



Glas herstellen – energieeffizient und schadstoffarm



- ▶ **Flammenlose Oxidation auch im Glasschmelzprozess einsetzbar**
- ▶ **Stickoxid-Emissionen halbieren sich nahezu**
- ▶ **Mit optimierten Glasschmelzwannen kann der Energiebedarf reduziert werden**

Untersuchung der Glas-FLOX®-Brenner mittels hochauflösenderameratechnik

Für die Glasherstellung benötigt man Sand, Soda und Kalk-Rohstoffe, die nahezu unbegrenzt in der Natur vorkommen – und eine beträchtliche Menge Energie. Temperaturen von über 1.500 °C sind erforderlich, um das Rohstoffgemenge in großen öl- oder gasbefeuchten Glasschmelzwannen zu schmelzen. So fließen beispielsweise etwa 7 Giga-Joule in die Produktion einer Tonne Flachglas – dies entspricht dem Heizwert von rund 200 Kubikmetern Erdgas. Nicht nur der Energieverbrauch, sondern auch Emissionen sind Optimierungsgrößen für den Produktionsprozess: Insbesondere Stickoxide können bei der Glaserzeugung Probleme bereiten, denn bei den hohen Verbrennungstemperaturen reagiert Sauerstoff nicht nur mit dem Erdgas bzw. Öl, sondern auch mit dem Stickstoff der Verbrennungsluft.

Das Gaswärme-Institut in Essen hat jetzt flammenlose Brenner, die in der Metallindustrie bereits erhebliche Energieeinsparungen und Emissionsminderungen bewirken, an die speziellen Erfordernisse der Glasproduktion angepasst. Gemeinsam mit Industriepartnern unter-

suchten die Forscher, wie diese Brenner, die nach dem Prinzip der flammenlosen Oxidation arbeiten, Glasschmelzwannen befeuern können. Im Gegensatz zu konventionellen Brennern wird durch den Einsatz der flammenlosen Oxidation eine gleichmäßigere Temperaturverteilung im Brennraum erreicht. Gleichzeitig arbeiten die Brenner mit hoher Effizienz, denn die heißen Abgase werden an der Zuluft vorbeigeführt und wärmen so – rekuperativ – die Verbrennungsluft vor. Erfahrungen aus anderen Branchen lassen sich nur sehr eingeschränkt übertragen, denn Glasschmelzwannen unterscheiden sich konstruktiv deutlich von anderen Industrieöfen. Noch ist die Glasindustrie vorsichtig, bewährte Pfade zu verlassen. Denn es erfordert viel Erfahrung, sowohl die Produktqualität als auch den Durchsatz der Glasschmelzwannen zu optimieren. Das vom Bundeswirtschaftsministerium geförderte Forschungsprojekt sollte an einer umgebauten Glasschmelzwanne demonstrieren, dass mit der Technologie mindestens die gleiche Produktqualität und Produktivität bei verbesserten Verbrauchs- und Emissionswerten erreicht werden kann.

► Glasschmelzwannen – einseitig befeuert

Anders als bei den meisten Industrieöfen wird das Nutzgut in seitenbefeuerten Glasschmelzwannen mit rekuperativer Luftvorwärmung – so genannten Unit-Meltern – meistens nur von oben erhitzt, denn Feuerraum und Produktgefäß bilden eine Einheit. Die Flammen stehen in direktem Kontakt zum Glas, und die Atmosphäre des Feuerraumes hat einen deutlichen Einfluss auf die Einschmelzcharakteristik. Mit einem Trick gelingt es, trotz nur einseitiger Wärmezufuhr, hohe Produktionsraten zu erreichen: Durch Rußpartikel in der Flammenfront werden stark leuchtende Flammen erzeugt, deren Energie in tiefe Schichten des Schmelzgutes eindringen kann. Bei Vergleichsmessungen an einem Ofen stieg beispielsweise die Produktionsrate mit stärker rußendem Schweröl im Vergleich zu leichtem Heizöl um etwa 6%. Bei der Einführung von Erdgasbrennern wirkte sich fehlende Festkörperstrahlung

von Rußpartikeln nachteilig auf den Produktionsprozess aus. Seitdem jedoch auch mit Erdgas stark rußende, hell leuchtende Flammen realisiert werden können, werden auch hier Produktionsraten vergleichbar mit denen bei Schwerölbefuerung erzielt. Stellt man sich nun die nicht leuchtenden – fast unsichtbaren – Reaktionszonen der flammenlosen Oxidation vor, ist das Misstrauen der Glasindustrie gegenüber dieser Technik durchaus verständlich. Die Reaktionszone gleicht diesen Nachteil aber dadurch aus, dass die Energie nicht nur an der Flammenoberfläche, sondern im gesamten Flammenvolumen frei und durch Gasstrahlung übertragen wird. Ein weiterer Vorbehalt gilt den hohen Strahlaustrittsgeschwindigkeiten von flammenlosen Brennern, die die Rohstoffe aufwirbeln und austragen könnten. Tatsächlich weisen sie in ihrem Kernstrahl hohe Geschwindigkeiten auf. Allerdings ist dieser Kern durch

Abb. 2: Glasschmelzwanne

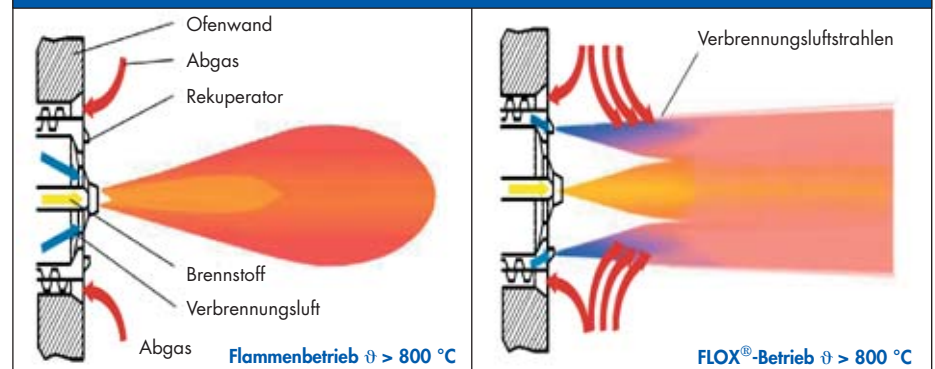


ruhige Strömungsgebiete umgeben, die ihn von der Glasoberfläche abschirmen. Es bedarf aber einer sorgfältigen Auslegung der Wannenbefuerung, damit das Phänomen des Staubaustrages nicht auftritt.

► Flammenlose Brenner – gleichmäßig temperieren

Bei flammenlosen Brennern (sogenannte FLOX® Brenner) strömen Brenngas und Verbrennungsluft unvermischt mit hoher Strömungsgeschwindigkeit in die Brennkammer (3b). Der wesentliche Unterschied zu herkömmlichen Brennern im Flammenbetrieb (3a) ist die starke interne Rezirkulation der Abgase in der Brennkammer und deren Vermischung mit der Verbrennungsluft. Hierdurch und durch die verzögerte Vermischung von Luft und Brenngas kann sich keine sichtbare Flammenfront mehr ausbilden. Bei ausreichend hohen Temperaturen von mindestens 800 °C oxidiert der Brennstoff im gesamten Brennraumvolumen. Dadurch stellen sich sehr homogene Temperaturen ein. Die Bildung thermischer Stickstoffoxide, die vor allem an der Flammengrenze mit ihren

Abb. 3: Flammenlose Brenner im Flammenbetrieb und mit flammenloser Oxidation



hohen Spitzentemperaturen stattfindet, wird vermieden. Mit der gleichmäßigeren Temperaturverteilung sinken nicht nur die Stickstoffoxidemissionen, es lässt sich auch

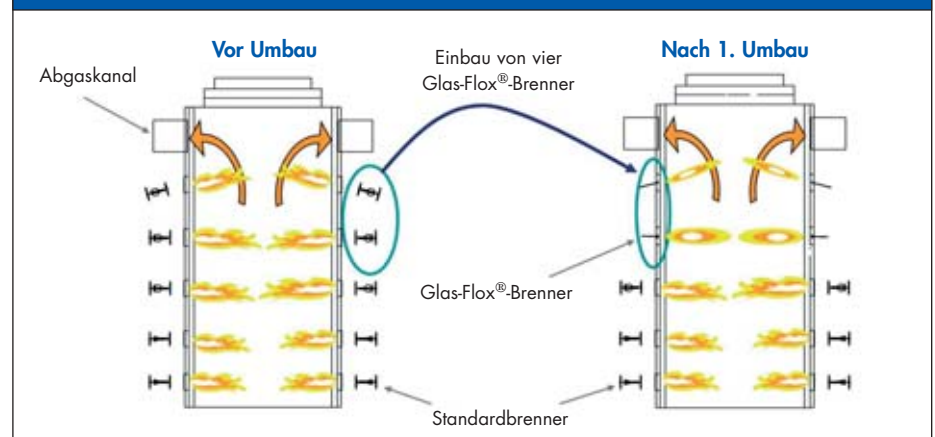
eine höhere mittlere Brennraumtemperatur aufrechterhalten.

► Glas – flammenlos schmelzen

Nach umfangreichen Simulationen und ausführlichen Tests an der Hochtemperaturversuchsanlage des Gaswärme-Institutes tauschten die Forscher die konventionellen Brenner einer Glasschmelzwanne der Osram GmbH gegen flammenlose Brenner aus – zunächst nur in zwei Zonen – später auch für die restlichen Zonen (Abb. 4). Vor und nach den einzelnen Umbauschritten dokumentierten detaillierte Messungen Energieverbrauch, Schadstoffausstoß und Standfestigkeit der Brenner.

Der Betrieb der vollständig umgerüsteten Wanne und die Produktion erwiesen sich als weitgehend problemfrei. Verglichen mit der Ausgangssituation halbierte sich der Stickoxidausstoß nahezu. Der spezifische Energieverbrauch ging leicht zurück. Zugleich

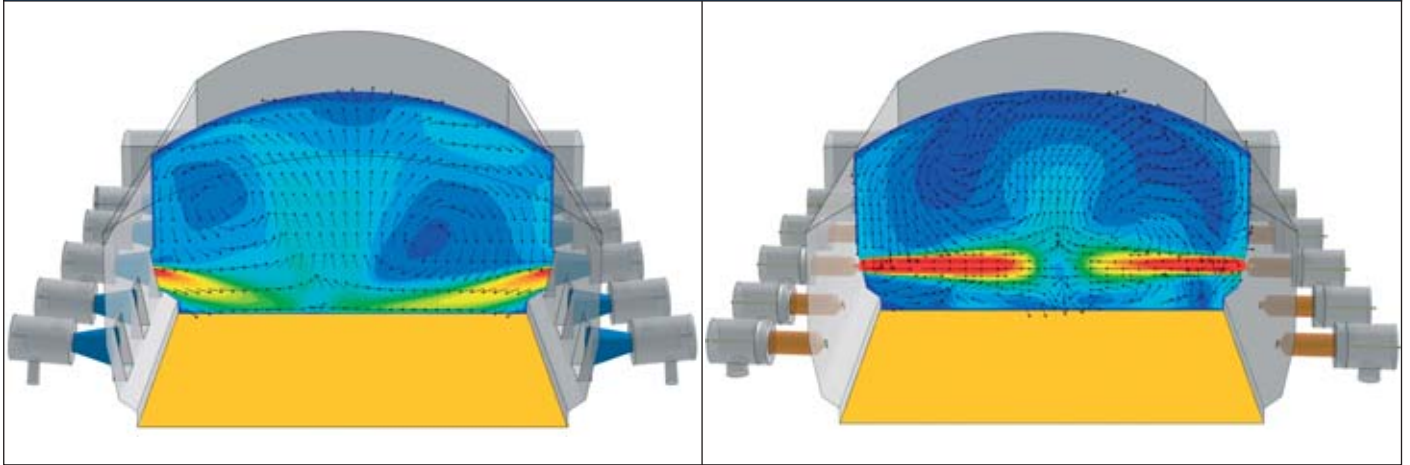
Abb. 4: Aufsicht: die Glaswanne vor und nach dem Umbau der ersten vier Brenner



stieg die Luftvorwärmung um fast 80 °C an. Bei optimierter Fahrweise können hier wei-

tere Verbesserungen der NO_x-Emissionen erwartet werden.

Abb. 5: Querschnitt: Strömungsverteilung in der Wanne mit konventionellen Brennern (links) und mit flammenlosen Brennern (rechts)



Die Wärmetauscher, effizienter weil sauberer

Die Brenner nutzen Abgaswärme für die Vorwärmung der Verbrennungsluft. Bei der vorliegenden Glaswanne handelt es sich um eine Glaswanne mit rekuperativer Luftvorwärmung. Im Gegensatz zur dezentralen Wärmerückgewinnung kommt bei Glaswannen aufgrund der hohen Temperaturen ein so genannter Zentralrekuperator zum Einsatz. Dieser ist im Abgaskanal der Glaswanne eingebaut, wobei die Verbrennungsluft über Rohrleitungssysteme dem Brenner zugeführt wird. Bei den Untersuchungen konnten hohe Luftvorwärmtemperaturen gemessen werden, die nur bei Wärmeaustauscheroberflächen ohne Staubbelag erreicht werden. Die andauernd hohen Luftvorwärmtemperaturen lassen den Rückschluss zu, dass die vom Glasbad weg in die Horizontale ausgerichteten Brenner (Abb. 5) weniger Gemengestaub aufwirbeln und mit dem Abgas austragen. Dadurch bleiben die Wärmeaustauscheroberflächen länger sauber und effizient. Dieser Effekt wirkt sich nicht nur positiv auf den Energieverbrauch aus, sondern reduziert auch den Aufwand für die Abgasentstaubung.

Noch Luft nach oben – der Wirkungsgrad

Aus Kostengründen montierten die Forscher die flammenlosen Brenner an den Positionen der ursprünglichen Einbauorte. Um ein Aufeinandertreffen der Strahlspitzen zu vermeiden, wurden sie um 5° gegeneinander verdreht. Eine nicht gegenüberliegende, sondern kämmende Anordnung der Brenner würde die Überdeckung des Glasbades verbessern und für einen gleichmäßigeren Wärmefluss in das Glasbad sorgen. Zukünftige Wannenneubauten werden daher größere Wirkungsgrade und niedrigere spezifische Energieverbräuche aufweisen.

Mit höheren Luftvorwärmtemperaturen lassen sich die Wirkungsgrade weiter steigern. Allerdings führt dies in der Regel auch zu höheren NO_x-Abgaswerten. Die nahezu halbierten Stickoxidemissionen erlauben jetzt eine stärkere Nutzung der Abgaswärme zur Brennluftherhitzung, ohne dass die behördlichen NO_x-Grenzwerte überschritten werden.

Simulation und Messungen im Einklang

Die im Projekt eingesetzten Messtechniken und Methoden haben sich als sehr zuverlässig herausgestellt. Mit den Messungen, die vorab am Versuchsofen durchgeführt wurden, konnten wichtige Erkenntnisse hinsichtlich der Temperaturverteilung, Flammenlänge und Emissionen im Abgas gewonnen werden.

Begleitend dazu wurden numerische Simulationen durchgeführt. Diese hatten zum Ziel, bereits im Vorfeld Informationen darüber zu erhalten, wie sich ein Brennerwechsel in der Glaswanne auswirkt. Von besonderem Interesse war dabei das Strömungsfeld, da die Eintrittsgeschwindigkeiten der Glas-FLOX®-Brenner erheblich höher sind als bei den Standardbrennern. Mit Hilfe der Simulationen konnten z. B. Bereiche mit höheren Geschwindigkeiten im Bereich des Einlegers festgestellt werden. Das Projekt hat gezeigt, dass zuverlässige Aussagen über mögliche Änderungen, die sich durch einen Wechsel der Befuerung ergeben, durch den Einsatz der numerischen Simulation getroffen werden können.

► Erfahrungen mit den Brennern

Die Brenner sind bereits seit über einem Jahr im Einsatz. Es kann kein übermäßiger Verschleiß festgestellt werden. Selbst die mit ihrer Spitze sehr nah am Feuerraum positionierten Gaslanzen (Abb. 6) laufen lediglich an und weisen nur unwesentliche Wärmeeinwirkungsspuren auf. Der Brennerhersteller hat nach der ersten Umbauphase eine robuste Zentrier- und Positioniereinrichtung für die Gaslanzen entwickelt und zum zweiten Umbau realisiert. Dadurch ist die exakte, mittige Ausrichtung der Gaslanze in der Öffnung des Düsensteins möglich. Im Verlauf des Betriebes zwischen dem ersten und zweiten Umbau wurde jedoch festgestellt, dass auch nicht mittig positionierte Gaslanzen fehlerfrei funktionieren.

Während der Brenner-Voruntersuchungen an der GWI-Hochtemperaturversuchsanlage wurde auch das Teillastverhalten der flammenlosen Brenner untersucht. Selbst bei einem Betriebspunkt von lediglich 40% der Auslegungsleistung konnte die gewünschte flammenlose Reaktion festgestellt werden. Dieses gutmütige Teillastverhalten konnte auch im Wannenbetrieb bestätigt werden.

Abb. 6: Nahezu unsichtbare Reaktionszone: flammenloser Brenner im Einsatz



Fazit

Glasproduzenten, die flammenlose Brenner einsetzen, können einer Verschärfung der Emissionsgrenzwerte gelassen entgegensehen – davon sind die Forscher des Gaswärme-Institutes überzeugt. Schon mit der im Forschungsvorhaben nachgerüsteten Glasschmelzwanne war es dem Betreiber möglich, die behördlich genehmigten NO_x-Grenzwerte einzuhalten, auch bei einer deutlichen Steigerung der Produktionskapazität und somit einer erhöhten thermischen Belastung der Wanne. Befürchtungen, die nicht leuchtende Flamme könnte sich nachteilig auf die Produktion auswirken, haben sich nicht bestätigt. Die gleichmäßige Verbrennung nahezu im gesamten Ofenraum gleicht dies aus.

Insgesamt sinkt der Energieverbrauch, wenn Glasschmelzwannen mit flammenlosen Brennern nachgerüstet werden und besonders dann, wenn Wannenneubauten speziell für den Einsatz optimiert werden. Betreiber und Hersteller von Glasschmelzwannen können auf die Forschungsergebnisse zurückgreifen, um Unit-Melter umzurüsten oder neue Ofentypen zu planen und auszulegen. Der Brennerhersteller Hotwork International GmbH entwickelte die Prototypen der Brenner zu einem marktfähigen Produkt weiter, das der Glasindustrie jetzt zur Verfügung steht.

Die Energieeinsparungen verbessern die Wirtschaftlichkeit nicht nur durch vermiedene Brennstoffkosten, sondern auch durch frei werdende CO₂-Emissionshandelszertifikate. Kosten senkend wirkt auch der geringere Staubaustrag, der längere Reinigungsintervalle für die Rekuperatoren zulässt.

Die Anwendung der Technologie ist nicht nur auf Unit-Melter beschränkt. Auch für Oxy-Fuel-Wannen, bei denen Erdgas mit reinem Sauerstoff umgesetzt wird, eignen sich flammenlose Brenner. Die Hersteller und Lieferanten des Sauerstoffes haben bereits großes Interesse signalisiert.

Hohlglas-Produkte sind voluminös, Flachgläser sind schwer und beide sind zerbrechlich. Dies begrenzt die Distanzen, über die Glas ökonomisch transportiert werden kann. Durch die flammenlosen Brenner wird es den Produzenten in Deutschland ermöglicht, Glas zu niedrigeren Energiekosten herzustellen.

PROJEKTADRESSEN

- Gaswärme-Institut e. V. Essen
Dr.-Ing. Ahmad Al-Halbouni
Hafenstraße 101
45356 Essen

Industriepartner

- Osram GmbH
Berliner Allee 65
86136 Augsburg
- Hotwork International GmbH
Am Lindenbrunnen 5
97846 Partenstein

Beratung

- WS Wärmeprozess-technik GmbH
Dornierstraße 14
71272 Renningen

ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

Internet

- www.gwi-essen.de

Literatur

- aswärme-Institut e. V., Essen (Hrsg.); Osram GmbH, Augsburg (Hrsg.); Hotwork International GmbH, Partenstein (Hrsg.): Energieeinsparung und Schadstoffminderung an Glasschmelzwannen mit rekuperativer Luftvorwärmung durch Einsatz der Flammenlosen Oxidation (Glas-FLOX®). Abschlussbericht zum BMWi-Verbundprojekt 0327341. Juli 2007. 46 S.

Abbildungsnachweis

- Abb. 1,4,5,6 : Gaswärme-Institut e. V.
- Abb. 2: Osram GmbH
- Abb. 3: BINE Informationsdienst

Service

- Ergänzende Informationen sind beim BINE Informationsdienst erhältlich oder im Internet unter www.bine.info (Service/Infoplus) abrufbar

Hinweis

- Dieses Projekt wird auch aus Mitteln des Deutschen Vereins des Gas- u. Wasserfaches e. V. (DVGW) und der RWE Rhein-Ruhr AG gefördert.
- FLOX® ist ein eingetragenes Markenzeichen der Firma WS Wärmeprozess-technik GmbH, Renningen.

PROJEKTORGANISATION

- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)
11019 Berlin

Projekträger Jülich
Forschungszentrum Jülich GmbH
Dr. Claus Börner
52425 Jülich

- Förderkennzeichen
0327341

IMPRESSUM

ISSN

0937 – 8367

Version in Englisch

Dieses Projekt-Info bieten wir Ihnen als PDF auch in englischer Sprache unter www.bine.info an.

Herausgeber

FIZ Karlsruhe
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Nachdruck

Nachdruck des Textes nur zulässig bei vollständiger Quellenangabe und gegen Zusendung eines Belegexemplares; Nachdruck der Abbildungen nur mit Zustimmung der jeweils Berechtigten.

Autor

Dr. Franz Meyer

BINE Informationsdienst Kompetenz in Energie

BINE informiert zu Energieeffizienz-technologien und erneuerbaren Energien:

In kostenfreien Broschüren, unter www.bine.info und per Newsletter zeigt BINE, wie sich gute Forschungsideen in der Praxis bewähren.

BINE ist ein vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderter Informationsdienst von FIZ Karlsruhe.

Kontakt

Fragen zu diesem **projektinfo**?
Wir helfen Ihnen weiter:

Tel.: 0228 92379-44

 **BINE**
Informationsdienst

FIZ Karlsruhe, Büro Bonn
Kaiserstraße 185 – 197
53113 Bonn

Tel.: 0228 92379-0
Fax: 0228 92379-29

bine@fiz-karlsruhe.de
www.bine.info