

■ Durch Rauch und Flammen

Dank digitaler Infrarotholografie lassen sich in brennenden Gebäuden Opfer in Echtzeit entdecken.

Bolometerkameras verschaffen Feuerwehren heutzutage einen Überblick über die räumlichen Gegebenheiten bei Bränden. Zwar ist es damit möglich, im Wellenlängenbereich zwischen $7\ \mu\text{m}$ und $14\ \mu\text{m}$ durch Rauchschwaden hindurchzuschauen, allerdings kann die von den Flammen emittierte Strahlung den Bildsensor sättigen.

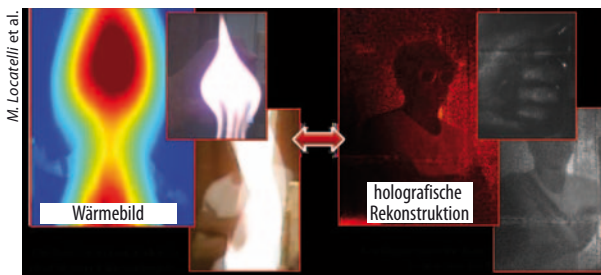


Abbildung eines Menschen hinter einer Flamme: Die holografischen Bilder (rechts) sind aussagekräftiger als ein Wärmebild oder Bilder im sichtbaren Licht (links).

Eine Flammenwand verhindert also den Einsatz solcher Bolometer. Wissenschaftler des Istituto Nazionale di Ottica in Florenz haben nun ein Verfahren entwickelt, das auf der digitalen Holografie beruht und weder durch Rauch noch durch Flammen wesentlich behindert wird.¹⁾

Die Forscher verwenden dazu einen Laserstrahl bei $10,6\ \mu\text{m}$ Wellenlänge, den sie in Objekt- und Referenzstrahl aufspalten. Der Referenzstrahl fällt auf eine mikrobolometrische Kamera mit 640×480 Pixeln und einem Empfindlichkeitsbereich zwischen $8\ \mu\text{m}$ und $12\ \mu\text{m}$; der Objektstrahl verläuft durch eine Rauch- und Flammenstrecke, bevor er auf das Objekt – eine knapp zwei Meter große Schaufensterpuppe – trifft. Die Puppe war bei den Messungen drei Meter von der Kamera entfernt. Mit einem Algorithmus war es den Forschern möglich, Bilder und Videos quasi in Echtzeit zu erhalten.

Dass der Sensor durch die IR-Strahlung nicht gesättigt wurde, hatte zwei Gründe. Einerseits arbeitete die Kamera ohne Fokussierlinse, sodass sich die Infrarotenergie über die gesamte Sensorfläche ver-

teilen konnte. Andererseits nutzten die Forscher die besonderen Eigenschaft eines Hologramms aus: Da jeder Bildpunkt eines Hologramms immer Informationen über das gesamte Objekt enthält, lassen sich Informationen, die durch einzelne gesättigte Pixel verloren gehen, aus den Signalen der anderen Pixel rekonstruieren. Aus diesem Grund ermöglicht die digitale Infrarotholografie sogar den Blick auf Objekte, wenn diese zum Teil von Gegenständen verdeckt werden – was bei Bränden häufig der Fall ist.

Mithilfe der langwelligen Laserstrahlung lässt sich ein Objekt von der Größe eines Menschen erfassen, und die Aufnahme des holografischen Interferenzmusters ist viel weniger anfällig für Vibrationen.

■ Aus der Folie

Lichtkonzentratoren ermöglichen neue Bildsensorkonzepte.

Die heute zur Verfügung stehende Rechenleistung ermöglicht es, theoretische optische Konzepte in die Praxis umzusetzen, die noch vor kurzem an der hohen Zahl der Freiheitsgrade scheiterten. Beispiele gibt es bei der Signalübertragung über Lichtleiter oder beim Blick durch opake Medien. So unterschiedlich die jeweils zugrunde liegende Physik dabei auch ist, ein Schritt ist immer die Rekonstruktion der Transformationsmatrix, welche die Abbildung beschreibt. Wissenschaftler der Johannes-Kepler-Universität in Linz nutzen nun ein rechenintensives Verfahren für einen folienförmigen Bildsensor, der biegsam, durchsichtig und skalierbar ist.²⁾

Die österreichische Arbeitsgruppe um Oliver Bimber verwendet für ihren Bildsensor kommerziell

erhältliche Lichtkonzentratoren aus Polymerfolien. In die Polymere sind Fluoreszenzfarbstoffe eingelagert, die Licht eines spezifischen Wellenlängenbereichs absorbieren und bei längeren Wellenlängen wieder emittieren. Sind solche Konzentratoren als flächige Wellenleiter ausgeführt, gelangt ein wesentlicher Teil des emittierten Lichts an die Ränder der Folie. Entlang der vier Kanten haben die Forscher zeilenförmig angeordnete Fotodioden angebracht, die jeweils mit einer Blende versehen sind. Aus deren Messwerten lässt sich ein Bild in Graustufen rekonstruieren, das zuvor auf die Konzentratortfolie projiziert wurde.

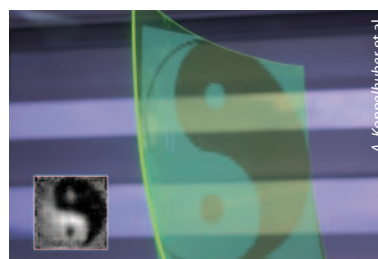
Für die Bildrekonstruktion nutzen die Forscher ein Prinzip, das aus der Röntgentomografie bekannt ist: Weil aus einer Einzelmessung die Dämpfung der Röntgenstrahlung entlang einer einzigen Scan-Richtung nicht zu ermitteln ist, misst man an verschiedenen Positionen und in verschiedenen Richtungen. So machen es auch die Österreicher, nur mit sichtbarem Licht. Da die Dämpfung Aufschluss über die in der Leuchtfolie zurückgelegte Strecke und damit über den Eintrittspunkt des Lichts in den Konzentratort gibt, lassen sich virtuelle Bildpixel rekonstruieren. Derzeit ist die Auflösung des Sensors gering (32×32 Pixel). Schuld daran ist aber vor allem das schlechte Signal-zu-Rausch-Verhältnis der Photodioden.

Durch einen solchen Sensor könnte man einen Bildschirm für die Gestensteuerung ohne weitere Hardware aufrüsten. Natürlich ließe sich die Konzentratortfolie auch an beliebig geformte Sensorflächen anbringen, und da die Folie transparent ist, sind auch Mehrschichtsysteme für Farbbilder denkbar.

■ Eine Frage der Größe

Quantenpunkt-LEDs ohne Schwermetalle lassen sich farblich durchstimmen.

Der Siegeszug von Leuchtdioden bei Displaytechnologien und Raumbeleuchtung ist in vollem Gange. Neben anorganischen LEDs



Ein Lichtkonzentratortest. Eine Folie aus Kunststoff mit einer hohen Transparenz.

1) M. Locatelli et al., Opt. Express 21, 5379 (2013)

2) A. Koppelhuber et al., Opt. Express 21, 4796 (2013)

3) F. Maier-Flaig et al., Nano Lett. 13, 475 (2013)



F. Maier-Flaig, KIT/LTI

Ändert man die Größe von Siliziumnanokristallen, emittieren sie bei anderen Wellenlängen.

spielen dabei auch zunehmend organische eine wichtige Rolle. Doch in der Grundlagenforschung geht es bereits um den nächsten Schritt: Leuchtdioden aus Quantenpunkten. Die Kristalle solcher Halbleitermaterialien haben nur noch Dimensionen in der Größenordnung von wenigen Nanometern, was die Beweglichkeit der Ladungsträger in ihnen einschränkt. In der Folge ist ihre Energie nicht kontinuierlich verteilt, sondern diskret. Diese Strukturen haben ein hohes Potenzial für künftige technische Anwendungen. Besonders verlockend ist, dass sich ihre Eigenschaften maßschneidern lassen. Forscher des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) und der Universität Toronto haben nun Labormuster nanokristalliner Silizium-LEDs entwickelt, die über einen relativ weiten Spektralbereich emittieren und eine vergleichsweise hohe Lebensdauer haben.³⁾ Bislang war dieses Feld vor allem Quantenpunkten auf der Basis von II-VI-Halbleitern vorbehalten, die gesundheitlich problematische Schwermetalle wie Cadmium oder Blei enthalten.

Die Wissenschaftler sortierten die Siliziumnanokristalle mithilfe einer Fällungsreaktion und anschließendem Zentrifugieren nach der Größe, bevor sie in einem Flüssigprozess als Emitterschicht aufgetragen wurden. So konnten sie die maximale Emission der LEDs durch die Wahl kleinerer Siliziumkristalle von 680 nm auf 625 nm verschieben. Auch die Lebensdauer der Quantenpunkt-Dioden stieg durch die homogene Größenverteilung der Kristalle von 15 Stunden auf mehr als 40 Stunden. Die erreichte externe Quantenausbeute lag bei maximal 1,1 Prozent.

■ Getunte Sauberkeit

Mit Beschichtungen zur Reibungsverminderung lässt sich auch eine Anti-Fouling-Wirkung erzielen.

Ablagerungen auf Oberflächen von wärmetechnischen Industrieanlagen senken die Energieeffizienz solcher Systeme erheblich. Typische Beispiele sind Wärmetauscher in der chemischen oder der Lebensmittelindustrie. Das Auftreten solcher Beläge wird als Fouling bezeichnet. Um sie zu beseitigen, ist ein erheblicher Wartungsaufwand erforderlich. Für Abhilfe können Beschichtungen sorgen. Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Schicht- und Oberflächentechnik IST in Braunschweig haben eine Art Baukastensystem entwickelt, mit dem sich solche Beschichtungen mit verschiedenen Funktionen versehen lassen – vom hohen Verschleißschutz bis zur Anti-Fouling-Wirkung.

Als Basismaterial für die Beschichtungen dient Diamond-like Carbon (DLC), wie er zum Beispiel bei Rasierklingen oder Dieseleinspritzsystemen Verwendung findet, um die Reibung zu reduzieren. Um eine gewünschte Eigenschaft bei einer gegebenen Anwendung zu erreichen, bauen die Forscher nichtmetallische Atome wie Silizium, Fluor oder Sauerstoff in die DLC-Schicht ein, um die Oberflächenenergie der Schicht zu senken. Die Randbedingungen sind bei jeder Anwendung anders, sodass es oft erst durch Anwendungstests möglich wird, die ideale Zusammensetzung der Beschichtung im Zusammenspiel mit Oberflächentopografien, Materialien und Medien festzulegen. Hierbei spielen neben der Zugabe der Fremdatome auch die Prozessparameter eine wichtige Rolle. Auch die Geometrie der zu beschichtenden Anlagenteile ist entscheidend, weil sich zum Beispiel Innenflächen nicht immer einfach erreichen lassen. Die Forscher tragen die Schichten mit Verfahren wie der physikalischen oder chemischen Gasphasenabscheidung auf.

Michael Vogel