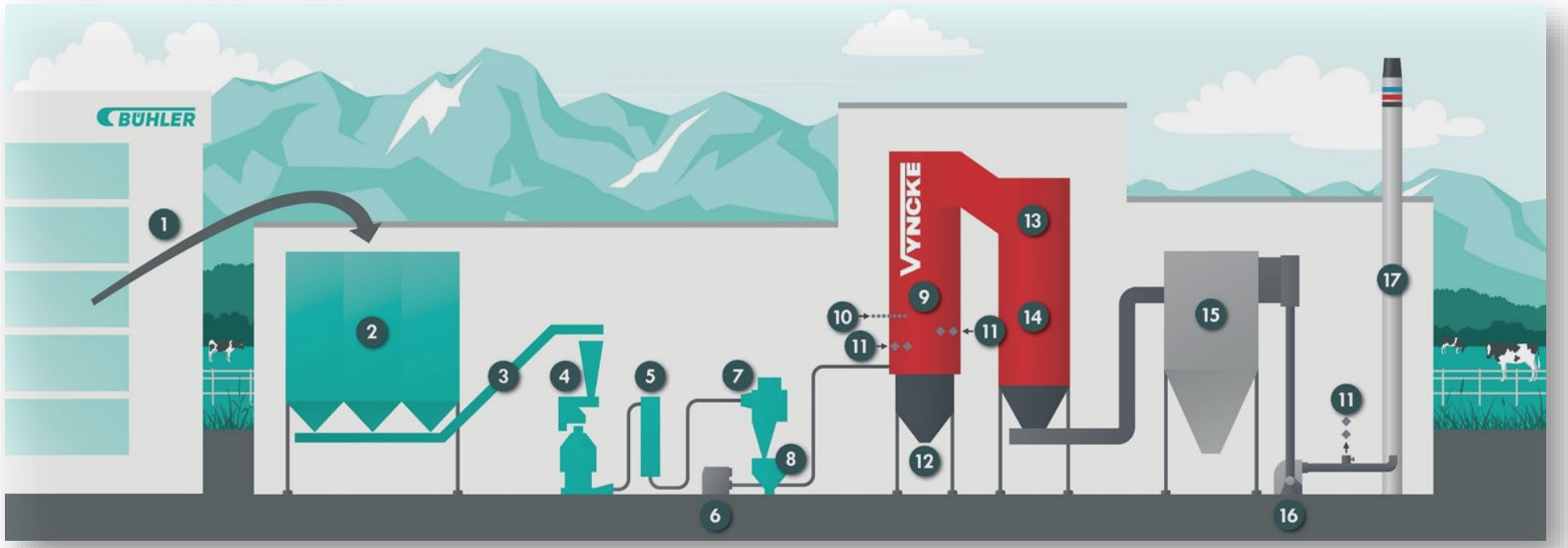


Heizungs-
anlage

Kunden
Testzentrum

Rückgewinnung von Energie aus Biomasse, die in unseren Application & Trainingszentren in Uzwil erzeugt wird

Heizungs-Anlage



Input

- Jährliches Volumen der Nebenströme: 300-500 Tonnen
  - Schulmühle Mehl-Kleie Mischung
  - Nutrition Lab (getrocknete Nebenströme)
  - Kaffee- und Kakaoschalen
  - Nebenprodukte der Bäckereiabteilung
  - GIC (2025)
- Heizwert der Biomasse (Durchschnitt): **15,25 MJ/kg**
- Brennstoffverbrauch: **260 kg/Std**

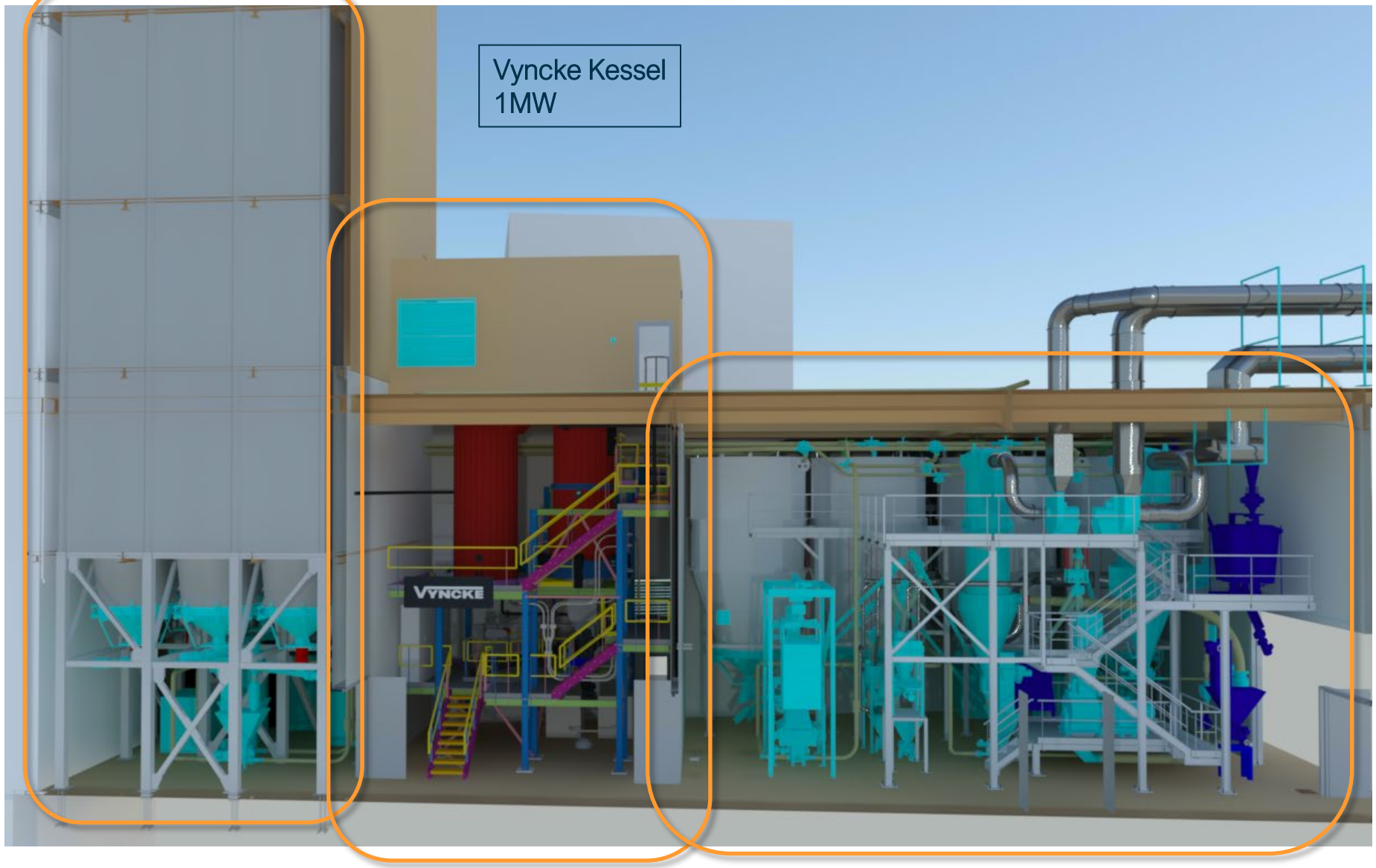
Output

- Maximale Heizleistung **1 MW**
- Wassertemperatur: **bis zu 140 °C**
- Medium: **überhitztes Wasser**
- CO2 reduction: **bis 600 Tonnen/Jahr** (4000 Betriebsstunden/year)

Energy Recovery Centre (ERC) Konzept

Heizungs-Anlage

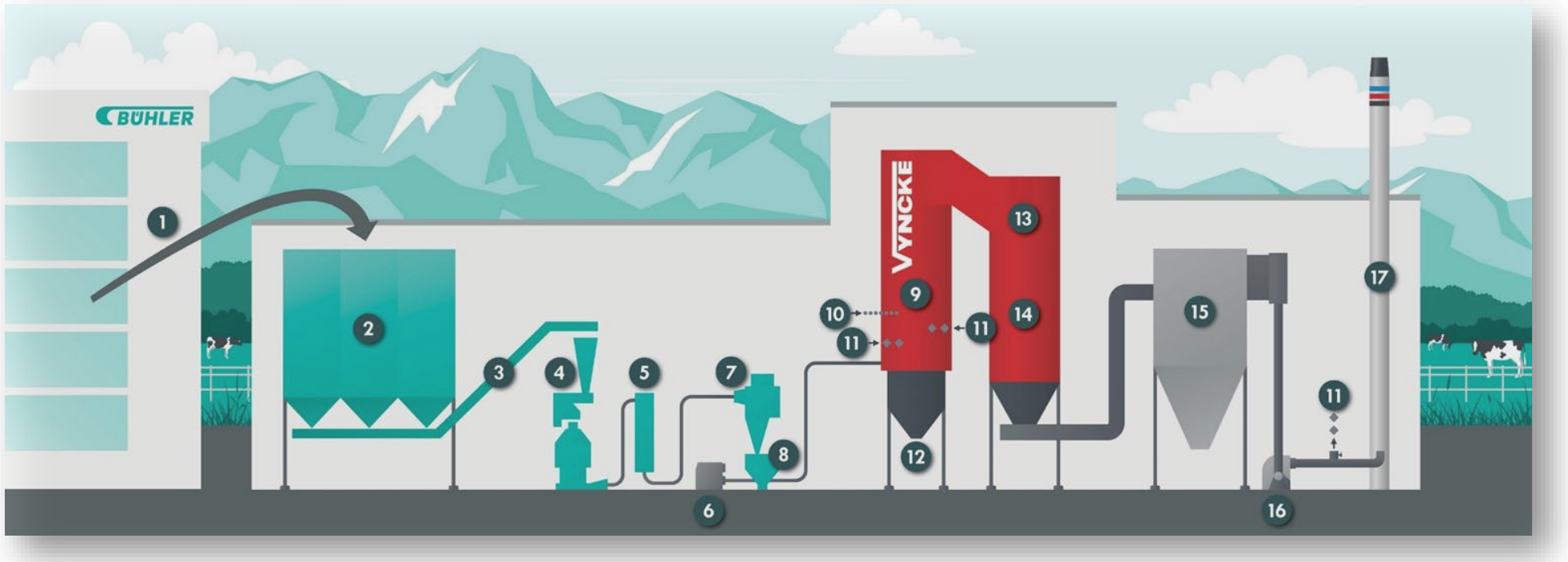
Biomasse Lagersilos- "Biobatterie" 6x 90m³



Biomasse Aufbereitung Tagessilos, Vermahlung, Dosierung

Rückgewinnung von Energie aus Biomasse, die in unseren Application & Trainingszentren in Uzwil erzeugt wird

Heizungs-Anlage



Biomasse als Batterie zur **Speicherung von Energie** für den Winter

Reduzierung des CO2-Fußabdrucks, der Energie- und Abfallentsorgungskosten von Bühler

Testen und Lernen mit unseren **Nebenströmen vor Ort**

Energy Recovery Center

Strategische Partnerschaft für eine CO_2-neutrale Lebensmittelindustrie

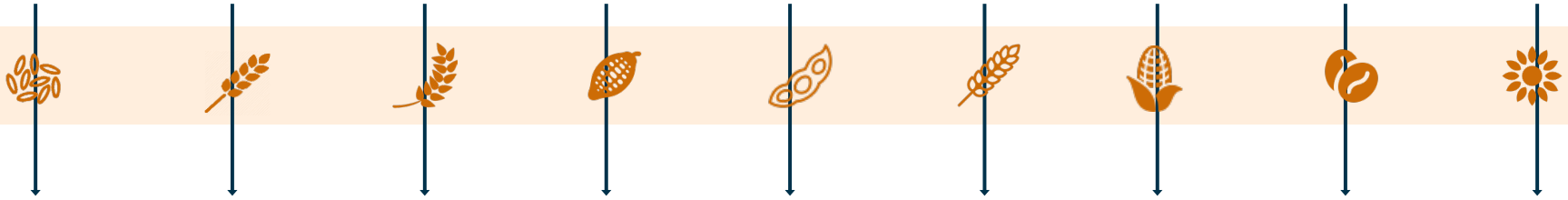


Heizungs-
anlage

Kunden
Testzentrum

Gemeinsam mit Kunden das Potenzial von Nebenströmen zur Energierückgewinnung erkunden

Kunden Testzentrum



Forschungsanlage für **Demonstrations- und Testzwecke** mit Kunden und für die weitere Entwicklung von **integrierten Energieeffizienzlösungen**

Energiebedarf

- **Wärme- und Dampfbedarf** in den Prozessschritten
- **Aktuelle Energiequellen, Preise** und **Trends**
- **Regulatorische Landschaft:** Politik, Förderprogramme

Qualification für Nebenströme

- **Verfügbarkeit, Volumen, Zusammensetzung** (inkl. Heizwert)
- Bestehende **Anwendungen** und aktueller **Marktwert**
- **Markttrends und Wertschwankungen**

Versuch & Test

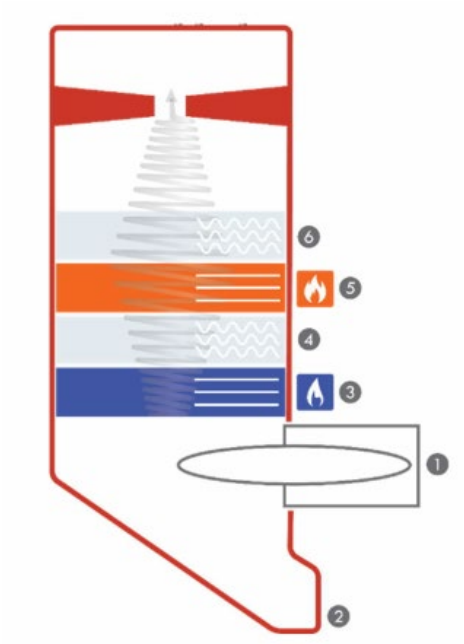
- Konzept-Validierung
- Validierung der Leistung
- Prozessentwicklung: Verbrennungsprozess und Kesselkonfiguration
- Interne R&D

Energy Recovery Centre (ERC) Konzept

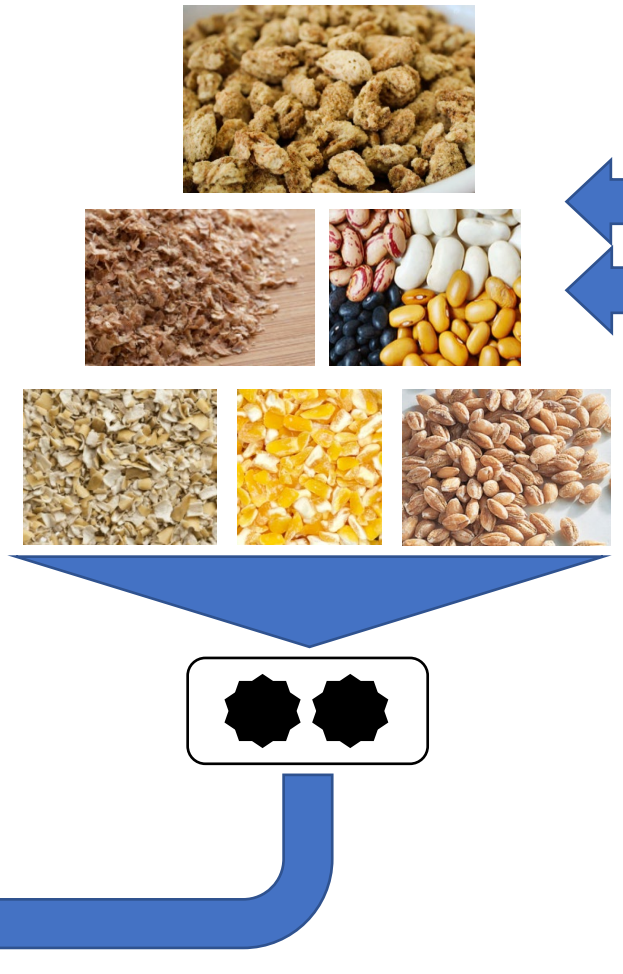
Kunden Testzentrum

Versuchsanlage für:
- Verschiedene biogene Brennstoffe
- Brennstoff Partikelgröße
- Verbrennungsprozess
- Kesselgröße

Heizung zur CO2 Reduktion



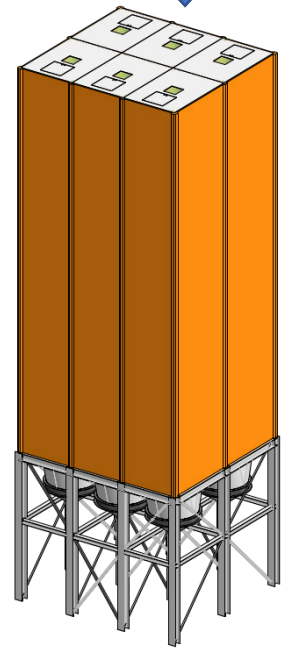
Wärmeerzeugung



Aufbereitung

Kundenversuche

Applikationszentren









Lagerungssilos "Biobatterie"

ERC-Angebote: Versuchs- und Testdienstleistungen

Kunden Testzentrum

Demonstration zeigen



Validierung der Technologie für die Verbrennung bestimmter industrieller Nebenprodukte

Testen Sie die neueste Verbrennungstechnologie in unserem hochmodernen Anwendungszentrum und prüfen Sie die Eignung Ihres Brennstoffs mit optimalen Maschineneinstellungen.

Leistungsvalidierung / -steigerung



Optimieren Sie Ihren Prozess

Entwickeln und validieren Sie ein optimales Setup und erhalten Sie alle Parameter, die Sie benötigen, um die Leistung Ihres Brennstoffs zu maximieren und gleichzeitig die Aschezusammensetzung zu verbessern und die Emissionen zu regulieren (z.B.: Verbesserung der Aschezusammensetzung unter Verwendung der mehrstufigen Pyrovergasungstechnologie)

Entwicklung von Lösungen/Prozessen



Entwickeln Sie Ihren individuellen Prozess

Erstellen Sie eine maßgeschneiderte/neue Verbrennungslösung, die Ihren Bedürfnissen entspricht

Energy Recovery Center

Strategische Partnerschaft für eine CO_2-neutrale Lebensmittelindustrie



Heizungs-
anlage

Kunden
Testzentrum

Winter Betrieb 2025-2026

Winter Betrieb 2025-2026

Heizung-Anlage

Nebenströme Verbrannt (Tonnen)	Wärme Erzeugung (MWh)	Strom Verbrauch (MWh)	Betriebs-stunden
371.4	1122	77.3	1610

- Das ERC war vom 23. Oktober bis zum 18. Februar in Betrieb, mit einer Pause für einen Umbau (16. November bis 5. Dezember) und über die Weihnachtszeit (23. Dezember bis 12. Januar)
- Während der Betriebsperiode wurde 20% des Heizbedarfs des Bühler-Areals gedeckt



Brennstoff Zusammensetzung

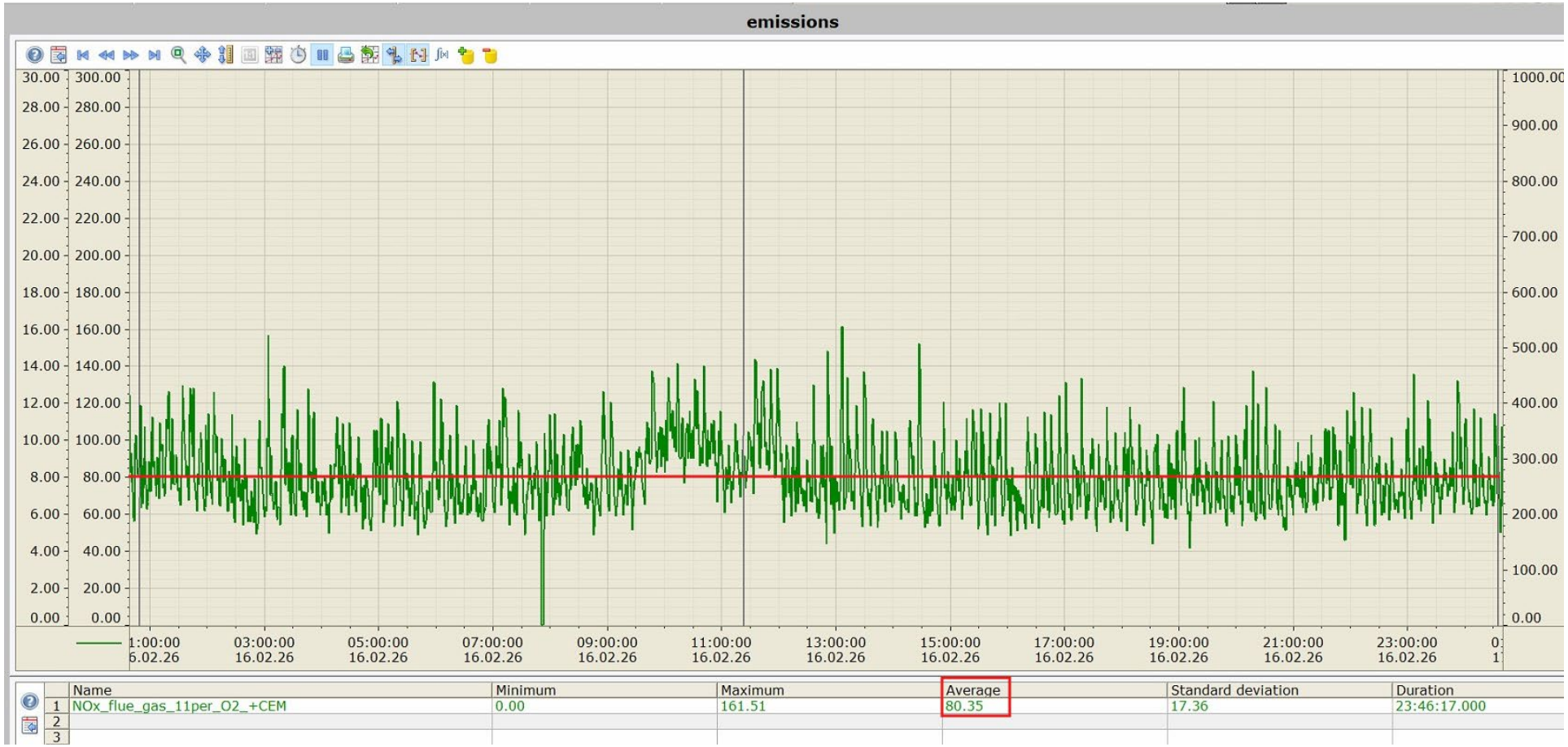
Heizung-Anlage

Nebenströme	% im Brennstoff
Weizen	62.3
Mais	13.0
Erbsen	7.6
Mischprodukt	3.1
Sonnenblumen	2.8
Hafer	1.4
Soja	1.1
Flush Pellets	1.0
Gerstenmalz	0.8
Rapsschrot	0.8
Fava	0.7
Fonio	0.5
Kaffe	0.4
Linsen	0.3
Kakao	0.3
Johannesbrot	0.3

- Die größte Herausforderung ist die Verbrennung dieser Mischung.
- Der Brennstoff ist eine Mischung aus verschiedenen Nebenströme, die in den Applikationszentren in Uzwil anfallen.
- Die Mischung besteht zu etwa 60–70 % aus Weizennebenprodukten
- Die Zusammensetzung ist natürlich nicht konstant und hängt von den Versuchen ab, die in den Applikationszentren stattfinden

Winter Betrieb 2025-2026

Heizung-Anlage



	Name	Minimum	Maximum	Average	Standard deviation	Duration
1	NOx_flue_gas_11per_O2_+CEM	0.00	161.51	80.35	17.36	23:46:17.000
2						
3						

- Durch die Optimierung des Anlagenbetriebs konnten wir NOx-Emissionen von unter <u>100 mg/Nm³</u> bei 11 % O_2 erreichen.



INNOVATIONS FOR A BETTER WORLD

VORTEX LAB

Not a new principle.
A new realization.



Twenty-five years of fuel staging, applied to a fuel nobody could burn.

Hans Fastenaekels
CTO VYNCKE

Why agricultural residues?

Three reasons availability, circularity & decarbonization

1. **The stream keeps growing**

   Food and feed processing puts more by-products on the market every year.

2. **Circular use of resources**

   The residue stays inside the value chain instead of leaving it as waste.

3. **Renewable process heat**

   It replaces fossil fuel for the energy the same factory needs.

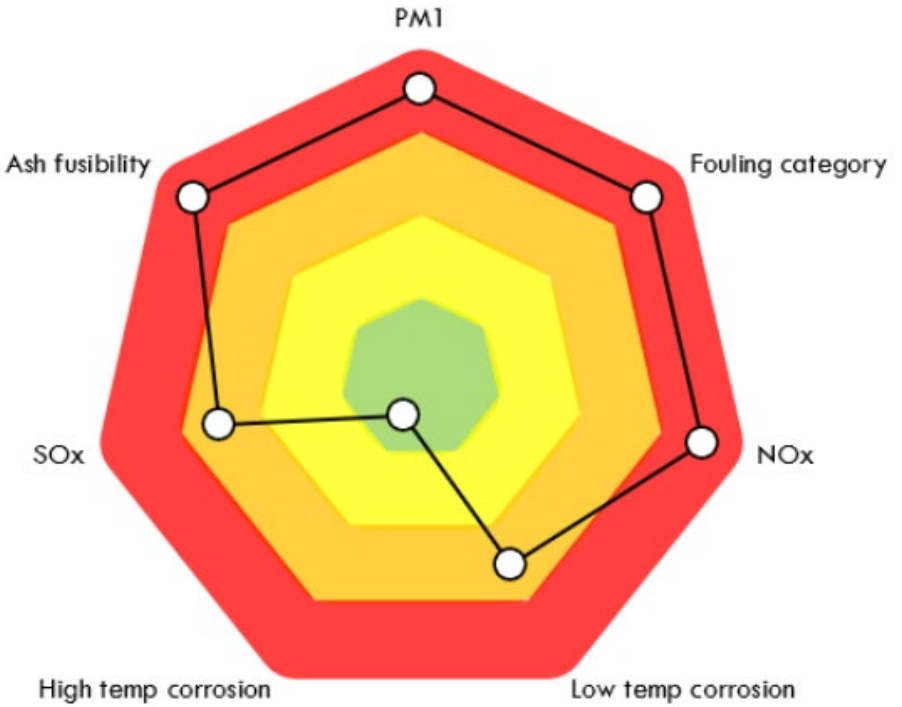
Wheat bran is not unique.
But it simply combines several of the worst fuel characteristics in one.



Wheat bran - the demonstration fuel

The challenge: wheat bran





Aspect	Wood dust	Wheat bran	Relevance
Particle size [mm]	0,1 - 1	0,1 - 10	Impact on flame stability and ash burn-out
Ash fusion T [°C]	1250 °C	700 °C	Impact on slagging
N [%mass,db]	0,25	2,8	NOx emissions

Zürich, then and now

The principle is twenty-five years old

2000-2001

ETH Zurich

Nussbaumer & Salzmann
Fuel staging research

2002

Mapolux

First industrial
realization on woody fuel

2023-2026

VORTEX LAB

New realization
New fuel class
Same NOx philosophy

ETH research > first industrial plant > a new fuel class

Five building blocks

Five technologies, one result - none of them makes bran burnable on its own

1 | THE COMBINATION

Each block answers one failure mode of the fuel. Only together do they make it burnable.

2 | THE BUILDING BLOCKS

VORTEX combustion

Fine fuel burns in suspension, in a cyclone - not on a grate.

Cooling curtain & FGR

Recirculated flue gas holds the furnace below the ash melting point.

Lhoist additive technology

Mineral dosing conditions the ash and captures SOx.

Fuel staging

Split combustion keeps fuel nitrogen from becoming NOx.

Water-cooled furnace

Vyncke signature

3 | THE RESULT

a usable agricultural fuel



CLEAN ENERGY TECHNOLOGY
VYNCKE

VORTEX combustion

A deliberate departure from grate combustion - fuel burns in suspension

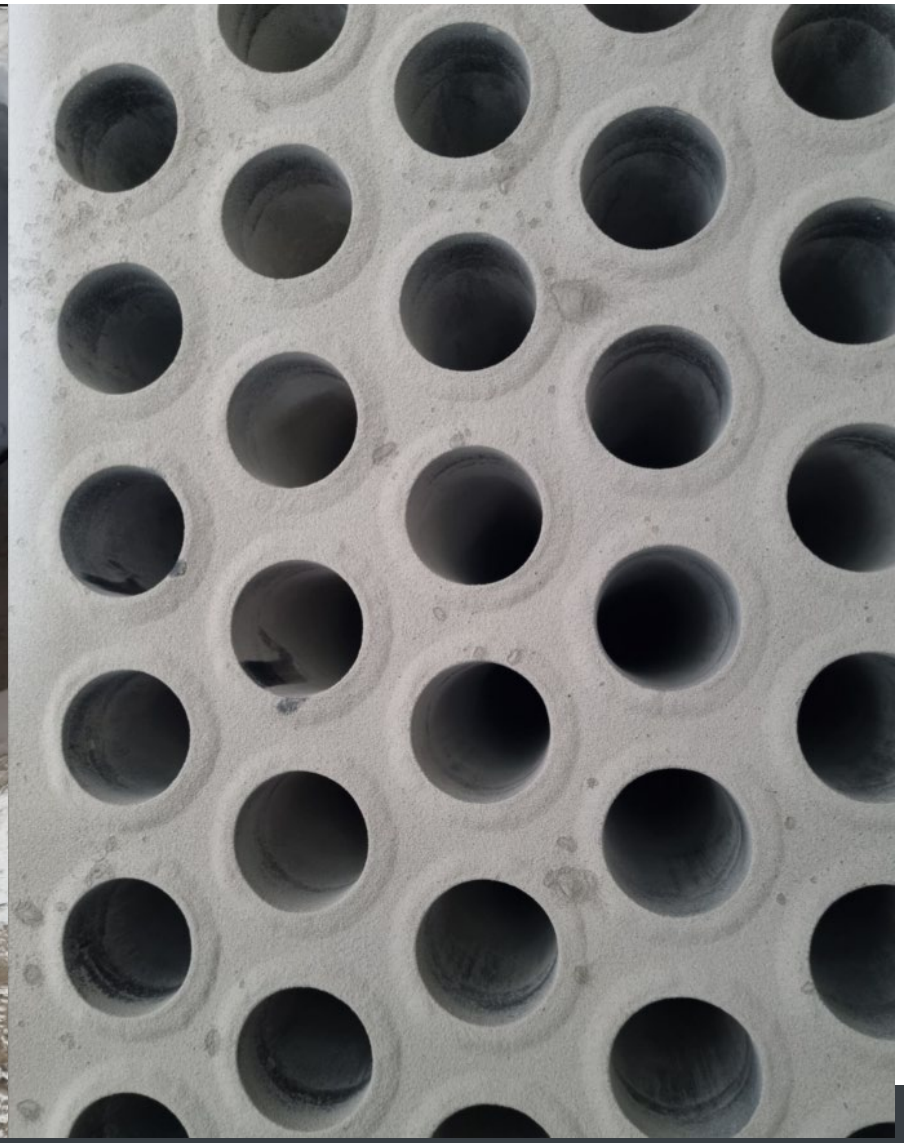


WHAT IT DELIVERS

1. Suspension combustion
2. Cyclone vortex
3. Long residence time
4. High burnout
5. Wall protection

Understanding the ash challenge





THE ASH CHALLENGE

Potassium-phosphate ash

Melts far below wood ash - found during fuel screening.

DEPOSIT PROBE RESULT

11 g

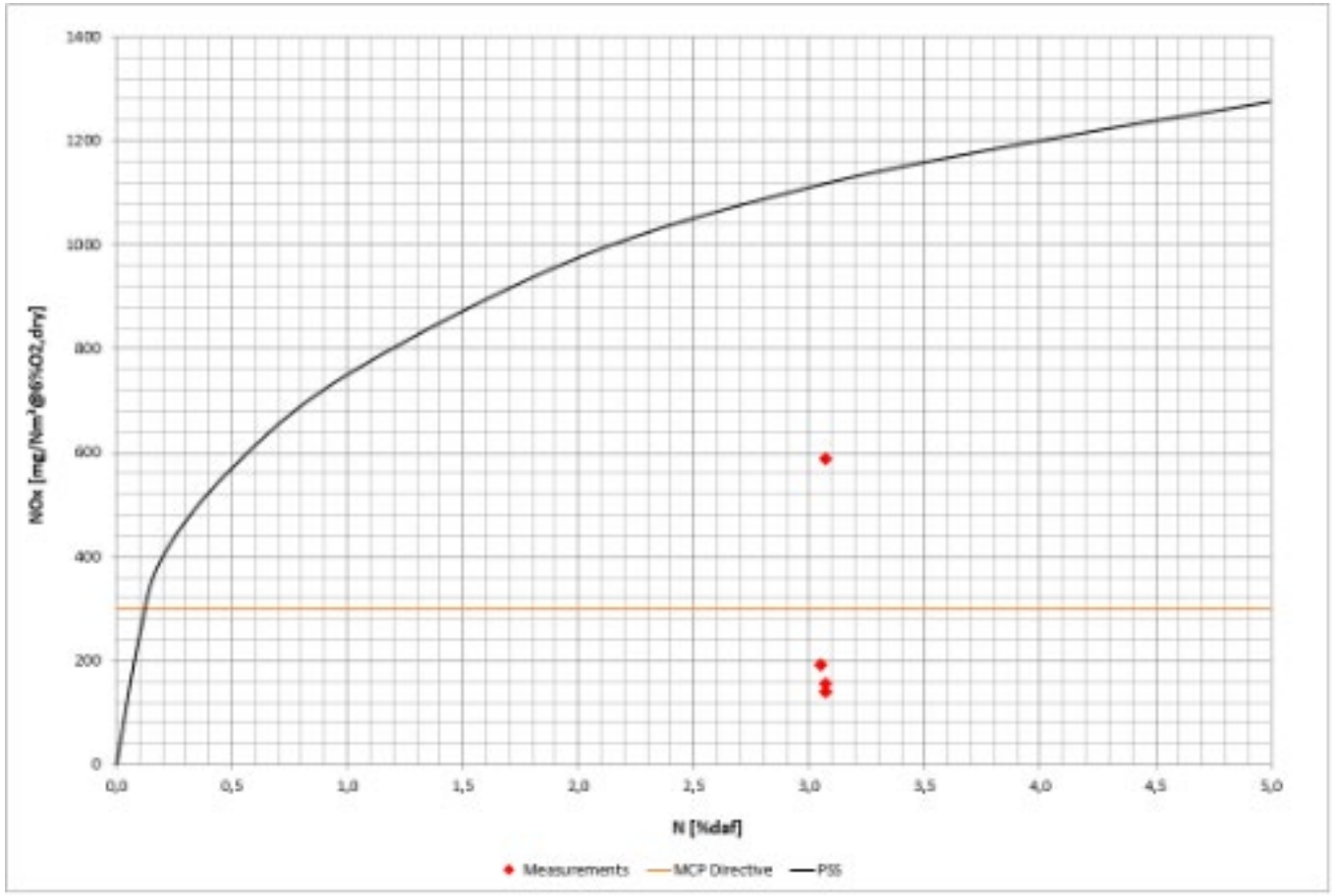
wheat bran alone - molten and sticky

0.1 g

with Sorbacal Heat - solid, easy to remove

The additive is not an accessory. It is part of the combustion concept.

Fuel staging for low NOx



THE STAGING ARCHITECTURE

1 **Primary furnace**

over-stoichiometric first stage

2 **Reburn furnace**

fuel nitrogen is converted before it becomes NOx

3 **Post-combustion furnace**

staged air completes the burn-out

The same principle as the ETH Zurich research.
Now applied to a far more difficult fuel.

No staging at minimum load, full staging above 60%

Combustion performance

Fine fuel, complete burn-out

100% load, wheat bran, 35% primary staging.

VORTEX LAB



COMBUSTION EFFICIENCY

CO < 100 mg/Nm³

far below the limit, at full load

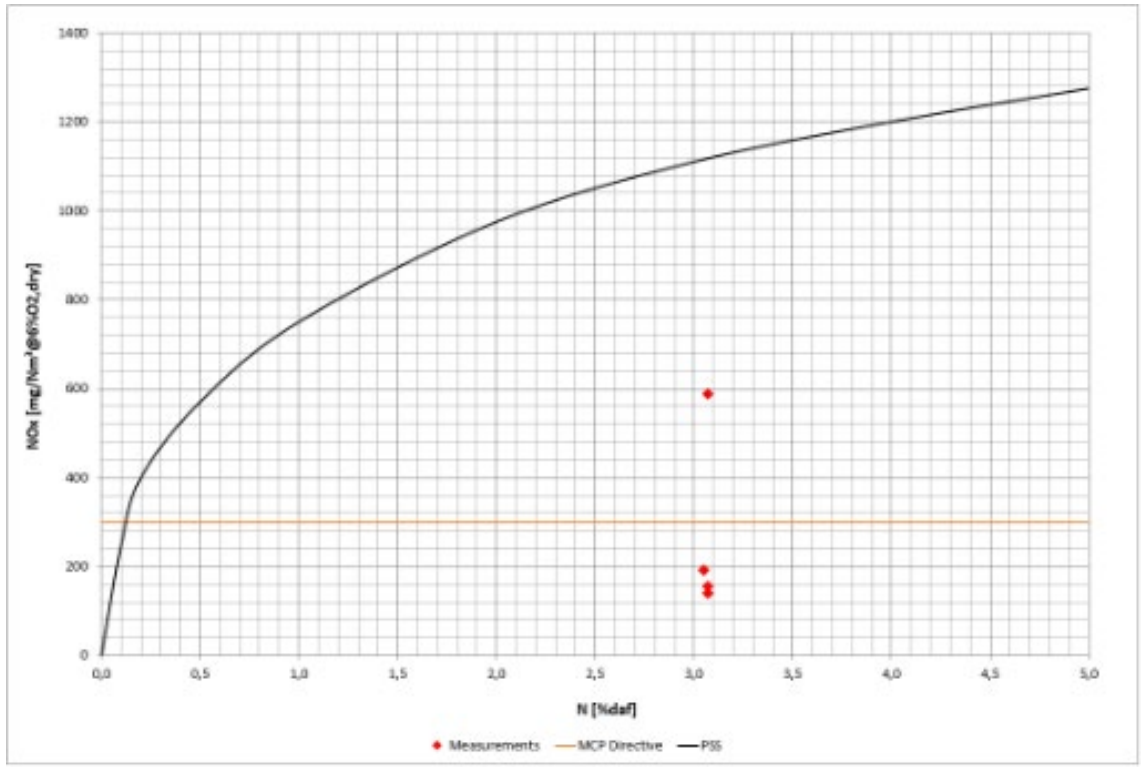
LOI nearly 0

practically no unburnt carbon left in the ash

Emissions performance

Clean combustion without secondary measures - and verified across the load range

1 | THE MEASUREMENT



2 | WHAT IT SHOWS

NOx < 300 mg/Nm³ @6% O_2

at ±3% N in the fuel, without any deNOx step

SOx < 50 mg/Nm³

at 0.2% S in the fuel, with the additive properly dosed

MCP directive respected

biomass plants below 50 MW, no secondary measures

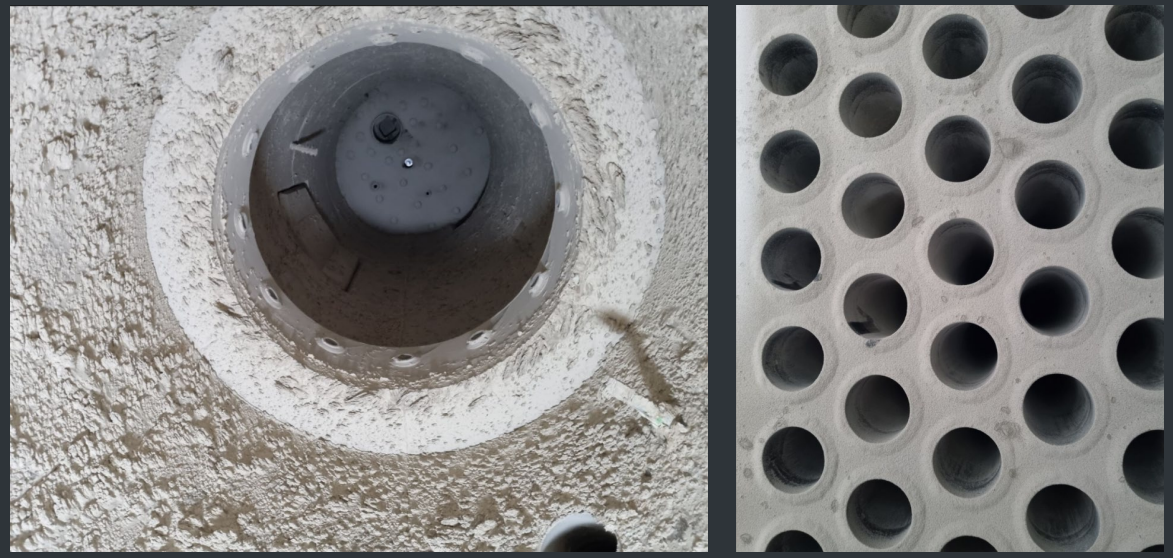
Fuel staging works.

CLEAN ENERGY TECHNOLOGY
VYNCKE

Ash behaviour

Low ash fusion temperature, no slagging - the ash is conditioned, not fought

1 | AFTER THE TEST CAMPAIGN



Furnace and boiler after the campaign

2 | WHAT WE FOUND

No significant slagging

no slag build-up in the furnace, despite 700 °C ash fusion

No heavy boiler fouling

heat transfer surfaces stayed clean over the campaign

Only 3-5% additive

a small mineral dose is enough to condition the ash

Ash chemistry can be managed.

Beyond a performance number

The real outcome is not a single figure - it is a defined application window

NOT THIS

"We reached 300 mg NOx."

BUT THIS

"We started defining the application window."

1. **Fuel particle size distribution**
2. **Additive dosage**
3. **NOx performance**
4. **LOI balance**
5. **Load range**

We are no longer proving feasibility. We are optimizing the operating window.

The key engineering trade-off

Fuel staging is the dial - turn it up for low NOx, down for clean burn-out

MORE FUEL STAGING

Lower NOx

A cooler, fuel-rich stage keeps nitrogen from converting to NOx - but burn-out gets harder.

vs

LESS FUEL STAGING

Lower LOI

More oxygen early in the flame burns the residue out completely - but NOx rises with it.

NOx target met

<300 mg/Nm3 @6% O2, no deNOx

Burn-out held

LOI stays inside the target band

Across the load range

verified from 60 to 100% load

Set the staging rate and you set both numbers - that balance is what we now control.

Finer fuel widens the staging window

Same dial, two fuels - with fine particles, acceptable burnout is maintained even at higher staging rates

COARSE FUEL

strong trade-off between low NOx and good burn-out

MAX STAGING - lowest NOx — **MIN STAGING - best burn-out**

narrow region where both NOx and LOI targets are met

FINE FUEL

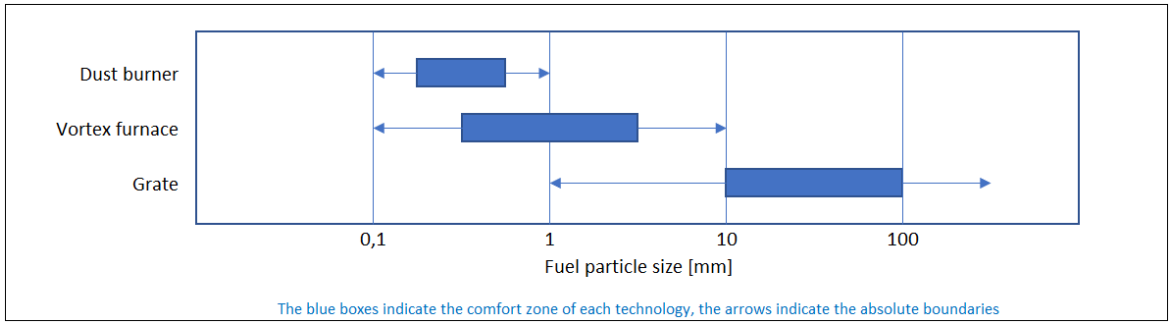
burn-out remains acceptable across a wider staging range

MAX STAGING — **MIN STAGING**

wide region where both NOx and LOI targets are met

Where each furnace works

The VORTEX furnace sits in the fine band - that is why the window stays wide.



The blue boxes indicate the comfort zone of each technology, the arrows indicate the absolute boundaries

Fine particles maintain burnout at higher staging rates, creating a larger operating region where both NOx and LOI targets are achieved.

Beyond wheat bran

One platform, a whole fuel class - wheat bran is only the first chapter



Cocoa shells



Maize bran



Rice husk



Sunflower hulls



Coarser wheat bran

The platform is not fuel-specific.

The same combustion platform is being evaluated for the next fuels.

Not a new principle. A new realization.

From fuel staging to VORTEX LAB - twenty-five years, one philosophy

THE HERITAGE

ETH Zurich > Mapolux > VORTEX LAB: the same NOx philosophy, three generations apart.

THE CHALLENGE

It was never only about NOx. It was about making the complete fuel usable.

THE OUTCOME

Suspension combustion, ash conditioning and fuel staging turn difficult agricultural residues into renewable process heat.

A new fuel class, ready to be qualified.

VORTEX LAB



Praxis zur Verwertung und Entsorgung von Aschen aus Holzenergieanlagen



Holzenergie-Symposium 11.09.2026

Michael Tobler

Entsorgungssicherheit als Voraussetzung für die Holzenergie

Ausgangslage

- Anteil Holzenergie an Gesamtenergienutzung in der Schweiz: 6 %
- Anteil Wärmeerzeugung: über 13 % → jährlich werden rund 3.5 Mio. t CO_2 aus fossilen Quellen vermieden
- Jährliche Holzaschenmenge CH: 80 – 95'000 t
- Holzenergie wird weiter ausgebaut **= mehr Holzasche**

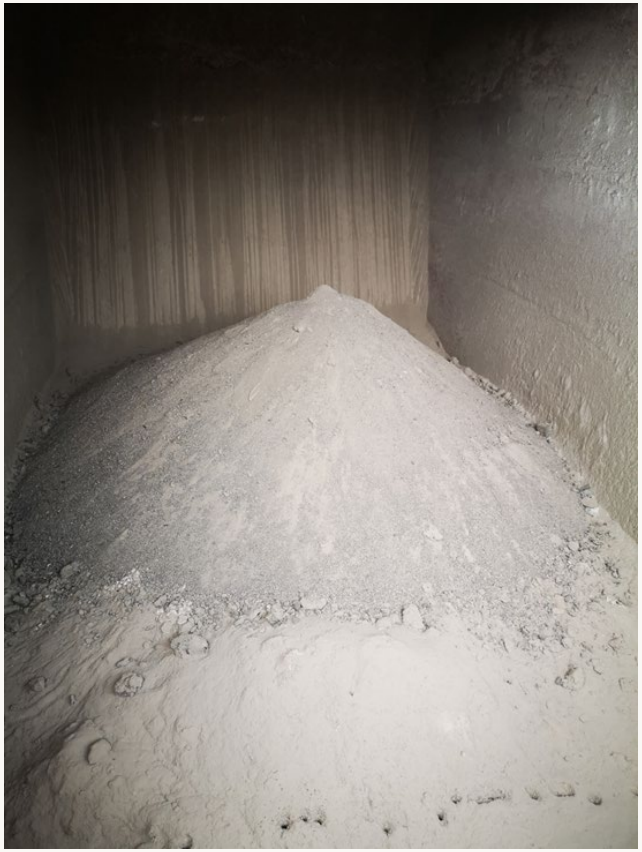
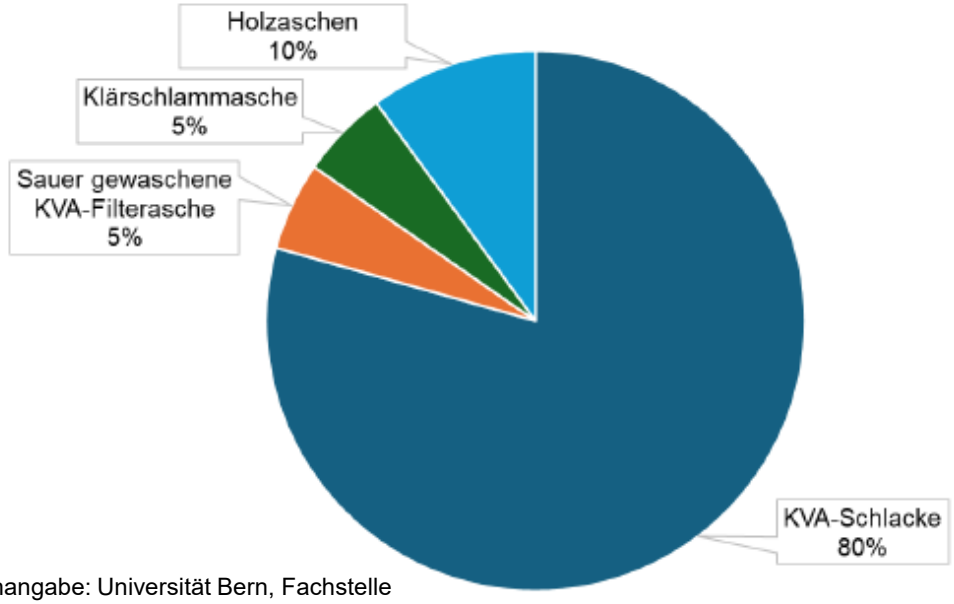


Foto: Michael Tobler, 16.08.2021

Die Entsorgungssicherheit von Holzasche ist für Aschenerzeuger zwingend notwendig!

Mengenvergleich Verbrennungsrückstände

- Holzaschenmenge: 92’000 t / Jahr
- Klärschlamm-Asche: 50’000 t / Jahr
- Sauer gewaschene KVA-Filterasche: 50’000 t / Jahr
- KVA-Schlacke: 750’000 t / Jahr
- **Summe: 942’000 t / Verbrennungsrückstände / Jahr**



Mengenangabe: Universität Bern, Fachstelle Sekundärrohstoffe



Foto Holzasche: Michael Tobler, 16.08.2021



Foto Klärschlammasche: Xenia Scherrer, 13.11.2025

Gesetzliche Vorgaben

- Das **Umweltschutzgesetz** (USG, SR 814.01) verpflichtet den Verursacher zur Kostentragung

- Die **Luftreinhalte-Verordnung** (LRV, SR 814.318.142.1) erlaubt
  - a.) nur geeignete Brennstoffe gemäss Anhang 5 Ziff. 31 Abs. 1 (Art. 52)
  - b.) beschränkt Staubemissionen beim Aschenumschlag oder Ablad.

- Die **Abfallverordnung** (VVEA, 814.600) schreibt vor:
  - a.) die Holzaschen aus der Verbrennung beider Brennstoffarten sind unterschiedlich zu verwerten oder zu entsorgen und die Vorgaben zu den festgelegten Deponietypen und Grenzwerten müssen eingehalten werden.
  - b.) Weiter werden zusätzliche Massnahmen wie die Metallrückgewinnung und Analysen (Art. 54, Anh. 5) geregelt.



→ Verwertung ist der Entsorgung vorzuziehen!

Aschenmengen pro Aschetypen

Herkunft	Verbrennungstyp	Aschentypen	Verteilung der Aschenmengen pro Jahr (Schätzung H&F)
Naturbelassenes Holz (Holzbrennstoffe)	Rostfeuerung	Rostaschen	55%
		Zyklonaschen	
		Filteraschen	
Altholz (Nicht-Holzbrennstoffe)	Rostfeuerung	Rostaschen	36%
		Zyklonaschen	
		Filteraschen	
Naturbelassenes Holz (Holzbrennstoffe)	Wirbelschichtfeuerung	Kesselaschen	3%
		1.+2. Zug.	
		Filteraschen	
Altholz (Nicht-Holzbrennstoffe)	Wirbelschichtfeuerung	Rostaschen	6%
		1.+2. Zug.	
		Filteraschen	
Summe			**80'000 – 90'000t /a**

Verwertung in der Schweiz heute

Bestehende Verwertung heute in der Schweiz

- Zementindustrie - Rohmaterialersatz
  - Zumahl- und Zuschlagstoffe
- Betonindustrie - Erdbeton
- Nischenanwendung Reinigungsmittel

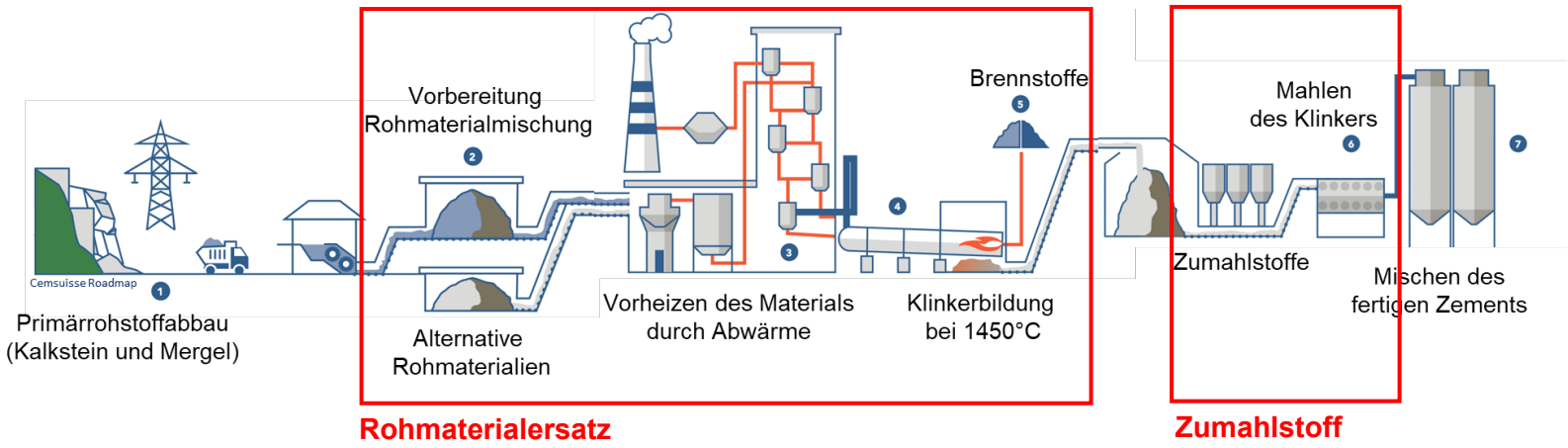
Bedarf von insgesamt 5’500 t /a für die Verwertung
→ 6% der anfallenden Aschenmenge !

Seit Jahren bemüht sich die Branche und innovative Unternehmungen für eine vermehrte Verwertung von Holzaschen



Verwertung in der Schweiz heute

1. Rohmaterialersatz in der Zementproduktion = ca. 4’500 t / Jahr



Quelle: Universität Bern, Verwertungspotenzial Holzasche

Verwertung in der Schweiz heute

2. Einsatz im Erdbeton = ca. 1’000 t / Jahr



Quelle: Auslieferung Ragazer Erdbeton (Logbau AG)

REB® RAGAZER ERDBETON
Die Alternative

Anwendungsgebiete

Ragazer Erdbeton ist vielseitig einsetzbar: zum Stabilisieren oder für den Austausch von Böden, für Gründungskonzepte oder Schüttungen, für Auffüllungen, Fixierungen oder Umhüllungen. Dies sind nur einige der Einsatzmöglichkeiten des Innovationsprodukts aus Bad Ragaz.



Verwertung in der Schweiz heute

3. Nischenanwendungen - Flüssiges Waschmittel aus Holzasche



Quelle: moa.swiss

Alte Anwendung von Holzaschen neu entdeckt

- Seit Jahrhunderten wurde Holzasche (Pottasche) für die Reinigung eingesetzt
- Die Reinigung kommt der Wirkung von Seife nahe.

Schweizer Verwertungsprojekte

Potenzielle Verwertung – *Aktivitäten / Projekte*

- Betonindustrie – Div. Projekte Betonfirmen
  -- Projekt «Produktedesign mit Holzasche für die Baubranche»
- Katalysator bei der Herstellung von Pflanzenkohle
- Einsatz als Kaliumdünger; HeS
- Prozesshilfsmittel im Kompost; HeS
- Dekarbonisierter Ersatz für Branntkalk in der Bodenschutzkalkung
- Bodenstabilisierung sowie im Waldstrassen-/Forstwegebau
- Umwandlung von CO_2 aus der Luft in Kalziumkarbonat (Negativemissionstechnologie)

Wichtig zu Wissen: Für die Verwertung von Holzaschen in der Landwirtschaft, im Kompost und im Wald, ist eine Zertifizierung als Dünger nötig.

Verwertungspotenzial pro Aschetyp

Herkunft	Verbrennungstyp	Aschentypen	Verwertungs-potenzial
Naturbelassenes Holz (Holzbrennstoffe)	Rostfeuerung	Rostaschen	
		Zyklonaschen	
		Filteraschen	
Altholz (Nicht-Holzbrennstoffe)	Rostfeuerung	Rostaschen	
		Zyklonaschen	
		Filteraschen	
Naturbelassenes Holz (Holzbrennstoffe)	Wirbelschichtfeuerung	Kesselaschen	
		1.+2. Zug.	
		Filteraschen	
Altholz (Nicht-Holzbrennstoffe)	Wirbelschichtfeuerung	Rostaschen	
		1.+2. Zug.	
		Filteraschen	

Herausforderungen der Verwertung

- Dezentrale und jahreszeitlich schwankend anfallende Aschemengen
- Teilweise begrenzte Mengenannahme pro Monat, da kapazitätsabhängig (Kapazität Verwertung)
- Keine Annahme von Mitte Dezember bis Mitte Januar, jedoch im Sommer gewünscht
- Hohe Schwermetallbelastungen einzelner Aschefraktionen
- Begrenzte Wirtschaftlichkeit aufgrund kleiner Stoffströme
- Unterschiedliche Aschequalitäten und Schadstoffgehalte
- Aschenqualität:
  - Kein Metall (Eisen und Buntmetalle (NE))
  - Je nach Anwendung keine Fremdstoffe (Steine, Verschlackungen, usw.)
  - Kein, oder sehr wenig TOC (Unverbrannte Stücke)
  - Teilweise separate Aschenfraktion
    - Filteraschen, separat
    - Zyklonaschen, je nach Anwendung



Foto: Xenia Scherrer, 02.12.2025

Voraussetzung für die Verwertung

Geeignete Aschenqualität

- Holzsortiment
  - Naturbelassenes Holz
  - Altholz
- Aschetyp
  - Rost-, Bettaschen
  - Zyklonaschen
  - Filteraschen
- Schadstoffgrenzwerte
  - Anforderungen Verwerter
  - Anforderungen Regularien
- Qualitätssicherung
  - Regelmässige Laboranalysen
  - Gleichbleibende Qualität

Verwerter / Investor

- Technische Infrastruktur:
  - Aufbereitung
- Wirtschaftlichkeit
  - Entsorgungskosten vs. Produktewert
  - Transportweg, Pooling
- Abnehmermarkt
  - Verwerter
- Langfristige Partnerschaft
  - Vertragliche Absicherung zwischen Aschenerzeuger und Verwerter

Gesetzliche Grundlagen:

- Abfallverordnung (VVEA)
  - Verordnungen
  - Vorgaben der Verwendung
- Vorgaben Produkte
  - Grenzwerte
  - Anforderungsbedingung
- Regionale / kantonale Vorgaben
  - Einschränkungen
  - Ermöglichungen

„Verwertung gelingt nur, wenn Aschenqualität, wirtschaftlicher Verwerter und rechtliche Zulässigkeit zusammenpassen. Fehlt eine Säule, bleibt nur die Deponie."

Blick über die Grenzen – Verwertungen im Ausland

Land/Verwendung	DE	IT	AT	NL	DK	SE	CA
Deponie	x	x	x	x	x	x	x
Rohmehlersatz		(x)	x		x		x
Betonfüllstoff		(x)		x			
Forstwirtschaft				(x)	x	x	
Dünger/Landw.	x	x	x	(x)	x		x
Ver. Kompost		(x)	x	(x)			
Asphaltfüllstoff		x	(x)	(x)			
Untertagebau	x			(x)			
Tiefbau	x	(x)	x	(x)		x	x
Andere Baustoffe		(x)		(x)			x

Quelle: Auszug aus der Liste «Blick über die Grenzen» Kompetenzzentrum Holzaschen

Blick über die Grenzen – Verwertungen im Ausland

Weltweite Projekte: (Beispiele)

- Batterietechnologie: Forscher in den USA untersuchen kalzinierte Holzaschen als Elektrodenmaterial für Natrium-Ionen-Batterien, da ihre poröse Struktur die Ionenleitfähigkeit verbessert

- Umweltsanierung: In China dienen modifizierte Holzaschen zur Schwermetallbindung als Adsorptionsmittel für Arsen und Blei in kontaminierten Böden

- Keramikindustrie: die Ascheglasur ist eine sehr alte Technik, welche als Nischenanwendung betrachtet werden muss, weil sie mit sehr geringen Mengen arbeitet. Die Technik ist u.a. in China und Italien bekannt

- Leichtbaustoffe: Belegte Anwendungen von Asche als Leichtbaustoff in Japan.

Fazit

Praxis zur Verwertung und Entsorgung von Aschen aus Holzenergieanlagen

Der Schlüssel, um die Verwertung von Holzaschen industriell zu ermöglichen liegt in einer Qualitätssicherung, Zertifizierung der Aschen, der Entwicklung ökologischer und ökonomischer Aufbereitungstechnologien, sowie geeignete rechtlichen Grundlagen.

Projekte zum Thema Kreislaufwirtschaft sind vielfältig und unterschiedlich in der Grösse und Erfolg. Doch Initiativen haben etwas gemeinsam:

Es braucht eine Idee, Investitionen und Zeit.

Nächste Schritte

Workshop Entsorgungssicherheit

Akteure zusammenbringen, Problemfelder priorisieren und gemeinsame Lösungsansätze definieren

Wissen und Vollzug stärken

Holzaschenkurse von Holzenergie Schweiz → Förderung von Wissenstransfer in der Praxis

- 15.09.2026 in Schachen (LU), bei der Firma Heitzmann
- 13.10.2026 bei Société Electrique des Forces de l'Aubonne SA (VD)
- 15.10.2026 bei OekoSolve AG, Plons (SG)

Fragen ?

Holz & Forst Consulting GmbH
Firmensitz / Postadresse:
Im Vrenelisgärtli 2
4102 Binningen

Büroadresse:
Florenzstrasse 1e
4142 Münchenstein

+41 79 823 77 14
info@holzforst-consulting.ch
www.holzforst-consulting.ch

Kompetenzzentrum Holzaschen:





Praxis zur Verwertung und Entsorgung von Aschen aus Holzenergieanlagen



Holzenergie-Symposium 11.09.2026

Michael Tobler

Entsorgungssicherheit als Voraussetzung für die Holzenergie

Ausgangslage

- Anteil Holzenergie an Gesamtenergienutzung in der Schweiz: 6 %
- Anteil Wärmeerzeugung: über 13 % → jährlich werden rund 3.5 Mio. t CO_2 aus fossilen Quellen vermieden
- Jährliche Holzaschenmenge CH: 80 – 95'000 t
- Holzenergie wird weiter ausgebaut **= mehr Holzasche**

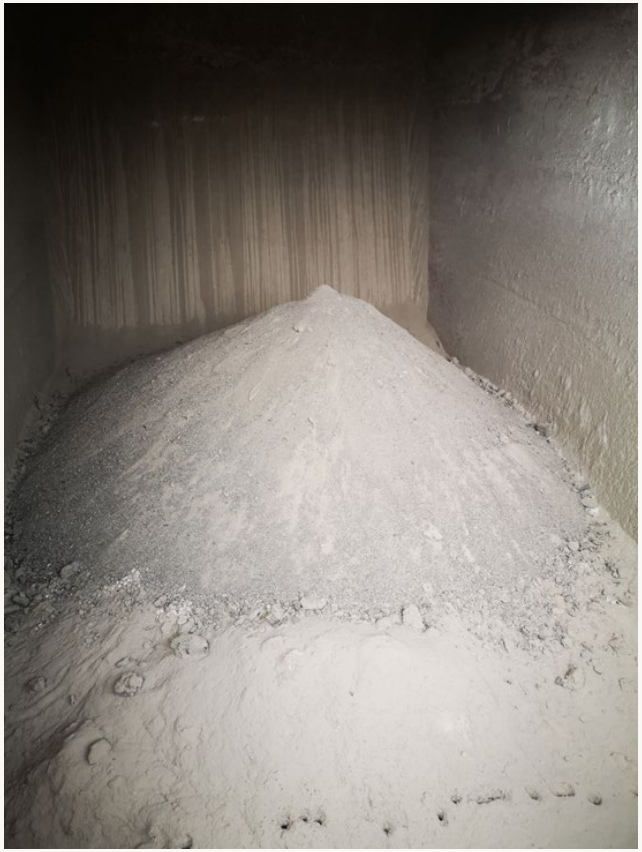
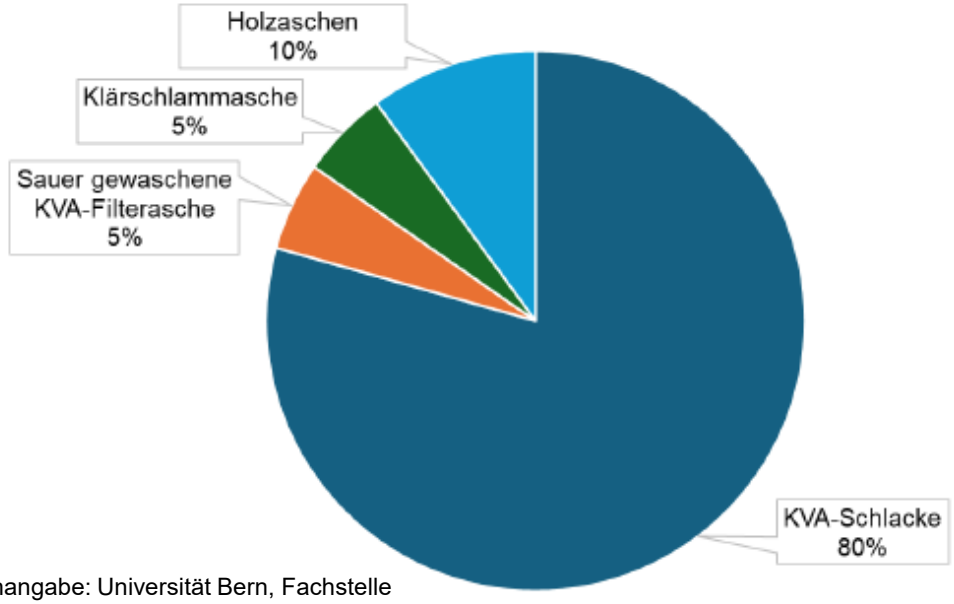


Foto: Michael Tobler, 16.08.2021

Die Entsorgungssicherheit von Holzasche ist für Aschenerzeuger zwingend notwendig!

Mengenvergleich Verbrennungsrückstände

- Holzaschenmenge: 92’000 t / Jahr
- Klärschlamm-Asche: 50’000 t / Jahr
- Sauer gewaschene KVA-Filterasche: 50’000 t / Jahr
- KVA-Schlacke: 750’000 t / Jahr
- **Summe: 942’000 t / Verbrennungsrückstände / Jahr**



Mengenangabe: Universität Bern, Fachstelle Sekundärrohstoffe



Foto Holzasche: Michael Tobler, 16.08.2021



Foto Klärschlammasche: Xenia Scherrer, 13.11.2025

Gesetzliche Vorgaben

- Das **Umweltschutzgesetz** (USG, SR 814.01) verpflichtet den Verursacher zur Kostentragung

- Die **Luftreinhalte-Verordnung** (LRV, SR 814.318.142.1) erlaubt
  - a.) nur geeignete Brennstoffe gemäss Anhang 5 Ziff. 31 Abs. 1 (Art. 52)
  - b.) beschränkt Staubemissionen beim Aschenumschlag oder Ablad.

- Die **Abfallverordnung** (VVEA, 814.600) schreibt vor:
  - a.) die Holzaschen aus der Verbrennung beider Brennstoffarten sind unterschiedlich zu verwerten oder zu entsorgen und die Vorgaben zu den festgelegten Deponietypen und Grenzwerten müssen eingehalten werden.
  - b.) Weiter werden zusätzliche Massnahmen wie die Metallrückgewinnung und Analysen (Art. 54, Anh. 5) geregelt.



→ Verwertung ist der Entsorgung vorzuziehen!

Aschenmengen pro Aschetypen

Herkunft	Verbrennungstyp	Aschentypen	Verteilung der Aschenmengen pro Jahr (Schätzung H&F)
Naturbelassenes Holz (Holzbrennstoffe)	Rostfeuerung	Rostaschen	55%
		Zyklonaschen	
		Filteraschen	
Altholz (Nicht-Holzbrennstoffe)	Rostfeuerung	Rostaschen	36%
		Zyklonaschen	
		Filteraschen	
Naturbelassenes Holz (Holzbrennstoffe)	Wirbelschichtfeuerung	Kesselaschen	3%
		1.+2. Zug.	
		Filteraschen	
Altholz (Nicht-Holzbrennstoffe)	Wirbelschichtfeuerung	Rostaschen	6%
		1.+2. Zug.	
		Filteraschen	
Summe			**80'000 – 90'000t /a**

Verwertung in der Schweiz heute

Bestehende Verwertung heute in der Schweiz

- Zementindustrie - Rohmaterialersatz
  - Zumahl- und Zuschlagstoffe
- Betonindustrie - Erdbeton
- Nischenanwendung Reinigungsmittel

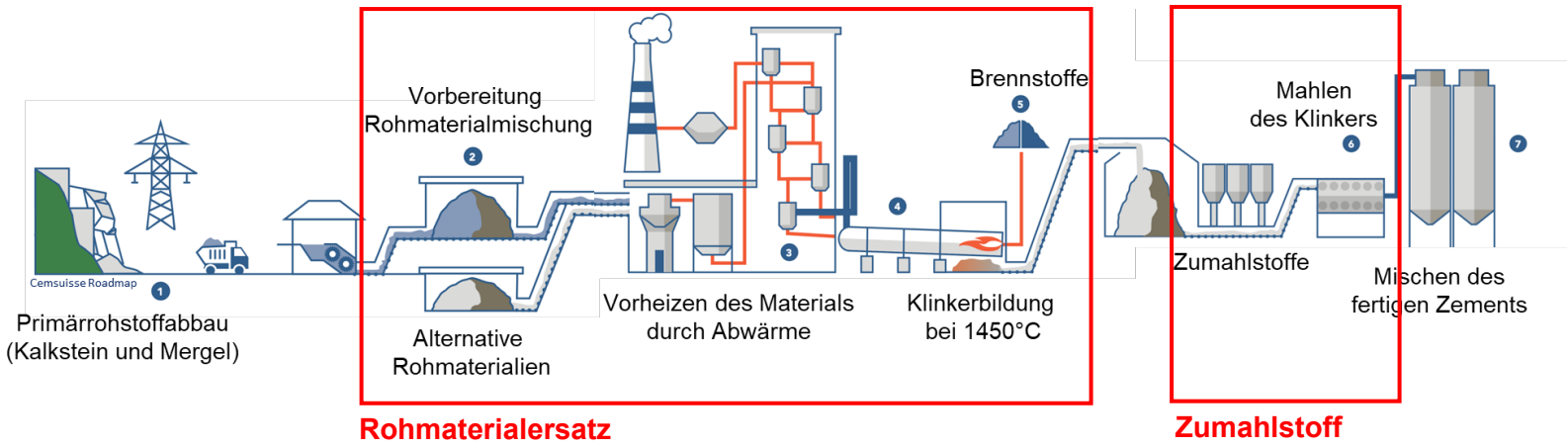
Heute besteht die Möglichkeit, insgesamt 5‘500 t/a zu verwerten.
→ 6% der anfallenden Aschenmenge !

Seit Jahren bemüht sich die Branche und innovative Unternehmungen für eine vermehrte Verwertung von Holzaschen!



Verwertung in der Schweiz heute

1. Rohmaterialersatz in der Zementproduktion = ca. 4’500 t / Jahr



Quelle: Universität Bern, Verwertungspotenzial Holzasche

Verwertung in der Schweiz heute

2. Einsatz im Erdbeton = ca. 1’000 t / Jahr



Quelle: Auslieferung Ragazer Erdbeton (Logbau AG)

REB® RAGAZER ERDBETON
Die Alternative

Anwendungsgebiete

Ragazer Erdbeton ist vielseitig einsetzbar: zum Stabilisieren oder für den Austausch von Böden, für Gründungskonzepte oder Schüttungen, für Auffüllungen, Fixierungen oder Umhüllungen. Dies sind nur einige der Einsatzmöglichkeiten des Innovationsprodukts aus Bad Ragaz.



Verwertung in der Schweiz heute

3. Nischenanwendungen - Flüssiges Waschmittel aus Holzasche



Quelle: moa.swiss

Alte Anwendung von Holzaschen neu entdeckt

- Seit Jahrhunderten wurde Holzasche (Pottasche) für die Reinigung eingesetzt
- Die Reinigung kommt der Wirkung von Seife nahe.

Schweizer Verwertungsprojekte

Potenzielle Verwertung – *Aktivitäten / Projekte*

- Betonindustrie – Div. Projekte Betonfirmen
  -- Projekt «Produktedesign mit Holzasche für die Baubranche»
- Katalysator bei der Herstellung von Pflanzenkohle
- Einsatz als Kaliumdünger; HeS
- Prozesshilfsmittel im Kompost; HeS
- Dekarbonisierter Ersatz für Branntkalk in der Bodenschutzkalkung
- Bodenstabilisierung sowie im Waldstrassen-/Forstwegebau
- Umwandlung von CO_2 aus der Luft in Kalziumkarbonat (Negativemissionstechnologie)

Wichtig zu Wissen: Für die Verwertung von Holzaschen in der Landwirtschaft, im Kompost und im Wald, ist eine Zertifizierung als Dünger nötig.

Verwertungspotenzial pro Aschentyp

Herkunft	Verbrennungstyp	Aschentypen	Verwertungs-potenzial
Naturbelassenes Holz (Holzbrennstoffe)	Rostfeuerung	Rostaschen	
		Zyklonaschen	
		Filteraschen	
Altholz (Nicht-Holzbrennstoffe)	Rostfeuerung	Rostaschen	
		Zyklonaschen	
		Filteraschen	
Naturbelassenes Holz (Holzbrennstoffe)	Wirbelschichtfeuerung	Kesselaschen	
		1.+2. Zug.	
		Filteraschen	
Altholz (Nicht-Holzbrennstoffe)	Wirbelschichtfeuerung	Rostaschen	
		1.+2. Zug.	
		Filteraschen	

Herausforderungen der Verwertung

- Dezentrale und jahreszeitlich schwankend anfallende Aschemengen
- Teilweise begrenzte Mengenannahme pro Monat, da kapazitätsabhängig (Kapazität Verwertung)
- Keine Annahme von Mitte Dezember bis Mitte Januar, jedoch im Sommer gewünscht
- Hohe Schwermetallbelastungen einzelner Aschefraktionen
- Begrenzte Wirtschaftlichkeit aufgrund kleiner Stoffströme
- Unterschiedliche Aschequalitäten und Schadstoffgehalte
- Aschenqualität:
  - Kein Metall (Eisen und Buntmetalle (NE))
  - Je nach Anwendung keine Fremdstoffe (Steine, Verschlackungen, usw.)
  - Kein, oder sehr wenig TOC (Unverbrannte Stücke)
  - Teilweise separate Aschenfraktion
    - Filteraschen, separat
    - Zyklonaschen, je nach Anwendung



Foto: Xenia Scherrer, 02.12.2025

Voraussetzung für die Verwertung

Geeignete Aschenqualität

- Holzsortiment
  - Naturbelassenes Holz
  - Altholz
- Aschetyp
  - Rost-, Bettaschen
  - Zyklonaschen
  - Filteraschen
- Schadstoffgrenzwerte
  - Anforderungen Verwerter
  - Anforderungen Regularien
- Qualitätssicherung
  - Regelmässige Laboranalysen
  - Gleichbleibende Qualität

Verwerter / Investor

- Technische Infrastruktur:
  - Aufbereitung
- Wirtschaftlichkeit
  - Entsorgungskosten vs. Produktewert
  - Transportweg, Pooling
- Abnehmermarkt
  - Verwerter
- Langfristige Partnerschaft
  - Vertragliche Absicherung zwischen Aschenerzeuger und Verwerter

Gesetzliche Grundlagen:

- Abfallverordnung (VVEA)
  - Verordnungen
  - Vorgaben der Verwendung
- Vorgaben Produkte
  - Grenzwerte
  - Anforderungsbedingung
- Regionale / kantonale Vorgaben
  - Einschränkungen
  - Ermöglichungen

„Verwertung gelingt nur, wenn Aschenqualität, wirtschaftlicher Verwerter und rechtliche Zulässigkeit zusammenpassen. Fehlt eine Säule, bleibt nur die Deponie."

Blick über die Grenzen – Verwertungen im Ausland

Land/Verwendung	DE	IT	AT	NL	DK	SE	CA
Deponie	x	x	x	x	x	x	x
Rohmehlersatz		(x)	x		x		x
Betonfüllstoff		(x)		x			
Forstwirtschaft				(x)	x	x	
Dünger/Landw.	x	x	x	(x)	x		x
Ver. Kompost		(x)	x	(x)			
Asphaltfüllstoff		x	(x)	(x)			
Untertagebau	x			(x)			
Tiefbau	x	(x)	x	(x)		x	x
Andere Baustoffe		(x)		(x)			x

Quelle: Auszug aus der Liste «Blick über die Grenzen» Kompetenzzentrum Holzaschen

Blick über die Grenzen – Verwertungen im Ausland

Weltweite Projekte: (Beispiele)

- Batterietechnologie: Forscher in den USA untersuchen kalzinierte Holzaschen als Elektrodenmaterial für Natrium-Ionen-Batterien, da ihre poröse Struktur die Ionenleitfähigkeit verbessert

- Umweltsanierung: In China dienen modifizierte Holzaschen zur Schwermetallbindung als Adsorptionsmittel für Arsen und Blei in kontaminierten Böden

- Keramikindustrie: die Ascheglasur ist eine sehr alte Technik, welche als Nischenanwendung betrachtet werden muss, weil sie mit sehr geringen Mengen arbeitet. Die Technik ist u.a. in China und Italien bekannt

- Leichtbaustoffe: Belegte Anwendungen von Asche als Leichtbaustoff in Japan.

Fazit

Praxis zur Verwertung und Entsorgung von Aschen aus Holzenergieanlagen

Der Schlüssel, um die Verwertung von Holzaschen industriell zu ermöglichen liegt in einer Qualitätssicherung, Zertifizierung der Aschen, der Entwicklung ökologischer und ökonomischer Aufbereitungstechnologien, sowie geeignete rechtlichen Grundlagen.

Projekte zum Thema Kreislaufwirtschaft sind vielfältig und unterschiedlich in der Grösse und Erfolg. Doch Initiativen haben etwas gemeinsam:

Es braucht eine Idee, Investitionen und Zeit.

Nächste Schritte

Workshop Entsorgungssicherheit

Akteure zusammenbringen, Problemfelder priorisieren und gemeinsame Lösungsansätze definieren

Wissen und Vollzug stärken

Holzaschenkurse von Holzenergie Schweiz → Förderung von Wissenstransfer in der Praxis

- 15.09.2026 in Schachen (LU), bei der Firma Heitzmann
- 13.10.2026 bei Société Electrique des Forces de l'Aubonne SA (VD)
- 15.10.2026 bei OekoSolve AG, Plons (SG)

Fragen ?

Holz & Forst Consulting GmbH
Firmensitz / Postadresse:
Im Vrenelisgärtli 2
4102 Binningen

Büroadresse:
Florenzstrasse 1e
4142 Münchenstein

+41 79 823 77 14
info@holzforst-consulting.ch
www.holzforst-consulting.ch

Kompetenzzentrum Holzaschen:





Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr,
Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Umwelt BAFU
Abteilung Abfall und Rohstoffe

Entsorgung und Verwertung von Holzaschen aus Sicht des Bundes

Matthieu Buchs
Leiter Sektion Rohstoffkreisläufe, Abteilung Abfall & Rohstoffe, BAFU

Holzenergie-Symposium, 11. September 2026, Zürich

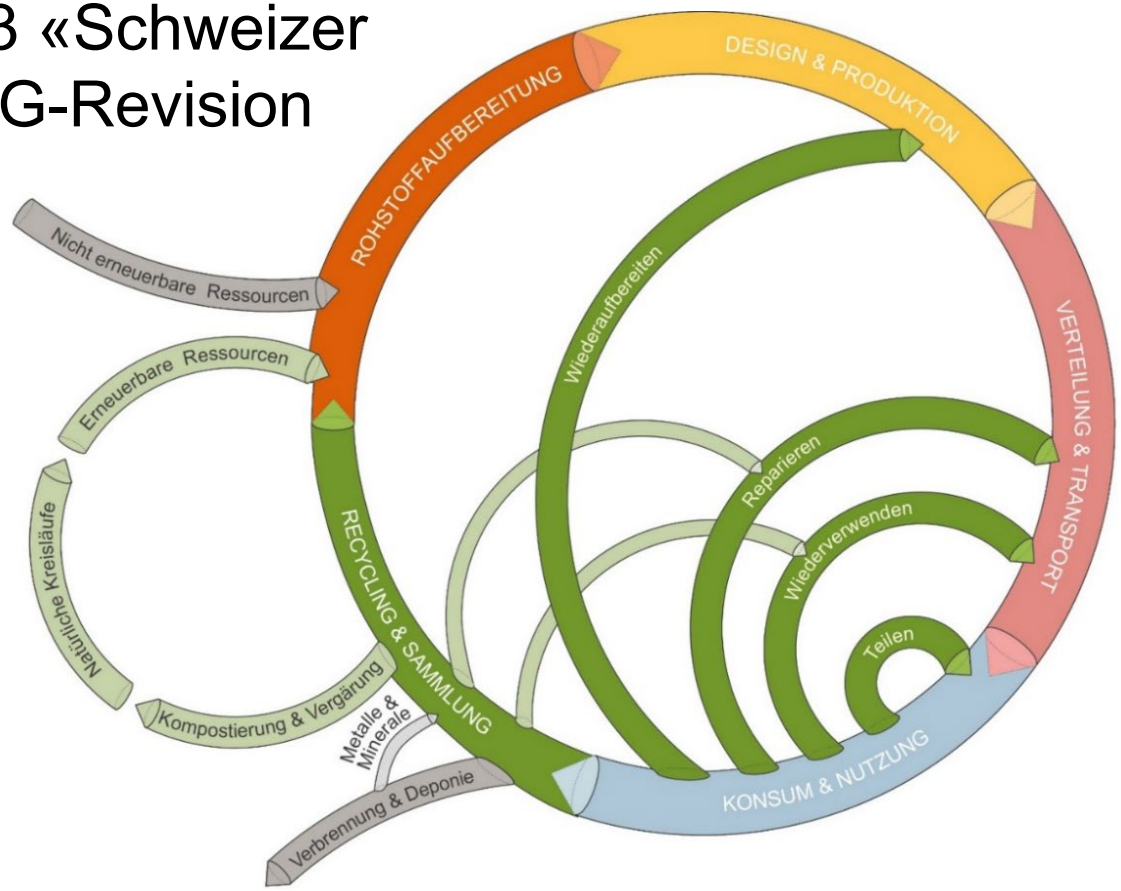
Kreislaufwirtschaft



USG-Revision - Stärkung der Kreislaufwirtschaft

Parlamentarische Initiative 20.433 «Schweizer Kreislaufwirtschaft stärken» – USG-Revision

- Schliessen der Kreisläufe
- Effizientere Nutzung von Ressourcen
- Reduzierung des Bedarfs an Deponieraum



Rechtliche Rahmenbedingungen – Abfall

Umweltschutzgesetz, USG

- Art. 7 Ziff. 6 ⟹ Holzasche = Abfall
- Art. 7 Ziff. 6bis ⟹ Verwertung ist Teil der Entsorgung
- Art. 30*d* (Neu) ⟹ Abfallverwertungshierarchie

Abfallverordnung, VVEA

- Art. 12 (Neu) ⟹ Verwertungspflicht nach USG und SdT
- Art. 52*a* (Neu) ⟹ Fristverlängerung für die Altholz-Filteraschen
- Anh 4 Ziff. 3.1 ⟹ Verwertung in Zement und Beton ✓
- Anh 5 ⟹ Anforderungen für die Deponierung

Rechtliche Rahmenbedingungen – Abfall

- Das Abfallrecht schränkt keine Verwertungsmöglichkeiten ein und fördert die Verwertung (gemäss dem Stand der Technik)

- Ist eine Verwertung aufgrund anderer gesetzlicher Vorschriften nicht möglich, sieht das Abfallrecht vor, dass Holzasche auf Deponien des Typs D oder E entsorgt wird.

Weitere rechtliche Rahmenbedingungen

Luftreinhalte-Verordnung, LRV

- Anh. 5 Ziff. 31 ⟹ Holzbrennstoff vs Nicht Holzbrennstoff
- Art. 13 Ziff. 3 ⟹ Feuerungswärmeleistung von 70 kW

⟹ in die Anforderungen zu Entsorgungswegen integriert

Düngerverordnung, DüV

- Anh. 2 CMC 13 ⟹ Durch thermische Oxidation (ohne Holz)

Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung, ChemRRV

- Qualitätsanforderungen und bestimmte Verwendungsbeschränkungen für Dünger (insbesondere im Wald)

Potenzielle Verwertungswege

Für die Herstellung von Zement und Beton (Anh. 4 VVEA)

- Ziff. 1 ⟹ Rohmaterial und Rohmehlkorrekturstoffe **GW**
- Ziff. 3.1 Bst. d ⟹ Zumahl- und Zuschlagstoffe ✓

⟹ Zement- und Betonhersteller entscheiden sich je nach Bedarf und Eigenschaften der Asche

⟹ Unterstützung von diversen Projekten (UniBe)

⟹ Derzeitiger Hauptverwertungsweg (eGOV.SWISS)

Aber nur in einigen Zementwerken: vielleicht noch Entwicklungspotenzial?

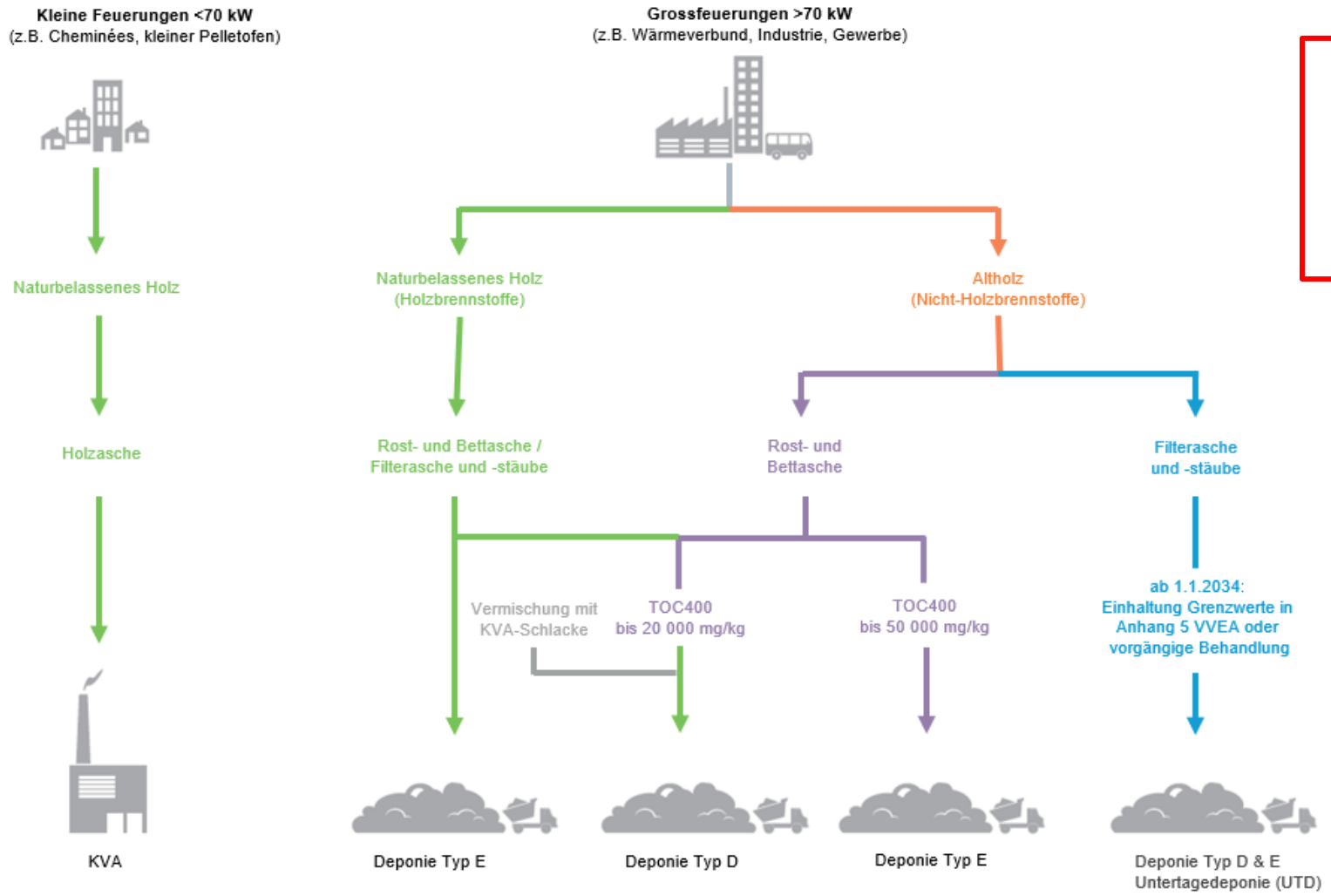
Potenzielle Verwertungswege

Für die Herstellung von Dünger (DüV, ChemRRV)

- DüV ⟹ Holz darf nicht als Rohstoff für durch thermische Oxidation gewonnene Dünger verwendet werden ✗
- ChemRRV ⟹ Neue Grenzwerte für Schadstoffe erforderlich

⟹ Derzeit finden Gespräche statt (BLW, BAFU, Agroscope)

Entsorgungswege Holzaschen



ab 1.1.2034:
Einhaltung Grenzwerte in Anhang 5 VVEA oder vorgängige Behandlung

Herausforderungen

- Verwertung im Sinne der Kreislaufwirtschaft
  - Umwelt-, Gewässer- und Gesundheitssicherheit muss gewährleistet sein
  - Schadstoffe müssen aus dem Kreislauf entfernt werden
  - Einige Verwertungspfade sind auf gutem Weg
- Schwierigkeiten und Einschränkungen bei der Deponierung
  - Projekt SENKATO Universität Bern (optimierte Ablagerung von Holzaschen)
  - Holzasche aus Grossanlagen (> 70 kW) ist kein Siedlungsabfall → Verantwortung des Inhabers
  - Holzaschevolumen = 10% des Schlackenvolumens
- Was passiert ab 2034 mit Altholz-Filteraschen?

Fazit

- Kreislaufwirtschaft ist ein Grundpfeiler der CH-Abfallpolitik, welche es noch stärker auszubauen gilt.
- Holzenergie ist eine wichtige Quelle für erneuerbare Energie in der Schweiz.
- Aktuelle Herausforderungen im Zusammenhang mit der Deponierungsproblematik müssen gelöst werden. Dafür ist ein Engagement der Holzenergiebranche erforderlich. Holzasche ist kein Siedlungsabfall.

Das Wichtigste ist jedoch eine gute Zusammenarbeit zwischen Industrie, Kantonen, Bund und Forschung.

Besten Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Matthieu Buchs
Sektionschef Rohstoffkreisläufe, Abteilung Abfall & Rohstoffe
Bundesamt für Umwelt BAFU
matthieu.buchs@bafu.admin.ch