TROCAL Kunststoff-Fenster, Produktaussage-Prüfung, 1982
Mit ausführlicher Mess-Methodenbeschreibung und Angabe der Werte

Produktaussage-Prüfung
Einleitung

Die Beschreibung der an TROCAL Fensterprofilen im Rahmen der internen Qualitätskontrollen regelmäßig durchgeführten physikalischen Prüfungen sollen den interessierten Fensterbauern, Architekten und Bauherren die angewandten Prüfmethoden darlegen.
Die exakte Beschreibung der Prüfverfahren, die Durchführung der Versuche und Hinweise auf die eingesetzten Prüfgeräte können den angegebenen Normen bzw. Richtlinien entnommen werden. Dort sind alle zur reproduzierbaren Durchführung dieser Prüfungen erforderlichen Angaben, die den Umfang dieser Produktaussage sprengen würden, zu finden.
Die Produktaussage soll den Benutzer nicht über alle Details der Probekörperentnahme, zulässige Prüftemperaturtoleranzen usw., sondern über den Zweck der Untersuchungen und ihre Aussagekraft informieren. Außerdem haben wir uns bemüht, Hinweise auf die Zusammenhänge zwischen den bei der Prüfung ermittelten Eigenschaftswerten und den Beanspruchungen zu geben, denen die Profile im Fenster, d. h. im praktischen Einsatz, ausgesetzt sind.
Auch soll nicht auf die Oberflächenkontrolle und die der Profildimensionen und -gewichte eingegangen werden, obwohl dies die häufigsten Fertigungskontrollen in der Profilproduktion sind.

TROCAL® Kunststoff-Fenster
von Dynamit Nobel und Partnern

Zusammenfassung der Eigenschaftswerte, ihrer Dimensionen und Prüfverfahren

Eigenschaften	Einheit	Prüfvorschrift	Bezeichnung der Einheit
Rohdichte	g/cm³	DIN 53479	Gramm pro Kubikzentimeter
Streckspannung σ_s	N/mm²	DIN 53455	Newton pro Quadratmillimeter
Reißfestigkeit σ_R	N/mm²	DIN 53455	Newton pro Quadratmillimeter
Reißdehnung ε_R	%	DIN 53455	Prozent
Elastizitätsmodul	N/mm²	DIN 53457	Newton pro Quadratmillimeter
Schlagzähigkeit a_n	kJ/m²	DIN 53453	Kilo-Joule pro Quadratmeter
Kerbschlagzähigkeit (U-Kerb) a_k	kJ/m²	DIN 53453	Kilo-Joule pro Quadratmeter
Kerbschlagzähigkeit (Doppel-V-Kerb) a_v	kJ/m²	DIN 53753	Kilo-Joule pro Quadratmeter
Kerbschlagzähigkeit (Lochkerb) a_l	kJ/m²	DIN 53753	Kilo-Joule pro Quadratmeter
Schlagzugzähigkeit a_{zu}	kJ/m²	DIN 53448	Kilo-Joule pro Quadratmeter
Stoßfestigkeit	–	RAL-RG 716/1	
Eckfestigkeit	N	RAL-RG 716/1	Newton
Nahtgüte	–	DVS 2203	
Dimensionsänderung nach Warmlagerung	%	RAL-RG 716/1	Prozent
Vicat-Erweichungstemperatur VST	K °C	DIN 53460	Kelvin Grad Celsius
Wetterechtheit		DIN 53387 RAL-RG 716/1	
Gesamtbestrahlung	MWs/cm²		Megawattsekunden pro Quadratzentimeter
Wetterbeständigkeit		DIN 53387 RAL-RG 716/1	
Globalstrahlung	kJ/cm²		Kilo-Joule pro Quadratzentimeter
Globalstrahlung	MWs/cm²		Megawattsekunden pro Quadratzentimeter
Globalstrahlung	kWh/cm²		Kilowattstunden pro Quadratzentimeter
Globalstrahlung	kWh/m²		Kilowattstunden pro Quadratmeter
Globalstrahlung	kcal/cm²		Kilokalorien pro Quadratzentimeter

Bezeichnung der Prüfvorschriften:
DIN Deutsches Institut für Normung (Deutsche Normen)
RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V.: Kunststoff-Fenster: Gütesicherung
ASTM American Society for Testing and Materials (USA-Normen)
DVS Deutscher Verband für Schweißtechnik e.V.
UEAtc Union Européenne pour L'Agrément technique dans la construction

Produktaussage-Prüfung

Rohdichte

Die Dichte eines Werkstoffes wird durch die Elemente, d. h. deren Atommasse, bestimmt, aus denen er zusammengesetzt ist und ist als Raumdichte der Masse physikalischer Körper, also **als Masse eines Stoffes pro Volumeneinheit definiert. Meist wird bei Kunststoffen die Rohdichte angegeben. Dies heißt, daß die Masse des Stoffes pro Volumeneinheit aus der normalen Lieferform,** hier **also aus dem TROCAL Fensterprofil, bestimmt wurde. Das hat den Vorteil, daß damit die Gleichmäßigkeit der Produktion ermittelt werden kann. Neben den Elementen und ihrer Struktur;** in PVC (CH_2CHCl) z. B. die Elemente Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H) und Chlor (Cl);

H	H	H	Cl
– C –	– C –	– C –	– C –
H	Cl	H	H

oder Packungsdichte **werden mit der Rohdichte auch alle Zuschlagstoffe, z. B. Modifizierungsmittel, Stabilisatoren, Füllstoffe usw. erfaßt. Damit liefert die Bestimmung der Rohdichte eine erste einfache Methode, die Zusammensetzung der Rezeptur zu kontrollieren.**
Aus diesem Grunde wird auch in regelmäßigen Abständen die Rohdichte von TROCAL Fensterprofilen ermittelt. An TROCAL Color-Profilen werden die Rohdichten des Trägerprofiles und der koextrudierten PMMA-Schicht getrennt bestimmt.
Die Bestimmung der Rohdichte erfolgt gemäß DIN 53479 nach der Gradientenmethode. Dabei werden kleine Profilabschnitte von wenigen mm^3 in einem 1 m hohen Glaszylinder, der z. B. mit einer Kalziumkarbonat-Wasser-Mischung gefüllt ist, eingebracht (Abb. 1). Die Probeabschnitte sinken in der Säule ab, bis ihre Rohdichte der der Flüssigkeitsmischung entspricht und sie schweben. Aus der Einsinktiefe, die mit einem Meßfernrohr sehr genau ermittelt werden kann, ist die Rohdichte direkt zu bestimmen, da die Dichte nahezu linear vom Gefäßboden bis zum Flüssigkeitsspiegel absinkt. **Ihr Wert liegt bei weißen TROCAL Fensterprofilen bei 1,435 g/cm^3.**

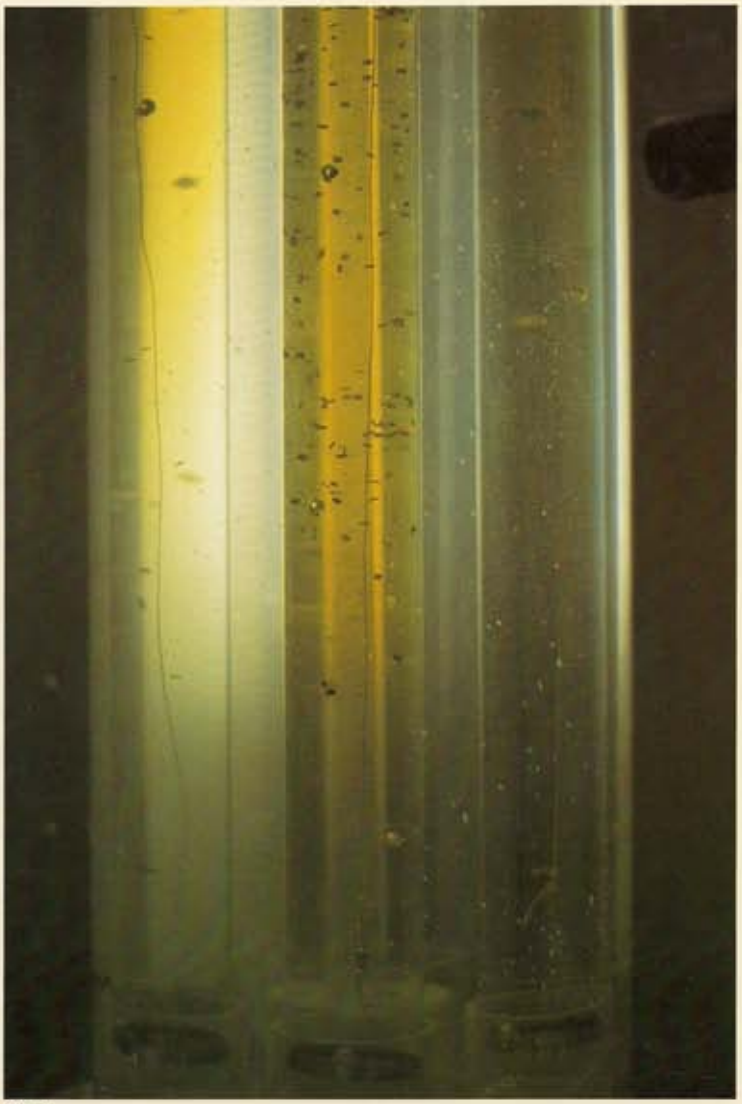


Abb. 1
Die Einsinktiefe der Probekörper in der Flüssigkeitsmischung wird mit einem Meßfernrohr ausgemessen. Im Bild sind auch die Eichkörper in der Säule gut erkennbar.

Produktaussage-Prüfung

Zugversuch

Der Zugversuch liefert eine erste Information über die Festigkeit und das Verformungsverhalten eines Werkstoffes bei einachsiger Belastung. Der Kurzzeitzugversuch hat zwar für die Berechnung von Bauteilen und -elementen nur eine beschränkte Bedeutung, da der Konstrukteur dabei vom Langzeitverhalten unter dauernder gleichbleibender oder wechselnder Belastung ausgehen muß. **Beim Zugversuch nach DIN 53455 wird dagegen der Probekörper in einer Zerreißmaschine** (Abb. 1) **mit gleichbleibender Prüfgeschwindigkeit gedehnt.** Die zur Dehnung des Probekörpers erforderliche Kraft steigt dabei in charakteristischer Weise an. Zeichnet man die Längenänderung und die dazu erforderliche Kraft in einem Diagramm auf, kann man erkennen, welchem Werkstofftyp der geprüfte Kunststoff zuzuordnen ist.

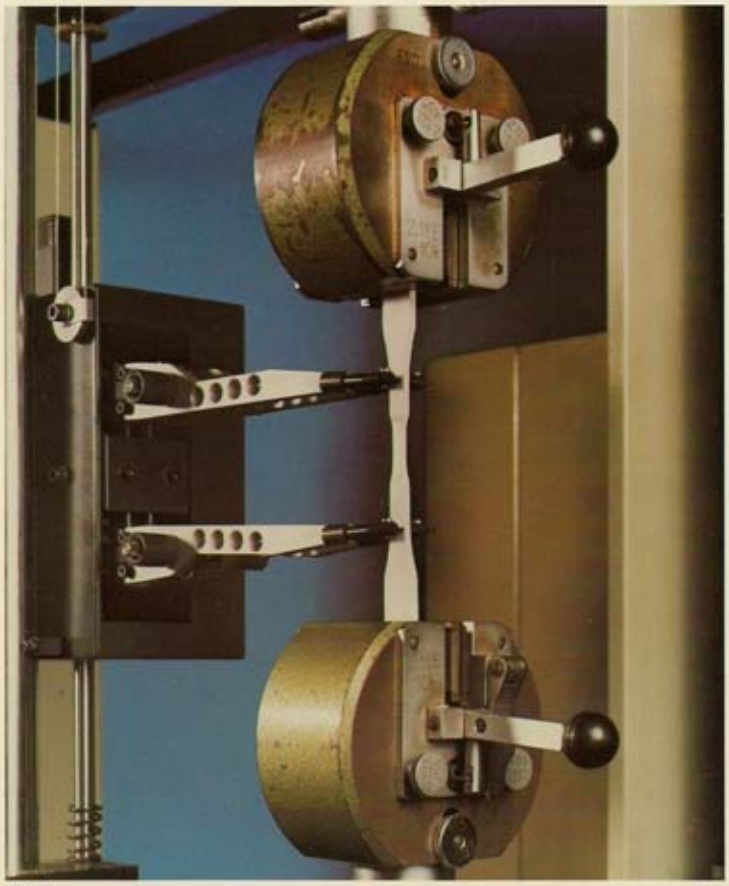


Abb. 1

Errechnet man aus der Kraft über den Probenquerschnitt die Zugspannung und aus der Längenänderung die Dehnung, erhält man Spannungs-Dehnungsdiagramme. Ein solches ist aus der Qualitätskontrolle der TROCAL Profile in Abb. 2 beigefügt. **Der Verlauf der Spannungs-Dehnungskurve mit seiner deutlich ausgeprägten Streckspannung und der hohen Dehnung bis zum Bruch der Probe zeigt, daß TROCAL Profile aus erhöht schlagzähem PVC hart den zäh-harten Kunststoffen zuzuordnen sind.**

Die aus dem Zugversuch ermittelten Werte der Streckspannung, Reißfestigkeit und der Reißdehnung haben für den Eigenschaftsvergleich und damit für die Qualitätskontrolle Bedeutung. **Dabei ist zu beachten, daß immer Probekörper der gleichen Form (in der Regel ein Schulterstab entsprechend Probekörper Nr. 3 [DIN 53 455]), bei gleicher Prüftemperatur** (+23 °C) **mit gleicher Prüfgeschwindigkeit** (v = 50 mm/min.) **geprüft werden,** um vergleichbare Resultate zu erhalten.

TROCAL® Kunststoff-Fenster von Dynamit Nobel und Partners

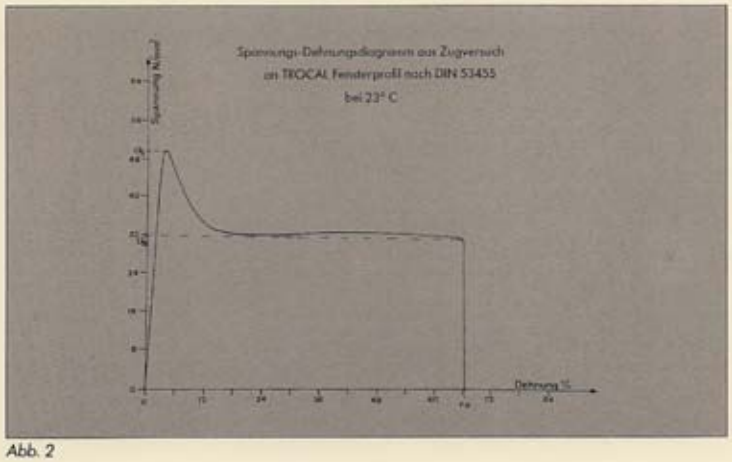


Abb. 2

Produktaussage-Prüfung

Schlagzähigkeit Teil 1 Schlagbiegeversuch

TROCAL® Kunststoff-Fenster von Dynamit Nobel und Partnern

Die Angabe der Schlagzähigkeit eines thermoplastischen Halbzeugs, d. h. seines Verhaltens gegen stoßartige Belastungen, ist keineswegs einfach. Das ergibt sich aus den unterschiedlichen Orientierungszuständen, Eigenspannungen und der Morphologie. Dies gilt natürlich auch für Fensterprofile aus erhöht schlagzähem PVC hart.

Bei der Extrusion der Profile werden diese Größen durch die Extrusionsbedingungen, wie z. B. die Zylindertemperatur und alle anderen Maschinenbedingungen, die Werkzeuggeometrie und natürlich durch das Fließverhalten der eingesetzten Rezeptur beeinflußt. So sind bei den unterschiedlichen Profiltypen z. B. unterschiedliche Eigenspannungen und Orientierungen zu erwarten, die das mechanische Verhalten und insbesondere die „Schlagzähigkeit" des Profiles beeinflussen.

Das Schlagverhalten von Hohlprofilen wird außerdem durch die geometrische Form beeinflußt. Beim Einsatz von **erhöht schlagzähem PVC kommt** die Bedeutung der **Verteilung, Orientierung und evtl. Schädigung der Modifizierungsmittel** für die Schlagzähigkeit **noch hinzu.**

Diese Aufzählung der wichtigsten Einflußgrößen zeigt, wie komplex die Beurteilung der Schlagzähigkeit von Fensterprofilen ist. Deshalb wird die Schlagzähigkeit von TROCAL Profilen nach mehreren Methoden überprüft.

Eine Möglichkeit zur Erfassung der Schlagzähigkeit unabhängig von der Profilform bietet der Schlagbiegeversuch nach DIN 53453. Zur Durchführung dieses Versuchs werden **aus den Profilwänden Probekörper von 50 ± 1 mm Länge und 6 ± 0,2 mm Breite entnommen.** Die Dicke der Proben entspricht der Wanddicke der Profile. **Diese Proben werden auf einem Pendelschlagwerk nach DIN 51222 geprüft** (Abb. 1).

Abb. 1

Die Schlagbiegeprüfung hat den Vorteil, daß sie an Probekörpern aus nahezu allen Profilwandzonen vorgenommen werden kann. Außerdem können die Probekörper wegen ihrer geringen Größe bei vielen Profilen sowohl in Längs- als auch in Querrichtung aus den Profilen entnommen werden und erlauben so eine Beurteilung des Orientierungsgrades. Schließlich kann der Schlag des Pendelhammers auf die äußere und innere Oberfläche der Proben geführt werden. **Die Schlagbiegeprüfung** hat jedoch nicht nur Vorteile und **kann nicht alle Aspekte der Schlagzähigkeit erfassen.** So wird die Deformationsgeschwindigkeit und damit das Ergebnis des Schlagbiegeversuchs von der Probendicke beeinflußt. **Vergleichbar sind also nur Ergebnisse von Probekörpern gleicher Dicke. Außerdem liefert der Versuch nur beim Bruch der Proben quantitative Zahlenwerte. Nicht gebrochene Proben lassen keine weitere Differenzierung mehr zu.** Bei erhöht schlagzähem PVC hart sind Brüche erst bei tiefen Temperaturen zu erzielen. **So fordert die interne Qualitätskontrolle für TROCAL Fensterprofile, daß bei −40 °C noch kein Probekörper brechen darf.**

Produktaussage-Prüfung

Schlagzähigkeit Teil 2 Schlagzugversuch

Abb. 1

Die Beurteilung der Schlagzähigkeit von Fensterprofilen stößt beim Schlagbiegeversuch mit ungekerbten Proben auf Grenzen, wenn Probekörper aus Profilen mit unterschiedlichen Wanddicken beurteilt werden müssen und wenn die Proben nicht brechen. Diese Grenzen können mit dem Schlagzugversuch nach DIN 53448 überwunden werden.

Die beim Schlagzugversuch eingesetzten Probekörper haben die Form eines Schulterstabes (Abb. 1). **Der Versuch erfordert** zwar einen **höheren Aufwand bei der Prüfeinrichtung und der Auswertung, ermöglicht aber die Prüfung von Proben unterschiedlicher Dicke und liefert quantitative Werte.**

Die Prüfung erfolgt mit einem gabelförmigen Pendelhammer, der gegen ein am Probekörperende aufgespanntes Querjoch schlägt (Abb. 2).

Registriert man außer der zum Zerreißen der Probe erforderlichen Schlagarbeit noch die Reißdehnung der Probe, kann deren Verformungsfähigkeit mit beurteilt werden. **Durch die Aufnahme von Spannungs-Dehnungskurven können beim Schlagversuch schließlich Aussagen über die elastischen und plastischen Verformungsanteile** und damit über **die Orientierung und Morphologie des Modifizierungsmittels gewonnen werden.**

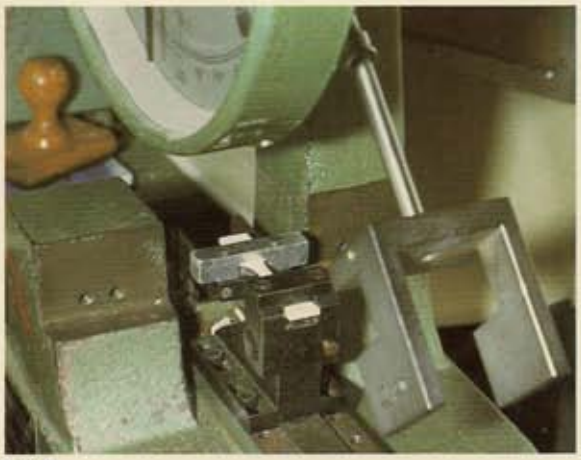


Abb. 2

TROCAL®
Kunststoff-Fenster
vom Dynamit Nobel und Partnern

Produktaussage-Prüfung

Schlagzähigkeit Teil 3 Kerbschlagzähigkeit

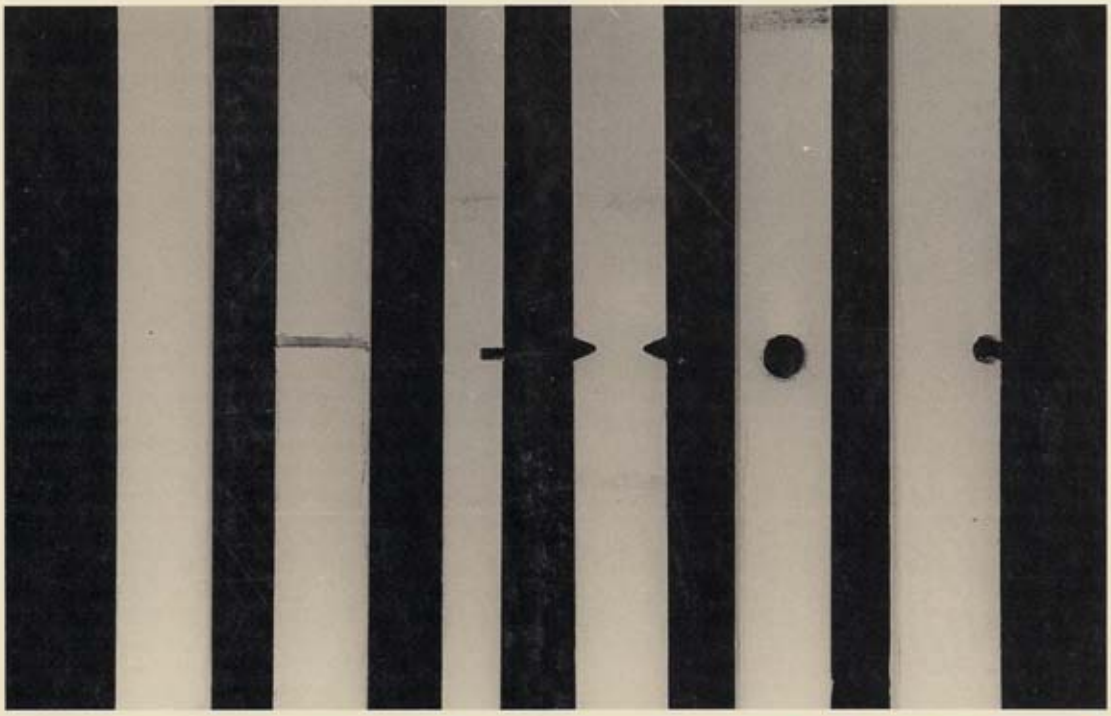
In der Praxis wird das Verhalten gegen Schlageinwirkung außer von den in Teil 1 + 2 genannten Parametern häufig **auch von mechanischen Beschädigungen beeinflußt. Solche Schäden wie z. B. Kratzer führen zu einer Kerbwirkung, welche die Schlagzähigkeit eines Halbzeuges oder Fertigteils vermindert,** weil durch Störung des Kraftflusses örtliche Spannungsspitzen erzeugt werden. Bei Kunststoffen ist der Einfluß eines Kerbes auf das Bruchverhalten sehr unterschiedlich (bei Polyester-Gießharzen z. B. sehr stark, bei Polyethylen gering).

Die Ermittlung der Kerbwirkung auf die Schlagzähigkeit ist mit Hilfe des Schlagbiegeversuches an gekerbten Probekörpern möglich.

In der Regel kann gesagt werden, daß die Kerbschlagzähigkeit mit kleiner werdendem Kerbgrundradius abnimmt.

Die Prüfverfahren nach DIN 53453, DIN 53753 oder auch ASTM D 256 ermöglichen die Bestimmung von Kerbschlagzähigkeiten mit unterschiedlichen Kerbformen und Beanspruchungsrichtungen.

Zur Ermittlung der Kerbschlagzähigkeit von TROCAL Profilen werden die im Bild gezeigten Probekörper eingesetzt.



Von links nach rechts sind folgende Probekörper gezeigt:

1. Der ungekerbte Normkleinstab zur Bestimmung der Schlagzähigkeit nach DIN 53453.
2. + 3. Der mit u-förmigem Kerb versehene Normkleinstab nach DIN 53453 in Breiten- und Höhenansicht (Dicke).
4. Die mit Doppel-V-Kerbe versehene Probe nach DIN 53753.
5. Die mit Lochkerb versehene Probe nach DIN 53753.
6. Die mit Rundkerb versehene Probe.

Mit Hilfe der verschiedenen Kerbformen und unterschiedlichen Kerbgrundradien wird die Erfassung der Kerbschlagzähigkeit in einem breiten Bereich ermöglicht. Sie lassen außerdem Rückschlüsse auf die Gestaltfestigkeit der Profile zu. **Dabei gilt jedoch unabhängig von der Kerbschlagzähigkeit des Werkstoffes, daß Querschnittsübergänge möglichst sanft und mit möglichst guter Ausrundung erfolgen sollen.**

Für die Fertigungskontrolle ist nicht die exakte Ermittlung von Absolutwerten der Schlag- und Kerbschlagzähigkeit wichtig, sondern die Erfassung von Verarbeitungsmängeln, welche dadurch angezeigt werden, daß die Werte ein bestimmtes Niveau nicht erreichen.

TROCAL® Kunststoff-Fenster von Dynamit Nobel und Partnern

Produktaussage-Prüfung

Schlagzähigkeit Teil 4 Stoßfestigkeit

Natürlich wird die Schlagzähigkeit von TROCAL Fensterprofilen nicht nur an Probekörpern ermittelt, die aus den Profilen spangebend entnommen werden. **Die** so, **mit genormten Prüfverfahren in Schlagbiege- und Schlagzugversuchen bestimmten Schlag- und Kerbschlagzähigkeiten erhalten ihre Aussagekraft erst zusammen mit dem Stoßverhalten des Profiles.** Wie im Teil 1 bereits gesagt, **wird die Stoßfestigkeit eines Profiles von seiner Gestaltfestigkeit, d. h. von seiner geometrischen Form, mitbestimmt.** Auch wenn man durch Veränderung der Prüftemperatur, der Fallhöhe oder der Masse des Fallkörpers die zum Bruch des Profiles erforderliche Stoßenergie bzw. Schädigungsarbeit ermittelt, erlaubt diese nur einen Vergleich mit Profilen des gleichen Querschnitts. Die Tatsache, daß bei jeder Veränderung der Versuchsbedingungen, d. h. bei jedem Versuchsschritt, mindestens 10 Probekörper geprüft werden müssen, und die Vielzahl der zu einem System gehörenden Profile mit unterschiedlichem Querschnitt lassen erkennen, welch hoher Aufwand zur Erzielung eines quantitativen Ergebnisses erforderlich ist. Aus diesem Grunde beschränkt sich die laufende Qualitätskontrolle hinsichtlich der Stoßfestigkeit der TROCAL Profile auf die Einhaltung von **Mindestanforderungen.**

Diese sind von der Güterichtlinie RAL-RG 716/1 vorgegeben. Nach 3.2.4 dieser Güterichtlinie werden **300 mm lange Hauptprofilabschnitte mindestens 1 Std. lang auf –10 °C abgekühlt.** Dann werden sie **mit einer Stützweite von 200 mm** in einer Prüfeinrichtung so **gelagert, daß ein Fallgewicht von 1000 g aus einer Fallhöhe von 100 cm auf eine der Sichtflächen aufschlagen kann** (Abb. 1).

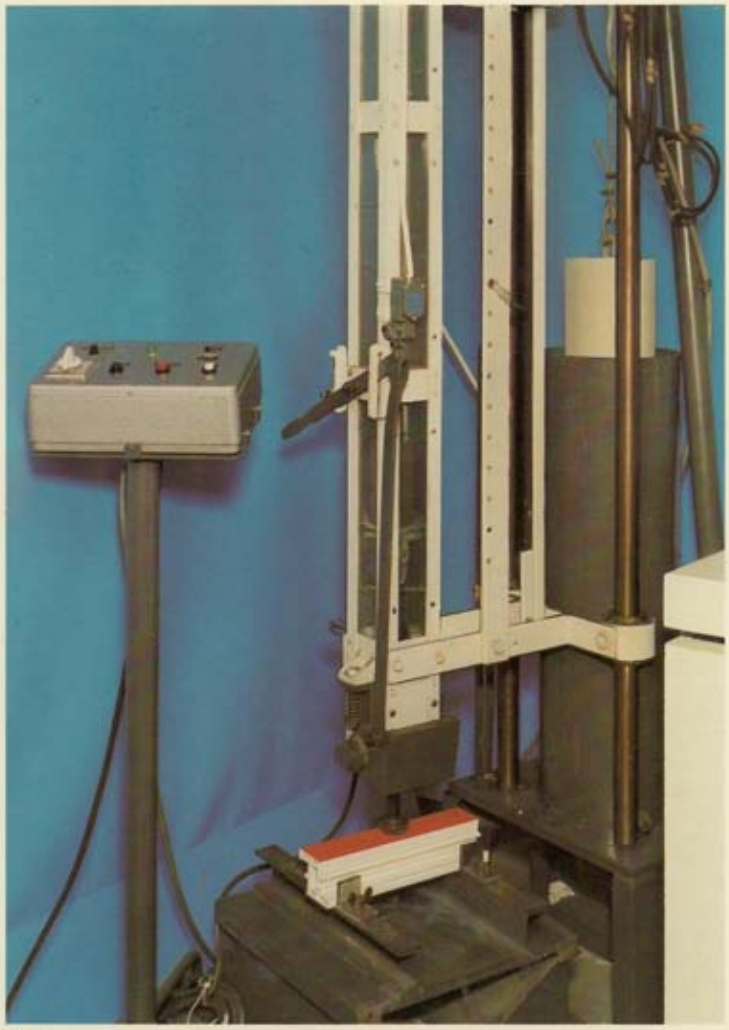


Abb. 1

Dabei darf von 10 Proben höchstens eine brechen.

Diese Fallversuche ermöglichen für sich mit relativ geringem prüftechnischen Aufwand eine Kontrolle der Fertigungsbedingungen. Besteht das Profil diese Stoßbeanspruchung, kann angenommen werden, daß auch die beim Transport der Profile normalen Beanspruchungen nicht zu einer Schädigung der Profile führen. **Ein Zusammenhang zwischen dem Fallversuch und der praktischen Beanspruchung des Fensters besteht, wenn überhaupt, dann nur mit dem „Fehlschlag" beim Verglasen der Fenster oder der Befestigung im Baukörper.**

TROCAL®
Kunststoff-Fenster
von Dynamit Nobel und Partnern

Produktaussage-Prüfung

Elastizitätsmodul

Für den **Konstrukteur** ist die im Kurzzeitzugversuch ermittelte Zugfestigkeit oder Streckspannung eines Werkstoffes nur von untergeordneter Bedeutung. Die von ihm konstruierten Bauteile dürfen ja nicht zu Bruch gehen, sondern müssen lange Jahre funktionstüchtig bleiben. Deshalb **muß** er **in seine Berechnungen für die Dimensionierung solcher Bauteile Kennwerte einsetzen, die das Verhalten des Werkstoffes weit vor dem Bruch, ja weit vor der Streckgrenze charakterisieren.**

Beim Zugversuch kann man leicht erkennen, daß die Verlängerung Δl der Probe mit steigender Zugkraft P zunimmt. Die Verlängerung nimmt außerdem zu, wenn der Anfangsquerschnitt F_0 kleiner und die Anfangslänge l_0 größer wird. Darüber hinaus ist die Verlängerung noch materialabhängig. Diese Zusammenhänge lassen sich in der Formel $\Delta l = \frac{P \cdot l_0}{F_0 \cdot E}$ ausdrücken.

Darin kennzeichnet E den Elastizitätsmodul oder kurz E-Modul des Werkstoffes. Er gibt das Verhältnis der Spannung zur dadurch erreichbaren elastischen Verformung an und ist eine werkstoffspezifische Größe für die Dehnsteifigkeit.

Ersetzt man in der oben angegebenen Formel $\frac{P}{F_0}$ durch die Zugspannung σ und $\frac{\Delta l}{l_0}$ durch die relative Dehnung ε **wird** die Definition des Elastizitätsmoduls $\sigma = E \cdot \varepsilon$ noch deutlicher.

Wie schon aus der Bezeichnung Elastizitätsmodul hervorgeht, gilt diese Relation zwischen Spannung und dadurch bewirkter Verformung nur im elastischen Bereich, d. h. im Bereich sehr kleiner Dehnungen. Dieser wird als Hookescher Bereich bezeichnet und ist dadurch gekennzeichnet, daß die unter Spannung erzeugte Dehnung reversibel ist, d. h. sich nach der Entspannung wieder völlig auf Null zurückstellt. Dieser Bereich ist bei Kunststoffen sehr klein und reicht nur bis zu Dehnungen von etwa 0,5%.

Der E-Modul wird nach DIN 53457 bestimmt. Diese Norm gibt die Prüfbedingungen für den Zug-, Biege- und Druckversuch an. Am häufigsten wird der Elastizitätsmodul aus dem Zug- und Biegeversuch bestimmt. Bei der Untersuchung von TROCAL Profilen wird meistens der Zugversuch eingesetzt. Die erforderlichen Probekörper werden aus den Sichtflächen der Profile entnommen. Es wird ein Spannungs-Dehnungs-Diagramm im Bereich bis zu ca. 1% Dehnung aufgenommen. Der E-Modul wird dann als Tangentenmodul aus dem Anstieg der im Bereich bis zu 0,5% Dehnung an die Spannungs-Dehnungskurve angelegten Tangente bestimmt: $E_T = \frac{\sigma_1}{\varepsilon_1}$ (Abb. 1).

Für den Konstrukteur reicht jedoch auch dieser im Kurzzeitversuch bestimmte E-Modul als Berechnungsgrundlage noch nicht aus,

denn bei Kunststoffen ist der E-Modul auch von der Einwirkungszeit der Belastung und von der Einsatztemperatur abhängig. Von TROCAL Profilen wurden jedoch in umfangreichen Langzeit-Biegeversuchen auch diese Werte ermittelt (Abb. 2).

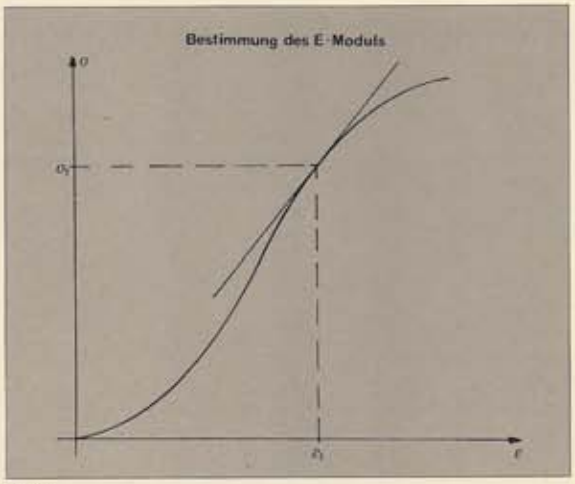


Abb. 1

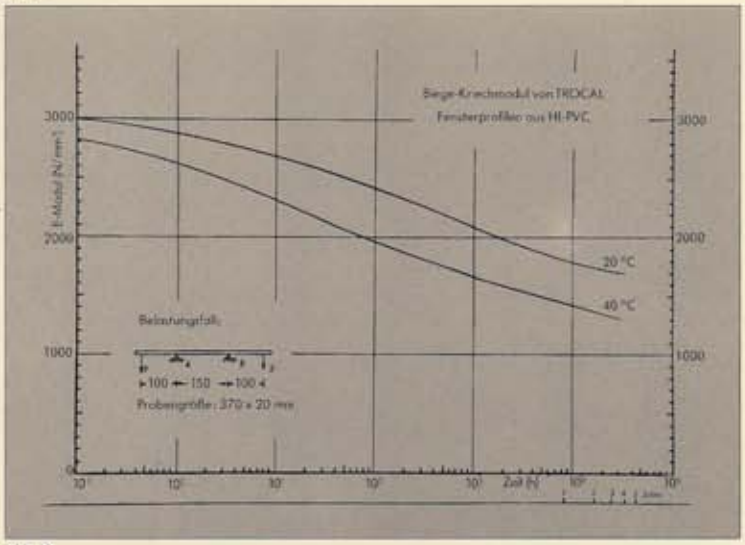


Abb. 2

Produktaussage-Prüfung

Schweißbarkeit Teil 1 Eckfestigkeit

Für die Funktionstüchtigkeit eines Fensters ist die Festigkeit der Eckverschweißung eines der wichtigen Kriterien. Deshalb wird die Verschweißbarkeit der TROCAL Fensterprofile regelmäßig geprüft. Dabei gelangen zwei Methoden zur Anwendung.

Die Bruchlast wird an 90° Eckverschweißungen ermittelt. Dazu werden auf handelsüblichen Schweißmaschinen **Eckwinkel von 90°** aus zwei auf 45°-Gehrung geschnittenen Profilabschnitten **geschweißt. Frühestens 16 Stunden nach der Verschweißung erfolgt die Prüfung der Ecken.** Zur Ermittlung der Eckfestigkeit sind **3 Methoden** gebräuchlich. Diese **sind in der RAL-Güterichtlinie RG 716/1 beschrieben** (Abb. 1).

Die Prüfung der TROCAL Profile erfolgt vorwiegend im Druckversuch (Abb. 2), weil diese Methode seit 20 Jahren angewandt und auch ohne großen apparativen Aufwand durchführbar ist. **Zur Durchführung des Druckversuches werden Hartholz- oder Aluminiumblöcke benötigt,** deren Flanken den Flanken der zu prüfenden Profile entsprechend ausgearbeitet sein müssen. **In einer Zerreißmaschine** oder einer anderen geeigneten Prüfeinrichtung **wird die Druckkraft stoßfrei, mit einer Prüfgeschwindigkeit von 50 mm/min. aufgebracht, bis der Bruch des Eckwinkels erfolgt.**

Die dabei erreichte Höchstkraft wird als Bruchlast in N oder kN angegeben.

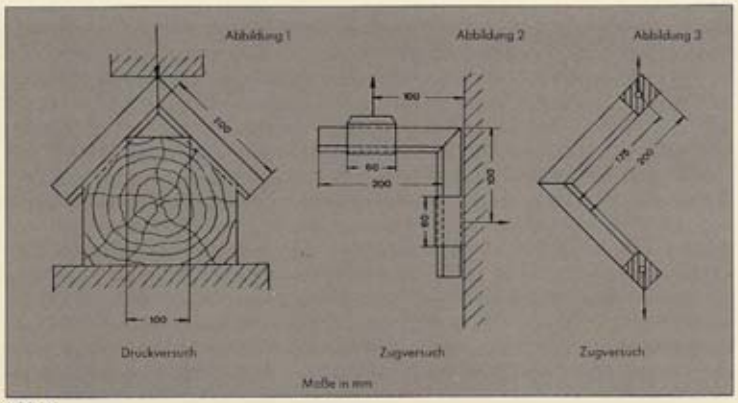


Abb. 1

Abb. 2

Bei der Prüfung von Eckwinkeln ist zu beachten, daß die gemessenen Bruchwerte sowohl von der angewandten Prüfmethode als auch vom Querschnitt der Profile, d. h. von ihrer Formgebung, abhängig sind und nicht allein von der Güte der Verschweißung. Das bedeutet, daß die Eckfestigkeit für jedes Profil andere Werte liefert, die von der Profilform und dem Querschnitt der Profilwandungen abhängig sind.

Obwohl bei der Prüfung von Eckverschweißungen nur ein direkter Vergleich unter gleichen Profilen möglich ist, bietet diese Prüfung auch dem Fensterbauer die Möglichkeit, die Einhaltung der richtigen Schweißbedingungen an seinen Schweißmaschinen zu kontrollieren.

Produktaussage-Prüfung

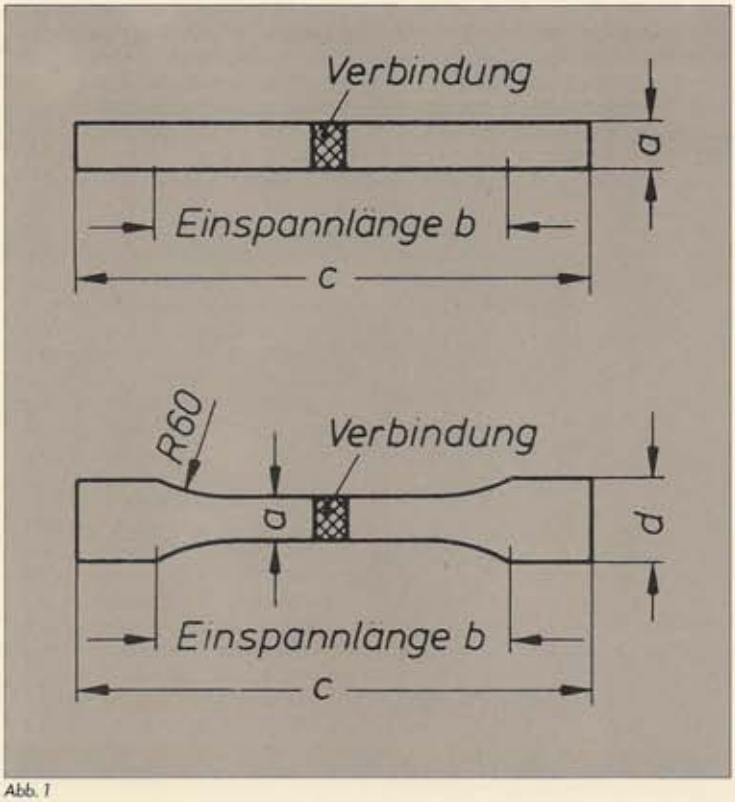
Schweißbarkeit Teil 2 Nahtgüte

Natürlich muß bei einer Kontrolle der Verschweißbarkeit von Fensterprofilen auch eine objektive, von der Profilform und der Prüfmethode unabhängige Prüfung aller zum System gehörenden Profile möglich sein.

Das gelingt durch die Ermittlung der Schweißnahtgüte. Dazu werden aus einer Eckverschweißung oder besser aus stumpf geschweißten Profilen Zugproben (Probekörper 3 oder 5 nach DIN 53 455) so entnommen, daß die Schweißnaht in der Mitte der Probe, senkrecht zur Prüfrichtung liegt. **An mindestens 5 solcher Proben wird nach DVS 2203 die Zerreißkraft F_V bestimmt** (Abb. 1).

In der gleichen Weise werden 5 Proben ohne Schweißnaht aus dem gleichen Profil geprüft. **Der Gütefaktor f_z aus dem Kurzzeitzugversuch wird aus dem Quotienten der Zerreißkräfte der geschweißten (F_v) und der ungeschweißten Bezugsproben (F_B) ermittelt: $f_z = \frac{F_v}{F_B}$.**

Die gute Verschweißbarkeit der TROCAL Profile wird durch den Gütefaktor bestätigt, der Werte über 0,9 erreicht und damit den Sollwert von 0,7 sicher erfüllt. Das bedeutet, daß die Zugfestigkeit geschweißter Proben aus TROCAL Profilen 90% und mehr der Zugfestigkeit des Grundprofils erreichen.



Zugprobe: Form 1 (Probekörper 5)

Zugprobe: Form 2 (Probekörper 3)

Abb. 1

Produktaussage-Prüfung

Dimensionsänderung nach Warmlagerung

Bei der Extrusion von Fensterprofilen erfolgt eine Orientierung der fadenförmigen PVC-Moleküle. Außerdem ist eine Verstreckung in axialer Richtung nahezu **unvermeidlich.** Die aus mehreren Gründen erforderliche schnelle Abkühlung des Profiles erlaubt keine vollständige Rückstellung der beim Abziehen der heißen und damit weichen Formmasse durch das Werkzeug erzeugten Reckung. **Damit enthält jedes Profil, neben den vom Querschnitt abhängigen, in Längsrichtung als Zugspannung wirkende Eigenspannungen.**

Die Auslösung dieser Eigenspannungen ist ein temperatur- und zeitabhängiger Vorgang und mit einer Dimensionsänderung, einer Schrumpfung der Profile verbunden. Damit wird die Eigenspannung für die Verarbeitung der Profile bedeutsam, denn bei der Verschweißung der Rahmenecken herrschen am Heizspiegel Temperaturen über 200 °C.

Die Untersuchung der Längenänderung von TROCAL Profilen in Langzeitversuchen ergab die in Abb. 1 aufgezeichneten Kurven. Diese Untersuchung wurde an 200 mm langen Profilabschnitten vorgenommen, die in Umluftöfen bei Temperaturen von 30 bis 100 °C bis zu 10.800 Stunden gelagert wurden. Obwohl die Profilabschnitte während der über 1jährigen Lagerung vollständig durchgewärmt waren und im gesamten Profilquerschnitt die jeweilige Prüftemperatur angenommen haben, **konnten meßbare Längenänderungen erst ab 55 °C festgestellt werden.**

Die in Abb. 1 eingezeichneten Längenänderungen für Temperaturen von 60 bis 100 °C zeigen, daß sich deren Abhängigkeit von der Einwirkungszeit mit steigender Temperatur ändert. **Sie zeigen** aber auch, **daß die Rückstellung der axialen Verstreckung erst bei Temperaturen ab ca. 65 °C bedeutsam wird.** Das bedeutet, daß der Längsschrumpf für die Funktionstüchtigkeit farbiger Fensterprofile beachtet werden muß, da bei dunklen Einfärbungen Oberflächentemperaturen von 65 °C und darüber erreicht werden. **Bei weißen Profilen ist die Rückstellung dagegen im praktischen Einsatz vernachlässigbar, da selbst in extremen Sommern die Oberflächentemperaturen im Bereich von 45 °C bleiben.**

Trotzdem ist die Dimensionsänderung nach Warmlagerung ein wichtiges Merkmal für die Güte der Profile, zumal die dabei gemessene Längenänderung, der „Schrumpf", gleichbleibende oder veränderte Fertigungsbedingungen leicht erkennen läßt.

Die Messung der Längenänderung erfolgt an 200 mm langen Profilabschnitten, die in einem Umluftofen auf talkumbestreuten Glasplatten gelagert werden. **Die Auswahl der Prüftemperatur von 100 °C und der Prüfdauer von 1 Std. hat prüftechnische Gründe.** Wie aus der in Abb. 2 wiedergegebenen Kurve der Längenänderung als Funktion der Prüftemperatur bei 1stündiger Einwirkungszeit

hervorgeht, wird bei 100 °C nach 1 Std. eine deutliche und damit gut meßbare Dimensionsänderung erreicht, die sich dann für lange Zeit nur noch wenig verändert (siehe auch Abb. 1). In diesem Bereich der Kurve wird das Ergebnis der Messungen durch geringfügige Schwankungen der Prüftemperatur und/oder der Prüfzeit nur unwesentlich beeinflußt. Hingegen beeinflussen solche Änderungen im Temperaturbereich von 70–90 °C das Ergebnis sehr stark und erschweren reproduzierbare Messungen erheblich. **Durch die RAL-RG 716/1 ist der zulässige Längsschrumpf nach 1stündiger Warmlagerung bei +100 °C auf maximal 2% (bezogen auf die Länge vor Beginn der Warmlagerung) begrenzt. Im praktischen Einsatz tritt eine Schrumpfung dieser Größenordnung nicht ein.** An anthrazit eingefärbten Profilen wurden Oberflächentemperaturen von 65 °C und darüber bei Lufttemperaturen von 25 °C und darüber gemessen. Da nach meteorologischen Statistiken im Raum Troisdorf im langjährigen Mittel nur während ca. 100 h/a solche Temperaturen auftreten, wäre selbst bei Profilen, die Temperaturen von 65 °C erreichen, nach 50 Jahren Einsatz in Mitteleuropa nach Abb. 1 erst mit einem Schrumpf in der Größenordnung von etwa 0,3% zu rechnen.

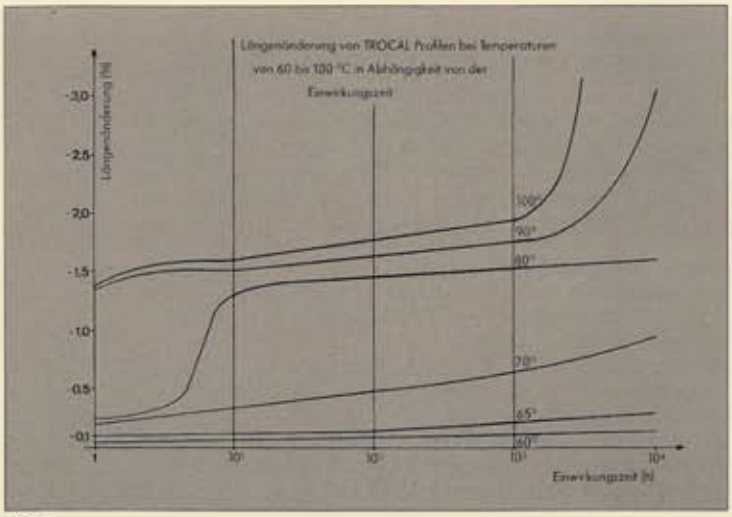


Abb. 1

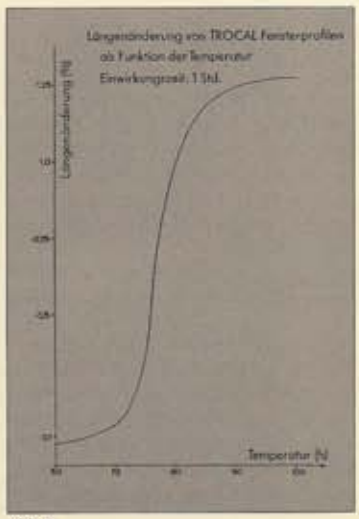


Abb. 2

Produktaussage-Prüfung

Verhalten nach Warmlagerung

Neben dem nach Lagerung bei 100 °C bestimmten Schrumpf können bestimmte **Fertigungsfehler gut durch das Verhalten nach Warmlagerung erkannt werden. Dazu werden 200 ± 5 mm lange Profilabschnitte einer Temperatur von 150 °C ausgesetzt.** Um die bei dieser Temperatur eintretenden Formänderungen möglichst wenig zu behindern, werden die Profilabschnitte auf mit Talkum bestreuten Glasplatten aufgelegt und horizontal in einem auf 150 °C aufgeheizten Wärmeschrank mit zwangsläufiger Durchlüftung eingelegt.

Die von der Güterichtlinie RAL-RG 716/1 vorgeschriebene Einwirkungszeit von 30 Min. wird bei der Prüfung der TROCAL Profile auf 60 Min. verlängert.

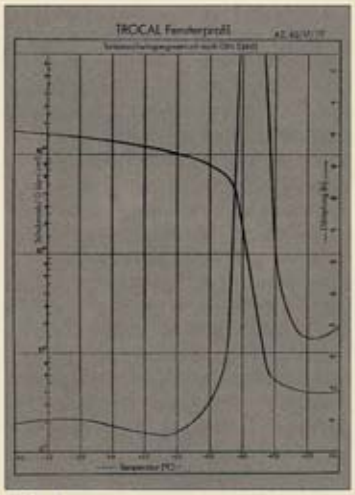
Nach der Abkühlung auf Raumtemperatur **werden die Profilabschnitte eingehend besichtigt, um evtl. Risse, Blasen oder Aufblätterungen festzustellen. Solche Fehler deuten auf Fertigungsfehler hin und dürfen nicht auftreten.**

Zur Ergänzung dieser Untersuchung werden TROCAL Profile von 50 mm Länge senkrecht in **Methylenchlorid** eingetaucht. Die bei der Warmlagerung durch die hohe Temperatur bewirkte Erweichung des Profils wird hierbei durch das Methylenchlorid bewirkt, welches ein Lösemittel für PVC ist. **Während der bis zu 4 Stunden ausgedehnten Lagerung in Methylenchlorid darf der eingetauchte Abschnitt des Profils nur quellen. Eine Rißbildung bzw. ein Zerfall des Profiles darf nicht eintreten.**

Produktaussage-Prüfung

Vicat-Erweichungstemperatur

Die Vicat-Erweichungstemperatur ist eine einfache Methode, die Formbeständigkeit von Thermoplasten abzuschätzen und mögliche Rezepturfehler zu erkennen.
Die Bestimmung der Vicat-Erweichungstemperatur von TROCAL Fensterprofilen erfolgt nach DIN 53460, Verfahren B/50. Dazu werden aus der Profilwand Probekörper mit einer Seitenlänge von mindestens 10 mm x 10 mm entnommen und im Prüfgerät eingelegt (Abb. 1).



(Abb. 2)
Im Torsionsschwingungsversuch an TROCAL Profilen ermittelter Schubmodul und log. Dämpfungsdekrement.

Auf die Oberfläche der Proben wird die Vicatnadel (ein Stahlstift mit 1 mm² Grundfläche) aufgesetzt und mit 49,05 N belastet. In einem Ölbad wird die Probe mit einer Temperatursteigerung von 50 K/h aufgeheizt. Es wird die Temperatur als Vicat-Erweichungstemperatur ermittelt, bei der die Nadel 1 mm tief in den Probekörper eingedrungen ist.

Abb. 1

Auch wenn diese Prüfung nur eine „Einpunkt-Messung" ist, gibt sie doch die Lage des Erweichungsbereiches gut an. **Zur Beurteilung des mechanischen Verhaltens in einem größeren Temperaturbereich** und damit zur Bestimmung der Formbeständigkeit in der Wärme ist die Vicat-Erweichungstemperatur allerdings nicht ausreichend. Dazu **muß auf andere Prüfmethoden zurückgegriffen werden wie z. B. den Torsionsschwingungsversuch nach DIN 53445** (Abb. 2) **oder Biegekriechversuche.** Ist dieses Verhalten bekannt, genügt es aber, mit der Bestimmung der Vicat-Erweichungstemperatur die Lage des Erweichungsbereiches zu kontrollieren.

TROCAL® Kunststoff-Fenster
von Dynamit Nobel und Partnern

Produktaussage-Prüfung

Verhalten gegen Witterungseinflüsse Teil 1 – Wetterechtheit

Mit Ausnahme der wenigen Edelmetalle verändern sich alle Werkstoffe unter der Einwirkung der ständig wechselnden Witterungsbedingungen.
Dies gilt sowohl für anorganische, wie z. B. selbst Granit, als auch für organische, also auch für Kunststoffe. Dabei gibt es bei beiden Werkstoffgruppen natürlich große Unterschiede im Verhalten gegen Witterungseinflüsse. PVC gehört an sich zu den weniger widerstandsfähigen Kunststoffen und erhält seine „Beständigkeit" erst durch eine entsprechende Stabilisierung. Die Stabilisierungstechnik gegen Witterungseinflüsse und dabei besonders gegen den im UV-Bereich liegenden Strahlungsanteil des Sonnenlichtes hat heute einen solchen Stand erreicht, daß weiße PVC hart-Profile in Mitteleuropa eine solche Widerstandsfähigkeit erreichen, daß innerhalb einer jahrzehntelangen Einsatzzeit keine Beeinträchtigung ihrer Funktionstüchtigkeit zu befürchten ist.
Für den praktischen Einsatz eines Fensters muß jedoch nicht nur die Funktionstüchtigkeit (d. h. keine kritische Veränderung der Eigenschaftswerte), sondern auch das äußere Erscheinungsbild (d. h. keine übermäßige Farbänderung) erhalten bleiben.
Entsprechend unterscheidet man bei der Untersuchung des Verhaltens gegen Witterungseinflüsse zwischen der Wetterechtheit und der Wetterbeständigkeit.
Zur Ermittlung der Wetterechtheit werden nur optische Veränderungen an der Oberfläche, wie z. B. Farbänderungen, Glanz usw., beurteilt. Das geschieht in seiner einfachsten Form durch visuellen Vergleich der bewetterten oder belichteten Proben mit einem Rückhaltemuster, welches den Anlieferungszustand repräsentiert. **Zur** Erleichterung der **Einstufung der Veränderung steht als Hilfsmittel der sogenannte „Graumaßstab" nach DIN 54001 zur Verfügung** (Abb. 1).
Obwohl das menschliche Auge für die genannten optischen Veränderungen ein außerordentlich empfindliches „Meßgerät" ist, liefert diese Beurteilung nur qualitative und subjektive vom Beobachter abhängige Ergebnisse. Deshalb wird zur Ergänzung dieser visuellen Beurteilung die Veränderung noch durch Messung der Farbänderung (Abb. 2) und Glanzmessungen erfaßt.
Das Verhalten gegen Witterungseinflüsse wird am einfachsten natürlich durch direkte Bewetterung von Proben im Freien ermittelt. Dieses Verfahren hat jedoch den Nachteil, daß bei so stabilen Produkten wie weißen Fensterprofilen aus erhöht schlagzähem PVC hart viele Jahre vergehen, bevor Veränderungen erkennbar und sichere Beurteilungen möglich sind. Auch wenn durch die Probenanordnung unter 45° in südlicher Richtung (auf der Nordhalbkugel) eine stärkere Beanspruchung erfolgt als beim späteren in der Regel senkrechten Einsatz der Fenster.
Diese Schwierigkeit der langen Prüfzeiten kann man durch verschiedene Maßnahmen mildern. Schon in den dreißiger Jahren hat die Industrie Prüfgeräte entwickelt, in denen eine beschleunigte und möglichst reproduzierbare Bewetterung simuliert werden kann.

Abb. 1

Abb. 2

Produktaussage-Prüfung

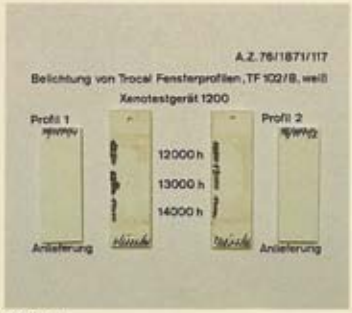
Teil 1 – Wetterechtheit

Diese Geräte werden laufend weiterentwickelt und lassen heute Prüfzyklen mit unterschiedlichen Bestrahlungszeiten, Befeuchtungen und Temperaturen zu. In Deutschland werden heute am häufigsten die Xenotest-Geräte® der Original Hanau eingesetzt. **Auch zur Untersuchung der Wetterechtheit von TROCAL Profilen stehen drei verschiedene Typen Xenotest-Geräte zur Verfügung** (Abb. 3).

Die Güterichtlinie RAL-RG 716/1 fordert für die Bestimmung der Wetterechtheit die Prüfung nach DIN 53387 im Xenotest® 450. Nach einer Gesamtbestrahlung von 0,8 MWs/cm² in diesem Gerät (Abb. 4), **was einer Prüfdauer von etwa 4000 Stunden im Wendelaufbetrieb entspricht, darf die Farbänderung nicht stärker als die der Stufe 3 des Graumaßstabes sein.** Wie aus Abb. 4 und 5 zu erkennen ist, wird diese Anforderung von TROCAL Profilen auch nach wesentlich längeren Belichtungszeiten noch erfüllt, wodurch bestätigt wird, daß TROCAL Profile hinsichtlich ihres Verhaltens gegen Witterungseinflüsse in der Spitzengruppe der auf dem Markt befindlichen Profilsysteme einzuordnen sind.

(Abb. 3)

(Abb. 4)



(Abb. 5)

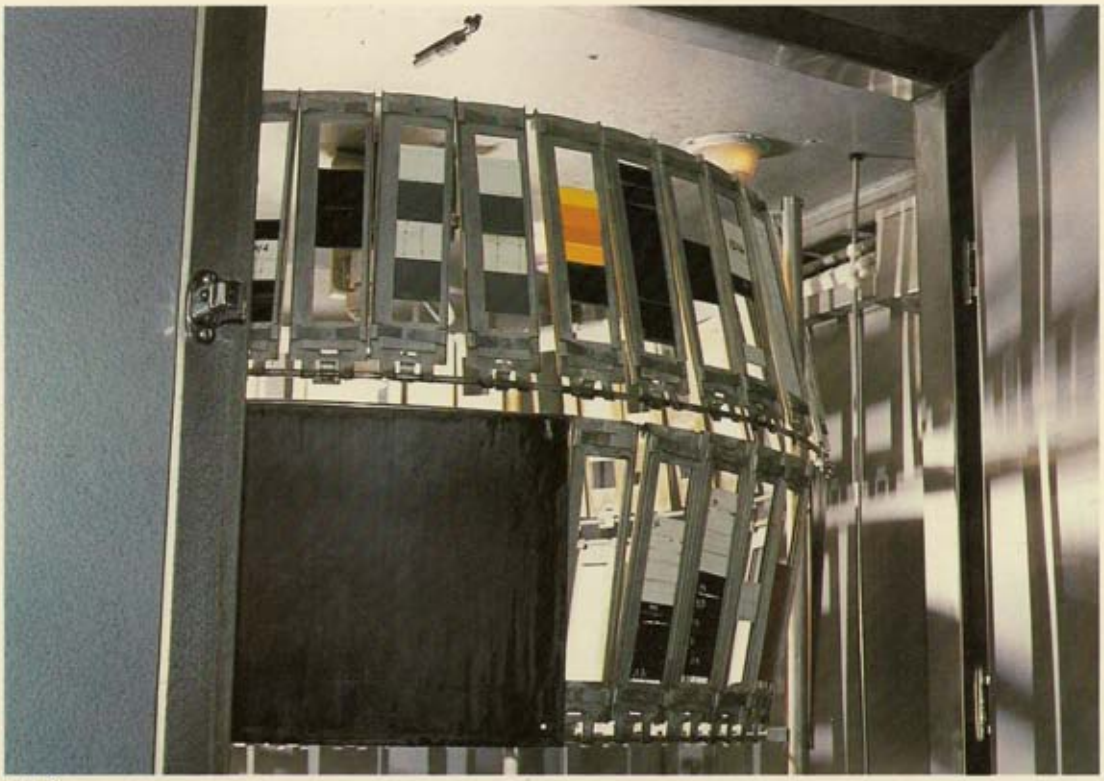
Produktaussage-Prüfung

Teil 1 – Wetterechtheit

(Abb. 6)

(Abb. 7)

Um diese Spitzenstellung zu halten und noch zu verbessern, **werden** einmal **in regelmäßigen Abständen Profile aus der laufenden Produktion der Bewitterung nicht nur in den Xenotestgeräten** (Abb. 6), **sondern auch in weiteren Belichtungsgeräten** wie dem **Fadeometer** (Abb. 7) und **dem Weatherometer** (Abb. 8) **unterzogen, sondern auch der Freibewitterung in Troisdorf über mindestens 6 Jahre ausgesetzt.** Noch umfangreicher werden neue Stabilisierungssysteme ausgeprüft, indem solche Proben neben den genannten Prüfungen noch der **Freibewitterung in** anderen Klimazonen, wie **Spanien, Florida** und **Arizona,** ausgesetzt werden.



(Abb. 8)

Produktaussage-Prüfung

Verhalten gegen Witterungseinflüsse Teil 2 – Wetterbeständigkeit

Neben der in Teil 1 beschriebenen Wetterechtheit, welche die optischen Veränderungen erfaßt, ist **für die Beurteilung der Funktionstüchtigkeit die Wetterbeständigkeit entscheidend.**
Die Wetterbeständigkeit wird durch die Veränderung der Eigenschaftswerte eines Produktes durch die Witterungseinflüsse erfaßt.
Ermittelt man diese Veränderungen in Abhängigkeit von der Expositionszeit, ist in gewissen Grenzen, eine Extrapolation bis zum Erreichen eines kritischen Grenzwertes und damit eine Abschätzung der Einsatzdauer möglich.
Die Güterichtlinie RAL-RG 716/1 fordert die Bestimmung der Wetterbeständigkeit über die Kerbschlagzähigkeit. Dazu müssen Probekörper mit Doppel-V-Kerb nach DIN 53753, die aus einer Sichtfläche des Fensterprofiles entnommen sind, mit ihrer Außenoberfläche im Xenotest® 450 bewettert werden. Nach einer Gesamtbestrahlung von 0,8 MWs/cm² darf die Kerbschlagzähigkeit der im Xenotest bewetterten Proben nicht mehr als 30% unter der Kerbschlagzähigkeit der nicht bewetterten Vergleichsproben liegen.
Daß weiße TROCAL Fensterprofile nicht nur eine excellente Wetterechtheit, sondern auch **eine hervorragende Wetterbeständigkeit erreichen, wird auch durch die Untersuchung bei neutralen Prüfinstituten bestätigt (im Prüfbericht Nr. 7978/78 des SKZ wird die Abnahme der Kerbschlagzähigkeit nach der angegebenen Bestrahlung mit 14% angegeben.**
Die Prüfung der Wetterbeständigkeit in Laborgeräten erfordern, wegen des Platzbedarfs eine außerordentlich hohe Kapazität an Bewitterungsgeräten.

Aus diesem Grunde beschränkt sich die Anforderung der RAL 716/1 auf die Einpunkt-Kontrolle der Kerbschlagzähigkeit nach 0,8 MWs/cm² Gesamtbestrahlung.
Die Bestimmung der Wetterbeständigkeit von TROCAL Fensterprofilen beschränkt sich natürlich nicht nur auf diese eine Prüfung. Die Prüfung durch simulierte Bewetterung in Laborgeräten wird in Xenotestgeräten der Typen 450 und 1200 durchgeführt (Abb. 1).
Sie erfolgt durch Prüfung der Schlagzähigkeit nach DIN 53453, der Kerbschlagzähigkeit nach DIN 53753 mit Doppel-V- und Lochkerb sowie der Dehydrochlorierungszeit gemäß UEAtc-Richtlinie. Dazu werden die Proben Bestrahlungen von 0,4 bis 4 MWs/cm² ausgesetzt, um die Veränderung dieser Eigenschaftswerte als Funktion der Bestrahlung zu ermitteln.
Darüber hinaus gehen die Untersuchungen, die an Profilen vorgenommen werden, welche der natürlichen Bewitterung ausgesetzt sind. Da bei der Freibewitterung die Kapazität der Prüffläche im Vergleich zur Kapazität der Laborgeräte praktisch unbegrenzt ist, können ganze Profilabschnitte von nahezu beliebiger Länge ausgelegt werden (Abb. 2).
Von dieser Möglichkeit macht Dynamit Nobel auf eigenen Prüfständen in Troisdorf und Spanien sowie auf den Prüfständen kommerzieller Prüfstationen in Südfrankreich, Florida und Arizona Gebrauch. Nach Bewitterungszeiten von 1 bis 6 bzw. bis zu 10 Jahren wird nicht nur die Kerbschlagzähigkeit, sondern auch die Zugfestigkeit, Reißdehnung, der E-Modul, die Schlagzugzähigkeit, die Schrumpfung, die Dehydrochlorierungszeit und die Schlagzähigkeit gemessen.
In Abhängigkeit von der Expositionszeit liefern die Veränderungen dieser Werte eine gute Beurteilungsmöglichkeit des Verhaltens von TROCAL Fensterprofilen im praktischen Einsatz.

Abb. 1

Abb. 2

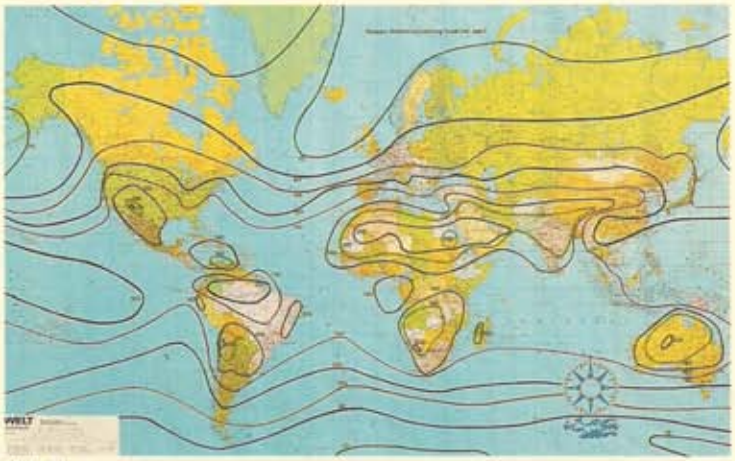
Produktaussage-Prüfung

Teil 2 – Wetterbeständigkeit

Diese Prüfstationen liegen in Klimazonen mit sehr viel härteren Witterungsbedingungen. Vergleicht man z. B. die Globalstrahlung der verschiedenen Prüfstationen, ist schon daraus zu ersehen, daß Mitteleuropa wirklich in einer gemäßigten Klimazone liegt.

Region	Globalstrahlung (langjähriges Jahresmittel)				
	kJ/cm²	MWs/cm²	kWh/cm²	kWh/m²	kcal/cm²
Deutschland	335–460	0,335–0,460	0,093–0,128	931–1280	80–110
Bandol	502	0,502	~~0,128~~ 0,139	~~1280~~ 1390	120
Florida	670	0,670	0,186	1680	160
Arizona	837	0,837	0,233	2360	200

Danach sind in Arizona ausgelegte Proben einer Globalstrahlung ausgesetzt, die nur in wenigen Gebieten in Saudi-Arabien, Ostafrika und Australien übertroffen werden (Abb. 3).
Unter solch extremen Bedingungen erfolgt eine beschleunigte Alterung und man erzielt schneller Ergebnisse als bei der Bewitterung auf deutschen Prüffeldern.



(Abb. 3)

TROCAL®
Kunststoff-Fenster
von Dynamit Nobel und Partnern

Bearbeitet: Dr. Volker Hofmann, Troisdorf, 9. Februar 2012