Technische Möglichkeiten der Energieeinsparung an alten und neuen Thermoprozessanlagen

Dr.-Ing. Thomas Berrenberg

ITP GmbH
Institut für Thermprozesstechnik

Aachen, Germany

www.itp-aachen.de

Technische Möglichkeiten der Energieeinsparung an neuen und alten Thermoprozessanlagen

Inhalt

- Randbedingungen
- Einfache Maßnahmen
- Nutzung der Energie aus der Gutkühlung
- Nutzung der Abgaswärme
- Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung
- Resumee

Randbedingungen

Der Energiemix – Umweltaspekt und Kosten

	electric power							natural gas	
	fossile	nuclear	regene-rative	rest	CO_2-emission fossile	CO_2-emission mix	costs el. power	CO_2-emission	costs natural gas
	%	%	%	%	kg/kWh	kg/kWh	€/kWh	kg/kWh	€/kWh
Germany	58	23	16	4	0,78	0,43	0,13	0,2	0,04
Italy	79	0	21	1	0,75	0,59	0,15	0,2	0,03
Greece	85	0	13	4	0,75	0,64	0,07	0,2	0,02
Bulgaria	47	43	10	/		0,35	0,065	0,2	0,017
China	75	3	22	/	0,75	0,56	/	0,2	/
USA	71	21	8	/	0,75	0,54	0,07	0,2	0,01

sources: www.energy.eu; EIA energy information administration (Stand 2010)

Annahme für alle folgenden Beispiele:

Strom: 0,10 €/kWh 0,5 kg_{CO2}/kWh

Gas: 0,05 €/kWh 0,2 kg_{CO2}/kWh Gas

Randbedingungen

Die Kapitalwertmethode

stellt eine Investition in Anlagentechnik und deren Nutzen
ins Verhältnis zur
Anlage der gleichen Summe am Kapitalmarkt zu einem bestimmten Zins

es gehen ein:	**Annahme in Beispielen:**
• Unternehmenssteuersatz	28 %
• Kalkulationszins für Geldanlage	6 %
• Wartungskosten	2 % der Innvestitionsk. / Jahr
• Energiekostensteigerung	2,5 %/Jahr
• Finanzierung aus Eigenkapital und teilweise oder ganz über Kredit	Eigenkapital

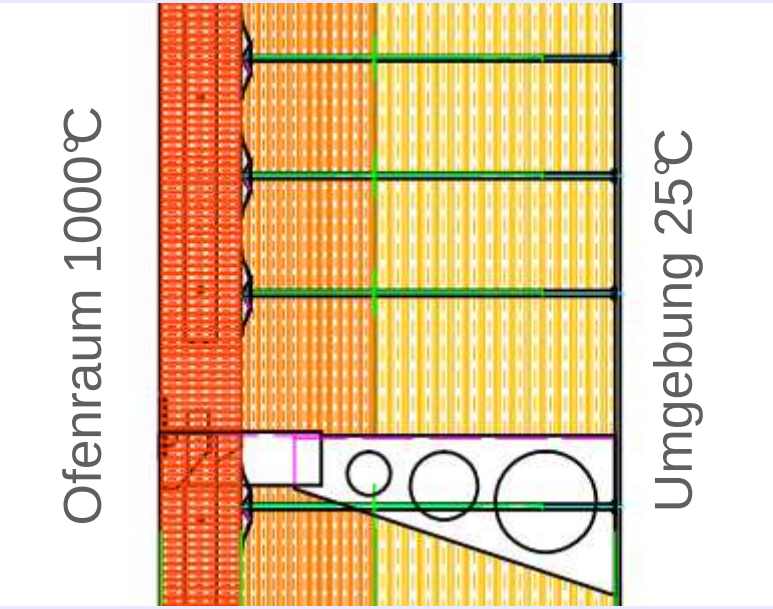
→ **Annuität**

siehe auch: Investitionsbewertung bei der Modernisierung von Thermoprozess-anlagen, Gaswärme International Heft 6/2008; P.Klatecki

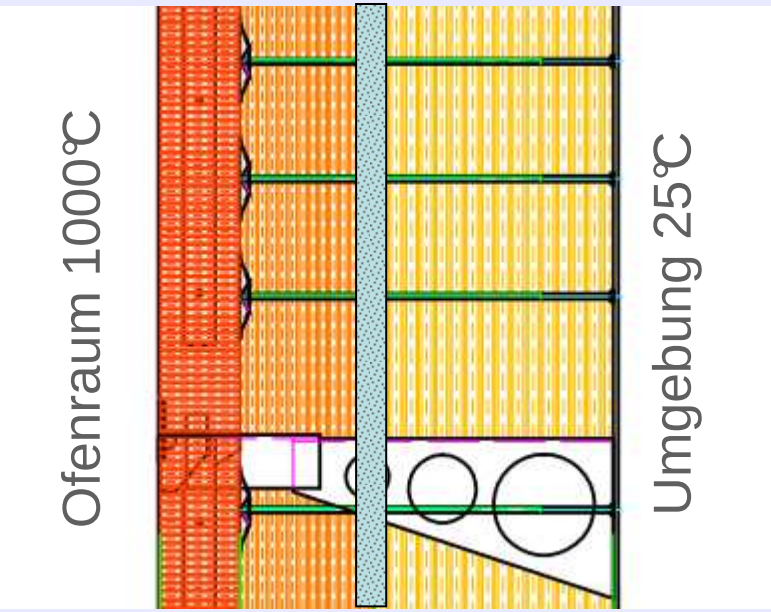
Einfache Maßnahmen

Wärmeisolierung verbessern

Isolierwandaufbau **konventionell**
Keramik- und Mineralfaser

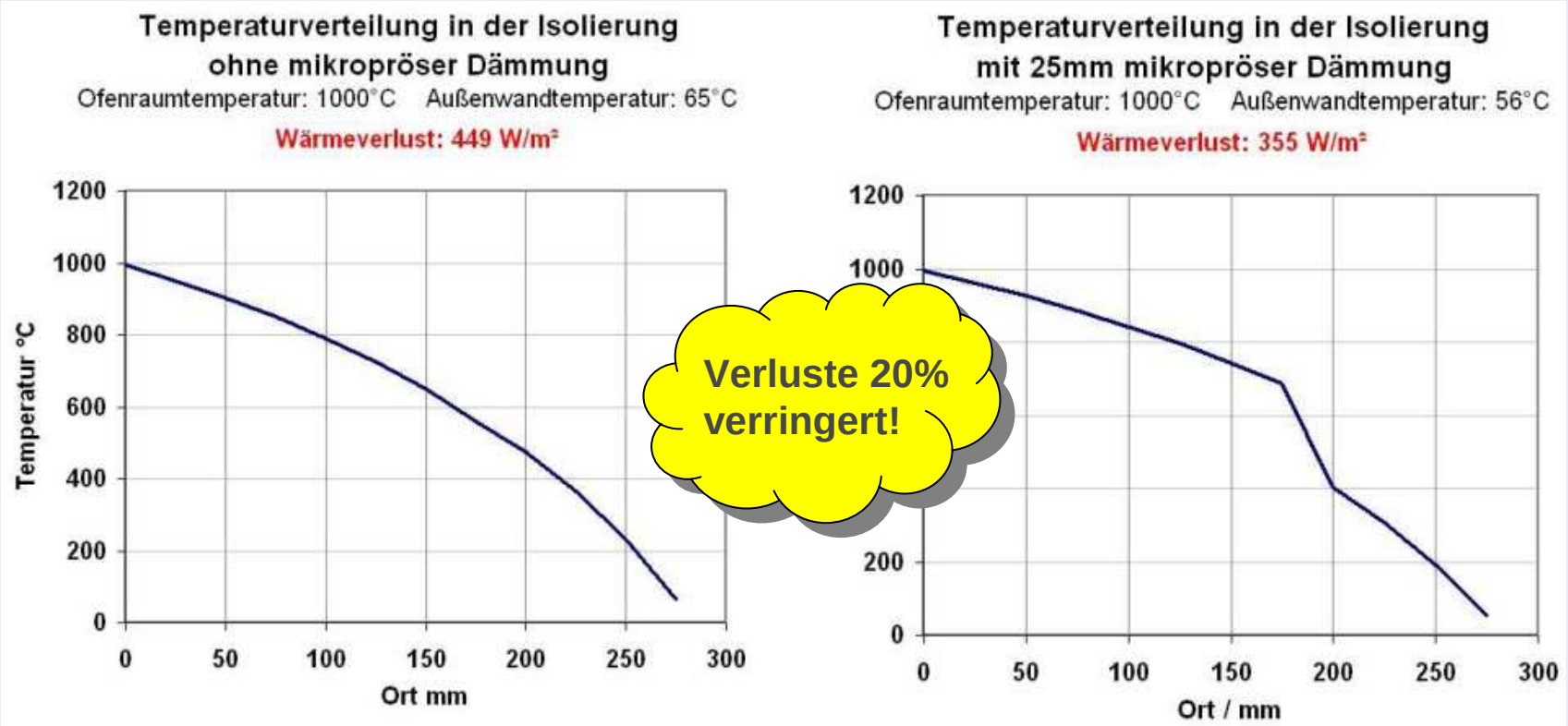


Isolierwandaufbau **optimiert**
+ mikroporöse Dämmung



Einfache Maßnahmen

Wärmeisolierung verbessern



Einfache Maßnahmen

Wärmeisolierung verbessern

Ofen L x B x H : 10 x 4 x 4 Oberfläche:	200	m² (ca.)
Investitionskosten mikroporöser Dämmstoff	30.000	€
Energieersparnis je m²	0,094	kW/m²
Betriebsstunden / a	5000	h/a
Wirkungsgrad Beheizung	78	%
Energiekosten / kWh	0,05	€/kWh
Energieersparnis	121	MWh/a
Energiekostenersparnis	6.026	€/a
Amortisation (einfache Rechnung)	**5,0**	**a**
CO2-Ersparnis (0,2 kg/kWh)	**24,1**	**to/a**

Einfache Maßnahmen

weitere:

- Verwendung energieeffizienter Drehstromasynchronmotoren:

  IE1 nicht mehr zulässig (früher EFF2)

  IE2 Standard (früher EFF1)

  Amortisation 1 – 2 Jahre gegenüber alten Motoren

  IE3 premium, η ca.+2%, Kosten +20% bis 40%

Einfache Maßnahmen

Neue internationale Wirkungsgradklassen für Motoren (IE = International Efficiency)

Die neue Norm IEC 60034-30:2009 definiert weltweit die Wirkungsgradklassen für Drehstrommotoren (≥ 0,75 kW).

IE1 = Standard Wirkungsgrad (vergleichbar EFF2)
IE2 = Hoher Wirkungsgrad (vergleichbar EFF1)
IE3 = Premium Wirkungsgrad

EuP-Richtlinie 2005/32/EG:

- Ab dem **16.6.2011** müssen alle in Verkehr gebrachten Motoren im Leistungsbereich von 0,75 kW bis 375 kW mindestens der Wirkungsgradklasse IE2 entsprechen.
- Ab dem **1.1.2015** müssen alle in Verkehr gebrachten Motoren im Leistungsbereich von > 7,5 kW bis 375 kW mindestens der Wirkungsgradklasse IE3 entsprechen oder sie müssen mindestens der Wirkungsgradklasse IE2 entsprechen und mit einem Frequenzumrichter betrieben werden.
- Ab dem **1.1.2017** müssen alle in Verkehr gebrachten Motoren im Leistungsbereich von 0,75 kW bis 375 kW mindestens der Wirkungsgradklasse IE3 entsprechen oder sie müssen mindestens der Wirkungsgradklasse IE2 entsprechen und mit einem Frequenzumrichter betrieben werden.

Quelle: Lenze 5/2009

Einfache Maßnahmen

weitere:

- Verwendung energieeffizienter Drehstromasynchronmotoren:

  IE1 nicht mehr zulässig (früher EFF2)

  IE2 Standard (früher EFF1)

  Amortisation 1 – 2 Jahre gegenüber alten Motoren

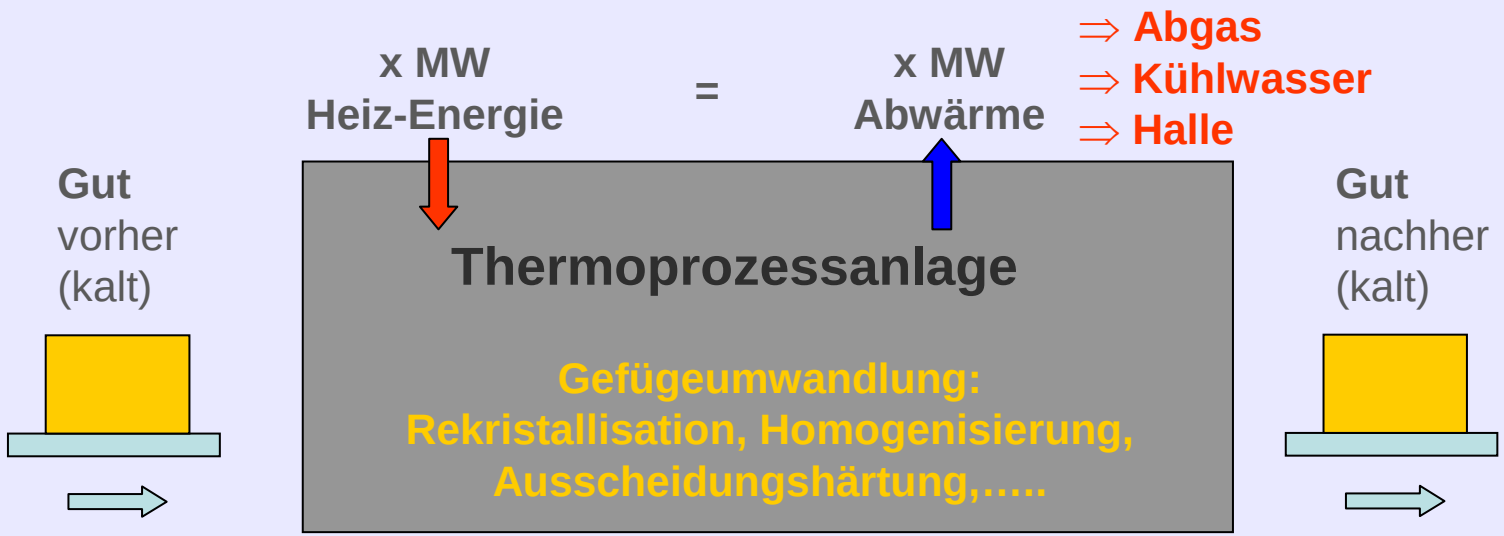
  IE3 premium, η ca.+2%, Kosten +20% bis 40%

- Reduktion von Strömungsverlusten in Hochkonvektions-kühlungen $P = \Delta p_t \times V$!

- Wahl der Schutzgasatmposphäre, hoher Wasserstoffgehalt siehe Vortrag “ Energieeffizienz in der Hüttentechnik”

- Energierekuperation in Feuerungsanlagen Rekuperativbrenner, Regenerativbrenner,….

Nutzung der Energie aus der Gutkühlung



“bad news” 2. Hauptsatz der Thermodynamik:

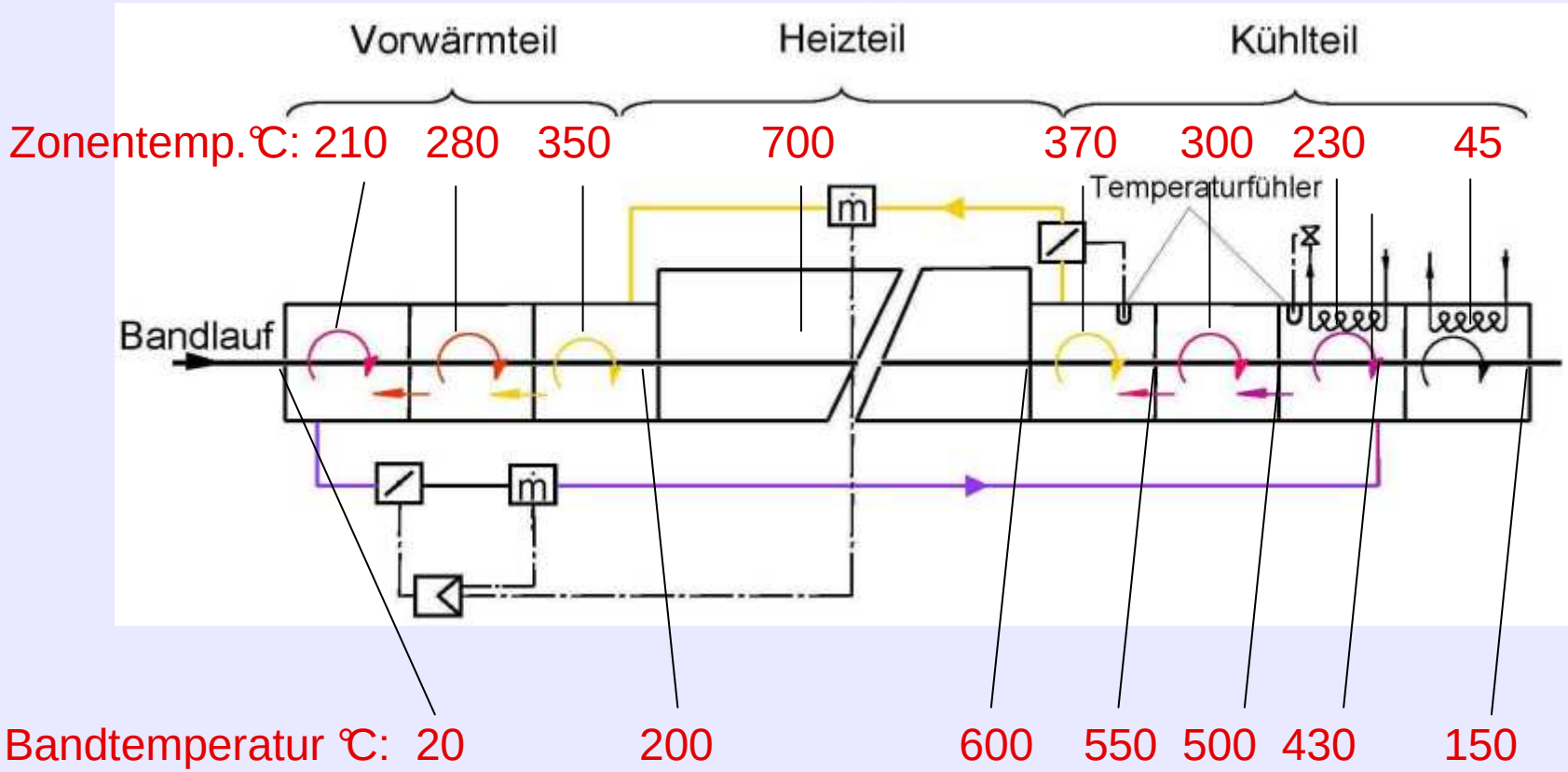
Wärme geht nicht von selbst von einem Körper niedriger Temperatur auf einen Körper höherer Temperatur **!**

“good news”

30% bis 40% der Abwärme lassen sich zur Gutvorwärmung nutzen !

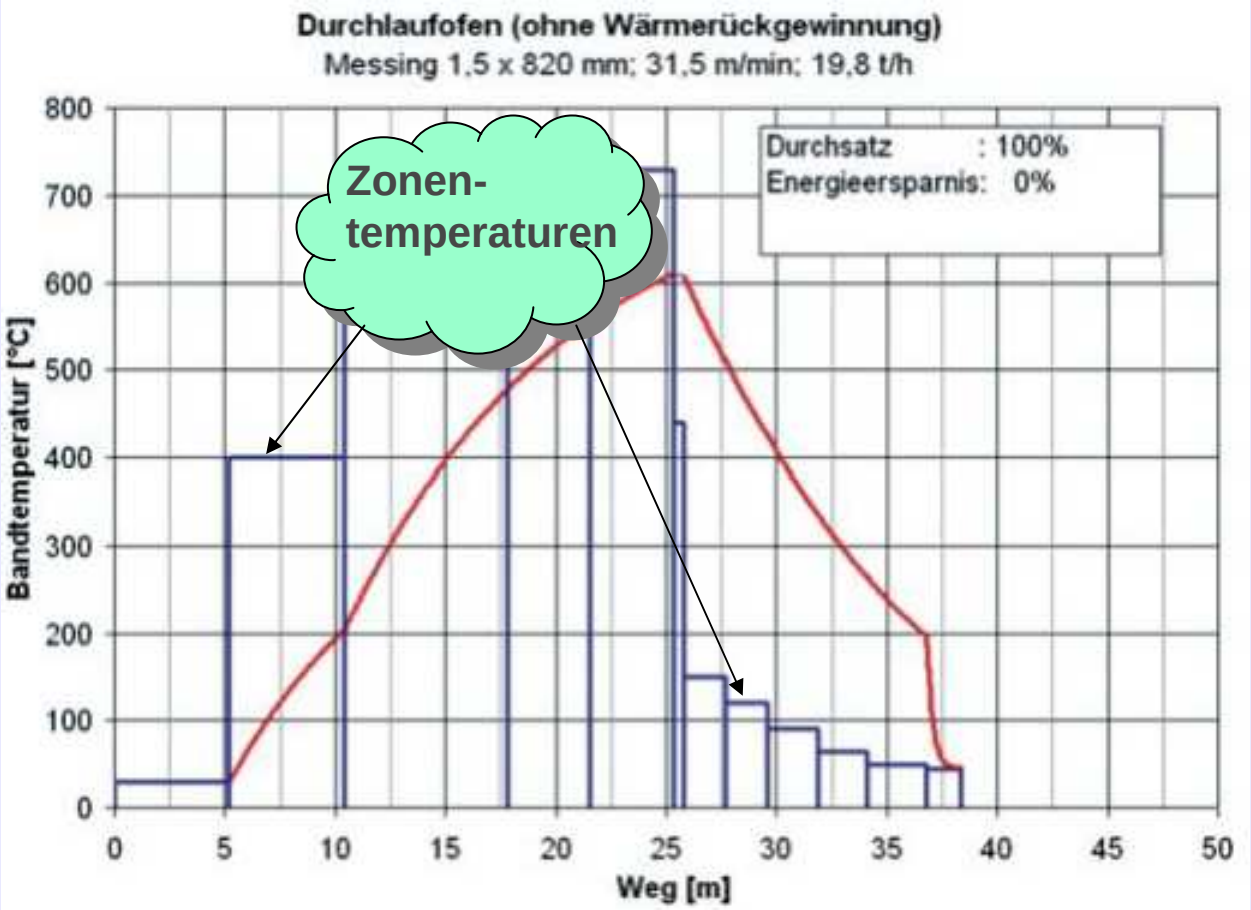
Nutzung der Energie aus der Gutkühlung

Durchlauf-Wärmebehandlungsanlage für Metallbänder



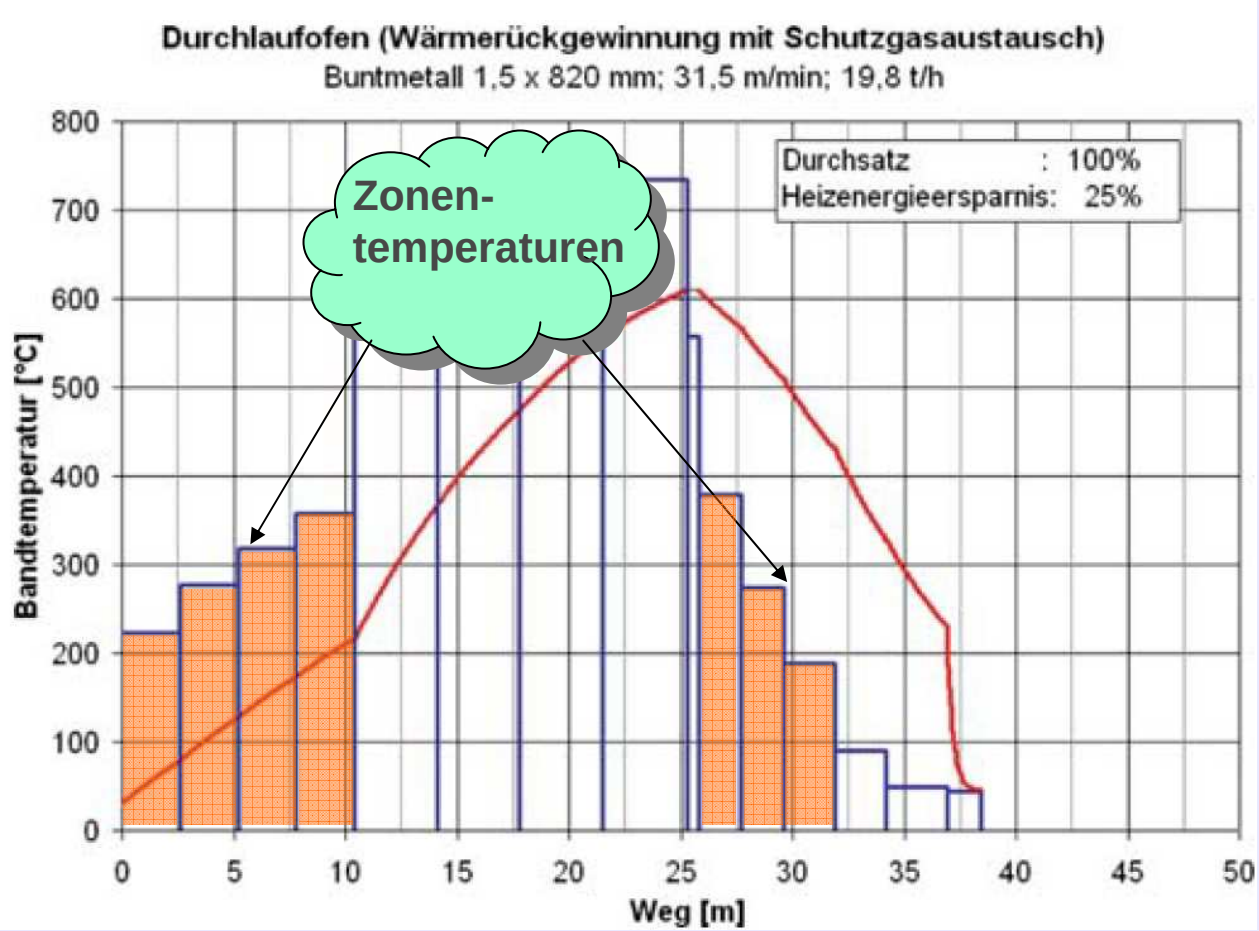
Nutzung der Energie aus der Gutkühlung

Durchlauf-Wärmebehandlungsanlage für Metallbänder



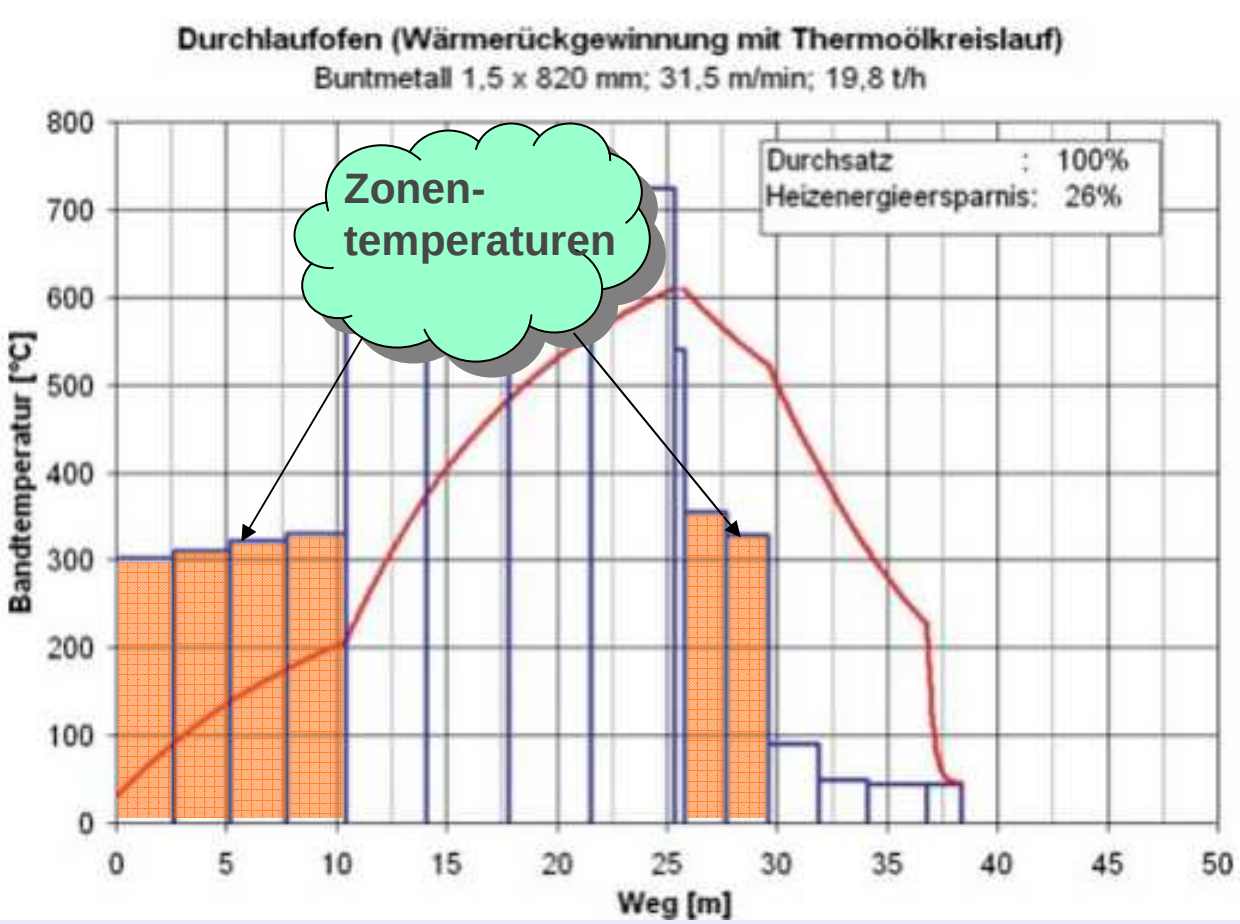
Nutzung der Energie aus der Gutkühlung

Durchlauf-Wärmebehandlungsanlage für Metallbänder



Nutzung der Energie aus der Gutkühlung

Durchlauf-Wärmebehandlungsanlage für Metallbänder



Nutzungsgrad Abkühlung

Invest.-kosten: 0,5 M€

Invest.-kosten: 0,75 M€

Kosten Gas : 0,05 €/kWh Kosten Strom: 0,1 €/kWh CO_2-Emmission: 10 €/to_{CO2}		100 % Durchsatz			90% Durchsatz		
Abkühlwärmenutzung		ohne	Schutzgas Bypass	Thermoöl kreislauf	ohne	Schutzgas Bypass	Thermoöl kreislauf
Glühleistung	**to/h**	**19,8**	**19,8**	**19,8**	**17,7**	**17,7**	**17,7**
Glühtemperatur	°C	610	610	610	610	610	610
Verbräuche je Tonne							
Heizgasverbrauch	MJ/to	293	218	217	304	218	220
Stromverbrauch gesamt	kWh/to	18	18	15*	15	15	11*
Energienutzung							
Energierückführung	%		25,6	25,7		28,3	27,7
CO_2-Produktion	kg_{CO2}/to	25,3	21,1	19,5	24,4	19,6	17,7
CO_2-Ersparnis	**to/a**		**570**	**812**		**590**	**792**
Betriebsdaten jährlich (7000h)							
Tonnage	to/a	138.850	138.850	138.850	123.815	123.817	123.817
Kosten Energie	€/to	5,87	4,84	4,49	5,69	4,50	4,18
Kosten CO2 Emission	€/to	0,25	0,21	0,19	0,24	0,19	0,18
Energiekostenersparnis gesamt	**€/a**		**142.963**	**191.318**		**147.520**	**187.377**
Energiekostenersparnis	%		17,5	23,4		20,9	26,6
Amortisation	**a**		**7**	**4,5**		**6,5**	**4,7**

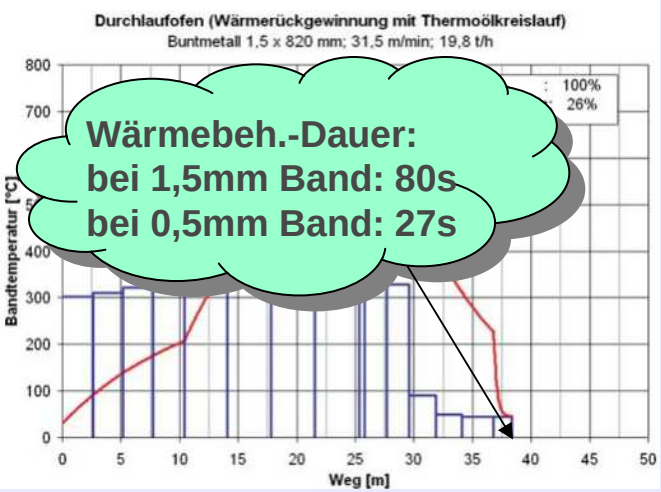
***Beim Thermoölkreislauf reichen wegen der höheren Temperaturdifferenzen in Vorwärm- und Kühlzone geringere Wärmeübergang aus, d.h. die Ventilatordrehzahlen und damit der Stromverbrauch sind geringer**

Nutzung der Energie aus der Gutkühlung

Bedeutung der Kurzzeitwärmebehandlung im Banddurchlaufofen:

- Letzter Bearbeitungsschritt, der Einfluß auf das Gefüge hat
- Die Materialeigenschaften Härte, Festigkeit, Korngröße (Umformbarkeit) liegen fest
- Eine fehlerhafte Wärmebehandlung kann nicht rückgängig gemacht werden, bestenfalls kann sie korrigiert werden
- Im schlimmsten Fall muss das Coil wieder eingeschmolzen werden
- Der Wert eines Coils liegt hier bereits schnell bei mehreren 10T€

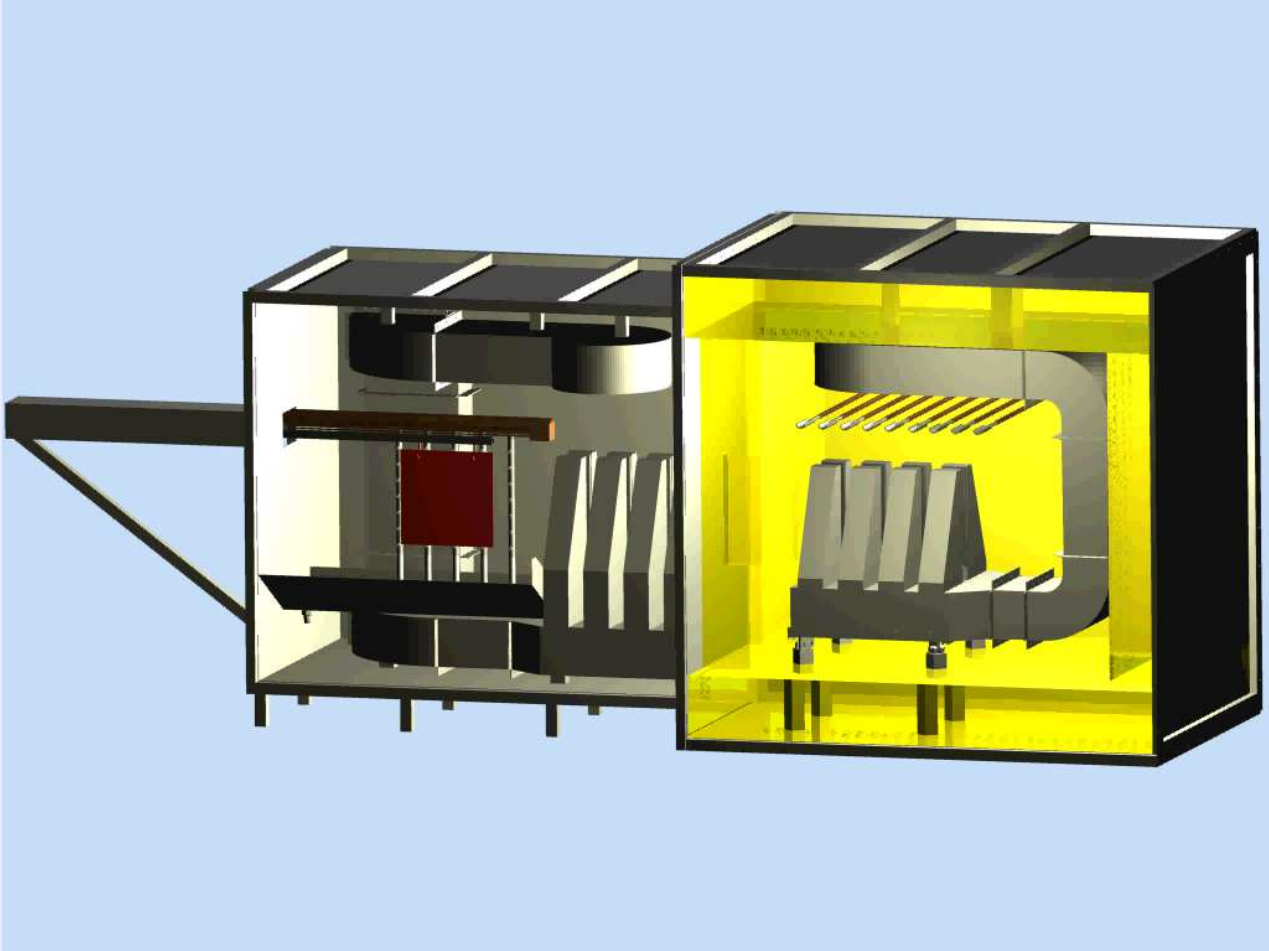
Wenige Sekunden entscheiden über Erfolg oder Misserfolg !



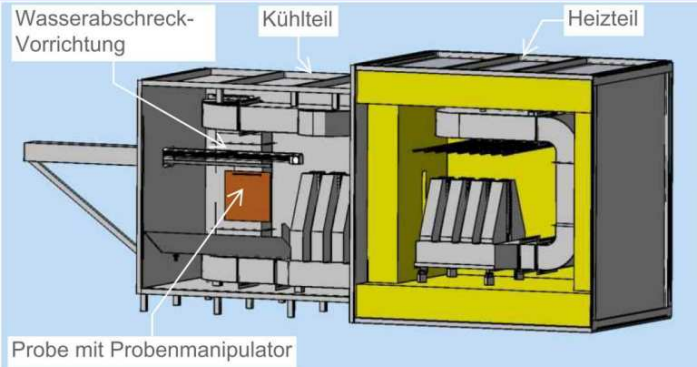
Technische Möglichkeiten der Energieeinsparung an neuen und alten Thermoprozessanlagen

Nutzung der Energie aus der Gutkühlung

Wärmebehandlungsanlage im Labormaßstab



Nutzung der Energie aus der Gutkühlung



Technische Daten:

Probengröße [mm] 400 x 400

Probendicke [mm] 0,1 -10

Glühtemperatur bis 1000℃ (konvektiv)
bis 1150℃ (Strahlung)

Wärmeübergänge bis 500 W/m²K (konvektiv)
(heizen + kühlen)

Atmosphären Luft, N_2, N_2H_2 mit <5%H_2
N_2H_2 mit >5%H_2 Sonderausführung

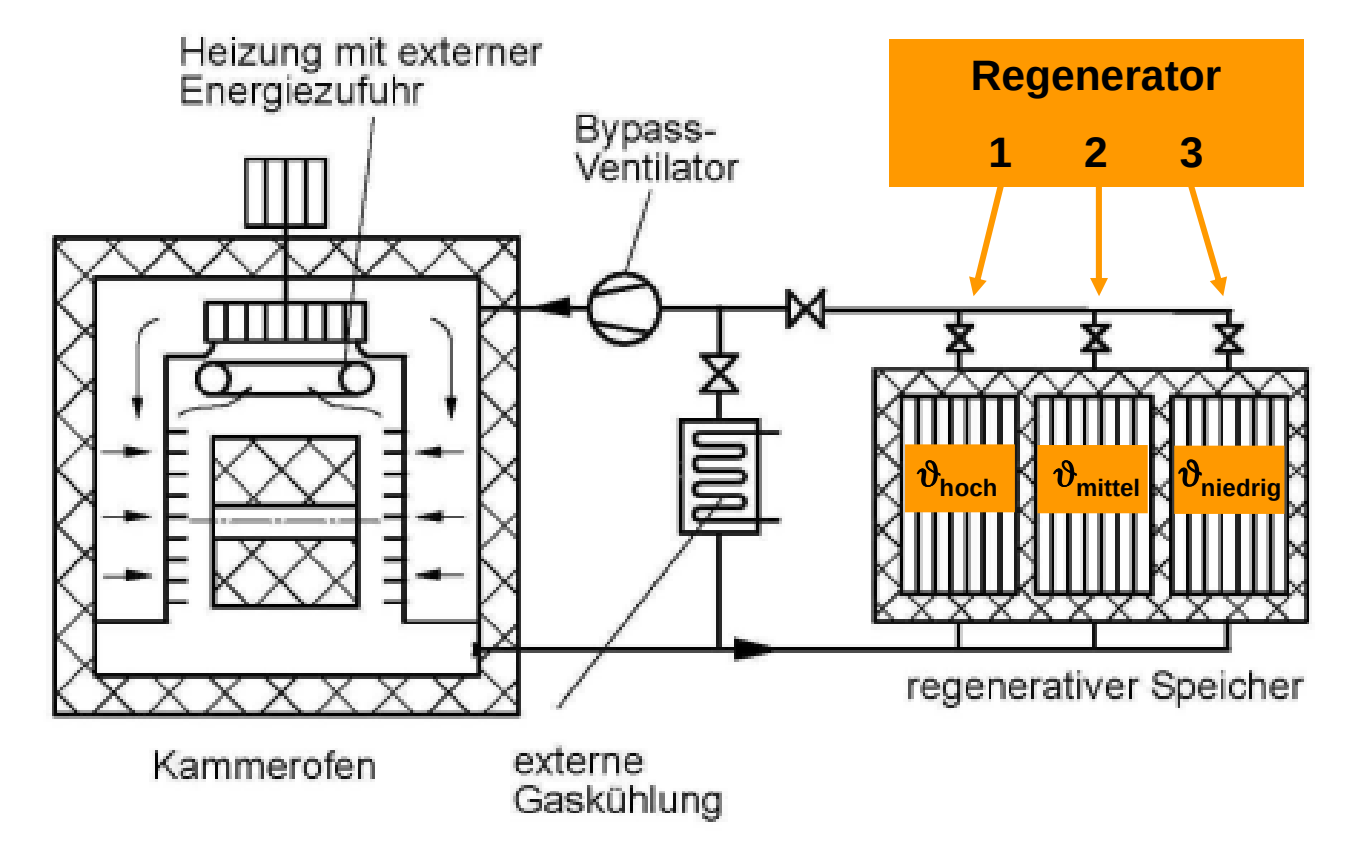
Wasserabschreckvorrichtung für Zwischenzustände

Anlagenabmessung B x H x L [m]: 2 x 2,4 x 5

weitere Infos siehe www.itp-aachen.de

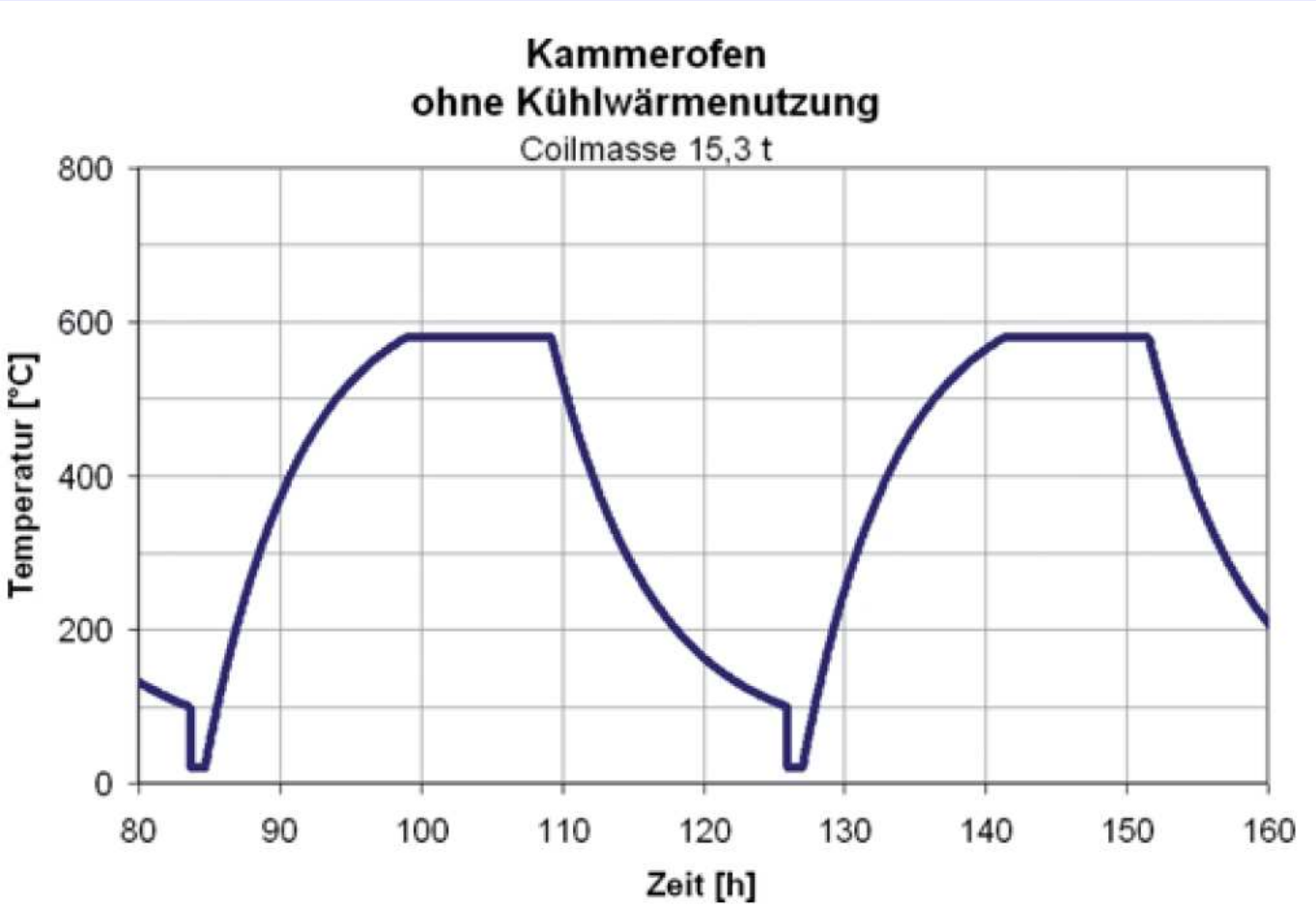
Nutzung der Energie aus der Gutkühlung

Kammerofen mit regenerativer Abkühlwärmenutzung



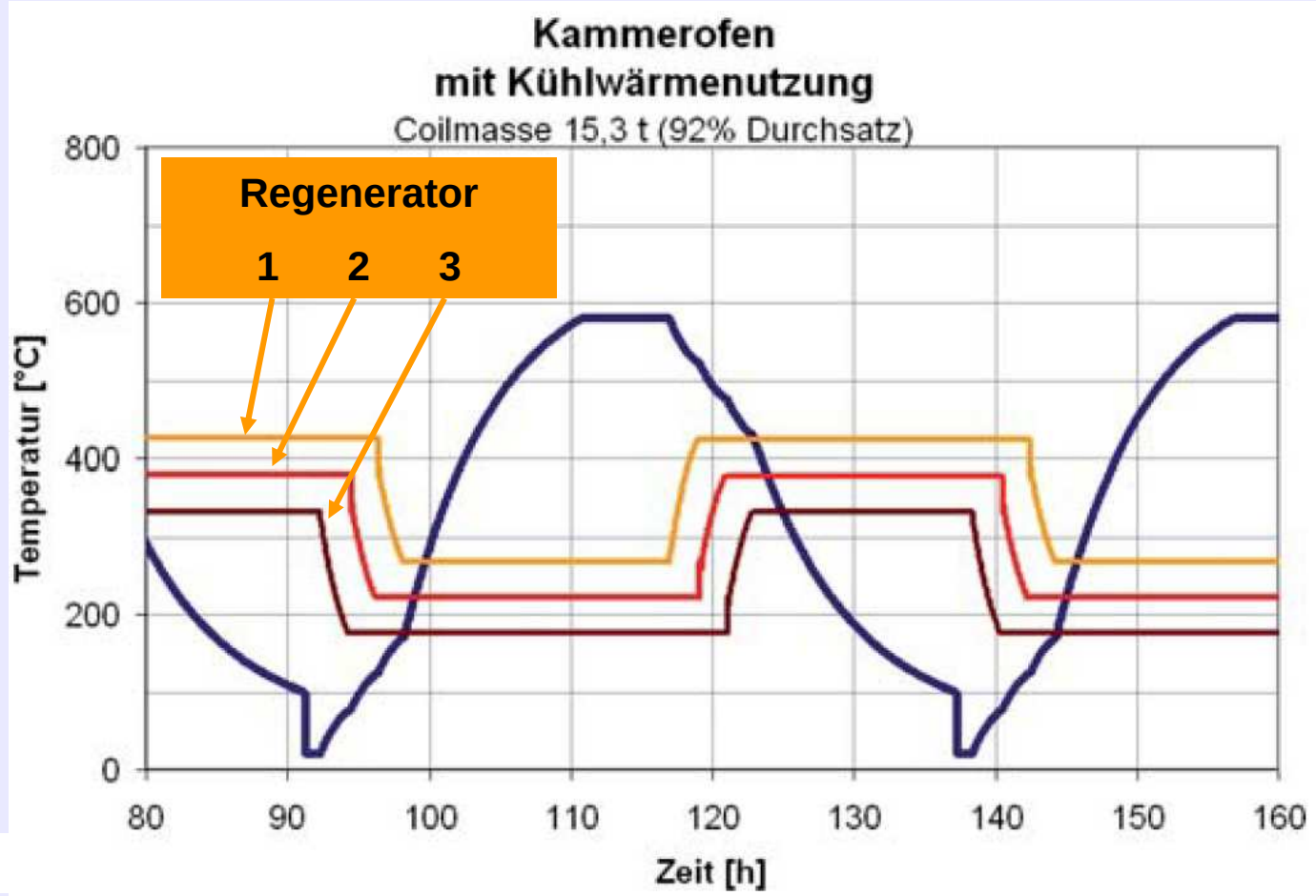
Nutzung der Energie aus der Gutkühlung

Kammerofen mit regenerativer Abkühlwärmenutzung



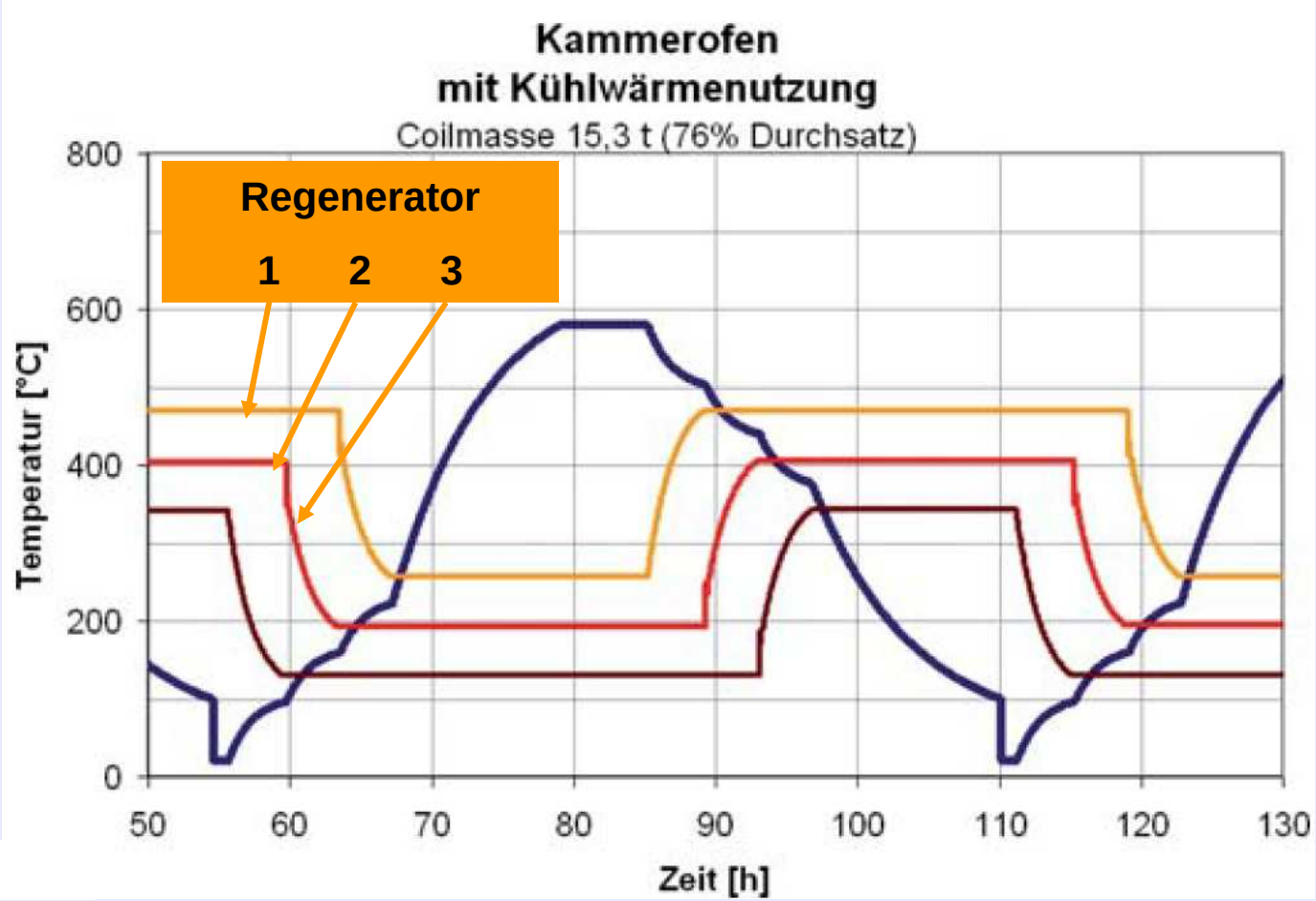
Nutzung der Energie aus der Gutkühlung

Kammerofen mit regenerativer Abkühlwärmenutzung



Nutzung der Energie aus der Gutkühlung

Kammerofen mit regenerativer Abkühlwärmenutzung



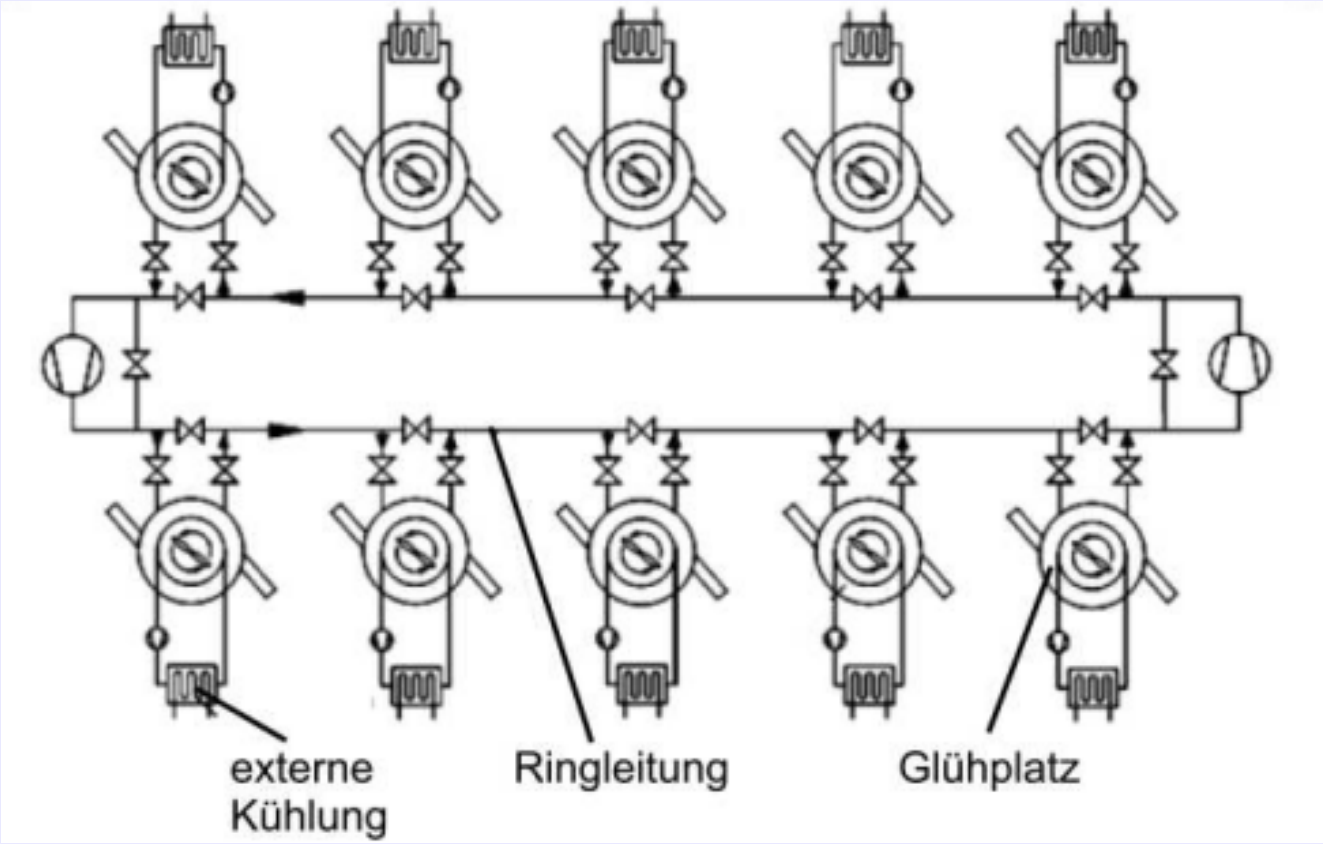
Nutzung der [illegible] der Gutkühlung

Invest.-kosten: 0,1 M€

Kosten Gas : 0,05 €/kWh Kosten Strom: 0,1 €/kWh CO_2-Emmission: 10 €/to_{CO2}		100% Durchsatz	92% Durchsatz			76% Durchsatz		
Abkühlwärmenutzung		**ohne**	**mit**	**mit**	**mit**	**mit**	**mit**	**mit**
Glühleistung	**t/h**	**0,36**	**0,33**	**0,33**	**0,33**	**0,28**	**0,28**	**0,28**
Stapelmasse	to	15,344	15,344	15,344	15,344	15,344	15,344	15,344
Glühtemperatur	°C	580	580	580	580	580	580	580
Verbräuche je Tonne								
Heizgasverbrauch	MJ/to	814	652	652	652	615	615	615
Stromverbrauch gesamt	kWh/to	29	30	30	30	30	30	30
Energienutzung								
Energierückführung	%		23,4	23,4	23,4	29,4	29,4	29,4
CO_2-Produktion	kg_{CO2}/to_l	59,7	51,2	51,2	51,2	49,2	49,2	49,2
CO_2-Ersparnis	**to/a**		**19,8**	**19,8**	**19,8**	**20,2**	**20,2**	**20,2**
Betriebsdaten jährlich (7000h)								
Tonnage	to/a	2.532	2.332	2.332	2.332	1.933	1.933	1.933
Energiepreissteigerung				**x1,5**	**x3**		**x1,5**	**x3**
Kosten Energie (Erdgas+Strom)	€/to	14,21	12,07	18,10	36,20	11,59	17,38	34,76
Kosten CO_2Emission	€/to	0,47	0,37	0,56	1,12	0,35	0,53	1,06
Energiekostenersparnis	**€/a**		**5.218**	**7.827**	**15.655**	**4.277**	**6.415**	**12.830**
	%		14,0	21,1	42,1	14,2	21,4	42,7
Amortisation	a				**6,8**			**8,5**

Nutzung der Energie aus der Gutkühlung

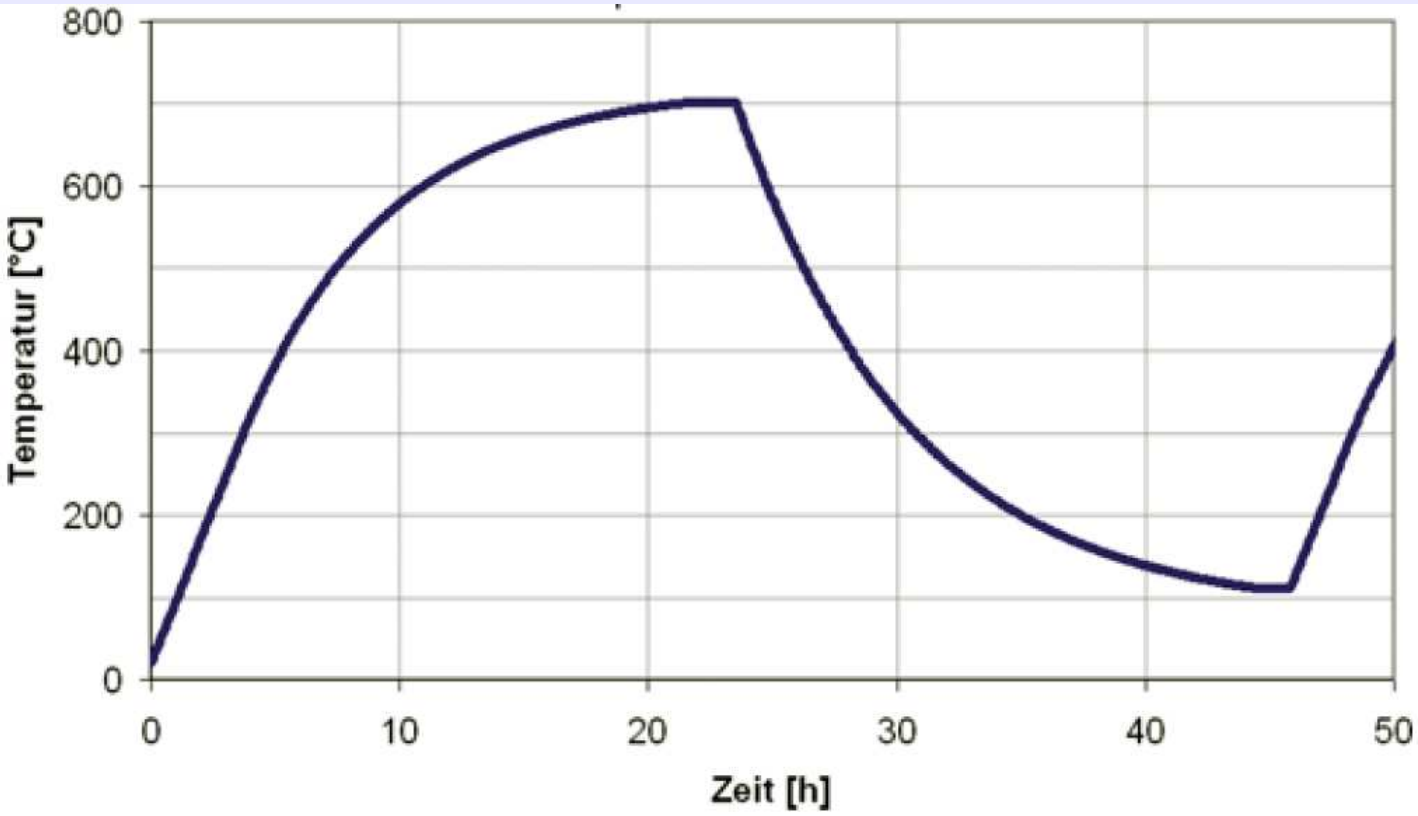
Haubenofenanlage



Nutzung der Energie aus der Gutkühlung

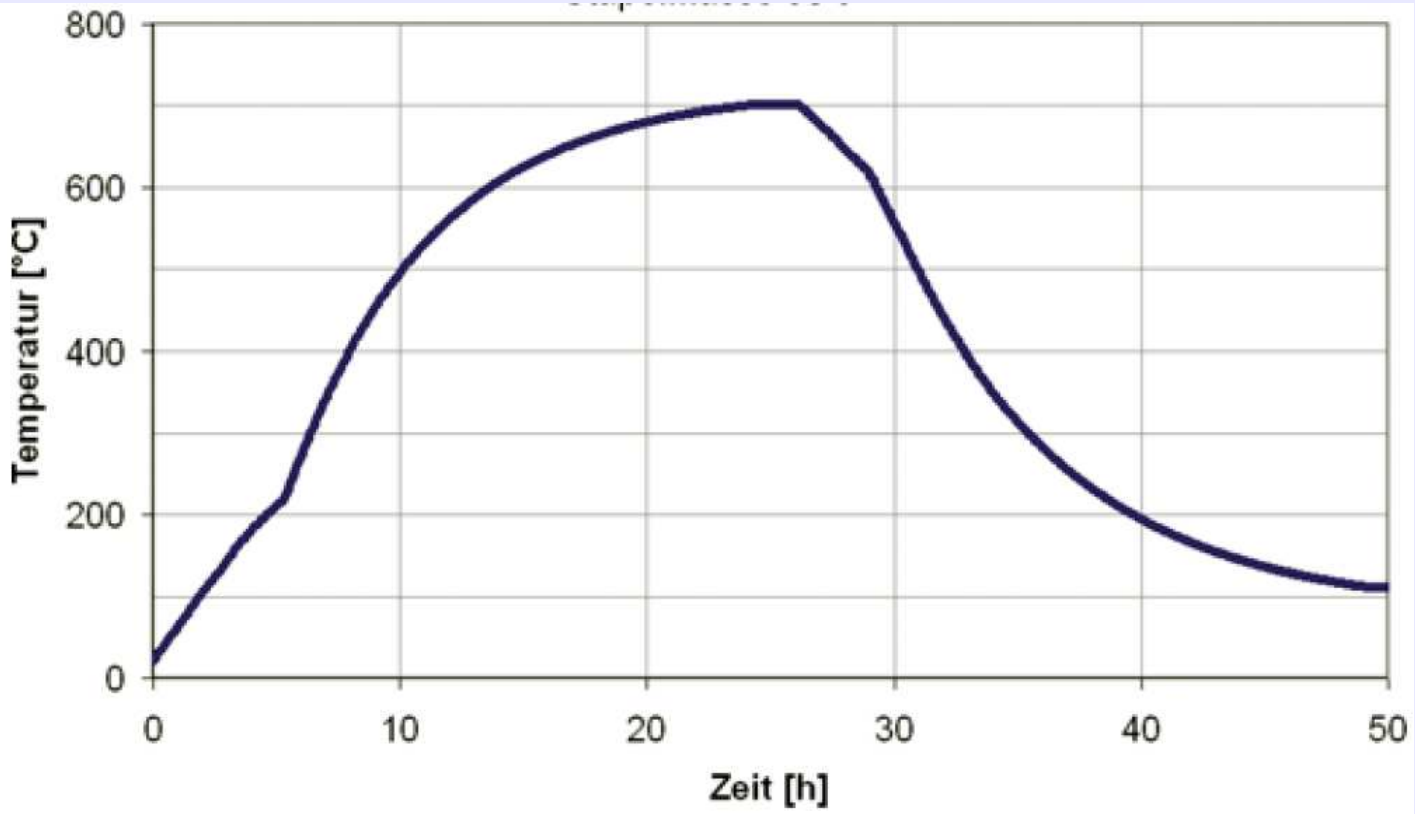
Haubenofenanlage (Stapelmasse 90to)

ohne Kühlwärmenutzung



Nutzung der Energie aus der Gutkühlung

Haubenofenanlage (Stapelmasse 90to)
mit Kühlwärmenutzung



Nutzung der Energ utkühlung

Invest.-kosten:
1 M€

Kosten Gas : 0,05 €/kWh Kosten Strom: 0,1 €/kWh CO_2-Emmission: 10 €/to_{CO2}		100% Durchsatz		90% Durchsatz	80% Durchsatz
Abkühlwärmenutzung		**ohne**	**mit Kühlwärmenutzung**		
Anzahl Sockel		10	11	11	11
Sockelleistung	**t/h**	**2,02**	**1,83**	**1,66**	**1,48**
Stapelmasse	to	90,4	90,4	90,4	90,4
Glühtemperatur	°C	700	700	700	700
Verbräuche je Tonne					
Heizgasverbrauch	MJ/to	466	354	295	265
Stromverbrauch gesamt	kWh/to	11	13	14	14
Energienutzung					
Energierückführung	%		26,0	39,3	47,2
CO_2-Produktion	kg_{CO2}/to_l	31,4	26,2	23,4	21,7
CO_2-Ersparnis	to/a		732	1.023	1.102
Betriebsdaten jährlich (7000h)					
Tonnage	to/a	141.501	140.778	127.938	113.653
Kosten Energie (Erdgas+Strom)	€/to	7,57	6,24	5,45	5,06
Kosten CO_2Emission	€/to	0,27	0,20	0,17	0,15
Energiekostenersparnis	**€/a**		**196.212**	**284.341**	**298.286**
Amortisation	**a**		**6**	**3,5**	**3**

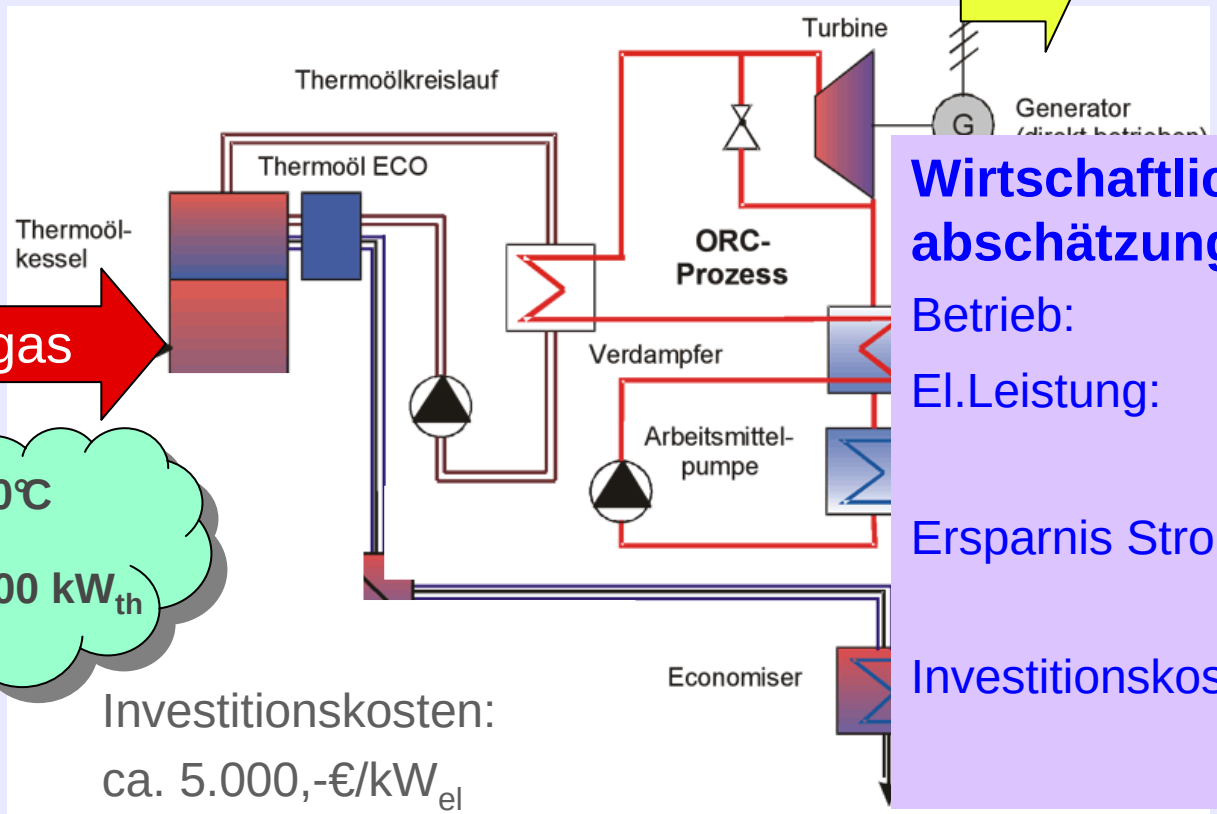
Nutzung der Energie aus der Abgaswärme

1. Zur Strom-Erzeugung mittes ORC-Prozess

(**O**rganic **R**ankine **C**ycle)

Strom

50 kW_{el}



Abgas

ca 500°C

300-400 kW_{th}

Investitionskosten:
ca. 5.000,-€/kW_{el}

Wirtschaftlichkeits-abschätzung (einfach):

Betrieb:	7.000 h/a
El.Leistung:	50 kW
	350$MWh_{el.}$/a
Ersparnis Stromkosten:	
	35.000,-€/a
Investitionskosten:	
	250.000,-€/a

Nutzung der Energie aus der Abgaswärme

2. zur Gutkühlung

Absorptions-Kältemaschine (AKM

Mit der Energie aus dem Verbrennungsabgas (ca.500℃) wird das Kühlwasser aus dem Primärkreislauf rückgekühlt auf ca.6-8℃. Die Abwärme wird über einen Kühlturm abgegeben.

Investitionskosten:
ca. 200,-€/kW_{th}

Wirtschaftlichkeitsabschätzung (einfach):

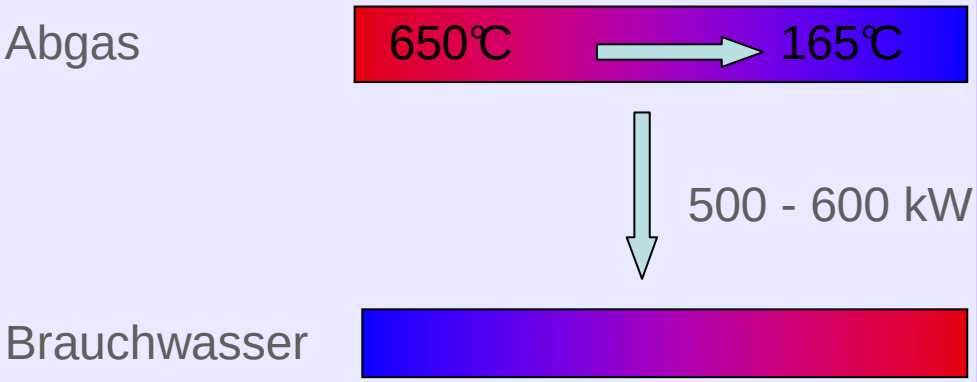
Thermoprozessanlage	
Heizleistung:	1 MW
Abgas:	500℃ / 2,2 kg/s
AKM	
Kühlleistung:	0,5 MW
Kaltwasser:	6-8℃
el.Anschlussleistung:	50 kW
zum Vergleich Kaltwassersatz el.	
el.Leistung:	200 kW
Betrieb:	5.000 h/a
Ersparnis Stromk.:	75.000,-€/a
Investitionskosten:	200.000,-€/a

Nutzung der Energie aus der Abgaswärme

3. Zur Beheizung von Entfettungen, Beizen oder zur Brauchwassererwärmung

Mit der Abwärme aus Abgas oder aus dem Kühlteil wird Brauchwasser erwärmt:

Bsp. für typische Wärmerück-gewinnungsanlage:



Investitionskosten ca. 50,- bis 70,-€/kW_{th}

Wirtschaftlichkeits-abschätzung (einfach):

Betrieb:	2.500 h/a
Heizleistung:	500 kW
	1,25 GWh_{th}/a
Ersparnis Gaskosten:	
	62.500,-€/a
Investitionskosten:	
	35.000,-€/a

das ist ok!

Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung

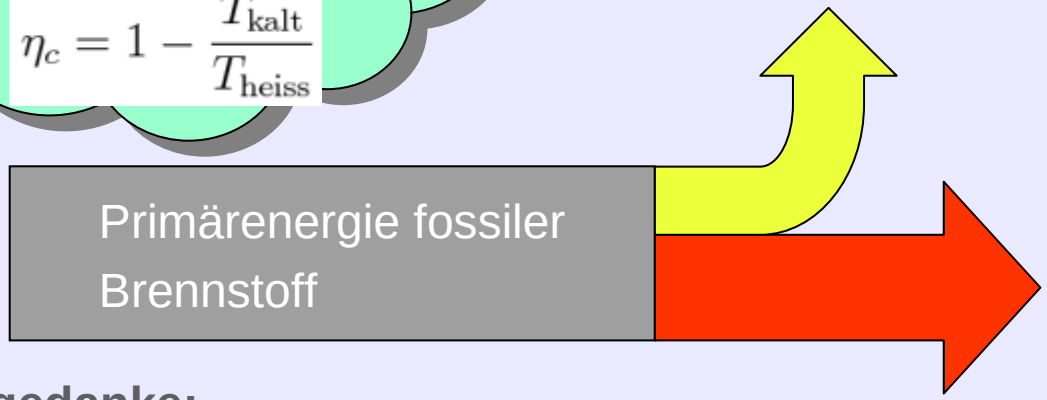
Was ist Kraft-Wärme-Kopplung?

mit realen Maschinen werden Wirkungsgrade von ca.15-50% erzielt

Carnot:

$$\eta_c = 1 - \frac{T_{\text{kalt}}}{T_{\text{heiss}}}$$

mittels einer Wärmekraftmaschine wird mechanische Energie erzeugt und mittels eines Generators in Strom umgewandelt



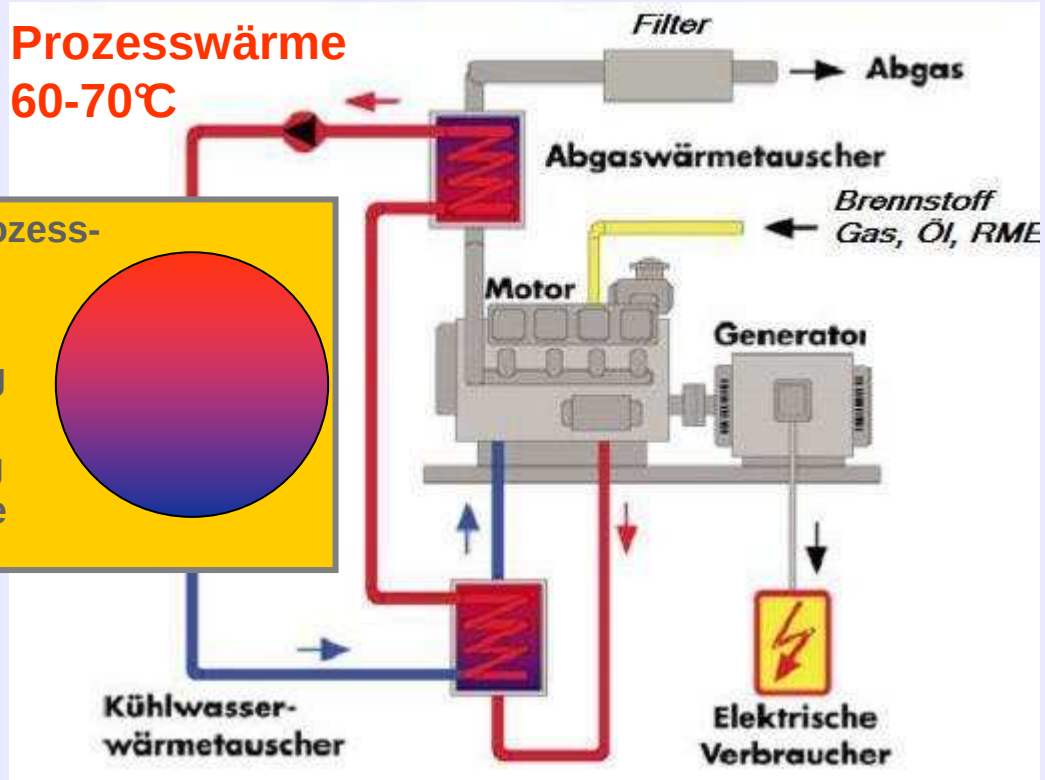
Restliche Energie ist Abwärme, die in der Thermoprozess-anlage genutzt wird

Leitgedanke:

Wenn Prozesswärme benötigt wird, soll geprüft werden, ob ein Teil der Primärenergie betriebswirtschaftlich sinnvoll in Strom umgewandelt werden kann.

Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung

Beispiel BHKW Blockheizkraftwerk



Thermoprozess-Anlage

Beheizung von z.B Entfettung oder Beize

zu bedenken:

- je höher die Vorlauftemperatur desto kürzer die Wartungsintervalle
- redundante Beheizung erforderlich, wenn Dauerbetrieb gefordert
- Investitionskosten ca. 500-700 €/kWh$_{thermisc}$

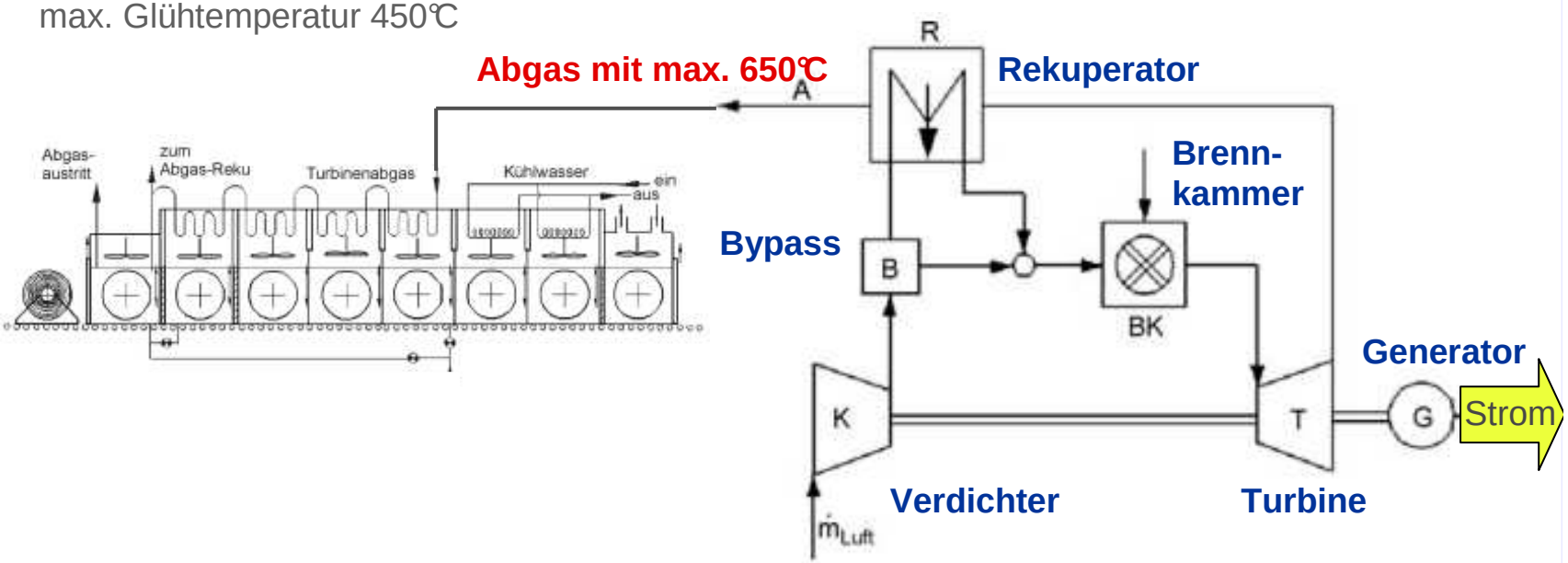
Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung

Beispiel Mikrogasturbine

Rollenherdofenanlage für Al-Coils

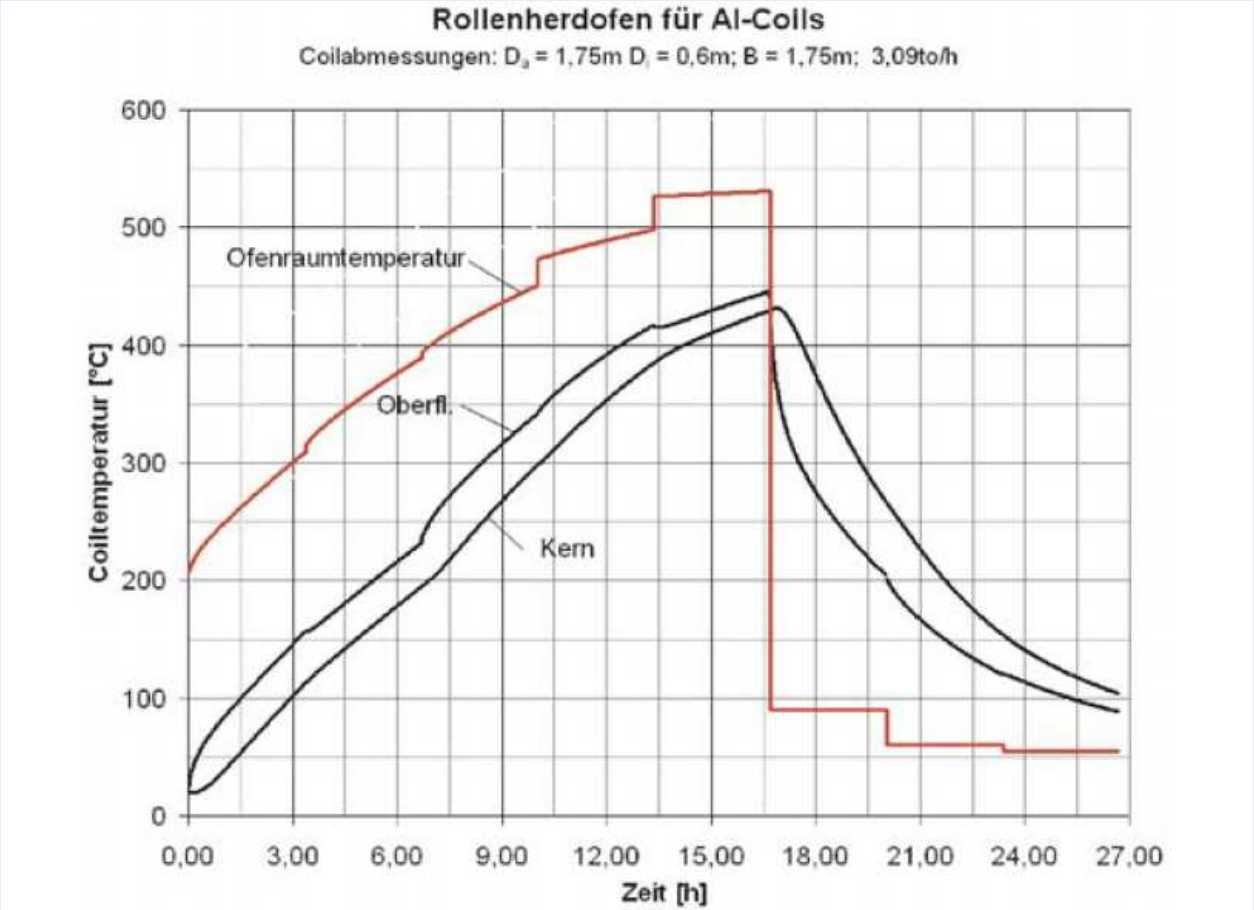
max. Glühtemperatur 450°C

1-Wellen-Maschine (Gasturbine)



Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung

Beispiel Mikrogasturbine



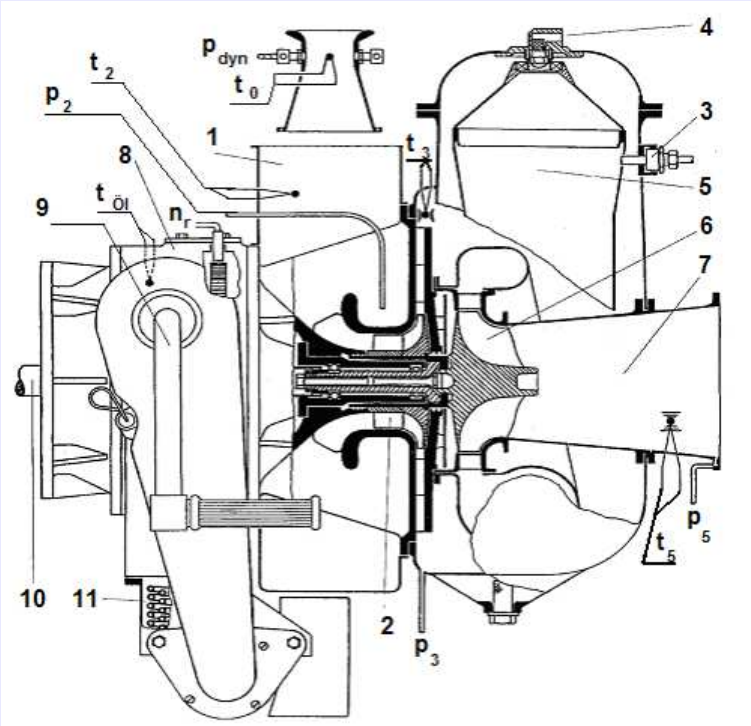
Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung

Kosten Gas : 0,05 €/kWh Kosten Strom: 0,1 €/kWh CO_2-Emmission: 10 €/to_{CO2} **Betriebsweise**		**Rollenherdofen** mit Mikrogasturbine 500kW_t, 150$kW_{el.}$	**Kammerofen konventionell**
Glühleistung	**t/h**	**3**	**3**
Coilmasse	to	10	10
Glühtemperatur	℃	450	450
Verbräuche je Tonne			
Gasverbrauch	kWh/to	194	123
Stromverbrauch (Netz) gesamt	kWh/to	14	61
Energienutzung			
CO_2-Produktion	kg_{CO2}/to_l	45,8	55,1
CO_2-Ersparnis	**to/a**	**140**	
Betriebsdaten jährlich (5000h)			
Tonnage	to/a	15.000	15.000
Kosten Energie (Erdgas+Strom)	€/to	11,1	12,3
Kosten CO_2Emission$_{el.}$	€/to	0,07	0,30
Energiekosten jährlich	€/a	167.550	189.000
Energiekostenersparnis	**€/a**	**22.450**	
Amortisation	**a**	**>20 Jahre**	

Investitionskosten für eine Mikrogasturbine > 1.000 €/$kWh_{thermisch}$

Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung

Mikrogasturbine



zu bedenken:

- Lebensdauer ca. 30.000h dann Generalüberholung
- Investitionskosten > 1.000 €/$kWh_{thermisch}$
- nicht auf Beheizung von Thermoprozessanlagen optimiert
- wenig Hersteller

Resumee

- es gibt **viele** technische Möglichkeiten Energie einzusparen

- manche Maßnahmen werden betriebswirtschaftlich erst sinnvoll, wenn:

  Investitionskosten sinken, z.B. weil die notwendigen System durch höhere Stückzahlen günstiger werden

  oder
  Energiekosten steigen

  oder
  Maßnahmen subventioniert werden

  oder
  gesetzliche Regelungen Maßnahmen erfordern

Technische Möglichkeiten der Energieeinsparung
an neuen und alten Thermoprozessanlagen

download von Publikationen: www.itp-aachen.de

ITP GmbH An der Glashütte 10 D – 52074 Aachen