

28. April 2026

Herzlich willkommen zum KEDi Webinar

Abwärme effizient nutzen —
Strategien und Analyseansätze
für Industrie-KMU

Ein Projekt der

dena

Was erwartet Sie heute?

Highlights des Webinars



- **Impuls des Kooperationspartners BVMW**
(Karla Steinecke, BVMW)
- **Abwärmenutzung: Rahmenbedingungen & Förderung**
(Jens Jäger, dena)
- **Digitale Erfassung und Bewertung von Wärmeströmen**
(Martin Meilick, KEDi)
- **Pinch Analyse „Light“: Wärmepotenziale systematisch erschließen**
(Karsten Liebmann, EnPrOpt GmbH)
- **Praxisbeispiel: Abwärme aus Druckluft nutzen**
(Sascha Thomas, IPT Pergande GmbH)

Allgemeine Informationen



Webinar wird
aufgezeichnet



Fragen gerne
im Chat stellen



Mikrofone sind
stumm geschaltet



Vortragsfolien erhalten
Sie im Nachgang

Allgemeine Informationen



- **Fortbildungsanerkennung:** Als Energieeffizienz-Expert:in können Sie sich das Webinar als Fortbildung anerkennen lassen.
- Anfrage an info@kedi-dena.de: Wir senden Ihnen die Teilnahmebescheinigung nach dem Webinar zu.

Das KEDi: Kompetenzzentrum für Energieeffizienz durch Digitalisierung

Vorstellung KEDi



Seit **2023** ist das KEDi als bundesweite Anlaufstelle mit Sitz in **Halle (Saale)** aktiv. Es ist ein Projekt der **dena** (Deutsche Energie-Agentur) und unterstützt **Industrie-KMU** sowie die **Gebäudewirtschaft** dabei, **Energieeffizienzpotenziale durch Digitalisierung** besser zu erschließen.

Angebote und Tools

- **EMS-Finder:** Webtool, das KMU die Auswahl eines Energiedaten-Management-Systems erleichtert
- **Förderwegweiser:** Webtool, das die Recherche passender Förderung im Industrie- und Gebäudebereich erleichtert
- **Showcases:** gute Beispiele, die zeigen, wie Digitalisierung die Energieeffizienz verbessert, u. a. Innospec Leuna, Ornuua GmbH

Drei akute Herausforderungen für KMU

- **Energiekosten**
- **Versorgungssicherheit**
- **Wettbewerbsfähigkeit**

Keine strategischen Zukunftsfragen mehr – sondern betriebswirtschaftliche Realität.

Warum Abwärme ein Wirtschaftsthema ist

- In nahezu jedem produzierenden Betrieb entstehen ungenutzte Wärmeströme.
- Gleichzeitig wird teuer Energie eingekauft.

- Der externe Druck steigt:
 - CO₂-Kosten · Effizienzanforderungen · Berichtspflichten
- Die Frage vieler Unternehmen:
 - **„Wo sollen wir anfangen?“**
- Antwort des BVMW:
 - **„Dort, wo Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit zusammenfallen.“**





Jens Jäger, 28.04.2026, KEDi Webinar

ABWÄRMENUTZUNG: Rahmenbedingungen und Förderung

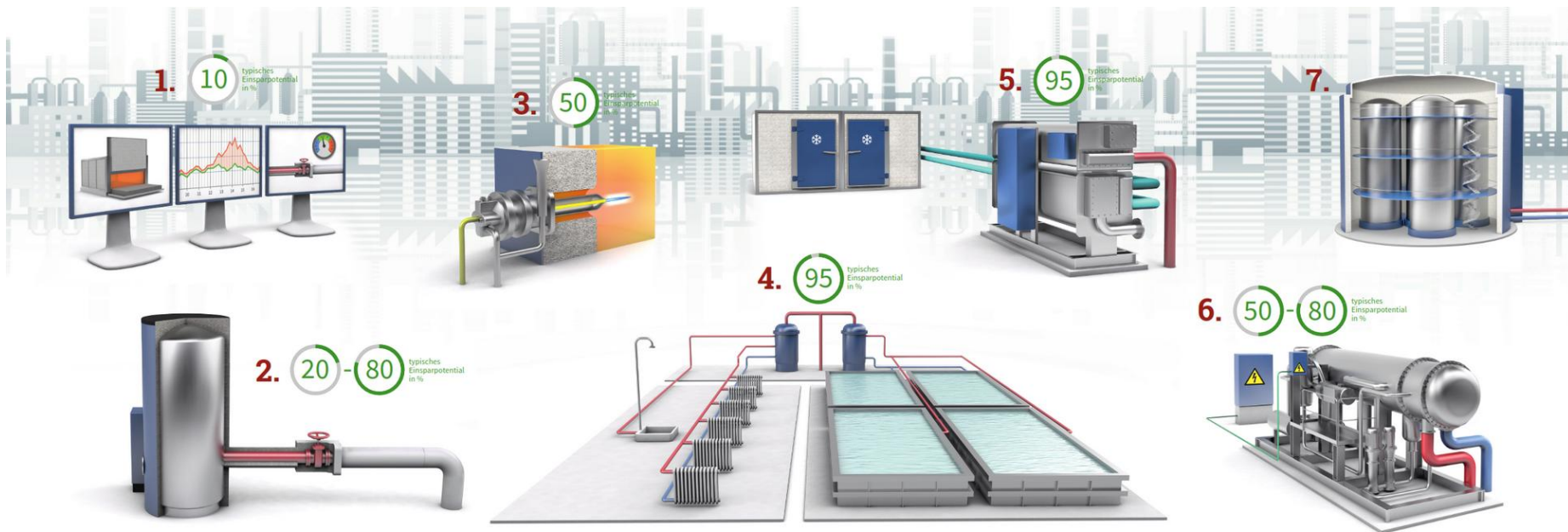
Gliederung

- Einführung ins Thema
- Rahmenbedingungen
- Finanzierung und Förderung
- Fragen und Antworten

Abwärmepotenziale – größer als gedacht

- Die Datenlage zu vorhandenen Abwärmepotenzialen ist unsicher: Meist keine Erfassung kleinerer oder diffuser Quellen oder Niedertemperaturen
- Brückner, Sarah (2016): Industrielle Abwärme in Deutschland. Doktorarbeit, TU München: Potenzial für Deutschland von etwa 64 bis 70 TWh pro Jahr. **Einsparpotenzial: 19 Mio t CO_{2e} im Wärmemarkt**
- Mit dem Energieeffizienzgesetz (EnEfG 2023) werden unternehmensspezifische Potenziale erhoben: > 3.000 Firmen, > 26.000 Abwärmepotentiale (-quellen), **254 TWh Abwärme pro Jahr**
- Wirtschaftliche Potenziale sind technologie- und energiepreisabhängig
- Potenzialstudien einzelner Bundesländer zu industrieller Abwärme verfügbar

MAßNAHMEN ZUR ABWÄRMENUTZUNG



- | | | | | | | |
|---|---|--|---|---|--|---|
|  <p>1. Prozess-optimierung</p> <p>Die Optimierung von Prozessen steht an erster Stelle. Sie verfolgt das Ziel, die Entstehung von Abwärme mittels effizienter Technologien und bedarfsgerechten Betriebsweisen so gering wie möglich zu halten.</p> <p>Temperaturbereich: bis 2.000 °C</p> |  <p>2. Dämmung</p> <p>Wärmeverluste können durch eine konsequente Dämmung von Anlagen, Rohren und Einbauten - wie Flansche, Armaturen und Ventile - vermieden werden. Eine optimale Dämmung kann die Energiekosten erheblich reduzieren.</p> <p>Temperaturbereich: bis 1.000 °C</p> |  <p>3. Brennluft-vorwärmung</p> <p>Bei hohen Temperaturen kann Abwärme in den Produktionsprozess zurückgeführt werden. Näherliegend ist es, diese Abwärme z.B. zur Vorwärmung von Verbrennungsluft einzusetzen.</p> <p>Temperaturbereich: 150 bis 600 °C</p> |  <p>4. Heizzwecke</p> <p>Abwärme kann ideal zur Raumheizung und Trinkwassererwärmung genutzt werden. Die Abwärme wird dabei direkt in das Heizsystem eingespeist. Dafür genügen oft bereits Temperaturen ab 40 Grad.</p> <p>Temperaturbereich: 40 bis 90 °C</p> |  <p>5. Kälte-erzeugung</p> <p>Abwärme kann mittels Absorptions-Kältemaschinen zu Kühlzwecken eingesetzt werden wodurch in der Regel elektrische Energie eingespart wird. Oft ist der Kühlbedarf dann hoch, wenn viel Abwärme zur Verfügung steht.</p> <p>Temperaturbereich: 80 bis 160 °C</p> |  <p>6. ORC (Organic-Rankine-Cycle)</p> <p>Im ORC-Prozess kann Abwärme zur Verdampfung einer organischen Flüssigkeit eingesetzt werden. Der Dampf wird für den Antrieb einer Expansionsmaschine genutzt, die über einen Generator elektrische Energie erzeugt.</p> <p>Temperaturbereich: 120 bis 400 °C</p> |  <p>7. Einspeisung in Wärmenetz</p> <p>Im Unternehmen intern nicht nutzbare Abwärme kann an Dritte, zum Beispiel benachbarte Unternehmen oder auch an das Nah- bzw. Fernwärmenetz zur Wärmeversorgung weitergegeben werden und dort die CO₂-Emissionen reduzieren.</p> <p>Temperaturbereich: 80 bis 150 °C</p> |
|---|---|--|---|---|--|---|



Gesetze und Regelwerke enthalten eigene Begriffsbestimmungen

Bisher keine einheitliche, verbindliche Definition von „Abwärme“ nach Norm.

- **EnEFG 2023 - Gesetz zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Änderung des Energiedienstleistungsgesetzes: Pflichten zur Vermeidung und Verwendung von Abwärme für Unternehmen und Rechenzentren (Novelle 2026 geplant)**
- GEG 2023 – Gebäudeenergiegesetz. Option zur Erfüllung der 65-Prozent-EE-Vorgabe
- WPG 2024 - Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze
- KWKG 2025 - Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz, EEG 2025 - Erneuerbare-Energien-Gesetz
- Bundesförderungen: EEW (Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft), BEW (effiziente Wärmenetze), BEG (eff. Gebäude)
- DIN V 18599 (Energetische Bewertung von Gebäuden)
- DIN EN ISO 50001 (Energiemanagementsysteme)
- AGFW – Regelwerke / Abwärmeleitfaden

Pflichten zur Vermeidung und Verwendung von Abwärme (§8, §9 EnEfG)

- Pflicht zur Einführung eines EMS oder UMS
- Erfassung von versch. techn. Parametern und die Prüfung der Möglichkeit für Maßnahmen zur Abwärmerückgewinnung oder –nutzung
- Darstellung technisch realisierbarer Endenergieeinsparmaßnahmen sowie Maßnahmen zur Abwärmerückgewinnung und –nutzung
- 20 Monate Übergangsfrist sowie Ausnahme von der Auditpflicht während dieser Übergangszeit
- Pflicht zur Erstellung und Veröffentlichung von konkreten, durchführbaren Umsetzungsplänen
- Umsetzungspläne und die aufgrund fehlender Wirtschaftlichkeit nicht erfassten Endenergieeinsparmaßnahmen sind vor der Veröffentlichung durch Zertifizierer, Umweltgutachter oder Energieauditoren zu bestätigen
- Wirtschaftlichkeitsbewertung nach DIN 17463 (sog. VALERIE)

Schwellenwert Gesamtenergieverbrauch:

Geltendes Recht (§ 8): **> 7,5 GWh**

Änderungen Gesetzesentwurf: **> 23,6 GWh**

Schwellenwert Gesamtenergieverbrauch:

Geltendes Recht (§ 9): **> 2,5 GWh**

Änderungen Gesetzesentwurf: **> 2,77 GWh**

dena

Plattform für Abwärme (§17 EnEfG)

Geltendes Recht (EnEfG):

- (1) Unternehmen sind auf Anfrage von Betreibern von Wärmenetzen oder Fernwärmeversorgungsunternehmen und sonstigen potenziellen wärmeabnehmenden Unternehmen verpflichtet, Auskunft zu geben über die folgenden Informationen in Bezug auf die im Unternehmen anfallende unmittelbare Abwärme:...
 - die jährliche Wärmemenge und maximale thermische Leistung,
 - die zeitliche Verfügbarkeit in Form von Leistungsprofilen im Jahresverlauf,
 - die vorhandenen Möglichkeiten zur Regelung von Temperatur, Druck und Einspeisung,
 - das durchschnittliche Temperaturniveau in Grad Celsius

Änderungen Gesetzesentwurf:

- (1) Unternehmen können die folgenden Informationen in Bezug auf die im Unternehmen anfallende unmittelbare Abwärme an die Bundesstelle für Energieeffizienz übermitteln:...

Gesetz zur Beschleunigung der Umsetzung der Energieeffizienzrichtlinie

Ziele der Reform des Energieeffizienzgesetzes (EnEfG):

Anpassung der nationalen Vorgaben an die EU-Energieeffizienzrichtlinie (EED) und Reduzierung des Bürokratieaufwandes

- Anpassung des EnEfG an unionsrechtliche Mindestvorgaben
- Auditpflicht nach EDL-G künftig verbrauchsbezogen ab $\geq 2,77$ GWh, nicht mehr KMU-basiert
- Nationale Einsparvorgaben fallen weg; Stärkung des „Efficiency-First“-Prinzips

Zeithorizont:

- Referentenentwurf in Ressortabstimmung (Stand 9.4.2026)
- Die Überarbeitung soll frühestens 2026/2027 in Kraft treten

Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft (EEW)

Investitionsförderung für	EEW-Fördermodule bzw. -Programme	Abwärme-Technologie
Einzelmaßnahmen	Modul 1: Querschnittstechnologien	Wärmeübertrager
	Modul 2: Prozesswärme aus EE	Wärmepumpen
	Modul 3: Mess-, Steuerungs-, und Regelungstechnik, Sensorik und Energiemanagement-Software	Analog-Digital-Wandler, Datenlogger
	Modul 6: Elektrifizierung von kleinen Unternehmen	Abwärmevermeidung
Systemische Maßnahmen (inkl. Einsparkonzept)	Modul 4: technologieoffene Dekarbonisierung	Maßnahmen zur Abwärmevermeidung und -nutzung
	Förderwettbewerb: technologieoffene Dekarbonisierung	Maßnahmen zur Abwärmevermeidung und -nutzung
Konzeptionelle Maßnahmen	Modul 5: Transformationskonzept	Konzepte zur Abwärmevermeidung und -nutzung

EEW Modul 4: Energie- und ressourcenbezogene Optimierung von Anlagen und Prozessen – Premiumförderung und Dekarbonisierungsbonus

- Weitestgehend technologieoffene Förderung
- Nachweis von Treibhausgaseinsparungen anhand eines Einsparkonzeptes
- Beispiele förderfähiger Maßnahmen: Vermeidung von Abwärme, Prozess- und Verfahrensumstellungen, Maßnahmen zur Nutzung von Prozessabwärme (Erschließung, Bereitstellung, Einspeisung, Verstromung)
- Förderhöhe der förderfähigen Investitionskosten:
 - kleine Unternehmen bis zu 45 %
 - mittlere Unternehmen bis zu 35 %
 - Unternehmen ohne KMU-Status bis zu 25 %
- Zusätzlicher Dekarbonisierungsbonus für ausgewählte Maßnahmen in Höhe von bis zu 10 %
- Zinsgünstigen Kredits mit Tilgungszuschuss bei der KfW (www.kfw.de/295)
- Zuschussvariante: BAFA (www.bafa.de/eew)

EEW: Weiterführende Informationen

Informationen der Projektträger

- www.bafa.de/eev
- www.kfw.de/295
- www.wettbewerb-energieeffizienz.de

Aktuelle Richtlinien (Bundesanzeiger)

- [Zuschuss und Kredit](#)
- [Förderwettbewerb](#)
- [Merkblatt Modul 4](#)

A close-up photograph of a worker in a steel mill. The worker is wearing a dark jacket, a silver heat-reflective helmet, and yellow gloves. They are using a long-handled tool to manage a large, dark, cylindrical ladle filled with bright orange molten metal. The ladle is tilted, and a stream of the molten metal is being poured into a series of dark, cylindrical molds arranged in a row. The background is dark and industrial.

GIBT ES FRAGEN?

Jens Jäger
Senioexperte Industrie | Industrie,
Mobilität & Energieeffizienz
jens.jaeger@dena.de

dena

Martin Meilick | KEDi | 28.04.2026

Digitale Erfassung und Bewertung von Wärmeströmen

Grundlagen der Wärmestrommessung
in geführten Rohrleitungen

Ein Projekt der

dena

Agenda „Digitale Erfassung und Bewertung von Wärmeströmen“

Grundlagen der Wärmestrommessung in geführten Rohrleitungen



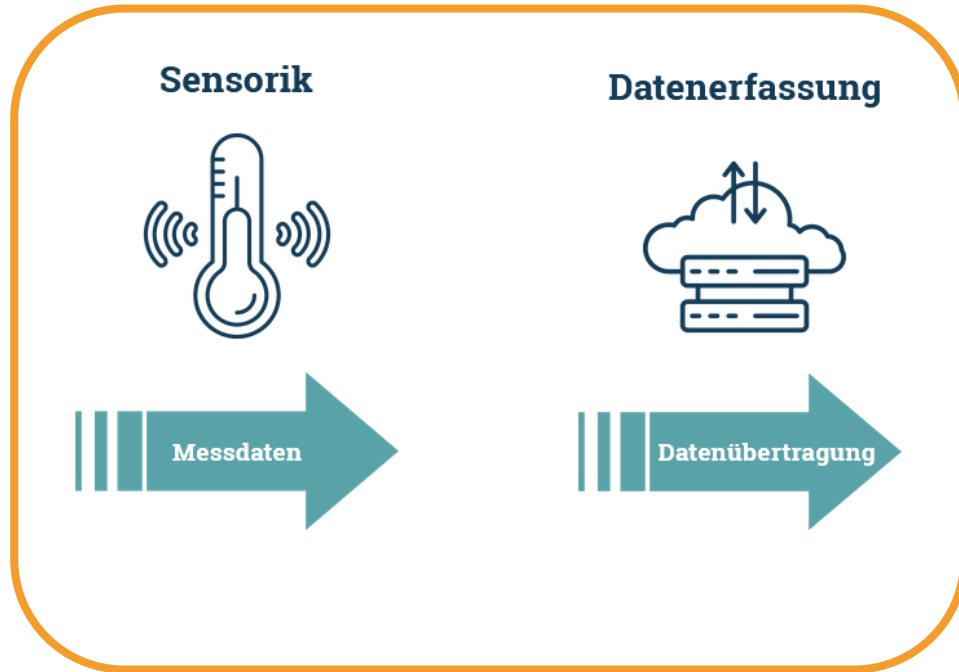
1. Digitalisierte Messung als Basis für Effizienz
2. Datenverknüpfung in einem Energiedatenmanagement
3. Übersicht Messtechnik und Ultraschallmessung
4. Rechenbeispiel: Abwärmepotenzial von Abluft einer Trocknungsanlage

Daten und digitalisierte Messung als Basis für Effizienz

- Mit Hilfe von **Messtechnik** und **Datenanalyse** wird sichtbar, wo, wann und in welchem Maß Abwärme anfällt, „schafft **Transparenz**“.
- Eine fundierte **Datengrundlage durch Messung** ermöglicht es:
 - eigene **Prozesse** besser zu verstehen und zu **optimieren**.
 - Konzepte, für die **Nutzung von Abwärme** in der Industrie zu erstellen.
- Digitalisierte Messung ist damit **Investitions- und Planungsgrundlage** für Anlagenerweiterungen und Neubauten

1. Digitalisierte Messung als Basis für Effizienz

Transparenz schaffen durch digitalisierte Messung



Energie- managementsystem



1. Digitalisierte Messung als Basis für Effizienz

Beispiel Abwärme in Prozessen

Gase

- Rauchgase/ Abgas
- Abluft / Prozessluft / Dämpfe / Brüden
- Druckluft
- Abzukühlende gasförmige Edukt-/Produktströme

Flüssigkeiten

- Abwässer
- Kühlwasser aus Prozessen (Bsp. Kunststoff-Spritzguss) oder Maschinenkühlung
- Abzukühlende Edukt-/ Produktströme



1. Digitalisierte Messung als Basis für Effizienz

Ermittlung von Wärmeströmen in Heizungen vs. in der Industrie

Heizungsbereich - Feste Größen:

- Spezifische Wärmekapazität und Dichte i. d. R. bekannt

Industrie – keine festen Größen

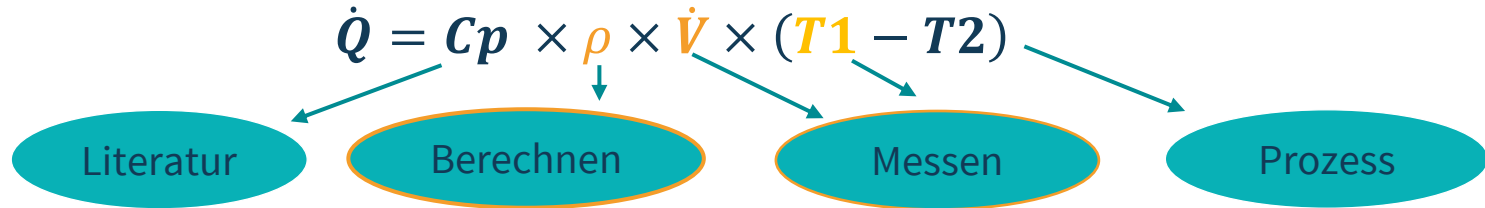
- Unterschiedliche Wärmekapazitäten (C_p)
- Stoffdaten werden benötigt.
- Abhängig von der Temperatur, Dichte, Volumenstrom und Dampfgehalt)

Messdaten können in EMS mit Hilfe von Formeln, die im EMS eingepflegt sind, verknüpft werden. Fertige Lösung für Standard-Prozesse gibt es (Luftenergiezähler für Prozessluft).



2. Datenverknüpfung in einem Energiedatenmanagement

(Ab)Wärme von Fluiden in geführte Leitungen: Wärmestrom mit Hilfe von digitalisierter Messung bestimmen (ohne Phasenwechsel)



\dot{Q} = Wärmestrom in kJ/s (kW)

c_p = mittlere spezifische Wärmekapazität des Fluids in kJ/(kg*K) (abhängig v. T)

ρ = Dichte des Fluids in kg/m³ (abhängig von Temperatur T und Druck p), ggf. Messen

\dot{V} = **Volumenstrom des Fluids in m³/s bzw. m³/h**

T1 = Temperatur des Fluids vor möglicher Abwärmenutzung in °C

T2 = Temperatur des Fluids nach möglicher Abwärmenutzung in °C (BAFA: 25 °C)



Kompetenzzentrum
Energieeffizienz
durch Digitalisierung

Übersicht Messtechnik und Ultraschallmessung

Temperaturmessung, Volumenstrommessung
(Flüssigkeiten & Gase), Ultraschallmessung,
Indirektes Messen von Rauchgas (Abgas)

Ein Projekt der

dena

3. Übersicht Messtechnik

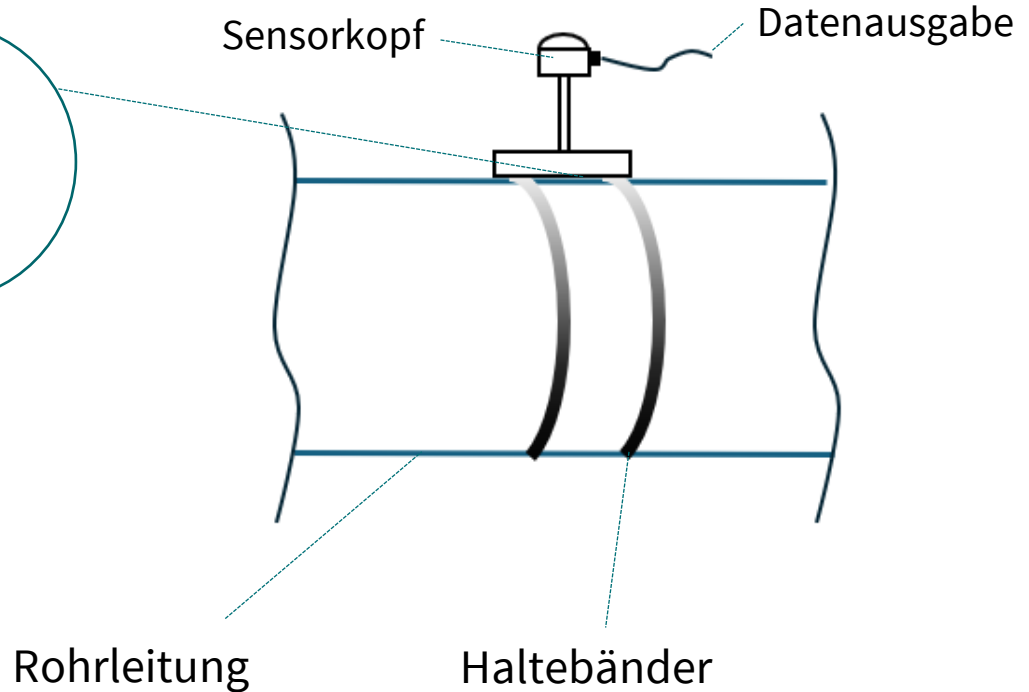
Temperaturmessung: nicht-invasive vs. invasive Installation



Einfache nachträgliche Montage durch „Aufkleben“ auf die Rohrleitung.

**Anlege-
fühler
(nicht-
invasiv)**

Messabweichung 1 bis 5 °C (durch äußern Einfluss und Gradient).
Zeitverzögert aufgrund von Wärmeleitung (bis zu einigen Minuten).



3. Übersicht Messtechnik

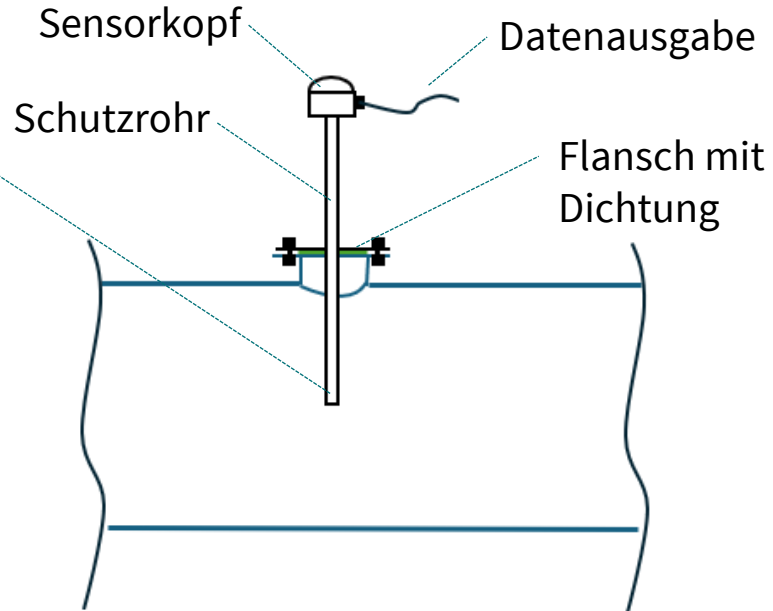
Temperaturmessung: nicht-invasive vs. Invasive Installation



Montage durch
Leitungsöffnung!
Stutzen- oder
Flanschmontage.

Messung genauer,
da direkt im
Fluidstrom
gemessen wird,
Zeitverzögerung
gering.

**Eintauch-
fühler
(Invasiv)**



3. Übersicht Messtechnik

Temperaturmessung: Messprinzip und Messbereich



Typ	Widerstands- temperaturfühler	Thermoelement	Halbleitersensor
Installation	Invasiv und nicht-Invasiv	Invasiv und nicht-Invasiv	Nicht üblich
Ausführung	Pt 100	Typ J: Eisen/Konstantan	positiver Temperaturkoeffizient (PTC)
	Pt 1000	Typ R: Platin/Rhodium	negativer Temperaturkoeffizient (NTC)
Temperaturbereich	bis 600 °C	bis 1700 °C	bis 150 °C
Messprinzip	temperaturabhängiger elektrischer Widerstand (linear)	Seebeck-Effekt temperaturabhängige Thermospannung	temperaturabhängiger elektrischer Widerstand (nicht linear)

3. Übersicht Messtechnik

Voraussetzungen zur Volumenstrommessung

(Gase und Flüssigkeiten)

Folgende Größen müssen vorab bekannt sein:

- Der Temperaturbereich und die zu erwartende Fließgeschwindigkeitsbereich
- Fluid-Typ und eventuelle Feststoffanteile im Fluid, Viskosität
- Nennweite (DN) und Nenndruck (PN) bei invasiver Messtechnik
- Baulänge des Messgerätes (variiert nach Messprinzip)
- Ein- und Auslaufstrecken (für präzise Messungen)
- Messung im Ex-Bereich? Ggf. ATEX-Ausführung
- Datenübertragung: Qualität, Verfügbarkeit, Konnektivität

3. Übersicht Messtechnik

Messprinzip: Übersicht zur Volumenstrommessung - Flüssigkeiten



Messprinzip

	Mechanisch (Flügelrad) (invasiv)	Differenz- druck (invasiv)	Ultraschall (nicht- invasiv)	Ultra- schall (invasiv)	Magnetisch- Induktiv (invasiv)	Thermisch (invasiv)	Coriolis (invasiv)	Wirbel (Vortex) (invasiv)
Flüssig	+	+	+	+	+	+	+	+
Flüssig (mit Feststoff)	-	-	+	+	+	+	+	-
Flüssig (nicht elektr. leitend)	+	+	+	+	-	+	+	+

3. Übersicht Messtechnik

Messprinzip: Übersicht zur Volumenstrommessung - Gase

Messprinzip

	Mechanisch / Flügelrad (invasiv)	Differenzdruck (invasiv)	Ultraschall (nicht-invasiv)	Ultraschall (invasiv)	Thermisch (invasiv)	Coriolis (invasiv)	Wirbel / Vortex (invasiv)
Dampf (mit Kondensat)	-	+	-	+	-	-	+
Gase	+	+	(+)	+	+	+	+
Gase (mit Feststoff)	(+)	-	(+)	+	(+)	+	+

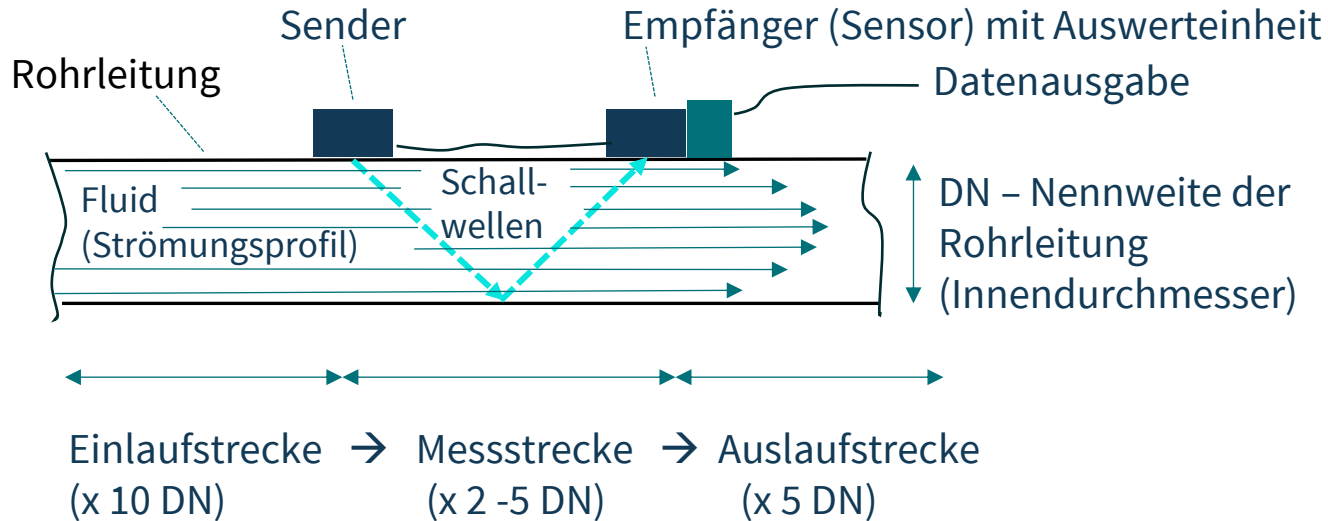
Begrenzter Temperaturbereich max. 160 °C ,
wenige Anbieter (für Gase)
Gute nachträgliche Installation.

(+) = Sonderausführung

Durchflussmessung nicht-invasiv: Messanordnung

Ultraschallmessung – Laufzeitmessung (keinen bis wenig Feststoffanteil)

Ultraschallmessung – Dopplermessung (hoher Feststoffanteil)



Beachten:
Schalleitfähigkeit von Fluid und Rohr muss gegeben sein. Das Rohr muss vollständig mit Fluid gefüllt sein (**keine Grenzschicht**).

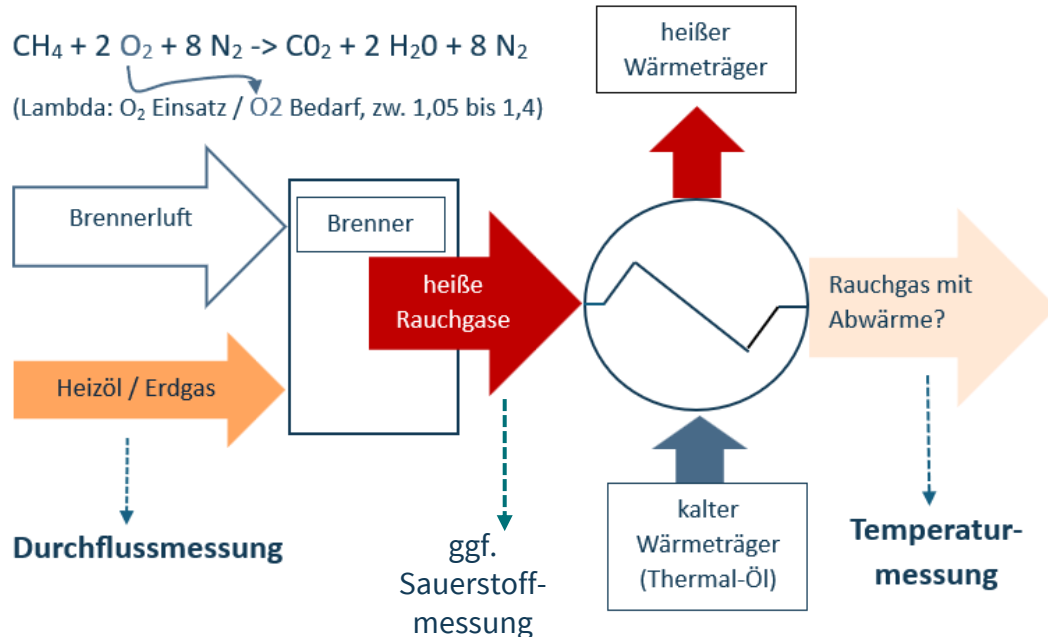
Durchflussmessung: Abgasverluste von Rauchgasen

Indirektes Messen von Rauchgasen durch Volumenstrommessung von Erdgas (CH₄) bzw. Heizöl

Chemische Reaktion (Verbrennung):



(Lambda: O₂ Einsatz / O₂ Bedarf, zw. 1,05 bis 1,4)



Rauchgasmenge:

1 kg Heizöl ~ 18 kg Rauchgas

1 kg Erdgas ~ 28 kg Rauchgas

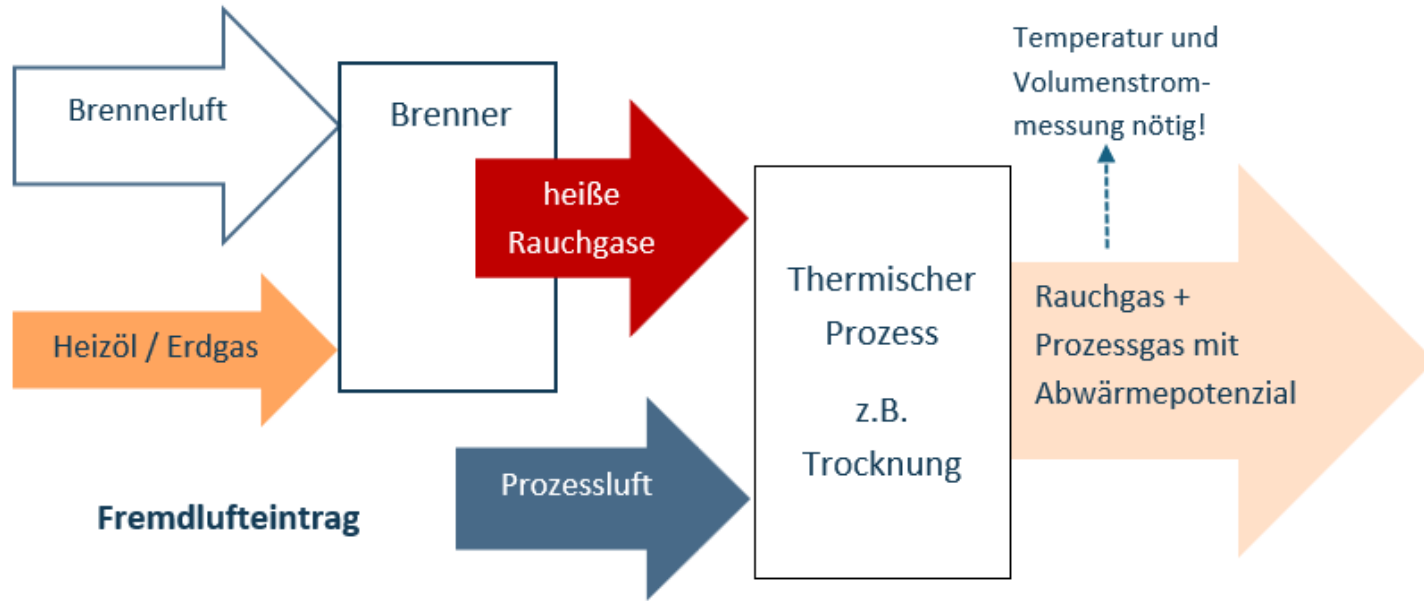
(1 kg Erdgas entspricht 1,25 bis 1,5 m³)

Nachteil: ungenau

Vorteil: relativ günstig

Durchflussmessung: Abgasverluste von Rauchgasen

Rauchgase nicht indirekt messbar bei Fremdlufteintrag!



Rechenbeispiel

Abwärmepotenzial:

Abluft einer Trocknungsanlage

Ausgangsdaten:

- Ablufttemperatur: **120 °C** -> Abkühlung auf **25 °C (BAFA)**
- Temperaturdifferenz: $120\text{ °C} - 25\text{ °C} = \mathbf{95\text{ °C}}$
- Volumenstrom der Abluft: **1,39 m³/s**
- Feuchtegehalt der Abluft x (x = absolute Feuchtigkeit): **$x = 0,1\text{ kg Wasser/ 1 kg trockene Luft}$**
(Taupunkt 55 °C) (auch als Massebeladung bezeichnet)



Ist das wichtig? Woher? Messen oder bilanzieren!

Rechenbeispiel

Abwärmepotenzial: Abluft einer Trocknungsanlage

1. Massenströme bestimmen/berechnen

oder statische Druckmessung

- Dichte** $\rho = \left(\frac{m}{V}\right)$ aus allgemeiner Gasgleichung idealer Gase, p = Normaldruck 101325 Pa, M = molare Masse des Gases, R = allgemeine Gaskonstante, T = absolute Temperatur in Kelvin; m = Masse, V = Volumen \rightarrow unbekannt

$$p \times V = \frac{m}{M} \times R \times T \rightarrow \frac{m}{V} = \frac{p \times M}{R \times T} \quad (\text{Vereinfachung } M \text{ trockene Luft} = 28,96 \text{ g/Mol}^*)$$

$$\frac{m}{V} (\rho) = \frac{101325 \frac{N}{m^2} \times 28,96 \text{ g/mol}}{8,314 \frac{Nm}{\text{Mol} \cdot K} \times 393 \text{ K}} = \mathbf{0,9 \text{ kg/m}^3} \quad (\text{ohne Vereinfachung} = 0,85 \text{ kg/m}^3)$$

$$\dot{m}_{\text{gesamt}} = 1,39 \text{ m}^3/\text{s} \times 0,9 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{1,25 \text{ kg/s}} \quad (\dot{m} = \rho \times \dot{V})$$

Rechenbeispiel

Abwärmepotenzial: Abluft einer Trocknungsanlage



1. Massenströme bestimmen/berechnen

$$\dot{m}_{gesamt} = \dot{m}_{Luft (trocken)} + \dot{m}_{Wasser} = 1,25 \text{ kg/s}$$

$$x = \frac{\dot{m}_{Wasser}}{\dot{m}_{Luft (trocken)}} = 0,1 \text{ kg/kg} \quad (\text{Gleichung nach } \dot{m}_{Luft (trocken)} \text{ umstellen und einsetzen})$$

$$x = \text{Messgröße (oder aus Bilanz)}$$


$$\dot{m}_{Luft (trocken)} = \frac{\dot{m}_{gesamt}}{X + 1} = \frac{1,25 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{0,1 + 1} = \mathbf{1,136 \text{ kg/s}}$$

$$\dot{m}_{H_2O} = 0,1 \frac{\text{kg}}{\text{kg}} * 1,136 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = \mathbf{0,1136 \text{ kg/s}}$$

Rechenbeispiel

Abwärmepotenzial: Abluft einer Trocknungsanlage

2. Sensiblen Wärmestrom berechnen:

$$\dot{Q} = c_p \times (\rho \times \dot{V}) \times (T_1 - T_2) \quad \rho \times \dot{V} = \dot{m}$$


Tabellenwerk* oder
kalorimetrische
Messung*

- $\dot{Q}_{\text{trockene Luft}} = 1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} * 1,136 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 95 \text{ K} = 105 \text{ kJ/s} = \mathbf{105 \text{ kW}}$
- $\dot{Q}_{\text{sens,Dampf}} = \frac{1,9 \text{ kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} * 0,1136 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 95 \text{ K} = 21 \text{ kJ/s} = \mathbf{21 \text{ kW}}$

*VDI-Wärmeatlas. 11. Auflage. Berlin: Springer Vieweg, 2013.

*DSC: differential scanning calorimetry

3. Latenter Wärmestrom (bei Kondensation) berücksichtigt die Feuchtigkeit im Abgas

- Der Wasserdampf kondensiert und gibt seine **Kondensationsenthalpie ab** (Phasenwechsel).
- Die Kondensation ist **nicht** vollständig, der Restdampfgehalt entspricht dem Sättigungsdampfgehalt¹ → **0,023 kg/kg** bei p (101325 Pa) und 25 °C, es kondensieren 77 %.

$$\dot{Q}_{lat} = \dot{m}_{H_2O \text{ kondensiert}} * r \quad (\text{Phasenwechsel von Gas zu Flüssig})$$

(r = mittlere Kondensationsenthalpie² von Wasser = 2353 kJ/kg zwischen 25 und 100°C und 101325 Pa = Normaldruck)

$$\dot{Q}_{lat} = \left(0,1 \frac{kg}{kg} - \frac{0,023kg}{kg}\right) * 1,136 \frac{kg}{s} * \frac{2353kJ}{kg} = 206 \text{ kJ/s} = \mathbf{206 \text{ kW}}$$

¹ VDI-Wärmeatlas (2013), Mollier-Diagramm für feuchte Luft oder Perry (2008), Antoine-Gleichung

² NIST-Datenbank oder Näherungsformel nach Clausius-Clapeyron

Rechenbeispiel

Abwärmepotenzial: Abluft einer Trocknungsanlage



Zusammenfassung:

- Wärmestrom sensibel: 126 kW
- Wärmestrom latent: 206 kW !!!

- Die Messung der **Feuchtigkeit** ist in diesem Fall relevant und sinnvoll.

- Wird nicht unterhalb des Taupunktes abgekühlt, **steht keine** latente Wärme zur Verfügung.

- **Keine** Taupunktunterschreitung = **keine** Kondensation.

- Die Datenerhebung (Messen) ist essential zur Bewertung von Abwärme und Prozessoptimierung.
- Feuchtemessung in Abluft / Abgas ist relevant zur Bewertung von (Ab)Wärme

→ Weitere Informationen auf unserer Webseite zu zum Thema Wärmemessung:

<https://www.kedi-dena.de/industrie/sensorik/abwaerme-messen-und-effizient-nutzen/>



Kompetenzzentrum
Energieeffizienz
durch Digitalisierung

Vielen Dank!

Martin Meilick, KEDI / dena

Mail: martin.meilick@dena.de

Ein Projekt der

dena



Pinch-Analyse „Light“

- Wärmepotenziale systematisch erschließen -

Abwärme effizient nutzen:
Strategien und Analyseansätze für Industrie & KMU
KEDi Webinar, 28. April 2026

Dr.-Ing. Karsten Liebmann
Energieberatung KMU / Pinch-Analyse
EnPrOpt GmbH, Halle-Berlin



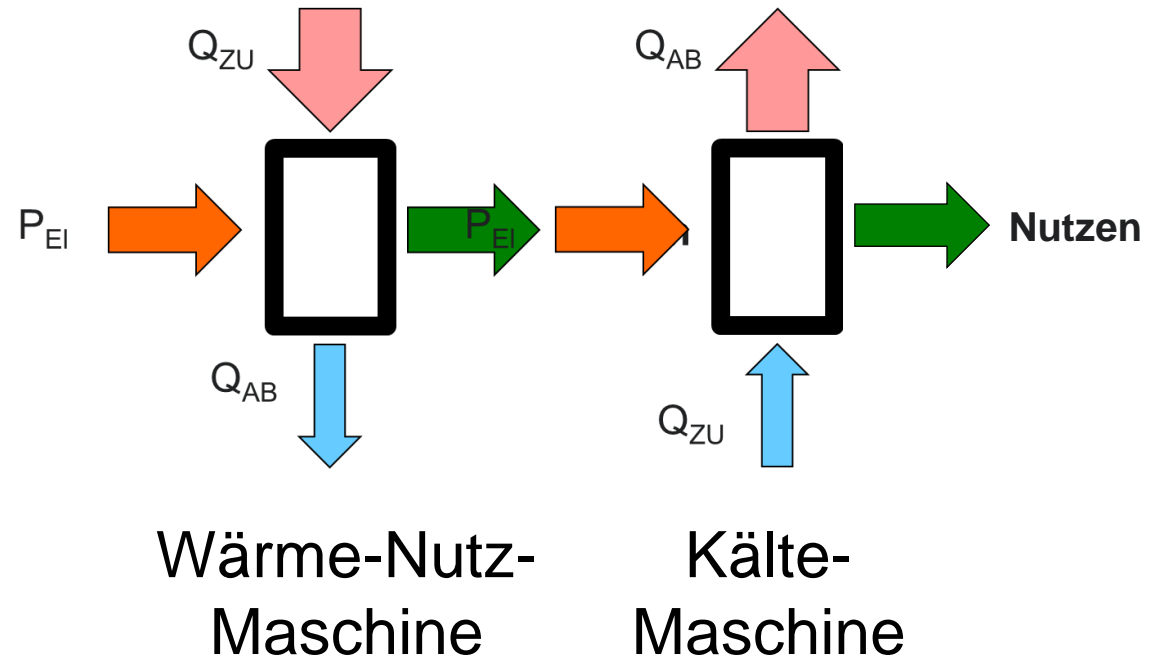
Dr. Karsten Liebmann

- 1996: **Ph.D.** an der University of Manchester (**Pinch**/Linnhoff)
- Bis 2019: Dow Chemical – internationale Leitungserfahrung, Projektmanagement, Prozessdesign, Energiemanagement
- **2019: Unabhängiger BAFA zertifizierter KMU-Energieberater und EDL-G Auditor**
- **2024: EnPrOpt GmbH**
 - **Konzeptionelle Gestaltung der Energieversorgung**
 - **Optimierung von Wärmerückgewinnung und Energieverbrauch**
 - **Energieaudits (DIN EN 16247)**
 - **Einführung und Weiterentwicklung von EnMS**
 - **Fördermittel für energetische Projekte**
 - **Gemeinschaftliche PV-Gebäudeversorgung**

Abwärme – der „verborgene Schatz“

Abwärme ist überall — unsichtbar — wertvoll

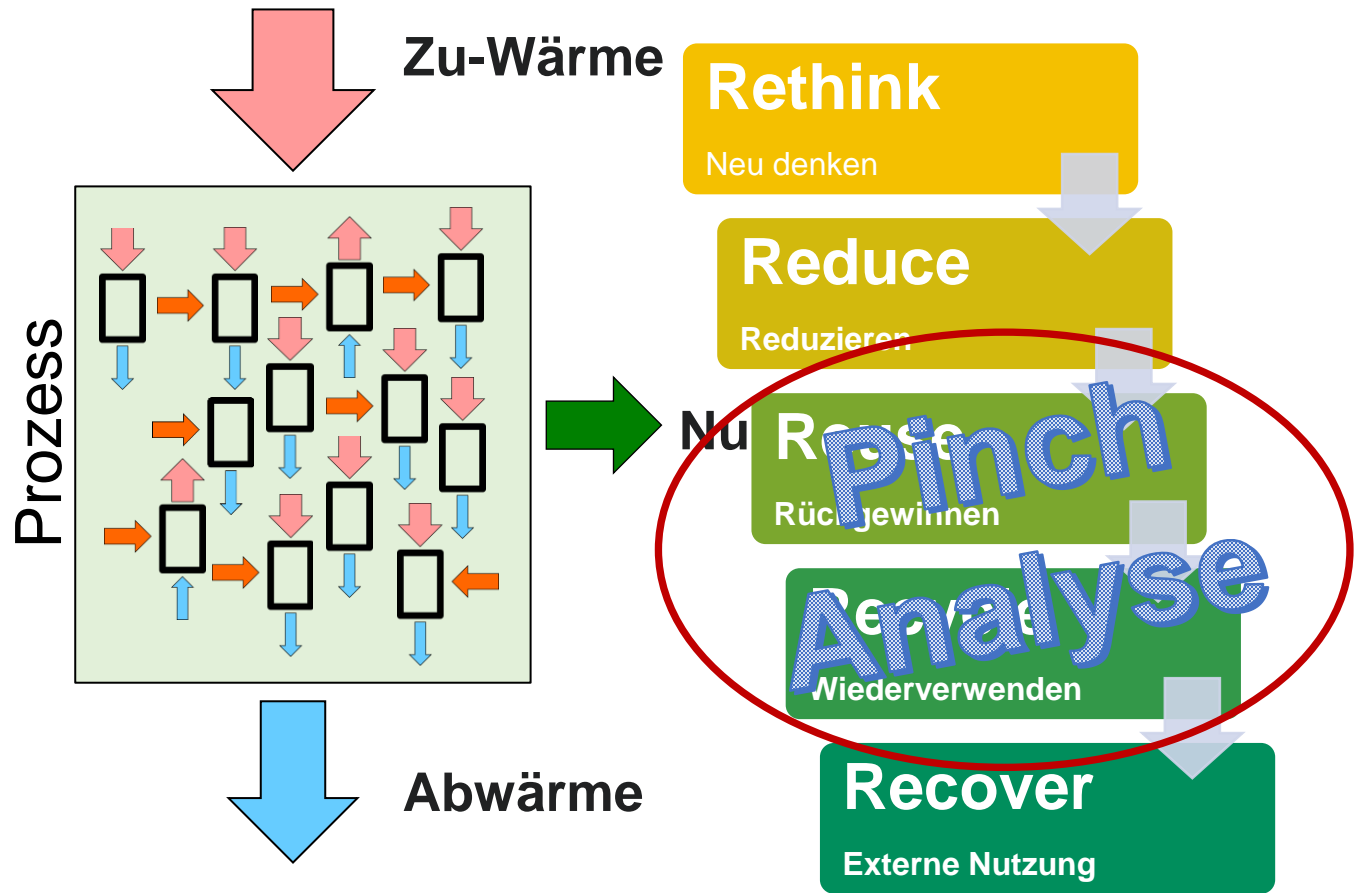
⇒ **Verstehen**



⇒ **Vermeidbare / Unvermeidbare Abwärme**



Zu- und Abwärme im System – „5R“



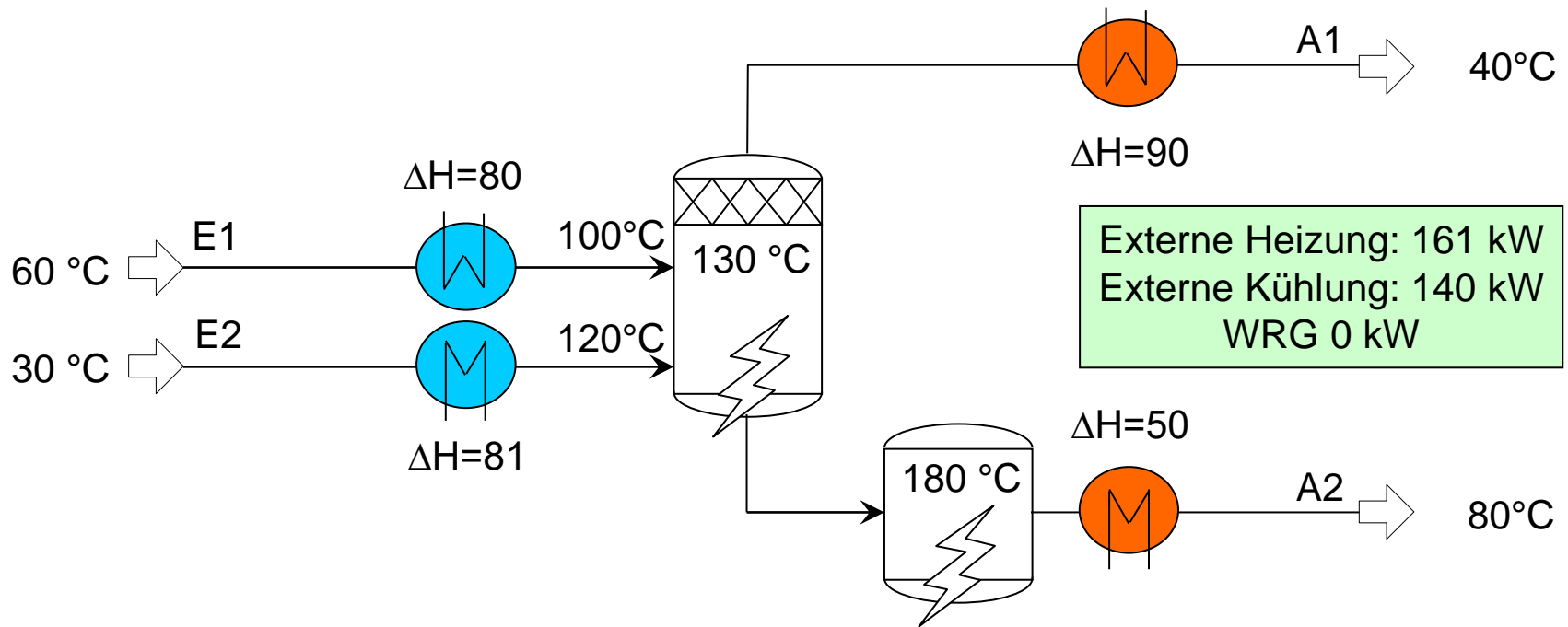


Pinch Analyse - Agenda

- **Auffrischung Methodik**
 - Analyseschritte
 - Composite Curves
- **Zielwert (Targets) \Leftrightarrow “Priorisierung”**
- **Wärmepumpe & Dekarbonisierung**



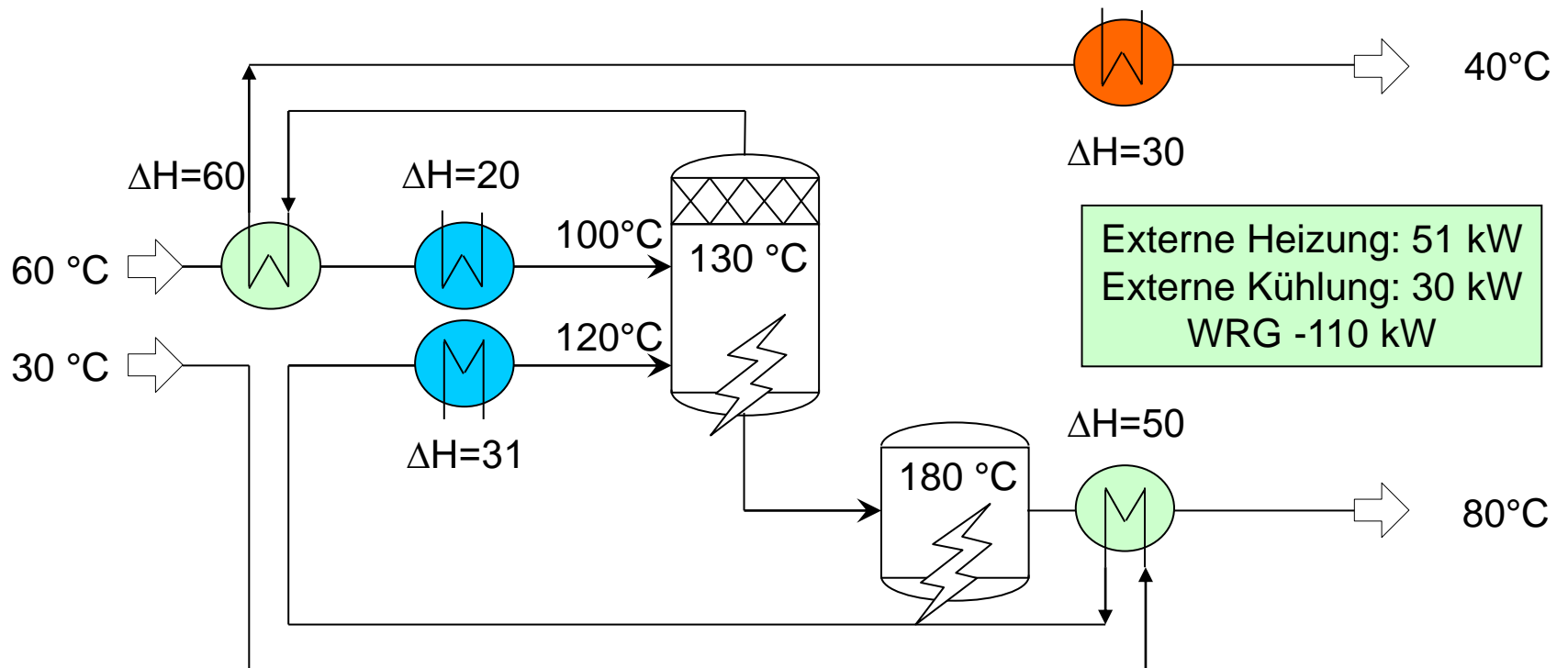
Beispiel – Anlage:



! Wärmerückgewinnung Möglich !



Anlage mit WRG:



? Was ist die beste Wärmerückgewinnung ?
30 kW Kühl-Leistung nötig ?



Was ist Pinch - Analyse:



Systematische Methode

1. Datenextraktion

2. Targeting (Zielsetzung)

3. Entwurf / Modifikation



zur Optimierung der Abwärmenutzung



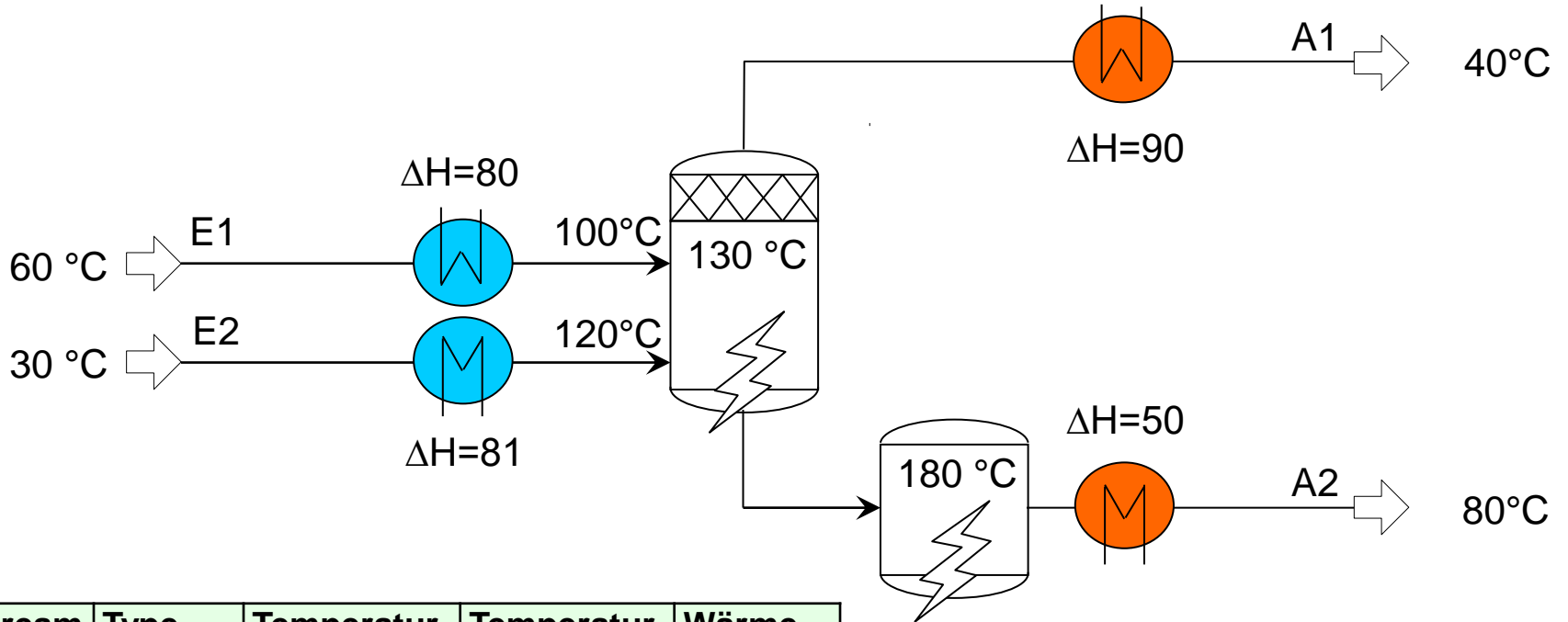
thermodynamisch basiert



praktisch anwendbar



1. Daten-Extraktion



Stream	Type	Temperatur Eingang	Temperatur Ausgang	Wärme
E1	KALT	60	100	80
E2	KALT	30	120	81
A1	HEISS	130	40	90
A1	HEISS	180	80	50

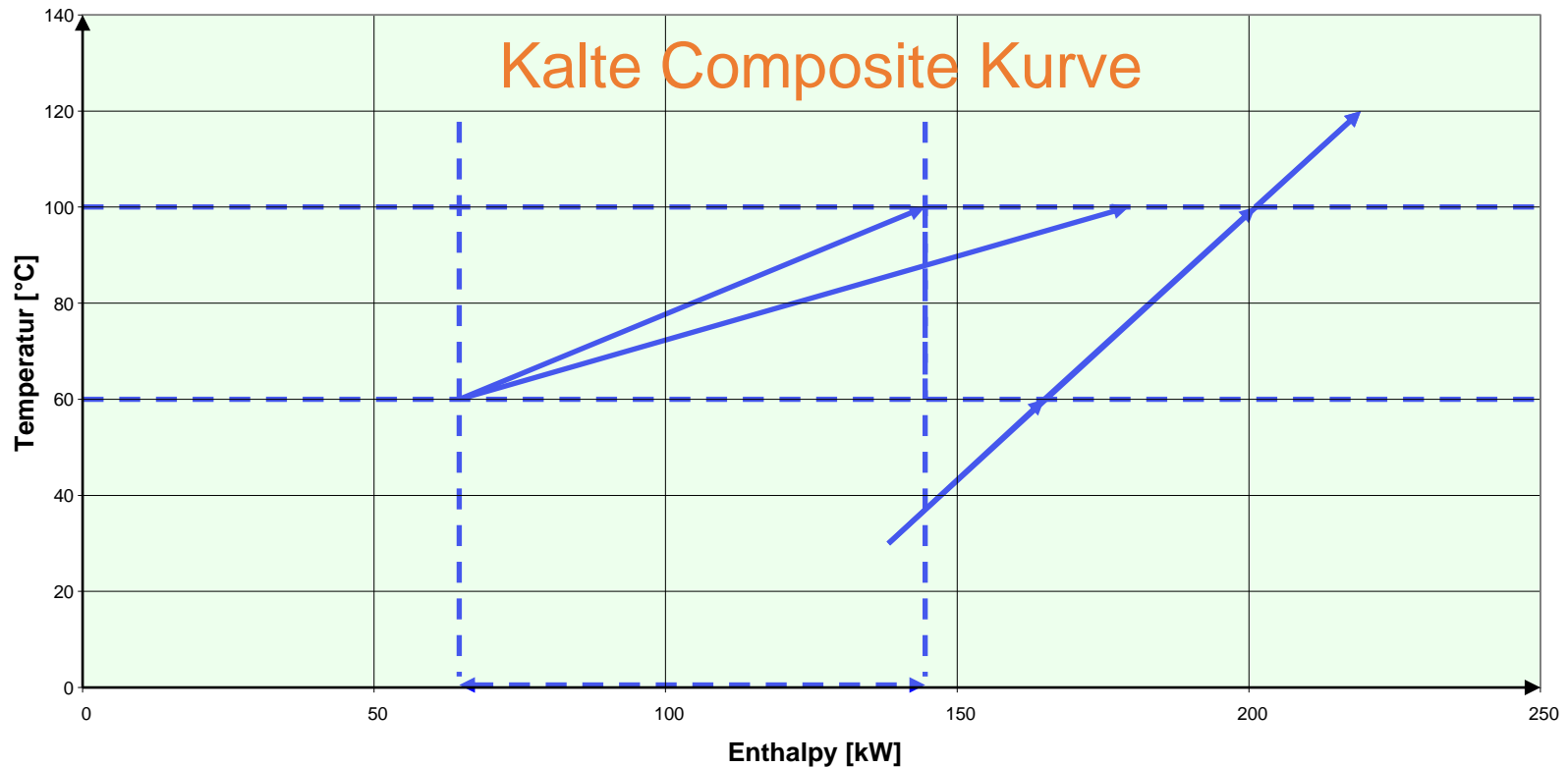
Rethink
Neu denken

Reduce
Reduzieren



2.1 Targeting - KCK

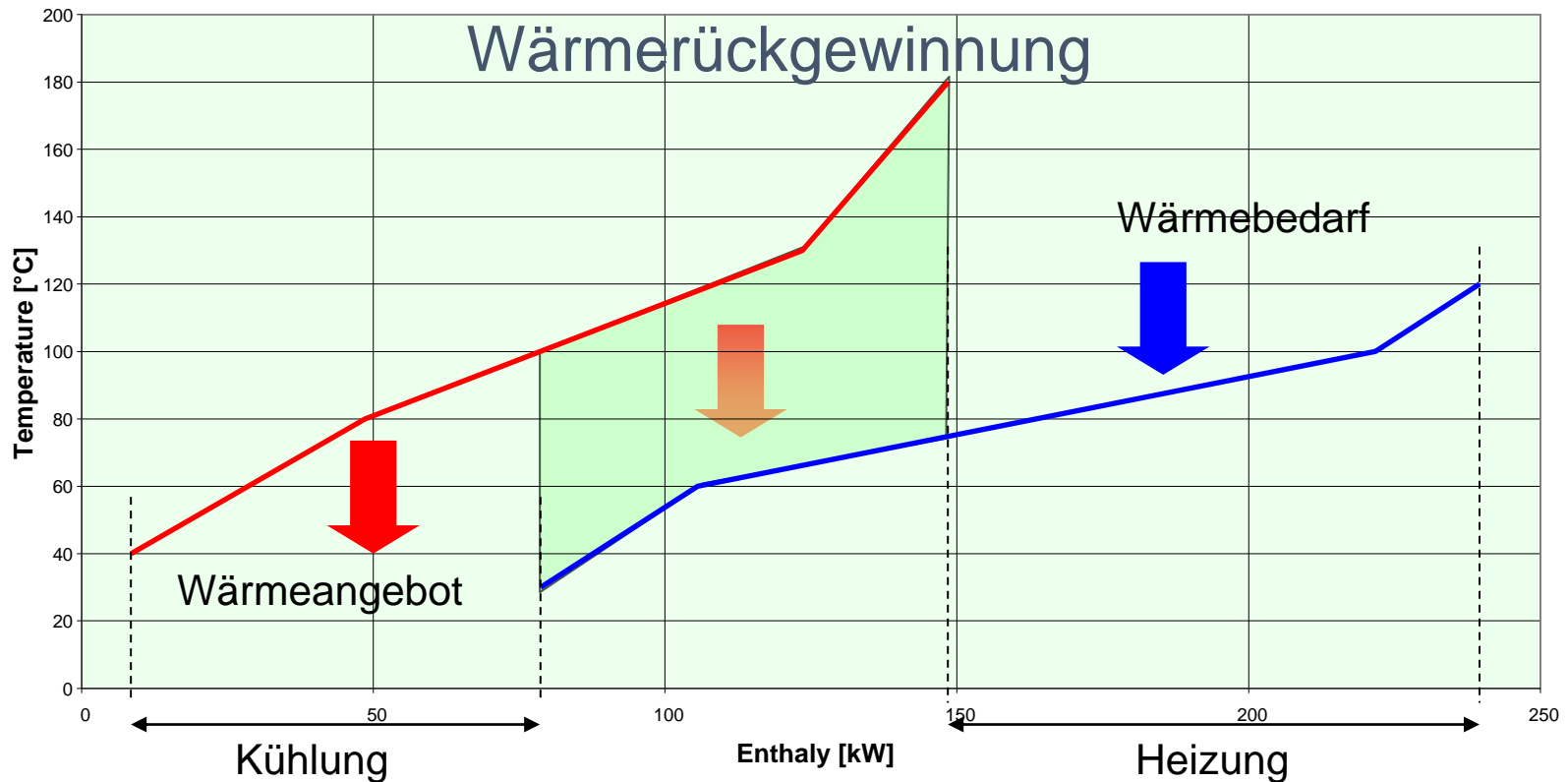
(Wieviel Heizleistung brauchen wir?)





2.2 Targeting

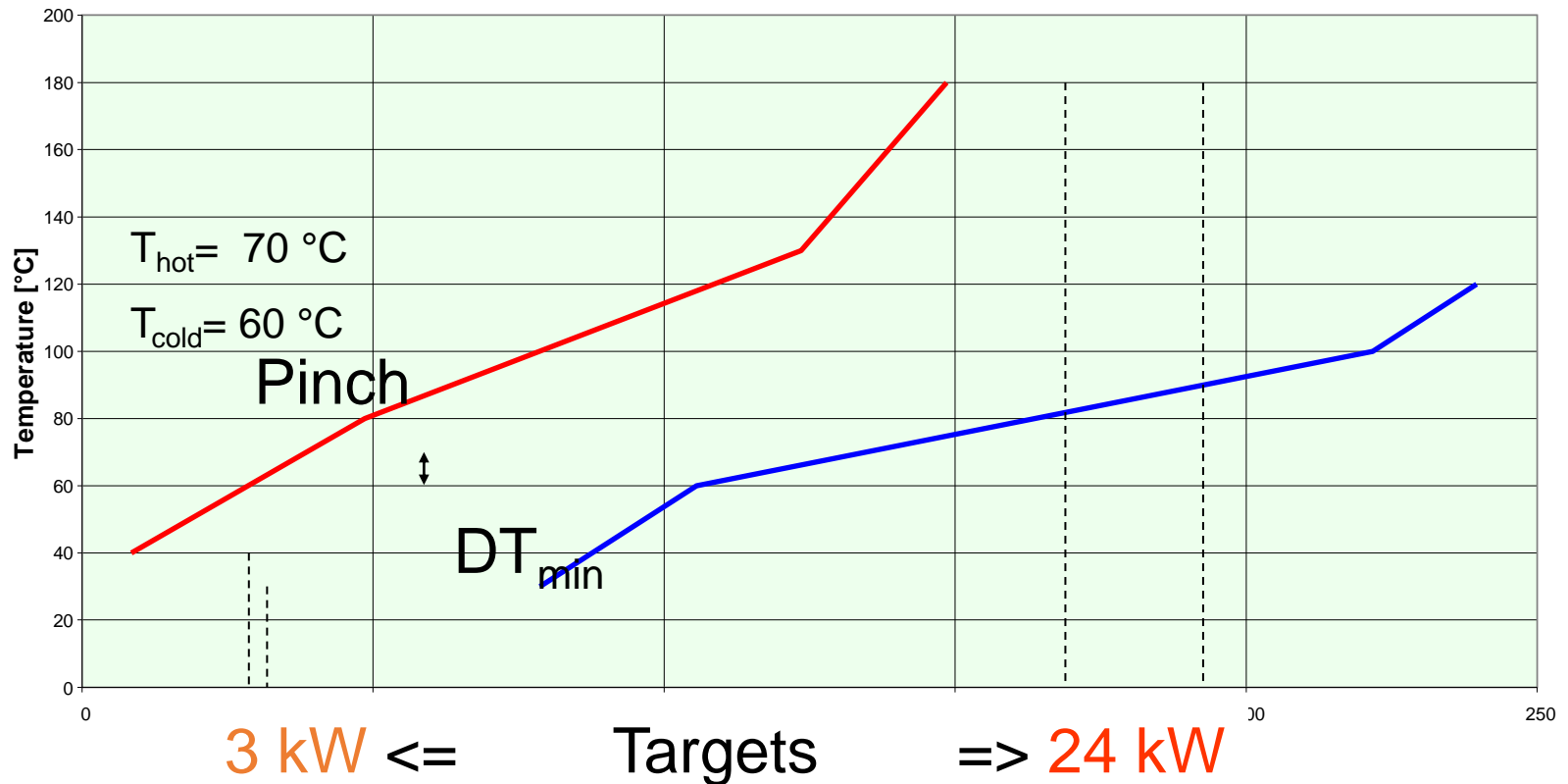
- Composite Kurven -





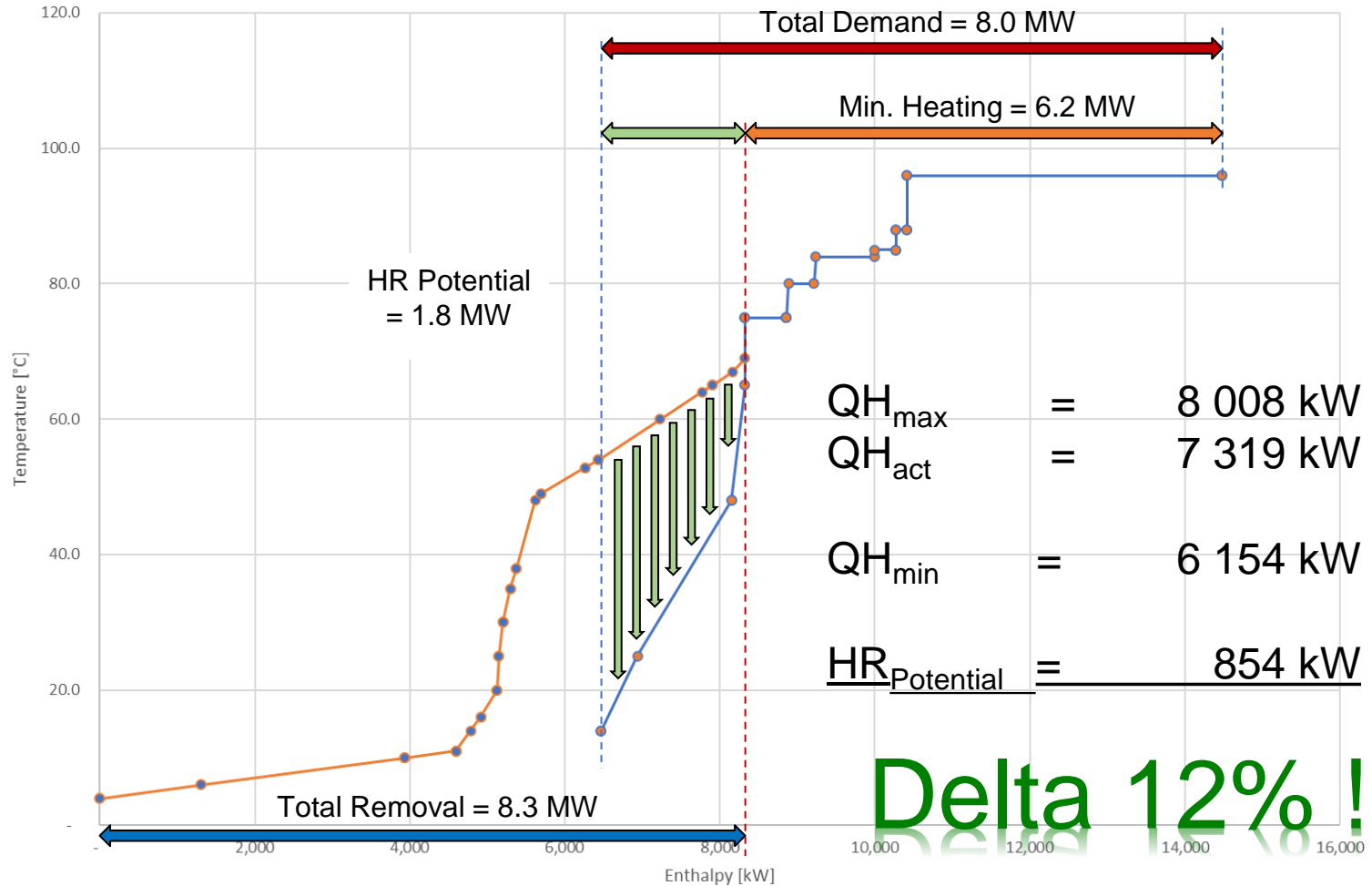
2.3 Targeting

- Der Pinch -



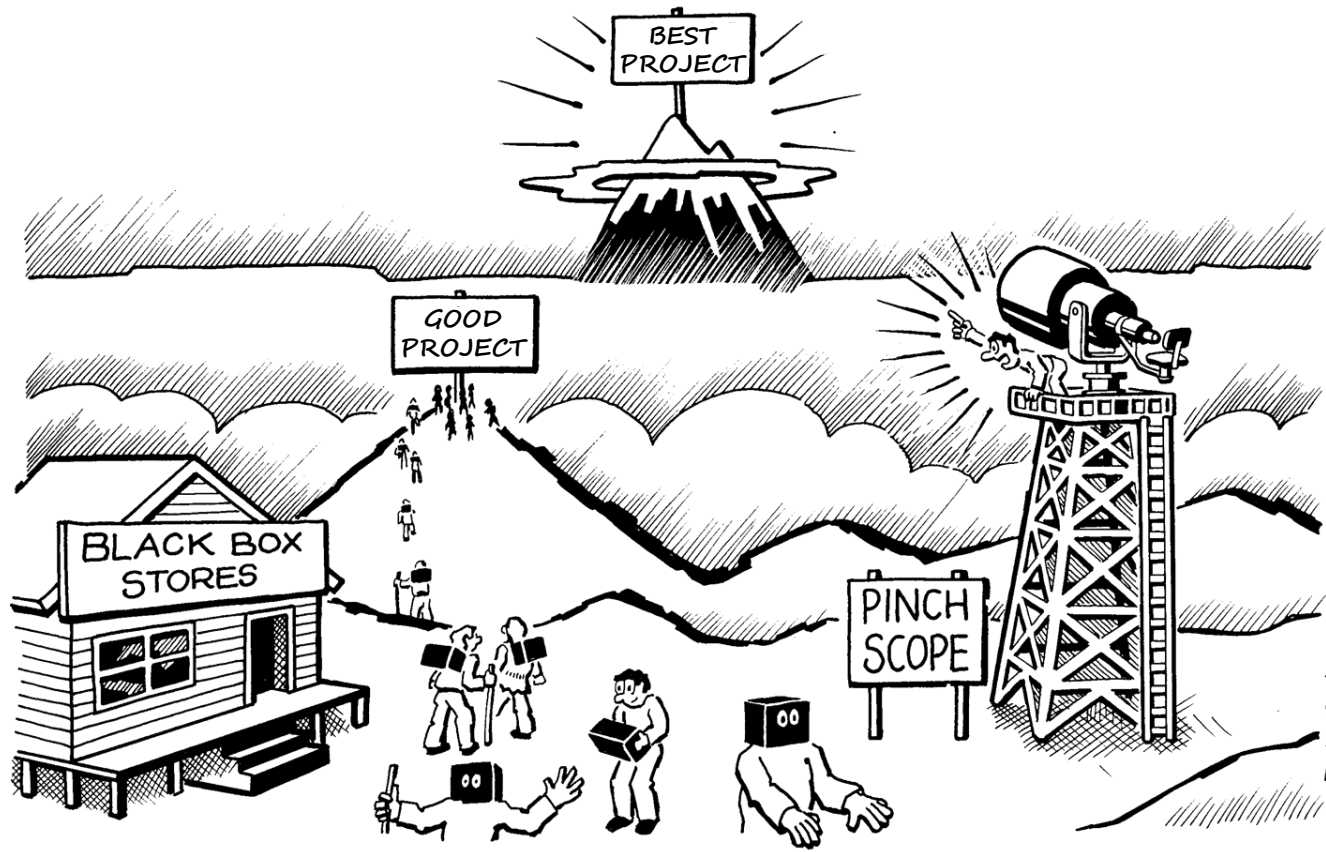


Reales Beispiel





Pinch Analyse = **Priorisierung**



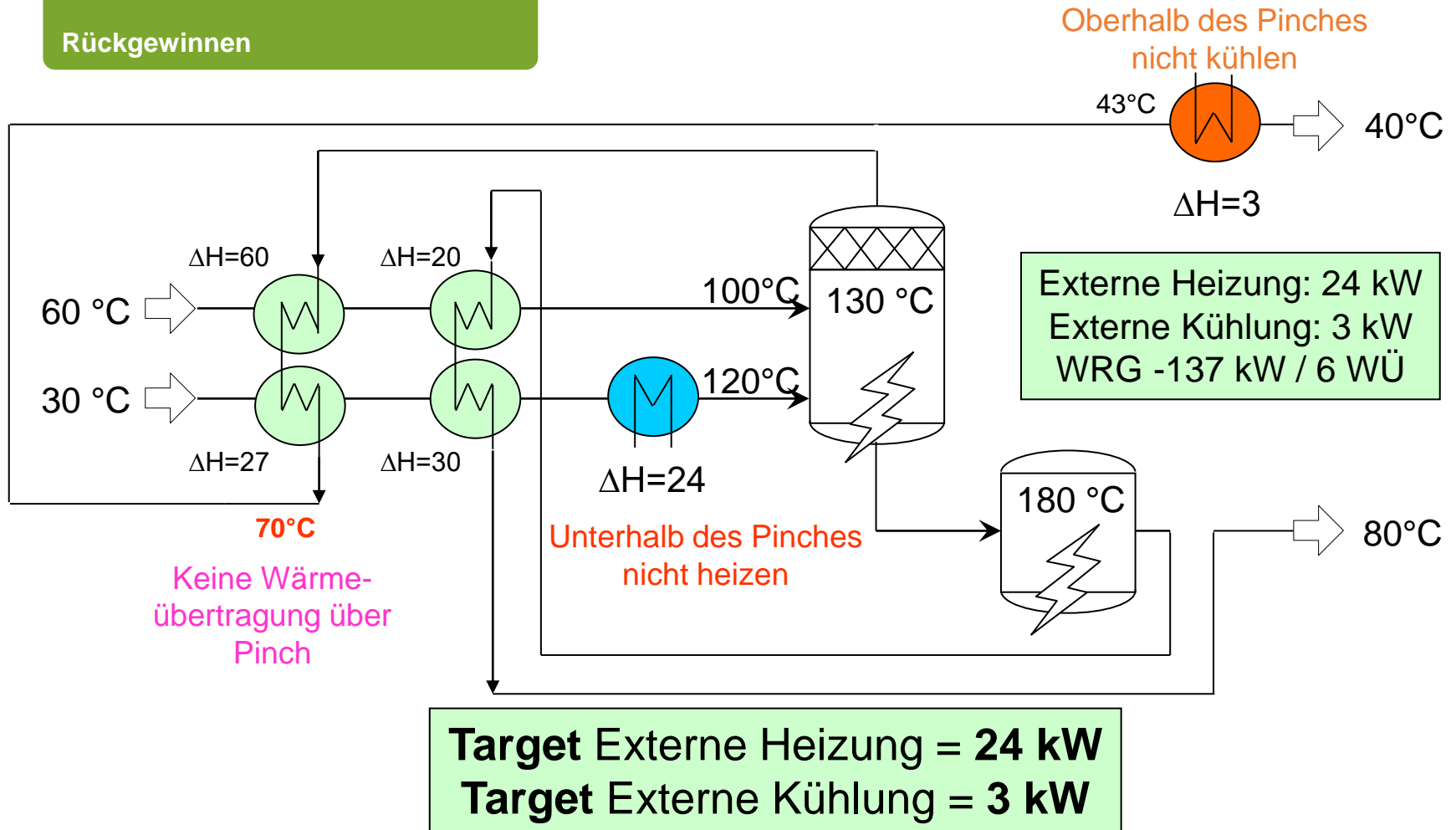
" OY!! "



Kommt man da hin?

Reuse

Rückgewinnen





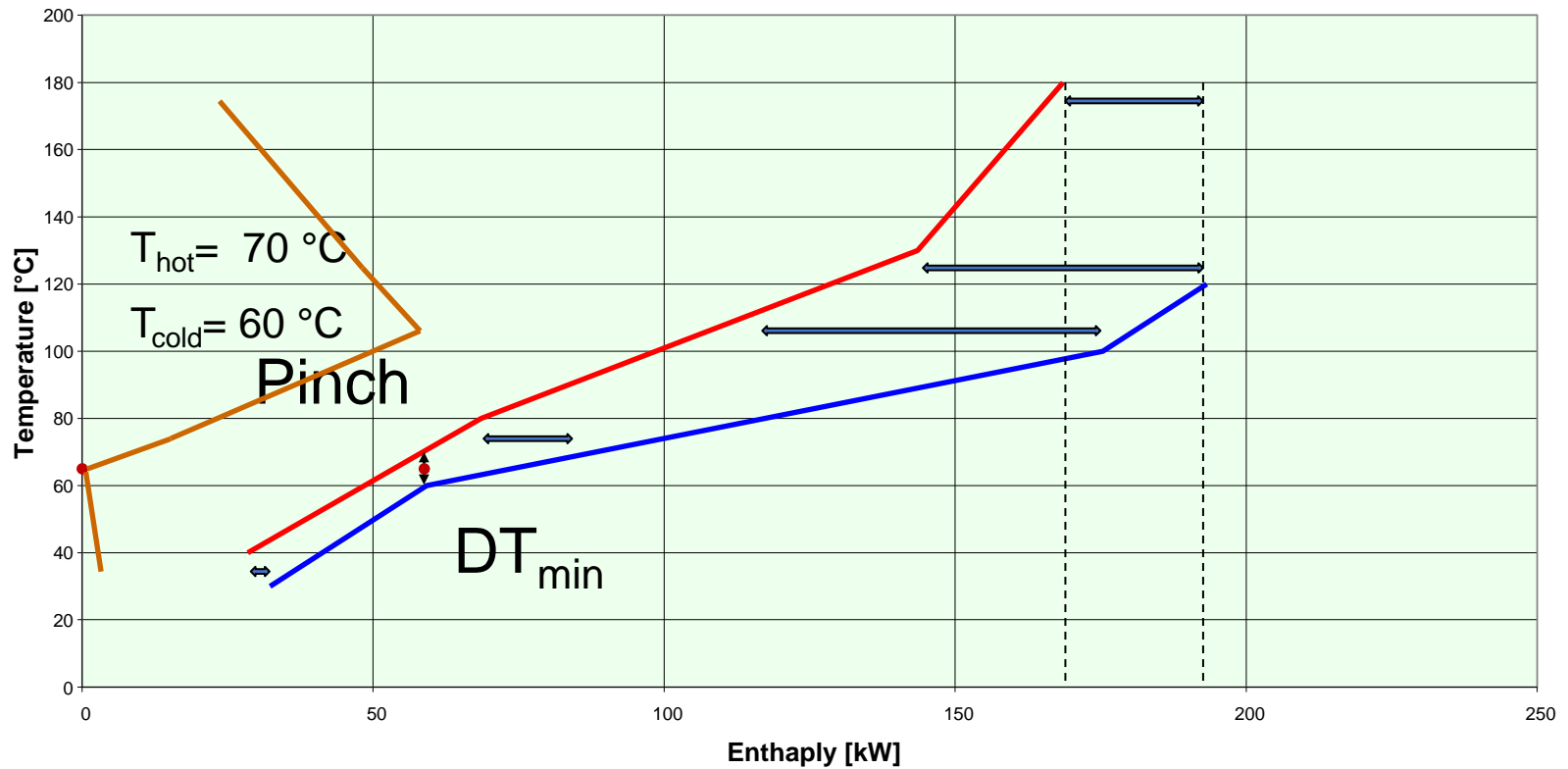
Neue Anwendungen

- Heiz-/Kühlmedien mit verschiedenen Temp.
- Diskontinuierliche Prozesse
- bestehende Anlagen/Netzwerke
- **Wärmepumpen, Wärmemaschinen**
- Destillation
- Verbundsysteme (Power)
- Wasser- und Abwassersysteme
- Wasserstoff



2.4 Targeting

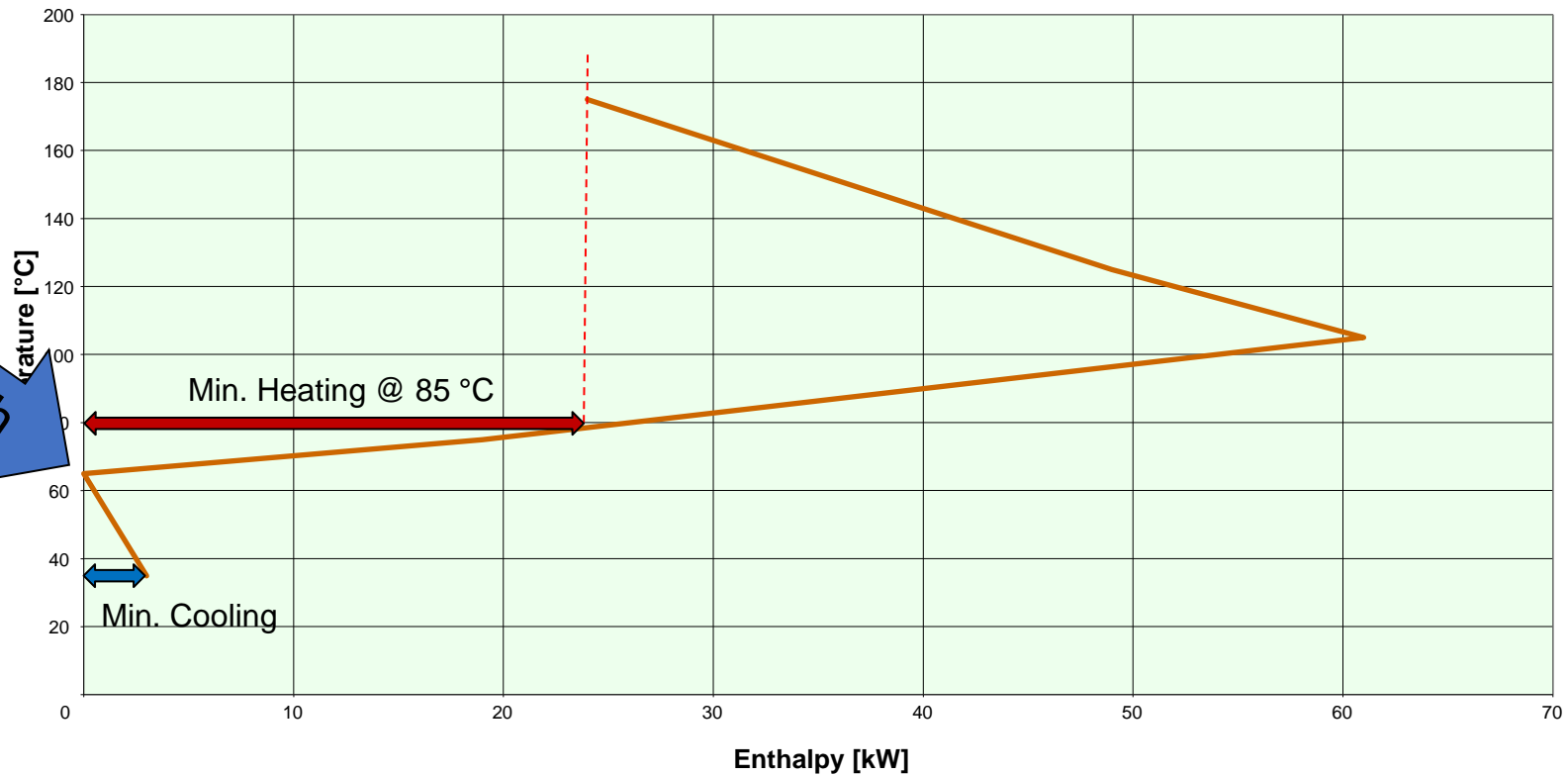
- Grand Composite Curve -





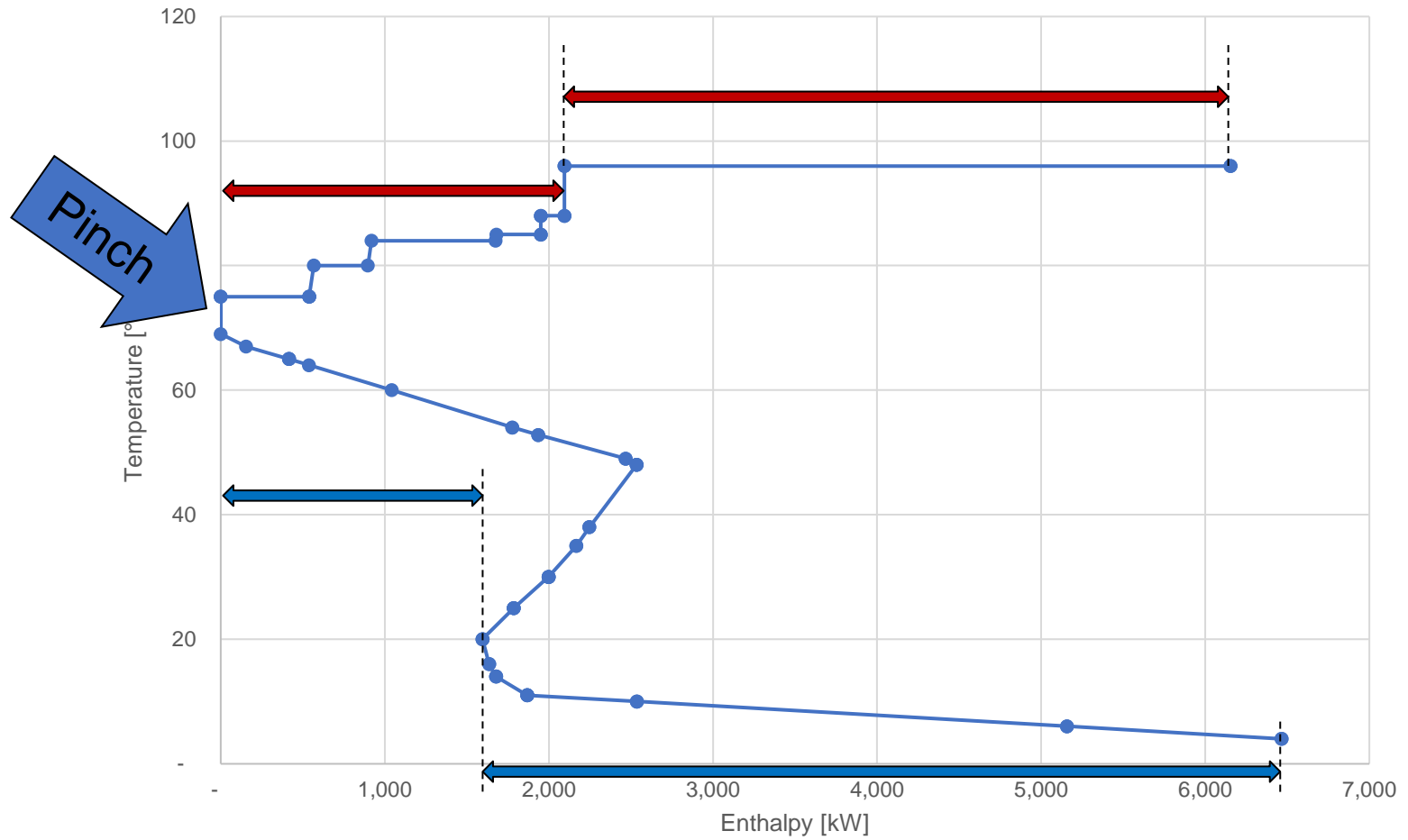
2.4 Targeting

- Grand Composite Curve -

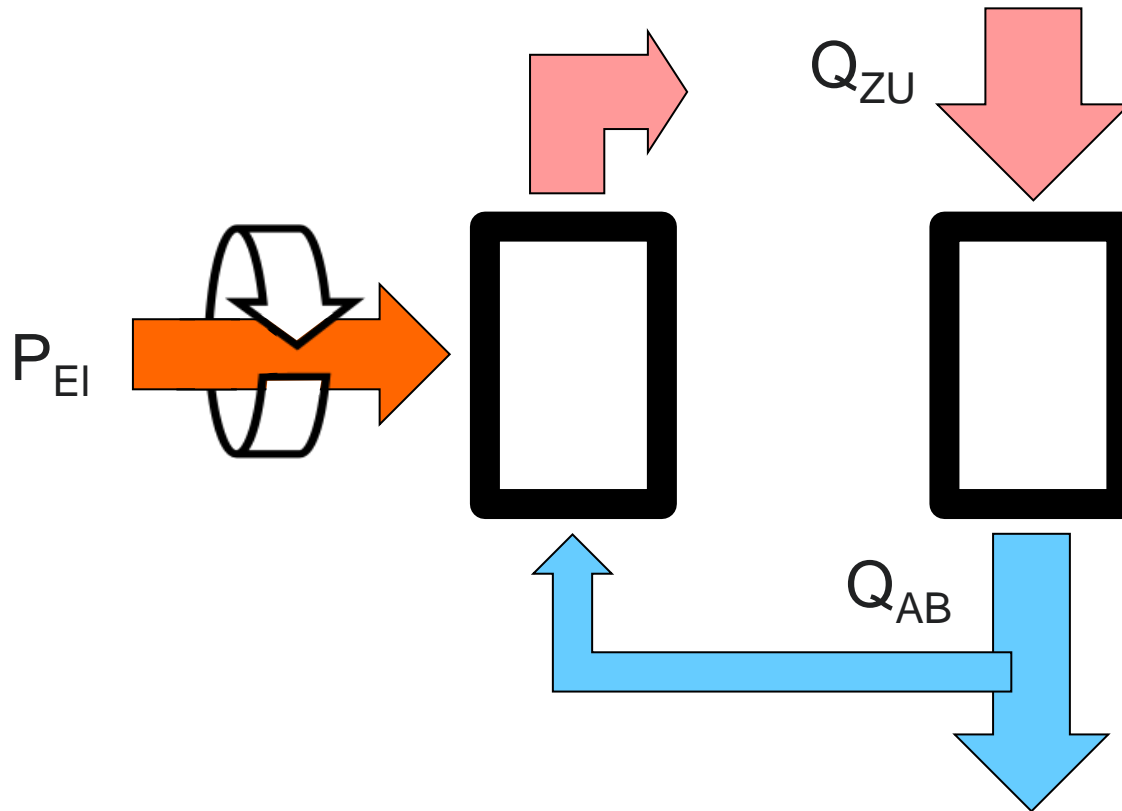




Reales Beispiel - GCC



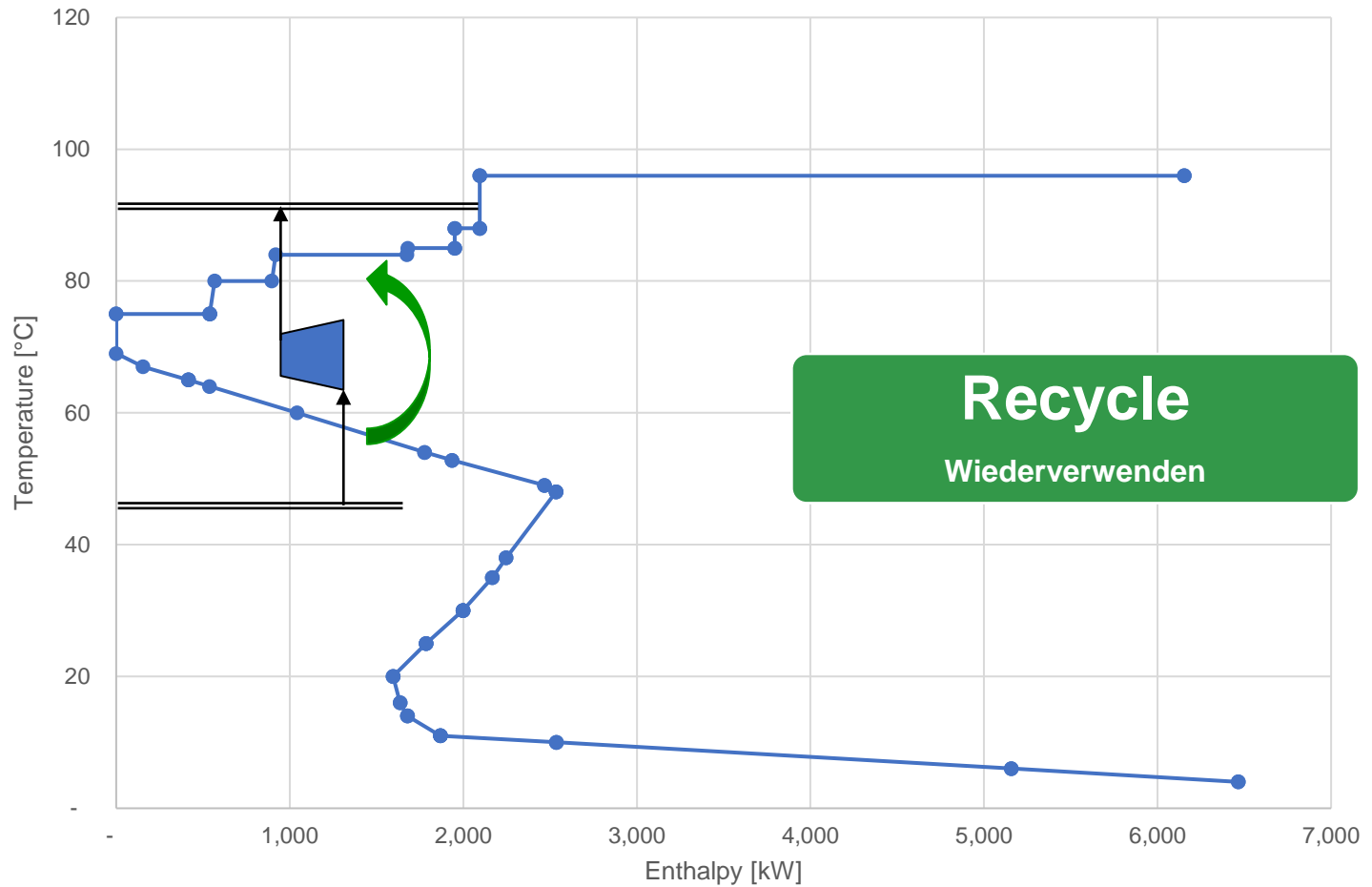
Dekarbonisierung der Prozeßindustrie?



Wärme-Pumpe & Nutz-Maschine

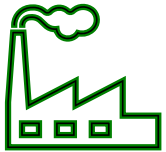


Platzierung der WP



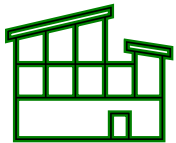


Anwendung in der Praxis



Polypropylen-Anlage

- ⇒ 20% Energieeinsparung
- ⇒ 1-2 Jahre Amortisation der Investitionen



Butadien-Anlage

- ⇒ 10% Energieeinsparung ohne substanzielle Investitionen
- ⇒ Weitere 20% Energieeinsparung Amortisation der Maßnahmen nach ~1 Jahr



Pinch Analyse - Wrap-up

- ⇒ **Systematische Methode zur Optimierung Wärmerückgewinnung**
- ⇒ **Zielwert = Benchmark => Priorisierung**
- ⇒ **Wärmepumpe zur Dekarbonisierung**



Voll Gerne !

Karsten Liebmann

Handy : +49 176 / 800 30 798

E-Mail : info@EnPrOpt.de

Pergande

creating solid solutions

Abwärmennutzung bei der Wirbelschichtgranulation und -trocknung

28.04.2026



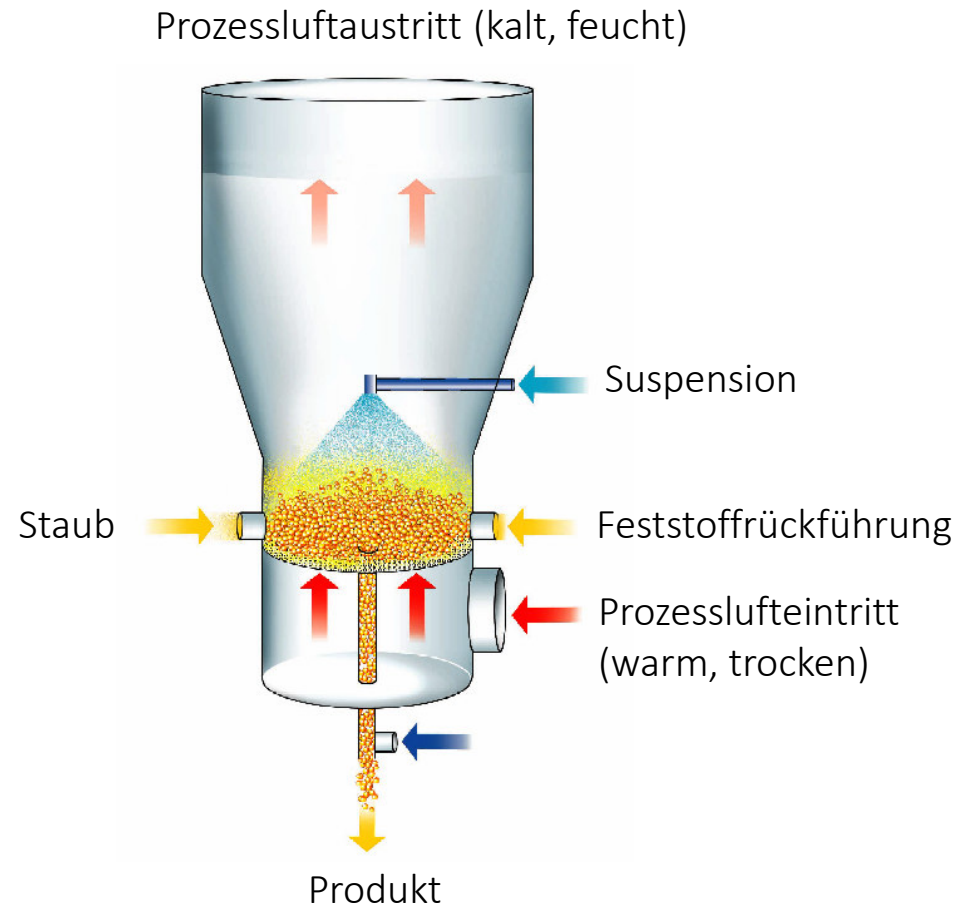
Pergande auf einen Blick

PERGANDE AUF EINEN BLICK



- Inhabergeführtes Unternehmen
- Kompetenz im Engineering, Apparate- und Anlagenbau
- Dienstleistungen für die chemische Industrie und die Prozessindustrie
- Kompetenz in Konstruktion und Prozessoptimierung
- Kooperationen mit Großforschungseinrichtungen und Universitäten
- Insgesamt 250 Mitarbeiter mit Hauptsitz in Weißandt-Görlau, Sachsen-Anhalt, Deutschland

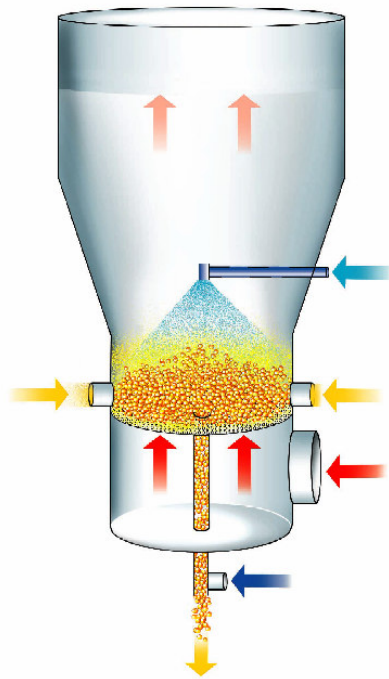
Wirbelschichtgranulierung



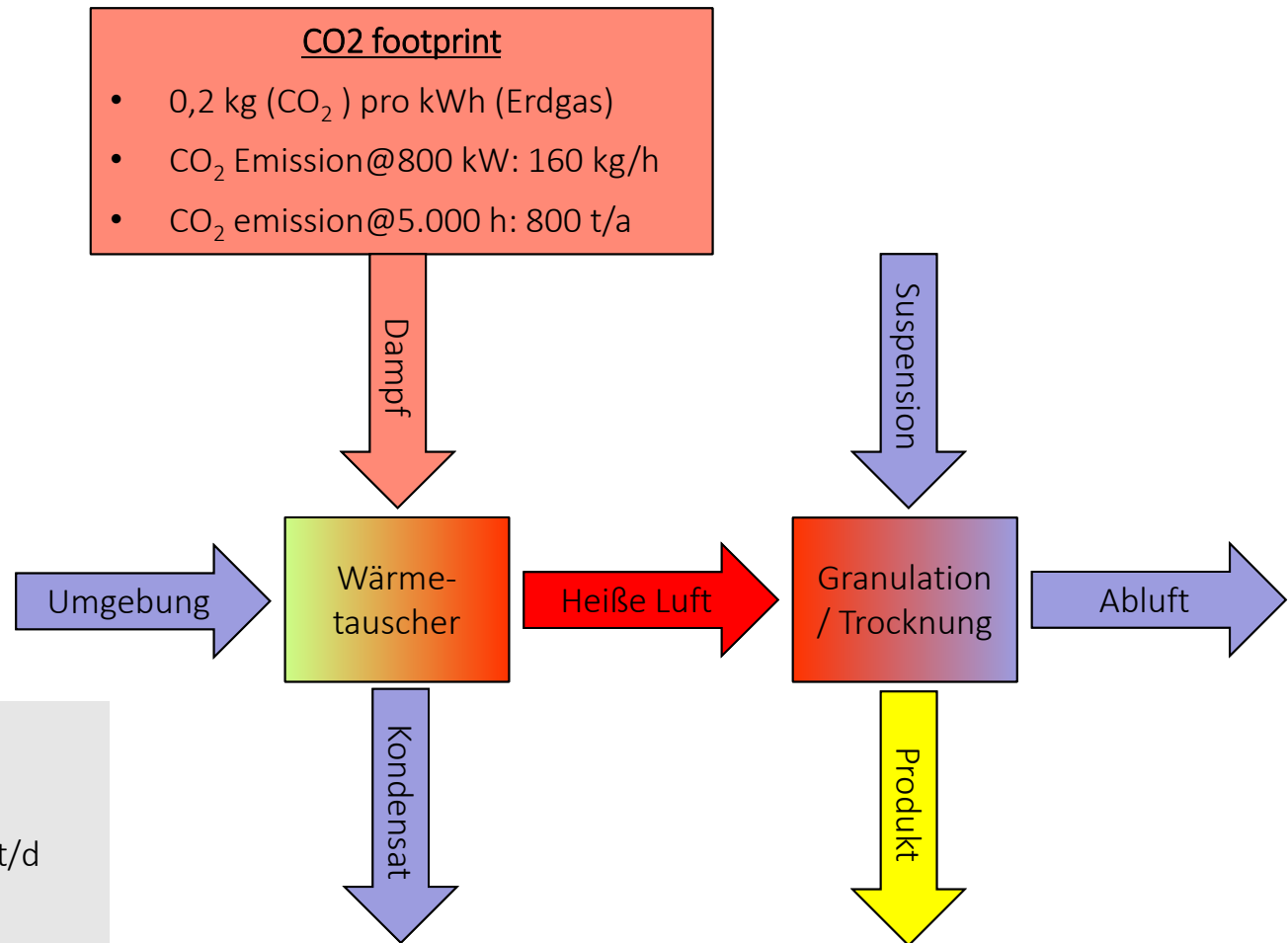
Applied in

- Lebensmittelindustrie
- Pharmazeutische Industrie
- Materialien für Batterien....
- ca. 20.000 t/a @ Pergande

Produktionsprozess und Wärmebedarf



- Prozessluft 30.000 m³/h,
- erforderliche Temperatur 80 °C
- Betrieb 24/7, Kapazität bis zu 24 t/d
- Heizleistung 800 kW



Anlage F-5

Inbetriebnahme 2022

Abwärmennutzung Druckluftanlage
(ab 2023/24)

Granulieranlage F-5

Investition Neuanlage in 2021-2022, Investition ca. 30 Mio. €



Flüssigproduktion



Granulation

Erzeugung von Druckluft

Luft unter Druck

- (Teuerstes) Medium in allen Prozessanlagen
- Nachfrage 24/7, 365 Tage im Jahr
- Verwendung: Reinigen von Filtern, Zerstäuben von Flüssigkeiten, Betätigen von Ventilen, ...
- Bei Druckluftherzeugung fallen immer große Mengen an Abwärme an (24/7)
- Kompressoren müssen gekühlt werden (24/7)
- Im schlechtesten Fall muss Wärme an Umwelt abgeführt werden, wenn keine Nutzung im Prozess

Einrichtung

- 7 x 1.800 m³/h Pressluft (7 bar)
- Elektrische Antriebsleistung ca. 1.300 kW
- Abwärme bis zu 1.200 kW (Kühlbedarf)



Verdichterstation

Kühlung des Kompressors

Vorherige Lösung

- Ableitung der Wärme von den Kompressoren an die Umgebung
- Kühlturm 1.350 kW

Innovative Lösung

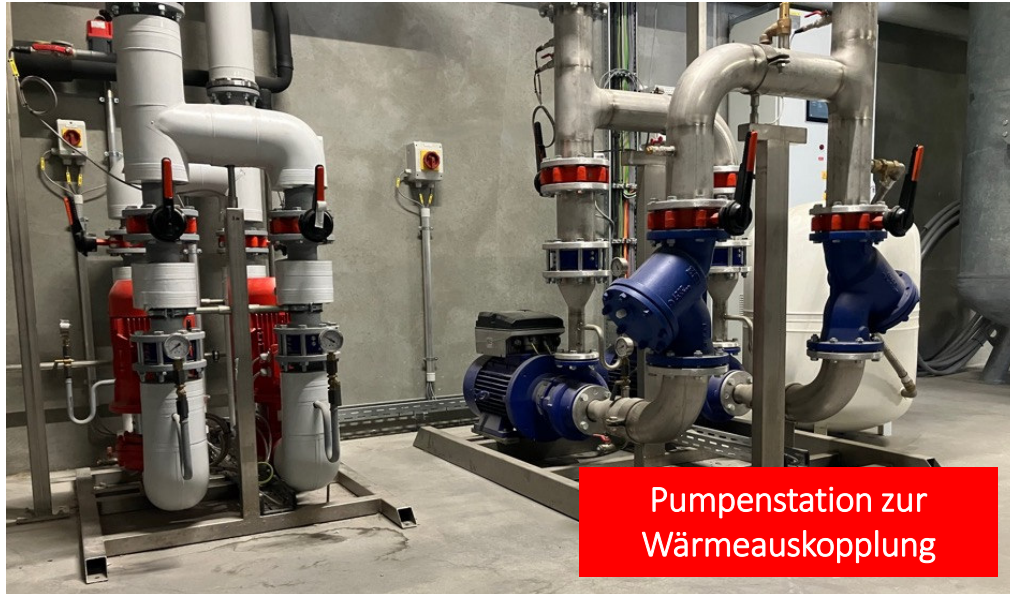
- Kühlsystem mit Wasserreservoir
- Nutzung der Wärme von Kompressoren zur Erwärmung der Prozessluft



Herausforderungen

- Kombination der Druckluftherzeugung an einem zentralen Punkt
- Präzise Regelung der Prozesslufteintrittstemperatur auch bei Lastwechsel der Kompressoren
- Nutzung der Abwärme 24/7

Wärmeauskopplung



Innovative Lösung

- Kühlsystem mit Wasserreservoir
- Nutzung der Wärme von Kompressoren zur Erwärmung der Prozessluft

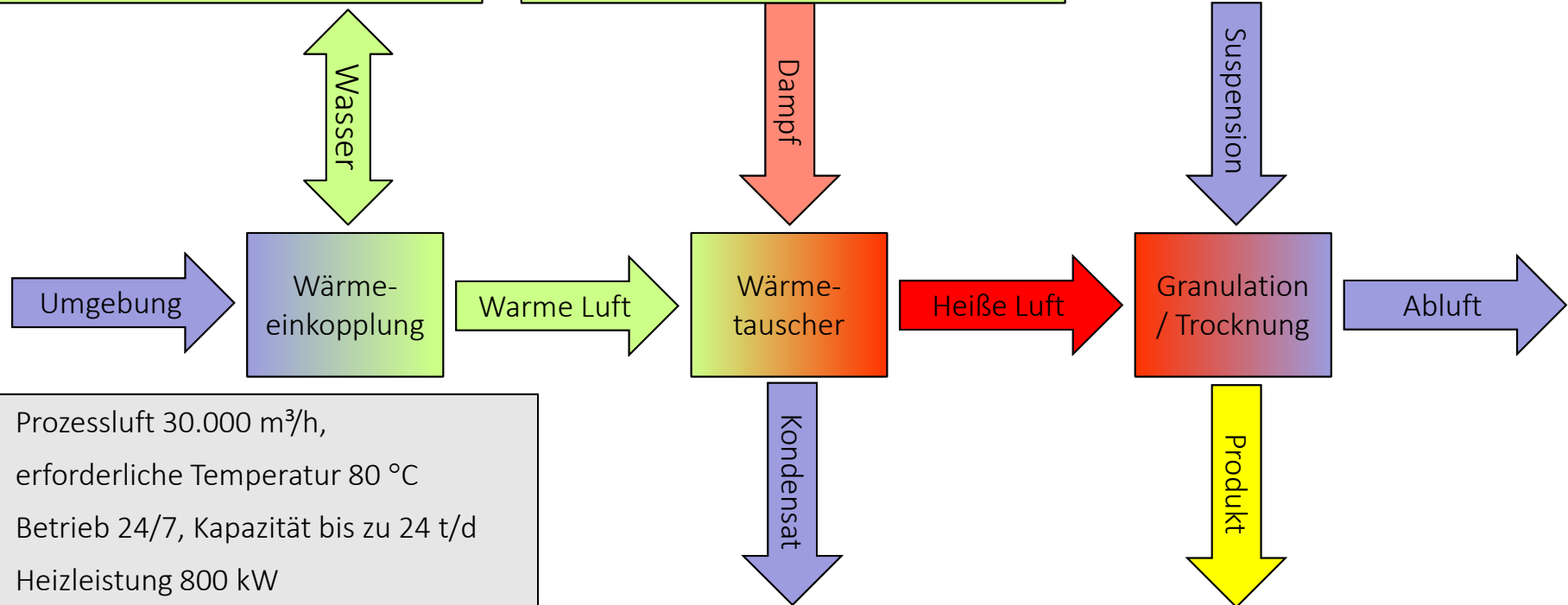


Verringerung des CO₂-Fußabdrucks

- Abwärme von Luftkompressoren
- Abwärme zunächst bis zu 400 kW
- 24/7 verfügbar
- Wasser als Träger

CO₂ footprint

- 0,2 kg (CO₂) pro kWh (Erdgas)
- CO₂ Emission@400 kW: 80 kg/h
- CO₂ emission@5.000 h: 400 t/a



- Prozessluft 30.000 m³/h,
- erforderliche Temperatur 80 °C
- Betrieb 24/7, Kapazität bis zu 24 t/d
- Heizleistung 800 kW

Anlage P-1/P-2

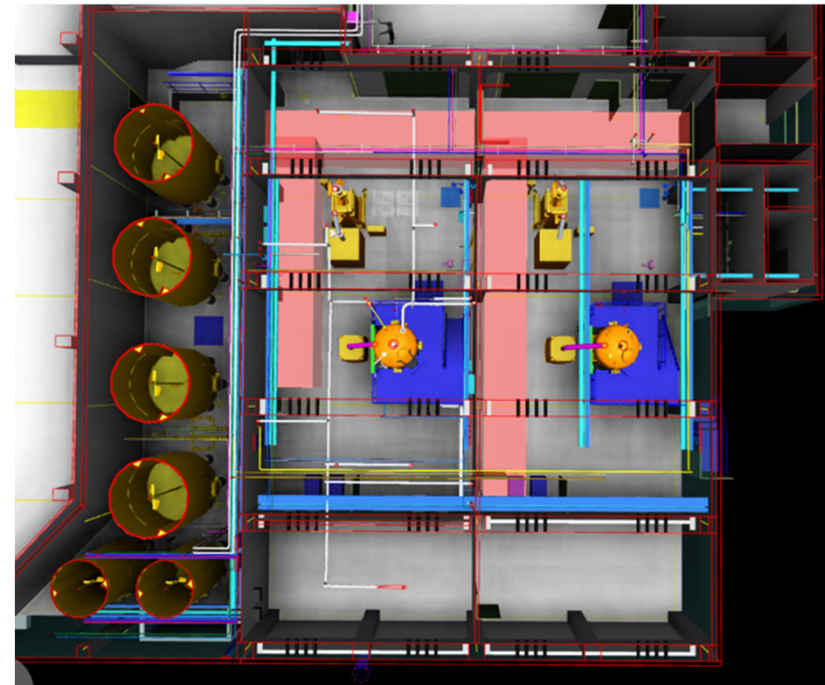
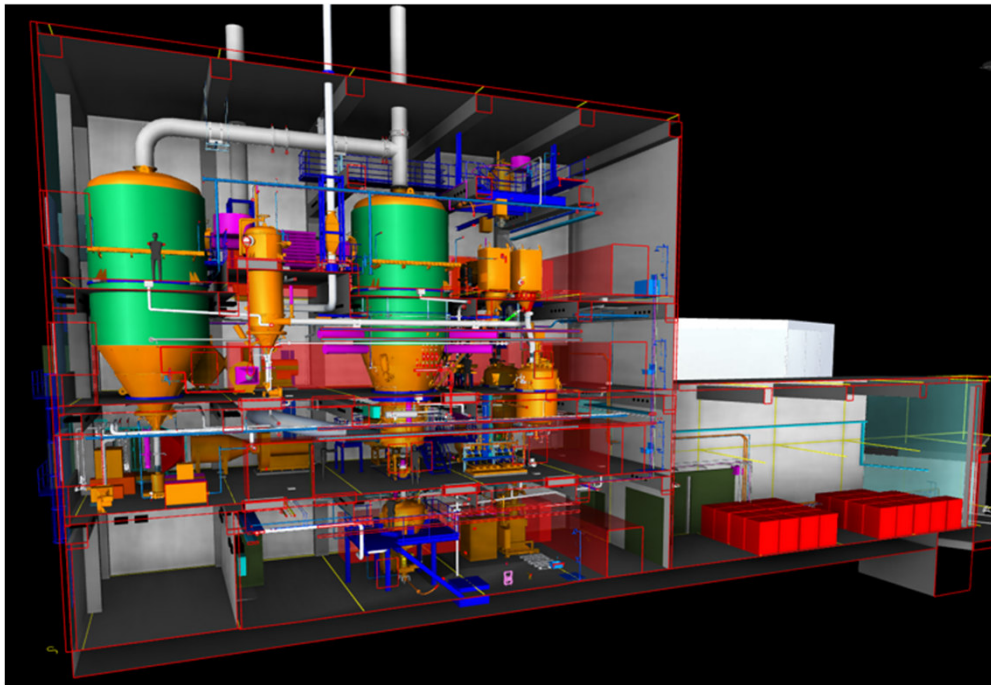
Inbetriebnahme 2026

Abwärmennetz

mit optimaler Abwärmeverteilung

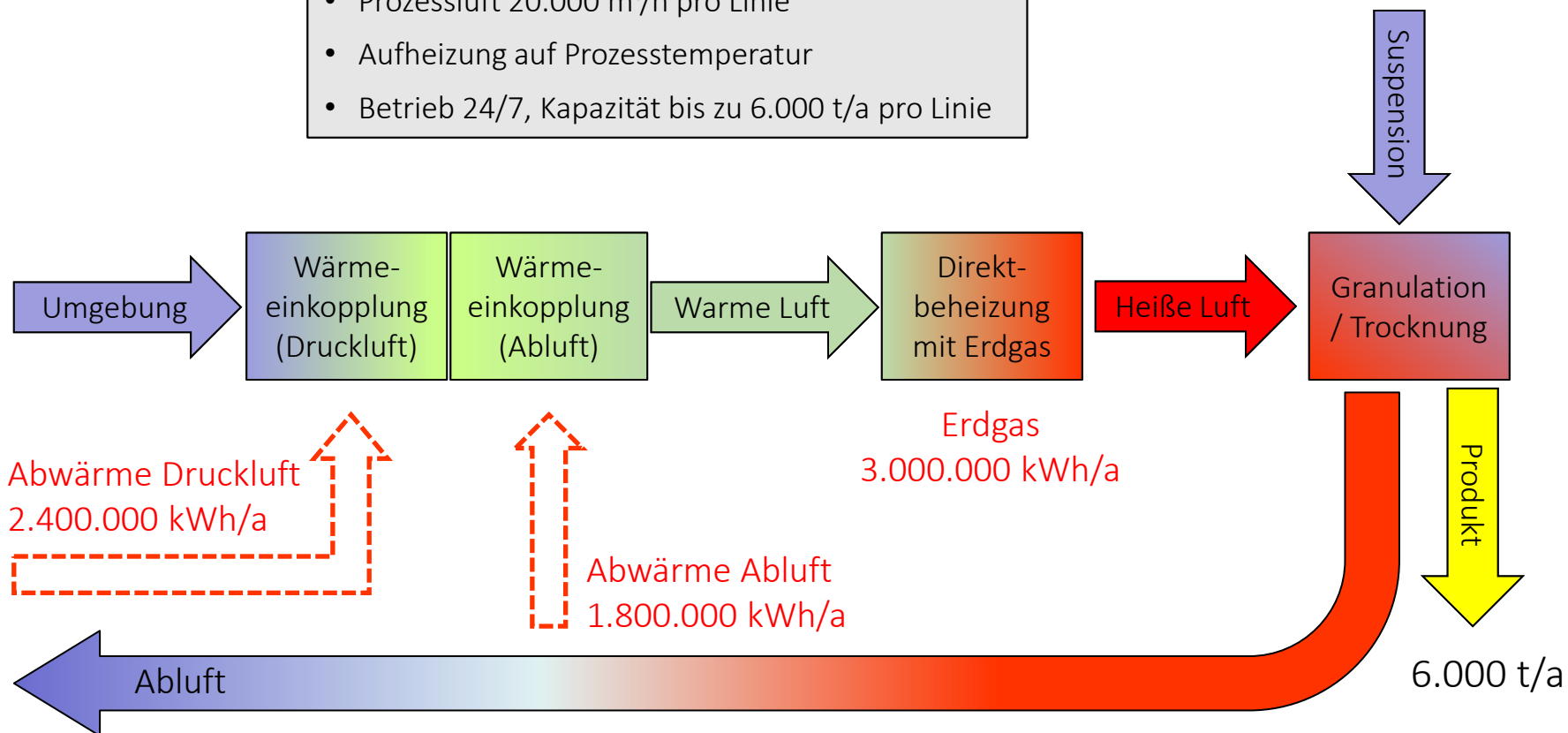
Polymergranulieranlage P-1 / P-2

Neubau Granulieranlage für Polymere in 2025-2026



Abwärmennutzung

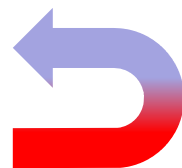
- Prozessluft 20.000 m³/h pro Linie
- Aufheizung auf Prozesstemperatur
- Betrieb 24/7, Kapazität bis zu 6.000 t/a pro Linie



Alle Maßnahmen Neuanlage

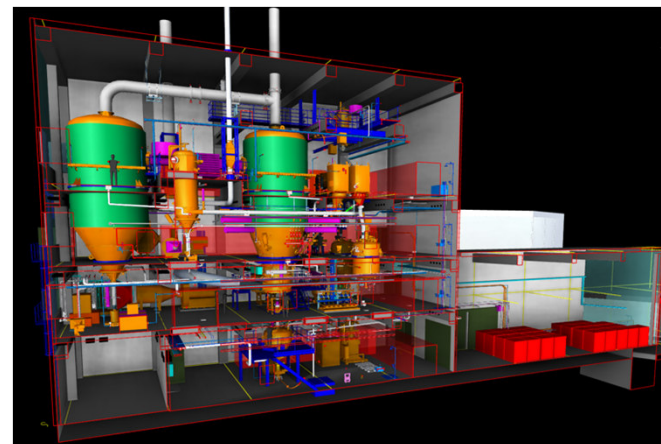
- Elektrische Antriebe mit **hoher Energieeffizienzklasse IE4** zur *Einsparung von Elektroenergie*
- Mit **Frequenzumrichter** ausgestattete Antriebe für eine optimale Einstellung der entsprechenden Betriebspunkte und damit *zur Einsparung von Elektroenergie*
- **Abwärmenutzung der Abluft** zur Vorheizung der Prozessluft *zur Einsparung von Erdgas*
- **Abwärmenutzung der zentralen Druckluftstation** zur Vorheizung der Prozessluft *zur Einsparung von Erdgas*
- Resterwärmung der Prozessluft mit **Direktbrenner Erdgas** und damit höherer Brennstoffnutzungsgrad im Vergleich zur herkömmlichen indirekten Dampfbeheizung *zur Einsparung von Erdgas*
- Abwärmenutzung der zentralen Druckluftstation zur **Hallen- und Prozesswasservorheizung** *zur Einsparung von Erdgas*
(Ca. 200 kW können für die Hallen- und Prozesswasservorheizung zur Verfügung gestellt werden.)

Abwärmennetz



Wärme-
speicher

weitere
interne und externe
Wärmequellen



Roadmap „Abwärmenutzung“



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!
Fragen oder Anmerkungen?

KEDI Webinar VALERI erklärt– Energieeffizienz-Investitionen in Industrie-KMU bewerten



Jetzt kostenlos anmelden

Nicht verpassen!



19. Mai 2026



14:00 – 15:15 Uhr

dena Energy Award 20 Jahre für Energieeffizienz und Klimaschutz - jetzt bewerben!



Wir suchen IHR PROJEKT.

**Zeigen Sie, wie Klimaneutralität und
industrielle Transformation gelingen.**

- 3 Kategorien + 1 Sonderpreis
- Preisträgerfilme und 5.000 € für KMU-Sonderpreis
- Bewerbungszeitraum: 08.04.–05.06.2026
- Feierliche Award-Verleihung - 09.11.2026 - dena Kongress - Berlin



Jetzt bewerben

Wie hat Ihnen das heutige Webinar gefallen?



Ihre Meinung
ist gefragt!

Ein Projekt der

dena

Vielen Dank und bleiben Sie mit uns in Kontakt!



KEDi Newsletter

Erik Förster
erik.foerster@dena.de

Martin Meilick
martin.meilick@dena.de

Weitere Informationen finden
Sie unter www.kedi-dena.de

Ein Projekt der

dena