Kunststoff-Fensterprofile und ihre Gütesicherung, 1983

Von Egon Barth, Troisdorf

in: Bauen mit Kunststoffen 1/1983

Copyright verbleibt beim Herausgeber!

Kunststoff-Fensterprofile und ihre Gütesicherung

von Egon Barth, Troisdorf

Innerhalb von etwa 10 Jahren hat sich im Fensterbau neben dem traditionellen Rahmenwerkstoff Holz der Kunststoff durchgesetzt und konventionelle Werkstoffe wie Aluminium oder Stahl im Fenstermarkt der Bundesrepublik Deutschland auf spezielle Einsatzgebiete abgedrängt. Die Bezeichnungen Kunststoff-Fenster, Holzfenster usw. sind Sammelbegriffe, die sich eigentlich nur auf den Rahmenwerkstoff beziehen. So bestehen auch beim Kunststoff-Fenster nur die Rahmenteile und eventuell die Dichtungen aus Kunststoff. Zum kompletten Fenster gehören auch beim Kunststoff-Fenster die Verglasung und die Metallbeschläge.

Wenn heute das Kunststoff-Fenster einen Marktanteil von ca. 42% des Fenstermarktes in der Bundesrepublik Deutschland erreicht hat, wird durch diese Zahl bestätigt, daß Kunststoff-Fenster den Anforderungen an das Bauteil Fenster genügen und in mehreren Punkten Vorteile gegenüber anderen Fensterwerkstoffen besitzen.

Das ist zunächst nicht selbstverständlich, denn wenn man die Materialeigenschaften des PVC hart als Beurteilungskriterien zugrunde legt, erkennt man, daß, wie bei anderen Werkstoffen auch, nicht nur Vorteile, sondern auch Nachteile für diesen Einsatzzweck vorhanden sind (s. Tabelle 2). Aus der Vielzahl der Kunststoffe, die sich in ihren Eigenschaften sehr stark unterscheiden, hat sich bis heute als Fensterrahmenwerkstoff eindeutig das Polyvinylchlorid hart (PVC hart) durchgesetzt. Dabei werden in Deutschland aus der Vielfalt der möglichen PVC-Typen für die Extrusion von Fensterprofilen nahezu ausschließlich erhöht schlagzähe PVC hart-Formmassen eingesetzt. Natürlich gibt es heute auch Fenster aus anderen Kunststoffen, z.B. aus Polyurethan (PUR), Polyphenylenoxid (PPO) und anderen, aber bei mehr als 95% aller Kunststoff-Fenster sind die Rahmenprofile aus erhöht schlagzäh modifiziertem PVC hart. Damit hat das erhöht schlagzähe PVC hart im Fensterbau den Anteil des traditionellen Werkstoffes Holz mindestens erreicht. Nach Aluminium mit etwa 12% spielen andere Werkstoffe nur noch eine untergeordnete Rolle für spezielle Einsatzgebiete. Polyvinylchlorid (PVC) war auch der erste Kunststoff, der als Rahmenwerkstoff für Fenster eingesetzt wurde, denn die Geschichte des Kunststoff-Fensters begann 1955 mit dem "Mipolam elastic"-System aus PVC weich.

Diese PVC weich-Profile hatten allerdings vorwiegend die Aufgabe eines Schutzmantels für den tragenden Profilkern aus Aluminium oder Stahl. Allerdings waren die Rahmenecken des PVC weich-Profils bereits bei diesem ersten Kunststoff-Fenster-System verschweißt. Die heute üblichen Hohlkammerprofile aus PVC hart kamen 1959 auf den Markt. Sie waren aus dem erhöht schlagzähen PVC hart "Hostalit Z" extrudiert. Bevor jedoch dem Kunststoff-Fenster der Durchbruch gelang, verging ein weiteres Jahrzehnt. Erst zu Beginn der siebziger Jahre begann ihr steiler Aufstieg im Fensterbau, der durch die Menge des jährlich für die Herstellung von Fensterprofilen eingesetzten PVC verdeutlicht wird (s. Tabelle 1).

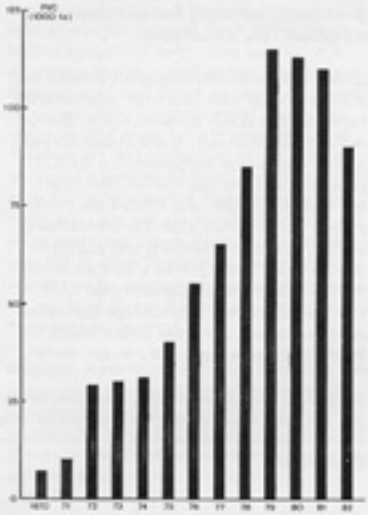


Tabelle 1: PVC-Einsatz für die Herstellung von PVC hart-Fensterprofilen von 1970 bis 1982

Diese Entwicklung hat sicher verschiedene Ursachen. Eine davon ist aber die gleichbleibend gute Qualität der Kunststoff-Fenster. Bereits wenige Jahre nach der Entwicklung der ersten Fensterprofile aus PVC und lange bevor der wirtschaftliche Aufschwung einsetzte, gründeten 1963 die an der Entwicklung beteiligten Rohstoffhersteller, Profilextrudeure und Fensterbauer einen Arbeitskreis, der sich mit der Optimierung und Sicherung der Qualität der Kunststoff-Fenster und -Profile befaßte. Dieser Entschluß der beteiligten Unternehmen, die Qualität der Kunststoff-Fenster in freiwilliger Eigenverantwortung zu sichern, ist vor allem deshalb erwähnenswert, weil damit eine Qualitätssicherung vom Rohstoff über das Halbzeug Profil bis zum fertigen Bauelement Fenster eingeleitet wurde, in die heute Rohstofferzeuger, Profilextrudeure und Fensterbauer eingebunden sind. Die vor zwanzig Jahren begonnenen Bemühungen führten zu einer engen Zusammenarbeit der genannten Wirtschaftszweige und gewähren heute dem Verbraucher eine nahezu lückenlose Gütesicherung über alle Bearbeitungsstufen bis zum fertigen Fenster.

Die zunächst in der Gütegemeinschaft Kunststoff-Fenster des Qualitätsverbandes Kunststofferzeugnisse e.V. (QKE) begonnenen Arbeiten zur Gütesicherung führten im Mai 1973 mit der Güterichtlinie für Kunststoff-Fensterprofile und Kunststoff-Fenster zu einem vorläufigen Abschluß. Unter Einbeziehung der Gütegemeinschaft Kunststoff-Fenster in Gießen wurden dann in Zusammenarbeit mit dem Institut für Fenstertechnik in Rosenheim die verschiedenen Aktivitäten zur Gütesicherung zusammengefaßt. In gemeinsamer Arbeit entstand so die Gütesicherung für Kunststoff-Fenster, die vom RAL im Mai 1977 unter der Registrier-Nr. RAL-RG 716/1 veröffentlicht wurde. Diese Gütesicherung gliedert sich in drei Abschnitte:

- Kunststoff-Fensterprofile
- Eignungsnachweis des Fenstersystems
- Fensterfertigung.

In dieser Fassung der Güterichtlinie beruhte die Gütesicherung der Profile lediglich auf einer Eigenüberwachung durch die Profilhersteller. Nachdem sich diese am 16. November 1979 zu einer Gütegemeinschaft Kunststoff-Fensterprofile im QKE zusammengeschlossen hatten, konnte die langjährige freiwillige Zusammenarbeit in die RAL-Gütesicherung für Kunststoff-Fensterprofile überführt werden. Nach Einführung der Fremdüberwachung und Abschluß der Zulassungsprüfung (Eignungsnachweis) wurden vom Güteausschuß der Gütegemeinschaft Kunststoff-Fensterprofile im September 1981 die ersten Prüfzeichen erteilt. Damit konnten auch die von einigen Profilherstellern in Eigenverantwortung durchgeführten und mit dem SKZ-Zeichen ausgewiesenen Fremdüberprüfungen durch das RAL-Prüfzeichen abgelöst werden.

Ausschlaggebend für den Einsatz eines Werkstoffes im Fensterbau ist, daß die daraus hergestellten Fenster den beim Einsatz im Baukörper einwirkenden Beanspruchungen gewachsen sind und über Jahrzehnte ihre Funktionstüchtigkeit behalten. Die Qualität des Bauteils Fenster wird jedoch von vielen Faktoren bestimmt. Das beginnt beim eingesetzten PVC-Typ, setzt sich fort in der exakten Modifizierung und Stabilisierung der Formmasse, deren Extrusionsbedingungen, welche die Güte des Profils beeinflussen, über die

richtigen Schweißbedingungen bei der Herstellung der Rahmen, den Sitz der Beschläge, die Verglasung bis hin zum Einbau des Fensters im Bauwerk.

Die Vielzahl der Einflußfaktoren läßt erkennen, daß die Qualitätssicherung des Bauteils Fenster ein komplexes Problem darstellt, das für Kunststoff-Fenster durch die enge Verbindung der Qualitätskontrolle von Rohstoff, Profilen und Fenstern gelöst worden ist.

Die in der Gütegemeinschaft Kunststoff-Fensterprofile zusammengeschlossenen Profilextrudeure gewährleisten durch regelmäßige Eigenkontrolle und eine neutrale Fremdüberwachung die gleichmäßige Qualität ihrer Profile. Als Beurteilungsmaßstab dient der Abschnitt I der "Gütesicherung RAL-RG 716/1", der z.Zt. zwei Teile umfaßt. Im Teil 1 sind die kontrollierten Eigenschaften für Fensterprofile aus PVC hart in weißer bzw. hellgrauer Einfärbung und in Teil 2 für Fensterprofile aus hartem PUR-Integralschaumstoff erfaßt.

In der Technischen Kommission der Gütegemeinschaft wird natürlich laufend an entsprechenden Gütesicherungen für neue Entwicklungen auf dem Gebiet der Kunststoff-Fensterprofile gearbeitet. So ist die Gütesicherung für "Koextrudierte Fensterprofile aus PVC hart und PMMA" fertiggestellt und steht für "Koextrudierte Fensterprofile aus PVC hart und PMMA mit vollmassivem duroplastischem Kernmaterial, verstärkt mit Glasfaserstäben" und für "Durchgefärbte braune PVC hart-Fensterprofile" vor dem Abschluß.

Jede Gütesicherung hat das Ziel, geeignete Prüfmethoden zu ermitteln, die eine Aussage über die Einhaltung der Eigenschaften zulassen, welche für eine langjährige Gebrauchstauglichkeit erforderlich sind. Von Profilen für Fensterrahmen müssen z.B. folgende Anforderungen erfüllt werden:

- Die Profile müssen sich sicher zu Rahmen verbinden lassen.
- Sie müssen Glas und Beschläge aufnehmen können, damit sie die Herstellung funktionstüchtiger Fenster ermöglichen.
- Sie müssen den Belastungen beim Einsatz im Baukörper gewachsen sein.
- Ihr Alterungsverhalten muß eine jahrzehntelange Gebrauchstauglichkeit sichern.

Bei Fensterprofilen aus PVC hart ist die Einhaltung dieser Anforderungen sowohl von der eingesetzten Formmasse als auch von ihrer werkstoffgerechten Verarbeitung bei der Extrusion zum Profil sowie bei der Weiterverarbeitung in der Fensterherstellung abhängig. Deshalb beginnt die Gütesicherung mit der Auswahl der geeigneten Formmasse. Daß die Entwicklung der Kunststoff-Fensterprofile mit PVC begann, ist kein Zufall. Polyvinylchlorid ist ein amorpher, unvernetzter thermoplastischer Kunststoff, d.h. er zeigt eine ausgeprägte Temperaturabhängigkeit seiner Eigenschaften. Bei Normaltemperatur ist PVC ein harter, formstabiler Werkstoff, der seine Eigenschaften mit steigender Temperatur zunächst nur langsam ändert. Erst mit dem Erreichen des Erweichungsbereiches, der sogenannten Glasübergangstemperatur (zwischen 70 und 80 °C) nimmt seine Festigkeit stark ab. Jenseits des Erweichungsbereiches zeigt PVC ein gummielastisches Verhalten, wobei es hohe Verformungen aufnehmen kann. Ab etwa 150 °C erreicht PVC den Schmelz- oder Fließbereich und zeigt in diesem ein elastoviskoses Verhalten, in dem unter Belastung irreversibles Fließen erzeugt werden kann. Bei Temperaturen um 200 °C beginnt dann, abhängig von der Einwirkungszeit, die Zersetzung.

Diese Temperaturabhängigkeit erlaubt es, die als Pulver oder Granulat angelieferten Formmassen durch Erwärmung im Extruder aufzuschmelzen. Die Extruderschnecke hat vielfältige Aufgaben. Im Einfüllbereich zieht sie das Pulver oder Granulat in den Zylinder und fördert die Formmasse bei gleichzeitiger Durchmischung weiter, bis durch Reibung und zusätzliche Heizung des Zylinders von außen die Schmelztemperatur überschritten wird. Die plastifizierte, zähflüssige Schmelze wird verdichtet und unter Druck durch die Werkzeugdüse ausgepreßt. In der Werkzeugdüse erfolgt die gewünschte Formgebung des Profils, das durch Kalibrierung auf die gewünschten Abmessungen gebracht und durch gleichzeitige Abkühlung unter die Glasübergangstemperatur in seiner Formgebung fixiert wird. Bereits diese kurze Schilderung des Extrusionsvorgangs deutet an, daß die Eigenschaften des Profils von mehreren Faktoren, wie z.B. der Durchmischung, der Temperatur und dem Druck, abhängig sind. Durch Variation dieser Extrusionsbedingungen können die Grundeigenschaften der eingesetzten Formmasse in breiten Grenzen variiert werden.

In der Bundesrepublik Deutschland haben sich für Fensterprofile weichmacherfreie Formmassen durchgesetzt, die durch Modifizierung mit

- chloriertem Polyäthylen[1] (CPE)
- Äthylen[2]-Vinylacetat-Copolymeren (EVA)
- Acrylester-Copolymeren (ACR)

eine gegenüber reinem PVC hart deutlich erhöhte Schlag- und Kerbschlagzähigkeit erreichen. Außerdem sind diese Formmassen zur Erzielung des erforderlichen Alterungsverhaltens, neben der für die Verarbeitung immer erforderlichen Wär-

[1] Andere Schreibweise: Polyethylen (entspricht jedoch nicht der derzeit noch gültigen DIN 7728 Teil 1 vom April 1978).

[2] Andere Schreibweise: Ethylen (entspricht jedoch nicht der derzeit noch gültigen DIN 7728 Teil 1 vom April 1978).

Tabelle 2: Richtwerte der Eigenschaften erhöht schlagzäher PVC hart-Formmassen, die zur Extrusion weißer Fensterprofile eingesetzt werden

Eigenschaft	Prüfvorschrift DIN	Einheit	Richtwert
Rohdichte	53479	g/cm^3	1,39 - 1,49
Streckspannung	53455	N/mm^2	40 - 48
Reißfestigkeit	53455	N/mm^2	29 - 35
Reißdehnung	53455	%	20 - 100
Elastizitätsmodul	53457	N/mm^2	2200 - 2900
Schlagzähigkeit	53453	kJ/m^2	kein Bruch bei -20 bis -60 °C
Kerbschlagzähigkeit a_k	53453	kJ/m^2	20 - 80
Kerbschlagzähigkeit a_v	53753	kJ/m^2	20 - 75
Schlagzugzähigkeit	53488	kJ/m^2	550 - 800
Vicat-Erweichungstemperatur VST B 50	53460	K °C	345 - 352 72 - 79
linearer Wärmedehnungskoeffizient		K^{-1}	ca. $70 \cdot 10^{-6}$
Oberflächenwiderstand	53452	Ω	$>10^{13}$
spezifischer Durchgangswiderstand	53452	$\Omega \cdot cm$	$>10^{15}$

mestabilisierung, mit einer zusätzlichen Stabilisierung gegen die durch den UV-Anteil des Sonnenlichtes ausgelösten photokatalytischen Abbaureaktionen geschützt. Als UV-Stabilisierungssysteme haben sich in weißen PVC-Fensterprofilen BaCd, BaCd/Pb und Sn bewährt.

Eine solche Formmasse erreicht bei Normaltemperatur und werkstoffgerechter Verarbeitung etwa die in Tabelle 2 aufgeführten Eigenschaftswerte. Diese gilt es auf das Profil zu übertragen, wobei für die Funktionstüchtigkeit des Fensters besonders die das Alterungsverhalten kennzeichnende Wetterechtheit und Wetterbeständigkeit, die Schlag- und Kerbschlagzähigkeit sowie der Elastizitätsmodul von Bedeutung sind. Erste Voraussetzung dafür ist die gleichbleibende Qualität der eingesetzten Formmasse. Zu deren Sicherung ist in den Gütebedingungen für den eingesetzten Werkstoff festgelegt, daß die verwendete Formmasse in ihren kennzeichnenden Eigenschaften mindestens einer Formmasse

PVC-U-D-(bzw. G)-E 072-15-23
nach DIN 7748 (1979)

entsprechen muß. Damit wird gesichert, daß nur weichmacherfreie (U), extrudierbare (E) Formmassen zum Einsatz kommen, deren Vicat-Erweichungstemperatur VST/B/50 über 71 - 73 °C liegt (072). Ihre Kerbschlagzähigkeit a_k muß mindestens im Bereich von 10 - 20 kJ/m^2 (15) und ihr Elastizitätsmodul mindestens zwischen 2000 und 2500 N/mm^2 (23) liegen. Es ist dem Verwender freigestellt, eine Formmasse in Form von Pulver (D) oder Granulat (G) einzusetzen. Außerdem ist der Einsatz von Regeneraten aus fremder Fertigung nicht zulässig, sondern nur die Verwendung von Umlaufmaterial aus der eigenen Fensterprofilfertigung, wenn damit die Einhaltung der Gütebedingungen, insbesondere der Wetterechtheit und Wetterbeständigkeit, gewährleistet ist.

Zusätzlich zu diesen Qualitätsmerkmalen wird die Güte eines Fensters aber noch von einer Reihe anderer Profileigenschaften maßgeblich mitbestimmt. Die im viskoelastischen Schmelzbereich mögliche gute Formgebung der beschriebenen PVC-Formmasse ermöglicht praktisch die Herstellung jeder gewünschten Profilform. Damit ist dem Fensterbauer die Möglichkeit gegeben, Profile für jeden Fenstertyp und jede Beschlagform anfertigen zu lassen. Die Vielzahl der unterschiedlichen Profilquerschnitte in den über achtzig allein in der Bundesrepublik Deutschland auf dem Markt befindlichen PVC hart-Profilsysteme sind ein Beweis dafür.

Für die Gebrauchstauglichkeit muß aber beachtet werden, daß eine werkstoffgerechte Formgebung eingehalten werden muß. Trotz der "Machbarkeit" fast jeder Form sollen z.B. schroffe Querschnittsübergänge wegen ihrer Kerbwirkung vermieden werden. Außerdem ist zu bedenken, daß mit der Kompliziertheit der Profilgeometrie auch die Komplexität der Eigenspannungen im Profil wächst.

Bild 1: Farbmeßgerät Hunterlab D 25-2 zur Bestimmung der Farbkoordinaten, der Helligkeit und des Weißpunktes

Den Fensterbauer interessieren vor den mechanischen Eigenschaften der Profile jedoch noch einige äußere Merkmale. Zunächst einmal müssen die Profile gleichmäßig eingefärbt sein. Das gilt für alle zu einem System gehörenden Haupt- und Nebenprofile und stellt an den Extrudeur keine geringen Anforderungen, denn das menschliche Auge ist ein empfindliches "Meßgerät" und registriert schon relativ geringe Farbabweichungen. Deshalb reicht eine einfache visuelle Farbkontrolle oft nicht aus. Da die gleichmäßige Einfärbung auch über lange Produktionszeiträume und in allen Profilen aufrecht erhalten werden muß, werden häufig Farbmeßgeräte (s. Bild 1) zur Einhaltung dieser Anforderung eingesetzt.

Dagegen kann durch visuelle Kontrolle bei geeigneten Beleuchtungsbedingungen die Gleichmäßigkeit der Oberflächen, die besonders an den Sichtflächen den optischen Eindruck des Fensters stark mitbestimmt, gut beurteilt werden. Das gleiche gilt auch für die Feststellung von Fremdkörpereinschlüssen, Poren, Lunkern, Rissen oder anderen Fehlstellen.

Bild 2: Querschnitt eines unsymmetrischen Fensterprofils

Für die serienmäßige Verarbeitung der Profile zur Herstellung von Fenstern ist es erforderlich, daß die Profilquerschnitte ihren Konstruktionszeichnungen exakt entsprechen und die Funktionsmaße in einem engen Toleranzbereich liegen. Die Einhaltung dieser Anforderungen läßt sich mit Lehren bzw. einfachen Meßgeräten wie Schieblehren gut kontrollieren. Auch die Kontrolle des Profilgewichts gibt Hinweise auf die Maßhaltigkeit der Profile.

Durch die Kennzeichnung der Profile soll es ermöglicht werden, das Profilsystem, den Hersteller, den Fertigungszeitraum und über die Protokolle der Rohstoffkontrollen und der Maschinenbedingungen auch die eingesetzte Formmasse und deren Verarbeitungsbedingungen zu ermitteln.

Die Kontrolle der Stoßfestigkeit ermöglicht dem Profilhersteller einen guten Rückschluß auf die Einhaltung werkstoffgerechter gleichmäßiger Fertigungsbedingungen. Die von der Art und dem Anteil des zugesetzten Modifizierungsmittels abhängige Schlagzähigkeit wird auch durch die Fertigungsbedingungen bei der Profilextrusion beeinflußt. Die Wirkung der Modifizierung zeigt z.B. eine deutliche Temperaturabhängigkeit mit einem ausgeprägten Maximum. Wird die optimale Verarbeitungstemperatur unter- oder überschritten, sinkt die Schlagzähigkeit des Halbzeugs wieder ab. Obwohl für die Bestimmung der Schlag- und Kerbschlagzähigkeit genormte Prüfverfahren (DIN 53453, DIN 53753) zur Verfügung stehen, hat man sich in der Güterichtlinie für eine Prüfung am ganzen Profilabschnitt entschlossen. Dabei nimmt man in Kauf, daß die Stoßfestigkeit eines Profils von seiner Gestaltfestigkeit, d.h. von seiner geometrischen Form mitbestimmt wird. Das bedeutet, daß beim Stoßversuch streng genommen nur Profile gleichen Querschnitts miteinander verglichen werden können, weil nur bei gleichem Profilquerschnitt die gleiche Stoßbeanspruchung gewährleistet ist. Ermittelt man durch Variation von Fallgewicht und Fallhöhe die Stoßenergie, die zum Bruch der Profile erforderlich ist, stellt man fest, daß bei unsymmetrischen Profilen selbst am gleichen Profil beim Stoß auf die beiden Sichtflächen unterschiedliche Schädigungsarbeiten erforderlich sind, was aber schon aus den Profilquerschnitten zu erkennen ist (s. Bild 2). Da die Ermittlung quantitativer Werte beim Stoßversuch mit einem hohen Prüfaufwand verbunden ist, beschränkt sich die Gütesicherung auf die Festlegung einer Mindestanforderung.

Der nach Punkt 3.2.4 der Güterichtlinie durchgeführte Stoßversuch erfolgt an 300 mm langen Profilabschnitten, welche zuvor mindestens eine Stunde lang auf eine Temperatur von -10 °C abgekühlt worden sind. Diese Abschnitte werden mit einer

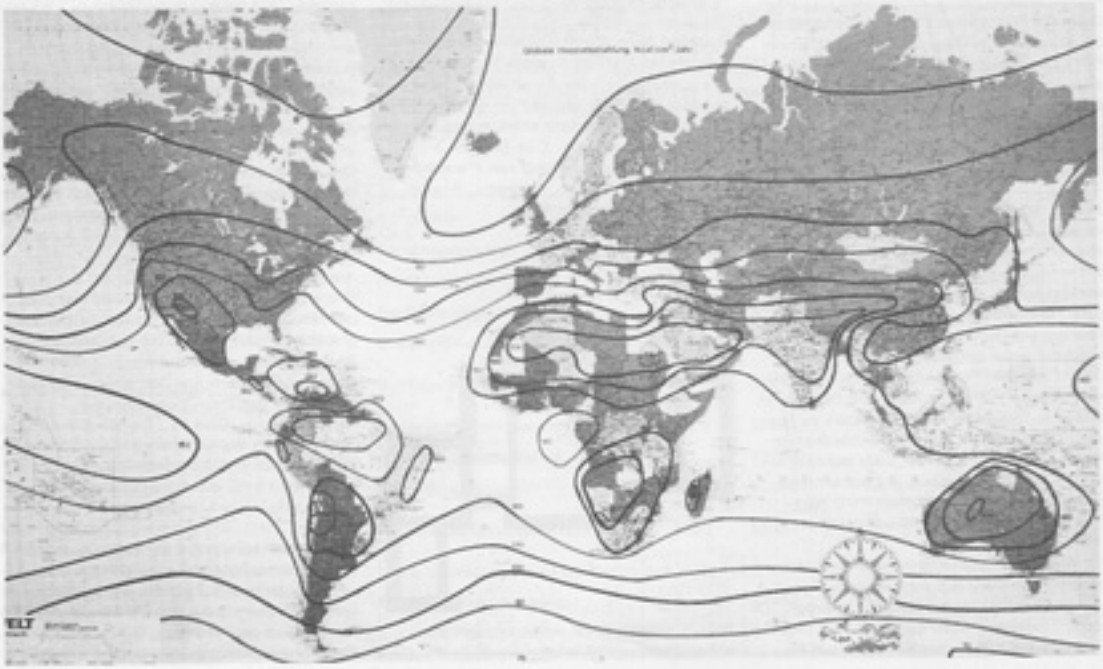
Bild 3: Fensterprofilabschnitt bei der Stoßfestigkeitsprüfung mit einem Kugelfallgerät

Stützweite von 200 mm so gelagert, daß ein Fallkörper mit einer Masse von 1000 g aus einer Fallhöhe von 100 cm auf eine der beiden Sichtflächen aufschlagen kann (s. Bild 3). Dabei darf von 10 Proben höchstens eine brechen. Treten bei diesem Versuch größere Bruchraten auf, so ist das ein Hinweis auf Veränderungen der Fertigungsbedingungen oder auch auf Schwankungen in der Modifizierung.

Die Stoßversuche dienen lediglich zur Beurteilung der gleichmäßigen Stoßfestigkeit der Profile. Die dabei gewählten Anforderungen decken die bei Bearbeitung, Transport und Einbau zu erwartenden Stoß- und Schlagbeanspruchungen sicher ab. Allerdings besteht kein Zusammenhang zwischen der geforderten Stoßfestigkeit des Profils und den praktischen Beanspruchungen eines Fensters nach dem Einbau in den Baukörper. Dauerversuche mit bis zu 100 000 Belastungen durch ruckartiges Zuschlagen des geöffneten Flügels haben gezeigt, daß selbst bei -35 °C nicht der Fensterrahmen versagt, sondern zuerst die Beschläge.

Das Alterungsverhalten ist eines der wichtigsten Kriterien für die Gebrauchstauglichkeit von Kunststoff-Fenstern. Zwar verlangen VOB und BGB auch im Bauwesen nur Gewährleistungen über 2 bzw. 5 Jahre, aber natürlich muß ein Fenster ein Vielfaches an Lebensdauer erreichen. Daß PVC eine außerordentliche Widerstandsfähigkeit gegen korrosive Medien besitzt, ist aus dem chemischen Apparatebau seit Jahrzehnten bekannt. Das gilt auch für PVC hart-Fensterprofile, die durch den Einfluß korrosiver Gase oder Flüssigkeiten, wie sie in bestimmten Einsatzbereichen auftreten, keine Schädigung erleiden. Nach der Entwicklung der bereits genannten wirksamen Stabilisierungssysteme wurde auch das Verhalten von PVC hart gegen Witterungseinflüsse so verbessert, daß in Mitteleuropa auch jahrzehntelange Einwirkung nicht zur Beeinträchtigung der Gebrauchstauglichkeit weißer PVC hart-Fenster führt. Natürlich unterliegen auch PVC hart-Fensterprofile, wie fast alle anorganischen und organischen Werkstoffe, unter den ständig wechselnden Witterungseinflüssen Veränderungen, die an den freiliegenden Oberflächen beginnen, zu Farbänderungen, Abbauerscheinungen und Versprödungen führen können. Diese Reaktionen werden hauptsächlich beeinflußt durch die Sonnenstrahlung und davon besonders durch den energiereichsten kurzwelligen Teil im ultravioletten Bereich des Sonnenspektrums. Zusätzlich beschleunigen Feuchtigkeit, Temperatur und Sauerstoff die Alterungsvorgänge. Schon aus dieser Aufzählung der wichtigsten Einflußgrößen ist sofort erkennbar, daß die Witterungseinflüsse ständigen Schwankungen selbst am selben Ort unterliegen und natürlich abhängig von der geographischen Lage, der Jahreszeit und der Höhenlage des Ein-

Bild 4: Karte der Globalstrahlungsgebiete mit langjährigen Jahresmittelwerten



satzortes sind (s. Bild 4). Damit taucht dann auch die Frage auf, wie man das Alterungsverhalten untersuchen und beurteilen kann, wenn sogar an Proben aus demselben Werkstoff, die am selben Ort aber zu verschiedenen Zeiten bewittert werden, unterschiedliche Ergebnisse zu erwarten sind.

Zur Beurteilung des Alterungsverhaltens werden sogenannte Alterungskriterien herangezogen. Darunter versteht man die Änderung bestimmter Eigenschaften in Abhängigkeit von der Bewitterungszeit. In der Güterichtlinie wurden als Alterungskriterien die Farbänderung (Wetterechtheit) und die Änderung der Kerbschlagzähigkeit (Wetterbeständigkeit) ausgewählt. Um unabhängig von den ständig wechselnden Bedingungen einer Bewitterung im Freiluftklima zu sein und bessere Vergleichbarkeit der Resultate in kürzerer Expositionszeit zu erzielen, hat die Industrie schon in den dreißiger Jahren Prüfgeräte entwickelt, mit denen eine möglichst reproduzierbare und beschleunigte Bewitterung simuliert werden kann. Diese Geräte wurden laufend weiterentwickelt und lassen heute hinsichtlich Bestrahlungszeit, Befeuchtung und Temperatur unterschiedliche Prüfzyklen zu. Da in der Bundesrepublik Deutschland die Xenotestgeräte von Heraeus-Original Hanau am weitesten verbreitet sind, wurde auch für die von der RAL-Güterichtlinie geforderte Prüfung der Wetterechtheit und Wetterbeständigkeit die Bewitterung im "Xenotestgerät 450" vorgeschrieben (s. Bild 5). Die Güterichtlinie stellt die Anforderung, daß nach einer Gesamtbestrahlung von 0,8MWs/cm^2, was etwa einer zweijährigen Freibewitterung in Deutschland bzw. Mitteleuropa entspricht (s. Tabelle 3), eine eventuelle Farbänderung der bestrahlten Profiloberfläche die Stufe 3 des Graumaßstabes nach DIN 54001 nicht überschreiten darf (s. Bild 6). Zur Beurteilung der Wetterbeständigkeit darf die Kerbschlagzähigkeit a_{kN} nach DIN 53753 (Doppel-V-Kerbe) nach der gleichen Gesamtbestrahlung gegenüber den Ausgangswerten vor Beginn der Bewitterung um nicht mehr als 30% abnehmen. Bedenkt man, daß die Gesamtbestrahlung von 0,8 MWs/cm^2 im Xenotestgerät 450 nach etwa 4000 Stunden erreicht wird, ist zu erkennen, daß diese Prüfungen für eine laufende Produktionskontrolle nicht einsetzbar sind. Die nach etwa einem halben Jahr anfallenden Ergebnisse sind für das Erkennen von Fertigungsfehlern und deren Abstellung natürlich nicht mehr verwendbar, werden jedoch als wesentliches Qualitätsmerkmal für das Langzeitverhalten in der Eigenkontrolle sowohl beim Rohstoff- als auch beim Profilhersteller regelmäßig durchgeführt. Bei der Fremdüberwachung wird die Wetterechtheit und -beständigkeit im Rahmen des Eignungsnachweises sowie bei wesentlichen Änderungen der eingesetzten Rezeptur und/oder der Fertigungsbedingungen geprüft.

Diese kurzen Hinweise zeigen den hohen Aufwand für die Prüfung des Alterungsverhaltens auf. Da dieser vor allem für die Prüfzeiten gilt, wird verständlich, daß Verbesserungen der Formmassen hinsichtlich des Alterungsverhaltens erst nach Jahren der Ausprüfung in die Fertigung einfließen können, denn leider ist es bis heute noch nicht gelungen, allgemein gültige Zusammenhänge zwischen den Alterungsabläufen in Bewitterungsgeräten und der Freibewitterung zu ermitteln. Diese sind nur für spezielle Proben im direkten Vergleich zwischen der Gerätebewitterung und der Exposition in einem speziellen Freiluftklima zu gewinnen. Deshalb wird die Alterungsbeständigkeit der Fensterprofile im Rahmen der Eigenkontrolle nicht nur durch die Gerätebewitterung, sondern immer auch durch eine Bewitterung im Freiluftklima untersucht. Bei der Freibewitterung, die auf der nördlichen Halbkugel in der Regel unter einem Winkel von 45° zur Horizontalen unter Ausrichtung nach Süden erfolgt (s. Bild 7), ergibt sich außerdem der Vorteil, weitere Eigenschaften als Alterungskriterien heranziehen zu können, da größere Probeabschnitte exponiert werden können als in den platzmäßig natürlich sehr beschränkten Laborgeräten.

Bild 5: Prüfung der Wetterechtheit im Xenotest-Gerät 450

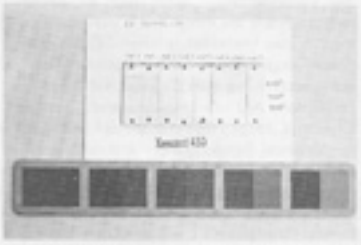


Bild 6: Beurteilung von im Xenotest 450 bewitterten Profilabschnitten mit dem Graumaßstab nach DIN 54001

Gesamtbestrahlung	Bestrahlungsdauer
0,4 MWs/cm^2	ca. 2000 h
0,8 MWs/cm^2	ca. 4000 h
1,6 MWs/cm^2	ca. 8000 h

Tabelle 3: Langjähriges Jahresmittel der Globalstrahlung in verschiedenen Klimazonen

Region	Globalstrahlung (langjähriges Jahresmittel)				
	kJ/cm^2	MWs/cm^2	kWh/cm^2	kWh/m^2	kcal/cm^2
Deutschland	335 - 460	0,335 - 0,460	0,093 - 0,128	931 - 1280	80 - 110
Bandol	502	0,502	0,139	1390	120
Singapore	628	0,628	0,174	1740	150
Florida	670	0,670	0,186	1860	160
Marrakesch	754	0,754	0,209	2090	180
Arizona	837	0,837	0,233	2360	200
Wadi Halfa (Sudan)	921	0,921	0,256	2560	220

Bild 7: Freibewitterung von Fensterprofilabschnitten unter 45°-Süd in Troisdorf

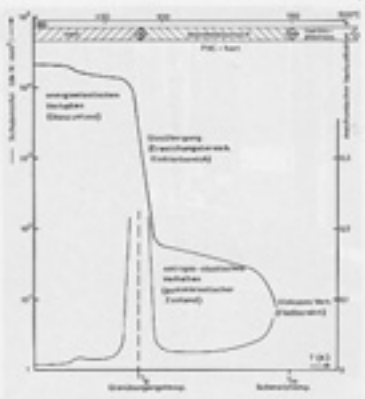


Bild 8: Schematische Darstellung der Temperaturabhängigkeit des visko-elastischen Verhaltens amorpher Thermoplaste (z.B. PVC) am Beispiel des Schubmoduls und des mechanischen Verlustfaktors

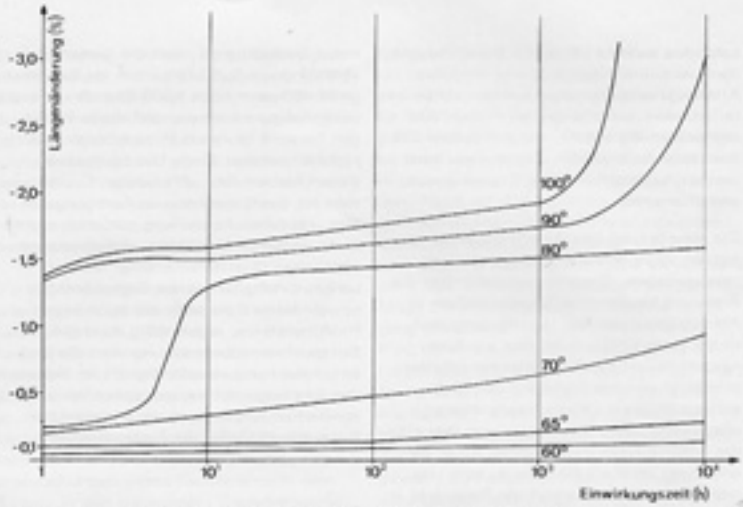


Bild 9: Längenänderung von PVC hart-Fensterprofilen bei Temperaturen von 60 bis 100 °C in Abhängigkeit von der Einwirkungszeit

Bei solchen Freibewitterungsversuchen konnte an in Troisdorf bewitterten PVC hart-Proben festgestellt werden, daß die als Erosion an der Oberfläche beginnenden Veränderungen auch nach 40 Jahren lediglich bis zu einer Tiefe von etwa 0,5 mm in das Material reichen. Das unter dieser abgebauten Zone liegende Material entsprach in seinen Eigenschaften praktisch dem Anlieferungszustand. Dieses Ergebnis zeigt, daß die an der Oberfläche beginnende Schädigung nicht oder erst in sehr langen Zeiträumen den ganzen Materialquerschnitt erfaßt. Die Dicke der Abbauzone nähert sich vielmehr einem endlichen Grenzwert. Das ist durch die Schutzwirkung der abgebauten Schicht zu erklären, die z.B. die UV-Strahlung absorbiert und das darunter liegende Material gegen deren weitere Einwirkung abschirmt. Dieses Alterungsverhalten von PVC hart läßt erwarten, daß die Eigenschaftswerte von PVC hart-Fensterprofilen nicht auf Null absinken, sondern sich für absehbare Zeit asymptotisch einem endlichen Grenzwert nähern.

Neben der Stoßfestigkeit gibt das Verhalten der Profile bei Temperaturerhöhung eine gute Möglichkeit, die gleichbleibende Qualität der Profile zu kontrollieren. Deshalb macht auch die Gütesicherung von dieser Möglichkeit Gebrauch. Wie bereits im Hinweis auf die Herstellung der PVC hart-Fensterprofile kurz beschrieben, wird die Formmasse im Extruder so lange erwärmt, bis die Schmelztemperatur überschritten ist. In diesem Fließbereich sind die physikalischen Bindungskräfte zwischen den Molekülen weitgehend aufgehoben. Die fadenförmigen Moleküle können aneinander vorbeigleiten. Der Zustand des viskosen Fließens ist erreicht, der unter Krafteinwirkung eine weitgehend irreversible Verschiebung benachbarter Moleküle und damit die gute Verform- bzw. Formbarkeit der PVC-Schmelze erlaubt. So ist es möglich, die PVC-Schmelze in die durch die Werkzeugdüse vorgegebene Form eines Hohlprofils zu bringen. Obwohl natürlich die Viskosität makromolekularer Polymerschmelzen um Größenordnungen höher ist, als die einer niedermolekularen Flüssigkeit, ist der Elastizitätsmodul einer solchen Schmelze, wie bei Wasser, praktisch gleich Null (s. Bild 8). Das bedeutet aber, daß die Schmelze zwar durch den Schneckendruck aus der Werkzeugdüse gepreßt werden kann, nach dem Austritt aus der Düse jedoch erst wieder auf eine Temperatur unterhalb der Schmelz- oder Fließtemperatur abgekühlt werden muß, bevor das PVC hart Zugkräfte aufnehmen kann. Die weitere Bearbeitung, wie das dimensionsgenaue Kalibrieren des Profils bei gleichzeitigem Abzug von der Werkzeugdüse ist möglich, weil sich zwischen dem Schmelzbereich und der Glasübergangstemperatur, d.h. dem Einfrierbereich, ein entropie-elastischer Bereich mit gummielastischem Verhalten einstellt. In diesem Temperaturbereich sind noch große Deformationen möglich, die bei entsprechend niedrigen Belastungsfrequenzen mehrere 100 % erreichen können und wegen der mechanischen Verschlingung der Molekülketten weitgehend reversibel sind. Unterliegt das Profil nun bei der Kalibrierung starken gegenläufigen Zugkräften, die vom Abzug in der einen und von der Reibung an den Kalibrierwänden in der anderen Richtung angreifen, kommt es im gummielastischen Zustand zu einer Verstreckung des Profils in axialer Richtung , die beim Unterschreiten der Glasübergangstemperatur durch die gleichzeitige Abkühlung des Profils eingefroren wird. Das bedeutet dann, daß, je nach dem Grad der Verstreckung, das Profil mehr oder weniger hohe Eigenspannungen enthält. Diese Eigenspannungen sind beim Extrusionsvorgang nahezu unvermeidlich, müssen aber in möglichst niedrigen Grenzen gehalten werden, um Auswirkungen auf die Funktionstüchtigkeit des Fensters zu vermeiden.

Die Auslösung dieser Eigenspannungen, d.h. die Rückstellung der eingefrorenen Verformung ist ein temperatur-, frequenz- und zeitabhängiger Vorgang, der mit einer Formänderung verbunden ist. Da im Fensterprofil vorwiegend längsorientierte Verformungen eingefroren sind, äußert sich deren Auslösung entsprechend in einer Verkürzung der Profillänge. Dieser Vorgang wird auch als Schrumpf bezeichnet und ist ein Maß für die im Profil herrschenden Eigenspannungen.

Die Untersuchung der Rückstellung in Abhängigkeit von Temperatur und Zeit führte an in Umluftöfen vollständig durchgewärmten Profilabschnitten nach einer Prüfzeit von 10 800 Stunden bei Temperaturen von 30 bis 100 °C zu den in Bild 9 wiedergegeben Funktionen. Obwohl die Profile im gesamten Querschnitt völlig durchgewärmt waren und die Prüfdauer über ein Jahr betrug, konnten meßbare Längenänderungen erst bei Temperaturen von ≙ 55 °C festgestellt werden. Das bedeutet, daß der Längsschrumpf bei weißen PVC hart-Fensterprofilen nur für den Schweißvorgang beim Herstellen der Eckverschweißungen Bedeutung hat. Im praktischen Einsatz wird die Funktion weißer Fenster dagegen durch solche Rückstellungen nicht beeinflußt, da an der Außenoberfläche weißer Profile selbst in heißen

Sommern in Deutschland die Temperaturen einen Bereich von etwa 45 °C nicht überschreiten. Wegen der schlechten Wärmeleitfähigkeit wird dabei nur eine dünne Oberflächenzone erwärmt, während die Temperatur des Profilkerns nur wenig erhöht ist (s. Bild 10).

Anders bei Profilen in dunklen Einfärbungen. Hier ist die Rückstellung beim Fensterbau sehr wohl zu beachten, denn bei Oberflächentemperaturen, die bis in die Größenordnung von 70 °C reichen, sind meßbare Längenänderungen, die sich in von außen konkaven Durchbiegungen äußern, schon nach wenigen Jahren zu erwarten. Das führt, neben der Beschleunigung der die Alterung beeinflussenden chemischen Reaktionen, bei farbigen Profilen zu zusätzlichen mechanischen Belastungen.

Unabhängig von der Auswirkung hoher Eigenspannungen der Profile auf die Funktionstüchtigkeit der Fenster sind die Dimensionsänderung nach Warmlagerung und das Verhalten nach Warmlagerung wichtige Qualitätsmerkmale für die Profile. An den gemessenen Längenänderungen lassen sich gleichmäßige bzw. veränderte Fertigungsbedingungen besonders im Abzugbereich gut erkennen. Wegen der kurzen Prüfzeit sind schnelle Eingriffe möglich. Durch die Gütesicherung nach RAL-RG 716/1 wird die zulässige Längenänderung nach einstündiger Lagerung bei 100 °C auf maximal 2 % der Länge vor Beginn der Warmlagerung begrenzt. Wie aus den in Bild 9 aufgezeichneten Funktionen zu erkennen ist, tritt eine solche Längenänderung im praktischen Einsatz auch bei farbigen Profilen nicht ein. Die Auswahl der Prüfbedingungen (Prüftemperatur 100 °C und Prüfdauer 1 h) erfolgte ausschließlich nach prüftechnischen Gesichtspunkten. Wie die nach 1- und 24stündiger Warmlagerung ermittelten Kurven zeigen, bewirken selbst deutliche Abweichungen in der Lagerungszeit bei 100 °C nur Veränderungen des Schrumpfes in der Größenordnung von 0,1 %. Ziel war es, in möglichst kurzer Zeit eine deutliche, gut meßbare Veränderung zu erzielen. Wie Bild 11 zeigt, bieten die gewählten Parameter außerdem den Vorteil, daß die Längenänderung bei 100 °C auf einem Plateau der Temperaturfunktion liegt. Während im Bereich des Steilanstiegs zwischen 65 und 95 °C bereits kleine Abweichungen in der Prüfzeit bzw. der Prüftemperatur starke Änderungen der Schrumpfwerte bewirken und so reproduzierbare Messungen mit einem hohen Aufwand belasten, bewirken geringe Schwankungen dieser Parameter im flachen Bereich der Kurve zwischen 100 und 110 °C nur unwesentliche Veränderungen der Rückstellung. Für die Auswertung der Dimensionsänderung ist noch bedeutsam, daß der Wendepunkt der in Bild 12 gezeigten Kurve nach einstündiger Erwärmung mit dem Glasübergangsbereich, d.h. praktisch mit der Vicat-Erweichungstemperatur des eingesetzten Formstoffes zusammenfällt.

Während durch die Dimensionsänderung bei 100 °C die Vorgänge im gummielastischen Verarbeitungsbereich erfaßt werden, erfaßt die Warmlagerung bei 150 °C die Bedingungen im Schmelzbereich. Treten bei 150 °C Risse, Blasen oder Aufblätterungen im Profil auf, werden dadurch Fehler in der Temperatur- bzw. Druckverteilung im Extruder angezeigt.

Schließlich wird im Rahmen der Gütesicherung auch die Verschweißbarkeit der Profile kontrolliert, da mit der heute üblichen Fenstertechnik die überwiegende Zahl der Eckverbindungen durch Verschweißen der auf Gehrung geschnittenen Profilenden hergestellt wird. Die Güte dieser Eckverschweißungen ist für die Funktionstüchtigkeit des Fensters eines der wichtigsten Kriterien. Zur Kontrolle der Schweißnahtgüte werden zwei Methoden angewandt. In einer einfachen praxisnahen Prüfung wird die Bruchlast direkt an verschweißten Ecken ermittelt. Dabei hat sich der Druckversuch weitgehend durchgesetzt (s. Bild 12). Bei der Beurteilung der so ermittelten Bruchlasten ist aber zu beachten, daß sie, wie die Stoßfestigkeit, von der Profilgeometrie abhängig sind. Das bedeutet, daß nur die Bruchlasten von Eckverschweißungen gleicher Profile vergleichbar sind. In Formgebung und Wanddicke unterschiedliche Profile können wegen des Einflusses des Formfaktors auf ihre Schweißnahtgüte mit dieser Prüfmethode nicht miteinander verglichen werden. Das muß innerhalb eines Profilsystems kein Nachteil sein. Um jedoch objektive Gütefaktoren zu erhalten, wie sie für die Optimierung der Schweißbedingungen unerläßlich sind, ist es erforderlich, die Nahtgüte gemäß Punkt 3.2.9.1 der Gütesicherung im Zugversuch zu ermitteln. Weitere Hinweise auf die Schweißnahtgüte liefern darüber hinaus Biegeversuche, wie sie im DVS-Merkblatt 2203 beschrieben sind oder Zeitstandversuche mit Zug- oder Biegebelastung. Die Vielzahl der Messungen der Gütefaktoren im Kurzzeitzugversuch zeigt, daß die geforderte Schweißnahtgüte von 0,7 mit Fensterprofilen aus erhöht schlagzähem hart-PVC sicher erreicht wird, wenn die Schweißbedingungen, die von Ansatz zu Ansatz leicht variieren, eingehalten werden.

Der Elastizitätsmodul, gemessen nach DIN 53 457, erreicht bei den beschriebenen erhöht schlagzähen PVC hart-Formmassen und -Profilen Werte von etwa 2500 N/mm². Das bedeutet, daß die Biegesteifigkeit der PVC-Profile, auch bei optimaler Formgebung, den statischen Anforderungen nur bei Fen-

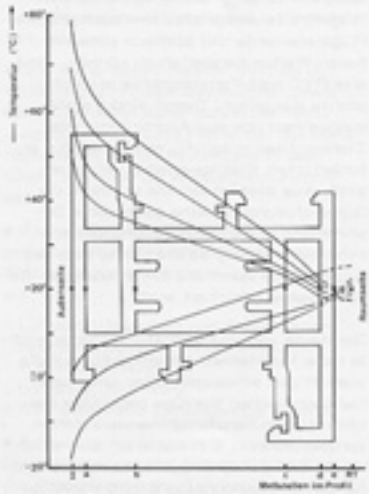


Bild 10: Temperaturverlauf in einem PVC hart-Fensterprofil nach jeweils dreistündigem Temperaturausgleich bei einseitiger Erwärmung bzw. Abkühlung der Außenoberfläche

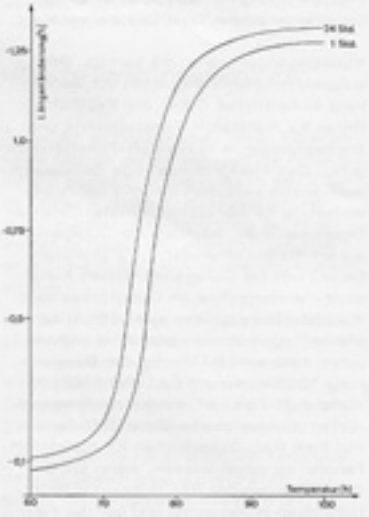


Bild 11: Längenänderung von PVC hart-Fensterprofilen als Funktion der Temperatur, Einwirkungszeit 1 Stunde und 24 Stunden

Bild 12: Prüfung der Eckfestigkeit im Druckversuch

stem bis zu einer Größe von etwa 1 m Flügelbreite entspricht. Um auch größere Flügelelemente mit statisch einwandfreien Werten herstellen zu können, sind alle PVC hart-Fensterprofile als Hohlprofile ausgelegt. Damit sind Verstärkungseinschübe aus Aluminium- oder Stahlprofilen möglich, mit denen die erforderlichen Steifigkeiten zu erzielen sind. Aus diesem Grunde wurde in der Gütesicherung auf eine gesonderte Bestimmung des Elastizitätsmoduls am Profil verzichtet, da die Einhaltung des Grundwertes durch die Anforderung an die Formmasse gesichert wird.

Der heute vom Kunststoff-Fenster erreichte hohe Marktanteil ist eindeutig auf die vielfältigen einbaugerechten und materialspezifischen Vorzüge gegenüber herkömmlichen Fensterrahmenwerkstoffen zurückzuführen. Ein weiterer, sicherlich nicht hoch genug einzuschätzender Grund für den eindrucksvollen Erfolg moderner Kunststoff-Fenster liegt in der zwischen den unterschiedlichen Produktstufen abgestimmten planvollen Gütesicherung der Kunststoff-Fensterherstellung sowie der nicht minder wichtigen Kunststoff-Profilfertigung mit dem Ziel einer verbrauchergerechten Qualitätsüberwachung.

Vorangegangen waren die bereits 1963 aufgenommenen Vorarbeiten zur Aufstellung einheitlicher Güte- und Prüfrichtlinien für Kunststoff-Fensterprofile und die nachfolgende Kunststoff-Fensterfertigung. Das hierfür notwendige Bedingungswerk wurde zwischen den mit der Gütesicherung für Kunststoff-Fenster befaßten Organisationen, nämlich der Gütegemeinschaft Kunststoffenster e.V. (Fensterbauer) und der Gütegemeinschaft Kunststoff-Fensterprofile im Qualitätsverband Kunststofferzeugnisse e.V. (Profilhersteller), gemeinsam erarbeitet und im Jahre 1980 vom RAL unter der Bezeichnung "Gütesicherung RAL-RG 716/1 für Kunststoff-Fenster" anerkannt. Hiernach dürfen gütegesicherte Kunststoff-Fenster mit dem RAL-Gütezeichen für Kunststoff-Fenster versehen werden, wenn sie den Anforderungen der RAL Güte- und Prüfrichtlinien entsprechen und bei der Fensterverarbeitung gütegesicherte Kunststoff-Fensterprofile Verwendung gefunden haben. Diese Regelung schafft gleichzeitig auf dem Kunststoff-Fenstermarkt die notwendige Zeichentransparenz, um Abnehmern und Verarbeitern ausreichende Gewißheit über das Vorhandensein der erforderlichen Qualitätsmerkmale zu verschaffen.

Die Organisation der Gütesicherung von Kunststoff-Fensterprofilen liegt dabei in der Hand der Gütegemeinschaft Kunststoff-Fensterprofile im QKE, die aufgrund eines mit dem Süddeutschen Kunststoff-Zentrum abgeschlossenen Rahmenabkommens über die Fremdüberwachung die Güteüberwachung von Profilen koordiniert und zugleich Sorge dafür trägt, daß die Fremdüberwachung und betriebliche Eigenkontrolle nach einheitlichen Prüfrichtlinien abgewickelt werden. Über die Berechtigung zur Verwendung des vom RAL anerkannten Prüfzeichens für Kunststoff-Fensterprofile, das mittlerweile allseits als Ausweis der erforderlichen Gütesicherung anerkannt wird, entscheidet ebenfalls die Gütegemeinschaft Kunststoff-Fensterprofile, die zusätzlich in regelmäßigen Abständen sogenannte Prüfzeichenlisten herausgibt.

Rückblickend kann heute festgestellt werden, daß die von den einschlägigen Gütesicherungsgemeinschaften 1979 erstmals eingeführte Gütesicherung von Kunststoff-Fenstern unter Anwendung eines offiziellen RAL-Gütezeichens die Marktgeltung moderner Kunststoff-Fenster gestärkt hat und zweifellos mit dafür gesorgt hat, daß dieses moderne Kunststoffprodukt mittlerweile einen imponierenden Marktanteil von über 40 % am gesamten Fenstermarkt der Bundesrepublik erreicht hat.

(Alle Fotos und Zeichnungen zu diesem Beitrag: Dynamit Nobel)

Literatur

RAL-RG 716/1
Kunststoff-Fenster, Gütesicherung

DIN 7748 Teil 1 (1979)
Weichmacherfreie Polyvinylchlorid-(PVC-U)-Formmassen

DIN 53460
Bestimmung der Vicat-Erweichungstemperatur von nicht härtbaren Kunststoffen

DIN 53457
Bestimmung des Elastizitätsmoduls im Zug-, Druck- und Biegeversuch

DIN 53453
Schlagbiegeversuch

DIN 53753
Schlagbiegeversuch an Probekörpern mit Loch- oder Doppel-V-Einkerbung

DIN 53387
Bewitterung in Geräten; Beanspruchung durch gefilterte Xenonbogenstrahlung und periodisches Benässen

DIN 53386
Bewitterung im Freien

DVS 2203
Prüfen von Schweißverbindungen aus thermoplastischen Kunststoffen; Prüfungen, Anforderungen

Verzeichnis der Prüfzeicheninhaber
2. Auflage, August 1982
Herausgeber: Gütegemeinschaft Kunststoff-Fensterprofile im Qualitätsverband Kunststofferzeugnisse e.V., Dyroffstraße 2, 5300 Bonn

Die Kunststoff-Fenster-Hersteller mit dem RAL-Gütezeichen, Juli 82
Herausgeber: Gütegemeinschaft Kunststoffenster e.V., Bockenheimer Anlage 13, 6000 Frankfurt a.M.

Bearbeitet: Dr. Volker Hofmann, Troisdorf, 10. Februar 2012