

Welches Potential zur Energieeinsparung ist bei modernen
Glasschmelzwannen noch vorhanden?

B. Fleischmann, Hüttentechnische Vereinigung der Deutschen Glasindustrie e.V.,
Offenbach am Main

1. Einführung

Die Preisentwicklung für die verschiedenen Energieträger und der CO₂-Handel sorgen dafür, dass der Energieeffizienz des Glasherstellungsprozess wieder mehr Aufmerksamkeit entgegen gebracht wird. Dabei stehen vor allem vier Fragen im Vordergrund:

1. Was ist der „theoretische“ Energiebedarf zum Schmelzen von Glas oder wo liegt der technologische Mindestbedarf an Energie zur Schmelze von Glas?
2. Wo liegt der Energiebedarf heutiger optimierter Glasschmelzwannen?
3. Wo ist das größte Einsparpotential vorhanden?
4. Wie erreiche ich hinreichend große Energieeinsparungen mit möglichst geringem Investitionsaufwand?

Stille Voraussetzung bzw. Annahme ist dabei, dass das Schmelzaggregat eine regenerativ beheizte Glasschmelzwanne ist, deren Grundlagen auf Friedrich Siemens und seine „Dresdner Wanne“ aus dem Jahr 1867 zurückgeht.

2. Das Schmelzaggregat

Moderne (Behälter-)Glaswannen erreichen zu Beginn ihrer Wannenreise heute Werte um 1 MWh/t_{Glas} [1], technologisch und nicht primärenergetisch betrachtet. Diese Glasschmelzwannen sind das Ergebnis einer über 140-jährigen Entwicklung, an der vor allem in Deutschland seit sehr langer Zeit mitgearbeitet wurde [2].

An einer modernen Glasschmelzwanne sind u.a. folgende wesentliche Punkte umgesetzt, damit der vorher genannte spezifische Energieverbrauch erreicht werden kann:

- ausreichende Isolation aller Außenwände unter Berücksichtigung der maximalen Einsatztemperatur der verwendeten feuerfesten Materialien,
- keine Falschlufteinbrüche in der Wanne und den Regenerativkammern,
- nach heutigem Kenntnisstand optimierte Auslegung und Fahrweise der Verbrennung auch hinsichtlich der primärseitigen Vermeidung von Emissionen an Schadgasen,
- Nutzung optimaler Regelungsstrategien zur Führung des Schmelzaggregats und Einsatz entsprechender Messtechnik,

- Verwendung des für den Einsatzort optimalen feuerfesten Werkstoffes entsprechend den lokalen Randbedingungen bezüglich Temperatur, korrosivem Angriff durch Kontaktmedien, u.a.m.,
- möglichst hoher Scherbeneinsatz sowie an das Schmelzaggregat, Glasprodukt und Formgebungsschritte angepasste Gemengezusammensetzung,
- optimale Auslegung des Schmelzaggregats (Größe, Badtiefe, ...) angepasst an die Glasart, Glasfarbe, Qualitätsanforderungen und
- ausreichende Auslegung des Wärmetauschers (Regenerator).

3. Technologischer Mindestenergiebedarf zum Schmelzen von Glas

Während vor Jahrzehnten der sog. theoretische Energiebedarf nur die chemische Umwandlung und die Erwärmung berücksichtigten [3], werden heute die Gesetzmäßigkeiten der technischen Thermodynamik genutzt, um den technologischen Mindestenergiebedarf zum Schmelzen von Glas mit den aktuellen Schmelzaggregaten zu ermitteln [4]. Berechnet man für ein typisches Natron-Kalk-Silicatglas unter Berücksichtigung der heute üblichen Scherbengehalte für einen realen Glasschmelzofen ohne Vorwärmung von Gemenge und/oder Scherben den minimalen Energiebedarf pro Tonne Glas, so erhält man ebenfalls Werte um $1 \text{ MWh/t}_{\text{Glas}}$.

4. Große Einsparpotentiale moderner Glasschmelzwannen?

Fast alle konventionell (Luft-Brennstoff) beheizten Glasschmelzwannen, die wirklich Energieverbräuche unter $1 \text{ MWh/t}_{\text{Glas}}$ erreicht haben, sind mit einer Gemenge/Scherben-Vorwärmung ausgestattet. Legt man bei der Berechnung des Mindestenergiebedarf eine Vorwärmtemperatur von ca. 300°C zu Grunde, so ergibt sich eine absolute Einsparung von ca. $0,2 \text{ MWh/t}_{\text{Glas}}$. Dies entspricht durchaus den praktischen Erfahrungen, die mit den wenigen bisher installierten Anlagen gemacht wurden. Warum sind dann nicht alle Wannen mit einem Vorwärmer ausgestattet? Hier spielen verschiedenste Punkte eine Rolle:

- Seit der Installation der ersten Anlagen in der zweiten Hälfte der 80-er Jahre des letzten Jahrhunderts hatte sich die Preisentwicklung bzw. der Kostenanteil für Energieträger so entwickelt, dass der Investitionsaufwand oft ein Hindernis war.
- Die Installation eines Vorwärmers ist mit nicht unerheblichen Umbaumaßnahmen an der Wanne im Rahmen einer Wannenreparatur verbunden, wobei der für das Aggregat nötige Platz in älteren Werken oft nicht so ohne weiteres zur Verfügung steht.
- Das Problem, dass möglicherweise zusätzliche und erhöhte Verstaubungsneigung im Schmelzaggregat und im besonderen in den Regeneratorkammern zu einem erhöhten Verschleiß führen sowie der Wirkungsgrad der Kammern frühzeitig zu sinken beginnt, ist noch nicht in allen Fällen gelöst und wird zur Zeit von verschiedenen Institutionen und Firmen bearbeitet.

Auf Grund der ständig steigenden Energiepreise und der erkennbaren Kosten des CO₂-Handels sind jedoch auch etwas kostenintensivere Maßnahmen zur Senkung des Energiebedarfs in den Fokus des Interesse gerückt, wenn sie einen entsprechend großen Beitrag leisten können. In absoluten Zahlen gesehen trifft dies für die Gemenge/Scherben-Vorwärmung sicher zu, wenn man darauf achtet, dass in Folge dieser Maßnahmen die Energieeffizienz des Gesamtaggregates nicht an anderer Stelle verschlechtert wird.

Bei der thermodynamischen Berechnung des Energiebedarfs zeigt auch der Einsatz von Scherben einen entsprechend deutlichen Minderungseffekt. Im Behälterglasbereich ist inzwischen aber oft die Verfügbarkeit von qualitativ guten, sprich sauberen Scherben das Problem. Bei anderen Glasprodukten mit anderen qualitativen Anforderungen kann auf dem Papier der Scherbengehalt zwar erhöht werden, jedoch spielt auch hier die Verfügbarkeit von Scherben mit einer bestimmten Zusammensetzung und in einer entsprechenden Qualität eine wesentliche Rolle. In absoluten Zahlen geht man von 0,02 – 0,03 MWh/t_{Glas} Energieersparnis für einen um 10% erhöhten Scherbenzusatz aus [1, 5]. Diese Energieersparnis ist jedoch abhängig von der Glasart, dem Ausgangslevel an Scherbenzusatz u.a.m.

Wie in vielen energieintensiven Industriezweigen wird auf Grund der aktuellen Rahmenbedingungen auch wieder intensiv über die Wärmerückgewinnung des restlichen Energiegehalts der Abgase nachgedacht. Hierbei ist daran zu erinnern, dass die Nutzung eines Regenerators oder eines Rekuperators der erste und wichtigste Schritt ist, den die Glasindustrie seit über 140 Jahren nutzt und für ihre Schmelzwannen auch optimal ausgestaltet hat, wenn es die baulichen, finanziellen und technischen Umstände am Standort zulassen. Eine weitere Nutzung des restlichen Wärmeinhalts ist sicher sinnvoll, ist aber auch durch die Beschränkung, bestimmte Temperaturfenster auf Grund schon nachgeschalteter Anlagen zur Abgasreinigung zu berücksichtigen, nicht immer einfach in bestehende Prozessketten zu integrieren. Die Energieersparnis dürfte bei der Integration von neuen Maßnahmen zur Nutzung des restlichen Wärmeinhalts des Abgases in bestehende Prozessketten ca. 0,1 MWh/t_{Glas} nicht überschreiten. Wenn die Möglichkeit besteht, die gesamte Prozesskette neu zu strukturieren bzw. eine Neuanlage zu erstellen, sollte eine Energieersparnis bis 0,2 MWh/t_{Glas} möglich sein. Auch wenn die Nutzung der Abgasenergie innerhalb des Werkes vorzuziehen ist, kann eine Lieferung in externe, bestehende (Wärme-)Netze durchaus sinnvoll und finanziell lohnend sein.

5. „Kleine“ Energieersparnis

Die Erfahrungen der letzten Jahre haben immer wieder gezeigt, dass auch Maßnahmen, welche die Energieersparnis nicht zum Anlass hatten, trotzdem einen positiven Einfluss auf den Energieverbrauch zeigten. Durch z.B. verbesserte Regelungsstrategien, die zur Beruhigung der Prozessparameter und zur Erhöhung der Prozessstabilität eingesetzt wurden, erreichte man als „Nebeneffekt“ auch eine gerade so erkennbaren Einfluss auf den Energieverbrauch. Viele solche kleinen Schritte führen in Summe ebenfalls zu einer Energieersparnis von 2- 5%.

Optimierungsmaßnahmen bezüglich der Verbrennungstechnik (Brennstoffstufung [6, 7], FLOX-Brenner [8], ...) wurden in den letzten Jahren untersucht und an Industrieanlagen umgesetzt. Hierbei wurden immer die beiden Ziele, Minderung der Emissionen und Energieersparnis, zusammen bearbeitet. Die Brennstoffstufung ergab beim mehrmonatigen Testlauf eine Verminderung des Energieverbrauchs um 2 – 3 % an einer energetisch bereits sehr effizienten Glasschmelzwanne.

6. Zusammenfassung

Berechnungen bzw. Abschätzungen des minimalen technologischen Energiebedarfs zur Schmelze von Glas zeigen, dass moderne regenerativ beheizte Glasschmelzöfen zur Herstellung von Behälterglas diesen Wert zu Beginn ihrer Wannenreise so gut wie erreicht haben. In die Berechnung gehen auch Faktoren ein, welche die Qualitätsanforderungen an das fertige Produkt berücksichtigen [4]. Wendet man dies auf andere Glasprodukte an, so ergibt sich auch hier, dass sich der Verbrauch zu Beginn der Wannenreise bei modernen Glasschmelzaggregaten unter Berücksichtigung der Glasart und der von den Kunden vorgegebenen Qualitätsanforderungen dem damit errechneten technologischen Mindestbedarf sehr weit genähert haben. Dies bedeutet jedoch auch, dass bei der Betrachtung der Energieeffizienz von Glasschmelzaggregaten, die Glasart und das Produkt sowie der Herstellungsprozess berücksichtigt werden muss und somit eine branchenspezifische Betrachtung (Behälterglas, Flachglas, Wirtschaftsglas, ...) absolut nötig ist.

Die Vorwärmung von Gemenge und/oder Scherben kann als Einzelschritt bei diesen Aggregaten noch einmal eine deutliche Energieeinsparung erzielen, wie Berechnungen und Erfahrungen mit bereits installierten Vorwärmern belegen. Die Abwärmenutzung und die Erhöhung des Scherbengehalts zeigen ein deutlich verringertes Potential zur Energieeinsparung. Viele Maßnahmen, die aus anderen Gründen vorgenommen werden, führten in den letzten Jahren jedoch auch zu einer Verminderung des Energiebedarfs, wobei es oft erst durch mehrere Maßnahmen zu einer merklichen Minderung kommt, die im „Rauschen“ der täglichen Schwankungen erkennbar ist.

7. Literatur

- [1] van Limpt, H.: Energy efficiency in the glass production. HVG-Fortbildungskurs 2010: Energieverbrauch und Energierückgewinnung in der Glasindustrie. 22./23. November 2010. Verlag der DGG, Offenbach am Main. 2010.
- [2] Fleischmann, B.: Die geschichtliche Entwicklung des spezifischen Energiebedarfs der deutschen Glasindustrie. Geplant: DGG-Journal 10(2011)4.
- [3] Kröger, C.: Theoretischer Wärmebedarf der Glasschmelzprozesse. Glastechn. Ber. 26(1953)7,202-214.
- [4] Conradt, R.: Zur Darstellung des Energieverbrauchs von Glasschmelzwannen. DGG Glasjournal 4(2005)6, 6- 9.

- [5] Trier, W.: Glasschmelzöfen – Konstruktion und Betriebsweise. Springer Verlag, Berlin. 1984.
- [6] Fleischmann, B.; Scherello, A.: „Spektral“ Verbesserung des Wärmeeintrags in die Glasschmelze unter Ausnutzung der spektralen Wärmestrahlung durch gezielte Brenneinstellungen zur Steigerung der Glasqualität . AiF-Forschungsvorhaben Nr. 80ZN. Abschlussbericht. 2005.
- [7] Fleischmann, B.; Giese, A.: Spektral 2: Verbesserung des direkten Wärmeeintrages in die Glasschmelze durch Optimierung der Verbrennungsparameter bei unterschiedlichen Befeuerungsarten. AiF-Forschungsvorhaben Nr. 15015 N. Abschlussbericht. 2009.
- [8] Scherello, A. et al.: Flammenlose Oxidation bei rekuperativ-seitenbeheizten Glasschmelzwannen. 81. Glastechnische Tagung in Aachen vom 4. bis 6. Juni 2007. CD: Kurzfassungen und Referate zur 81. Glastechnischen Tagung.