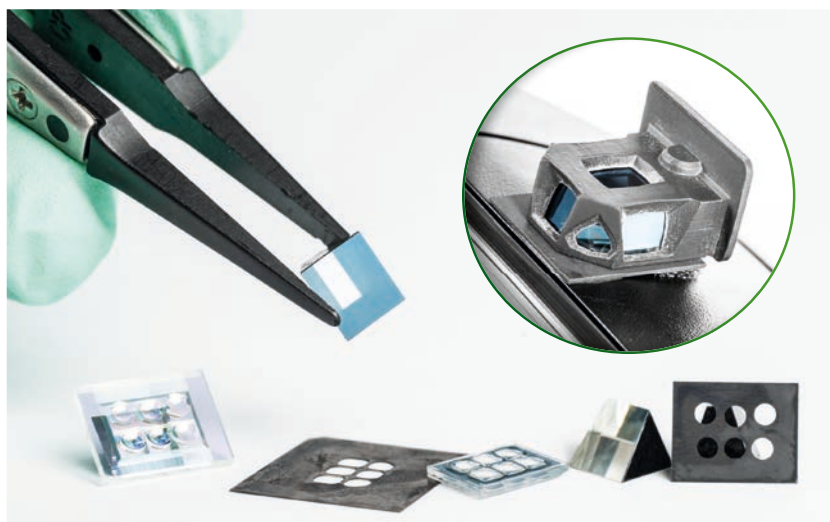




Die Time-of-Flight-Kamera besteht aus mehreren optischen Komponenten.

Würfelszuckerkamera im Auto

Ein mehrkanaliges mikrooptisches System mit einem großen Gesichtsfeld erfasst den Fahrzeuginnenraum in 3D.

Wenn künftig hochautomatisierte Fahrzeuge auf den Straßen unterwegs sind, müssen diese den Innenraum überwachen – aus Gründen der Sicherheit, aber auch für die Interaktion von Mensch und Maschine. In puncto Sicherheit könnte es etwa um die Frage gehen, ob alle Mitfahrenden auf ihren Plätzen angegurtet sind. Bei der Interaktion wäre ein Beispiel die Gestenerkennung, um dem Fahrzeug einen genauen Ort zum Anhalten zu signalisieren. Prinzipiell lässt sich der Innenraum mit einer Time-of-Flight-Kamera überwachen. Das Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF hat nun gemeinsam mit BMW und weiteren Industriepartnern einen Demonstrator entwickelt.

Da die Kamera nur einen etwa würfelszuckergroßen Bauraum bei gleichzeitig großem Gesichtsfeld einnehmen darf, fiel die Wahl auf ein mehrkanaliges Design. Jeder der sechs identischen Kanäle besteht aus einer fünfteiligen Optik. Da die Fixfokus-Objektive über einen sehr weiten Temperaturbereich von 140 °C einsetzbar sein müssen, bestehen die Linsen teils aus Glas. Wegen der erforderlichen hohen Positionsgenauigkeit in der Größenordnung von wenigen 10 µm sind die Optiken monolithisch gefertigt.

Jeder Kanal hat ein Gesichtsfeld von 90°. Die sechs Teilgesichtsfelder werden über ein dreiteiliges Prismen-Array zu einem Gesamtgesichtsfeld von 170° × 130° mit jeweils 15° Überlapp zusammengeführt. Die Winkelauflösung des Gesamtsystems liegt bei 0,4°. Die Kamera hat VGA-Auflösung, die Bildwiederholrate beträgt zwischen 30 und 50 Hz.

Eine separate Beleuchtungseinheit, die aus vier Oberflächen-Emittern besteht, erhellt mit ihren Laserpulsen die Szenerie. Die Mehrkanaloptik erfasst das reflektierte Lichtsignal. Aus der Laufzeitdifferenz lässt sich eine 3D-Punktwolke der Umgebung erstellen, um aus diesen Daten Dinge wie Gesen oder Platzbelegungen abzuleiten.

Beabsichtigt ist ein Folgeprojekt, um unter anderem Beleuchtungseinheit und Optik in ein System zu integrieren.

Schnell und zuverlässig

Ein handliches mikrofluidisches PCR-Testsystem liefert schnelle Ergebnisse mit hoher Sensitivität.

Als diagnostischer Goldstandard für den Nachweis von Coronainfektionen gelten Verfahren, die auf der Polymerasekettenreaktion (PCR) beruhen. Bislang sind sie jedoch nur im Labor durchführbar, ihr Ergebnis liegt erst nach Stunden vor. Das ist für ein Monitoring zu umständlich, langwierig und teuer. Ein Team des Fraunhofer-

Instituts für Mikrotechnik und Mikrosysteme IMM in Mainz hat einen Demonstrator entwickelt, der diese Probleme adressiert.

Das PCR-Verfahren erfordert zwei Temperaturniveaus: Bei über 90 °C öffnen sich die DNA-Stränge, bei knapp 60 °C erfolgt die Vervielfältigung der DNA. Aufheizen und Abkühlen dauern entsprechend lange, was den Zeitaufwand des PCR-Tests erklärt. Das Mainzer System besteht daher aus getrennten Heizkammern, die über einen mikrofluidischen mäanderförmigen Kanal miteinander verbunden sind: die Nachweiskartusche. Der Kanal hat ein großes Verhältnis von Oberfläche zu Volumen, was für einen effizienten Wärmetransport sorgt. Das System ist offen gestaltet, die Nachweiskartuschen sind als reines Verbrauchsmaterial ausgelegt, ohne Zusatzfunktionen wie etwa Ventile. Diese Einfachheit reduziert die Kosten und ermöglicht eine Produktion durch verschiedene Hersteller. Unter Regie des Fraunhofer-Instituts für Experimentelles Software Engineering IESE in Kaiserslautern



Das neu entwickelte PCR-Schnelltestsystem arbeitet mit einem mikrofluidischen Kanal zum raschen Temperatuausgleich.

ist zudem das Konzept einer Datenanbindung entstanden, etwa an die Gesundheitsämter – unter Berücksichtigung von Datensicherheit und -souveränität.

Das Gerät ist 15 × 15 × 20 cm³ groß und umfasst neben mikrofluidischer Kartusche, Pumpe und Heizstrukturen eine Fluoreszenzkamera als Detektor. Derzeit evaluiert die Universitätsmedizin der Universität Mainz das System präklinisch mit Patientenproben. Ziel ist es, nach einer Viertel-

stunde ein Testergebnis vorliegen zu haben – bei vergleichbarer Sensitivität wie der klassischen PCR. Das System lässt sich auch an andere Viren anpassen. Nun sucht das Entwicklungsteam industrielle Kooperationspartner.

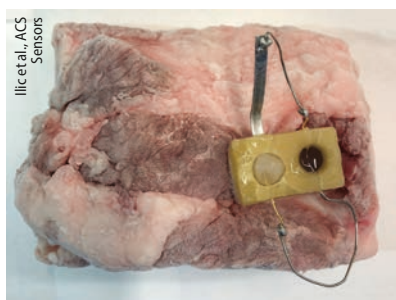
Elegante Qualitätssicherung

Ein energieautarker Sensor zur Überwachung der Kühlkette besteht aus Materialien in Lebensmittelqualität.

Für verschiedene Nahrungsmittel und pharmazeutische Stoffe wie Fleisch oder Impfstoffe ist eine lückenlose Kühlkette wichtig, um die Qualität sicherzustellen. Ein Team des Istituto Italiano di Tecnologia in Mailand hat dafür einen Sensor entwickelt, der ausschließlich aus Materialien in Lebensmittelqualität besteht und energieautark arbeitet.¹⁾

Die Machbarkeitsstudie des Teams besteht aus einer galvanischen und einer ionochromen Zelle. Die galvanische Zelle nutzt Magnesium- und Gold-Elektroden, die über einen wässrigen Salzelektrolyten miteinander verbunden sind. Ist der Elektrolyt gefroren, findet kein Ionentransport zwischen den Elektroden statt. Erst wenn er taut, fließt ein messbarer Strom. Durch die richtige Wahl von Art und Konzentration des Salzes lässt sich die Temperatur, ab der Strom fließt, zwischen -50 und 0 °C einstellen.

Diesen Strom wandelt die ionochrome Zelle in ein optisches Signal um. Sie besteht aus Zinn- und Gold-Elektroden, die in einer Lösung aus Natriumchlorid und Blaukrautsaft stecken. Erst wenn die Zelle unter Strom steht, dem Strom der galvanischen Zelle, setzt eine chemische Reaktion ein: Zinnkationen wandern dann in den Elektrolyten und bilden



Der Sensor signalisiert eine Unterbrechung der Kühlkette über die dunkelblaue Kreisfläche.

mit den Anthocyanen des Krautsafts Komplexe, die blaugefärbt sind. Der Vorgang ist irreversibel. Die lückenlose Kühlung so ausgerüsteter Waren wäre also noch beim Kauf ohne Hilfsmittel überprüfbar.

Die Farbveränderung ist auch quantitativ messbar, da die Konzentration der Zinnkomplexe mit der Zeitspanne korreliert ist, während der die Temperatur zu hoch war. In der Lieferkette wäre das mittels UV/VIS-Spektroskopie zu kontrollieren.

Die Forschenden haben die Sensoren umfassend charakterisiert. Für die Machbarkeitsstudie nutzten sie als Material für das Gehäuse meist das Polymer PDMS oder Bienenwachs.

Kompakte Kamera

Die Bilder eines einlinsigen Systems erreichen Auflösungs- und Kontrastwerte, die mit denen konventioneller Optiken vergleichbar sind.

Das Leistungsvermögen konventioneller optischer Systeme ist inzwischen eher durch die Optik als durch die Elektronik beschränkt. Grundsätzlich steigen die Schwierigkeiten bei Design und Herstellung von Optiken exponentiell mit dem Orts-Bandbreiten-Produkt. Es beschreibt

die Gesamtzahl der Freiheitsgrade des Systems. Ein Team der chinesischen Tsinghua University hat nun einen Ansatz entwickelt, der diese Problematik wirkungsvoll adressiert.²⁾

Der vorliegende Demonstrator ist ein integrierter scannender Lichtfeldbildsensor. Er besteht aus einem kommerziell erhältlichen 48-Megapixel-CMOS-Sensor mit einer maximalen Bildwiederholrate von 30 Hz. Auf ihm befindet sich ein Mikrolinsen-Array, um die Intensitätsverteilung in allen drei Raumrichtungen zu erfassen. Es ist über ein Piezoelement periodisch verschiebbar, um die räumliche Abtastrate zu erhöhen.

Licht aus unterschiedlichen Richtungen fokussieren die Mikrolinsen auf jeweils verschiedene Pixel. Hochaufgelöste 4D-Raumwinkel-Messungen ergeben sich anhand der Mikrolinsenpositionen durch Kombination der Pixel mit demselben Winkel. Aus ihnen lassen sich komplexfeldmodulierte Bilder bis zur Beugungsgrenze einer bildgebenden Linse rekonstruieren. Auch Aberrationen sind korrigierbar.

Die Forschenden nahmen mit dem System und einer Einzellinse als Objektiv S/W-Bilder auf, die in puncto Auflösung und Kontrast den Bildern einer Digitalkamera mit hochwertigem Zoomobjektiv in nichts nachstehen. Außerdem zeigte das Team verschiedene Anwendungen auf: die Korrektur von Bewegungsunschärfe in einem Motiv, die Korrektur atmosphärischer Turbulenzen an einem Teleskop über ein sehr weites Gesichtsfeld sowie die 3D-Umfelderfassung mit hoher Bildrate.

Michael Vogel

1) I. Ilic et al., ACS Sensors (2022), doi:10.1021/acssensors.2c01280

2) J. Wu et al., Nature (2022), doi:10.1038/s41586-022-05306-8



Vergleich der Bilder des neu entwickelten optischen Systems (rechts – ohne und mit Aberrationskorrektur) mit Bildern etablierter Technologien.