

Kalt biegbares und feuerfestes Verbundsicherheitsglas

Neue Möglichkeiten der architektonischen Gestaltung

Dipl.-Ing. **L.I. Vákár**, Movares Nederland, Utrecht, Niederlande

Dipl.-Ing. **K.S. Schoustra**, BRS, Moerkapelle, Niederlande

Kurzfassung

Kalt biegbares Verbundsicherheitsglas ist ein neues Produkt, das in der architektonischen Gestaltung neue und interessante Möglichkeiten eröffnet. Dieses transparente Material läßt sich an der Baustelle bei Umgebungstemperatur biegen. Es vereint in sich die positiven Eigenschaften von warmgebogenem Verbundglas und von Kunststoffen. Die Glasscheiben sind so biegsam wie Kunststoff und ebenfalls sehr leicht. Ihre optische Qualität ist viel höher als bei herkömmlichem warmgebogenem Verbundsicherheitsglas und ihr Preis ist viel niedriger; er entspricht in etwa dem der Kunststoffe. Das kalt biegbare Verbundsicherheitsglas wird weniger schnell schmutzig als Kunststoffe, verkratzt und altert fast nicht und braucht deshalb wenig Pflege. Außerdem hat es unter dem Gesichtspunkt des dauerhaften Bauens große Vorteile.

Seine erste Anwendung fand das kalt biegbare Verbundsicherheitsglas 1997 in den Oberlichtern des Bahnhofs von Den Bosch. Zur Zeit wird aus diesem Material eine riesengroße, überwiegend transparente Überdachung für den Busbahnhof des Amsterdamer Hauptbahnhofs gebaut.

Wegen Mangel an angemessenen Brandschutzvorschriften hat der Feuerwehr für diese Konstruktion gefordert, daß im Falle eines Brandes zweier Busse in den ersten 30 Minuten kein Glas von der Überdachung herunterfallen darf. Um dieser Anforderung innerhalb des geltenden Budgets gerecht werden zu können, wurde ein spezielles Glassystem entwickelt. Nach einer Untersuchung der möglichen Schadensursachen im Brandfalle wurden gezielte Maßnahmen zur Vermeidung derartiger Schadensfälle getroffen. Mit Hilfe von Brandversuchen an einem Modell in natürlicher Größe wurde dann die Fähigkeit der Struktur demonstriert, das Glas unter den festgelegten Bedingungen am Herabfallen zu hindern. Damit hat sich erwiesen, daß es möglich ist, diesen hohen Anforderungen an den Brandschutz mit einem angemessenen Entwurf zu entsprechen, ohne die Kosten wesentlich zu erhöhen.

Abstract

Cold bendable, laminated glass is a new product that opens new and interesting opportunities in architecture. This transparent material is bendable on site at ambient temperature. In such glass panes, the positive qualities of warm bent, laminated glass and of plastics are united. They are as flexible as plastic and also lightweight. Their optical quality is much better than that of traditionally warm bent, laminated glass, and their price is considerably lower, comparable with plastics. It pollutes less than plastics, does not scratch, does not age and therefore requires little maintenance. Moreover, it is of value from the point of view of sustainable building.

It was applied for the first time in 1997 in the skylights of 's-Hertogenbosch station in the Netherlands. An application for a huge roof for the bus station at Amsterdam Central station is currently under construction.

A large, mainly transparent roof is to be built over the bus station at Amsterdam Central station. The fire brigade has stipulated that in the event of a fire involving two busses, glass from the canopy must not fall into the area below the first 30 minutes. To meet these requirements, while remaining within budget, we have developed a special glass system. Following a theoretical study into potential causes of failure during a fire, specific design measures were taken to prevent these types of failure from occurring. Fire tests then demonstrated the ability of the design to retain the glass under the conditions specified. By means of appropriate design, it proved possible to meet the highly stringent fire brigade requirements, without increasing costs significantly.

1. Materialeigenschaften

Kalt biegbares Verbundsicherheitsglas besteht aus einigen Teil- oder Vollvorgespanntenglassscheiben, die durch eine oder mehrere Schichten Kunststoffolie miteinander verbunden sind. Derartige Scheiben können vor Ort bei Umgebungstemperatur über gekrümmte Rahmen gebogen oder ganz einfach an einer Reihe von Punkten auf gebogenen Oberflächen befestigt werden.

Die Vorgänge im Glas lassen sich folgendermaßen erklären: Das durch das Tempern verursachte Vorspannen macht es möglich, ausreichend getemperte Glasscheiben zu biegen, ohne daß an der Glasoberfläche Zugspannungen entstehen. Je dünner eine Scheibe, desto kleiner ist der Radius, der erzielt werden kann. Hieraus ergibt sich ein geringerer Widerstand gegenüber externer Belastung. Diesem Problem begegnet man dadurch, daß man die Last über mehrere Scheiben verteilt. Im allgemeinen reichen zwei

Scheiben aus, um die Last zu tragen. Diese Scheiben lassen sich unabhängig voneinander biegen, solange sie sich gegeneinander verschieben können.

Die Kunststoffolie zwischen den Scheiben hat die besondere Eigenschaft, die Glasscheiben einerseits permanent aneinander zu befestigen, es ihnen andererseits aber zu ermöglichen, sich gegeneinander zu verschieben. Auf diese Weise lassen sich die Scheiben verbiegen und sind trotzdem stark genug, um die aufgebrachte Last auszuhalten.

2. Verhalten bei kurz- und bei langfristiger Belastung

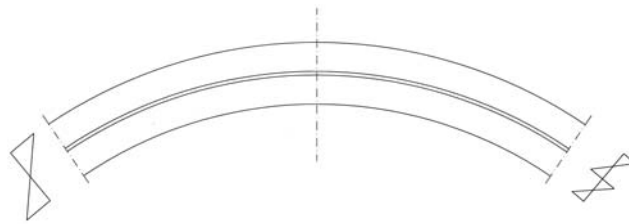


Bild 1: Spannungsverteilung bei Kurzzeitbelastung (links) und Langzeitbelastung (rechts)

Bei Kurzzeitbelastung agieren die Scheiben des „Sandwiches“ gemeinsam, d.h. sie verhalten sich in etwa so, wie es eine Einzelscheibe von der Dicke des gesamten Sandwiches tun würde (Bild 1, links). Das Sandwich ist daher sehr stark und steif.

Bei Langzeitbelastung gibt die Folie zwischen den Scheiben nach, sodaß sich die Scheiben gegeneinander verschieben (Bild 1, rechts). Bei permanenter Belastung, wie beispielsweise der durch das Biegen selbst hervorgerufenen Belastung, verhalten sich die Scheiben des Sandwiches unabhängig voneinander, zeigen aber, da sie dennoch miteinander verbunden sind, die gleiche Durchbiegung.

3. Dauerhaftes Bauen

Kalt biegbares Verbundsicherheitsglas ist für dauerhaftes Bauen von großem Interesse. Der erste Vorteil besteht darin, daß nur halb soviel Material benötigt wird. Außerdem werden die Scheiben beim Warmbiegen von Glas erhitzt, ja beinahe geschmolzen und über Formen gebogen. Kalt biegbares Glas wird nach der Herstellung nicht mehr erhitzt und benötigt auch keine Form. Hierdurch wird die für die Produktion von Formen erforderliche Energie eingespart.

Des weiteren lassen sich flache Scheiben leichter und billiger zur Baustelle transportieren, unter anderem deswegen, weil mehr flache als gebogene Scheiben auf einen Lastwagen passen. Für das Zusammensetzen von flachen Scheiben vor Ort wird ähnlich viel Energie

aufgewandt wie für die Montage von gebogenen Scheiben. Im Vergleich zu Kunststoffen besteht Glas im wesentlichen aus Sand, der reichlich zur Verfügung steht.

Dank der niedrigen Kosten können in Zukunft viele transparente, gebogene Flächen geschaffen werden, was einen positiven Beitrag zur öffentlichen Sicherheit und zur Raumqualität darstellt.

4. Dach für den Busbahnhof des Hauptbahnhofs von Amsterdam, Niederlande

Am Kai hinter dem Amsterdamer Hauptbahnhof begann im September 2003 der Bau eines neuen Busbahnhofs. Die für diesen geplante riesige Überdachung soll eine Länge von 360 m haben. Das Dach wird aus im Abstand von 12,5 m stehenden Stahlbögen mit einer Spannweite von 65 m bestehen (Bild 2). Auf einer Seite werden diese Stahlbögen am Kai befestigt, auf der anderen Seite ruhen sie auf kurzen, in die Bodenplatte des Busbahnhofs eingelassenen Säulen. Alle 3 m sind die Bögen untereinander durch Stahlpfetten des Typs UPE 330 verbunden. Fast das gesamte Dach soll mit 3 m langen und 1,1 m breiten Scheiben aus kalt biegbarem Verbundsicherheitsglas gedeckt werden.



Bild 2: Geplante Überdachung des Busbahnhofs IJsei neben dem Hauptbahnhof von Amsterdam, Niederlande (Entwurf Benthem - Vákár)

Aufgrund des kalt biegbaren Glases ist es möglich, ein derartig riesiges Dach mit begrenztem finanziellem Aufwand zu bauen. Dies liegt jedoch nicht nur am gemäßigten Preis des Glases selbst. Die gesamte Struktur wird billiger als sonst sein. Da das Glas gebogen wird, kann es dünner sein als eine nicht gebogene Glasscheibe, wodurch sich das Eigengewicht der gesamten Struktur verringert. Außerdem kann eine leichtere Stahlstruktur

gebaut werden, denn wenn es zu Verformungen kommt, werden die Glasscheiben sich diesen Verformungen ohne Probleme anpassen. Und schließlich müsste die Dachoberfläche, wenn das Glas nicht gebogen würde, aus einer Reihe von geraden Scheiben bestehen, die so angeordnet sind, daß sie den Eindruck einer Krümmung geben, und wäre es notwendig, in den glastragenden Stahlprofilen Fugen anzubringen. Mit dem kalt biegbaren Glas lassen sich die meisten Kosten für derartige Fugen sparen, da man zum Tragen des Glases 15 m lange, gebogene Profile (IPE140A) verwendet (Bild 3).

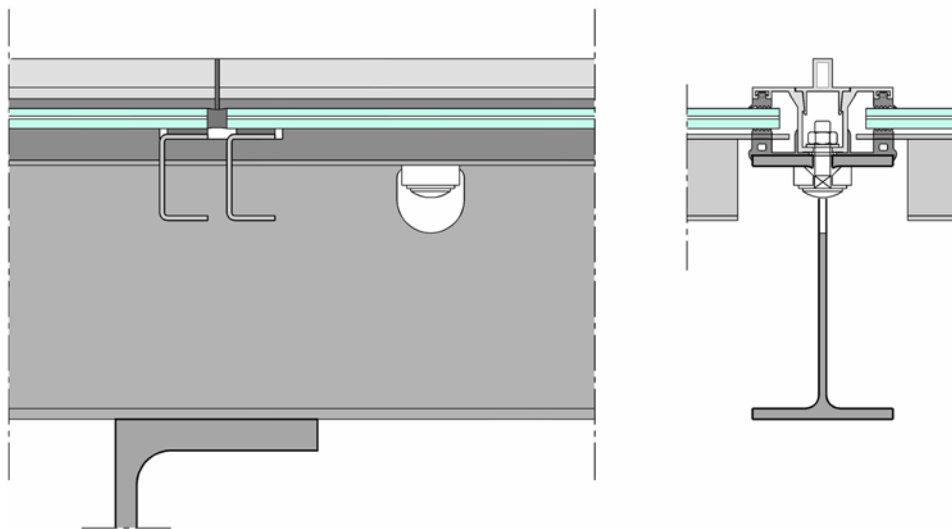


Bild 3: Glasbefestigung: Seitenansicht und Querschnitt

Durch die Anwendung des kalt biegbaren Verbundsicherheitsglases wird es daher möglich, zu einem akzeptablen Preis eine sehr elegante Bahnhofsoberdachung zu errichten.

Da es in den vergangenen Jahren mehrere Tunnelkatastrophen gegeben hat, erhob die Feuerwehr speziell für dieses Dach die Forderung, daß dann, wenn zwei Busse mit vollem Tank gleichzeitig in Brand geraten sollten, in den ersten 30 Minuten des Brandes kein Glas herabfallen darf. Diese Brandschutzvorschrift ließ sich ohne einen erheblichen Kostenzuwachs erfüllen, indem man ein spezielles Glassystem entwickelte, bei dem Freeformglass[®] verwendet wird.

5. Detaillierung des Glassystems, mit dem man das im Brandfall geforderte Verhalten erzielt

Um den steigenden Temperaturunterschied zwischen Rändern und Mitte der Glasscheiben auf ein Mindestmaß zu begrenzen, wird das Glas auf wärmeleitende Dichtungen montiert. Dem hierzu verwendeten Silikonstreifen wurde daher Aluminiumpulver hinzugefügt. Das

Pulver reduziert die Isolierwirkung der zwischen dem Glas und den I-Profilen eingefügten Dichtungen erheblich. Der Stahl wiederum ist direkter Hitzeabstrahlung durch den Brand ausgesetzt und steht an drei Seiten in direktem Kontakt mit der heißen Luft. Infolgedessen trägt der wärmeleitende Silikonstreifen dazu bei, den Temperaturunterschied zwischen dem im Rahmen befindlichen Glas und dem Rest der Glasscheibe auf ein Mindestmaß zu reduzieren.

Dadurch, daß man dem Glas genügend Bewegungsfreiheit gibt, werden die durch das Behindern von Durchbiegungen verursachten Zugbiegespannungen minimiert. Die Aluminium-Klemmleisten werden hauptsächlich mit Nylonbolzen an den I-Profilen befestigt. Diese Bolzen sind so auf die vom Glas ausgeübten Kräfte abgestimmt, daß sie bei Brand zeitgemäß weich werden, damit sich die Glasscheiben lockern können, und nicht aufgrund behinderter Durchbiegungen zerbrechen. Die mittleren beiden Bolzen bestehen aus rostfreiem Stahl, um zu verhindern, daß sich die Glasscheiben bei einem Brand völlig lösen und herabfallen. Die Haltbarkeit der zuvor genannten Nylonbolzen hat sich durch ihren über 20 Jahre währenden praktischen Einsatz bei mehreren Überdachungen in den Niederlanden erwiesen. Außerdem biegen sich im Brandfall die Enden der Scheiben nach oben, was den Vorteil hat, daß die kalten Ränder durch die entweichende heiße Luft erwärmt werden.

6. Schlußfolgerung

Kalt biegbares Verbundsicherheitsglas vom Typ Freeformglass® eröffnet neue und interessante Möglichkeiten, denn es läßt sich vor Ort bei Umgebungstemperatur biegen und ist erstaunlich feuerfest.

7. Literaturangaben

- [1] Vákár, L.I. und Gaal, M.: Cold bendable, laminated glass – New possibilities in design. Structural Engineering International, 2/2004
- [2] Vákár, L.I. et al.: Fire Resistant Canopy Glazing Design, Structures and extreme events. IABSE Symposium Report, Lissabon 2005
- [3] Vákár, L.I. et al.: Fire Resistant Roof Glazing Design, Structural Engineering International, 2/2006
- [4] WO 98/01649: Verfahren zum herstellen gebogener Verglasung, Freeformglass®