

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

3D-Polymerdruck von Brillengläsern (Ink-Eye)

Die Herausforderung

Die industrielle Herstellung optischer Bauteile erfolgt derzeit vornehmlich klassisch durch Schleif-, Polier- und Freiformbearbeitung von gegossenen oder replizierten Glas- und Polymerpreformen. Nur mit diesen Verfahren lassen sich aktuell die benötigten sehr geringen Toleranzen in der Konturtreue der optischen Oberflächen und die hohe Transparenz der vollständig bearbeiteten optischen Bauteile erreichen. Eine kostengünstige Herstellung ist somit nur bei Optiken mit einfachen Geometrien und sehr hohen Stückzahlen erzielbar. Es zeichnet sich jedoch ein Trend zu individualisierten Optiken mit teils komplexen Geometrien für verschiedenste Anwendungen ab. Dieser Trend hat sich z. B. bei der Herstellung von Brillengläsern, bei der kleinste Stückzahlen bis zu einzelnen individualisierten Gläsern realisiert werden müssen, bereits durchgesetzt. Für solche Optiken sind die klassischen Bearbeitungsverfahren sehr kostenintensiv. Die additive Fertigung hat das Potenzial, hier einen Paradigmenwechsel herbeizuführen. Die hohen Anforderungen an die zu realisierende Transparenz und Formtreue haben allerdings den Einsatz der additiven Fertigung für optische Komponenten bisher verhindert.

Die Innovationsidee

Ziel war die Entwicklung eines Fertigungsprozesses zur kostengünstigen Herstellung individualisierbarer Brillengläser mittels 3D-Tintenstrahl Druck in vertretbaren Prozesszeiten. Die Form der gedruckten Gläser sollte über die gesamte Oberfläche weniger als 100 µm abweichen. Die Rautiefe (vertikaler Abstand zwischen höchstem und niedrigstem Punkt des Oberflächenprofils) sollte weniger als 5 µm und der Quadratische Mittentrauert (Mittelwert der quadratischen Höhenabweichungen von der Mittellinie des Oberflächenprofils) weniger als 5 nm betragen. Durch schichtweisen Tintenstrahl Druck und UV-Aushärten optischer Polymere sollten Volumenkörper mit einem Brechungsindex $n > 1,5$ und einer vergleichbaren Transparenz und Bruchfestigkeit zu bisherigen Kunststoff-Brillengläsern (z. B. CR39) hergestellt werden. Das Aufbringen einer Kratzfestbeschichtung sollte eine vielfach benötigte Funktionalisierung ermöglichen. Zur Erreichung der Ziele sollten bestehende Materialien angepasst und neue Materialien entwickelt werden, die mit einem Tintenstrahl drucker verarbeitbar sind. Der Druckprozess selbst sollte für den Druck optisch homogener Gläser optimiert werden.

Projektinformationen

| | |
|----------------------|-------------------|
| IGF-Nr.: | 20750 BG |
| Laufzeit: | 07/2019 - 12/2021 |
| Fördersumme: | 783.920 EUR |
| Industrieleistungen: | 118.071 EUR |

Forschungseinrichtungen

- Fraunhofer IOF Jena
- Fraunhofer ISC Würzburg
- Fraunhofer IAP Potsdam

Projektbegleitender Ausschuss

- Carl Zeiss Meditec AG
- Carl Zeiss Vision International GmbH
- Deutsche Augenoptik AG
- die12monate GbR ^{KMU}
- Eschenbach Optik GmbH
- micro resist technology GmbH ^{KMU}
- nanofluor GmbH ^{KMU}
- Nanogate SE
- Notion Systems GmbH ^{KMU}
- OSA Opto Light GmbH ^{KMU}
- Panta Rhei gGmbH
- polyoptics GmbH ^{KMU}
- Rodenstock GmbH
- Silhouette AG
- SPECTARIS e. V.

- **Hochtechnologie-Materialien**
- **Additive Fertigung**

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 **BMW**i fördert vorwettbewerbliche, innovationsorientierte Forschung mit dem IGF-Programm.

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

2 **AiF-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 Die **Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen** (AiF) lässt die Anträge durch **Experten aus Industrie und Wissenschaft** begutachten.

7 Das **BMW**i 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 hinein in die Branchen 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

Zur Herstellung der Volumenkörper und Kratzfestbeschichtung der Brillengläser wurden verdruckbare Polymermaterialien entwickelt: Bei den entwickelten Materialien für die Volumenkörper konnten ein Brechungsindex $n > 1,55$, eine Abbe-Zahl $v > 55$ und gleichzeitig geringe Absorptionswerte (A) im sichtbaren Bereich ($A < 1\%$) erreicht werden. Zudem konnten die Viskositäten der Drucktinten im Bereich von $\eta < 40$ mPa·s sowie hohe Glasübergangstemperaturen der mit den Tinten hergestellten UV-vernetzten Volumenkörper von $T_g > 90$ °C erreicht werden. Für die Kratzfestbeschichtung wurden neuartige Hybridpolymer-Formulierungen aus der Materialklasse der ORMOCER®e entwickelt, die neben einer hohen Transparenz ($A < 1,5\%$ bei 450 nm, $A < 0,5\%$ bei > 500 nm) eine hohe Kratzfestigkeit aufweisen: Die maximal erzielte Schichthärte lag bei mehr als 350 MPa bei einer gleichzeitig hohen Schichthaftung auf dem Volumenmaterial. Zudem konnten Viskositäten der verdruckbaren Tinten in dem Bereich $\eta < 40$ mPa·s erreicht werden.

Parallel wurde der 3D-Tintenstrahldruckprozess für den Druck von Brillengläsern angepasst. Dazu wurden zunächst Einzelagen der entwickelten Materialien auf gekrümmte Substrate gedruckt und anschließend mittels UV-Bestrahlung ausgehärtet. Die Feinabstimmung aus Druckauflösung und Aushärtebedingungen ermöglichte die Reduktion interner Grenzflächen und den Druck vollständig transparenter, optisch homogener Glaskörper. Die Gläser wiesen Bruchfestigkeiten vergleichbar mit CR39 auf. Durch Anpassung des Druckdesigns jeder Einzellage gelang die Herstellung von Brillenglasformkörpern mit sehr hoher geometrischer Genauigkeit, wie anvisiert. Der angestrebte Quadratische Mittenrauwert konnte mit 2,7 nm erreicht werden, im Gegensatz zu der angestrebten maximalen Rautiefe. Für die benötigte Krümmung der Brillengläser sind die einzel-

nen Schichtdicken aktuell noch zu dick und müssen durch weitere Verfahrensverbesserungen reduziert werden.

Die Verwertung

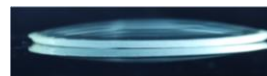
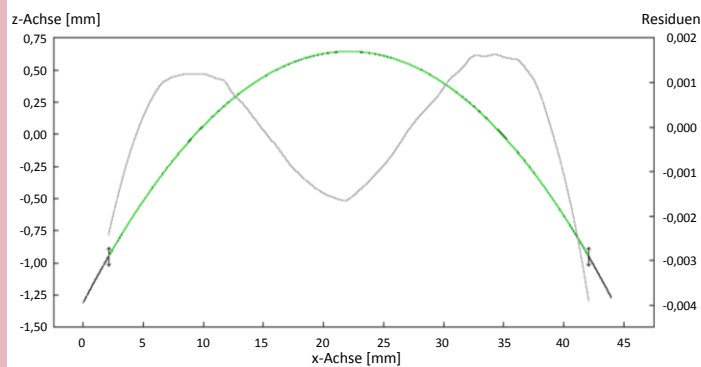
KMU-Nutzen

Die Ergebnisse zeigen die Möglichkeit, die konventionelle Fertigung von Brillengläsern durch den 3D-Druck zu ergänzen oder sogar zu ersetzen. Mittels additiver Fertigung werden Durchlaufzeiten und Fertigungskosten besonders bei der Herstellung individuell korrigierender Brillengläser für komplexe Fehlsichtigkeiten verringert werden können. Kleinstserienfertigungen und Losgrößen von 1 bei gleichbleibenden Prozesskosten können dann wirtschaftlich werden. Durch weitere Entwicklungen, z. B. die Implementierung einer UV-Schutzbeschichtung, kann der Einsatz der additiven Brillenglaserherstellung ausgebaut und der wirtschaftliche Vorteil erhöht werden.

Die entwickelten Materialien für die Volumenkörper eignen sich aufgrund ihrer sehr guten optischen Eigenschaften für verschiedenste optische Komponenten, z. B. für gedruckte (und auch gegossene) Lichtwellenleiter, Linsen- oder Prismen. Die Materialien der Kratzfestbeschichtung ermöglichen zudem Änderungen der tribologischen Eigenschaften der Oberflächen. Sie sind damit nicht nur für verschiedenste Optiken, sondern auch außerhalb der Optik verwendbar. Der angepasste Tintenstrahldruck lässt sich aufgrund der Flexibilität des Verfahrens leicht zur Herstellung verschiedener bzw. wechselnder Optiken adaptieren. So ist der Tintenstrahldruck von Abbildungs- und Beleuchtungsoptiken verschiedener Formen und Größen und sogar smarten optischen Systemen möglich.

Umsetzung

Mit mehreren Unternehmen wird seit Projektende bilateral an verschiedenen Konzepten zur Reduktion der Schichtdicken gearbeitet, um den 3D-Druck kratz-fester Brillengläser zu ermöglichen.



Messergebnisse der Formvermessung des konvexen Teils des gedruckten Brillenglases. Der gemessene Radius beträgt -127 mm. Die Form weicht im Bereich Quadratischer Mittenrauwert $< 1,5$ μm von diesem Radius ab.