

# Mechanische und thermische Eigenschaften von Fensterprofilen aus PVC-U

Brigitte Knoll und Florian Sewald

Der vorliegende Beitrag war die Grundlage eines Workshops bei den Rosenheimer Fenstertagen 1997.

PVC ist kerbempfindlich, was bei der spanabhebenden Bearbeitung zu berücksichtigen ist. Deshalb ist besonderes Augenmerk auf geeignete Schneid-, Bohr- und Fräsewerkzeuge zu legen.

Um die Kerbempfindlichkeit zu reduzieren, werden PVC-Fensterprofilwerkstoffe schlagzäh modifiziert in Form von polymeren Zusätzen, die im PVC als „Puffer“ wirken. Es handelt sich im wesentlichen um Polybutylacrylate (ACR) oder chloriertes Polyethylen (CPE), welche die Witterungsbeständigkeit nicht negativ beeinflussen und einen hohen Wirkungsgrad haben. Durch höhere Zugaben wird die Kerbschlagzähigkeit nur noch unwesentlich erhöht bei gleichzeitiger Reduktion der Wärmeformbeständigkeit und Zunahme der Neigung zum „Kriechen“.

Zusätze feinteiliger Kreide erhöhen den E-Modul sowie die Wärmestand- und Druckfestigkeit und reduzieren wiederum das „Kriechen“ von PVC-Produkten. Gleichzeitig wird durch geringeres Quellverhalten der Schmelze der Schrumpf reduziert und die Oberfläche von Extrudaten (Profilen) verbessert. Höhere Kreidemengen wirken sich auf das Schweißverhalten sowie auf die Witterungs- und Chemikalienbeständigkeit aus.

## Verbinden von Fensterprofilen aus PVC-U

Einer der wesentlichen Vorteile von Kunststoff-Fenstern ist die geschweißte und somit dichte Eckverbindung.

Stark beeinflusst wird die Schweißnahtfestigkeit durch den Zustand der Fügeflächen. Metallpartikel, Fett und vor allem Schutzfolienreste wirken als „Trennmittel“ und reduzieren die Festigkeit aufgrund gestörter Verschweißung. Deshalb sollte das Zuschneiden der Metallverstärkungen und der Kunststoffprofile in getrennten Räumen erfolgen. Vom Einsatz geölter/gefetteter Stähle ist abzuraten, besser geeignet sind verzinkte. Ein glatter Schnitt der Schutzfolie ist Voraussetzung für das „Wegschrumpfen“ der Folie beim Schweißvorgang. Die Schutzfolien sind aus Polyethylen und in Form von Spänen oder Fetzen im Fügebereich unverträglich mit PVC, was zu Kerben/Haarrissen in der Schweißnaht führt.

Bei niedriger Temperatur der Profile  $< + 15\text{ °C}$  und durch scharfe Kerben, z. B. hervorgerufen beim Verputzen der Schweißnaht, reduziert sich die Eckenfestigkeit deutlich.

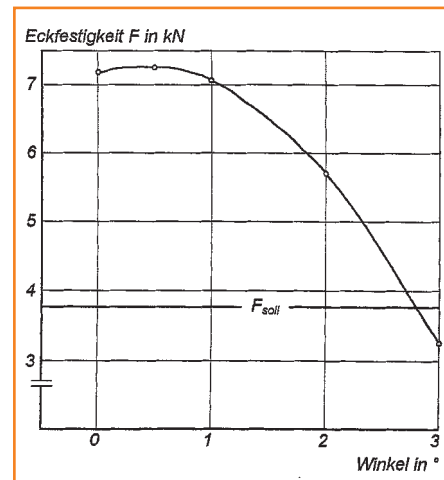


Bild 1: Abhängigkeit der Eckfestigkeit vom Winkel zwischen Schweißspiegel und Gehrung

Liegt nach dem Gehrungsschnitt die Winkelabweichung  $> 1^\circ$ , so reduziert sich die Schweißnahtfestigkeit drastisch (Bild 1).

Ein weiterer wesentlicher Faktor ist die Anschmelzzeit beim Schweißvorgang. Wenn die PVC-Masse zu wenig Zeit zum „Fließen“ hat, geht dies ebenfalls auf Kosten der Festigkeit der Naht, was durch Erhöhung der Schweißtemperatur nicht ausgeglichen werden kann (Bild 2 und 3).

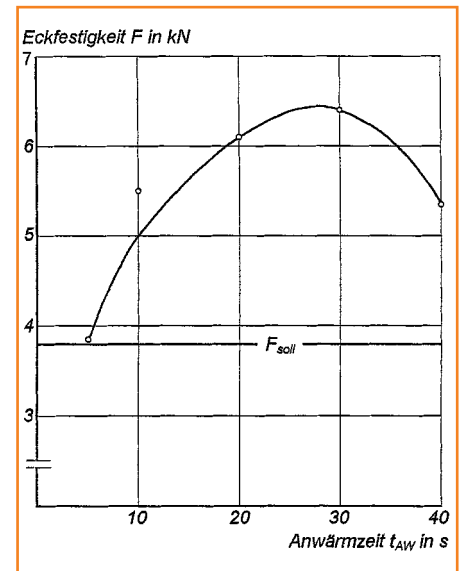


Bild 2: Abhängigkeit der Eckfestigkeit von der Anwärmzeit

Eckenrisse im Fensterbau entstehen beim Einschlagen der Glashalteleisten. Letztere werden gerne etwas größer geschnitten, damit sie gut „sitzen“. Aus kleinen Kerben im Inneneck der Flügelrahmen werden durch Druck der Glashalteleistenspitze Eckenrisse. Bei mangelhafter Schweißung geht der

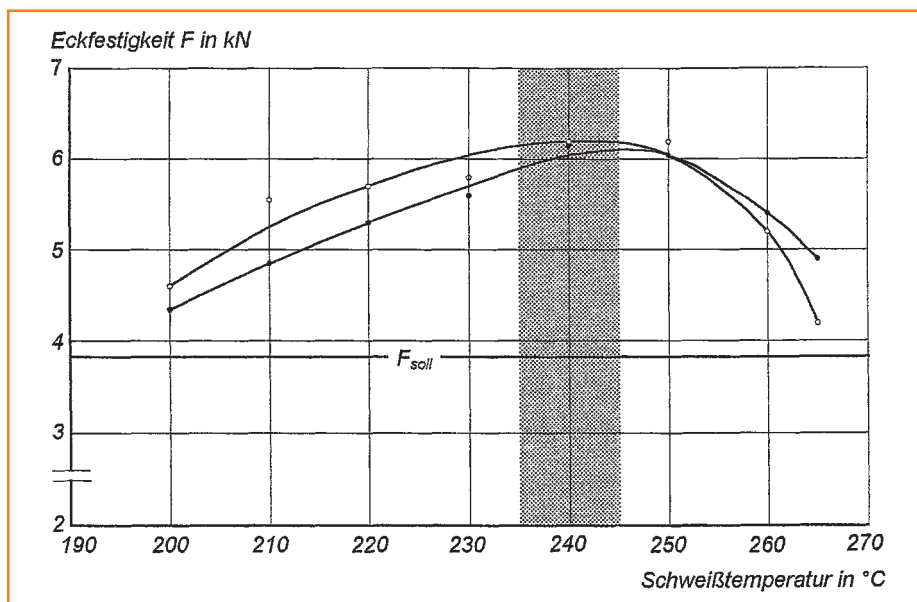


Bild 3: Eckfestigkeit in Abhängigkeit von der Schweißtemperatur

Riß weitgehend durch die Schweißnaht. Ist gut geschweißt, wird sich der Riß von der Kerbe ausgehend im Profil außerhalb der Schweißnaht fortsetzen.

Eckenrisse während der Montage entstehen vorwiegend an den Rahmenprofilen. Durch heftiges Aufsetzen der Fenster beim Entladen wird – bedingt durch das hohe Gewicht – eine dynamische Kraft eingeleitet, die zur Rißbildung führt.

Auf einen häufig anzutreffenden Montagefehler sei hier hingewiesen. Bei Koppelung von Fenstern werden diese zusammengeschoben und verschraubt. Das Zusammenschieben wird durch hohe Reibungskräfte auf dem Sattelprofil (Kompriband, Dichtungen) behindert. Um zu einer Verbindung im Koppelungsbereich zu kommen, werden Fenster mit Schraubzwingen an den Schraubstellen zusammengezogen. Dabei verformen sich die aufrechten Profile erheblich und werden unter Spannung gesetzt. Diesen Spannungen können die Profile im Eckbereich auf Dauer nicht standhalten. Es kommt zu Rißbildungen.

An eingebauten Fenstern können Risse im Rahmen durch Blendenprofile verdeckt werden.

Eine Sanierungsmöglichkeit bei Eckrisse auf der Innenseite bei festverglasten Blendrahmen ist ein Injektionsverfahren. Über Bohrungen im Bereich der Gehrung wird Zwei-Komponenten-Epoxidharz mit einer Spritzkartusche in die Vorkammer auf einer Länge von ca. 100 mm eingespritzt.

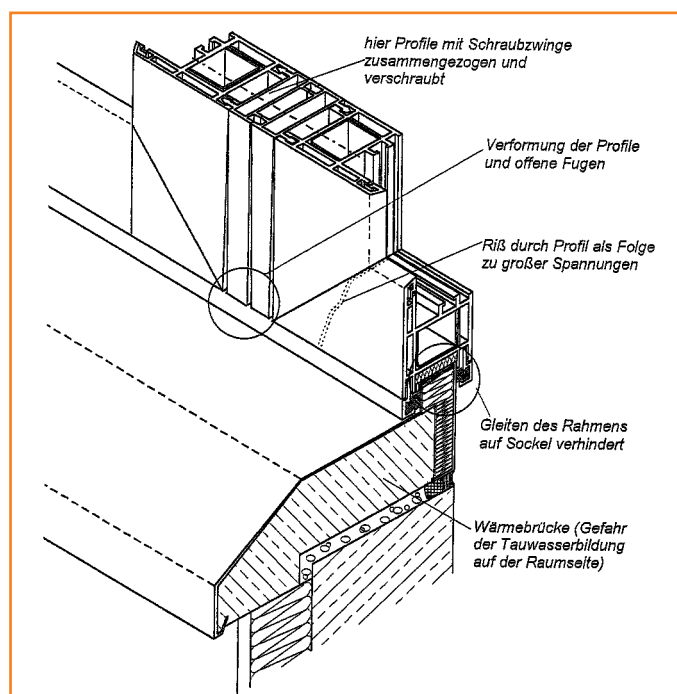


Bild 4: Einbausituation von Kunststoff-Fenster mit Darstellung der Ursachen für Verformung und Rißbildung

Bei Rissen im Flügelbereich sollte grundsätzlich unter Verwendung von Glas und Beschläge der Flügelrahmen neu gefertigt werden. Von einem „Verputzen“ der Risse mit Dichtungsmassen ist abzuraten, da sich nach kurzer Zeit der Riß in der Putzmasse fortsetzt.

#### „Kriech“-Verhalten

Kunststoffe „kriechen“, d. h. sie verformen sich unter Belastung zunehmend. Um diesem Verhalten entgegen zu wirken, werden Fensterprofile aus schlagzäh modifiziertem PVC mit Stahl-Einschieblingen „verstärkt“.

Kritisch betrachtet werden muß auch das Einbringen von sogenannten Klemmschließteilen, die nicht im Stahl verschraubt sind. Durch ihre Klemmwirkung üben sie einen ständigen Druck auf den Kunststoff aus. Über längere Zeit kann dies zum Ausbeulen der Haltestege und somit zur Lockerung des Schließteils führen. Mit übergroßen Schließteilen platzen beim Einschlagen die Haltestege weg.

Der physikalisch bedingten Eigenschaft des Kriechverhaltens wirkt auch der Trend zum Verschrauben nur noch durch die Kunststoffwände entgegen. Ganz davon abgesehen, daß die notwendigen Kräfte zum Heraus-

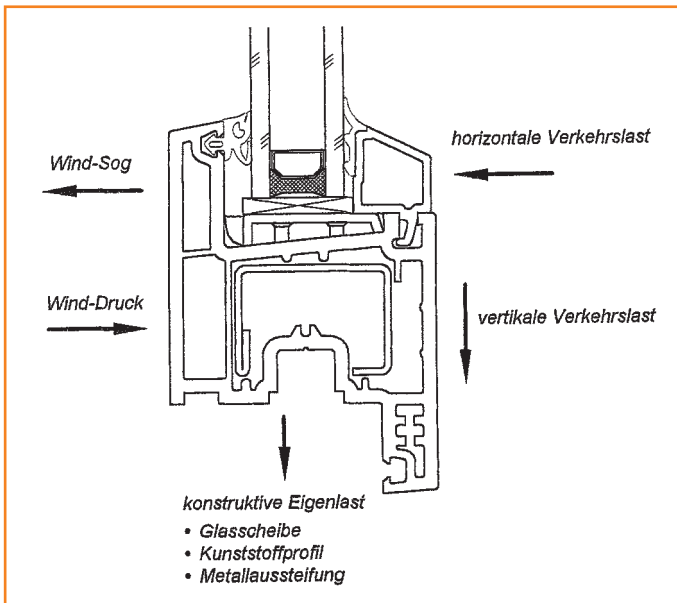


Bild 5: Auf ein Kunststoff-Fenster einwirkende Belastungen

ziehen bzw. -reißen der Schrauben niedriger liegen, können sich die Schrauben, vor allem nur durch eine Kunststoffwand geführt, unter Belastung wieder lockern und müssen dann nachgezogen werden.

### Verstärken

Bild 5 zeigt, welche Belastungen auf ein Kunststoff-Fenster einwirken. Diesen Belastungen muß seitens der Konstruktion entgegengewirkt werden.

Jeder Werkstoff biegt sich bei entsprechender Belastung in Abhängigkeit der Stützweite  $I$  und der Biegesteifigkeit ( $E \times I$ ) des Profils durch. Die Elastizitätsmodule der verschiedenen Fensterwerkstoffe sind nachfolgend aufgezeigt:

- Stahl: 210 000 (N/mm<sup>2</sup>)
- Alu: 70 000 (N/mm<sup>2</sup>)
- Holz: 10 000 (N/mm<sup>2</sup>)
- PVC: 2 500 (N/mm<sup>2</sup>)

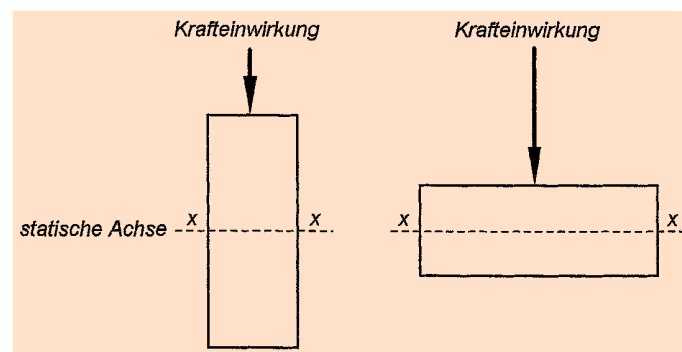
Je größer der Wert des E-Moduls, um so kleiner ist die Durchbiegung bei gleicher Profilgeometrie und den gleichen Versuchsbedingungen.

Wegen des relativ niedrigen E-Moduls des Kunststoffes PVC werden Kunststofffensterprofile mit Metall-Einschieblingen verstärkt, wobei der E-Modul des Kunststoffes praktisch

für Berechnungen zu vernachlässigen und der E-Modul des verwendeten Metalls ausschlaggebend ist.

PVC mit Stahl bzw. PVC mit Aluminium verstärkt sind die idealen Materialkombinationen für die statischen Anforderungen im Fensterbau.

Das Flächenträgheitsmoment gibt die geometrische Verteilung der Masse in bezug auf die statische Achse an:



Je größer der Abstand der Massen zur statischen Achse, um so höher ist die Stabilität des Profils.

Die Biegesteifigkeit ist das Maß für das Verhalten eines Profils gegenüber Durchbiegung als Folge von mechanischen Belastungen, z. B. Wind, Druck, Sog, Eigengewicht etc. Je höher der Wert für die Biegefestigkeit, um so geringer ist die Durchbiegung.

Die Bilder 7 und 8 zeigen die Durchbiegung bei zu schwach ausgelegten Verstärkungsprofilen. Eine ausreichende Lastabtragung ist nicht gegeben.

Die Statik der Kunststoff-Fenster kann sich nicht ausschließlich auf die Betrachtung des Verhaltens der einzelnen Stäbe beschränken, sondern muß auch das Verhalten des Rahmens und die Ableitung der Kräfte in die Umgebung mit einbeziehen.

Hauptsächlich bei dunkelfarbigem Profilen ist u. a. die Wärmeaufnahme für die Festigkeit entscheidend. Der Thermoplast PVC hat einen Vicaterweichungspunkt zwischen 75 °C bis 82 °C.

Bei farbigen Profilen werden Oberflächentemperaturen von etwa 60 °C erreicht. Damit diese Wärmeaufnahme keine Deformationen (Ausbeulen der Profile, Spannungen) anrichtet, werden die Vorkammern belüftet. Dies ist bei den heutigen Mehrkammersystemen ohne großen Aufwand durch Lüftungsbohrungen möglich, wodurch sich die Temperatur in der Hauptkammer nicht wesentlich über die Raumtemperatur erhöht.

### Befestigung von Beschlagteilen

Die statischen Kräfte, die an einem Fenster auftreten, können aus einfachen mechanischen Betrachtungen abgeleitet werden. Zunächst sollen die Kräfte bei geöffnetem Flügel betrachtet werden, da sich bei geschlossenem Flügel je nach Konstruktion des Beschlages die

auf tretenden Kräfte auf die Schließbleche verteilen können und deshalb nicht nur über die bandseitigen Beschläge abgetragen werden. Zur Beurteilung von Langzeitbelastungen müssen auch die bei geschlossenem oder gekippten Flügel auftretenden Kräfte näher betrachtet werden. Bild 10 veranschaulicht die Kräfte bei einem um 90° geöffneten Flügel mit dem Ge-

$$\text{Biegesteifigkeit} = \text{Elastizitätsmodul} \cdot \text{Flächenträgheitsmoment}$$

$$Nmm^2 \quad E \quad \cdot \quad I_x \quad mm^4$$

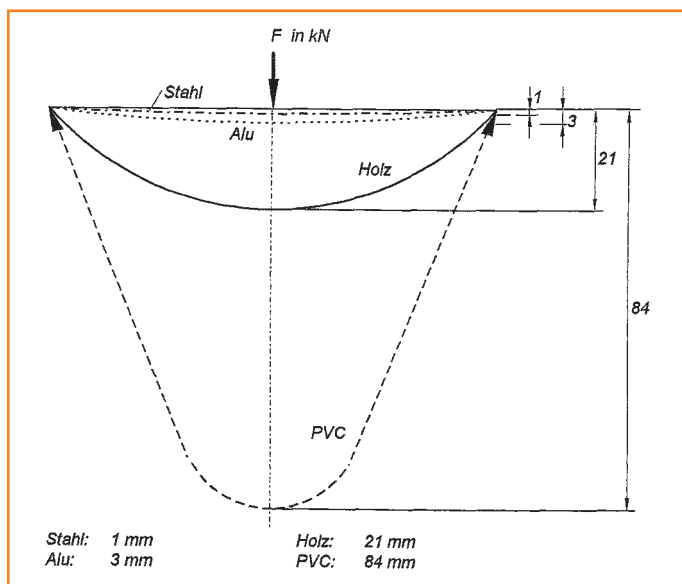


Bild 6: Durchbiegung bei gleicher Last  $F$

Die wichtigsten Einflüsse sind:

- Langzeitbelastung,
- Alterung,
- Materialfehler,
- Verschleiß,
- Bearbeitungseinflüsse.

Da diese Einflüsse nicht direkt auf das gesamte Fenster übertragbar sind, wird ein technisch sinnvoller Lasterhöhungsfaktor für die Tragfähigkeit des gesamten Fensters unter dem Wert von  $\gamma = 5$  liegen.

Bild 7: Durchbiegung des Stulpbereiches mit verschraubten und nicht verschraubten schwachen Verstärkungsprofilen in Abhängigkeit vom Druck

wicht  $G$  und der Abmessung  $b \times h$ . Das Scherenlager kann im allgemeinen nur waagrecht verlaufende Kraftkomponenten aufnehmen. Die Kraft  $F_z$  entsteht durch das von der Eigenlast ausgeübte Moment und ist gleich der im unteren Ecklager wirkenden Druckkraft  $F_D$ . Die im unteren Ecklager wirkende Scherkraft  $F_S$  ist gleich der Eigenlast  $G$  (entspricht dem Flügelgewicht).

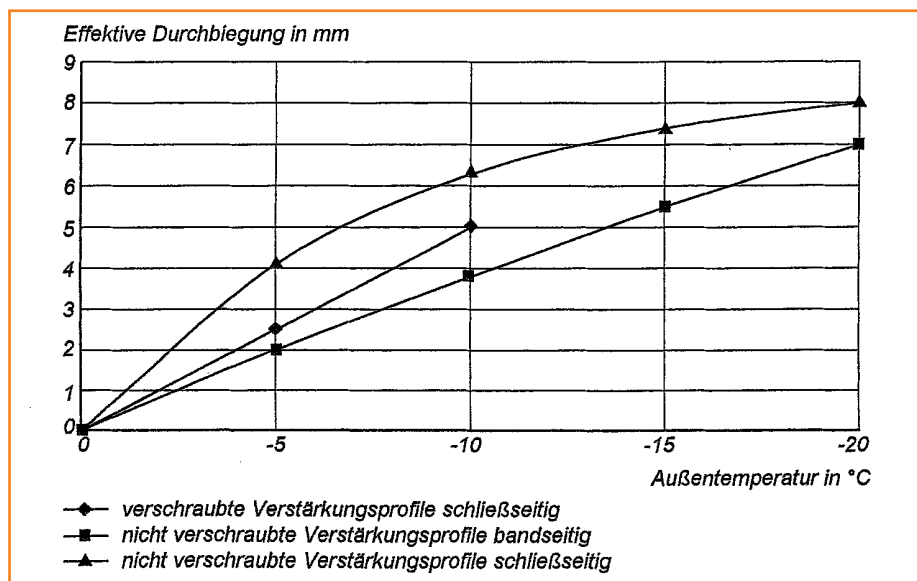
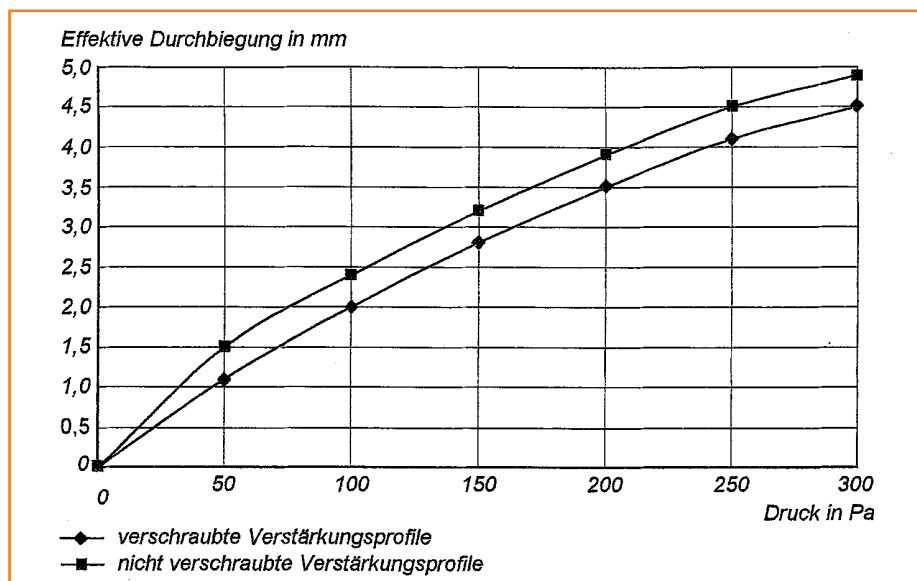
Damit lassen sich die auftretenden Kräfte berechnen. Einige Werte für typische Flügelabmessungen und Gewichte sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Nach den Problemen in der Vergangenheit wurde in den neuen Güte- und Prüfbestimmungen RAL-RG 607/3-02 deutlich zwischen Belastungen bei

- Gebrauchsbeanspruchung und
- Bruchbelastung

unterschieden, wobei die Bruchlast gleich der 5fachen Eigenlast gewählt wurde. Mit dem damit festgelegten Lasterhöhungsfaktor (Sicherheitsbeiwert) von  $\gamma = 5$  werden alle mindern Einflüsse auf die Tragfähigkeit der Beschläge berücksichtigt.

Bild 8: Durchbiegung von Flügelprofilen einer zweiflügeligen Stulptur mit verschraubten und nicht verschraubten schwachen Verstärkungsprofilen in Abhängigkeit von der Temperatur nach dem Entriegeln des Gangflügels



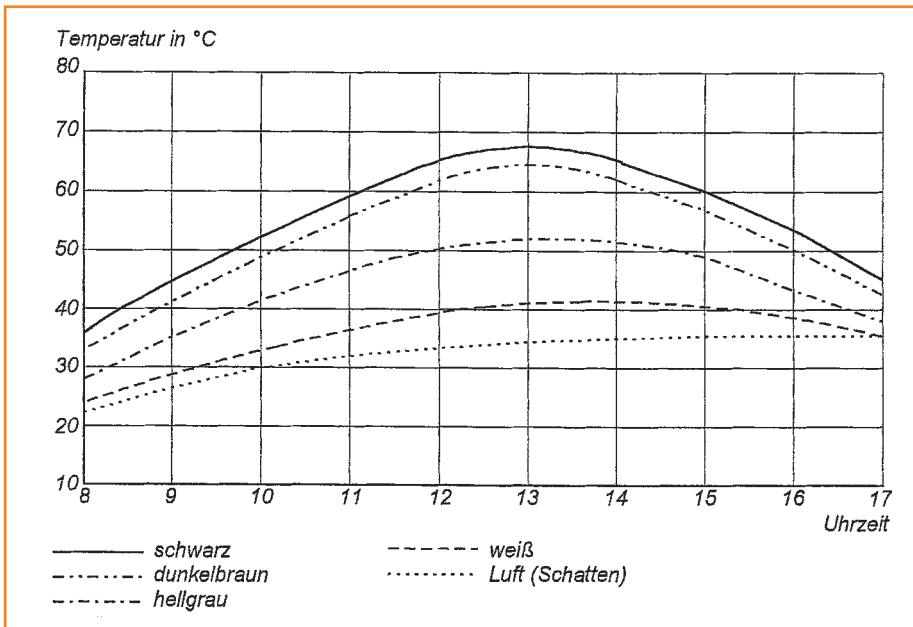


Bild 9: Temperaturverlauf an Kunststoffprofiloberflächen bei einer maximalen Lufttemperatur von 36 °C

Dynamische Belastungen an Fenstern treten bei dessen Bedienung auf, wobei auch unsachgemäße Bedienung mit in Betracht gezogen werden muß. Im Rahmen der Güte- und Prüfstimmungen RAL-RG 607/3-02 für Beschläge werden der Falzhindernis- und der Leistungstest zur Simulation von extremen Belastungen durch unsachgemäße Bedienung durchgeführt.

Brigitte Knoll ist Mitarbeiterin der Gebrüder Kömmerling Kunststoffwerke GmbH in Pirmasens. Dipl.-Ing. (FH) Florian Sewald arbeitet für das Institut für Fenstertechnik in Rosenheim.

Für die Verschraubung der Ecklager durch die Flügelüberschläge sind letztere entweder mit Nocken gestaltet oder mit einem zusätzlichen Innensteg versehen, damit mehr Kunststoffmasse in die Gewindeflanken der Schrauben eingreift.

In den Bildern 11 und 12 sind die Ergebnisse einer Prüferie „Schraubenausreiversuche“ in Abhängigkeit von der Anzahl der PVC-Wände mit und ohne Stahlverstärkung dargestellt.

Bei den in den Bildern 11 und 12 angegebenen Werten handelt es sich um Auszugswerte. Für die Bewertung der zulässigen Beanspruchung muß das Langzeitverhalten und die Alterung mit berücksichtigt werden.

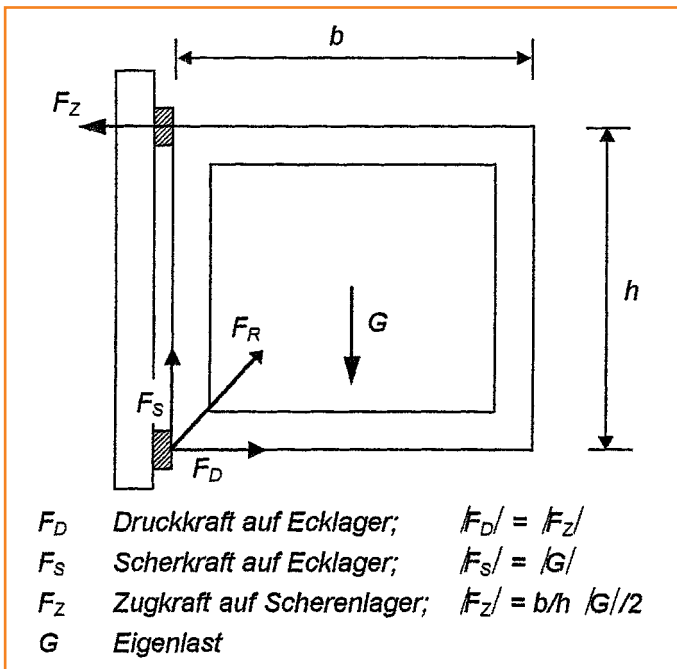


Bild 10: Wirksame Kräfte bei einem um 90° geöffneten Flügel

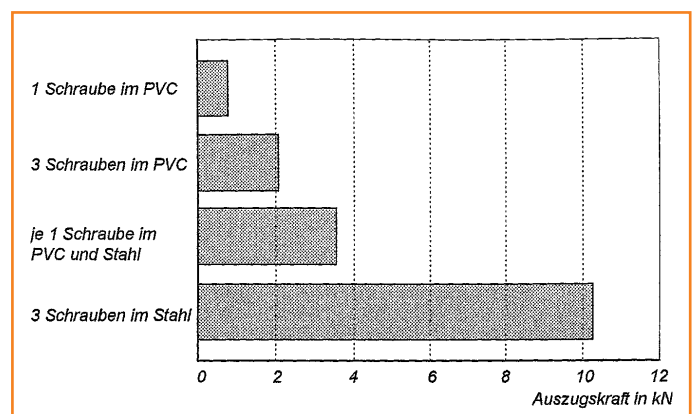


Bild 11: Schraubenausreiversuche in Rahmenprofilen durch eine PVC-Wand

b × h in mm	G in N	F <sub>z</sub> =  F <sub>D</sub>   in N	5  F <sub>z</sub>   = 5  F <sub>D</sub>   in N	F <sub>s</sub> in N	5 F <sub>s</sub> in N
1300 × 1200	600	325	1625	600	3000
1300 × 1200	1300	704	3520	1300	6500
1550 × 1400	1400	775	3875	1400	7000
1550 × 1400	2000	1107	5535	2000	10000

Tabelle 1: Typische Kräfte auf die Lager bei um 90° geöffnetem Flügel und die daraus durch 5fache Lasterhöhung abgeleiteten Bruchkräfte

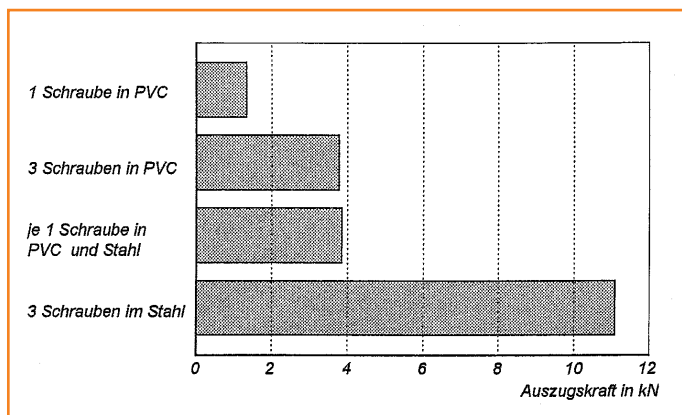


Bild 12: Schraubenausreißversuche in Rahmenprofile durch zwei PVC-Wände

(Der Sicherheitsbeiwert  $\gamma = 5$  beinhaltet die Dauerstandfestigkeit, Materialunsicherheiten, verschiedene Lastkombinationen etc.)

Quellen

- [1] Becker; Braun: PVC
- [2] RAL-GZ 716/1: Kunststoff-Fenster Gütesicherung
- [3] Richtlinien DVS 2207 Teil 25: Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen; Heizelementstumpfschweißen; Schweißen von Fensterprofilen aus PVC-U, Deutscher Verband für Schweißtechnik e.V.
- [4] Guilpain, P.: Ermittlung der qualitätsbeeinflussenden Faktoren beim Schweißen von PVC-Fensterprofilen mit Ausarbeitung eines Qualitätssicherungskonzeptes, 1989
- [5] Gießler, C.: Gestaltung von Schraubverbindungen an extrudierten PVC-Profilen, 1995
- [6] Masanek, F.: Experimentelle Untersuchungen zum Verformungsverhalten stahlverstärkter Verbundprofile, 1996
- [7] Barth, E.: Biegesteifigkeit von verstärkten TROCAL-Fensterprofilen (nicht veröffentlicht)
- [8] Krause, H.: Untersuchungen zur Nutzungssicherheit von Drehkippfenstern, Rosenheimer Fenstertage 1994