

# **Projektarbeit**

2. Semester, M. Eng. Fenster und Fassade

Prüfprozesseignung - Ermittlung und Beschreibung des Verformungszustandes und der Beschlagseinstellung von Fensterelementen im eingebauten Zustand.

Dipl.-Ing. (TU) Martin Kübler

Matrikelnummer: 750152 / martin.kuebler@stud.fh-rosenheim.de

Erstprüfer: Prof. Dr. Peter Niedermaier (fh Rosenheim) Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Bernd Strufe (ift Rosenheim)

> Bearbeitungszeitraum: 27. Dezember 2011 bis 15. Jänner 2012 Linz, Jänner 2012

# 1 Kurzfassung

In dieser Arbeit wird untersucht welche Messwerte und Angaben erforderlich sind, um eine nachvollziehbare Darstellung des Zustandes eines Fensterelementes bezogen auf die Verformung und die Einstellung der Beschlagselemente zu erhalten.

Für die Angaben werden die erforderlichen Messgenauigkeit und mögliche Messmethoden angegeben.

- Die Projektarbeit soll zeigen, ob eine objektive und nachvollziehbare Bestandsaufnahe durch einen Fachmann (Servicetechniker) möglich ist.
- Welche Hilfsmittel und welcher Zeitaufwand dafür erforderlich sind.
- Ob auf Basis der Befundaufnahme eine eindeutige Empfehlung für Verbesserungsmaßnahmen gegeben werden kann.
- Ob Verformungen durch Verkehrs- und Klimalasten darstellbar sind.

Diese Arbeit stellt eine Vorstudie für die mögliche Vertiefung des Themas im Rahmen einer Masterarbeit dar.

**Schlüsselwörter:** Fenster, Bauelemente, Verformung, elastoplastisch, Vermessung, Linienlaser, Rotationslaser Laserscanner, Prüfprozesse, Prüfprozesseignung, Beschläge, Servicearbeiten, PVC-U, PVC-U-GV.

# 2 Vorwort / Motivation

Die aktuellen Anforderungen an die Leistungsmerkmale von Bauelementen und die architektonischen Vorlieben der Bauherren führen zunehmend zur Fertigung von sehr großen, zarten Elementen aus modernen Materialkombinationen.

Die Lasten die auf die Bauelemente einwirken führen zu Verformungen die im Extremfall die Gebrauchstauglichkeit der Elemente einschränken. In diesem Fall wird oft Fachpersonal gerufen um Einstellungen an den Elementen vorzunehmen, welche die Gebrauchstauglichkeit wieder herstellen sollen. Diesen Einstellarbeiten werden meist "nach Gefühl und Erfahrung" durchgeführt. Eine systematische Analyse des Verformungszustandes wird meist nicht durchgeführt.

Der Erfolg der Maßnahmen ist daher erheblich vom Geschick und der Tagesverfassung des handelnden Fachpersonals abhängig. Für Kunden entsteht leicht der Eindruck, einer unprofessionell agierenden Serviceorganisation ausgeliefert zu sein. Die Beurteilung der Dienstleistungsqualität wird vom Kunden mit dem Erfolg der Einstellarbeiten verknüpft.

Für eine Serviceorganisation ist es ein Erfolgskriterium, dem Auftraggeber durch das Vorlegen einer nachvollziehbaren Problemanalyse darstellen zu können, welche Schwierigkeiten bei der Wiederherstellung der Gebrauchstauglichkeit zu überwinden sind. Das führt beim Kunden zu einer getrennten Wahrnehmung der Dienstleistungsqualität und der Qualität der Bauelemente.

Die systematische Messung der Kundenzufriedenheit in beiden Bereichen – Produktqualität und Dienstleistungsqualität – gibt einem Unternehmen die erforderlichen Impulse für Verbesserungsprozesse im jeweiligen Teilbereich.

# 3 Fertigungstoleranzen im Fensterbau

### Berechnung der Teilemaße

Die Längen der Stäbe die einen Rahmen bilden sollen werden bei der Konstruktion oder der Erfassung in einem Produktkonfigurator errechnet. Bei der Berechnung mit üblicher Fensterbausoftware werden oft bereits gewisse Abweichungen von der mathematisch exakten Berechnung zugelassen. Beispielsweise verwendet das verbreitete Softwarepaket Cantor zur Speicherung und Ausgabe von Stablängen nur Angabe in ganzen Millimetern. Dadurch entsteht schon bei der Berechnung ein Rundungsfehler von  $\pm$  0,5 mm für Teilelängen.

#### Zuschnitt

Zuschnittanlagen für Fensterprofile werden im Allgemeinen so betrieben, dass bei der Produktionskontrolle eine Abweichung von  $\pm$  1 mm zugelassen wird. Abweichungen mit einem Absolutwert über 1 mm führen zu Eingriffen.

Die Messung erfolgt im Fertigungsbetrieb mit Hilfe von Rollmassbändern. Dieser Messprozess ist mit einer erheblichen Messunsicherheit behaftet.

Anmerkung: Die Positionierung der Achsen (Wiederholgenauigkeit der Maschine) für die im Fensterbau üblichen Zuschnittanlagen liegt im Bereich von  $\pm$  0,1 mm. Das breite Toleranzfeld im Zuschnitt von Profilen entsteht durch Abweichungen der Raumform der Profile bzw. durch die Verformung der Profile beim Transport und beim Spannen in der Maschine.

### Eckverbindungen

Bei Holz- und Alukonstruktionen sind die von er Eckverbindung hervorgerufenen Längenabweichungen im Bereich um  $\pm$  0,5 mm.

Bei Eckschweißverbindungen von Kunststofffensterelementen werden die Toleranzen aus dem Zuschnitt zum Teil durch höheren oder geringeren Abbrand beim Aufheizen des Materials ausgeglichen. Die Positioniergenauigkeit der üblichen Vierkopfschweißmaschinen für Kunststofffenster liegt im Bereich von  $\pm$  0,1 mm. Durch Abweichungen der Raumform der Profile, Verformungen der Profile beim Spannen, die Biegung der Stäbe in der Schweißmaschine beim Fügen und durch Einflüsse der Reibung der Profile in der Beilage kommt es zu einer Kombination von Einflüssen die in Summe eine Toleranz der Rahmenmaße nach dem Schweißen von  $\pm$  1 mm ergeben. Da die Überwachung in der Fertigung üblicherweise mit Rollmaßbändern und nur in seltenen Fällen auch mit Messschiebern erfolgt, werden

die Toleranzbereiche üblicherweise mit  $\pm$  1 mm und die Eingriffsgrenzen mit  $\pm$  2 mm festgelegt.

### Winkel fertiggestellter Eckverbindungen

Winkelfehler werden durch geeignete Vorrichtungen im Produktionsprozess von Holz-und Alukonstruktionen weitestgehend ausgeschlossen.

Beim Kunststofffenster entstehen Winkelfehler durch ungleichmäßiges Schrumpfen des Materials beim Abkühlen nach dem Fügen und durch das Verschweißen gekrümmter Stäbe. Die Überwachung der Winkeltreue wird im Fertigungsprozess für Kunststofffenster oft Vernachlässigt. Sofern sie erfolgt, wird mit Hilfe von Metallwinkeln die Abweichung qualitativ ermittelt. Winkelabweichungen bis zu  $\pm$  0,15° werden üblicherweise ohne Eingriff toleriert (das entspricht ca. 2 mm Abweichung in einer Entfernung von 1.000 mm zur Ecke).

### Abweichung von der Geraden

Die Geradheit des Halbzeugs Holzkantel ist in der DIN EN 13307-1 geregelt. Für gehobeltes Holz liegt der Maximalert (Stichmaß) bei

$$fmax = \frac{\left(\frac{L}{1000}\right)^2}{2} \text{ mindestens jedoch 1 mm}$$

Für Profile aus PVC-U nennt die RAL GZ 716 -1 ein Gütekriterium für die Geradheit der Profile zum Zeitpunkt der Übergabe der Stangenware vom Hersteller zum Verarbeiter.

# 2.3.4 Abweichung von der Geraden<sup>1</sup>

Alle Profile müssen gerade sein. Eine Verformung durch unsachgemäße Lagerung muss vermieden werden. Bei der Prüfung darf die Längsachse der Hauptprofile, gemessen an den Außenkanten, nicht mehr als 1 mm/m von der Geraden abweichen. Prüfung: Prüfverfahren P.3.3.3

### P.3.3.3 Abweichung von der Geraden

Zur Messung der Abweichung der Profillängsachse von der Geraden wird ein Profilabschnitt von ( $1000 \pm 1$ ) mm Länge nacheinander mit allen Außenkanten, auf eine ebene Unterlage, z.B. Richtplatte, gelegt. An den Stellen, wo das Profil nicht aufliegt, wird der Abstand zwischen Profil und Unterlage mit einem geeigneten Messgerät (z.B. Fühlerlehre) gemessen und in mm/m angegeben.

\_

RAL GZ 716-1 Ausgabe März 2008

Der Grenzwert der zulässigen Krümmung wird in der Serienproduktion meist durch Sichtkontrollen überwacht. Ab dem Wert von 0,5 mm/m wird üblicherweise eingegriffen bzw. aussortiert.

Bei einer Krümmung von 0,5 mm/m entstehen Winkelfehler bei der Verschweißung. Der Winkel der Tangenten der beiden zusammengeschweißten Bogenstücke in der Ecke beträgt dabei ca. 90°± 0,45°.

Der Toleranzbereich für Winkelfehler von Rahmenecken wird daher schon durch die zulässige Krümmung des Halbzeuges Kunststoffprofil gänzlich ausgeschöpft bzw. überschritten. Sofern der Fertigungsprozess zusätzlich eine systematische Winkelabweichung beim Schweißen erzeugt, werden die Abweichungen von der idealen, rechtwinkeligen Form unzulässig groß.

Im Fertigungsbetrieb wird darauf geachtet, dass die Winkelabweichung im Toleranzfeldbereich  $90^{\circ + 0.0^{\circ}}_{-0.5^{\circ}}$  liegt. Dadurch wird erreicht, dass beim Verglasen durch das Einbringen von Klötzen die Biegung der Profile ausgeglichen werden kann. Bei verklebten Konstruktionen führt dies zu unerwünschtem Mehraufwand. Es müssen entweder Klötze eingebracht werden die bei der Verklebung stören oder die Profile werden mit elastischen Flächen ausgestattet, die das Profil passend zum Glas ausrichten.

# 4 Materialien und Bauarten – Einfluss auf die Verformung

Charakteristische Materialkennwerte:

Kennwert	Stahl	Alu	Holz	PVC-U	PVC-U-GV	Glas
E-Modul [kN/mm <sup>2</sup> ]	210	70	7 - 20	2	3	50 - 90
Linearer Längen- ausdehnungskoef- fizient [10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> ]	11	23	8	80	40	7,6

Quelle: Wikipedia für Stahl, Aluminium, Glas, Holz, Rehau Materialkennblätter für PVC-H, PVC-U-GV

Der E-Modul und der lineare Längenausdehnungskoeffizient der in einem Fenstersystem kombinierten Materialien sind die wesentlichen Kennwerte für die die Abschätzung Formbeständigkeit unter Last.

Der lineare Ausdehnungskoeffizient für PVC-U zeigt um ca. 50% geringere Werte, wenn er an Proben aus Mehrkammer-Fensterprofilen ermittelt wird. Für die Abschätzung der Längenänderung von Fensterprofilen aus PVC-U kann daher mit  $\alpha=40*\frac{10^{-6}}{K}$  gerechnet werden. Glasfaserverstärkte Profile (PVC-U-GV) erreichen durch diesen Effekt einen mit Aluminium vergleichbaren Wert. Das eröffnet die Möglichkeit, die Materialien PVC-U-GV und Aluminium im schubfesten Verbund einzusetzen.

Ein grober Vergleich der Biegesteifigkeit von handelsüblichen Profilen mit einer Bautiefe im Bereich um 85 mm ergibt folgende Reihung:

Material bzw. Materialverbund	E * I [kNcm <sup>2</sup> ]	relat.
Holz oder Holzalu (schubweicher Verbund)	28	100 %
Kunststoff, Flügel versteift mit Stahl (schubweich)	14	50 %
Kunststoff, Flügel unversteift	2,3	8 %

$$\kappa = \frac{M_B}{E * I}$$

Da die Biegesteifigkeit E\*I das Verhältnis der Krümmung zum Biegemoment eines stabförmigen Bauteils angibt, ist diese ein gutes Maß für den Vergleich der zu erwartenden Bauteilverformungen unter Biegebeanspruchung.

Die Verformungen unter gleicher Last für ein Flügelprofil aus Holz, aus Kunststoff mit Versteifungseisen und aus Kunststoff ohne Versteifungseisen sollten sich Verhalten wie 1:2:10.

Die Biegesteifigkeit von Kunststoffprofilen die durch Einbringen von Glasfasern oder Stegen aus zugfestem Kunststoff versteift werden liegt um ca. 1/3 höher (Herstellerangaben). Werden solche Profile anstatt der unversteiften Kunststoffprofile im obigen Vergleich eingesetzt, ändern sich die Verhältnisse der Verformungen auf 1:2:6,7.

Trotz dieser geringfügig erscheinenden Verbesserung, halten viele Hersteller diese Profile für besonders geeignet für verformungsgefährdete Konstruktionen. Dies deshalb, weil die relevanten Eigenschaften dieser Profile unter thermischer Beanspruchung und bei geringen Verformungen günstiger sind als jene von versteiften Profilen aus PVC-U.

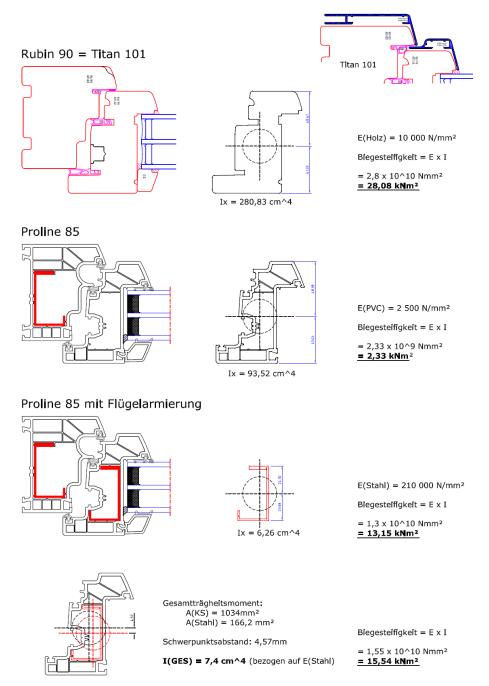


Abbildung 1 - Vergleich der Biegesteifigkeit von Flügelprofilen ähnlicher Bautiefe (Quelle: Josko Fenster und Türen)

### Holz bzw. Holz-Alukonstruktionen

Moderne Holz und Holzalukonstruktionen werden zur wärmetechnischen Optimierung häufig aus Holz-Verbundwerkstoffen gefertigt. Gleichzeitig folgen moderne Konstruktionen oft dem Kundenwunsch nach geringen Ansichtsbreiten der Profile.

Bei hohen Flügelgewichten und bei hohen Verkehrslasten sind auch Holz- und Holzalukonstruktionen verformungsgefährdet. Bei solchen Konstruktionen wird jedoch meist die Versiegelung des Isolierglases im Flügel mit flüssigen Dichtstoffen ausgeführt. Diese Versiegelung hat eine mit der Verklebung des Glases im Flügel vergleichbare Wirkung und verhindert Verformungen in der Fensterebene.

### **PVC-U Konstruktionen**

Profile aus PVC-U haben durch den geringen E-Modul des Materials eine geringe Biegesteifigkeit. Daher werden die Profile üblicherweise mit Versteifungen versehen die Verformungen verhindern sollen.

### unversteifte Profile

Bei kurzen Stäben moderner Mehrkammerprofile ist die Biegesteifigkeit in den meisten Fällen ausreichend. Jedenfalls ist bei diesen kurzen Stäben keine nutzbare Verbesserung der Biegesteifigkeit durch den Einsatz von Versteifungseisen zu beobachten. Dies liegt an der elastischen Verbindung zwischen Profil und Versteifungseisen. Das Weglassen der Versteifungseisen bewirkt bei vielen Profisystemen eine Verringerung des  $\emph{U}_f$  Wertes

### Aussteifung mit Armierungseisen

In die Hohlkammern der Profile werden Stahlprofile eingeschoben und diese mit Schraubabständen von ca. 200 mm verschraubt. Die Versteifungen sind kürzer als die Profile um das Verschweißen im Eckbereich nicht zu behindern. Die Verbindung zwischen dem Profil und dem Versteifungseisen ist bei der Berechnung der Widerstandsmomente als schubweich anzusetzen.

In der Praxis ist zu beobachten, dass an Profilen Verformungen auftreten obwohl die Kräfte nicht ausreichend sind um die Armierung zu verformen. Die Armierung zeigt die aussteifende Wirkung erst bei größeren Lasten. Bei geringen Lasten verformt sich das Kunststoffprofil bis die Verschiebungen vom Versteifungseisen begrenzt werden.

### kontinuierliche Aussteifung

Es gibt mehrere Technologien zur Herstellung kontinuierlich ausgesteifter Hohlkammerprofile. Es werden Versteifungen mitextrudiert, durch Pultrusion eingebracht oder Teile der Profile aus Glasfaserverstärken Material extrudiert. Die Vorteile der so hergestellten Profile sind durch die schubfeste Verbindung zur Armierung gegeben. Die Armierung wirkt auch schon bei kleinen Verformungen.

Einen entscheidenden Vorteil bieten die kontinuierlich ausgesteiften Profile auch durch den geringeren linearen Ausdehnungskoeffizienten. Dieser verringert sich auf ca. 60% des Wertes von üblichen Profilen aus PVC-U (Herstellerangaben Rehau, Aluplast).

### Verglasungstechnik - Einfluss auf die Verformung

Das Eigengewicht der Verglasung im Fenster stellt die größte permanent wirkende Last im Fenster dar. Die Lastübertragung vom Glas zum Flügelrahmen ist daher entscheidend für die Art und das Ausmaß der Auftretenden Verformungen.

### Fixierung des Glases mit Klötzen

Bei der Fixierung des Glases mit Klötzen erfolgt die Krafteinleitung nur an einigen Punkten und nur in Form von Druckkräften. Um die Druckkräfte aufrecht zu erhalten ist eine elastische Verformung des Flügels erforderlich. Die Verformung erfolgt durch Biegung und auch durch Torsion der Profile.

Bei schweren Verglasungen und bei ungünstigen Seitenverhältnissen der Flügel sind die Verformungen groß und erreichen in der Praxis oft ein Ausmaß das die Gebrauchstauglichkeit einschränkt.

# Verklebung des Glases mit dem Flügelrahmen

Durch die Verklebung erfolgt die Abtragung des Eigengewichtes der Verglasung linienförmig und auch durch Zugkräfte. Verformungen des Flügels durch das Eigengewicht werden dadurch verringert. Verformungen auf Grund des Eigengewichtes entstehen bei solchen Konstruktionen nur durch die punktförmige Lastabtragung über den Beschlag.

Die Verklebung zwischen Glas und Flügel verbindet zwei Materialien mit unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten. Bei ungünstiger Wahl des Klebstoffes oder ungünstiger Lage und Geometrie der Klebeverbindung kommt es zu Verformungen des Flügels durch eine dem Bimetalleffekt ähnliche Krafteinwirkung auf die Profile.

# 5 Montage - Stand der Technik und aktuelle Praxis

### Planung der Bauanschlussfuge

Die gültigen Regelwerke fordern eine Planung der Bauanschlussfuge. Dabei wird neben der Berücksichtigung der bauphysikalischen und energetischen Optimierungskriterien auch eine sichere Lastabtragung und die Vermeidung von Verformungen an den Bauelementen gefordert.

Folgende Einflüsse sind bei der Planung der Bauanschlussfuge zu berücksichtigen um Verformungen zu vermeiden:

- Die thermische Ausdehnung der stabförmigen Rahmenelemente. Durch eine geeignete Befestigung der Elemente im Baukörper soll erreicht werden, dass die Längenänderungen nicht zu einer Verformung der Stockrahmen führen. Dabei soll in Richtung der Stabachse die Ausdehnung ungehindert möglich sein normal zur Stabachse sollen jedoch Verschiebungen weitestgehend unterbunden werden. Dies ist insbesondere erforderlich, um die als "Biematalleffekt" bezeichnete thermisch induzierte Biegung von schubfesten, stabförmigen Materialverbunden zu verhindern.
- Die Einleitung der statischen Lasten der Bauelemente in den Baukörper ohne Verformungen an den Elementen. Die Dimensionierung der Befestigungsmittel berücksichtigt im Allgemeinen die Kräfte deren Wirkungsrichtung normal zur Fensterebene liegt. Das sind die von Druck- und Sog hervorgerufenen Kräfte und die Lagerkräfte bei Flügeln in Drehstellung. Es wird meist davon ausgegangen, dass die Rahmen der Elemente ausreichend biegesteif dimensioniert sind, um jene Kräfte deren Wirkungslinien in der Fensterebene liegen über die druckfesten Auflager in den Baukörper abzuleiten.
- Bewegungen des Baukörpers die zu einer Maßänderung in der Bauanschlussfuge führen. Dies tritt bevorzugt bei raumhohen Elementen auf, die am Ende der Rohbauphase zwischen auskragende Decken von Gebäuden gesetzt werden. Die nachfolgend in das Gebäude eingebrachten Lasten (Bodenaufbauten, Trennwände, Verglasungen, ..) führen zur Durchbiegung der Gebäudedecken, die geeignet sind die Gebrauchstauglichkeit der Elemente einzuschränken. Betroffen sind insbesondere breite Konstruktionen wie Hebeschiebetüren oder Faltelemente.

### Montage der Bauelemente

Die Montage von Fensterelementen wird im Gegensatz zur Montage von Fassadenelementen in vielen Fällen nicht ingenieurmäßig geplant. In Europa fordern die Gesetzgeber keinen Standfestigkeitsnachweis für Fenster und Türelemente.

Zumeist werden Kombinationen der drei Komponenten Wandbildner, Befestigungsmittel und Fenstersystem die sich als wirtschaftlich und technisch günstig erwiesen haben ohne weitere Berücksichtigung individuell vorliegender Faktoren wie Lasten und Elementgrößen eingesetzt. Diese Methode ist bei Elementen mit Abmessungen kleiner als 2 Meter und bei geringen Flügelgewichten im Allgemeinen erfolgreich. Daher werden Probleme die bei einzelnen Elementen während des Gebrauchs auftreten zumeist als Mangel des Elementes und selten als Mangel der Montage oder der Montageplanung angesehen.

Gebräuchliche Montagedetails die Auswirkungen auf die Verformung von Bauelementen haben:

### Dübelmontage

Bei der Dübelmontage entsteht ein punktförmiges Festlager. Es werden Zug- und Druckkräfte in der Fensterebene und normal zur Fensterebene zwischen Fenster und Baukörper übertragen. Verschiebungen sind nur durch die Verformung der Befestigungsmittel oder durch Verformungen an den Befestigungspunkten möglich. Bei umlaufender Dübelmontage entsteht ein statisch mehrfach überbestimmtes System. Betrag und Richtung der Kräfte und der Verschiebungen in diesem System sind stark von den Randbedingungen abhängig.

### Vorgegebene Schraubabstände

Zumeist werden die Bohrungen für die Dübelmontage bereits im Herstellwerk der Fenster in die Profile eingebracht. Dabei wird nach einem fixen, althergebrachten Schema vorgegangen. Da dem Hersteller genaue Informationen über den Wandaufbau und die geplante Lage des Fensters in der Leibung fehlen, wird von Standardwerten ausgegangen und die Löcher entsprechen vorgesehen. Bei der Montage vor Ort wird an allen vorgesehenen Befestigungspunkten eine Verschraubung gesetzt. Findet eine Schraube dabei keinen ausreichenden halt im Wandbildner fällt der Befestigungspunkt oft ersatzlos aus.

Die Lage der Dübellöcher im Profil wird üblicher Weise so gewählt, dass diese nicht von Beschlagsteilen abgedeckt werden. Die Dübellöcher werden von den Fensterherstellern jedoch nicht gezielt so angeordnet, dass Lasten von den Beschlagteilen über die Verschraubung direkt in den Baukörper abgeleitet werden.

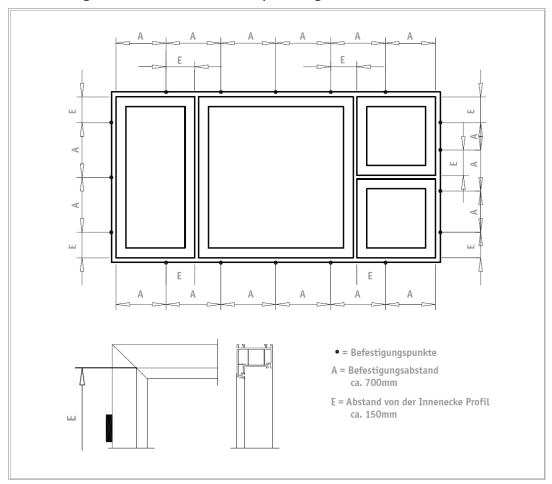


Abbildung 2 - Die im deutschen Sprachraum allgemein gebräuchliche Vorgabe für die Anbringung von Lastabtragungen. (Quelle: RAL Gütegemeinschaft, Montagehandbuch Kunststofffenster)

### Weglassen der oberen und / oder unteren Befestigung

Rollladenkästen die zum Aufsetzten auf Fenster gedacht sind verfügen üblicherweise nicht über ausreichende Steifigkeit um die am oberen Querstab des Elements auftretenden Kräfte in den Baukörper abzuleiten. Daher wird diese Lastabtragung in der Praxis oft weggelassen.

Die untere Befestigung wird gelegentlich vernachlässigt weil zum Zeitpunkt der Montage keine ausreichende Unterkonstruktion zur sicheren Ableitung der Lasten vorhanden ist. Diese Fehler führen oft zur Einschränkung der Gebrauchstauglichkeit der Elemente.

### Laschenmontage

Bei der Laschenmontage wird eine Lastabtragung ausgebildet, die Zug- und Druckkräfte normal zur Fensterebene überträgt. Die Befestigungspunkte sind in der Fensterebene als Loslager bzw. als "mit geringen Kräften geringfügig verschiebbare" Lagerstellen anzusehen. Werden Befestigungspunkte die mit Montagelaschen ausgeführt sind mit dynamischen Lasten in Fensterebene belastet, kommt es oft zur Einschränkung der Gebrauchstauglichkeit der Elemente.

# Kombination Dübelmontage - Laschenmontage

Es ist selbsterklärend, dass eine Montageplanung bei der die Wärmedehnungen und Verkehrslasten berücksichtigt werden für jedes Fenster Fest- und Loslager vorsieht. Statisch überbestimmte Systeme erzeugen innere Kräfte im System, statisch unbestimmte Systeme führen unter dynamischer Last zu Bauteilbewegungen. Beides ist geeignet die Gebrauchstauglichkeit einzuschränken.

Ungeachtet dessen, wird in der Praxis häufig entweder die Laschenmontage oder die Dübelmontage an allen Befestigungspunkten eines Elementes ausgeführt. Je grösser die auf diese Art befestigten Elemente sind und je höher die auftretende temperaturbedingten Längenänderungen ausfallen, desto wahrscheinliche wird das Hervorkommen der Montagmängel.

# Elementkopplungen

Elemente werden oft direkt mit einander verschraubt ohne eine Dehnungskopplung auszuführen. Die Längenänderungen der Profile führen in der Folge zu Verformungen und im Extremfall zum Profilbruch. In den einschlägigen Montageleitfäden wird bei Kunststoffelementen empfohlen  $\pm 1$  mm pro Meter Profillänge und Seite als Bewegungsspielraum zu berücksichtigen.

Fensterbreite (cm)	Längenänderung $\Delta$ mit $lpha_{ extsf{PVC-U}}$ 70 $\cdot$ 10 $^{ extsf{-6}}$ /K	(mm) bei $\pm$ 30°C mit $\alpha_{\rm Fenster}$ 42 $\cdot$ 10 <sup>-6</sup> /K
150	± 3,15	± 1,9
250	± 5,25	± 3,2
350	± 7,35	± 4,4
450	± 9,45	± 5,7

Abbildung 3 - Empfehlungen für die in der Bauanschlussfuge vorzusehende Bewegungsfreiheit der Elemente in der Fensterebene (Quelle - RAL Gütegemeinschaft - Montagehandbuch Kunststofffenster)

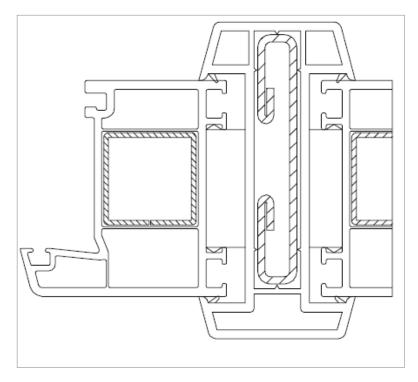


Abbildung 4 - Beispiel für eine Elementkopplung (Quelle: Aluplast)

Bei Elementkopplungen wird in der Praxis häufig durch Anbringen einer Zug- und Druckfesten Verschraubung zwischen den beiden gekoppelten Elementen die ursprünglich geplante Bewegungsmöglichkeit unterbunden bzw. auf die Eckpunkte beschränkt.

Die Elementkopplung wirkt dadurch sehr gut als Windaussteifung ist jedoch nicht mehr als Dehnungsausgleich geeignet.

# 6 Darstellung der Verformungen

# Verformungen in der Fensterebene

Die folgenden Darstellungen können nach Messung der Längen, der Eckwinkel und der Kurvenform der Profile erstellt werden.

# Grundtypen Flügelverformung

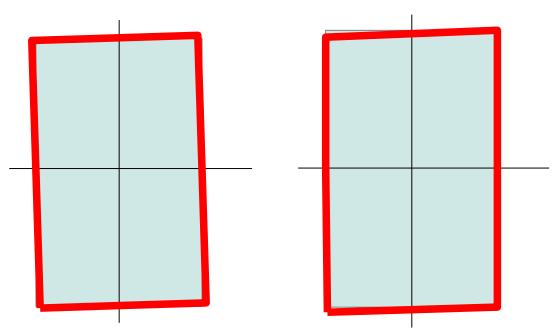


Abbildung 6 - Fehlstellung des Flügels zum Rahmen

Abbildung 5 - Winkelfehler ohne Biegung der Stäbe

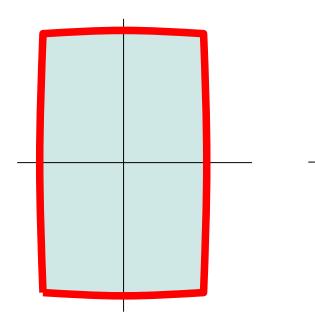


Abbildung 8 - Winkelfehler Eckwinkel ≠ 90°

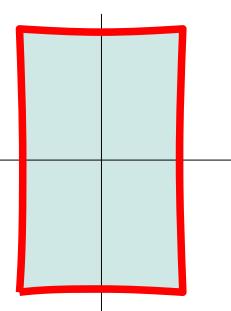


Abbildung 7 - Winkelfehler Eckwinkel ≠ 90°

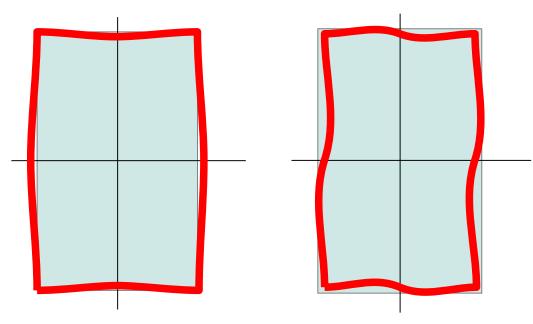


Abbildung 11 - Krümmung der Rahmenbauteile - Eckwinkel = 90° - Bogenform

Abbildung 10 - Krümmung der Rahmenbauteile - Eckwinkel = 90° - Krümmung in S-Form

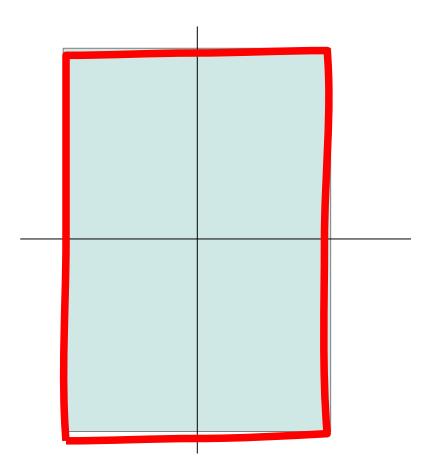


Abbildung 9 – in der Praxis auftretende Mischform: Eckwinkel ≠ 90° Stäbe gekrümmt - keine spezifische Kurvenform, Verformung durch Glasgewicht und Beschlagsbefestigung.

### Verformungen normal zur Fensterebene

Die Verformungen normal zur Fensterebene sind nur durch dreidimensionale Darstellungsform nachvollziehbar. Dadurch zeigen sich auch die geometrischen Zusammenhänge zwischen den Verformungen einzelner Stäbe.

Die Grafik stellt die Verformungen eines in einem Klimaschrank montierten Fensters im geschlossenen Zustand bei hoher Temperaturdifferenz dar. Das Fenster wurde aus hochwärmegedämmten Profilen gefertigt, die besonders hohe Verformungen unter Differenzklimabelastung zeigen.

Es werden nur die Verschiebungen normal zur Fensterebene dargestellt. Verschiebungen in der Fensterebene, Winkeländerungen und Torsion der Profile wird nicht dargestellt.

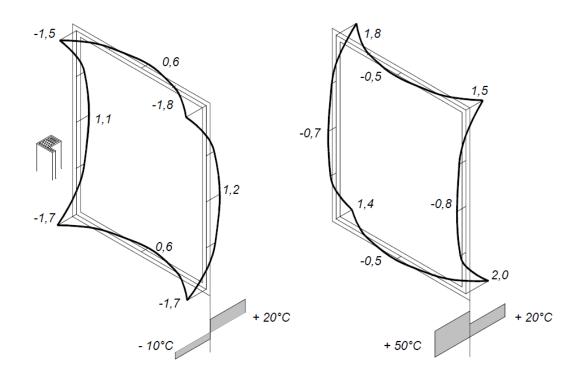


Abbildung 12 - Darstellung der Verformung des Rahmens eines geschlossenen, montierten Fensters aus hochwärmegedämmten Kunststoffprofil bei hohen Temperaturdifferenzen (Quelle: Forschungsbericht HIWIN Teilbereich 3, IFT Rosenheim)

Die gleiche Belastung hat bei einem Fenster das aus herkömmlichen, stahlversteiften Dreikammerprofilen gefertigt wurde folgende Auswirkung auf die Verformung.

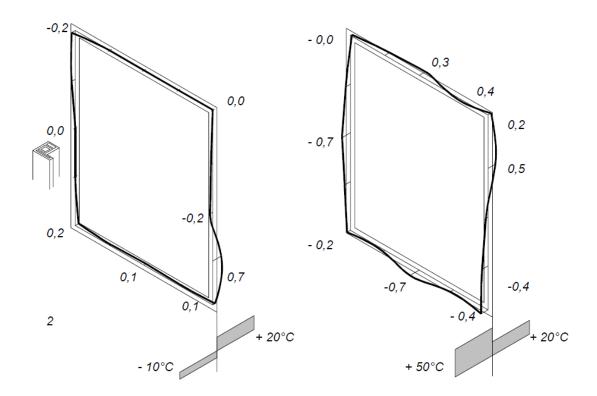


Abbildung 13 - Darstellung der Verformung des Rahmens eines Fensters mit einfachem, versteiften Dreikammerprofil bei hohen Temperaturdifferenzen (Quelle: Forschungsbericht HIWIN Teilbereich 3, IFT Rosenheim)

Versuche die realen, dreidimensionalen Verformungen von Fensterrahmen und –flügel in einer Abbildung zusammenfassend darzustellen, scheitern am Verlust der Anschaulichkeit. Werden alle Verformungsarten und -richtungen berücksichtigt, so sind Verschiebungen in der Fensterebene, normal dazu und gleichzeitig Winkelabweichungen, Kurvenform und Torsion der Profile darzustellen.

Es erscheint daher zweckmäßig, zur Darstellung des realen Verformungszustands ein dreidimensionales Modell im Rechner aufzubauen und die Anschaulichkeit durch wechselnde Ansichtspunkte und transparente Bezugs- und Schnittebenen herzustellen.

Die Entwicklung eines entsprechenden Computermodells und der für die Datenermittlung erforderlichen Messmethodik könnte eine Weiterführung dieser Arbeit darstellen.

# Relative Stellung des Flügels zum Rahmen

# Ausrichtung und Zentrierung:

Konstruktiv ist vorgesehen, dass die Profile von Rahmen und Flügel in zwei zueinander parallelen Ebenen liegen und die einzelnen Stäbe von Rahmen und Flügel jeweils paarweise parallel zueinander angeordnet sind.

Dies wird dann erreicht, wenn der Flügel und der Stockrahmen der idealen Form entsprechen und die Beschlagsteile so montiert und eingestellt sind, dass diese zueinander in der richtigen Lage gehalten werden.

Mit zwei Messreihen mit dem Tiefenmessschieber kann die Stellung des Flügels zum Rahmen festgestellt werden. Die Messwerte sind jedoch immer von Formabweichungen der beiden Rahmen überlagert.

Sofern die Außenkante des Stockrahmens umlaufend zugänglich ist, kann diese als Bezugskannte verwendet werden. Die Messung ist in diesem Fall einfach. Ist die Außenkannte jedoch bereits eingeputzt ist die Messaufgabe schwierig. Das Maß ist in diesem Fall indirekt zu ermitteln. Nach dem Anbringen eines Risses bei geschlossenem Flügel, wird bei geöffnetem Flügel der Abstand zur Innenkante des Rahmens gemessen.

Für die Beschlageinstellung sind hauptsächlich die Einstellmaße an den Ecken relevant. Die Kontrollmessungen in der Mitte der Stäbe sollen sicherstellen, dass die Profile nicht an Verriegelungspunkten verformt werden (z.B. durch verdeckte Mittelschließer bei Stulpfenstern).

Der Einstellbereich moderner Beschlagsysteme in der Flügelebene liegt für die wesentlichen Teile wie Ecklager und Scherenlager üblicherweise im Bereich von  $\pm$  1,6 mm bis  $\pm$  2,5 mm. Der Einstellbereich normal zur Fensterebene liegt Bereich von  $\pm$  0,8 mm bis  $\pm$  1 mm.

Im Vergleich zu den oben dargestellten Formabweichungen erscheint der Einstellbereich gering. Es ist jedoch ohnehin nicht sinnvoll zu versuchen, größere Formabweichungen im Fensterelement dadurch zu kompensieren, dass die Positionierung des Flügels relativ zum Stockrahmen abweichend von den konstruktiven Vorgaben erfolgt. Fenster mit einer extremen Beschlagseinstellung erfüllen zugesichert Eigenschaften nicht mehr mit ausreichender Sicherheit.

### Parallelität von Flügelrahmenebene und Stockrahmenebene

Durch die umlaufende Messung des Abstandes zwischen der inneren Ansichtsfläche des Flügels und jener des Rahmens kann festgestellt werden, ob die beiden Ebenen parallel sind. Ist das Maß umlaufend konstant kann auch von einer umlaufend konstanten Dichtungspressung ausgegangen werden.

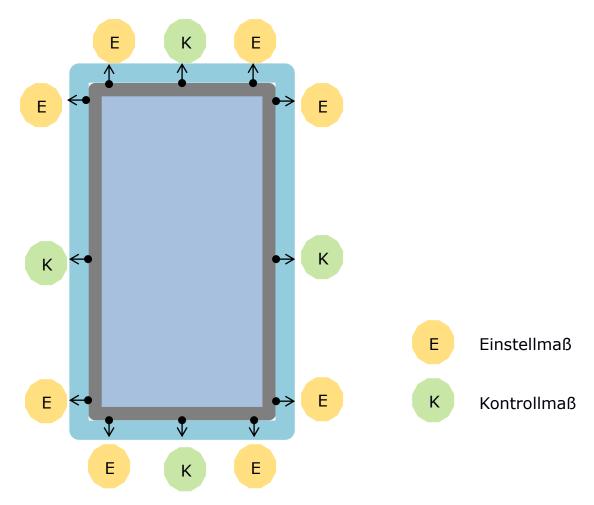


Abbildung 14 - Messpunkte für die Einstellung des Beschlages und zur Kontrolle

# 7 Messmethoden und Prozessfähigkeit

### Längenmessung

### Rollbandmaß

Genauigkeit nach EG-Richtlinie 2004/22/EG:

$$e = a + b * L$$

Genauig- keitsklasse	a [mm]	b [mm/m]
I	0,1	0,1
II	0,3	0,2
III	0,6	0,4

Für die im Fensterbau üblicherweise zu messenden Längen von ca. 2000 mm ergibt sich bei einem guten Rollbandmaß der CLASS II:  $\pm$  0,7 mm, bei CLASS I:  $\pm$  0,3 mm.

# Prozessfähigkeitsanalyse zur Vermessung von Fenstern mit dem Rollbandmaß

"Auflösung des Messgerätes:

Bevor eine der genannten Untersuchungen durgeführt wird, ist zu überprüfen, ob die Auflösung des Messgerätes gegeben ist.

Das Messgerät muss eine Auflösung von  $\%RE \le 5\%$  der Toleranz des Merkmals haben, um Messwerte sicher ermitteln und ablesen zu können."<sup>2</sup>

Unter der realistischen Annahme, dass es für die Herstellung und Einstellung von Fensterelementen ausreichend ist Toleranzfelder mit einer Breite von  $\pm$  1 mm zu überwachen, müsste nach der oben zitierten Regel jedes Messmittel eine Auflösung von 5% von 2 mm – das sind 0,1 mm – aufweisen. Damit ist das Rollbandmaß als Messmittel für die Überwachung von Fertigungstoleranzen im Fensterbau als untauglich einzustufen. Die erforderliche Auflösung wird von Messschiebern, Messuhren und ähnlichen Messmitteln geboten.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Prüfprozesseignung – Prüfmittelfähigkeit und Messunsicherheit im aktuellen Normenfeld (Edgar Dietrich, Alfred Schulze, © 2007 Hanser Verlag

Da das Maßband jedoch in der Praxis des Fensterbaues und der Fenstermontage das dominierende Messmittel ist, wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Versuch unternommen die Aussagekraft von Messungen an Fenstern mit Rollmaßbändern zu prüfen.

Basis der Auswertung ist ein einfacher Versuch bei dem eine zufällig zusammengestellte Gruppe von Servicetechnikern, Monteuren und Fenstertechnik-Projektleitern an einem geschlossenen Fensterelement jeweils sechs Längen mit einem Rollbandmaß der Genauigkeitsklasse I und nachfolgend die selben Maße, am selben Element mit einen Rollbandmaß der Genauigkeitsklasse II ermitteln.

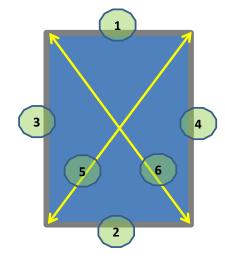
Die klimatischen Rahmenbedingungen während des Versuches waren stabil. Es ist weitestgehend ausgeschlossen, dass sich das Element zwischen den Messungen verformt hat.

Daten und Auswertung:

Messreihe 1 Rolbandmaß SOLA Class I
Messeihe 2 Rollbandmaß Reca Class II

Maßbezeichnung	Maß Nr
Flüglebreite oben	1
Flügelbreite unten	2
Flügehöhe links vi	3
Flüglehöhe rechts vi	4
Diagonale links unten - rechts oben	5
Diagonale rechts unten - links oben	6

Class I	Maß Nr.					
Prüfer	1	2	3	4	5	6
А	920,0	919,0	2048,0	2049,0	2244,0	2244,0
В	920,0	920,0	2049,0	2049,0	2244,0	2243,0
C	919,5	920,0	2048,0	2049,0	2245,0	2244,0
D	920,0	920,0	2049,0	2049,0	2245,0	2245,0
E	920,0	920,0	2049,0	2049,0	2245,0	2244,0
F	920,0	920,0	2049,0	2049,0	2245,0	2245,0
G	920,0	919,0	2048,0	2048,5	2245,0	2245,5
Mittelwert	919,9	919,7	2048,6	2048,9	2244,7	2244,4
Standardabw.	0,2	0,5	0,5	0,2	0,5	0,9
Mittelwert der STABW	0,46					



Class II	Maß Nr.					
Prüfer	1	2	3	4	5	6
Α	920,0	920,0	2049,0	2049,0	2245,0	2245,0
В	920,0	920,0	2049,0	2049,0	2244,0	2243,0
С	919,5	920,0	2048,0	2049,0	2245,0	2245,0
D	920,0	920,0	2049,0	2049,0	2245,0	2245,0
E	920,0	920,0	2049,0	2049,0	2245,0	2244,0
F	920,0	920,0	2049,0	2049,0	2245,0	2246,0
G	919,0	920,0	2048,0	2048,5	2244,0	2244,0
Mittelwert	919,8	920,0	2048,7	2048,9	2244,7	2244,6
Standardabw.	0,4	0,0	0,5	0,2	0,5	1,0
Mittelwert der STABW	0,42					

		Maß Nr.				
Vergleich Class I Class II	1	2	3	4	5	6
MW Class I	919,9	919,7	2048,6	2048,9	2244,7	2244,4
MW Class II	919,8	920,0	2048,7	2048,9	2244,7	2244,6
STABW Class I	0,2	0,5	0,5	0,2	0,5	0,9
STABW Class II	0,4	0,0	0,5	0,2	0,5	1,0
Differnz MW	0,1	-0,3	-0,1	0,0	0,0	-0,2
Differenz STABW	-0,2	0,5	0,0	0,0	0,0	-0,1

Differnz Prüfer		Maß Nr.					
Prüfer	1	2	3	4	5	6	
Α	0,0	-1,0	-1,0	0,0	-1,0	-1,0	
В	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
С	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,0	
D	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
E	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
F	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,0	
G	1,0	-1,0	0,0	0,0	1,0	1,5	
Mittelwert	0,1	-0,3	-0,1	0,0	0,0	-0,2	
Standardabw.	0,4	0,5	0,4	0,0	0,6	0,9	
Mittelwert der STABW			0,	45			

Der Versuch zeigt, dass der Unterschied beim Mittelwert und bei der Standardabweichung der Messungen mit dem Rollbandmaß Class I und Class II sehr gering ausfällt.

Es zeigt sich auch, dass die Längenmessungen von geschultem und erfahrenem Personal mit Standardabweichungen zwischen 0,2 mm und 1 mm durchgeführt werden. Es kann von einer mittleren Standardabweichung von 0,45 mm für diese Art von Messungen ausgegangen werden. Ein gemessenes Maß liegt mit einer Wahrscheinlichkeit von 99% im Bereich  $\pm$  2  $\sigma$  um den tatsächlichen Wert (unter Vernachlässigung eins möglichen systematischen Messfehlers).

Dieser Versuch hat ergeben, dass mit dem Rollmaßband mit einer Genauigkeit von  $\pm$  0,9 mm gearbeitet werden kann. Von  $\pm$  1 mm wird üblicherweise ausgegangen.

Durch Prüfungen mit dem Rollmaßband kann festgestellt werden, ob eine Abmessung innerhalb eines Toleranzfeldes von  $\pm$  1 mm um ein bekanntes Sollmaß liegt. Es wird somit ein attributives Merkmal geprüft. Zur Überwachung und Regelung von Fertigungsprozessen sind solch Aussagen nicht hinreichend.

### Lineale

Die Auflösung von Linealen ist vergleichbar mit jener von Rollmaßbändern. Lineale sind im Fensterbau zur Überwachung der Geradheit von Profilen im Einsatz. Dabei wird zumeist das Stichmaß gekrümmter Stäbe ermittelt. Die Messung des Abstandes zwischen Lineal und Profil sollte mit Fühlerlehren erfolgen (in der Praxis werden jedoch häufig Glasklötze verwendet). Oft ist zu entscheiden, ob die Krümmung Werte wie  $\frac{L}{1000}$ ,  $\frac{L}{300}$  oder  $\frac{L}{200}$  überschreitet.

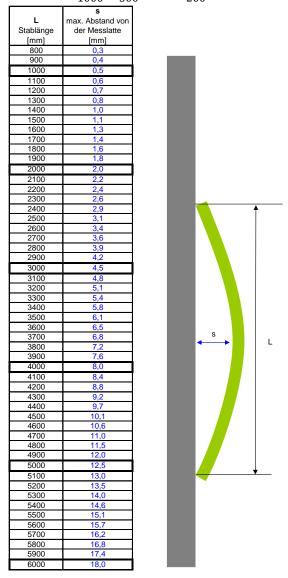


Abbildung 15 - Auszug aus einer Anweisung zur werkseigenen Produktionskontrolle - zur Überwachung der Krümmung von Profilen aus PVC-U, Krümmungsradius  $\geq$  250 Meter (Quelle: Josko Fenster und Türen, MK)

### Laserentfernungsmessgeräte

Gute Laserentfernungsmessgeräte bieten Genauigkeiten von bestenfalls ±1mm. Ihr Einsatz führt daher nicht zur Erhöhung der Auflösung bei der Messung. Messungen mit Geräten die nicht über eine MAXWERT und MINWERT Funktion verfügen, weisen bei der Vermessung von Punkt zu Punkt große Unsicherheiten auf. Der Messpunkt kann nicht ausreichend genau mit dem Laserpunkt anvisiert werden. Die MAXWERT und die MINWERT Funktionen ermöglichen jedoch die Ermittlung von Maßen wie Rahmendiagonalen und Rahmenlichten einfacher, schneller aber gleich genau wie mit dem Rollmaßband.

### Winkelmessung

Die Winkelmessung wird sehr selten angewandt. Es ist meist ausreichend mit einem Stahlwinkel die Abweichung vom rechten Winkel sichtbar zu machen und bei Bedarf mit der Fühlerlehre ein Maß aufzunehmen mit dem der Winkel berechnet werden kann. Oft wird der Eckwinkel auch durch Berechnung anhand der Diagonalendifferenz ermittelt (Annahme: Parallelogrammform des Rahmens).

Digitale Winkelmesser bieten Auflösungen bis zu  $0,1^{\circ}$ . Die Genauigkeit wird mit  $\pm 0,1^{\circ}$  angegeben. Damit ist dieses Messmittel nur für die Überwachung eines Toleranzfeldes von  $\pm 1^{\circ}$  prozesssicher einsetzbar. Das Toleranzfeld für Winkelabweichungen ist jedoch deutlich geringer.



Abbildung 16 - Messung des Winkels eines Fensterrahmens mit dem digitalen Winkelmesser - die gleiche Messaufgabe mit einem Winkellineal und eine Fühlerlehre ausgeführt ergab eine deutlich geringere Abweichung.

### Linienlaser

Mit Linienlasern ist es auf relativ einfache Weise möglich die Abweichungen von der lotrechten oder senkrechten Ausrichtung sichtbar zu machen. Die Ermittlung eines Maßes für die Abweichung bleibt jedoch eine manuelle Messaufgabe. Zur Ermittlung der möglichen Genauigkeit dieser Maßangaben ist der Fehler der Laserlinie und der Fehler beim Messen mit einem Lineal oder Rollmaßband zu überlagern.

### Rotationslaser

Der Rotationslaser ermöglicht das "aufspannen" lotrechter oder waagrechter, virtueller Ebenen. Vergleiche der Lage und Form von Bauteilen mit dieser Ebene zeigen Montagemängel und Bauteilverformungen auf. Diese Methodik ist gut geeignet um die Montage zu unterstützen und zu kontrollieren. Verformungen können qualitativ sichtbar gemacht werden. Sind Messwerte aufzunehmen, wird das Verfahren jedoch kompliziert und ist mit Messunsicherheiten über ± 1 mm behaftet. Die Rotationslaser werden erst seit kurzer Zeit in der Fenstermontage eingesetzt. Es ist damit zu rechnen, dass die Hersteller der Geräte spezielles Zubehör entwickeln um die Anwendung zu erleichtern.



Abbildung 17 - Kontrolle der senkrechten Ausrichtung der Blendrahmenebene und der Verformungen des Blendrahmens normal zur Fensterebene mit einem Rotationslaser – Bildfolge: links – oben – rechts (die Linie des Lasers erscheint auf den Fotos nur als Punkt).



Abbildung 18 - Verwendung des Rotationslasers zum Aufspannen einer "virtuellen senkrechten Ebene" im Blendrahmen.



Abbildung 19 - Verwendung des Rotationslasers zur Kontrolle der Ausrichtung und Verformung des Flügels im geöffneten Zustand.

#### Laserscanner

Laserscanner sind Messmittel die in der Lage sind komplexe, dreidimensionale Formen als digitale Punktwolke aufzuzeichnen. Diese Punktwolke kann mit sehr hohem Rechenaufwand dazu verwendet werden, einem idealen, digitalen Modell des zu beurteilenden Bauelementes jene Verformungen der Oberfläche aufzuprägen die das Modell der realen Form ähnlich machen.

Um dieses Ziel zu erreichen müssten Tools geschaffen werden die es ermöglichen, aus der Produktkonfiguration der technischen Software des Fensterherstellers detailgetreue dreidimensionale Modelle der Fensterelemente zu erzeugen. Neben den komplexen, geometrischen Daten müssten auch die Statik, die Kinematik, die Materialgesetze und die Randbedingungen bekannt sein. Dieses Vorhaben ist sehr anspruchsvoll. Die größte Schwierigkeit geht dabei sicherlich von der Definition geeigneter Materialgesetze für komplexe Bauteile aus mehreren Werkstoffen aus.

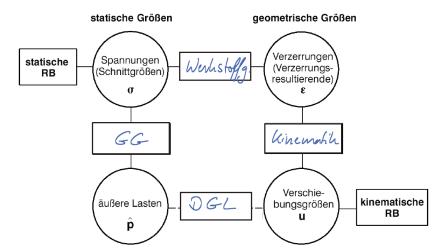


Abbildung 20 - Zusammenhang zwischen Lasten und Verschiebungsgrößen für die Berechnung mechanischer Modelle (Quelle: Prof. Dr. B. Eierle, Tafelbild zur Vorlesung "höhere technische Mechanik – Elastostatik"

Durch Vergleiche mit den mit Hilfe des Laserscanners aufgezeichneten Verschiebungen an der Oberfläche der Elemente könnten Ergebnisse mechanischer Berechnungen mit der real auftretenden Verformung verglichen werden.

Am Markt verfügbare Laserscanner bieten auf kurze Distanz - bis 10m - Auflösungen bis 0,009°. Die Hersteller geben an, damit dreidimensionale Formen mit einer Auflösung bis zu 0,3 mm (unter Laborbedingungen) aufnehmen zu können. Gerätschaften die solche Leistungen bieten, haben kürzlich die Preisschwelle von € 100.000 unterschritten. Die Entwicklung von Software zur Weiterverarbeitung der erzeugten Punktwolken erscheint noch nicht sehr weit fortgeschritten.

# 8 Ergebnisse und Ausblick

### Verformungen und Messmethodik

Die Gebrauchstauglichkeit von Fensterelementen wird oft schon durch relativ geringe Abweichungen der Bauteile von der Idealen Form eingeschränkt. Die Verformungen sind komplex. Der Verformungszustand wird durch viele Einwirkungen geprägt. Es kommt immer zu Überlagerungen. Die praktisch verfügbaren und eingesetzten Messmethoden bieten eine zu geringe Auflösung um eine detaillierte Aufnahme des Verformungszustandes zu ermöglichen.

Es werden bisher daher hauptsächlich Abweichungen von vorgegebenen Sollmaßen - die allesamt mit einer Messunsicherheit von ca. ± 1mm behaftet sind - zur Analyse verwendet.

### Darstellungsform

Die Darstellung des Verformungszustandes in einer Form die eine nachvollziehbare Analyse und das Ableiten von Verbesserungsmaßnahmen ermöglicht ist sehr aufwändig und komplex. Eine Darstellungsform die den realen Verformungszustand anschaulich macht, ist mit einem 3D Modell am Computerbildschirm gegeben. In dieser Darstellungsform ist es möglich, durch den Wechsel der Perspektive und mit Hilfe von transparenten Schnittebenen die Anschaulichkeit zu erhöhen.

### Fenstertechnik

### Verformungen an Fensterelementen

Die geforderte Energieeffizienz der Bauteile zwingt die Hersteller zum Einsatz von Komponenten mit günstigen Wärmetechnischen Eigenschaften. Die Werkstoffkombinationen die dabei zum Einsatz kommen zeigen unter Last oft höhere Verformungen als die in den letzten Jahrzenten üblichen Werkstoffe.

### Gebrauchstauglichkeit

Die Erhaltung der Gebrauchstauglichkeit bei wechselnden und großen Verformungen ist eine konstruktive Herausforderung an moderne Fenstersysteme. Die Normung und andere technische Regelwerke sind so anzupassen, dass Verformungen von Bauelementen bis an die Grenze der Gebrauchstauglichkeit als zulässig anzusehen sind. Derzeit sind maximale Verformungen der Elemente unter Last vielfach mit absoluten Werten begrenzt – Kriterien die mit modernen Werkstoffen oft nicht erreichbar sind, ohne auf mögliche Optimierungen der Energieeffizienz zu verzichten.

### Auswirkungen auf Serviceorganisationen für Fenster

Serviceorganisationen haben neben der Wartung und Reparatur von Bauelementen auch die Aufgabe, den Nutzern die Leistungseigenschaften der Bauelemente zu erklären.

Die von Kunden vorausgesetzten Eigenschaften stimmen oft nicht mit den tatsächlichen Eigenschaften der modernen und auch hochpreisigen Bauelemente überein. Oft werden die Eigenschaften früherer Generationen von Fenstersystemen als Basisanforderung und die Werbeversprechungen der Hersteller als zusätzliche Anforderung verstanden. Dem werden die Bauelemente nicht immer gerecht.

Die energieeffiziente Bauweise und die damit verbundenen geringen Heizleistungen in den Gebäuden führt dazu, dass auch bei einer als besonders hochwertig eingestuften Bauweise, die Oberflächentemperaturen an Innenbauteilen – insbesondere in Fensterrahmen und Fensterleibungen - unter die für den Kondensatschutz erforderlichen Wert absinken.

In solchen Fällen wird an Servicetechniker oft die Erwartung gestellt, durch Einstellmaßnahmen und sonstige Verbesserungen an Fenstern ein grundsätzliches, bauphysikalisches Problem zu lösen. Verformungen an den Elementen werden von den Konsumenten dabei häufig als Ursache der Probleme argumentiert.

Die hohen Verglasungsgewichte und diverse Montagemängel führen ebenfalls zu Verformungen an Bauelementen, die im Serviceeinsatz nicht mit einfachen Mitteln rückgängig gemacht werden können.

Die Serviceorganisation hat sich auf diese Situation einzustellen, in dem sie den Zustand bzw. die tatsächlichen Leistungen der Fenster möglichst einfach und für den Konsumenten nachvollziehbar ermittelt und darstellt.

Gleichzeitig wird es unumgänglich sein, die bauphysikalische Situation vor Ort im Verhältnis zu den zugesicherten Leistungseigenschaften der Fensterelemente aufzuzeigen.

Dieses Vorgehen stellt hohe Anforderungen an das Wissen und die Vermittlungskompetenz des Servicepersonals. Im Idealfall führt es dazu, dass Kunden die Qualität der Produkte, der Montage und der der Serviceleistung getrennt (und positiv) wahrnehmen. Durch das Verständnis bauphysikalischer Zusammenhänge in ihrer unmittelbaren Wohnumgebung können die Nutzer ihr Verhalten so anpassen, dass der Bauteil Fenster nicht über die vorgesehen Grenzen hinaus belastet wird.

Eine schwierige Aufgabe.

### Inhaltsverzeichnis

1	. Kurzfassung	2
2		
3	Fertigungstoleranzen im Fensterbau	4
	Berechnung der TeilemaßeZuschnitt 4	
	Eckverbindungen	4
	Winkel fertiggestellter Eckverbindungen	
	Abweichung von der Geraden	5
4		_
	Verformung	
	Holz bzw. Holz-Alukonstruktionen	
	PVC-U Konstruktionen	
	unversteifte Profile	
	kontinuierliche Aussteifung	
	Verglasungstechnik – Einfluss auf die Verformung	
	Fixierung des Glases mit Klötzen	
	Verklebung des Glases mit dem Flügelrahmen	
5		
J		
	Planung der Bauanschlussfuge	
	Montage der Bauelemente	
	Dübelmontage	
	Vorgegebene Schraubabstände	
	Laschenmontage	
	Kombination Dübelmontage - Laschenmontage	
6	Elementkopplungen	
O		
	Verformungen in der Fensterebene	
	Grundtypen Flügelverformung	
	Verformungen normal zur Fensterebene	
	Relative Stellung des Flügels zum Rahmen	
	Ausrichtung und Zentrierung:	
7	Parallelität von Flügelrahmenebene und Stockrahmenebene	
/		
	Längenmessung Rollbandmaß	
	Prozessfähigkeitsanalyse zur Vermessung von Fenstern mit dem	23
	Rollbandmaß	23
	Lineale 26	

	Laserentfernungsmessgeräte	
	Rotationslaser Laserscanner	
8	Ergebnisse und Ausblick	31
	Verformungen und Messmethodik	.31
	Darstellungsform	.31
	Fenstertechnik	.31
	Verformungen an Fensterelementen	.31
	Gebrauchstauglichkeit	.31
	Auswirkungen auf Serviceorganisationen für Fenster	.32
	bildungsverzeichnis:	
	bildung 1 - Vergleich der Biegesteifigkeit von Flügelprofilen ähnlicher Bautiefe (Quelle: Josko Fe und Türen)	
Ab La Ab	bildung 2 - Die im deutschen Sprachraum allgemein gebräuchliche Vorgabe für die Anbringung stabtragungen. (Quelle: RAL Gütegemeinschaft, Montagehandbuch Kunststofffenster)bildung 3 - Empfehlungen für die in der Bauanschlussfuge vorzusehende Bewegungsfreiheit der mente in der Fensterebene (Quelle - RAL Gütegemeinschaft - Montagehandbuch Kunststofffens	von 14 r
		15
Ab	bildung 4 - Beispiel für eine Elementkopplung (Quelle: Aluplast)bildung 5 - Winkelfehler ohne Biegung der Stäbe	16
Αb	bildung 6 - Fehlstellung des Flügels zum Rahmen	17
	bildung 7 - Winkelfehler Eckwinkel ≠ 90°	
	bildung 8 - Winkelfehler Eckwinkel ≠ 90°bildung 8 - Winkelfehler Eckwinkel ≠ 90° Stäbe gekrümmt - keine	1/
sp	ezifische Kurvenform, Verformung durch Glasgewicht und Beschlagsbefestigung	
	bildung 10 - Krümmung der Rahmenbauteile – Eckwinkel = 90° - Krümmung in S-Form bildung 11 - Krümmung der Rahmenbauteile – Eckwinkel = 90° - Bogenform	
	bildung 12 - Darstellung der Verformung des Rahmens eines geschlossenen, montierten Fenste	
	s hochwärmegedämmten Kunststoffprofil bei hohen Temperaturdifferenzen (Quelle:	4.0
	rschungsbericht HIWIN Teilbereich 3, IFT Rosenheim)bildung 13 - Darstellung der Verformung des Rahmens eines Fensters mit einfachem, versteifte	
Dr	eikammerprofil bei hohen Temperaturdifferenzen (Quelle: Forschungsbericht HIWIN Teilbereich	3,
IF	「Rosenheim)bildung 14 - Messpunkte für die Einstellung des Beschlages und zur Kontrolle	20
	bildung 15 - Auszug aus einer Anweisung zur werkseigenen Produktionskontrolle - zur	22
	erwachung der Krümmung von Profilen aus PVC-U, Krümmungsradius ≥ 250 Meter (Quelle: Jos	
	nster und Türen, MK)bildung 16 - Messung des Winkels eines Fensterrahmens mit dem digitalen Winkelmesser - die	
gle	eiche Messaufgabe mit einem Winkellineal und eine Fühlerlehre ausgeführt ergab eine deutlich	
	ringere Abweichung	
	bildung 17 - Kontrolle der senkrechten Ausrichtung der Blendrahmenebene und der Verformung s Blendrahmens normal zur Fensterebene mit einem Rotationslaser – Bildfolge: links – oben –	gen
re	chts (die Linie des Lasers erscheint auf den Fotos nur als Punkt)	28
	bildung 18 - Verwendung des Rotationslasers zum Aufspannen einer "virtuellen senkrechten ene" im Blendrahmen	20
	bildung 19 - Verwendung des Rotationslasers zur Kontrolle der Ausrichtung und Verformung de	
FΙί	gels im geöffneten Zustand	
	bildung 20 - Zusammenhang zwischen Lasten und Verschiebungsgrößen für die Berechnung echanischer Modelle (Quelle: Prof. Dr. B. Eierle, Tafelbild zur Vorlesung "höhere technische	
	chanik – Elastostatik"	30