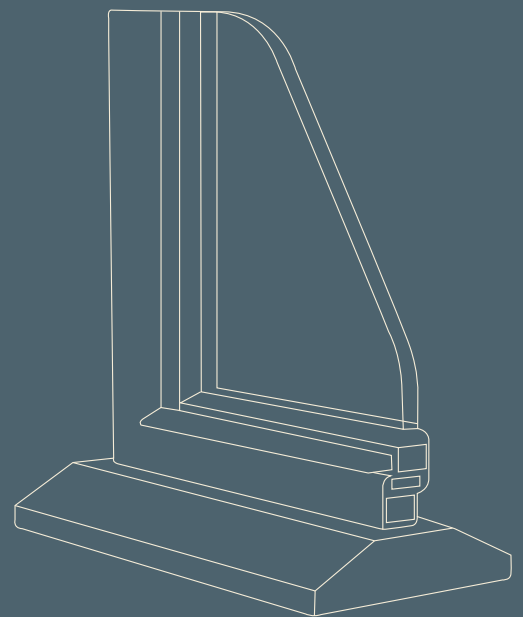
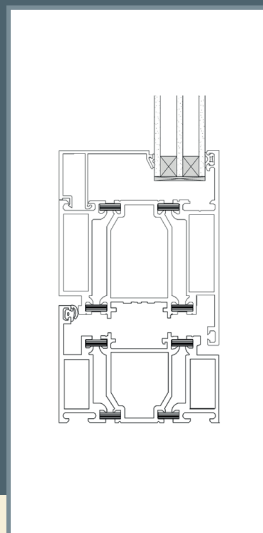
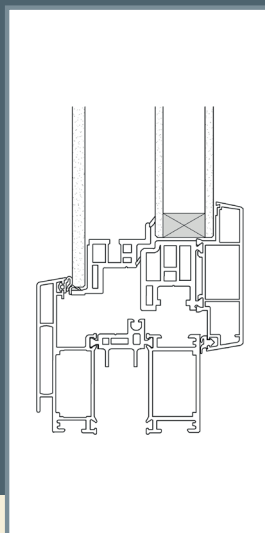
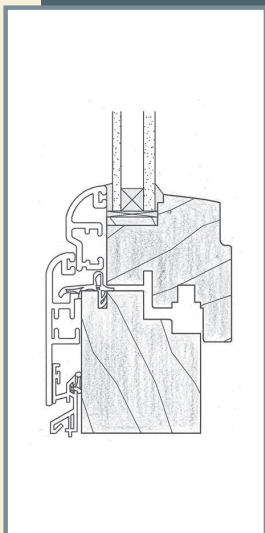
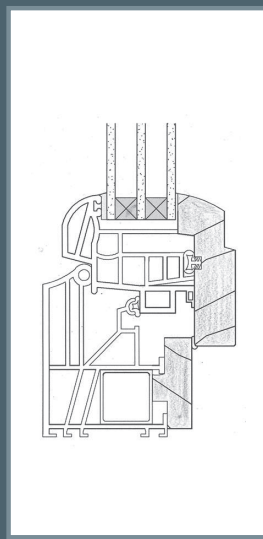
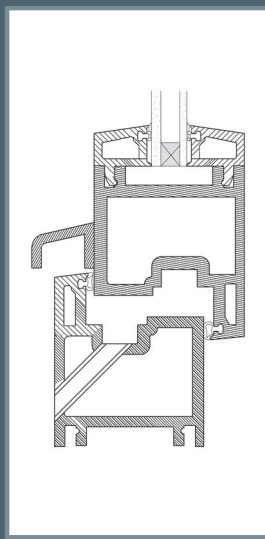
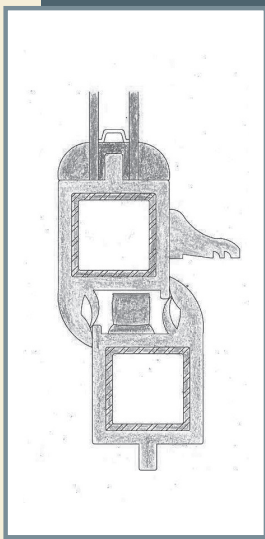


# Das **FENSTER** im 20. Jahrhundert

Hermann Klos / Holzmanufaktur Rottweil

## **KUNSTSTOFF-FENSTER**

Sonderdruck (mit Ergänzungen) aus:  
Denkmalpflege in Baden-Württemberg  
43. Jahrgang 4 | 2014



## **IMPRESSUM**

**78628 Rottweil, 2014**

**Herausgeber:**

Holzmanufaktur Rottweil GmbH  
Hermann Klos, Günther Seitz

**Verfasser:**

Hermann Klos

**Satz & Gestaltung:**

KreatiFabrik GmbH, Aldingen

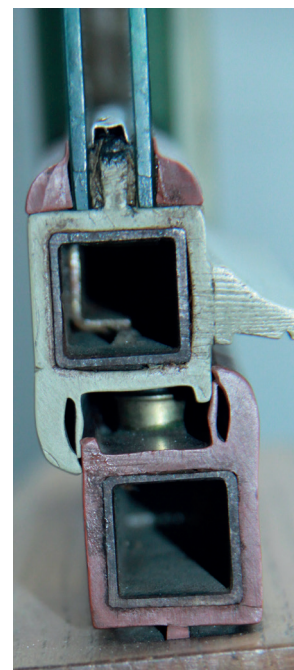
**Druck:**

Lienhard PrintMedien GmbH,  
Trossingen

# Ein denkmalpflegerisches „Feindbild“ ist Marktführer

*Es geht in diesem Aufsatz nicht um die vielen ästhetischen Katastrophen, die in den letzten Jahrzehnten durch den Einbau von Kunststoff-Fenstern in Baudenkmale verursacht wurden. Es geht auch nicht um den altbekannten Fensterstreit „Holz versus Kunststoff“. Im Gegenteil: Es geht darum, das Kunststoff-Fenster als eigenständiges, zeittypisches Bauteil zu verstehen, das seit den 1980er Jahren den Fenstermarkt in Deutschland und in Europa dominiert und damit auch den Zeitgeist widerspiegelt. Kunststoff-Fenster sind bei zahllosen Bauten der letzten vierzig Jahre selbstverständliche Bestandteile ihrer authentischen, bauzeitlichen Ausstattung. Sie können daher bei einer „nachwachsenden“ Generation von Kulturdenkmalen zum Thema von Denkmalschutz und Denkmalpflege werden. Aber auch bei Gebäuden, etwa den Wohnsiedlungen der 1960er und 1970er Jahre, die erst nach Modernisierung und Fensteraustausch als Schutzobjekte erkannt wurden, genießen sie zunächst einmal Bestandsschutz. Der Autor will mit den Informationen zur Entwicklung und zu den technischen Eigenheiten der Kunststoff-Fenster dazu beitragen, die denkmalfachliche Diskussion und Beratung am Objekt zu unterstützen. Ein folgender Beitrag wird den baupraktischen Umgang mit diesem Fenstertyp behandeln.*

Hermann Klos



## Wirtschaftszahlen

Fenster gehören in der Architektur unserer Breiten seit dem frühen 16. Jahrhundert zum bautechnischen Standard. Bis weit ins 19. Jahrhundert wurden ausschließlich Holzfenster gefertigt. Im Zuge der Industrialisierung kamen dann vor allem in Fabriken zunehmend auch Metallfenster zum Einsatz. Die ersten Kunststoff-Fenster tauchten um 1960 auf. Bereits 20 Jahre später übernahm der Kunststoff die Marktführung im Fensterbau und ist heute auf dem Weg zur Marktbeherrschung.

Das Bauteil Fenster erzeugt in Deutschland eine jährliche Wirtschaftsleistung von rund 34 Mrd. Euro, 80 Prozent davon für den europäischen Markt. 300.000

Beschäftigte in 58.000 Betrieben leben von der Fensterfertigung, deren Entwicklungspotential und Innovationskraft den deutschen Fenstermarkt zum schwungvollsten in Europa machen. In deutschen Wohngebäuden – d.h. ohne Verwaltungs- und Gewerbebauten, Schulen oder sonstige öffentliche Einrichtungen – sind knapp 600 Mio. Fenster eingebaut. Diese gliedern sich nach Erhebungen des Verbandes Fenster + Fassade (VFF) folgendermaßen auf: 25 Mio. Fenster mit Einfachglas, 52 Mio. Verbund- und Kastenfenster, 235 Mio. Fenster vor 1995 mit nicht beschichtetem Isolierglas, 257 Mio. Fenster mit Wärmedämmglas (Low-E-Glas), 12 Mio. Fenster mit Dreischeiben-Isolierglas.

Alle Fenster aus der Zeit vor 1995, das sind knapp 300 Mio. Fenster allein im Wohnungsbau, entsprechen rein rechnerisch nicht der aktuellen Energieeinsparverordnung. Ein daraus theoretisch abgeleiteter Handlungsbedarf könnte

bei einem Marktanteil der Kunststoff-Fenster von 60 Prozent ein Auftragsvolumen von rund 150 Mrd. Euro für die deutschen Kunststoffprofile-Hersteller umfassen, nur für den einheimischen Markt und nur für den Wohnbau.

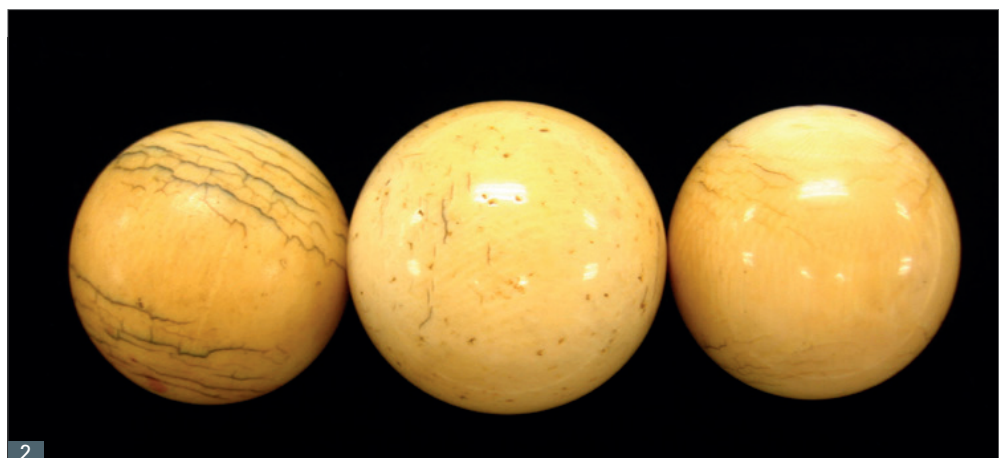
## Plastik

Kunststoffe sind in dem zurückliegenden Jahrhundert zu einem bedeutenden Teil der modernen Technik und Zivilisation geworden, angetrieben von der Suche nach billigen Produktionsmöglichkeiten für Gebrauchsgegenstände und von der Suche nach Ersatzstoffen für teurere und rarer werdende natürliche Rohstoffe. Bereits seit 1910

gibt es die von Richard Escales geprägte Wortschöpfung „Kunststoffe“, wohl zurück gehend auf die schon lange gebräuchlichen Worte wie Kunstseide, Kunstfaser, Kunstharze. Seit dieser Zeit gibt es die Fachzeitschrift „Kunststoffe“ für Techniker und Ingenieure der Kunststoffindustrie. Jedoch bereits im 16. Jahrhundert erfahren wir in einer

Abb. 1  
Ein typisches Bakelit-Produkt:  
Telefone, gefertigt ab ca. 1920.  
Um diese Zeit gab es allein in  
Deutschland bereits 950.000  
Telefone.

Abb. 2  
Billardkugeln aus Celluloid,  
einem preiswerten Ersatzma-  
terial für das rar werdende  
Elfenbein.





populären Fernseh-Dokumentation des WDR (2011) zum Thema „Plastik – Fluch oder Segen“, dass „der Augsburger Benediktinerpater Wolfgang Seidel 1531 vielleicht den ersten Kunststoff hergestellt hat: Er hat Magerkäse so lange gekocht und reduziert, bis aus dem Casein eine hornartige Masse entstanden war. Doch bis zu den ersten rein synthetischen Kunststoffen sollten noch 350 Jahre vergehen.“ Weitere Stationen bei der Herstellung von Vorläufern heutiger Kunststoffe waren etwa die von Charles Goodyear entdeckte Härtung von Naturkautschuk mittels Hitze und Schwefel zu Gummi 1839 oder die Oxydation von Leinöl und Zusatzstoffen zu Linoleum 1860. Ein Produzent von Billardkugeln suchte in einem mit 10.000 Dollar ausgeschriebenen Wettbewerb ein Ersatzmaterial für das rar werdende Elfenbein. Das war die Geburtsstunde des Celluloids 1869. Viele bekannte vollsynthetische Kunststoffe wie Bakelit 1905, Polyvinylchlorid (PVC) 1912, Plexiglas 1933, Nylon 1938 oder Polyurethan (PU) 1941 sind heute aus unserem Alltag nicht mehr weg zu denken.

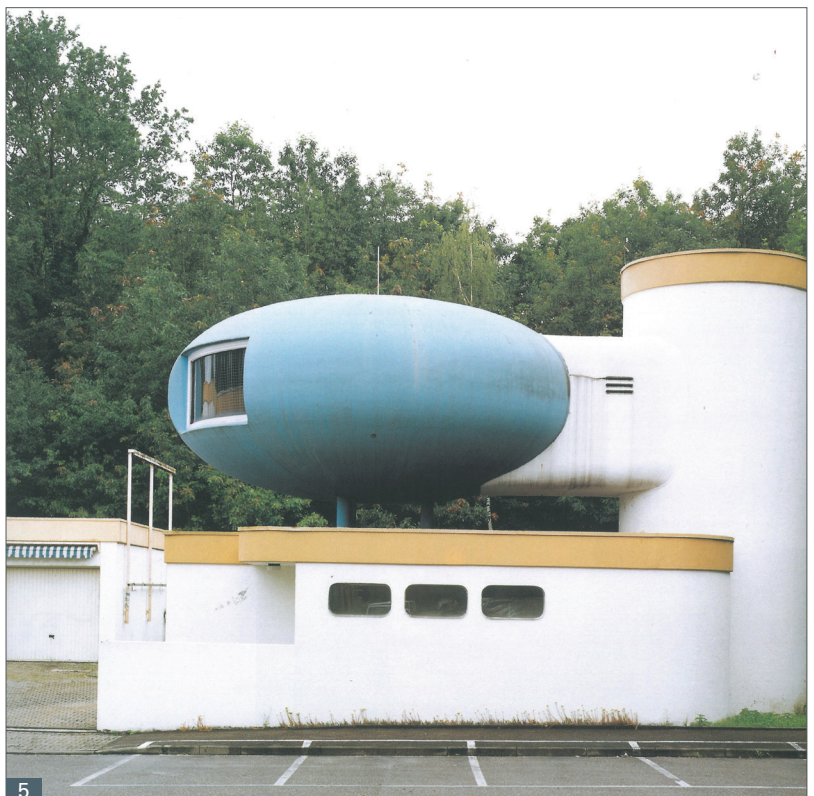
Bereits ab den späten 1950er Jahren wurden auch in Deutschland komplett

aus Kunststoffen gefertigte Häuser erstellt, das erste 1959 von Dynamit Nobel in Troisdorf. Ein bereits ausgereifteres Modell der Serie fg 2000, ab 1963 entwickelt und ab 1968 gebaut



Abb. 3  
Kunststoffhaus „Rondo“  
Architekten: Casoni & Casoni,  
Basel 1964.

Abb. 4 und 5  
Kunststoffhaus „Futuro“  
Architekten Matti Suuronen,  
Finnland 1968.



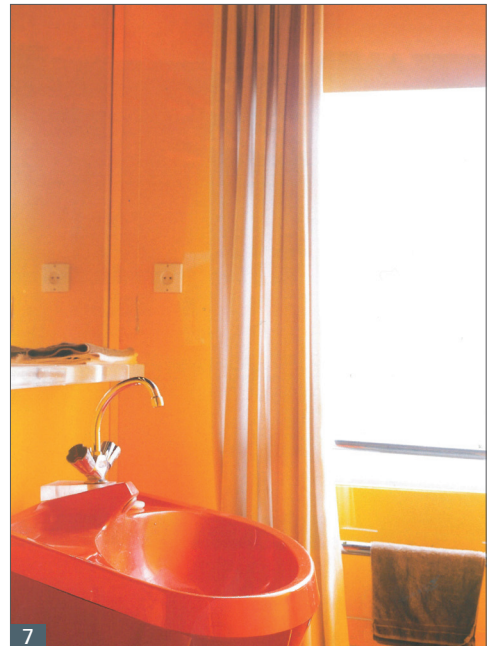


Abb. 6 und 7  
Kunststoffhaus „fg 2000“  
Architekt und Hersteller  
Wolfgang Feierbach Altstadt/  
Hessen 1968.

Abb. 8  
Doppel-Hubbrücke zwischen  
Baden und Hennem-Baden mit  
einem Überbau aus Glasfaser  
verstärktem Kunststoff.

vom hessischen Unternehmer Wolfgang Feierbach, steht seit 2008 unter Denkmalschutz. Das erste von Feierbach 1975 in Niedersachsen gebaute Kunststoffhaus in Erkerode wurde 2008 abgebaut, und nach jahrelanger Zwischenlagerung im April 2014 von einem privaten Bauherrn in Bad Waldsee / Geisbeuren wieder aufgebaut. Die dauerhafte Beanspruchung der gesamten Dachhaut durch Witterung zeigt nach nunmehr 33 Jahren Standzeit ihre Wirkung. Zusätzlich gibt es aufgrund der großen Spannweite von bis zu 10m und speziell der Dehnung bzw. Schrumpfung des Materials aufgrund der Temperaturschwankungen ein dauerhaftes Dichtigkeitsproblem der Fugen, welches immer wieder durch Überlaminat beziehungsweise Flachdachdichtungen partiell behoben wurde. Nach eingehender Besichtigung, Beobachtung und Gesprächen mit der Bauherrin, wird nun die gesamte Dachhaut mit einer durchgängigen, flexiblen Schutzschicht überzogen. Da das Gebäude seit 2008 als Denkmal gelistet ist, wird dem weitest gehenden Erhalt

der originalen Gelcoatbeschichtung und der Ausführung der Dachränder besondere Aufmerksamkeit zuteil. Quelle: Kunststoffbauten.

Architektonisch anspruchsvolle Projekte werden ab den 1970er Jahren regelmäßig realisiert. Eine Doppel-**Hubbrücke** zwischen Baden und





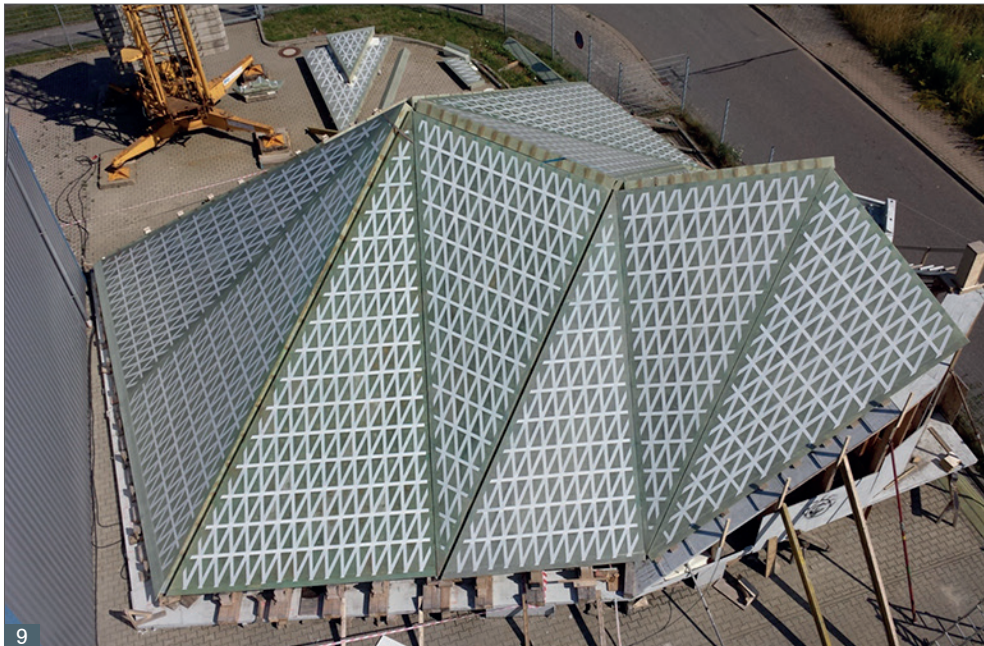


Abb. 9  
Geislingen an der Steige, Daniel-  
Straub-Realschule, Überbau  
des Innenhofes aus Glasfaser  
verstärktem Kunststoff. Hier:  
Probeaufbau vor der endgültigen  
Montage.

Ennetbaden erhielt einen Überbau aus glasfaserverstärktem **Kunststoff**. An der denkmalgeschützten Daniel-Straub-Realschule in Geislingen an der Steige, einem Sichtbetonbau von 1969 wurde jüngst die filigran und kristallin wirkende Überdachung des Pausenhofes aus glasfaserverstärkten Kunststoffen saniert. Im Baubereich können Kunststoffe auch gestalterisch und baukonstruktiv viel zur Wertigkeit der Architektur beitragen. Auch wenn heute generell Kunststoffe vom Bau und der Architektur nicht mehr wegzudenken sind, ist der Bau komplett aus Kunststoff gefertigter Häuser nach einer Hoch-Zeit in den 1960er und 1970er Jahren des vergangenen Jahr-

hunderts bis heute nicht über Prototypen hinaus gekommen.

Die Dynamik auch im Baubereich nach dem Zweiten Weltkrieg führte dazu, dass Holz und Metall im Fensterbau mit rasch weiterentwickelten Kunststoffen konkurrieren mussten. Seine Verbreitung verdankt das Kunststoff-Fenster auch der wachsenden Akzeptanz bei den Bauherren für ein kostengünstiges und vermeintlich pflegearmes Bauteil und einer Industriebranche mit einem Umsatzvolumen von jährlich 50 bis 60 Mrd. Euro, die umfängliche Entwicklungen und Forschungen finanzieren sowie Innovationen und Visionen stimulieren kann.

## Das erste Kunststoff-Fenster



10



11

Abb. 10  
Das erste Kunststoff-Fenster  
der Welt.

Abb. 11  
Geschweißte Eckverbindung  
auf Gehrung, eingeklebtes  
Fitschband.

Abb. 12  
Typischer Fenstergriff der  
1950er Jahre.

Abb. 13  
Die Flügelbremse soll unkon-  
trolliertes Zu- und Aufschlagen  
verhindern.

Abb. 14  
Eckwinkel des ersten Kunst-  
stoff-Fensters.

Das Kunststoff-Fenster ist letztlich ein Kind des Wiederaufbaus und des enormen Bedarfs an Wohnungen nach 1945. Ab 1954 sollten zwei Materialien den Fensterbau revolutionieren: Es waren zum einen die Mehrscheibenisolierverglasung (MIG), zum anderen der thermoplastische Kunststoff, das PVC für die Profile der Fensterrahmen. Mit der Entwicklung der ersten Kunststoff-Fenster aufs engste verbunden sind zwei Namen: Dipl. Ing. Heinz Pasche und Dynamit Nobel. Pasche war Metallbauer in Hamburg, die Firma Dynamit Nobel AG erforschte und produzierte seit Beginn des 20. Jahrhunderts Kunststoffe. Heinz Pasche baute Metallfenster aus vorgefertigten Stahlprofilen der Klöckner Werke AG. Unzufrieden war er mit den fehlenden Möglichkeiten, diese Metallfenster durch eine qualitativ hochwertige, wetterfeste und unempfindliche Oberfläche zu beschichten und dauerhaft zu schützen. Vor allem in küstennahen Regionen war der Schutz einer Metalloberfläche unabdingbar. Pasches

1953 beginnende Zusammenarbeit mit der Kunststoffsparte der in Troisdorf bei Bonn ansässigen Dynamit Nobel AG brachte die Lösung und war die Geburtsstunde des Kunststoff-Fensters.



12



13



14



## Kunststoff-Fenster im Museum

Viele Exponate und Dokumente zur Firmengeschichte des Dynamit Nobel Konzerns und zu den in Troisdorf entwickelten Kunststoffen wurden von ehemaligen Fachleuten der Betriebe zusammengetragen und 1999 in einem Unternehmensmuseum vereinigt. In der Obhut eines Fördervereins sind sie seit 2012 Teil des Museums für Stadt- und Industriegeschichte Troisdorf „MUSIT“. Dr. Volker Hofmann, Diplom-Chemiker und ehemals leitender Mitarbeiter gibt heute als Kurator sein reiches Fachwissen gerne weiter. In einem Interview, das der Verfasser bei seinem Museumsbesuch führen konnte, beschreibt Hofmann die Herstellung der ersten Kunststoff-Fenster:

„Die ursprünglichen MIPOLAM Elastik-Profile, die aus einem hart-eingestellten Weich-PVC bestanden [Misch-Polymerisat aus PVC und Acrylester], wurden mittels der sogenannten Querkopfextrusion hergestellt diese Tech-

nik wurde bereits 1847 zum ersten Mal in den Siemens Werken für das Ummanteln von Drähten angewandt. Dabei wird das Vierkant-Stahlprofil direkt allseitig mit dem Extrudat in der gewünschten Dicke beschichtet. Das heißt, man führte das Metallprofil, das noch nicht ummantelt war, im rechten Winkel an dem Extruderkopf, das heißt an dem Profilwerkzeug vorbei und dort umschloss die thermoplastisch fließende Masse, die aus dem Extruder kam, ganzseitig das Profil. Durch Weiterführen des Stahlprofiles kam es dann zu einem 6 Meter langen, allseits ummantelten, profilierten Verbundstoff, der im Inneren das Stahlprofil hatte und an der äußeren Seite das Kunststoffmaterial, welches das Stahlprofil allseitig korrosionsfest umschloss. Das war die Technologie der Querkopfextrusion zur Herstellung der Profile für das MIPOLAM Elastic-Fenster. Das erste Kunststoff-Fenster der Welt, 1954!“

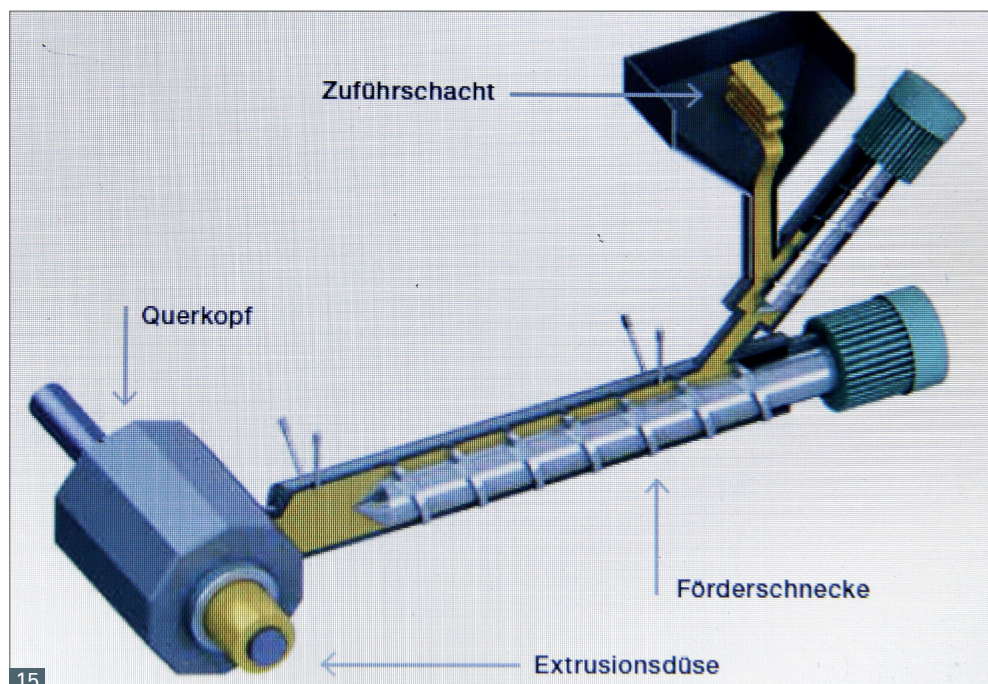


Abb. 15  
Querkopfextruder, zum Ummanteln von beliebig langen Rohren.

Abb. 16  
Details Serie Trocal 100.



Abb. 17  
Eingebaute Isoliergläser mit  
Herkunftsnachweis im Randver-  
bund, hergestellt August 1968,  
Fabrikat Thermopane.



Ein Exemplar dieser ersten Serie ist im Troisdorfer Museum ausgestellt. Es lief später unter dem Markennamen TROCAL, eine Marke, die heute noch existiert und zu den weltweit führenden Anbietern für Kunststoffprofile gehört. Unter diesem Namen hat sich Ende der 1980er Jahre die Kunststoffsparte von Dynamit Nobel selbstständig gemacht. Die ersten PVC-ummantelten Profile erlaubten eine kittfreie Verglasung mit Isolierglas. Die Scheiben liegen wie bei heutigen Fenstern in einem Glasfalz und werden raumseitig von einer Glasleiste gehalten. Die Fenster wurden in der Regel als Dreh-Kipfenster gebaut und hatten bereits zwei umlaufende Lippendichtungen. Wie auch bei Holzfenstern wurde außen ein Wetterschenkel aufgesetzt. In dem kleinen Industriemuseum ist die nun 100-jährige Erfolgsgeschichte des Kunststoffes dokumentiert. An Hand von Exponaten kann auch die weitere Entwicklung des Kunststoff-Fensters nachvollzogen werden.

*„Ab den frühen 1960er Jahren gab es erste Versuche zur Herstellung eines „echten“ Kunststoff-Fensters aus Hart-PVC mit einem nachträglich in eine Kammer des Profils eingeschobenen Stahlrohr zur Verbesserung der Stabilität. Ab 1966 fertigte man in Troisdorf unter dem Markennamen TROCAL sogenannte Nur- oder Voll-Kunststoffprofile. Diese bestanden aus einem Hart-PVC. Das Rohmaterial zur Herstellung von Fensterprofilen ist PVC mit Zuschlagsstoffen, den Stabilisatoren wie Titandioxyd und Kreide und sogenannten Modifiern. Die Kunst der Chemiker bestand darin, die richtige Mischung zusammenzustellen. In der Geschichte des PVCs ist es immer so gewesen, dass die Entwicklung der Stabilisatoren an erster Stelle stand.“ 1930 konnte PVC zum ersten Mal thermoplastisch verarbeitet werden. Zunächst wurden PVC Rohre gefertigt, später ab den 1960er Jahren folgten die Fensterprofile.*



## Die Zutaten

Mit den richtigen Stabilisatoren (Zuschlagsstoffen) kann der Kunststoff den bei seiner Herstellung schwierigsten Moment - nämlich die Extrusion selbst, das Auspressen durch das Formstück - bei 180° bis 200°C schadlos überstehen.

„Die Stabilisatoren verhindern, dass der Zersetzungsprozess des PVCs bei diesen hohen Temperaturen stattfindet. Wenn ein Stabilisator fehlt, kann es bei der Extrusion zu einer sogenannten Verpuffung kommen. Dann bildet sich schwarzes, verbranntes Material und es wird Salzsäure frei gesetzt, eine große Gefährdung für die Arbeiter. Verwendet werden sogenannte Calcium-Zink-Stabilisatoren, die während der Extrusion und später unter dem Einfluss des Sonnenlichtes die Zersetzung des Kunststoffmaterials verhindern sollen. Weitere wichtige Bestandteile sind die aufhellenden Ingredienzen Kreide und Titandioxyd. PVC ohne Kreide ergibt einen transparenten Werkstoff, aber kein Mensch will natürlich ein transparentes Fenster haben. Das Auskreiden steht für den natürlichen Alterungsprozess, dem organisches Material immer ausgesetzt ist. Auskreiden bedeutet, dass mikrometerdünne Schichten an der Oberfläche des Kunststoffmaterials unter dem Einfluss von Sonnenlicht zersetzt werden, ohne die mechanische Stabilität zu gefährden. Aber diese mikrometerdünnen Schichten, die sich nach 20 Jahren Sonnenbestrahlung zersetzt haben, hinterlassen nur noch die Füllstoffe als Kreidefilm, den man leicht mit Wasser abwaschen kann. Titandioxyd sorgt mit seiner Reflexionskraft dafür, dass sich ein Fensterprofil unter Sonneneinstrahlung nicht übermäßig erhitzt. Werk-

*sinterne Messungen ergaben, dass in einem dunklen Kunststoffprofil unter normaler Sonneneinstrahlung Temperaturen von 110°C entstehen können, wenn man kein Titandioxyd beimischen würde. Modifier sind meistens Polycrylate, den Kunststoff schlagzäh-machende Komponenten. Schlagzähigkeit ist eine Eigenschaft des Kunststoffs, die ein Fensterprofil unanfällig gegen Schlageinwirkungen machen soll, damit etwa durch Hammerschlag oder Hagel nichts mechanisch verändert oder beschädigt wird. Zudem wird dem Kunststoff ein inneres Gleitmittel beigefügt, das dafür sorgt, dass während der Extrusion der Vorgang ohne Probleme und unter Ausbildung einer glatten Oberfläche von statten geht. Gleitmittel vermindern die zwischen den PVC-Molekülketten auftretenden Reibungskräfte und senken somit die Schmelzviskosität.“*



Abb. 18  
Rohmaterialien zur Herstellung  
von Kunststoffen.

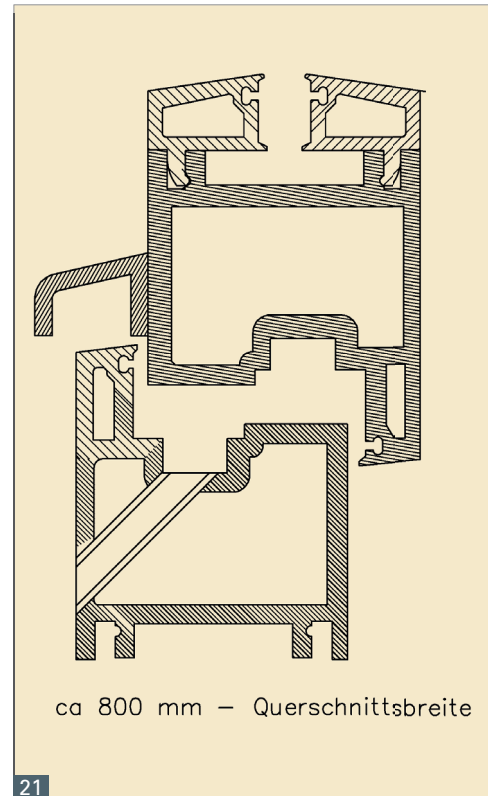
Das Troisdorfer Unternehmen wurde mit seinem ersten Kunststoff-ummantelten Metallprofil führend in der Entwicklung von Kunststoff-Fenstern. Mit diesem Zweistoffsystem wurde zwar noch bis in die frühen 1990er Jahren gefertigt. Man wollte jedoch weg von dem Weich-PVC und dem ummantelten Stahlprofil und hin zu selbsttragenden Kunststoffprofilen. 1967 entstand daher

Abb. 19  
Frühe Kunststoff-Fenster der Serie Trocal 100 mit verschiedenen farbigen Oberflächen.



Abb. 20  
Prüfstand mit imitiertem Sonnenlicht. Profile ohne Titandioxyd können sich bis auf 110° C erwärmen, Profile mit Titandioxyd auf 90° C und helle Profile unter mitteleuropäischer Sonne bis auf 70° C.

Abb. 21  
Querschnitt Fensterprofil Trocal 100. Echtes Kunststoff-fenster aus Hart-PVC, Mehrkammersystem 1967.



mit der TROCAL Serie 100 das erste Fensterprofil mit Mehrkammer-System aus Hart-PVC. Damit begann die Herstellung der ersten „Nur-Kunststoff-Fensterprofile“. Die Biegesteifigkeit des Hart-PVC reichte aus, um daraus selbsttragende Fensterrahmen herkömmlicher Abmessungen zu fertigen. Andere Hersteller folgten, und die Varianten mit unterschiedlichen Mehrkammerprofilen nahmen zu. Nächste Entwicklungsschritte waren 1975 das erste coextrudierte Fensterprofil mit einer farbigen Außenschicht und 1985 ein glasfaserverstärktes PVC-Profil für übergroße Fenster, TROCAL 900 GF, das ohne Stahlverstärkung auskam oder statt dessen mit glasfaserver-

stärkten PVC-Einschüben ausgestattet werden konnte.

Bezüglich der Produkteinführung erinnert sich Hofmann gut daran, dass in den 1950er und 1960er Jahren die Anwendungstechniker des Werks die Aufgabe hatten, aus einem „Holzwurm“, d.h. einem Schreiner bzw. Tischler, einen „Kunststoff-Tischler“ zu machen. Dazu gab es Schulungen in Troisdorf. Die mit Holz vertrauten Handwerker wurden eingewiesen, geklebte oder geschweißte Eckverbindungen herzustellen, Kunststoffe zu bohren und zu sägen, um danach in ihren eigenen Werkstätten Kunststoff-Fenster bauen zu können.

# Vom PVC-Granulat zum fertigen Kunststoff-Fenster

Aus den Rohmaterialien, die meist als Pulver oder Granulat vorliegen, bedient man sich zur Herstellung von Kunststoffen verschiedener Verarbeitungsverfahren: Kalandrieren, Stopfen, Pressen, Spritzgießen, Extrudieren. Das Kalandrieren war das früheste industrielle Verfahren zur Herstellung von flächigen Kunststoffartikeln wie Folien- oder Fußbodenbelägen aber auch bereits zum Kaschieren oder Laminieren. Eine Kalander-Anlage war ein Walzwerk, welches vergleichbar zu anderen Materialien wie Glas, Eisen oder Papier nun Kunststoffe weiterverarbeitete. 1872 bauen die Brüder Hyatt als ersten Vorläufer einer Spritzgießmaschine eine vertikale „Stopfmaschine“ zum Herstellen von Formteilen aus Celluloid. Weitere im 19. und frühen 20. Jahrhundert verwendete Methoden zur Herstellung von Kunststoffprodukten durch Pressen und Stopfen wurden im ausgehenden 20. Jahrhundert abgelöst durch das

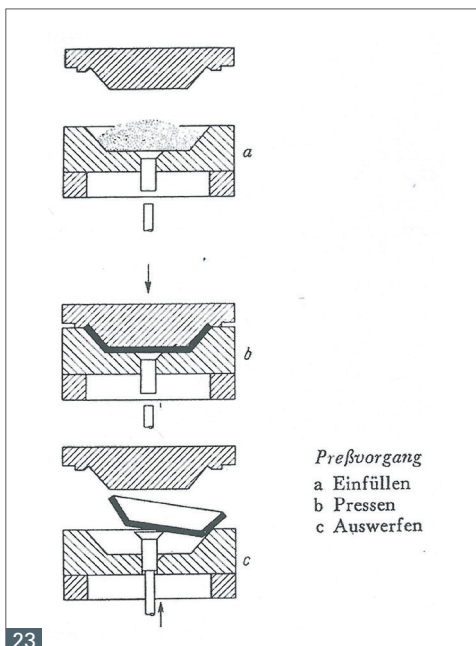
Spritzgießen von Kunststoffen. Beim Pressen und Spritzgießen erfolgt die Herstellung der Werkstücke vertikal. Durch die Weiterentwicklung der Anla-



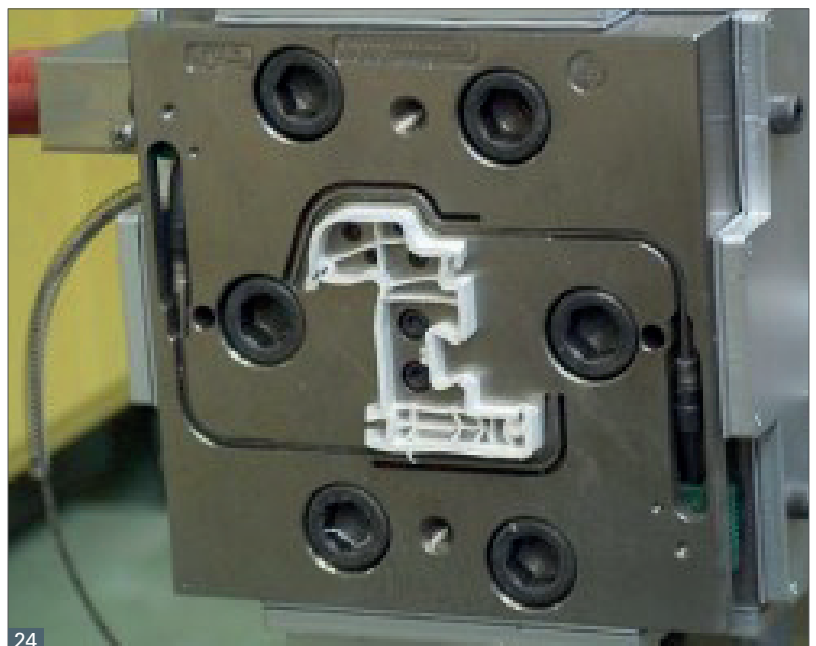
Abb. 22  
Historische Kalander-Maschine.

Abb. 23  
Kunststoffpresse, Pressvorgang von Kunststoffteilen mit Einfüllen, Pressen, Auswerfen.

Abb. 24  
Flügelprofile werden durch das formgebende Werkstück extrudiert.



23

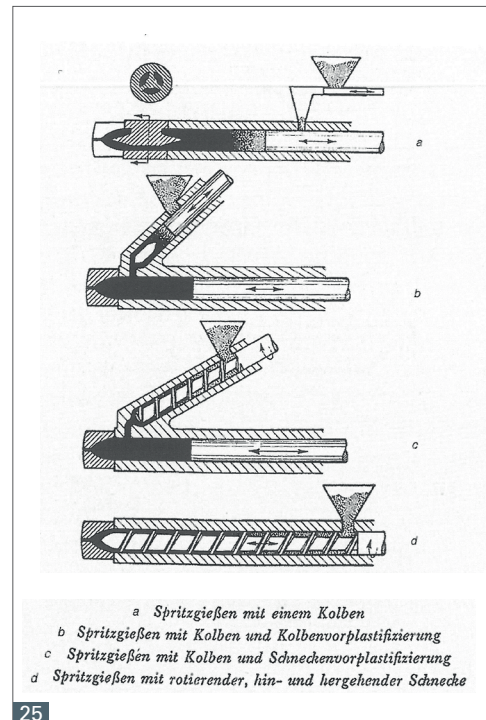


24

Abb. 25  
 Verschiedene Extruder.

gen mit einer horizontal angeordneten Schnecke wird das Spritzgießen durch das Strangpressen abgelöst. Durch diese sogenannte Extruder-Technik können Formteile von nahezu beliebiger Länge geformt oder hergestellt werden. Mit einem von Werner von Siemens 1847 entwickelten Querspritzkopf gelang bereits das Ummanteln von Drähten und Kabeln. Ab ca. 1950 konnten Hohlkörper gefertigt werden, was letztendlich die Grundlage für die Herstellung von Kunststoff-Fensterprofilen ist.

Heute werden Kunststoff-Fenster überwiegend industriell oder in spezialisierten Fertigungsbetrieben hergestellt und danach vom „Fensterbauer“, Schreiner oder Glaser nur noch eingesetzt. Im ersten Schritt auf diesem Weg wird dem Extruder das PVC-Granulat zugeführt und zu einer homogenen und gleichmäßig temperierten Schmelze gebracht. Die verflüssigte Masse, das Extrudat, wird unter hohem Druck und hoher Temperatur kontinuierlich durch eine formgebende Öffnung gepresst. Die frisch ausgestoßenen Endlos-Fensterprofile erhalten, im Wasserbad abgekühlt, ihre Formstabilität. Im selben Arbeitsgang können bereits Dichtungen eingebracht werden. In den nächsten Schritten werden die nötigen Luft- und Entwässerungsschlitze gefräst sowie alle zur Aufnahme der Beschläge nötigen Frä-



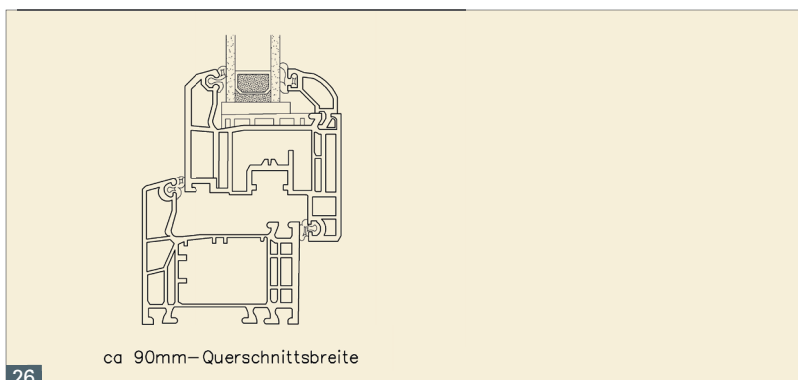
sungen und Bohrungen eingebracht und die Rahmen- und Flügelprofile nach den gewünschten Fenstermaßen zugeschnitten. Zur Verbesserung der Stabilität und der Verformungssicherheit können Stahl- oder Kunststoffprofile in Hohlkammern eingeschoben werden. Mehrfachschweißgeräte fügen die Ecken der auf Gehrung gesägten Profile dauerhaft zusammen. Nach Einbau des Glases und Fixierung der Beschläge ist das Fenster fertig. Dieser scheinbar simplen Automation liegt eine ausgeklügelte chemische und verfahrenstechnische Entwicklung zu Grunde.



## Entwicklung zum Passivhaus-Standard

Das Kunststoff-Fenster war zunächst wenig energieeffizient. Seine Einkammer-Hohlprofile erreichten für den Rahmen einen U-Wert von 2 bis 2,4 W/m<sup>2</sup>K. Erst als in den 1970er Jahren mit der Ölkrise auch die Energieeffizienz von Fenstern verbessert werden musste, entstanden Profile mit 3, dann 5 und inzwischen 7 Isolierkammern mit zusätzlichen Vorkammern zur Ableitung von anfallendem Wasser nach außen. Durch die Vielzahl an Luftkammern hat sich die Isolierleistung der Rahmenprofile auf U-Werte von 1,5 bis 1,9 W/m<sup>2</sup>K verbessert. Auch durch die Entwicklung im Bereich der Schweiß- und Fertigungsmaschinen entstanden Verbesserungen, die zu einer Beschleunigung der Herstellungsprozesse beitragen. Nach den frühen Einkopf-Schweißmaschinen sind z.B. heute Vierkopf-Geräte im Gebrauch, die in einem Arbeitsgang alle vier Ecken der Rahmen und Flügel gleichzeitig verschweißen.

Begleitet von Forschungsprojekten sind derzeit Fensterrahmen in der Erprobung, deren Profile nicht aus PVC, sondern ausschließlich aus Polyurethan (PU / PUR) bestehen. Dazu heißt es im Abschlussbericht „Hochwärmedämmende Fenster- und Fassadensysteme“, der vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) geförderten Studie: „Eine dünne Schicht aus formstabilem und wetterfestem Polyurethan-Vollmaterial umhüllt den Schaumkern. Auch bei Temperaturen um 80°C ist Polyurethan fest und wärmebeständig. Die Funktionshülle besitzt eine variable Wandstärke und sichert die mechanischen und statischen Eigenschaften des Rahmens. (...) Das neue Profil besteht somit aus einem einzigen Material



„an einem Stück“. Bei der späteren Entsorgung ergeben sich keine Probleme mit der Sortierung oder Verwertung. Das Gewicht des Sandwichaufbaus setzt sich zu 95% aus dem Hartschaumkern und zu 5% aus der Ummantelung zusammen. Bei dem beschriebenen Rahmen kann in vielen Fällen ohne Stahl- oder Aluminiumarmierung die nötige Stabilität erreicht werden. Auch daraus resultieren ein geringes Gewicht und niedrige Dämmwerte.“

Abb. 26  
Kunststoff-Fenster mit  
Passivhaus-Standard.

Die Glasscheibe dient bei diesem Fenstertyp als tragendes Element und muss daher mit dem Flügel verklebt werden. Solche Rahmensysteme könnten in Verbindung mit Vakuum-Isoliergläsern eine neue Entwicklung im energieeffizienten Fensterbau eröffnen.

Wie schon bei PVC so bleiben auch bei den Polyurethanen viele Fragen nach der Nachhaltigkeit und Zukunftsfähigkeit dieser Kunststoffe offen, angefangen bei der Gewinnung ihrer Ausgangsprodukte, ihrer Umweltverträglichkeit vom Herstellungsprozess über den Gebrauch bis zum Recycling oder ihrer Ökobilanz. Auch die ständig weiterentwickelten Verfahren ihrer „Veredelung“, etwa für den Brandschutz, lösen solche grundsätzlichen Fragen nicht.

# Kunststoff-Fenster und altbekannte Varianten

Bei den Herstellern von Kunststoff-Fenstern finden wir inzwischen eine breite Palette von Modellen mit zahlreichen materiellen, konstruktiven, funktionalen und formalen Varianten. Wie bei den Holzfenstern unterscheiden sie sich insbesondere in den Wärmedämmwerten der Rahmen und Verglasungen, in den Öffnungsarten und dem gewünschten Bedienungs-komfort sowie in ihrem Gestaltungsanspruch und ihrer Bauart mit zunehmend schlanker werdenden Profilen. Und es begegnen uns beim Kunststoff einige Sonderformen und -konstruktionen, die man schon länger im Holzfensterbau kennt.

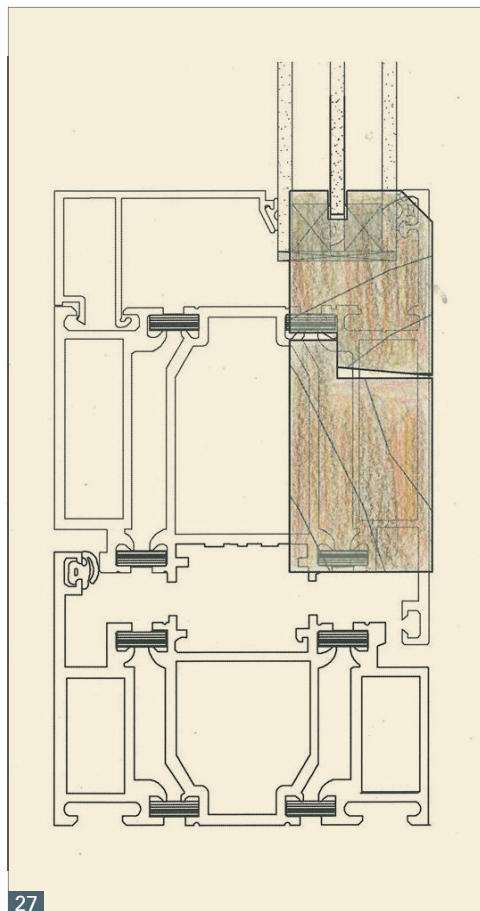
## Kunststoff-Alu-Fenster:

Analog zum Holz-Alufenster soll die hochwertige außenseitige Aluschale eine lange und pflegereduzierte Nutzungsdauer und Formstabilität gewährleisten sowie eine breite Palette an Farbgestaltung bieten. Es ist nicht bekannt, ob es wegen der unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten der Materialien zu Verformungen oder anderen Einschränkungen kommen kann.

Auch den bekannten Designer Luigi Colani hat es offenbar gereizt, einem Kunststoff-Fenster, genauer einem Kunststoff-Alu-Fenster, seinen Gestaltungstempel aufzudrücken. Das 2007 auf der Münchner Architekturmesse BAU präsentierte Modell erhielt mit seinen gerundeten Profilen eine aerodynamische Prägung, die Colanis Affinität zum Autobau verrät. Die Idee, dem außen sitzenden Aluminiumprofil am Fensterflügel die Funktion der Glashalteleiste zu übertragen, wird inzwischen auch bei neuesten Modellen von Kunststoff-Alu-Fenstern verwirklicht.

Das Model eines **stumpf einschlagenden Kunststoff-Alu-Fensters** versucht, diesen Bautyp weiter zu optimieren: Sehr schlanke Rahmen sorgen für 20 Prozent mehr Lichteinfall und verbessern die Energiebilanz. Glasfaser-verstärkte Profile verzichten auf Stahl, stattdessen werden Thermoschaumkerne in die Hohlkammern von Rahmen und Flügeln eingeschoben. Das Fenster ist innen stumpf einschlagend und außen glas- und rahmenbündig. Die Dreifach-Verglasung mit einem Ug-Wert von  $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  ergibt für das Fenster insgesamt einen Uw-Wert von  $0,67 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Abb. 27  
Schnittzeichnung eines flächenbündigen Kunststoff-Fensters mit Dreifach-Isolierverglasung. Braun hinterlegt: Detail von Fenstern vor 1700.





### Kunststoff-Verbundfenster:

Wie die seit dem späten 19. Jahrhundert bekannten Holz-Verbundfenster bestehen diese Fenster aus zwei Flügeln und mehreren Glasebenen. Vor Wind und Wetter geschützt, können zum Sonnen- und Sichtschutz Jalousetten im Scheibenzwischenraum eingebaut werden. Die Verbundflügel lassen sich zur Reinigung sowie zur Wartung der Jalousetten öffnen. Minimierte Profilbreiten erhöhen den Lichteinfall. Eine mögliche, vierfache Verglasung kann den  $U_w$ -Wert auf  $0,84 \text{ W/m}^2\text{K}$  senken, womit dieser Fenstertyp auch für den Niedrigenergiestandard in Frage kommt.

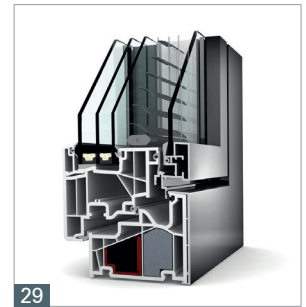


Abb. 28  
Wiesbaden Parkweg, Verbundfenster aus Kunststoff.

Abb. 29  
Technisch aufwändige Kunststoff-Fenster mit 4-fach Verglasung und dazwischen liegenden Jalousien.

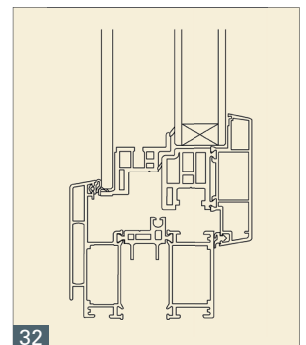
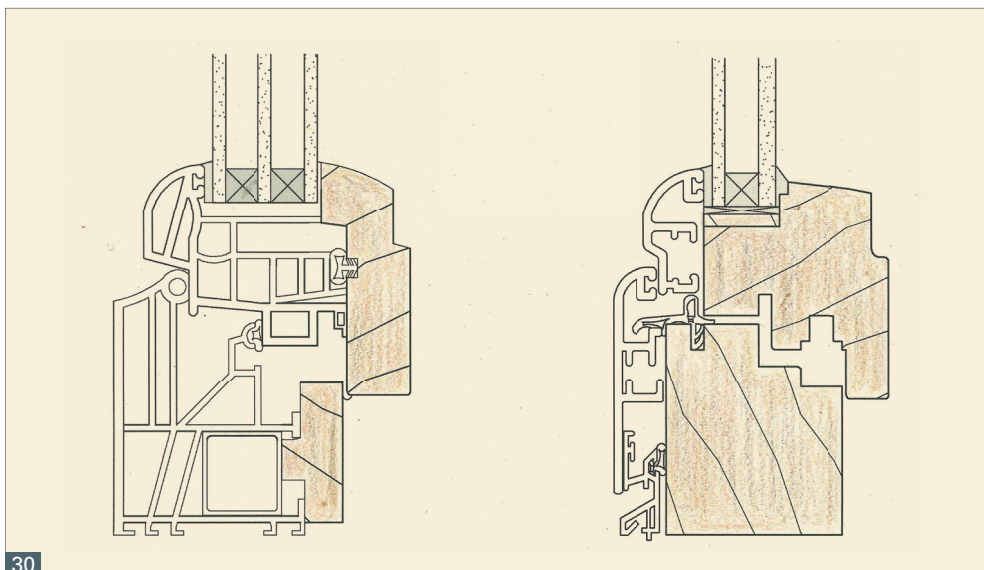
### Holz-Kunststoff-Fenster:

Ein weiteres in Materialmix hergestelltes Fenster ist das Holz-Kunststoff-Fenster. Raumseitig werden auf die Kunststoff-Profile Vollholzleisten oder -profile aufgesetzt. Dadurch sollen dem Nutzer die angenehmen haptischen Materialeigenschaften eines Holzfensters geboten werden. Außenseitig soll der Kunststoff eine lange Lebensdauer gewährleisten und die Wartungs- und Pflegekosten reduzieren.

Bei **rahmenfreien Konstruktionen** wird das Flügelprofil durch ein Stufenisoliertglas komplett überdeckt. So entsteht die aus dem Fassadenbau bekannte Ganzglasoptik. Diese Technik erlaubt die Herstellung von großdimensionierten Fenstern in Verbindung mit schmalen Rahmenkonstruktionen ohne Stahlverstärkung im Flügel sowie eine wärmetechnisch optimierte Position der Glasscheibe.

Abb. 30 und 31  
Varianten von Holz-Kunststoff-Fenstern.

Abb. 32  
Schnittzeichnung eines rahmenlosen Kunststoff-Fensters. Analog zu Holz-Aluminiumfenster werden auch Holz-Kunststoff-Fenster angeboten.



## Pflege und Nachhaltigkeit

Leichte Verschmutzungen sind bei Kunststoffen in der Regel kein Problem. Selbst Ölflecken oder Spuren anderer fetthaltiger Substanzen können mit warmem Wasser und etwas Spülmittel beseitigt werden. Aber auch Kunststoff-Fenster müssen regelmäßig gewartet und gereinigt werden, ebenso die eventuell vorhandenen äußeren Alu-Verkleidungen. Wenn der Kunststoff nach Jahren schmutzig oder nachgedunkelt aussieht, ist dies der Wirkung des Sonnenlichtes zuzuschreiben: Auf den exponierten Oberflächen werden hauchdünne Schichten des PVC's zersetzt; die dem Material beigegebenen, in die PVC-Masse eingebetteten Stabilisatoren und sonstigen Zuschlagstoffe bleiben als Belag zurück; der Kunststoff „verwittert“. Die Qualität des Kunststoffs ist daher für seine Haltbarkeit entscheidend. Der Glaube vieler Nutzer, Kunststoff-Fenster seien wartungs- und pflegefrei, macht aus Kunststoff-Fenstern im Laufe der Jahre unansehnliche Bauteile.

Nach einer Statistik des Verbandes Fenster + Fassade (VFF) haben Kunststoff-Fenster eine gleich lange Nutzungsdauer wie Holzfenster von rund 50 Jahren. Viele Fenster werden jedoch unabhängig von den verwendeten Materialien häufig schon nach 15 bis 20 Jahren durch energieoptimierte Produkte ersetzt. Deshalb erreichen heute neue Fenster nur selten ein mögliches, deutlich höheres Lebensalter. Sinnvoll wäre es daher, anstatt einer frühzeitigen Fenstererneuerung Systeme für ihre Nachrüstung und energetische Verbesserung zu konzipieren.

Eine ganz entscheidende Rolle spielt heute die Recyclingfähigkeit der aus wertvollen Rohstoffen kostenintensiv hergestellten Profile. Um Kunststoffe wieder verwenden zu können, müssen sie möglichst einfach von Beimengungen, statischen Komponenten und Verunreinigungen zu trennen sein. Diese entscheidende Vorgabe muss bereits in die Planung neuer Modelle einfließen.

## Bauzeitliche Kunststoff-Fenster im geschützten Bestand

Kunststoffe werden bisher im Vergleich zu den sogenannten natürlichen Stoffen als nicht besonders wertvoll, sondern als deren Ersatz angesehen. Seit dem Aufbruch in den 1950er Jahren, dem Wiederaufbau und dem sogenannten Wirtschaftswunder wurden sie zunächst zum Symbol für preisgünstigen Wohlstand und prägten z. B. mit etwa Nylonstrümpfen und Nylonhemden einen neuen Lebensstil. Die seit

den 1960er Jahren verstärkt auf den Markt drängende Kunststoff-Fenster verloren bald ihre optischen Qualitäten wie Glanz und Glätte und müssen wie Kunststoffe im Allgemeinen regelmäßig gereinigt werden. Um eine lange Haltbarkeit zu gewährleisten, müssen sie vor UV-Strahlung und Sauerstoff, der chemischen Luftverschmutzung, Bakterien, dem Tageslicht und schwankenden Temperaturen geschützt sein.

Zu hohe Temperaturen wirken destruktiv, zu niedrige Temperaturen verursachen Risse, zu viel feuchte Luft und schwankende Temperaturen beschleunigen die Degradation.

Für die Bewahrung von Kunstgegenständen aus Kunststoff gibt es mittlerweile auch von der EU subventionierte Projekte zur Untersuchung wie Kunststoffe altern, wie sie gereinigt und konserviert werden können. In Curricula der Hochschulen gehören heute Kunststoffe und deren Restaurierung selbstverständlich dazu. Wertvolle Gegenstände werden restauriert oder museal konserviert. Beispielhaft beschrieben ist dies z.B. in der von Dipl.-Rest. Margherita Minuzzi erstellten Restaurierungsdokumentation einer Cellulose Acetat Tasche von 1940, die aus den USA stammt und heute im Besitz des Kunststoff-Museums-Verein e.V. Düsseldorf ist. Neben den mechanischen Problemen stellt vor allem die generel-

le Konservierung des Kunststoffes eine große Herausforderung an Restauratoren und Konservatoren. Das Material gibt im Laufe der Alterung Weichmacher und Essigsäure ab; ein Prozess der derzeit noch nicht aufgehalten werden kann. Dies gilt ebenso für Kunststoff-Fenster.

Sie dominieren mittlerweile als industrielles Massenprodukt den europäischen Fenstermarkt. Trotz allem haben sie ein Imageproblem: Sie verlieren bald ihre optischen Qualitäten wie Glanz und Glätte, haben keine



Abb. 34 Rückansicht der CA-Tasche vor der Reinigung.

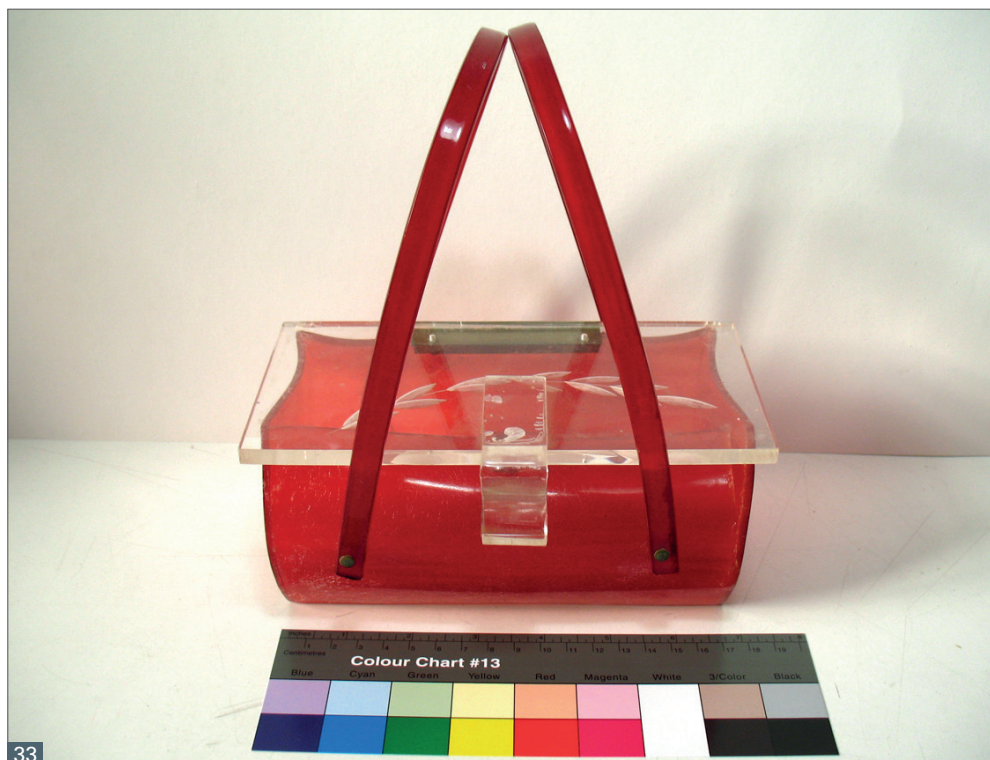
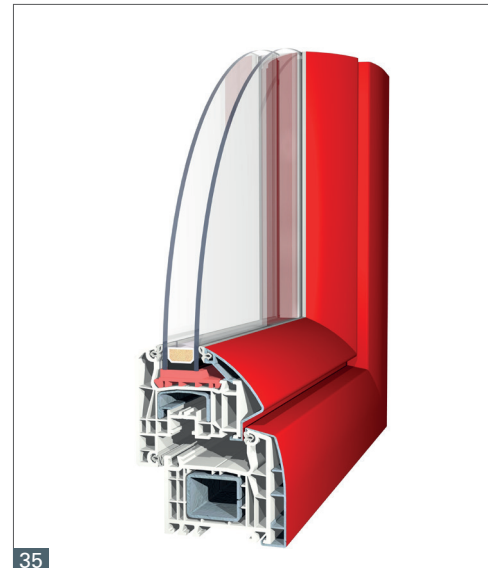


Abb. 33 Restaurierung des gelben Resopal-Geschirrs von Christian Dell.

Abb. 35  
Kunststoff-Alufenster des  
Industriedesigners Colani 2008.

ansehnliche Alterung und entwickeln keine schützenswerte Patina. Kunststoff-Fenster kommen gerne dann zum Einsatz, wenn die Kosten und ein pragmatischer Umgang mit dem Bauelement im Vordergrund stehen. Auch die leidige Diskussion, ob Kunststoff-Fenster in Baudenkmalen verbaut werden dürfen, hat dem Image dieser Fenster geschadet. Es bleibt jedem Bauherrn unbenommen, sich im nicht geschützten Gebäudebestand und erst recht im Neubau für das Kunststoff-Fenster zu entscheiden. Dazu stehen anspruchsvolle Fenstermodelle zur Verfügung. Bei all den Baudenkmalen, die noch in der „Holzfenster-Zeit“ gebaut wurden, können Kunststoff-Fenster jedoch die Anforderungen an Materialgerechtigkeit, Werk- und Formgerechtigkeit nicht erfüllen (exemplarisch dargelegt im „Fensterurteil“ des Bayerischen Verwaltungsgerichtshofs vom 9. August 1996). An dieser denkmalfachlich eindeutigen und denkmalrechtlich überprüften Einschätzung wird sich auch in Zukunft selbst bei allen formalen Anpassungen neuer Kunststoff-Modelle nichts ändern.

Die geschichtlichen Epochen der Menschheit sind immer sehr eng mit den zur Verfügung stehenden und eingesetzten Werkstoffen verbunden. Dies war in der Vergangenheit nicht anders als heute und wir sind unübersehbar in der Kunststoffzeit – auch als „Plasticaeum“ bekannt – angekommen. Kunststoffe / Plastik sind aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Vor rund 100 Jahren begann der Siegeszug. Heute verbraucht jeder Europäer ca. 100 kg per anno. 1930 lag die Kunststoffherzeugung bei 100 000t, 1957 bei 700 000t und ist bis heute auf über 20 Mio. t angestiegen und es gibt mehre-



re Tausend Handelsnamen für Kunststoffe. (Vergl. Kleine Geschichte der Kunststoffe, München 2013)

Angesichts endlicher Ressourcen, bedenklicher Begleiterscheinungen und noch kaum abschätzbarer Umweltprobleme wissen wir freilich nicht, wie lange der Einsatz und der ungebremste Gebrauch dieser Kunststoff-Vielfalt anhalten werden. Bauelemente aus Kunststoffen gehören zweifellos bei zahllosen Bauwerken der letzten Jahrzehnte zum authentischen, bauzeitlichen Bestand. Da auch diese Architekturgeneration Bemerkens- und Schützenswertes hervor gebracht hat, wird sich die Denkmalpflege schon recht bald mit Fenstern, Platten, Dämm- und Dichtstoffen oder gar komplexen Fassadenkonstruktionen aus Kunststoffen beschäftigen müssen, um Konzepte für deren Konservierung und Restaurierung zu erproben - eine anspruchsvolle Herausforderung.

Hermann Klos  
Neckartal 159  
D-78628 Rottweil



## Glossar

**Extruder / Extrusion / Extrudat** (lat. extrudere, engl. to extrude = ausstoßen); Extruder sind industrielle Werkzeuge zur Herstellung unterschiedlicher Endlos-Profile insbesondere aus Kunststoffen. Das Rohmaterial (Extrudat), für Fenster vor allem das PVC, wird erhitzt, homogenisiert, unter Druck gleichmäßig durch eine formgebenden Öffnung gepresst und danach formbeständig abgekühlt. Das weitgehend automatisierte Verfahren bezeichnet man als Extrusion. Sonderformen des Verfahrens sind die **Querkopfextrusion** zur Integration / Umhüllung anderer Materialien oder die **Coextrusion** zur Verarbeitung von Rohmaterialien unterschiedlicher Eigenschaften in einem Arbeitsgang.

**Schmelzviskosität** Hier die Fließfähigkeit des zur Schmelze gebrachten Kunststoffes.

**Polyvinylchlorid, PVC** Äußerst widerstandsfähiger, thermoplastischer Kunststoff; wird bei Temperaturen von 160 bis 200°C verarbeitet; man unterscheidet zwischen PVC-U (Hart-PVC, Verwendung u.a. für Bau- und Fensterprofile) und PVC-P (Weich-PVC, Verwendung u.a. für Bodenbeläge oder Folien); die Zugabe von Weichmacher, Stabilisatoren und Modifier (Umwandler) verbessern den Herstellungsprozess, die Gebrauchsfähigkeit und das Aussehen.

**Polyurethane, PU/PUR** Meist aus petrochemischen Rohstoffen hergestellte Kunststoffe oder Kunstharze; im Bausektor vor allem zum Kleben und Beschichten sowie aufgeschäumt als harter Dämmstoff oder Montageschaum im Gebrauch.

**Schlagzähigkeit** Die Eigenschaft eines Werkstoffes, Stöße oder Schläge abzufangen, ohne zu brechen.

**Wärmedämmwert, U-Wert** (Maßeinheit  $W/m^2K$  = Watt pro Quadratmeter und Kelvin); Maß für den Wärmestromdurchgang durch ein- oder mehrlagige Materialschichten, wenn auf beiden Seiten verschiedene Temperaturen herrschen. Je höher der Wärmedämmwert, desto schlechter die Wärmedämmeigenschaft; U-Werte für Fenster mit herkömmlicher Iso-Verglasung ca. 2,8, mit Wärmeschutzverglasung ca. 1,3, mit Passivhausstandard 0,5 bis 0,8; ( $U_g$  = Kennwert für das Fensterglas,  $U_w$  = Kennwert für die gesamte Fenstereinheit).

**Low-E-Glas** Low-Emissivity = niedrige Wärmeabstrahlung; heute standardmäßig eingesetztes Isolierglas mit einer hauchdünnen Metallschicht, die den Emissionsgrad der Verglasung reduziert und als Wärme- und / oder Sonnenschutzschicht dient.

**Vakuumisolierglas (VIG)** Besitzt sehr gute Dämmwerte, geringe Abmessungen (weniger als 10 mm dick) und geringes Gewicht; verdankt seine Eigenschaften dem Evakuieren des Scheibenzwischenraumes und der funktionalen Beschichtungen der Glasoberfläche zur Steuerung der Solar- und Infrarotstrahlung. Die Wirkung des Unterdrucks auf die Scheiben wird durch kaum sichtbare Glasstützen im Scheibenzwischenraum kompensiert.

## Literatur und Quellen

Barth, Eugen; Hundertmark, Günther; Keller, Edwin: Kunststoff-Fenster im Profil. Ein Überblick über die Entwicklung von Kunststoff-Fenstern. Sonderdruck aus: Kunststoff, Heft 1/1995

Genzel, Elke; Voigt, Pamela: Kunststoffbauten – Teil 1: Die Pioniere. Bauhaus-Universitätsverlag, Weimar 2005.

Glaser, Siegfried (Projektkoordinator): Hochwärmedämmende Fenster- und Fassadensysteme (HWFF), Abschlussbericht. Beverungen, Dezember 2011. [www.hwff.info/pdf/HWFF\\_AB\\_final.pdf](http://www.hwff.info/pdf/HWFF_AB_final.pdf) Stand: 21.08.2014

Hopfner, Karin; Simon-Philipp, Christina; Wolf, Claus (Hrsg.): größer höher dichter. Wohnen in Siedlungen der 1960er und 1970er Jahre in der Region Stuttgart, Stuttgart / Zürich 2012.

Reichstadt, Hans Udo: Kunststoff-Fenster: Bieter Bewertung. Worauf man achten sollte. Schorndorf 1995.

Restauratorin im Handwerk. Die Fachzeitschrift für die Restaurierungspraxis. Heft 2/2013. Themenschwerpunkt: Künstliche Baustoffe und KUNST-Stoffe im Bauwesen; mit Beiträgen von Johannes Weber, Hartwig Schmidt, Gottfried Hauff et al.

Tauss, Silvia: Problematik der Erhaltung von Linoleumbelägen in situ – Am Beispiel Warenhaus „Cheesmeyer“ in Sissach, Diplomarbeit, Bern 2007

MUSIT - Museum für Stadt- und Industriegeschichte in Troisdorf; Verein Kunststoff-Museum Troisdorf (Museumsverein) e.V.; Homepage des Museumsvereins: [www.kunststoff-museum.de](http://www.kunststoff-museum.de); in der digitalen „Bibliothek“ sind zahlreiche Textdokumente und Abbildungen zur Entwicklungsgeschichte der Kunststoff-Profile und -Fenster abrufbar.

Kunststoff-Museums-Verein e.V., KMV; die umfangreiche Sammlung umfasst überwiegend Gebrauchs- und Haushaltsgegenstände aus Kunststoffen; [www.deutsches-kunststoff-museum.de](http://www.deutsches-kunststoff-museum.de)

Das „Fensterurteil“ des Bayerischen Verwaltungsgerichtshofs vom 9. August 1996, Az.: 2 B 94 3022 und nachfolgende Rechtsprechung: Grundsätze der Materialgerechtigkeit, der Werkgerechtigkeit und der Formgerechtigkeit bei denkmalfachlichen Entscheidungen.

Diebold, Klaus. Plastverarbeiter, der Fortschritt ist eine Schnecke, Nürnberg

Braun, Dietrich: Kleine Geschichte der Kunststoffe, Carl Hanser Verlag, München 2013

Waentig, Friederike: Kunststoffe in der Kunst, Michael Imhof Verlag, Petersberg 2008



# Verzeichnis der Abbildungen

- | Abb.      | Quelle / Fotograf  |
|-----------|--|
| Abb.2     | Deutsches Kunststoff-Museum,<br>Stockumer Kirchstraße 61, 40474 Düsseldorf   |
| Abb. 3    | Kunststoff-Fenster,<br>Hans Udo Reichstadt Verlag Karl Hoffmann Schorndorf 1995  |
| Abb. 4-7  | Genzel, Elke; Voigt, Pamela: Kunststoffbauten –<br>Teil 1: Die Pioniere. Bauhaus-Universitätsverlag, Weimar 2005.  |
| Abb. 9    | <a href="http://www.kunststoffbauten.de">www.kunststoffbauten.de</a> Fa. Fiber Tech Chemnitz   |
| Abb. 16   | Wacker, Fest- und Flüssigsilikonkautschuk – der Leitfaden für die Praxis<br><a href="http://www.wacker.com/cms/media/publications/downloads/6709_DE.pdf">www.wacker.com/cms/media/publications/downloads/6709_DE.pdf</a>   |
| Abb. 24   | <a href="http://wikipedia.org/wiki/kalander">wikipedia.org/wiki/kalander</a>   |
| Seite 24a | Braun, Dietrich: Kleine Geschichte der Kunststoffe,<br>Carl Hanser Verlag München 2013 Seite 36  |
| Seite 25  | Waentig, Friederike, Kunststoffe in der Kunst,<br>Michael Imhof Verlag Petersburg 2008 Seite 139   |
| Seite 26  | Waentig, Friederike, Kunststoffe in der Kunst,<br>Michael Imhof Verlag Petersburg 2008 Seite 140   |
| Seite 34  | e-plastory, Zeitschrift für Kunstgeschichte <a href="http://www.dg-kunststoffgeschichte.de/e-plastory">www.dg-kunststoffgeschichte.de/e-plastory</a> . Dokumentation Restaurierung einer<br>Celluloseacetat-Tasche Margherita Minuzzy, Dipl. Rest.<br>Dokumentation Nr. 0001, 08.03.2010 |
| Seite 35  | Christian Dell, e-plastory 2013, Nr. 1   |

Alle übrigen Abbildungen: Vom Verfasser

# Holzmanufaktur



Rottweil

Holzmanufaktur  
Rottweil GmbH

Hermann Klos  
Günther Seitz

Jakobskirche  
Neckartal 159  
78628 Rottweil

[info@homa-rw.de](mailto:info@homa-rw.de)  
[www.homa-rw.de](http://www.homa-rw.de)