

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Entwicklung eines Spektralphotometers spezifisch für die Qualifizierung komplexer optischer Beschichtungen (SpOC)

### Die Herausforderung

Optische Komponenten werden häufig mit einer optischen, funktionsausstattenden oder vergütenden Beschichtung versehen. Eines der wichtigsten Werkzeuge für die Charakterisierung dieser Beschichtungen ist die Spektralphotometrie, mit der das spektrale Übertragungsverhalten und damit die Qualität geprüft wird. Aktuell verfügbare Spektralphotometer erreichen zwar eine hohe Präzision, sind jedoch nicht explizit für die Herausforderungen der Charakterisierung optischer Schichten ausgelegt und werden somit der heutigen Komplexität vieler optischer Beschichtungen nicht gerecht: Die genutzte Strahlauflösung und Detektion führen zu Messfehlern, die langen Messzeiten zu hohen Prozesskosten und mit der unzureichenden Absolutgenauigkeit und spektralen Auflösung können komplexe Spezifikationen einiger Komponentenklassen messtechnisch nicht nachgewiesen werden.

### Die Innovationsidee

Ziel des IGF-Projekts war die Entwicklung eines modularen, spezifisch auf die Cha-

arakterisierung von optischen Komponenten und Dünnschichtsystemen im Spektralbereich 200 – 2.500 nm zugeschnittenen Spektralphotometers.

Ein zu entwickelnder Laboraufbau auf Grundlage des gängigen Konzepts eines Zweistrahlphotometers sollte zum Einen eine verlässlich hohe Absolutgenauigkeit erzielen, weshalb Strahlversätze vermieden und die Detektion verbessert werden sollten. Hierfür sollten alternative Strahlungsquellen erprobt sowie eine Homogenisierung des Messtrahls und eine Nachführung für den Detektor entwickelt und evaluiert werden. Zum Anderen sollte das System eine hohe spektrale Auflösung erreichen. Hierfür sollte die Strahldivergenz am Probenort mithilfe einer abgewandelten Strahlauflösung für eine verbesserte Lichtausbeute und einer Kollimation des Strahls reduziert werden.

Um die Prozesskosten zu reduzieren, sollte zudem ein hoher Probendurchsatz ermöglicht werden. Dafür sollte eine Probenaktorik inklusive angepasster Signalerfassung und Referenzierung entwickelt werden.

### Projektinformationen

|                      |                   |
|----------------------|-------------------|
| IGF-Nr.:             | 21019 N           |
| Laufzeit:            | 04/2020 - 03/2023 |
| Fördersumme:         | 246.870 EUR       |
| Industrieleistungen: | 109.544 EUR       |

### Forschungseinrichtungen

- Laser Zentrum Hannover e. V.

### Projektbegleitender Ausschuss

- Bühler Alzenau GmbH
- Carl Zeiss Spectroscopy GmbH
- DIOPTIC GmbH <sup>KMU</sup>
- FHR Anlagenbau GmbH
- LASER COMPONENTS Germ. GmbH <sup>KMU</sup>
- LASEROPTIK GmbH <sup>KMU</sup>
- LAYERTEC GmbH <sup>KMU</sup>
- Optics Balzer Jena GmbH <sup>KMU</sup>
- QIOPTIQ Photonics GmbH & Co. KG
- SPECTARIS, Dt. Industrieverband

- **Qualifizierung komplexer optischer Beschichtungen**
- **Entwicklung modularer Spektralphotometer**

## Das Programm "Industrielle Gemeinschaftsforschung" (IGF) ...

... fördert Studien zur industriellen Machbarkeit von Innovationsideen und beschleunigt so Technologietrends. Dazu arbeiten Wissenschaft, Industrie und Politik zusammen:

0 Das **BMWK** fördert vorwettbewerbliche, innovationsorientierte Forschung mit dem IGF-Programm.

1 **Industrie** und **Wissenschaftler** entwickeln Innovationsideen und geben Projektimpulse.

2 **IGF-Forschungsvereinigungen**, wie die F.O.M., finden Forschungspartner.

3 **Wissenschaftler** von je 1-3 Forschungseinrichtungen schreiben Förderanträge.

4 **Industrieunternehmen** beraten bei der Entwicklung der Anträge.

5 Die **Forschungsvereinigungen** optimieren die Qualität der Vorhaben und der Anträge und reichen die Anträge ein.

6 Ehrenamtliche **Experten aus Industrie und Wissenschaft** begutachten und bewerten die Anträge ganzjährig.

7 Das **BMWK** finanziert die Forschungskosten bis max. 275/525/750 T EUR.

8 Die **Industrie** teilt sich die Administrationskosten.

9 Die **Wissenschaftler** der Forschungseinrichtungen führen die Forschung durch.

10 Die **Forschungsvereinigungen** stellen mithilfe von je 10-20 Unternehmen projektbegleitender **Industrieausschüsse** mit mindestens 50 % KMU einen regen Technologietransfer bis in die Branchen hinein sicher.

11 Die **Industrie** sorgt durch Bekundung ihrer Interessen für die Praxisrelevanz der Forschung, steuert Industrieexpertise bei und validiert die Ergebnisse.

**Gemeinsam stärken wir die Innovationskraft des Mittelstands und den Fachkräftenachwuchs in Deutschland.**

Für eine ausführlichere Fassung des Abschlussberichts wenden Sie sich bitte an:

### Kontakt / Impressum

Forschungsvereinigung F.O.M.  
Werderscher Markt 15, 10117 Berlin  
030 4140 21-50

info@forschung-fom.de  
www.forschung-fom.de



## Die Ergebnisse

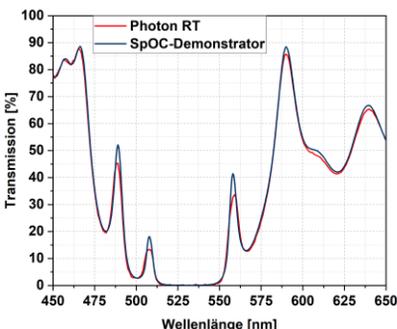
In dem Projekt konnte ein Laboraufbau realisiert werden, der sowohl Messungen der Transmission als auch der Reflexion im Spektralbereich 200 nm bis 750 nm an Proben mit Durchmessern bis zu 50,8 mm ermöglicht.

Als Grundlage wurde ein Doppelmonochromator genutzt, mit dem der übliche Strahlengang eines Zweistrahlphotometers realisiert wurde. Durch Anpassung der einzelnen Module konnte eine Absolutgenauigkeit von 0,1 % für Transmissions- und 0,2 % für Reflexionsmessungen von planparallelen, nicht-miniaturisierten Optiken erreicht werden. Hierfür wurde eine lasergepumpte Plasmalichtquelle genutzt, die aufgrund ihrer außerordentlichen Ausgangsleistung eine hohe Flexibilität in der Gestaltung des Strahlengangs hinsichtlich des Einsatzes von Strahlungsleistung reduzierenden Konzepten und Komponenten erlaubt. Zudem wurde ein holographischer Diffusor zur Homogenisierung des Messstrahls verwendet – polierte Diffusoren erwiesen sich als ungeeignet – und eine Nachführung für den Probedetektor realisiert, die einen schnellen Wechsel zwischen einer Transmissions- und einer Reflexionsmesskonfiguration ermöglicht.

Das spektrale Auflösungsvermögen konnte im Vergleich zu bereits verfügbaren Spektralphotometern durch die höhere Lichtausbeute aufgrund der verwendeten Plasmalichtquelle und durch den Einsatz von drei Spalten für eine Kollimation des Messstrahls deutlich verbessert werden.

Zur Steigerung des Probendurchsatzes wurde eine spezielle Aktorik in Form eines Probenrevolvers entwickelt, die jedoch noch einer detaillierten Erprobung bedarf.

Insbesondere die mit dem entwickelten Demonstrator gemessenen Transmis-



Vergleich des spektralen Auflösungsvermögens des SpOC-Demonstrators mit bestehenden Systemen (links: Photon RT, rechts: Perkin Elmer Lambda 900 mit Transmissionseinsatz) anhand Transmissionsspektren eines Multi-HR-Spiegels (li.) und eines Kurzpass-Filters (re.). Der SpOC-Demonstrator zeigt größere Transmissionen.

sionsspektren stimmten mit den bereitgestellten Vergleichsdaten überein. Ausnahmen bildeten die Bereiche nahe 200 nm und 700 – 750 nm, in denen höhere Abweichungen und vermehrtes Rauschen auftrat.

Im Rahmen des Projekts wurden zudem weitere Herausforderungen aufgezeigt. Insbesondere der Doppelmonochromator, das Herzstück des Spektralphotometers, verursachte ein nur teilweise reduzierbares Strahlwandern, was die Leistungsfähigkeit des Geräts limitiert. Eine genauere Evaluation der Monochromator-Bauart sowie weitere mechanische Optimierungen der Proben- und Detektorhalterung sind daher unerlässlich.

## Die Verwertung

### KMU-Nutzen

Mit der Entwicklung eines Spektralphotometers spezifisch für die Charakterisierung von optischen Beschichtungen kann die Qualität der Beschichtungen hochspezifischer optischer Komponenten, auf deren Herstellung viele KMU der Optikbranche spezialisiert sind, bereits vor dem Einsatz in einer Anwendung überprüft werden, was die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen stärkt. Eine verbesserte Messtechnik kann zudem bspw. in der Laserindustrie die Entwicklungsdauern von neuen oder verbesserten Komponenten reduzieren und damit das Potenzial für die Entwicklung von Innovationen erhöhen. Hierdurch sind kurzfristig deutliche Steigerungen von Produktivität und Innovationskraft und somit auch der internationalen Konkurrenzfähigkeit möglich.

### Umsetzung

Um Spektralphotometer zur verbesserten Reflexionsmessung zu entwickeln, ist geplant, mit mehreren Unternehmen die Forschungsarbeiten im Rahmen von Projekten zur Prototypentwicklung fortzuführen.

