

Wärmereflektierende Beschichtungen für Aluminiumoberflächen

Wissenschaftliche Erkenntnisse führen zu erheblichen Energieeinsparungen in der Fassaden- und Industrietechnik

Dr.-Ing. Jostein Mårdalen, Dr.-Ing. Merete Hallenstvet, Dr.-Ing. Werner Jäger, Dr.-Ing. Helene Bolm, Dr.-Ing. Volker Rekowski, Dr.-Ing. Bjørn Steinar Tanem und John Erik Lein

Der thermische Emissionsgrad und der solare Reflexionsgrad sind wichtige Oberflächeneigenschaften für die Erzielung von Energieeinsparungen und die Erhöhung des Wärme komforts in Gebäuden. Aluminiumprodukte für Gebäudeanwendungen werden aus Gründen des Oberflächenschutzes und des Erscheinungsbildes üblicherweise beschichtet oder eloxiert. Bei beiden Arten der Oberflächenbehandlung ergeben sich sehr hohe thermische Emissionsgrade ϵ von typisch 0,85 bis 0,9. Hohe Emissionsgrade sind aber in Gebäudeanwendungen meist unvorteilhaft. Eine Beschichtung mit einem niedrigen thermischen Emissionsgrad reflektiert die Wärmestrahlung im Gebäudeinneren, verringert den durch thermische Einstrahlung im Außenbereich verursachten Wärmeverlust und trägt somit zur Verringerung des Gesamtwärme-

verlustes in Regionen mit kaltem Klima bei. In warmen Klimazonen kann eine Beschichtung mit niedrigem Emissionsgrad den Wärmestrom in ein Gebäude verringern.

Es ist nun gelungen, eine Pulverbeschichtung mit niedrigem Emissionsgrad für Gebäudeanwendungen zu entwickeln. Ihr thermischer Emissionsgrad liegt unter 0,5 und senkt somit die Wärmeverluste beträchtlich. Diese zum Weltpatent (PCT) angemeldete Beschichtung [1] basiert auf kleinen, plättchenförmigen leitfähigen Non-Lea-fing-Aluminiumpigmenten, die nahe der Beschichtungs Oberfläche und parallel zu dieser positioniert sind. Die genaue Kontrolle der Pigmentlage ist ausschlaggebend für das Erreichen eines niedrigen Emissionsgrades bei gleichzeitig guter chemischer und mechanischer Stabilität der Beschichtung.

1. EINFÜHRUNG

Der (in U-Werten angegebene) Grad der Wärmedämmung lässt sich beträchtlich verbessern, wenn Beschichtungen mit in ausgewählten Abschnitten des elektromagnetischen Spektrums optimiertem Reflexionsvermögen verwendet werden [2]. Der Einsatz dieser neuen Pulverbeschichtung mit niedrigem Emissionsgrad anstelle herkömmlicher Pulverbeschichtungen oder eloxierter Oberflächen reduziert den U-Wert bei einem bestimmten Fensterrahmen von 3,07 auf 2,40 W/m²K, oder um bis zu 30%. Die vorliegende Arbeit ist Teil des Projekts Wärmereflektierende Beschichtungen, das vom norwegischen Forschungsrat finanziell unterstützt wird.

Lackiertes Aluminium kommt bei Gebäudeanwendungen verbreitet in Produkten für Dacheindeckungen und Fassadenkomponenten zum Einsatz, etwa in Rollläden und Jalousien oder bei Tür- und Fensterrahmen. Seine ausgezeichneten mechanischen, chemischen (Korrosions- und Zersetzungsbeständigkeit) und ästhetischen Eigenschaften machen Aluminium trotz seiner ungünstigen thermischen Eigenschaften zu einem attraktiven Werkstoff. Im Vergleich zu Polymeren und Holz besitzen Metalle eine wesentlich höhere Wärmeleitfähigkeit. Daher werden Wärmebarrieren aus Po-

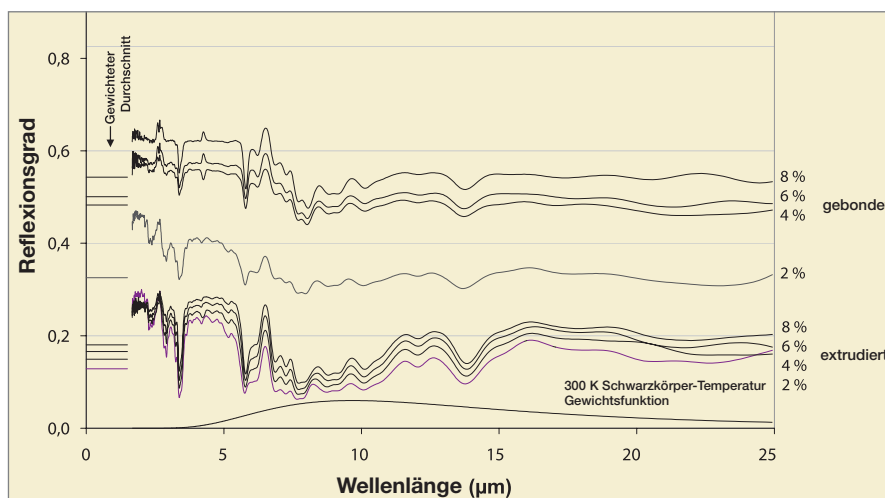


Abb. 1 Reflexionsgrad von extrudierten und gebondeten Pulverbeschichtungen mit unterschiedlich hohen Pigmentbeimischungs-Mengen im thermischen Spektralbereich; die 300 K-Strahlungskurve des Schwarzen Körpers wird bei der Berechnung des thermischen Emissionsgrades als Gewichtsfunktion verwendet

Pigmentbeimischungsmenge [%]	Thermischer Emissionsgrad (ϵ)	
	Extrudiert	Gebondet
2	0,87	0,67
4	0,85	0,52
6	0,83	0,50
8	0,82	0,46

Abb. 2 Thermischer Emissionsgrad der extrudierten und gebondeten Pulverbeschichtungen aus Abb. 1

lymeren wie PA 6.6 25 % GF eingesetzt, um externe und interne Metallelemente in Gebäuden voneinander zu trennen. Das Erreichen eines definierten thermischen Verhaltens von Fenster- und Türrahmen ist wegen deren Funktionsweise (Fixierung der Glasscheibe, Öffnen/Schließen usw.) und Größe (sie sind normalerweise dünner und kompakter als Dächer und Wände) besonders schwierig. Ziel war die Entwicklung einer wärmereflektierenden Pulverbeschichtung hauptsächlich für Anwendungen bei Fenstern und Türen.

Fenster- und Türrahmen aus Aluminium werden normalerweise aus extrudierten Zuschnitten gefertigt. Ihre Profile unterscheiden sich zwar von Hersteller zu Hersteller, doch üblicherweise bestehen die Zuschnitte aus einem Innen- und einem Außenteil, zwischen denen die Wärmebarrieren angeordnet sind. Der Innenteil weist eine *Innenoberfläche* auf, die zum Innenraum gerichtet ist, während der Außenteil eine *Außenoberfläche* besitzt, die nach außen gerichtet ist. Die Außenoberfläche des Innenteils und die Innenoberfläche des Außenteils stehen sich normalerweise gegenüber. In diesem Fall können diese *internen Oberflächen* durch Strahlung Energie austauschen.

Es gibt im Allgemeinen drei Wärmetransportmechanismen, – *Wärmeleitung*, *Konvektion* und *Wärmestrahlung*. In Aluminiumrahmen mit sachgemäß eingesetzten Wärmebarrieren werden bis zu 65 % des restlichen Wärmeübergangs durch den Rahmen durch *Wärmestrahlung* zwischen Innen- und Außenteil verursacht. Für eine weitere Verbesserung der thermischen Eigenschaften des Aluminiumrahmens ist daher eine Minimierung der Verluste durch Strahlungswärmeübergang erforderlich. Der durch Wärmestrahlung verursachte Wärmeübergang wird durch die Wärmeabstrahlungseigenschaften der Oberflächen der Rahmenabschnitte bestimmt. Zur Verringerung des Wärmeübergangs in Fenstern und Türen ist es besonders wichtig, dass die Wärmeabstrahlung der *internen* Oberflächen so niedrig wie möglich gehalten wird. Die Abstrahlung der *externen* Oberfläche ist von gerin-

gerer Bedeutung, da diese Oberfläche unter Annahme des Windeinflusses gemäß EN 10077 einen größeren Wärmeübergang aufgrund der Wärmekonvektion aufweist. Oberflächen mit niedrigem Wärmeemissionsgrad lassen sich unter anderem herstellen, indem man einer Pulverbeschichtung Pigmente in Form von Aluminiumplättchen beimischt. Die vorliegende Arbeit geht von der Grundüberlegung aus, den hohen Reflexions-

grad der Aluminiumplättchen im thermischen Bereich des Spektrums (mit Wellenlängen zwischen 2 und 50 µm) zu nutzen, um einen niedrigen Emissionsgrad zu erreichen. Da Polymere in diesem Wellenlängenbereich stark absorbieren, kommt es darauf an, eine hohe seitliche Abdeckung der Oberfläche durch die Aluminiumplättchen zu erzielen, damit gewährleistet ist, dass die Plättchen nahe der äußeren Oberfläche

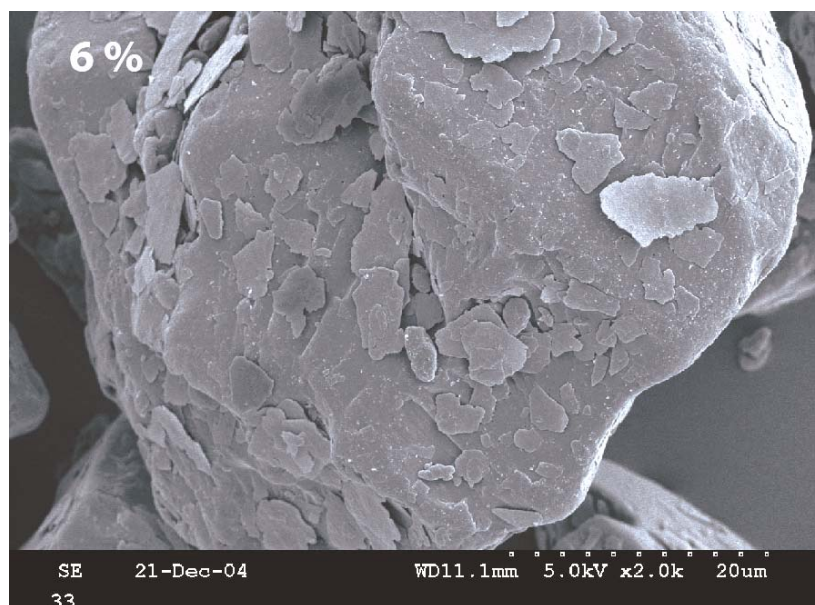
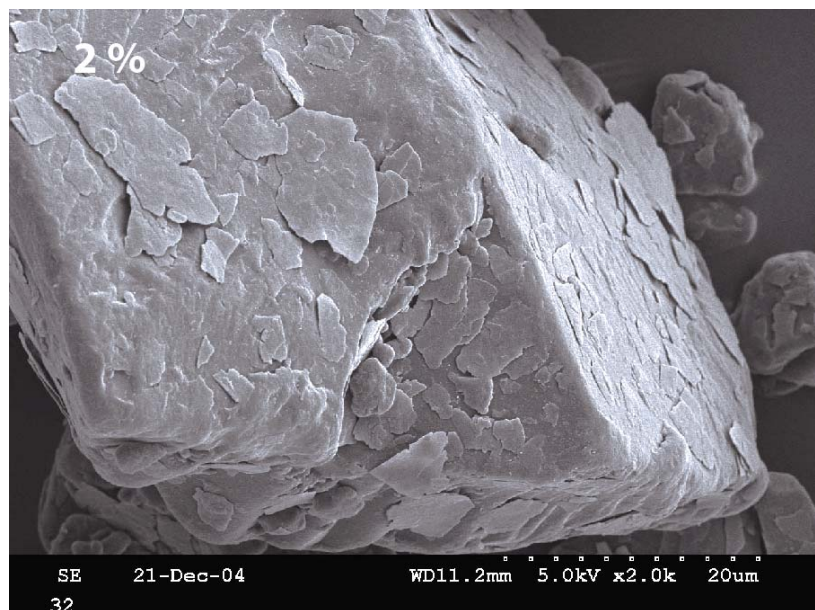


Abb.3 Rasterelektronenmikroskopaufnahme (Sekundärelektronen) von Aluminiumplättchen, die an die Polymerpartikel gebondet sind. Die Pigmentplättchen sind ausnahmslos auf ihrer Flachseite mit dem Polymerpartikel verbunden. Die Bilder zeigen zwei unterschiedliche Pigmentkonzentrationen (2% und 6%) und lassen erkennen, dass nicht genügend Platz vorhanden ist, um mehr als einen bestimmten Prozentsatz von Metallpigmenten an das Polymerpulver anzulagern. Überschüssige Pigmente werden wahrscheinlich nicht gebondet.

der Beschichtung positioniert und parallel zu ihr ausgerichtet sind.

Leider bewirkt eine hohe Konzentration von Aluminiumpigmenten auf oder nahe der Beschichtungsoberfläche, dass die Beschichtung chemisch weniger stabil ist und anfälliger für Korrosion und chemische Zersetzung wird. Beim Herstellen einer haltbaren Beschichtung mit niedrigem Emissionsgrad muss also die Forderung nach einem niedrigen Emissionsgrad mit der Forderung nach chemischer Stabilität ins Gleichgewicht gebracht werden.

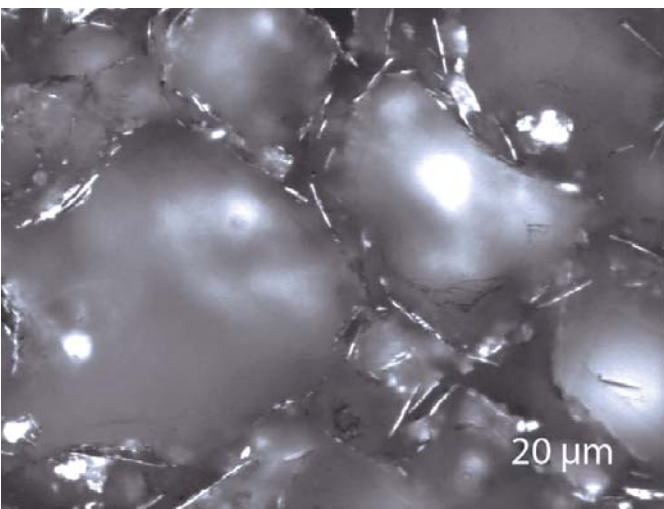


Abb.4 Diese lichtmikroskopische Aufnahme des Querschnitts einer gebondeten Beschichtung zeigt, wie die Metallpigmente an den Grenzflächen zwischen den Oberflächen der geschmolzenen und ausgehärteten Polymerkörner positioniert sind. Die weißen ungerichteten Stellen in der Aufnahme sind Metallpigmente unter der präparierten Oberfläche.

2. EXPERIMENTELLER ANSATZ

Die in dieser Studie verwendeten Pulverbeschichtungssysteme basieren auf einem Polyesterbindersystem, in dem handelsübliche Aluminiumplättchen-Pigmente enthalten sind. Die Pigmente werden unter Anwendung von Standard-Extrusions- oder Bonding-Verfahren mit dem Rest der Beschichtungschemikalien gemischt.

Das Aufbringen der Beschichtungen erfolgte sowohl mit tragbaren (Labor) als auch mit automatisierten Elektrostatik-Sprühpistolen in Verbindung mit einem Pulverbeschichtungsgerät vom Typ Gema Optitronic CG03. Die Verarbeitung von Pulvern mit einem hohem Anteil an Metallpigmenten erfordert eine

Feinabstimmung des Pulverbeschichtungsgeräts, da das statische Aufladen der Polymerpartikel nicht ganz einfach ist. Das Pulver wird für 10 Minuten bei 200 °C in einem Standard-Konvektionsofen ausgehärtet.

Die Chemikalienbeständigkeit beschichteter Proben wird gemessen, indem man die beschichteten Proben einfach acht Stunden lang in 10 % w/w HCl taucht. Dies entspricht bei diesen Probentypen einer Beanspruchung von 1000 Stunden in einer Prüfung in saurem Salznebel (Acidified Salt Spray Test, ASS-Test) gemäß ASTM-Norm G85-94.

Der Grad der chemischen Zersetzung wird anhand des L-Wertes aus Normfarbsystem-Messungen ermittelt. Der L-Wert dient als quantitatives Maß für den Anteil des sichtbaren Lichtes, der von einer Oberfläche reflektiert wird. Die Zersetzung einer Oberfläche ergibt normalerweise eine Abnahme des gemessenen L-Wertes, d.h. die Oberfläche wird dunkler. Ein Rückgang des L-Wertes um einen Prozentpunkt ist für das menschliche Auge normalerweise nicht sichtbar.

Der thermische Emissionsgrad wird aus IR-Reflexionsgradmessungen berechnet, die im Wellenlängenbereich von 2 bis 25 µm vorgenommen werden, wobei das Planck-Spektrum eines Schwarzen Körpers bei 300 K als Gewichtsfunktion dient. Die Daten für den IR-Reflexionsgrad werden mit einer FT-IR-Integrationskugel vom Typ Bruker IFS 55 ermittelt.

Ein Transmissions-Elektronenmikroskop (TEM) vom Typ Philips CM-30 mit EDS-Röntgenanalysesystem wurde zur Querschnittsuntersuchung von Beschichtungen und Pigmenten eingesetzt. Die beschichteten Proben waren in Epoxid eingeschlossen, das als Trägermaterial für die Beschichtung diente. Die Querschnittsproben für die TEM-Analysen erhielt man, indem man mit einem Reichert-

Jung-Ultramikrotom Dünnschnitte aus den eingeschlossenen Proben anfertigte. Für das abschließende Zuschneiden wurde ein Diamantmesser von Micro-Star verwendet.

Der Wärmeverlust durch einen Fensterahmen wird in Klimakammern gemäß EN 12412-2 gemessen. Dabei trennen die Fensterrahmenprofile zwei Kammern voneinander; die eine simuliert das Innere eines Raumes mit einer konstanten Temperatur von 20 °C, die andere die Außenseite, auf der eine konstante Temperatur von 0 °C herrscht.

Die U-Werte werden aus der Heizenergie berechnet, die in der warmen Zone benötigt wird, um die Temperatur konstant auf 20 °C zu halten. Wärmeverlustberechnungen (U-Wert-Berechnungen) basieren auf der Profilform sowie dem thermischen Emissionsgrad der Profiloberflächen und werden gemäß EN 10077-2 durchgeführt.

3. ERGEBNISSE UND AUSWERTUNG

3.1 Pigmentkonzentration und Vergleich von Extrusion und Bonding

Um einen möglichst hohen IR-Reflexionsgrad zu erzielen, müssen so viele Metallpigmentplättchen wie möglich gebondet werden. Der wichtigste Faktor bei der Herstellung einer Beschichtung mit niedrigem ϵ ist die Menge der beigemischten Pigmente. Abb.1 zeigt, wie der Reflexionsgrad der Wärmestrahlung mit der Pigmentbeimischungsmenge variiert und wie sich die Reflexionsgrade extrudierter und gebondeter Pigmente unterscheiden. Die ermittelten thermischen Emissionsgrade in Abb.2 wurden aus den Reflexionsgradkurven aus Abb.1 berechnet.

Daraus geht hervor, dass sich mit steigendem Pigmentkonzentration der thermischen Emissionsgrad erhöht. Dies ist sowohl bei der Extrusion als auch beim Bonden der Fall. Deutlich wird auch, dass das Bonden zu Beschichtungen mit einem hohen thermischen Reflexionsgrad (d.h. mit niedrigem ϵ) führt, während extrudierte Beschichtungen für die hier angestrebten Zwecke nicht geeignet sind.

3.2 Kontrolle der Pigmentlage

Um eine Beschichtung mit niedrigem Emissionsgrad herzustellen, ist die genaue Kontrolle der *Lage* der Aluminiumpigmente von entscheidender Bedeutung. Aluminium reflektiert infrarote Wärmestrahlung zwar gut, verliert aber im Laufe der Zeit seine Oberflächeneigenschaften, wenn es der Luft ungeschützt ausgesetzt ist. Ideal ist es hier, wenn eine dünne Schicht aus den organischen Substanzen in der Pulverbeschichtung die Pigmente bedeckt. So erreicht man einen chemischen Schutz, ohne dass zu viel Wärmestrahlung absorbiert wird. Untersuchungen an organischen Beschichtungen auf reinen Aluminiumsubstraten zeigen, dass die optimale Dicke einer organischen Schutzschicht zwischen 0,5 und 2 µm liegt. Eine dünnere Schicht bewirkt keinen Schutz der Aluminiumpigmente gegen eine allmähliche Zersetzung, und eine dickere Schicht absorbiert zu viel Infrarotstrahlung. Die Herausforderung besteht also darin, eine Pulverbeschichtung mit Aluminium-Metallpig-

menten herzustellen, die einen geeigneten Schutz des darunter liegenden Aluminiumsubstrats bietet, und gleichzeitig die Lage der Aluminiumpigmente so zu optimieren, dass sich ein niedriger Emissionsgrad und hohe chemische Stabilität ergeben.

Für das Hinzufügen von Metallpigmenten zu Pulverbeschichtungen gibt es drei Hauptverfahren. Das *Mischen* von Polymerpartikeln und Metallpigmenten ist das einfachste, aber es eignet sich nicht sonderlich für Industrieanwendungen, da es beim Transport, bei der Verarbeitung und beim Aufbringen zu einer Phasenseparation kommt.

Um eine solche Phasenseparation zu vermeiden, kommt in der Pulverbeschichtungsindustrie verbreitet die *Extrusion* zur Anwendung. Dabei werden Polymer- und Metallpigmente gemischt, geschmolzen und in einer Extrudiermaschine vermischt. Beim Extrudieren verteilen sich die Metallpigmente gleichmäßig im Inneren der Polymer-Pulverpartikel. Bei der endgehärteten Beschichtung verteilen sich da-

her die metallischen Partikelplättchen statistisch innerhalb der Beschichtung. Dies ist jedoch im vorliegenden Fall, wo das Ziel eine Positionierung der Aluminiumpigmente nahe der Oberfläche ist, nicht ideal. Pigmentpartikel innerhalb der „Hauptmasse“ der ausgehärteten Beschichtung wirken sich nur sehr begrenzt auf den thermischen Emissionsgrad aus. Dies erklärt die schlechten Ergebnisse beim Emissionsgrad der extrudierten Beschichtung in Abb.1 und Abb.2.

Das dritte Verfahren zum Beimischen von Pigmenten ist das *Bonden*. Dabei werden die Metallplättchen unter Wärmeeinwirkung mit den Polymerpartikeln verbunden. Man erwärmt die Polymerpartikel auf eine Temperatur, bei der sie klebrig werden, aber noch nicht vollständig schmelzen. In diesem Zustand verbinden sich die Metallpigmentplättchen mit den Polymerpartikeln. Die Polymer- und Metallpartikel lassen sich nach dem Bonden nicht mehr trennen. Gebondete Metallpigmentplättchen befinden

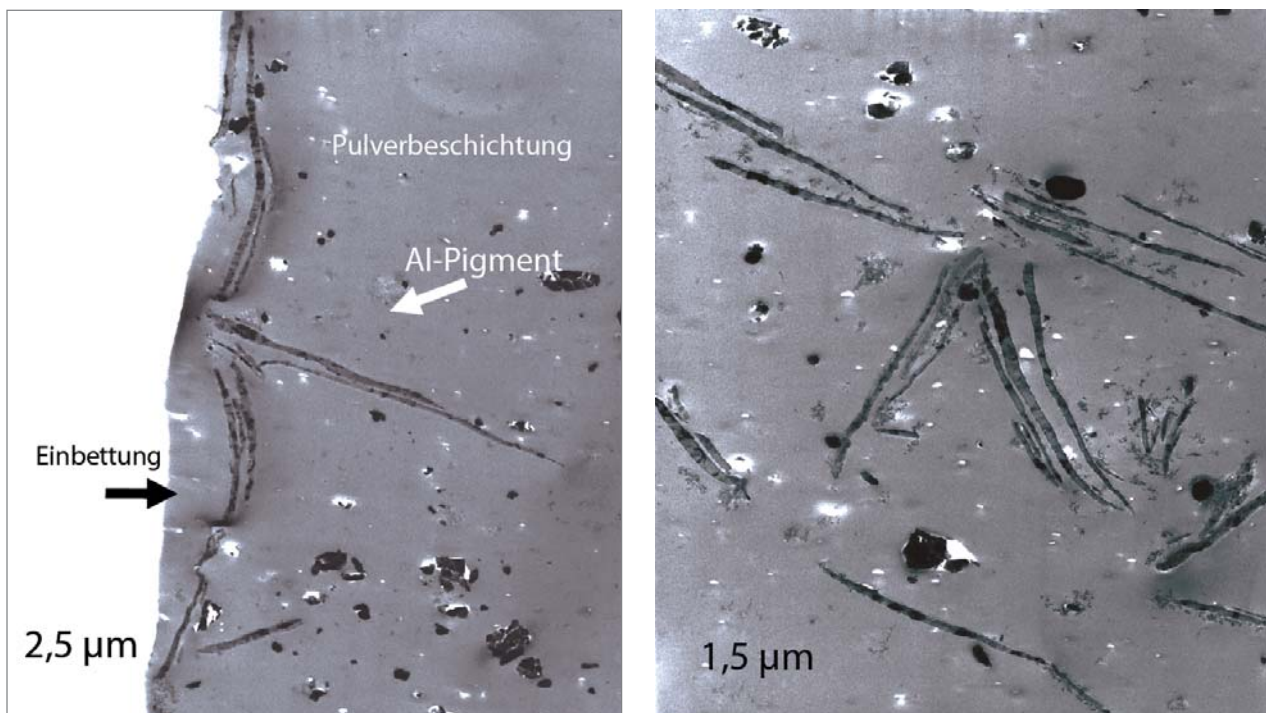


Abb.5 Aluminiumplättchenpigmente nahe der Beschichtungs Oberfläche sind parallel zu dieser ausgerichtet (links) und weisen entlang den Polymer-Korngrenzen in der Hauptmasse der Beschichtung (rechts) eine mehr zufällig verteilte Ausrichtung auf. Die Oberflächenpigmente befinden sich typisch rund 1 µm unter der obersten Lage der Beschichtung. Die Grenzfläche zwischen dem zum Einbetten dienenden Epoxid und der Beschichtung befindet sich an der Spitze des schwarzen Pfeils (links).

sich an der Polymerpartikeloberfläche und sind normalerweise mit ihrer Flachseite zu dieser ausgerichtet, Abb.3. Bei einer bestimmten Pigmentkonzentration ist kein Platz mehr für die Anlagerung weiterer Pigmentplättchen an den Polymerpartikeln frei, d.h. es ist eine Sättigung eingetreten. Das in Abb.3 (unten) gezeigte Polymerpartikel hat seine Sättigung erreicht.

Hohe Pigmentkonzentrationen verursachen Schwierigkeiten beim Aufbringen (Sprühen) der Pulverbeschichtung auf das Werkstück. Grund dafür ist die elektrostatische Aufladung von Polymerpartikeln, die mit zu vielen Metallplättchen bedeckt sind.

Zur Herstellung einer Beschichtung mit niedrigem Emissionsfaktor ist das **Bonden** wegen der Anordnung der Aluminiumpigmentplättchen dem **Extrudieren** vorzuziehen. Wenn ein **gebondetes** Pulver geschmolzen ist und aushärtet, positionieren sich die Pigmente an den „Korngrenzen“ der Polymerpartikel und an der Oberfläche, Abb.4 und 5. Die Metallplättchen-Pigmentpartikel sind hier hochkant zu sehen. In der lichtmikroskopischen Aufnahme sind die ungerichteten weißen Stellen Pigmente, die mehr oder weniger auf ihrer Flachseite an einer Korngrenze angeordnet und in der Probe eingebettet sind. Die TEM-Proben dagegen sind so dünn, dass es unwahrscheinlich ist, flach liegende Pigmente zu finden.

In Abb.5 (links) ist zu erkennen, wie sich die Metallpigmente parallel zur Oberfläche der Beschichtung ausrichten. Im Hinblick auf einen niedrigen Emissionsgrad ist dies ideal. Um die Pigmente gegen Zersetzungseinflüsse zu schützen, sollte das Pigment in das Polymer eingebettet sein. Die optimale Pigmenttiefe ist, wie bereits erwähnt, ein Kompromiss zwischen dem chemischen Schutz und der IR-Reflexion. Abb.5 (rechts) zeigt Pigmente, die typisch etwa 1 µm unter der Oberfläche der Beschichtung liegen, was als sehr guter Kompromiss gelten kann. Während des Schmelzens und Aushärtens der Pulverbeschichtung werden die Pigmente von einer Position **auf** der Polymerpartikeloberfläche zu einer Position unmittelbar **unter** der ausgehärteten Beschichtungsfläche „verla-

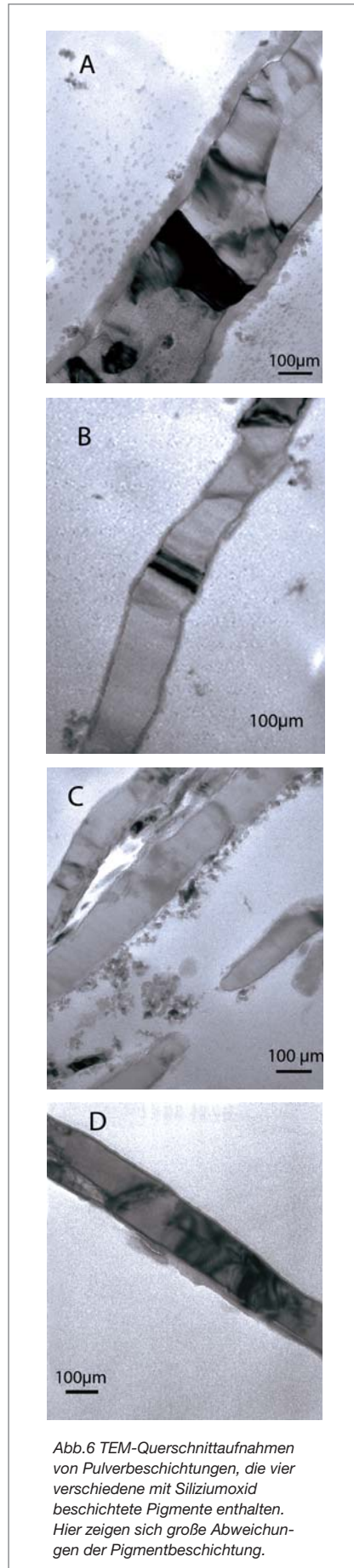


Abb.6 TEM-Querschnittaufnahmen von Pulverbeschichtungen, die vier verschiedene mit Siliziumoxid beschichtete Pigmente enthalten. Hier zeigen sich große Abweichungen der Pigmentbeschichtung.

gert“. Dies wird durch eine Kombination bestimmter Polymereigenschaften und Prozessbedingungen erreicht.

3.3 Pigmentbeschichtung

Um einer chemischen Zersetzung vorzubeugen, ist es notwendig, aber nicht hinreichend, dass die Pigmente etwas unter der Beschichtungsfläche angeordnet sind. Überdies müssen die Pigmente von einer Schutzschicht bedeckt sein. Organische Pigmentbeschichtungen (z.B. Acryl) sind zwar gängig, doch unsere Messungen (über die hier nicht berichtet wird) zeigen, dass sie im thermischen IR-Bereich zu stark absorbieren und sich daher nicht für Beschichtungen mit niedrigem Reflexionsgrad eignen. Siliziumdioxid ist eine gebräuchliche anorganische Pigmentbeschichtung. Es ist im thermischen IR-Bereich weniger absorbierend und eignet sich deshalb besser für Beschichtungen mit niedrigem Reflexionsgrad. Kürzlich wurden auch Aluminiumpigmente unter Anwendung von Sol-Gel-Techniken mit Siliziumdioxid eingekapselt [3].

Abb.6 zeigt TEM-Aufnahmen von Querschnitten einzelner Pigmentplättchen in einer ausgehärteten Pulverbeschichtung. Es werden vier verschiedene Pigmente verglichen, die alle mit Siliziumoxid beschichtet sind. Pulverbeschichtungen, die diese Pigmente enthalten, wurden nach dem HCl-Eintauchtest auf ihre Chemikalienbeständigkeit untersucht. Die Ergebnisse sind in Abb.7 zusammengefasst. Pigment C fällt bei der Prüfung zur Chemikalienbeständigkeit vollständig durch. Eine Veränderung des L-Wertes um -23 entspricht einer beträchtlichen Verdunkelung aufgrund der Zersetzung der Aluminiumpigmente. Der Grund für diese Zersetzung liegt in der sehr dünnen, „flockigen“ Schicht aus Siliziumoxidpigmenten, die in Abb.6c zu sehen ist. Wahrscheinlich ist die Pigmentbeschichtung entweder sehr porös oder sie wurde im Bindemittel der Pulverbeschichtung gelöst.

Pigment D ist in einer dichten, jedoch nicht durchgängigen Siliziumoxidschicht eingekapselt. Dies ergibt einem ΔL -Wert von -2,33 nach dem Test zur chemischen Zersetzung, was schon bedeutend bes-

ser ist als bei Pigment C, jedoch nicht so gut wie bei den Pigmenten A und B.

Die Pigmente A und B weisen eine durchgängige Beschichtung aus Siliziumoxid auf, die ihnen eine sehr gute Chemikalienbeständigkeit verleiht. Ein ΔL -Wert von rund -1,0 ist normalerweise nicht sichtbar. Diese Pigmente führen außerdem zu einem niedrigen thermischen Emissionsgrad (knapp unter 0,5).

Für die Industrieversion der Pulverbeschichtung mit niedrigem Emissionsgrad wurde Pigment B gewählt. Aufgrund seiner Kombination aus niedrigem Emissionsgrad und guter chemischer Stabilität ist es für diesen Anwendungsfall gut geeignet.

3.4 Berechnung und Messung der U-Werte

Die Reduktion des thermischen Emissionsgrades von 0,9 auf etwa 0,5 bringt beträchtliche Energieeinsparungen. Die Berechnung und Messung der U-Werte wurden für ein Fensterprofil vom Typ Wicline 65 durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Abb.8 angegeben.

Die gemessenen und die berechneten U-Werte stimmen ausgezeichnet überein. Ferner zeigt sich, dass der reduzierte Emissionsgrad der Beschichtung den Wärmeverlust durch den Fensterrahmen von 3,07 auf 2,40 W/m²K senkt, – eine Verringerung um mehr als 20%! Der durch Strahlung verursachte Teil des Wärmeverlustes ist beträchtlich. Entsprechend wird der Einsatz dieser Beschichtung mit niedrigem Emissionsgrad auch den Energieverbrauch in Gebäuden senken.

4. ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

Es wurde eine Pulverbeschichtung mit Wärmereflexionseigenschaften entwickelt. Ihr thermischer Emissionsgrad beträgt knapp 0,5. Damit bietet sie in Gebäudeanwendungen im Vergleich zu herkömmlichen Pulverbeschichtungen mit Emissionsgraden von typisch 0,85 bis 0,9 ein beträchtliches Potential für Energieeinsparungen. Der Wärmeverlust von Fensterrahmen des Typs Wicline 65 verringert sich von 3,07 auf 2,40 W/m²K. Dieser gemessene Wert wurde durch Berechnungen bestätigt. Es werden **Non-Leafing**-Aluminiumpigmente in Form von Metallplättchen verwendet, um einen hohen IR-Reflexionsgrad (und damit einen niedrigen thermischen Emissionsgrad) zu erzielen. Die Pigmente müssen in möglichst hoher Konzentration an die Polymerpartikel der Pulverbeschichtung gebondet werden, und ihre Lage in der Beschichtung ist von entscheidender Bedeutung für die Erzielung eines niedrigen Emissionsgrades bei zugleich ausreichender chemischer Stabilität. Das Extrudieren der Pigmente ist wegen der statistischen Verteilung der Pigmente in der ausgehärteten Beschichtung kein praktikables Verfahren. Die chemische Stabilität ist auch von der Beschichtung der Pigmente abhängig. Für die Pigmentbeschichtung kommen wegen der niedrigen IR-Absorption vorzugsweise anorganische Oxide zur Anwendung. Bestimmte mit Siliziumdioxid beschichtete Pigmente ergeben einen gegen Chemikalien beständigen Belag. Diese Pigmente haben eine 10 bis 30 nm dicke Siliziumdioxidschicht, die die Metallpigmentplättchen vollständig bedeckt. Die

Pigment	Emissionsgrad ϵ	ΔL nach 8 Std. in 10% HCl	Chemikalienbeständigkeit	Dicke der Pigmentbeschichtung [nm]
A	0,49	- 1,09	Sehr gut	10 - 30
B	0,48	- 1,02	Sehr gut	~ 10
C	0,47	- 23	Mäßig	Keine durchgängige Pigmentbeschichtung, gelöstes SiO ₂ ?
D	0,45	- 2,33	OK (?)	~ 20, Pigment nur teilweise beschichtet

Abb.7 Vergleich des Emissionsgrades und der chemischen Stabilität der vier verschiedenen Aluminiumpigmente aus Abb.6. Es besteht ein enger Zusammenhang zwischen der Qualität der Siliziumoxidbeschichtung und der Chemikalienbeständigkeit der Pulverbeschichtung.

	Emissionsgrad 0,9	Emissionsgrad 0,5
Berechnungen nach EN 10077-2	3,01 W/m ² K	2,43 W/m ² K
Messungen nach EN 12412-2	3,07 W/m ² K	2,40 W/m ² K

Abb.8 Berechneter und gemessener Wärmeverlust, angegeben als U-Werte für ein Fensterprofil vom Typ Wicline 65 mit unterschiedlichem Emissionsgrad der Pulverbeschichtungen

TEM-Analyse der Querschnitte ist ein effektives Hilfsmittel für die Untersuchung der Pigmente, ihrer Lage und der Qualität ihrer Beschichtung.

Autorengemeinschaft

Dr.-Ing. Jostein Mårdalen¹,
Dr.-Ing. Bjørn Steinar Tanem¹
Dr.-Ing. John Erik Lein¹
Dr.-Ing. Merete Hallenstvet^{2,1},
Dr.-Ing. Werner Jäger^{2,2},
Dr.-Ing. Helene Bolm³,
Dr.-Ing. Volker Rekowski⁴,
Elektromikroskopische Aufnahmen:
Dr.-Ing. Jostein Mårdalen
www.hydro.com

¹ SINTEF Materials and Chemistry,
Trondheim, Norwegen

^{2,1} Hydro Aluminium Rolled Products AS,
Holmestrand, Norwegen

^{2,2} Hydro Building Systems, Ulm, Deutschland

³ DuPont Powder Coatings Scandinavia AB,
Västervik, Schweden

⁴ DuPont Performance Coatings,
Köln, Deutschland

Danksagung

Messungen des thermischen Reflexionsgrades:
T. Hallberg, Institut FOI Linköping (Schweden).
Berechnungen und Messungen der U-Werte:
Institut für Fenstertechnik in Rosenheim,
Prof. Dr. rer. nat. Franz Feldmeier, Dipl.-Ing. Norbert Sock

Literatur

- [1] Helene Bolm, Volker Rekowski, Tom E. Jeffers, Merete Hallenstvet, Werner Jäger und Jostein Mårdalen, „Low emissive powder coating“, Patentanmeldung, 05P021 - FA1459 US PRV.
- [2] Merete Hallenstvet, Werner Jäger, Eberhard Ackermann, Tore Kolås, Cornelis Spooren, Jostein Mårdalen, „Structural metal element with improved thermal properties and a method for making same“, P04028PCT.
- [3] Ulrich-Andreas Hirth, „Aluminium Pigments Powder coating Applications“, Veröffentlichung V.3 auf dem 8.Nürnberger Kongress 2005.

Die Welt ist keine Scheibe - Ihre Anzeigen auch nicht [...]



innovatools

Werkzeuge für den Erfolg

Fach.Journal

Fachzeitschrift für Erneuerbare Energien & Technische Gebäudeausrüstung

[Hier mehr erfahren](#)



innovapress

*Innovationen publik machen
schnell, gezielt und weltweit*

Filmproduktion | Film & Platzierung | Interaktive Anzeige | Flankierende PR | Microsites/Landingpages | SEO/SEM | Flashbühne