

OST

Ostschweizer
Fachhochschule

Handlungsempfehlungen für die Energiewende im Bereich industrieller Energie und Prozesssysteme

Prof. Stefan Bertsch, Ph.D.

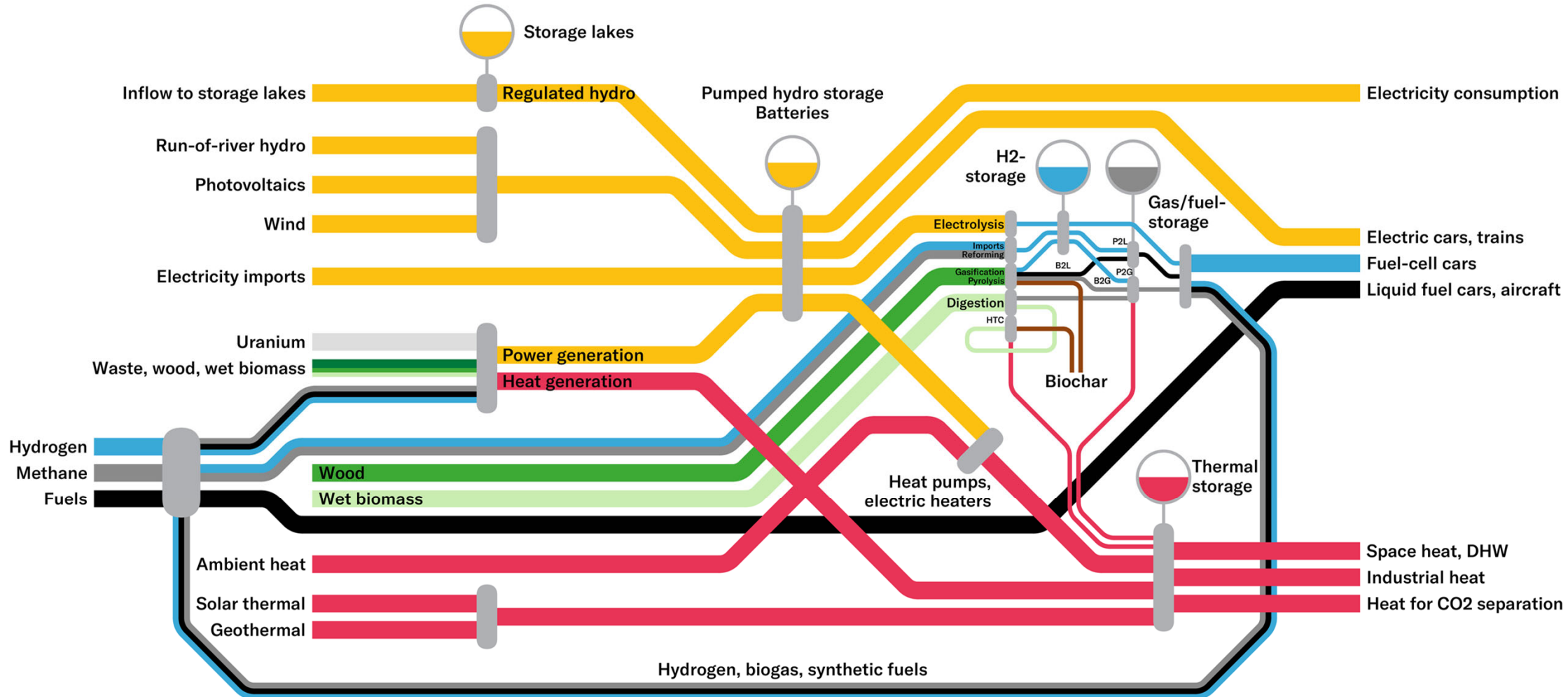
OST, Institut für Energiesysteme IES

stefan.bertsch@ost.ch

Innovationstagung «Wo steht die Energiewende im Jahre 2030?»

www.ost.ch/ies

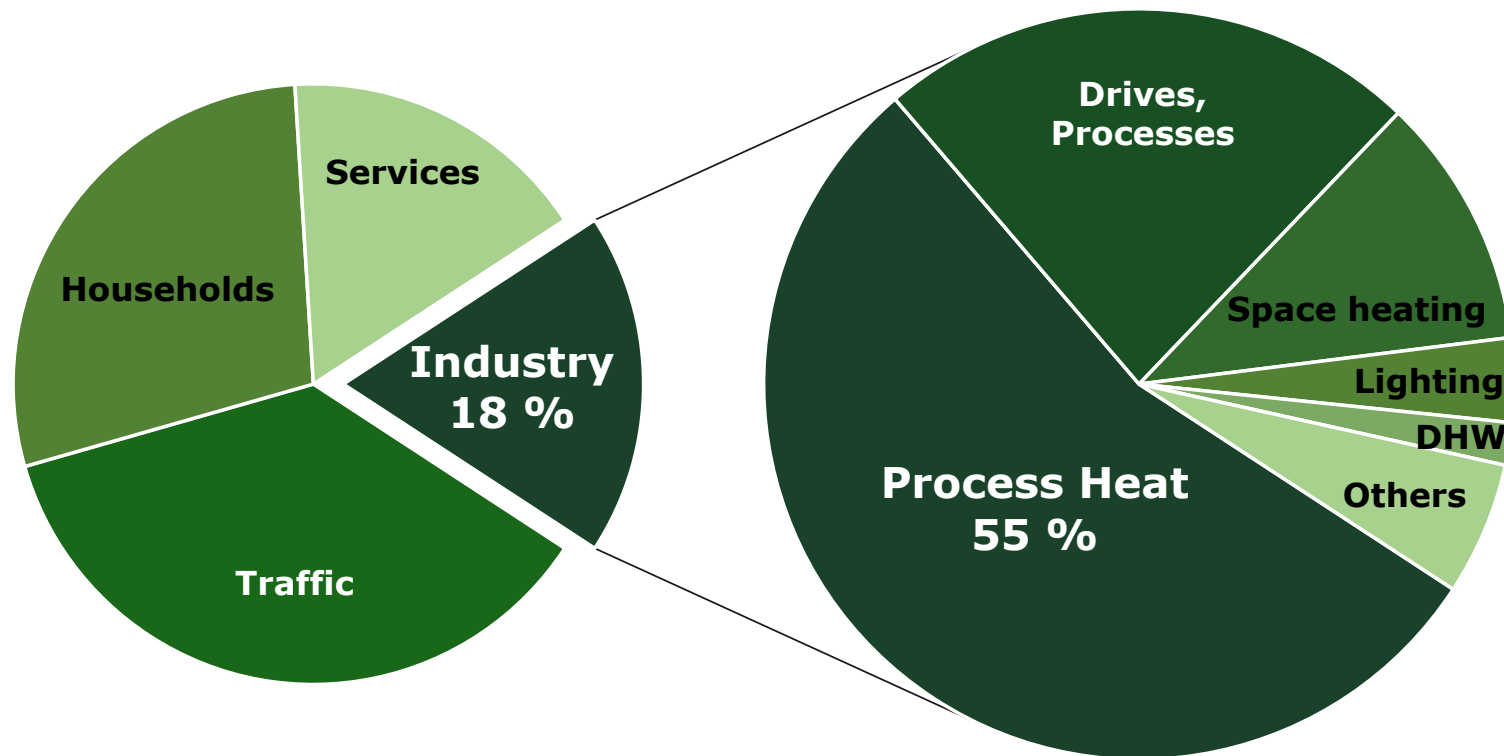
Vision einer klimaneutralen Schweiz 2050...



Quelle: SWEET DeCarbCH (2025) – Gianfranco Guidati

Energieverbrauch der Schweizer Industrie

Ca **18%** des Schweizer Energieverbrauchs wird in der Industrie eingesetzt.
Mehr als die Hälfte davon für **Prozesswärme**.



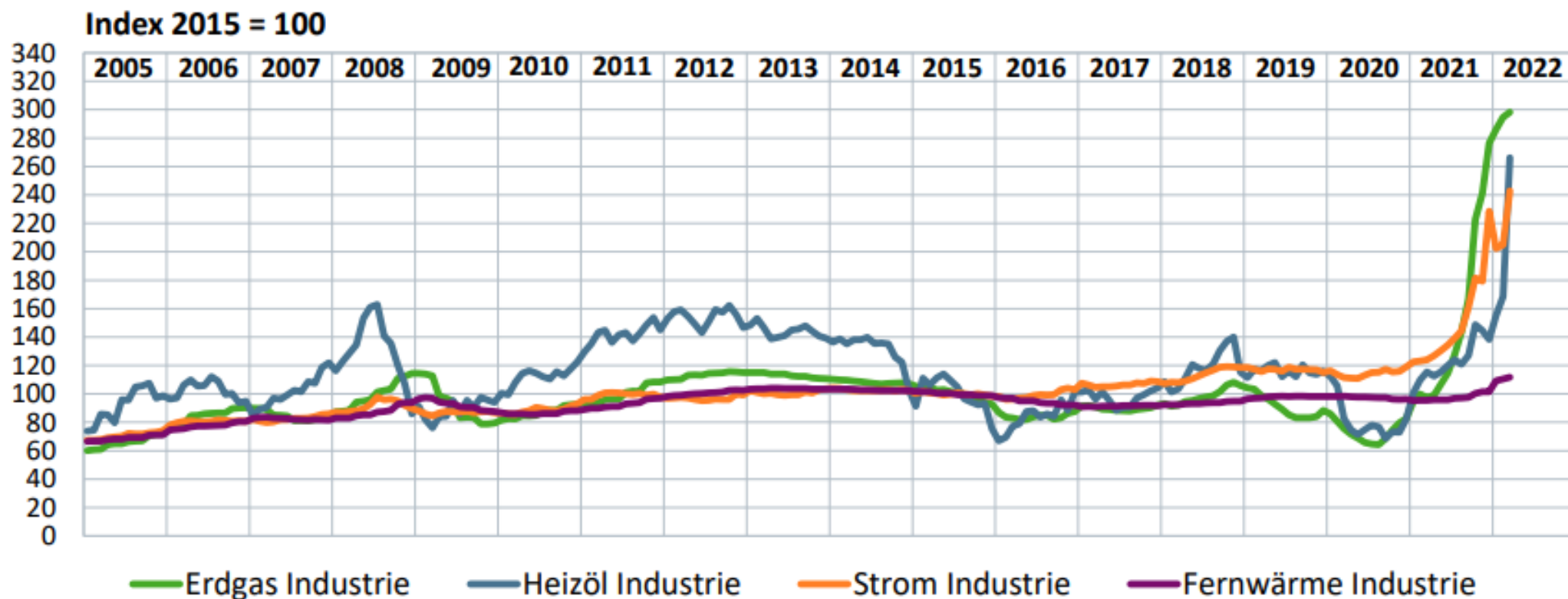
Ca 80% dieser Wärme stammt aus fossilen Quellen

Welche Lösung ist die beste?



Energie scheint vorhanden...

Energiepreisentwicklung Industrie

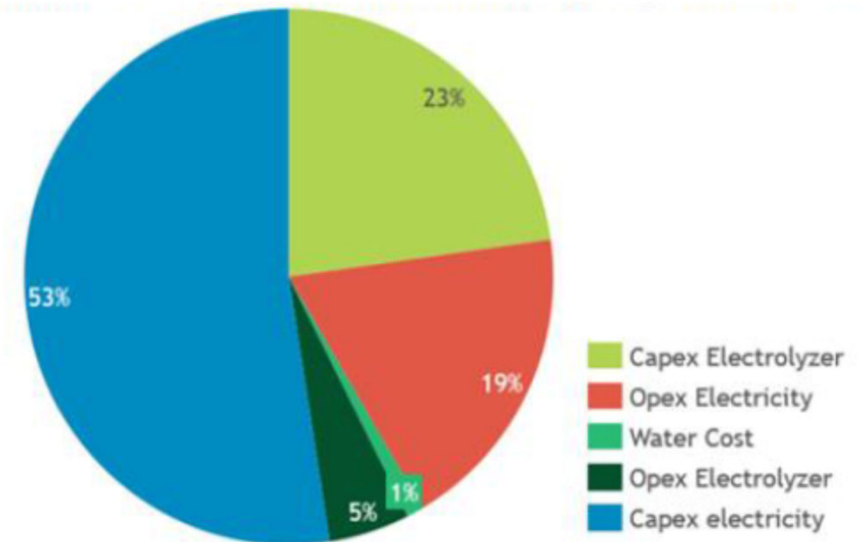


Quelle: Destatis (FS 17, R 2)

Die Grafik zeigt die Preisentwicklung (indexierte Preissteigerungsraten, **keine absoluten Brennstoffpreise**) bei Heizöl, Gas, Strom und Fernwärme für Industrie seit Januar 2001 bezogen auf das Basisjahr 2015 (Jahresdurchschnitt); Stand 04/2022 (Daten bis einschl. Mrz. 2022 verfügbar)

Warum (nicht) Wasserstoff?

- Viele gute Argumente für H₂
 - Grün
 - Speicherbar
 - Emissionsfrei
 - Strom und Hochtemperaturwärme
 - ...
- Aber auch einige Herausforderungen
 - Wirkungsgrad
 - Produktionskosten
 - Energieverbrauch
 - Speicheurng



Wasserstoff für schwer abbaubare Sektoren

- Hochtemperaturwärme / Kraft Wärme Kopplung
 - Zement
 - Metall
 - Chemie
- Speicherbarkeit
 - Flugverkehr
 - Schwerverkehr

**H₂,
CH₄**



Wege zur Dekarbonisierung der Prozesswärme

Biomasse-zu-Wärme



71 PJ/a nachhaltig (BFE, CH)
(19.7 TWh/a)



82 PJ/a Prozesswärme
(22.8 TWh/a)

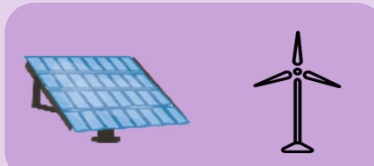


Wichtiger Rohstoff

Nur für
Hochtemperatur-Wärme

Wo immer
möglich!

Strom-zu-Wärme



1 kWh

Wärme-
pumpen



2 bis 4 kWh

Direkt-
heizung



1 kWh

Synthetische
Brennstoffe



0.5 bis 0.7 kWh

Maximale Temperatur

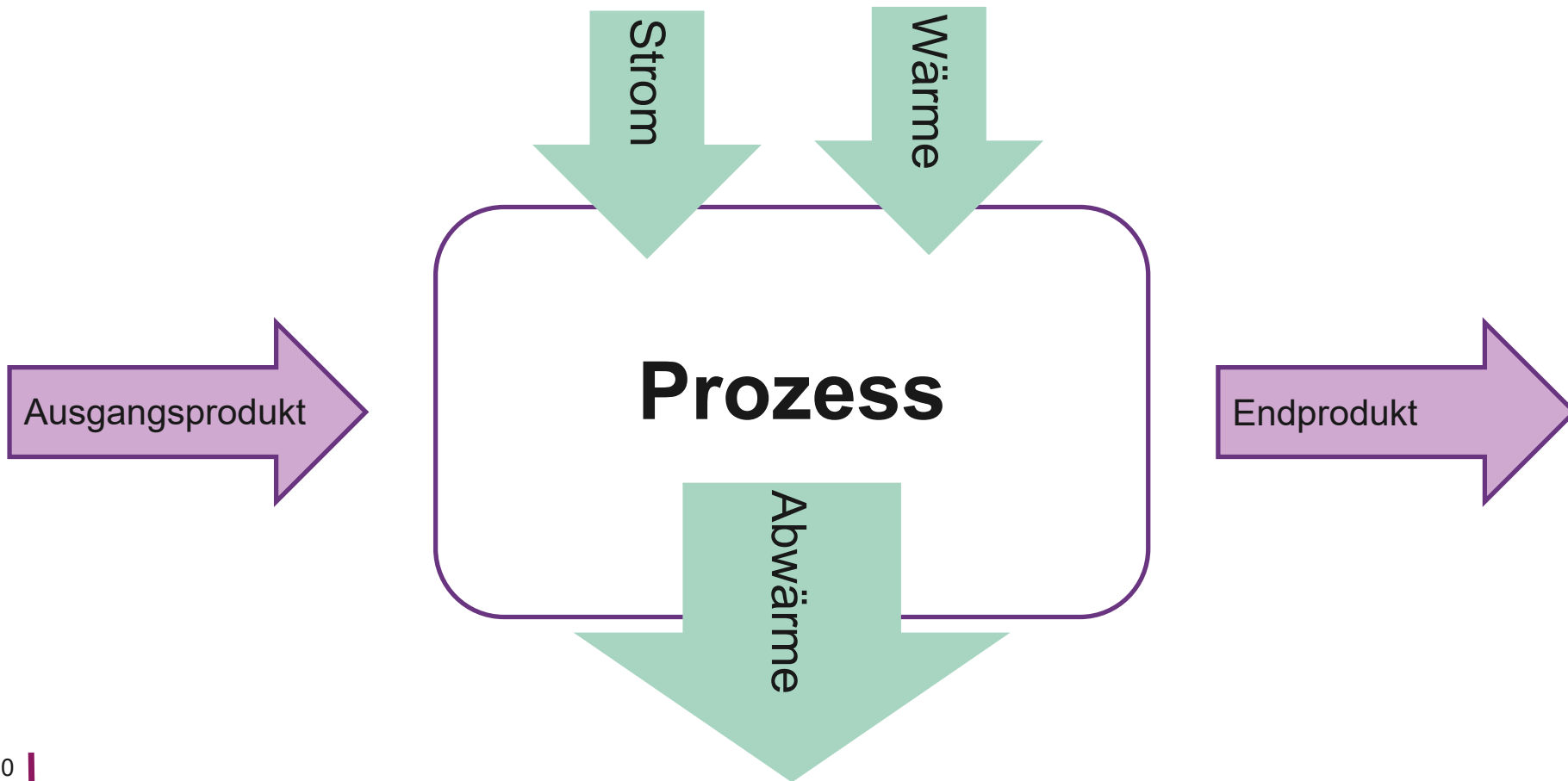
Datenquelle: ETHZ, OST



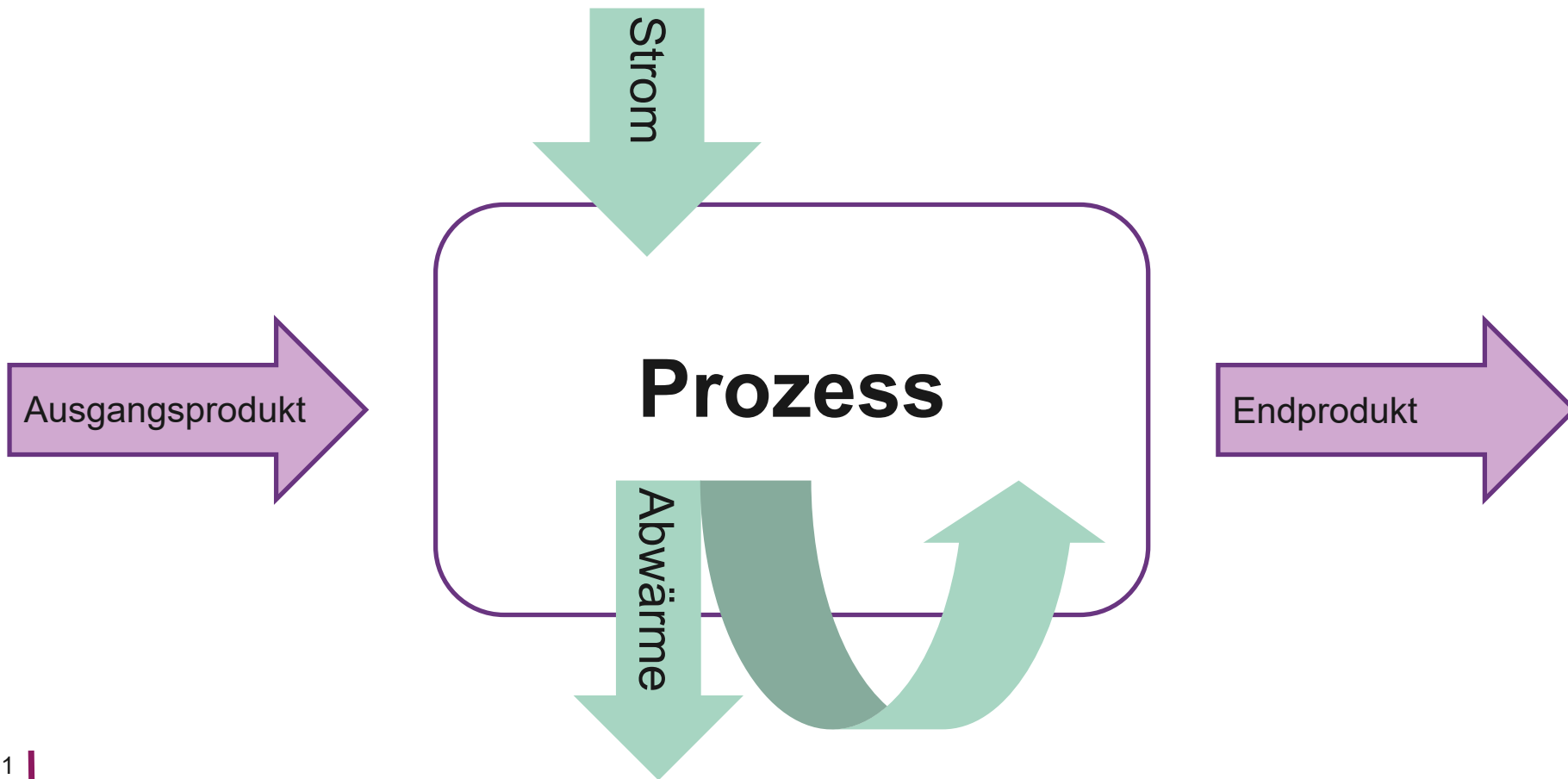
Dekarbonisierung der Industrie ist schwierig

- Wie viel Energie brauche ich tatsächlich?
- Was kostet die Umsetzung?
- Wer kann mich unterstützen?
- Wo ist das ökonomische Optimum?
- Ist das neue System flexibel genug?
- Wo finde ich den Platz?
- Was macht volkswirtschaftlich Sinn?

Typischer Herstellungsprozess



Typischer Herstellungsprozess - optimiert

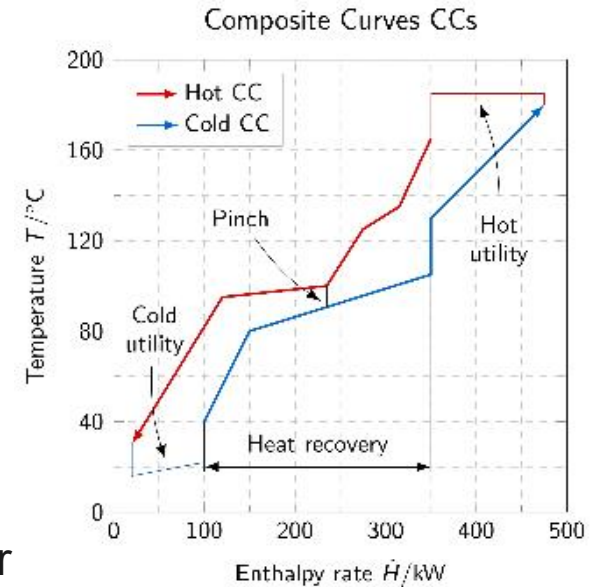


Wege zur Dekarbonisierung in der Industrie

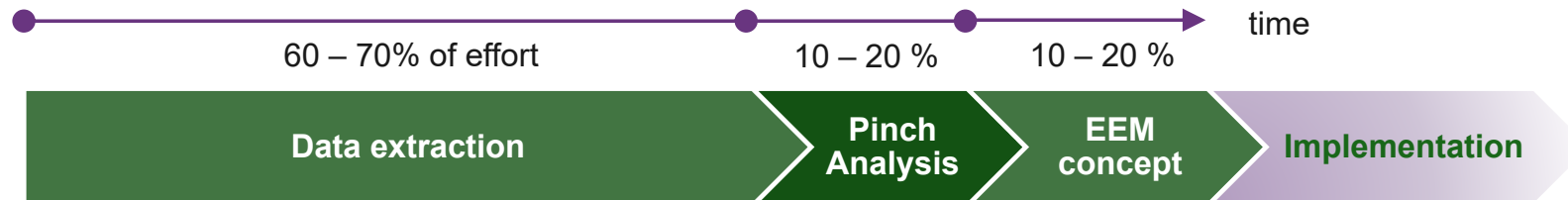
- **Energiedaten erheben**
 - Leistungen, Energien, Temperaturen
- **Energieanalyse**
 - Pinchanalyse oder ähnliche Tools
- Konzeptentwicklung
- Umsetzung
- Monitoring
- Optimierung



Kosten und Zeitbedarf
Daten oft nicht verfügbar



Grafik: Beat Wellig (HSLU)



Energieanalysen der Schweizer Industrie

Auswertung von 70 Pinch Analysen in der Schweizer Industrie, die ca 10% des Gesamtenergieverbrauchs ausmachen:

	ökonomische EEM	Alle EEMs
Jährliche Energieeinsparungen	330 GWh/a	407 GWh/a
Kosten:		
Nötige Investitionen	49.2 Mio. CHF	87.3 Mio. CHF
Jährliche Einsparungen	27.4 Mio. CHF/a	32.0 Mio. CHF/a
Spezifische Kosten pro eingesparter MWh/a	150 CHF/(MWh/a)	215 CHF/(MWh/a)
CO₂:		
Jährliche CO ₂ Einsparung	58'900 t CO ₂ /a	73'100 t CO ₂ /a
Spezifische Investitionskosten pro CO ₂ /a	835 CHF/(t CO ₂ /a)	1'194CHF/(t CO ₂ /a)
Hochrechnung auf 10 Jahre		
Kosteneinsparung	225 Mio. CHF	233 Mio. CHF
Kosteneinsparung pro gesparte Tonne CO₂	382 CHF/t CO₂	318 CHF/t CO₂

Es gibt noch viele CO₂-Sparpotentiale in der Industrie, die wirtschaftlich attraktiv sind!

Rechtlicher Kontext

Art. 5 Fahrpläne für Unternehmen

Fahrpläne für Unternehmen müssen mindestens enthalten:

- a. eine **Bilanzierung** aller direkten und indirekten Emissionen;
- b. eine **Beschreibung der bestehenden klimarelevanten Anlagen und Prozesse**;
- c. eine **Beschreibung der technischen Lösungen**, die zur Verminderung von Treibhausgasemissionen oder zur Anwendung von Negativemissionstechnologien (NET) führen können;

...

KIV

Klimaschutz-Verordnung
(KIV)

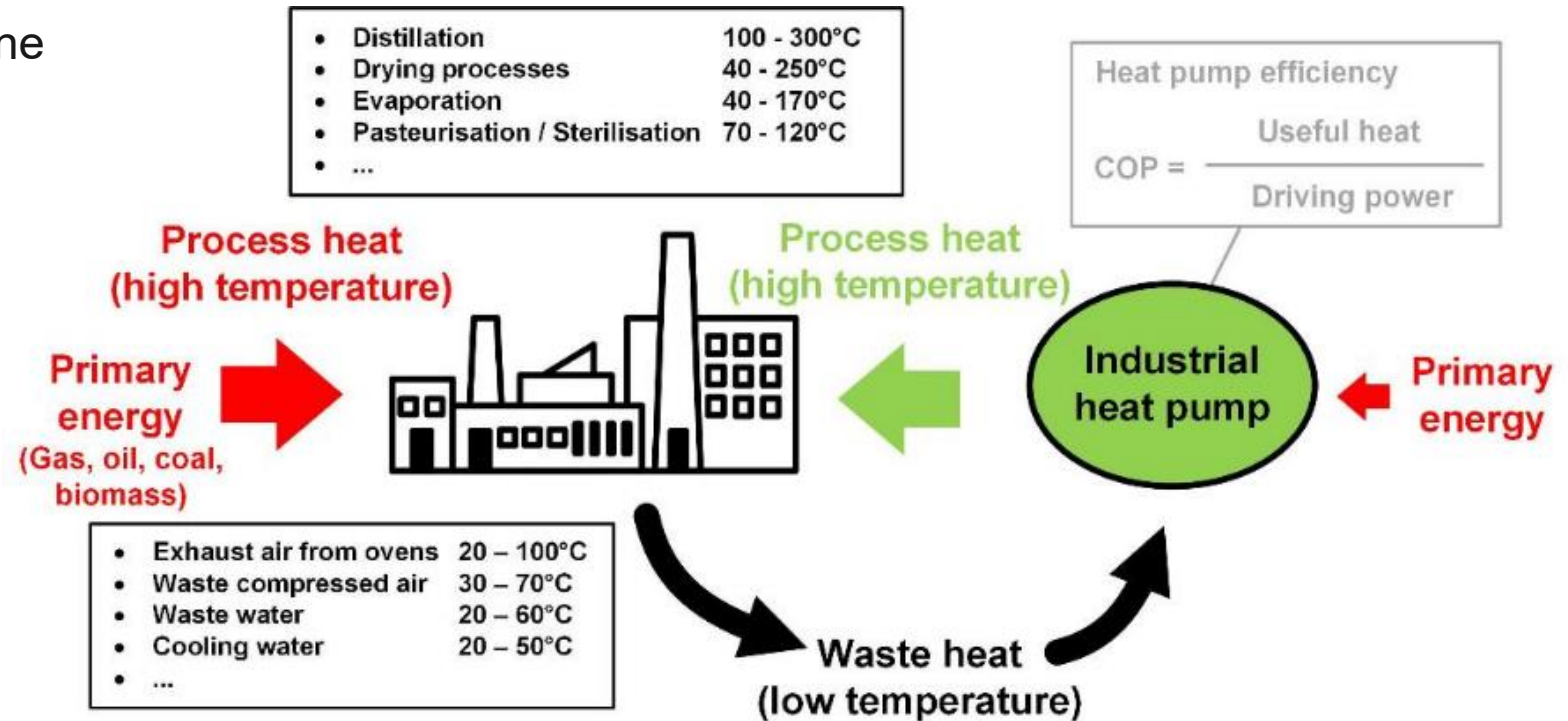
OCI

Ordonnance sur la protection
du climat (OCI)

Lösungsansätze

Einbindungsebenen

- Geräte / Prozessebene
- Systemebene
- Quartierebene



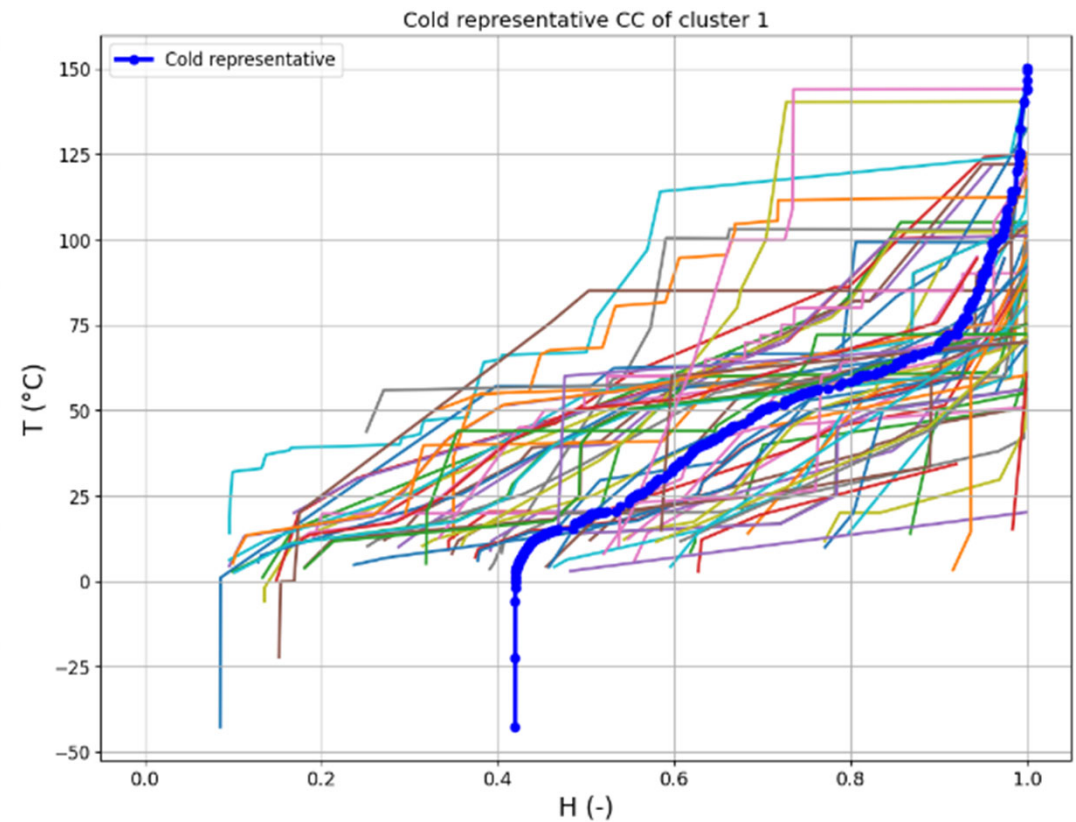
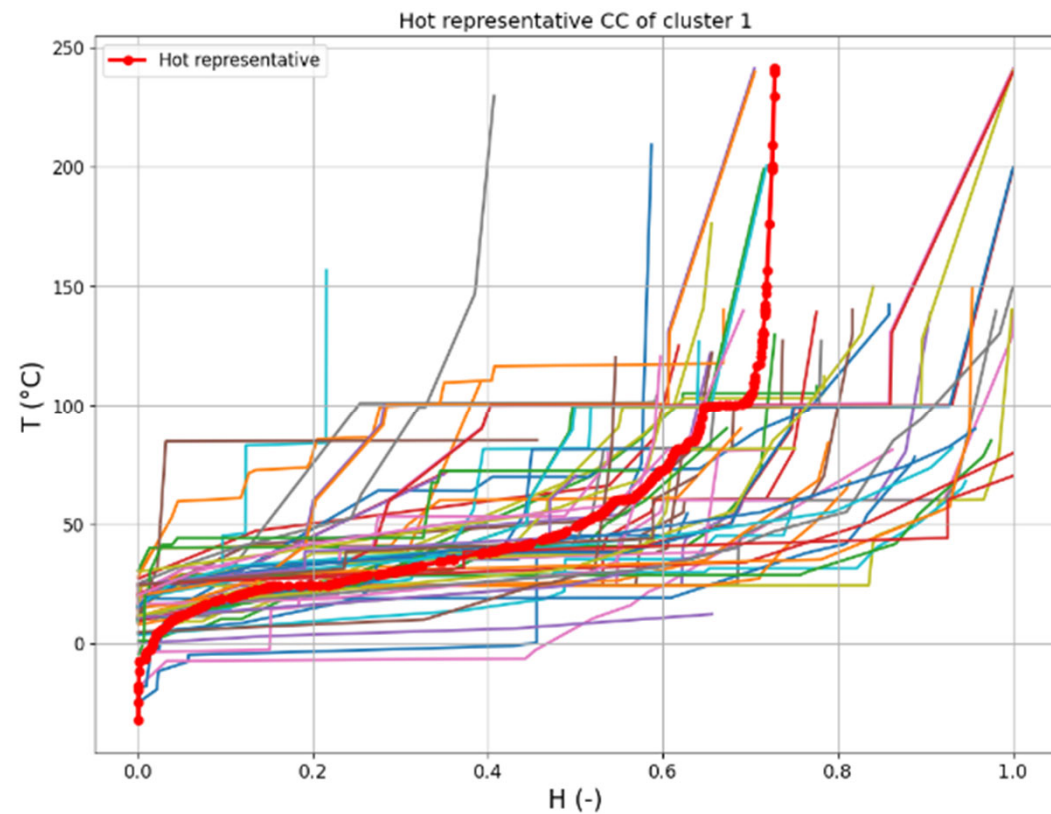
Grössere Systemgrenze führen zu grösserem Potential, aber auch steigender Komplexität

Lösungsansätze

Erstellung repräsentativer CCs

DECINE

Mit Hilfe der **Pinch Methode** werden normierte “Composit Curves” erstellt



Martin Patel / Benjamin Ong / Beat Wellig / Frederic Bless



Lösungsansätze

Charakterisierung von Energieprofilen

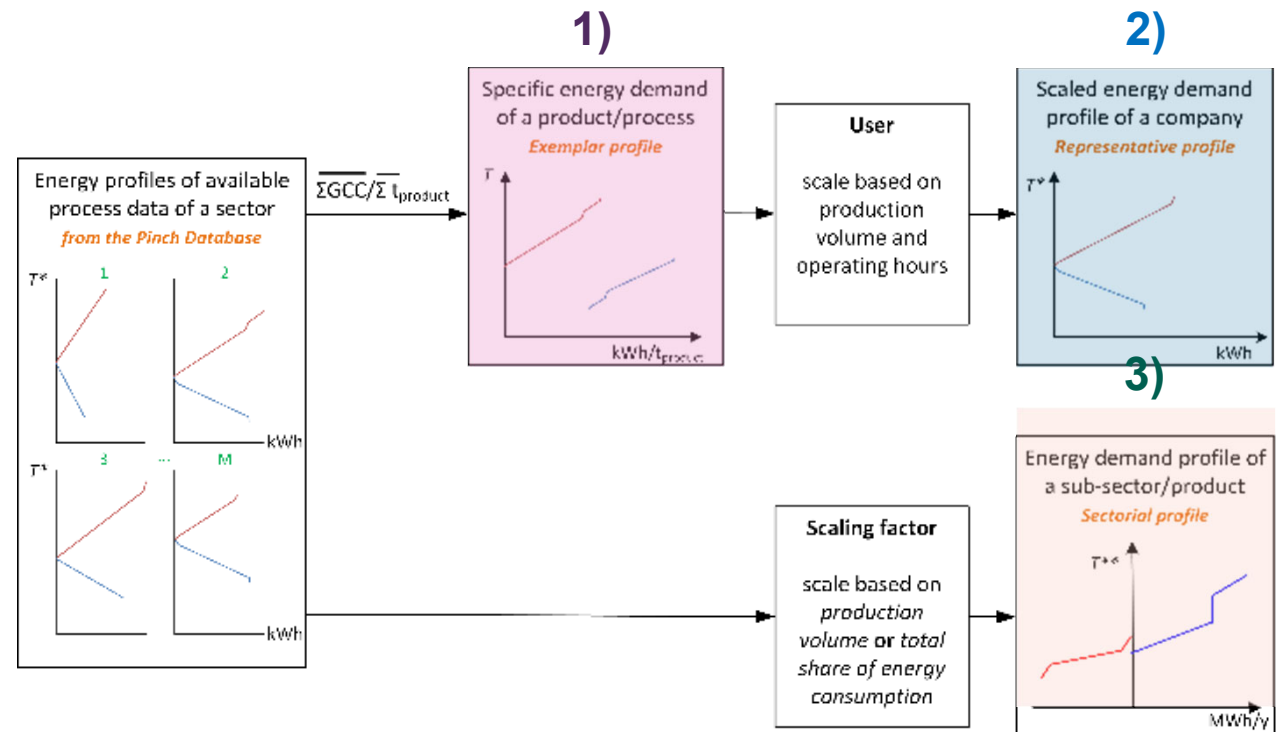
Drei Typen von Profilen entwickelt
(Energie und Temperatur):

1) Exemplar profiles: product- or process-specific

2) Representative profiles ⁽¹⁾: company level, scaled-up from exemplar profiles

3) Sectorial profiles ⁽²⁾:

- Sector-wide profiles
- Product-specific profiles



(1) Bhadbhade (2023), Technology and Investment Options for Total Final Energy Reduction and CO₂ Abatement in the Swiss Industry, PhD Thesis, University of Geneva

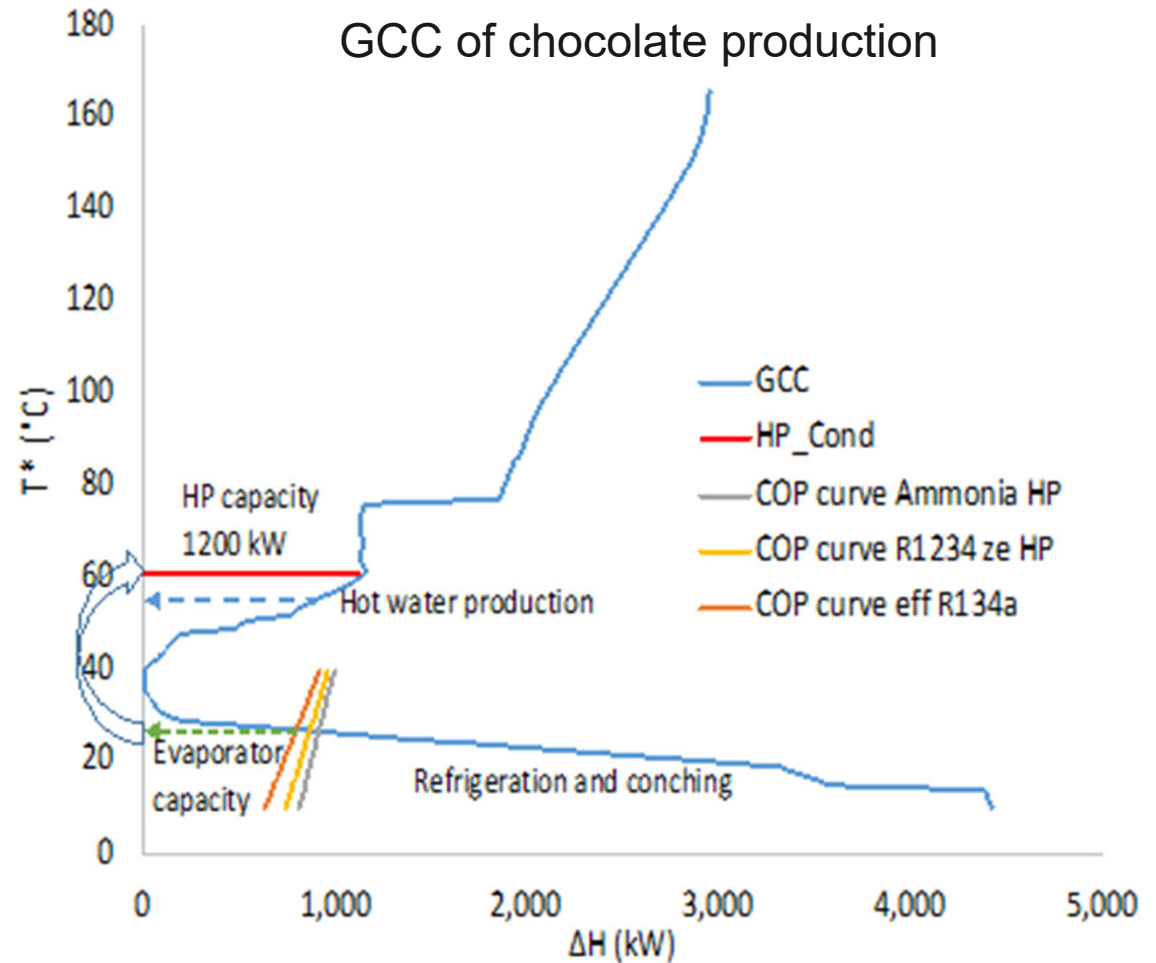
(2) Ong et al. (2023), Characterizing sector-wide thermal energy profiles for industrial sectors, Energy, 282, 129028

Lösungsansätze

Beispiel 1: Nahrungsmittelindustrie

Prozessintegration als Basis für die optimale Integration und Umsetzung von

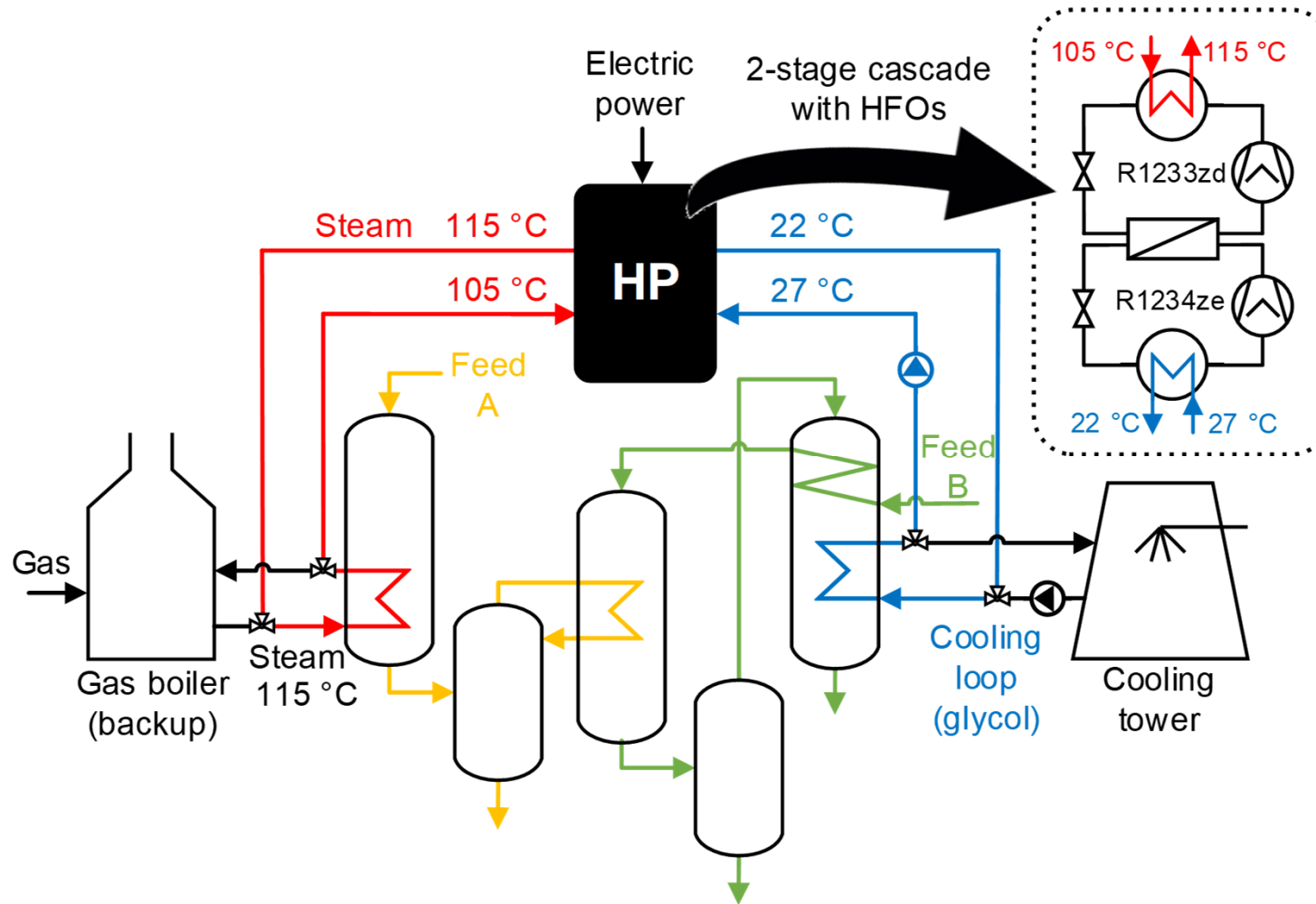
- **Energieeffizienz Massnahmen**
- **Einbindung erneuerbarer Energien**
- Abwärmenutzung (z.B. in der Fernwärme)
- **Negativen Emissionen (NETs)**



Bhadbhade et al., submitted

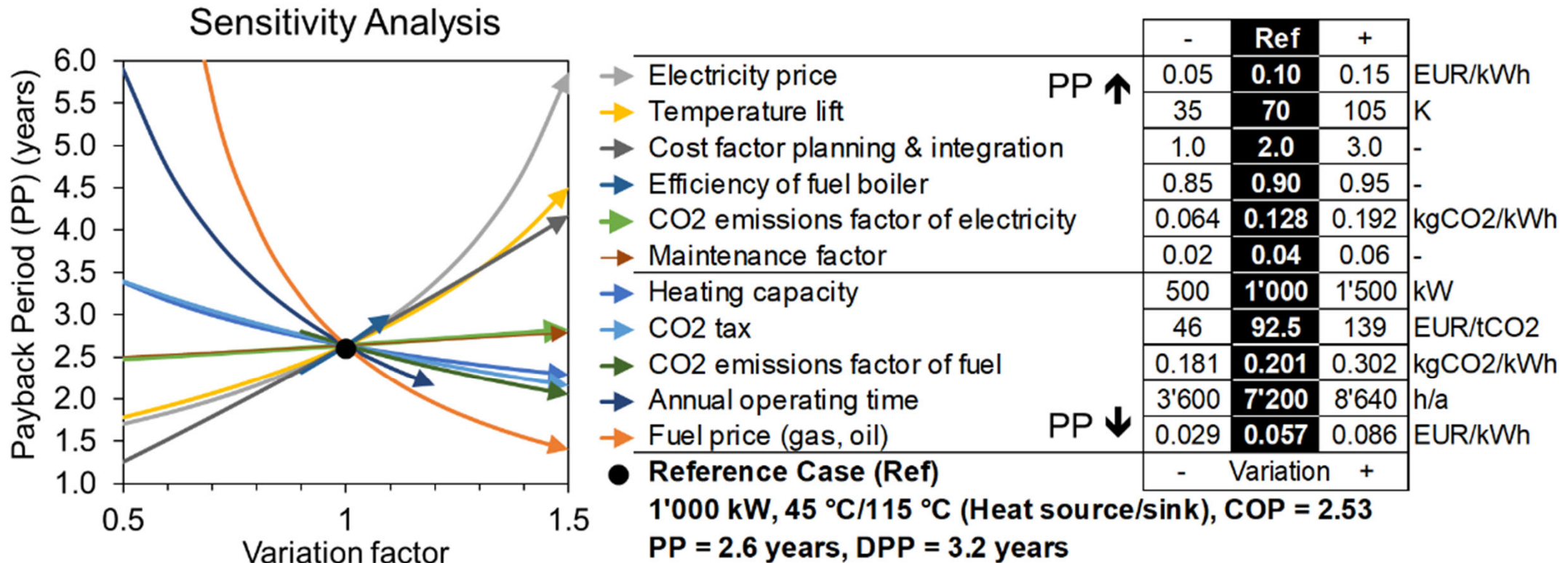
Destillationsprozess eines Schweizer Biopharma Produzenten

Beispiel 2: Wärmepumpenintegration



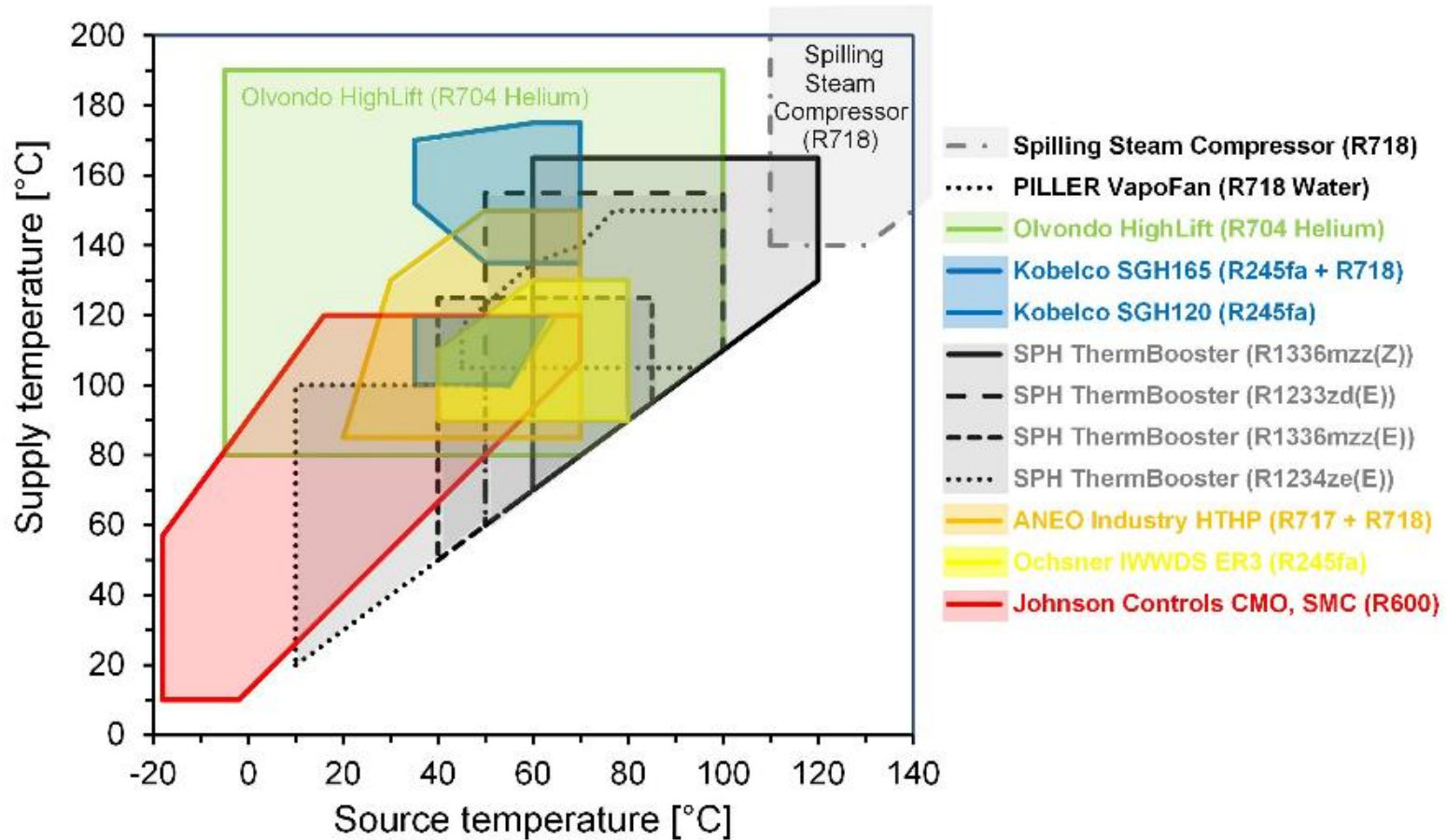
Wirtschaftlichkeit

Paybackzeit für eine Anwendung bei 45/115°C mit 1 MW



Lösungsansätze

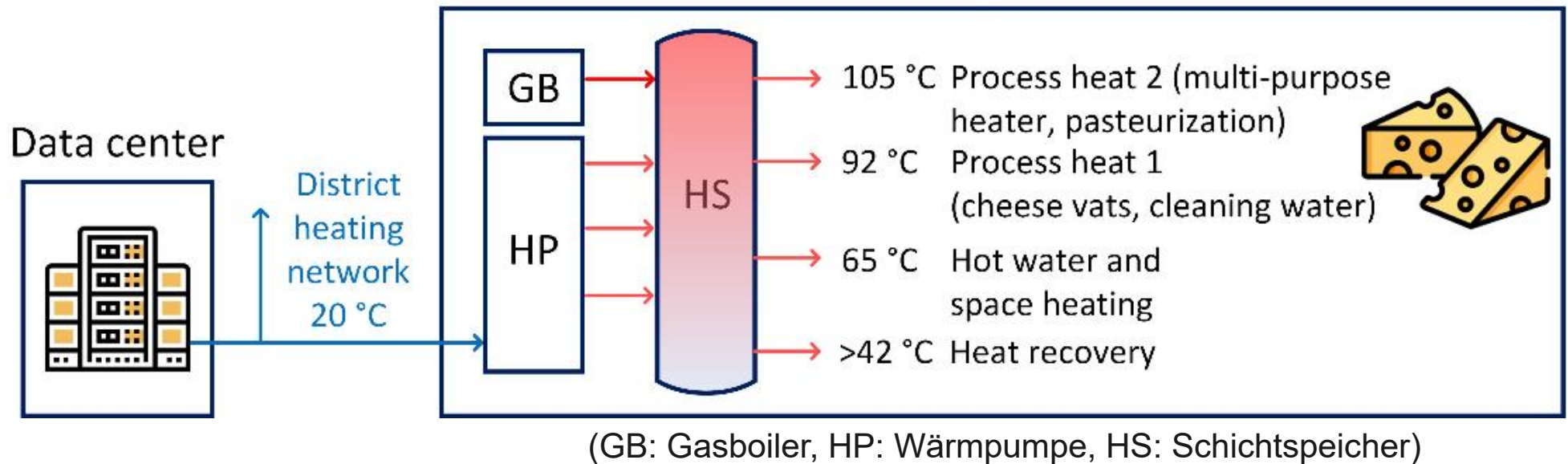
Industrielle Wärmepumpen



Lösungsansätze

Anwendungsbeispiel Käserei

Käserei in Gais Appenzell



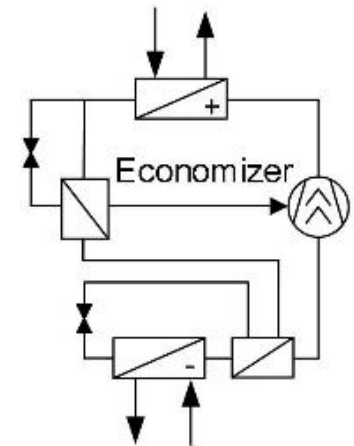
- Abwärme eines Datacenters wird mit ca 20 °C über ein Nahwärmenetz verteilt. In der Käserei wird diese Wärme dann verwendet, um Prozesswärme zu bereitzustellen.
- Einsparpotential: ca 1.5 Mio kWh pro Jahr!

Lösungsansätze

Anwendungsbeispiel Käserei



- Typ: IWWHS 570 ER6c2
- Kreislauf: Economizer
- Wärmekapazität: ~ 520kW
- Kompressor: 2-st. Schraube
- Kältemittel: HFO R1234ze(E) (130 kg, safety group: A2L)
- In Betrieb seit 2020/21



COP vs. Temperaturhub

- W18/W92: 74 K lift → 2.55 to 2.85
- W18/W65: 47 K lift → 3.75 to 4.20

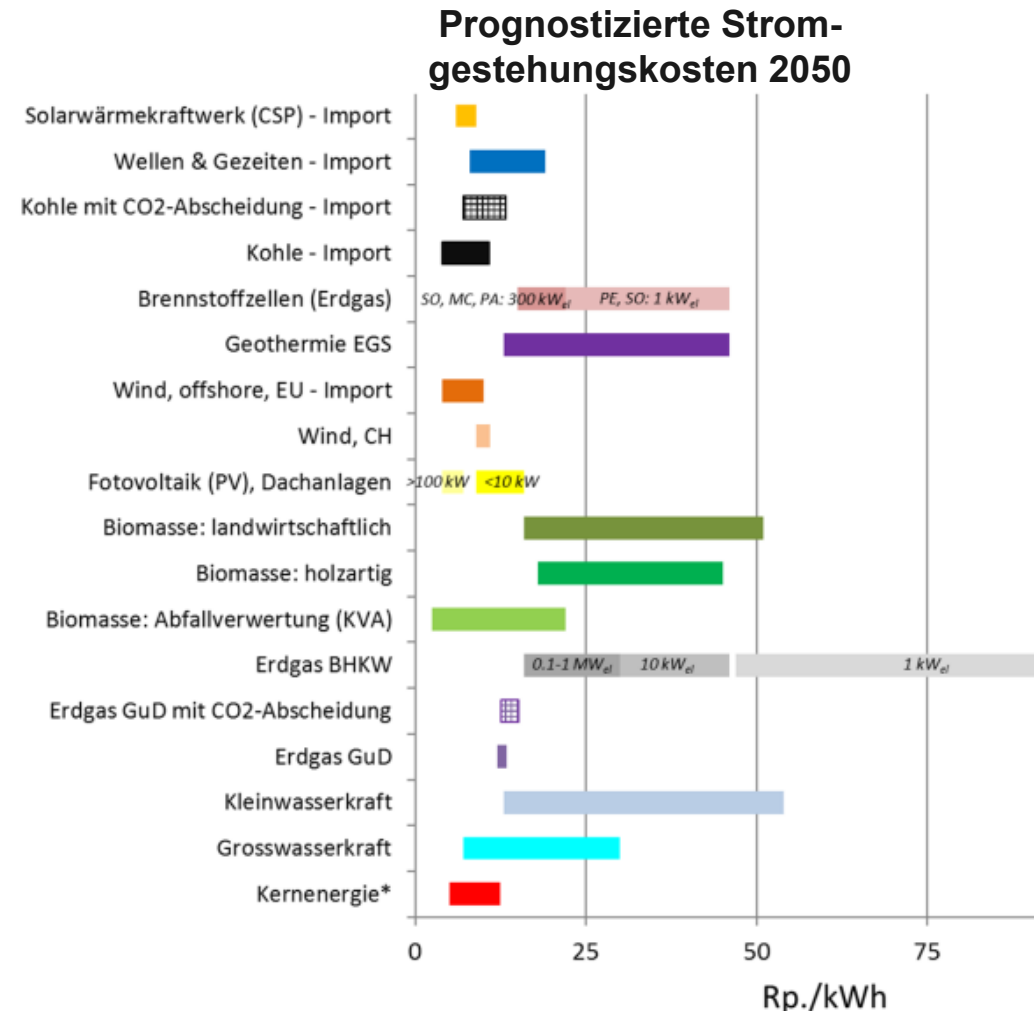
Heat
Pumping
Technologies
MAGAZINE



VOL.37 NO 2/2019

Energiewende als Chance

- **Unabhängigkeit**
 - Reduzierter Einsatz fossiler Energieträger
 - Lokale Wertschöpfung
 - Kreislaufwirtschaft
- **Stabilität**
 - Preisstabiler
 - Unabhängig von geopolitischer Lage
 - Klimaneutral
- **Kostenersparnis**
 - Schnelle Umstellung langfristig günstiger
- **Gesteigerte Wettbewerbsfähigkeit**
 - Export von Lösungen
 - Nachhaltige Produkte



Quelle: Potenziale, Kosten und Umweltauswirkungen von Stromproduktionsanlagen; PSI im Auftrag de BFE

Politische Rahmenbedingungen

- **Stabilität**
 - Förderungen
 - Rahmenbedingungen
 - Langfristige Ziele
- **Kredite**
 - Risikoabfederung
 - Erneuerbare & Energieeffizienz bedingen hohe Investitionen
 - Langfristig denken
- **Innovation / Forschung fördern**
 - Fachkräfteentwicklung
 - Pilotprojekte

Zielbild klimaneutrale Schweiz 2050



Weitere Informationen

- Wiki für Wärme- und Kälteversorgung in der Industrie
 - <https://www.sweet-decarb.ch/wiki-filter>
- Events DeCarbCH (viele Videos & Lunchtalks)
 - <https://www.sweet-decarb.ch/events>
 - <https://www.sweet-decarb.ch/news> (Newsletter Sign-up)
- Informationen zu Hochtemperatur-Wärmepumpen
 - <https://www.ost.ch/de/forschung-und-dienstleistungen/technik/systemtechnik/ies/publikationen>

Energieoptimierung in der Industrie

Weiterbildung



**WEITERBILDUNG
INDUSTRIELLE
WÄRMEPUMPEN**

Ein Viertages-
Kurs am OST
Campus Buchs

WO WISSEN WIRKT.

OST
Ostschweizer
Fachhochschule

- **Tag 1**
Modul 1: Rahmenbedingungen
Modul 2: Wirtschaftlichkeit und Markt
- **Tag 2**
Modul 3: Technologie
Modul 4: Integration und Fallbeispiele
- **Tag 3**
Praxis im Schulungslabor (Labormodule I-IV)
- **Tag 4**
Exkursion

2 Durchführungen 2025

Dates:

Day 1: March 10, 2025
Day 2: March 11, 2025
Day 3: March 31, 2025
Day 4: April 1, 2025

Termine

1. Tag: 1. September 2025
2. Tag: 2. September 2025
3. Tag: 22. September 2025
4. Tag: 23. September 2025

Zusammenfassend: Es gibt viel zu tun

- Potentiale in der Industrie sind gross, die Umsetzung jedoch anspruchsvoll
- Ohne saubere Energieanalyse wird's schwierig
 - Datenverfügbarkeit ist entscheidend
- Je nach Betrieb unterscheiden sich die optimalen Lösungen signifikant
- «Neue» Technologien drängen auf den Markt
- Das Informationsangebot und die Erfahrung nimmt ständig zu
- Die Transformation sichert Wettbewerbsfähigkeit und Jobs