



Andreas Brückner



Jacques Duparré



Peter Dannberg



Sylke Kleinle



Andreas Bräuer

Im Gegensatz zu klassischen abbildenden Systemen (z. B. kommerzielle Digitalkamera) ermöglicht es das Abbildungsprinzip der künstlichen Facettenaugen /1/ Licht aus einer Richtung mehrfach in verschiedenen Kanälen aufzunehmen. Dieses Prinzip kann in der Natur im neuronalen Superpositionsauge der Fliege (Abb. 1) beobachtet werden. Hinter jeder Facette des Fliegenauges verbergen sich mehrere Rezeptoren, die in verschiedene Richtungen blicken. Jede Raumrichtung für sich wird jedoch durch mehrere Rezeptoren aus benachbarten Facetten erfasst, deren Signale auf neuronaler Ebene wieder gebündelt werden. Das Insekt benutzt diese Mehrfacherfassung um eine höhere Lichtausbeute zu erreichen.

Dieses Prinzip kann in künstlichen Facettenaugen für eine farbpfeindliche Bilderfassung genutzt werden. Da ein digitaler Bildwandler die Lichtintensität im sichtbaren Spektralbereich weitgehend unabhängig von deren Farbzusammensetzung misst, verwendet man in den meisten herkömmlichen Digitalkameras Farbfilter, um die Intensität des roten, grünen und blauen Lichtanteils zu bestimmen. Pro Farbpixel benötigt man diese drei Farbintensitätswerte.

Die Farb-Facettenaugenkamera (Abb. 2) extrahiert drei Bildpunkte pro Kanal. Diese sind so angeordnet, dass jeder Punkt des Gesichtsfeldes durch drei Pixel aus verschiedenen Kanälen mit je einem Rot-, Grün- und Blaufilter erfasst

wird. Durch einfaches Umsortieren der Pixel ergibt sich nun ein Farbbild. Im Gegensatz zu herkömmlichen Digitalkameras, wo durch eine Bayer-Farbfiltermatrix an jedem Punkt des Bildes nur eine Farbinformation gewonnen wird, ist hier keine Interpolation zwischen den Signalen nötig.

Die Herstellung erfolgt durch mehrfache Fotolithografieprozesse. Die Lochblendenarrays werden auf der Rückseite eines Glassubstrates in Ti oder Cr erzeugt (Abb. 3, rechts). Auf der Vorderseite strukturiert man zunächst Aperturblenden in einem Black Matrix Polymer (PSK2000, Brewer Science), auf denen dann nacheinander Polymer-Farbfilterstreifen (PSC, Brewer Science) belichtet und entwickelt werden. Die Abformung des Mikrolinsenarrays auf den Farbfiltern stellt den letzten Herstellungsschritt dar (Abb. 3, links). Danach werden die Kameraobjektive vereinzelt und mit Hilfe eines UV-aushärtenden Klebers auf einen monochromen digitalen Bildwandler (Modell Saentis, ZMD Dresden) montiert. Eine angepasste Softwareschnittstelle ermöglicht die Umsortierung der Pixel und Anzeige der Farbbilder.

Der Farbkontrast stellt eine zusätzliche Information dar, die mit der künstlichen Facettenaugenkamera gewonnen werden kann. Dies steigert die Attraktivität dieses bildgebenden Sensors gerade in Hinblick auf das niedrige räumliche Bildauflösungsvermögen von 70 x 40 Pixeln (Abb. 4 und Abb. 5).

Abb. 1: Schematische Darstellung eines neuronalen Superpositionsauges.

Fig. 1: Schematic section of a neural superposition eye.

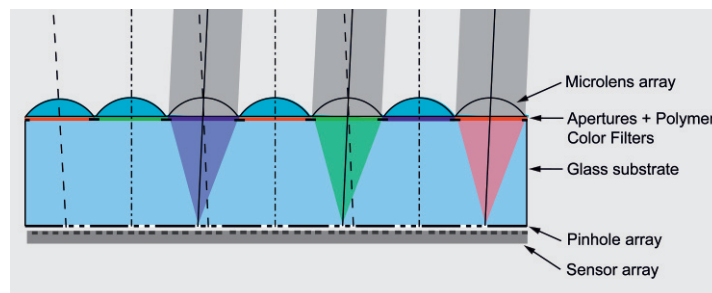
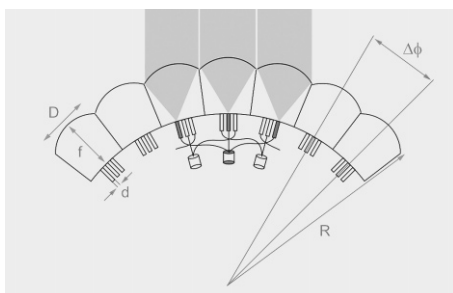


Abb. 2: Layout der Farb-Facettenaugenkamera mit einer Dicke von 450  $\mu\text{m}$ .

Fig. 2: Layout of an artificial compound eye color camera with a thickness of 450  $\mu\text{m}$ .

# Artificial compound eye for color vision

In contrast to classical imaging systems (e.g. commercial digital cameras), artificial compound eyes /1/ open up the possibility of collecting light coming from one direction in different channels. This principle is also found in nature, for instance in the neural superposition eye of a fly (Fig. 1).

Here, several photoreceptors image different points within the field-of-view of a single facet. However, each object point is imaged by multiple facets and the related signals are accumulated in the first synaptic layer of the eye. This redundant process is used to increase light sensitivity.

In artificial compound eyes the same principle enables color sensitive imaging. Due to their broad spectral sensitivity optoelectronic sensors of digital still cameras apply color filters to record the intensity of the blue, red and green content of the incoming light separately. For each color pixel in the image these three color intensity values are required.

The artificial compound eye color camera extracts three image points per channel (Fig. 2). The geometrical setup is designed such that each object point is imaged through a red, green and blue color filter in different channels. The color image results from simply rearranging the pixels of the recorded image. In contrast to the Bayer-pattern filters of conventional digital still cameras, where only single color information is measured in each pixel, here no interpolation between the pixels is needed.

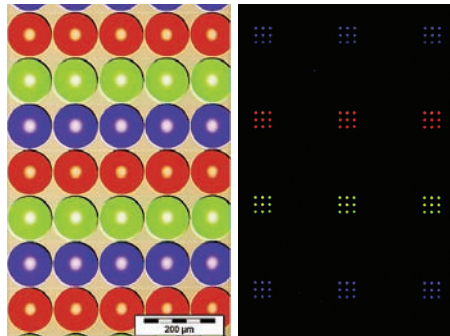


Abb. 3:  
Links: Aufsicht auf das Mikrolinsenarray (ø 125 µm) mit darunter liegenden Farbfilter- und Blendenstrukturen  
Rechts: Gruppen von 3 x 3 Lochblenden (ø 3 µm) auf der Rückseite.

Fig. 3:  
Left: Top view of the microlens array (ø 125 µm) with color filter stripes on top of the circular apertures.  
Right: Array of 3 x 3 illuminated pinholes with ø 3 µm on the back side.

An artificial compound eye color camera is fabricated using several steps of photolithography. At first a pinhole array is structured on the back of a glass substrate in a Ti or Cr layer (Fig. 3, right). Circular apertures are initially created on the front side using a black matrix polymer (PSK2000, Brewer Science). After that, the color filter stripes are written into 1.5µm thick polymer resist layers (PSC, Brewer Science) on top of the apertures. Finally, a micro-lens array is replicated on top of these color filters (Fig. 3, left). Afterwards the objectives are isolated and each is attached to an optoelectronic sensor (Saentis, ZMD Dresden) with a UV-curable adhesive. A modified software interface fulfils the pixel rearrangement and display.

Color contrast is a source of additional information which can now be sensed with an artificial compound eye camera. Due to the characteristic low image resolution, here 70 x 40 pixels, it increases the attractiveness of imaging with artificial compound eyes (Fig. 4 and Fig. 5).

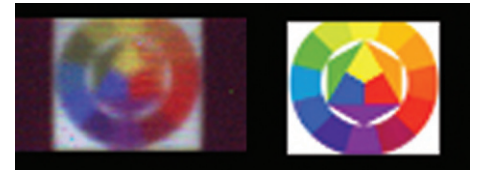
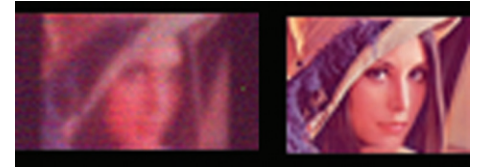


Abb. 4:  
Vergleich zwischen aufgenommenen Testbildern (links) und Original (rechts).

Fig. 4:  
Comparison between recorded (left) and original images (right).

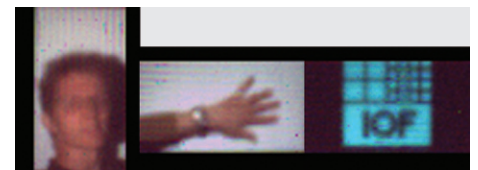


Abb. 5:  
Lebendige Motive und Institutslogo, Gesichtsfeldgröße: 20° x 11°.

Fig. 5:  
Living motifs and the logo of the institute. The device has a field-of-view of 20° x 11°.

Reference:  
/1/ Duparré, J.; Dannberg, P.; Schreiber, P.; Bräuer, A.; Tünnermann, A.: Thin compound-eye camera, Appl. Opt. 44 (15), pp. 2949-2956 (2005).