

3  
2009

# **GASWÄRME**

## **International**

**Gasanwendung in Industrie und Gewerbe**

<http://www.gaswaerme-online.de>

**Schwerpunkt**  
**Hochtemperaturprozesse**

## Energieeinsparung bei Wärme- behandlungsanlagen

Energy saving on thermal processing plants

Dr.-Ing. Thomas Berrenberg, Prof. Dr.-Ing. Carl Kramer  
WSP GmbH-Anlagenbau für die Thermoprosesstechnik, –Thermoprocessing plants–

erschienen in

**GASWÄRME International 3/2009**

Vulkan-Verlag GmbH, Essen

Ansprechpartner: Stephan Schalm, Telefon 0201/82002-12, E-Mail: [s.schalm@vulkan-verlag.de](mailto:s.schalm@vulkan-verlag.de)

# Energieeinsparung bei Wärmebehandlungsanlagen

## Energy saving on thermal processing plants

Von Thomas Berrenberg, Carl Kramer

Bei modernen, gasbeheizten Wärmebehandlungsanlagen ist die Möglichkeit der Heizenergieeinsparung durch Vermeidung von Wandverlusten und Nutzung der Abgaswärme zur Verbrennungsluftvorwärmung weitestgehend ausgeschöpft. Ein größeres Einsparpotenzial bietet noch die Nutzung der Gutabkühlwärme im Prozess zur Gutvorwärmung. Dies wird am Beispiel einer Durchlaufwärmebehandlungsanlage, eines Einsatzofens und einer Haubenofenanlage mit mehreren Glühplätzen aufgezeigt.

For modern gas fired thermal processing plants the possibility to save heating energy by avoiding wall losses and the recovery of the exhaust gas heat by combustion air preheating is nearly fully used. A larger saving potential gives the recovery of the heat extraction due to cooling of the material. This is demonstrated for a continuous heat treatment plant, a batch furnace and a bell furnace battery as examples.

Die Wirtschaftlichkeit des Betriebs von Wärmebehandlungsanlagen hängt in hohem Maße vom Energieverbrauch bezogen auf die durchgesetzte Gutmasse ab. Daher wurden in modernen Anlagen Wärmeverluste durch zweckdienliche Konstruktion, insbesondere Aufbau der Wärmeisolierung und Vermeidung unnötiger Kühlverluste, z. B. durch Wasserkühlung von Konstruktionsteilen, auf das mögliche Mindestmaß reduziert. Außerdem werden bei brennstoffbeheizten Anlagen die Rauchgasverluste durch rekuperative oder regenerative Verbrennungsluftvorwärmung beträchtlich verringert. Moderne Gasbrenner mit in den Brennern integrierten Rekuperatoren erreichen bei Ofenabgastemperaturen noch Wirkungsgrade von 75 %. Bei Brennern mit integrierten Regeneratoren sind sogar 85 % und mehr möglich. Eine weitere Reduzierung der Wärmeverluste ist kaum noch möglich.

In Wärmebehandlungsanlagen wird das Nutzgut auf hohe Temperatur erwärmt und anschließend wieder abgekühlt. Die Erwärmung erfolgt insbesondere im Bereich niedriger Temperaturen bis ca. 800 °C durch erzwungene Konvektion

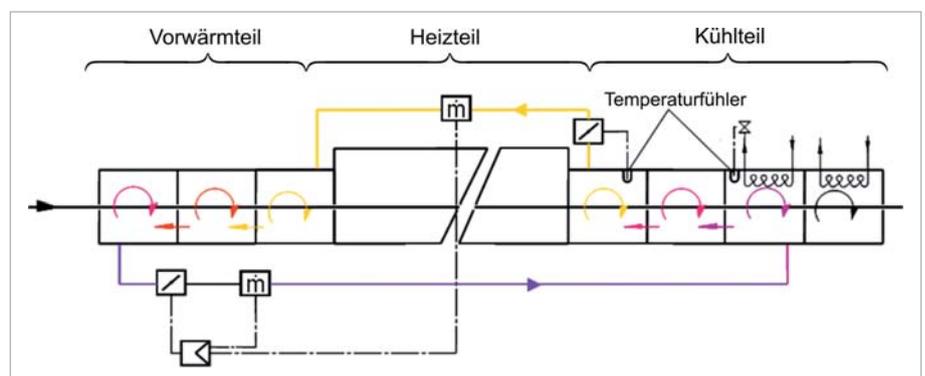
mit einem umgewälzten und auf das Gut aufgebrachten Gasstrom und bei höherer Temperatur durch Wärmestrahlung bzw. Wärmestrahlung und erzwungene Konvektion. Die Abkühlung erfolgt, abgesehen von Spritz- oder Tauchkühlung, immer durch erzwungene Konvektion. Die Abkühlung mit einem auf das Gut bei hohem Wärmeübergang aufgeblasenen Gasstrom hat dabei gegenüber der Flüssigkeitsabschreckung den Vorteil eines geringen Glühgutverzugs.

Die beim Abkühlvorgang dem Gut entzogene Wärme wird – falls überhaupt – nicht im Wärmebehandlungsprozess genutzt, sondern z. B. zur Gebäudebeheizung, zur Warmwasserbereitung oder zur Erwärmung von Bädern bei der Oberflächenbehandlung oder der Gut-trocknung im Rahmen einer eventuell erforderlichen Vorbehandlung. Der größte Teil der Kühlwärme geht aber auch dabei als Verlustwärme verloren.

Daher liegt es nahe, nach Wegen zu suchen, wie die Gutabkühlwärme im Wärmebehandlungsprozess selbst wenigstens teilweise wieder verwendet werden kann, um den Einsatz externer Heizungsenergie zu reduzieren und dadurch sowohl Kosten zu sparen als auch die CO<sub>2</sub>-Emission zu verringern. Im Folgenden werden einige typische Beispiele behandelt.

### Nutzung der Gutabkühlwärme im Prozess

Für eine Durchlauf-Wärmebehandlungsanlage, einen Einsatzofen und eine Haubenglühanlage wird das Potenzial der Nutzung der Gutabkühlwärme exemplarisch gezeigt. Allen drei Fallstudien wur-



**Bild 1:** Schema der Abkühlwärmennutzung in einer Durchlauf-Wärmebehandlungsanlage für Metallbänder mittels Bypass-Kreislauf des Beblasungsgases

**Fig. 1:** Schematic of the recovery of heat extraction due to cooling in a continuous thermal processing plant for metal strips by means of a bypass circuit of the impinging gases

den die nachfolgend aufgeführten Daten bezüglich Energiekosten, CO<sub>2</sub>-Entstehung und betriebswirtschaftlicher Bewertung zugrunde gelegt. Die betriebswirtschaftliche Betrachtung wurde nach der Kapitalwertmethode [1] durchgeführt.

**Energiekosten**

- Kosten Erdgas 0,04 €/kWh
- Kosten Strom 0,08 €/kWh
- Kosten CO<sub>2</sub>-Emission 10,00 €/t

**Erdgasdaten**

- unterer Heizwert 10,655 kWh/m<sup>3</sup>
- CO<sub>2</sub>-Anteil im Abgas 0,206 kg/kWh

**Parameter für Amortisationsbewertung nach der Kapitalwertmethode**

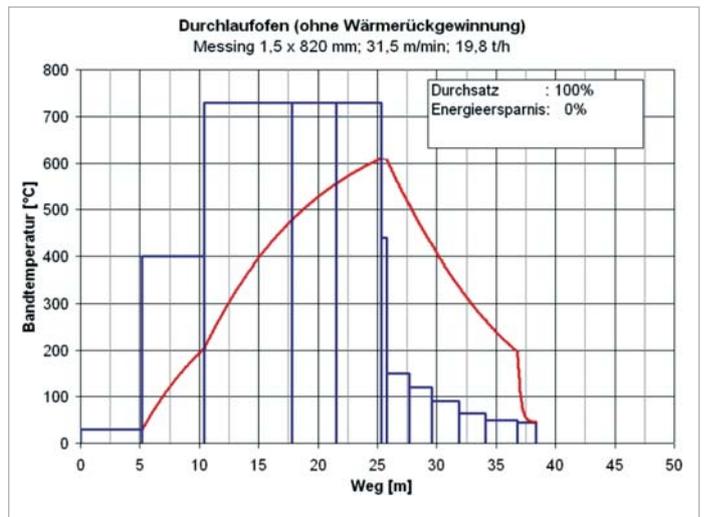
- 6 % Kalkulationszins
- 2 % Wartungskosten/annum
- 2,5 % Energiekostensteigerung
- 28 % Unternehmenssteuersatz

**Durchlauf-Wärmebehandlungsanlage für Metallbänder**

Bei einer Durchlauf-Wärmebehandlungsanlage, die aus nacheinander vom Gut durchlaufenem Heizteil und Kühlteil besteht, ist es möglich, die dem Gut im Kühlteil entzogene Wärme zu einem beachtlichen Teil zur Gutvorwärmung zu nutzen [2]. Dazu wird zwischen dem Kühlteil und einem speziellen Vorwärmteil ein Wärmeverbund hergestellt. Dies kann dadurch geschehen, dass ein Teilstrom des im Kühlteil zum Zweck der hochkonvektiven Kühlung umgewälzten Gasstroms durch die Vorwärmzone ge-

**Bild 3:** Glühkurve einer Durchlauf-Wärmebehandlungsanlage ohne Abkühlwärmernutzung

**Fig. 3:** Annealing curve of a continuous thermal processing plant without recovery of heat extraction due to cooling

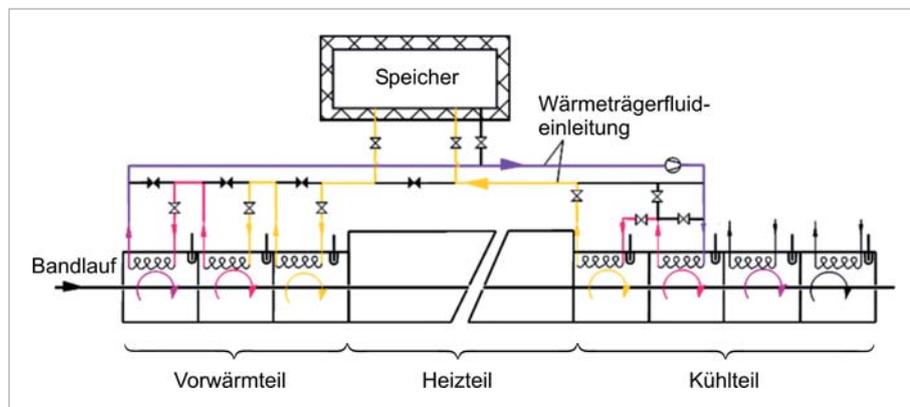


leitet wird, wo dieser Gasstrom – ebenfalls durch hochkonvektive Umwälzung – am einlaufenden Gut abgekühlt wird und dieses dadurch vorwärmt, bevor er wieder in den Kühlteil gelangt, wo der Gasstrom bei der Gutabkühlung wieder aufgewärmt wird. Um die Temperaturdifferenzen im Gutstrom und im Gasstrom etwa gleich zu halten, ist es sinnvoll, den Wärmekapazitätsstrom ( $\dot{m} \cdot c$ ) beider Ströme etwa gleich groß zu halten.

**Bild 1** zeigt als Beispiel das Schema einer Banddurchlaufanlage. Vor dem mit externer Energie beheizten Heizteil sind als Beispiel drei Vorwärmzonen angeordnet, hinter dem Heizteil vier Kühlzonen. Aus der ersten Kühlzone wird ein Teilstrom des Beblasungsgases in die letzte Vorwärmzone eingeleitet und strömt nach Wärmeaustausch im Gegenstrom aus der ersten Vorwärmzone in die dritte Kühlzone zurück und von dort – wieder im Gegenstrom – zur Kühlzone 1. Eine

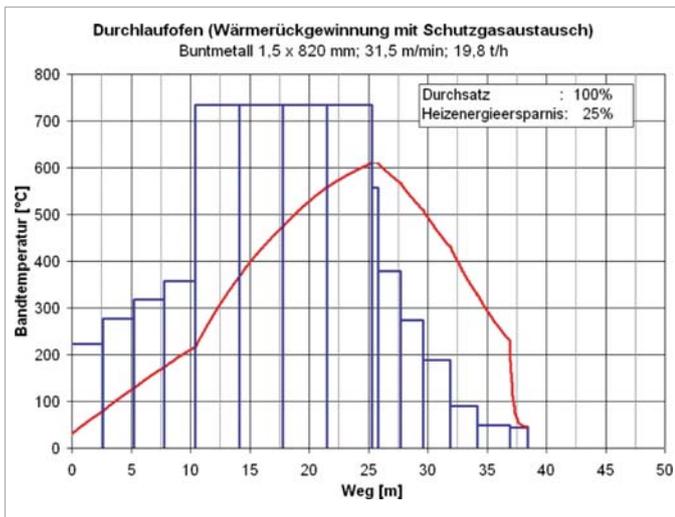
Regelung sorgt dafür, dass die Massenströme in der Leitung von und zum Kühlteil gleich groß sind. Im Beispiel nach Bild 1 dienen die Umwälzventilatoren der ersten Kühlzone und der ersten Vorwärmzone zugleich als Strömungsantriebe für den Bypass-Kreislauf. Es können aber auch im Bypassvor- und -rücklauf jeweils Ventilatoren angeordnet werden. Die Drehzahl des Ventilators im Vorlauf wird nach der Gastemperatur in der ersten Kühlzone geregelt, die Drehzahl des Ventilators im Rücklauf nach dem Massenstrom. Dann entfallen die in Bild 1 gezeigten Regelklappen. Die dritte Kühlzone ist, wie auch die letzte Kühlzone in der die Abschlusskühlung erfolgt, mit externen Kühlern ausgestattet. Dadurch wird zur Gewährleistung konstanter Abkühlbedingungen die Gasumwälztemperatur in den beiden letzten Kühlzonen auf einen jeweils konstanten Wert gehalten.

Bei einer Banderwärmungsanlage für Messingbänder können mit einer Gasumwälztemperatur in der ersten Kühlzone von 400 °C die Bänder bei maximalem Durchsatz noch ausreichend abgekühlt werden. Bei ausscheidungshärtenden Cu-Speziallegierungen lassen sich bei einer Gasumwälztemperatur von 350 °C und entsprechend hohen konvektiven Wärmeübergangskoeffizienten von 200 bis 250 W/m<sup>2</sup>K noch die notwendigen Abkühlgeschwindigkeiten erreichen. Das Temperaturniveau ist dann noch hoch genug, um eine wirksame Vorwärmung des Bandes auf ca. 350 °C zu bewirken. Ein weiterer Vorteil ist, dass für Strömungsführungen, Ventilatoren, usw. im Kühl- und im Vorwärmteil kostengünstiger Normalstahl verwendet werden kann.



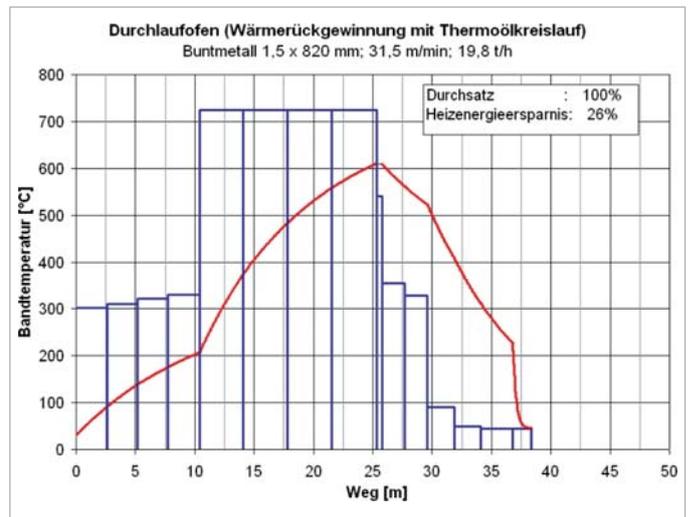
**Bild 2:** Schema der Abkühlwärmernutzung in einer Durchlauf-Wärmebehandlungsanlage für Metallbänder mittels Wärmeträgerfluid-Kreislauf zwischen Kühlteil und Vorwärmteil

**Fig. 2:** Schematic of the recovery of heat extraction due to cooling in a continuous thermal processing plant by means of a heat carrier fluid circuit between cooling part and preheating part



**Bild 4:** Glühkurve einer Durchlauf-Wärmebehandlungsanlage mit Abkühlwärmennutzung mittels Bypass-Kreislauf des Beblasungsgases

**Fig. 4:** Annealing curve of a continuous thermal processing plant with recovery of heat extraction due to cooling by means of a bypass circuit of the impinging gas



**Bild 5:** Glühkurve einer Durchlauf-Wärmebehandlungsanlage mit Abkühlwärmennutzung mittels Wärmeträgerfluid-Kreislauf

**Fig. 5:** Annealing curve of a continuous thermal processing plant with recovery of heat extraction due to cooling by means of a heat carrier fluid circuit

Eine weitere Möglichkeit für den Wärmerückgewinn zwischen Kühlteil und Vorwärmteil besteht in einem Wärmeträgerkreislauf, z. B. Thermoöl, **Bild 2**. In den ersten beiden Kühlzonen sowie in allen Vorwärmzonen sind Gas-Thermoöl-Wärmetauscher eingebaut. Die Temperaturen in den Kühlzonen sowie in den Vorwärmzonen werden gemessen und entsprechend die Durchflussmengen des Wärmeträgers durch die einzelnen Kühler so geregelt, dass die Zonentemperatur auf dem jeweils gewünschten Wert verbleiben. Zusätzlich kann in den Thermoöl-Kreislauf noch ein Wärmespeicher integriert werden, der das Anfahren sowie Änderung der Betriebsbedingungen der Anlage, z. B. bei einem Wechsel des Bandquerschnitts, ausgleichen kann.

Als Beispiel wird eine Durchlauf-Wärmebehandlungsanlage für Buntmetallbänder gewählt. **Bild 3** zeigt die Temperaturkurve über der Anlagenlänge für 100 % des Maximaldurchsatzes ohne Abkühlwärmennutzung. Die zweite Hälfte des Vorwärmteils ist in diesem Betriebszustand fremd beheizt. Die Glühguttemperatur beträgt 610 °C ± 5 K bei einem Durchsatz von 140.000 t/a bei 7000 h/a Produktionszeit.

Verglichen wurden für 100 % Durchsatz und 90 % Durchsatz die Energieverbräuche ohne Abkühlwärmennutzung und mit Abkühlwärmennutzung durch Beblasungsgasaustausch zwischen Kühlteil und Vorwärmteil, wie in **Bild 4** dargestellt, und Thermoöl-Kreislauf gemäß **Bild 5**. Für die betriebswirtschaftliche

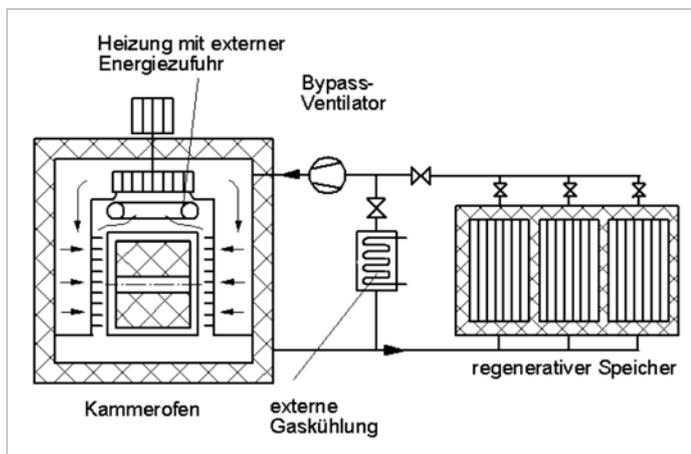
Abschätzung wurden für den Beblasungsgasaustausch Investitionskosten von 500 000 € und für den Thermoöl-Kreislauf von 750 000 € angenommen.

Die Kosten für CO<sub>2</sub>-Verschmutzungsrechte sind unberücksichtigt. Die Ergebnisse sind in **Tabelle 1** zusammengestellt.

**Tabelle 1:** Betriebsdaten Durchlauf-Wärmebehandlungsanlage

**Table 1:** Operating data for a continuous heat-treatment system

		100 % Durchsatz			90 % Durchsatz		
<b>Abkühlwärmennutzung</b>		ohne	Schutzgas Bypass	Thermoöl-kreislauf	ohne	Schutzgas Bypass	Thermoöl-kreislauf
<b>Glühleistung</b>	t/h	<b>19,8</b>	<b>19,8</b>	<b>19,8</b>	<b>17,7</b>	<b>17,7</b>	<b>17,7</b>
Glühtemperatur	°C	610	610	610	610	610	610
<b>Verbräuche je Tonne</b>							
Heizgasverbrauch	MJ/t	293	218	217	304	218	220
Stromverbrauch gesamt	kWh/t	18	18	15	15	15	11
<b>Energienutzung</b>							
Energierückführung	%		25,6	25,7		28,3	27,7
CO <sub>2</sub> -Produktion	kg <sub>CO<sub>2</sub></sub> /t	16,7	12,5	12,4	17,4	12,5	12,6
CO <sub>2</sub> -Ersparnis (Beheizung)	t/a		595	598		608	595
<b>Betriebsdaten jährlich (7000h)</b>							
Tonnage	t/a	138850	138850	138850	123815	123817	123817
Kosten Energie (Erdgas + Strom)	€/t	4,70	3,87	3,60	4,55	3,60	3,34
Kosten CO <sub>2</sub> -Emission	€/t	0,17	0,12	0,12	0,17	0,12	0,13
<b>Energiekostensparnis</b>			<b>120 318</b>	<b>159 031</b>		<b>124 092</b>	<b>155 845</b>
Energiekostensparnis	%		17,8	23,5		21,2	26,6
<b>Amortisation</b>			5,5	5,7		6	6,7



**Bild 6:** Schema eines Kammerofens mit regenerativer Speicherung der Abkühlwärme des Gutes

**Fig. 6:** Schematic of a chamber furnace with regenerative storage of the heat extraction due to cooling of the material

akzeptabel, weil zwar prozentual weniger Energie eingespart wird, aber insgesamt wegen der höheren Produktionsleistung der Energieeinsatz höher ist.

### Einsatzofenanlage

Bei einem Einsatzofen mit integrierter Kühlung, z. B. einem Kammerofen, in dem Aluminiumcoils erwärmt und auch wieder abgekühlt werden, lässt sich die Abkühlwärme nur nutzen, wenn sie bis zur Vorwärmung der nächsten Gutcharge gespeichert wird. Dies geschieht zweckmäßiger Weise mit einem regenerativen Wärmespeicher, z. B. einem durchströmbaren Stahlplattenstapel. Dieser regenerative Speicher kann in mehrere Kammern aufgeteilt werden, so dass die Abkühlwärme bei unterschiedlichen Temperaturniveaus gespeichert wird. Ein Schema einer solchen Anlage zeigt **Bild 6**. Bei der Vorwärmung der nächsten Gutcharge erfolgt zunächst die Wärmeübertragung aus dem Speicher mit der niedrigsten Temperatur, dann mit der nächst höheren, usw. Auf diese Wei-

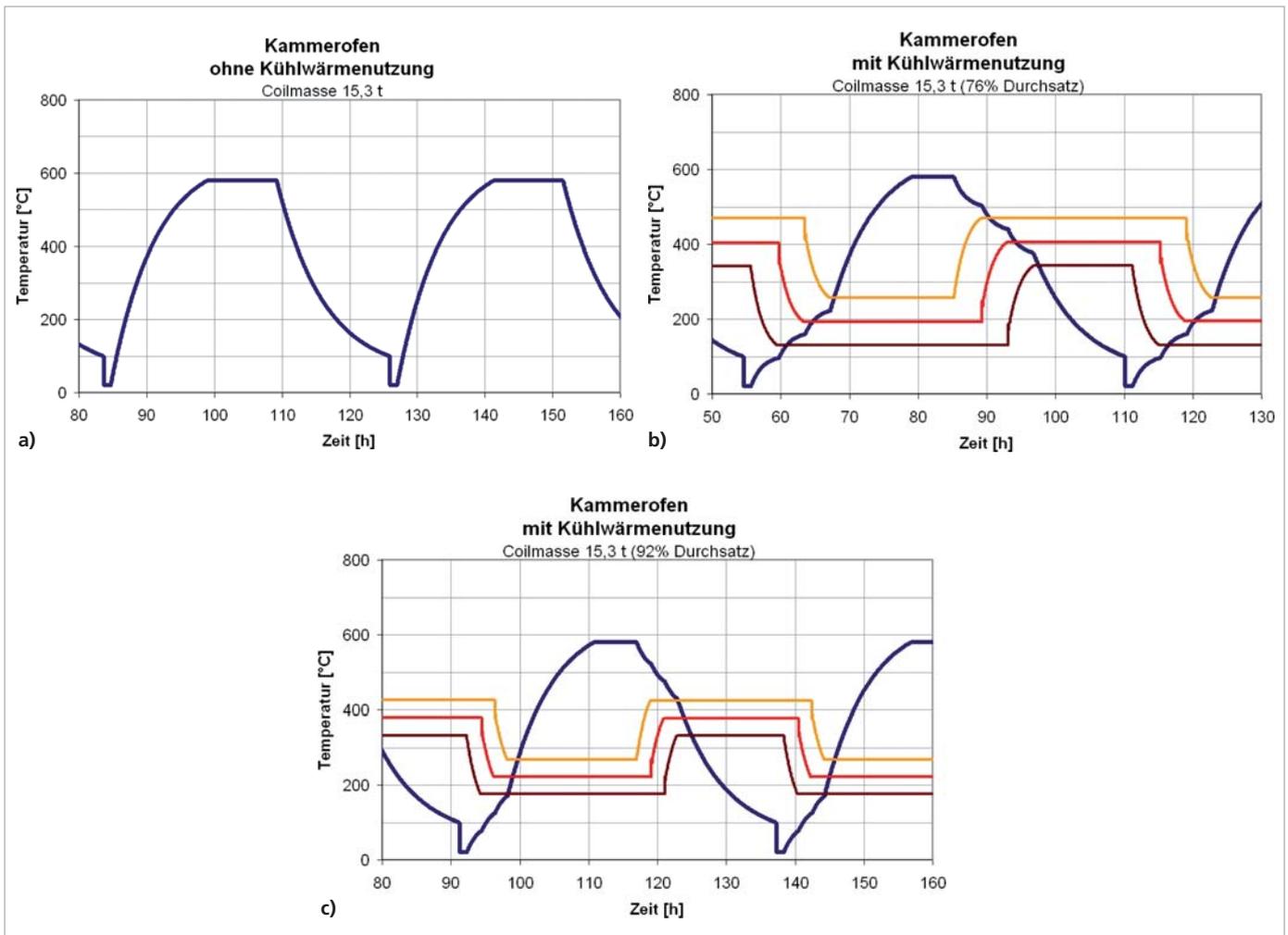
Durch die Abkühlwärmenutzung steigt die Bandaustrittstemperatur hinter dem Gaskühlteil geringfügig um ca. 30 K an, was jedoch unbedenklich ist, da bei derartigen Anlagen, die unter Schutzgas betrieben werden, hinter dem Gaskühlteil eine Wassertasse angeordnet ist, die bei entsprechender Auslegung und Gestaltung diese zusätzliche Kühlanforderung problemlos erfüllen kann.

Die prozentuale Energieeinsparung ist bei reduziertem Durchsatz höher als bei 100 % Durchsatz. Die absolute Energiekostensparnis ist bei 100 % höher als bei reduziertem Durchsatz, Gleiches gilt hier für die Amortisationszeit. Generell gilt, dass eine höhere anteilige Energieeinsparung durch Abkühlwärmenutzung im Prozess Glühkapazität kostet. Insgesamt erscheinen die Amortisationszeiten

**Tabelle 2:** Kammerofen mit regenerativer Kühlwärmenutzung

**Table 2:** Chamber furnace with regenerative cooling-heat utilization

		100 % Durchsatz		92 % Durchsatz		76 % Durchsatz	
		ohne	mit	mit	mit	mit	mit
<b>Abkühlwärmenutzung</b>							
<b>Glühleistung</b>	t/h	<b>0,36</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,28</b>	<b>0,28</b>
Stapelmasse	t	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3
Glühtemperatur	°C	580	580	580	580	580	580
<b>Verbräuche je Tonne</b>							
Heizgasverbrauch	MJ/t	814	652	652	652	615	615
Stromverbrauch gesamt	kWh/t	29	30	30	30	30	30
<b>Energienutzung</b>							
Energierückführung	%		23,4	23,4	23,4	29,4	29,4
CO <sub>2</sub> -Produktion	kg <sub>CO2</sub> /t	46,6	37,3	37,3	37,3	35,2	35,2
CO <sub>2</sub> -Ersparnis	t/a		31	31	31	50	50
<b>Betriebsdaten jährlich (7000h)</b>							
Tonnage	t/a	2 532	2 332	2 332	2 332	1 933	1 933
<b>Energiepreissteigerung</b>				<b>x 1,5</b>	<b>x 3</b>	<b>x 1,5</b>	<b>x 3</b>
Kosten Energie (Erdgas + Strom)	€/t	11,37	9,65	14,48	28,96	9,27	13,90
Kosten CO <sub>2</sub> -Emission	€/t	0,47	0,37	0,56	1,12	0,35	0,53
<b>Energiekostensparnis</b>							
	€/a		<b>4 218</b>	<b>6 327</b>	<b>12 654</b>	<b>4 277</b>	<b>6 415</b>
	%		14,3	21,4	42,8	14,1	21,1
<b>Amortisation</b>							
	a				6,8		8,5



**Bild 7:** Glühkurven eines Kammerofens bei 100 % Durchsatz ohne Abkühlwärmenutzung und bei 92 % bzw. 76 % Durchsatz mit Abkühlwärmenutzung mittels Regenerativspeicher

**Fig. 7:** Annealing curves of a chamber furnace with 100 % throughput without utilisation of heat extraction due to cooling and with 92 % and 76 % throughput, respectively, with the utilisation of heat extraction due to cooling by means of a regenerative storage

se erfolgt, ähnlich wie beim Wärmeaustausch im Gegenstrom, die anfängliche Vorwärmung mit der Speicherwärme bei niedrigster Temperatur, anschließend bei höherer Temperatur, usw.

Der letzte Abschnitt der Gutabkühlung bis auf eine Temperatur, bei der das Glühgut wieder der Atmosphäre ausgesetzt werden kann, erfolgt in bekannter Weise mittels extern – meist mit Wasser – gekühltem Gaskühler, der ohnehin erforderlich ist, wenn die Anlage, was in der Regel der Fall ist, mit Schutzgas betrieben wird.

Als Beispiel wird ein indirekt gasbeheizter Kammerofen, ein so genannter Ein-Coil-Ofen, für ein Aluminium-Bandbund mit den Abmessungen  $B = 1,34 \text{ m}$ ; Außendurchmesser =  $2,4 \text{ m}$  und Innendurchmesser =  $0,6 \text{ m}$  und einer Masse von  $20 \text{ t}$  betrachtet. Die Glühung erfolgt unter Schutzgas auf eine Temperatur von  $580^\circ\text{C} \pm 10 \text{ K}$ . Nach Abkühlung auf

$100^\circ\text{C}$  kann das Band dem Ofen entnommen werden. Die Abkühlwärmenutzung durch regenerative Speicherung entspricht dem Schema in Bild 6. **Bild 7** zeigt Glühkurven für 100 % Durchsatz ohne Abkühlwärmenutzung und Glühkurven mit Abkühlwärmenutzung mit 92 % Durchsatz und mit 76 % reduziertem Durchsatz mit entsprechend verlängerten Zykluszeiten. Angenommen wurde ein dreiteiliger Regenerativspeicher, bestehend aus 5 mm dicken Stahlplatten, mit einer Gesamtmasse von  $20 \text{ t}$ . Die Kosten für Speicher, Schutzgaskanäle Klappen und steuerungstechnischen Aufwand wurden auf  $100.000 \text{ €}$  geschätzt. Die Betriebsdaten für die verschiedenen Betriebsweisen sind in **Tabelle 2** zusammengestellt.

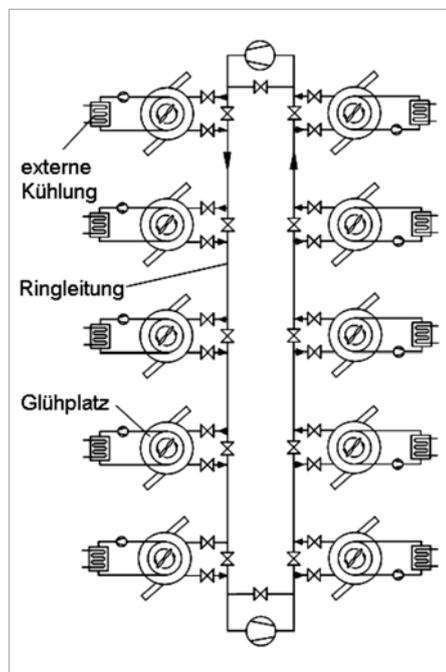
Bei den heutigen Gasenergiekosten von  $0,04 \text{ €/kWh}$  und  $\text{CO}_2$ -Verschmutzungskosten von  $10 \text{ €/t}$  ergeben sich unwirtschaftlich lange Amortisationszeiten.

Spätestens bei einer Gasenergiekostensteigerung um den Faktor 3 ist jedoch die Verwendung eines Regenerativspeichers durchaus rentabel, ganz abgesehen von der deutlichen Reduzierung der  $\text{CO}_2$ -Emission.

## Haubenofenanlage

Eine günstigere Nutzung der Gutabkühlwärme bietet sich, wenn die Wärmebehandlungsanlage aus mehreren Teilen besteht, sodass z. B. in einem Teil das Gut abgekühlt wird, während in einem anderen Teil die Vorwärmung stattfindet. Ein Beispiel hierfür ist die in **Bild 8** schematisch dargestellte Haubenofenanlage. Die als Beispiel gewählte Anlage besteht aus 10 Glühplätzen für Stahlbandbunde, die durch eine Ringleitung miteinander verbunden sind. Durch diese Ringleitung wird von zwei einander gegenüberliegenden Ventilatoren als Wärmeträger Luft mit Rauchgasanteilen aus den Heiz-

hauben gefördert. Dazu ist jede Heizhaube mittels Rauchgasklappen an die Ringleitung angeschlossen. Ist in einer Heizhaube die Haltephase bei Glühendtemperatur beendet, so wird der Luftstrom in der Ringleitung durch diese Heizhaube geleitet und dadurch er-

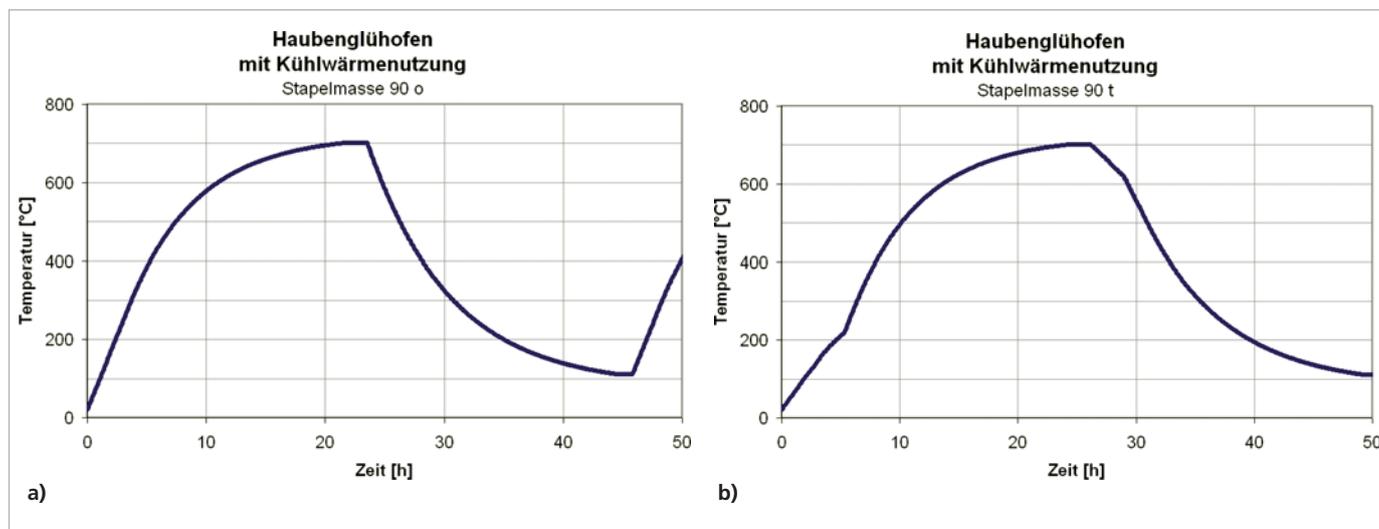


**Bild 8:** Schema einer Haubenofenanlage mit Rückgewinnung der Gut-Abkühlwärme durch Rauchgasaustausch zwischen den Heizhauben  
**Fig. 8:** Schematic of a bell furnace battery with heat recovery of the material heat extraction due to cooling by means of smoke gas exchange between the bells

**Tabelle 3:** Betriebsdaten Haubenofenanlage

**Table 3:** Operating data for a bell furnace installation

		100 % Durchsatz	90 % Durchsatz	80 % Durchsatz
<b>Abkühlwärmenutzung</b>		ohne	mit Kühlwärmenutzung	
Anzahl Sockel		10	11	11
Sockelleistung	t/h	2,02	1,83	1,66
<b>Stapelmasse</b>		<b>90,4</b>	<b>90,4</b>	<b>90,4</b>
<b>Glühtemperatur</b>		<b>700</b>	<b>700</b>	<b>700</b>
<b>Betriebsdaten je Tonne</b>				
Heizgasverbrauch	MJ/t	466	354	295
Stromverbrauch gesamt	kWh/t	11	13	14
<b>Energienutzung</b>				
Energierückführung	%		26,0	39,3
CO <sub>2</sub> -Produktion	kg/CO <sub>2</sub> /t	26,6	20,2	16,9
<b>CO<sub>2</sub>-Ersparnis</b>	<b>t/a</b>		<b>919</b>	<b>1610</b>
<b>Betriebsdaten jährlich (7000h)</b>				
Tonnage t/a	t/a	141 501	140 778	127 938
Kosten Energie (Erdgas + Strom)	€/t	6,06	4,99	4,36
<b>Kosten CO<sub>2</sub>-Emission</b>	<b>€/t</b>	<b>0,27</b>	<b>0,20</b>	<b>0,17</b>
<b>Energiekostensparnis</b>	<b>€/a</b>		<b>158 770</b>	<b>229 971</b>
	%		17,7	25,7
<b>Amortisation</b>				
	a		7,4	4,6



**Bild 9:** Glühkurven einer Haubenofenanlage bei 100 % Durchsatz ohne Abkühlwärmenutzung (a) und mit Abkühlwärmenutzung (b) mittels Rauchgasaustausch

**Fig. 9:** Annealing curves of a bell furnace battery with 100 % throughput without (a) and with (b) recovery of heat extraction due to cooling by means of smoke gas exchange

wärmt, während die Schutzhaube und das darunter befindliche Glühgut abgekühlt wird. Der aufgeheizte Luftstrom in der Ringleitung wird dann nacheinander durch andere Heizhauben geleitet, in denen die Wärme zur Gutvorwärmung wieder abgegeben wird. Am günstigsten ist ein zyklischer Ablauf, bei dem die Glühplätze reihum beladen, aufgeheizt, abgekühlt und entladen werden. Die Endkühlung, bei der die Wärmerückgewinnung nicht mehr lohnend ist, erfolgt, ähnlich wie beim Kammerofen, durch externe Kühlung.

Zur Abschätzung der Effektivität der Abkühlwärmenutzung wird eine 10-Sockel-Haubenofenanlage mit einer Stapelmasse je Sockel von 90,4 t und einem Maximaldurchsatz von 140.000 t/a bei 7.000 Betriebsstunden/a betrachtet. Mit der 10-Sockel-Anlage lassen sich bei Abkühlwärmenutzung max. 90 % des Durchsatzes ohne Abkühlwärmenutzung erreichen. Für 100 % Durchsatz ist ein zusätzlicher Sockel erforderlich.

Die Glühkurven für Betrieb ohne und mit Abkühlwärmenutzung sind in **Bild 9 a** und **b** dargestellt. Die Betriebsdaten, Verbräuche und Einsparungen sind für 100 % Durchsatz sowie auf 90 % und 80 % reduzierten Durchsatz in **Tabelle 3** zusammengestellt.

In Zeiten, in denen Haubenofenanlage nicht vollständig ausgelastet ist, lassen sich bei reduziertem Durchsatz deutlich höhere Energiekostensparnisse und kürzer Amortisationszeiten erzielen.

Die Energieeinsparung durch Abkühlwärmenutzung erscheint bei einer Haubenofenanlage für Stahlbandbunde bereits bei heutigen Gasenergiekosten sinnvoll, insbesondere in Anbetracht der erheblichen Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen.

## Zusammenfassung

Die Nutzung der Abkühlwärme des Glühgutes im Wärmebehandlungsprozess durch Glühgutvorwärmung bietet ein beachtliches Einsparpotential und dürfte für einige Anwendungsfälle schon beim heutigen – noch niedrigen – Gasenergiepreis sowie den niedrigen CO<sub>2</sub>-Verschmutzungskosten möglich sein. In Anbetracht der zu erwartenden Gaskostensteigerungen ist auch eine regenerative Energiespeicherung in Betracht zu ziehen. Die Abkühlwärmenutzung im Prozess führt zu einer Durchsatzreduzierung, da sich, je nach Rückführungsgrad, die Aufheiz- bzw. Abkühlzeiten verlängern. Die Durchsatzreduzierung lässt sich bei Durchlaufanlagen durch eine Verlängerung der Anlage oder höhere Gutaustrittstemperaturen kompensieren. Bei Batchanlagen wie Haubenofen- und Einsatzofenanlagen müssen entsprechend zusätzliche Anlagen gebaut werden, um den gleichen Durchsatz zu erzielen. Die hier vorgestellte Studie zeigt aber, dass sich die zusätzlichen Investitionskosten je nach Anlagentyp schon heute lohnen. Zu beachten ist, dass die Maßnahmen bei allen Wärme-

behandlungsanlagen zu einer beachtlichen Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emission führen.

## Literatur

- [1] Klatecki, Peter: Investitionsbewertung bei der Modernisierung von Thermoprozessanlagen, Gaswärme international Heft 6/2008
- [2] Kramer, Carl, et al.: Verfahren zur Energieeinsparung bei Wärmegutbehandlungsanlagen mit durch Heizeil und Kühleil bewegtem Gut; Patentanmeldung Nr. 10 2008 005 259.0
- [3] Kramer, Carl, et al.: Verfahren zum Betrieb einer Wärmebehandlungsanlage und Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens, Patentanmeldung 10 2009 009 407.5 ■

**Dr.-Ing. Thomas Berrenberg**  
WSP GmbH-Anlagenbau für  
die Thermoprozesstechnik –  
-Thermoprocessing plants-

Tel. 02 41/87 97 03-75  
E-Mail:  
Berrenberg@wsp-aachen.de



**Prof. Dr.-Ing. Carl Kramer**  
WSP GmbH-Anlagenbau für  
die Thermoprozesstechnik –  
-Thermoprocessing plants-

Tel. 02 41/87 97 03-12  
E-Mail:  
info@wsp-aachen.de

