

Entwicklungstendenzen bei Kunststoff-Fenstern Das farbige Fenster

Von Egon Barth, Wolfgang Budich, Karl Günter Scharf
und Waldemar Wissinger in „Kunststoffe am Bau“, 4/1977
Copyright verbleibt beim Herausgeber!

Sonderdruck aus KUNSTSTOFFE IM BAU Heft 4/77 Carl Hanser Verlag, München 86

Kunst-
stoffe
im Bau

E. Barth u. a.: Entwicklungstendenzen bei Kunststoff-Fenstern

Entwicklungstendenzen bei Kunststoff-Fenstern Das farbige Fenster

Herrn Dr. Gerhard Bier zum 60. Geburtstag gewidmet

E. Barth, W. Budich, K.-G. Scharf, W. Wissinger*

Einleitung

Über den sprunghaften Anstieg der Anwendung von Kunststoff-Fenstern sollte nicht vergessen werden, daß Fenster aus PVC weich und PVC hart schon 1955 bzw. 1959 zum Einsatz kamen. Das bedeutet immerhin schon 20 Jahre Erfahrung mit Fenstern aus PVC. Auch die Forderung nach farbigen Kunststoff-Fenstern ist nicht neu und das Mipolam®-Fenstersystem aus PVC-weich-Profilen mit Aluminium bzw. Stahl-Verstärkungsprofilen wurde schon in den Farben Weiß, Grau, Anthrazit, Blau und Gelb geliefert.

Polyvinylchlorid gehört also zu den Kunststoffen, die schon lange im Außeneinsatz für die verschiedensten Zwecke, u. a. als Rolladenprofile, Dachrinnen und Fassaden eingesetzt werden. Jedoch gehört reines PVC von Natur aus nicht zu den lichtechtesten Kunststoffen. Durch entsprechende Zusatzstoffe und Einfärbungen ist es aber gelungen, PVC so licht- und wetterbeständig zu machen, daß es in den üblichen Anwendungsfällen den Anforderungen genügt. So sind seit über 20 Jahren Fenster aus PVC im Einsatz, die nach den heutigen Erkenntnissen ihre Funktion auch in den nächsten Jahrzehnten weiter erfüllen werden. Das Verhalten des PVC hart, unter Einwirkung der Witterungsbedingungen erforderte aber bisher, daß Fenster oder andere Bauteile aus diesem Werkstoff weiß oder hellgrau eingefärbt sind. Bekanntgewordene Versuche mit dunklen (z. B. anthrazitgefärbten) PVC-hart-Fenstern aus den sechziger Jahren, lieferten keine befriedigenden Ergebnisse. Die Nachfrage nach schwarzen bzw. anthrazitfarbenen, braunen und schließlich auch bunten Fenstern wird jedoch immer stärker. Diese Tendenz wurde vor allem durch den Trend zur hellen bzw. weißen und besonders der grauen Sichtbetonfassade verstärkt. Das führte in den letzten Jahren zu vielen Versuchen mit durchgefärbten PVC-hart-Fensterprofilen, ohne daß bisher die gewünschte jahrzehntelange Licht- und Wetterechtheit erreicht werden konnte. Als besonders kritisch erwiesen sich dunkle Einfärbungen, wie braun und anthrazit. Sowohl wegen ihrer Farblichkeit (Vergrauungen) als auch wegen der hohen Temperaturen bei Sonneneinstrahlung ergaben sich erhebliche Probleme, welche bei erhöhter Nachfrage zur verstärkten Unsicherheit bei den Anwendern führte. Die Rohstoff- und Profilverhersteller haben versucht, diese Schwierigkeiten durch Neu- und Weiterentwicklungen zu überwinden und bieten seit 2 bis 3 Jahren farbige Kunststoff-Fenster an.

Werkstoffauswahl

Das Ziel, farbige Fenster mit einer den weißen Kunststoff-Fenstern entsprechenden oder besseren Wetterbeständigkeit und Wetterechtheit zu schaffen, führte u. a. zu der neuen Konzeption der »Trocal-Color« Kunststoff-Fenster. Bei diesem Fenstersystem wurde versucht, den seit Jahrzehnten bei weißen Fenstern bewährten Werkstoff PVC hart mit einem anderen ebenfalls seit Jahrzehnten auch in bunten Einfärbungen bewährten Kunststoff zu kombinieren.

Bereits vor über 40 Jahren wurden die ersten Kunststoffe im

Außeneinsatz erprobt und praktisch eingesetzt. Von diesem sind heute noch Artikel aus Polymethylmethacrylat (PMMA) – bekannt unter dem Handelsnamen »Plexiglas®« – im praktischen Außeneinsatz. Es gibt noch vor etwa 30 Jahren eingebaute Teile, die sich bis heute nur wenig verändert haben. Auch in der Lichtwerbung wird dieser Kunststoff seit jener Zeit eingesetzt und hat in einigen Fällen sogar die Produkte überlebt, für die diese Reklame einst warb. Natürlich unterliegt PMMA, wie jeder andere organische und anorganische Werkstoff, ebenfalls der Alterung, die sich sowohl in einer optischen Veränderung als auch in der Veränderung der Eigenschaftswerte äußert und nach mehrjähriger Freibewitterung beim Vergleich mit dem Urmuster feststellbar ist. Weder PVC hart noch PMMA erweisen sich jedoch für den Einsatzzweck farbiger Fenster für sich allein als vollkommen. Deshalb wurde versucht, durch Kombination dieser Werkstoffe die Vorteile beider zu nutzen. Die einfachste Art der Kombination ist die Klemmverbindung, wie sie z. B. bereits bei Holz-PVC-Fenstern gebräuchlich ist. Inzwischen sind auch Kunststoff-Fenster auf dem Markt, bei denen die Farbgebung durch Aufklipsen von bunten PMMA-Zusatzprofilen auf die PVC-hart-Trägerprofile erreicht wird, was doppelte Fertigungsgänge und somit höhere Kosten zur Folge hat. PVC war aus den bereits genannten Gründen für bunte Fenster nicht optimal. PMMA ist zwar außerordentlich licht- und wetterecht, jedoch aufgrund seines Preises und anderen Eigenschaften, allein nicht gut als Fensterprofil geeignet. Die Lösung dieses Problems wurde durch die Koextrusion angestrebt. Dazu mußten jedoch von beiden Werkstoffen her erst noch eine Reihe von Schwierigkeiten überwunden werden. Deshalb wurden auch noch andere Werkstoffkombinationen in die Untersuchungen mit einbezogen. Die Kombination PVC weiß – PVC bunt ergibt zwar keine Probleme in der Haftung, der Wärmeausdehnung und der Fertigungstechnik, jedoch bleibt die nicht voll befriedigende Licht- und Wetterechtheit wie bei vollständig durchgefärbten PVC-Fenstern grundsätzlich erhalten. Lediglich geringere Kosten für die Buntpigmente sowie ästhetische Gesichtspunkte sprechen für eine Koextrusion von PVC-Typen unterschiedlicher Einfärbung. Beim heutigen Stand der Entwicklung bleibt die Unsicherheit in der Anwendung bezüglich der optischen Veränderungen und der Aufheizung erhalten. Versuche mit Kombinationen von PVC mit Celluloseacetobutyrat sowie PVC mit Polyvinylfluorid bzw. PVC mit Polyvinylidenfluorid ergaben trotz hervorragender Licht- und Wetterechtheit erhebliche Probleme hinsichtlich der über Jahrzehnte hinaus erforderlichen dauerhaften Verbindung dieser Stoffe miteinander. Auch die Kombination PVC-thermoplastische Polyester wurde neben vielen anderen erprobt und nicht als optimal befunden. Bei allen Untersuchungen erwies sich insgesamt die Kombination PVC-PMMA als günstigste. Ihre Vorteile bestehen in der sehr guten Licht- und Wetterechtheit des PMMA, der brillanten Farbgebung und der damit verbundenen großen Farbauswahl. Die mechanischen Eigenschaften des erhöht schlagzähigen PVC-hart-Trägermaterials, das durch die PMMA-Schicht gegen die Lichteinstrahlung geschützt ist, sichern die Widerstandsfähigkeit des Fensters gegen die beim Einsatz auftretenden dynamischen Belastungen.

Schließlich ist die Möglichkeit zu erwähnen, durch die Koextru-

* Anschrift der Autoren: Dynamit Nobel AG, Sparte Kunststoffe, Hauptabteilung Entwicklung, 521 Troisdorf

sion außen bunte und innen neutral weiße oder nach Wunsch andersfarbige Fenster zu haben. Wer schaut bei einem von außen sehr dekorativ wirkenden schwarzen Fenster schon gerne durch einen »Trauerrand« nach draußen!

Bevor diese Kombination anwendungsfähig war, mußten aber die bereits angedeuteten Probleme gelöst werden. Gegen eine einseitige Beschichtung eines Bauteils spricht zunächst die Durchbiegung bei Temperaturänderungen infolge unterschiedlicher Ausdehnungskoeffizienten (»Bimetalleffekt«). Durch entsprechende Einstellung der PVC-Rezeptur und sorgfältige Auswahl des PMMA konnten beide Werkstoffe in den fraglichen Eigenschaften jedoch so weit angenähert werden, daß dieses Problem überwunden werden konnte. Durch sorgfältige Abstimmung beider Formmassen gelang es, eine dauerhafte, hohe Haftfestigkeit des PVC-PMMA-Verbundes zu erreichen. Darüber hinaus mußten auch die Verarbeitungsparameter (Temperaturen, Viskositäten) beider Materialien, welche von Natur aus stark differieren, durch entsprechende Änderungen der Zusammensetzung einander angeglich werden. Es bedurfte deshalb umfangreicher Versuchsreihen und aufwendiger Untersuchungsmethoden, bis die Entwicklung des Trocal-Color®-Fenstersystems abgeschlossen war.

Verfahrenstechnik

Die Fertigung dieser beschichteten Profile erfolgt nach dem Extrusionsverfahren mittels Doppelschneckenextruder, wie sie auch bei der üblichen Profilextrusion aus PVC hart Verwendung finden. Die Zuführung des PMMA-Beschichtungsmaterials geschieht über einen Zweitextruder, der speziell für diese Verfahrensverhältnisse entwickelt wurde. Die Beschichtung wird gleichzeitig bei der Profilverformung im Extrusionswerkzeug aufgebracht. Zur Erzielung der erforderlichen Qualität, vor allem in bezug auf die innige Verbindung zwischen Schicht- und Trägermaterial, die Gleichförmigkeit der Schichtdicke sowie die gute Oberfläche wurden neben der bereits genannten Stoffauswahl bzw. den Spezialrezepturen neuartige Extrusionswerkzeuge entwickelt. Mit diesen können die besonderen Verfahrensbedingungen exakt eingehalten werden. Diese Technik ist so weit entwickelt und ausgereift, daß praktisch jedes Profil im gewünschten Oberflächenbereich eine farbige PMMA-Beschichtung erhalten kann (Bild 1). Es können somit auch die bereits seit Jahren bewährten Trocal-Profilsysteme als Trocal-Color-Profile geliefert werden.

Die gewählte und bewährte Schichtdicke beträgt im Regelfall ca. 0,5 bis 0,6 mm. Sie entspricht voll den Ansprüchen an das farbliche Aussehen, den Witterungsschutz des PVC-Grundprofils, ist unanfällig gegen Beschädigungen und gut verarbeitbar. Auch der Kalibriervorgang, der dem zunächst noch plastischen Kunststoffprofil seine endgültige Maßgenauigkeit verleiht, weicht vom Herkömmlichen ab. Hier wurden spezielle Kalibrierungen geschaffen, die das gleichzeitige Kalibrieren und Auskühlen sowohl des PVC-hart-Grundprofils als auch der PMMA-Beschichtung unter optimalen Bedingungen ermöglichen. Mögliche Spannungsrisse werden vermieden.

Alle beschichteten Flächen werden mattiert, so daß sie gleichmäßig seidenmatt aussehen. Auch hier werden durch eine Automatisierung der Einrichtung bestimmte optimierte Arbeitsbedingungen konstant eingehalten, um eine ständig gleichbleibende Oberflächengüte zu liefern. Aufgrund des guten Aussehens der mattierten Profiloberflächen fallen andererseits bereits kleine Schädigungen durch Transport oder Verarbeitung optisch ins Gewicht. Die Profile erhalten deshalb auf der Hauptsichtfläche einen Oberflächenschutz durch aufgeklebte Folien. Da eine abgedeckte Oberfläche nicht mehr kontrollierbar ist und die Schutzfolie im Regelfall erst nach dem Einbau der Fenster entfernt wird, erfolgt das Aufbringen der Schutzfolie erst nach der Endkontrolle im Werk.



Bild 1. Die Koextrusion von PMMA erlaubt die Beschichtung beliebiger Profile an jeder gewünschten Oberflächenzone in unterschiedlichen Einfärbungen.

So wird durch Materialauswahl, Rezepturen und die neuentwickelte Fertigungstechnik sichergestellt, daß die beschichteten Profile gleichbleibend hohe Güte besitzen.

Gebrauchstauglichkeit

Wie bei jedem neuen Produkt stand auch beim koextrudierten PVC-PMMA-Fenster die Frage nach der Gebrauchstauglichkeit von Beginn der Entwicklungsarbeiten an neben der Verfahrenstechnik im Vordergrund. Zur Bestimmung der Gebrauchstauglichkeit des neuen Fenstersystems standen die Erfahrungen aus dem mehr als zehnjährigen Einsatz von Trocal®-Fenstern aus PVC hart und dem über zwanzigjährigen Einsatz von Mipolam®-Fenstern aus PVC weich zur Verfügung. Hilfreich bei der Festlegung der Prüfmethoden, mit deren Hilfe das Kriterium der Gebrauchstauglichkeit zu beurteilen ist, waren außerdem die in nationalen (FN Bau) und internationalen (UEAte) Fachgremien erarbeiteten Entwürfe zur Prüfung von Fenstern unter Belastungen, wie sie im Einsatz auftreten können.

Die Untersuchungen konzentrierten sich auf zwei Schwerpunkte:

die Ermittlung der physikalischen Eigenschaftswerte der Profile,

die Feststellung der Gebrauchseigenschaften der Fenster.

Zur Bestimmung der physikalischen Eigenschaftswerte wurden die koextrudierten Profile nach bewährten und zum Teil genormten Verfahren geprüft. Die grundlegenden mechanischen und thermischen Kenngrößen sind in Tabelle 1 angegeben. Hauptaugenmerk wurde auch dabei auf die von den Grundeigenschaften der beiden Kunststoffe her kritischen Punkte gelegt. Als solche sind zu nennen:

der hohe Wärmeausdehnungskoeffizient,

die geringe Wärmeleitfähigkeit und

die relativ niedrige Temperatur-Zeit-Grenze.

Damit mußten auch bei der Feststellung der Gebrauchstauglichkeit die thermischen und mechanischen Belastungen der Fenster im Vordergrund stehen. Hinzu kamen als weitere Schwerpunkte die Prüfung der Haftfestigkeit des PMMA-PVC-Verbundes und natürlich die Untersuchung der Licht- und Wetterbeständigkeit.

Die Bestimmung der normalen Eigenschaftswerte kann als bekannt vorausgesetzt werden, so daß hier nur die darüber hinausgehenden besonderen Untersuchungen erläutert werden sollen.

Wie der Blick in die Eigenschaftstabelle zeigt, weisen die linea-



Bild 2. Freibewitterung von koextrudierten PVC-PMMA-Profilen und -Fenstern in Spanien.



Bild 5. Koextrudierte PVC-PMMA-Profile nach fünfjähriger Freibewitterung unter 45° Süd in Troisdorf. Zur Beurteilung der Farbänderungen sind die unbelichteten Vergleichsmuster in der Mitte der bewitterten Profile aufgelegt.

ren thermischen Ausdehnungskoeffizienten der beiden Werkstoffe PMMA und PVC hart, erhöht schlagzäh, infolge der sorgfältigen Abstimmung der eingesetzten Rezepturen nur geringe Unterschiede auf. Diese nehmen jedoch bei höheren Temperaturen zu. Außerdem könnten das Temperaturgefälle im Profil, die ständigen Temperaturwechsel und die Feuchtigkeitsaufnahme in der äußeren Profilloberfläche in den Grenzschichten Spannungen erzeugen, welche die Haftfestigkeit beeinträchtigen. Deshalb wurde die Verbundfestigkeit zwischen PMMA und PVC-hart-Grundprofil unter den verschiedenartigsten Beanspruchungen eingehend getestet. Neben reinen Wechsellagerungen bei unterschiedlichen Temperaturen zwischen -50 und $+100^{\circ}\text{C}$ sowie zwischen Feuchtigkeitsaufnahme und Trocknung (Lagerung in Wasser bis zum Kochen und Trocknen in Luft bis 100°C) wurden kombinierte Wechselbeanspruchungen mit gleichzeitiger Einwirkung von Temperatur, Feuchtigkeit, UV-Belichtung und mechanischer Beanspruchung durchgeführt. Trotz der Vielzahl der angewandten Belastungskombinationen und der hohen Lastwechselzahlen konnte dabei bisher nur in einem einzigen Fall eine Beeinträchtigung der Verbundfestigkeit beobachtet werden. Diese kann an Profilen mit glasklarer PMMA-Beschichtung durch Bestrahlung mit kurzwelligem UV-Licht erzielt werden, weil das UV-Licht diese Beschichtung fast ungeschwächt durchdringen und das PVC des Trägerprofils schädigen kann.

Die Untersuchung der Licht- und Wetterbeständigkeit erfordert lange Prüfzeiten und wurde deshalb sofort mit den ersten zur Verfügung stehenden koextrudierten Profilen aufgenommen. Bereits bei der Laborbelichtung ergaben sich dabei zum Teil sehr deutliche Differenzierungen in der Lichtbeständigkeit verschiedener PMMA-Formulierungen. Alle zur Verfügung



Bild 3 zeigt die REM-Aufnahme eines schwarzen Trocal-Color-Profiles im Anlieferungszustand (Vergrößerung 10000:1).



Bild 4 zeigt die REM-Aufnahme eines schwarzen Trocal-Color-Profiles nach 4jähriger Freibewitterung in Arizona (Vergrößerung 10000:1).

Tabelle 1

Vergleich der Eigenschaftswerte (Mindestwerte)

Eigenschaft	Prüfverfahren	Einheit	PVC hart erhöht schlagzäh	PMMA	Trocal-Color PVC/PMMA
Rohdichte	DIN 53 479	g/cm^3	1,43	1,18	1,40
Streckspannung	DIN 53 455	N/mm^2	45	–	–
Reißfestigkeit	Probe Nr. 3 $v = 50 \text{ mm/min}$	N/mm^2	38	68	55
Reißdehnung		%	30	4	5
Elastizitätsmodul	DIN 53 457 Zugvers.	N/mm^2	2600	3300	3000
Kugeldruckhärte	DIN 53 456	N/mm^2	105	180	140
Schlagzähigkeit	DIN 53 453 Probe 2	kJ/m^2	kein Bruch	12	kein Bruch
	$+23^{\circ}\text{C}$		kein Bruch		kein Bruch
	$+0^{\circ}\text{C}$		kein Bruch		
	-20°C		kein Bruch		
Kerbschlagzähigkeit	DIN 53 453 Probe 2	kJ/m^2	10	2	10
	$+23^{\circ}\text{C}$		800		80
Schlagzähigkeit	DIN 53 448	kJ/m^2	800		80
Vicat-Erweichungstemperatur	DIN 53 460 Verf. B	$^{\circ}\text{C}$	75	94	76
Dimensionsänderung	n. 1 h $+100^{\circ}\text{C}$	%	-1,6		-1,5
Wärmeleitfähigkeit	VDE 0304/1	$\text{W/K}\cdot\text{m}$	0,14	0,16	0,15
Wärmeausdehnungskoeffizient	VDE 0304	K^{-1}	$74 \cdot 10^{-6}$	$70 \cdot 10^{-6}$	$73 \cdot 10^{-6}$

stehenden Belichtungsgeräte wie Fadeometer, Xenotest und Weatherometer sowie die Bestrahlung mit UV-Licht wurden dazu angewandt.

Die guten PMMA-Typen erreichten in der Gerätebelichtung mehrfach bessere Lichtbeständigkeiten als die heute für den Außeneinsatz zur Verfügung stehenden PVC-hart-Formulierungen. Auch nach 10000 bis 13000 Belichtungsstunden im Xenotest, Fadeometer und Weatherometer sind bei den besten Typen noch keine wesentlichen optischen Veränderungen eingetreten.

Diese Ergebnisse wurden inzwischen durch die unerläßlichen Freibewitterungen der Profile bestätigt. Um umfassende Informationen über die möglichen Einsatzgebiete zu erlangen, werden Freibewitterungen an der Nordsee, in Troisdorf, Süspanien, Florida und Arizona vorgenommen (Bild 2).

In allen Prüfstationen zeigen die licht- und wetterrechten PMMA-Formulierungen nach inzwischen fast fünfjähriger Exposition noch keine erkennbaren Veränderungen (Bild 3 und 4).

Diese Untersuchungen bestätigen, daß die Licht- und Wetterbeständigkeit guter PMMA-Formulierungen z. Z. die der besten PVC-hart-Formulierungen in dieser Eigenschaft deutlich übertreffen und damit der Einsatz von Trocal-Color®-Fenstern über den mitteleuropäischen Raum hinaus auch in subtropischen und tropischen Klimazonen möglich ist. Die Prüfungen zeigen aber auch, daß nicht alle PMMA-Formulierungen für den langjährigen Außeneinsatz geeignet sind und auf die genannten grundsätzlichen, aber langfristigen Untersuchungen nicht verzichtet werden kann (Bilder 5 und 6).

Tabelle 2
Oberflächentemperaturen an Fensterprofilen unter Sonneneinstrahlung bei behinderter Luftbewegung

Profil	Farbe	Oberflächentemperatur °C				
Trocal-PVC	weiß	21	32	37,5	52	27
Trocal-PVC	beige	24	43	51,5	67,5	41
Trocal-PVC	anthrazit	26,5	52	61	80	54
Trocal-PVC	schwarz	28,5	54	61,5	84	56
Trocal-Color	weiß	20,5	31	40	51	26
Trocal-Color	schwarz	22	31,5	40	59,5	31
Trocal-Color	orange	22	31	40,5	59	32
Trocal-Color	grau	23	33,5	51	65,5	36
Trocal-Color	schwarz	25	48,5	53	70	39
Trocal-Color	beige	24,5	43	52	68,5	40
Trocal-Color	metalle-grau	24,5	48	55	71,5	46
Trocal-Color	gelb	22,5	39,5	41,5	55,5	26,5
Trocal-Color	blau	24	40,5	48	63	34,5
Trocal-Color	rot	24	39	40,5	62	31,5
Trocal-Color	grün	25,5	47,5	55	72	40,5
Mitteltiefe				Troisdorf		
Mittelraum		14,9-76	15,9-76	20,9-76	30,6-76	28,2-77
Uhrzeit		13,00	14,00	13,00	13,00	14,00
Wetterlage		bewölkt	leicht	sonnig	sonnig	sonnig
Lufttemperatur		19	21	23	36	5,2
Probenaufstellung		30° Süd im Kasten mit 16cm hohen Seitenwänden, ohne Abdeckung				

Neben der Licht- und Wetterbeständigkeit spielt die bei Sonneneinstrahlung erreichte Temperatur farbiger Kunststoff-Fenster eine wichtige Rolle. Dieses Kriterium ist einer der

Bild 6. Vergleich unbelichteter Proben (obere Reihe) mit 4 Jahre in Florida unter 45° Süd bewitterten Profilabschnitten.

Bild 7. Trocal-Color-Fenster im Prüfstand zur Untersuchung ihres Verhaltens bei einseitiger Temperaturwechselbelastung.

Bild 6

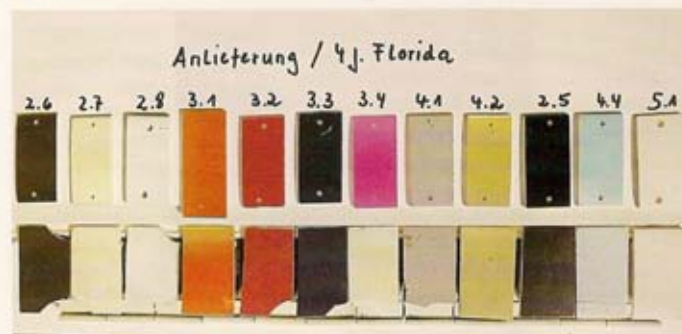


Bild 7



Hauptgründe für die bisherige Bevorzugung des weißen PVC-hart-Fensters gegenüber dunkel eingefärbten. Mit welchen Temperaturen an der Oberfläche von Kunststoff-Fenstern schon in Mitteleuropa gerechnet werden muß, geht aus den in Tabelle 2 zusammengestellten Meßergebnissen hervor. Die in Troisdorf gemessenen Temperaturen zeigen, daß koextrudierte PVC-PMMA-Fensterprofile die Möglichkeit bieten, bei vielfältiger Farbgebung die Oberflächentemperatur der Fensterahmen unter der kritischen Einsatzgrenze zu halten, die bei etwa 65°C liegt. Wesentlich höhere Temperaturen können zu Dimensionsänderungen und Deformationen führen, die auch durch zusätzliche konstruktive Maßnahmen (Verstärkungen) nur in beschränktem Maße eliminiert werden können.

Während die grundsätzliche Eignung der Trocal-Color®-Fensterprofile durch die Untersuchung der Profile selbst feststellbar war, genügte das zur Ermittlung der Gebrauchstauglichkeit von Trocal-Color®-Fenstern nicht. Zur Beurteilung ihres Verhaltens im praktischen Einsatz wurden die Prüfungen auf fertige Trocal-Color®-Fenster ausgedehnt.

Wie bei PVC-hart-Fenstern werden auch die Rahmen der koextrudierten Fenster durch Verschweißen der Profile hergestellt. Dazu mußte ein neues Schweißverfahren entwickelt werden. Die Schweißnahtgüte wurde sowohl im Druckversuch durch die Bestimmung der Bruchlast an Eckverschweißungen als auch im Zugversuch ermittelt. Die Eckverschweißungen der koextrudierten Profile erreichen normale Schweißnahtfestigkeiten mit Gütefaktoren, die deutlich über 0,7 liegen. Nachdem die Verschweißbarkeit gesichert war, wurden fertig verglaste Trocal-Color®-Fenster wechselnden mechanischen Belastungen und Temperaturen ausgesetzt. Der Prüfstand gestattet einseitige Erwärmung und Abkühlung (Bild 7).

Durch Hellstrahler kann die Temperatur auf der Außenoberfläche der Fensterprofile erhöht werden. Die Temperatur an der Innenseite der Fenster wird dabei auf +20°C gehalten. Der schwenkbare Probenträger ermöglicht es, das Prüfprofil um 180° zu drehen. In der Prüfkammer kann die Temperatur bis auf -30°C abgesenkt werden. Auch dabei wird die Temperatur an der Innenseite des Fensters auf Raumtemperatur gehalten. Solchen Temperaturwechselbelastungen wurden die Color-Fenster bis zu Temperaturen von +85°C und -30°C ausgesetzt, wobei im einzelnen Zyklus die Temperatur bis zu 8 Stunden aufrechterhalten wurde. Erst bei Temperaturen über +70°C wurden dabei an unverstärkten Trocal-Color®-Fenstern nennenswerte Dimensionsänderungen und Deformationen gemessen. Diese nehmen dann mit steigender Temperatur und zunehmender Einwirkungszeit zu. Völliges Versagen, wie z. B. Aufreißen der Ecken oder Bruch der Glasscheiben konnte bei keinem der untersuchten Fenster festgestellt werden, auch bei den Prüfzyklen nicht, bei denen in der Bestrahlungsphase eine Temperatur von 85°C eingestellt wurde.

Die mechanischen Belastungen der Fenster simulierten die



Bild 8

Bild 8. Eine mechanische Prüfung mit der statischen Belastung des um 90° geöffneten Fensterflügels.



Bild 9

Bild 9. Querschnitt durch die Schweißnaht einer Eckverbindung aus koextrudierten PVC-PMMA-Fensterprofilen vor dem Entfernen des Schweißwulstes. Auf der linken Probefläche ist die Schutzfolie zu erkennen.



Bild 10

Bild 10. Fertige Fensterecke eines Trocal-Color-Fensters mit der Schweißnaht.

beim Einsatz auftretenden natürlichen Belastungen, wie sie besonders durch die Einwirkung von Wind und Regen sowie bei der Bedienung bzw. Fehlbedienung entstehen. Diese Belastungen wurden sowohl durch statische als auch durch dynamische Kurz- und Langzeitversuche aufgebracht. Entsprechend den in den Entwürfen DIN 18055, der Güterichtlinie für Kunststoff-Fenster und der UEAtc-Richtlinie vorgeschlagenen Verfahren wurden die beschichteten Fenster unterschiedlichen Belastungen ausgesetzt (Bild 8).

Sie erwiesen sich diesen Beanspruchungen nicht nur in Dauertests über 100000 Lastwechsel, sondern auch bei Temperaturen bis zu -20°C gewachsen. Dabei wurden die Fenster zur Verstärkung der Beanspruchung vollständig auf die jeweilige Prüftemperatur abgekühlt.

Zu den Gebrauchstauglichkeitstests ist schließlich auch ein Transportversuch zu zählen, bei welchem 40 Fenster in einem Kleintransporter 2500 km über Straßen aller Ordnungen gefahren wurden. Auch dabei traten keine Schäden an den Fenstern ein.

Inzwischen haben die praktischen Erfahrungen beim Einsatz von Trocal-Color®-Fenstern die guten Testergebnisse und die Gebrauchstüchtigkeit bestätigt. Die Einsatzdauer der Fenster beträgt zwar erst maximal vier Jahre. In diese Zeit fällt jedoch die Bewährung an so extremen Einsatzstellen wie Grönland und Südspanien sowie unter rauen Bedienungsbedingungen. Durch die umfangreichen physikalischen Untersuchungen konnten die Vor- und Nachteile der koextrudierten PVC-PMMA-Fenster recht gut ermittelt werden, denn natürlich stellt auch diese Entwicklung einen Kompromiß dar. Im Vergleich zu weißen PVC-hart-Fenstern haben beschichtete Profile eine geringere Schlagzähigkeit, d.h. ihr Widerstand gegen stoß-

artige Beanspruchung ist kleiner. Die Produktion der Profile erfordert Sorgfalt und eine sehr genaue Einhaltung der Herstellungsbedingungen. Schließlich sind die Material- und Herstellungskosten höher.

Diese Nachteile werden jedoch durch die Vorteile des Systems mehr als aufgewogen. Von diesen ist an erster Stelle die auch gegenüber weißem PVC hart wesentlich bessere Licht- und Wetterbeständigkeit zu nennen. Weitere Vorteile sind die vielfältigen Farbvariationen, die, verbunden mit einer außerordentlichen Farbbechtheit, einen langjährigen Einsatz ohne kritische Veränderungen garantieren.

Profilsystem und Verarbeitung

Für die Color-Profile brauchten keine neuen Profilformen entwickelt zu werden. Vielmehr war es möglich, die bewährten Profildetails des bisherigen PVC-Fensters zu übernehmen und diese nur wie bei jeder Entwicklung üblich, dem neuesten Stand der Fenstertechnik anzupassen.

Im einzelnen sind das

- die Falzausbildung im Blendrahmen und Flügel zur Aufnahme der im europäischen Bereich gültigen Fensterbeschläge,
- die räumliche Trennung der Wind- und Regensperre durch mindestens 20 mm Abstand,
- die Erhöhung der Schlagregensicherheit durch den Druckausgleich zwischen Außenklima und Falzbereich (keine Dichtungen in der Außenzone),
- die Erhöhung der Fugendichtigkeit durch eine umlaufende und nicht durch Beschlagteile unterbrochene Mitteldichtung, der kontrollierte, verdecktliegende Wasserablauf durch die Profilkammern,
- die innere Flügelanschlagdichtung als zusätzliche Windsperre, eine ausreichende Rahmensteifigkeit durch verzinkte Stahlprofile.

Für die spanende Bearbeitung der mit PMMA beschichteten Profile sind keine besonderen Werkzeuge oder Maschinen erforderlich, d. h. die Säge-, Fräs- und Bohrarbeiten werden in bekannter Weise mit den vorhandenen Maschinen durchgeführt. Etwas anders verhält sich dagegen die Eckverschweißung. Bei der bisher gebräuchlichen Stumpfschweißung bilden sich etwa 3 mm breite Schweißraupen, die abgeschliffen oder



Bild 11. Industriegebäude mit braunen Trocal-Color-Fenstern und sandfarbenen Color-Fassadenlamellen.



Bild 12. Verwaltungsgebäude mit braunen Trocal-Color-Fenstern.

abgefräst werden müssen. Damit der natürliche Oberflächen-glanz nach dieser Schweißraupenbearbeitung wieder hergestellt werden kann, muß die Profiloberfläche anpoliert werden. Die brillante, harte PMMA-Oberfläche läßt diese Art der Schweißraupenbearbeitung und Oberflächenbehandlung aber nicht zu. Durch die Entwicklung eines neuen Schweißmaschinen-typs wurde dieses Problem gelöst. In dieser Schweißma-schine wird durch eine definierte Temperaturregelung und einen darauf abgestimmten Druck von 3 Blattmesserpaaren die Schweißraupe auf etwa $\frac{1}{10}$ mm zusammengepreßt. Der so ent-standene Schweißgrat kann unmittelbar nach dem Schweißen mit einem speziellen Messer abgestoßen werden (Bild 9), so daß keine weitere Bearbeitung der Sichtflächen mehr erforder-lich ist (Bild 10).

Diese Schweißmethode wird inzwischen nicht nur bei Profilen mit PMMA-Beschichtung angewendet, sondern wegen der großen Zeitersparnis auch bei der Fertigung normaler PVC-hart-Fenster.

Oberflächenschutz

Damit die seidenmatte PMMA-Oberfläche nicht schon wäh- rend des Versands der Fensterherstellung, beim Transport zur Baustelle oder bei der Montage beschädigt wird, werden die Profile nach der Endkontrolle, wie beschrieben, mit einer Schutzfolie versehen. Die Schutzfolie ist auf einen besonderen Schrumpfwert eingestellt, stört deshalb die Eckverschweißung nicht und wird erst nach der Montage im Baukörper entfernt.

Verklebung

Beim Verkleben von Zusatzprofilen mit dem Hauptprofil muß sowohl PMMA mit PMMA als auch PVC mit PMMA verklebt werden, und mit PMMA beschichtete Profile verhalten sich anders als massive PMMA-Halbzeuge.

Es ist inzwischen gelungen, einen speziellen Kleber auf Acryl- itbasis zu entwickeln, der eine schnelle Kontaktverklebung beider Werkstoffe ermöglicht, ohne Spannungsrisse auszulö- sen.

Reparaturmöglichkeiten

Oberflächenschäden, z. B. Kratzer in der PMMA-Schicht trotz der Schutzfolie, infolge unsachgemäßer Behandlung der Profile oder Fenster, können ohne großen Aufwand repariert werden. Flache Kratzer, die nicht durch die Acrylschicht hindurchge- hen, lassen sich durch Naßschleifen und leichtes Nachpolieren beseitigen. Ungewöhnlich starke Beschädigungen, die durch

die dicke Acrylschicht bis auf das PVC-Trägerprofil reichen, werden mit einem speziellen Acryllack aufgefüllt und nach dem Austrocknen nachpoliert. Solche Schäden sind beim bisherigen Einsatz der Trocal-Color®-Fenster, von dem die Bilder 11 bis 14 einige Beispiele wiedergeben, jedoch nicht eingetreten. Das läßt den Schluß zu, daß auch hinsichtlich der Schadensanfälligkeit Trocal-Color®-Fenster sich nicht kritischer verhalten als normale PVC-hart-Fenster.

Marktentwicklung

Der Anteil der farbigen Kunststoff-Fenster beträgt z. Z. etwa 5%, wobei anthrazit und schwarz eingeschlossen sind. Die Ur- sachen für diesen noch niedrigen Anteil »nicht weißer« Kunst- stoff-Fenster dürfte zum einen in der Zurückhaltung der Her- steller dem farbigen Fenster gegenüber und zum anderen in dem nicht befriedigenden Verhalten bisher eingesetzter farbi- ger Fenster zu suchen sein, beides führte zu Unsicherheiten beim Verbraucher. Dazu kommt, daß bis vor etwa 1 Jahr prak- tisch keine Werbung für farbige Kunststoff-Fenster gemacht und diese vielmehr nur auf ausdrückliche Anforderung geliefert wurden.

Nachdem es aber durch neue Verfahren gelungen ist, auch die Farb- und Wetterechtheit farbiger Kunststoff-Fenster so zu er- höhen, daß alle Anforderungen erfüllt werden, steigt die Nach- frage nach farbigen und besonders nach braunen Fenstern deut- lich an. Diese Entwicklung kann auch für Trocal-Color®-Fenster bestätigt werden, deren Anteil am Trocal®-Fenstersystem ebenfalls schon die 5%-Marke überschritten hat.

Die Vorzugsstellung des braunen Fensters ist einerseits auf den Ersatz des Holzfensters, zum anderen auf regionale Gegeben- heiten zurückzuführen. Verstärkt wird diese Tendenz durch bauaufsichtliche Forderungen, die z. B. in einigen Landesteilen Österreichs braune, bzw. dunkle Fenster vorschreiben. Daß wirklich bunte Farben erst mit etwa 1% vertreten sind, liegt daran, daß solche Fenster mit hervorragender Wetterechtheit und Funktionstüchtigkeit erst seit etwa 2 Jahren zur Verfügung stehen und dies noch nicht allgemein bekannt ist, während bei durchgefärbten PVC-Fenstern wegen der genannten Mängel starke Zurückhaltung herrscht. Nachdem nun mit den koextru- dierten PVC-PMMA-Fenstern auch jahrzehntelange Farb- echtheit gesichert ist, kann die gestalterische Möglichkeit, die ein farbiges Fenster bietet, mehr und mehr genutzt werden. Ein echter Preisvergleich zwischen Fenstersystemen aus ver- schiedenen Werkstoffen ist nicht ohne weiteres möglich. In zu vielen Faktoren unterscheiden sich die Ausführungen und die Angebote selbst für das gleiche Objekt. Trotzdem können hier aus langjähriger Erfahrung einige Orientierungswerte angege-



Bild 13. Mit orange Color-Fenstern ausgestattetes Industriegebäude.



Bild 14. Wohnhaus mit braunen Trocal-Color-Fenstern.

ben werden, die zwar nicht für jeden Fall exakt sind, aber die durchschnittlichen Relationen wiedergeben. Bei gleichen Dimensionen und vergleichbaren Beschlägen sowie vergleichbarer Verglasung betragen diese etwa:

Naturholzfenster	= 100
PVC-hart, weiß	= 100
PVC-hart-Fenster durchgefärbt	= 115
PVC-PMMA-Fenster koextrudiert, farbig	= 120
Aluminium, eloxiert	= 140
Aluminium, cloxiert, wärmegeämmt	= 160

Keine sicheren Angaben hinsichtlich des Zuwachses und des Preises können z. Z. über das PUR-Fenster gemacht werden, das ja vorwiegend in brauner Einfärbung geliefert wird und damit zu den farbigen Kunststoff-Fenstern zu rechnen ist. Dazu ist die Einführungszeit noch zu kurz und der Marktanteil mit unter 1% noch zu niedrig. Trotz des höheren verfahrenstechnischen Aufwandes sind schon heute die preislichen Unterschiede zwischen durchgefärbten PVC-hart-Fenstern und ko-

extrudierten PVC-PMMA-Fenstern sehr gering, so daß auch aus dieser »Eigenschaft« dem Trocal-Color®-Fenster keine wesentlichen Schwierigkeiten entgegenstehen.

Zusammenfassung

Mit dem koextrudierten PVC-PMMA-Fenster ist es gelungen, durch die Kombination der beiden seit Jahrzehnten im Außeneinsatz bewährten Kunststoffe PVC-hart und PMMA, das Kunststoff-Fenster weiter zu optimieren. Dieses unter extremen Anforderungen geprüfte Fenstersystem bringt als wesentlichsten Vorteil eine beachtliche Steigerung der Lichtechtheit und Wetterbeständigkeit gegenüber nicht mit PMMA beschichteten Profilen. Damit kann der Aufwand für Wartung, Unterhalt und Pflege des Fensters weiter verringert werden. Die guten Eigenschaften des normalen PVC-hart-Fensters wie die geringe Fugendurchlässigkeit, die hohe Schlagregensicherheit und natürlich auch die gute Schall- und Wärmedämmung sind auch beim Trocal-Color®-Fenstersystem ohne jeden Abstrich gewährleistet. Hinzu kommt, daß mit diesen Profilen, deren Beschichtung brillante Farben aufweisen, farbliche Gestaltungen erfüllbar sind, die den Architekten in die Lage versetzen, die oftmals eintönigen Fassaden unserer Städte farblich zu beleben.

2067 A