

# Design und Realisierung eines schnellen Form-/Farbsensor-Moduls für prozessnahe industrielle Anwendungen

Wolfgang Buß<sup>1</sup>, Gunter Sieß<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik, Schillerstraße 1, 07745 Jena  
[buss@iof.fhg.de](mailto:buss@iof.fhg.de)

<sup>2</sup> MAZeT GmbH, Göschwitzer Straße 32, 07745 Jena  
[siesz@mazet.de](mailto:siesz@mazet.de)

**Abstract.** Es wird ein Sensor vorgestellt, der durch flexible Anpassungsmöglichkeiten an Aufgaben der Farbkontrolltechnik vornehmlich in kontinuierlichen Produktionsprozessen gekennzeichnet ist. Sein spezifischer Aufbau eines strukturierten optischen Systems, bestehend aus strukturiertem Fotoempfänger, zugeordneten mikrostrukturierten dielektrischen Farbfiltern, verschiedenen Abbildungsoptiken sowie einer hybrid-integrierten elektronischen Signalaufbereitung ordnen ihn technisch zwischen integralem Farbsensor, Farb-CCD/CMOS-Kamera und Spektrometer ein.

## 1 Einführung

In der Optosensorik und industriellen Bildverarbeitung werden zunehmend Mikrooptiken eingesetzt, um optische Signale selektiv bezüglich Wellenlänge, Polarisation oder Einstrahlwinkel zu erfassen. So finden z.B. auf den fotoempfindlichen Flächen der Halbleiter Dünnschichtsysteme zur Absorption oder Reflexion der unerwünschten Strahlungsanteile Anwendung. Kunststoffolien oder -platten mit eingelagerten dichroischen Kristallen bewirken bei anderen Anordnungen eine stark unterschiedliche Absorption des Lichtes verschiedener Schwingungsrichtungen. Direkt aufgesetzte Einzellinsen und Linsenarrays dienen zur vergrößerten oder verkleinerten, entzerrten oder verzerrten Abbildung eines Objektbereichs auf den Empfängerchip. Prismen werden zur Strahlumlenkung genutzt und diffraktive Optiken, wie Gitterstrukturen, ermöglichen die richtungsselektive Einkopplung optischer Signale.

Eine effektive Integration mikrooptischer Funktionsgruppen in und auf den fotosensitiven Zonen der optoelektronischen Bauelemente ist nur durch eine weitgehende Anlehnung an die Prozessschritte der Mikroelektronik- und Mikrosystem-Fertigung, wie sie z.B. die Wafer-Scale-Produktionstechnologie beinhaltet, möglich.

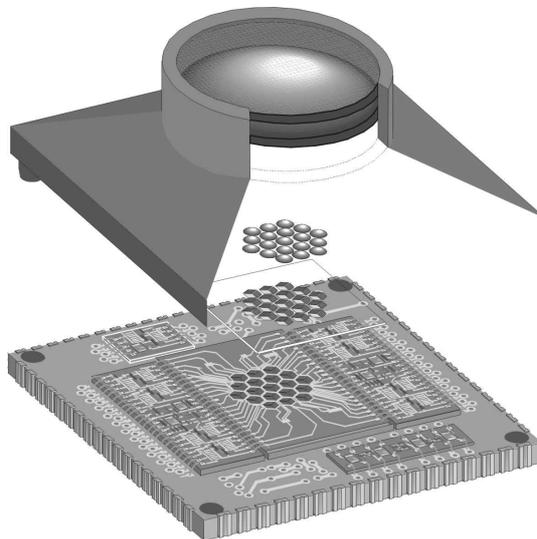
Die Entwicklung des Form-/Farbsensors wurde daher nicht durch Arbeiten auf dem Gebiet der Farbmess- oder Farbbildverarbeitung getrieben, sondern resultiert aus dem Wunsch mittelständischer Industriepartner des Fraunhofer IOF, sie bei der Konstruktion qualitativ neuer optischer Sensoren für die Automatisierungstechnik zu unterstützen. Diese sollten neben den erwähnten verbesserten Möglichkeiten der

selektiven Signalerfassung eine integrierte elektronische Signalvorverarbeitung enthalten und vor allem mit kleinserietauglichen Aufbau- und Verbindungstechniken fertigbar sein.

## 2 Sensorkonzept

### 2.1 Anforderungen

Das vorgesehene Haupteinsatzgebiet des Form-/Farbsensor-Moduls sind dezentral angeordnete Kontrollpunkte in technischen Prozessabläufen, bei denen Aussagen zur Farbverteilung auf einer begrenzten Objektfläche von Interesse sind, herkömmliche einzelementige Farbsensoren jedoch nur ungenügende integrale Messdaten liefern und der Einsatz mehrerer kompletter Farbkamera-Systeme oder scannender Spektrometer aus Kosten-, Platz- oder Echtzeitgründen nicht möglich ist. Der Sensormodul sollte z.B. geeignet sein, durch einen Farbvergleich den Durchmischungsgrad von Farbpulvern, Chemikalien oder pharmazeutischen Agenzien zu erfassen, Fremdkörper in Schüttgütern zu detektieren, die Lage von Farbkanten, Farbcodierungen in sehr schnellen Bewegungsabläufen zu kontrollieren, aber auch im Zeitraffer orts aufgelöst Farbumschläge bei Indikatoren oder den Reifeprozess von Früchten zu beobachten.



**Fig. 1.** Schematische Darstellung des Aufbaus eines Form-/Farbsensor-Moduls

## 2.2 Realisierungsansatz

Als Grundelement eines nach dem Dreibereichsverfahren arbeitenden Farbsensors wurde eine Wabenstruktur gewählt, in der entsprechend den drei Grundfarben R-G-B ein Tripel rhombusförmiger, filterbesetzter Fotodiodenpixel enthalten ist. Die Wabenform der Empfängertripel und deren Kombinationsmöglichkeiten bieten eine günstige Anpassung an die in der Praxis überwiegend auftretende kreis- oder ellipsenförmige Strahlform optischer Signale einer quasi punktförmigen Quelle.

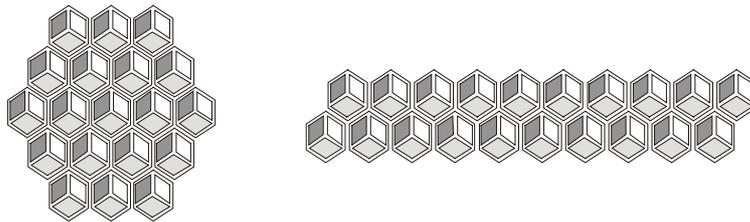


Fig. 2. Waben- und Zeilenanordnung der Farbsensortripel

Als Demonstrator-Module wurden zwei Kombinationsvarianten der Grundelemente ausgewählt: Eine „Wabe“ mit 19 hexagonal angeordneten Empfängertripeln sowie eine „Zeile“ mit zwei Linien von je 10 ineinander-geschachtelten Tripeln. Die Anzahl der Sensorpixel wurde damit auf 57 bzw. 60 begrenzt. Einerseits, um den Füllfaktor des Arrays nicht durch eine zu große Zahl paralleler Zuleitungen der einzeln kontaktierten Pixel einzuschränken. Andererseits, um die Breite der nachfolgenden Datenbearbeitung auf maximal 64 Kanäle einzuschränken.

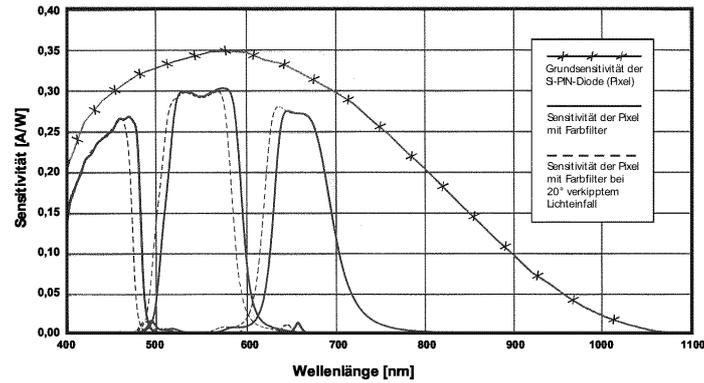
Durch den freien Zugriff auf alle Pixel kann der Sensor programmiert werden. Es ist sowohl eine integrale Farbbestimmung durch Zusammenschaltung aller Elemente des gleichen Farbbereiches möglich, als auch eine Abstimmung auf bestimmte zu erfassende Muster durch eine ringförmige, zeilen- oder spaltenweise Parallelschaltung benachbarter Empfängertripel. Weiterhin ist im Zeitmultiplexbetrieb eine partielle Erhöhung der Orts- und Richtungsauflösung realisierbar, indem durch die Kombination der Pixel benachbarter Primärtripel  $\frac{1}{2}$ -zeilig/-spaltig versetzte Sekundärtripel gebildet werden.

## 3 Sensorkomponenten

### 3.1 Fotoempfängerarray

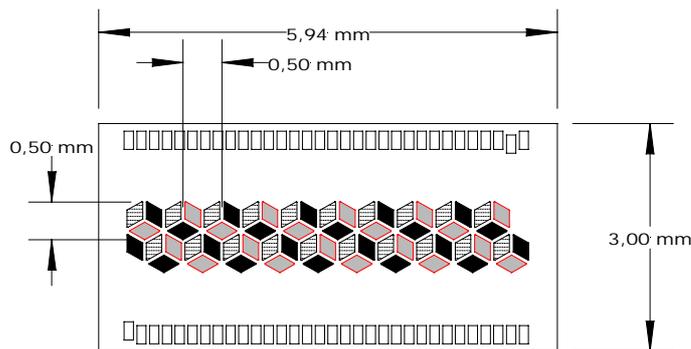
Die Fotoempfängerarrays der o.g. Grundformen wurden in Si-PIN-Technologie gefertigt. Das verwendete Epitaxie-Material weist als Besonderheit einen oberhalb von 580nm abfallenden Verlauf der spektralen Empfindlichkeit auf und ist somit ohne zusätzliche IR-Blocker an den sichtbaren Spektralbereich angepasst. Auswahlkriterien für dieses Sensormaterial, das im Gegensatz zu CMOS-Bulk-Material keine monoli-

thische Integration einer Auswertelektronik zuläßt, waren die zum Zeitpunkt des Designs bessere absolute Empfindlichkeit, ein gleichmäßigerer Verlauf der Empfindlichkeitskurve sowie geringere Sperrschichtkapazitäten und Dunkelströme der Pixel. Zwischenzeitlich sind verbesserte CMOS-Materialien einsetzbar, die künftig überwiegend für Smart-Pixel-Sensoren mit angepasster Auswertelektronik verwendet werden.



**Fig. 3.** Spektrale Empfindlichkeit des Si-PIN-Grundmaterials und der filterbesetzten Pixel der Sensorarrays

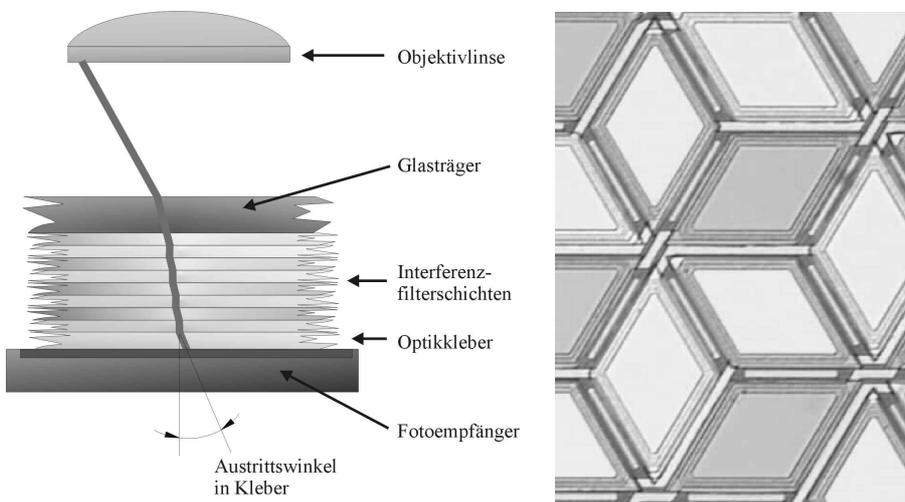
Die Designs des Waben- und Zeilenarrays enthalten neben den fotoempfindlichen Pixeln Trenndioden und Abdeckungen zur Unterdrückung des Signalübersprechens zwischen den Elementen sowie Blindpixel für die Kontrolle der Chiptemperatur. Die Pitchweite der Primärtripel, gleichbedeutend der Grundauflösung der Arrays, beträgt 700µm beim Waben- und 500µm beim Zeilensensor. Der Wabenchip ist an allen vier Seiten mit Bondpads ausgestattet und nur zur Einzelmontage vorgesehen, während der zweiseitig kontaktierbare Zeilenchip bei entsprechendem Zuschnitt mit einem Zwischenraum von 700µm kaskadiert werden kann.



**Fig. 4.** Maßskizze des Zeilenchips

### 3.2 Dielektrische Filter

Gegenüber Polymerfarbfiltern zeichnen sich dielektrische Farbfilter durch eine wesentlich höhere Transmission im visuellen Spektralbereich sowie eine bessere klimatische und mechanische Stabilität aus. Die aus 30-60 Wechselschichten  $\text{TiO}_2$  und  $\text{SiO}_2$  bestehenden Filterstapel mit einer Gesamtstärke von max.  $3\mu\text{m}$  werden auf einem Dünnglassträger abgeschieden und mittels Lift-off-Technologie strukturiert. In einem nachfolgenden Abschnitt beschriebenen Montageschritt werden die rhombenförmigen Filter und die Sensorpixel justiert gefügt. Zuverlässige Designroutinen und eine plasma-ionengestützte Aufdampftechnologie erlauben die reproduzierbare Filterherstellung mit einer Lagetoleranz der Filterkanten von  $\pm 2\%$  bezüglich der Wellenlänge. [1, 2]



**Fig. 5.** Schematische Darstellung des Strahlengangs im Form-/Farbsensor-Modul (*links*), Ausschnitt eines Arrays justiert gefügter Filterelemente und Sensorpixel (*rechts*)

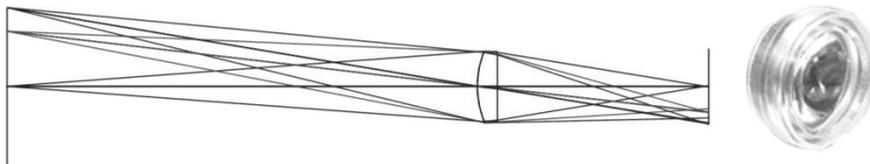
Mit Hilfe der dielektrischen Filter lassen sich unter Berücksichtigung des jeweiligen Beleuchtungsspektrums nahezu beliebige spektrale Empfindlichkeiten der Fotoempfänger einstellen, solange das Winkelspektrum der einfallenden Strahlen nicht mehr als  $\pm 10^\circ$  von der Senkrechten abweicht. Bei flacherem Lichteinfall kommt es wegen der längeren Wegstrecken in den  $\lambda/4$ -Schichten zu einer Verschiebung der Transmissionskurven hin zu kürzeren Wellenlängen (Fig.3). Praktisch wird dem durch eine angepasste Konstruktion der vorgeschalteten Optik sowie durch die designmäßige Berücksichtigung des versetzten Schwerpunkts eines Winkelspektrums bei generell schrägem Lichteinfall begegnet.

### 3.3 Linsensystem

Das Optische System des Form-/Farbsensor-Moduls (Fig.1) besteht neben den dielektrischen Filtern aus einem optionalen Mikrolinsenarray auf der Oberseite des Filterchips sowie aus verschiedenen Varianten einer Objektiv-Optik. Designkriterien für das Linsensystem waren neben einem einfachen, kostengünstigen Aufbau für verschiedene Arbeitsabstände und Abbildungsmaßstäbe, eine pixelangepasste Auflösung und eine besonders für schnelle Anwendungen ausreichende Lichtstärke.

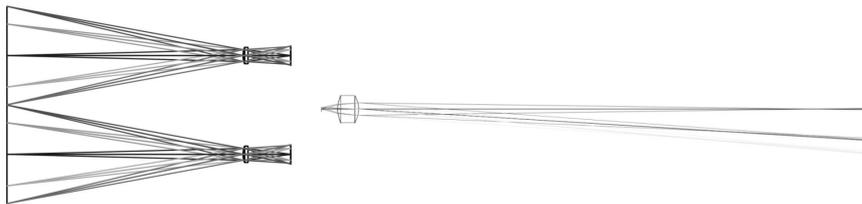
Das aus abgeegossenen PMMA-Bikonvexlinsen [3] aufgebaute Mikrolinsenarray zur Füllfaktorhöhung des Sensorarrays wurden nur in einigen technologischen Testaufbauten realisiert. Simulationen ergaben, dass ein sinnvoller Einsatz bei den vorgegebenen Pixelgeometrien erst ab Füllfaktoren  $<60\%$ , d.h. beispielsweise bei CMOS-Empfängern mit integrierter Elektronik, gegeben ist.

Als Variante für eine in Spritzgusstechnik fertigbare Standard-Objektivlinse wurde eine PMMA-Biasphäre konstruiert, deren Parameter näherungsweise durch die in den Demonstratoraufbauten zunächst eingesetzte Polycarbonat-Plankonvexlinse Philips CAX100 erreicht werden konnte.



**Fig. 6.** Strahlengang der Standard-Objektivlösung: Plankonvexasphäre CAX100, Arbeitsabstand  $>30\text{mm}$ , Abbildungsmaßstab  $<1:2$

Um für bestimmte zeitkritische Kontrollaufgaben, wie z.B. dem Erfassen von farbigen Justiermarken beim Zeitungsdruck, kleinere Arbeitsabstände, höhere Lichtstärken und geringere Abbildungsfehler zu erreichen, wird eine GRIN-Array-Optik eingesetzt, die in Kombination mit einem Zeilensensor Arbeitsabstände zwischen  $1,0$  und  $1,5\text{mm}$  und eine exakte  $1:1$ -Abbildung ermöglicht.



**Fig. 7.** Qualitativer Verlauf der simulierten Strahlengänge für eine Kaskadierung der Wabensensoren (*links*) und eine 50:1-Mikroskopoptik (*rechts*)

Die Simulation verschiedenster optischer Systemvarianten ergab, dass der Sensor-modul, bei passender Beleuchtung, sehr gut mit vergrößernden Optiken kombinierbar ist, Weitwinkeloptiken jedoch durch die o.g. Filtereigenschaften problematisch sind.

### 3.4 Interface-Elektronik

Bei der Signalaufbereitung wurden zwei Wege verfolgt: Erstens die Realisierung einer parallelen Analogschnittstelle und zweitens weiterführend die Umsetzung einer intelligenten Signalvorverarbeitung mit digitaler Schnittstelle.

In dem ersten Konzept galt es die Fotoströme des Empfängerarrays parallel aufzubereiten, so daß diese über die analoge Schnittstelle dynamisch verfügbar sind. Hierzu kamen zwei 32-kanalige Transimpedanzverstärker zum Einsatz.

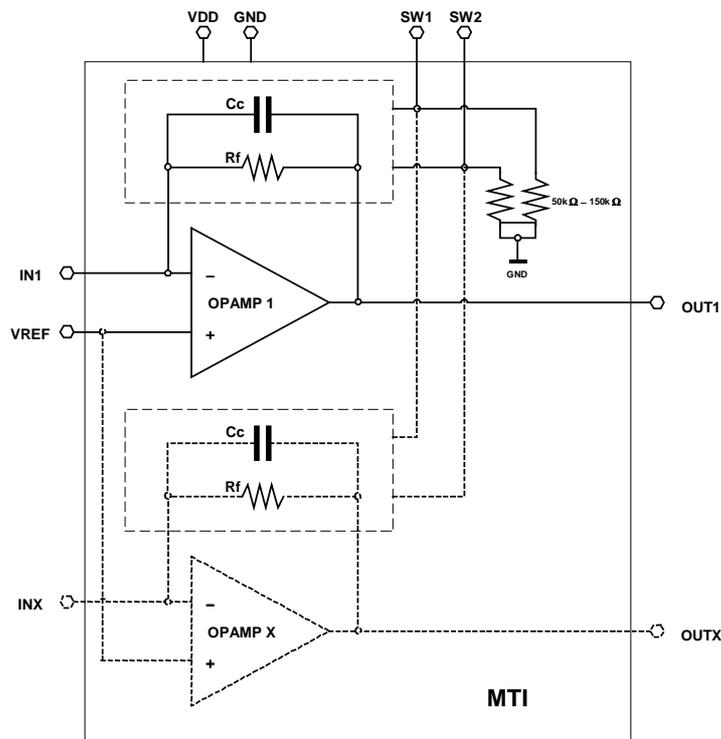
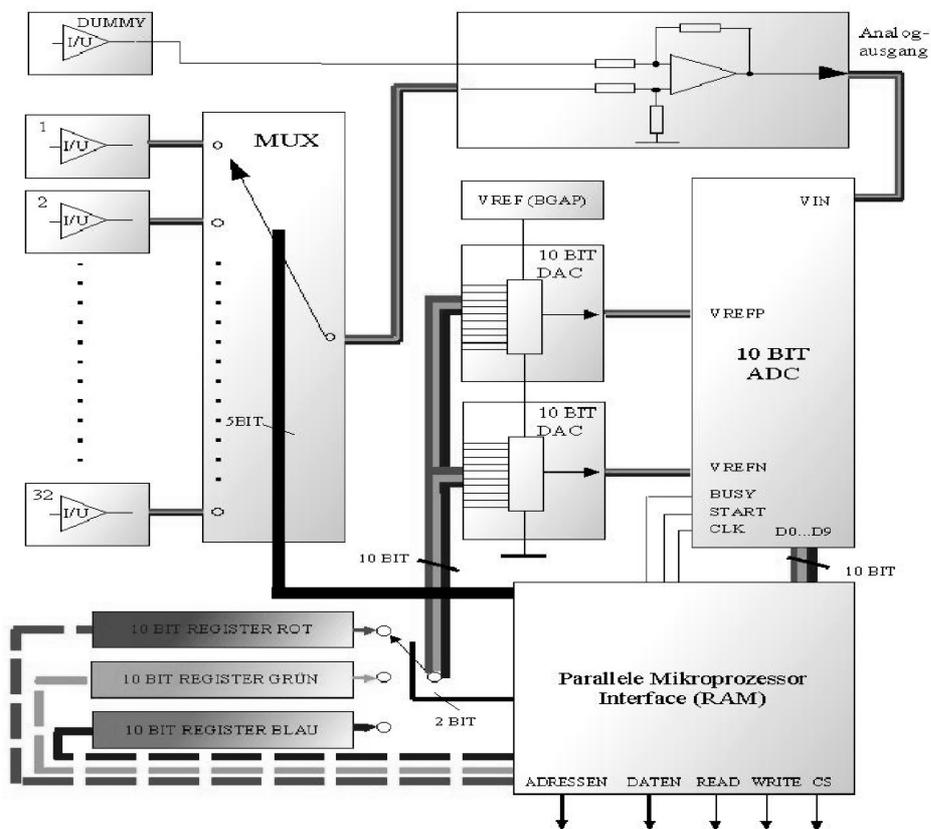


Fig. 8. Blockschaltbild des mehrkanaligen Transimpedanzwandlers MTI (MAZeT)

Die Transimpedanzwandler, die serienmäßig auch als 4- und 16-Kanal-Varianten verfügbar sind, realisieren die Strom-/Spannung-Umsetzung in drei programmierbaren Verstärkungsstufen. Dabei kann zwischen einer Transimpedanz von 25 K $\Omega$ , 500 K $\Omega$  und 5 M $\Omega$ , gekoppelt mit Grenzfrequenzen von 500 KHz, 70 KHz und 25 KHz, gewählt werden. Die 2bit-Programmierung der Verstärkungsstufen wirkt auf alle Wandlerkanäle gleichzeitig.

Das nachfolgende Signalverarbeitungskonzept -MUSI- (MAZeT Universelles Sensorinterface) umfaßte eine gesonderte ASIC-Entwicklung. Diese hatte zum Ziel, die parallele Transimpedanzwandlung mit verschiedenen Komponenten einer intelligenten Signalaufbereitung und einer digitalen Schnittstelle zu kombinieren (Fig.9).



**Fig. 9.** Blockschaltbild des Sensorinterface-Schaltkreises MUSI32

Ähnlich wie beim oben beschriebenen MTI32 werden auch beim MUSI32 zunächst alle Kanäle parallel transimpedanz-gewandelt (Transimpedanz 100K $\Omega$ ). Über einen nachfolgenden Multiplexer erfolgt die Kanalauswahl des zu bearbeitenden Signals, dass durch einen Spannungsfolger ein zweites mal verstärkt wird. Die Verstärkung erfolgt dabei mit Bezug auf die temperaturabhängigen Dunkelströme der in Abschnitt 3.1 beschriebenen Blindpixel.

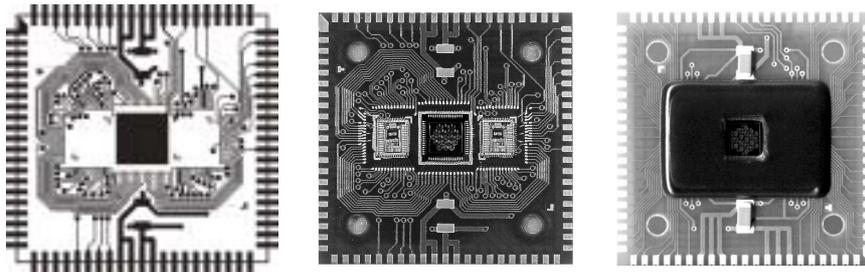
Die gewonnenen analogen Signale werden nach der AD-Wandlung (10bit Auflösung) dem parallelen Mikroprozessorinterface zugeführt und stehen an der Ausgangsschnittstelle in standardisierter Form zur Verfügung.

Weiterhin sind im MUSI32 Register zur internen Signalnormierung der RGB-Fotoströme vorhanden. In ihnen lassen sich Normierungsgrenzen (Min und Max) für die Farben Rot, Grün und Blau ablegen. Diese Normierungsgrenzen werden dem 10-bit-ADC durch zwei DA-Wandler übermittelt, so das die AD-Wandlung der Sensorsignale innerhalb dieser Grenzen erfolgt und jeden Farbkanal volle 10bit Wandlungsbreite zur Verfügung stehen.

Durch eine entsprechende Konfiguration der Adressierungsregister kann jedem Kanal die Zugehörigkeit zur Farbe Rot, Grün oder Blau zugewiesen werden, so dass sich bei der Kanaladressierung die jeweiligen Normierungsgrenzen zuschalten.

### 3.5 Multi-Chip-Modul und Häusung

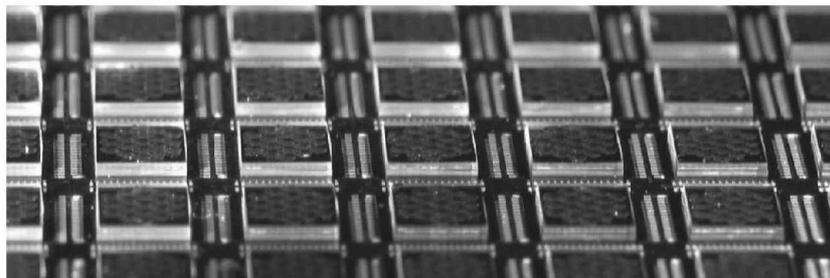
Die Prototypen des Form-/Farbsensor-Moduls wurden als LCC84-MCM (84-pin Leadless Chip Carrier – Multi-Chip-Module) realisiert. Das quadratische FR4-Substrat besitzt 4 Leitungsebenen, Bohrungen für die Montage des Gehäuseaufsatzes sowie hartvergoldete Außenkontakte für den Einbau in Steckfassungen.



**Fig. 10.** MCM Wafer sensor, Layout (*links*), bestückter und gebondeter Modul (*Mitte*), kompletierter vergossener Modul (*rechts*)

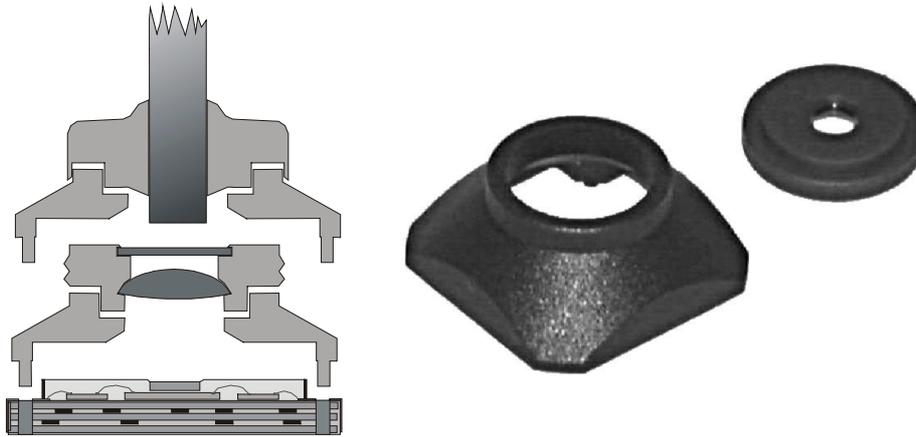
Die Empfängerchips, Wabe oder Zeile, sind zentral auf dem Substrat angeordnet. Symmetrisch (um mechanische Spannungen zu vermeiden) links und rechts davon befinden sich die MTI32 bzw. MUSI32 Chips, die nach dem Bonden vergossen werden.

Die Montage der Filter auf den Fotoempfängerarrays erfolgt, wie im Abschnitt 3.2 erwähnt, durch justiertes Klebefügen im Waferstadium. Dabei werden die mechanisch vorstrukturierten Glaswafer im Bereich der Farbfilterarrays mit genau dosierten Klebstoff-Dots besetzt und anschließend, über ein Markensystem justiert, mit einem Si-Empfänger-Wafer verbunden. Der UV-vernetzende Klebstoff wird durch den Glaswafer hindurch ausgehärtet. In einem zweistufigen Sägeprozess werden dann zunächst die nicht verklebten Glaswaferbereiche herausgesägt; anschließend erfolgt das Vereinzeln der Empfänger-/Filterstapel.



**Fig. 11.** Wafer sensor-Wafer mit montierten und anschließend freigestellten Filterchips [4]

Das Gehäusesystem des Form-/Farbsensor-Moduls besteht aus einem universellen Unterteil und einem anwendungsspezifischen Oberteil. Beide Gehäuseelemente werden als Kunststoffspritzgussteile gefertigt. Die Lagebestimmung des Gehäuseunterteils gegenüber dem MCM-Substrat erfolgt über Zentrierzapfen, die bei der Montage eingeklebt werden. Das Gehäuseoberteil kann Optikelemente bis  $\varnothing 12,5\text{mm}$  aufnehmen und ist zum Unterteil durch einen Zentrierkegel lagebestimmt.



**Fig. 12.** Schema des zweiteiligen Aufbaus des Modul-Gehäusesystems mit zwei Varianten der Abbildungsoptik: Plankonvexlinse und Bildleitstab (links), realisierte Kunststoffspritzguss-Elemente: Universalunterteil und Oberteil mit umspritzter CAX100-Linse (rechts)

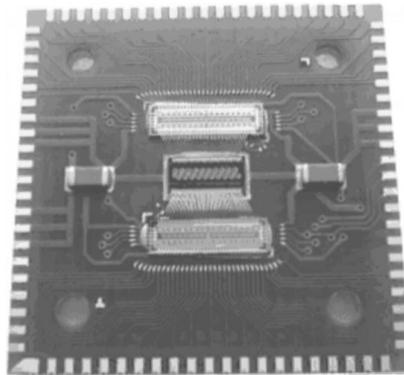
An das Gehäuseunterteil lassen neben Oberteilen mit den erwähnten Kunststoff-Asphären und dem GRIN-Linsen-Array weitere Sonderlösungen anpassen. So wurde für Detektionsaufgaben mit einem sehr geringen Arbeitsabstand eine auf einem Bildleitstab basierende Optik mit integrierter Faserbeleuchtung konstruiert.



**Fig. 13.** Optikaufsatz des Form-/Farbsensor-Moduls mit Bildleitstab und integrierter Faserbeleuchtung

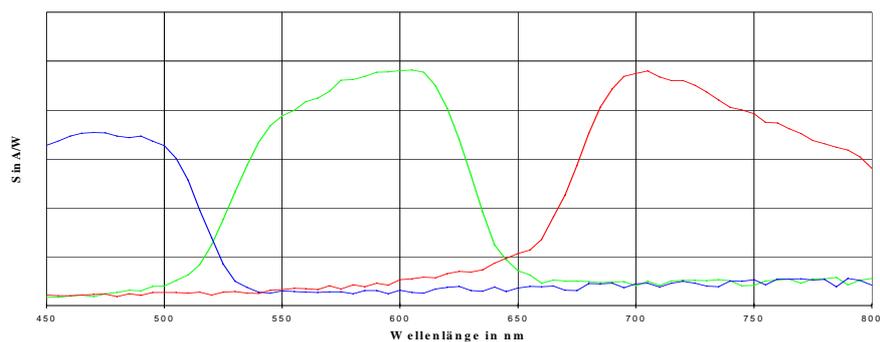
## 4 Ausgewählte Funktionstests an Prototypen

Stellvertretend werden nachfolgend Messungen zur Gleichverteilung der spektralen Empfindlichkeit innerhalb des Sensorarrays (Einsatz der Objektivlinse CAX100) sowie Untersuchungen zum Signalübersprechen bei benachbarten Pixeln vorgestellt. Diese Tests wurden an MCM mit analogem Signalausgang (MTI32) vorgenommen.



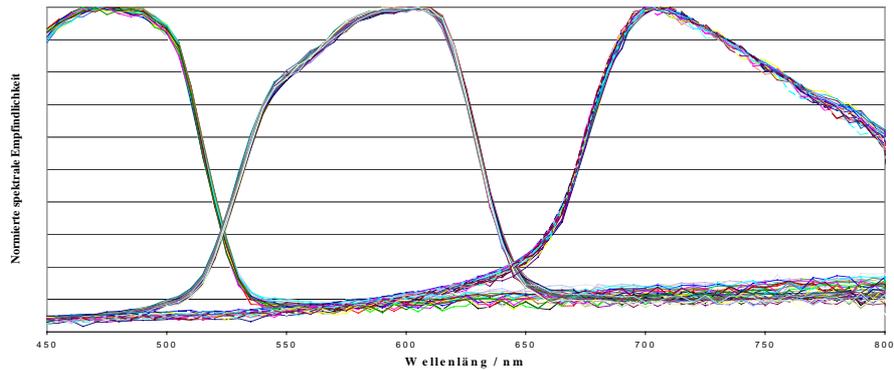
**Fig. 14.** MCM Zeilensensor (unvergossen), bestückt mit einem Sensorarray, zwei I/U-Wandlern MTI32 sowie zwei Stützkondensatoren

Zur Bewertung der spektralen Empfindlichkeit wurde der Sensormodul mit dem Licht eines in 1nm-Schritten durchstimmbaren Monochromators beleuchtet. Im Vergleich der dabei an einem zentral gelegenen Farbtripel gemessenen Fotoströme mit der Messkurve eines geeichten Referenzdetektors ergab sich die in Fig. 15 dargestellten Kurvenverläufe. Die Transmissionswerte und Kantenlagen der R-G-B Filterbereiche liegen danach im Toleranzbereich der Sollwert-Kurven.



**Fig. 15.** Spektrale Empfindlichkeit eines zentralen Empfängertripels des Zeilensensors

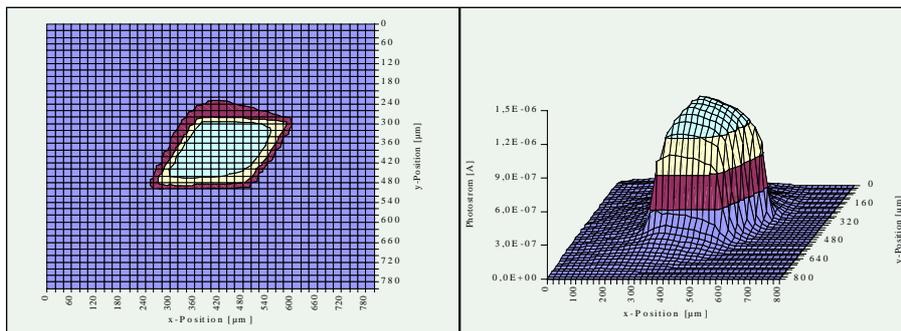
Zur Bewertung der Filterhomogenität eines Arrays wurden alle Farbsensortripel spektral bewertet und normiert überlagert (Fig.16). Die Kurven zeigen, dass die Filterkanten und spektralen Verläufe jeweils gleicher Farben genau übereinander liegen und somit positionsunabhängig vergleichbare Messergebnisse möglich sind.



**Fig. 16.** Vergleich der spektralen Charakteristiken alle Filter eines Zeilensensors

Um das Pixelübersprechens innerhalb des Waben- oder Zeilensensorarrays niedrig zu halten, wurden entsprechende konstruktive Elemente beim Design der Empfänger und der Farbfilterchips berücksichtigt. Zwischen den Sensorpixeln wurden optisch isolierte Trenndioden integriert, die abwandernde Ladungswolken abzusaugen sollen, bevor diese benachbarte Pixeldotierungen erreichen. Auf der Oberseite des Filtersubstrates befindet sich eine Chrommaske, die nur in den Bereichen der Farbfilter geöffnet ist. Damit wird verhindert, dass Licht direkt auf verbliebene nichtdotierte Bereiche des Empfängerchips zwischen Pixel, Trenndioden oder Zuleitungen gelangt und ungewünschte Fotoströme generiert.

Für die Untersuchung des Über- und Nebensprechens wurde ein auf ca.  $\varnothing 100 \mu\text{m}$  kollimierter, optisch bedämpfter Strahl einer Laserdiode (670nm) auf den Testpixeln abgebildet. Mit einer x-y- Scanvorrichtung erfolgte das Abrastern der Sensorarrays.

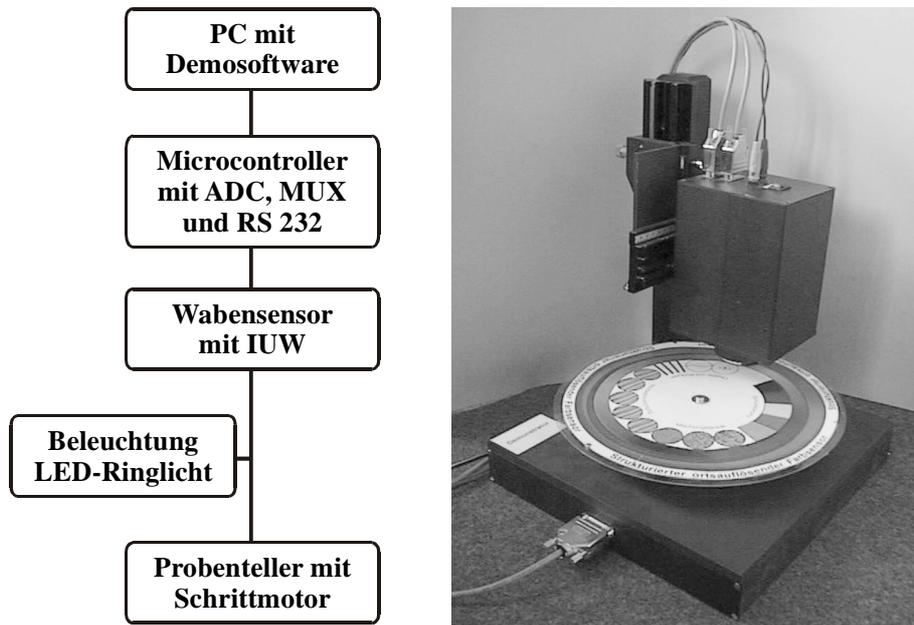


**Fig. 17.** Relief der resultierenden Fotoströme eines Sensorpixels beim Scannen der Umgebung

## 5 Funktionsdemonstrator

Zur Veranschaulichung des Sensorprinzips wurde ein Demonstrator aufgebaut. Mit diesem ist es möglich, einfache farblich geometrische Strukturen aufzunehmen und die Signale der Farbtripel über eine PC-Oberfläche zu visualisieren.

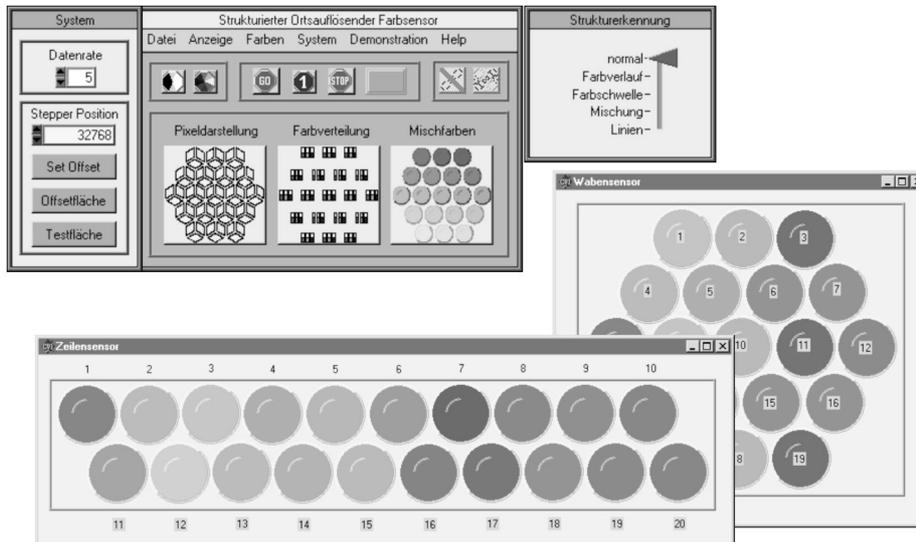
Dieser Demonstrator wurde sowohl zur Produktpräsentation auf verschiedenen Fachmessen als auch zur Applikationsuntersuchung kundenspezifischer Teststrukturen genutzt.



**Fig. 18.** Blockschaltbild und Aufbau des Funktionsdemonstrators

Auf einem drehbaren Probenteller sind Farbflächen mit unterschiedlichem Formverlauf sowie mehrere Testflächen mit typischen Farbstrukturen wie durchmischte Granulate und grobe Holzmaserungen nachgebildet. Die Strukturen werden mit einer Weißlicht-LED-Ringbeleuchtung angestrahlt und von einem Sensor-Modul mit Plankonvexlinse CAX100 in 30mm Arbeitsabstand erfasst. Die Digitalisierung der analogen Sensorsignale erfolgt in einem kompakten Mikrocontrollermodul, der ein normiertes Datenpaket über die serielle Schnittstelle an den PC übergibt.

Die gesamte Steuerung des Demonstrators einschließlich der Probenpositionierung und der Datenverarbeitung (Normierung) erfolgt über eine unter LabWindows/CVI entwickelten Benutzeroberfläche.



**Fig.19** Darstellung verschiedener Fenster der Benutzeroberfläche der Demonstratorsoftware

Die über die Schnittstelle an den PC übergebenen Sensordaten können sowohl für die Sensorzeile als auch für das Wabenarray visualisiert werden. Dabei werden verschiedene Darstellungsmöglichkeiten angeboten (Farbbalken je Pixel, Mischfarben je Tripel oder Einzelpixel).

## 6 Zusammenfassung

Im Beitrag wird die Konzeption und Realisierung eines Form-/Farbsensor-Moduls beschrieben, der alternativ zu integralen Farbsensoren, Farbkameras oder scannenden Spektrometern zur Überwachung kontinuierlicher Produktionsprozesse eingesetzt werden kann. Seine Vorteile liegen neben den flexiblen Anpassungsmöglichkeiten der Filtercharakteristik und des optischen Gesichtsfeldes an eine feste Messaufgabe, in seiner potentiell hohen Messgeschwindigkeit und in seinem kompakten Aufbau. Im Beitrag werden auch aktuelle Möglichkeiten der Integration mikrooptischer Funktionsgruppen in die Hardware zur Farberfassung aufgezeigt, um neue technische Lösungen anzuregen.

Die Entwicklung des Form-/Farbsensor-Moduls im Projekt *SOFAS* wurde vom Bundesministerium für Bildung, Forschung und Technologie im Rahmen des Programms Mikrosystemtechnik 2000+ unter dem Kennzeichen 16SV8590 gefördert.

Die Autoren bedanken sich bei allen am Projekt *SOFAS* beteiligten Mitarbeitern für die erfolgreiche Zusammenarbeit.

## **Literatur**

1. M. Frank, u.a., "Dielectric microfilter arrays for local resolving color sensors", SPIE Vol.3289, 193-200, (1998)
2. M. Frank, u.a., „High-speed industrial color and position sensors“, SPIE 3649, 98-105,(1999)
3. P. Dannberg, u.a. „Wafer scale integration of micro-optic and optoelectronic elements by polymer UV reaction moulding“, SPIE 3631b, 18-22, (1999)
4. W. Buß, u.a., "Wafer level integration of micro-optic elements and photodiodes by assembly and structuring of a glass-silicon wafer stack", Proc. SMT ES&S Hybrid 2000, 311-318, (2000)