

SICHERHEIT KOMMT MIT TROSIFOL – TROISDORFER SICHERHEITSGLAS-FOLIE AUS PVB

Zeitgeschichtliche Betrachtung bis zum heutigen Verbund- Sicherheitsglas

Für den Verbraucher der Gegenwart ist es eine Selbstverständlichkeit, daß Verglasungen dort, wo ein Sicherheitsbedürfnis besteht, sei es im Fahrzeugbereich oder im Bausektor, aus Sicherheitsglas bestehen. Das Verbund-Sicherheitsglas nimmt unter den Sicherheitsgläsern eine besondere Stellung ein und unterscheidet sich vom Einscheiben-Sicherheitsglas durch seinen Schichtenaufbau: zwei Glasscheiben und eine Zwischenschicht aus organischem Material. Die Entwicklung geeigneter Zwischenschichten geht auf den Beginn dieses Jahrhunderts zurück, das erste Patent stammt aus dem Jahre 1905. Es beschreibt eine Folie aus Cellulosenitrat, das einzige damals zur Verfügung stehende durchsichtige, farblose, biegsame und genügend feste Material, dessen Haftung am Glas mit Kanadabalsam erzielt wurde.

Ab 1910 wurde ein vereinfachtes Verfahren angewendet, in dem eine Cellulosenitratfolie in Aceton getaucht und zwischen zwei Glasplatten verpreßt wurde. Später ersetzte man das Aceton durch Gelatine. Bis zum Jahre 1935 war Cellulosenitrat, bei allen Nachteilen aus heutiger Sicht, das einzige Zwischenschichtmaterial in Verbundscheiben. Celluloseacetat löste Cellulosenitrat wegen seiner guten Lichtbeständigkeit und ausgezeichneten Durchsichtigkeit ab, man war aber auch bei diesem Produkt auf die Verwendung besonderer Haftmittel angewiesen.

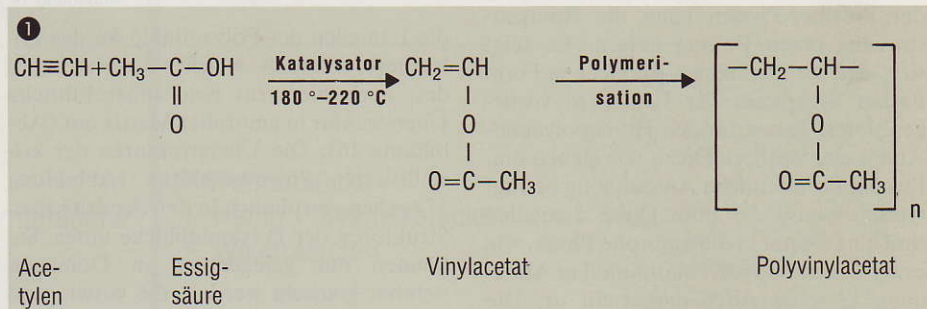
In den Jahren 1936/37 wurden die Hersteller von Sicherheitsglas in den USA auf Polyvinylbutyral (PVB) aufmerksam und die Produktion dieses Materials überschritt bereits im Jahre 1940 die Grenze von 3 000 Tonnen pro Jahr. Im Zweiten Weltkrieg erfuhr es weitere produktions- und anwendungstechnische Entwicklungen, insbesondere im Flugzeugbau. 1950 schrieb die American Standards Association die Verwendung von Einscheiben- bzw. Verbund-Sicherheitsglas an bestimmten Stellen im Auto vor, 1958 erreichte der Verbrauch an PVB in USA 6 000 Tonnen pro Jahr.

Bei der Hüls Troisdorf AG (damals: Dynamit Nobel AG) wurde bis in die 50er Jahre eine Celluloseacetatfolie hergestellt, die unter dem Handelsnamen „Cellon Z 44“ zur Herstellung von Verbundglas vertrieben wurde. Parallel dazu begannen etwa 1953 die ersten Arbeiten mit PVB. Der heutige TROSIFOL-Anteil am Markt

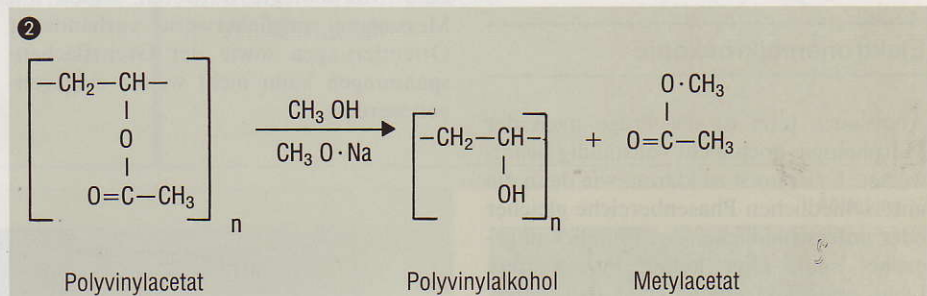
basiert auf der Erarbeitung von eigenem Know-how.

Herstellung von Polyvinylbutyral (PVB)-Harz und PVB-Folie

Polyvinylbutyral entsteht in einem dreistufigen Prozeß über Polyvinylacetat und Polyvinylalkohol, ausgehend von Acetylen und Essigsäure für die Herstellung von Vinylacetat als Monomer (Formel 1).



Da monomeres Vinylalkohol als freie Verbindung unbeständig ist und nicht zur Polymerisation zur Verfügung steht, erfolgt eine polymeranaloge Umsetzung des Polyvinylacetats durch Verseifung in Gegenwart von Methanol zu Polyvinylalkohol (Formel 2):



Durch Acetalisierung des Polyvinylalkohols mit Butyraldehyd in saurem Medium entsteht Polyvinylbutyral (Formel 3):

Die Verwendung von PVB-Harz in Zwischenschichten von Verbund-Sicherheitsglas ist mit seiner chemischen Zusammensetzung, insbesondere mit der Anzahl der freien Hydroxylgruppen an der Polymerkette, eng verbunden. Varianten des PVB-Harzes werden durch die Wahl des Molekulargewichts vom Ausgangs-Polyvinylacetat, durch den Grad der Hydrolyse zu Polyvinylalkohol und durch die Menge des für die Acetalisierung eingesetzten Butyraldehyds, erzielt. Dementsprechend kann PVB auch als ein Terpolymere aus Vinylacetat, Vinylalkohol und Vinylbutyral aufgefaßt werden (Formel 4):

Man unterscheidet zwei Anwendungsbereiche für PVB-Harz, für die Herstellung von Lacken und von Folien. Letztere Typen haben ein hohes Molekulargewicht und einen Anteil von 17 bis 23 Prozent Polyvinylalkohol, bei einem Vinylacetatanteil von weniger als zwei Prozent.

PVB-Harz ist ein weißes Pulver, das, in Folienform gebracht, steif ist und keine ausreichende Elastizität für die Verwendung als Sicherheitsglasfolie hat. Die Verträglichkeit mit Weichmachern wird durch den Anteil an freien Hydroxylgruppen und

Feuchtigkeit bestimmt. Geeignete Weichmacher sind zum Beispiel Ester des Polyethylenglykols, Phthalsäureester, Phosphorsäureester, Adipinsäureester. Art und Menge bestimmen die Eigenschaften der Folie. Die für den Verwendungszweck wichtigsten sind die mechanischen Eigen-

schaften, die Kältebruchtemperatur, die Wasseraufnahmefähigkeit und die Haftfestigkeit auf Glas. Breite Verwendung haben Ester des Triäthylenglykols mit aliphatischen Carbonsäuren aus sechs bis acht C-Atomen gefunden. Mit ihnen erreicht man ein Produkt sehr hoher Elastizität (Foto 1).

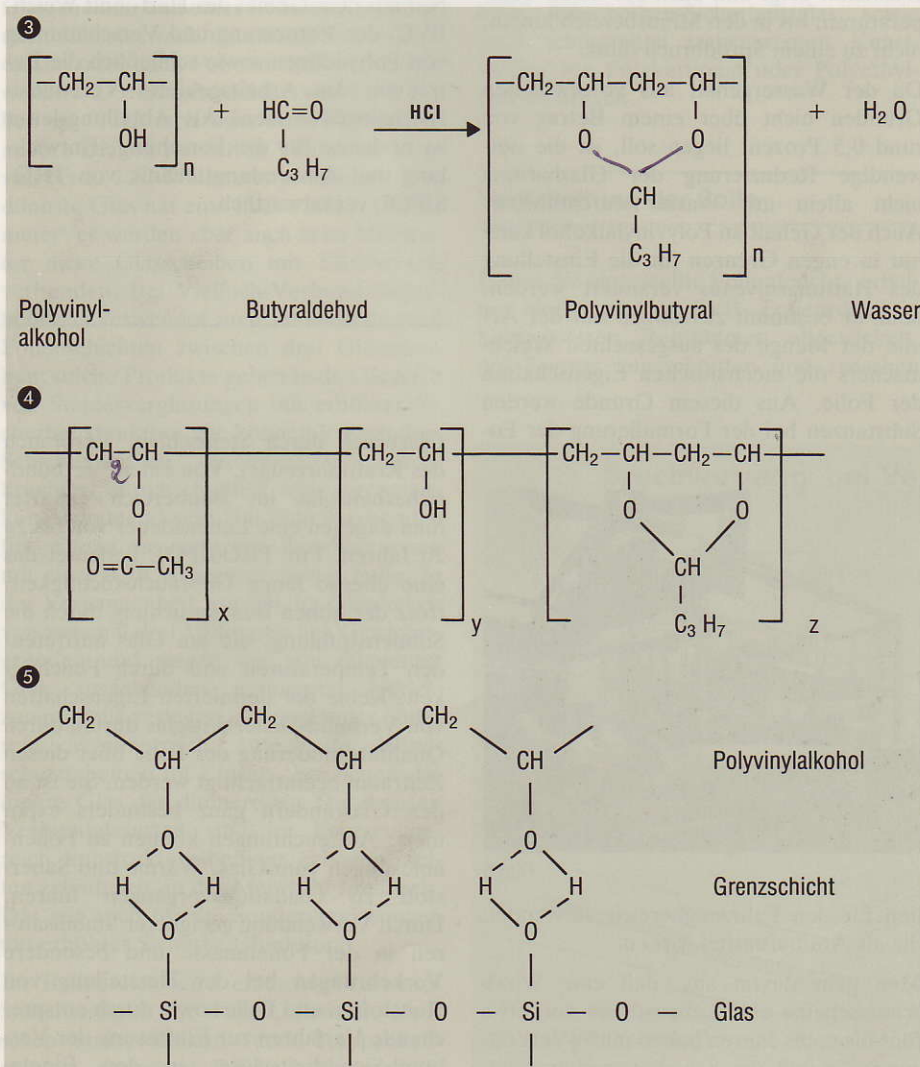
Die Einarbeitung des Weichmachers muß so erfolgen, daß er von jedem Harzteilchen gleichmäßig aufgenommen wird, da Materialinhomogenitäten nicht nur die mechanischen Eigenschaften schwächen, sondern auch Bildverzerrungen hervorrufen würden. Dazu werden Bedingungen gewählt, die neben dem Mischen eine Beschleunigung des Geliervorgangs bewirken. Nach dem Mischen erfolgt die Extruh-

sion durch eine Breitschlitzdüse, wobei auf äußerst präzise Dickenkonstanz über die Länge und Breite der Folienbahn zu achten ist. Die Gesamttoleranz von 0,02 Millimeter bezieht sich auf die Nenndicke. Darüber hinaus sind plötzliche Verdickungen nicht tragbar, da kurzweilige Unebenheiten von 0,02 Millimeter bei der Herstellung von Verbundglas wiederum zu Bildverzerrungen und zu Luft einschließen führen können. Daher ist das technologische Verfahren bei der Formgebung der Folie sowohl in Bezug auf die Toleranzen als auch in Bezug auf Verunreinigungen sehr diffizil, mangelnde Beherrschung kann zu hohen Ausschußraten führen. Etwa vorhandene Fehler werden oft erst in der Verbundglasscheibe festgestellt, da die Folie nach dem Verlassen der Anlage nur durchscheinend ist und sich deshalb einer optischen Kontrolle entzieht.

Eine vollkommen glatte PVB-Folie neigt immer dazu, an anderen Flächen zu kleben, das heißt auch auf sich selbst. Ein



Foto 1



Wickeln zu einer Rolle ist in dieser Form nicht möglich, ebenso nicht das Verschieben auf Glas und damit auch nicht eine einwandfreie lagerichtige Einpassung im Verbundglas. Diese Schwierigkeit wird dadurch beseitigt, daß man der Folie während der Formgebungsphase eine Oberflächenrauigkeit verleiht. Wegen dieser Rauigkeit ist PVB-Folie des Handels durchscheinend bis opak (Foto 2). Die Durchsichtigkeit wird erst bei der Verbundglasproduktion wiederhergestellt.

Bei dem Formgebungsverfahren der Folie muß die Entstehung von inneren Spannungen verhindert werden, die über kurz oder lang nachlassen und zu Schrumpfungen führen würden. TROSIFOL durchläuft daher eine Relaxierzone um zu verhindern, daß Abschnitte aus der Folienbahn beim Verarbeiten zu Verbundglas zu kurz werden. Auch beim Wickeln der Rolle ist dafür zu sorgen, daß die Wickelspannung möglichst gering gehalten wird (Foto 3).

Eigenschaften von TROSIFOL und Anwendungsbereiche

Die Glashaftung von TROSIFOL wird durch die Ausbildung von Wasserstoffbrücken zwischen den hydrophilen Gruppen der Glasoberfläche und denen des Polymeren bestimmt (Formel 5):

Neben dem Gehalt an Polyvinylalkohol im Polymermolekül spielt demzufolge Wasser eine bedeutende Rolle bei der Erlangung

der notwendigen Glashaftung. Eine PVB-Folie darf daher einen bestimmten Wassergehalt nicht überschreiten. Bei der heutigen Lieferform muß der Hersteller dafür sorgen, daß der Wassergehalt etwa bei 0,5 Prozent liegt. Er entspricht einer Trocknung in einem Klima von etwa 26 Prozent relativer Luftfeuchtigkeit. Die Wasseraufnahme in gewöhnlichen Arbeitsräumen mit 55 bis 65 Prozent relativer Luftfeuchtigkeit (je nach Wetterlage) geht sehr rasch vor sich und erreicht einen Gehalt von 1,0 bis 1,4 Prozent. Höhere Wasserge-

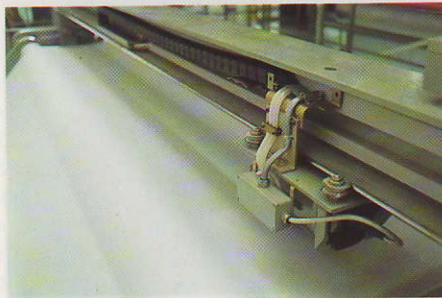


Foto 2

halte zeigen sich bereits äußerlich; PVB-Folie wird dann weiß. Wasser spielt nicht nur bezüglich der Haftung eine große Rolle. Bei zu hohem Wassergehalt besteht große Gefahr, daß sich Blasen im Verbundglas bilden, entweder direkt nach dessen Herstellung oder später bei Temperaturwechseln in der Anwendung.

Es werden infolge der Anwendung im Bau- und Fahrzeugbereich zwei Qualitäten gefordert, die sich in der Glashaftung voneinander unterscheiden. Für den Baubereich benötigt man eine hohe Haftung, wogegen für die Herstellung von Fahrzeuggläsern (Windschutzscheiben) eine kontrolliert reduzierte Haftung gefordert wird. Sie ergibt sich aus dem Bruchverhalten von Verbund-Sicherheitsglas im Stoßversuch und ist eine Folge der Anforderungen an eine Windschutzscheibe:

- keine verletzenden Glassplitter bei Bruch,
- keine Durchdringung beim Aufschlag,

das heißt, die Haftung darf nur soweit reduziert sein, daß das Produkt noch ein Sicherheitsglas ist. Der Fahrer braucht keine Sorgen zu haben, daß seine Sicht nach vorne wesentlich beeinträchtigt wird, daß ein Stein durch die Windschutzscheibe schlagen kann, daß er auf der Fahrt zur Werkstatt wie beim Einscheiben-Sicherheitsglas Wind und Wetter ausgesetzt ist und daß ihm Glassplitter entgegenkommen. Beim Aufschlag eines Stoßkörpers brechen meistens beide Glasscheiben und es bildet sich ein Bruchbild, das einem Spinnennetz entspricht, mit vielen konzentrischen Kreisbrüchen um den Aufschlags-

mittelpunkt und radialen Brüchen vom Aufschlagmittelpunkt aus in die Fläche der Scheibe hinein (Foto 4). Dadurch bilden sich kleine Glasstücke, die noch auf TROSIFOL haften müssen und von denen nur eine geringe Verletzungsgefahr (meist Schürfwunden) ausgeht. Je nach der Aufschlagsweise wird sich Verbund-Sicherheitsglas ausbeulen, gegebenenfalls wird sich eine Art Sack bilden (Fotos 5 + 6).

Dieses Verhalten des Verbund-Sicherheitsglases stellt sich ein, wenn TROSIFOL durch die scharfen Glaskanten nicht abgeschert und zerschnitten wird, sondern wenn sie durch die erniedrigte Haftung Gelegenheit hat, sich vom Glas partiell zu lösen. Dadurch kann sie sich aufgrund ihrer Elastizität dehnen; das Verbund-Sicherheitsglas erfährt in gewissen Grenzen eine elastische Verformung (Abbildung 1).

Dieser Vorgang erklärt auch die Forderung, daß TROSIFOL zur Herstellung von Verbund-Sicherheitsglas in einem größeren Temperaturbereich die notwendige Elastizität zeigt und auch bei tiefen Temperaturen, bis in den Minusbereich hinein, nicht zu einem Spröbruch führt.

Da der Wassergehalt aus vorerwähnten Gründen nicht über einem Betrag von rund 0,5 Prozent liegen soll, ist die notwendige Reduzierung der Glashaftung nicht allein mit Wasser durchführbar. Auch der Gehalt an Polyvinylalkohol kann nur in engen Grenzen für die Einstellung des Haftungsniveaus verändert werden, denn er bestimmt zusammen mit der Art und der Menge des ausgesuchten Weichmachers die mechanischen Eigenschaften der Folie. Aus diesem Grunde werden Substanzen bei der Formulierung der Fo-



Foto 3

lien für den Fahrzeugbereich verwendet, die als Antihafmittel wirken.

Man geht davon aus, daß eine Windschutzscheibe eine Lebensdauer von etwa fünf bis sechs Jahren haben muß (Verkratzungen durch die Scheibenwischerarbeit,



Dr. rer. nat. Rolf Beckmann wurde 1930 in Dortmund geboren. Nach dem Schulbesuch studierte er von 1950 bis 1955 Chemie in Köln und Aachen. Die Promotion erfolgte 1960 in Aachen mit Arbeiten über die Entmischung von wäßrigen, elektrolythaltigen Polymethacrylsäurelösungen. 1961 trat Beckmann in die heutige Hüls Troisdorf AG ein und übernahm als Entwicklungs-Chemiker verschiedene Aufgaben aus dem Gebiet des Hart- und Weich-PVC, der Vernetzung und Verschäumung von Polyolefinen sowie schließlich die Betreuung des Arbeitsgebietes Verbund-Sicherheitsglas-Folien. Als Abteilungsleiter ist er heute für die Forschung, Entwicklung und Anwendungstechnik von TROSIFOL verantwortlich.

Glasbruch durch Steinschlag, Verbrauch des Kraftfahrzeugs). Von einem Verbund-Sicherheitsglas im Baubereich erwartet man dagegen eine Lebensdauer von bis zu 20 Jahren. Für TROSIFOL bedeutet das eine ebenso lange Gebrauchstüchtigkeit, trotz der hohen Beanspruchung durch die Sonnenstrahlung, die am Glas auftretenden Temperaturen und durch Feuchtigkeit. Keine der definierten Eigenschaften von Verbund-Sicherheitsglas dürfen durch Qualitätsminderung der Folie über diesen Zeitraum beeinträchtigt werden. Sie ist an den Glasrändern ganz besonders exponiert, Aufwechungen können zu Folienablösungen vom Glas, Wärme und Sauerstoff zu Oxidationsvorgängen führen. Durch Verwendung geeigneter Stabilisatoren in der Folienmasse und besondere Vorkehrungen bei der Herstellung von Rohstoffen und Folie sowie durch entsprechende Verfahren zur Einfassung der Verbund-Sicherheitsgläser in den Eingla-



Foto 4

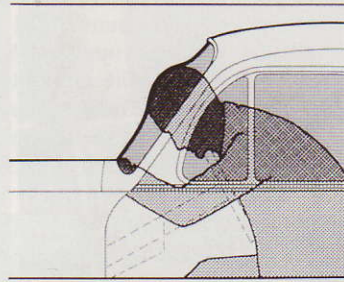


Foto 5

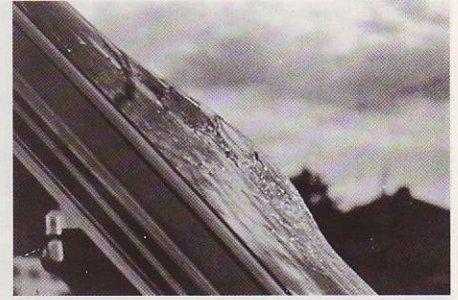


Foto 6

sungsrahmen können diese Forderungen erfüllt werden.

Es versteht sich von selbst, daß die optischen Eigenschaften von TROSIFOL denen von Glas gleich- oder nahekommen. Der Brechungsindex weicht nur sehr wenig ab, die Trübung ist kaum meßbar und die Lichtdurchlässigkeit von Verbund-Sicherheitsglas entspricht derjenigen von Glas.

Die Anwendungen von TROSIFOL bei der Verbundglasherstellung gehen von dem einfachen Schichtenaufbau aus zwei Glasscheiben und einer Folie aus, wobei je nach Einsatzzweck unterschiedliche Glasdicken oder auch Foliendicken verwendet werden. Die Standarddicke von PVB-Folien ist 0,015 inch oder 0,38 Millimeter, andere Dicken werden in Vielfachen hiervon bis zu 1,52 Millimeter produziert. Das dünnste Glas hat eine Dicke von 1,2 Millimeter; es werden aber auch zehn Millimeter dicke Glasscheiben mit TROSIFOL verbunden. Bei Vielfach-Verbund-Sicherheitsglas verwendet man mindestens zwei Folienschichten zwischen drei Glasscheiben; solche Produkte gehen in den Bereich von Sonderverglasungen mit erhöhter Sicherheitsfunktion. Sie können je nach dem Schichtenaufbau durchwurfstest, durchbruchfest, durchschußfest oder sprengwirkungshemmend sein. Im Fahrzeugbereich findet man die einfachen Kombinationen mit einer 0,76 Millimeter dicken Folie. In der Vergangenheit wurden die Glasdicken von zweimal drei Millimeter aus Gewichtsgründen und wegen der von dünnerem Glas ausgehenden geringeren Verletzungsgefahr verringert. Es sind unter anderem asymmetrisch aufgebaute Windschutzscheiben im Einsatz, bei denen das innere Glas das dünnere ist. Die meisten Verbundglasarten sind im Fahrzeugbereich konstruktionsbedingt gebogen, selten zylindrisch, in der Mehrzahl sphärisch. Das gilt auch für die Sonderverglasungen mit erhöhter Sicherheitsfunktion.

Im Baubereich wird einfaches Verbund-Sicherheitsglas für Türen, Fenster, Zwischenwände, Balkon- und Treppenbrüstungen eingesetzt. Vielfach-Verbund-Si-

cherheitsgläser dienen dem Personen- und Sachschutz in Banken, Postgebäuden, Polizeistationen, Behörden, Ministerien, Pförtnerlogen, Rechenzentren, militärischen Anlagen, Flugleitzentralen, psychiatrischen Kliniken, Juwelier- und Pelzgeschäften, Zoologischen Gärten, Aquarien und anderen. Sonderausführungen von Verbund-Sicherheitsglas sind Einbettungen von Stahlfäden, Alarmdrähten, Heizdrähten oder auch photovoltaischen Solargeneratoren, ferner mit farbigen Folien, UV-absorbierender/IR-reflektierender Wirkung, Kombinationen mit Isolierglas oder Einscheiben-Sicherheitsglas sowie auch schlagzäh transparenten Kunststoffen wie Polycarbonat oder Polyethylenterephthalat.

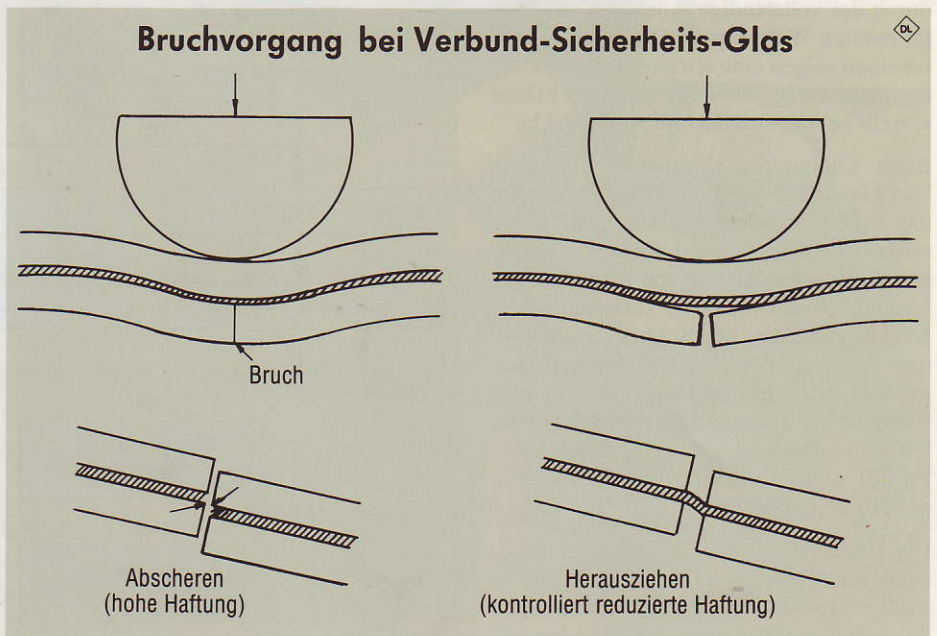
Verarbeitung der Folie

Damit die eingestellte Folieneuchte erhalten bleibt, werden PVB-Folienrollen in klimatisierten Reinnräumen abgewickelt, auf Format zugeschnitten und zwischen

die planen oder gebogenen Glasscheiben völlig faltenfrei verlegt. Dazu läßt man zur Erkennung von Fehlern oder Verunreinigungen ein Transportband über einer von ~~über einer von~~ unten beleuchteten Milchglasscheibe laufen. Die Oberflächenrauigkeit der Folie erleichtert die Positionierung der Folienabschnitte zwischen den Glasscheiben. Der überstehende Folienrand der Zuschnitte wird mit einem scharfen Messer oder mit einer Rasierklinge möglichst derart abgetrennt, daß ein schmaler Rand von etwa 0,5 Zentimeter übersteht, aus dem sich im späteren Verarbeitungsprozeß ein geschmolzener Folienwulst zum Schutz der Kanten des Verbund-Sicherheitsglases bildet. Der Verbundprozeß erfolgt in zwei Stufen, der sogenannten Vorverbundherstellung und der Endverbundherstellung in einem Autoklav (Abbildung 2).

In der ersten Stufe wird vor allem dafür gesorgt, daß die in den Grenzschichten befindliche Luft aus der Fläche ausgetrieben wird. Die Oberflächenrauigkeit gestattet die Bildung von Kanälen für den Luftaustritt. Für die Herstellung der Vor-

Abbildung 1



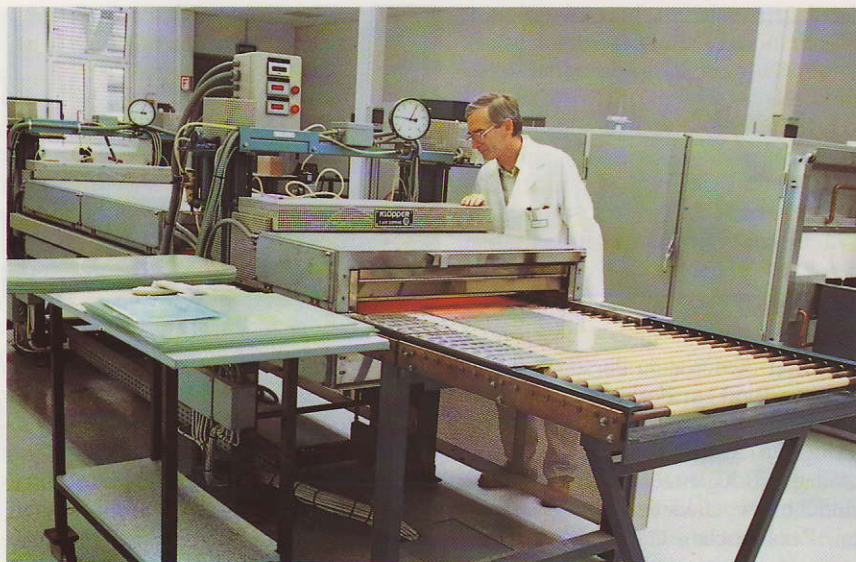


Foto 7

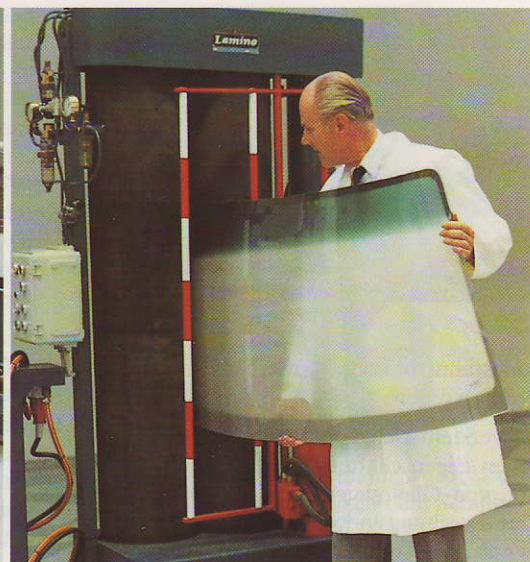


Foto 8

verbunde verwendet man entweder ein Walzenverfahren oder ein Vakuumverfahren, bei denen ein erstes Haften der Gläser an der PVB-Folie erfolgt.

Vor dem Walzen wird das lose zusammengesetzte Sandwich in einem Heizztunnel mit Infrarot-Strahlern erwärmt und anschließend durch ein Gummiwalzenpaar geschickt. Es hat sich als zweckmäßig erwiesen, diesen Prozeß zweistufig zu führen, zwischen 35 bis 45 °Celsius und in der zweiten Stufe zwischen 70 bis 90 °Celsius (Fotos 7 und 8). Die Temperatur- und Druckbedingungen und die Folieneigenschaften (Art der Oberflächenrauigkeit, Fließverhalten und Haftfähigkeit bei diesen Temperaturen) sind aufeinander abgestimmt. Sehr hohe Temperaturen im Vorverbundprozeß bewirken einen zu schnellen Randverschluß und verhindern dadurch das vollständige Austreten der Luft im zweiten Walzenspalt. Die Vorverbundscheiben zeigen eine leicht graue Struktur, die gleichmäßig über die gesamte Fläche verteilt ist, sie sind noch nicht völlig klar.

Beim Vakuumprozeß benutzt man zum Vakuumziehen Profilmummiringe, die um das Sandwich gelegt werden, oder Gummisäcke. Dieses Verfahren wird hauptsächlich zur Entlüftung von sehr stark gebogenen Scheibenpaaren verwendet. Die Evakuierung der Sandwiches erfolgt vor dem Beginn der Aufheizung in einem Tunnel oder Schrank, und das Vakuum wird während des gesamten Prozesses aufrecht erhalten. Dadurch ist eine vollständige Entlüftung und ein gutes erstes Anhaften der Gläser gewährleistet.

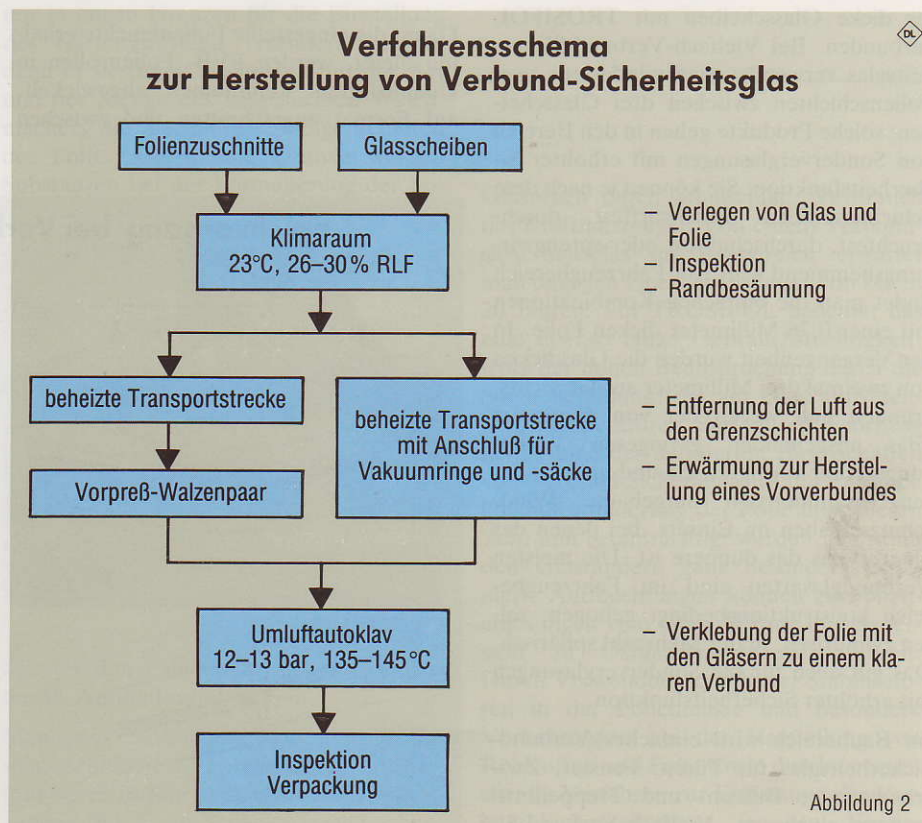
Die Endverbundherstellung erfolgt in einem Umluftautoklav, bei dem eine gleichmäßige Druck- und Temperaturverteilung über die ganze Scheibenfläche gegeben ist.

Der Prozeß läuft in drei Stufen ab, dem Aufheizen, der Haltezeit und der Abkühlphase. Beim Aufheizen werden Druck und Temperatur gleichzeitig erhöht, während der Haltezeit von mindestens 30 Minuten soll die Temperatur 135 bis 145 °Celsius betragen. Der Druck erreicht zwölf bis 13 bar, er wird auch während der Abkühlphase aufrecht erhalten.

Qualitätsanforderungen

Die Qualitätsanforderungen für Verbund-Sicherheitsglas sind in nationalen Normen

festgelegt. In frühen Jahren waren die Vorschriften des American National Standards Institut absolut wegweisend. In Deutschland gelten die Technischen Anforderungen nach § 22a der Straßenverkehrszulassungsordnung, in der Europäischen Gemeinschaft gilt für den Fahrzeugbereich die Regelung No. 43 der Economic Commission for Europe (ECE). In diesen Papieren sind sowohl die Anforderungen als auch die Prüfverfahren beschrieben. Darüber hinaus existieren nationale Normen, die als Prüfnormen ausschließlich das Prüfverfahren beschreiben.



Mit Blickrichtung auf die Vollendung des Gemeinsamen Marktes 1992 finden zur Zeit im Bauglasbereich intensive Bemühungen des Technischen Komitees CEN/TC 129 (CEN = Comité Européen de Normalisation) statt, um die verschiedenen nationalen Normen einander anzugleichen. Es wurden 16 Arbeitsgruppen gebildet.

Die wichtigsten Eigenschaften von Verbund-Sicherheitsglas sind seine Durchschlagfestigkeit, die dazu notwendige Glashaftung der PVB-Folie, die optischen Eigenschaften, seine Temperatur- und Witterungsbeständigkeit sowie sein Verhalten gegenüber Chemikalien. Bei den Beständigkeitsprüfungen werden die Veränderungen des Produktes bezüglich Folienablösungen, Bildung von Blasen, Farbänderungen und Randdefekten beurteilt. Es können am eingebauten Glas durchaus Temperaturen zwischen minus 30 °Celsius und plus 80 °Celsius auftreten. Bei der Witterungsbeständigkeit wird der Einfluß von Lichtenergie, Wärme und Feuchtigkeit bestimmt. Hierzu benutzt man zur Zeitraffung Geräte zur künstlichen Bewitterung, Freibewitterungsprüfungen in Zonen extremer Witterungsverhältnisse (beispielsweise Arizona oder Florida) sind ebenso üblich. Bei den optischen Prüfungen handelt es sich um die Feststellung der Lichtdurchlässigkeit im ultravioletten, sichtbaren und infraroten Bereich des Sonnenspektrums. Ferner handelt es sich um die Farbe und die Trübung sowie die Erscheinungen der optischen Ablenkung, der optischen Verzerrung und des Doppel- oder „Geister“-Bildes. Insbesondere die optischen Eigenschaften werden vom verwendeten Glas mitgetragen. Für die PVB-Folie ist hier die örtliche Dickenabweichung entscheidend.

Das eingangs geschilderte Bruchverhalten als Folge der Folienqualität wird in vielfältiger Weise geprüft. Die Methoden sollen Vorgänge der Praxis simulieren, sie beziehen sich auf die Energien, die bei einem Aufschlag gegen das Verbund-Sicherheitsglas auftreten können. Hierbei wird ein Steinschlag ebenso berücksichtigt wie der Aufprall des Kopfes von einem Fahrzeuginsassen. International wird als Meßverfahren der freie Fall eines kugelförmigen Fallkörpers auf das zu prüfende Objekt durchgeführt, da diese Methode auf einfache Weise über die Wahl des Fallkörpergewichtes und der Fallhöhe unterschiedliche Aufschlagenergien bei der Prüfung zuläßt. So ergibt sich beispielsweise bei einer Fallhöhe von sechs Metern eine Geschwindigkeit von rund 40 Kilometern pro Stunde; das heißt bei einem Fallkörper von zehn Kilogramm errechnet sich hieraus ei-

ne kinetische Aufschlagenergie von etwa 600 Kilogramm mal Quadratmeter pro Quadratsekunde bzw. 600 Newton-Meter. Für die Beurteilung eines Steinaufschlages verwendet man kleine, „spitze“ Fallkörper, zum Beispiel einen Pfeil (DIN 52307), dessen Spitze einen Durchmesser von drei

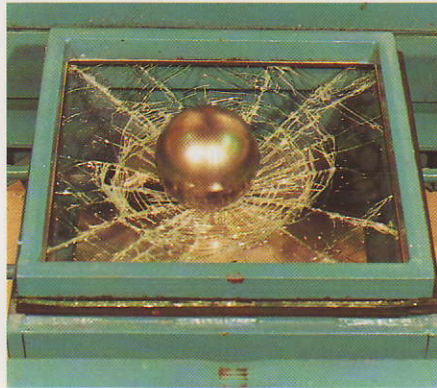


Foto 9

Millimetern hat. Das Gesamtgewicht beträgt 200 Gramm. Diese Prüfung wird bevorzugt bei minus 20 °Celsius und plus 40 °Celsius durchgeführt, wogegen der Versuch mit einer 227 Gramm schweren Kugel mit einem Durchmesser von 38 Millimeter nach DIN 52306 bei Raumtemperatur (plus 23 °Celsius) erfolgt. Nach der gleichen Norm prüft man mit einer 2,26 Kilogramm Kugel mit einem Durchmesser von 82 Millimetern die mechanische Festigkeit des Verbundglases (Foto 9).

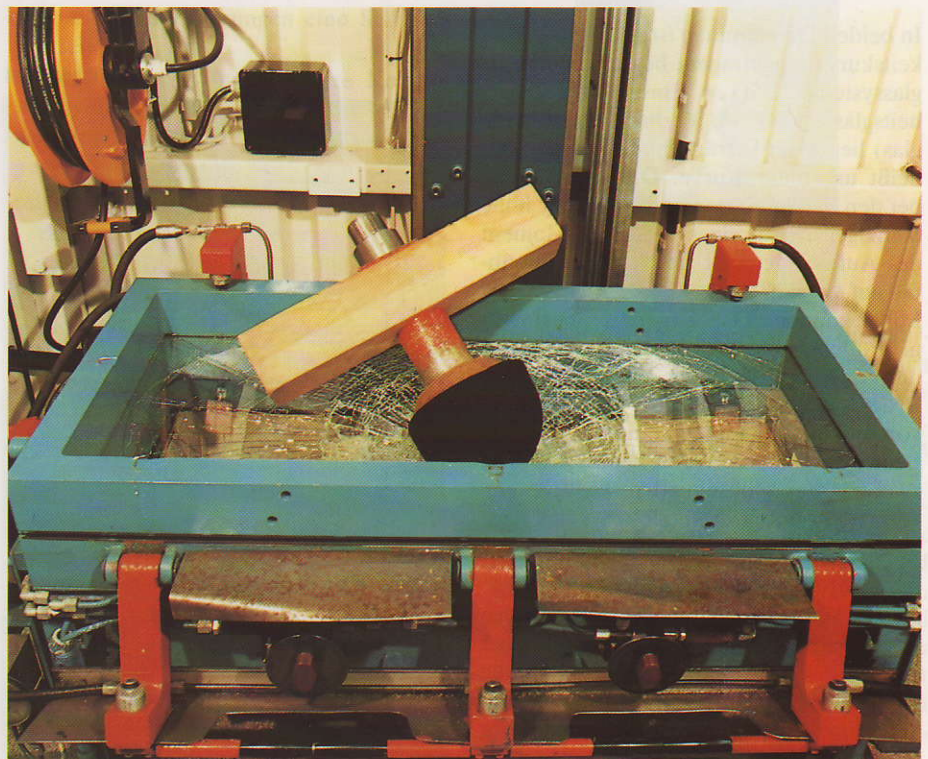


Foto 10

Der sogenannte Phantomtest (DIN 52310) dient der Feststellung, ob die Anforderungen hinsichtlich der Begrenzung des Verletzungsrisikos beim Aufprall eines Kopfes gegen die Windschutzscheibe erfüllt werden. Das Phantom stellt die Nachbildung von Kopf, Hals und Schulter dar und wiegt zehn Kilogramm. Es simuliert den Fahrzeuginsassen und muß daher auf die der Innenseite der Windschutzscheibe entsprechenden Seite des Prüfmusters fallen (Foto 10).

Zahlreiche und aufwendige Versuche sind erfolgt, um zu biologisch-mechanischen Aussagen über die Erträglichkeitsgrenzen des menschlichen Körpers zu kommen.

Der Amerikaner Stapp, ein Luftwaffenoberst, war der erste Mensch, der auf einem Horizontalschlitten sitzend Beschleunigungsversuche mit sich machen ließ. Er ist der Gründer der jährlich in den USA stattfindenden Stapp-Car-Crash Konferenzen, auf denen über die Fahrzeugsicherheit wissenschaftlich diskutiert wird.

Mediziner haben durch Versuche zu ermitteln versucht, welche Beschleunigungswerte von den verschiedenen Körperteilen ertragen werden können. Das Resultat solcher Untersuchungen ist die allgemeine Verträglichkeitskurve des Menschen, bei der die Verzögerung, das heißt die negative Beschleunigung, über die Zeit aufgetragen wurde (Abbildung 3).

Das wesentliche Merkmal ist, daß der Mensch in kürzester Zeit sehr hohe Belastungen ertragen „kann“, das heißt, im Bereich von einer bis maximal zwei Millisekunden. Nach dieser Kurve sind die Bedingungen für Sicherheitseinrichtungen im Kraftfahrzeug definiert worden; für die Windschutzscheibe sind das maximal das 80fache der Erdbeschleunigung in drei Millisekunden. Sicherheitsgläser wurden nach der genannten Methode von Slattenscheck gemessen und gegenübergestellt (Abbildung 4).

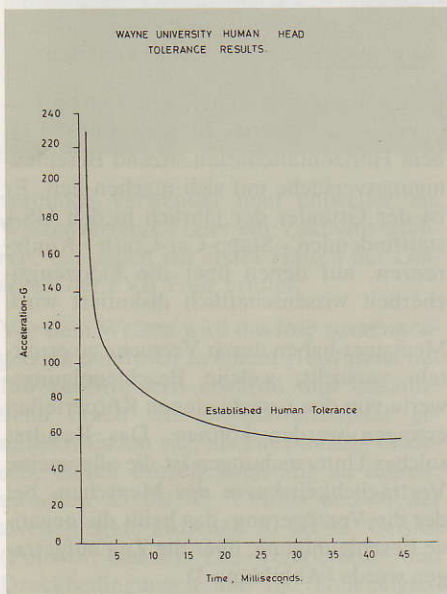


Abbildung 3

In beiden Diagrammen ist die Verträglichkeitskurve eingetragen, beide Sicherheitssysteme (ESG = Einscheiben-Sicherheitsglas, VSG = Verbund-Sicherheitsglas) liegen im Erträglichkeitsbereich, das heißt unter der Kurve. Das Wesentliche bei den beiden Systemen ist die sehr hohe Verzögerung an einem ESG im Moment des Aufschlages und ein Verzögerungsabfall auf einen Wert von etwa Null nach drei Millisekunden. Das Ergebnis überrascht nicht, denn es hängt von der Glasdicke ab und davon, daß beim VSG nach dem Bruch noch ein erheblicher Energieanteil von der Folie aufgenommen wird. Die Bruchzeiträume betragen beim Glas etwa zwei bis drei Millisekunden, die Energieabsorption durch die Folie bzw. das Ausbeulen des gebrochenen VSG etwa 40 bis 45 Millisekunden.

Beim Verbund-Sicherheitsglas für den Baubereich gelten anwendungsbezogene Kriterien, die sich auf größere Formate und andere Massen beziehen. Der bekannteste Test zur Bestimmung der Durchbruchfestigkeit erfolgt in einem

Pendelschlagversuch, bei dem ein durch Bleischrot auf 45 Kilogramm gebrachter Lederball aus verschiedenen Höhen gegen das Verbund-Sicherheitsglas schwingt (Foto 11).

Diese Prüfung will das Verhalten gegenüber stoßartiger Belastung durch große, weiche Massen, wie sie beim Auftreffen eines menschlichen Körpers vorkommen, simulieren. Nach DIN 52337 entspricht dabei die Fallhöhe von 30 Zentimetern einer im Zimmer oder auf dem Balkon erreichbaren Laufgeschwindigkeit von neun Kilometern pro Stunde, die Fallhöhe von 120 Zentimetern der Schnellaufgeschwindigkeit von 18 Kilometern pro Stunde. Die Prüfung von Vielfach-Verbund-Sicherheitsgläsern mit erhöhter Sicherheitsfunktion zum Personen- und Objektschutz erfolgt je nach der beabsichtigten Anwendung mit drei nacheinander in die Ecken eines Aufschlagdreiecks fallenden 4,1 Kilogramm schweren Stahlkugeln (Durchwurfhemmung gegenüber Pflastersteinen unter anderem) oder durch maschinengeführte Axtschläge, um ein Loch von 40 mal 40 Zentimetern zu erzeugen und die Durchbruchhemmung gegen den Einstieg kleiner Personen zu prüfen oder durch Beschuß aus verschiedenen Entfernungen mit verschiedenen Kalibern.

Lieferformen von TROSIFOL

TROSIFOL wird in den Dicken 0,38, 0,50, 0,76, 1,14 und 1,52 Millimeter in einer Breite von bis zu 3,20 Metern herge-

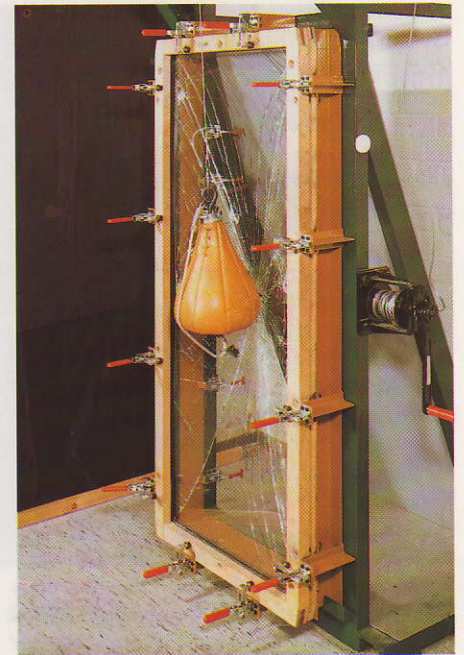


Foto 11

stellt. Es wird unterschieden zwischen TROSIFOL-MB für den Bauglasbereich und TROSIFOL-MV für den Fahrzeugsektor. Da TROSIFOL-Rollen bei der Lagerung unter Normalbedingungen oder auf dem Versandweg zusammenkleben würden, erfolgt die Lieferung entweder als Kühlfolie mit einer Temperatur von fünf °Celsius oder mit einer speziellen PE-Trennfolie zwischen den Lagen auf der Rolle. Die gekühlte Ware wird über eine Kühlkette bis zum Kühllager unserer Kunden transportiert. Wegen der Druckempfindlichkeit erfolgt die Verpackung in einer Form, daß die Rollen stehend oder vom Wickelkern getragen, liegend transportiert werden können.

Für besondere Verwendung, insbesondere im Baubereich, wird TROSIFOL auch eingefärbt hergestellt, wobei über die Farbtiefe verschiedene Lichtdurchlässigkeiten angeboten werden können. Hierbei handelt es sich um die Standard-Einfärbungen in Braun, Bronze, Hellblau und Hellgrün. Jede andere Einfärbung kann auf Kundenwunsch hergestellt werden.

Für den Fahrzeugbereich stellt HTAG ferner nach eigenem Know-how eine sogenannte Farbkeilfolie her, das ist eine Folienbahn, deren eine Seite derart eingefärbt ist, daß ein übergangsloser Verlauf des farbigen Teils der Bahn in den farblosen Teil vorliegt. Der Farbgradient, die Breite des farbigen Anteils und die Farbe sind definiert. Solche Folien werden mit steigender Menge auch in Europa für die Herstellung von Windschutzscheiben verwendet.

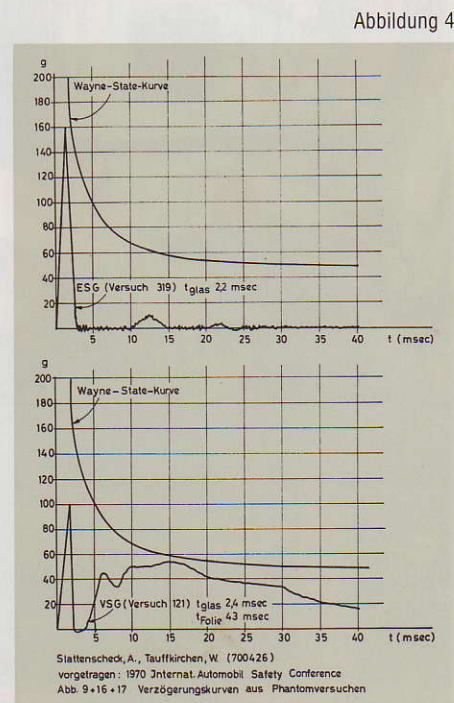


Abbildung 4