

# **GASWÄRME**

## **International**

**Gasanwendung in Industrie und Gewerbe**

**Schwerpunkt**  
**Erdgas in der industriellen Fertigung**

## **Energieoptimierung einer Sekundär- schmelzhütte**

***Energy optimization for a secondary melting shop***

Dipl.-Kfm. Hans Gansen, Dipl.-Ing. Mustafa Güngör, BAGR GmbH, Berlin  
Dipl.-Ing. Hans Dieter Jasper, Jasper GmbH, Borstel-Hohenraden

erschienen in

**GASWÄRME International 8/2003**

Vulkan-Verlag GmbH, Essen

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

# Energieoptimierung einer Sekundär-schmelzhütte

## Energy optimization for a secondary melting shop

*Insbesondere die Sekundäraluminiumhütten stehen im deutschen und europäischen Wettbewerb unter einem starken Kostendruck. Diesem begegnete die BAGR Aluminiumverarbeitung in Berlin GmbH durch eine Umstellung der vorhandenen Schmelzöfen und Konverter von Heizöl EL auf Erdgas und im zweiten Schritt mit der Umrüstung der Beheizung der Ofenanlagen von Kaltluftbrennern auf moderne Regeneratorbrenner durch die Firma Jasper GmbH. In einem Praxisbericht werden zunächst die verschiedenen Bauarten der bei BAGR eingesetzten regenerativeren Brennersysteme vorgestellt und nachfolgend der produktions-technische und energetische Erfolg dieser Maßnahmen beschrieben.*

*Secondary aluminium plants in particular are subject under German and European competition conditions to severe cost pressure. BAGR Aluminiumverarbeitung in Berlin GmbH has countered this pressure by re-equipping its existing melting furnaces and converters from Fuel Oil EL to natural gas and, in a second step, by converting the furnace systems' heating from cold-air burners to modern regenerator burners, the work being performed by Jasper GmbH. The various types of regenerative burner systems used at BAGR are firstly examined in this report on practice, and the production-related and energy success of these modifications are then described.*

### Einleitung

Die Firma BAGR Aluminiumverarbeitung in Berlin GmbH betreibt an einem traditionsreichen Standort im Norden Berlins eine Sekundäraluminiumhütte mit angeschlossenen Gießbetrieb. Das Unternehmen stellt vornehmlich aus Aluminiumschrott Walzbarren her, die in den Walzwerken zur Herstellung von Flachprodukten eingesetzt werden. Hierfür verfügt BAGR über zwei Schmelzöfen sowie vier Konverter. Bis Ende des Jahres wird ein dritter großer Schmelzofen errichtet und damit die Kapazität erheblich gesteigert. Aus wirtschaftlichen Erwägungen, aber auch unter Umweltaspekten hat BAGR in den letzten Jahren im Investitionsbereich vor allem Wert auf die Steigerung der Energieeffizienz der Anlagen gelegt.

Das hierfür aufgelegte Programm beinhaltet u. a. folgende Maßnahmen:

- Umrüstung der Gießöfen von Kaltluftbrennern auf Regeneratorbrenner.
- Umstellung der gesamten Brenneranlagen von Heizöl EL auf Erdgas.

Während als Partner für die in 2002 erfolgte Umstellung auf Erdgas der Versorger GASAG auftrat, war bei der Umrüstung auf Regeneratorbrenner die Firma Jasper GmbH, federführend.

### Technische Beschreibung der neuen Brennertechnologie

Die Erhöhung der Energieproduktivität, d. h. der Umsatz des eingesetzten Brennstoffes in Produktionsleistung, bedeutet im

Aluminium-Industrieofenbau seit Jahren eine ständige Abnahme des spezifischen Energieverbrauchs pro Produktionseinheit. Damit verbunden sind geringere Schmelzkosten und eine Verbesserung unserer Umwelt. Mehrere Beispiele aus der Aluminiumindustrie belegen nachdrücklich das bisher Erreichte. Regeneratoren der Typen PULSREG®, PULSREG®-ZENTRAL, und ECOREG® werden dabei für bestimmte Ofentypen und für unterschiedliche verfahrenstechnische Eigenschaften gebaut. Durch den Einsatz von Regeneratoren vermindern sich der Energieverbrauch und dadurch die CO<sub>2</sub>-Emission erheblich (**Tabelle 1**). Die Abgase sind in Filteranlagen ohne Falschluff und/oder Kühler zu reinigen, da die Abgastemperaturen am Regeneratorausstritt Werte zwischen 160°C bis 220°C erreichen.

**Tabelle 1:** Spezifischer Energieverbrauch verschiedener Ofentypen im Vergleich Kaltluftbrenner – Regeneratorbrenner (Messwerte von Kunden)

**Table 1:** Specific energy consumption for various furnace types, comparing cold-air and regenerator burners (client's measured data)

Ofentyp	Energieverbrauch pro 1000 kg Kaltluftbrenner	Energieverbrauch pro 1000 kg mit Regenerator
Aluminium-Schachtschmelzofen	1310 kW	540 kW
Aluminium-Herd-schmelzofen	1410 kW	670 kW
Aluminium-Wannenschmelzofen	1080 kW	530 kW
Aluminium-Konverter/Sammler	1130 kW	670 kW
Aluminiumkammer-schmelzofen	1390 kW	580 kW

Feuerungen dieser Bauart sind im spezifischen Energieverbrauch direkt vergleichbar mit Sauerstoffbrenner-Anlagen, wobei Regeneratorbrenner-Anlagen im mehrjährigen Vergleich kostengünstiger und umweltneutraler sind, da der Energieaufwand durch die Luftzerlegung entfällt. Mit Regeneratoren entsteht ein Kreisprozess, der den Ballast der Verbrennungsluft (= 79 %

**Dipl.-Kfm. Hans Gansen**  
BAGR GmbH, Berlin



Tel. 03 0/2 26 24-110

E-Mail: hgansen@bagr.de

**Dipl.-Ing. Mustafa Güngör**  
BAGR GmbH, Berlin



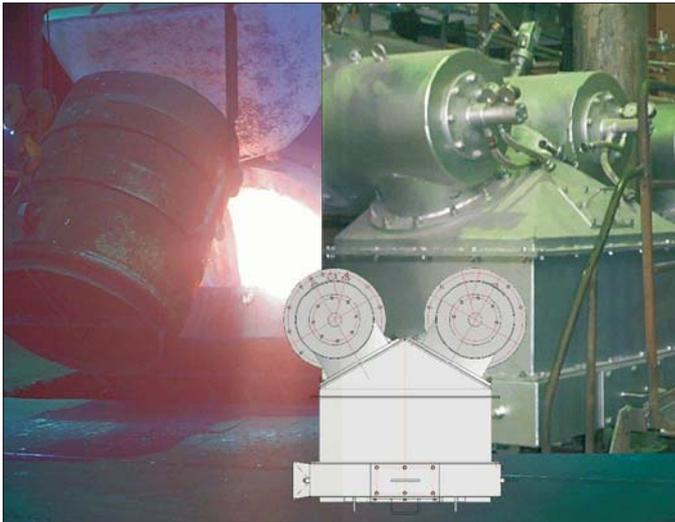
Tel. 0 30/2 26 24-120

E-Mail: mguengoer@bagr.de

**Dipl.-Ing. Hans Dieter Jasper**  
Jasper GmbH, Borstel-Hohenraden

Tel. 0 4101/8010

E-Mail: hd.jasper@jasper-gmbh.de



**Bild 1:** PulsReg® Regeneratoren, Bauart Jasper mit zwei Brennerköpfen  
**Fig. 1:** PULSREG® regenerators, Jasper type, with two burner heads



**Bild 2:** PulsReg® Regeneratoren am Aluminium Konverter  
**Fig. 2:** PULSREG® regenerators on an aluminium converter

Stickstoff) als Transportmittel für die zurückgewonnene Wärme benutzt. Bei BAGR Aluminiumverarbeitung in Berlin werden zwei unterschiedliche Regenerator-Bauarten benutzt.

**Die PULSREG® Regeneratoren**

Dieser Typ ist die klassische Regeneratorbrenner-Bauart, bestehend aus 2 Regeneratoren mit zugeordnet aufgebauten Brennerköpfen, wobei im Aufheizbetrieb des einen Regenerators über den/die Brenner das Verbrennungsprodukt (Abgas) des anderen Brenners abgesaugt wird.

**Der Brennerbetrieb wechselt taktweise unter Nennlast = PULSREG®**

Die Besonderheit bei BAGR war, dass die Einbausituation an den Öfen nur kurzflamige Brenner zuließ. Um trotzdem die geforderte Brennerleistung einbringen zu können, wurde jeder der Regeneratoren mit zwei Brennerköpfen ausgerüstet (**Bild 1**). Beide Brennerköpfe eines Regenerators brennen gleichzeitig. Es ergeben sich kurze Flammen, strahlend auf eine große

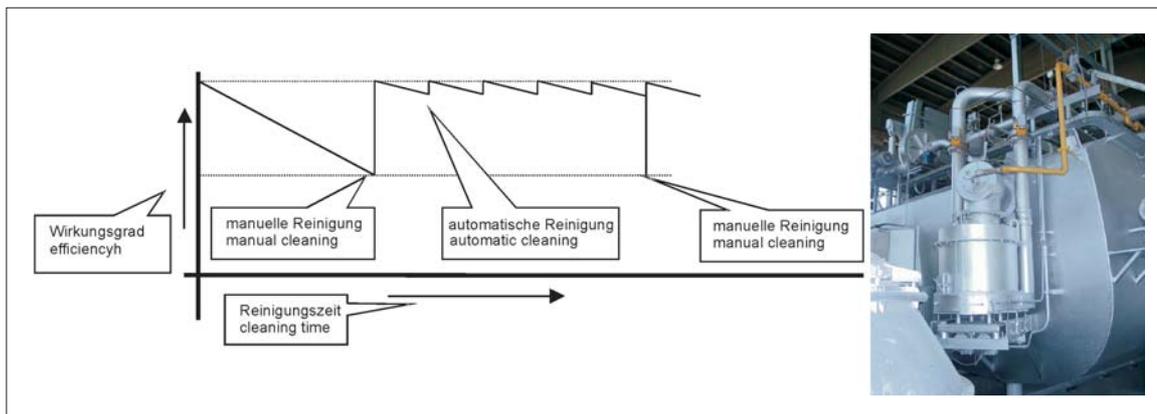
Badfläche im Ofen. Das Gas/Luft-Verhältnis jedes Brennerkopfes ist gewährleistet. Die Brenner wurden erst mit Heizöl EL als Brennstoff versorgt und dann für den Erdgasbetrieb umgerüstet. Anwendungsgebiete sind: Einbau in Wannenschmelzöfen, Herdöfen, Gießöfen, Konverter (**Bild 2**), wobei die Platzverhältnisse auf dem Ofen den Aufbau der zwei Regeneratoren zulassen müssen. Benötigt wird zusätzlich ein separater Abgasstutzen für bis zu 20 % des heißen Ofenabgases, um die Regeneratoren im thermischen Gleichgewicht halten zu können. Benutzt wird dieser Abgasstutzen auch für den Betrieb eines Regenerators mit Kaltluft (Notbetrieb), um an dem anderen Regenerator/Brenner Wartungs- und Reinigungsarbeiten durchführen zu können. Die Verfügbarkeit des Ofens steigt damit auf > 98 %. Brenner und Flammenform müssen speziell an die Ofengeometrie angepasst werden, wobei Brennerleistungen von bis zu 3600 kW pro Paar einfach und sicher beherrschbar sind.

Bei Ofentemperaturen von 900 °C bis 1050 °C sind ca. 25 % bis 45 % Energieeinsparung die Regel. Einen erheblichen

Einfluss hat der Einbau eines Regenerator-Brenners auf die Schmelztechnologie. Speziell in der Sekundär-Aluminiumindustrie werden mit Regenerator-Brennern ausgerüstete Öfen zu kostengünstigen Schmelzaggregaten für stückige, kompakte Schrotte. Bei geschickter Produktionsplanung lassen sich, falls entsprechende Schrotte zur Verfügung stehen, erhebliche Leistungen erzielen.

Um Metallverluste (Abbrand) zu minimieren, ist eine volumenstromgeführte Brennstoff/Luft-Verhältnisregelung absolut notwendig.

Um den Wirkungsgrad zu optimieren können selbstreinigende Regeneratoren benutzt werden, die unter Produktionsbedingungen den Wärmetauscher selbsttätig reinigen (**Bild 3**). Durch die Verschmutzung der Wärmetauscherfüllung wird durch den im Regenerator abgelagerten Staub die installierte Wärmetauscheroberfläche kontinuierlich kleiner, wobei der Wirkungsgrad des Regenerators sich von > 80 auf < 50 % vermindert. Die Ofenleistung vermindert sich und der Energieverbrauch steigt.



**Bild 3:** Reinigungszyklus an PulsReg® Regeneratoren  
**Fig. 3:** PULSREG® regenerator cleaning cycle

### Der ECOREG® Drehbett-Regenerator

Diese innovative Bauart ist ein Drehbett-Regenerator großer Leistung mit einer beliebigen Anzahl von Brennern. Die Brenner sind nicht dem Regenerator zugeordnet und werden nicht von Abgas durchströmt. Die Einteilung von unabhängigen kontinuierlich geregelten Heizzonen ist möglich. Das Abgas kann an beliebigen Stellen des Ofens entnommen werden und wird über eine separate Leitung dem Drehbett-Regenerator zugeführt. Der gesamte Abgasstrom aus dem Ofen wird über den Regenerator geführt.

### Viele Brenner mit Regenerator, Betrieb mit zentraler Abgasentsorgung = EcoReg®

Anwendungsgebiete sind: Leistungsstarke Schmelzanlagen, z.B. zum salzlosen Schmelzen in Mehrkammeröfen, Wannen- oder Herdschmelzöfen hoher Leistung. Es wurde eine völlig neue Regenerator-Technologie zur Verfügung gestellt. Der Regenerator steht neben dem Ofen, saugt das Abgas vollständig ab und versorgt eine beliebige Anzahl und/oder Bauart von Brennern kontinuierlich mit heißer Verbrennungsluft. Die Regelung der Brenner ist gleitend möglich. Eine zentrale Wärmerückgewinnung auch von mehreren Ofenanlagen ist möglich. Das Abgas kann direkt einer Filteranlage ohne Kühler oder Falschluff zugeführt werden.

### Funktionsweise des ECOREG®

Prinzipiell werden beide Regeneratoren eines klassischen Regeneratorbrenners physikalisch in einem drehenden Regenerator zusammengefasst. Das Regenerator-Unterteil und das Regenerator-Oberteil sind feststehend. Unterteil und Oberteil haben jeweils zwei Kammern, durch die das kalte/heißes Abgas bzw. die kalte/heißes Verbrennungsluft strömen. Das Regenerator-Mittelteil ist drehbar zwischen Unterteil und Oberteil gelagert und in Segmente aufgeteilt. Die Wärmetauscherfüllung in den Segmenten wird durch die Drehbewegung des Mittelteils mit heißem Rauchgas durchströmt. Sie entnimmt die Wärmeenergie dem Abgas und speichert sie in der Wärmetauscherfüllung. Bei der weiteren Drehbewegung des Mittelteils kommen die heißen Segmente in den Bereich der kalten Verbrennungsluft. Die Wärmetauscherfüllung gibt ihre gespeicherte Energie dann an die kalte Verbrennungsluft ab, sie erkalte und dreht weiter in das heiße Rauchgas, wo sie erneut erhitzt wird. Gebaut wurden Anlagen mit knapp 1600 °C Rauchgas-Eintrittstemperatur. Die Verbrennungslufttemperatur betrug dann knapp 1400 °C. Die den ECOREG® Drehbett-Regenerator verlassenden Abgase haben je nach Auslegung dann noch eine Temperatur von 150 bis 250 °C.

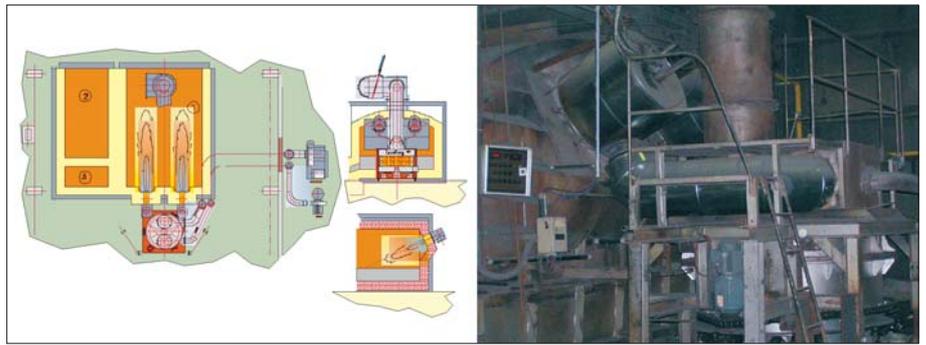


Bild 4: MultiMeter mit EcoReg® Regenerator

Fig. 4: MultiMeter featuring ECOREG® regenerator

Bei BAGR sind die Mehrkammerschmelzöfen (MULTIMELTER®) als salzlose Vorschmelzaggregate zur Herstellung von Walzbarren im Einsatz (Bild 4). Sie schmelzen Schrotte und Späne, die in anderen Öfen auf Grund ihrer großen spezifischen Oberflächen und/oder ihrer Verschmutzung nicht wirtschaftlich verwendet werden können oder dürfen. Die Öfen sind mit mindestens zwei Kammern ausgerüstet. In

der einen Kammer wird das flüssige Aluminiumbad aufgeheizt (Heizkammer). In der anderen Kammer werden durch das heiße Aluminiumbad die chargierten Schrotte indirekt geschmolzen (Schrottkammer). Der Schmelzprozess erfolgt durch den Kontakt mit einem heißen Aluminiumbad ohne direkte Beheizung durch Brenner. Dadurch reduziert sich der Metallverlust durch Abbrand erheblich. Diese Anlagen sind meis-

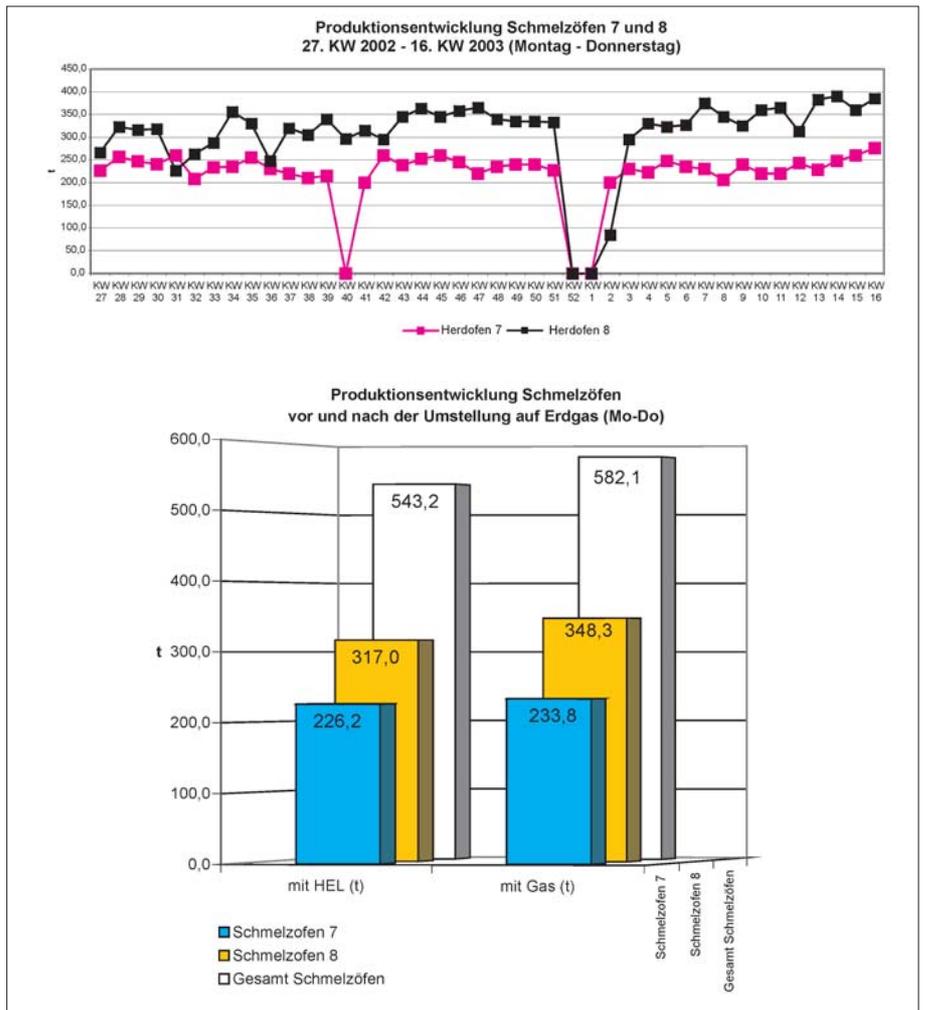


Bild 5: Produktionsentwicklung Schmelzöfen 7 und 8 vor und nach der Umstellung auf Erdgas

Fig. 5: Production trend for Melting Furnaces 7 and 8 prior to and after conversion to natural gas

tens Großöfen mit Badinhalten > 25 000 kg und Schmelzleistungen > 5 000 kg/h und werden fast ausschließlich für eine Legierungsgruppe verwendet, da für die Funktion des Ofens immer ein Sumpf von ca. 40 % Badinhalt im Ofen bleiben muss. Zur Steigerung der Schmelzleistung und optimalen Temperaturverteilung wird in einer dritten Kammer durch eine Pumpe das flüssige Bad in der Heizkammer angesaugt und durch die Schmelzkammer wieder zur Heizkammer zirkuliert.

Der Einsatz eines ECOREG® Drehbett-Regenerators ist zwingend erforderlich, da nur so 100 % des Abgases aus beiden Kammern abgesaugt werden können. Die in der Schrottkammer anfallenden Abgase können in der Heizkammer nachverbrannt werden. Das gesamte Abgas wird dann dem Regenerator zugeführt.

Ein Regenerator des Typs ECOREG® hat dabei eine Wärmetauscherfläche, die um den Faktor 150 größer sein kann als ein Rekuperator für eine gleiche Ofenleistung. Ein Rekuperator mit derartiger Wärmetauscherfläche wäre nicht zu bezahlen (und einzubauen). Als Brennstoff für die Brenner können alle gasförmigen, flüssigen oder staubförmigen Brennstoffe verwendet werden. Brennerleistung, Sauerstoffkonzentration und Ofendruck lassen sich kontinuierlich pulsationsfrei regeln. Der Regenerationsgrad beträgt durchschnittlich 85 % bezogen auf die Gaseintrittstempe-

ratur. Der feuerungstechnische Wirkungsgrad des ECOREG® beträgt konstant 86 bis 93 %, d. h. gegenüber einem Kaltluft-Brennersystem beträgt die Brennstoffersparnis bei einer Rauchgastemperatur von 1400 °C bis zu 62 %. Das System liefert bei gleicher Oberleistung einen bis zu 62 % geringeren CO<sub>2</sub>-Ausstoß. Das Problem der NO<sub>x</sub>-Bildung, das durch die hohe Lufttemperatur entsteht, wurde durch die konstruktive Ausbildung der Brennerköpfe und die Möglichkeit verfahrenstechnischer Zusätze in der Anlage gelöst. Als Halbstundenmittel lassen sich so NO<sub>x</sub>-Werte von 350 mg/Nm<sup>3</sup> (trocken) erreichen.

### Betriebswirtschaftliche Ergebnisse der neuen Brennertechnologie

Im Ergebnis der Umstellmaßnahmen traten sowohl kapazitive als auch Energieeinsparereffekte zu Tage, die nachstehend präsentiert werden. Die Grundlage bildet eine Auswertung der Produktions- und Verbrauchsberichte der Jahre 2002 bis April 2003, wobei aus Vereinfachungsgründen hier die Wochentage Montag bis Donnerstag herangezogen wurden. Zu diesem Zeitpunkt waren die Gießöfen 1–3 auf die neue Brennertechnologie umgestellt. Gießofen 4 wurde erst im zweiten Halbjahr 2003 auf Regeneratorbrenner umgerüstet; die Erfahrungen mit diesem Aggregat decken sich allerdings mit dem nachste-

hend Ausgeführten. Weiterhin sei erwähnt, dass zur Vereinfachung ein Verhältnis Heizöl zu Erdgas von 1 l = 1 m<sup>3</sup> unterstellt wurde. Die Extremwerte wurden für die Auswertung nicht berücksichtigt und sind in den Bildern 6, 7, 8 und 9 grün markiert. Für die Aussagekraft der Studie ist ferner die Ermittlung des ungewichteten Mittelwertes ausreichend.

### Ausgangssituation

Zu Beginn des Betrachtungszeitraumes ergab sich folgende Situation:

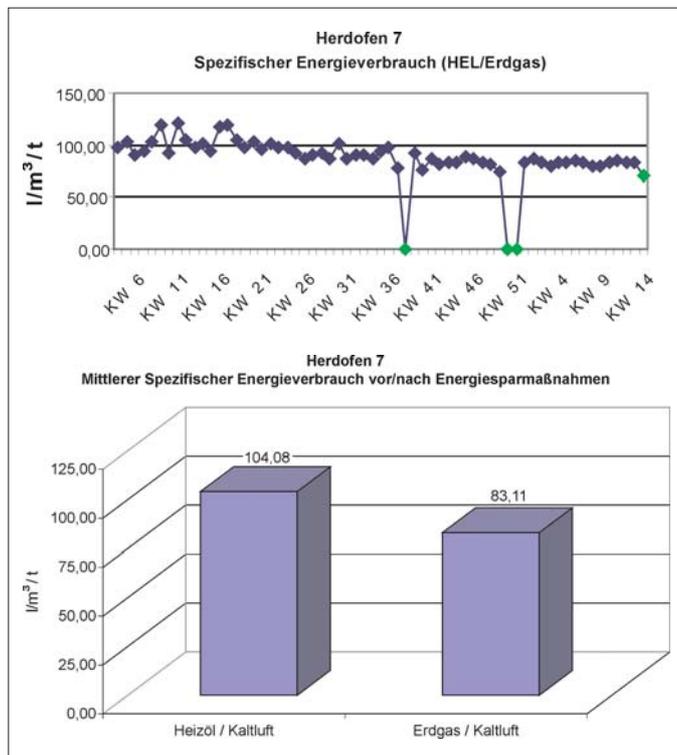
Die gesamte Anlage wurde mit Heizöl EL befeuert; Schmelzöfen 7 und die Gießöfen 1, 3 und 4 waren mit Kaltluftbrennern bestückt. Schmelzöfen 8 und der Gießofen 2 liefen bereits mit Regeneratorbrennern für Heizöl EL.

### Fall 1: Umstellung auf Erdgas, ohne Umrüstung der Brenner

Die Schmelzöfen 7 und 8 wurden nicht mit anderen Brennern ausgerüstet, sondern lediglich auf Erdgas umgestellt. Bei den Schmelzöfen ergab sich ein Kapazitätseffekt von insgesamt 6,7 %, bei teilweise erheblichen Energieeinsparungen (Bild 5).

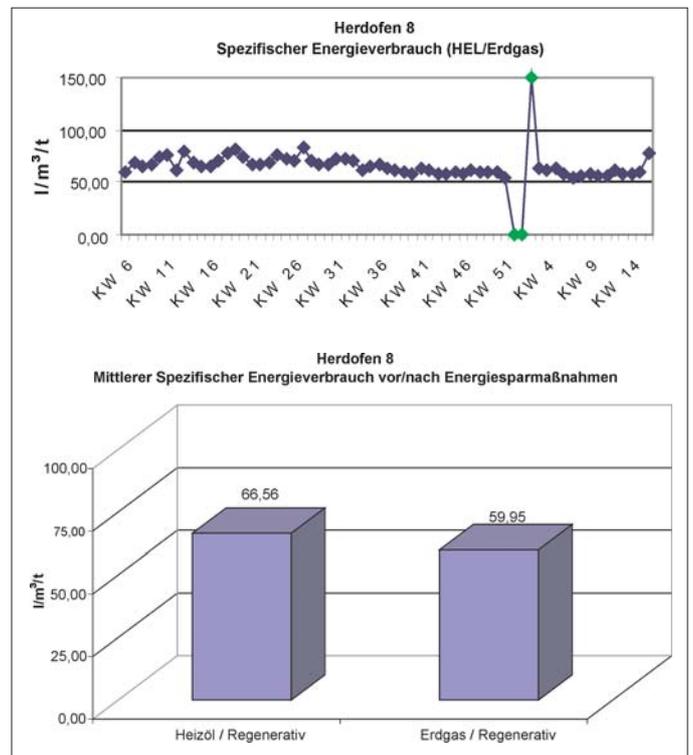
1a) Schmelzöfen 7: Umstellung von Kaltluftbrenner/Heizöl EL auf Kaltluftbrenner/Erdgas

Der Schmelzofen 7 wurde nicht mit Regeneratorbrennern ausgerüstet, weil dieser Ofen durch einen modernen MULTIMEL-



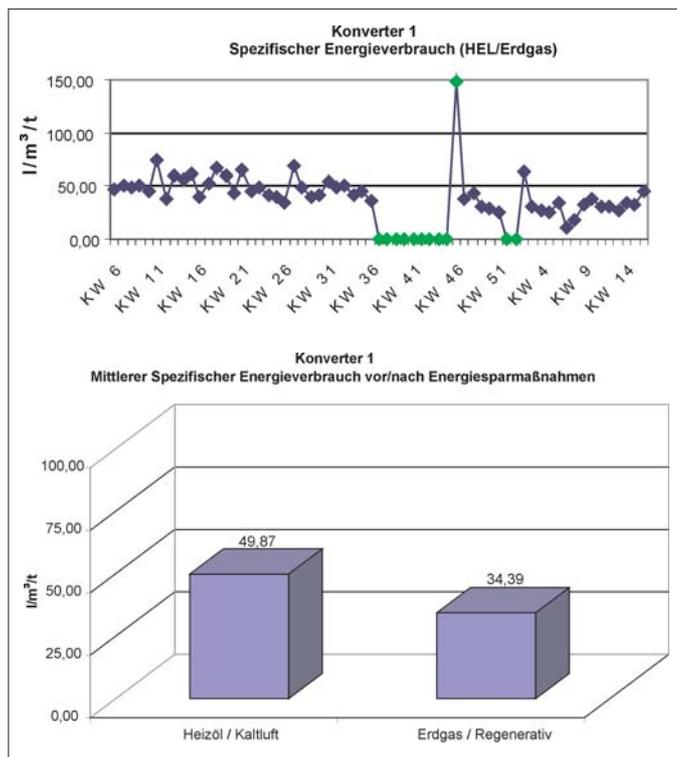
**Bild 6:** Spezifischer Energieverbrauch vor und nach Energieeinsparmaßnahmen am Herdofen 7 (Einsparung: 20,1 %)

**Fig. 6:** Specific energy consumption prior to and after energy-saving modifications on Hearth Furnace 7 (savings: 20.1 %)



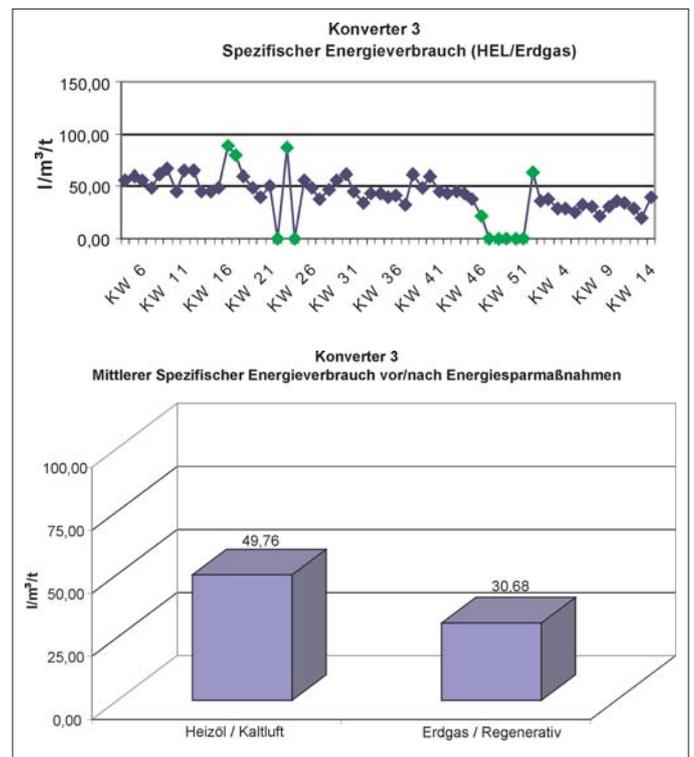
**Bild 7:** Spezifischer Energieverbrauch vor und nach Energiesparmaßnahmen am Herdofen 8 (Einsparung: 9,9 %)

**Fig. 7:** Specific energy consumption prior to and after energy-saving modifications on Hearth Furnace 8 (savings: 9.9 %)



**Bild 8:** Spezifischer Energieverbrauch vor und nach Energiesparmaßnahme am Gießofen 1 (Einsparung: 31,0%)

**Fig. 8:** Specific energy consumption prior to and after energy-saving modifications on Teeming Furnace 1 (savings: 31.0%)



**Bild 9:** Spezifischer Energieverbrauch vor und nach Energiesparmaßnahme am Gießofen 3 (Einsparung: 38,3%)

**Fig. 9:** Specific energy consumption prior to and after energy-saving modifications on Teeming Furnace 3 (savings: 38.3%)

TER® mit ECOREG® Drehbett-Regenerator ersetzt wird. Bei Schmelzofen 7 war besonders der Energieeinspareffekt mit einem Minderverbrauch von 20,1% signifikant, während die Kapazitätssteigerung mit 3,2% nachweisbar, aber eher gering ausfiel. Da dieser Ofen weniger wirtschaftlich arbeitete, war hier das größere Einsparpotential vorhanden.

1b) Schmelzofen 8 und Gießofen 2: Umstellung von Regeneratorbrennern/Heizöl EL auf Regeneratorbrenner/Erdgas

Herdofen 8, der bereits über Regeneratorbrenner verfügte, wies im Ergebnis der Auswertung mit einer Mehrproduktion von 9,0% einen deutlich höheren Kapazitätseffekt aus als Ofen 7 (Bild 6), was vor allem mit den bereits vorher installierten Regeneratorbrennern zusammenhängen dürfte (Bild 7 und Tabelle 1).

**Fall 2: Umstellung auf Regeneratorbrenner und Erdgas**

Die Gießöfen 1 und 3 (Bild 8 und 9) wurden zeitgleich sowohl mit neuen Regeneratorbrennern bestückt als auch auf Erdgasbefuerung umgestellt. Die – wenn auch durch unterschiedliche Fahrweise vonein-

ander abweichend – Einsparungen im Energieverbrauch sind ganz erheblich und rechtfertigen sehr schnell die damit verbundenen Investitionen. Bedingt durch die erzielten Ergebnisse werden heute alle vier Gießöfen mit PulsReg Regeneratorbrennern befeuert.

**Zusammenfassung**

Wie die Studie zeigt, ist sowohl die Umstellung auf Erdgas als auch im Besonderen die Umrüstung auf moderne Brennertechnologie-Maßnahmen von hohem Wert für ein energieintensives und ausbeuteabhängiges Unternehmen wie den Remelter BAGR. Der Einsatz von Erdgas als Energieträger führte zu einer merklichen Kapazitätssteigerung und zu einem erheblich niedrigeren Energieverbrauch. Des Weiteren steigt die Einsatzbereitschaft der Anlage aufgrund geringerer Wartungszeiten, da die Brenner infolge des sauberen Verbrennungsvorganges seltener gereinigt werden müssen. Der Einsatz innovativer Technologie, wie hier am Beispiel der Umrüstung auf Regeneratorbrenner gezeigt, bringt deutliche Kostenvorteile durch geringeren Energieverbrauch, welcher sich sowohl auf der

Schmelzseite, aber insbesondere auch auf der Gießseite bemerkbar macht. Gleichzeitig bedeutet dies eine deutliche Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emission. Auch hierdurch können Vorteile entstehen, wenn die durch das Kyoto-Protokoll geplante Begrenzung der Kohlendioxidemission wie vorgesehen ab 2005 greift. Dabei ist der positive, verstärkende Effekt aus der Kombination beider Maßnahmen hervorzuheben, weshalb wir allen Interessenten an einem Energieträgerwechsel raten können, den gleichzeitigen Umstieg auf Regeneratorbrenner ernsthaft zu prüfen.

Bei der in einer Vielzahl von gelieferten Anlagen nachgewiesenen hohen Wirtschaftlichkeit dieser Technologie deckt die Energieeinsparung in den meisten Fällen den erforderlichen Kapitaldienst von Anlageninvestitionen. Betrachtet man die Investitionskosten über den Energieeinspareffekt anhand betriebsüblicher Benutzungsstunden dieser Anlagen, ergeben sich in aller Regel bei Eigenfinanzierung sehr kurze Amortisationszeiten oder bei Fremdfinanzierung (z. B. Leasing) die Finanzierung des Kapitaldienstes durch die Energieeinsparung.