

# Abwärmennutzung / Technologien / Energie- und Prozessoptimierung an thermischen Anlagen

oder:

## Von der Prozessoptimierung zur Abwärmennutzung

*Therm-Process-Consulting,*

**Dr.-Ing. Jens Strack**

Ortsstraße 35,  
09627 Bobritzsch,

Telefon: 037 325 / 184 86

Mobil: 0173 / 372 33 63

Email: [jensstrack@hotmail.com](mailto:jensstrack@hotmail.com)



## **Gliederung**

1. Motivation
2. Allgemeine Energieeffizienzbetrachtung an Thermoprozessanlagen
3. Prozessanalyse zur Energieoptimierung
4. Abwärmenutzung
5. Zusammenfassung

## Motivation

### Energieoptimierung

- Betriebskosten einer Thermo-Prozessanlage sind zu einem hohen Anteil Energiekosten
- Senkt Betriebskosten
- Puffert Energiepreiserhöhungen ab.
- ichert/stärkt die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens.
- Birgt hohes wirtschaftliches Potential  
(bis hin zu Produktionsausweitung durch Möglichkeit einer besseren Preisgestaltung).
- Führt zu CO2-Einsparung und damit zur Imageverbesserung.
- Im Rahmen von Energieeffizienz motivierten Prozessoptimierungen steigt meist auch die Qualität und Sicherheit des Prozesses.
- Durch kleine Eingriffe lassen sich häufig schon messbare Ergebnisse erzielen.
- Belohnung



## Energieeffizienzüberlegungen

Eine Thermoprozessanlage verbraucht im Lauf seiner Betriebszeit oft ein Vielfaches ihres Anschaffungspreises.

Anlagenhersteller verkaufen meist Anlagen des eigenen Standes der Technik.

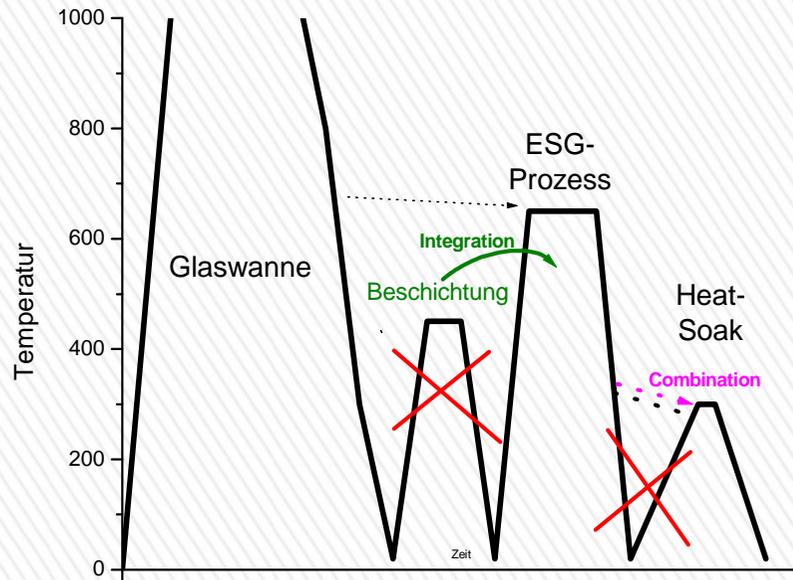
→ Eigenes Nachdenken ist gefordert

- sowohl für die Optimierung vorhandener Prozesse
- aber auch für den Neukauf von Anlagen.

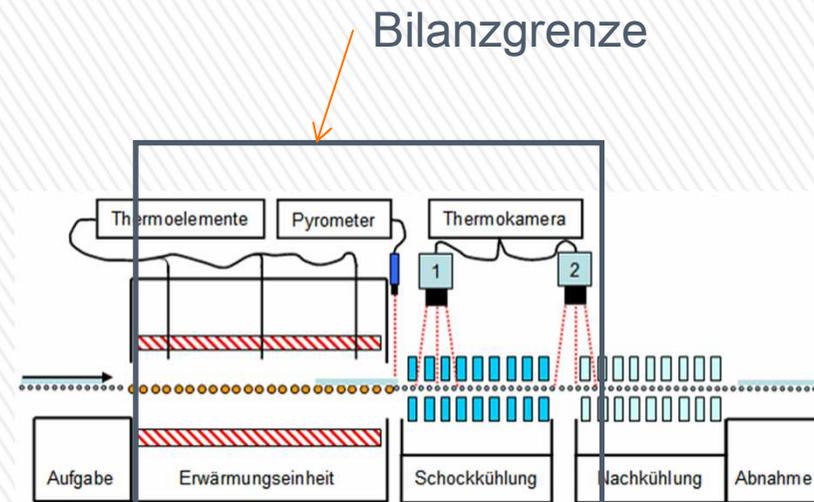
# Betrachtung des Gesamtprozesses

## Definition von Bilanzräumen

Beispiel: Einscheibensicherheitsglas

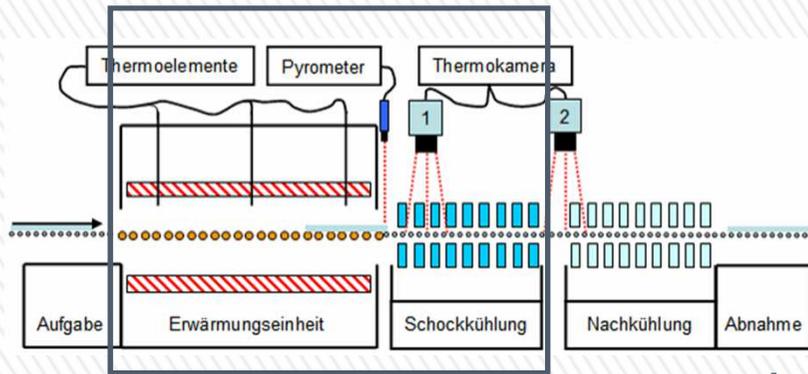


Gesamt-Prozess



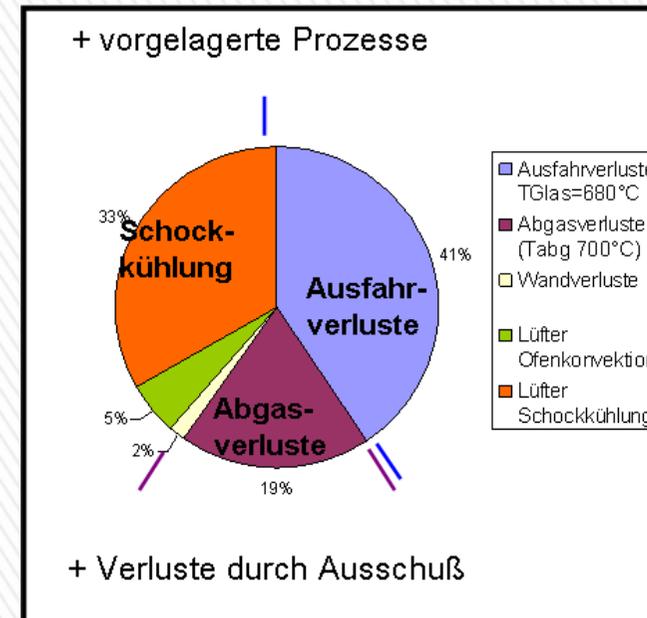
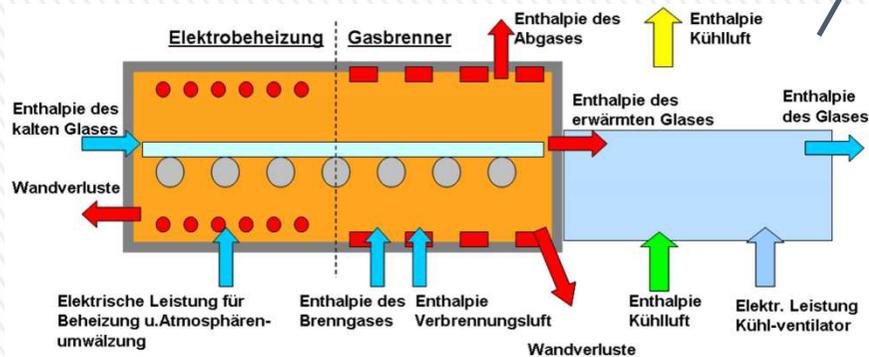
Teilprozess-Prozess

## Betrachtung der Energie- und Stoffströme



Analytierte Energie und Massenströme:

Glasmasse, Heizenergie/Gasvolumen,  
Abgasströme, Kühlluftmasse, Lüfterleistung,  
Ofenverluste,



Größte Ansatzpunkte für Optimierung:

- Ausfahrverluste
- Kühlung
- Abgasverluste

## Wärmeeintrag in Thermoprozessanlagen

$$\text{Wärmeeintrag } \dot{Q} = \dot{m} * h$$



Brennstoff:  $\dot{Q} = \dot{m} * c_p * (T_E - T_A)$

Luft:  $\dot{Q} = \dot{m} * c_p * (T_E - T_A)$

Lüftübersch.:  $\dot{Q} = \dot{m} * c_p * (T_E - T_A)$

Wanderwärm:  $Q = \frac{n}{t} * m * c_p * (T_E - T_A)$

Falschluff:  $\dot{Q} = \dot{m} * c_p * (T_E - T_A)$

Wandverluste:  $\dot{Q} = k * A * (T_i - T_a)$

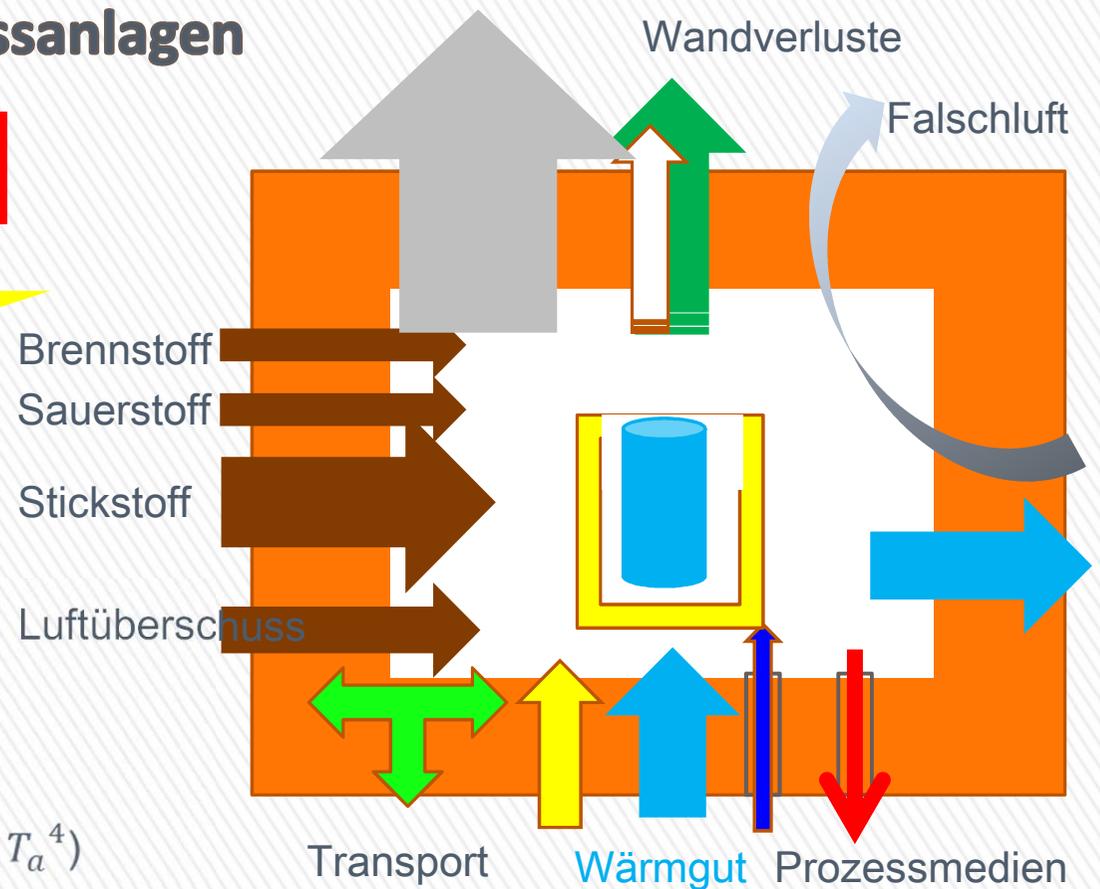
Strahlung aus Öffn.:  $\dot{Q} = \sigma * A * \varepsilon * (T_i^4 - T_a^4)$

Transportsyst.:  $\dot{Q} = \dot{m} * c_p * (T_E - T_A)$

Reaktionsmedien:  $\dot{Q} = \dot{m} * c_p * (T_E - T_A)$

Wärmegut:  $\dot{Q} = \dot{m} * c_p * (T_E - T_A)$

$$\dot{Q}_{ges} = \dot{Q}_1 + \dot{Q}_2 + \dot{Q}_3 + \dots$$

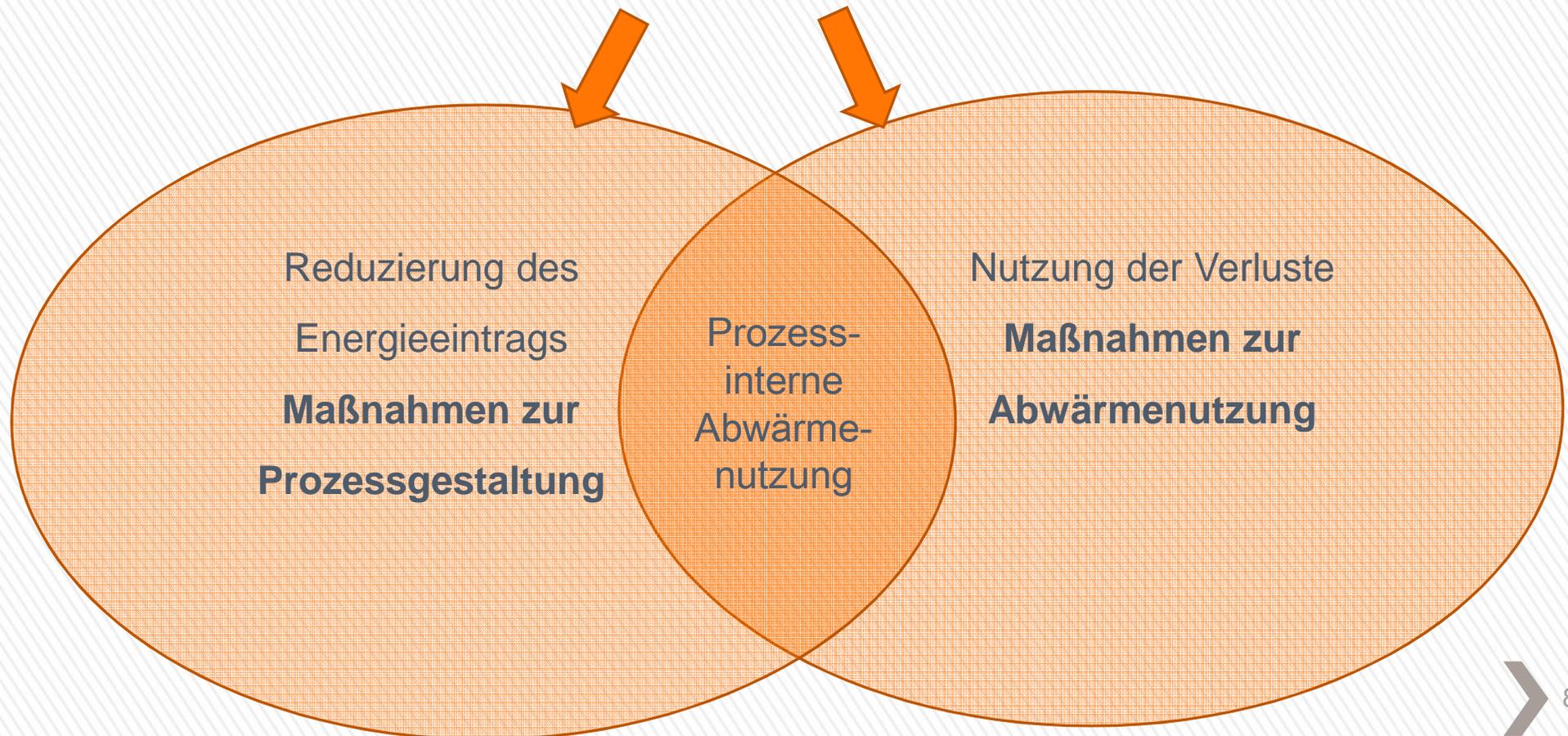


Abwärmenutzung aus  
ausgehenden Energieströmen



## Energieeffizienz

### Wege zur Energieeffizienz



## **allgemeine Maßnahmen zur energieeffizienten Prozessgestaltung**

### vorgelagert

- Wegfall von Prozessstufen
- Ersatz energieintensiver Prozesse

### prozesseingreifend

- Verringerung der Ausfahrverluste
- Verringerung der Temperatur
- Verringerung der Abgasmenge
- Reduzierung von Falschluff
- Reduzierung der Wandverluste
- Erhöhung des Durchsatzes

### prozessbegleitend

- Verminderung des Ausschusses
- Optimierung der  
Verfahrensparameter
- Transparente Prozessgestaltung für  
Anlagenfahrer (Prozessführung)
- Optimierung von Steuerung und  
Regelung
- (Verringerung der Energiekosten)

### nachgelagert (Abwärmenutzung)

## Weglassen von Prozessschritten

Beispiel Keramikfertigung:

Traditionelle Verfahrensweise

Formen  
→ Trocknen  
→ **Glühbrand**  
→ **Glasieren**  
Glattbrand  
→ Dekorieren  
Dekorbrand

Voraussetzung:

Spezifischer Energieeinsatz  
Glühbrand: 2,5 MJ/kg  
Glattbrand: 6,2 MJ/kg  
Dekorbrand: 5,5 MJ/kg  
Gesamt: 14,2 MJ/kg

Einbrandverfahren

Formen  
→ Trocknen  
→ **Glasieren** **Glühbrand entfällt**  
Glattbrand  
→ Dekorieren  
Dekorbrand

wasserarmes Glasieren (Sprühen statt Tauchen)

Einsparung komplette Prozessschrittenergie  
6,2 MJ/kg  
5,5 MJ/kg  
11,7 MJ/kg

$\Delta q = 18 \%$

Aber: Neue Verfahren müssen entwickelt/getestet werden. → evtl. Forschungsbedarf

## **Ersatz energieeffizienter Prozesse**

z.B. durch

Kleben statt Schweißen,

Luft-Trocknen statt Heiß-Trocknen

Selektives Erwärmen statt Durcherhitzen

Membranfilterung statt Destillation

...

## Verringerung der Nutzenergie

$$\dot{Q} = \dot{m} * c_P * (T_E - T_A)$$

### Reduzierung der Masse

- des Produkts  
z.B. leichtere, fester Werkstoffe  
(dünnes Edelstahl- statt dickem Eisenblech)
- der Transportmittel  
CFK-Gestelle, Keramik, leichtere Ausführung
- der Hilfsstoffe (Schutzgas, etc.)

### Teilerwärmung

- Selektive Erwärmung der Zonen, die thermisch behandelt werden sollen  
z.B. durch alternative Beheizungsverfahren



## Verringerung der Nutzenergie

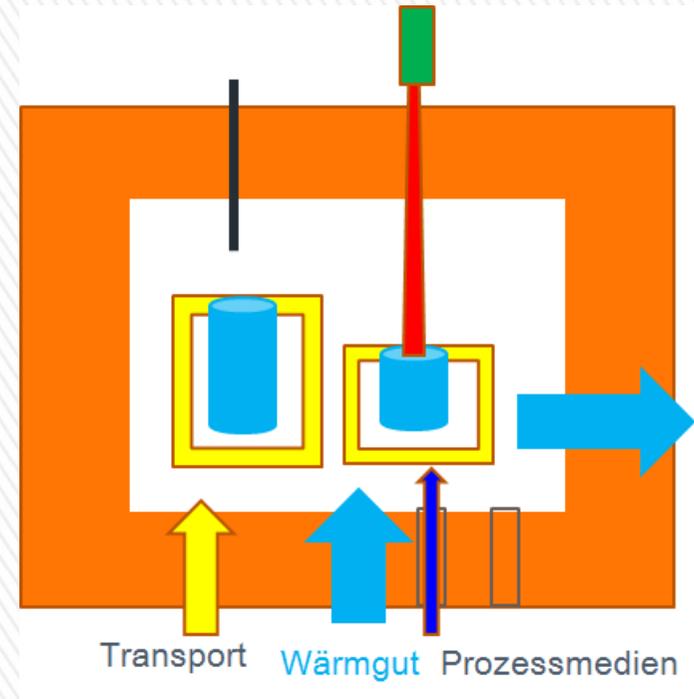
$$\dot{Q} = \dot{m} * c_P * (T_E - T_A)$$

### Reduzierung der Temperatur

- Prüfen: Muss der Prozess so heiß sein?
- verbesserte Temperaturmessung
- andere Rohstoffe (z.B. Sinterhilfsmittel)
- Verbesserung der Wärmeübertragung  
z.B. Konvektion, Mikrowellen, Induktion

### Vorwärmen des Wärmegutes

und der Transportmittel  
z.B. durch **Abwärme**  
oder günstigere Energie



Vorwärmung um 60°C bei  
Zieltemperatur von 620 °C führt  
zu einer Energieeinsparung von  
10 %

## Verringerung der Nutzenergie

Reduzierung von Ausschuss z.B. durch:

- Qualitätskontrollen vor dem Ofen/  
dem energetischen Prozess
- durch frühes Erkennen von  
Instabilitäten des Prozesses
  - durch Messung der Gut- statt der  
Ofentemperatur
  - Messung von Prozess-spezifischen  
und Umwelt- Parametern
- ➔ durch Prozessführungsmodell
- Verkürzen von Anfahrprozessen

Beispiel:

Reduzierung Ausschuss von  
a)\_10 % auf b)\_5 %:

Geliefert werden sollen  
100 Einheiten:

a) Notwendig 111 Einheiten

b) Notwendig 106 Einheiten

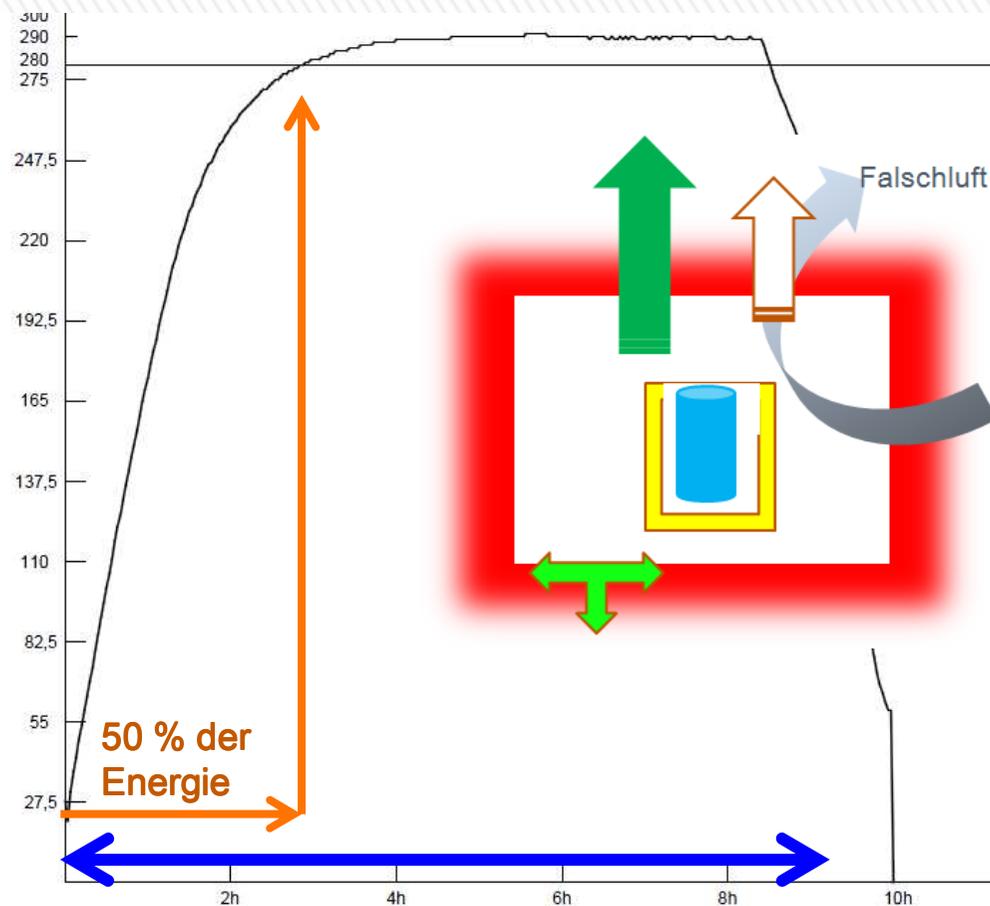
Steigerung der Ausbeute um 5 %  
entspricht Einsparung von

~4,5 % Energie (+ Material, Lohn, etc.)

**Ausschussreduzierung  
ist Energie-Sparen**



## Verringerung der Wandverluste



Temperaturprofil eines Heatsoakofens

$$\text{Wanderwärm: } Q = \frac{n}{t} * m * c_P * (T_E - T_A)$$

→ Leichte Ofendämmung bei chargenbetrieb mit Abkühlung

$$\text{Wandverluste: } \dot{Q} = k * A * (T_i - T_a)$$

$$\left( \frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_i} + \left( \frac{s}{\lambda} \right)_1 + \left( \frac{s}{\lambda} \right)_2 + \dots + \frac{1}{\alpha_a} \right)$$

Anstreben: Wärmedämmung aus  
→ Dicke Wände  
→ Gute Wärmedämmung

Wenn möglich Fasermaterial

→ Wandverluste fallen energetisch vor allem dann ins Gewicht, wenn der Prozess sehr lang ist.

## Verringerung der Wandverluste

Schließen von Öffnungen  
(Vermeidung von Falschluff,  
Reduzierung Wärmestrahlung)

Falschluff:  $\dot{Q} = \dot{m} * c_p * (T_E - T_A)$

Strahlung aus Öffn.:  
 $\dot{Q} = \sigma * A * \varepsilon * (T_i^4 - T_a^4)$

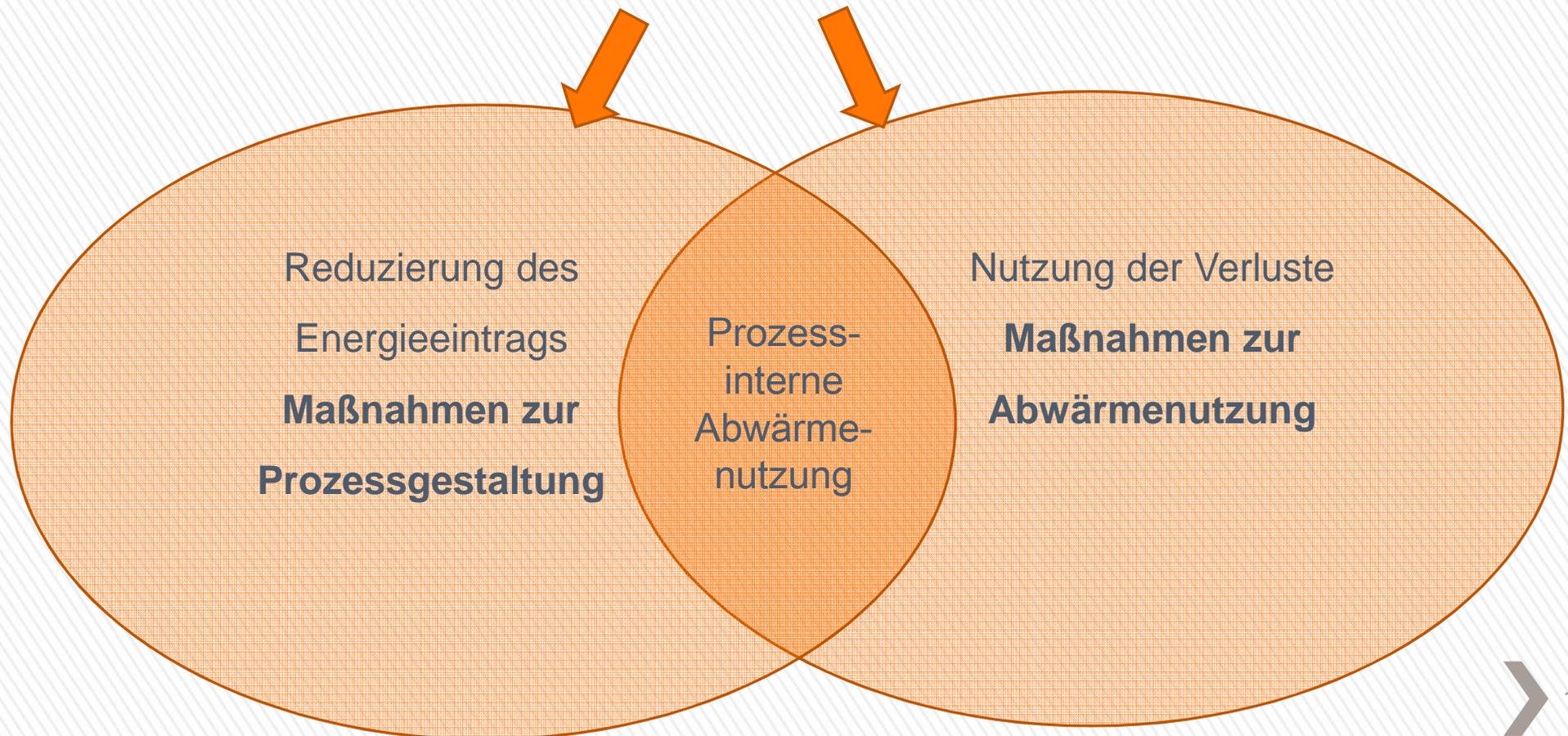


Strahlung	mm	Fläche	Boltzmann	Emission	T(Ofen)	T (Umg)	Wärmeverlust	Betriebsstunden	Preis	
Breite	100	dm <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup>	schw.Str	°C	°C	kW	h	€/kWh	€
Höhe	100	1	5,67E-08	1	1100	20	2,0	6000	0,035	422,26

Falschluff aus Öffnung:		Beaufort 1	m/s =1	Kaum merklich, Rauch treibt leicht ab,						
		Beaufort 2	m/s=2,5	Blätter rascheln, Wind im Gesicht spürbar						
Fläche	Geschw.	Volumen	Dichte (1000°C)	cp (1000°C)	Temp aus	Temp Umg	Wärmeverlust	Betriebsstunden	Preis	
m <sup>2</sup>	m/s	m <sup>3</sup> /s	kg/m <sup>3</sup>	kJ/m <sup>3</sup> K	°C	°C	kW	h	€/kWh	€
0,01	1	0,01	0,274	1,184	1000	20	3,2	6000	0,035	667,65
0,01	2,5	0,025	0,274	1,184	1000	20	7,9	6000	0,035	1.669,12

## Energieeffizienz

### Wege zur Energieeffizienz



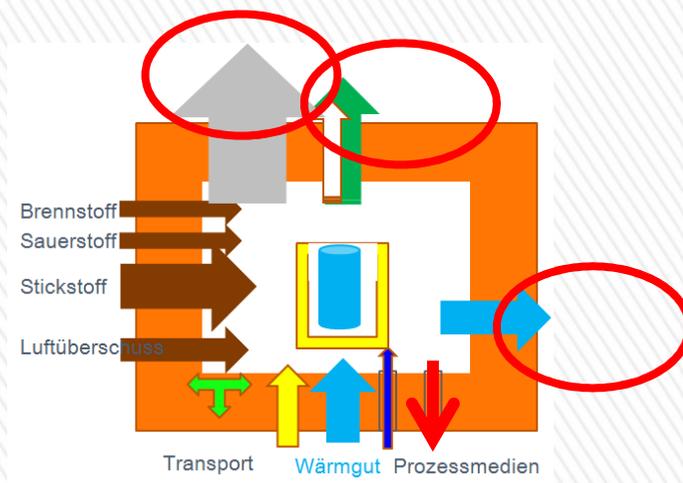
## Maßnahmen zur prozessinternen Abwärmenutzung

### Wärmerückgewinnung

- aus dem Abgas
- dem Wärmegut / Transportsystem
- Medien
- den Wandverlusten

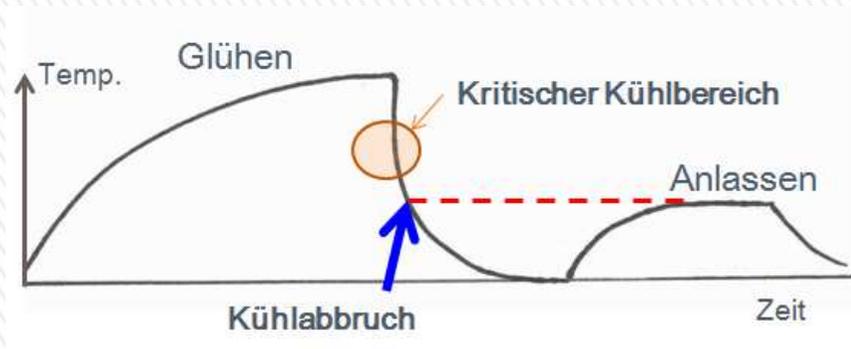
### Nutzung Prozessintern für:

- Vorwärmung der Verbrennungsluft
- Vorwärmung des Wärmegutes
- (Aufheizen des Ofens)



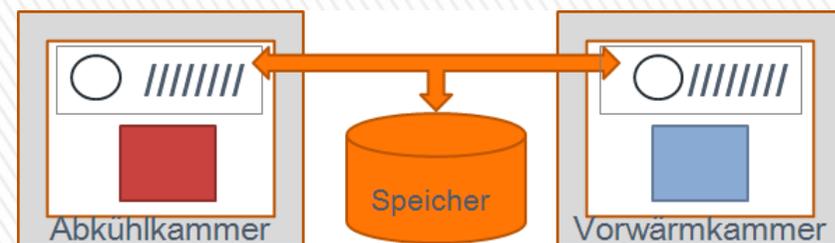
## Gutvorwärmung

- durch Wärmerückgewinnung aus
  - Abgasen
  - Ausfahrgut
- durch Abwärme aus anderen Prozessen
- Regenerative Energien
- günstigeren Energieträgern
- Kühlinterbrechung



## Realisierung durch:

- Wärmeübertrager  
(bei flüssigen und gasförmigen Medien)
- Aufheizräumen
- Aufheizöfen
- Anblasen
- Wärmekonservierung durch Speicherung
- Prozesskenntnis



## Gutvorwärmung

Beispiel: Prozesstemperatur 620 °C

$$(T_E - T_A) = 600 \text{ °C}$$

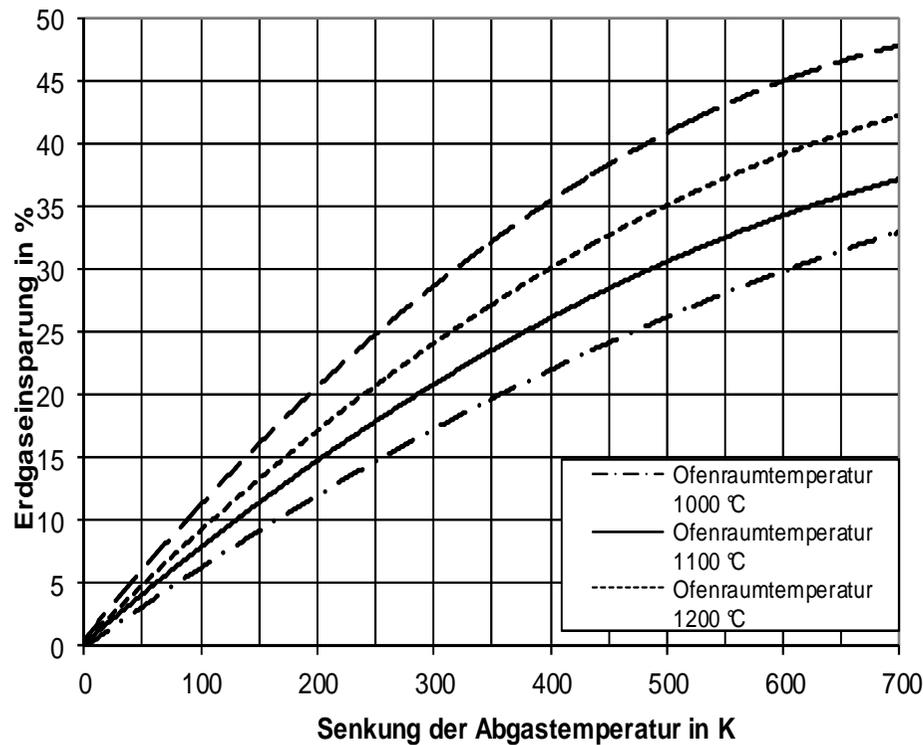
Mit Gutvorwärmung auf 80 °C

$$(T_E - T_A) = 540 \text{ °C} \rightarrow \text{Energiebedarf sinkt auf 90 \%}$$

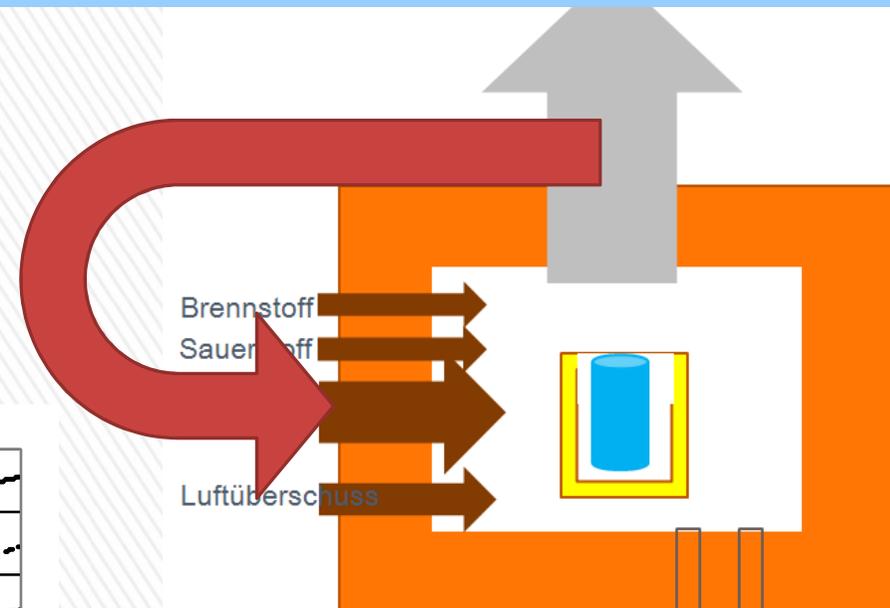
- 10 % Energieeinsparung bei Wärmgut
- +kürzere Verweildauer
- + geringere Abgasverluste
- +Geringere Wandverluste

## Verbrennungsluftvorwärmung

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_P \cdot (T_E - T_A)$$



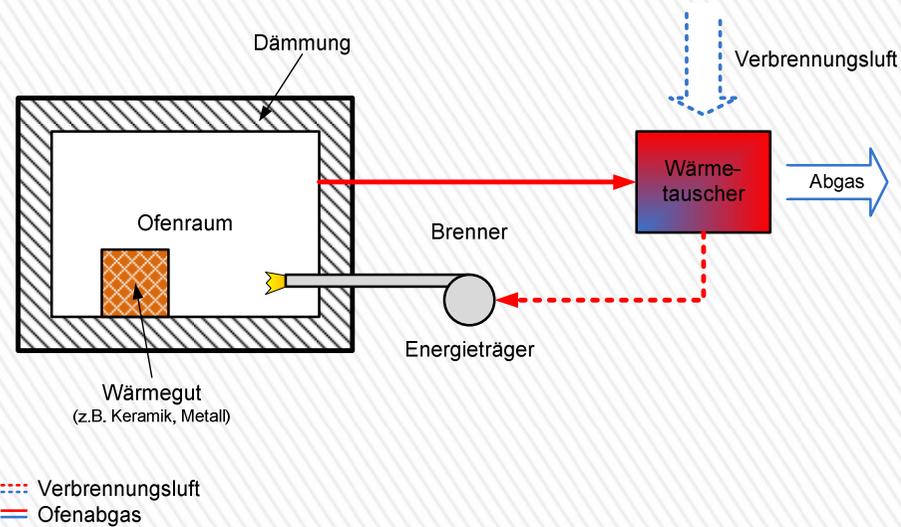
Quelle:



Anheben der Anfangstemperatur von Verbrennungsluft und Brennstoff mittel Abwärme aus dem Abgas

Durch Verbrennungsluftvorwärmung sind enorme Energiesparpotentials zu gewinnen.

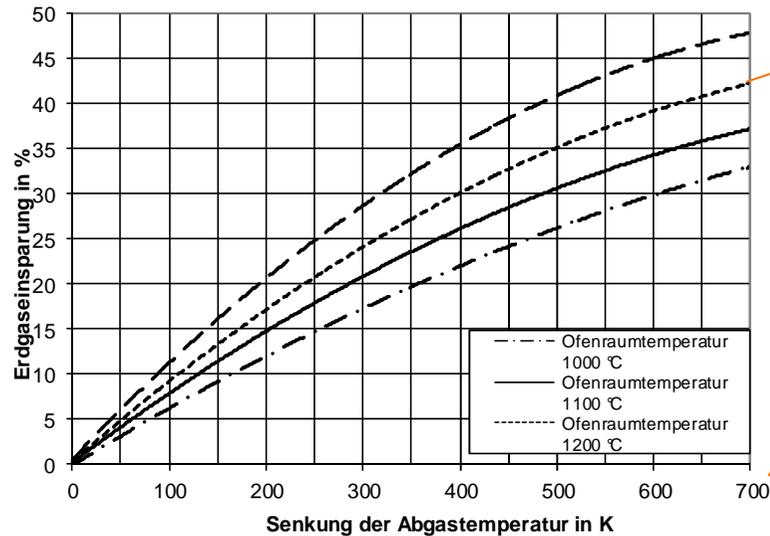
## Verbrennungsluftvorwärmung



- Externen Wärmetauscher
- Brenner intern  
Regeneratorbrenner  
Rekuperatorbrenner

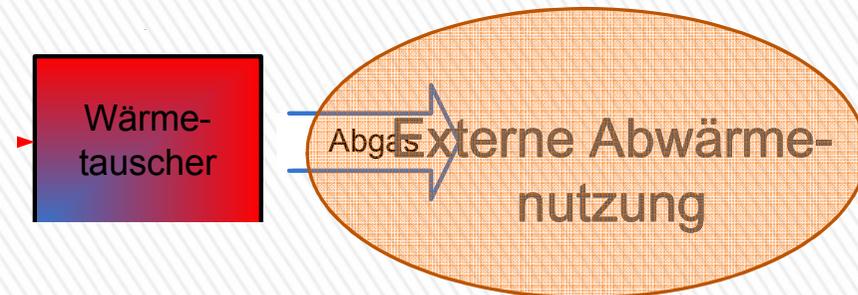
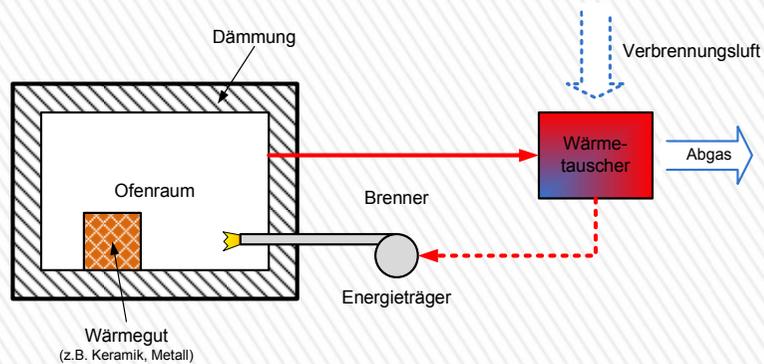


# Verbrennungsluftvorwärmung lässt noch weiteres Potential offen



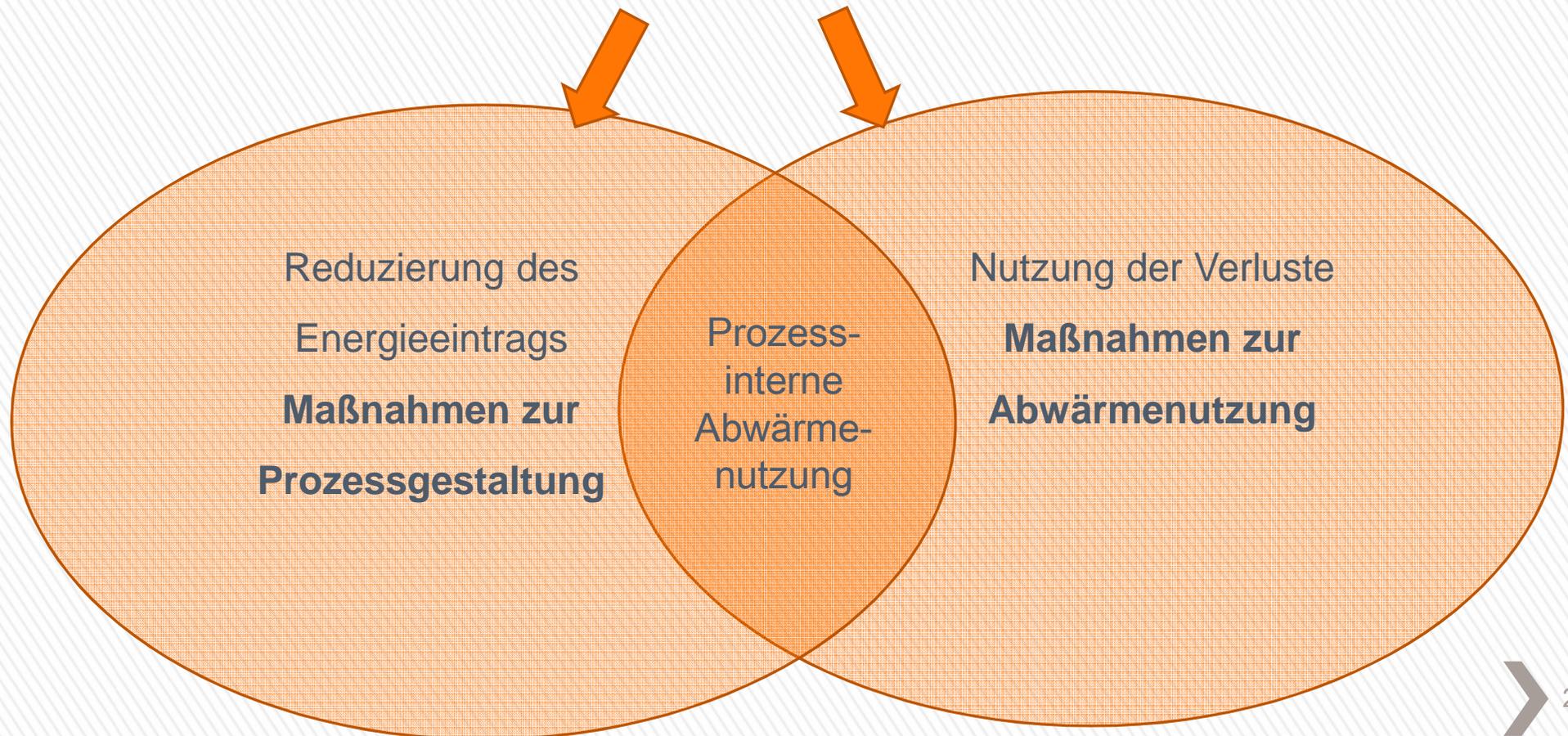
1200 °C  
- 700 °C  
= 500 °C

Durch Verbrennungsluftvorwärmung ist Potential der Abwärmenutzung noch nicht ausgenutzt.

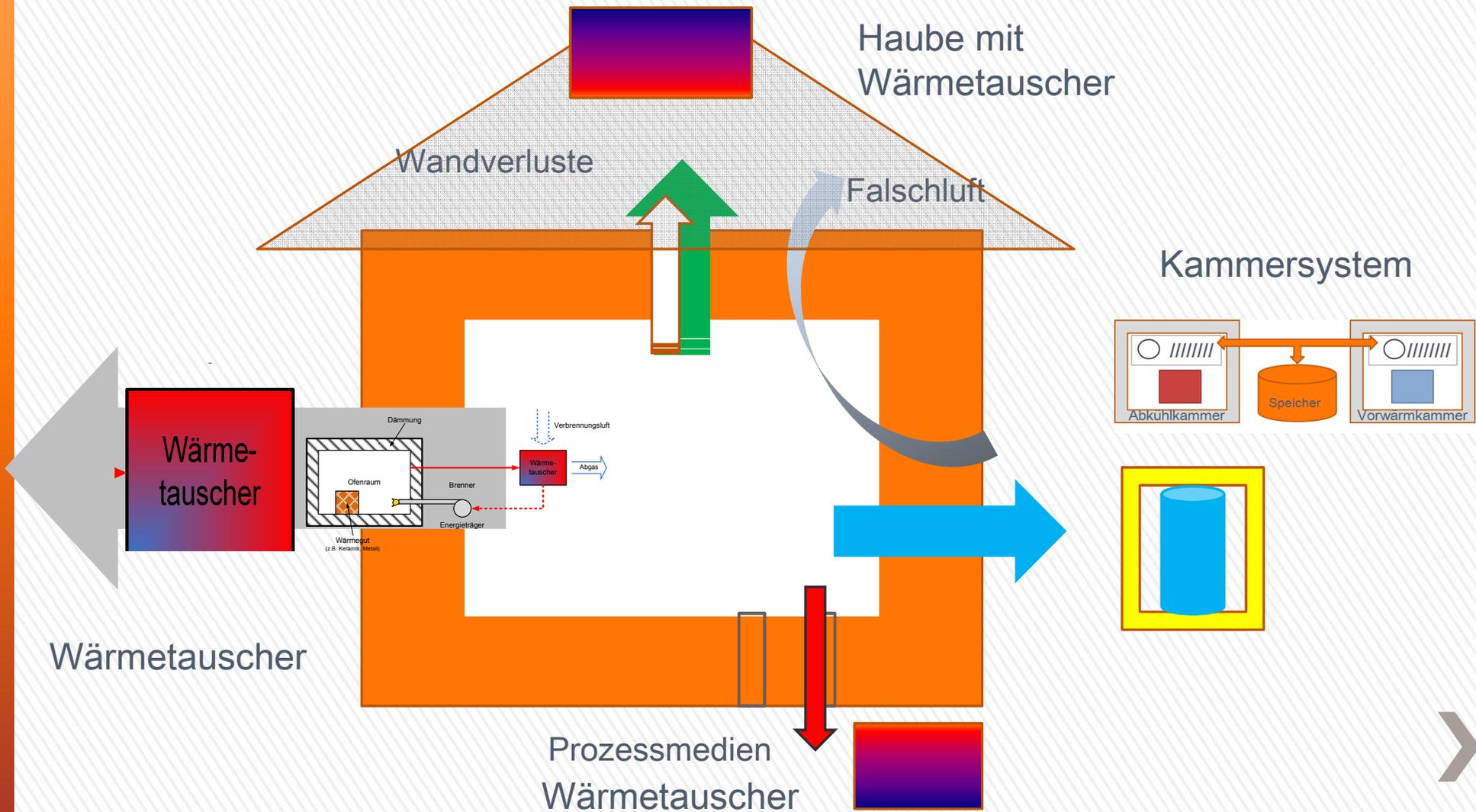


## Energieeffizienz

### Wege zur Energieeffizienz



## Möglichkeiten der Abwärmegewinnung



## Allgemeines Vorgehen bei der Abwärmenutzung

- Verminderung des Auftretens von Abwärme
- Reintegration der Abwärme in den Prozess
  
- **Betriebsinterne Verwendung** der Abwärme auf einem möglichst hohen Temperaturniveau (Integration in andere Prozesse oder die Raumheizung/Warmwasserbereitung)
- **Transformation in andere Nutzenergieformen** (elektrische Energie, Klima-Kälte)
- **Abgabe nicht intern nutzbarer Abwärme** an Dritte (z.B. an benachbarte Unternehmen, zur Beheizung von Wohn- oder Geschäftsräumen, zur Wärmebedarfsdeckung von Sport- und Freizeitanlagen)

Prozess intern

Prozess extern

## Allg. Vorgehen bei der Abwärmenutzung

Einordnen des Abwärmepotentials nach:

- dem Temperaturniveau,
- der verfügbare Energiemenge
- der zeitliche Verfügbarkeit,  
(kontinuierlich oder schwankend, saisonal,  
Anzahl der Volllaststunden pro Jahr)
- dem Medium der Abwärme (z.B. Abgas, Kühlwasser),
- Verschmutzung des Abwärmemediums  
(Staub, Öl, giftige oder brennbare Substanzen, aggressive  
oder korrosive Bestandteile, Ruß, kondensierbare Dämpfe wie  
z.B. Teer oder Fett)

Auch beschrieben in:



## Allg. Vorgehen bei der Abwärmenutzung

Einordnen des Wärmebedarfs nach:

- dem Temperaturniveau,
- der benötigten Energiemenge
- der zeitlich Anforderung,  
(kontinuierlich oder schwankend, saisonal,  
Anzahl der Volllaststunden pro Jahr)



Entwicklung  
Nutzungskonzept

## Hilfestellung Checkliste

Eine Checkliste zu allen Punkten befindet sich in Abwärmebroschüre



Kriterien	Wärmenutzung				Stromerzeugung			Kälteerzeugung
	Prozessinterne Wärmenutzung (Verbrennungsluftvorwärmung, Vorwärmung von Prozessströmen)	Betriebsinterne Wärmenutzung (Für andere Prozesse mit geringeren Temperaturanforderungen oder Heizwecke)	Externe Wärmenutzung (Weitergabe an Dritte, z.B. in Wärmenetzen)	Wärmepumpen (Anheben des Temperaturniveaus, meist für Heizwecke)	ORC-Prozess	Dampfturbine	Stirlingmotor	Sorptionsteilmaschinen
<b>Technische Kriterien der Abwärme-Quelle</b>								
1. Wie hoch ist das durchschnittliche Temperaturniveau des Abwärmemediums?								
T < 50 °C (Niedertemperatur)	--	--	--	++	--	-	-	-
50 °C ≤ T ≤ 150 °C (Niedertemperatur)	-	+	0	-	0	-	-	+
150 °C ≤ T ≤ 500 °C (Mitteltemperatur)	+	+	+	-	++	+	-	0
T ≥ 500 °C (Hochtemperatur)	++	+	+	-	+	++	+	0
2. Wie hoch ist die durchschnittliche Leistung der Abwärmequelle?								
< 10 kW	-	-	--	0	--	-	-	-
> 10 kW	-	+	-	++	0	0	+	-
> 100 kW	++	++	+	+	+	+	+	+
> 1 MW	++	+	++	0	++	++	-	0
> 10 MW	++	+	++	-	++	++	-	-
3. Welchen Aggregatzustand weist das Abwärmemedium auf?								
gasförmig	+	0	0	-	-	0	+	0
flüssig	+	+	+	-	+	+	+	+
4. Ist das Abwärmemedium verschmutzt oder enthält störende Bestandteile? (z.B. Staub, Ruß, Fett, brennbare/ giftige Bestandteile, Dämpfe)								
→ wenn notwendig geeignete Filter / Abscheider vorsehen								
5. Fällt die Abwärme in der Regel durchgängig (kontinuierlich) an oder gibt es Schwankungen (diskontinuierlich)?								
kontinuierlich	0	+	+	+	+	+	+	+
diskontinuierlich	0	-	-	-	-	-	-	-
6. Wie oft steht die Abwärme zur Nutzung bereit? (Angabe in Stunden pro Jahr)								
< 2000	+	-	--	-	--	-	-	-
2000 - 4000	++	0	-	-	-	-	-	+
4000 - 6000	++	+	0	++	+	+	+	++
> 6000	++	++	++	++	++	++	++	++

Kriterien	Wärmenutzung				Stromerzeugung			Kälteerzeugung	
	Prozessinterne Wärmenutzung (Verbrennungsluftvorwärmung, Vorwärmung von Prozessströmen)	Betriebsinterne Wärmenutzung (Für andere Prozesse mit geringeren Temperaturanforderungen oder Heizwecke)	Externe Wärmenutzung (Weitergabe an Dritte, z.B. in Wärmenetzen)	Wärmepumpen (Anheben des Temperaturniveaus, meist für Heizwecke)	ORC-Prozess	Dampfturbine	Stirlingmotor	Sorptionsteilmaschinen	
<b>Technische Kriterien der Abwärme-Senke</b>									
7. Gibt es im Unternehmen einen Bedarf an Kälte, Wärme oder Strom?									
Kälte	0	0	0	0	0	0	0	++	
Wärme	++	++	++	++	0	0	0	0	
Strom	0	0	0	0	++	++	++	0	
8. Wie oft wird die Nutzenergie (Kälte, Wärme oder Strom) benötigt? (Angabe in Stunden pro Jahr)									
< 1000	0	0	--	-	--	-	-	-	
1000 - 2000	+	+	-	+	--	-	-	-	
2000 - 4000	++	++	++	++	0	+	-	+	
> 4000	++	++	++	++	++	++	+	++	
9. Ist die geforderte Nutzleistung größer als das Abwärmeangebot?									
unerheblich		Zusatzheizung muss vorgehalten werden			unerheblich			Zusatzkühlung	
10. Besteht zeitliche Konvergenz zwischen Abwärmeanfall und Leistungsbedarf der Nutzungstechnologie?									
oft gegeben		falls nicht, Einbindung von Wärmespeichern notwendig			unerheblich			Speicher einbinden	
<b>Rechtliche und wirtschaftliche Kriterien</b>									
11. Ist die Einholung von Genehmigungen (Behörden, zertifizierte Stellen) erforderlich?									
Prüfen!									
12. Gibt es Möglichkeiten der Förderung durch die öffentliche Hand? (z.B. Investitionszuschüsse, zinsgünstige Darlehen)									
ja		eventuell		nein		ja		nein	
13. Ist die Investition in eine Abwärmenutzungstechnologie rentabel?									
Prüfen! (siehe Abschnitt "Wirtschaftlichkeitsbetrachtung" ab Seite 142)									

## Abwärmenutzung

### Allgemeines Vorgehen

- Verminderung des Auftretens von Abwärme
- Reintegration der Abwärme in den Prozess
- Betriebsinterne Verwendung der Abwärme auf einem möglichst hohen Temperaturniveau (Integration in andere Prozesse oder die Raumheizung/Warmwasserbereitung)
- Transformation in andere Nutzenergieformen (elektrische Energie, Klima-Kälte)
- Abgabe nicht intern nutzbarer Abwärme an Dritte (z.B. an benachbarte Unternehmen, zur Beheizung von Wohn- oder Geschäftsräumen, zur Wärmebedarfsdeckung von Sport- und Freizeitanlagen)

Prozess intern

Prozess extern

## Betriebsinterne Nutzung (direkte Abwärmenutzung)

Nutzung der Abwärme für Prozesse  
z.B. für

- Trocknen
- Reinigungsbäder
- Vorwärmen
- ...

Technologien der Abwärmenutzung

Abwärmekategorie	Temperaturbereich	Technologie
Hochtemperatur	500-1000 °C	Wärmeübertragungsgeräte
	300-500 °C	Wärmeübertragungsgeräte
	100-300 °C	Wärmeübertragungsgeräte
	50-100 °C	Wärmeübertragungsgeräte
	10-50 °C	Wärmeübertragungsgeräte
Niedertemperatur	10-50 °C	Wärmeübertragungsgeräte
	5-10 °C	Wärmeübertragungsgeräte
	0-5 °C	Wärmeübertragungsgeräte

saena  
Sächsische Energieagentur

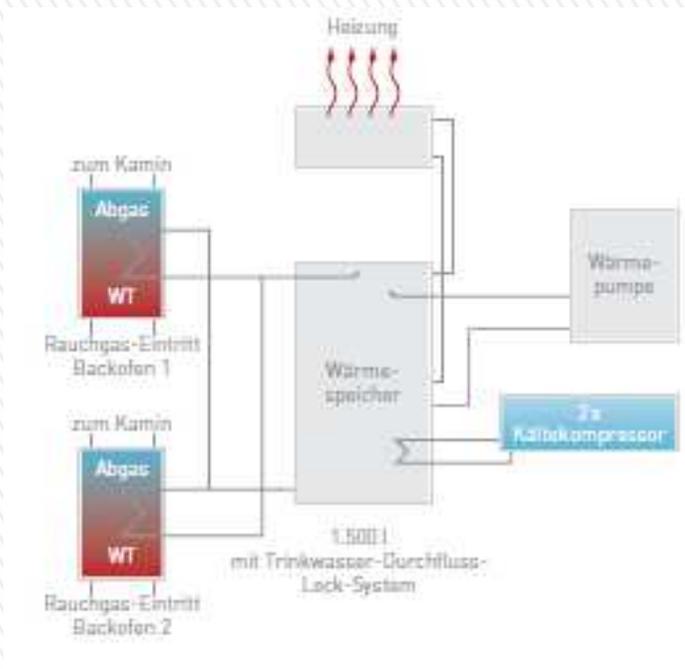
Wärmeübertragungsart	Medium	Leistung	Temperatur	Bemerkung
Plattenwärmetauscher	Flüssig/Flüssig	2-400.000 kW	50-150 °C	Wird bei geschwächten Abwärmeströmen (stern)
Rohrbündelwärmetauscher	Flüssig/Flüssig	2-10.000 kW	50-300 °C	
Doppelrohrwärmetauscher (Mantelrohrwärmetauscher)	Flüssig/Flüssig	1-3.000 kW	50-200 °C	

Tab. 11: Auswahl Wärmetauscher (SA 15/16)



## Betriebsinterne Nutzung (direkte Abwärmenutzung)

### Nutzung der Abwärme für die Gebäudebeheizung



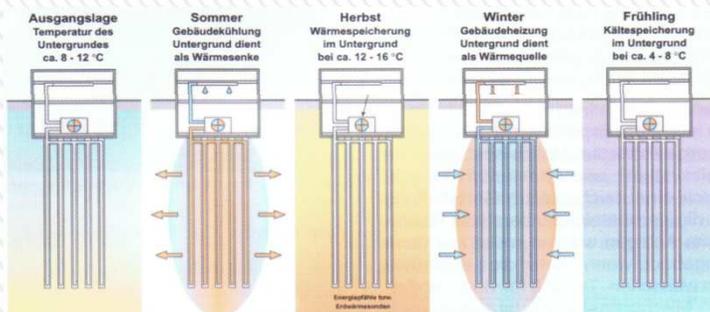
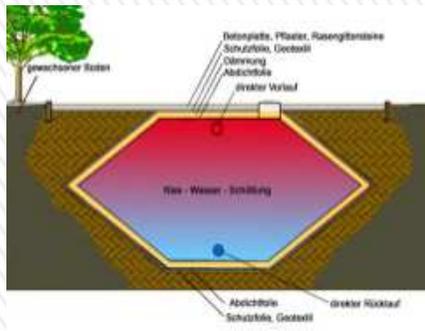
Bsp. Bäckerei: Erzielte Energieeinsparung 22 %, Amortisationszeit < 4 Jahre

### Nutzung mit Speichern:

- Pufferspeicher
  - Langzeit-Großwärmespeicher
- Interessante Möglichkeit:



## Wärmespeicher für die Abwärmenutzung



### Speichermöglichkeiten:

- Pufferspeicher
- Kieswasserspeicher
- Schotterspeicher
- Erdsonden-Wärmespeicher
- Latentwärmespeicher
- Sorptionsspeicher

## Einsatzmöglichkeiten Wärmepumpe

Wenn Temperatur der Abwärme zu gering:

→ Einsatz einer Wärmepumpe

Erhöhen von des Temperaturniveaus der Abwärme auf ein höheres Tempniveau.

Wärmequelle in einem Kreislaufprozess betrieben durch Abwärme

Für Gebäudeheizung

Temperaturnutzung der Wärme von unter  $T_{\text{soll}}$  abgekühlten Speichern

Nutzung von kalter diffuser Wärme. (z.B. Lasten von Fräsmaschinen...



## Transformation

### Sorptionswärmepumpen: Herstellen von Kälte

Absorptionskältemaschine	LiBr-Anlagen: 50-350 €/kW <sub>nom</sub>  NH <sub>3</sub> -H <sub>2</sub> O-Anlagen: 400-1.275 €/kW <sub>nom</sub>	21 kW-2 MW	Wärmequelle: 90 °C  Kältequelle: -10 °C	COP 0,6-0,75 (einstufig) 1,3-1,6 (zweistufig)	
Adsorptionskältemaschine	500-1.500 €/kW <sub>nom</sub>	8-590 kW	Wärmequelle: 60-85 °C  Kältequelle: 6-9 °C	COP 0,6	

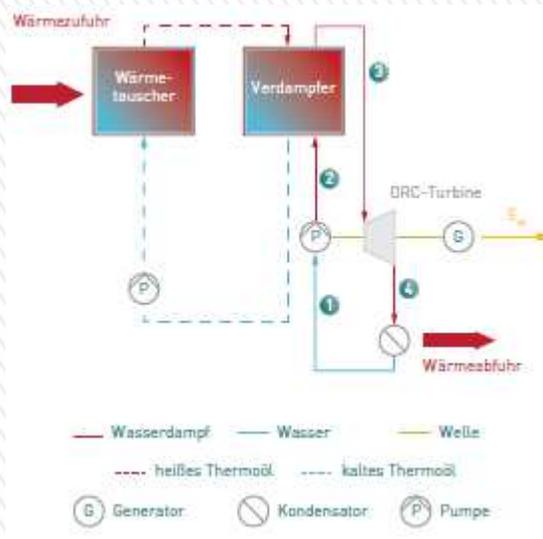
### Umwandeln in Strom

Technologie	Investitionskosten	Leistungsklasse (thermisch)	Temperaturniveau	Elektr. Wirkungsgrad	
Dampfturbine	1.100-1.400 €/kW	45 kW-160 MW	250-540 °C	25-42%	
ORC (Organic Rankine Cycle)	3.000 €/kW <sub>th</sub>	35 kW-25 MW	70-350 °C	10-20%	
Stirling-Motor	1.500-3.000 €/kW	5-210 kW	650-1.000 °C	12,5-22,5%	

## Abwärme zu Strom

### ORC-Prozess

ORC (Organic Rankine Cycle)	3.000 €/kW <sub>el</sub>	35 kW-25 MW	70-350 °C	10-20 %	
--------------------------------	--------------------------	-------------	-----------	---------	---



DRC-Anlage		
Abwärmeleistung (thermisch)	kW	500
Wirkungsgrad		0,10
erzeugte elektrische Leistung	kW	50
Investitionskosten (Material + Installation)	€	180.000
Volllaststunden	h/a	6.000
Eigennutzung Strom	kWh/a	300.000
Ertrag Strom	€/a	47.370
Betrachtungszeitraum	a	15
durchschnittliche Annuität	€/a	29.478
Rendite	%	13
Kumulierter Erlös	€	170.000

Tab. 10: DRC-Anlage Beispielrechnung

## Zusammenfassung

*Therm-Process-Consulting,*

**Dr.-Ing. Jens Strack**

Ortsstraße 35,  
09627 Bobritzsch,

Telefon: 037 325 / 184 86

Mobil: 0173 / 372 33 63

Email: [jensstrack@hotmail.com](mailto:jensstrack@hotmail.com)



### Prozessanalyse

- Prozessanalyse betrachtet den Prozess in seiner Gesamtheit.
- Aus der Gesamtbetrachtung können Maßnahmen für energieeffiziente Prozessgestaltung abgeleitet werden.
- Energie und Kostenersparnis.
- Nutzen durch höhere Prozesskenntnis und verbesserte Anlageneinstellung.
- Optimierungsvorschläge mit Nutzenabschätzung als Entscheidungsgrundlage für weitere Maßnahmen (z.B. Zusätzliche Wärmedämmung spart x kWh)
- Informationsgrundlage für weitere Entscheidungen wie z.B. der Fortführung welcher Optimierungsmaßnahme.

## Ergebnis Prozessanalyse

Keine Maßnahmen  
notwendig

Sofort  
umsetzbares  
Optimierungs-  
potential

z.B.

- Verbesserung der Einstellungen,
- Veränderung der Betriebsweise

Mittelfristig  
umsetzbares  
Optimierungs-  
potential

z.B.

- Leichte konstruktive Anpassungen,

Langfristig  
umsetzbares  
Optimierungs-  
potential

z.B.

- Eingriffe in Verfahrenstechnik des Prozesses
- Größere konstruktive Anpassungen

## Abwärmenutzung

- Einsparmöglichkeiten von Energie häufig vorhanden.
- Strukturiertes Vorgehen ist notwendig.
- Verbrennungsluft- und Gut-Vorwärmung haben größte Potentiale.
- Wärmepumpen erlauben Nutzung auch diffuser Abwärme.
- Betrachtung der Speichermöglichkeiten sollte erfolgen
- Abwärmetechnologien sind Wirtschaftlich und bieten Renditen im zweistelligen Bereich.

Danke  
für Ihr Interesse und ihre Aufmerksamkeit

Quellen:

Technologien der Abwärmenutzung, SAENA GmbH, Juni 2012

Technologierecherche Abwärmenutzung, DBI GTI GmbH, 2011

LV Prozessgestaltung, H. Krause, TU Bergakademie Freiberg

*Therm-Process-Consulting,*

**Dr.-Ing. Jens Strack**

Ortsstraße 35,  
09627 Bobritzsch,

Telefon: 037 325 / 184 86

Mobil: 0173 / 372 33 63

Email: [jensstrack@hotmail.com](mailto:jensstrack@hotmail.com)

