

## **Projektplan**

### ***Ink-Eye: 3D-Polymerdruck von Brillengläsern (20750 BG)***

Die industrielle Herstellung optischer Komponenten erfolgt bisher hauptsächlich durch klassische Schleif-, Polier- und Freiformbearbeitung von gegossenen oder replizierten Glas- und Polymerpreformen. Grund dafür sind die benötigten sehr geringen Toleranzen der Konturtreue der optischen Oberflächen und die hohe Transparenz der vollständig bearbeiteten optischen Bauteile, die sich bisher nur mit diesen Verfahren erzielen lassen. Kostengünstig werden die Optiken allerdings nur, wenn sie in sehr hohen Stückzahlen und einfachen Geometrien hergestellt werden. Der Trend entwickelt sich jedoch zu individualisierten Optikkomponenten für verschiedenste Anwendungen. Dieser Trend hat sich bereits in der Herstellung von Brillengläsern etabliert, bei denen kleinste Stückzahlen bis zu einzelnen individualisierten Gläsern hergestellt werden müssen. Für solche individualisierten Komponenten werden die klassischen Bearbeitungsmethoden sehr kostenintensiv. Die additive Fertigung solcher Komponenten stellt daher einen „Game Changer“ für die optische Industrie und im Falle von Brillengläsern für den lokalen Optiker dar. Mit ihrer Hilfe lassen sich extrem individualisierte Komponenten in komplexen 3D Geometrien aus einem variablen Design heraus fertigen. Diese dezentrale Brillenglasproduktion ermöglicht eine kostengünstige und schnelle Fertigung und erlaubt die Etablierung neuer Geschäftsmodelle. Dies kann jedoch nur realisiert werden, wenn es gelingt, dass die Qualität der additiv gefertigten Optiken mindestens den aktuellen Qualitätsstandards entspricht. Neben dem optischen Grundkörper spielen dabei auch Komponenten mit Zusatzfunktionen, wie Entspiegelungsschichten, Kratzfestbeschichtungen und Einfärbungen der Optiken eine wichtige Rolle. Zur Herstellung solcher Komponenten werden verschiedene Materialien benötigt, die mit Hilfe eines hochqualitativen 3D-Druckprozesses verarbeitbar sind und zudem neben verschiedenen optischen Eigenschaften, wie einer genau definierten Brechzahl und Transmission auch die entsprechende Abrasionsbeständigkeit zeigen. Im Idealfall muss sowohl die 3D-Druck-Technologie als auch das Materialhandling so einfach sein, dass die Herstellung der Brillengläser ohne besondere Vorkenntnisse oder erhöhte Sicherheitsmaßnahmen durch den Optiker erfolgen kann.

### **Forschungsziel**

Ziel des Projekts Ink-Eye ist die Entwicklung eines 3D-Inkjet-Druckprozesses von Brillengläsern. Dabei soll eine niedrigviskose Tinte in einem Mehrschichtverfahren verdruckt und durch die Kombination aus Druck und UV-Vernetzung zu individuellen Volumenkörpern aufgebaut werden. Material- und prozesseitig werden interessante Fragestellungen adressiert, die sich auch auf andere Anwendungen des 3D-Drucks optischer Komponenten übertragen lassen. Neben der Prozessentwicklung müssen verschiedene Materialsysteme zum Aufbau der optischen Volumenkörper und einer zusätzlichen Kratzfestschicht entwickelt werden. Die exakte Kontrolle der Vernetzungsreaktion, das Polymerisationsverhalten an Grenz- und Oberflächen, die Reduzierung von prozessbedingten Volumeninhomogenitäten und die Druckstrategie zur Beschleunigung des Prozesses sollen im Fokus der Arbeiten stehen. Die Anwendbarkeit der neu entwickelten Technologie beschränkt sich

anschließend nicht allein auf den Vorhabensgegenstand Brillenglas, sondern schließt zahlreiche weitere optische Komponenten und Systeme ein.

### Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels

Der dem additiven Fertigungsprozess angepasste Lösungsweg beinhaltet Untersuchungen zu den Themen fertigungsgerechtes Design, Materialadaption, Prozessoptimierung und Charakterisierung optischer Volumenkörper und wird in enger Abstimmung mit dem projektbegleitenden Industrieausschuss durchgeführt. Ausgehend von den technischen und ökonomischen Parametern der additiven Fertigung von Brillengläsern erfolgen die Entwicklung des Druckprozesses, die Entwicklung eines organischen Materials zur Herstellung des Volumenkörpers und die Entwicklung eines organisch/anorganischen Hybridmaterials zur Herstellung der Kratzfestschicht.

Der allgemeine Druckprozess zum Tintenstrahl Druck von 3D-Optiken ist in Abbildung 1 dargestellt. Dabei erfolgt eine Kombination aus dem Druck einer Einzellege und anschließender UV-Teilvernetzung zur mechanischen Stabilisierung der Drucklage. Durch vielfache Wiederholung kann dann über die Änderung des Druckdesigns eine 3D-Freiformoptik hergestellt werden. Die wiederholte UV-Belichtung führt zudem zu einem vollständigen Durchvernetzen der Optik.



Abbildung 1: Abfolge des additiven Fertigungsprozesses beim 3D-Inkjet-Druck optischer Volumenkörper, von links nach rechts: Druck einer Schicht aus optischem Polymer, UV-Teilvernetzung der gedruckten Schicht, Drucken der folgenden Schicht, erneute UV-Teilvernetzung, aus vielen Schichten aufgebauter, komplett durchvernetzter finaler Volumenkörper

Durch die Variation verschiedener Druckparameter wie beispielsweise der Druckauflösung, Druckfrequenz und Substrattemperatur aber auch durch die genaue Einstellung der UV Vernetzung über die Belichtungsdauer und -intensität (Dosisleistung) können wichtige Kenngrößen der optischen Volumenkörper wie Konturtreue, Oberflächenqualität und Grenzflächenbildung adressiert und optimiert werden. Flankiert werden diese Arbeiten durch die Entwicklung der Materialien für den Volumenkörper und die Kratzfestschicht.

Die Ausgangsbasis bei der Materialentwicklung bilden Acrylate, Methacrylate und ORMOCER®e, die durch die Anbindung verschiedener funktionaler Gruppen in ihren Eigenschaften so modifiziert werden, dass sie den Anforderungen an ein Brillenglasmaterial bzw. eine Kratzfestschicht genügen. So kann der Brechungsindex der Materialien über die Anbindung verschiedener Gruppen wie beispielsweise aromatische Ringe, Thio-

ethergruppen, halogenierte Gruppen oder den Zusatz hochbrechender Nanopartikel eingestellt werden. Die mechanischen Eigenschaften lassen sich über den Vernetzungsgrad und hier beispielsweise über die Anbindung von Acryl- und Methacrylgruppen beeinflussen. Weiterhin müssen die Materialien hinsichtlich ihrer Viskosität und Oberflächenspannung so eingestellt werden, dass sie sich mit einem Tintenstrahldruckkopf verarbeiten lassen. Zudem wird der Zusatz verschiedener Photoinitiatoren untersucht, die ebenfalls Einfluss auf den Vernetzungsgrad und zudem auf die Grenzflächenbildung zwischen den einzelnen Drucklagen haben. Die Materialien werden iterativ mit dem Druckprozess entwickelt. Am Ende der Entwicklung steht eine hinsichtlich ihrer optischen und mechanischen Eigenschaften optimierte Materialpaarung und ein Verarbeitungsprozess, mit dem sich Brillengläser additiv fertigen lassen.

### **Nutzen und wirtschaftliche Bedeutung des Forschungsthemas**

Die additive Fertigung optischer Komponenten – nicht nur Brillengläser, sondern optische Komponenten allgemein – hat insbesondere für KMU eine enorme wirtschaftliche Bedeutung. Sie ermöglicht eine extreme Individualisierung der herzustellenden Komponenten bei gleichbleibenden Prozesskosten bis hin zu einer Kleinstserienfertigung und Losgrößen von 1. Es sind jedoch auch Serienfertigungen bis zu einem Losgrößenbereich um ca. 105 denkbar. Ein schnelles Prototyping der optischen Bauteile zur Überprüfung der optischen Funktionalität auf Basis der hier zu entwickelnden Technologie und ohne die aufwändige Herstellung prozessnotwendiger Werkzeuge ermöglicht einen sehr schnellen Transfer neuer Ideen in marktreife Produkte. Zudem kann die Herstellung optischer Strukturen, die mittels klassischer Verfahren nicht fertigbar sind, neue Nischen und Märkte für sich auf derartige Komponenten spezialisierende Unternehmen erschließen.

Neben den Herstellern optischer Komponenten erzeugt die erfolgreiche Umsetzung des Projektziels auch ein Innovationspotential für Materialhersteller, Anlagenbauer für 2D- und 3D-Druckmaschinen, den Optiker, der durch den beschriebenen Ansatz in den Besitz der nahezu vollständigen Fertigungskette kommen kann, sowie die Branchen und Firmen, die sich mit der benutzerfreundlichen Umsetzung von 3D-Scanner-generierten Daten sowie der Erzeugung benutzerfreundlicher Oberflächen bei der CAD-basierten Eingabe beschäftigen.

Deutsche Unternehmen, und zwar KMU und Großunternehmen, sollen gemeinsam in der Lage sein, international eine führende Rolle im Bereich 3D-gedruckter Brillengläser einzunehmen und neue Geschäftsmodelle zu entwickeln. Dazu können die Unternehmen auch als Materialberater, Anlagenberater und Anlagenvertreiber auftreten und insbesondere bei komplexen Problemstellungen mit der vorhandenen Expertise Sonder-3D-Druck-Anfertigungen durchführen. Im Zwischenstadium werden konventionelle Brillengläserhersteller den 3D-Druck-Prozess nutzen können und damit Polier- und Schleifschritte zur Formgebung vermeiden.

## Projektbegleitender Ausschuss

Unternehmen
Carl Zeiss Meditec AG
Carl Zeiss Vision International GmbH
Deutsche Augenoptik AG
die12monate GbR <small>KMU</small>
Eschenbach Optik GmbH
micro resist technology GmbH <small>KMU</small>
Multec GmbH <small>KMU</small>
nanofluor GmbH <small>KMU</small>
Nanogate SE
Notion Systems GmbH <small>KMU</small>
OSA Opto Light GmbH <small>KMU</small>
Panta Rhei gGmbH
polyoptics gmbH <small>KMU</small>
Rodenstock GmbH
Silhouette AG
SPECTARIS, Dt. Industrieverband