

# Prozessoptimierung als Vorstufe zur Abwärmennutzung

**BMUB-Abwärmefachtagung**  
**am 04.03.2015 in Berlin**

*Therm-Process-Consulting,*

Dr.-Ing. Jens Strack  
Halsbrücker Str. 34  
09599 Freiberg,

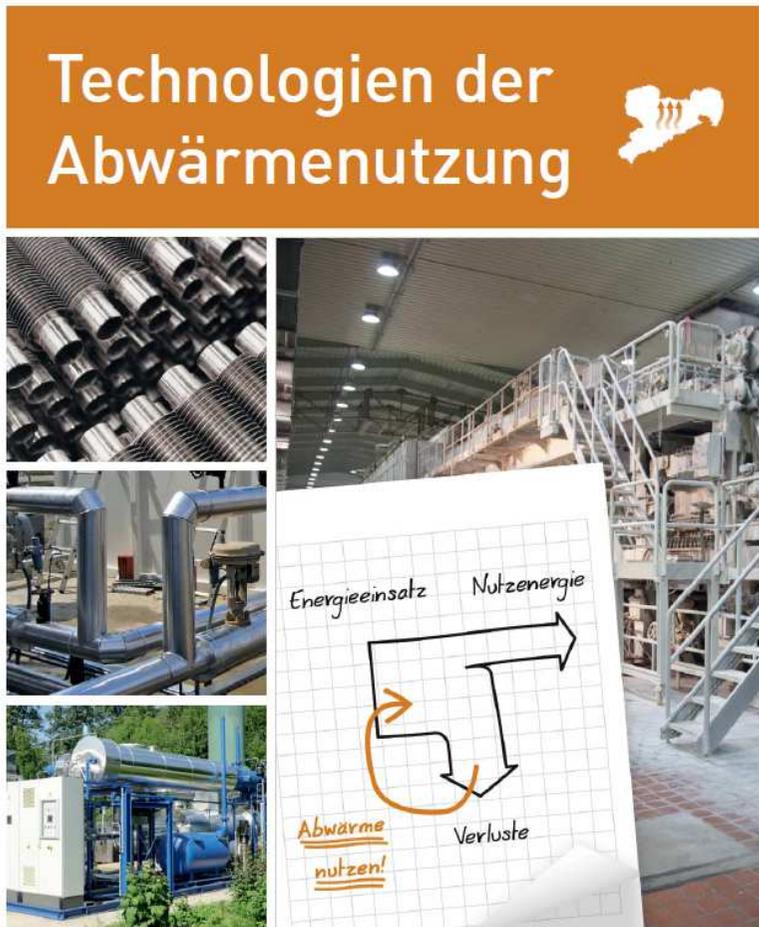
Telefon: 03731 / 773 13 25  
Mobil: 0173 / 372 33 63  
Email: [strack@thermpro.de](mailto:strack@thermpro.de)



## Gliederung

1. Vorstellung der Broschüre Technologien der Abwärmenutzung der Sächsischen Energieagentur
2. Ansatz und Vorgehen bei der Prozessanalyse
3. Darstellung Beispielprozess
4. Anwendung Schritte der Prozessoptimierung auf Beispielprozess
5. Abwärmenutzung als Teil der Prozessoptimierung
6. Zusammenfassung

## Broschüre Technologien der Abwärmenutzung



### Überblick über die Themen zur Abwärmenutzung

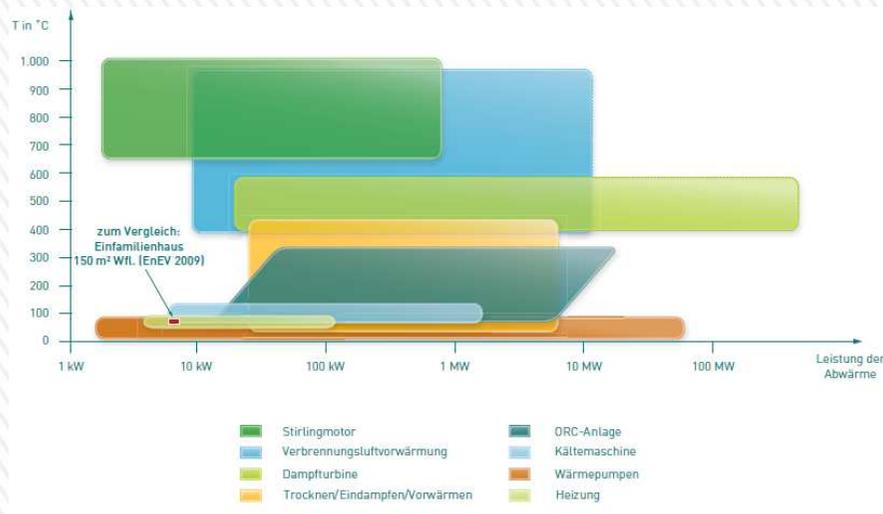
- Methodik
- Brancheneinteilung und Checkliste
- Beispiele
- Vorstellungen von Technologien
  - Wärmeübertrager
  - Speicher
  - Stromerzeugung

Ziel: Unternehmen mit möglichen Abwärmepotentialen eine erste Orientierung zu geben und interessiert für eine Abwärmenutzung zu machen.

Basis:

Technologierecherche Abwärmenutzung  
Der DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH  
(Stand 15.12.2010)

## Broschüre Technologien der Abwärmenutzung



Schneller Überblick der möglichen Technologien nach Branche

Analyse der typischen Temperaturniveaus einer jeweiligen Branche

Bewertung möglicher Abwärmetechnologien nach Temperaturniveau

=> Typische Technologien für die jeweilige Branche nach dem Ampelsystem

Branche	Temperaturniveau der Prozesswärme	Wärmenutzung				Stromerzeugung			Kälteerzeugung
		Prozessinterne Wärmenutzung (Verbrennungsluftvorwärmung, Vorwärmung von Prozesshilfsmitteln)	Betriebinterne Wärmenutzung (für andere Prozesse mit geringeren Temperaturanforderungen oder Heizwärme)	Externe Wärmenutzung (Weitergabe an Dritte, z. B. in Wärmenetzen)	Wärmehöhen (A) oberhalb des Temperaturniveaus, (metall für Heizwärme)	DRG-Turbine	Dampfturbine	Stirlingmotor	
Herstellung und Verarbeitung von Metallen		●	●	●	●	●	●	●	●
Stahlerzeugung und -verarbeitung	1.600 °C	●	●	●	●	●	●	●	●
Nichteisenmetallurgie (z.B. Aluminium, Blei, Zink, Kupfer)	1.100 °C	●	●	●	●	●	●	●	●
Härtereien	1.050 °C	●	●	●	●	●	●	●	●
Galvanik-Oberflächenbehandlung (z.B. aluminieren, brünnieren, nitratisieren)	100 °C	●	●	●	●	●	●	●	●

<p>Eine ausgedehnte Umsetzung der Technologie in der Branche ist möglich.</p> <p>Mit leichten Einschränkungen ist eine vielfältige Umsetzung der Technologie in der Branche möglich.</p> <p>Die Umsetzung der Technologie in der Branche ist nur eingeschränkt möglich.</p>	<p>Die Technologie ist nur unter bestimmten Bedingungen geeignet.</p> <p>Die Technologie ist in der Branche derzeit nicht einsetzbar.</p>
---	---

## Methodik und allg. Vorgehen bei der Abwärmenutzung

Einordnen des Abwärmepotentials nach:

- dem Temperaturniveau,
- der verfügbaren Energiemenge
- der zeitlichen 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)



### Checkliste, welche Technologien in Frage kommen

++	Technologie ist sehr gut geeignet
+	in den meisten Fällen ist die Nutzung der Technologie möglich
o	unter bestimmten Umständen ist der Einsatz dieser Technologie möglich
-	Kritischer Faktor, der Einsatz ist kaum möglich bzw. wird erschwert
--	Ausschlusskriterium, Einsatz unmöglich



### Entwicklung Nutzungskonzept



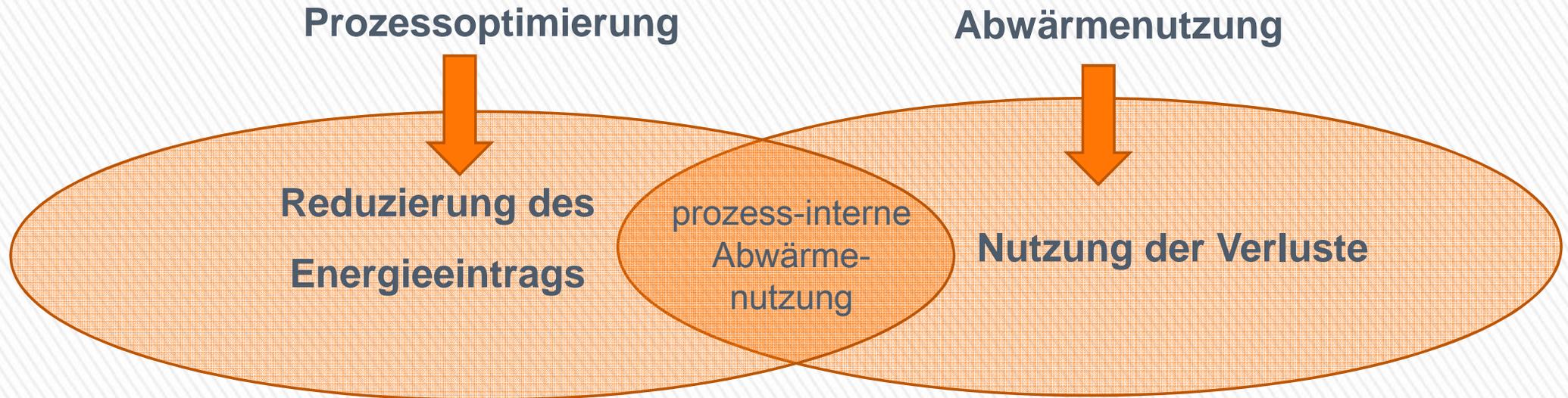
## Methodik und allg. Vorgehen bei der Abwärmenutzung

### Die Rangfolge der Umsetzung ist wichtig!

1. Verminderung des Auftretens von Abwärme durch geeignete Maßnahmen  
(Prozess- bzw. Verfahrensoptimierung, Strömungsführung, usw.)  
**→ Prozess-Optimierung**
2. Reintegration der Abwärme in den Prozess  
(z. B. durch Verbrennungsluftvorwärmung oder Vorwärmung und/oder Trocknung der Ausgangsstoffe)
3. Betriebsinterne Verwendung der Abwärme auf möglichst hohem Temperaturniveau  
(Integration in andere Prozesse oder die Raumheizung/Warmwasserbereitung)
4. Transformation in andere Nutzenergieformen  
(elektrische Energie, Klima-Kälte)
5. Abgabe nicht intern nutzbarer Abwärme an Dritte  
(z. B. an benachbarte Unternehmen, zur Beheizung von Gebäuden, zur Wärmebedarfsdeckung von Sport- und Freizeitanlagen)



## Unterschiedlicher Ansatz



Vorzuziehen wenn,

sonstiger Wärmebedarf  
im Unternehmen gering ist

sonstiger Wärmebedarf  
im Unternehmen sehr hoch ist.

**!!!** Wenn die Prozessoptimierung nach der Implementierung der Abwärmetechnologie erfolgt, fehlt der Technologie evtl. die notwendige Wärme



## Allgemeine Maßnahmen zur energieeffizienten Prozessgestaltung

### Prozess vorgelagert

- Wegfall von Prozessstufen
- Ersatz energieintensiver Prozesse

### prozesseingreifend

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

### prozessbegleitend

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

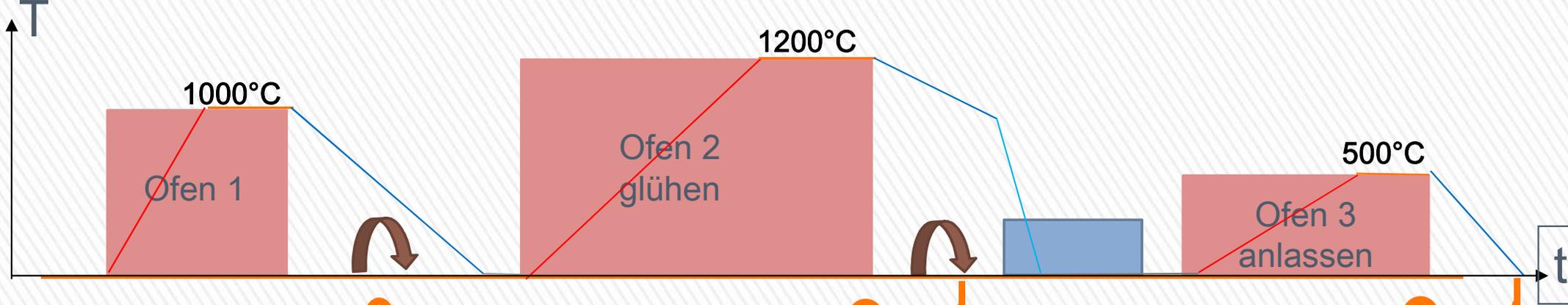
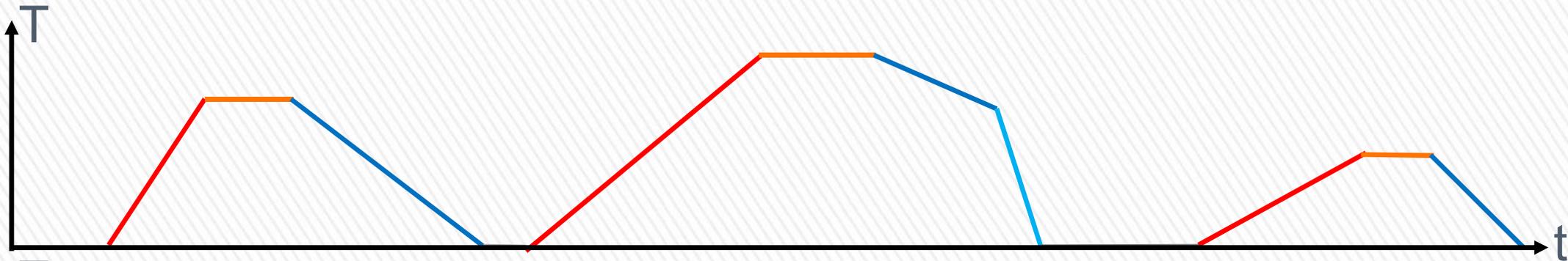
### Prozess nachgelagert

- Abwärmenutzung



# Beispiel-Prozess: Biegen und Härten eines Stahlprofils

(ältere Anlage aus 80er Jahren)



Teilerwärmen  
(nur eine Seite)

Umformen 1

Erwärmen / Glühen

Umformen 2

Abschrecken

Erwärmen /  
Anlassen

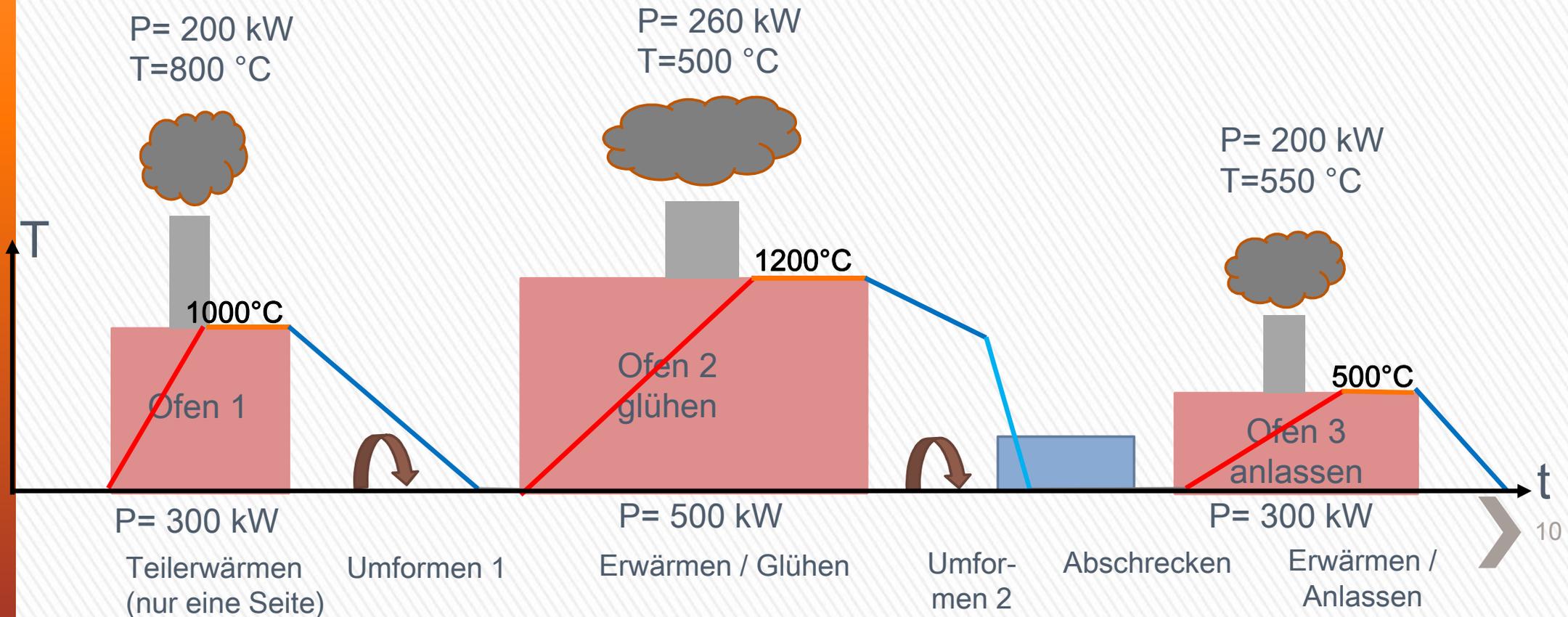
9



## Beispiel-Prozess: Biegen und Härten eines Stahlprofils



Wärme aus Abgas / Abwärmepotential  
(per Messung ermittelt)



## Beispiel-Prozess: Biegen und Härten eines Stahlprofils



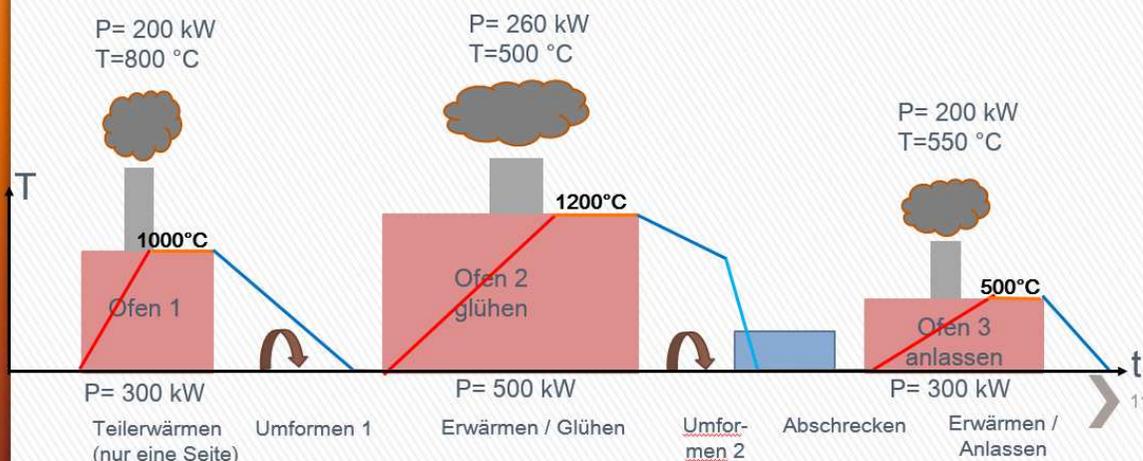
### Wärme aus Abgas / Abwärmepotential

Var. 1 nur Abwärmenutzung			
	Eingesetzte Energie	Temperatur	Energie im Abgas
	kW	°C	kW
Ofen 1	300	800	200
Ofen 2	500	500	260
Ofen 3	300	550	200
<b>Summe</b>	<b>1100</b>	<b>500</b>	<b>660</b>

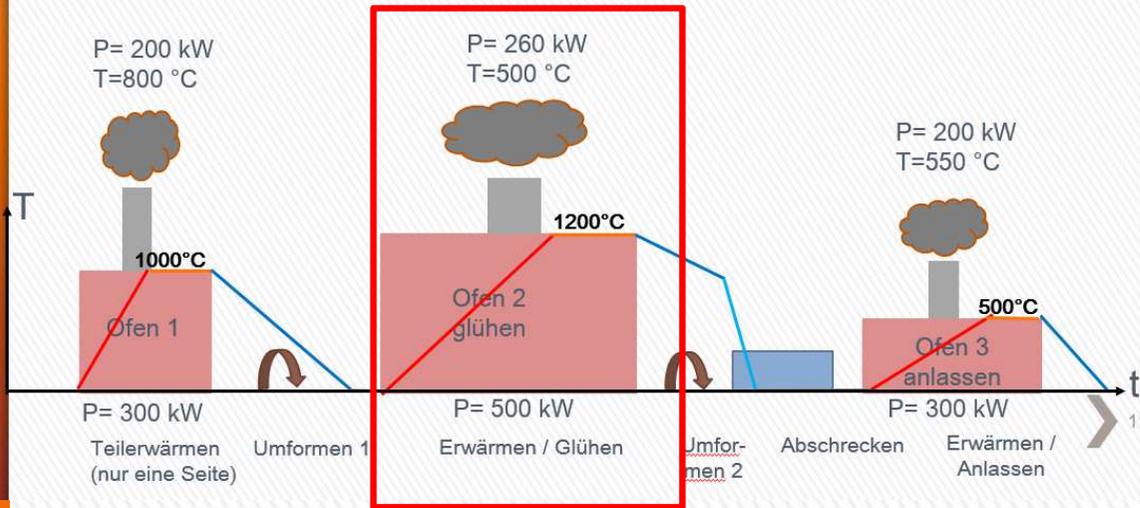
Ohne Prozessoptimierung:

Auslegung Abwärmenutzung auf verschiedenste Weisen mit hohem Temperaturniveau und hoher Abgasmenge möglich.

( $T \sim 500 \text{ °C}$ , Leistung  $\sim 600 \text{ kW}$ )

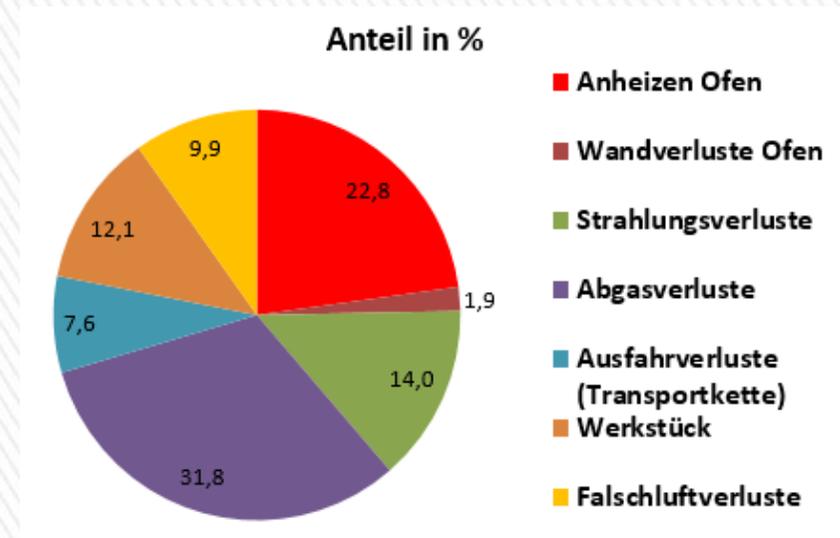
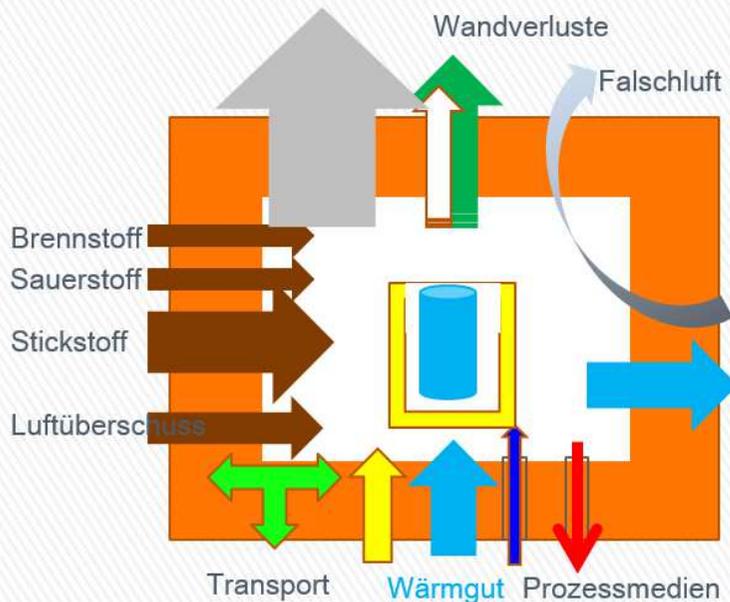


## Zuerst: Prozessoptimierung an Anlage



## Analyse Glühofen Verbrauchsstruktur

- Aufheizverluste
- Ausfahrverluste Trägermaterial
- Ausfahrverluste Werkstück
- Falschluffverluste
- Abgasverluste
- Wandverluste
- Strahlung aus Öffnungen



## 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

## Verringerung der Aufheizverluste (Nutzenergie)

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

### Reduzierung der Masse

- des Produkts  
z.B. leichtere, festere Werkstoffe,  
optimierte Formen
- der Transportmittel  
CFK-Gestelle, Keramik, leichtere Ausführung
- der Hilfsstoffe (Schutzgas, etc.)



Beispiel:

2 Werkstückhalter zu je 3 kg halten ein Produkt mit 5 kg → über die Hälfte des Energiebedarfs für Werkstückträger

Mit Reduzierung der Masse der Werkstückträger werden auch alle anderen Verlustarten reduziert.



## Verringerung der Aufheizverluste (Nutzenergie)

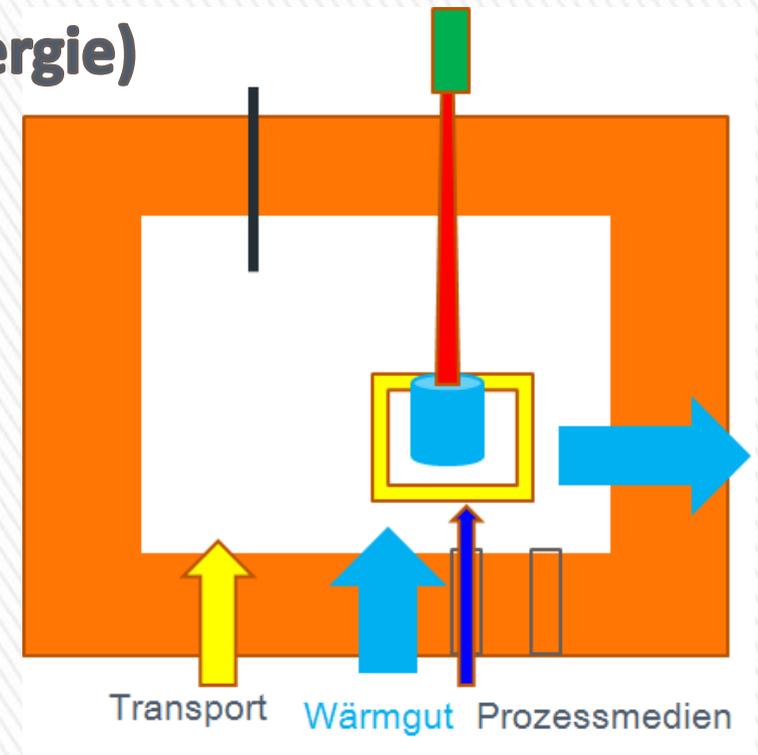
$$\dot{Q} = \dot{m} * c_P * (T_E - T_A)$$

### Reduzierung der Temperatur

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

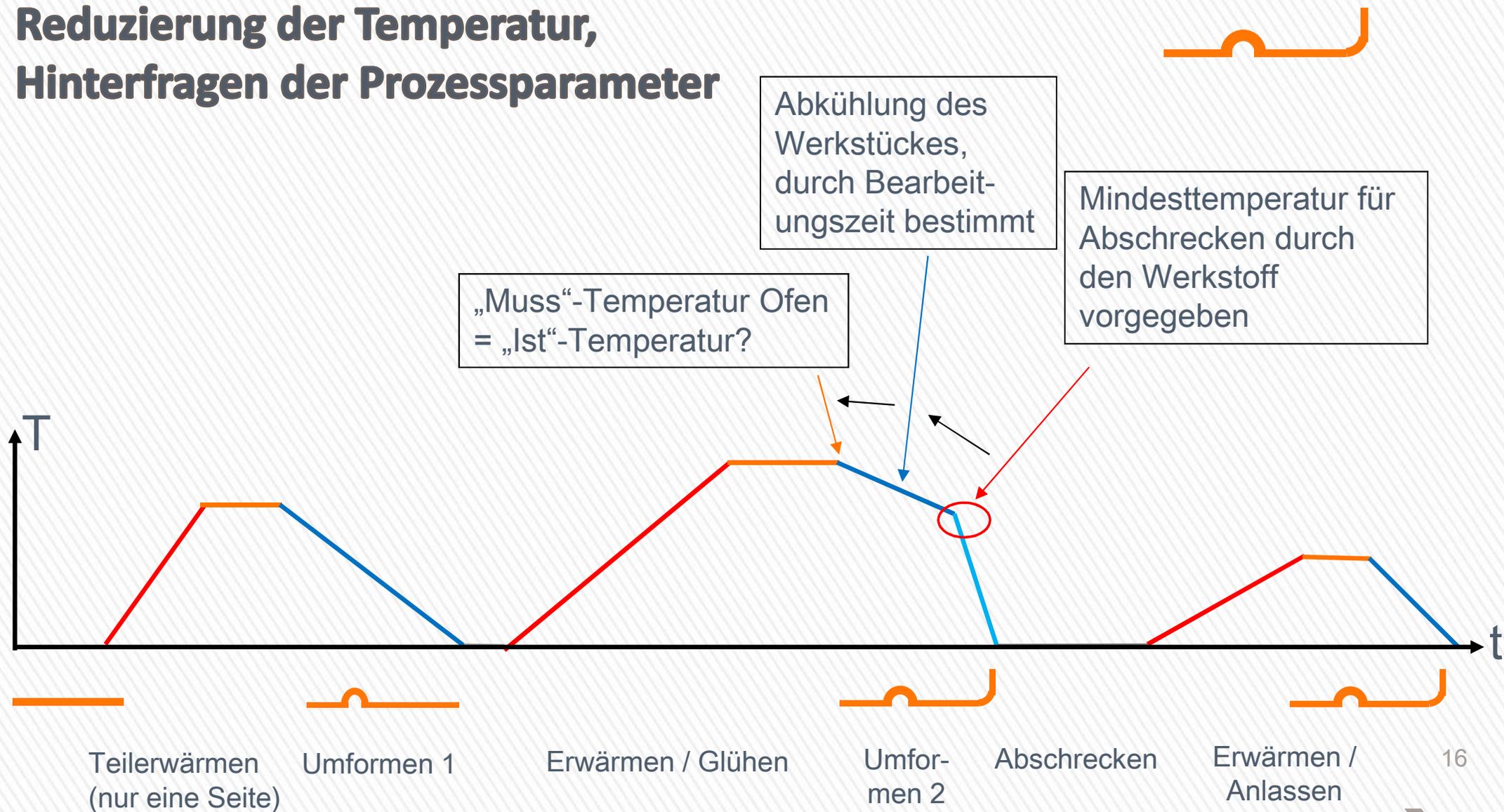
### Vorwärmen des Wärmegutes

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 %

# Reduzierung der Temperatur, Hinterfragen der Prozessparameter



## 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 Wärmegut

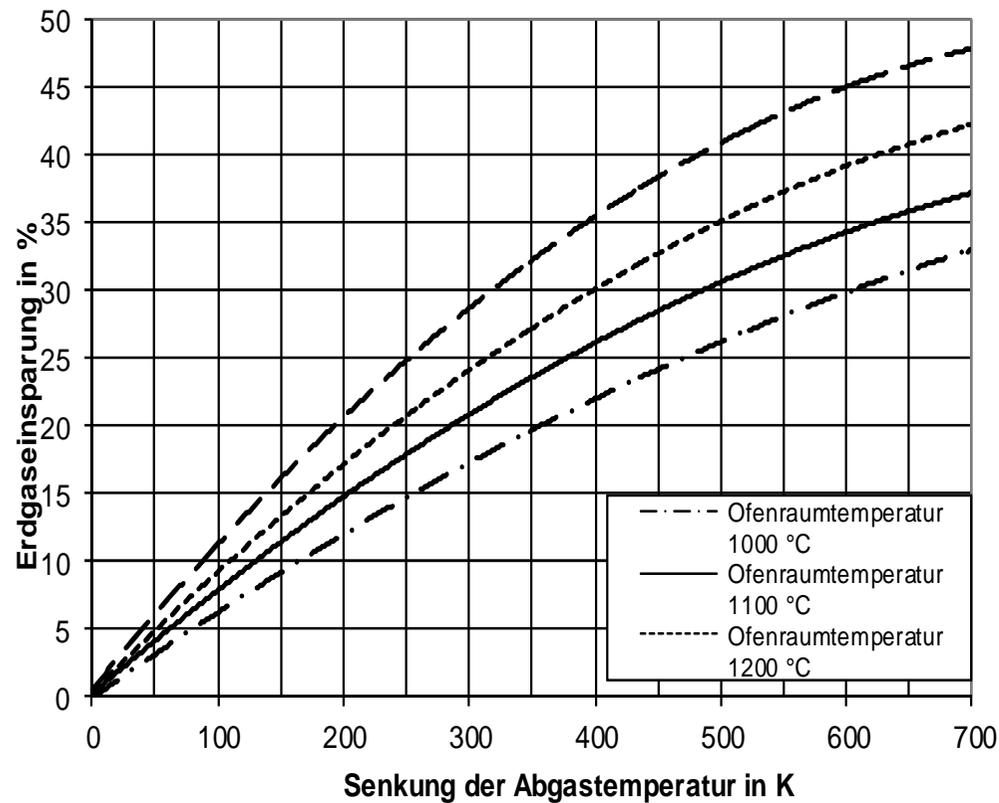
→ + kürzere Verweildauer

→ + geringere Abgasverluste

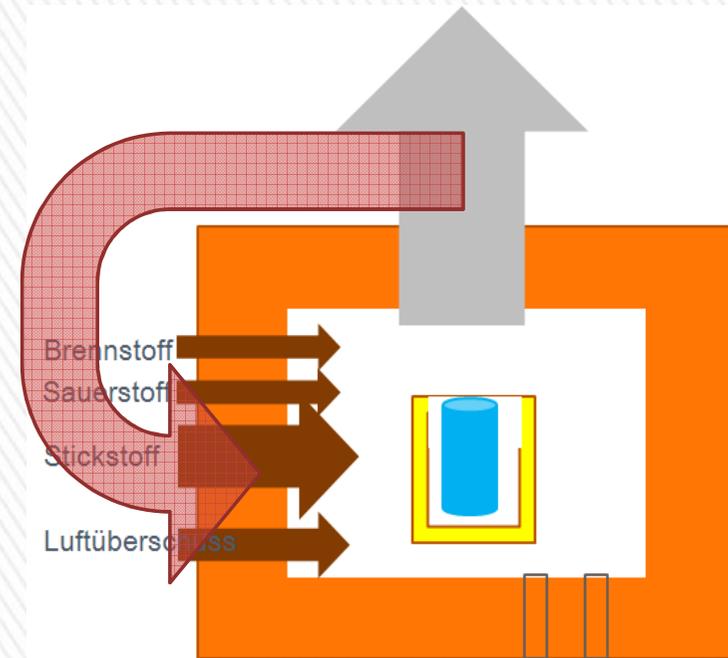
→ + geringere Wandverluste

## Verbrennungsluftvorwärmung

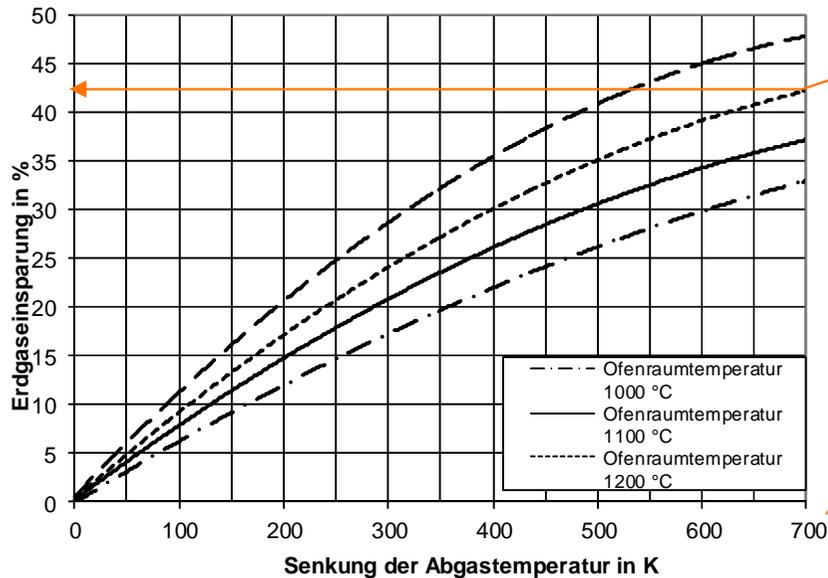
Anheben der Anfangstemperatur der Verbrennungsluft mittels Abwärme aus dem Abgas.



Quelle: DBI



## Einsparpotential Verbrennungsluftvorwärmung

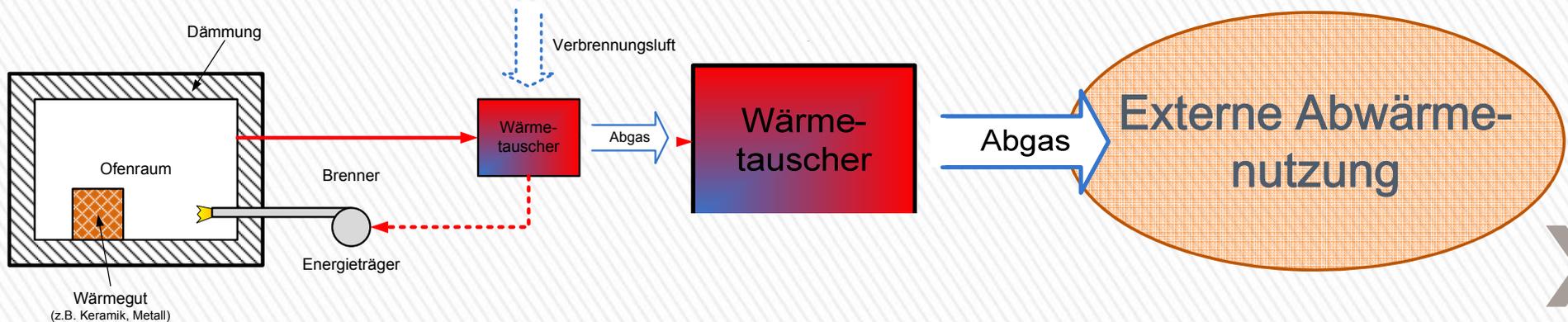


1200 °C Ofentemperatur  
- 700 °C reduz. Abgastemp.  
= 500 °C verbleib. Abgastemp.

Einsparpotential bis zu 45 %

+

Die Wärme des Abgases nach der Verbrennungsluftvorwärmung kann noch weiter genutzt werden.



## Verringerung des Ausschuss

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 prozessspezifischen  
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

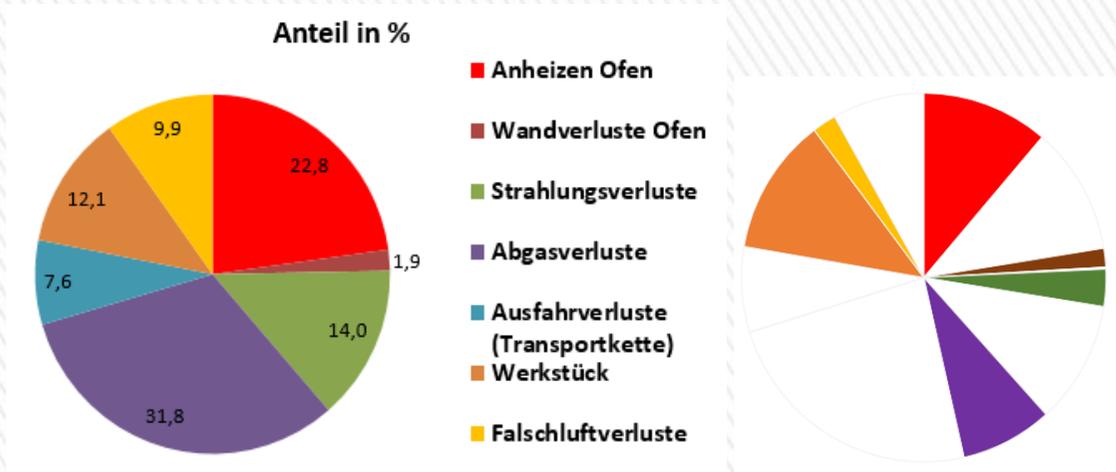
Steigerung der Ausbeute um 5 %  
entspricht Einsparung von

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

**Ausschussreduzierung  
ist Energie-Sparen**

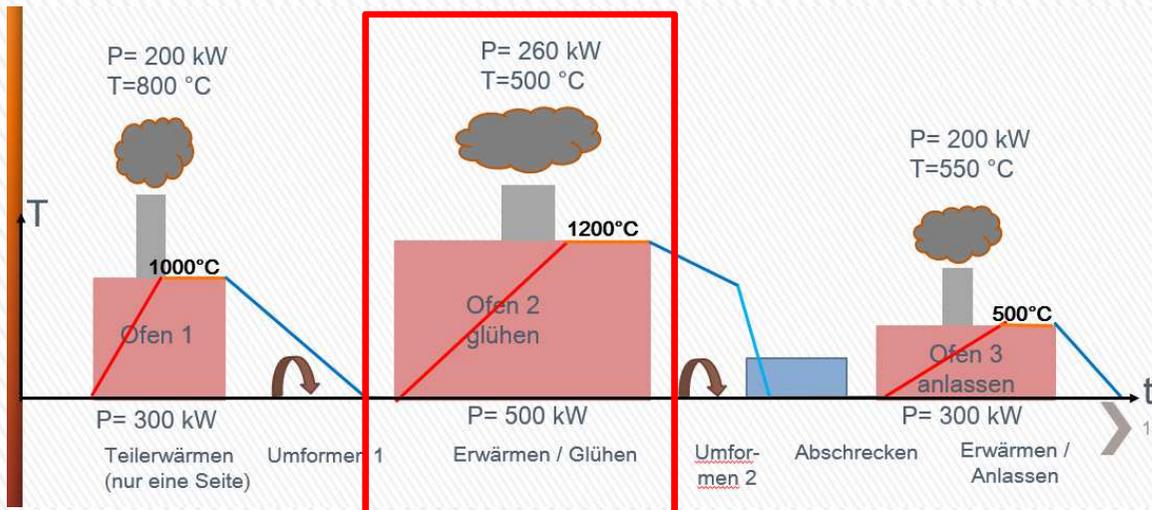


## Zuerst: Prozessoptimierung an Anlage



## Bei Umsetzung aller Maßnahmen

an Ofen 2: 62 % Einsparung  
 Neu:  
 Abwärme 50 kW  
 Temperaturniveau: 350 °C



## Allgemeine Maßnahmen zur energieeffizienten Prozessgestaltung

### Prozess vorgelagert

- Wegfall von Prozessstufen
- Ersatz energieintensiver Prozesse

### prozesseingreifend

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

### prozessbegleitend

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

### Prozess 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

Glattbrand

→ Dekorieren

Dekorbrand

Glühbrand entfällt

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

## Optimierung und Zusammenlegung der Formgebung

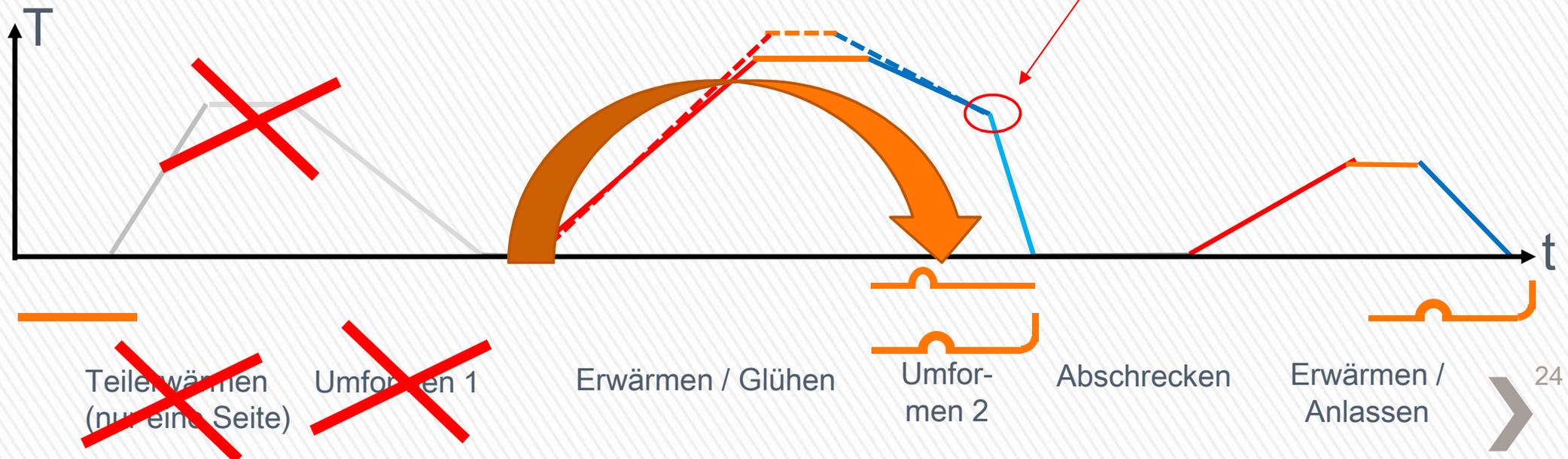


### Optimierungsansatz:

Roboter formt doppelt so schnell um,

Umformen 1 und 2 in einem Prozessschritt

→ Ofen 1 kann wegfallen



## Prozessinterne Abwärmenutzung

Optimierungsansatz/Idee: Temperaturabsenkung an Ofen 3, dafür längere Haltezeit

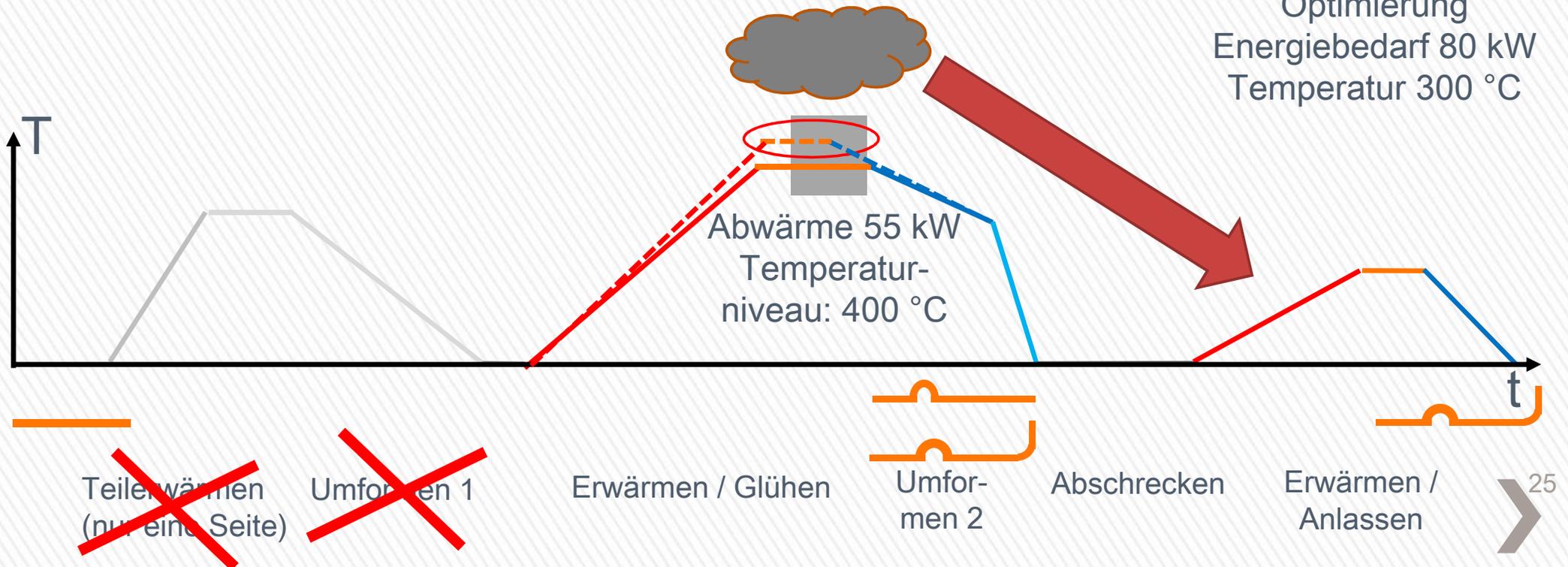
(Werkstofftechnisch theoretisch möglich)

+ Annahme: die gleichen Prozessmaßnahmen wie an Ofen 2  
gelingen auch an Ofen 3



Ofen 3 alt:  
Energiebedarf 200  
Temperatur 500 °C

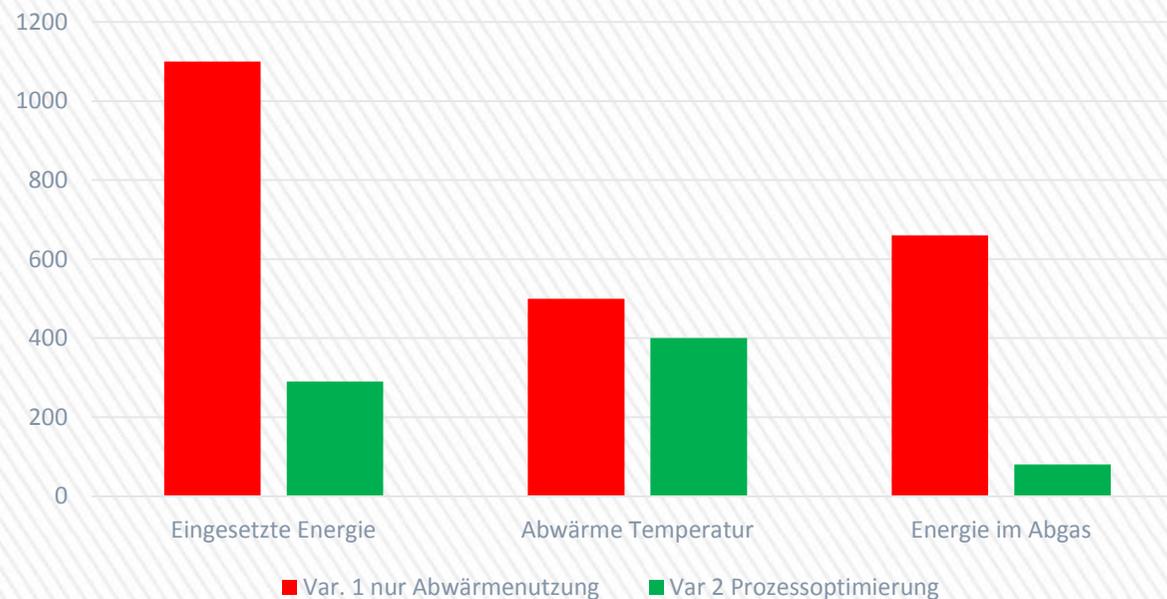
Ofen 3 neue  
Fahrweise und  
Optimierung  
Energiebedarf 80 kW  
Temperatur 300 °C



## Ergebnis Prozessoptimierung im Beispiel



	Var. 1 nur Abwärmenutzung			Var 2 Prozessoptimierung		
	Eingesetzte Energie	Temperatur r	Energie im Abgas	Eingesetzte Energie	Temperatur r	Energie im Abgas
	kW	°C	kW	kW	°C	kW
Ofen 1	300	800	200	0	0	0
Ofen 2	500	500	260	230	400	55
Ofen 3	300	550	200	60	400	25
Summe	1100	500	660	290	400	80
Energiebedarf	1100			290		
Energieeinsparung	60 % abzügl. Verluste durch Abwärmetechnologie			81 % mit Großteil echter Einsparung		



Durch konsequente Prozessoptimierung kann massives Energiesparpotential gefunden werden. Dazu gehören:

- Konsequente Anlagenoptimierung
- Prozessoptimierung auch in Zwischenschritten
- Verfahrensoptimierung



## **Zusammenfassung:**

- 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 dienen als Entscheidungsgrundlage für weitere Maßnahmen

## Zusammenfassung:

### Erst die Prozessanalyse

Keine Maßnahmen  
notwendig

Sofort  
umsetzbares  
Optimierungs-  
potential

z.B.

- Verbesserung der Einstellungen
- Veränderung der Betriebsweise

leicht  
umsetzbares  
Optimierungs-  
potential

z.B.

- konstruktive Anpassungen
- Brennertausch

Technologie-  
bestimmtes  
Optimierungs-  
potential

z.B.

- Eingriffe in Verfahrenstechnik des Prozesses
- Größere konstruktive Anpassungen

Danach: Abwärmenutzung



## Danke für Ihr Interesse und ihre Aufmerksamkeit

### Therm-Process-Consulting,

Dr.-Ing. Jens Strack

Ortsstraße 35,

09627 Bobritzsch,

Mobil: 0173 / 372 33 63

Web: [www.thermpro.de](http://www.thermpro.de)

Email: [strack@thermpro.de](mailto:strack@thermpro.de)

#### Quellen:

Technologien der Abwärmenutzung, SAENA GmbH, Juni 2012

Technologierecherche Abwärmenutzung, DBI GTI GmbH, 2011

LV Prozessgestaltung, H. Krause, TU Bergakademie Freiberg