

## PRODUKTINFORMATION PI 036

### Toleranzen gebogene Gläser

#### Herstellung und Geometrie

In der Regel kommt das Prinzip des Schwerkraftbiegens zur Anwendung. Hierbei wird der plane Floatglas-Rohling auf eine Biegeform aufgelegt und in einem Biegeofen auf 550 bis 620 °C erwärmt. Nach dem Erreichen des Erweichungsbereiches sinkt der Rohling infolge der Schwerkraft in die Biegeform ein oder legt sich im Falle einer konvexen Biegeform über diese. Die anschliessende Abkühlphase entscheidet über die Eigenschaften des Endproduktes.

Die Umsetzbarkeit der gewünschten Biegegeometrie mit dem gewählten Glasaufbau - eventuell mit Beschichtung - sind daher auch produktionsabhängig, weshalb grundsätzliche Angaben zu möglichen Biegeradien und Glasaufbauten nur eingeschränkt möglich sind. Prinzipiell lässt sich jedoch sagen, dass aufwändige Geometrien, wie sphärische Biegungen, in der Regel nur als Floatglas möglich sind.

#### Bauprodukte

##### Allgemeines

Nachfolgend werden die verschiedenen gebogenen Produkte gemäss den europäischen Normen für plane Gläser aufgeführt. Ergänzend dazu werden die Unterschiede bzw. Besonderheiten für gebogene Gläser aufgezeigt.

Das Ausgangsprodukt für gebogenes Floatglas wird in EN 572-2 beschrieben. Darüber hinaus sind auch andere Basisglaserzeugnisse nach EN 572, z. B. Ornamentglas, Drahtglas, Drahtspiegelglas, Profilbauglas, als gebogenes Produkt herstellbar.

##### Gebogenes Einscheiben-Sicherheitsglas

Die Produktnorm EN 12150-1 beschreibt nur planes ESG. Jedoch wird im informativen Teil dieser Norm (Anhang B) folgendes formuliert: Es ist nicht Bestandteil dieser Norm, da keine ausreichenden Daten zur Normung vorhanden sind. Unabhängig davon können die Informationen dieser Norm bezüglich der Dicken, Kantenbearbeitung und Bruchstruktur auch auf gebogenes thermisch vorgespanntes Kalknatron-Einscheibensicherheitsglas angewandt werden.“

##### Gebogenes teilvorgespanntes Glas (TVG)

Die Produktnorm EN 1863-1 beschreibt nur planes TVG. Jedoch wird im informativen Teil dieser Norm (Anhang B) folgendes formuliert: Es ist nicht Bestandteil dieser Norm, da keine ausreichenden Daten zur Normung vorhanden sind. Unabhängig davon können die Informationen dieser Norm bezüglich der Dicken, Kantenbearbeitung und Bruchstruktur auch auf gebogenes teilvorgespanntes Kalknatronglas angewandt werden.“ Es ist zu beachten, dass vor allem das Bruchbild von planem TVG nicht exakt auf gebogenes TVG übertragbar ist.

##### Gebogenes Verbund- oder Verbund- Sicherheitsglas

Die Produktnorm EN 14449 beschreibt nur planes VG und VSG.

VSG ist ein Produkt mit Zwischenfolien aus Polyvinyl-Butyral (PVB) oder aus anderen Zwischenschichten, deren Verwendbarkeit nachgewiesen ist.

VG dagegen ist ein Bauprodukt mit sonstigen Zwischenlagen, deren Eigenschaften nicht nachgewiesen sind.

## **Gebogene Mehrscheiben-Isolierglas**

Die Produktnorm EN 1279 ist eingeschränkt für gebogenes Isolierglas anzuwenden. Im Teil 1 der EN 1279 wird in Abschnitt folgendes formuliert:

„Einheiten mit einem Biegeradius  $> 1000$  mm stimmen mit dieser Norm überein, ohne die zusätzlichen Prüfungen für gebogene Prüfkörper durchlaufen zu haben.

Einheiten mit einem Biegeradius von  $1000$  mm oder weniger stimmen mit dieser Norm überein, wenn zusätzlich gebogene Prüfkörper mit dem gleichen oder kleineren Biegeradius den Anforderungen zur Wasserdampfdiffusion in EN 1279-2 entsprechen. Die Prüfkörper sollten mit der Biegeachse parallel zur längsten Seite gebogen sein.“

Grundsätzlich kann auch 3-fach-Isolierglas als gebogene Verglasung ausgeführt werden. Allerdings ist hier bezüglich der Machbarkeiten (Grosse, Glasaufbauten, Glasarten, technische Werte, etc.) und Toleranzen Rücksprache zu halten.

Gestaltung mit gebogenem Glas

Grundsätzlich ist die Gestaltung von gebogenem Glas mit z. B. Emaillierungen, Sieb- oder Digitaldruck, bedruckten Folien, Sandstrahlung, Fusing, Teilbeschichtungen möglich.

## **Bauphysik**

### **Wärmedämmung und Sonnenschutz**

Die genannten Anforderungen müssen von gebogenen und planen Verglasungen gleichermaßen erfüllt werden. Zum Einsatz kommen hier möglicherweise Wärmedämm- und Sonnenschutzbeschichtungen. Neben den funktionalen Anforderungen sind vor allem bei Sonnenschutzbeschichtungen auch die ästhetischen Anforderungen (z. B. Reflexion des beschichteten Glases, Farbgebung durch die Beschichtung oder auch Glassubstrat) wichtig.

Für die Festlegung der optischen Eigenschaften sollte vor allem bei grösseren Objekten von Anfang an mit Mustern in Bauteilgrösse gearbeitet werden, um die zu erwartende optische Qualität abstimmen zu können. Welche Beschichtungsmöglichkeiten hier in Abhängigkeit der Geometrie, des Glasaufbaus, der Grösse, etc. gegeben sind, muss im Einzelfall geklärt werden. Eine pauschale Festlegung auf erreichbare Ug-Werte, g-Werte, etc. ist aufgrund der Vielzahl der zuvor genannten Parameter nicht möglich. Die Angabe von Ug-Werten sowie der lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Kennwerte erfolgt in der Regel für plane Verglasungen mit gleichem Glasaufbau. Die Ermittlung erfolgt nach EN 673 und EN 410.

### **Schallschutz**

Die Übertragbarkeit auf gebogene Verglasungen ist nur bedingt möglich, da die abstrahlende Oberfläche grösser ist als bei in der Grösse vergleichbaren, planen Scheiben. Hier ist eine Prüfung bei einem geeigneten Prüfinstitut zu empfehlen.

## Visuelle Qualität

Grundsätzlich gilt die „Richtlinie zur Beurteilung der visuellen Qualität von Glas für das Bauwesen“. Zusätzlich zu den in der Richtlinie genannten Fehlerzulässigkeiten sind bei gebogenem Glas Einbrände, Beschichtungsfehler und Flächenabdrücke zulässig. Geprüft wird bei diffusem Tageslicht (wie z. B. bedecktem Himmel) ohne direktes Sonnenlicht oder künstliche Beleuchtung und aus einem Abstand von mindestens 3 m von innen nach aussen und aus einem Betrachtungswinkel, welcher der allgemein üblichen Raumnutzung entspricht.

Die Durchsicht und der Farbeindruck werden durch die Biegung des Glases beeinflusst, weil die Reflexion gebogener Glaser aufgrund optischer Gesetzmässigkeiten stets eine andere ist, als bei planem Glas. Das Reflexionsverhalten wird durch folgende Kriterien beeinflusst:

- die Eigenreflexion des Basisglases
- Beschichtungen
- Biegeradius
- Grosse Biegewinkel (z. B. Über 90°)
- Tangentiale Übergänge
- Glasdicke

Es wird die Anfertigung von Musterscheiben empfohlen, um einen ersten Eindruck der optischen Qualität und des visuellen Eindrucks zu erhalten.

Bei darüber hinaus gehenden Abmessungen ist mit dem Hersteller Rücksprache zu halten. Die angegebenen Toleranzen sind für alle Kantenbearbeitungen anzuwenden. Die Qualität der Kantenbearbeitung ist mindestens gesaumt. Alle anderen Kantenbearbeitungen sind vor Auftragsvergabe schriftlich zu vereinbaren.

## Toleranzen

Die nachfolgend genannten Toleranzen gelten für zylindrisch gebogenes Glas. Die Toleranzen der Tabelle 1 sind für eine maximale Kantenlänge von 4000 mm und einen maximalen Biegewinkel von 90° festgelegt. Alle angegebenen Toleranzen beziehen sich auf die Glaskanten

**Tabelle 1: Toleranzen**

	Glasdicke (T)	Floatglas	ESG	VG/VSG*	2-fach Isolierglas	
Abwicklung (A) / Höhe (L) ≤ 2000 mm	≤ 12 mm	+/-2	+/-2	+/-2	+/-2	mm
Abwicklung (A) / Höhe (L) ≤ 2000 mm	> 12 mm	+/-3	+/-3	+/-3	+/-3	mm
Abwicklung (A) / Höhe (L) > 2000 mm	< 12 mm	+/-3	+/-3	+/-3	+/-3	mm
Abwicklung (A) / Höhe (L) > 2000 mm	> 12 mm	+/-4	+/-4	+/-4	+/-4	mm
Konturtreue (PC)**		+/- 3 mm/m Absolutwert: min. 2 mm, max. 4 mm		+/- 3 mm/m Absolutwert: min. 2 mm, max. 5 mm		
Geradheit der Höhenkante (RB)	≤ 12 mm	+/-2	+/-2	+/-2	+/-2	mm je lfm.
Geradheit der Höhenkante (RB)	> 12 mm	+/-3	+/-3	+/-3	+/-3	mm je lfm.
Verwindung (V) ***	-	+/-3	+/-3	+/-3	+/-3	mm je lfm.
Kantenversatz (d)**** ≤ 5 m <sup>2</sup>	-	-	-	+/-2	+/-3	mm
Kantenversatz (d)**** > 5 m <sup>2</sup>	-	-	-	+/-3	+/-4	mm
Lage der Lochbohrung	-	-	EN 12150	EN 12150	-	mm
Glasdickentoleranz	-	EN 572	EN 572	-	-	mm

\* Bei VG/VSG ist die Glasdicke die Summe der Einzelglasdicken ohne Zwischenlage. Die Toleranzen gelten für VG/VSGT aus Floatglas, ESG oder TVG.

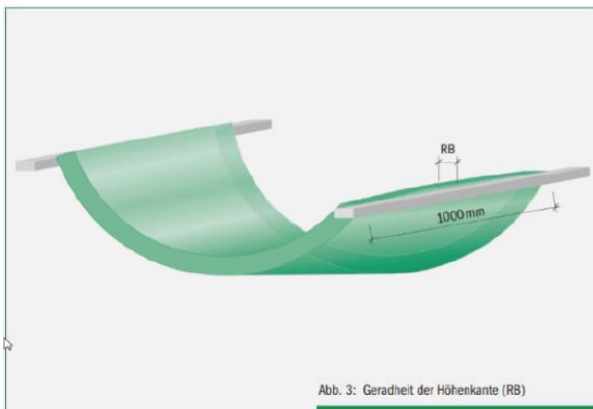
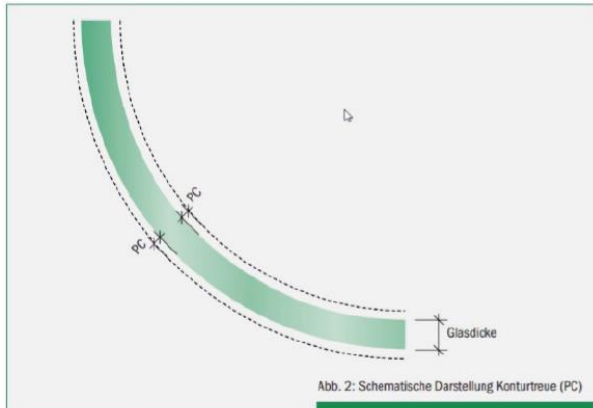
\*\* Bei gebogenem Glas ist stets mit tangentialen Übergängen sowie Aufwölbungen der Abwicklungskante zu rechnen.

\*\*\* Bezogen auf die längsten Kanten der Verglasungseinheit

\*\*\*\* Bezogen auf die Höhen- und Abwicklungskante, die Angabe ist für alle Kantenbearbeitungen gültig, der Versatz für Lochbohrungen bei VG und VSG richtet sich nach dieser Toleranz.

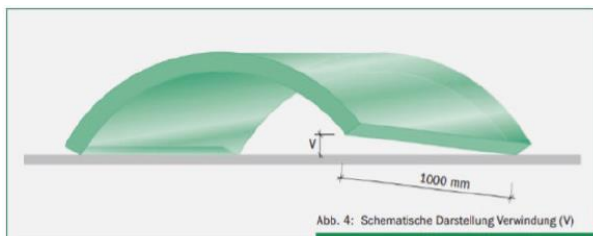
## Konturtreue (PC)

Konturtreue bezeichnet die Genauigkeit einer Biegung. Alle Kanten der Kontur werden um 3 mm nach innen/ausen versetzt. Die Biegekонтur darf nicht mehr als dieses Mass von der Soll-Kontur abweichen (s. Abb. 2). Bei der Prüfung der Konturtreue darf das Glas innerhalb dieser Soll-Kontur gemittelt werden.



## Verwindung (V)

Verwindung beschreibt die Genauigkeit der Parallelität der Höhenkanten im gebogenen Zustand. Die Verwindung darf bei gebogenem Glas max. +/- 3 mm je lfm. (gerade Kante) betragen (s. Abb. 4). Hierfür muss das Glas mit den Höhenkanten auf eine plane Oberfläche gelegt und dann geprüft werden (konvexe Lage bzw. N-Lage).



## Gerade Verlängerungen

Eine Tangente ist eine Gerade, die eine gegebene Kurve in einem bestimmten Punkt berührt. Die Tangente steht senkrecht zum zugehörigen Radius.

Ohne einen tangentialen Übergang ist eine Bogenscheibe geknickt! Dies ist zwar technisch möglich, jedoch nicht empfehlenswert.

Am Knickpunkt entstehen grössere Toleranzen als an einem tangentialen Übergang.

## Bemessung

### Regelwerke

In der Glasbemessungsnorm DIN 18008, werden Konstruktionen mit gebogenen Glasern nicht geregelt.

### Statische Besonderheiten im Vergleich zu ebenen Glasscheiben

#### Schalentragwirkung des gebogenen Glases

Die Berechnung der Spannungen und Verformungen bei gebogenen Glastafeln sind mit einem geeigneten Finite-Elemente-Modell nach der Schalentheorie durchzuführen.

Eine vereinfachte Berechnung der gebogenen Glastafeln als plane Glastafel führt zwangsläufig zu falschen Spannungen und Verformungen.

#### Klimalasten bei gebogenen Isolierglasern

Bei Isolierglasscheiben ist die Berücksichtigung der Glaskrümmung zwingend notwendig, da es durch die höhere Biegesteifigkeit zu sehr hohen klimatischen Lasten (inneren Lasten) kommen kann. Der Vorteil durch die Schalentragwirkung der gebogenen Einzelglaser ist bei der Ausführung als Isolierglas nicht so gross wie in der Anwendung als Einfachglas.

Gebogene Isolierglaseinheiten mit planen Ansatzstücken sind in der Dimensionierung besonders zu betrachten, da der plane Teilbereich deutlich biegeweicher ist, als der gebogene Bereich.

Die Belastung des Isolierglas-Randverbundes ist durch die höheren Klimalasten bei gebogenem Isolierglas im Vergleich zu planem Isolierglas grosser. Die Ausbildung des Randverbundes ist entsprechend durchzuführen. Das kann wiederum Auswirkungen auf die Randverbundbreite bzw. den erforderlichen Glaseinstand haben. Dies ist bereits bei der Planung und Konstruktion zu beachten.

Für eine Vorbemessung können die charakteristischen Biegezugfestigkeiten  $f_k$  nach Tabelle verwendet werden.

**Tabelle 2: Charakteristische Biegezugfestigkeiten in Anlehnung an (4)**

Glasart	$f_k$ (N/mm <sup>2</sup> )	
	Glasfläche	Glaskante
Gebogenes Floatglas	40	32
Gebogenes teilvorgespanntes Glas	55	55
Gebogenes vorgespanntes Glas	105	105

## **Durchbiegungsbegrenzungen der Verglasung**

Die Durchbiegung der gebogenen Verglasung ist so zu beschränken, dass ein Herausrutschen aus den Glasauflagern sicher verhindert wird und die Gebrauchstauglichkeitskriterien erfüllt werden.

## **Durchbiegungsbegrenzungen der Unterkonstruktion**

Die Vorgaben für plane Verglasungen sind nicht auf gebogene Verglasungen zu übertragen, da geringe Verformungen der Unterkonstruktion wesentlich grössere Auswirkungen auf gebogene Scheiben haben, als bei vergleichbaren ebenen Glasscheiben. Daher ist das Verhalten der Unterkonstruktion bei der statischen Bemessung unbedingt zu berücksichtigen.

## **Lagerung und Transport**

Die Verglasungseinheiten müssen entsprechend ihrer Geometrie spannungsarm stehend gelagert und transportiert werden. Die Vorgaben des Herstellers sind zu beachten.

Die Unterlagen und Abstützungen gegen Kippen dürfen keine Beschädigungen des Isolierglas-Randverbundes oder des Glases hervorrufen.

Beim Transport von Isolierglas in oder Über grössere Höhen über NN ist wegen der möglichen Druckunterschiede des Scheibenzwischenraumes zum Umgebungsklima (abhängig von der Höhe über NN des Herstellungsortes) die Verwendung eines Druckausgleichventils möglicherweise erforderlich. Dies ist bei der Bestellung anzugeben.

## **Verglasung**

### **Allgemeines**

Die für plane Verglasungen formulierten Verglasungsrichtlinien sind im Grundsatz auch für gebogene Verglasungen anzuwenden. Aufgrund des besonderen Verhaltens von gebogenem Glas sind ergänzende Hinweise der Hersteller zu beachten. Der Randeinstand für gebogene Isolierglaser beträgt 12 – 15 mm.

### **Konstruktive Hinweise**

Aufgrund seiner hohen Steifigkeit sind die Toleranzen des gebogenen Glases bei der Konstruktion unbedingt zu berücksichtigen, um einen zwängungsfreien Einbau und Lagerung sicherzustellen. Die zwängungsfreie Lagerung ist erforderlich, um Glasbruch oder, bei Verwendung von gebogenem Mehrscheiben-Isolierglas, auch Überbeanspruchungen des Randverbundes zu vermeiden. Die Unterkonstruktion muss den besonderen Anforderungen für gebogene Verglasungen entsprechen. Hierzu sind ausreichend dimensionierte Falze bei Rahmen- oder Fassadenkonstruktionen erforderlich.

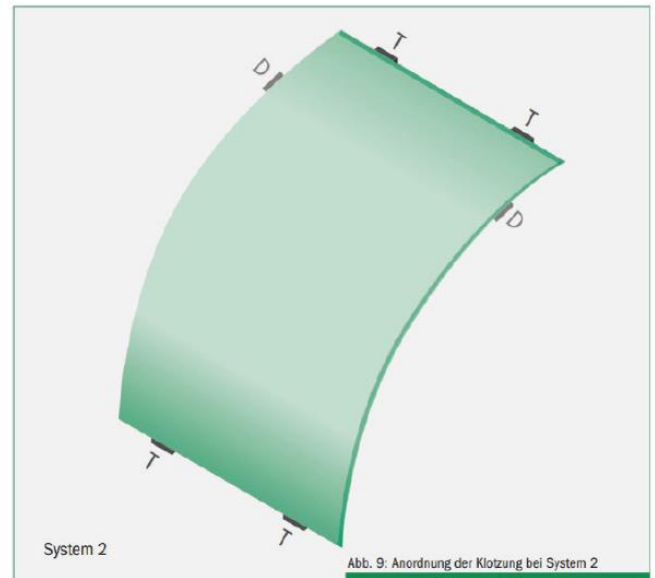
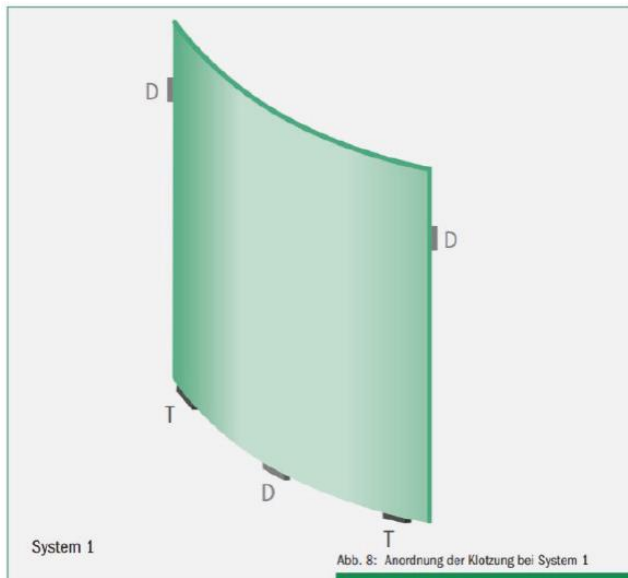
### **Klotzung**

Die Grundprinzipien der Klotzung sind in der Isolierglas Norm 01 beschrieben. Die Klotzung muss die Last der Verglasungseinheit sicher in die Unterkonstruktion einleiten. Die Verglasungseinheiten übernehmen in der Regel keine Lasten aus der Konstruktion. Sollen planmassig Lasten aus der Konstruktion übernommen werden, ist dies in der statisch-konstruktiven Planung zu berücksichtigen.

Bei allen Systemen mit gebogenen Glasern sind der umlaufende Dampfdruckausgleich sowie eine dauerhafte Entwässerung des Falzgrundes sicher zu stellen.

Gebogenes Einfachglas oder Isolierglaseinheiten im senkrechten Einbau müssen wie plane Scheiben geklotzt werden. Bei System 1 wird das Glasgewicht auf die untere gebogene Glaskante über die Tragklotze an die Rahmenkonstruktion und dann weiter an die Haltekonstruktion abgeleitet.

Bei System 2 wirken Glasgewicht und Windlast verteilt auf den Glasrand. Dies muss bei der Auflagerung besonders berücksichtigt werden. Die Ausführungen stellen lediglich eine Auswahl möglicher Situationen dar. Bei anderen wie z.B. sphärischer Biegung, eingelassenen Profilen im Isolierglasrandverbund oder einer Anwendung im konstruktiven Glasbau ist immer Rücksprache mit dem Hersteller erforderlich. Die Tragklotzung muss so ausgeführt werden, dass sich die Verglasung im Gleichgewicht befindet und nicht kippen kann. Der Abstand zur Glas Ecke sollte dem Regelabstand von 100 mm entsprechen.



## Aufmass

Um das gewünschte Endprodukt herzustellen, ist bei gebogenem Glas ein äusserst genaues Aufmass und die Angabe unterschiedlicher Informationen zu Abmessungen, etc. sehr wichtig.

Bei zylindrisch gebogenen Glasern sind, unabhängig von der geplanten Glas Art, zur Ermittlung einer technisch machbaren und kostengünstigen Lösung unbedingt die nachstehend aufgeführten Parameter anzugeben.

Hierzu gehört die Angabe von mindestens zwei der nachstehend genannten Werte:

- Abwicklung
- Biegeradius
- Stichhöhe (innen oder aussen)
- Öffnungswinkel.

Ausserdem ist die Länge der geraden Kante sowie die Anzahl der Scheiben anzugeben.

// Quelle: Flachglas (Schweiz) AG // Stand: August 2019