

Die Zukunft im Blick: Additive Fertigung in der Augenoptik – Ein Überblick über die Optionen für die Randbearbeitung

Die Randbearbeitung von Brillengläsern mittels Formwerkzeugen (Schleifscheibe, Fräser) ist seit vielen Jahrzehnten der bekannte und übliche Weg. Dabei basiert die Anwendung dieser Verfahren weniger auf den Anforderungen der Verbindung Glas-Fassung, sondern auf den fertigungstechnischen Möglichkeiten früherer Zeiten. Es standen nur zerspanende Verfahren (Schleifen mit Keramik- oder Diamantschleifscheiben) zur Verfügung, um die seinerzeit in der Brillenoptik vorherrschenden mineralischen Materialien zu bearbeiten. Mit dem Aufkommen der optischen Kunststoffe ersetzte die Frästechnologie das Schleifen insbesondere im industriellen Bereich mehr und mehr und hat heute in der Industrie eine dominierende Stellung erreicht.

Parallel zu dieser Entwicklung vom Schleifen zum Fräsen in der Augenoptik fand in der Produktionstechnik mit der Einführung und Verbreitung des 3D Drucks ein Paradigmenwechsel statt – von abtragenden zu auftragenden, additiven Verfahren. Bei einem additiven Fertigungsverfahren werden Formen nicht durch Materialabtrag, sondern durch Materialauftrag erzeugt. Sie unterscheiden sich so ganz grundlegend von den bekannten Herstellverfahren, wie Schleifen oder Fräsen. Einen hohen Bekanntheitsgrad haben additive Fertigungsverfahren insbesondere

re durch sogenannte »3D-Drucker« erreicht, die heute weit verbreitet sind.

Die Potentiale dieser grundlegend anderen Vorgehensweise wurden schon sehr frühzeitig von einem Forscherteam an der TH Köln erkannt und Technologien entwickelt, die sie für die Augenoptik und speziell den Brillenglasrand nutzbar machen^[1].

Die hier erzielten ersten wissenschaftlichen Erfolge waren der Ausgangspunkt für eine ganze Reihe von bisher unveröffentlichten Forschungsarbeiten rings um den

Brillenglasrand. Im Rahmen dieses Artikels soll ein Überblick über die technologischen Möglichkeiten, den Nutzen und die Anwendungspotentiale von additiven Fertigungsverfahren in Bezug auf den Brillenglasrand gegeben werden.

Additive Fertigungsverfahren eröffnen neue Perspektiven

In Abb. 1 wird das Grundprinzip eines Verfahrens dargestellt, das für den Auftrag von Flüssigkeiten in einem großen Viskositätsbereich – von »wässerdünn« bis »honigartig« – geeignet ist. Den Flüssigkeiten können verschiedene Funktionsträger in Form von flüssigen, aber auch festen Stoffen beigelegt werden. Durch Zugabe von z.B. Farbstoffen, Pigmenten oder Partikeln mit speziellen elektrischen, optischen oder magnetischen Eigenschaften können die Eigenschaften des ausgehärteten

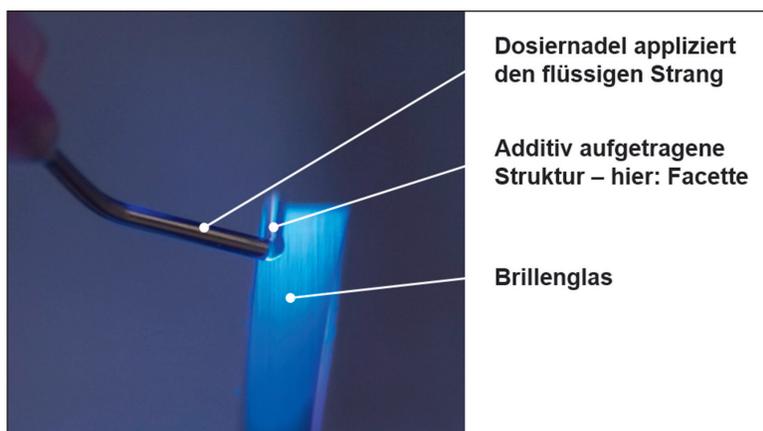


Abb.1: Auf den Brillenglasrand wird eine additive Struktur durch den Auftrag einer Flüssigkeit mit anschließender Härtung erzeugt. Je nach Zusammensetzung der Flüssigkeit und der Auftragsart entstehen formstabile Strukturen (z.B. Facette) oder dünne Schichten mit unterschiedlicher Funktion (z.B. Farbschichten oder elektrische leitende Schichten).



Prof. Dr. Jörg Luderich leitet das Labor für Produktentwicklung und den MakerSpace an der TH Köln.



Christian Pöpperl, M.Eng. ist Maschinenbauingenieur und geschäftsführender Gesellschafter der Shape Engineering GmbH.

Additive Strukturen und Schichten am Brillenglasrand					
Funktionale Strukturen und Schichten				Ästhetische Schichten	
Mechanische Funktion	Elektrische Funktion	Magnet. Funktion	Optische Funktion	Farbige Beschichtung	Politur
<i>Potentielle Anwendungen (Beispiele)</i>					
<p><u>Starre Strukturen:</u> Verbindung Fassung/ Glas. Neue Brillendesigns. Ersatz Brücke. Schutzschicht für den Glasrand.</p> <p><u>Elastische Strukturen:</u> Ausgleich von Größenabweichungen - Fernrandung. Ermöglicht optische Tracer und vollautomatische Brillenmontage. Reduktion von Spannungen insbesondere bei im Glas integrierten Folien (Polarisierende Gläser)</p>	Signal- und Leistungsübertragung an Sensoren und Aktoren – „smart glasses“.	Magnetische Halter.	Reflektierende, leitende und absorbierende Schichten. Retroreflektierende Schicht. Streulichtabsorption am Glasrand.	Unterdrückung/ Reduktion Myopieringe. Modische Individualisierung.	Ersatz mechanische Politur. Einstellbare optische Reflektions- und Absorptions eigenschaften.

Abb.2: Additive Strukturen und Schichten am Brillenglasrand können ganz unterschiedliche Funktionalitäten realisieren. Von starren und flexiblen Strukturen mit mechanischer Funktion, über elektrische, magnetische und optische Eigenschaften bis hin zu farbigen Randbeschichtungen.

Materials in einer sehr großen Bandbreite eingestellt werden. Der Brillenglasrand kann auf diese Weise mit funktionalen oder ästhetischen Strukturen und Schichten versehen werden. Abb.2 gibt einen systematischen Überblick über die Möglichkeiten und potentielle Anwendungen.

Naheliegend ist die Erzeugung von mechanischen Strukturen, die als Ersatz für die heutigen Verbindungen Glas-Fassung (Spitzfacette, Rillnut) dienen und eine vom Glasmaterial unabhängige Wahl der Materialeigenschaften (starr, elastisch, farbig,...) ermöglichen. Die Geometrie kann frei gewählt werden, ist unabhängig von Werkzeuggeometrien (z.B. Facettenwinkel, -höhe und -geometrie) sowie Werkzeugverschleiß und ermöglicht so z.B. völlig neue Brillendesigns. Als Schutzschicht appliziert werden empfindliche Glasränder und im Glas liegende Folien (z.B. Polarisationsfolie) vor äußeren Einflüssen geschützt.

Werden elektrisch oder magnetisch aktive Substanzen additiv aufgetragen, so werden z.B. elektrisch zu aktivierende oder mit Strom zu versorgende Folien oder Bauteile im oder am Glas auch bei der heutigen Formenvielfalt denkbar. Die heute zu beobachtende Vereinheitlichung des Fassungsdesigns bei »smart glasses« kann so überwunden werden. Ein mit einer magnetischen Struktur versehenes Brillenglas ist in einem ent-

sprechenden Fassungsrahmen leicht einsetz- und wechselbar.

Vornehmlich optisch wirksame Randbeschichtungen können sehr wirkungsvoll zur Streulichtabsorption eingesetzt werden, wie im weiteren Verlauf des Artikels noch gezeigt wird. Es sind aber auch retroreflektierende Schichten (z.B. als Sicherheitsfunktion im Straßenverkehr oder zur Blickrichtungserkennung), fluoreszierende oder lichtleitende Schichten denkbar.

Durch die große Bedeutung von Ästhetik und Mode für die Brille sind neben den soeben angesprochenen funktionalen Themen insbesondere ästhetisch motivierte Beschichtungen von großer Bedeutung für die Branche. Farbige Beschichtungen ermöglichen nicht nur die Individualisierung auf Kundenwunsch, sondern können auch die bei Minusgläsern am Brillenglasrand auftretenden Reflexionen durch eine farblich auf die Fassung abgestimmte Randbeschichtung elegant in die Brillenästhetik integrieren. Das durch Myopieringe beeinträchtigte Aussehen kurzsichtiger Brillenträger wird so ganz wesentlich verbessert.

Auch für den Ersatz der Maschinenpolitur des Glasrandes kann eine Beschichtung dienen. Durch den Zusatz von streuenden und/oder reflektierenden Elementen können dabei sowohl Aussehen und Wirkung eingestellt, als

auch auftretende Blendungen beeinflusst werden.

Wie Abb.2 und diese Ausführungen zeigen, eröffnen additive Fertigungsverfahren eine Vielzahl an Möglichkeiten und Potentialen, die im Rahmen dieses Artikels nur angerissen werden können. Die weiteren Ausführungen konzentrieren sich daher auf zwei Themen, auch wenn diese nur einen Teil der vorliegenden Erkenntnisse darstellen: Farbige Randbeschichtungen und elastische Strukturen als Facettensatz.

Farbige Randbeschichtung »shape.line«

Auf der OPTI 2024 wurde mit shape.line das erste Produkt präsentiert, das den Forschungsarbeiten an der TH Köln basiert (Abb.3). Shape.line ist eine hochwertige und dauerhaft beständige Randbeschichtung, die in einer Vielzahl von Farben erhältlich ist und dem Brillenträger Mehrwert durch ein besseres Aussehen und – für viele vielleicht überraschend – durch besseres Sehen bietet.

Angepasst an den Brechungsindex des Glases und CNC-gesteuert aufgetragen, kann die farbige Randbeschichtung verschiedene Funktionen erfüllen.

Eine absorbierende Farbe (schwarz, dunkelblau, dunkelbraun,...) eliminiert das am Rand entstehende Streulicht und ermöglicht einen bisher nicht er-



Abb.3: Das aus der TH Köln hervorgegangene StartUp Shape Engineering GmbH hat die innovative Randbeschichtung shape.line bis zur Marktreife entwickelt.

reichbaren Sehkomfort. Irritationen im Bereich des peripheren Sehens, die insbesondere bei geringem Umgebungslicht (Fernsehen, Arbeit am PC, Kino,...) stören, treten nicht mehr auf. Sehr deutlich ist die Wirkung im Vergleich eines entsprechend beschichteten mit einem unbeschichteten Glas zu erkennen (Abb. 4).

Wird die Farbe der Beschichtung passend zur Fassungsfarbe gewählt, kann kurzsichtigen Kunden eine Brille mit optimaler Ästhetik und quasi unsichtbaren Randreflexionen angeboten werden. Die hellen Reflexions- und Myopieringe werden stark reduziert und verschwinden im Idealfall ganz. Es entsteht ein harmonischer Gesamteindruck der Brille.

Modisch orientierten Kunden kann durch farbliche Betonung und Individualisierung die Erfüllung ihrer ästhetischen Wünsche geboten werden. Abb. 5 zeigt beispielhaft eine Brille in Kombination mit farblich verschieden beschichteten Gläsern aus denen der Kunde seine für ihn ideale Kombination wählen kann.

Von dünnen Schichten bis formstabilen Strukturen – additive Verfahren können für ganz unterschiedliche Funktionen genutzt werden

Während die shape.line Beschichtung sehr dünn aufgetragen wird, erlauben additive Verfahren auch die Her-



Abb.4: Absorbierende Randbeschichtungen eliminieren das Streulicht vom Glasrand und führen zu einem deutlich höheren Sehkomfort – insbesondere am Arbeitsplatz, bei Nachtfahrten, beim Fernsehen oder im Kino. Eine 12-monatige Studie belegt das deutlich verbesserte und angenehmere Sehen.

stellung von sehr viel größeren geometrischen Strukturen. Wie aus dem 3D-Druck bekannt, können dabei die Materialeigenschaften optimal für die jeweilige Anwendung gewählt werden. Ein interessanter Anwendungsfall ist die additive Herstellung von Facetten. Dabei hat die neue Technologie die folgenden Vorteile gegenüber den konventionellen Verfahren:

- Das Facettenmaterial kann elastisch ausgeführt werden. Die allgegenwärtigen Abweichungen der Facettengeometrie und -lage von Glas und Fassungen können so ausgeglichen werden (Abb. 6).
- Der Facettenwinkel kann sehr viel spitzer als heute üblich ausgeführt

werden wodurch die Passrate weiter gesteigert wird. Auch rechtwinkelige Stege sind möglich.

- Facettengeometrie, -winkel und -höhe können einfach ohne Werkzeugwechsel für jede Fassung individuell gewählt werden. Dabei kann sowohl die Form (Dreieck, Kreisbogen, T-Profil,...), als auch der Auftragsbereich über den Umfang frei gewählt werden. Interessant u.a. für spezielle Fassungsformen, Mini-Facetten oder auch für Einschleifwerkstätten, die mit einer Fassungsdatenbank arbeiten.
- Es gibt keinen Werkzeugverschleiß, unterschiedliche Werkzeuggeometrien werden nicht benötigt.



Abb.5: shape.line ermöglicht durch farbliche Gestaltung des Brillenglasrandes die einfache Individualisierung, so dass eine Vielzahl von Farbvarianten angeboten und auf die ästhetischen Wünsche der Kunden optimal eingegangen werden kann, Bild: © GHM / Thomas Plettenberg

Für die Realisierung von fehlertoleranten Prozessen in industrieller Umgebung sind das wichtige Punkte zur Erhöhung der Prozesssicherheit. Eine Passrate von 100% wird so möglich. Auch die heute von Augenoptikern immer wieder berichtete Nacharbeit bei Fernrandungsaufträgen entfällt.

Zusätzlich werden die durch ungenügende Übereinstimmung von Glasrand und Fassungsnut erzeugten Spannungen im Glas stark verringert bzw. eliminiert. Ein Vorteil, da diese Spannungen natürlich Glasmaterial und Beschichtungen stetig belasten und z.B. bei polarisierenden Gläsern auch für den Brillenträger sichtbar werden können.

Abb. 7 zeigt die additiv gefertigten Ausführungen zweier weit verbreiteter Randgeometrien. Die Spitzfacette ist mit einem Spitzenwinkel von 60° und der Wahl eines elastischen Materials dabei so ausgeführt, dass sie stets im Fassungsnutgrund anliegt und ein verbleibendes Übermaß durch Verformung ausgleicht. Auf diese Weise können Größenabweichung von mehr als 0,5mm sinnvoll ausgeglichen werden. Der Ausgleich darüber hinaus gehender Abweichungen ist technisch möglich, allerdings setzt die Sichtbarkeit des Facettenfußes dann eine Grenze für das ästhetisch noch sinnvolle Maß.

Der in Abb.7 auf der rechten Seite dargestellte Rillnutersatz aus zwei parallel aufgetragenen Strängen hat zwei wichtige Vorteile gegenüber der herkömmlichen Lösung. Auf der einen Seite wird der Glasrand nicht durch die eingearbeitete Nut geschwächt und es sind kleinere Randstärken möglich, auf der anderen Seite schützen die aus einem elastischen Material ausgeführten Struktur den Glasrand bei Stößen. Ausplatzer werden so vermieden.

Resümee

Additive Randbearbeitungsverfahren eröffnen der Augenoptik eine ganze Reihe von interessanten Potentialen, die nicht nur die Produktionstechnik betreffen, sondern auch die elementaren Kundenbedürfnisse – Sehen und Aussehen – adressieren. Mit shape.line hat

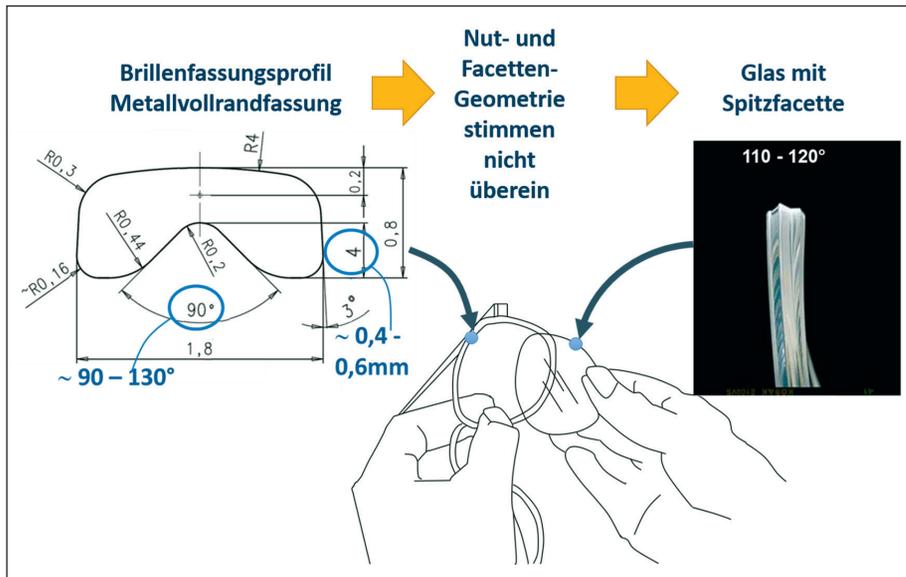


Abb.6: Abweichung zwischen Fassungsnut- und Glasrandgeometrie verhindern eine optimale Verbindung. Elastische Facetten lösen dieses Problem^[2].

nun die erste Technologie aus diesem Bereich den Markt erreicht und steht interessierten Augenoptikern als Dienstleistung zur Verfügung. Die Grundlagenforschung für diese anspruchsvolle Technologie wurde durchgängig an der TH Köln von einer Vielzahl wissenschaftlicher Mitarbeiter und Studierenden geleistet. Einige dieser engagierten und innovativen Köpfe stehen nun als Entwicklerteam hinter shape.line und lassen für die Zukunft weitere spannende Neuerungen aus Köln erwarten. ■

Quellen:

- [1] Luderich, J., Pöpperl, C., Frings, D.: New Edging Technology – Neue Wege Glas und Fassung zu verbinden. DOZ 06/2014, DOZ-Verlag Optische Fachveröffentlichung GmbH, Heidelberg.
- [2] Luderich, J., Lindemann, H.: Hybride Fertigungsverfahren – Einsatz additiver Verfahren für die kundenindividuelle Produktion am Beispiel der Brillenherstellung. Industrie 4.0 Management 36, 2020

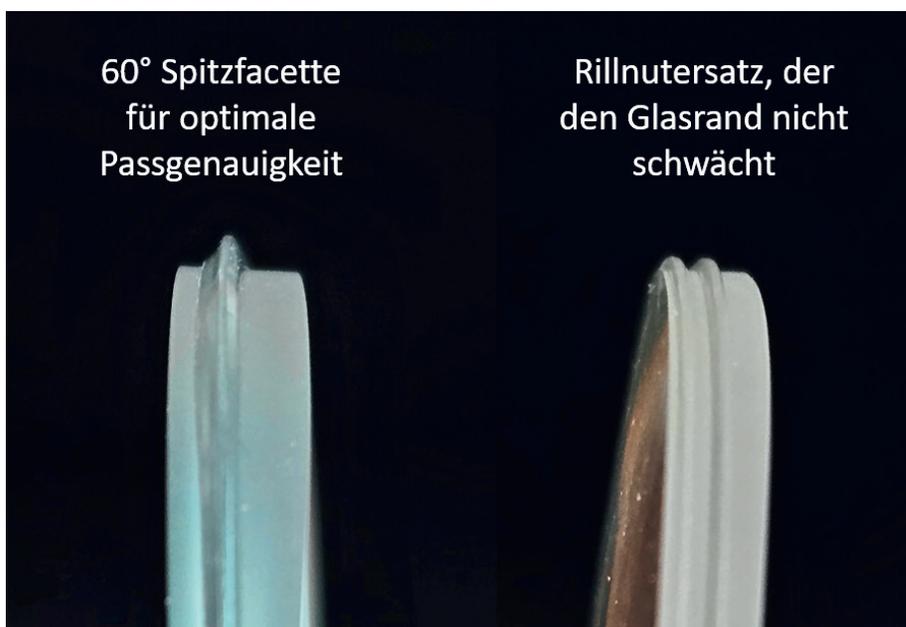


Abb.7: Spitzfacette und Rillnutersatz additiv aus elastischem Material hergestellt. Der kleine Spitzenwinkel bei der links dargestellten Facette sorgt in Kombination mit der Materialnachgiebigkeit für eine perfekte Anpassung zwischen Fassungsnut und Glasrand.