

Ein Beitrag zur Geschichte der Wärmedämmschichten für Hochbauverglasungen

Hans Joachim Gläser

Der Einsatz von Wärmedämmschichten gehört heute weltweit zum Standard bei Hochbauverglasungen. Ohne sie wäre die Entwicklung der heutigen Glasarchitektur nicht möglich gewesen. Sie wirken wie Sonnenkollektoren: Sie reduzieren den Heizwärmeverlust, und sorgen gleichzeitig dafür, dass Sonnenenergie in hohem Maße in Gebäude einstrahlt, d. h. gesammelt wird. Durch beide Funktionen wird Heizenergie eingespart. Sie sind somit eine äußerst wirksame Maßnahme, bei Gebäuden dem hohen fossilen Energieverbrauch und damit der sich abzeichnenden Klimakatastrophe entgegenzuwirken.

In der Flachglasindustrie werden die Wärmedämmschichten - so das Statement eines Firmeneigners aus der Branche - als die genialste und bedeutendste Entwicklung in Verbindung mit Verglasungen angesehen. Eine Erfolgsstory, wie heute in einschlägigen Firmenpublikationen dargestellt? Zweifelsohne, die Entwicklung wurde schließlich erfolgreich. Der Weg dorthin war aber kurven- und dornenreich, für die Beteiligten oft auch demütigend und dennoch ungeheuer spannend. Fachleute können ggf. Produkten den Entwicklungsweg ansehen bzw. diesen nachempfinden. Was man Produkten nicht ansehen kann ist, unter welchen Verhältnissen und Bedingungen sie zustande kamen.

Zur Zeit der Entwicklung der Wärmedämmschichten, d. h. in den 60er und 70er Jahren des vergangenen Jahrhunderts, ging es in der Regel in deutschen Firmen, und insbesondere in der Glasindustrie, nach „Gutsherrenart“ zu. Querdenker hatten es schwer. Zu dokumentieren, aus welchen Wurzeln sich die Wärmedämmschichten entwickelt haben und mit welchen Hochs und Tiefs die weitere Entwicklung verbunden war, ist das Anliegen des vorliegenden Beitrags. Das stete Bemühen hat schließlich zum Erfolg geführt.

Die Wurzeln der Wärmedämmschichten

Die Entwicklung der Wärmedämmschichten begann Anfang der 60er Jahre des vergangenen Jahrhunderts im Forschungslaboratorium der Firma Philips in Aachen, einer Gründung der N. V. Philips Gloeilampenfabrieken in Eindhoven (NL), sowie bei der Firma DETAG (Deutsche Tafelglas AG), einem Flachglaserzeugungs- und Flachglasveredlungsunternehmen mit Sitz in Fürth (Bayern) in Verbindung mit der Firma HERAEUS in Hanau.

Um gleich Missverständnissen vorzubeugen: Wärmedämmschichten waren ein wesentlicher Arbeitsschwerpunkt im Berufsleben des Autors, damals jedoch noch Doktorand an der Uni Köln bzw. später an der TH Clausthal-Zellerfeld im Institut für Angewandte Physik und dort beschäftigt mit Halbleitern, aber in massiver Form als so genanntes „bulk material“, wie das angelsächsisch ausgedrückt wird. Mit dünnen Schichten, und zwar ausschließlich, befasste man sich in Clausthal im Nachbarinstitut für Experimentalphysik unter Professor Dr. Herbert Mayer. Er stammte aus Tschernowitz in der Bukowina in den Ostkarpaten (heute Ukraine), was man deutlich seinem Idiom anmerken konnte; so sprach er z. B. „Siemens“ „Si-emens“ aus. Von Professor Mayer ist zu berichten, dass er einer der Pioniere war, der die „Physik der dünnen Schichten“ - so auch der Titel seines Buches, ein damaliges Standardwerk über dieses Metier - von der „Physik der Dreckeffekte“ zu einer eigenständigen physikalischen Disziplin entwickelt hat. Ex oriente lux! Keimzelle war wohl das Institut des berühmten Professors Walter Gerlach in München, in dem er vor dem 2. Weltkrieg assistierte. Das Institut von Professor Mayer war Anfang der 1960er Jahre an der Spitze der Erforschung von dünnen Schichten und Oberflächen in der Welt. Man kann sagen, dass alle, die Rang und Namen in der Dünnschichtszene in der Welt hatten - auch über den damaligen Eisernen Vorhang hinaus - sich in seinem Institut in Clausthal die Klinke in die Hand gaben. Schüler von ihm wurden weltweit mit Spitzenpositionen in der Industrie betraut, so z. B. bei IBM in USA. Der Rang und die Internationalität des Institutes erregte natürlich auch bei uns im Nachbarinstitut großes Interesse an dünnen Schichten. Unser Institut für Angewandte Physik unter Leitung von Prof. Dietrich Geist war 1965 in Clausthal auf energisches Drängen von Professor Mayer zusammen mit einem Lehrstuhl für Theoretische Physik gegründet worden. Mit den drei Instituten war nun endlich die Physik als Studienfach in Clausthal etabliert und die Ära der altehrwürdigen ‚Bergakademie‘ neigte sich dem Ende zu. Seitens der Hochschule hoffte man nicht zuletzt durch diese Maßnahme nach dem Niedergang der Montanfächer als Folge der Bergbaukrise Ende der 1950er/Anfang der 1960er Jahre, die Zahl der Studienanfänger wieder erhöhen zu können.

Mit elektrisch leitfähigen Schichten, dem charakteristischen Merkmal der Wärmedämmschichten, beschäftigte man sich damals im Mayerschen Institut auch. Schwerpunkt dieser Arbeiten war jedoch, soweit ich mich erinnern kann, die Einfluss-

faktoren auf die elektrische Leitfähigkeit, z. B. Streueffekte infolge Schichtrauigkeit (Prof. Nossek). Das mit elektrisch leitfähigen Schichten verbundene ggf. niedrige thermische Emissionsvermögen, d. h. die Wärmedämmeigenschaften dieser Schichten war jedoch kein Thema.

Warum interessierte sich die Firma Philips zu Beginn der 60er Jahre für Wärmedämmschichten? Nun, sie entwickelte in Aachen damals Lichtquellen und hier insbesondere energiesparende Niederdruck-Natriumdampflampen, bei denen ein wichtiges Bauteil eine transparente, elektrisch leitfähige Zinnoxidschicht auf dem Glaskolben der Lampen war. Die Schicht wurde erzeugt, indem man geeignete Ionen, z. B. Fluor- oder Antimon-Ionen mit einer Konzentration im Prozentbereich in die Zinnoxidschichten einbaute [1]. Die Beschichtungstechnik war dabei das Sprühen von in Wasser gelösten Zinnsalzen (z. B. SnCl_4) unter Umgebungsatmosphäre auf bis zu $550\text{ }^\circ\text{C}$ aufgeheiztes Glas; man nennt dieses Beschichtungsverfahren fälschlicherweise „pyrolytische“ Beschichtung. Diese Technik war schon vor dem 2. Weltkrieg bei optischen Gläsern angewandt worden [2]. **Die Niederdruck-Natriumdampflampe war das erste industriell hergestellte Glasprodukt, bei dem eine transparente Schicht mit Wärmedämmeigenschaft eingesetzt wurde.**

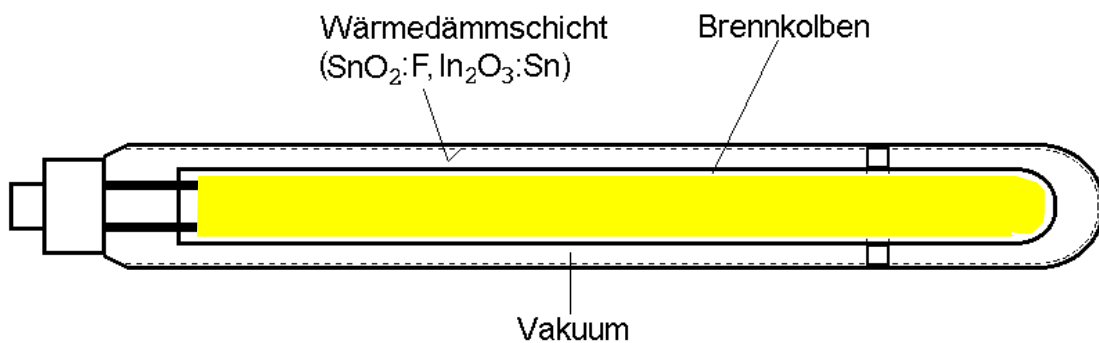


Bild 1: Schematischer Aufbau der von Firma Philips entwickelten energiesparenden Niederdruck-Natriumdampflampe

Das Licht wird bei dieser Lampe (s. Bild 1) mit elektrischer Energie durch eine Natriumdampf-Gasentladung bei Unterdruck und etwa $260\text{ }^\circ\text{C}$ in einem Brennkolben erzeugt. Der Clou der Lampe ist nun die transparente, elektrisch leitfähige Zinnoxidschicht, aufgebracht auf der Innenseite der den Brennkolben umgebenden Enveloppe. Hierdurch kann die Abstrahlung von Wärme vom Brennkolben und somit dessen Auskühlung erheblich reduziert, d. h. elektrische Energie zur Nachheizung eingespart werden und somit die Lichtausbeute, d. h. der abgestrahlte Lichtstrom, gemessen in Lumen, pro eingesetzter elektrischer Leistung, gemessen in Watt, bis zu 50% erhöht werden [3]. Etwas später stellte man ebenfalls bei Philips fest, dass mit zinndotierten Indiumoxidschichten - ITO-Schichten sagt man heute dazu - noch bessere Ergebnisse zu erzielen waren [4]. Der Wirkungsgrad der so hergestellten Niederdruck-Natriumdampflampen ist bis heute mit bis zu 200 Lumen pro Watt eingesetzter elektrischer Energie ein Spitzenwert aller auf dem Markt angebotenen Licht-

quellen. Sie war so energiesparend, dass man mit ihnen in den 70er Jahren die Beleuchtung der kompletten Autobahnen in Belgien ausgestattet hat.

Die Firma Philips hat ab Anfang der 1970er Jahre auch versucht, die Anwendung dieser Schichten für Wärmedämmzwecke bei Isoliergläsern, also bei Gebäudeverglasungen, und bei Röhren-Sonnenkollektoren (s. Bild 2) einzuführen. Bei Gebäudeverglasungen konnte sie sich hiermit aber nicht durchsetzen. Die Flachglasindustrie hat das abgeblockt; man wollte unter sich bleiben. Wie das geschah, wird weiter unten dargelegt.

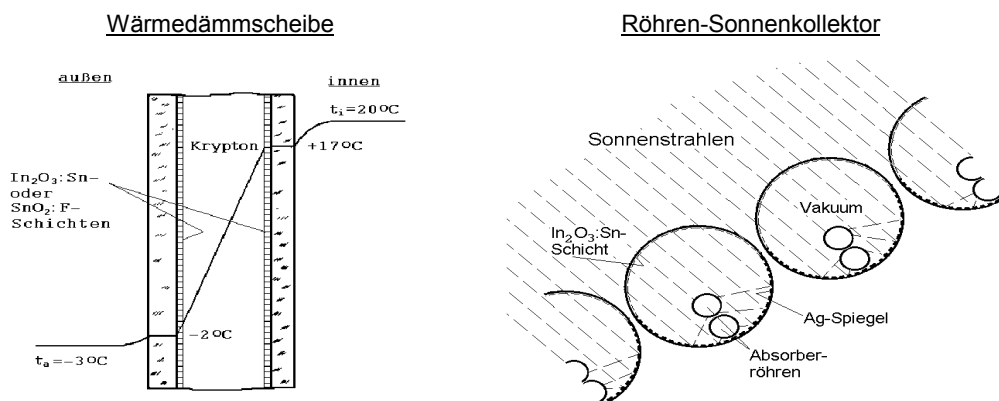


Bild 2: Anwendungsvorschläge der Fa. Philips für Wärmedämmschichten auf der Basis von elektrisch leitfähigen Zinn- und Indiumoxidschichten [5, 6]

Die von Philips bei den Niederdruck-Natriumdampflampen eingesetzten transparenten, elektrisch leitfähigen Schichten auf der Basis von Zinn- und Indiumoxid werden heute „Hard-Coatings“ genannt, weil sie sich durch hohe mechanische, thermische und chemische Beständigkeit auszeichnen. Seit den 1960er Jahren werden für die Herstellung dieser Schichten außer der „pyrolytischen“ Beschichtung auch andere Verfahren angewandt; die Physik der Schichten blieb jedoch immer die gleiche.

In der Folgezeit wurden die elektrisch leitfähigen Schichten, insbesondere wegen ihrer Anwendung bei Flüssigkristalldisplays (LCDs) (z. B. Flachbildschirmen) weltweit intensiv erforscht. Die erzielten Verbesserungen der technischen Werte (Transmission und elektrische Leitfähigkeit) sind jedoch nur marginal geblieben. Mit Indiumoxidschichten sind auch heute noch die besseren technischen Werte zu erzielen als mit Zinnoxidschichten. Bei Philips wurde damals auch das spektrale Verhalten der Wärmedämmschichten mit Hilfe der Transformatoren-Gleichungen, der Vierpoltheorie der Elektrotechnik, in sehr anschaulicher Form geklärt [7]. Heute sagt man zu diesem Rechenverfahren „Admittanzverfahren“. Ein Studienfreund des Autors, Professor P. Grosse, sagte einmal auf diese Entwicklungsarbeiten sich beziehend: „Es kann nicht schaden, wenn man sich unter Physik auch noch etwas vorstellen kann“. Recht hat er!

Die Firma DETAG wurde auf die Wärmedämmwirkung von Goldschichten durch eine andere Problemstellung - ich möchte annehmen - so nebenbei aufmerksam. Ende der 1950er/Anfang der 1960er Jahre entwickelte die Deutsche Bundesbahn Waggon mit Panoramaausblick für die Luxusfernzüge „Rheingold“ und „Rheinpfil“, mit denen betuchte, überwiegend ausländische Reisende durch das Rheintal zur Schweiz ‚geschippert‘ wurden. Das Problem dieser Waggon war der Treibhauseffekt wegen überhöhter Sonneneinstrahlung infolge der großflächigen Verglasung. Die Klimatisierung dieser Waggon wurde in einem Bundesbahnwerk in Darmstadt untersucht und gelang hervorragend mit Doppelscheiben - Isolierglas sagt man heute dazu - , die, auf der Außenscheibe geschützt zum Scheibenzwischenraum angeordnet, mit einer transparenten Goldschicht versehen waren. Eine solche Schicht zeigt Sonnenschutz eigenschaft, die darauf beruht, dass sie bevorzugt im sichtbaren Spektralbereich Sonnenstrahlen durchlässt, jedoch im nahen Infrarotbereich reflektiert und so dem Treibhauseffekt entgegengewirkt.

Die DETAG hatte damals langjährige Erfahrungen mit Isolierverglasungen für Eisenbahnwaggon und war beauftragt, die goldbeschichteten Isoliergläser an die Bundesbahn zu liefern. „INFRASTOP“ wurde das Produkt genannt [8]. Allerdings wurde die Beschichtung nicht bei der DETAG, sondern in einer kleinen Anlage - wir würden heute Pilot-Anlage sagen - bei der Firma W. C. HERAEUS in Hanau durch thermisches Bedampfen im Hochvakuum entwickelt und auch produziert [9]. Fa. W. C. HERAEUS hatte damals eine große Vakuumabteilung, in der nicht nur Vakuumteile und -anlagen hergestellt und vertrieben, sondern auch Schichten entwickelt und Lohnbeschichtungen durchgeführt wurden. Diese Abteilung wurde 1968 mit der Firma Leybold in Köln zur Firma Leybold-Heraeus fusioniert. Die bei HERAEUS beschichteten Einzelscheiben wurden von Hanau ins DETAG-Werk in Witten a. d. Ruhr transportiert und dort zu Isolierglas verarbeitet. Die Funktion ‚Sonnenschutz‘ stand bei dem Produkt „Infrastop“ im Vordergrund. Dass die transparente Goldschicht wegen ihrer ebenfalls hohen elektrischen Leitfähigkeit auch gleichzeitig hervorragende Wärmedämmeigenschaft hat, d. h., dass durch sie der sogenannte k-Wert (heute U-Wert genannt) der Isoliergläser – ein Maß für die Wärmedämmung von Gebäudeteilen - erheblich reduziert wird, hatte man bei DETAG auch bemerkt. Diesem weiteren Vorteil der Gläser wurde aber keine größere Bedeutung beigemessen; für diese Funktion gab es damals noch keinen Markt.

Die DETAG hatte die Entwicklung in Aachen und deren Tragweite mitbekommen und warb Mitte der 1960er Jahre einen der führenden Philips-Mitarbeiter, Dr. Groth, für die Entwicklung der Wärmedämmschichten ab (s. o.). Er sollte seine Erfahrungen mit den transparenten, elektrisch leitfähigen, d. h. den wärmedämmenden Zinn- und Indiumoxidschichten indem Werk in Witten auf Flachglas übertragen. Mit den so beschichteten Gläsern sollten jedoch nicht Isoliergläser ausgerüstet werden, sondern man plante, sie auf Einscheiben-Verglasung mit der Schicht zum Innenraum gewandt

einzusetzen. Die Idee war dabei, die damals wirtschaftlich immer interessanter werdenden und in steigendem Maße auch von kleinen mittelständischen Unternehmen im Wettbewerb zur Industrie angebotenen Isoliergläser durch eine Einscheiben-Verglasung mit einer solchen Schicht zu ersetzen. Isoliergläser - die bekanntesten Markennamen der Großindustrie waren damals „Thermopane“, vertrieben von der Thermopane-Verkaufsgesellschaft, und „Cudo“, vertrieben von der Firma DETAG – boomten ab der 1960er Jahre im Zeichen des Wirtschaftswunders. Sie versprachen einen höheren Wohnkomfort durch geringeren Zug im Bereich des Fensters, wie das der Laie nannte, d. h. eine geringere Wärmeabstrahlung des menschlichen Körpers an das Fenster und deshalb eine größere Raumausnutzung sowie einen wesentlich verringerten Taubeschlag bzw. Eisblumenbildung im Winter auf der Scheibeninnenoberfläche im Vergleich zu Einscheiben-Verglasungen. Die physikalische Ursache für diese Vorteile der Isoliergläser war der um einen Faktor 2 reduzierte k-Wert gegenüber der Einscheiben-Verglasung. Mit einer transparenten, elektrisch leitfähigen Schicht, d. h. einer Wärmedämmschicht auf Position 2 einer Einscheiben-Verglasung war, dies hatte man bei DETAG ausgerechnet, in etwa die gleiche k-Wert-Reduzierung zu erzielen [10]. Man benötigt also die aufwendige Isolierglaskonstruktion nicht, so dachte man bei DETAG jedenfalls, und da eine solche Schicht von mittelständischen Unternehmen nicht so leicht nachzumachen ist, hoffte man, mit einem solchen Produkt dieser lästigen, immer stärker werdenden Konkurrenz wirksam entgegenzutreten zu können. Die Monopolstellung der Flachglaserzeuger bei der Herstellung und dem Vertrieb von Isoliergläsern begann damals zu wanken.

Die prognostizierte k-Wert-Reduzierung ist theoretisch auch möglich. Jedoch zeigte sich, dass durch eine so beschichtete Einscheiben-Verglasung auch die Temperatur der Scheibeninnenoberfläche abgesenkt wird, so dass die Taubeschlaghäufigkeit gegenüber der bisherigen unbeschichteten Einscheiben-Verglasung zunahm. Ein Wasserfilm auf der Schicht hebt aber die Wärmedämmeigenschaft der Schicht wegen seines hohen thermischen Emissionsvermögens wieder auf [10], die Scheibenoberfläche erwärmt sich dann wieder und trocknet ab. Die Folge ist, dass das niedrige thermische Emissionsvermögen der Schicht wieder zum Vorschein kommt und der Taubeschlag wieder einsetzt. Man erhält also im günstigsten Fall ein periodisches Abtrocknen und Beschlagen der Scheibeninnenoberfläche verbunden mit periodisch schwankendem k-Wert. Dies war also keine Möglichkeit für die Anwendung der geplanten Schichten. Die Produktidee wurde dann auch aufgegeben.

Sonnenschutzgläser - ein lukratives Geschäft

Erstens kommt es anders, zweitens als man denkt. Etwas versetzt zum Isolierglasmarkt für Wohngebäude entwickelte sich der Markt für Großprojektverglasungen im Hochbau, wie z. B. für Hochhäuser, ab Mitte der 1960er Jahre überraschend rasant zu Ganzglasfassaden hin. Der Grund war, dass die Architekten immer größe-

ren Gefallen an großflächigen Verglasungen im Bauhaus-Stil fanden. Der deutsche Architekt, Mies van der Rohe, war hier einer der Protagonisten. Der Panoramablick, das Gefühl grenzenloser Freiheit vermittelnd, wurde in der Architektur modern. Es zeigte sich jedoch auch bei den großflächig verglasten Gebäuden wie bei der Waggon-Verglasung der Luxuszüge der Bundesbahn, dass der Treibhauseffekt ein großes Problem war. Nicht nur die für diese Gebäude benötigten Klimaanlageanlagen waren sehr aufwendig, sondern es wird auch viel Energie für die Klimatisierung der Räume benötigt, d. h. es fallen hohe laufende Kosten an. Die Lösung des Problems boten nun die für die Waggonverglasung entwickelten Sonnenschutzgläser, die Infrastop-Gläser mit Goldschicht, die von den Architekten begierig angenommen und gleichzeitig als Stilmittel bei der Fassadengestaltung eingesetzt wurden. **Das war der Beginn der nun weltweit einsetzenden Glasarchitektur.**

Mit der Ausweitung des Infrastop-Geschäftes bei Firma DETAG war aber die bisherige Produktionsweise mit Beschichtung und deren Verarbeitung zu Isolierglas in getrennten Werken nicht mehr aufrecht zu halten. Da die hergestellten Goldschichten sehr weich waren und außerdem nur eine sehr geringe Haftfestigkeit hatten, war ihr Transport von Hanau nach Witten sehr aufwendig. Die DETAG entschloss sich deshalb Mitte der 1960er Jahre, auch die Beschichtung in Witten selbst durchzuführen. Dazu wurde bei Firma W. C. HERAEUS eine größere Vakuumbeschichtungsanlage auf der Basis thermischen Bedampfens, im Fachjargon ‚Glocke‘ genannt, gekauft und gleichzeitig ein Know-how-Lizenzvertrag für die Beschichtung abgeschlossen. Zum Lizenzvertrag gehörte auch die Schicht der Sonnenschutzschicht „Auresin 66/44“ auf der Basis einer entspiegelten, nicht mehr goldfarbenen, sondern durch die Entspiegelung nun blau reflektierenden Schicht, für die die Firma HERAEUS ein Patent angemeldet hatte[11]. Vorveröffentlichungen wurden jedoch von der Firma Glaverbel geltend gemacht. Der Patentstreit zog sich über Jahre hin. Wie er schließlich ausgegangen ist, entzieht sich meiner Kenntnis; Ende 1977 war er jedoch noch nicht entschieden. Jedenfalls soll DETAG und später deren Nachfolgerin, die FLACHGLAS AG, bis zum Ende der 1970er Jahre noch um 5 DM/m² Lizenzgebühren für diese Schicht an W. C. HERAEUS gezahlt haben! Wichtig zu erwähnen ist, dass diese Auresin 66/44-Schicht, eine in Zinksulfidschichten eingebettete Goldschicht, ein Dreifachschichtsystem auf der Basis einer Goldschicht (s. u.), wie wir heute sagen, im Prinzip den gleichen Schichtaufbau hatte wie die späteren Wärmedämmschichten auf der Basis von Silber, die sich ab 1981 weltweit durchsetzten (s. u.).

Die DETAG erkannte wohl bald, dass es notwendig war, einen Fachmann aus den eigenen Reihen mit der Weiterentwicklung des Beschichtungsverfahrens und der Schichten zu betrauen. Diese Aufgabe wurde, nachdem das Projekt der Übertragung der Philips-Schichten auf Eis gelegt war, dem von Firma Philips abgeworbenen Mitarbeiter, Dr. Groth, übertragen. Er fand an dieser Arbeit recht bald so großes Interesse,

dass für ihn die ursprünglich übertragene Aufgabe nicht mehr attraktiv war. Er war auch bis zu seiner Pensionierung nicht mehr zu bewegen, an der Weiterentwicklung dieser Schichten mitzuarbeiten. Es wurde von ihm in der Folgezeit eine Reihe neuer Sonnenschutzschichten, herstellbar mit der HERAEUS-Anlage, entwickelt, und da sich den Architekten wegen der Farbe und Brillanz dieser Gläser sehr attraktive Gestaltungsmöglichkeiten boten, trat - so war mein Eindruck - die eigentliche Funktion dieser Gläser, der Sonnenschutz, gegenüber ästhetischen Gesichtspunkten bald in den Hintergrund. Sonnenschutz war da nur noch eine notwendige Nebenfunktion der Verglasung. Ich habe die Erfahrung gemacht, dass die Architekten im Wesentlichen für diejenigen bauen, die an den Gebäuden vorbeilaufen; sie empfinden sich in erster Linie als Künstler. Der k-Wert dieser auf Goldschichten basierenden Sonnenschutzgläser wurde auch in den Prospekten angegeben; er spielte jedoch in der Anwendungstechnik weiterhin nur eine untergeordnete Rolle. Bei den Sonnenschutzgläsern kam es in erster Linie auf Farbe und Farbgleichmäßig, d. h. auf ästhetische Gesichtspunkte an. Jede neue Schicht wurde, wenn eben möglich, zum Patent angemeldet, so dass nicht nur die Firma und die Architekten, sondern auch der Entwickler und diejenigen, die sich von Amts wegen einmischten, sehr glücklich waren. „Infrastop“ war binnen kürzester Zeit für alle zu einem hochprofitablen Produkt geworden. Der erzielbare Marktpreis lag zwischen 250 und 300 DM/m²; der Wettbewerb war in der BRD, dem damals größten Markt, und in Europa quasi außen vor.

Die Geburtswehen der ersten industriell hergestellten Wärmedämmscheibe „Thermoplus“ - ein Lehrstück für industrielle Entwicklung

Ende 1973/Anfang 1974 trat ein bis dahin ungewöhnliches politisches Ereignis ein, das jedoch positive Auswirkungen für die Flachglasindustrie haben sollte. Die erdöl-liefernden Länder drehten plötzlich den Ölhahn zu und lösten damit die erste Energiekrise aus. Es war die Zeit, als wegen Benzinmangels ein Sonntagsfahrverbot für Kfzs ausgesprochen wurde. Es wurde damals prophezeit, dass Energiemangel von nun an ein Dauerthema sein würde. Das trat jedoch nicht ein; der Zugang und die Verteilung der Energieressourcen sollten fortan das Dauerthema werden. In der Folge dieser Krise stellten Architekten fest, dass die Fenster das größte „Loch für Heizenergie“ im Hochbau sind. Es gab ernsthafte Bestrebungen, die Fenster auf Bullaugengröße zu reduzieren. Die Flachglasindustrie war wieder einmal durch ein Energieproblem herausgefordert. Man hatte zwar bei der FLACHGLAS AG inzwischen mit den Sonnenschutzgläser „Infrastop“ eine große Produktpalette, mit denen auch Heizenergie eingespart werden konnte, d. h., die auch eine k-Wert-Verbesserung aufwiesen, wie der terminus technicus damals hieß. „Infrastop“ war jedoch eine Produktgattung für spektakuläre Großobjekte im Hochbau und in der Preisgestaltung zu hoch für den konventionellen Wohnungsbau. Erforderlich war aber nun ein Massenprodukt, und man war im Vertrieb der FLACHGLAS AG der Meinung, dass der gewöhn-

liche Häuslebauer nicht bereit wäre, für eine solche Verglasung die hohen Infrastop-Preise zu zahlen. Mit einem billigeren Produkt auf der Basis einer Goldschicht wollte man sich aber auch das lukrative „Infra stop“-Geschäft nicht verderben. Es war kein Geheimnis, dass „Infrastop“ damals ganz wesentlich zum Unternehmensergebnis der FLACHGLAS AG beitrug. Dennoch war man herausgefordert; es musste etwas unternommen werden.

Ich erinnere mich noch genau, dass nach einer der vielen Sitzungen der „Groups de Travail“ der Holding „Glaverbel-Mecaniver“ – einer Fusion der Firmen BSN (F), Glaverbel (B) und FLACHGLAS AG (BRD) mit Sitz in Brüssel - auf dem Brüsseler Flughafen ‚Saventem‘ einer der Adjutanten des mächtigen Vorstandes „Vertrieb“ der FLACHGLAS AG, E. J. Müller, auf mich zu kam. Er sagte sinngemäß zu mir: „Herr Dr. Gläser, wir benötigen eine ganz einfache, billige Schicht, nur zur k-Wert-Verbesserung. Sie muss sich aber von „Infrastop“ unterscheiden.“ Ich witterte Morgenluft und schlug auf der Stelle eine dünne Goldschicht, lediglich etwas dünner als die mit der Sputteranlage herstellbare Schicht der dahindümpelnden Infrastop-Type „Gold 40/26“ vor. Morgenluft witterte ich deshalb, weil bei der FLACHGLAS AG, fusioniert im Jahre 1972 aus den Firmen DEATAG, die die Aufdampftechnik mit in die Ehe brachte, und DELOG, (Deutsche Libbey Owens Gesellschaft) in Gelsenkirchen, die auf die Sputtertechnik, auch für die Herstellung von Sonnenschutzschichten, auch auf der Basis von Gold gesetzt hatte, die Sputteranlage schlechte Karten hatte und ausgehungert wurde. Die Aufdampftechnik wurde vom Vorstand der FLACHGLAS AG, in der Überzahl von der DETAG kommend und die Firmenpolitik maßgeblich bestimmend, zur Zukunftstechnik für Beschichtungen auf Flachglas erklärt. Der Vertrieb bot vorwiegend Produkte hergestellt mit der Aufdampftechnik an, d. h. die Bedampfungsanlagen waren voll ausgelastet. Alle verdienten an der Entscheidung sehr gut. Die Sputteranlage und das dazugehörige Labor, die ich 1968 aufgebaut hatte und betreute, vegetierte mangels Aufträge dahin. „Aufhören“ schallte es von allen Seiten mir entgegen, dem ich mich jedoch vehement entgegenstemmte! Das Aufdampfen war nach meiner Überzeugung für großflächige Beschichtungen keine Verfahrenstechnik. Der besagte Herr E. J. Müller hatte das wohl auch erkannt und war bei dem Gespräch auf dem Flugplatz Saventem von der abgespeckten Gold-Sonnenschutzschicht, herstellbar mit der Sputteranlage angetan. Für die Sputteranlage bestand nach der Fusion 1972 zum ersten Mal die Aussicht, kontinuierlich mit Aufträgen versorgt zu werden. Auf der Stelle kreierte er für das neue Produkt den Namen „Thermostop“. Es stellte sich später aber heraus, dass dieser Produktname als Markenzeichen schon von einem Fensterbauer im Hannoverschen Raum geschützt war. Daraufhin wurde der Name „Thermoplus“ kreierte.

E. J. Müller hatte aber die Rechnung ohne den Wirt gemacht. Im Vorstand wurde eine dünne Goldschicht für das neue Produkt strikt abgelehnt. Da Goldschichten die Basis der „Infrastop“-Produkte waren, hätte das bei den Kunden böse Assoziatio-

nen wecken können, denn für das neue Produkt hatte man inzwischen im Vertrieb einen Preis von unter 100 DM/m² als marktrelevant ausgemacht. Um Abstand zu den Infrastop-Produkten zu halten, entschied man deshalb im Vorstand, dass das neue Produkt nur auf der Basis einer Silberschicht angeboten werden dürfe. Glaverbel, der Lizenzgeber für die Sputtertechnik, und auch wir im Labor in Gelsenkirchen hatten gerade mit der Entwicklung von Silbereinfachschichten mit Sputtertechnik für Sonnenschutz Zwecke begonnen, die auch schon vorsichtig vermarktet wurden. Ich habe mir im Anschluss an die Entscheidung den Mund fusselig geredet, dass dies die zweitbeste Lösung sei, weil man bei Massenprodukten ganz auf Nummer sicher gehen müsse. Vergeblich, „wenn, dann“, war die Reaktion. Dennoch, endlich zeichnete sich einmal für die Sputteranlage eine kontinuierliche Auslastung an, und das mit Billigung des Gesamtvorstandes. Aus diesem Grund habe ich schließlich zugestimmt, was ich aber bitter bereuen sollte. Die Werbetrommel jedenfalls wurde angeworfen.

Zwar war die Beschichtung des Silbers mit der Sputteranlage kein Problem, aber die nun notwendigen sehr dünnen Silbereinfachschichten verstärkten, im Gegensatz zu den bisher für Sonnenschutz Zwecke wesentlich dickeren Goldschichten, gut mit dem bloßen Auge sichtbar jede Verunreinigung, die auf der Scheibenoberfläche bei der Reinigung vor der Beschichtung verblieb und auch bei noch so intensiver visueller Kontrolle nicht zu erkennen war. Die Scheibenreinigung vor der Beschichtung steckte damals noch in den Kinderschuhen. Es ergab sich das Problem, dass wir nun Aufträge hatten, deren Fertigung aber nicht termingerecht erfolgte. Das ist ungefähr das Schlimmste, was einem Fertigungsbetrieb widerfahren kann. Der Vertrieb stand Kopf. Man hatte schließlich eine aufwendige Werbekampagne gestartet. Immer wieder habe ich zaghaft auf die Alternative der Goldschicht hingewiesen; dies wurde jedoch empört vom Tisch gefegt. Ich hatte bei den Vertriebsleuten immer den Eindruck, dass sie der Überzeugung sind: Man muss den Esel nur fest genug am Schwanz packen, dann spuckt er schon die Dukaten, d. h., technische Entwicklungen hängen wie die Erstellung von Prospekten nur vom guten Willen ab. Schließlich musste etwas geschehen, und es kam zu einem Grundsatzgespräch zwischen dem damaligen Vertriebsleiter Isolierglas und dem Verantwortlichen im Werk Gelsenkirchen für die Fertigungsabwicklung, M. Maßmann, zu dem ich natürlich nicht eingeladen wurde. Letzterer wohnte in einer Werkswohnung über uns, und die Familien waren über die Kinder und regelmäßiges Doppelkopf-Spiel freundschaftlich miteinander verbunden. Mein Nachbar war das Drama leid und stellte den Vertriebsbereichsleiter, wie er mir später gestand, kurzerhand vor die Alternative: Entweder die Produktion der Silber-Wärmedämmschicht wird eingestellt oder es wird auf die Goldschicht umgestellt. Er erpresste seinen Gegenüber regelrecht. Dies schreckte den Vertrieb auf. Eine Einstellung des Produktes kam auf keinen Fall in Frage, dafür hatte man sich schon zu weit bei der Kundschaft aus dem Fenster gelehnt. Zähneknirschend stimmt man deshalb der Umstellung auf die Goldschicht zu. Der Name „Thermoplus“ blieb.

Typisch für industrielle Entscheidungsprozesse war bei diesem Drama auch wieder: Wenn es um die Wurst geht, bleiben Wissenschaftler in der Regel immer außen vor, d. h., grundlegende technische Entscheidungen treffen in der Regel Unwissende. Dennoch fiel mir nach der Entscheidung ein Stein vom Herzen. Später zeigte sich, welch großes Glück ich hatte. Wir und auch Glaverbel mussten in der Folgezeit alle ausgelieferten Gläser mit Silbereinfachschicht austauschen, weil die Schicht, über die ganze Scheibe verteilt, mit fortschreitender Zeit punktförmig korrodierte, d. h., die Alterungsbeständigkeit der Schichten war in der ausgelieferten Form nicht gegeben. Auch das noch; fürwahr keine Erfolgsstory! Aus dem Debakel habe ich aber gelernt.

Dem Vertrieb wurde die dünne Goldschicht nachträglich noch schmackhafter gemacht, indem sie in dem Isolierglasaufbau im Gegensatz zu der geplanten Silberschicht nicht auf Position 2, sondern auf Position 3, d. h. auf der zum Innenraum verglasten Scheibe zum Scheibenzwischenraum hin platziert wurde. Hierdurch verschwindet der Goldfarbton der Schicht in Außenansicht; sie erscheint so schwach rötlich-violett. Außerdem wurde der g-Wert, der Sonnenenergiedurchlassgrad des Produktes, der bei den Sonnenschutzgläsern ein herausragender kennzeichnender Wert ist und möglichst klein sein soll, in der Werbung unterdrückt, um sich auch hierdurch von den Infrastop-Produkten abzusetzen. **Das war nach einigen Turbulenzen 1975 die Geburtsstunde der ersten industriell sicher hergestellten Wärmedämmscheibe mit Wärmedämmschicht, eine neue Produktgattung war aus der Taufe gehoben.**

Die großen Befürchtungen des Vertriebs, dass man sich mit dem Produkt „Thermoplus“ mit Goldschicht das lukrative Infrastop-Geschäft kaputt mache, traten nicht ein. Die Schicht auf Position 3 erwies sich im Nachhinein als glücklicher Griff und wurde bei allen in der Folgezeit entwickelten Wärmedämmgläsern beibehalten. Es wird hierdurch der g-Wert der Verglasung wegen der höheren sekundären Wärmeabgabe an den Innenraum infolge der Absorptionswirkung der Schicht erhöht, d. h. das Gegenteil davon erreicht, was man bei den Sonnenschutzgläsern anstrebt. Man stellte recht bald fest, dass dies ein Vorteil der Wärmedämmscheibe ist, bietet sie doch hierdurch gemeinsam mit der hohen Wärmedämmung Sonnenkollektoreigenschaften, was Heizenergieeinsparung ermöglicht. Bei der Entwicklung, besser gesagt bei der Anpassung der vorhandenen Goldschicht an die neuen Anforderungen, habe ich daran nicht gedacht. Es ging nur darum, die Goldfarbe zu kaschieren. Der g-Wert wurde dann auch nach einer Schamfrist als kennzeichnenden technischen Wert der Wärmedämmgläser in den Prospekten wieder herausgestellt, jetzt jedoch nicht als „Sonnenschutzfaktor“, sondern als Maß für den Sonnenenergiegewinn.

Der Verkauf wurde in der Folgezeit sogar selbst innovativ. Nach kurzer Zeit erschien der Vorstand „Vertrieb“ im Labor und fragte an, ob wir die Schicht nicht noch etwas transparenter machen könnten. Dies war natürlich möglich; die Goldschicht wurde

einfach noch etwas dünner aufgebracht. Die Wärmedämmwirkung wird hierdurch etwas schlechter, dies wurde aber in Kauf genommen. So hatten wir bald sogar schon zwei Produkte. „Thermoplus 1,4“ und „Thermoplus 1,6“, das letztere Produkt mit der etwas schwächeren Wärmedämmwirkung.

Die Anpassung der Goldschicht für die Thermoplus-Produkte sowie die Entwicklung der schließlich fehlgeschlagenen Silberschicht wurden ausschließlich mit der Sputteranlage durchgeführt, wobei mich Herr Oelsner, mein erster Mitarbeiter bei der DELOG und damals immer noch Leiter dieses Betriebes, sehr unterstützte. Er war gelernter Feinmechaniker; ihm zur Seite stand Herr Schall, ein gelernter Müller! Entwicklungsversuche mit einer Produktionsanlage zu fahren, wenn man die laufenden Aufträge, wie bei der Beschichtung mit Silber, nicht fertig bekommt, erfordert große Hilfsbereitschaft. Nach der Umstellung auf die Goldschicht bei den Thermoplus-Produkten war aber die Stilllegung der Sputteranlage endgültig abgewendet. Sie war noch bis 1992, d. h. insgesamt 24 Jahre unter der Leitung von Herrn Oelsner in Betrieb. Die FLACHGLAS AG hat gutes Geld mit ihr verdient.

Während des oben geschilderten Dramas habe ich ab 1974 im Labor systematisch und mit großer Intensität die übrigen Möglichkeiten der Verbesserung der Wärmedämmung bei Isoliergläsern (Gasfüllung und Scheibenabstand) untersucht. Hierbei war mir Herr Graw, ein gelernter Bergmann, als Mitarbeiter sehr behilflich. Die Ergebnisse dieser Arbeit durfte ich dann 1977 im Rahmen einer Festschrift für einen Vorstand der Firma Schott in Mainz veröffentlichen [12]. Sie gilt heute als das Standardwerk für Wärmedämmgläser und ist in viele Sprachen übersetzt worden. Die Meßmethode für den k-Wert, die ich damals entwickelt und angewendet habe, war Grundlage der DIN EN 675.

In diese Zeit fällt auch eine Zusammenarbeit mit der Firma Philips in Aachen. Sie untersuchte ab 1974, ebenfalls durch die Energiekrise angeregt, mit erheblicher staatlicher Unterstützung Energieeinsparungsmöglichkeiten im Wohnungsbau. Was für Lampen gut ist, kann ja auch für Häuser nützlich sein, das hatte man ja bei Philips schon früh begriffen! Dazu wurde das so genannte „Aachener Sonnenhaus“ - ein früherer Vorläufer des heutigen Passivhauses - geplant und mit öffentlichen Mitteln schließlich auch realisiert [13]. Die Firma Philips hatte auch herausgefunden, dass es zur Einsparung von Heizenergie im Wohnungsbau ganz wesentlich darauf ankam, den Wärmeverlust durch die Fenster zu reduzieren und gleichzeitig mit den Fenstern Sonnenenergie zu gewinnen, d. h. Fensterscheiben mussten einen niedrigen k-Wert und hohen g-Wert haben, was Wärmedämmgläser gewährleisten. Für ihre eigene Idee, die Wärmedämmgläser mit transparenten, elektrisch leitfähigen Zinn- und Indiumoxidschichten wie bei den energiesparenden Niederdruck-Natriumdampflampen auszurüsten [5], gab es damals noch keine Realisierungsmöglichkeit; man konnte diese Schichten noch nicht auf Flachglas großflächig aufbringen. Ihr

ehemaliger Kollege, nun bei FLACHGLAS AG, war ja aus dem Projekt ausgestiegen. Die Firma Philips versuchte deshalb in Gesprächen mit der FLACHGLAS AG stattdessen, die Infrastop-Type „Auresin 66/44“ als Wärmedämmscheibe umzufunktionieren. k-Wert und g-Wert waren bei diesem Produkt besser als bei „Thermoplus“. Das Vorhaben scheiterte daran, dass die FLACHGLAS AG nicht bereit war, diese Gläser zum Preis von „Thermoplus“ zu liefern. Dies war für die Firma Philips aber eine *conditio sine qua non*. Man war damals bei der FLACHGLAS AG aus Gründen des Betriebsergebnisses tunlichst darauf bedacht, die Trennung zwischen Wärmedämm- und Sonnenschutzgläsern nicht zu durchbrechen. Da etwas anderes zur damaligen Zeit nicht auf dem Markt erhältlich war, akzeptierte die Firma Philips schließlich nach langer Diskussion das Produkt „Thermoplus“ und es kam im „Aachener Sonnenhaus“ zum Einsatz. Dies hatte für die weitere Entwicklung der Wärmedämmgläser zwei, wie ich meine, fundamentale Auswirkungen: Zum einen wurden wegen der staatlichen Unterstützung des Aachener Sonnenhauses ab jetzt Wärmedämmgläser für den zukünftigen Wohnungsbau auch staatliche als Energiesparmaßnahme anerkannt und zum anderen war mit dem Wunsch der Firma Philips, das Sonnenschutzprodukt „Infrastop„Auresin 66/44“ umzufunktionieren, der Weg für die zukünftige Entwicklung hin zu einer entspiegelten Silberschicht anlog dem Aufbau der Auresin 66/44-Schicht aufgezeigt.

Trotz dieses Erfolges war für mich damals die Uhr bei der FLACHGLAS AG abgelaufen. Ich hatte den DEATAG-Leuten das Spielzeug verdorben. Mein Plan war zu Beginn des Jahres 1978 zur Firma Leybold-HERAEUS in Hanau zu wechseln. Die Zeit der Abnabelung von der FLACHGLAS AG habe ich genutzt, um zu untersuchen, wie bessere Wärmedämmschichten zu erzielen sind. Hierfür hatte ich mehrere Gründe: Zum einen wollte ich das Debakel mit der Silberschicht so nicht stehen lassen, ich hatte ja Erfahrungen gesammelt. Zum anderen reizte mich ungemein der Nachbau der Schicht des Produktes „Auresin 66/44“, die mein Chef, Herr von Reis - ein sehr schwacher Vorstand, von der DELOG übernommen - mir immer mit der Bemerkung vorhielt: „Ja Herr Gläser, wenn Sie diese Schicht mit Ihrem Prozess zustande brächten, dann könnte ich Ihnen helfen“. Auch die Firma Philips hatte ja darauf hingewiesen, was zu tun sei. Nicht zuletzt hatte ich auch die Hoffnung nicht aufgegeben, durch eine letzte Kraftanstrengung das Steuer bei FLACHGLAS AG doch noch herumreißen zu können.

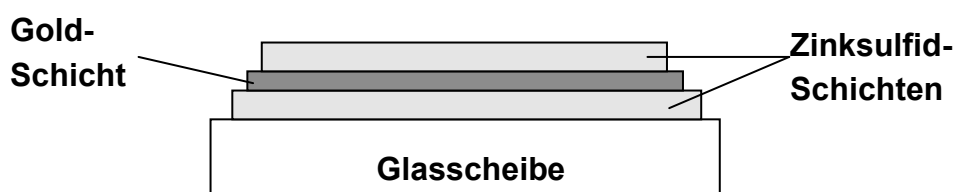


Bild 3: Aufbau der Schicht „Auresin 66/44“

Bei der „Auresin 66/44“-Schicht handelt es sich ja, wie oben dargestellt, um eine

Goldschicht, die in Zinksulfidschichten eingebettet ist (s. Bild 3). Die Zinksulfidschichten entspiegeln die Goldschicht, wobei der Farbton in Außenansicht von goldfarben nach blau verschoben wird. In einer Nacht- und Nebelaktion habe ich dann mit einer Laborsputteranlage Silber-, Gold- und Kupfer-Schichten, die in Zinn-, Zink- und Wismutoxidschichten eingebettet waren, untersucht. Mir war bei dem Debakel mit der Silberschicht bei der Thermoplus-Entwicklung klar geworden, dass man alterungsbeständige Silberschichten nur durch Einbettung in Schutzschichten erreichen kann. Außerdem sollte man diese so ausführen, dass sie gleichzeitig die Silberschichten auch noch entspiegeln, damit die Schicht lichtdurchlässiger wird. Um es kurz zu machen: Die Silberschichten wurden durch Einbettung in Zinn- und Zinkoxidschichten alterungsbeständig und gleichzeitig entspiegelt. Eingebettet in Wismutoxidschichten schwärzten sie sich jedoch bei UV-Bestrahlung sehr intensiv, d. h., sie waren nicht alterungsbeständig, sie solarisierten. Das Silberschichtsystem mit einbettenden Wismutoxidschichten habe ich deshalb damals nicht weiter verfolgt. Zu meiner Überraschung bemerkte ich, dass sich durch die Einbettung in Zink- und Zinnoxidschichten die Transmissionswerte der Silberschichten außergewöhnlich erhöhten, d. h., die angewandten einbettenden Schichten entspiegelten Silberschichten sehr effektiv. Die technischen Werte des „Auresin 66/44“ wurden sogar übertroffen; das war sensationell. Endlich war das Ziel, das mir Herr von Reis immer wieder vorgehalten hatte, erreicht. Die höchsten Transmissionswerte wurden mit Zinkoxidschichten erreicht. Darüber hinaus zeigte sich, dass die entspiegelten Silberschichten im Gegensatz zu den Gold- und Kupferschichten in der Durchsicht farbneutral waren. Ich wurde durch das Ergebnis der Versuche regelrecht euphorisch und habe sofort eine Patentanmeldung bei der FLACHGLAS AG eingereicht. Aber ich wurde alsbald wieder auf den Boden der Realität zurückgeholt; die Patentabteilung der FLACHGLAS AG teilte mir mit, dass meinen Untersuchungen *möglicherweise große Bedeutung zukommen wird*, ein Patentbegehren sei jedoch wegen diverser Vorveröffentlichungen nicht möglich. Das habe ich ja noch verstanden. Jeder, der jedoch Einblick in das Patentwesen hat, weiß, wie man so etwas umgehen kann. Dies wurde aber erst gar nicht versucht. Entrüstet hat mich aber die Fortsetzung des Schreibens: *bei der Angelegenheit ist von einem normalen Arbeitsergebnis auszugehen*. Das war der Höhepunkt und für mich der endgültige Bruch mit der FLACHGLAS AG.

Ich habe diese Untersuchung nach meinem Ausscheiden bei der FLACHGLAS AG in einer einschlägigen deutschen Fachzeitschrift zu veröffentlichen versucht. Ich erhielt jedoch von dem Redakteur, Herrn Prof. Trier, die telefonische Mitteilung, dass man das Manuskript zwar sehr interessant fände, aber leider nicht annehmen könne. Hinter vorgehaltener Hand wurde mir als Grund Furcht vor Repressalien seitens der FLACHGLAS AG wegen meiner ehemaligen Mitgliedschaft in dieser Firma genannt und diskret die Anschrift eines englischen Verlages genannt, bei dem ich es noch einmal versuchen möge. Dort ist die Veröffentlichung dann auch 1980, wenn auch in

schlechter Übersetzung, erschienen [14]. Sie hat dennoch auf die weitere Entwicklung der Wärmedämmschichten Einfluss genommen (s. erste Wärmedämmschicht der Firma Airco (USA) auf der Basis von Silber). Die weitere Entwicklung von Schichten bei der FLACHGLAS AG hat jedoch gezeigt, dass man meine damalige Untersuchung wirklich lediglich zur Kenntnis genommen hat.

Parallelentwicklungen der europäischen Flachglaserzeuger

Die Holding Glaverbel-Mecaniver in Brüssel war von dem Erfolg des Produktes ‚Thermoplus‘ der Schwesterfirma FLACHGLAS AG angetan. Man sah dort aber die Chance, durch eine Wärmedämmschicht, aufgebracht on-line mit dem Flachglas-erzeugungsprozess, als Vorprodukt für Isoliergläser wesentlichen Einfluss auf den Isolierglasmarkt nehmen zu können. Die inzwischen vielen mittelständischen Isolierglashersteller in Europa waren den Herrschaften ein Dorn im Auge. Als Beschichtung entsann man sich der Zinnoxidschichten, die die Firma Philips bei ihren Niederdruck-Natriumdampflampen erfolgreich einsetzt und die sie einige Jahre vorher der Flachglasindustrie vergeblich angepriesen hatte. Ziel war, die Schicht auf das heiße Glass nach der Formgebung aufzusprühen [15]. Die Thermoplus-Entwicklung bei FLACHGLAS AG sollte nur eine Episode, ein Marktöffner sein.

Bei Boussois S.A. in Boussois an der französisch-belgischen Grenze in Frankreich hatte ein sympathischer französischer Kollege schon vor der Fusion von BSN-FLACHGLAS AG mit Glaverbel begonnen, diese Schichten mit einer Pilot-Anlage mit dem Ziel der Übertragung auf den Floatglasherstellungsprozess zu entwickeln. In Boussois war bekanntlich die erste Float-Lizenz der Firma Pilkington aus England zum Zuge gekommen. Die Glaverbel-Leute, mit einem für damalige Verhältnisse phantastisch ausgerüsteten „Centre de Recherche“ in Jumet (Belgien), verstanden es aber, diese Entwicklung an sich zu reißen und nach Belgien zu verlagern. Der sympathische Kollege ging anschließend verärgert und enttäuscht in den Ruhestand. Er wurde „Pre-pensionair“ .

Die Entwicklung der leitfähigen Zinnoxidschicht wurde nun, auch mit Unterstützung der FLACHGLAS AG zum Entwicklungsziel Nr. 1 für die ganze Holding erklärt; ihm wurde alles untergeordnet. Mit dem eingesetzten Geld hätte man Berge versetzen können! Mir wurde gesagt: „Machen sie ruhig weiter, Herr Gläser, in 2 Jahren werden ihre Goldschichten durch die Zinnoxidschicht ersetzt sein“. CFE (couche avec faible emissivité) war das Arbeitskürzel dieser Entwicklung. Auffallend war, dass mein Kollege, Dr. Groth, vom Nachbarlabor in Gelsenkirchen, der diese Schicht bei Philips für die Anwendung in Lampen erfolgreich entwickelt hatte und der zu ihrer Übertragung auf Flachglas von der DETAG eingestellt worden war, von dem Projekt gar nichts hielt und zur Mitarbeit an dem Projekt auch nicht zu bewegen war. Dies habe ich zuerst nicht verstehen können. Ich kaufte mir dann eine Niederdruck-

Natriumdampflampe der Firma Philips. Beim Anblick dieser Lampe dämmerte es mir. Die Wärmedämmschicht auf der Enveloppe war milchig trüb und mehr transluzent als transparent, was für die Funktion von Lampen ohne Bedeutung ist; für Fensterverglasung war dies jedoch nicht akzeptabel. D. h., die Schicht hatte einen erheblichen Schleier, wie man heute sagt, der dann auch eines der großen Probleme bei der Übertragung der Schicht auf Flachglas war.

Es kam dann auch hier anders als geplant. Nach zwei Jahren – die Entwicklung wurde wohl auch aus historischen Gründen auf der Libbey-Owens-Tafelglas-Herstellungsanlage in Mol (Belgien) durchgeführt – hatte man noch keine Schicht, die ohne Einschränkungen verkäuflich war. Die zu bewältigenden Probleme waren enorm. Aber man ließ nicht locker. Ich hatte immer den Eindruck, dass Glaverbel Pilkington mit einem on-line beschichteten Flachglas als Massenprodukt doch noch den Rang ablaufen wollte. Glaverbel war bekanntlich mit der Weiterentwicklung des Libbey-Owens-Verfahrens zur Tafelglasherstellung gegen Pilkington mit der Entwicklung des Floatverfahrens unterlegen; das war schmerzlich gewesen und noch nicht vergessen. Um es abzukürzen: Erst einige Jahre später kam Glaverbel mit dem Produkt „Comfort“ auf den Markt. Die Grundprobleme der Schicht dieses Produktes, der Schleier, sowie eine rußige Oberfläche nach der Beschichtung, die abpoliert werden musste, und dazu noch die mangelnde Farbhomogenität der Schicht in Außenansicht, waren schwerwiegende Mängel. Das Produkt „Comfort“ war aus ästhetischen Gründen für Hochbauverglasungen auf einem fortgeschrittenen Markt unverkäuflich. Seit 1991 wurde es von Glaverbel auch on-line mit dem Floatglasherstellungsprozeß ebenfalls mit Sprühtechnik hergestellt; seine Qualität wurde hierbei aber nicht entscheidend verbessert. Glaverbel hat dann einige Zeit später die Produktion dieses Produktes mit Sprühtechnik ganz eingestellt. Ein riesiger Flop!

Der Not gehorchend hat Glaverbel aber 1977 eine Produktidee realisiert, deren Tragweite m. E. bis heute nicht voll erkannt wurde. Wegen des großen Ausschusses bei der Comfort-Produktion hat man Anwendungen gesucht, bei denen man auch Scheiben minderer ästhetischer Qualität einsetzen kann. Hier bot sich eine Einscheiben-Verglasung bei Gewächshäusern mit Schicht auf Position 1 an, d. h. auf der Außenoberfläche der Verglasung. Ein Schleier in Durchsicht und Farbabweichungen in Außenansicht spielten hier keine Rolle; die Wärmedämmeigenschaften und die hohe solare Transmission der Schichten sind für diese Anwendung ausschlaggebend. Unter dem Markennamen „Hortiplus“ wurde das Produkt verkauft [16]. Die mit dieser Verglasung erzielbaren Verbesserungen, die weitgehende Taubeschlagfreiheit der Oberflächen zum Außen- und Innenraum und die erzielte Heizenergieeinsparung, waren verblüffend. Das Produkt wurde jedoch mit der Stilllegung der On-line-Sprühtechnik auch wieder vom Markt genommen. Erst zu Beginn der Jahrhundertwende ist man auf diese Produktidee bei Hochbauverglasungen zurückgekommen [17].

Wegen der Misserfolge und mit den Erfahrungen mit der On-line-Sprühtechnik auf das heiße Glas bei Glaverbel in Mol hat man bei FLACHGLAS AG in Gladbeck Ende der 1970er Jahre Versuche gestartet, die Zinnoxidschicht auf das heiße Floatglas ebenfalls nach der Formgebung, d. h. nach dem Floatbad, mit CVD(Chemical-Vapour-- Deposition)-Technik aufzubringen [18]. Die Versuche wurden dann nach der Zerschlagung der Holding Glaverbel-Mecaniver und dem Verkauf der FLACHGLAS AG an die Firma Pilkington von Gladbeck nach Lathom (UK), dem Sitz der Firma Pilkington, verlegt. Wieder schallte es mir aus dem FLACHGLAS-Vorstand entgegen: „Herr Gläser geben Sie auf, in 2 Jahren werden ihre Entwicklung überholt sein.“ Das tat ich natürlich nicht. Ich war inzwischen überzeugt, dass die Philips-Leute in Aachen gute Arbeit geleistet hatten. Vorausgesetzt es würde gelingen - so war meine Überzeugung - die Schicht ästhetisch einwandfrei, d. h. ohne Schleier und großflächig farbgleichmäßig aufzubringen, so kann sie bzgl. der technischen Werte nie an die Wärmedämmschichten auf der Basis der Edelmetallschichtsysteme heranreichen. Dr. Groth konnte das offenbar dem FLACHGLAS-Vorstand nicht klar machen. Wahrscheinlicher ist: „Bei wichtigen Entscheidungen bleiben Wissenschaftler in der Industrie außen vor“ (s. o.).

Den Pilkington-Leuten gelang es in der Folgezeit die Zinnoxidschicht mit der CVD-Technik on-line mit der Floatglasherstellung so zu verbessern, dass sie nach der Beschichtung nicht poliert werden musste. Ihre Ästhetik war zwar nicht einwandfrei, aber wesentlich besser als die des Produktes Comfort der Glaverbel. Glaverbel war gegen Pilkington wieder einmal mit einer Entwicklung unterlegen! Das von Pilkington entwickelte Produkt wurde unter dem Markennamen ‚K-Glass‘ verkauft. Die Wärmedämmschichten auf der Basis von Edelmetallschichten konnte es, eingesetzt bei Wärmedämmgläsern, wegen der schlechteren technischen Werte bis auf einige kurzzeitige Markterfolge in England nicht verdrängen. Der große Vorteil der chemisch auf heißes Glas aufgetragenen Zinnoxidschichten im Vergleich zu den Wärmedämmschichten auf Edelmetallbasis ist die hohe chemische und mechanische Beständigkeit. Scheiben mit abgewandelter K-Glass-Schicht werden deshalb heute erfolgreich als TCOs (Transparent Conductive Coatings) mit dem Markennamen ‚Tec-Glasses‘ u. a. bei Dünnschicht-PV-Modulen und in Zukunft ggf. auch zur Verhinderung von Außenbeschlag auf der Außenoberfläche von Gebäudeverglasungen eingesetzt. Die Firma Glaverbel, heute als AGC firmierend, bietet für die letztere Anwendung auf diese Weise beschichtete Gläser unter dem Markennamen ‚Planibel AF (G fast)‘ an; man ist inzwischen also auch auf die CVD-Technik wie bei Pilkington eingeschwenkt.

Auch der Saint-Gobain-Konzern in Frankreich wollte bei der Entwicklung der Zinnoxidschicht on-line mit dem Floatprozess Schritt halten und wendete hierzu in den 1990er Jahren die Pulversprühtechnik, auch ein chemisches Beschichtungsverfahren, an [19]. ‚EKO‘ hieß das auf dem Markt angebotene Produkt, das jedoch nicht

über die Startphase hinaus kam.

Die Entwicklung von Wärmedämmschichten auf der Basis von Silber

Nach einem kurzen Gastspiel bei der Firma Leybold-Heraeus in Hanau bin ich 1979 mit einem Anlagenverkauf für die Herstellung von Wärmedämmschichten auf der Basis von Goldschichten in die Firma Interpane eingetreten. Zu diesem Zeitpunkt konnten diese Schichten und somit beschichtete Wärmedämmgläser außer Firma Flachglas AG nur die Firmen Interpane und die VEGLA(Saint-Gobain)-Tochter Glas- und Spiegelmanufaktur in Gelsenkirchen herstellen. Interpane nannte dieses Produkt „Interthermplus“, ein Produktnamen, der von der Kundschaft als Zungenbrecher empfunden wurde. Der Erfolg der beschichteten Wärmeschutzgläser forderte die restlichen Isolierglashersteller in der BRD (damals ca. 300) zu Gegenreaktionen heraus, die auch dadurch nicht abgemildert werden konnten, dass Interpane Lizenzverträge für beschichtetes Basisglas zur Weiterverarbeitung zu Wärmedämmgläsern mit diesen Wettbewerbern abschloss. Der Stolz dieser Herrschaften – viele hatten sich ja gerade erst von den „Hütten“ als selbständige Isolierglasproduzenten abgesetzt - war zu groß, um sich nun wieder in eine Abhängigkeit zu begeben. Ihre Strategie war deshalb, die goldbeschichtete Wärmeschutzscheibe abzuqualifizieren. Aufhänger dabei war der grünliche Farbstich dieser Gläser in Durchsicht. Die goldbeschichteten Wärmeschutzgläser wurden dann auch recht bald in der Glasbranche als „Gardinenglases“ abqualifiziert. Die Folge war, dass der damals rasante Anstieg des Marktes dieser Gläser innerhalb kurzer Zeit erheblich ins Stocken kam. Marktanteile gewannen wieder die vorher schon auf dem Markt befindlichen unbeschichteten Dreifach-Isoliergläser mit etwas schlechterem k-Wert, aber farbneutraler Durchsicht. Für Interpane hatte dies katastrophale Folgen. Man hatte voll auf das neue Produkt gesetzt, und die gerade getätigten Investitionen in Lauenförde und vor allen Dingen in Plattling drohten zum Flop zu werden.

Um dies abzuwenden, musste quasi aus dem Stand eine in Durchsicht und tunlichst auch in Außenansicht farbneutrale beschichtete Wärmedämmscheibe her, und zwar herstellbar mit den bestehenden Beschichtungsanlagen in Lauenförde und Plattling. Für weitere umfassende Investitionen war der Kreditrahmen der Firma, so war zumindest mein Eindruck, ausgeschöpft.

Von meinen Erfahrungen aus der Zeit bei Flachglas AG her wäre eine Glas/ZnO/Ag/ZnO- Schicht die geeignetste Lösung gewesen [s. 14]; sie konnte aber wegen der geringen Sputterraten des ZnO mit den bei Interpane vorhandenen Anlagen für konventionelles Sputtern nicht beschichtet werden. Mit den bei Interpane vorhandenen Anlagen ließen sich lediglich die Materialien Au, Ag, Cu und Bi-Oxid sowie mit Abstrichen auch Bleioxid beschichten. Das Ag/Bi-Oxid-Schichtsystem, die einzi-

ge wirtschaftlich herstellbare Alternative zeigt aber, - das hatte ich schon bei FLACH-GLAS AG herausgefunden – Solarisation, d. h. Schwärzung bei Sonneneinstrahlung. Den Ursachen bin ich damals nicht nachgegangen; ich hatte dieses Schichtsystem bei Flachglas AG wegen dieses Makels nicht weiterverfolgt (s. [14]).

Die Lösung dieses Problems konnte allenfalls eine Sperrschicht zwischen Ag- und den einbettenden Bi-Oxid-Schichten sein, obwohl ich wusste, dass Sperrschichten immer die Gefahr in sich bergen, dass es zeitlich begrenzte Lösungen sind. Gegen Diffusionsprozesse – und um einen solchen musste es sich nach meiner damaligen Vorstellung bei der vorliegenden Solarisation handeln – ist langfristig kein Gras gewachsen; man erreicht mit ihnen je nach Diffusionswiderstand nur eine mehr oder weniger zeitliche Verzögerung der Diffusion. Die Frage war: Wie stabil ist die einzige damals bei Firma Interpane herstellbare Lösung, das Schichtsystem Glas/Bi-Oxid/Bleioxid/Ag/Bleioxid/Bi-Oxid, gegenüber Sonneneinstrahlung?

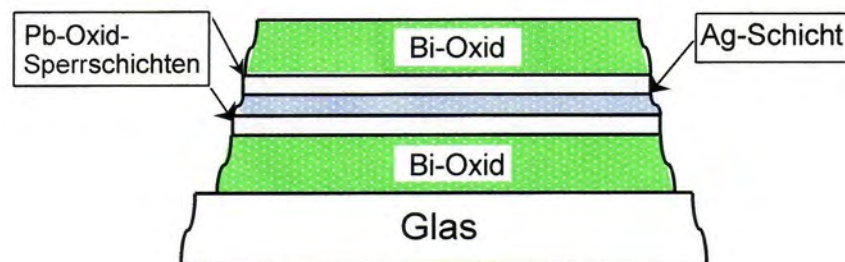


Bild 4: 1. Aufbau der 1. ‚iplus-neutral‘-Schicht, Fa. Interpane [20]

Dieses Schichtsystem, hergestellt mit der Produktionsanlage - eine Labor- oder Pilotanlage gab es damals noch nicht bei Interpane - , zeigte bei UV-Bestrahlung von der Schichtseite her überraschend nur sehr geringe und bei Bestrahlung von der Glasseite her keine Solarisation. Ich schloss daraus, dass UV-Strahlen eine wesentliche Ursache der Solarisation des Ag/Bi-Oxid-Schichtsystems sind. Ohne weitere Alterungsbeständigkeitsversuche abzuwarten, wurde - der Not gehorchend - die Lauenförder Anlage auf dieses Schichtsystem ab September 1981 umgestellt und das neue Produkt mit dem Namen ‚iplus neutral‘ auf dem Markt angeboten. Es wurde aus dem Stand ein Verkaufserfolg. **‚iplus neutral‘ war weltweit die erste vermarktete Wärmedämmschicht auf der Basis eines Silberschichtsystems.** Mein damaliger Mitarbeiter, Dipl.-Ing. K. Häuser, hat an der Entwicklung dieser und weiterer Schichten in der Folgezeit maßgeblichen Anteil.

Wegen des Verkaufserfolges tat sich jedoch bald ein neues Problem auf: Die Beschichtungskapazität in Lauenförde war viel zu gering. Gefordert wurde, dass die Anlagenumstellung in Plattling in 4 Wochen geschehen müsse. Es wäre sehr ratsam gewesen, zuerst einmal die Erfahrungen in Lauenförde mit der neuen Schicht abzuwarten. Dies war aber offensichtlich nicht möglich, da die Finanzlage der Firma in zwischen zu prekär geworden war. Die Anlagen-Umstellung in Plattling auf die neue

Schicht - **die dort erstmalig in der Welt auf Bandmaße mit den Abmessungen 3,20 m x 6,00 m zu bewerkstelligt wurde** – gelang dann auch, wenn auch nicht so schnell wie von der Geschäftsleitung gewünscht.

Bei Flachglas AG und auch bei Firma Schott in Mainz hatte man die neuen Aktivitäten von Interpane mitbekommen und sich ‚iplus‘-Proben beschafft. Mein großer Konkurrent bei Flachglas AG, Dr. Groth, hatte inzwischen auch ein Sonnenschutzschichtsystem auf der Basis von Ag, aufgebracht mit thermischem Aufdampfen, entwickelt, das auf dem Markt angeboten und auch verkauft wurde. Man hatte vor meinem Ausscheiden bei FLACHGLAS AG sehr wohl meine Aktivitäten bzgl. der Untersuchungen an Ag-Schichtsystemen mitbekommen, auch was deren Alterungsbeständigkeit betraf. Selbst favorisierte man jedoch als zukünftige Wärmedämmschicht (wie auch Firma Airco Temscal in USA.), ein Kupfer/Zinnoxidschichtsystem (CTO), aufgebracht auch mit Sputtern; man hatte hierzu zwischenzeitlich bei Leybold-Heraeus eine Durchlaufanlage geordert.

Dr. Dislich, bei Firma Schott in Mainz Spezialist von Beschichtung mit Tauchverfahren, hatte die ‚iplus‘-Proben auf Ibiza auf dem Flachdach der Urlaubsresidenz des Schott-Vorstandes Dr. Eden exponiert. (Dr. Eden stellte diese Villa verdienten Mitarbeitern als Urlaubsdomizil zur Verfügung.) Auch Schott hatte damals die Marktmöglichkeiten der Wärmeschutzschichten erkannt und einige Versuche, auch mit beschichteten Produkten von Fremdfirmen unternommen. Dr. Dislich berichtete mir dann nach einer Zeitspanne (ich glaube es war $\frac{1}{2}$ Jahr später), dass man über die Alterungsbeständigkeit des ‚iplus‘ erstaunt sei. Man hätte nach den eigenen Erfahrungen nicht gedacht, dass es möglich sei, die Alterungsbeständigkeit von Ag-Schichten im Isolierglasaufbau zu erreichen. Auch aus Kreisen der FLACHGLAS AG wurde mir zugetragen, dass man über die Alterungsbeständigkeit und die Farbneutralität der ‚iplus‘-Schicht erstaunt sei. Die Folge dort war, dass das eigene CTO-Entwicklungsprojekt wegen fehlender Farbneutralität des angestrebten Produktes hauptsächlich in Durchsicht aufgegeben wurde. (Dasselbe geschah bei Firma Airco Temescal in der Folgezeit; man schwenkte dann dort auf das Ag/ZnO-Schichtsystem um (s. o.)) 2 Jahre Entwicklungszeit waren bei Flachglas AG in den Sand gesetzt worden. Im Vorstand der FLACHGLAS AG soll das Produkt ‚iplus‘ einen kleinen Aufstand zur Folge gehabt haben. Nach einer Zeit großer Unsicherheit und Zweifel war ich jedoch nach diesen Informationen zuversichtlich, dass das Ag/Bi-Oxid-Schichtsystem mit Bleioxid-Sperrschichten, die die Ag-Schicht einbetten, im Isolierglasverbund beständig gegen Solarisation ist, vorausgesetzt natürlich, die Sperrschichten sind in Ordnung. Festzustellen ist: Interpane und auch ich haben großes Glück gehabt. Aufgrund der vorhandenen Erfahrungen war dieser Erfolg nicht vorhersehbar gewesen.

Das Schichtsystem hatte nur ein Problem: Der Verkaufserfolg des ‚iplus‘ war inzwi-

schen so groß, dass die Beschichtungskapazitäten mit den vorhandenen, umgestellten Anlagen in Lauenförde und Plattling immer noch nicht ausreichte. Die Folge war, dass der Druck der Kaufleute auf die Technik, aus den Anlagen herauszuholen, was nur geht, von Tag zu Tag größer wurde. An zusätzliche Anlageninvestitionen war bei Interpane aus den oben aufgeführten Gründen nicht zu denken.

Abhilfe konnte hier nur eine kürzere Taktzeit der Chargen durch Wegfall der untersten Bleioxidschicht bringen. (Uns war damals recht bald klar geworden, dass man auf die oberste Bleioxidschicht wegen der Oxidationsgefahr der Ag-Schicht beim reaktiven Sputtern der Schutzschicht nicht verzichten kann.) Dies bedeutete aber einen Paradigmenwechsel; d. h. weg von den Diffusionssperrschichten und hin zu UV- beständigen Ag/Bi-Oxidsystemen. Die Ursache der Solarisation musste also angegangen werden. Ich erinnerte mich damals an einen Clausthaler Kollegen, Dr. Hoffmann, der zu Agfa nach Leverkusen gegangen war. Diesen konnte ich ausfindig machen, und er gab mir, wie ich meine, den entscheidenden Hinweis, dass es sich wohl um einen Oxidationsprozess des Silbers handeln könne. Ein Beweis hierfür sei, dass sich die Schwärzung aufhelle, wenn man die Proben bei Temperaturen etwas über 200 °C erwärme; Silber habe eine sehr geringe Bindungsenergie zum Sauerstoff. Unsere Versuche ergaben: Die durch Solarisation geschwärzten Proben hellten sich nach Temperung bei 200 °C auf. Der Sauerstoff zum Aufoxidieren des Silbers, so schloss ich daraufhin, konnte nur aus dem Bi-Oxid kommen. Auch Bi-Oxid ist ein chemisch schwach gebundenes Oxid, sonst hätten wir es gar nicht mit konventioneller Diodentechnik sputtern können. Ich hatte dann die Idee, die Bindung des Sauerstoffes im Bi-Oxid durch Dotieren von Stoffen mit höherer Bindungskraft – Affinität sagen die Chemiker – zum Sauerstoff zu verstärken; ich nannte es damals: ‚Das Bi-Oxidgitter ionischer machen.‘ Dies musste folglich dann aber auch, wenn die bisherigen Sputtertheorien zuträfen, mit einer Einbuße der Sputterrate verbunden sein, was geringere Produktionskapazität zur Folge hatte. Es galt also zu prüfen, ob es eine Balance zwischen hinreichender UV-Beständigkeit und ausreichender wirtschaftlicher Sputterrate gab.

Herr Dr. Schlamp von Firma Demetron in Hanau, unser Targetlieferant, stellte in kürzester Zeit eine Kathode mit unterschiedlich dotierten, aufgebondeten Bi-Targetplättchen her, die in der Produktionsanlage in Lauenförde in Kombination mit einem Silberschichtsystem in der gleichen Charge, d. h. unter gleichen Bedingungen getestet wurde. Die Ergebnisse dieser Untersuchung haben mich sehr überrascht. Es ergab sich durch Mangan(Mn)-Dotierung des Wismuts nicht nur ein gegen Solarisation beständiges Schichtsystem, sondern es zeigten sich daneben auch Effekte, die ein Forscherleben hätten ausfüllen können. Jedenfalls, die Idee, das Bi-Oxid durch Dotierung, z. B. mit Mangan, ionischer zu machen, trug. (Die Fortsetzung dieser Versuche hatte ich mir für den Ruhestand vorgenommen.) Entscheidend war, dass das Schichtsystem Glas/Bi-Oxid;Mangan/Ag/Bleioxid/Bi-Oxid:Mangan bei Bestrahlung

schon von der Schichtseite her wesentlich beständiger als die 1. ‚iplus‘-Schicht war. Nach einem Tag UV-Bestrahlung von der Schichtseite her sank die Lichttransmission zwar um 1 – 2%; sie stieg nach weiterer Bestrahlung jedoch wieder auf das alte Niveau und übertraf dieses ggf. sogar. Bei Bestrahlung von der Glasseite her waren die Schichten gegen UV-Bestrahlung völlig beständig. Die Sputterrate sank, wie erwartet, auch mit der Konzentration der Mn-Dotierung. Man wusste damals schon, dass 0,6% Mangankonzentration die maximal mögliche Dotierung im Wismut ist, darüber hinaus gibt es eutektische Ausscheidungen (Das führte später zu dem großen Debakel in Deerfield (USA), s. u.). Um ein Optimum zwischen UV-Beständigkeit und wirtschaftlicher Sputterrate zu erzielen, wurde ab Mai 1982 in Lauenförde bei der Beschichtung von halben Bandmaßen 0,6% Mangan-Dotierung und in Plattling wegen der wesentlich intensiveren Scheibendurchbiegung der ganzen Bandmaße infolge der Erwärmung beim Sputtern des Bi-Oxids 0,4% Mangan-Dotierung bei den Bi-Targets eingesetzt. Wichtig war außerdem, dass das Schichtsystem mit Mangan dotiertem Bi-Oxid chemisch wesentlich beständiger als das ohne Mangan-Dotierung bei der 1. ‚iplus‘-Schicht war.

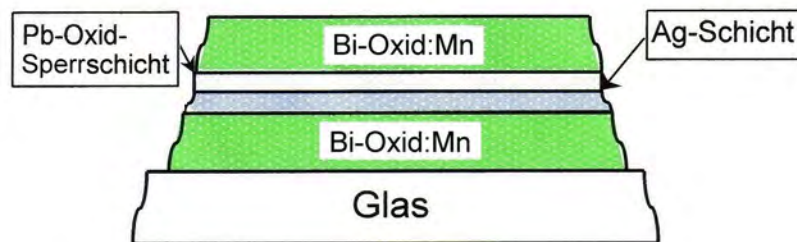


Bild 5: Aufbau der 2. ‚iplus-neutral‘-Schicht [21]

Die Beständigkeit gegenüber UV-Strahlung am Scheibenrande war auch bei dem 2. Schichtsystem kritisch. Meine Erklärung für die Ursache war folgende: Zum Scheibenrand hin nahmen die Schichtdicken der Einzelschichten ab, erkenntlich auch daran, dass die vorgegebene Transmission und auch die Farbe in Reflexion sich änderte. Schichten mit gestörtem Schichtaufbau neigten immer noch zu Solarisation. Die Ursache dieses Phänomens war eine fehlerhafte Befestigung der Scheiben auf den Beschichtungsrahmen, was Herr Dipl. Phys. Nickol nach meinem Ausscheiden bei Interpane bemerkt und abgestellt hat (alle Achtung!). Ich habe mich über dieses Randphänomen hinweggesetzt, da der Scheibenrand bei Bandmaßen Verschnitt ist, und bei Festmaßen wurden die Scheiben durch angrenzende Scheiben oder Anbringung von Blechen am Rand entsprechend vergrößert, alleine schon um die Farbgleichmäßigkeit einigermaßen zu gewährleisten.

Wegen der anhaltend steigenden Nachfrage nach ‚iplus‘, reichte trotz nun kürzerer Chargenzeit die Beschichtungskapazität in Lauenförde und Plattling auch nach Einführung des 4-Schichtbetriebs im 7-Tage-Wochenrhythmus recht bald wieder nicht aus. Die Anlagen wurden bis zur absoluten Grenze ausgequetscht. Ausschuss oder

Produktionsunterbrechungen wegen Anlagenausfälle wirkten sich auf die Lieferterminzusagen katastrophal aus. Anlagenwartung war quasi ein Fremdwort. Eine ordnungsgemäße Produktion sieht anders aus; aber die Kaufleute sahen das anders. Meine große Sorge war, dass an der Endkontrolle bei Fehlproduktionen nicht so genau hingesehen würde und hierdurch Reklamationen vorprogrammiert seien. Aber bis zu meinem Ausscheiden bei Interpane Ende 1988 gab es, soweit ich mich erinnern kann, nur eine ernstere Reklamation mit Schwärzungserscheinungen am Scheibenrand zur Scheibenmitte hin, die ggf. auf Solarisation schließen ließ. Die Ursache konnte bis zu meinem Ausscheiden nicht geklärt werden. Bei diversen Laborversuchen hatte sich bis dahin gezeigt, dass die UV-Beständigkeit immer dann kritisch wurde, wenn die IR-Reflexion der Schicht zu gering war, z. B. 80% anstelle von über 90%, was auf gestörten Schichtaufbau - z. B. die Silberschicht war zu dünn oder sie war durch fehlerhafte Deckschichtbeschichtung anoxidiert, d. h. defekt -, ein Phänomen, das analog den Randproblemen zu erklären war (s. o.).

Bei der Umstellung von konventioneller Diodentechnik auf Magnetronspütern bei Fa. Interpane in Deerfield in USA – Interpane wollte damals zum ‚Global Player‘ mit Wärmedämmschichten aufsteigen – zeigte sich dann urplötzlich, dass auch bei 0,6% Mn-Gehalt in den Bi-Targets das Silberschichtsystem nicht UV-beständig war. Ich tippte auf Entmischungsphänomene durch das Magnetronspütern, was aber, wie sich später herausstellte (s. u.), falsch war. Mein Lösungsansatz war damals, den Mn-Gehalt in den Bi-Targets zu erhöhen. Ich habe die Produktion sofort gestoppt, und mit Hochdruck wurden bei Demetron neue Targets mit 1% Mn mit Schmelztechnik (!) hergestellt und in Deerfield eingebaut. Wie uns (Demetron und auch mir) nach Kenntnis des Phasendiagramms des Zweistoffsystems Bi-Mn die Herstellung von Targets mit Schmelztechnik bei dieser Mn-Konzentration in den Sinn kommen konnte, ist mir bis heute schleierhaft. Jedenfalls, es zeigte sich, die Katastrophe war steigerungsfähig. Die Schichten waren danach in Fahrtrichtung der Kathoden mit Farbstreifen übersät. Durch Zufall bemerkte ich, dass die Targets an einigen Stellen magnetische Eigenschaften zeigten, die offensichtlich das Magnetfeld der Magnetronkathode verzerren, was ganz wesentlich die Farbstreifen in Folge ungleichmäßiger Beschichtung verursachte. Die magnetischen Stellen in den Targets waren zweifellos eutektische Bi-Mn-Ausscheidungen; ein neuer magnetischer Werkstoff war geboren, aber das half mir in diesem Moment wenig. Herr Dr. Schlamp hat dann innerhalb 4 Wochen bei Firma Demetron erstmalig das Sinterverfahren zur Herstellung von homogenen Bi-Mn(1%)-Targets entwickelt, mit denen endlich einwandfrei und auch UV-beständige Schichten hergestellt werden konnten. Die mit den neuen Targets hergestellten Schichten waren, soweit ich mich erinnern konnte, dann sogar bzgl. UV-Beständigkeit besser als die in Deutschland mit konventioneller Diodentechnik hergestellten. Die infolge der Target-Probleme sich hinausziehende Inbetriebnahme des Werkes Deerfield in USA hat Interpane damals Millionen gekostet. (Culpa mea!)

Aus dem Debakel habe ich letztendlich folgendes geschlossen: Die Bi-Oxid-Schichten, aufgebracht mit konventioneller Diodensputtertechnik, unterscheiden sich wesentlich von den mit Magnetrontechnik niedergeschlagenen, d. h. die Schichtzusammensetzung ist eine andere. Bei der Magnetronbeschichtung ist offensichtlich wegen der größeren Sputterrate wesentlich mehr loser oder lose gebundener Sauerstoff in der Schicht vorhanden als in der konventionell gesputterten; man braucht also höhere Mangengehalte, um diesen zu binden. Durch den intensiven Elektronen-Beschuss beim konventionellen Sputtern im Gegensatz zum Magnetronsputtern ist die Bi-Oxid-Schicht offensichtlich auch im ersteren Fall dichter.

Nachdem Interpane großen Markterfolg mit den ‚iplus‘-Schichten hatte, hat weltweit eine Reihe weiterer Firmen wärmedämmende Silberschichtsysteme mit anderen einbettenden Metalloxidschichten als Bi-Oxid entwickelt und vermarktet. Sie hatten jedoch alle den in Bild 4 gezeigten prinzipiellen Schichtaufbau Glas/Metalloxid/1. Sperrschicht/ Ag/2. Sperrschicht /Metalloxid.

1988 entdeckte dann H. Volz, ein Mitarbeiter von mir bei Interpane, dass mit dem Schichtaufbau Glas/Bi-Oxid/Ag/Sn-Oxid eine höhere Entspiegelung zu erzielen ist als mit dem bisher eingesetzten Schichtsystemen mit gleicher Haft- und Deckschicht [22]; d. h. man erzielt höhere spektrale Transmission. Man nannte in der Folgezeit das erstere Schichtsystem ‚asymmetrisch‘ und das letztere ‚symmetrisch‘. Ursache für die höhere Entspiegelung ist der unterschiedliche optische Brechungsindex von Haft- und Deckschicht. P. Grosse und Mitarbeiter haben dies dann mit Hilfe des Admittanzverfahrens theoretisch untermauert [23]. Die Umstellung von symmetrischen auf asymmetrische Silberschichtsysteme für Wärmedämmschichten begann in der Mitte der 1990er Jahre. Zu dieser Zeit kam die Temperbarkeit der Wärmedämmschichten für die Weiterverarbeitung zu ESG als Anforderung an die Wärmedämmschichten hinzu. Es zeigte sich dann, dass Bi-Oxid-Schichten oberhalb 400 °C nicht beständig waren, d. h. den noch höheren Temperaturen des ESG-Prozesses auch nicht standhielten. Firma Interpane, die bis dato immer noch einzige Firma, die Bi-Oxid-Schichten als Haft- und Deckschicht bei Wärmedämmschichten einsetzte, ersetzte dann nach und nach im Zuge der Umstellung auf asymmetrische Silberschichtsysteme auch die Bi-Oxid-Schichten durch andere temperbare Metalloxidschichten.

Der Einsatz von Schichtsystemen mit Wärmedämmwirkung gehört heute weltweit zum Standard bei Gebäudeverglasungen, wobei im normalen Wohnungsbau nahezu ausschließlich Schichtsysteme auf der Basis von Silber mit dem im Bild 4 dargestellten prinzipiellen Schichtaufbau Glas/Metall-Oxid/1.Sperrschicht/Ag/2.Sperrschicht/Metall-Oxid eingesetzt werden. Gegenüber der 1. ‚iplus-neutral‘-Schicht erhalten die heutigen Wärmedämmschichten durch andere einbettenden Schichten zusätzliche bzw. verbesserte Funktionen. So wird z. B. die untere Sperrschicht heute in der

Regel als ZnO-Schicht ausgeführt. Eine ZnO-Unterschicht, das hatte ich schon bei meinen verzweifelten Versuchen vor dem Ausscheiden bei FLACHGLAS AG bemerkt [s. 14], gewährleistet als Keimschicht - wie man heute weiß - ein optimales aufwachsen dünnster Ag-Schichten. Im Objektbau werden Schichtsysteme eingesetzt, bei denen durch spezielle einbettende Schichten die Ag-Schichtsysteme zusätzlich sonenschützend wirken.

Der Erfolg hat immer mehrere Väter

Da es unlängst eine Diskussion mit den Amerikanern über die Priorität der Einführung der Wärmedämmschichten bei Verglasungen gab, muss erwähnt werden, dass in den 60er Jahren des vergangenen Jahrhunderts die Firma Pittsburgh Plate Glass Industries, PPG abgekürzt, in USA auch transparente, elektrisch leitfähige Schichten hergestellt hat. Die Firma PPG hatte nach dem 2. Weltkrieg die „pyrolytische“ Beschichtung wie Firma Philips jedoch auf aufgeheiztem Flachglas, d. h. off-line vom Flachglasherstellungsprozess entwickelt und 1964 eine auf diese Weise beschichtete, aber nicht gleichzeitig wärmedämmende Sonnenschutzscheibe unter dem Markennamen „LHR“ (Light and Heat Reflecting) erstmalig zum Verkauf angeboten. Erklärt werden muss, dass die Amerikaner in diesem Fall unter „heat“ nicht Heizenergie, sondern Sonnenenergie verstehen. „Heat Reflecting“ bedeutet also sonnenenergiereflektierend! Mit diesem „pyrolytischen“ Verfahren hat die Firma PPG dann auch in der Folgezeit transparente, elektrisch leitfähige Schichten aufgebracht, und zwar zuerst ebenfalls elektrisch leitfähige Zinnoxidschichten, vermarktet unter dem Markennamen „Nesa“, und später auch elektrisch leitfähige Indiumoxidschichten, vermarktet unter dem Markennamen „Nesatron“. Diese beschichteten Gläser wurden jedoch nicht als Wärmedämmschichten eingesetzt, sondern vorwiegend als transparente Elektroden und Heizschichten, letztere z. B. für die Fenster von Flugzeug-Cockpits. Das Schillern in allen Spektralfarben dieser Fenster, die man früher auf Flugplätzen bei parkenden Flugzeugen sehen konnte, hatte als Ursache Interferenzen infolge ungleichmäßiger Dicke dieser Heizschichten. Aber dies störte die Piloten nicht, da die Scheiben in Durchsicht nur sehr geringe Farbverschiebungen aufwiesen. Als Bauverglasungen konnten diese beschichteten Scheiben jedoch wegen fehlender Farbgleichmäßigkeit, d. h. aus ästhetischen Gründen in Außenansicht nicht eingesetzt werden. Es ist davon auszugehen, dass die Amerikaner die Möglichkeit des Einsatzes der transparenten, elektrisch leitfähigen Schichten als Wärmedämmschichten auch erkannt haben. Schließlich haben die Frankfurter Physiker Hagen und Rubens [24] schon 1903 den Zusammenhang zwischen thermischem Emissionsvermögen und elektrischer Leitfähigkeit nachgewiesen. Für Wärmedämmschichten gab es aber in USA erst viel später als in Europa einen Markt. Die Amerikaner haben bekanntlich die Umweltproblematik durch übermäßigen Energieverbrauch, wenn überhaupt, viel später als die Europäer erkannt. In den USA herrscht auch heute noch vielerorts die unreflektierte Meinung, dass Fortschritt nur auf Kosten von

Energieverbrauch zu erzielen ist. Dies ist im Prinzip richtig! Es fragt sich nur, welche Energiemenge für den erwünschten Fortschritt zwingend notwendig ist und wie sie bereitgestellt wird. Hierüber wird jenseits des Atlantiks weniger nachgedacht. Bisher war ja dort Energie immer reichlich vorhanden. - Um es kurz zu machen: Die Firma PPG hat erstmalig 1983 eine farbneutrale, beschichtete Wärmedämmscheibe, nicht als *erste* Firma, wie sie behauptet, auf dem Markt angeboten. Die Schicht dieses Produktes, genannt „Sungate 100“, wurde auch mit Sputtern hergestellt. Die Wärmedämmschicht der Produkte „Sungate 300 und 500“ der Firma PPG sind in der Folgezeit auf den Erfahrungen des Produktes „Nesa“ mit „pyrolytischer“ Beschichtung aufbauend, jedoch on-line mit der Flachglasherstellung aufgebracht und vermarktet worden.

Literatur

- [1] Groth, R., Kauer, E. v. d. Linden, P. C.: Z. Naturforsch. 17a (1962), S. 789
- [2] Geffken, W., Berger, E: Dt. Patent Nr. 736 411 (1939)
- [3] Groth, R., Kauer, E.: Philips Technische Rundschau 25 (1963), S. 352
- [4] van Boort, H. J. J., Groth, R.: Phil. Techn. Rev. 29 (1968), S. 17
- [5] Kauer, E.: Dt. Auslegungsschrift (N. V. Philips' Gloeilampenfabrieken) Nr. 1 509 721 1974 (1974)
- [6] Hörster, H. Kersten, R., Mahdjuri, F.: Klima und Kälte Ingenieur 3 (1976), S. 113
- [7] Köstlin, H.: in: Festkörperprobleme XXII, Vieweg, Braunschweig (1982), S. 229 - 228
- [8] Spoerer, M. u. a.: Fünfhundertjahre Flachglas, Hofmann Verlag, Schorndorf (1987)
- [9] Gläser, H. J.: in: Dünnschicht-Beschichtungen auf Flachglas, S. 97, Verlag K. Hofmann, Schorndorf (1999)
- [10] Gläser, H. J.: Vortrag auf der 75. Glastechn Tagung vom 21. - 25. 5.01 in Wernigerode
- [11] Reichelt, W., Eligehaus, H.: Dt. Auslegungsschrift (HERAEUS) Nr. 1 421 872 (1969)
- [12] Gläser, H. J.: Glastechn. Ber. 50 (1977), S. 248 - 256
- [13] Hörster, H. (Hrsg.): Wege zum energiesparenden Wohnhaus, Philips Fachbuchverlag, Hamburg (1980)
- [14] Gläser, H. J.: Glass Technology 21 (1980), S. 254 - 261
- [15] Gläser, H. J., in: Dünnschichttechnologie auf Flachglas, S. 114ff, K. Hofmann Verlag, Schorndorf, (1999)
- [16] „Hortiplus“-Prospekt der Firma Glaverbel (Belgien), Nr. 9041 AL-DS-1/91025
- [17] Gläser, H. J.: GFF- Zeitschrift für Glas .Fenster.Fassade 7/2000, S. 22 - 27
- [18] Gläser, H. J., in: Dünnschichttechnologie auf Flachglas, S. 117ff, K. Hofmann Verlag, Schorndorf, (1999)

- [19] Gläser, H. J., in: Dünnschichttechnologie auf Flachglas, S. 122ff,
K. Hofmann Verlag, Schorndorf, (1999)
- [20] Gläser, H.J.: DE Patent Nr. 31 30 851, 1981
- [21] Gläser, H. J.: Dt. Patentschrift Nr. 32 11 753, 1982
- [22] Volz,H.: Europ. Patentschrift Nr. 0 332 177, 1989
- [23] Grosse, P., Hertling, R.; Müggenburg, T.: J. of Non-Crystalline Solids, 218,
(1997), S. 38 - 43
- [24] Hagen, E.; Rubens, H.: Annalen der Physik 11 [1903], S. 873