

### Neue Möglichkeiten für Konstruktion und Architektur

# Gebogenes Glas – Herstellung und Statik

Die Kunst des Glasbiegens ist in Europa schon über 200 Jahre alt. In der Literatur ist nachzulesen, daß die ersten gebogenen Gläser Anfang 1800 in England hergestellt wurden. Um 1850 gab es in und um London ca. 50 kleine Glasbiegereien. Über 110 Jahre später – Mitte der 60er Jahre – wurde in Finnland die sogenannte Biegerahmentechnologie entwickelt, eine Biegetechnik, die revolutionär für die Herstellung von Windschutzscheiben aus Verbundsicherheitsglas (VSG) war.

Heute wird diese Biegemethode weltweit bei allen Windschutzscheibenherstellern angewendet. Durch diese Entwicklung wuchs die heute zur Pilkington-Gruppe gehörende Lamino Oy zu einem der führenden Produzenten für Windschutzscheiben in Europa heran. In dieser starken Wachstumsphase verließen einige bekannte Glasppezialisten Lamino Oy, um eigene Firmen zu gründen. Das war der Anfang einer vielfältigen und starken finnischen Glasveredelungsindustrie.

Heute zählen die finnischen Unternehmen Tambest Oy, ihre Schwesterfirma Glassrobots, Lamino Oy, Uni-glass Engineering und die Tamglass Engineering, die sich mit der Glasveredelung und der Herstellung von Maschinen für die Glasindustrie befassen, zu den weltweit führenden Unternehmen für Sicherheitsglastechnologien.

Das Prinzip des Glasbiegens von Architekturgläsern hat sich seit dieser Zeit entwickelt. So kann man heute sagen, daß das Know-how und die



Bild 1: Gebogenes Glas eröffnet der Architektur neue Möglichkeiten

Erfahrung der Tambest-Spezialisten ein 35 Jahre alter Wissens-Schatz ist.

### *Biegeprozeß*

Seit dem ersten Glasbiegen in England Anfang des letzten Jahrhunderts hat sich das Prinzip des Glasbiegens nicht grundlegend verändert. Immer noch benötigt der Glasbieger einen Biegeofen und eine Biegeform. Genau wie in früheren Zeiten wird heutzutage eine plane Glasscheibe auf die Biegeform gelegt und dann in

einem Biegeofen so lange erwärmt, bis der Erweichungspunkt des Glases erreicht ist, um sich danach zu verformen.

Natürlich haben sich die Technologien für das Aufheizen und Biegen bis heute weiterentwickelt. Heute (Bild 2) werden die meisten Biegeöfen elektrisch beheizt und bestehen aus hitzebeständigen und modernen Feuerfestmaterialien. Die Biegeöfen bei

Tambest sind in der Regel Wärme-strahlungsöfen, bestückt mit vielen elektrischen Heizwendeln und Ther-moelementen, die mittels einer moder-nen Rechnersteuerung dafür sorgen, daß die gewünschten unterschiedli-chen Glasarten und Glasdicken die erforderliche Aufheizung erhalten.

Die Biegeformen bestehen heute aus speziellen Materialien mit hoher Temperaturwechselbeständigkeit, wo-durch garantiert wird, daß es durch das dauernde Auf- und Abkühlen während des Biegeprozesses keine Veränderungen an der geometrischen Form dieser Vorrichtungen gibt. Im Biegeofen wird die Glastemperatur gleichmäßig auf ca. 620 °C gesteigert. Da Glas ein amorphes Material ist, wird es beim Erreichen der Erwei-chungstemperatur weich und paßt sich der vorhandenen Form an. Wenn die gewünschte Glasgeometrie erreicht worden ist, wird das Glas im Biege-ofen sehr langsam und kontrolliert auf Raumtemperatur abgekühlt. Für die Herstellung von gebogenen Float-glasscheiben (Bild 3) ist eine gleich-mäßige und programmgeführte Ab-kühlung eine wichtige Voraussetzung,



Bild 2: Die Herstellung gebogener Float-glasscheiben ist nicht unproblematisch



Bild 3: Hohe Fer-tigungsqualität und neue Biegefor-men sind wesentli-che Anforderungen

um keine inneren Restspannungen im Glas zu erhalten, die für die Belast-barkeit und Optik des später am Bau-werk eingesetzten Glases negativ in Erscheinung treten.

### Glasarten

Eine hochwertige Biegeformentechno-logie ist die wichtigste Grundvoraus-setzung für eine sehr gute Glasbiege-qualität. Des weiteren ist eine lang-jährige Erfahrung im Biegen von Glas und das Know-how zur Einstellung der Ofenparameter unabdingbar, um die richtigen Biegetemperaturen und den Startpunkt des Abkühlprozesses einzugeben und zu optimieren. Neben den unterschiedlichen Glasarten be-influssen auch die Glasdicke, Schei-bengröße und der Biegewinkel diese Ofensteuerungsparameter. Bislang wurde festgestellt, daß sich keine ma-gnetron-beschichteten Sonnen- und Wärmefunktionsgläser zu gebogenem Glas verarbeiten lassen. Hingegen ist das Biegen von hartbeschichteten Gläsern, die in einem pyrolytischen Verfahren hergestellt werden, kein Problem. So ist bei der Kombination von planen und gebogenen Isolierver-glasungen zu beachten, daß es pro-duktionsbedingt Unterschiede in den strahlungstechnischen Werten (Trans-mission, Reflektion, Absorption) des Glases mit Auswirkungen auf den  $k_v$ -Wert, g-Wert etc. gibt. Der zur Zeit bestmöglich erreichbare  $k_v$ -Wert einer gebogenen Isolierverglasung liegt bei 1,5 W/m<sup>2</sup>K.

### Toleranzen, optische Qualität

Neben der optimalen Aufheizphase ist die Steuerung des Abkühlprozesses ein wichtiger Faktor, der für die opti-sche Qualität und die Herstellungsto-leranzen von entscheidender Bedeu-tung ist. Eine verzerrungsfreie opti-sche Qualität, kleine Herstellungsto-leranzen und die immer neuen Produkte, die von Architekten ver-langt werden, sind die Schwerpunkte der stetigen Produktentwicklung bei Tambest.

Verzerrungen an gebogenen Gläsern gehören der Vergangenheit an. Die Herstellungstoleranzen von nur eini-gen Millimetern im gesamten Dimen-sionsbereich, wie Abwicklungslänge, Geradheit der Kanten, Torrosions- und Formabweichungen – sogar bei großflächigen und dicken Scheiben – bedeuten für den Kunden eine optisch einwandfreie, langlebige gebogene Verglasung (Bild 1). Neue Endproduk-te werden zusammen mit Hochschulen und Forschungsinstituten entwickelt, wie z. B. die Einbettung von Holo-grammfilmen in gebogenem Verbund-sicherheitsglas, z. B. zur Lichtlenkung.

### Biegeformen, Dimensionen, Größen

Welche Glasbiegeformen sind für den Architekturbereich üblich und was ist technisch machbar?

## Zylindrische Biegung (Bild 4)

Die häufigste Biegeform ist die zylindrische Biegung, d. h., das Glas hat die Abwicklung eines Kreisbogens. Es wird von einer Standardbiegung gesprochen, wenn der Biegewinkel  $< 90$  Grad beträgt. Aus Sicht des Glasbiegers müssen bei der Herstellung der gebogenen Scheibe mehrere Faktoren geprüft werden, die alle gleichzeitig miteinander in Abhängigkeit stehen. Dies sind der Biegewinkel, die Stichhöhe, Glasgröße, Glasdicke, der Glasaufbau sowie das Verhältnis zwischen Abwicklung und Länge (Höhe) der Glasscheibe. Als Hinweis für die Abhängigkeit zwischen Glasdicke und Biegewinkel sollte man sich merken, daß bei großen Biegewinkeln es fertigungstechnisch einfacher ist, zwei

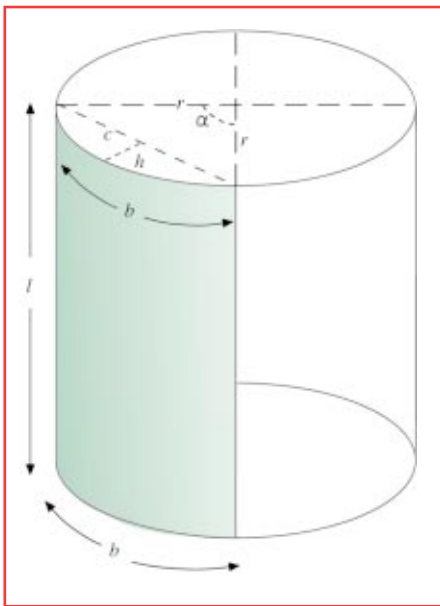


Bild 4: Darstellung zylindrischer Formgebung

dünne Gläser zu VSG zu laminieren, als eine gleichdicke Monoscheibe. Diese variablen Faktoren wirken miteinander und entscheiden über die fertigungstechnische Machbarkeit oder einen architektonischen Kompromiß, der im Vorfeld zu prüfen ist.

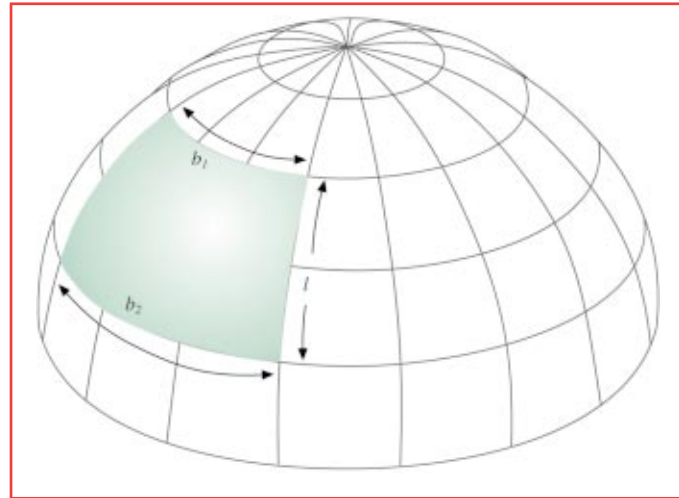


Bild 5: Darstellung sphärischer Formgebung

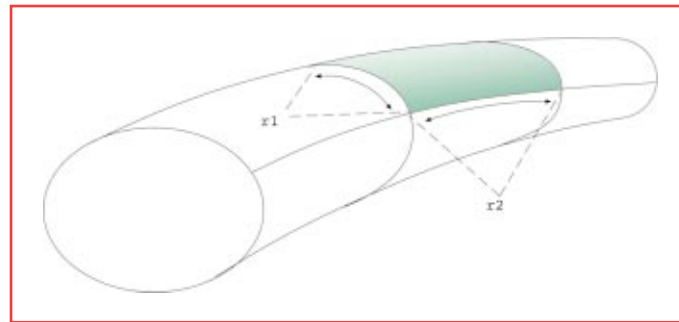


Bild 6: Darstellung asphärischer Formgebung

Der Glaslieferant sollte aus eben diesen Gründen bereits im frühen Planungsstadium einbezogen werden, wenn es sich um Fragen hinsichtlich der vorhandenen Ofenkapazitäten, herstellbaren Glasgrößen und Glasprodukte (Floatglas, TVG, ESG und deren Weiterverarbeitung zu VSG oder Isolierglas) geht.

Für zylindrisch gebogene Gläser beträgt die maximale Glasgröße bei Tambest zur Zeit  $4,4 \times 2,5$  m. Da der heutige Trend in der Glasarchitektur sich aber an immer größeren Formaten zu orientieren scheint, wird Tambest noch in diesem Jahr einen Jumbobiegeofen mit maximal verarbeitbarer Glasgröße von  $6,0 \times 3,21$  m in Betrieb nehmen.

Die zylindrischen Biegungen sind aus allen marktgängigen Glasarten erhältlich: In Einfachverglasungen aus Floatglas, ESG und TVG auch kombiniert zu VSG, sowie Isolierverglasungen mit Anforderungen an den Wärme-, Sonnen- und Schallschutz.

Von Sonderbiegungen spricht man, wenn es um sphärische, asphärische („Bananenbiegung“) oder konische Biegungen geht.

## Sphärische Biegung (Bild 5)

Das sphärisch gebogene Glas ist eine Teiloberfläche einer Kuppel bzw. Kugel. In der sphärischen Form biegt sich das Glas mit gleichem Radius in X-Richtung und Y-Richtung. Der maximale Biegewinkel bei sphärischen Biegungen beträgt ca.  $30^\circ$  bei einem maximalen Glasformat bis zu ca.  $2 \times 2$  m. Es können sphärische Biegungen auch für Isoliergläser mit VSG, Sonnen- und Wärmeschutzeigenschaften bei Tambest hergestellt werden.

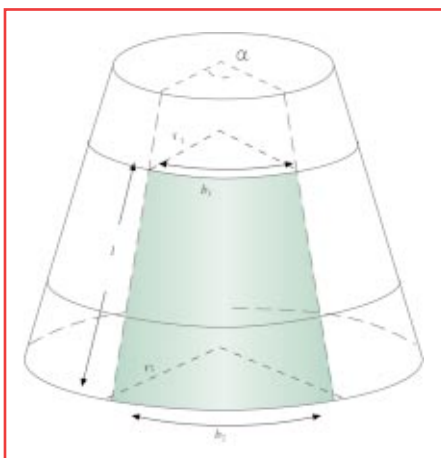
## Asphärische Biegung (Bild 6)

Die asphärische Biegung ist eine Weiterentwicklung der sphärischen Biegeform. Hier sind die beiden Radien in X- und Y-Richtung unterschiedlich groß. Diese Biegeform ist die neueste Entwicklung der Tambest-Biegetechnologie und hat folgende Grenzwerte: Der Biegewinkel in einer Richtung

darf  $45^\circ$  nicht überschreiten, während der gleichzeitige Biegewinkel in anderer Richtung auf maximal  $22,5^\circ$  begrenzt ist; die maximale Scheibengröße ist von den Biegewinkeln und deren Verhältnis abhängig.

#### *Konische Biegung (Bild 7)*

Bei konischen Biegungen (Form eines Kegelmantels) kann der Biegewinkel des Glases bis maximal  $90^\circ$  betragen, z. B. als Viertelstück der zylindrischen Grundfläche eines Glaskegels. Der Kegelwinkel darf von 0 bis max.  $45^\circ$



*Bild 7: Darstellung konischer Formgebung  
Bilder: Tambest*

Grad variieren. Der Kegelwinkel beeinflusst die Größe des fertigungstechnisch machbaren Glases.

#### *Anmerkungen*

Es ist allgemein bekannt, daß die konvexe Seite einer gebogenen Form eine viel höhere Belastung (z. B. durch Wind und/oder Schnee) ermöglicht, als eine plane Form. Diese Trageigenschaft ist für alle Baumaterialien gleich. Unter Berücksichtigung dieser Schalentragwirkung sind folglich geringere Glasdicken bei gleichen Abmessungen oder größere Spannweiten bei gleicher Glasdicke realisierbar. Eine Reduktion der Gesamtbaukosten bezüglich des Glases und der tragenden Konstruktion scheint möglich zu sein. Die zunehmende Filigranität und Leichtigkeit des Bauens mit Glas ist zu begrüßen.

*Liisa Teerenhovi*