

Farbliche Unterschiede – ein Mangel?

Beschichtete Wärmedämm-Isoliergläser zeichnen sich durch einen niedrigen k-Wert (Wärmedurchgangszahl), einen hohen Lichtdurchlaßgrad und einen möglichst hohen g-Wert (Gesamtenergiedurchlaßgrad) aus. Erreicht werden diese herausragenden technischen Eigenschaften durch hauchfeine Funktionsschichten, die die Aufgabe haben, Wärmeverluste durch Abstrahlung weitgehend zu verhindern. Man nennt solche Schichten in der Fachterminologie auch Low E-Schichten. Dieser Begriff kommt aus dem englischen Sprachgebrauch und bedeutet niedrige Emissivität, was umschreibt, daß solche Schichten fast keine Wärme an ihre Umgebung abstrahlen. Low E-Gläser sind in der heutigen Architektur und in der Renovation ein unverzichtbarer Bestandteil geworden, ermöglichen sie doch große Glasflächen. Die Vorteile liegen auf der Hand, niedrige k-Werte, eine große Tageslichtausbeute und die sofortige Sonnenenergienutzung lassen sich nämlich nur durch transparente Bauteile erreichen.

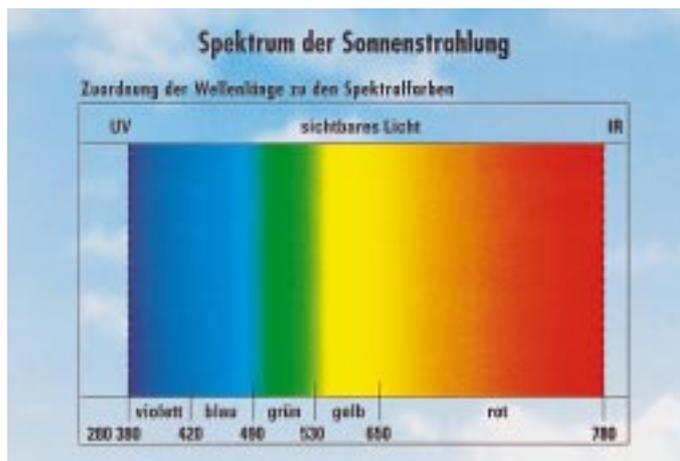


Bild 1: Farbspektrum des Sonnenlichtes: Das nach Wellenlängen „zerlegte“ Sonnenlicht zeigt alle Farben – das Farbspektrum

Der Aufbau dieser Funktionsschichten, ihre technischen Werte und ihre optischen Eigenschaften können je nach Schichtart verschieden sein, man unterteilt in Soft Coatings oder Hard Coatings. Unter Hard Coatings versteht man pyrolytisch applizierte Zinnoxidschichten mit oder ohne Unterschicht auf Siliziumdioxidbasis wie z. B. EKO oder K-Glas.

Soft Coatings sind gesputterte Schichten, die aus teilweise fünf übereinander liegenden Schichten bestehen. Es handelt sich dabei um Haft-, Blocker-, Funktions- und Schutzschichten.

Diese Mehrfachschichten bilden ein Interferenzschichtsystem für die optische Entspiegelung der beschichteten Glasoberfläche. Jeder Schichttyp eines jeden Lieferanten erhält dadurch eine eigene Grundfarbe, die möglichst neutral sein soll. Die Hersteller müssen diese Farbe spezifizieren und zulässige Farbabweichungen angeben.

Nur so kann über Mängel respektive Mängelfreiheit entschieden werden.

Nachfolgend einige Denkanstöße und Vorschläge zu diesem Themenkreis:

Was ist Farbe - was bewirkt sie?

Farbe bestimmt den optischen Eindruck, das trifft auch auf Gebäude zu. Es steckt jedoch mehr dahinter! Licht

und Farbe wirken sich auch auf den Energiehaushalt aus, was besonders bei modernen, neutralen und niedrig reflektierenden Fassaden der Fall ist.

Hier ist es auch sehr schwierig, Neutralität und Homogenität gleichzeitig zu garantieren, daher setzen Beschichtungsunternehmen eine ausgefeilte Farbmeßtechnik ein, um eine hohe Gleichmäßigkeit in der Außenansicht zu gewähren.

Farbe und Licht haben viel miteinander zu tun. Licht ist ein Teil der Sonneneinstrahlung. Gelangt diese vollständig und ungehindert ins Auge, entsteht ein neutraler Farbeindruck wie bei den hellweißen Wolken an einem strahlungsreichen Sommertag.

Weiß ist neutral, grau ebenso, aber wie uns bereits ein Regenbogen zeigt, ist Sonnenlicht auch bunt! Regentropfen zerlegen dabei das weiße neutrale Licht in alle Farbkomponenten, das zeigt, daß alle Farben bereits im weißen Sonnenlicht enthalten sind (Bild 1).

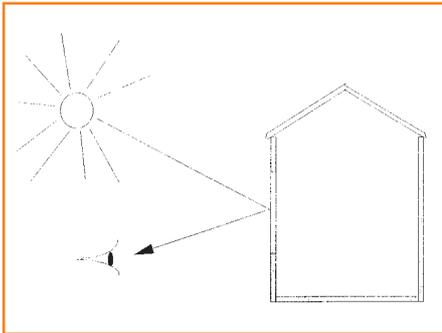


Bild 2: Farbwiedergabe R_a in Außenansicht: Das Licht wird von der Verglasung reflektiert; der Farbwiedergabeindex ist R_{aRa}

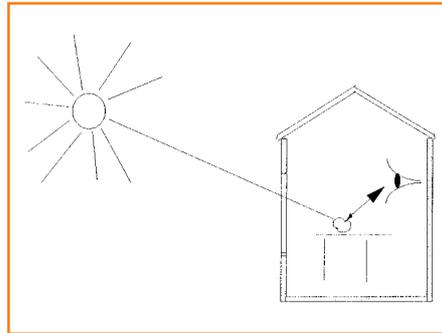


Bild 3: Farbwiedergabe R_a in Durchsicht: Das Licht tritt durch die Verglasung, charakterisiert wird die Transmissionsfarbe, der Farbwiedergabeindex ist R_{aD}

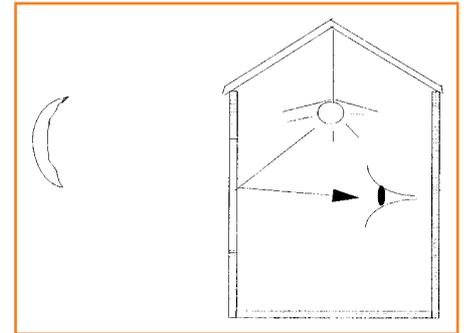


Bild 4: Farbwiedergabe der Verglasung von innen betrachtet, der Farbwiedergabeindex ist R_{aRi}

Farbe von Gegenständen entsteht, indem deren Oberflächen einen ganz bestimmten Anteil des weißen Sonnenlichts reflektieren oder absorbieren.

Zwei Voraussetzungen sind also für das Entstehen von Farbe notwendig: die neutral weiße Beleuchtung, zum Beispiel der Sonne, und das farbtypische Reflexions- und Absorptionsverhalten des Körpers. Nur so kann er seine Farbe zeigen, sonst gilt der Spruch: „Nachts sind alle Katzen grau!“

Farbe in Zahlen - Der Farbwiedergabeindex

Für die Bewertung von Farbeigenschaften wünscht man sich Zahlen. Das ist schwierig, Farbe ist nun einmal variantenreich und wird offensichtlich subjektiv empfunden. Dennoch kann Farbe mit wenigen Zahlen beschrieben werden.

Die einfachste ist der Farbwiedergabeindex R_a , eine Zahl zwischen 0 und 100. 100 bedeutet: ideal neutral, weniger als 90 wird als bunt empfunden. Je kleiner der Wert, desto bunter die Farbwiedergabe.

Dabei wird die Helligkeit ausgeklammert: schwarz, grau und weiß haben den Farbwiedergabeindex 100, sie sind unbunt, und nur das bunte Farbspektrum wird durch den Farbwiedergabeindex beschrieben.

Das klingt einfach, gibt jedoch mehr her, als zu vermuten ist. Die Beschreibung läßt sich auf recht unterschiedliche Verhältnisse anwenden, nämlich auf Reflexion und Durchsicht, siehe Bild 2 und 3.

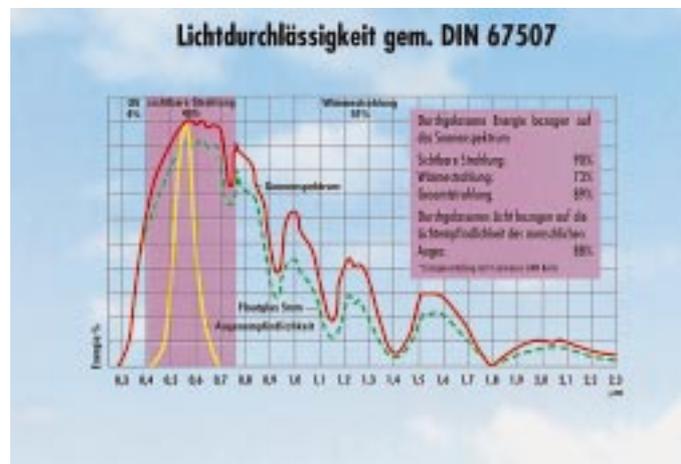


Bild 5: Intensitätsverteilung des Sonnenspektrums mit Ultraviolettbereich, sichtbarem Bereich und nahem Infrarot (Wärmestrahlung)

Die Art der Betrachtung

Verglasungen an Gebäuden sind optisch unter zwei Gesichtspunkten zu bewerten:

1. Außenansicht
2. Durchsicht.

In der Außenansicht beurteilen wir die Lichtreflexion p_{La} nach außen (Bild 2). Diese bestimmt das äußere Erscheinungsbild und die farbliche Ästhetik. Bewegt sich der Farbwiedergabeindex oberhalb $R_{aRa} = 90$, so bedeutet das einen neutralen Fassadeneindruck.

In der Durchsicht spielt das spektrale Transmissionsverhalten die entscheidende Rolle (Bild 3). Es geht um unverfälschte Lichteinstrahlung, die die natürliche Farbwiedergabe der Ge-

genstände im Rauminneren bestimmt. Natürliche Raumausleuchtung ist zugleich ein Faktor für das Wohlbefinden. R_{aD} , der Farbwiedergabeindex in Durchsicht sollte hier schon größer als 90 sein. Mit dem Farbwiedergabeindex ließe sich noch eine weitere Eigenschaft von Glas beschreiben: das Erscheinungsbild des Glases aus dem Rauminneren betrachtet, wenn es draußen dunkel ist und der Raum erhellt ist (Bild 4). Dies spielt jedoch eine so untergeordnete Rolle, daß darauf nicht näher eingegangen wird.

Farbmetrik - die Kunst der Farbmessung

Wer mehr will als nur eine Zahl für „Farbe“, muß sich mit dem ganzen sichtbaren Spektrum des Sonnenlichts beschäftigen (Bild 5).

Das sichtbare „Lichtangebot“ der Sonne reicht in der Wellenlängenskala von 380 nm bis 760 nm. Darunter liegt der Bereich des Ultravioletten,

darüber der des Infraroten. Beide Bereiche sind unsichtbar, spielen also bei der Betrachtung von Farbe keine Rolle.

Die geeignetste Grundlage für Farbmessungen an Gläsern ist die Messung des Farbspektrums (Bild 6), und zwar in Reflexion für die Beurteilung der Außenansicht einer Fassade und in Transmission für die Beurteilung der Durchsicht und somit der Ausleuchtung der Räume mit „natürlichem Licht“.

Aus den Reflexions- und Transmissionsspektren läßt sich die spektrale Absorption ermitteln, eine Größe, die den Beschichtern wertvolle Hinweise auf die Materialeigenschaften der Schichten liefert.

Aus den gleichen Spektren lassen sich jetzt auch die Zahlen ermitteln, die den Begriff „Farbe“ beschreiben, zum Beispiel Zahlen in Form der Farbkoordinaten L^* , a^* , b^* . Dabei ist L^* der Helligkeit zuzuordnen, a^* der Rot-Grün-Achse und b^* der Gelb-Blau-Achse (Bild 7).

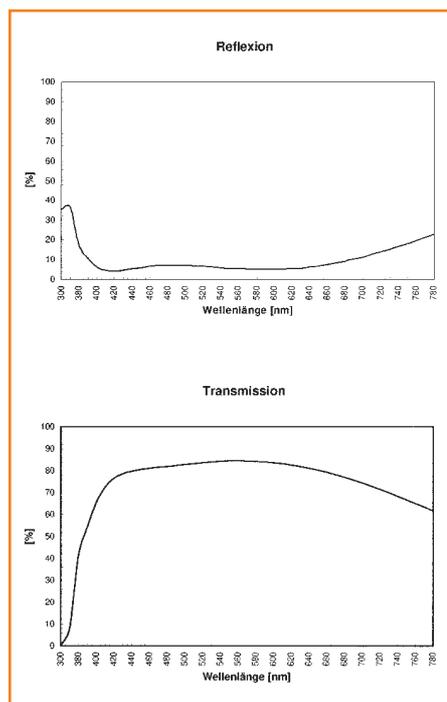


Bild 6: Spektren neutraler Glasbeschichtungen: a: Reflexionsspektrum, b: Transmissionsspektrum; aus dem Reflexionsspektrum wird die „Farbe“ in Außenansicht eines Gebäudes ermittelt, aus dem Transmissionsspektrum die Farbe in Durchsicht

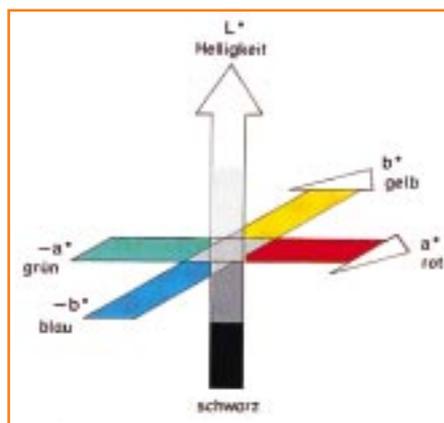


Bild 7: Die Farbkoordinaten $L^*a^*b^*$ beschreiben die Helligkeit, die Rot-Grün-Anteile und Gelb-Blau-Anteile der Farbe, damit ist Farbe eindeutig charakterisiert

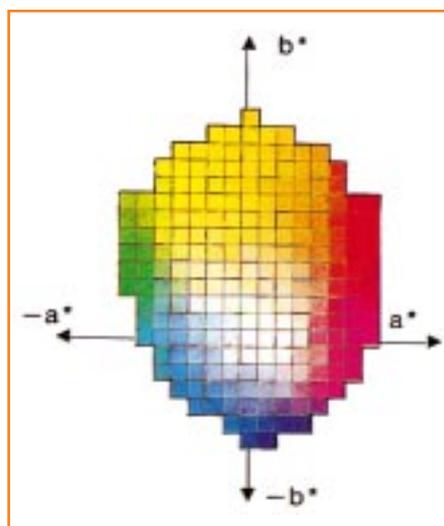


Bild 8: Jede Farbe ist genau einem Punkt der a^*b^* -Ebene zuzuordnen

Der Farbort E^*

Aus jedem Reflexions- oder Transmissionsspektrum können die Werte a^* und b^* ermittelt werden, die in Bild 8 genau einen Farbpunkt darstellen. Die Buntheit im Sinne der Rot-Grün-Achse (a^*) und der Blau-Gelb-Anteile (b^*) ist damit eindeutig festgelegt. Bleibt nur der Helligkeitseindruck, der durch den ebenfalls ermittelbaren L^* -Wert eindeutig beschrieben wird.

Farbe ist somit ein Punkt in einem dreidimensionalen Koordinatensystem. Dieser Punkt ist der Farbort E^* (Bild 9).

Die Farbkoordinaten zum Farbort E^* sind a^* , b^* und L^* .

Der Farbabstand ΔE^*

Eine zu einer Farbe ähnliche Farbe muß ihren Farbort auch in der Nähe von E^* haben. Der Abstand zwischen den beiden Farborten heißt Farbabstand ΔE^* (Bild 10). Jedem Glas und jeder Beschichtung läßt sich in diesem Farbkoordinatensystem ein Punkt zuzuordnen, so ist der Farbsollwert genau definiert (Bild 11).

Außerdem lassen sich maximal zulässige Abstände definieren. Liegt ein Farbmeßergebnis bei vom Sollwert abweichenden $L^*a^*b^*$ -Werten, entspricht dies einer Strecke in der räumlichen Darstellung. Diese Strecke wird als Farbabstand bezeichnet (ΔE^*).

Der Farbabstand kann in Abweichungen der Farbkoordinaten vom Sollwert ausgedrückt werden (Δa^* , Δb^* , ΔL^*). Mit der Angabe der Farbe E^* in Farbkoordinaten L^* , a^* und b^* und der Farbabweichung ΔE^* mit den Einzelabweichungen ΔL^* , Δa^* und Δb^* , steht das Instrumentarium zur Verfügung, Architekturglasprodukte in Sollwerten zu definieren sowie Toleranzwerte für maximal zulässige Farbabweichungen anzugeben.

Sollwerte für Farben von Beschichtungen

Farbkoordinaten und Farbwiedergabeindex sind Zahlen, die die Produkteigenschaft „Farbe“ quantifizieren und zum Beispiel in Form von Datenblättern der Qualitätssicherung dienen. Wenn es um mehr geht als um Neutralität, reicht der Farbwiedergabein-

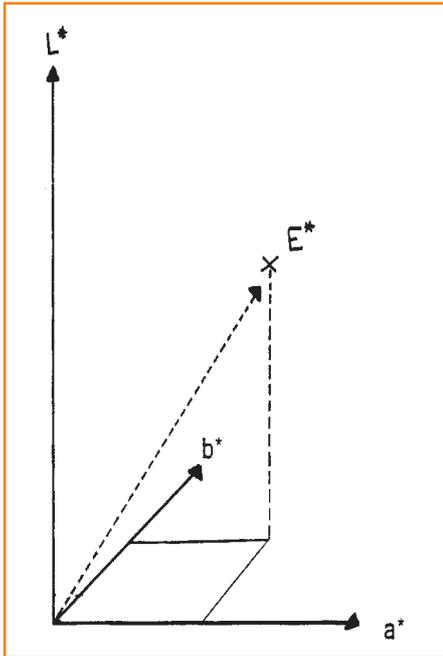


Bild 9: Der Farbort E^* ergibt sich in dreidimensionaler Darstellung aus den Achsenabschnitten a^* , b^* und L^*

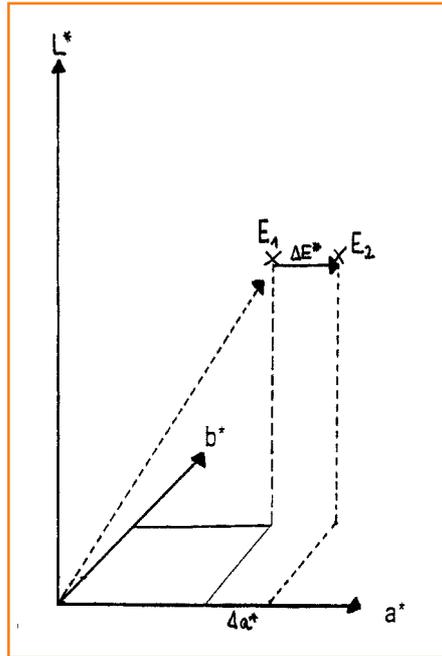


Bild 10: Zwei ähnliche Farben haben ihren Farbort in der Nähe voneinander, der Abstand der Farben ist ΔE^*

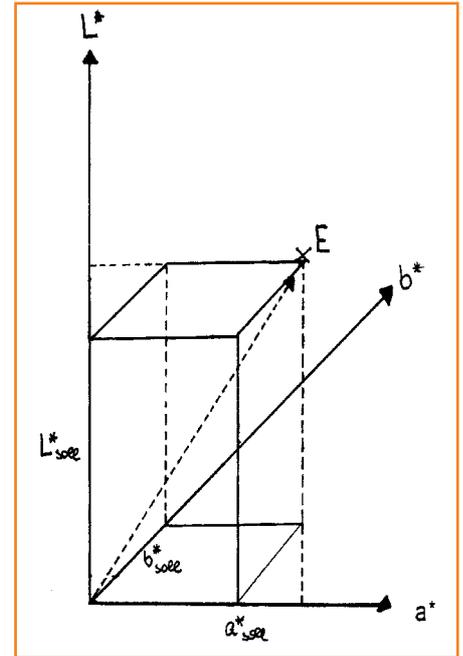


Bild 11: Jedes beschichtete Glas hat einen Farbsollwert E^* mit den Koordinaten a^*_{soll} , b^*_{soll} , L^*_{soll}

dex nicht aus. Die Farbkoordinaten L^* , a^* , b^* sind dann der bessere Maßstab.

Das Wärmefunktionsglas „ipius neutral R“ hat beispielsweise folgende Farbkoordinaten in Reflexion:

$$L^* = 30,1$$

$$a^* = -1,42$$

$$b^* = -2,93$$

Damit ist der Farbort E^* eindeutig festgelegt. Auch die „Homogenität“ läßt sich in Zahlen fassen, die ge-

eignete Größe hierfür ist der Farb-abstand E^* vom Farbort E^* . Natürlich kann der Farb-abstand E^* auch auf die einzelnen Farbkoordinaten bezogen werden E^* ergibt sich aus L^* , a^* und b^* .

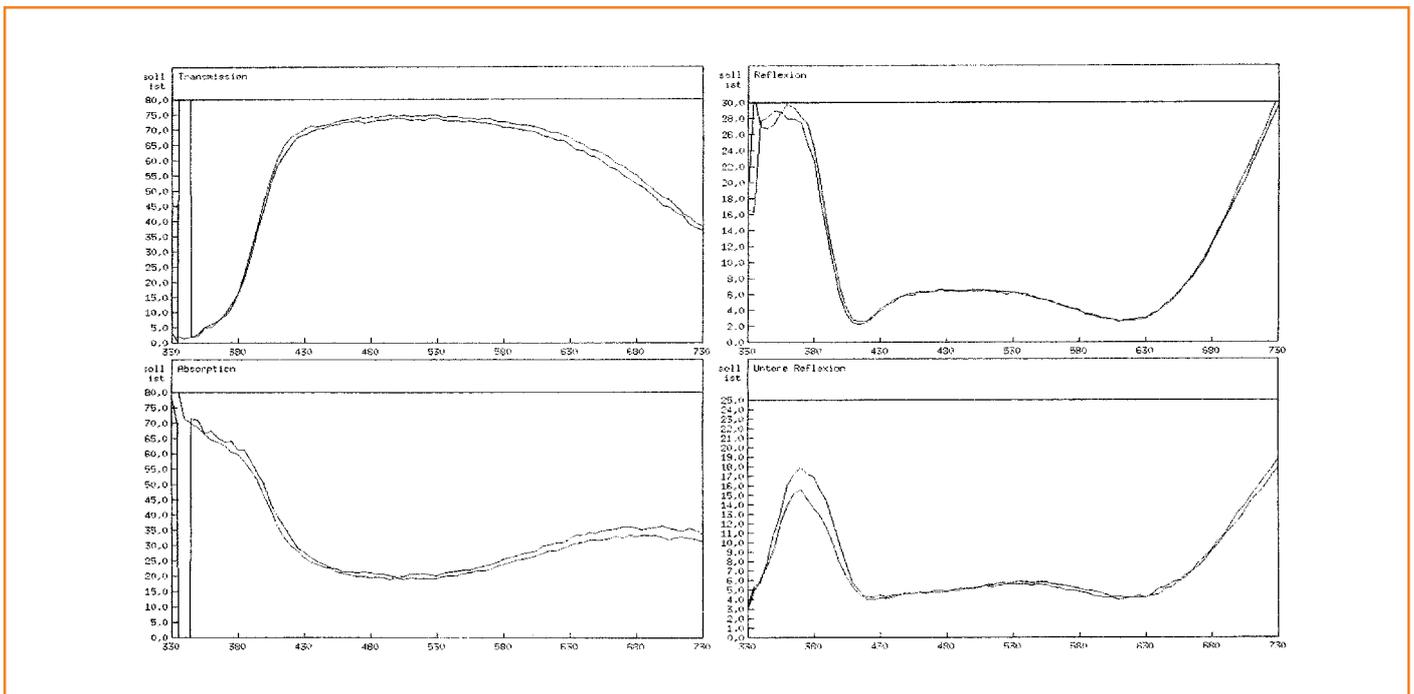


Bild 12: Reflexions-, Transmissions- und Absorptionsspektren des Sonnenschutzproduktes „ipisol natura 63/34“ an der beschichteten Einfeldscheibe gemessen

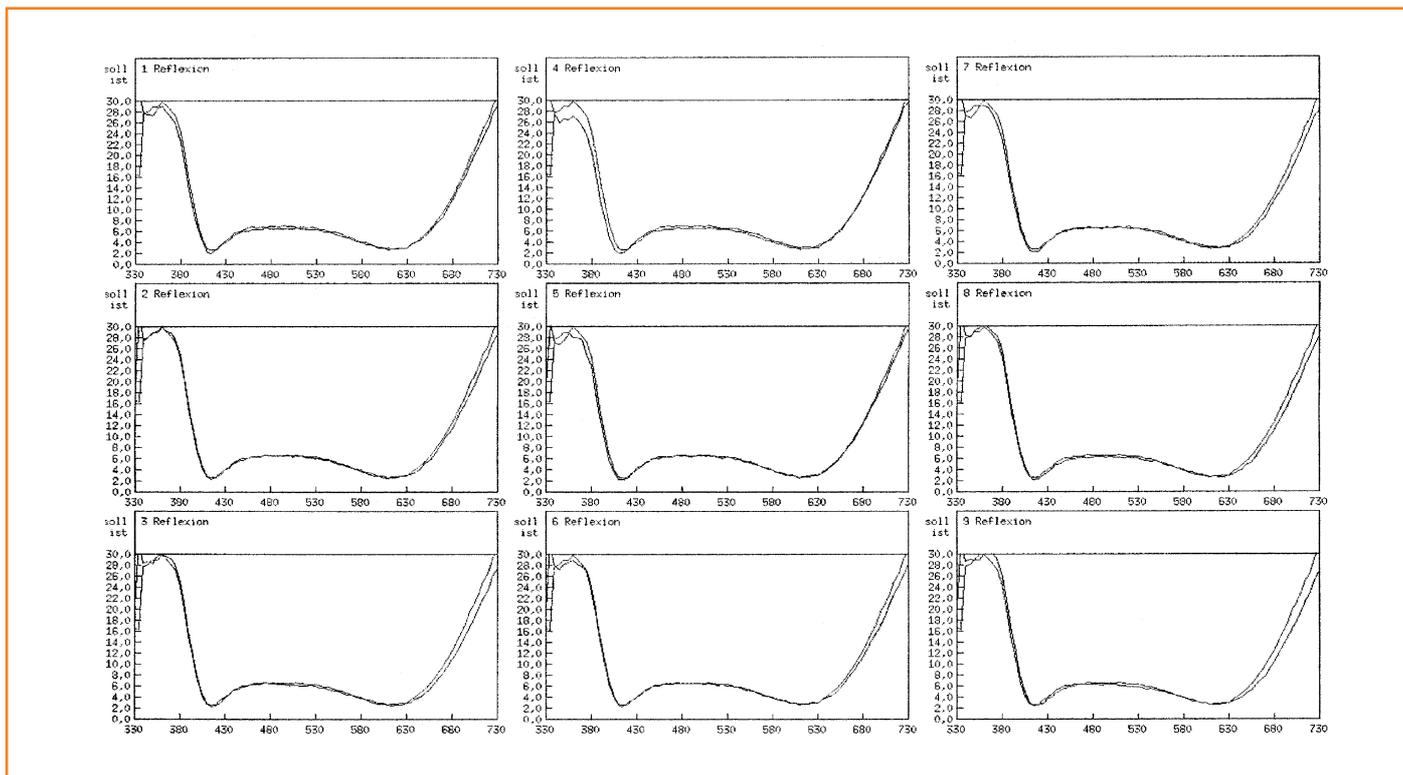


Bild 13: Gleichmäßigkeitsverteilung der Farbspektren von „ipazol natura 66/34“ an neun Stellen eines beschichteten Bandmaßes „online“ gemessen
Zeichnungen/Grafiken: Interpane

Der Stand der Technik

Moderne Wärmefunktionsgläser sind neutral. Ihr Farbort liegt demzufolge bei etwa:

- $L^* = 30$
- $a^* = -1,4$
- $b^* = -3$

Was hiervon maßgeblich abweicht, ist als bunt einzustufen.

Auch an die Homogenität werden hohe Anforderungen gestellt. Moderne beschichtete Gläser halten einen Farbstand von ΔE^* vom Sollwert ein, der in jedem Fall kleiner als 4 ist.

Besonders kritisch ist der Δb^* -Wert, deshalb muß er kleiner als 3 sein.

Der Farbabstand ΔE^* errechnet sich also:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Bei farbigen Sonnenschutzbeschichtungen wird genauso verfahren. Der Farbsollwert E^* wird durch L^* , a^* , b^* festgelegt und die zulässigen Farbabstände produktspezifisch bestimmt. Je nach dem, wie kritisch die Grundfläche ist, sind hier spezifische Abstände in den einzelnen Farbkoordinaten notwendig.

Nur wenn so vorgegangen wird, kann sich die Fassade farbhomogen zeigen.

Farbe in der Qualitätssicherung

Für die Qualitätssicherung reichen die Farbkoordinaten nicht aus. Zur Steuerung des Beschichtungsprozesses benötigt man genauere Informationen. Schließlich sind feinste Veränderungen in einzelnen Schichtdicken für die Herstellung eines farbstabilen Produktes notwendig. Schon eine Schichtdickenänderung von nicht mehr als 1/1000 Mikrometer ist als Farbeindruck erkennbar. Zur Sicherung dieser Schichtdickengleichmäßigkeit ist das vollständige spektrale Verhalten nötig (Bild 12).

Farbspektren auf dem beschichteten Glas müssen an mehreren Stellen unmittelbar in der Fertigung gemessen werden und dem Beschichter sofort zur Verfügung stehen, denn nur so kann er den Beschichtungsprozeß konstant halten (Bild 13).

All dies erfordert einen erheblichen technischen Aufwand, der sich jedoch lohnt. Das Ergebnis sind homogene Glasfassaden mit High-Tech-Beschichtungsprodukten an der Grenze des physikalisch Machbaren, oder kurz:

„Glas, das funktioniert!“

Resümee

Selektiv beschichtete Gläser sind High-Tech-Produkte, die für den Nutzer viele Vorteile wie Heizkostensparnis, höheren Wohnkomfort, weniger Tauwasserbildung an den Scheiben oder Kostensparnisse bei der Heizanlagenbeschaffung bieten und zudem dem Umweltschutz äußerst zuträglich sind.

Farbhomogene Fassaden können nur dann sichergestellt werden, wenn die Hersteller Farbe messen und in die Prozeßführung einfließen lassen.

Die in diesem Beitrag vorgeschlagenen Qualitätsparameter müssen festgeschrieben und von den Beschichtern auch eingehalten werden.

Dem Nutzer sollte von Anfang an aufgezeigt werden, daß es für technische Produkte Toleranzgrenzen geben muß. Der Hersteller hat diese zu benennen und einzuhalten.

Der vorliegende Beitrag kann und soll dazu dienen, Kommunikation zwischen Herstellern und Kunden zu erleichtern und helfen Unstimmigkeiten im Vorfeld zu vermeiden.

Dr. Rolf Blessing/
Dipl.-Ing. Wilhelm Hager