



PILKINGTON
NSG Group Flat Glass Business

Radarreflexionsdämpfung mit Verglasungen

Glaskompendium – Teil 11

Im Sommer 2012 wird es voraussichtlich soweit sein: Der neue große Flughafen Berlin Brandenburg International („BBI“) auf dem Gelände des alten Berlin-Schönefelder Flughafens wird eröffnet. Sicherlich werden bewundernde Blicke auf das Gebäude, seine Einrichtung und seine Fassade fallen. Aber nur die wenigsten Besucher werden sehen oder überhaupt erkennen können, dass sie nicht nur viel Glas und Stahl, sondern eine hochkomplexe Verglasung vor sich haben. Denn hier sind die besten Eigenschaften der Glasprodukte hinter der bekannten Transparenz und Eleganz versteckt. Dass man durch riesige Scheiben klar und unverzerrt die modernen Flugzeuge sehen kann, ist selbstverständlich, dass Wärmedämmung und Glasbruchsicherheit integriert sind, wird vorausgesetzt, und dass man etwas Besonderes für die Schalldämmung getan hat, wird womöglich sogar von manchen wohlwollend zur Kenntnis genommen. Aber auch ein noch so kundiger Besucher mit Interesse an Architektur und insbesondere an Glas könnte die besondere Eigenschaft dieser Fassade nicht feststellen. Nämlich die, die Signale der umgebenden Radaranlagen nicht zu reflektieren, d. h. die störungsfreie Funktion der Radaranlagen zu sichern und somit für die Sicherheit der Passagiere in den an- und abfliegenden Flugzeugen zu sorgen. Fachleute nennen das Radarreflexionsdämpfung.



Abb. 1: Tower Flughafen München

Besondere Anforderungen an Flughafenverglasungen

Wozu jedoch ein Schutz gegen eine Gefahr, die als solche kaum erkannt wird? Passen denn die Fluglotsen im Tower (dem Kontrollraum in einem nahe gelegenen Turm) nicht gut auf die Maschinen und ihre Insassen auf? Das tun sie zweifellos, aber was vielleicht nicht jeder wissen kann: Diese Lotsen kümmern sich nur um die Flugzeuge unmittelbar auf dem Flughafengelände, also dem Vorfeld und den Rollbahnen, und in der nächsten Umgebung in üblicher Sichtweite. Doch die eigentlichen „weitsichtigen“ Lotsen befinden sich in Büros mit riesigen Bildschirmen und weiteren Kontrolleinrichtungen und verfolgen das Fluggeschehen in einem größeren Umkreis.

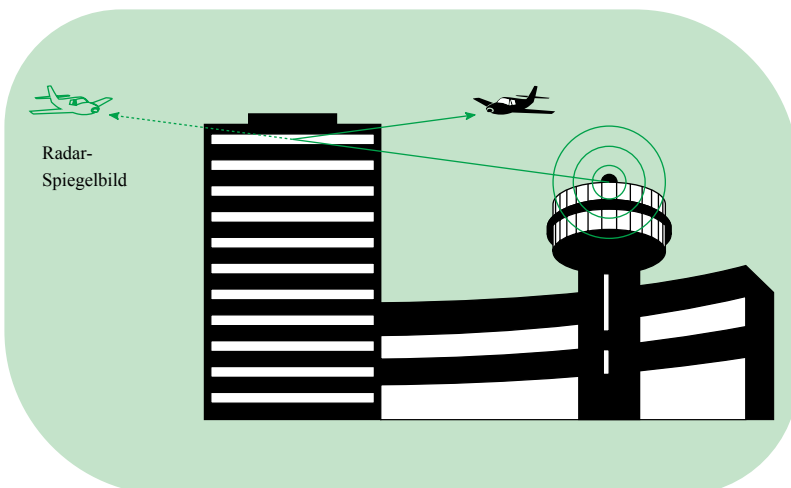
Aus diesem Grunde sehen sie im Gegensatz zu den Fluglotsen im Tower die Flugzeuge in ihrem Verantwortungsbereich auch nicht direkt, sondern

lediglich als Markierungen mit Codes auf ihren Bildschirmen. Und jedes hoffentlich nur einmal. Womit wir beim Problem wären: Gefahr droht, wenn dasselbe Flugzeug mehrfach auftaucht, als Echtziel und als Spiegelziel, als letzteres manchmal sogar mehrfach.

Wie es dazu kommen kann? Der Radarstrahl wird an der Glasfassade eines Gebäudes gespiegelt, wenn das Glas nicht für das Radar entspiegelt ist. Das Problem geht noch weiter: Hat doch jedes Zivilflugzeug eine individuelle Kennung. Auf Anforderung, d. h. auf ein entsprechendes Signal des in Flughafennähe befindlichen Sekundärradars, gibt sich jedes Flugzeug automatisch zu erkennen. Der Transponder in der Flugzeugnase meldet sich unter seiner Kennung und gibt gleichzeitig seine Höhe und Geschwindigkeit an; das Flughafen-Radar kann nämlich lediglich feststellen, dass ein Flugzeug unterwegs ist, in welcher Richtung und welcher Entfernung. Erst mit der Höhen- und Geschwindigkeitsangabe und dem individuellen Code aus der gefunkten Antwort ergibt sich eine vollständige Information für den Fluglotsen. Wo soll da das Problem sein?

Überall dort, wo sich große bauliche Massen befinden, besteht die Möglichkeit der Spiegelung und Verfälschung dieser Funkantworten, erst recht dann, wenn Metalle im Spiel sind. Die Antwort des Flugzeugs kann also den Empfänger am Flughafen einerseits und gewollt auf direktem Wege erreichen; andererseits und ungewollt können die Signale aber auch – beispielsweise durch edelmetallbeschichtete Wärmedämm- und Sonnenschutzgläser – von Gebäuden reflektiert werden, denn diese wirken aus radartechnischer Sicht wie ein perfekter Spiegel.

Abb. 2: Phantomziele



Radarwellen im Flugverkehr haben eine Wellenlänge von ca. 30 cm (dies entspricht einer Frequenz von 1,06 GHz). Sie sind für das menschliche Auge, das auf den Wellenlängenbereich zwischen 380 und 780 nm beschränkt ist, ähnlich wie z. B. die Radiowellen unsichtbar. Für das Radar hingegen können Verglasungen, die unserem Auge sehr neutral erscheinen, wie ein Spiegel wirken.

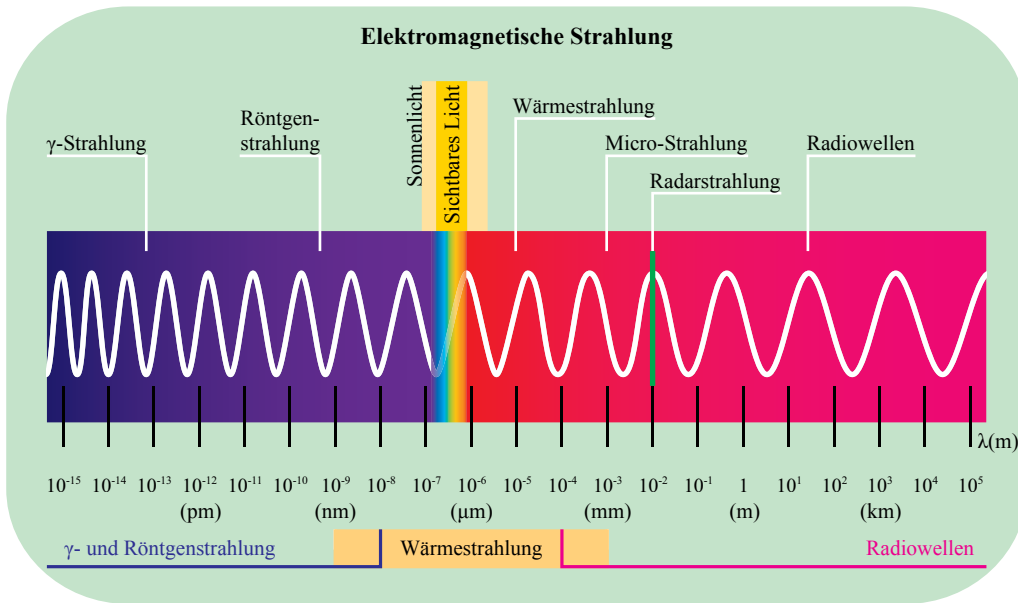


Abb. 3: Elektromagnetische Strahlung

Spiegelziele

Die Folgen dieser Spiegelung können verheerend sein: Die Kennung ein und desselben Flugzeugs taucht mehrfach und verfälscht auf den Kontrollbildschirmen auf. Welche Kennung gibt die tatsächliche Position des Flugzeugs an? Welche Kennung gibt die richtigen Flugdaten an? Befindet sich das Flugzeug womöglich auf Kollisionskurs mit einem anderen Flugzeug?

Verfälschung der Transpondersignale

Gefährlicher als die Spiegelziele wirken sich Verfälschungen der Rückantworten der Flugzeuge aus. Wird beispielsweise beim Landeanflug die vom Transponder übermittelte Höhenangabe zu niedrig wiedergegeben, so fordert der Fluglotse den Piloten auf, an Höhe zu gewinnen. Dies führt dann schlimmstenfalls dazu, dass das landende Flugzeug zu spät auf der Rollbahn aufsetzt und nicht mehr auf dem Rollfeld zum Stehen kommt.

Deshalb stellt die Deutsche Flugsicherung (DFS) Anforderungen an die Fassaden größerer Gebäude in der Nähe von Radaranlagen, d. h. in deren Bauschutzbereich, damit die Spiegelziele und Falschmeldungen den Flugverkehr nicht beeinträchtigen. Auch die Flugüberwachungen in Österreich (Austro Control) und der Schweiz (Skyguide) beurteilen das ähnlich.

Welche Lösungsmöglichkeiten bieten sich dafür an?

- **Verzicht von Großgebäuden in Flughafennähe**
Den Flughafen möglichst weit weg von Städten zu bauen, ist wenig hilfreich und eher eine theoretische Lösung. Wie am Beispiel von Großflughäfen erkennbar, sind auch 10 km Luftlinie zum Stadtzentrum viel zu wenig, um störende Reflexionen

von Hochhäusern alleine durch die Entfernung zu vermeiden. Weiterhin sind auf dem Flughafengelände selbst und in dessen Nähe eine große Zahl von Gebäuden erforderlich, die zwar nicht hoch sind, dafür aber langgestreckt mit großen Fassadenflächen und somit ebenfalls radarrelevant.

- **Fassadensegmentierung**

Man kann die Gebäudegestalt anpassen, indem beispielsweise eine Fassade kleinteilig konzipiert (segmentiert) und die jeweiligen Elemente pro Geschoss oder pro Brüstungsfeld in der Tiefe versetzt angeordnet oder anderweitig unregelmäßig gestaltet und montiert werden. Dadurch ergibt sich eine diffuse Reflexion, die Spiegelziele und Verfälschungen der Transpondersignale kaum zulässt. „Damit dies funktioniert, muss der Versatz aber in der Größenordnung einer Viertelwellenlänge – diese beträgt ca. 8 cm – liegen. Besonders bei kleineren oder flacheren Gebäuden mit Metallfassaden ergeben sich damit raffinierte Ansichten“ erläutert Prof. Erhard Möller von der Fachhochschule Aachen, der dieses patentierte System entwickelt hat. Nicht jeden Architekten macht aber solch eine Lösung glücklich und große Glasflächen sind ein automatischer Widerspruch zur gewünschten Kleinteiligkeit.

- **Neigung der Fassade**

Eine schwache Vorneigung der Fassade wurde am 600 m langen Terminal 2 des Frankfurter Flughafens schon praktisch ausgeführt. Man sieht es auch bei genauer Betrachtung nicht, aber die Fassade ist um etwa einen halben Grad nach vorne geneigt, sodass ein Teil der Radarreflexion in das Vorfeld gelenkt und dort gestreut und absorbiert wird.

Mögliche Lösungswege

Dort wo die zuvor genannten drei Lösungsmöglichkeiten, Verzicht auf Großgebäude in Flughafennähe, Fassadensegmentierung oder Neigung der Fassade nicht in Betracht gezogen werden können oder keine ausreichende Lösung darstellen, muss man dafür sorgen, dass die radarrelevante Fläche nicht oder möglichst wenig reflektiert. Reflexion, Transmission und Absorption stehen miteinander in direktem Zusammenhang. Die einfallende Energie der Radarwelle geht zum Teil durch die Verglasung hindurch (Transmission), ein weiterer Teil wird in der Verglasung absorbiert (und in Wärme umgewandelt) und der verbleibende Teil wird reflektiert. Will man also die Reflexion verringern, so muss man – nach dieser Logik – entweder die Absorption oder die Transmission erhöhen.

Will man die Transmission erhöhen, so muss man die Beschichtungen weglassen. Dies ist aber bei den meisten Gebäuden nicht sinnvoll, da man so automatisch die Wärmedämm- und Sonnenschutzigenschaften verliert. Weiterhin verlagert man u. U. das Problem sozusagen nur weiter in das Gebäude hinein. Wenn dort keine ausreichende Streuung stattfindet (analog der oben beschriebenen Fassadensegmentierung), so findet die Reflexion dort statt und das Spiegelziel besteht weiterhin. Die Absorption kann man über die Materialdicke und die Materialart verändern. Übliches Kalk-Natron-Glas absorbiert sehr wenig,

sodass man sehr dicke Gläser einsetzen müsste. Sinnvoller wäre die Verwendung von Bleiglas, das man häufig in den Röntgenabteilungen der Krankenhäuser finden kann. Allerdings ist diese Glasart sehr schwer und ein baurechtlich nicht geregeltes Bauprodukt. Interessant ist der Mechanismus der Absorption lediglich für den Sonderfall der undurchsichtigen, emaillierten Fassadenplatten. Hier gibt es ein rückseitig aufklebbares Absorbermaterial.

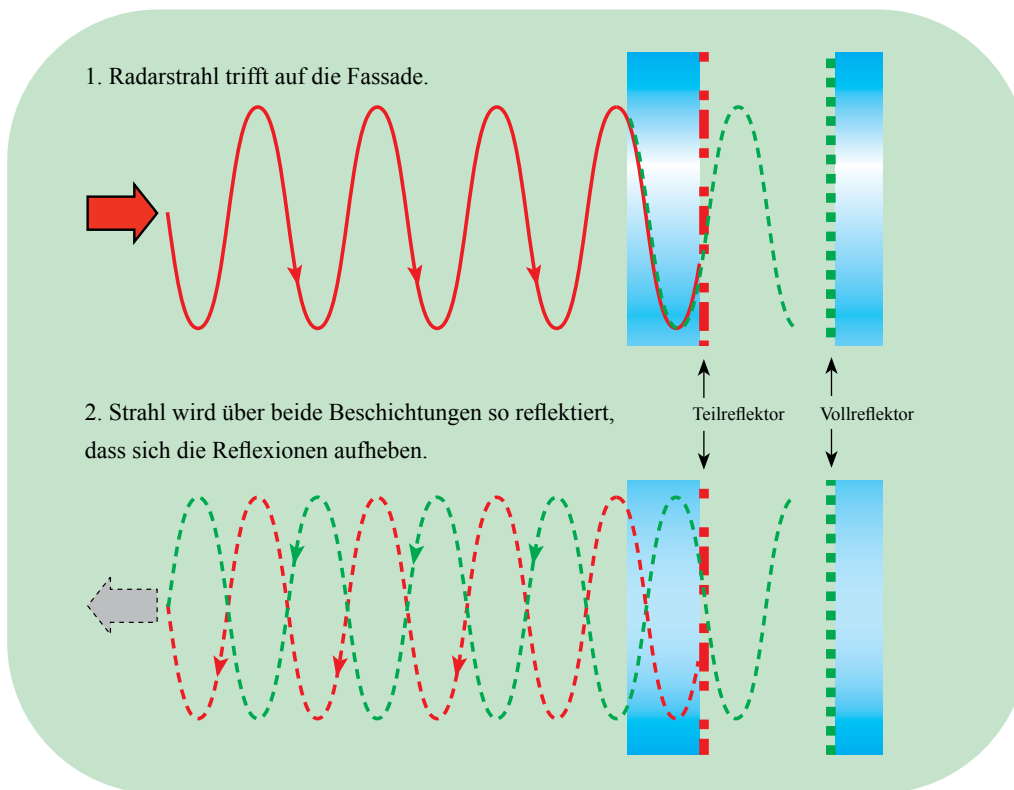
Für den Durchsicht-/Fensterbereich bleibt somit nur noch die Möglichkeit, die Reflexion selbst so zu verändern, dass keine Störungen mehr auftauchen.

- Früher wurde ein mit leitenden Linienstrukturen bedrucktes Glas oder ein in VSG schräg eingelegtes Drahtgeflecht als so genannte Fadenlösung diskutiert. Damit wird lediglich die Polarisation der reflektierten Radarwelle gedreht. Eine Dämpfung oder Umlenkung der nach wie vor reflektierten Welle wird aber nicht erreicht. Dieses Verfahren findet heute in der Fachwelt keine Zustimmung mehr.
- Das zu favorisierende, vielfach überprüfte und bereits seit Anfang der 1990er-Jahre mit dem Hochhaus „Westend 1“ in Frankfurt bewährte Verfahren ist die sogenannte phasenverschobene Reflexion, die im Folgenden detaillierter beschrieben wird. Physiker kennen das Phänomen als Jaumann-Absorber in der Optik. Der Jaumann-Absorber arbeitet nach dem Prinzip der phasenverschobenen Reflexion. Das hört sich komplizierter an als es ist. Man stelle sich einen Meeresstrand vor, auf den Wellen aus zwei Richtungen zulaufen. Dort wo sich ein Wellenberg und ein Wellental treffen, gleichen sich beide aus. Erst recht gilt dies für zurücklaufendes Wasser, das eine ankommende Welle bricht. Auch wenn zwei Wellen einander nachlaufen, können sich „Berge und Täler“ gegenseitig ausgleichen. Ganz ähnlich verhält es sich mit den Radarwellen. Wenn man es schafft, sie so geschickt einander nachlaufen zu lassen, dass sie jeweils um eine halbe Wellenlänge „phasenverschoben“ sind, dann eliminieren sie sich fast vollständig. Das Kuriose daran ist, dass man die störende Strahlung sogar reflektiert, dies aber so trickreich, dass sie sich selbst ausschaltet.

Abb. 4: Pilkington Radarstop™



Abb. 5: Phasenverschobene Reflexion



Phasenverschobene Reflexion

Die äußere, der Radaranlage zugewandte Sonnenschutzbeschichtung dient als erster Teil-Reflektor. Dadurch wird nur ein Teil der auftreffenden Radarstrahlen reflektiert. Der andere Teil wird durchgelassen und erst von der dahinter liegenden Wärmedämmschichtung voll reflektiert. Mit entsprechenden Abständen gelingt die raffinierte phasenverschobene Reflexion derart effektiv, dass man unter günstigen Voraussetzungen über 20 dB (Dezibel) Radardämpfung erzielen kann.

Nun hört sich die Anforderung nach 20 dB gar nicht sonderlich anspruchsvoll an, allerdings basiert die dB-Skala auf einem sogenannten

logarithmischen System. Als Beispiel: 10 dB Dämpfung entsprechen einer Leistungsreduzierung auf 10%, 20 dB schon auf 1% und die im Extremfall bis zu 25 dB reichenden Anforderungen stehen für eine Leistungsreduzierung auf 0,3%.

Warum sind die Anforderungen so hoch? Eine sehr hohe Rückstrahldämpfung bedeutet, dass „der reflektierte Strahl die Grenzpfindlichkeit, den Mindestpegel des Transponders, unterschreitet“, so Prof. Möller von der FH Aachen. Das zurückgeworfene Signal ist also zu schwach, um den Transponder reagieren zu lassen. So wird verhindert, dass ein Signal aus der gespiegelten Richtung gegeben wird und es zu „Spiegelzielen“ auf den Kontrollmonitoren kommen kann.

Planung einer radarreflexionsdämpfenden Fassade

Ob ein Gebäude radartechnisch relevant ist oder nicht, entscheidet die Flugsicherung.

In ihrem Auftrag arbeitende autorisierte Gutachter schreiben dem Bauherrn dann beispielsweise je nach Gebäudeart, Größe, Ausrichtung, Entfernung, ggf. weiteren Radarsendern usw. eine Rückstrahldämpfung von 20 dB unter einem bestimmten Winkel vor.

Im Idealfall sucht der Fassadenplaner den Kontakt zu dem Isolierglashersteller, der dann gemeinsam mit der Anwendungstechnik der Pilkington Deutschland AG einen Isolierglasaufbau ermittelt. Neben den radartechnischen können hierbei selbstverständlich andere Anforderungen wie Statik, Schallschutz, Selbstreinigung, Absturzsicherung, Wärme- und Sonnenschutz berücksichtigt werden.

Zum Abschluss der Planung sollten diese Ergebnisse grundsätzlich von einem autorisierten Gutachter bestätigt werden.



Abb. 6: Flughafen München

Kombinationsmöglichkeiten

Da es auf das exakte Zusammenspiel aller reflektierten Wellen (am Voll- und am Teilreflektor sowie an allen anderen Glasoberflächen) ankommt, ist es für die Funktion unbedingt erforderlich, dass der später eingesetzte Isolierglasaufbau dem der ursprünglichen Planung entspricht. Das Ergebnis der Berechnung ist so manches Mal ein „Korsett“ in dem Sinne, dass ein bis in kleinste Einzelheiten festgelegter Glasaufbau zu verwenden ist. Das heißt, der Fassadenbauer muss gelegentlich akzeptieren, dass er ein recht dickes und schweres dreischiebiges Isolierglaspaket in sein System einbauen muss. Sonst übliches Variieren der Isolierglas-Elementdicke über die Glasdicke oder den Scheibenzwischenraum ist nicht mehr möglich. Den Vorgaben der Radarreflexionsdämpfung haben sich alle anderen Komponenten unterzuordnen, damit das System auch wirklich funktioniert.

Auch bezüglich der Gestaltungsmöglichkeiten mit Glas gibt es Einschränkungen. Soll der Trick mit der phasenverschobenen Reflexion funktionieren, so kann nicht jedes Sonnenschutzglas verwendet werden, denn sie reflektieren im radarrelevanten Teil praktisch alles und wären die schlechteste aller Glaslösungen. Die äußere, der Radaranlage zugewandte Beschichtung muss aber zwingend ein Teil-Reflektor sein: Pilkington **Radarstop™** ist so aufgebaut, dass nur ein bestimmter Anteil der auftreffenden Radarstrahlen reflektiert wird, während der andere Teil durchgelassen und erst an der dahinter liegenden Wärmedämmbeschichtung voll reflektiert wird. Trotz aller Anforderungen an die Radartauglichkeit der Gläser ist es bisher immer gelungen, die architektonischen und bauphysikalischen Forderungen mit den Radarforderungen zu vereinbaren. Dafür gibt es überzeugende Bauwerke.

Pilkington **Radarstop**[™] –
Die volltransparente Lösung

Pilkington **Radarstop**[™] ist eine patentierte objektbezogene Verglasungslösung für Gebäude, bei denen eine Radardämpfung erforderlich ist.

Dadurch, dass keinerlei Drahteinlage oder Siebdruck benötigt wird, bietet diese Lösung volle Transparenz.

Pilkington **Radarstop**[™] ist in zwei Varianten, R100 als attraktive neutrale Lösung oder R120 silber reflektierend, verfügbar und ermöglicht eine Radarreflexionsdämpfung von bis zu 99,7%.



Abb. 7: Flughafen Frankfurt

Glasprodukt	Lichtwerte (%)		Energie (%)				Ug-Wert (W/m ² K)
	Transmission	Reflexion	Transmission	Reflexion	Absorption	Gesamtenergie-durchlässigkeit	Argonfüllung
Isolierglaseinheit (6 mm Außenscheibe – 16 mm Argon – 4 mm Pilkington Optitherm [™] S3)							
Pilkington Radarstop [™] R100	53	7	34	10	56	41	1,1
Pilkington Radarstop [™] R120	55	29	36	25	40	42	1,1
Isolierglaseinheit (6 mm Außenscheibe – 12 mm Argon – 4 mm Pilkington Optifloat [™] klar – 12 mm Argon – 4 mm Pilkington Optitherm [™] S3)							
Pilkington Radarstop [™] R100	48	9	30	11	60	37	1,0
Pilkington Radarstop [™] R120	50	32	31	25	44	38	1,0

Diese Veröffentlichung bietet lediglich eine generelle Beschreibung der Produkte und der verwendeten Materialien. Detaillierte Informationen können Sie unter der unten angegebenen Adresse anfordern. Es obliegt dem Produktnutzer sicherzustellen, dass die Produkte für ein spezifisches Vorhaben geeignet sind und die jeweilige Nutzung mit allen gesetzlichen Anforderungen, den einschlägigen Normen sowie dem Stand der Technik und etwaigen weiteren Anforderungen in Einklang steht. Die Unternehmen der NSG Group haften nicht für etwaige Fehler oder Auslassungen in dieser Veröffentlichung sowie ggf. daraus entstehende Schäden.

Pilkington ist eine Marke der NSG Group.



Mit der CE-Kennzeichnung bestätigt der Hersteller, dass Produkte gemäß den jeweils relevanten harmonisierten europäischen Normen gefertigt wurden. Das CE-Kennzeichen für jedes Produkt, inklusive technischer Daten, ist im Internet unter www.pilkington.com/CE hinterlegt.



PILKINGTON
NSG Group Flat Glass Business

Pilkington Deutschland AG

Hegestraße 45966 Gladbeck

Infoline +49 (0)180 30 20 100 Telefax +49 (0)2043 4 05 56 66

E-Mail: marketing.basisglas@nsg.com

www.pilkington.com