

# Elektronik

FACHZEITSCHRIFT FÜR INDUSTRIELLE ANWENDER UND ENTWICKLER

29. Oktober 2002

22



4,90 € 9.- sfr.

**38 Sichere und preiswerte Sensor/Aktor-Vernetzung: Eine neue Funk-Übertragungstechnik ist nicht nur störstärker, sondern hat auch eine hohe Reichweite und braucht dabei nur ein Minimum an Energie.**

## Sensoren und Aktoren per Funk vernetzen

**54 Sensorik**

Absolutwert-Drehgeber mit digitaler Schnittstelle

**64 Mensch-Maschine-Schnittstelle**

Berührungsloser optischer Schalter reagiert auf Tast- und Wischbewegungen

**70 Bluetooth-Entwicklung**

Open-Source-Protokollstacks bringen deutliche Kostenvorteile

**76 Flüssigkristallanzeigen**

Displaytechnologien für Mobiltelefone

**82 Mikrocontroller-Anwendung**

Schrittmotorsteuerung für Akkubetrieb ist kompakt und preiswert



**Sonderdruck**

auf der  
Electronica 2002  
in Halle A4,  
Stand Nr. 179

# Elektronikkonzept erfüllt Optiksensorträume

Ein- bis dreidimensionale optische Eingabeeinheiten realisierbar

Im Folgenden wird ein neues opto-elektronisches Konzept vorgestellt, welches den alten Traum der berührungslosen und unsichtbaren Detektion auch unter widrigen Umgebungsbedingungen mit Hilfe einer neuen Technologie namens HALIOS ermöglicht. Dieses Prinzip kann die Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine (MMI) künftig in vielen Produkten des täglichen Lebens deutlich erleichtern.

Von Dr. Frank Rottmann und Dr. Egbert Spiegel

Optische Messprinzipien zur Erfassung von Bewegungen oder Annäherungen von Gegenständen sind schon seit langem bekannt. In der Industrieautomation beispielsweise verrichten Millionen von Reflexlichtschranken Tag für Tag ihre Arbeit ohne jegliche Störungen, da sie an einen festen und geeigneten Ein-

bauort gebunden sind. Für allgemeine Anwendungen, zum Beispiel berührungslose optische Schalter im Auto oder gar zur Erfassung von einfachen menschlichen Gesten oder Bewegungen, sind diese optischen Prinzipien kaum mit vertretbarem Aufwand einsetzbar, da insbesondere die Fremdlichtbeeinflussung und Alterungser-

scheinungen die sichere Funktion vereiteln.

## Grundlagen des neuen Prinzips

Die Abkürzung HALIOS steht hier für High Ambient Light Independent Optical System. Gemeint ist damit eine Kombination aus optischen Sendeelementen (LEDs und Fotodioden) in Verbindung mit einem neuen elektronischen Signalauswerteprozess zur Detektion von Bewegungen oder Anwesenheiten von Gegenständen durch eine geschlossene, infrarotdurchlässige Oberfläche hindurch.

Das neuartige Prinzip arbeitet selbstabgleichend und kompensiert störende Umwelteinflüsse wie wechselnde Umgebungshelligkeiten, Alterung der optischen Komponenten, Verschmutzung und Kratzer auf der Oberfläche sowie parasitäre Reflexionen im gesamten optischen Pfad. Dazu wird das Licht aus zwei unabhängigen, gegenphasigen optischen Sendern von einer Fotodiode erfasst und so geregelt, dass unter allen Bedingungen ein statisches Nullsummensignal empfangen wird. Lediglich die transienten Regelvorgänge beinhalten die gesuchten Informationen und werden durch die nachgeschaltete Hard- und Software eindeutig ausgewertet.

Mit Hilfe einer geeigneten Auswertelektronik können so beispielsweise Tast- oder Wischbewegungen über einer Oberfläche oder die Annäherung eines Fingers berührungslos und fehlerfrei auch bei massiven Umgebungslichtänderungen erkannt und in elektrische Schaltsignale umgewandelt werden. Da auch Bewegungen in allen drei Raumrichtungen oberhalb einer Oberfläche detektierbar sind, lassen sich mit HALIOS ein- bis dreidimensionale optische Eingabeeinheiten realisieren. Außerdem kommt das System oh-

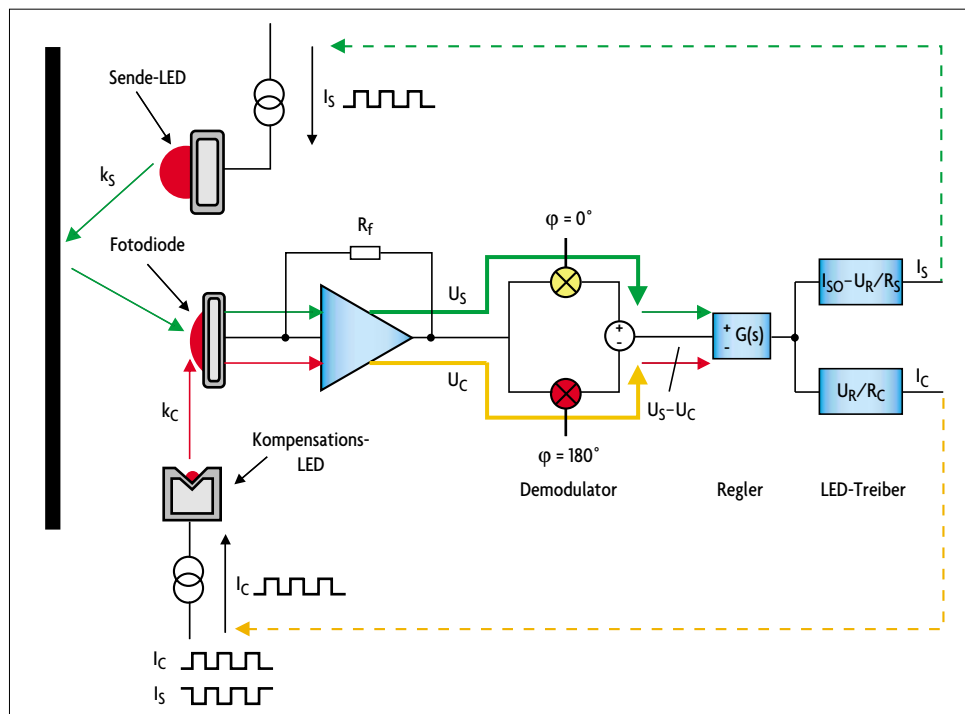


Bild 1. Blockschaltung und Signalflussdiagramm des HALIOS-Prinzips.

$k_{S, opt}$	= Übertragungsfaktor der optischen Strecke Sender
$k_{C, opt}$	= Übertragungsfaktor der optischen Strecke Kompensation
$k_{PD}$	= Übertragungsfaktor der Fotodiode
$R_f$	= Transimpedanz (effektiv)
$U_S$	= Ausgangsspannung Anteil Sendediode
$U_C$	= Ausgangsspannung Anteil Kompensationsdiode
$I_{P, S}$	= Fotostrom Anteil Sendediode
$I_{P, C}$	= Fotostrom Anteil Kompensationsdiode
$I_S$	= Strom der Sende-LED
$I_C$	= Strom der Kompensations-LED

**Tabelle 1. Erklärungen und Definitionen für die Herleitung der HALIOS-Grundgleichungen**

ne jede Mechanik aus und ist damit verschleißfrei. Schalter, Taster, Bedienfelder oder Reglergeometrien lassen sich durch die Anordnung der optischen Elemente und eine einfache Bedruckung der Oberfläche schnell realisieren.

### Herleitung der HALIOS-Grundgleichungen

Die optischen Komponenten eines HALIOS-Systems für Annäherungs- und Schalteranwendungen bestehen aus einer Sende-LED für das optische Nutzsignal sowie einer Kompensations-LED zur Erzeugung eines Referenzsignals. Das Licht der Kompensations-LED wird nur direkt auf die Fotodiode geleitet, eine Wechselwirkung mit dem eigentlichen Objekt findet nicht statt. Beide Signal werden von ein und derselben Fotodiode empfangen. Die LEDs werden wechselseitig mit 180° phasenverschobenen Signalen betrieben. Die beiden Signale der Fotodiode werden zuerst in eine Spannung gewandelt und verstärkt, anschließend mit einem Synchron-Demodulator separiert und von einander subtrahiert.

Das Differenzsignal steuert einen Regler, der den Strom der Kompensationsdiode und/oder der Sendediode in seiner Amplitude beeinflusst und so auf den Wert „Null“ regelt. Im abgeglichenen Zustand sind daher die von der Fotodiode empfangenen Signale aus Sende- und Kompensationszweig gleich groß. Zur Realisierung verschiedenster Funktionen wird das Ausgangssignal des Reglers von einer weiteren Elektronik analysiert und ausgewertet. *Bild 1* zeigt schematisch die Blockschaltung und den Signalfluss für einen Schalter mit zusätzlicher Nähe-

rungsfunktion, mit der man beispielsweise seine eigene Hinterleuchtung steuern kann.

Im Folgenden wird gezeigt, dass der eingeregelter Zustand robust gegenüber dem so genannten Fremdlicht-Effekt ist – also unempfindlich gegenüber Schwankungen des Umgebungslichtpegels

selber als auch unempfindlich gegenüber der Fotodiodenempfindlichkeit in Folge starker Beleuchtung oder Temperatureinfluss. Den Einsteig erleichtern dabei einige Erklärungen und Definitionen, die für die Herleitung der HALIOS-Grundgleichungen benötigt werden (siehe auch *Tabelle 1*):

Der Anteil des Fotostroms, der durch die Sende-LED hervorgerufen wird, berechnet sich – Gleichung (1) (siehe *Formelkasten*) – aus dem optischen Übertragungsfaktor  $k_{S, opt}$ , der die Eigenschaften der LED und ihrer Optik beinhaltet, und dem Übertragungsfaktor der Fotodiode ( $k_{PD}$ , Fotostrom im Verhältnis zur Lichtleistung). Entsprechend ergibt sich für den Kompensationszweig ein Wert gemäß (2).

Beide Signalströme durchlaufen den gleichen Verstärker und werden, ana-

log zu (3), in Spannungen umgesetzt. Im Demodulator werden beide Signalanteile getrennt und, analog zu (4), voneinander subtrahiert. Der Regler sorgt durch Verstellen des Stromes  $I_C$  (und/oder  $I_S$ ) dafür, dass die Differenz  $U_S - U_C$  zu Null wird.

Aus Gleichung (4) wird ferner ersichtlich, dass zur Erfüllung dieser Bedingung die Eigenschaften des Verstärkers (zusammengefasst in  $R_f$ ) und die Eigenschaften der Fotodiode  $k_{PD}$  nicht mehr relevant sind. Damit ergibt sich die Grundgleichung für den eingeregelter Zustand gemäß (5).

Dieser Gleichgewichtszustand wird auch durch plötzlich auftretende Änderungen des Übertragungsfaktors der

### HALIOS-Grundgleichungen

$$I_{P, S} = k_{PD} \cdot k_{S, opt} \cdot I_S \tag{1}$$

$$I_{P, C} = k_{PD} \cdot k_{C, opt} \cdot I_C \tag{2}$$

$$\begin{aligned} U_S &= R_f \cdot I_{P, S} \\ U_C &= R_f \cdot I_{P, C} \end{aligned} \tag{3}$$

$$U_S - U_C = R_f \cdot k_{PD} (k_{S, opt} \cdot I_S - k_{C, opt} \cdot I_C) \tag{4}$$

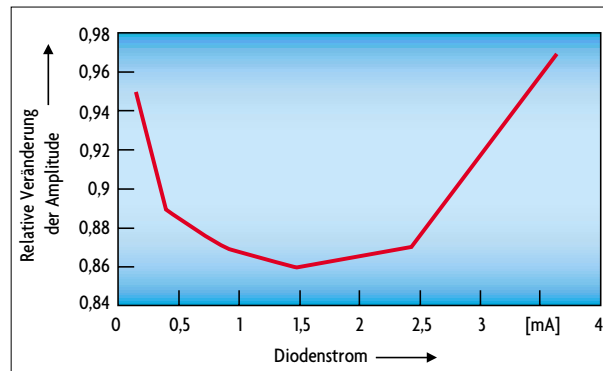
$$k_{S, opt}/k_{C, opt} = I_C/I_S \tag{5}$$

$$U_S - U_C = R_f (k_{PD} \cdot k_{S, opt} \cdot I_S - I_C) \tag{6}$$

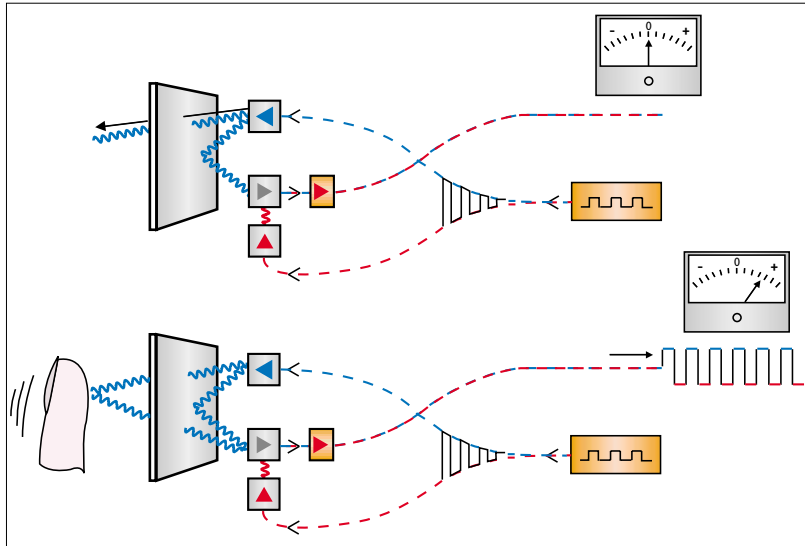
$$I_C/I_S = k_{PD} \cdot k_{S, opt} \tag{7}$$

Fotodiode ( $k_{PD}$ ) – hervorgerufen z.B. durch starken Lichteinfall (Fremdlichteffekt) – nicht beeinflusst. Es kommt daher auch zu keinem Ausregelvorgang des Systems, der eventuell ein Überschreiten der Annäherungsschwelle hervorrufen könnte.

*Bild 2* zeigt eine mit einfachsten Labormitteln durchgeführte Messung der Fotodiodenempfindlichkeit über der Beleuchtungsstärke. Die Kurve beschreibt die relative Änderung der Empfindlichkeit der Fotodi-



**Bild 2. Relative Amplitudenänderung eines 31,25-kHz-Signals als Funktion des Fotodiodenstroms, hervorgerufen durch Beleuchtung und gemessen an einer SFH2400 der Firma OSRAM.**



**Bild 3. Schematische Darstellung eines mechanikfreien, optischen Schalters mit zusätzlicher Annäherungsfunktion (siehe untere Hälfte) und Elimination der bekannten Störeinflüsse.**

ode in Abhängigkeit des Fotostroms, hervorgerufen durch Beleuchtung (relative Änderung von  $k_{PD}$ ).

Vielfach wird vorgeschlagen, die Kompensations-LED einzusparen und einen entsprechenden Kompensationsstrom  $I_C$  direkt in den Verstärkereingang einzuspeisen (quasi elektronische Kompensation). Diese Modifizierung ergibt einen Wert gemäß (6). Der eingeregelter Zustand ( $U_S - U_C = 0$ ) ergibt sich aus (7).

Es zeigt sich, dass das Verhalten der Fotodiode bei der nur elektronischen Kompensation bezüglich Fremdlicht, Temperatur und Alterung einen direkten Einfluss auf das Systemverhalten hat. Das neuartige Prinzip mit zusätzlicher Kompensations-LED schließt hingegen diese störenden Systemeinflüsse wirkungsvoll aus.

Eine weitere Alternative wäre die Regelung der Ausgangsamplitude des Verstärkerausgangs auf einen konstanten Wert. Das Ergebnis ist ähnlich Gleichung (7) – nur dass hierbei zusätzlich die Eigenschaften des Verstärkers das Verhalten beeinflussen ( $R_f$  ist bei Verwendung von integrierten Bauelemen-

ten temperaturabhängig und mit größeren Toleranzen behaftet).

Im Unterschied zu den bisherigen, konventionell realisierten Lichtschranzensystemen nutzt das neue Prinzip nicht mehr die Amplitudenwerte des Fotoempfängers, sondern den Regelwert „Strom durch die Kompensations-LED“ als eigentliche Messgröße. Zusammengefasst lassen sich also folgende Vorteile gegenüber konventionellen Verfahren aufzählen:

- Als Empfangssignal am Ausgang des Verstärkerpfades liegt ein echtes Nullsignal vor. Dadurch wird der Einfluss des Empfangspfades voll kompensiert. Insbesondere haben Nichtlinearitäten der Fotodiode und Schwankungen des Verstärkungsfaktors keinen Einfluss auf das Nutzsignal.
- Aufgrund des Nullsignals am Ausgang des Empfangsverstärkers wird eine deutlich höhere Empfindlichkeit gegenüber dem Nutzsignal erreicht.
- Aufgrund der höheren Empfindlichkeit kann mit kleineren Signalamplituden gearbeitet werden, wodurch der Stromverbrauch in den Sende-LEDs sinkt. Dies ist besonders bei batterie-/

akkuersorgten Geräten ein zusätzlicher Vorteil.

- Der Fremdlichereinfluss ist nicht mehr relevant, da die Charakteristik des Empfangspfades nicht in das Nutzsignal eingeht.
- Im Betrieb ist eine Plausibilitätsprüfung der korrekten Arbeitsweise ständig gegeben, da bei Ausfall einer Komponente in der Regelschleife das Ausgangssignal sofort einen Extremwert annimmt.
- Es tritt keine Alterungs- und Temperaturabhängigkeit des Detektors auf, da der Empfangspfad mit seiner Fotodiode nicht in das Messsignal eingeht.

### ► Vorteile und Applikationsmöglichkeiten

Bild 3 zeigt schematisch die einfachste Anwendung, den optischen Schalter oder Taster. Hier werden unter einer IR-durchlässigen Oberfläche die beiden Sende-LEDs und die Fotodiode so positioniert, dass die Rückreflexion des Lichtes aus der Nutzsignal-LED an einem über der Oberfläche befindlichen Finger erkannt wird, und zwar bei Annäherung auf die Oberfläche zu. Die nachgeschaltete Signalauswertung detektiert jetzt einen Schaltvorgang dadurch fehlerfrei, dass sie das Reflexionssignal des Fingers auswertet, der sich mit einer bestimmten Geschwindigkeit der Oberfläche nähert und dann durch Auftreffen auf die Oberfläche abrupt stoppt. Zur eindeutigen Auswertung ist es durchaus sinnvoll, wenn der Finger die transluzente Oberfläche eine definierte Zeit lang berührt oder auf ihr liegen bleibt.

Die Parameter „Annäherungsgeschwindigkeit“ und „Verweilzeit auf der Oberfläche“ können den verschiedensten Anforderungen angepasst und in der elektronischen Auswertung berücksichtigt werden. Wichtig hierbei ist, dass nicht nur der absolute Momentanwert, sondern die eindeutige Änderung der Reflektivität (1. Ablei-

0-dimensional	1-dimensional	2-dimensional	3-dimensional
Optischer Schalter/Optischer Taster mit Tipp- oder Wisch-Funktion	Optischer Schieberegler (Slider)	Optisches Mausfeld (Mikromaus)	Mikromaus mit Sonderfunktion in z-Richtung, z.B. Mikromaus mit Zoomfunktion
Optischer Annäherungssensor	Einzelne Schalterreihe	Schalterfeld	Gamepad
-	-	Optisches Drehpotentiometer	Touchpad mit Zoomfunktion

**Tabelle 2. Einige Anwendungsbeispiele für MMI-Lösungen mit dem HALIOS-Prinzip**

tung des Momentanwertes) zum Auslösen des Schalters ausgewertet wird, sodass ein zeitliches Änderungsprofil elektronisch hinterlegt werden kann.

Ändert man dieses Profil dadurch ab, dass nach der Annäherung des Fingers ohne Verweilzeit auf der Oberfläche der Finger sich wieder entfernen muss, bewirkt eine Wischbewegung die Aktivierung der Auslösung (Bild 4). Da beiden Algorithmen völlig unter-

Mithören wieder kontinuierlich auf normale Lautstärke geregelt. Der bisher übliche Ein-/Auswechsler für den Lautsprecher am Telefon kann entfallen.

Abhängig von der jeweiligen Ausführungsform der optischen Elemente sind maximale Messabstände deutlich >10 cm möglich, wobei alle bereits beim Schalter angeführten Umgebungseinflüsse durch das neuartige Prinzip eliminiert werden. Taster und

weise wurde eine optische Mikromaus mit dem neuen Sensor unter einer Kunststofffläche entwickelt, die nur die Größe einer Fingerkuppe aufweist. Rollt man jetzt den Finger etwas auf dieser Fläche (Durchmesser 10 bis 20 mm) hin und her, erkennt der Sensor exakt die geringen Richtungsänderungen der Fingerkuppe. So lassen sich sehr kleine und einfach zu bedienende Mikromäuse mit hoher Auflösung auch in kleine

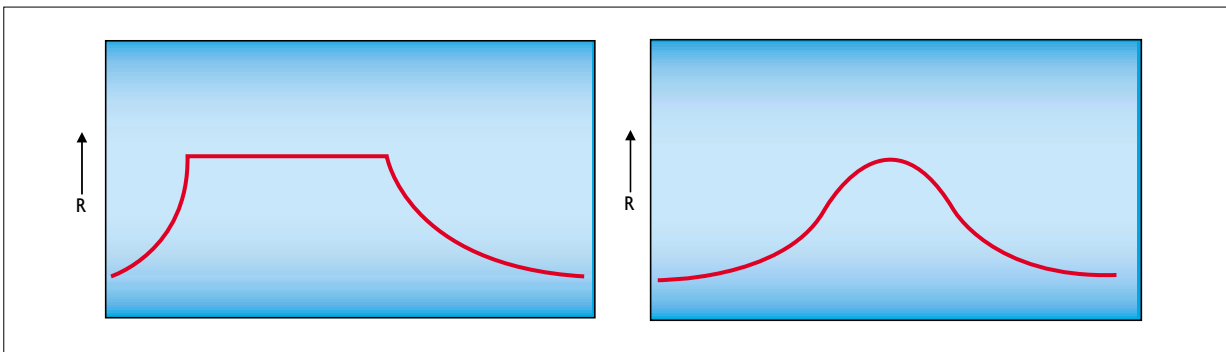


Bild 4. Reflexionssignal für eine Schalterbetätigung durch „Tippen“ (links) oder „Wischen“ (rechts).

schiedliche Änderungsprofile zu Grunde liegen, lassen sie sich auch unabhängig voneinander kombinieren: Einschalten nur durch Antippen, Ausschalten nur durch Auswischen.

Wertet man darüber hinaus die Momentanwerte des reflektierten Signals geeignet aus, erkennt die Elektronik, dass sich ein Gegenstand der aktiven Fläche nähert. Durch diese Abstandsmessung kann zusätzlich beispielsweise die Schalterbeleuchtung schon vor dem eigentlichen Schaltvorgang eingeschaltet werden, um z.B. die genaue Lage des Schalters in der Dunkelheit besser erkennen zu können. Aber auch die Möglichkeit, berührungslose Schalter hinter Glas oder anderen lichtdurchlässigen Werkstoffen platzieren zu können, erlaubt neue Designfreiheitsgrade.

Die geeignete Anpassung der optischen Elemente und der Auswerteelektronik liefert einen umgebungslicht-unabhängigen Abstandssensor. Beispielsweise kann so mit wenig Aufwand durch ein IR-lichtdurchlässiges Kunststoffgehäuse hindurch der Abstand des Kopfes zu einem Telefonhörer erfasst und so die Lautstärke des Lautsprechers direkt angepasst werden: Vergrößert sich der Abstand über einen definierten Punkt hinaus, erhöht sich die Lautstärke, verringert er sich im Gegenzug, wird von

Schalter nutzen nur einen aktiven Punkt zur Detektion aus. Das neue Prinzip lässt sich aber auch auf alle Raumrichtungen ausdehnen.

Verdoppelt man beispielsweise die Anzahl der optischen Elemente, lässt sich die Position eines Gegenstands auf einer Fläche detektieren. Dies ermöglicht eine effiziente Alternative zu den bekannten kapazitiven und resistiven Feldern, die z.B. im Computerbereich hinreichend Anwendung finden. Als Vorteil gegenüber resistiven Eingabefeldern ist die mechanische Unempfindlichkeit zu nennen, da kein direkter Kontakt zwischen dem mechanischen Eingabemedium (Finger, Stift etc.) und der optisch-elektronischen Positionserfassung besteht. Neben der analogen Positionsbestimmung entsteht durch eine feste Unterteilung der Fläche ein Mehrfachstufenfeld mit allen – bereits genannten – Vorteilen. Insbesondere die einfache Platzierung hinter oder unter einer Oberfläche, die nur optisch transparent sein muss, erlaubt ganz neue mechanikfreie Eingabemittel, die vor Druck, Wasser oder gegen mechanische Beschädigungen geschützt sind.

Ein weiterer wesentlicher Vorteil gegenüber kapazitiven Flächen ist die Möglichkeit, das optische Feld drastisch verkleinern zu können. Beispiels-

Geräte integrieren. Die Auswerteargorithmen lassen sich per Software beliebig gestalten, die sichere Positionserkennung erfolgt auch hier nach dem genannten Prinzip mit all seinen Vorteilen. Je nach Ausführung werden drei oder vier LEDs und ein bis zwei Fotodioden für diese zweidimensionale Applikation benötigt.

Nutzt man zusätzlich auch die Abstandsmessung des neuartigen Prinzips, lässt sich auch die dritte Dimension in situ auswerten. Es entsteht so ein dreidimensionales Eingabefeld, bei dem neben den beiden Koordinaten  $x$  und  $y$  auch die  $z$ -Richtung zur Bestätigung (analog zum gewohnten Mausklick per Drucktaster) an der jeweiligen Position genutzt werden kann.

### ► Elektro-optisches Messprinzip als Hardware realisiert

Der elektronische Teil des elektro-optischen Messprinzips HALIOS wird sinnvollerweise in einer integrierten Schaltung konzipiert. Dieses IC beinhaltet die analogen und digitalen Ansteuer- und Auswerteschaltkreise sowie eine definierte Applikationsschnittstelle nach Kundenvorgabe, an der die Nutzsignale dem Anwender zur Verfügung gestellt werden. Neben den Grundbau-

steinen für die Basisfunktionen „Schalter, Schieberegler“ und „Mikromaus“ stehen auch dazugehörige Entwicklungsbords zur Verfügung. Die HALIOS-IC-Bausteine werden dabei exklusiv bei ELMOS entwickelt und hergestellt; für individuelle Applikationen können darüber hinaus preiswerte kundenspezifische Lösungen als exklusives ASIC konzipiert werden. Hierbei greift der Halbleiterhersteller auf die langjährige Erfahrung im kunden- und applikationsspezifischen Halbleitergeschäft für hochintegrierte Analog/Mixed-Signal-ASICs zurück, welche speziell auf die hohen Anforderungen der Automobilindustrie optimiert wurden.

Weitere Informationen zum neuen innovativen Bedienkonzept auf HALIOS-Basis wurden im Oktober 2002 auf der automobilen Ausstellung Convergence 2002 in Detroit und werden nun aktuell im November auf der electronica in München vorgestellt. *go*



**Dr. Frank Rottmann**

schloss sein Studium der Elektrotechnik 1984 an der Universität Dortmund ab und promovierte anschließend dort im Bereich Hochfrequenztechnik/Integrierte Optik. Ab 1988 war er als Produktmanager für die Entwicklung und den Vertrieb von Komponenten für die Mikrosystemtechnik in einem mittelständischen Unternehmen tätig. 1992 wechselte er als Vertriebsingenieur in das ELMOS-Team und ist seit 1997 für den Bereich Vertrieb verantwortlich.



**Dr. Egbert Spiegel**

studierte Elektrotechnik an der Universität Dortmund. Von 1990 bis 1996 war er Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme in Duisburg. Nach der Promotion wechselte er ans Nokia Research Center in Bochum. Seit 1998 ist er Mitarbeiter bei ELMOS und leitet die IC-Entwicklung der HALIOS-Systeme am Standort Dortmund.

Think About

Optical Switch IC



The HALIOS (High Ambient Light Independent Optical System) IC allows contact-free detection of any movement through a translucent surface even under adverse ambient light conditions.



E909.01 Features

- Supply voltage range VDD: 3 V to 5.5 V
- Operational up to  $\leq 200$  klux ambient light
- Proximity, touch and switch function
- Parameter adjustment and functional data read back via SPI interface
- Status output for switch and proximity function
- $-40^{\circ}\text{C}$  to  $85^{\circ}\text{C}$  operating temperature
- SO16 package

Applications

- Waterproof switches
- Mechanic-less key pad array
- Motion switch and proximity sensing
- New styling opportunities