

Infrarot-reflektierende Oberflächen für einen verbesserten Raumkomfort bei reduziertem Heizenergiebedarf

Infrared-reflecting surfaces for improved room comfort at reduced heating energy

Projektleiter

Project leader:

Dr. Tobias Meißner

Projektbearbeiter

Project team:

Dominique-Maurice Jordan

Fördermittelgeber

Sponsor:

BMW (IGF)

Projektpartner

Project partners:

Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V. (STFI);

Materialforschungs- und -prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar (MFPA Weimar)

AUSGANGSSITUATION UND ZIELSTELLUNG

Während das in den Sommermonaten durch solare Einstrahlung bedingte Aufheizen von Innenräumen mittels Reflexionsbeschichtungen auf Fassaden, speziellen Fenstergläsern usw. reduziert werden kann, stehen Lösungsansätze zur Vermeidung von Strahlungsverlusten in Innenräumen dagegen kaum zur Verfügung. Zudem werden größere Differenzen zwischen Raum- und Wandtemperatur als unangenehm empfunden. Ein ausgeglichenes Zusammenwirken von Umgebungs- und Strahlungstemperatur dagegen ermöglicht niedrigere Luft- und Oberflächentemperaturen im Raum bei gleich empfundener thermischer Behaglichkeit, wodurch eine kleinere Gesamtwärmemenge zur Beheizung der Räumlichkeit benötigt wird.

Ziel des Forschungsvorhabens war es, Beschichtungen für Oberflächen in Innenräumen, insbesondere für Textil- und Holzoberflächen, zu entwickeln, welche Wärmestrahlung im Bereich mittlerer Infrarot-Strahlung reflektieren. Durch Einbringen oder Erzeugen von Mikrostrukturen in Beschichtungsmatrizes waren die Oberflächen IR-reflektierend zu funktionalisieren. Das Projekt sollte die Realisierbarkeit derartiger IR-reflektierender Beschichtungen aufzeigen. Auf diesem Weg war nicht nur das Reflexionsvermögen der Beschichtungen zu erfassen, sondern auch verarbeitungs- und anwendungstechnische Aspekte sowie die Wirtschaftlichkeit dieser Oberflächen zu betrachten.

INITIAL SITUATION AND OBJECTIVE

While the heat-up of interiors caused by solar radiation during summer months can be reduced by means of reflective coatings on façades, special windowpanes, etc., solutions for preventing radiation losses indoors are hardly available. Moreover, larger differences between room and wall temperatures are perceived as unpleasant. On the other hand, balanced interaction of ambient and radiant temperature enables lower air and surface temperatures in the room with the same perceived thermal comfort, whereby a smaller total amount of heat is required to heat the room.

The objective of the research project was to develop coatings for indoor surfaces, especially for textile and wooden surfaces, which reflect thermal radiation in the range of mid-infrared radiation. By introducing or creating microstructures in coating matrices, the surfaces were to be functionalised in an IR-reflecting way. The project was expected to demonstrate the feasibility of such IR-reflective coatings. In this way, not only the reflectivity of the coatings was to be determined, but also the processing and application aspects as well as the cost effectiveness of these surfaces were to be considered.

VORGEHENSWEISE

Einer der Lösungsansätze war, Mikrostrukturen, von denen erfolgsversprechende IR-Reflexion bekannt oder zu erwarten sind, in organische Beschichtungsformulierungen einzubringen. Dabei handelte es sich um Mikrostrukturen wie Glaspartikel, Mikrosphären (Mikrohohlkugeln) oder Nanodrähte. Die Bestimmung des Reflexionsvermögens erfolgte mit einem IR-Spektrometer mit Integrationskugel (Ulbricht-Kugel). Unter Zuhilfenahme numerischer Modelle und Simulationsrechnungen wurde das MIR-Rückstreuverhalten für verschiedene Geometrien an Strukturen in den Beschichtungen bestimmt. Auf Basis dieser Modelle wurden Textilien und Beschichtungen unter Verzicht auf Mikrosphären in ihrem Aufbau so modifiziert, so dass bereits strukturbedingt IR-Reflexion möglich sein sollte. Den Abschluss des Projektes stellte die Entwicklung eines Demonstrators dar, der die im Vorhaben entwickelten und hergestellten IR-reflektierenden Oberflächen messtechnisch in einem praxisnahen Anwendungsfall nachweisen lässt.

ERGEBNISSE

Die Modellierung der elektromagnetischen Wellenausbreitung innerhalb mikrostrukturierter Schichten aus Faserlagen und Beschichtungen mit Lufteinschlüssen kam zu dem Ergebnis, dass Strukturen mit einer Größe von 10 µm breitbandig Reflexionen im MIR-Bereich erwarten lassen. Daher wurden verschiedene Verfahren wie Laserstrukturierung und -faltung, Einsatz von Schäumungshilfsmitteln und Bläserzeugung durch Lösemittelverdampfen angewandt, um der-

APPROACH

One of the approaches was to embed microstructures with known or estimated IR reflection properties into organic coating formulations. These were microstructures, such as glass particles, hollow microspheres or nanowires. Reflectivity was determined by means of an IR spectrometer with integrating sphere (Ulbricht-Kugel). With the help of numerical models and simulations, the MIR back-scattering behaviour was determined for various geometries in structures in the coatings. Based on these models, textiles and coatings were modified in their structure – by omitting microspheres – in such a way that, due to the nature of structure, IR reflexion was to be enabled. The final step of the project was the development of a demonstrator that was capable to verify the IR-reflecting surfaces resulting from the project by measurement in a practice-simulated application.

RESULTS

Modelling of electromagnetic wave propagation within micro-structured layers of fibre layers and coatings with air inclusions yielded the conclusion that structures of a size of 10 µm to provide broadband reflections in the MIR range. Therefore, various methods such as laser structuring and folding, foaming aids and bubble generation by solvent evaporation were applied to obtain such structures. However, these did not show the desired MIR reflection. In contrast, nonwoven mats of good reflective properties could be produced using classical nonwoven production methods such as the needling process or calendering.

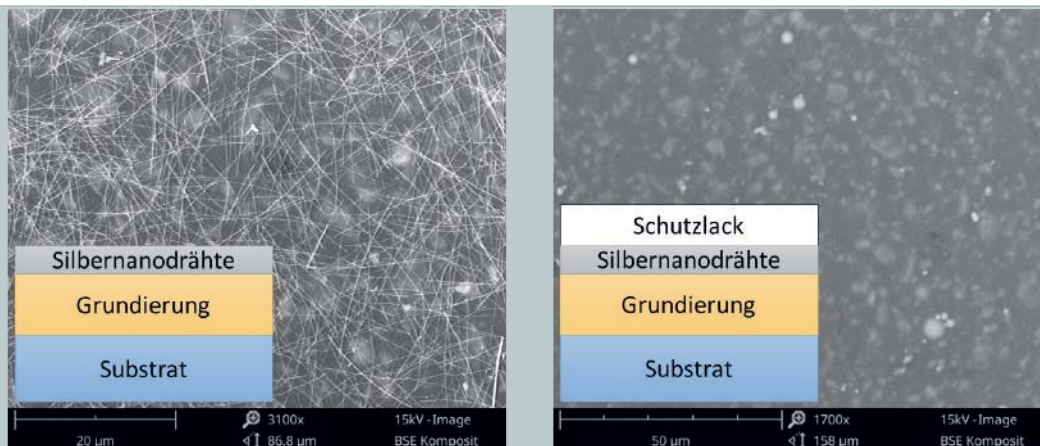


Abb. 1: REM-Aufnahmen von Beschichtung mit Silbernanodrähten. Links: Zweischichtsystem, rechts: Dreischichtsystem
 Fig. 1: REM images of coating with silver nanowires. Left: Double-layer system, right: Triple-layer system

artige Strukturen zu erhalten. Diese wiesen jedoch nicht die erwünschte MIR-Reflexion auf. Im Gegensatz dazu konnten mit klassischen Verfahren der Vliesstoffherstellung, wie dem Vernadelungsprozess oder der Kalandrierung, Vliesstoffe mit guten Reflexionseigenschaften hergestellt werden.

Durch das Einbringen von metallisierten Glaskugeln und -plättchen in Beschichtungen wurden Reflexionsgrade von bis zu 30 % erreicht. Die Verwendung von Silbernanodrähten erforderte die Entwicklung eines Beschichtungssystems (Abb. 1), da die Silbernanodrähte nicht als freie Partikel vorlagen, sondern in einem chemischen Prozess als eigene Schicht erzeugt wurden. Der Aufbau Grundbeschichtung plus Ag-Nanodraht-Schicht ermöglichte Reflexionsgrade von bis zu 80 %, während der Aufbau mit einem Klarlack zum Schutz der empfindlichen Silbernanodrähte mit einer Verminderung des Reflexionsgrades einherging. Der Holzcharakter des Substrates blieb indes aufgrund des semi-transparenten Charakters der erzeugten Ag-Nanodraht-Schicht erhalten (Abb. 2). Gut IR-reflektierende Oberflächen konnten ebenso mit ei-

By incorporating metallised glass spheres and platelets into coatings, reflectance of up to 30 % were achieved. The use of silver nanowires required the development of a coating system (Fig. 1), as the silver nanowires were not present as free particles but were created as a separate layer in a chemical process. The structure of the base coat plus the Ag nanowire layer enabled reflectance of up to 80 %, while the structure with a clear varnish to protect the sensitive silver nanowires had a reduction in the reflectance in its wake. The wood character of the substrate was preserved due to the semi-transparent character of the Ag nanowire layer. Good IR-reflective surfaces could also be achieved using an aluminium-based IR pigment. The advantage of this pigment was its robustness, so that no protective topcoat was required. Characteristic surface and coating properties were not or only insignificantly changed by the pigment, which is a prerequisite for future application.

Using the specially manufactured demonstrator, functionality of the developed IR-



Abb. 2: Fotografische Abbildung von Beschichtungssystemen mit und ohne Silbernanodrähte auf Eichenparkett
 Fig. 2: Photographic image of coating systems with and without silver nanowires on oak parquet flooring

nem auf Aluminium basierenden IR-Pigment erzielt werden. Vorteil dieses Pigments war dessen Robustheit, so dass kein schützender Decklack erforderlich war. Charakteristische Oberflächen- und Beschichtungseigenschaften wurden durch das Pigment nicht oder nur unwesentlich verändert, was eine Voraussetzung für eine spätere Anwendung ist.

Unter Verwendung des eigens angefertigten Demonstrators wurden exemplarisch an einer Beschichtung mit Aluminium-basierten IR-Pigmenten und PP-Meltblown-Vliesstoff der Funktionsnachweis für die entwickelten IR-reflektierenden Oberflächen erbracht. Beide Oberflächen zeigten deutlich erhöhte Strahlungstemperaturen ($\Delta T > 2 \text{ K}$), was sich positiv auf die thermische Behaglichkeit und eine erzielbare Energieeinsparung auswirkt.

reflective surfaces was proven exemplary on a coating with aluminium-based IR pigments and a PP meltblown nonwoven fabric. Both surfaces showed significantly increased radiation temperatures ($\Delta T > 2 \text{ K}$), which has a positive effect on thermal comfort and achievable energy savings.