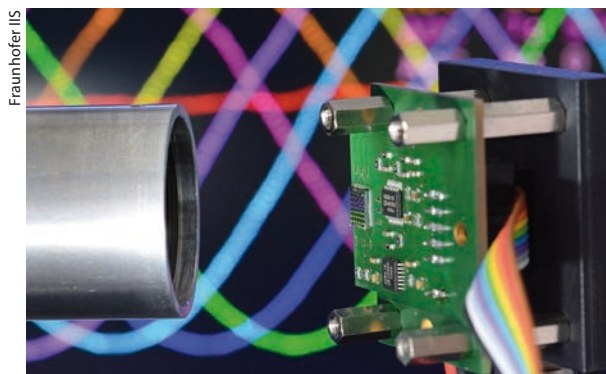


## ■ Rotationen exakt erkennen

**Drehwinkelsensoren, die polarisiertes Licht zur Detektion nutzen, vereinen die Vorteile von magnetischen und optischen Sensoren.**

Im Maschinen- und Anlagenbau und in der Automobiltechnik gibt es immer wieder Situationen, in denen der Drehwinkel von Bauteilen im laufenden Betrieb bekannt sein muss. Beispiele sind Förderbänder, Rotationsdruckmaschinen oder bei Fahrzeugen die Drehzahlmes-



Die neuen Sensoren des Fraunhofer IIS nutzen die Polarisation des Lichts aus, um Drehwinkel zu messen.

sung an der Antriebswelle, um die Motorsteuerung zu regeln. Marktübliche Drehwinkelsensoren arbeiten nach einem magnetischen oder einem optischen Prinzip. Die meisten Magnetsensoren nutzen den Hall-Effekt aus, um Drehwinkel zu messen. Sie sind sehr robust, eignen sich auch für schmutzige Umgebungen, sind kostengünstig und erreichen Winkelauflösungen in der Größenordnung von  $1/100^\circ$ . Bei den optischen Sensoren durchleuchtet eine Diode eine codierte Scheibe, die auf der Drehachse sitzt. Ein hinter der Scheibe angebrachter Detektor erfasst anhand der wechselnden Intensität die Drehung. Solche Sensoren erreichen Winkelauflösungen in der Größenordnung von Bogensekunden, müssen allerdings sehr exakt montiert werden. Das ist weder flexibel noch billig.

Forscher des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS in Erlangen haben einen Drehwinkelsensor entwickelt, der eine deutlich höhere Auflösung als Hall-Sensoren erreicht und ähnlich robust und kostengünstig wie diese sein dürfte. Ihr Demonstrator nutzt die Polarisation aus, um die Drehung einer Hohlwelle zu

erfassen: Das Licht einer LED im Innern der Hohlwelle fällt dazu auf einen senkrecht zur Drehachse montierten Filter, der den Polarisationsvektor des Lichts dreht, wenn die Hohlwelle rotiert. Am Ende der Hohlwelle erfasst ein  $3 \times 3$ -Array aus Fotodioden das wechselnde Lichtsignal. Um die variable Polarisation des Lichtstrahls zu erfassen, ist über jeder Fotodiode ein Gitter mit anderer räumlicher Orientierung angebracht. Gitter und Dioden sind in einem CMOS-Prozess gefertigt. Die Winkelauflösung des IIS-Sensors erreicht etwa  $1/1000^\circ$ . Er lässt sich auch außen an einer Welle anbringen, der Polfilter müsste dann einfach an ihrer Stirnseite überstehen.

## ■ Analyse des Vergilbens

**Mit einem zerstörungsfreien Verfahren lässt sich der Verfall von alten Bildern quantitativ erfassen.**

An vielen historischen Gemälden nagt sichtbar der Zahn der Zeit. Maßgeblich dafür ist häufig die Lagerung in den ersten Jahrhunderten nach der Fertigstellung der Bilder gewesen. Das Vergilben der Leinwand ist zum Beispiel eine Folge der Oxidation der Zellulose: Unter den dabei entstehenden chemischen Nebenprodukten sind Carboxylgruppen, die in diesem Kontext als Chromophoren bezeichnet werden und im sichtbaren Spektralbereich das kurzwellige Licht absorbieren, während sie längerwelliges Licht streuen. Wissenschaftler der Universität Tor Vergata in Rom und der Jagiellonen-Universität in Krakau haben gemeinsam ein zerstörungsfreies



Vorder- und Rückseite von Leonardo Da Vincis Selbstporträt mit den drei markierten Messstellen.

Verfahren entwickelt, mit dem sie solche Chromophoren in Zellulose charakterisieren und quantifizieren können.<sup>1)</sup> Erprobt haben sie das Verfahren an Leonardo Da Vincis mutmaßlichem Selbstporträt aus dem 16. Jahrhundert.

Dazu haben die Forscher zunächst das diffuse absolute Reflexionsspektrum des Gemäldes zwischen 250 und 1050 nm an drei unterschiedlich stark vergilbten Stellen gemessen. Mit einer Variante des Kubelka-Munk-Modells, das die Lichtausbreitung in stark absorbierenden Medien beschreibt, haben sie das Reflexionsspektrum einer Zelloseleinschicht berechnet und in Verbindung mit den vorliegenden Messdaten die intrinsischen Absorptionskoeffizienten der Zellulosebestandteile des Gemäldes abgeleitet. Zudem modellierten die Wissenschaftler mithilfe quantenmechanischer Vielteilchentheorien Zellulose, die durch verschiedene, häufig auftretende Gruppen oxidiert wurde. Die Resultate für das modellierte und das gemessene Spektrum erlaubten Rückschlüsse auf die Konzentration und Art der Chromophoren. Dies bietet die – zugegeben aufwändige – Möglichkeit, das Vergilben von Papier besser zu verstehen und den Verfall von Gemälden zu quantifizieren.

## ■ Billiges Infrarotauge

**Eine einzelne Fresnel-Linse als Optik ermöglicht den Aufbau einer günstigen Überwachungskamera.**

In den vergangenen Jahren ist es gelungen, relativ billige, ungekühlte Detektoren für den Infrarotbereich zu entwickeln. Sie könnten neue Anwendungen in der Umgebungserfassung ermöglichen, die bislang an den Hardwarekosten scheiterten – vorausgesetzt, dass auch die verwendeten Optiken billiger werden. Französische Wissenschaftler der Forschungseinrichtungen ONERA und CNRS sowie des Sensorherstellers ULIS haben das Labormuster einer solchen Optik entwickelt und in einen Demonstrator für das langwellige Infrarot integriert.<sup>2)</sup>

1) A. M. Conte et al., Appl. Phys. Lett., 3. Juni 2014 (DOI: 10.1063/1.4879838)

2) T. Grulois et al., Opt. Lett. 39, 3169 (2014)



Eine Aufnahme mit der Kamera zeigt Menschen in einem Büroraum und verdeutlicht das optisch Erreichbare.

Statt aus gängigen, aber teuren, Materialien für Infraroptiken wie Germanium fertigten die Projektbeteiligten ihre Optik aus Silizium. Da Silizium im relevanten Spektralbereich jedoch stark absorbiert, waren sie gezwungen, eine besonders dünne Optik zu entwickeln. Sie entschieden sich für eine nur 1 mm dicke Platte, in deren detektorseitige Fläche sie eine Fresnel-Linse mit segmentierten asphärischen Profilen einstrukturierten. Den Forschern gelang es, die chromatische Aberration dieser Linse auf ein tolerierbares Maß zu reduzieren. Dazu vergrößerten sie die Furchentiefe der konzentrischen Ringe und verringerten gleichzeitig die Zahl der Ringe. Anders formuliert nutzten sie bei ihrer Fresnel-Linse nicht wie ansonsten üblich die Beugung erster Ordnung aus, sondern die Beugung höherer Ordnungen.

Die gesamte Optik besteht aus der Siliziumlinse und einer Blende und ist nur 3 mm lang. In Verbindung mit einem kommerziell erhältlichen Detektor erreicht die Kamera ein scheinbares Gesichtsfeld von  $130^\circ$  und eine Öffnungszahl von 1,5. Sie deckt den Spektralbereich zwischen 7 und  $14 \mu\text{m}$  ab. Die Linse ist allerdings mit keinem für die Massenfertigung tauglichen Verfahren hergestellt worden. Hier wollen die Forscher nun ansetzen und das Potenzial von Fotolithografie und Spritzguss untersuchen. Zumindest für den Spritzguss sind andere billige Materialien wie Chalkogenide oder Polyethylen nötig.

## ■ Alternativer Wandler

**Kapazitive mikro-elektromechanische Bauteile könnten als Ultraschallwandler dienen.**

Ultraschallwandler sind Alltag. Als Abstandssensor gibt es sie sogar in Kleinwagen. Zur Erzeugung von Ultraschall kommen meist Piezoelemente zum Einsatz. Sie sind technologisch etabliert, lassen sich preisgünstig fertigen und bringen für viele Anwendungen die richtigen Eigenschaften mit. Allerdings stoßen sie bei hohen Temperaturen oder Frequenzen oberhalb von 15 MHz an Grenzen. Eine Alternative könnten CMUTs (Capacitive Micromachined Ultrasonic Transducers) sein. Forscher des Fraunhofer-Instituts für Photonische Mikrosysteme IPMS in Dresden haben nun Demonstratoren solcher CMUTs vorgestellt.

CMUTs funktionieren kapazitiv. Sie bestehen aus zwei Elektroden, die mit einer Gleichspannung vorgespannt sind; eine zusätzliche Wechselfspannung bringt eine der beiden Elektroden zum Schwingen. Mithilfe gängiger Verfahren der Halbleiter- und Mikrofertigung lassen sich CMUTs herstellen. Eine der beiden Elektroden befindet sich direkt auf dem Wafer. Über dieser Elektrode wird durch Schichtabscheidung und Ätzprozesse ein Hohlraum erzeugt, der mit einer dünnen Platte verschlossen wird. Diese Platte bildet die zweite schwingungsfähige Elektrode. Ein Ultraschallwandler setzt sich aus einer mehr oder minder großen Zahl solcher Zellen zusammen.

Im Gegensatz zu Piezoelementen lassen sich CMUTs mit der CMOS-Technologie kombinieren. Ihre sehr dünnen Platten ermöglichen eine effizientere und breitbandigere Energieübertragung vom Wandler ins Ausbreitungsmedium. Zudem lässt sich der erzeugte Ultraschall durch den Aufbau von Arrays gezielt fokussieren. Die Demonstratoren erreichen Frequenzen zwischen 1 und 50 MHz. Die einzelnen Zellen sind 10 bis  $100 \mu\text{m}$  groß. Die weitere Forschung soll gemeinsam mit Industriepartnern erfolgen.

**Michael Vogel**