



Folgen einer Grünschwäche: Das Originalbild (links) sieht für einen Betroffenen blasser aus (Mitte). Mit der neuen Korrekturlinse wirkt es natürlicher (rechts).

Sharon Karepov, Universität Tel Aviv

## Gegen Grünschwäche

Kontaktlinsen mit einer Metaoberfläche mildern die Farbenblindheit.

Das Farbsehen des Menschen beruht auf drei Typen von Netzhautzellen, deren Absorptionsmaxima sich deutlich unterscheiden. Sie liegen bei 430, 530 und 560 Nanometer. Manchmal liegen diese Maxima jedoch genetisch bedingt näher beieinander. Dann lautet die Diagnose anomale Trichromasie. Am häufigsten tritt dieser Farbsehfehler als Grünschwäche auf – bei acht Prozent der Männer.

Inzwischen gibt es Brillen, um diese Farbschwäche zu korrigieren. Hat der Betroffene weitere Sehfehler, muss er jedoch zusätzlich Kontaktlinsen tragen, da es die besagten Brillen nur mit null Dioptrien gibt. Wissenschaftler der Universität Tel Aviv haben ein Verfahren entwickelt, um Kontaktlinsen zu Farbkorrekturlinsen aufzurüsten.<sup>1)</sup>

Sie stellen dazu eine Metaoberfläche her: maßgeschneiderte Nanostrukturen auf einer dünnen Schicht, die das mittlere Maximum spektral zu kürzeren Wellenlängen verschieben. Ein betroffenes Auge kann so die Maxima besser voneinander trennen, was eine Simulation zeigte, die auf den Eigenschaften der Metaoberflächen-Kontaktlinse beruhte. Der Farbfehler kann sich in dem Fall um eine Größenordnung verringern.

Die Forscher fertigten die 40 nm dünne Metaoberfläche, Ellipsen aus Gold, auf einem planen Träger und entwickelten ein Verfahren, um diese

Struktur auf die gekrümmte Oberfläche einer harten Kontaktlinse zu transferieren. Zum Schutz der Metaoberfläche war sie mit einem Polymer beschichtet. Untersuchungen zur Langlebigkeit und Verträglichkeit der Linse wären nun der nächste Schritt.

## Ohne Nachfokussieren

Maßgeschneiderte Beugungslinsen erreichen eine extreme Abbildungstiefe.

Eine Linse bildet ein Objekt in die Bildebene ab. Reicht die Abbildungstiefe – also die Distanz, in der das Bild beugungsbegrenzt bleibt – nicht mehr aus, muss erneut fokussiert werden. Der Fokussiermechanismus steigert Kosten, Komplexität und Gewicht eines abbildenden Systems. Daher haben Forscher der University of Utah in Salt Lake City und der kalifornischen Firma Oblate Optics einen anderen Ansatz gewählt.<sup>2)</sup> Solange es um die Abbildung von Intensitäten geht, lässt sich beim Design eines optischen Systems die Phase der Lichtwellen als Parameter frei wählen – und für eine größere Abbildungstiefe optimieren.

Als abbildende Optik diente eine Multilevel-Beugungslinse, die per Grautonlithografie mikrostrukturiert war. Der Durchmesser der Linse betrug 1,8 mm. Sie ist auf Basis

von Simulationen so gestaltet, dass sie einen Brennweitenbereich zwischen 5 und 1200 mm abdeckt. Es ist also keine klassische Fresnel-Linse mit fester Brennweite.

Experimentell wiesen die Forscher nach, dass diese Linse bei einer Wellenlänge von 850 nm Halbwertsbreiten des fokussierten Strahls zwischen 6,6  $\mu\text{m}$  (bei 5 mm Abstand von der Linse) und 125  $\mu\text{m}$  (bei 1200 m Abstand) erreichte. Da die Nebenmaxima der Beugungsfigur stark unterdrückt waren und das Hauptmaximum klar definiert war, sei laut den Wissenschaftlern über die gesamte Abbildungstiefe ein Bildfeld von  $40^\circ \times 30^\circ$  erreichbar gewesen. Eine Nachbearbeitung der Bilder erfolgte nicht.

Die Forscher demonstrierten die Leistung der Linse auch in einem Abbildungstiefenbereich zwischen 0,2 und 6 Meter. Ihr optischer Ansatz ist für Robotik und Automobilindustrie interessant, wo es oft auf Bauraum, Gewicht und Kosten ankommt, nicht auf höchste Bildqualität.

## Leichter joggen

Motorisch gesteuerte Exoskelette reduzieren den Energiebedarf von Läufern.

Durch den Siegeszug des E-Bikes sind mehr Menschen auf zwei Rädern unterwegs als früher. Die Idee einer elektrischen oder mechanischen Unterstützung sportlicher Aktivitäten gibt es daher auch in anderen Bereichen, zum Beispiel für Läufer. Auch für Polizisten oder Notfallhelfer wäre das interessant. Ein amerikanisch-belgisches Forschungsteam hat nun erprobt, wie sich die Unterstützung des Knöchels mit Exoskeletten auf die Leistungsfähigkeit von Läufern auswirkt.<sup>3)</sup> Beteiligt waren die Carnegie Mellon University in Pittsburgh,

University of Utah



Vergleich der Abbildungsqualität der Multilevel-Beugungslinse (links) mit der einer konventionellen Linse: Die Objektdistanzen erstreckten sich über 1,30 Meter.

- 1) S. Karepov et al., Opt. Lett. **45**, 1379 (2020)
- 2) S. Banerji et al., Optica **7**, 214 (2020)
- 3) K. A. Witte et al., Sci. Robotics, doi:10.1126/scirobotics.aay9108 (2020)
- 4) V. K. Bandari et al., Nat. Electron. **3**, 172 (2020)

die Universität Gent, die Firma Nike und die Universität Stanford.

Die Projektbeteiligten haben an elf Probanden auf dem Laufband zwei Varianten von Exoskeletten erprobt: eine mit einer motorischen Unterstützung des Knöchel-Drehmoments und eine mit einer unterstützenden mechanischen Federung. Sie verglichen die Resultate mit Ergebnissen, bei denen die Probanden nur Laufschuhe trugen.

Demnach sorgte das motorisch betriebene Exoskelett bei einem ein-stündigen Lauf im aeroben Bereich für eine durchschnittliche Energieeinsparung von  $14,6 \pm 7,7$  Prozent gegenüber der Bewegung nur mit Laufschuhen. Dagegen erhöhte das Exoskelett mit Federung den Energiebedarf sogar um durchschnittlich  $11,1 \pm 2,8$  Prozent. Dafür hat das Team



Witte et al.

Die Probanden trugen bei den Lauftests ein Exoskelett zur Verbesserung des Knöchel-Drehmoments.

bislang nur Vermutungen. Zum Beispiel wirkt die motorische Unterstützung auch in den Momenten, in denen eine mechanische Unterstützung rein muskulär keinen oder nur geringen Nutzen bringen kann.

Die Ergebnisse sollen in einen kabellosen Exoskelett-Prototyp einfließen, den die Beteiligten nun entwickeln. Mit ihm wollen sie bei weiteren Tests Richtlinien für die Gestaltung künftiger Produkte ableiten.

## Rekordverdächtiger Roboter

Ein millimeterkleines System ist voll manövrierfähig und mit Elektronik ausgestattet.

Künftige Anwendungen von Mikro-robotern in Medizin und Biologie klingen verheißungsvoll, etwa die gezielte Verabreichung von Wirkstoffen oder die Diagnose von Krankheiten im Organismus. Ein Team der TU Chemnitz, des IFW Dresden, der Chinesischen Akademie der Wissenschaften, Changchun, und der TU Dresden hat ein solches System präsentiert.<sup>4)</sup>

Dieser kleinste mikroelektronische Roboter der Welt ist nur 0,8 mm lang und breit sowie 1,4 mm hoch. Dennoch ist genug Platz für eine induktive Energieversorgung, Schaltkreise, Antrieb, Sensoren, Aktuatoren und weitere elektrische Verbraucher. Der Antrieb lässt sich gezielt beeinflussen, sodass sich der Roboter entlang definierter Trajektorien bewegen kann.

Die Projektbeteiligten fertigten den Roboter aus einem Polymerschichtstapel, auf den sie in verschiedenen Bereichen der Fläche dünne funktionale Schichten aufbrachten, zum Beispiel für die Empfängerspule der induktiven Energieversorgung oder für die Heizung des Antriebssystems. Der zunächst plane Stapel rollt sich an den Enden kontrolliert ein, wenn er vom Substrat durch Wegätzen der Opferschicht gelöst wird, da die Schichten in der Ätzlösung unterschiedliche Ausdehnung haben.

Die mittige plane Fläche des Roboters dient als Instrumententräger, die eingerollten Enden als Antriebsdüsen. In ihnen befinden sich eine Titanschicht als elektrische Heizung und eine Platinschicht als Katalysator. Schwebt der Roboter in einer wässrigen Wasserstoffperoxid-Lösung, zersetzt sich das  $H_2O_2$  zu  $O_2$  und  $H_2O$ . Der Roboter bewegt sich dann mit einer mittleren Geschwindigkeit von 1,1 mm/s. Über das An- und Ausschalten der induktiven Energieversorgung lassen sich die beiden Antriebsdüsen regeln. Auch das Ein- und Ausschalten einer integrierten LED und das Ein- und Ausrollen eines integrierten Aktuator-Greifarms hat das Team erfolgreich demonstriert.

Michael Vogel

## Ultrakurzpuls Diagnostik



- Autokorrelator
- Mikroskopie-Autokorrelator
- Spektrometer
- Spider
- FROG