



## Spezialglas energiesparend herstellen

Läutern der Schmelze in ungekühltem Tiegel verbraucht deutlich weniger Energie als bisheriges Verfahren



*Die Herstellung von Glas kostet sehr viel Energie. Sie benötigt, abhängig von der Größe und der Effizienz des Schmelzofens, etwa vier bis neun Gigajoule pro Tonne. Mit einem neuen Verfahren optimieren Forscher der Firma Schott einen Schritt der Herstellung von Spezialgläsern, das sogenannte Läutern der Schmelze. Der Einsatz eines ungekühlten Tiegels spart einerseits rund 40 Prozent der Energie. Andererseits stellen die daraus resultierenden Temperaturen von über 1.750 °C auch extreme Anforderungen an das Material der Anlage. Die Forscher testen, ob sich ein Tiegel aus dem hochwärmefesten Metall Iridium für die Produktion von Spezialgläsern eignet und ob er langlebig genug für den Praxiseinsatz ist.*

Die Prozesse zur Herstellung von Glas erfordern sehr hohe Temperaturen. Deshalb sind sowohl der eigentliche Schmelzprozess als auch die „Klärung“ der zähflüssigen heißen Glasmasse im Läutertiegel sehr energieaufwendig. Um in der Glasschmelze eingeschlossene Blasen auszutreiben, wird die Schmelze auf Temperaturen bis zu 1.600 °C aufgeheizt.

Das vom Glashersteller Schott neu entwickelte Läuterverfahren verzichtet – anders als bisherige Verfahren – auf eine Kühlung des Tiegels. Es erreicht Temperaturen von über 1.750 °C: Damit der Schmelztiegel dieser großen Hitze standhalten kann, wurde er aus dem hochtemperaturfesten Edelmetall Iridium hergestellt. Diese neue Hochtemperatur-Läuterung spart gegenüber der bisher angewandten Technologie etwa 40 % der Energie ein. Pro Jahr und Schmelz-Aggregat mit 50 t/d Durchsatz entspricht das etwa 5.000 MWh elektrische Energie. Diese Einsparungen wurden auf Basis der Technikumsversuche sowie aktueller Produktionsdaten errechnet (Abb. 1).

Dieses Forschungsprojekt wird gefördert vom

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)

### Mit hoher Temperatur Energie sparen

Die Forscher konzentrierten sich auf die wirtschaftlich bedeutenden Borosilicat-Gläser, die oberhalb einer kritischen Temperatur, bei der Glasbestandteile zu verdampfen beginnen, geläutert werden müssen. Die neue Hochtemperaturläuterung liefert bei hochschmelzenden Spezialgläsern neben der erwarteten Energieeinsparung die angestrebte gute Blasenqualität, also ein möglichst blasenfreies Glas.

Damit die erforderliche Läuterwirkung erreicht wird, darf die Eingangsblasenzahl nicht zu hoch werden; optimal sind nach bisherigen Erfahrungen 100 bis 1.000 Blasen pro Kilogramm, was durch die üblichen Einschmelzaggregate in der Regel erreicht wird.

Noch ist die Auswahl der mit dem neuen Verfahren läuterebaren Glasarten eingeschränkt. Es eignet sich zur Läuterung von Alumosilicat-Gläsern. Bei einigen hochschmelzenden Gläsern, insbesondere Borosilicat-Gläsern, liegt die Schwierigkeit darin, dass eine Hochtemperaturläuterung ohne toxische Läutermittel erst bei Temperaturen einsetzt, bei denen einzelne ihrer Glaskomponenten bereits zu verdampfen beginnen. Durch diese Verdampfungsvorgänge setzt eine massive Blasenbildung ein. Diese großen Dampfblasen erreichen bis zu einem Viertel des Tiegeldurchmessers. Sie stören die thermische Konvektion / Strömung im Läuteraggregat so stark, dass ein stabiler Prozess nicht aufrechterhalten werden kann.

Zur Vorbereitung einer optimalen Anlagen- und Tiegelkonzeption ermittelten die Forscher zunächst in Laborversuchen, unter welchen Bedingungen die Verdampfung einsetzt, abhängig von Temperatur und Zusammensetzung der Schmelze. Außerdem stellten sie in einer (mathematischen) Simulation die Strömungsverhältnisse in einem Läutertiegel temperatur- und geometrieabhängig dar.

### Optimale Läuterwirkung durch stabile Konvektion

Im nächsten Schritt modifizierten die Forscher das Anlagenkonzept mit dem Ziel, im Tiegel eine ständige intensive thermische Konvektion zu erzeugen. Diese gleichmäßige Strömung ist Voraussetzung für die Läuterwirkung. Sie muss bei den erforderlichen hohen Temperaturen stabil und störungsfrei aufrechterhalten werden. Weichen die Strömungsmuster vom Optimum ab, dann ergeben sich schlechtere Blasenqualitäten. Für die optimale Funktion der Läuterung müssen Anlagenparameter wie Tiegelgeometrie, Temperaturverteilung und Durchsatz sorgfältig aufeinander abgestimmt werden.

Die Entwickler veränderten die Tiegelgeometrie mit dem Ziel, die thermische Konvektion trotz der störenden Verdampfungsprozesse sicherzustellen.

Im Testlauf blieb der neue Läutertiegel stabil im erwünschten Strömungsmodus, die Eingangsblasen wurden um einen Faktor von mindestens 250 reduziert. Bei borsäurehaltigen Gläsern konnte mit einem Reduzierungsfaktor von ca. 10 phasenweise eine zufriedenstellende Blasenqualität erreicht werden.

Mit der neuen Tiegelform konnte das Problem der durch Verdampfungsvorgänge verursachten starken periodischen Temperaturschwankungen gelöst werden. Es wurde jedoch noch keine zeitlich konstante und ausreichend stabile Blasenqualität erreicht. Als Ursache davon sehen die Forscher eine unerwartete Korrosion des Iridium-Tiegels. Diese bisher noch unverstandenen Korrosions-

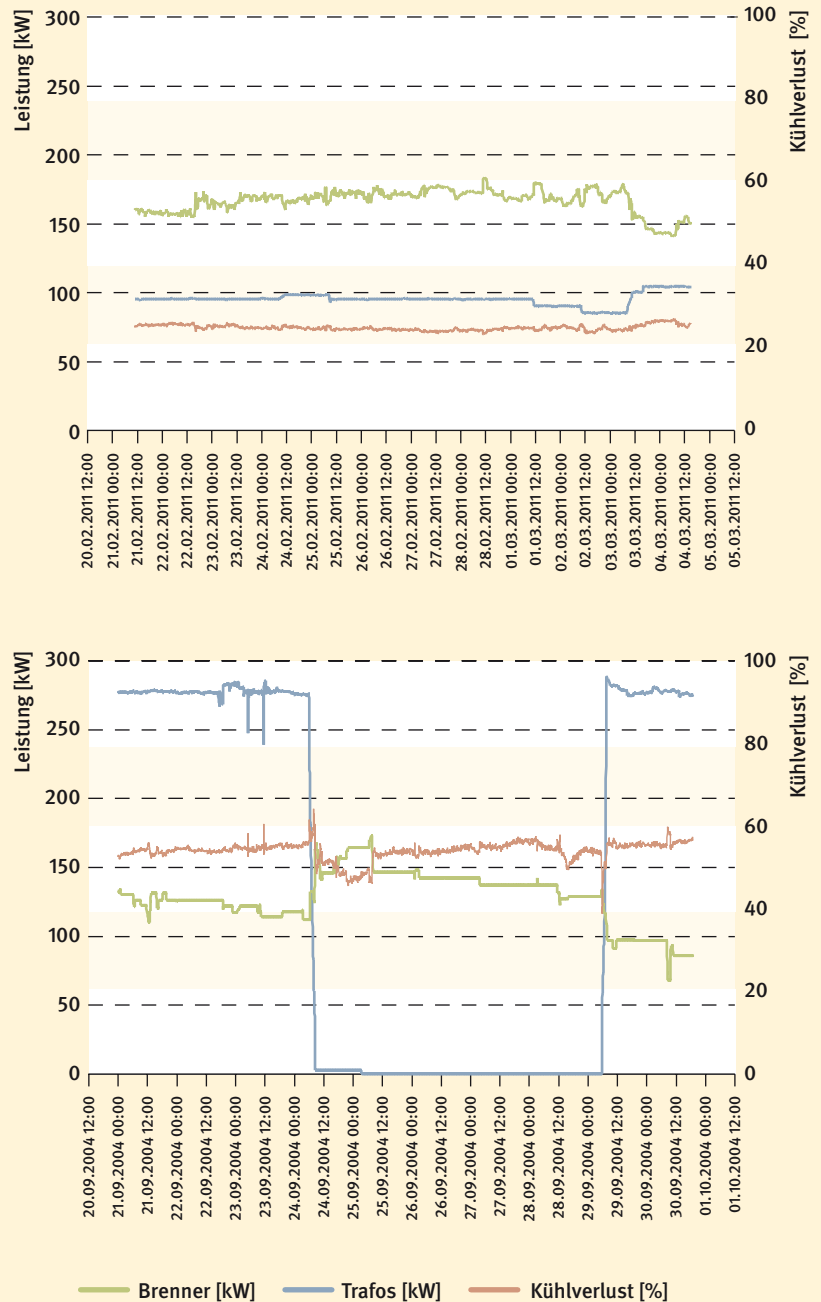


Abb. 1 Vergleich der Energieeinsätze bei der Hochtemperaturläuterung.

Der ungekühlte Iridiumtiegel (oben) verbraucht signifikant weniger elektrische Energie als ein gekühlter Kupfertiegel (unten).

vorgänge schränken die Anwendbarkeit des Verfahrens ein. Die Forscher entwickeln deshalb ein Laborverfahren, mit dem es schnell möglich sein soll, die mit Hochtemperatur läuterebaren Glasarten zu identifizieren.

### Die Haltbarkeit bestimmt die Praxistauglichkeit

Die Wirtschaftlichkeit des neuen Verfahrens hängt entscheidend von der Standzeit des Tiegels ab. Ob sich Iridium für den Einsatzzweck eignet, wurde in mehreren Labor- und Technikumsversuchen überprüft. Es wurde untersucht, wie der Materialabtrag am Iridium-Blech des Tiegels minimiert werden kann. Weiter ging es darum, die Haltbarkeit des Feuerfest-Materials zu verbessern, in das der Iridium-Tiegel eingebettet ist. Ein weiteres Ziel ist es, die Verträglichkeit von Iridium und Feuerfest-Material zu sichern.

Die Forscher konnten nachweisen, dass sich Iridium mit seiner hohen Temperatur- und chemischen Stabilität (Schmelzpunkt 2.454 °C) trotz seiner

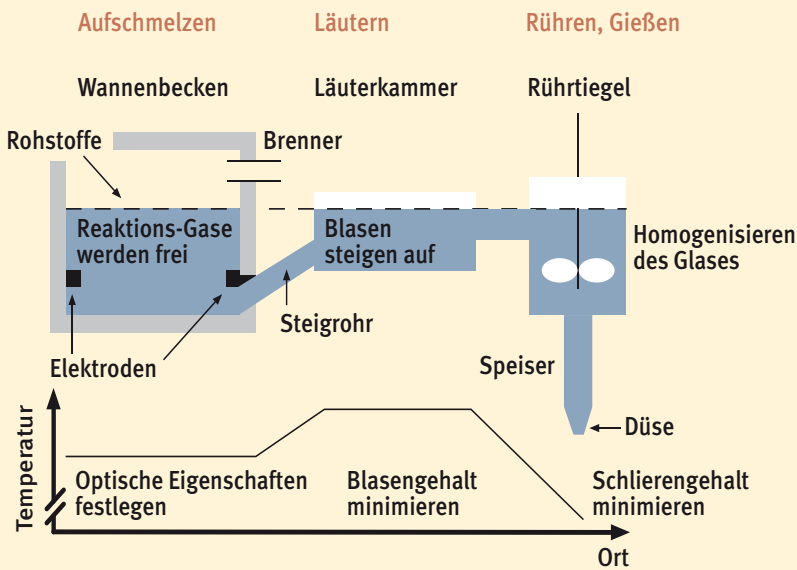


Abb. 2 Schematische Darstellung der Glasherstellung. Im Läutertiegel werden die Gasblasen ausgetrieben.



Abb. 3 Blick in die Schmelzwanne der Microfloatanlage in Jena.

Sprödigkeit und Oxidationsfähigkeit in der Produktion hoch schmelzender Spezialgläser einsetzen lässt. Die Forscher erwarten, dass dies auch für komplexe Tiegel-Geometrien gilt. Da mit dem neuen, energieeffizienten Läuter-Verfahren potenziell sehr hohe Prozesstemperaturen von bis zu 2.000 °C erreicht werden können, klärte das Materialentwicklungslabor des Physikalischen Instituts der Universität Frankfurt die Frage, unter welchen Bedingungen die thermisch gut isolierten, konduktiv beheizten Iridium-Tiegel eine möglichst lange Standzeit erreichen können. Die Forscher untersuchten zu diesem Zweck die Kontaktverträglichkeiten des Iridiums mit den feuerfesten keramischen Umhüllungen sowie den Einfluss der Prozessatmosphäre auf die Tiegelbeständigkeit. Dauertests bei hohen Temperaturen zeigen, dass bei einem gut umhüllten Iridium-Tiegel geringere Metall-Verluste auftreten, als es Literaturangaben für freistehende Iridium-Bauteile erwarten lassen.

## Gläser für besondere Anforderungen

Der größte Teil der heute hergestellten Gläser sind Kalk-Natron-Gläser, aus denen beispielsweise Getränkeflaschen, Lebensmittelverpackungen und Flachglas hergestellt werden. Sie bestehen hauptsächlich aus Siliziumdioxid ( $\text{SiO}_2$ ). Durch Zugabe weiterer Oxide, wie beispielsweise Aluminiumoxid oder verschiedener Alkalioxide, entstehen die Alumo- oder Alkali-Silicatgläser. Für die Einordnung ist entscheidend, welches Oxid mengenmäßig das zweithäufigste im silicatischen Grundglas ist. Borsäurehaltige Gläser enthalten 7 bis 13 % Bortrioxid (Abb. 4).

Borosilicat-Glas wurde vor 120 Jahren vom Chemiker Dr. Otto Schott als Laborglas entwickelt. Es zeichnet sich durch seine hohe Hitze- und Temperaturwechselbeständigkeit, sehr gute chemische Resistenz und mechanische Festigkeit aus. Genutzt werden diese Gläser vor allem in der chemischen Industrie in Produktionsanlagen, in Laboratorien, als Ampullen und Fläschchen in der pharmazeutischen Industrie oder als hochbelastbare Lampengläser. Im Haushalt ist Borosilicat-Glas in Form von „feuerfestem“ Geschirr oder als Innenscheibe von Backöfen zu finden. Es kann auch als Brandschutzverglasung oder als Glas für Photovoltaikmodule eingesetzt werden.

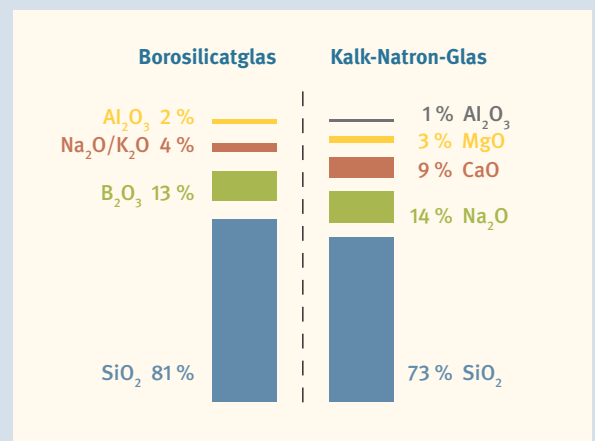


Abb. 4 Glas wird aus den drei Hauptrohstoffen Sand, Soda (als Flussmittel) und Kalk (Kalziumoxid) hergestellt. Diese werden ergänzt durch Zusatzstoffe, wie Schmelz- oder Läutermittel sowie andere Materialien, die dem Glas besondere Eigenschaften geben.

## Läuterung

Während des Aufschmelzens werden Gase in der Schmelze freigesetzt, durch die sich Blasen bilden. Um diese eingeschlossenen Blasen aus der Schmelze auszutreiben, wird diese bei der Läuterung je nach Glaszusammensetzung weiter auf Temperaturen zwischen 1.400 und 1.600 °C aufgeheizt. Bei der Hochtemperaturläuterung von Borosilicat-Glas wird die Schmelze sogar auf über 1.750 °C erhitzt. Durch die Temperaturerhöhung dehnen sich die Blasen aus und können in der jetzt dünnflüssigeren Schmelze aufsteigen und entweichen. Um diesen Vorgang zeitlich zu verkürzen, werden dem Gemenge Läutermittel, zum Beispiel Chloride, zugesetzt. Sie setzen mit steigender Temperatur zusätzliche Gase frei, die in die vorhandenen kleinen Blasen hineindiffundieren. Dadurch steigen die dabei entstehenden größeren Blasen schneller auf. Beim Abkühlen werden in der Glasschmelze verbliebene Läuterblasen wieder resorbiert.





## Glasindustrie produziert energieeffizienter

Die Energiekosten der deutschen Glasindustrie machen knapp ein Viertel des Produktionswertes aus. Mit 85 % deckt Erdgas den Hauptteil des Energieeinsatzes. Der spezifische Energiebedarf der Glasindustrie ist im Zeitraum 1995 bis 2007 von 9,7 GJ/t auf 9,2 GJ/t insgesamt nur wenig gesunken. Hohe Anforderungen an die Produktqualität trugen dazu bei, dass keine stärkere Steigerung der Energieeffizienz erreicht wurde: Während der spezifische Verbrauch bei Hohlglas gesenkt werden konnte, stieg er bei Flachglas, bedingt durch wachsende Qualitätsansprüche der Abnehmer, auf etwa 14 GJ/t. Dennoch besteht wie bei anderen Industrien auch in der Glasindustrie ein beträchtliches Potenzial zur Verbesserung der Energieeffizienz und zur Kosteneinsparung, wenn Energieströme verbessert und bisher nicht genutzte Energien verwertet werden. Experten gehen davon aus, dass 5 bis 10 % der Energie eingespart werden können, wenn es gelingt, Prozessparameter zu optimieren, die Dämmung zu verbessern und strukturelle Verluste zu vermeiden.

So könnte neben dem in diesem Projekt beschrittenen Weg, bei der Läuterung der Glasschmelze auf eine Kühlung des Tiegels zu verzichten, die anfallende Abwärme zum Beispiel dazu genutzt werden, Material und Komponenten vorzuheizen oder Strom zu erzeugen.

Für die Glashütten ergeben sich weitere Einsparpotenziale aus Verbesserungen der Herdprozesse, durch optimierte Nutzung von Abwärme im Betrieb oder im Verbund. Weitere Effizienzsteigerungen werden möglich durch verbesserte Brenner. Hier ist beispielsweise das erprobte Verfahren der flammenlosen Verbrennung mittels Flox-Brennern im Einsatz. Diese Brenner zeichnen sich zudem durch niedrige  $\text{NO}_x$ -Emissionswerte aus. In der Praxis werden verschiedene Einsparmöglichkeiten bereits genutzt, welche sich in den Produktionsprozess integrieren lassen.

Die bei der Glasherstellung anfallende Abwärme der Schmelzwanne kann beispielsweise über Dampfturbinen genutzt werden, mit denen es möglich ist, bis zu 40 % der eingesetzten Energie zurückzugewinnen.

Durch das Vorwärmen von Rohstoffen und recyceltem Altglas lässt sich ebenfalls eine Einsparung von Energie und Kosten erreichen, ohne Einschränkungen bei der Prozessqualität befürchten zu müssen. Eine Glashütte in Nienburg setzt in einem mit Unterstützung durch das Umweltinnovationsprogramm entwickelten Verfahren die Abwärme von Glasschmelzöfen dafür ein, das recycelte Altglas vor der Einbringung in den Ofen vorzuwärmen. Im Sommer senkt dies den für die Glasschmelze erforderlichen Energiebedarf. Im Winter dient es zusätzlich dazu, die im Freien gelagerten Scherben von Eis und Schnee zu befreien, um ein reibungsloses, verstopfungsfreies Funktionieren der Anlage zu gewährleisten. Durch das Verfahren kann der Betrieb pro Jahr etwa 85 Tonnen  $\text{CO}_2$  einsparen.

## Projektbeteiligte

- » **Projektleitung:** SCHOTT AG – Research and Technology Development – Process Development, Mainz, Dr. Norbert Greulich, Norbert.greulich-hickmann@schott.com, www.schott.com

## Links und Literatur

- » Hüttentechnische Vereinigung der Deutschen Glasindustrie (HVG) und Deutsche Glastechnische Gesellschaft (DGG): [www.hvg-dgg.de/home.html](http://www.hvg-dgg.de/home.html)
- » Bundesverband Glasindustrie e. V.: [www.bvglas.de](http://www.bvglas.de)

## Mehr vom BINE Informationsdienst

- » Abwärme zu Strom veredeln. BINE-Projektinfo 13/2011
- » Flammenlose Verbrennung. BINE-Projektinfo 07/2006
- » Dieses Projektinfo gibt es auch online und in englischer Sprache unter [www.bine.info](http://www.bine.info) im Bereich Publikationen/Projektinfos.

BINE Informationsdienst berichtet aus Projekten der Energieforschung in seinen Broschürenreihen und dem Newsletter. Diese erhalten Sie im kostenlosen Abonnement unter [www.bine.info/abo](http://www.bine.info/abo)

## Impressum

**Projektorganisation**  
Bundesministerium  
für Wirtschaft und Energie (BMWi)  
11019 Berlin

Projekträger Jülich  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
Steffen Linsmayer  
52425 Jülich

**Förderkennzeichen**  
0327868A,B

**ISSN**  
0937 - 8367

**Herausgeber**  
FIZ Karlsruhe · Leibniz-Institut  
für Informationsinfrastruktur GmbH  
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1  
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

**Autor**  
Gerhard Hirn

**Urheberrecht**  
Titelbild, Abb. 1 – 4: Schott AG  
Eine Verwendung von Text und  
Abbildungen aus dieser Publikation ist  
nur mit Zustimmung der BINE-Redaktion  
gestattet. Sprechen Sie uns an.

## Kontakt · Info

Fragen zu diesem Projektinfo?  
Wir helfen Ihnen weiter:

**0228 92379-44**  
**[kontakt@bine.info](mailto:kontakt@bine.info)**

**BINE Informationsdienst**  
Energieforschung für die Praxis  
Ein Service von FIZ Karlsruhe

Kaiserstraße 185-197  
53113 Bonn  
[www.bine.info](http://www.bine.info)

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages