

# **GASWÄRME**

## **International**

**Gasanwendung in Industrie und Gewerbe**

**Schwerpunkt**  
**Brenner und Feuerungen**

## **Optimierte Regeneratortechnologie an industriellen Feuerungssystemen**

**Optimized regenerator technology in industrial combustion systems**

Dr.-Ing. Björn Henning, Peter Klatecki, Dipl.-Ing. Robert Jasper,  
Jasper GmbH, Quickborn

erschienen in

**GASWÄRME International 6/2005**

Vulkan-Verlag GmbH, Essen

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

# Optimierte Regeneratortechnologie an industriellen Feuerungssystemen

## Optimized regenerator technology in industrial combustion systems

Die Entwicklung von Brenneranlagen mit Regeneratortechnologie hat in den letzten Jahren wesentliche Fortschritte erzielt. Luftvorwärmungen von bis zu 1400 °C bei Abgaseintrittstemperaturen von bis zu 1600 °C sind technisch machbar und bereits realisiert. Ermöglicht wurde dies auch durch die Anpassung der Brennerköpfe für diese hohen Temperaturen, ausgestattet mit einem großen Regelbereich bis hin zum FLOX-Modus<sup>1</sup>. Die verschiedenen und gängigsten Typen von Regeneratoren werden in diesem Artikel beschrieben hinsichtlich Funktion, Anwendung und Wirtschaftlichkeit. Neben der Energieeinsparung können durch die richtige Auswahl und den Einsatz von Regeneratoren auch verfahrenstechnische Verbesserungen erreicht werden, so dass zusätzliche Investitionskosten für weitergehende Verfahrenstechnik (Umweltschutz) die Amortisation kaum beeinflussen. Bei richtiger Auswahl der Verfahrenstechnik ist der Umweltschutz meist kostenlos.

Developments in burner systems incorporating regenerator technology have made significant advances in recent years. Air-preheat levels of up to 1400 °C with waste-gas inlet temperatures of up to 1600 °C are now technically achievable and have already been implemented. This has, not least of all, been made possible via modification of the burner heads for these high temperatures, featuring a large control range up to and including FLOX® mode. The various and most widely used types of regenerators are examined in this article for their function, use and cost-efficiency. Correct selection and use of regenerators makes it possible to achieve not only energy savings but also process-engineering improvements, with the result that investment costs for more extensive engineering solutions (environmental protection) scarcely influence amortization. Given the correct process technology, environmental protection is free.

### Einleitung

Der optimale Einsatz von Brennstoff pro Produktionseinheit in Verbindung mit reduzierten Investitionskosten ist nicht erst seit der aktuellen Energiekostensteigerung die Herausforderung des industriellen Ofen- und Brennerbaus. Parallel dazu steigen, durch die laufende Rationalisierung in Industriebetrieben, die Forderungen nach erhöhter Anlagenverfügbarkeit mit minimalem Wartungsaufwand. Verschärfend wirken ökologische Vorschriften und Forderungen bezüglich der Schadstoffemissionen, wie z. B. der Grenzwert Dioxine/Furane mit <0,1 ng/Nm<sup>3</sup> Abgas, der Grenzwert NO<sub>x</sub> mit < 350 mg/Nm<sup>3</sup> (5 % O<sub>2</sub>) bei gleichzeitigem Grenzwert CO mit < 50 mg/Nm<sup>3</sup> (5 % O<sub>2</sub>).

Die Sicherstellung der abzugebenden Gewährleistungsversprechen erfordern erhebliche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sowie ein hohes Maß an Innovationsbereitschaft. Die genannten Qualitätsansprüche erfordern daher eine exakte Detailarbeit im Engineering und eine sorgfältige Auswahl aller Bauteile. In Anlehnung an die genannten Qualitätsansprüche wurde

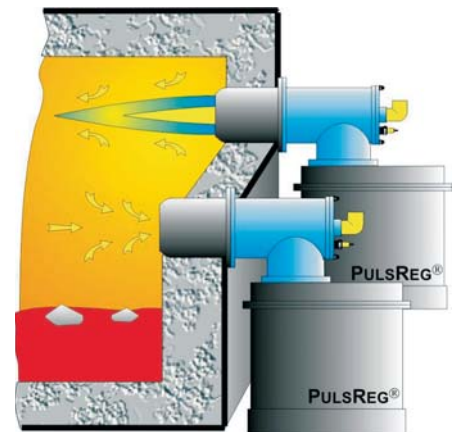
die Weiterentwicklung sinnvoller Regenerator- und Brennertechnik, wirtschaftlich und ökologisch angepasst. Gefordert und heute verfügbar sind Systeme, die sich sinnvoll an:

- die Ofenabmessungen,
- die geforderten technischen Daten und
- die erlaubten Abgas-Grenzwerte anpassen lassen.

Die Auswahl eines geeigneten (regenerativen) Brennersystems unterliegt verschiedenen Kriterien, die der entsprechenden Verfahrenstechnik angepasst werden muss. Ein äußerst interessanter Aspekt ist, dass moderne Regeneratorsysteme nicht nur in der Lage sind enorme, wirtschaftliche Vorteile zu leisten, sondern auch erhebliche Einsparungen und Verbesserungen in der Verfahrenstechnik erzielen können.

### Regeneratortypen

Es existieren verschiedene Bauarten von Regeneratoren. Die Bauarten sind aus den unterschiedlichsten Anwendungen an industriellen Feuerungssystemen entstanden



**Bild 1:** PulsReg® Feuerung  
**Fig. 1:** PulsReg® combustion system

[6]. Im Folgenden wird der Stand der Technik der Regeneratortypen beschrieben.

### Die PulsReg® Regeneratoren

Dieser Typ ist die klassische Regeneratorbrenner-Bauart, bestehend aus 2 Regeneratoren mit zwei (vier) zugeordneten aufgebauten Brennerköpfen, wobei im Auf-



**Dr.-Ing. Björn Henning**  
Jasper GmbH, Quickborn

Tel. 0 41 06 / 80 43 14  
E-Mail:  
b.henning@jasper-gmbh.de



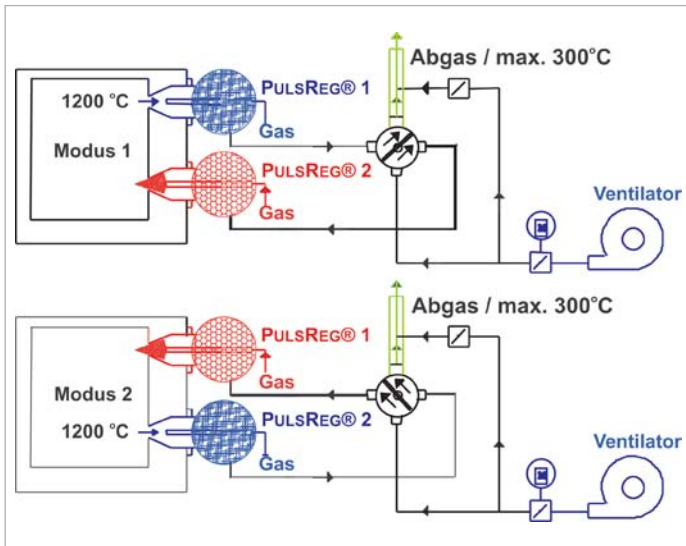
**Peter Klatecki**  
Jasper GmbH, Quickborn

Tel. 02942/974712  
E-Mail:  
p.klatecki@jasper-gmbh.de



**Dipl.-Ing. Robert Jasper**  
Jasper GmbH, Geseke

Tel. 02942/9747-14  
Email:  
r.jasper@jasper-gmbh.de



**Bild 2:** Fließschema eines PulsReg®-Feuerung

**Fig. 2:** Flow diagram for a PulsReg® combustion system

heizbetrieb des einen Regenerators über den Brenner das Verbrennungsprodukt (Abgas) des anderen Brenners abgesaugt wird.

Der Brennerbetrieb wechselt Taktweise unter Nennlast = PulsReg®.

Das Regeneratorsystem PulsReg® besteht aus einem Brennerpaar, wobei zu jedem Brenner ein Regenerator (Wärmetauscher) gehört (**Bild 1**).

Dieser Regenerator ist ein Behälter mit einer feuerfesten Auskleidung. Er enthält eine Wärmespeicherfüllung. Der eine Regenerator eines Brennerpaares wird durch Abgas aus dem Ofen aufgeheizt, während der andere Regenerator des Paares im Gegenstrom durch die kalte Verbrennungsluft abgekühlt wird. Die Verbrennungsluft erwärmt sich dabei, wird im Brenner mit Brennstoff vermischt, gezündet und heizt den Ofen. Wenn die Aufheizung des einen Regenerators ausreichend ist, wechselt die Fließrichtung in den Regeneratoren und der mit Abgas aufgeheizte Regenerator

wird mit Luft gekühlt. Der vorher mit Luft durchströmte Regenerator wird mit Abgas wieder aufgeheizt. Der pulsierende Durchflussrichtungswechsel in den Regeneratoren wird mit Hilfe von Klappen durchgeführt (4-Wege-Steuerung). Jeder Brenner ist mit einer eigenen Zündung und Flammenüberwachung entsprechend den DIN DVGW-Vorschriften ausgerüstet (**Bild 2**).

Bei den PulsReg®-Regeneratoren wurde durch die einfache Austauschbarkeit des Regeneratorbettes den durch Verschmutzung zu erwartenden Schwierigkeiten Rechnung getragen. Es ist eine Befüll- und eine Entleerungsöffnung an jedem Regenerator vorhanden. Dadurch ist es möglich, die Füllung ohne eine Ofenstillsetzung auszutauschen. Dabei wird ein Regeneratorbrenner mit Kaltluft (Notbetrieb) betrieben, um an dem anderen Regeneratorbrenner Wartungs- und Reinigungsarbeiten durchzuführen. Die Verfügbarkeit des Ofens steigt damit auf > 98 %. Brenner und Flammenform werden speziell an die Ofengeometrie angepasst, wobei Brennerleistungen



**Bild 3:** PulsReg® mit Reinigungsvorrichtung

**Fig. 3:** PulsReg®, showing cleaning arrangement



**Bild 4:** PulsReg®-Central

**Fig. 4:** PulsReg® Central

von bis zu 3 600 kW pro Paar sicher beherrschbar sind. Bei Ofentemperaturen von 900 °C bis 1050 °C sind ca. 25 % bis 45 % Energieeinsparung (im Vergleich zu Kaltluftbrennern) die Regel. Einen erheblichen Einfluss hat der Einbau eines Regeneratorbrenners auf die Schmelztechnologie, z. B. eine Reduzierung der Abbrandverluste in Schmelzöfen der Aluminiumindustrie.

An allen Regeneratortypen ist eine kontrollierte, volumenstromgeführte Brennstoff/Luft-Verhältnisregelung installiert, um den Verbrennungsvorgang im optimalen Bereich zu halten.

Voraussetzung für den Einsatz von PulsReg®-Regeneratoren ist ein ausreichender Platz auf dem Ofen (**Bild 3**). Anwendung finden diese in den verschiedensten Feuerungssystemen, wie z. B. Wannenschmelzöfen, Herdöfen, Gießöfen, Konverttern etc.

### Die PulsReg®-Central Regeneratoren

Das System besteht aus zwei Regeneratoren mit einer beliebigen Anzahl von Brennern. Abgas und Heißluft fließen in getrennten Kanälen. Die Brenner werden nicht von Abgas durchströmt und sind nicht den Regeneratoren zugeordnet. Das Abgas wird über eine separate Leitung aus dem Ofen den Regeneratoren zugeführt und kann an der verfahrenstechnisch „richtigen“ Stelle des Ofens entnommen werden.

Die Regeneratoren wechseln Taktweise unter Nennlast, die Brenneranzahl und die Einteilung von unabhängigen Heizzonen ist beliebig = PulsReg®-Central (**Bild 4**).

Im Vergleich zum PulsReg® können alle Brenner gleichzeitig betrieben und einzeln

geregelt werden (Bild 5). Nur im Umschaltvorgang sind alle Brenner gleichzeitig und kurzfristig aus. Anwendungsgebiete sind Öfen, in denen aufgrund der Verfahrenstechnik das Abgas unabhängig vom Einsatzort der Brenner abgeführt werden soll, oder Öfen, bei denen mehrere und/oder unterschiedliche Brennertypen verwendet werden müssen.

**Der EcoReg® Drehbett-Regenerator**

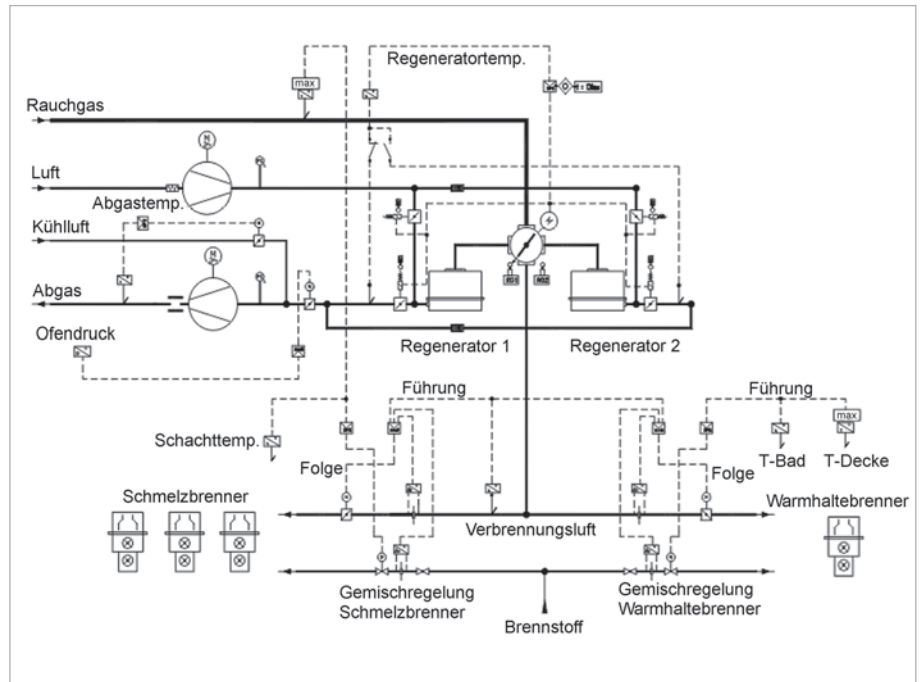
Dieser Typ ist ein Drehbett-Regenerator großer Leistung für eine beliebige Anzahl von Brennern. Die Brenner sind nicht dem Regenerator zugeordnet und werden nicht von Abgas durchströmt. Die Einteilung von unabhängigen kontinuierlich geregelten Heizzonen ist möglich. Das Abgas kann an beliebigen Stellen 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.

**Betrieb mit zentraler Abgasentsorgung = EcoReg®**

Der EcoReg® findet Anwendung in leistungsstarken, großen Ofenanlagen! Der Regenerator steht neben dem Ofen, saugt das Abgas vollständig ab und versorgt kontinuierlich eine beliebige Anzahl und/oder Bauart von Brennern mit heißer Verbrennungsluft. Eine zentrale Wärmerückgewinnung ist hierbei auch von mehreren Ofenanlagen möglich. Das Abgas nach dem EcoReg® kann direkt einer Filteranlage ohne zusätzlichen Kühler oder Falschlufft zugeführt werden [5].

**Funktionsweise des EcoReg®**

Prinzipiell werden zwei 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. Der Mittelteil ist drehbar zwischen Unterteil und Oberteil gelagert und in Segmente aufgeteilt. Die Abdichtung des Mittelteils erfolgt über Dichtleisten aus Stahl bzw. Keramik. 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 die gespeicherte Wärme an die kalte Verbrennungsluft ab. Das Segment verliert an Temperatur und dreht weiter in den heißen Teil, wo eine erneute Aufheizung stattfindet (Bild 6).



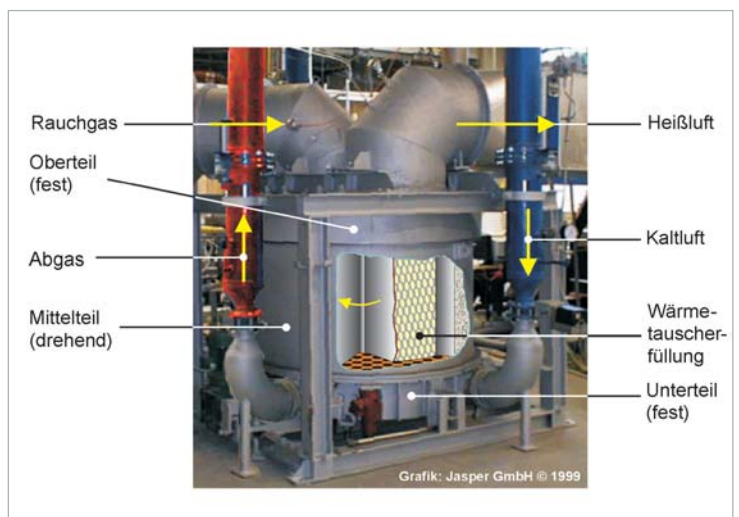
**Bild 5:** Fließschema eines PulsReg®-Central Systems  
**Fig. 5:** Flow sheet for a PulsReg® Central system

Der Regenerationsgrad ist durchschnittlich größer 80 % bezogen auf die Eintrittstemperatur des Rauchgases. Die Rauchgastemperatur beträgt in der Regel 1200 °C. Dabei ergibt sich eine maximale mittlere Verbrennungslufttemperatur von ca. 1000 °C. In der Hochtemperaturausführung sind Eintrittstemperaturen von 1600 °C realisiert. Die den EcoReg® Drehbett-Regenerator verlassenden Abgase haben je nach Auslegung dann noch eine Austrittstemperatur von 150 °C bis 220 °C.

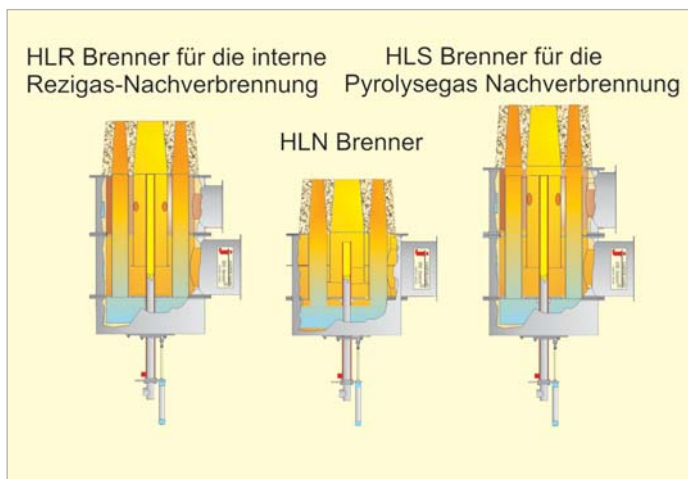
Vorteile beim Einsatz eines EcoReg® sind:

- die Einstellung eines konstanten Druckverhältnisses in der Ofenkammer durch das kontinuierliche Absaugen des Rauchgases und durch den kontinuierlichen Betrieb des Regenerators,

- beliebige Einstellung des Ofendruckes,
- konstante Ofenatmosphäre, da alle Brenner kontinuierlich in Betrieb sind,
- Rauchgasmengen und Luftmengen sind zum Brenner unabhängig voneinander einzustellen,
- die Absaugung des gesamten Abgases über den Regenerator – auch Abgasmengen, die durch die Verschmelzung von eingesetzten Materialien entstehen,
- das entstehende Abgas aus den Schrotten im Ofen nachverbrennen zu können,
- eine konstante Abgastemperatur zum Filtersystem bedingt zu erreichen,
- die Feuerungsleistung beliebig regeln zu können,



**Bild 6:** EcoReg®-Drehbett-regenerator  
**Fig. 6:** EcoReg® rotary-bed regenerator



**Bild 7:** Brenner für Hochtemperaturluftvorwärmung mit FLOX®-Betrieb

**Fig. 7:** Burner for high-temperature air preheat with FLOX® mode

(Selective Fuel Injection), welches niedrigste NO<sub>x</sub>-Werte bei hervorragendem Ausbrand für gasförmige, flüssige und pulverisierte Brennstoffe sicherstellt.

Folgende Brenner werden für leistungsstarke Industrieöfen gebaut (**Bild 7**):

- HLN (FLOX<sup>1</sup>),
- HLS – zusätzlicher Pyrolysegasring für Abgas, welches wie in einer TNV nachverbrannt werden soll und
- HLR – zusätzlicher Rezigasring.

Die Brenner sind so aufgebaut, dass bis zu einer relativ niedrigen Grenztemperatur im Ofen 100 % der Verbrennungsluft direkt mit dem Brennstoff gemischt wird. Danach wird der Verbrennungsluftstrom mechanisch zwischen Primärluft und Sekundärluft aufgeteilt. Die Brennstofflanze schiebt sich dabei in den Brennerstein, wobei die Brennerstein-Temperatur dann nur noch Ofenraumtemperatur erreicht. Die Sekundärluft strömt durch die Düsen im Brennerstein mit bis zu 130 m/s ohne direkte Mischung mit dem Brennstoff in den Ofen-

- und besonders hervorzuheben ist die Möglichkeit, zusätzlich zur Wärmerückgewinnung eine erhebliche Verfahrensverbesserung bereitstellen zu können.

Nach dem heutigen Stand der Technik können spezielle Regeneratoren hervorragend als Dioxin-Quentsche eingesetzt werden. Dioxine (und Furane) werden nicht hergestellt, sondern entstehen im Industrieofen unbeabsichtigt, z. B. durch die Anwesenheit von Kunststoffen (Chlor und Brom), in Schrot-

ten der Flamme, Reduzierung der Spitzentemperaturen in der Flamme, Verzögerung der Mischung zwischen Brennstoff und Luft und die Erhöhung der Flammenstrahlung, um die Verweilzeit des Luftstickstoffes im Bereich hoher Temperaturen zu verkleinern. Grundlage ist das SFI-Verfahren

**Tabelle 1:** Auswahlkriterien aus der Verfahrenstechnik

**Table 1:** Selection criteria in the process-engineering field

	Kaltluft	Rekuperator T <sub>L</sub> = 450 °C	PulsReg®	PulsReg® Central	EcoReg®
Staub im Abgas < 10 mg/Nm <sup>3</sup>	X	X	X	X	X
Staub im Abgas < 20 mg/Nm <sup>3</sup>	X	X	X	X	X
Staub im Abgas > 20 mg/Nm <sup>3</sup>	X		X	X	
Sublimat im Abgas, z. B. NaCl	X		X	X	
Abgasfilter ohne Falschluff oder Abgaskühlung			X	X	X
Unterdrückung Dioxin/Furan-Neubildungssynthese (Quentsche)				X	X
CO-Nachverbrennung erforderlich?				X	X
NO <sub>x</sub> -Minderung auf < 350 mg/Nm <sup>3</sup>	X	X	X	X	X
NO <sub>x</sub> -Minderung auf < 150 mg/Nm <sup>3</sup>	X				X
Rauchgastemperatur < 1000 °C	X	X	X	X	X
Rauchgastemperatur < 1100 °C	X	X	X		X
Rauchgastemperatur < 1400 °C	X		X		X
Rauchgastemperatur < 1600 °C					X
Platz auf dem Ofen vorhanden	X		X	X	
Kein Platz auf dem Ofen vorhanden		X			X
Konstanter Ofendruck	X	X		X	X
Kontinuierlicher Brennerbetrieb	X	X			X
Beliebige Anzahl von Brennern	X	X		X	X
Automatische Abreinigung des Wärmetauschers?			X	X	X

X = Betrieb mit abnehmbarem Kosten- bzw. vertretbarem Reparatur- und Wartungsaufwand realisierbar

Für Dioxin-Quentschen mit Wassereindüsung ist eine Temperaturabsenkung von mindestens 700 °C in weniger als 1 Sekunde gefordert. Die Abgase müssen anschließend bei Anwesenheit von Staub- oder Aschepartikeln unter der Temperatur für die Neubildungssynthese von ca. 300 °C bleiben! Die Größe der nötigen Filteranlage steigt dabei durch das zusätzliche Wasserdampfvolumen. Regeneratoren, die 100 % Abgas absaugen können, sind als Ersatz für eine Wasser-Quentsche prädestiniert. Die Verweilzeit des Abgases im EcoReg®-Regenerator liegt bei unter 0,5 Sekunden. Das Abgas wird dabei auf Temperaturen zwischen 150 und 250 °C abgekühlt. Eine direkt der Anlage zugeordnete Filteranlage spart aufgrund ihrer kleineren Abmessungen noch einmal Investitionskosten und bezahlt den EcoReg®-Regenerator. Der „Return on Investment“ wird somit nicht nur durch die alleinige Energieeinsparung erzielt. Ein weiteres Einsatzgebiet des EcoReg® ist die Hochtemperaturvorwärmung von Dampf bis zu 1400 °C [7]. Zurzeit sind EcoReg®-Drehbettregeneratoren bis zu einer Leistung von 24 MW gebaut bzw. in Planung.

### Eingesetzte Brennertechnik

Die Regeneratoren lassen sich zur optimalen Absenkung von NO<sub>x</sub> mit speziellen Low-NO<sub>x</sub>-Brennersystemen ausrüsten. Verwirklicht wird die NO<sub>x</sub>-Minderung durch die Senkung des Sauerstoffpartialdruckes

raum. Die sich bildende Flamme hat eine hohe Strahlungsintensität, brennt aber stark verzögert mit gleichmäßiger Flammentemperatur aus. Das Flammenbild ist von voluminös bis zur flammenlosen Oxidation (FLOX<sup>1</sup>) einstellbar. Die Brenner können mit einer HighRam-Flamme für Erdgas im Überschallbereich ausgerüstet werden. Das Ergebnis ist ein sehr niedriger NO<sub>x</sub>-Wert bei hohen Lufttemperaturen und höchstem feuerungstechnischen Wirkungsgrad.

Weiterhin gibt es verschiedene Hochtemperatur-Brenner, die je nach Anwendung eingesetzt werden:

- HIB (Lizenz Ruhrgas) Hochgeschwindigkeitsbrenner mit gestufter Luftzuführung von 50 kW bis 600 kW,
- RB Impuls Brenner mit innerer Rauchgasrezirkulation aus dem Ofen von 20 kW bis 6000 kW,
- HF Energie-Brenner mit homogener Flammentemperatur und Flammenbildern von voluminös bis hin zur flammenlosen Oxidation von 1200 kW bis 18000 kW.

## Auswahlkriterien

Als Vorauswahl eines zu bauenden Brennersystems lassen sich die in **Tabelle 1** dargestellten Auswahlkriterien aus der Verfahrenstechnik verwenden.

## Amortisation von Regeneratoren

Die Amortisation von Regeneratoranlagen über die Energieeinsparung rechnet sich je nach Prozess schon in weniger als 2 Jahren.

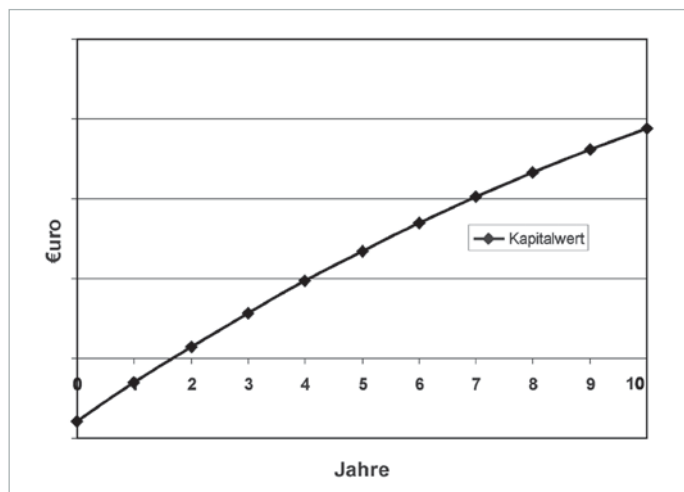
**Bild 8** zeigt den Verlauf der dynamischen Amortisation eines PulsReg®-Systems unter Berücksichtigung der Verzinsung des eingesetzten Kapitals.

Ein Teil liefert die Brennstoffkostensparnis und den anderen Teil die Verbesserung der Verfahrenstechnik, auch erzielt durch die Einsparung aus vermindertem Metallverlust durch Abbrand. Erreicht wurde diese Einsparung durch den Einsatz von Regeneratoren, Abdichtung des Ofens, Ofendruckregelung und kontrollierte Regelung der Sauerstoffkonzentration im Abgas [2].

Eine Kombination von Regeneratortechnik und Änderung der Ofen-Verfahrenstechnik ist auch bei Umbauten von existierenden Öfen sehr erfolgreich. Ein vorhandener Drehherdofen in der Stahlindustrie, gebaut für 25 t/h, leistete nach diversen Modifika-

**Bild 8:** Dynamische Amortisation einer Regenerator-Brenneranlage unter Berücksichtigung einer Verzinsung des eingesetzten Kapitals

**Fig. 8:** Dynamic amortization of a regenerator-burner installation, taking account of servicing of the capital input



tionen ca. 32 t/h. Die Beheizung erfolgte über einen Zentralrekuperator mit einer Luftvorwärmung bis 450 °C. Eine Neuberechnung des Ofens lieferte die Wege für eine erneute Produktionssteigerung bei minimierten Umbaukosten. Ein großer Teil der Vorwärmzone wurde mit einer zusätzlichen Beheizung, bestehend aus 8 kontinuierlich feuernden Seitenbrennern mit 900 °C Luftvorwärmung und einem EcoReg®-Regenerator ausgerüstet. Der Vorteil dieses Regeneratortyps ist die Beibehaltung der existierenden Abgasströmung im Ofen. Die Brenner lassen sich kontinuierlich regeln und arbeiten im Dauerbetrieb. Die Regelung und Steuerung dieses neuen Anlagenteiles wurde über ein Bussystem in der vorhandenen Ofen-Leitsoftware realisiert. Der alte Zentralrekuperator und der neue EcoReg®-Regenerator teilen sich die Abgasmenge entsprechend der durch sie fließenden Luftmenge. Das Ergebnis, betrachtet über ein Jahr: Produktionssteigerung des Ofens um ca. 33 % auf maximal 43 t/h. Der spezifische Energieverbrauch sank um ca. 20 %.

## Fazit

Engineering und Anlagenbau für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch ist keine Utopie. Die Auswahl der richtigen Technik zur Wärmerückgewinnung senkt nicht nur den Energieverbrauch, sondern kann auch erhebliche Vorteile in der Verfahrenstechnik bringen. Praktische Erfahrungen zeigen eine Reduzierung der Abbrandverluste in Schmelzöfen der Aluminiumindustrie. Produktionssteigerungen bei gleichzeitiger Energieeinsparung wurden bei diversen Wärmebehandlungsanlagen in der Stahlindustrie

erreicht. Bei der Weiterentwicklung der Regenerator-typen PulsReg®, PulsReg®-Central und EcoReg® wurde gleichzeitig besonderer Wert auf die Anpassung der entsprechenden Brennertechnik gelegt. Bei hohen Vorwärmtemperaturen von bis zu 1400 °C gewährleisten die Brenner hohe Regelbereiche mit unterschiedlichsten Flammeneinstellungen bis hin zum FLOX-Modus<sup>1</sup>. Der optimale Umsatz von eingesetztem Brennstoff in Produktionsleistung in Verbindung mit wirtschaftlichen Investitionskosten wird auch in Zukunft eine bleibende Herausforderung sein. Immer höhere und gerechtfertigte Umweltauflagen erfordern hierbei intensive F+E Bemühungen, denen wir uns stellen müssen und werden.

## Literatur

- [1] Jasper, H.D.: Low energy and emission in tandem: State of the Art HiTAC-Combustion; 4<sup>th</sup> International Symposium on High Temperature Air Combustion and Gasification, Rome 2001
- [2] Gansen, H.; Güngör, M.; Jasper, H.D.: Energieoptimierung einer Sekundärschmelzhütte, Gaswärme International 08/2003, Vulkan-Verlag
- [3] von Starck, A.; Mühlbauer, A.; Kramer, C.: Praxishandbuch Thermoprozesstechnik, Vulkan-Verlag 2003
- [4] Brune, M.; Giese, A.; Mackenstedt, D.: Optimierung der thermischen Prozessführung von gasbeheizten Schmelzöfen zur Produktion von Sekundäraluminium, Gaswärme-International 05/2004, Vulkan-Verlag
- [5] Henning, B.; Jasper, R.: MultiMelter© – The new generation of aluminium melting furnaces, Heat Processing 2/2004, Vulkan-Verlag
- [6] Jasper, H.D.: Einsatz von Regeneratoren im Bereich von Thermoprozeßanlagen, Gaswärme-International 12/2000, Vulkan-Verlag
- [7] Henning, B.; Jasper, R.: Einsatz von Drehregene-

<sup>1</sup> FLOX ist ein eingetragenes Warenkennzeichen der Fa. WS Wärmeprozessestechnik GmbH