

HVG-Mitteilung Nr. 2130

Auf der Suche nach der richtigen Schmelztechnologie für Photovoltaikgläser

H. Hessenkemper, Institut für Keramik, Glas- und Baustofftechnik,
TU Bergakademie Freiberg

Vortrag im Fachausschuss II der DGG am 11. März 2008 in Würzburg

1. Einleitung

Die Photovoltaikindustrie erlebt gegenwärtig weltweit einen ungeahnten Boom, wobei in den nächsten Jahren eine neue Produktionskapazität von gut 20 GW Peak auf den Markt kommen wird. Dies bedeutet einen zusätzlichen Glasbedarf von etwa 2 Millionen Tonnen sehr eisenarmes Flachglas und es bestehen erhebliche Bedenken hinsichtlich der Verfügbarkeit und Preise. Gerade letztere Frage gewinnt eine zunehmende strategische Bedeutung, da im Zuge der dramatischen Kostensenkungen für Module in der Zukunft Glas zum Hauptkostenfaktor werden kann. Dabei kommt der Wahl der Herstellungstechnologie im Flachglasbereich eine strategische Bedeutung zu, wobei Floatglas für die meisten Anwendungen die falsche Wahl ist. Ein Vergleich der Kosten und der Eigenschaften zeigt, dass hier z.B. Walzglaswanen deutliche Vorteile bieten bis hin zu neuen Logistikkonzepten, bei denen nur noch Rohstoffe und Energie herein und Photovoltaikmodule herauskommen. In Verbindung mit neuen preisgünstigen Technologien zum thermischen Härten dünner Gläser (< 2 mm) in ESG Glasqualität mit parallel optimierter Oberflächenqualität (chemische Beständigkeit, optische und mechanische Eigenschaften) sind allerdings von der Glasseite Werkzeuge vorhanden, die wesentliche Kostensenkungspotentiale bei verbesserten Eigenschaften der dynamischen Photovoltaikindustrie, sowie den thermischen Solaranlagen und dem Gewächshausbau anbieten und damit auch der Glasbranche zu erheblichen Marktpotenzialen verhelfen.

Von Gläsern für die Photovoltaik werden unterschiedliche Eigenschaftsprofile erwartet. Hierbei sollen insbesondere die Halbleitermaterialien vor äußeren mechanischen und chemischen Angriffen, insbesondere Wasser, geschützt werden. Dabei sollen für eine lange Lebensdauer der Module die optischen Eigenschaften erhalten bleiben, da nur die Strahlungsenergie, die auf die Halbleiter trifft, auch für die Umwandlung in elektrische Energie zur Verfügung steht. Daraus folgt, dass die Transmissionseigenschaften optimiert werden müssen sowie langzeitstabile Antireflexschichten anzustreben sind. Insbesondere bei der Lichtabsorption im Glas ist der relevante Spektralbereich zu beachten, der für Photovoltaikanwendungen mit einer wellenlängenabhängigen Wichtung im Wesentlichen im Bereich zwischen 400 nm-1300 nm liegt. Für die Strahlungsabsorption im Glas gilt das Lambert-Beer Gesetz

$$I = I_0 \exp(-\epsilon cd) \quad (1)$$

mit I als durchgehende Intensität ohne Berücksichtigung von Reflexionsverlusten, wobei die Betrachtung jeweils wellenlängenabhängig ist, mit I_0 als Ausgangsintensität, E als glasabhängiger Extinktionskoeffizient, c als Konzentration der absorbierenden Spezies und d als Glasdicke.

Daraus ergeben sich wesentliche technologische Schlussfolgerungen. Betrachtet man das Transmissionsspektrum von Floatglas im Bild 1, so wird deutlich, dass insbesondere das Fe^{2+} ein Problem darstellt. Es werden neben insgesamt eisenarmen Gläsern insbesondere zusätzlich Fe^{2+} -reduzierte, d.h. oxidierte Gläser benötigt.

Gerade beim Floatprozess sind allerdings diese Qualitätsanforderungen nicht erfüllt, da in der Floatkammer durch die stark reduzierenden Bedingungen der Atmosphäre und des Zinnbades das $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ Verhältnis unabhängig von der Ausgangssituation integral um etwa 30 % zu dem nicht erwünschten reduzierenden Zustand verschoben wird. Je dünner das Floatglas wird, umso intensiver ist dieser Effekt. Geht man in Gleichung 1, so wird deutlich, dass die Dicke des Glases eine identische Wirkung wie die Konzentration der absorbierenden Spezies hat. Die neu in der Entwicklung befindlichen Verfahren zur Herstellung von Einscheibensicherheitsglas von unter 2 mm Dicke mit mindestens 120 MPa Druckspannungen in der Oberfläche ermöglichen somit, gleiche optische Eigenschaften mit 100 % höherem Fe^{2+} Gehalt zu erhalten. Die Aussagen sind im Bild 2 zusammengefasst. Erwähnt werden sollte ebenfalls, dass das Erschmelzen sehr eisenarmer Gläser durchaus technische Schwierigkeiten induzieren kann.

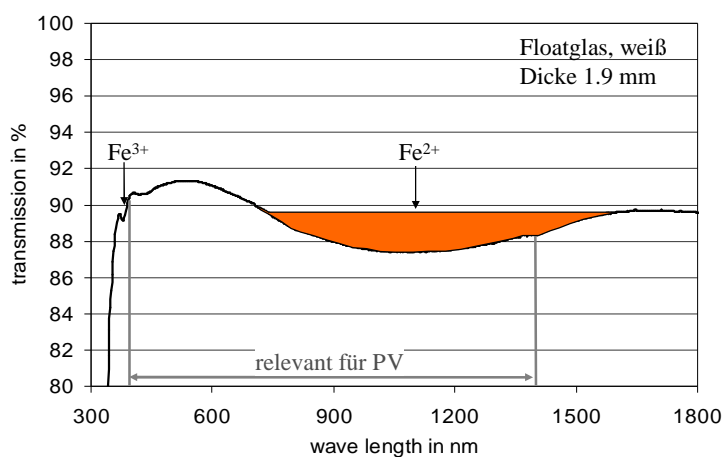
Da in den nächsten Jahren abhängig von verschiedenen Entwicklungen bis zu 2 Millionen Tonnen sehr eisenarmes Flachglas zusätzlich für die Photovoltaik benötigt wird mit zukünftig noch weiter rasant steigendem Bedarf, kommt neben der Frage zur Produktionskapazität insbesondere die Frage nach Preis und Verfügbarkeit der eisenarmen Rohstoffe in den Vordergrund. Schon aus diesen Gründen ist Floatglas die schlechtere Wahl. Zwar werden gute Resultate hinsichtlich z.B. Planität und Blasenqualität erzeugt, es bleibt aber fraglich, ob diese Werte von Relevanz sind im Vergleich zu den systembedingt schlechteren Absorptionseigenschaften z.B. im Vergleich zu Walzglas. Floatglas wird allerdings darüber hinaus zu einer strategischen Fehlentscheidung, wenn man die Kostensituation betrachtet. Betrachtet man die anteiligen Glaskosten am Photovoltaik-Modul heute, so sind es knapp 5 % bei der klassischen Siliziumtechnologie. Bei Dünnschichttechnologien kann dieser Kostenanteil schon heute 20 % betragen. Spätestens 2015 sollen die Modul-Preise auf ein Drittel der heutigen Preise fallen. Bei gleich bleibender Kostensituation würde der Preisanteil des Glases dann 15 % bzw. bis 60 % betragen. Nur deuten die Energiekosten und die Entwicklung der Preise für eisenarme Rohstoffe eher darauf hin, dass die Glaspreise weiter steigen werden. All dies verdeutlicht, dass die Kostenfrage für Glas eine strategische Bedeutung besitzt für die Photovoltaikindustrie, und hierfür ist die Floattechnologie die völlig falsche Wahl.

Nach einem von Beerkens/TNO durchgeführten Benchmarking [1] liegt der durchschnittliche Energiebedarf pro Tonne Glas bei einer U-Flammenwanne bei 3,62 GJ, während er bei Floatglas bei 6,48 GJ liegt, d.h. gut 80 % höher. Der Energieanteil bei den Kosten liegt beim Floatglas jetzt bei etwa 30 %. Schon damit wäre ein aus einer U-Flammenwanne gespeiste Walzglasproduktion um 17% kostengünstiger. Hinzu kommen erheblich niedrigere Investitionskosten durch den Fortfall der Floatkammer und die höhere spezifische Schmelzleistung pro m^2 Schmelzfläche bei einer U-Flammenwanne. Nimmt man noch die anderen erhöhten Betriebs- und Wartungskosten bei der Floatglasproduktion hinzu (N_2/H_2 Verbrauch, bis zu 4 MW installierte elektrische Leistung in der Floatkammer mit etwa 1/3 hiervon durchschnittlicher Dauerverbrauch, Zinnkosten, 30 % weniger Eisen in den Rohstoffen bei gleicher Absorption bei gleicher Dicke), so wird erkennbar, dass das Kosteneinsparungspotential zukünftig in der Größenordnung von 50 % liegt bei der richtigen Wahl der Glasherstellung. Für beide Produktionen würde eine Verringerung der Glasdicke, wie sie z.B. bei 2 mm ESG Glas ermöglicht würde, eine weitere Kostensenkung im Bereich von 30 % bedeuten.

Ein weiterer Aspekt, der gegen Floatglas spricht, ist in der Größe der notwendigen Anlagen zu sehen, mit denen ökonomisch produziert werden kann. Floatanlagen mit 400 Tagestonnen sind hier eher kleine Aggregate, haben aber mit gut 140.000 Jahrestonnen die Kapazität um mindestens fünf große Photovoltaikwerke bedienen zu können. Dies führt zu der heute üblichen Situation: Ein Glaswerk liefert die Standardscheiben an verschiedene Weiterverarbeiter, wo das Glas konfektioniert und Kantenbearbeitet wird, anschließend in einen ESG Prozess gebracht wird, wo die Scheiben auf etwa 680 °C neu erhitzt werden, um dann mit Luftduschen thermisch gehärtet zu werden. Danach werden die Scheiben z.B. an die Photovoltaikindustrie geliefert. Es liegen keine verlässlichen Vollkostenzahlen über diesen logistischen Unsinn vor, sie dürften aber erheblich sein. Zusätzlich ist dieses Prozedere immer mit Risiken für die Qualität verbunden. Mit einer U-Flammenwanne mit einer Jahreskapazität von 20.000-30.000 Tonnen eröffnet sich nun zusätzlich die in Bild 3 dargestellte Perspektive: Nur noch Rohstoffe und Energie werden in ein Werk eingespeist und fertige Module kommen heraus, ohne logistische Aufwendungen und die Möglichkeit, verschiedenste Synergien z.B. energetischer Art zu nutzen. Es werden nicht nur bei der Glasherstellung deutlich geringere Kosten anfallen, vielmehr wird das Glas nach dem Walzprozess nicht mehr einen Kühllofen durchlaufen, sondern heiß getrennt und konfektioniert. Anschließend wird es dann dem im Glasing Projekt (Internetadresse) entwickelten Verfahren zur Herstellung von dünnen ESG Gläsern (<2 mm) mit optisch und chemisch verbesserten Oberflächen in einem Flüssigphasenkühlprozess online unterworfen. Danach gehen die Gläser direkt in die Photovoltaikproduktion.

Damit würde in dieser stark expandierenden Industrie der Photovoltaik vom Glas, dem im steigenden Maße eine strategische Bedeutung zukommt, bei deutlich verbesserten Produkteigenschaften ein potentiell Kostensenkungspotential ausgehen, das die jetzigen Systempreise für Glas auf deutlich unter einem Drittel der bisherigen Kosten senken würde.

[1] Beerkens: XXI A.T.I.V. Conference Parma-21/22 September 2006.



➔ Fe²⁺ -Konzentration ist der dominierende Parameter,
nicht der Gesamteisenhalt der Rohstoffe

Bild 1: Transmissionsspektrum von Floatglas.

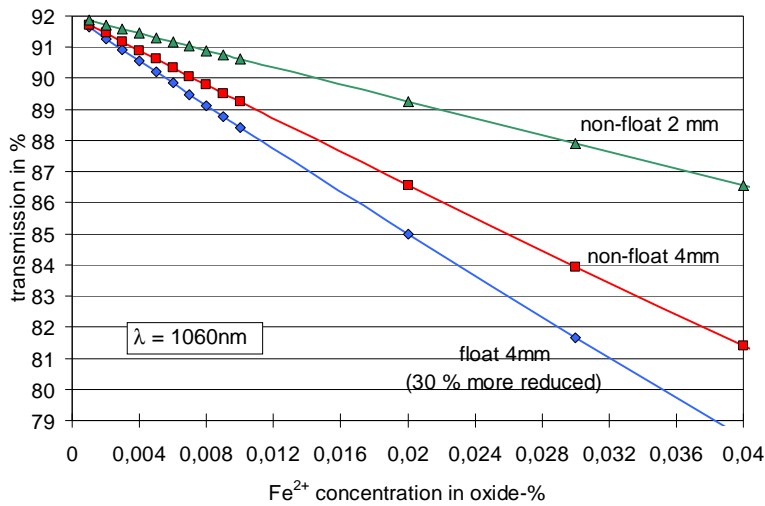
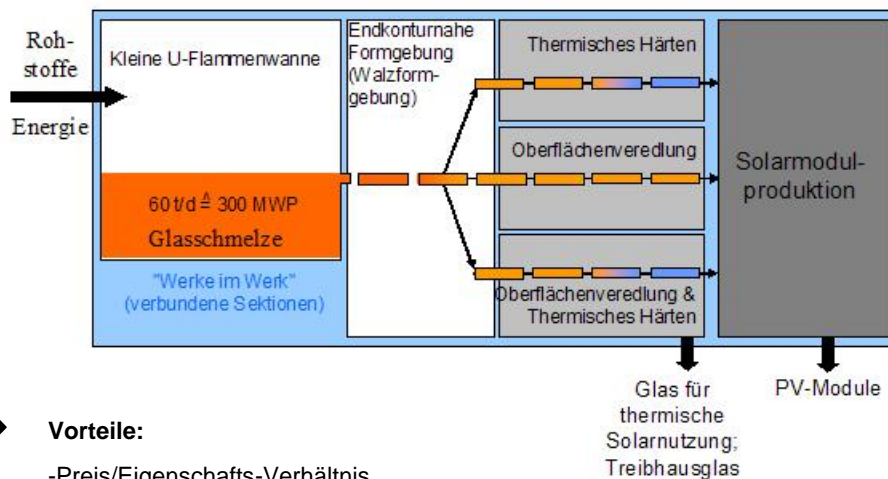


Bild 2: Abhängigkeit der Transmission von der Fe²⁺-Konzentration.



- ➔ **Vorteile:**
- Preis/Eigenschafts-Verhältnis
 - deutliche niedrigere logistische Kosten
 - Synergien (Energieeinsparungen)
 - optische Eigenschaften

Bild 3: Walzglas und Integration des kompletten Prozesses in einem Werk.