

Hohe Energiedichte für Trocknungs- und Anwärmprozesse durch den Einsatz innovativer Porenbrennertechnologie

Innovative porous burner technology achieves high energy density for drying and heating processes

Von Heiko Schneider, Reinhold Krieger

Bestehende, gasbetriebene Infrarotstrahler arbeiten im mittleren Wellenlängenbereich bei ungefähr 1 000 °C und einer Energiedichte von ca. 200 kW/m². Die patentierte Porenbrenntechnologie erreicht das kurzwellige Infrarotspektrum (1 450 °C) und kommt auf Energiedichten bis zu 1 000 kW pro m². Diese neue Technologie ist für Trocknungs- und Anwärmprozesse von größtem Interesse. Bestehende Prozesse zu beschleunigen, das kann durch die neue Technologie jetzt realisiert werden, ohne große Umbautätigkeiten am Prozess. Die wesentlichen Punkte dieser neuen Technologie machen es möglich, die Regelung deutlich zu verbessern.

Existing gas-fueled infrared heaters operate in the medium wavelength range at around 1,000° C, with an energy density of some 200 kW/m². Patented porous burner technology reaches the short-wave infrared spectrum (1,450° C) and achieves energy densities of up to 1,000 kW per m². This new technology is of the greatest interest for use in drying and initial heating processes. Acceleration of existing processes can now also be implemented using this new technology, without major modifications to the existing equipment. In addition, the main characteristics of the new technology make it possible to improve control significantly.

Trocknungsprozesse, speziell in der Papierindustrie, sind oft eine Kombination zwischen Infrarot und konvektiver Trocknung. Üblicherweise ist die Trocknung der Engpass in industriellen Prozessen. Diese Überlegungen sind richtig, wenn wir davon ausgehen, dass der Infrarotstrahler im Trocknungsprozess bei der gleichen Energiedichte bleibt. Die Porenbrenntechnologie zeigt uns einen Weg auf, durch die Energiedichte einen zusätzlichen Freiheitsgrad zu erlangen.

Die Situation vor der Porenbrenntechnologie

Alle bestehenden Infrarotbrenner basieren auf einer Oberflächenverbrennung, die physikalisch begrenzt ist auf ungefähr 1 000 °C und einer Energiedichte von 250 kW/m².

Höhere Temperaturen oder höhere Energiedichten können mit der Oberflächenverbrennung nicht erreicht werden. Der Grund liegt darin, dass höhere Tempera-

turen mehr Gas und somit mehr Strömungsgeschwindigkeiten und dadurch einen höheren Druck auf der Flamme verursachen. Schließlich verliert die Flamme den Kontakt mit der strahlenden Oberfläche, der Wärmeübergang ist gestört und dadurch geht der Strahlungsanteil zurück und der konvektive Anteil nimmt überhand (**Bild 1**).

Die Porenbrenntechnologie

In der Porenbrenntechnologie gibt es einen vollkommen neuen Ansatz. In dem Bereich, in dem die Verbrennung statt-

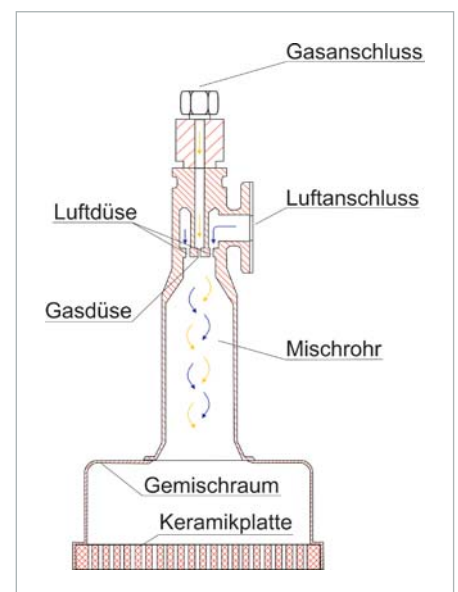


Bild 1: Prinzip der Oberflächenverbrennung

Fig. 1: The principle of surface combustion

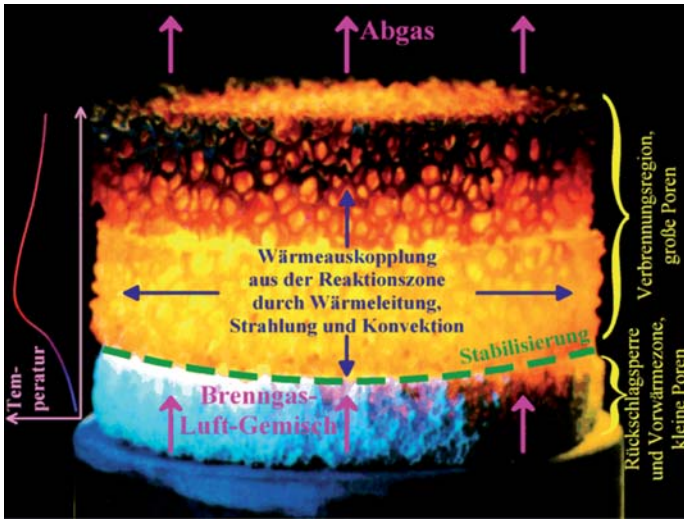


Bild 2: Prinzip Porenstrahler
Fig. 2: The principle of the porous radiant burner

Lambda max ist die Wellenlänge der max. Emission

T = ist die Temperatur der emittierenden Oberfläche in Kelvin.

Nach dem Boltzmann Gesetz (2) kann die Strahlungsemission eines schwarzen Körpers wie folgt beschrieben werden:

$$E = \sigma \cdot T^4 \quad (2)$$

$$\sigma = 5,6697 \cdot 10^{-8} \text{ [W/m}^2\text{K}^4\text{]}.$$

Für nicht schwarze Körper reduziert sich die Strahlungsemission durch den Emissionskoeffizienten ($\epsilon < 1$)

$$E = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4.$$

Wenn wir davon ausgehen, dass der Emissionskoeffizient in dem betreffenden Temperaturbereich unabhängig von der Temperatur ist, wird die Gleichung einfacher:

$$E = T^4$$

Das bedeutet, die emittierte Strahlungsintensität hängt einzig und allein von der Temperatur des emittierenden Körpers ab. Wenn wir die Intensität bei 800 °C normieren und gleich 1 setzen, gibt es folgende, in **Tabelle 1** gezeigte Zusammenhänge:

Erhöhen wir die Temperatur von 1000 °C auf 1400 °C ergibt sich eine ungefähr 3 Mal höhere Strahlungsemission.

Basierend auf der Steigung der relativen Intensität wurde ein Infrarotstrahler mit dem Porenbrennprinzip entwickelt (**Bild 3**).

Dieser hier gezeigte Porenstrahler RADIMAX ist der erste gasbetriebene Infrarotstrahler, der mit 1,7 µm Wellenlänge im Maximum in den kurzwelligigen Infrarotbereich eindringt.

Um die unterschiedlichen Energiedichten von Strahlern zu vergleichen, wurde ein ganz einfacher Test (**Bild 4**) durchgeführt.

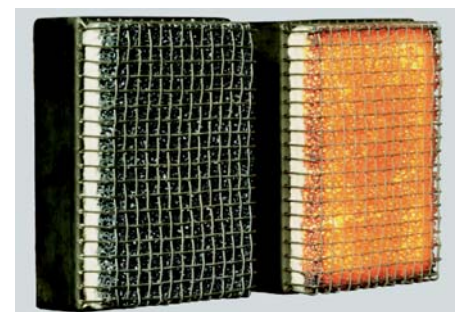


Bild 3: Porenstrahler RADIMAX
Fig. 3: The RADIMAX porous radiant burner

findet, wird eine poröse Matrix installiert. Durch diese poröse Matrix wird der Abgasstrom immer und immer wieder geteilt und wieder vereint. Zu allererst verbessert sich dadurch der Wärmeübergang von der Flamme an die feste Keramikoberfläche gravierend. Die poröse Matrix besteht aus einem Keramikmaterial, welches ganz spezielle Eigenschaften besitzt, was Strahlungsauskopplung und thermische Leitfähigkeit betrifft. Die Emissivität für alle Keramiken ist sehr hoch. Die thermische Leitfähigkeit ist 100 Mal höher als diejenige von Gasen. Diese guten Wärmeübertragungseigenschaften vermeiden irgendwelche heißen Punkte innerhalb der Matrix und sind letztendlich messbar in einem homogenen Temperaturprofil. Durch die guten Wärmeübertragungseigenschaften kann die Leistung über einen weiten Bereich variiert werden [1]. Um eine stabile Verbrennung zu jeder Zeit sicherzustellen, wird der Brenner aus mindestens 2 unterschiedlichen keramischen Zonen hergestellt (**Bild 2**).

Die Gas-/Luftmischung strömt zuerst in eine feinporige Region. Diese wirkt als Flammensperre und wärmt das einkom-

mende Gas-/Luftgemisch vor. In der zweiten Zone, der eigentlichen Verbrennungsregion, ist der Porendurchmesser viel größer (5–10 mm). Durch die zahlreichen Vorteile, die die Porenbrenntechnologie mit sich bringt, kann diese in vielen unterschiedlichen Anwendungen eingesetzt werden.

Als Beispiel dienen Haushaltsbrenner zum Erwärmen von Einfamilienhäusern. In der Industrie gibt es unterschiedliche Anwendungen als Strahlungsbrenner für Öfen, als Brenner für die Dampferzeugung für Gasturbinen oder Solaranlagen [2-4].

Porenbrenner RADIMAX

Nach dem Planck'schen Strahlungsgesetz werden von einer Oberfläche mit einer höheren Temperatur T1 elektromagnetische Wellen ausgesendet, hin zur niedriger temperierten Umgebung T2.

Nach dem Wien'schen Verschiebungsgesetz (1) bewegt sich das Maximum der Strahlungsintensität hin zu kurzen Wellenlängen, je höher die Temperatur der emittierenden Oberfläche ist.

$$\lambda_{\text{max}} \cdot T = 2,8979 \cdot 10^{-3} \text{ [mK]} \quad (1)$$

Tabelle 1: Relativer Emissionsgrad bei unterschiedlichen Oberflächentemperaturen
Table 1: Relative emissivity at various surface temperatures

Temperatur	Temperatur	relative Intensitäten
(°C)	(°K)	(1)
800	1 073	1
900	1 173	1,42
1 000	1 273	1,98
1 100	1 373	2,68
1 400	1 673	5,91

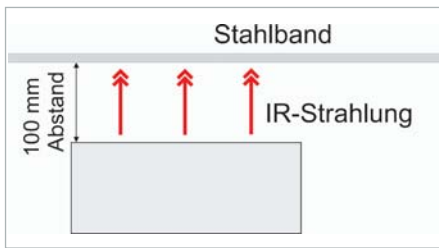


Bild 4: Testanordnung
Fig. 4: Test installation

Die Oberflächentemperatur eines Stahlblechs wurde gemessen. Zum Vergleich wurde ein Oberflächenstrahler herangezogen. Der Oberflächenstrahler lag bei einer Betriebstemperatur von ungefähr 950 °C. Ferner kam ein Katalyststrahler zum Einsatz. Dieser Strahler verbrennt Gas in einer katalytischen Reaktion. Das bedeutet, die Temperatur ist niedriger und liegt bei ca. 600 °C. Der Porenstrahler RADIMAX war der dritte Strahler, der gemessen wurde (**Bild 5**).

Wo der bisher handelsüblich erhältliche Oberflächenstrahler das Metallblech auf ca. 100 °C innerhalb von 20 sec. erhitzt, schafft es der Porenstrahler RADIMAX

in derselben Zeit, eine Temperatur von 400 °C am Blech zu erreichen. Der Wärmeübergang an eine feste Oberfläche wurde dramatisch vergrößert.

Beim Anwenden der Porenbrenntechnologie wurde ein anderer wesentlicher Faktor beobachtet. Die Oberflächenverbrennung kann in einem Bereich zwischen 50 und 100 % geregelt werden. Geht man bei der Regelung unter 50 % Gasdurchsatz, beginnen die Oberflächenbrenner ungleich zu werden und die Verbrennung kann nicht mehr stabilisiert werden. Im Vergleich dazu ist die Porenbrenntechnologie für derartige Instabilitäten weitaus weniger anfällig. In den Versuchen hat der Porenstrahler RADIMAX ein Regelverhältnis von 1 : 6 gezeigt.

Abgasmessung

Ein wesentlicher Punkt zur Beurteilung von Verbrennungsprozessen ist selbstverständlich die Schadstoffemission. Aus diesem Grund wurden Oberflächenstrahler und Porenstrahler im Vergleich gemessen. Der Versuchsaufbau ist **Bild 6** zu entnehmen.

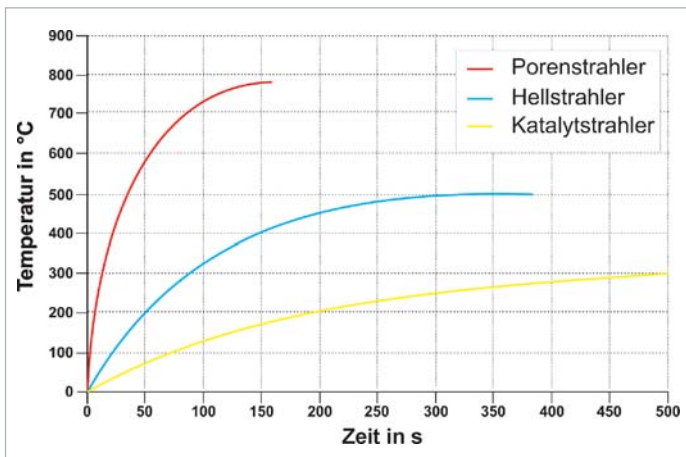


Bild 5: Versuchsergebnisse
Fig. 5: Test results

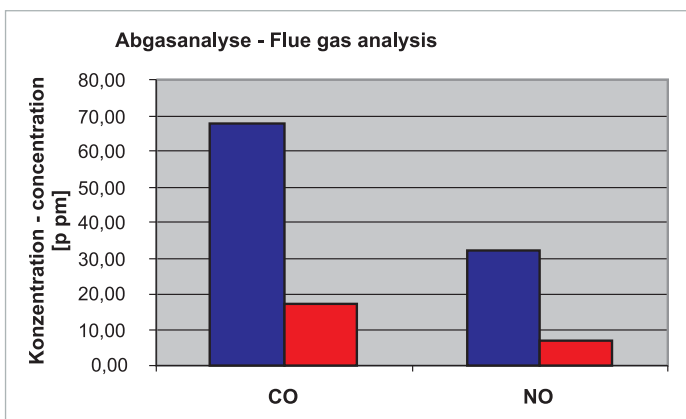


Bild 6: Versuchsaufbau
Fig. 6: Test apparatus

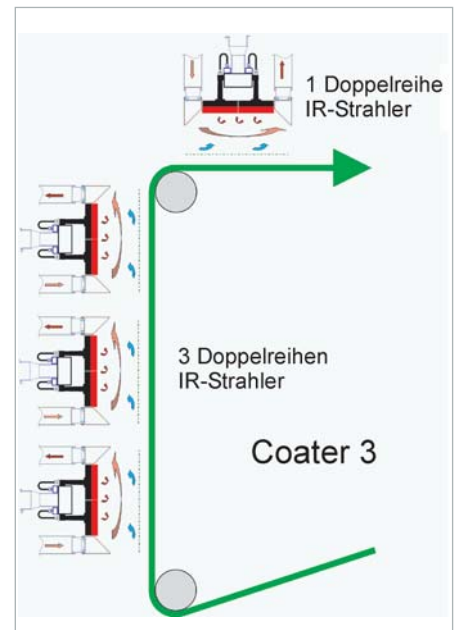


Bild 7: Prinzip einer Coaterlinie
Fig. 7: The principle of the CoaterLine

Die Oberflächenverbrennung erreichte bei der Kohlenmonoxidemission fast 70 ppm wohin gegen die Porenbrenntechnologie deutlich unter 20 ppm bleibt. D.h. die Porenbrenntechnologie emittiert 75 % weniger Schadstoffe. Im Bereich NO_x, gemessen als NO, ist der Wert sogar noch höher. Hier stellt sich die Porenbrenntechnologie um 78 % besser dar.

Erfahrungen in der Papierindustrie

Um die Zuverlässigkeit der RADIMAX-Strahler für die Papierindustrie nachzuweisen, wurden die Strahler in eine bestehende Papiermaschine eingebaut. Technische Daten wie folgt:

- Papiergewicht vor Coater: 40–45 gr/m²
- Streichgewicht: 40 gr/m² (4 Striche)
- Feuchte nach Coater: ca. 4,5 %

Insgesamt sind 8 Reihen Infrarotstrahler in der Anlage nach dem Coaterbereich installiert. In den Reihen 3 und 4 wurden die bestehenden Oberflächenstrahler durch RADIMAX-Strahler ausgetauscht.

Versuchsaufbau und Ergebnisse

Bild 7 zeigt das Prinzip einer Coaterlinie.

Eine Reihe RADIMAX-Strahler kann zwei Reihen herkömmlicher Infrarotstrahler mit Oberflächenverbrennung ersetzen. Oder mit anderen Worten: Die Verbrennung im Volumen beim RADIMAX-

Strahler ist 2 Mal intensiver als die bestehende Oberflächenverbrennung.

Als Ergebnis der Tests wurde herausgearbeitet, dass der RADIMAX-Strahler den gleichen Wirkungsgrad aufweist wie die herkömmlichen konventionellen Strahler. Das bedeutet, dass RADIMAX nicht nur eine höhere Energiedichte anbietet. Der Wärmeübergang in die Warenbahn ist ebenfalls beschleunigt und, das wichtigste, ohne die Produktqualität zu beeinträchtigen.

Fazit

Durch die ausgezeichneten Eigenschaften ist die Porenbrenntechnologie für unterschiedliche Anwendungen in der Industrie geeignet. Die Trocknung von gestrichenen Papieren, die Lacktrocknung, die Glasverformung, unterschiedlichste Anwärmprozesse oder aber auch die Pulverbeschichtung genauso wie das Coil Coating sind Anwendungsmöglichkeiten, wo der Porenstrahler seine Vorteile zeigen kann.

Ein neuer Infrarotstrahler wurde entwickelt und bringt hervorstechende Eigen-

schaften mit. In der Papierindustrie wurde, verglichen zu existierenden Lösungen, die Energiedichte verdreifacht. Vergleicht man die Oberflächenverbrennung mit der Porenstrahlentechnologie, so kann man sagen, dass der Regelbereich, in welchem die Verbrennung stabil stattfindet, ebenso durch einen Faktor 3 erhöht wurde.

In Feldversuchen wurde nachgewiesen, dass der Wärmeübergang mindestens verdoppelt werden kann, bei gleicher Energieeffizienz ohne die Papierqualität zu beeinträchtigen.

Mehrere Langzeitanwendungen sind nicht nur in der Papierindustrie im Einsatz, um mehr Kenntnis über die Langzeitstabilität der Brenner zu erlangen.

Literatur

- [1] Pickenäcker, O., Pickenäcker K., Wawrzinek K., Trimis D., Pritzkow W. E. C., Müller C., Goedtke P., Papenburg U., Adler J., Standke G., Heymer H., Tauscher W., Jansen F.: Innovative Ceramic Materials for Porous-Medium Burners, Interceram, 48, 1999 [5] + [6]
- [2] Durst, F., Pickenäcker K., Trimis D.: Porenbrenner – kompakte, emissionsarme Brenner

mit großem Leistungsmodulationsbereich, gwf-Gas/Erdgas, 138, 1997 [2] 116-123

- [3] Durst F., Kesting A., Mößbauer S., Pickenäcker K., Pickenäcker O., Trimis D.: Der Porenbrenner – Konzept, Technik und Anwendungsgebiete, Gaswärme International 46, 1997, [6] 300-307
- [4] Durst F., Keppler M., Trimis D., Weclas M.: Neue Verbrennungstechnik: Der Porenbrenner in der Ölheizung. Wärmetechnik – Versorgungstechnik, 43, 1998 [1] 28-32 ■

Dipl.-Ing. Heiko Schneider
GoGaS Goch GmbH & Co. KG,
Dortmund

Tel. 02 31/4 65 05 81
E-Mail:
heiko.schneider@gogas.com



Dipl.-Ing. Reinhold Krieger
GoGaS Goch GmbH & Co. KG,
Dortmund

Tel. 02 31/4 65 05 70
E-Mail:
reinhold.krieger@gogas.com

