

# Bewertung nanostrukturierter funktionaler Oberflächen: visuelle Inspektion vs. laserbasierte Messung

Angela Duparré, Marcel Flemming, Antje Kaless, Karsten Reihs\*  
(\* SuNyx Surface Nanotechnologies GmbH)



Marcel Flemming

## Motivation

Die stürmische Entwicklung auf dem Gebiet der Nanotechnologien erzeugt neue Herausforderungen für optimal angepasste, hochgenaue und effiziente Charakterisierungstechniken. Funktionale Oberflächen, die aus solchen Technologien hervorgehen, erfordern zudem völlig neuartige und innovative Verknüpfungen zwischen Design, Charakterisierung und den funktionalen Eigenschaften.

Ein repräsentatives Beispiel einer äußerst attraktiven funktionalen Eigenschaft, die durch Nanostrukturen erreicht werden kann, ist die Ultrahydrophobie. Gemeinsame Aktivitäten der Firma SuNyx Surface Nanotechnologies und des IOF haben zu einem neuartigen Ansatz für ultrahydrophobe Oberflächen mit optischer Qualität geführt. Die zur Erzeugung des funktionalen Effekts benötigten Nanostrukturen werden durch erhöhte statistische Rauheiten optischer Schichten realisiert. Gleichzeitig darf die optische Erscheinung nicht durch Lichtstreuung infolge der erhöhten Rauheit gestört werden. Erste Resultate haben wir in /1/, /2/ beschrieben.

Schwachstreuende ultrahydrophobe Schichten für Architekturglas stellen ein repräsentatives Beispiel für alle Anwendungen dar, in denen nanostrukturierte Oberflächen speziellen Anforderungen an die optisch ästhetische Erscheinung unterworfen sind.

Ein wesentliches Problem in der Vielfalt der wissenschaftlichen und technischen Herausforderungen stellt hierbei eine bislang nicht behandelte und ungelöste Frage dar:

Wie ist die Eigenschaft „akzeptable optisch ästhetische Erscheinung“ geeignet zu quantifizieren?

Die bei der Entwicklung der nanorauen Oberflächen eingesetzten Design- und Charakterisierungstechniken basieren notwendig auf der Totalen Lichtstreuung (Total Scatter – TS).

Diese Größe ist theoretisch und experimentell definiert für monochromatische Strahlung (Laserwellenlängen) sowie für spezifizierte Einstrahl- und Beobachtungsbedingungen und ist in der internationalen Norm ISO 13696 beschrieben. Im Gegensatz dazu erfolgt u. a. im Architekturglasbereich die Bewertung der Streulichtwirkung durch visuelle Inspektion. Diese wird teilweise durch Haze-Messungen unterstützt. Damit ist keine geeignete Quantifizierung und Definition eines Streulichtschwellenwertes möglich, der für Design und Charakterisierung benötigt wird. Deshalb haben wir Untersuchungen in Gang gesetzt, die zu einer verlässlichen Verknüpfung zwischen der auf der Anwenderseite genutzten visuellen Inspektion und der physikalisch exakten Größe TS führen sollen. Im Folgenden werden die Messstrategien und erste Ergebnisse dargestellt.

# Visual inspection vs. laser measurement: a crucial link for the assessment of nanostructured functional surfaces

Angela Duparré, Marcel Flemming, Antje Kaless, Karsten Reihs\*  
(\* SuNyx Surface Nanotechnologies GmbH)

## Motivation

The tremendous development in the rapidly expanding field of nanotechnology is creating new challenges for well adapted, highly sensitive and efficient characterization tools. The functional nanostructured surfaces emerging from such technologies also require novel and innovative links between design, characterization, and functional properties.

A representative example of a very attractive functional property that can be achieved with nanostructures is ultra-hydrophobicity. Joint activities of SuNyx Surface Nanotechnologies and the IOF have led to a unique approach for ultra-hydrophobic surfaces with optical quality. The nanostructure needed for the functional effect is realized through the enhanced statistical roughness of optical coatings. The optical appearance must, however, not be disturbed by scattering resulting from the enhanced roughness. First results are described in /1/, /2/.

Low scatter ultra-hydrophobic coatings for architectural glass constitute a representative example for all cases in which nanostructured functional surfaces are required to maintain an optically esthetic appearance.

Amongst a multitude of challenging scientific and technical problems, one problem in particular remains entirely unsolved, the question of how an „optically esthetic appearance“ can be quantified and defined appropriately?

The design tools and characterization techniques used in the development of the nano-rough surfaces are necessarily based on total scatter (TS). TS is theoretically and experimentally defined for monochromatic (laser) wavelengths and for specified illumination and observation conditions, and is described in the international standard ISO 13696 /3/. By contrast, optical scatter assessment of architectural glass, for example, which is a major application for ultra-hydrophobic coatings, largely relies on visual inspection. Partly, this inspection is assisted by measuring haze /4/.

Neither of the two methods, however, is suitable for the proper quantification and definition of a scatter threshold needed in design and characterization. Hence, investigations had to be embarked upon that a reliable link between the visual inspection methods traditionally used in applications and the exact total scatter quantity can be established. In the following, we describe the measurement strategy and initial results.



Antje Kaless



Angela Duparré

Karsten Reihs

Vorgehensweise:

- Konstruktion und Einsatz einer Anordnung zur visuellen Inspektion mit variablen, spezifizierten Beleuchtungs- und Beobachtungsbedingungen, Abb. 1.
- Herstellung einer Probenserie aus BK 7-Glas mit abgestufter Rauheit zur Erzeugung abgestufter Streulichtniveaus.
- TS-Messung (Vorwärts- und Rückwärtsstreuung, d. h. Streulicht in Transmissions- und Reflexionsrichtung) für die Definition der Streulichtschwelle. Die TS-Anordnung wurde am IOF entwickelt /3/. Abb. 2 zeigt das sammelnde Element des Aufbaus, die Coblenzkugel.
- Winkelaufgelöste Streulichtmessung (Angle Resolved Scatter – ARS) für die Identifizierung möglicher kritischer Beleuchtungs- und Beobachtungswinkel unter Einsatz einer am IOF entwickelten Scatterometer-Anordnung /3/, Abb. 3.
- Haze-Messung mit dem kommerziellen Gerät „Haze-gard dual“, /4/, Abb. 4.

Für die ersten Messserien wurde ein Probensatz von 9 BK7-Gläsern mit Oberflächenbearbeitungen eingesetzt, die sich von einer Politur mit Laserqualität bis Feinschliff erstrecken. Die visuelle Inspektion wurde von 40 Personen unterschiedlichen Alters, Geschlechts und beruflicher Ausbildung durchgeführt. Die optische Erscheinung wurde in 5 Stufen bewertet: 1: exzellent, 2: gut, 3: akzeptabel, 4: schlechte Qualität, 5: inakzeptabel.

Im Diagramm der Abb. 5 sind die Ergebnisse der visuellen Beurteilung gegenüber den bei 514 nm gemessenen TS-Werten (Vorwärtsrichtung) aufgetragen. Die visuelle Bewertung erfolgte jeweils unter drei unterschiedlichen Beobachtungsbedingungen: Dunkler Hintergrund ohne Umgebungslicht; dunkler Hintergrund mit Umgebungslicht; heller Hintergrund mit Umgebungslicht. Es ergab sich eine gute Korrelation von gemessenen TS-Werten und visueller Inspektion für alle drei Bedingungen. Dunkler Hintergrund ohne Umgebungslicht erweist sich jedoch als die optimale Variante für eine strenge absolute Qualitätsaus-

lese. Mit dieser aussichtsreichen Korrelation wurde ein wesentlicher Schritt für die Quantifizierung des Einflusses von Nanostrukturen auf die optische Erscheinung funktionaler Oberflächen erreicht.

Danksagung

Die Arbeiten werden im BMBF-Verbundprojekt „Nanophob“ gefördert.

Literatur:

- /1/ Duparré, A., Flemming, M., Steinert, J., Reihls, K.: „Optical coatings with enhanced roughness for ultrahydrophobic, low scatter applications“, Appl. Optics 41 (2002) 3294–3298.
- /2/ Reihls, K., Duparré, A., Flemming, M.: „Optische Schichten mit ultrahydrophoben und streuarmer Eigenschaften“, Photonik 4 (2002) 36–37.
- /3/ Duparré, A., Ferré-Borrull, J., Glied, S., Notni, G., Steinert, J., Bennett, J. M.: „Surface characterization techniques for determining root-mean-square roughness and power spectral densities of optical components“, Appl. Optics 41 (2002) 154–171.
- /4/ Fa. BYK-Gardner: „Hazemeter introduction manual“ (2002).
- /5/ Fa. BYK-Gardner: „Instrumente 2002“, Katalog (2002).

Abb. 1: Versuchsaufbau für visuelle Inspektion.

Fig. 1: Set-up for visual inspection.

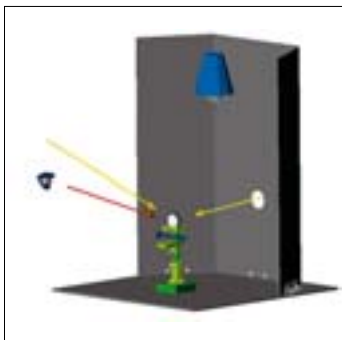


Abb. 2: TS-Messsystem: Coblenzkugel.

Fig. 2: TS measurement system: Coblenz sphere.



Abb. 3: ARS-Messsystem.

Fig. 3: ARS measurement system.



Abb. 4: Hazemeter „Haze-gard dual“, /5/.

Fig. 4: Hazemeter „haze-gard dual“, /5/.



Investigation procedure:

- Construction and implementation of a set-up for visual inspection with variable but well specified illumination and observation conditions, fig. 1.
- Preparation of a set of BK7 glass surfaces with graded roughness to achieve graded light scattering levels.
- TS measurement (backscatter and forward scatter, i. e. scatter in the reflection and transmission directions) for defining the scatter threshold. The TS equipment was developed at the IOF /3/. fig. 2 depicts the collecting element of the set-up, the Coblentz sphere.
- Angle Resolved Scatter (ARS) measurement to find out and identify critical angles of illumination and observation using the scatterometer developed at the IOF /3/, fig. 3
- Haze measurement using the commercial hazemeter „haze-gard dual“ /4/, fig. 4.

Our first measurement series consisted of 9 glass surfaces whose finish ranged from laser quality polish to a finely ground surface. The visual inspection was performed by 40 individuals of different ages, professions and gender. The optical appearance was assessed using a 5-grade system: 1: excellent, 2: good, 3: acceptable, 4: poor, 5: unacceptable.

In fig. 5, the visual ranking marks are depicted in regard to TS, measured in the forward scatter mode at the laser wavelength of 514 nm. The visual ranking refers to three different observation conditions: dark background with no ambient light; dark background with ambient light; bright background with ambient light. A good correlation between the measured TS levels and visual inspection was obtained for all three conditions. Dark background and no ambient light, however, proved to be the optimum condition for the absolute assessment of quality. This promising correlation was an essential step in quantifying the influence of nanostructures on the optical appearance of functional surfaces.

**Acknowledgement**

These endeavors have been supported by the German Federal Ministry for Education and Research as part of the „Nanophob“ joint project.

References:

/1/ Duparré, A., Flemming, M., Steinert, J., Reihls, K.: „Optical coatings with enhanced roughness for ultrahydrophobic, low scatter applications“, Appl. Optics 41 (2002) 3294–3298.  
 /2/ Reihls, K., Duparré, A., Flemming, M.: „Optische Schichten mit ultrahydrophoben und streuarmer Eigenschaften“, Photonik 4 (2002) 36–37.  
 /3/ Duparré, A., Ferré-Borrull, J., Glied, S., Notni, G., Steinert, J., Bennett, J. M.: „Surface characterization techniques for determining root-mean-square roughness and power spectral densities of optical components“, Appl. Optics 41 (2002) 154–171.  
 /4/ BYK-Gardner: „Hazemeter introduction manual“, (2002).  
 /5/ BYK-Gardner: „Instrumente 2002“, Katalog (2002).

Abb. 5: Totale Streuung in Transmissionsrichtung vs. visuelle Bewertung.

Fig. 5: Forward scatter measurement vs. visual quality ranking.

