

# Kunststoffoptik

## Neue Perspektiven für Optik großer Stückzahlen

• Vor wenigen Jahren noch wurde die Kunststoffoptik beinahe ausschließlich mit Spielzeug und geringen Ansprüchen in Verbindung gebracht. Das hat sich gerade in den letzten Jahren grundlegend geändert. Bei genauerem Hinsehen findet man heute eine Vielzahl von Beispielen, bei denen hochpräzise optische Elemente aus Plastik eine entscheidende Rolle spielen.

Der Barcode Scanner an der Supermarktkasse, die Optik im DVD Spieler, der Sensor im Tintenstrahldrucker, die optische Maus für den Computer, die Rückfahrkamera im Auto, Linsen in der LED Beleuchtungsoptik, Linsen in der Laser-Wasserwaage und nicht zuletzt die Kamera im Mobiltelefon: alle diese Anwendungen – und es gibt noch mehr – sind entweder vollständig aus Kunststofflinsen aufgebaut oder zumindest teilweise. Über die reinen optischen Komponenten hinaus findet die Kunststoffoptik (oder auch Polymeroptik) inzwischen auch immer mehr und neue Anwendungen in der Medizintechnik. Ein Stichwort ist „Lab-on-chip“, diese Systeme haben in vielen Fällen transparente optische Kunststoffe als Basis, da die biologischen Präparate mit optischen Methoden analysiert werden sollen. Für den medizinischen Bereich spielt es auch eine große Rolle, wenn das Substratmaterial nach dem einmaligen Gebrauch entsorgt werden kann.



ABBILDUNG 1: Optik für LEDs.

### • DIE AUTOREN

#### RIEN DE SCHIPPER

Rien de Schipper ist Manager New Business Development bei Philips High Tech Plastics. Nach dem Studium als Mechanikingenieur hat er sich auf Plastikoptik und ihre Anwendungen spezialisiert. Als Experte für optischen Präzisionspritzguss begleitet er die Entwicklung seit den ersten Kunststoffoptiken für CD-Spieler im Jahr 1984. R. de Schipper arbeitet seit 1981 bei Philips in verschiedenen Positionen, u.a. Philips Plastics Metaalwarenfabrieken und Philips Optics. Zu seinem heutigen Arbeitsgebiet gehört es, neue Anwendungen von Kunststoffoptik zu finden und auf dem Weg in die Großserie zu begleiten.



Rien de Schipper  
Philips High Tech Plastics,  
Technology Center Veldhoven  
De Run 4315  
NL-5503 LP Veldhoven  
The Netherlands  
Tel: +31 4 02 75 81 86  
E-Mail: r.de.schipper@philips.com

#### STEFAN BÄUMER

Stefan Bäumer studierte Physik in Bonn, an der Washington State University und der TU Berlin.



1995 promovierte er am optischen Institut der TU Berlin auf dem Gebiet der optischen Messtechnik. Danach arbeitete er als Optikdesigner zunächst bei Philips CFT, danach bei Philips High Tech Plastics und nun bei Philips Applied Technologies. Sein Aufgabengebiet liegt im Design und in der Vermessung optischer Komponenten, insbesondere von Kunststoffoptik.

Dr. Stefan Bäumer  
Philips Applied Technologies  
High Tech Campus 7  
NL-5656 AE Eindhoven  
The Netherlands  
Tel: +31 4 02 74 89 55  
E-Mail: s.m.b. baumer@philips.com

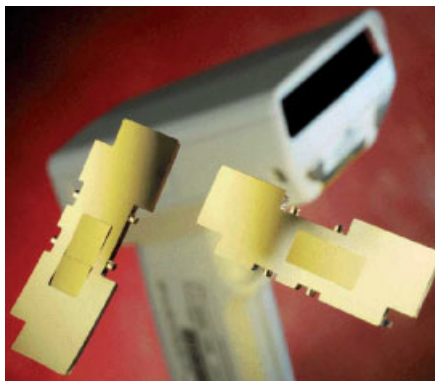


ABBILDUNG 2: Barcode Scanner mit Kunststoffspiegeloptik.



ABBILDUNG 3: Objektiv für ein Mobiltelefon.

## Basistechnologien

Um diese vielfältigen Anwendungen in ansprechender Qualität möglich zu machen sind einige Technologieentwicklungen nötig gewesen. Als erstes wäre da die Entwicklung bei den optischen Kunststoffen zu nennen. Hatte man vor 20 Jahren im Wesentlichen nur Polycarbonat und PMMA als optische Materialien zur Verfügung, so ist die Liste der verfügbaren transparenten Polymere heute deutlich länger. Es wurden neue Materialien gefunden, aber auch die Eigenschaften der vorhandenen Kunststoffe deutlich weiterentwickelt. So gibt es heute Materialien auf der Basis von Polycarbonat, die gegen erheblich höhere Temperaturen beständig sind. Zyklische Olefin(Co)Polymere (COC / COP) sind Materialien, die sich durch gute optische und mechanische Eigenschaften auszeichnen. Polysulfon ist ein Material, welches sowohl eine relative hohe Brechzahl hat als auch temperaturbeständig ist. In Tabelle 1 sind einige Eigenschaften der gebräuchlichsten optischen Kunststoffe wiedergegeben.

Neben den verschiedenen neuen Materialien war der Fortschritt in der Diamantdrehtechnik entscheidend für moderne Anwendungen der Kunststoffoptik. Kunststoffoptik wird in der Regel im Spritzgussverfahren hergestellt. Für dieses Verfahren muss man genaueste Werkzeuge und Formen zur Verfügung haben. Die "optischen" Formen für die Optikbauteile werden durch Diamantdrehen gefertigt. Mit modernen Diamantdrehverfahren können Oberflächenqualitäten von 2 nm RMS (Rauheit) und Formgenauigkeiten von 0.5 µm erreicht werden. Diese Werte können bei geeigneten Spritzgussprozessen auf die Plastiklinsen mit sehr geringen Verlusten übertragen werden. In Abbildung 4 sind erreichbare Oberflächengüten von repräsentativen Materialien für optische Formen dargestellt. Wichtig dabei ist auch, dass man heutzutage Werkzeuge für den Formenbau herstellen kann, bei denen Vorder- und Rückfläche vom Werkzeug weniger als 5 µm dezentriert sind. Schließlich sind auch auf der Seite der Spritzgussmaschinen und vor allem auch bei den Prozessen erhebliche Fortschritte gemacht

worden. All diese Entwicklungen machen es möglich, neue und qualitativ hochwertige Anwendungen in Kunststoff zu realisieren.

## Möglichkeiten

Der Wunsch, bestimmte Anwendungen in Plastik zu realisieren, wird in der Regel durch drei Faktoren bestimmt: Stückzahl, Preis und Miniaturisierung / Integration.

Durch das Fertigungsverfahren Spritzguss fallen im Vergleich zur konventionellen Optik am Anfang höhere Kosten an (Formen und Werkzeuge). Diese Kosten müssen dann über die Anzahl der gefertigten Elemente amortisiert werden. Darum lohnt sich Spritzgussoptik erst ab einer Stückzahl von mehreren tausend.

Wird die Serie dann noch größer, kann Plastikoptik sehr kostengünstig werden. Werkzeug und Formkosten sind einmalig und der Materialpreis ist relativ gering. Optiken für Mobiltelefone, die in mehreren Millionen Stück pro Jahr gebaut werden, können dann auch für unter 1,50 Euro hergestellt werden.

Eigenschaft	Einheit	Bedingung	Polymer							
			Markenname							
			PMMA	PC	COP	COP	COC	COC	COP	PSU
			Acrypet®	Panlite®	Zeonex®	Zeonex®	Apel®	Topas®	Arton®	Udel®
			VH	AD5503	E48R	330R	5014DP	5013	FX4727	P-1700
			Mitsubishi rayon	Teijin Chem.	Zeon	Zeon	Mitsui Chem.	Ticona	JSR	Solvay
Spezif. Gewicht	–	–	1.19	1.2	1.01	1.01	1.04	1.02	1.06	1.24
Wasser Absorption	%	–	0.3	0.2	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.05*	0.3
Lichtdurchlässigkeit	%	Dicke: 3 mm	92.5	89	92	92	90	92	93	84
Brechungsindex	–	–	1.49	1.585	1.53	1.509	1.54	1.53	1.523	1.634
Abbe Zahl			58	30	56	56	56	56	52	23
Glass Übergangstemperatur	°C	–	106*	147	139	123	135	136	120	190
Verformungstemperatur (belastet)	°C	1.80 MPa	101	124	122	103	125	123	110	174
Linearer Ausdehn. Koeffizient	cm/cm°C	–	6×10 <sup>-5</sup>	7×10 <sup>-5</sup>	6×10 <sup>-5</sup>	9×10 <sup>-5</sup>	–	6×10 <sup>-5</sup>	9×10 <sup>-5</sup>	5.4×10 <sup>-5</sup>
MFR Schmelzflussrate	g/10 min		2	–	25	15	36	56	120	6.5
		Temperatur	230 °C		280 °C	230 °C	260 °C	260 °C	260 °C	343 °C
		Gewicht	37.3 N		21.18 N	21.18 N	2.16 kg	2.16 kg	98 N	2.16 kg
Doppelbrechung (retard.)	Nm	Zeon Methode	13	>80	32.7	13.5	2.0	14.8	42.6	–

TABELLE 1: Eigenschaften verschiedener optischer Kunststoffe [1, S. 142].

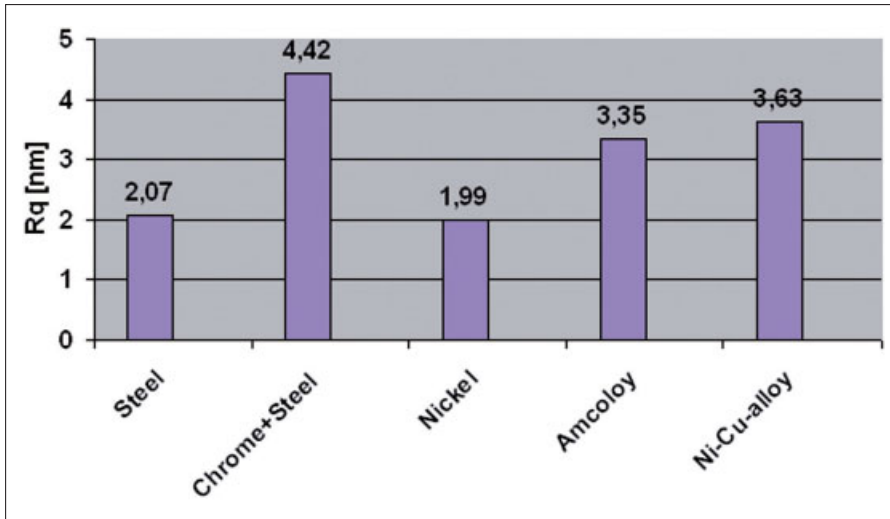


ABBILDUNG 4: Oberflächenqualität von verschiedenen optischen Formen [2].

Ein besonderer Vorteil der Kunststoffoptik besteht darin, dass schon im Herstellungsprozess (also beim Spritzguss) mechanische Elemente angefügt werden können. Dadurch kann die Optik zu bestimmten mechanischen Referenzen perfekt ausgerichtet werden. Außerdem können so Fassungen und eventuell Zwischenringe gespart werden. Diese Form der Integration von Optik und Mechanik eröffnet weitere völlig neue Möglichkeiten für die Kunststoffoptik. Abbildung 5 zeigt eine integrierte Optomechanik, bei der sowohl mechanische Referenzen als auch verschiedene optische Funktionen miteinander in einer Komponente verbunden sind. Dieses Kunststoffbauteil wird direkt auf eine Printplatte aufgesetzt, auf der sich Lichtquelle und Detektor befinden. Die vier Stifte dienen dabei als Referenz. Das Licht wird dann durch die Linse im oberen Teil der Komponente kollimiert. Auf der flachen Seite der Linse ist gleichzeitig noch ein optisches Gitter zur Verteilung der Lichtstrahlen integriert. Außerdem befindet sich im oberen Teil noch eine Kammer, in die ein Filter eingelegt werden kann. Im mittleren Teil der Komponente kann noch eine Keilplatte eingeklickt werden, die den Licht-

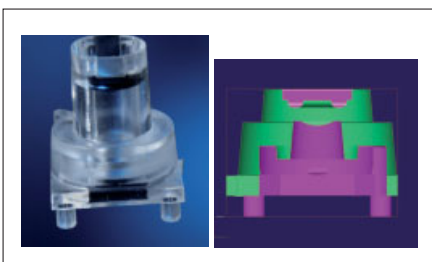


ABBILDUNG 5: Integrierter Sensorkopf [3].

strahl in eine bestimmte Richtung ablenkt. Somit hat dieses Kunststoffbauteil nicht nur mehrere optische Funktionen, sondern dient auch als Träger für weitere Elemente.

Ein weiteres Plus der Kunststoffoptik liegt in der (relativen) Freiheit der Form. Konventionelle Optik kann auf sehr viel verschiedene Materialien zurückgreifen, in der Form sollten die Bauteile aber möglichst sphärisch sein. Obwohl bei den Kunststoffen einige hinzugekommen sind, ist die Materialauswahl noch immer relativ beschränkt. Dafür kann aber durch die moderne Diamantdrehtechnik fast jede beliebige Form hergestellt werden. Kunststoffische Komponenten sind daher in vielen Fällen asphärisch. Weil der Optikdesigner auf asphärische Formen zurückgreifen kann, werden dann bestimmte Anwendungen überhaupt erst möglich gemacht.

Abbildung 6 zeigt die letzte Linse in einem typischen Objektiv für ein mobiles Telefon. Die W-Form ist charakteristisch für diese Art von Optiken und in konventioneller Technik kaum zu realisieren, zumindest wäre die Fertigung in großen Stückzahlen erheblich teurer. Ohne diese Art von Komponenten ist ein flaches Bildfeld bei sehr geringer Bauhöhe und begrenzten Einfallswinkeln der Strahlen auf dem Chip fast unmöglich. Kunststoffoptik eröffnet in diesem Fall technisch und ökonomisch neue Perspektiven.

Ein weiteres Beispiel für integrierte, asphärische Optik ist das Philips Twin Eye Laser Sensor Modul. In diesem optischen Navigationssystem wird eine optische Komponente mit zwei integrierten optischen Wegen direkt auf ein elektronisches Package aufgesetzt. So entsteht ein sehr kompaktes und robustes opto-elektronisches Modul.

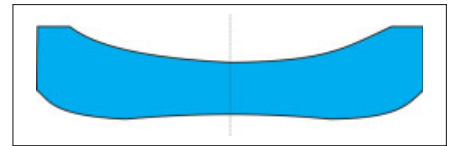


ABBILDUNG 6: Typische, asphärische Linse in einem Objektiv einer Kamera für Mobiltelefone.

Neben ungewöhnlichen Asphären können auch Mikrostrukturen in Kunststoffoptik relativ einfach vervielfältigt werden. Wenn einmal ein Master von Mikrostrukturen gemacht ist, können diese im (angepassten) Spritzgussverfahren genauestens reproduziert werden. Das eröffnet speziell für die diffraktive Optik viele Anwendungsmöglichkeiten. Außerdem können durch Mikro-Fresnellinsen Sensor- und Beleuchtungsanwendungen realisiert werden, die auf anderem Weg so nicht möglich wären. Sensoren in Tintenstrahldruckern und einige optische Mäuse

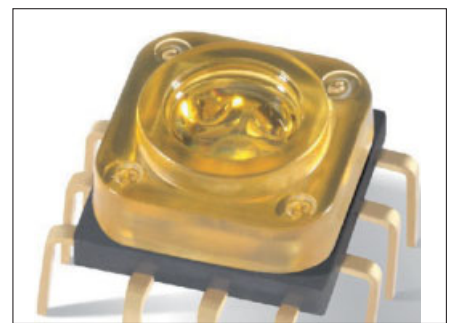


ABBILDUNG 7: Philips Twin-Eye Laser Sensor Modul [4].

## DIE FIRMA

### Philips Applied Technologies

ist ein Geschäftsbereich innerhalb von Philips Corporate Technologies. Applied Technologies ist ein Institut, das Auftragsforschung und -entwicklung für alle Geschäftsbereiche von Philips und ausgewählte externe Kunden durchführt. Schwerpunkte der Arbeiten sind die Bereiche Healthcare, Lifestyle und Technology. Bei Applied Technologies arbeiten ungefähr 1200 Personen weltweit in verschiedenen Disziplinen. Diese reichen von Mechanik, Elektronik, Optik bis hin zu verschiedensten Prozesstechnologien und industriellem Consulting. [www.apptech.philips.com](http://www.apptech.philips.com)

machen von dieser Technologie Gebrauch. Abbildung 8 zeigt exemplarisch eine replizierte Mikrostruktur, die in einem Bewegungssensor eingesetzt wird.

## Grenzen

Neben den vielen Möglichkeiten, die sich durch und mit der Kunststoffoptik realisieren lassen, gibt es auch einige Einschränkungen, die besonderer Aufmerksamkeit bedürfen. Die meisten dieser Punkte lassen sich direkt aus den Materialeigenschaften ableiten. In erster Linie ist da das Temperaturverhalten der optischen Kunststoffe zu nennen. Die meisten optischen Kunststoffe haben eine Verformungstemperatur zwischen 70° und 120° Celsius. Damit können manche Anwendungen, im besonderen in der Automobilindustrie nicht ohne weiteres produziert werden. Neben der Verformung gibt es noch zwei weitere Temperatureffekte, die eine große Rolle spielen: die lineare Ausdehnung und die Brechzahländerung mit der Temperatur. Die lineare Ausdehnung  $\alpha$  ist für Kunststoffe ungefähr  $\alpha = 60 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . Das ist eine Größenordnung mehr als für Glas. Neben diesem Effekt ist die Brechzahländerung mit der Temperatur  $dn/dT$  in der Regel noch viel bedeutender. Auch hier sind die optischen Kunststoffe eine Größenordnung weniger stabil als Glas. Beim Entwurf von Systemen mit plastikoptischen Komponenten sollte man vor allem diesen Effekt beachten.

## DIE FIRMA

### Philips High Tech Plastics (HTP)

Philips High Tech Plastics (HTP) ist ein selbständiger Geschäftsbereich innerhalb von Royal Philips Electronics. HTP entwickelt und produziert optische Elemente in Kunststoff für die Bereiche DVD / BluRay, Kameraobjektive für mobile Telefone, LED Beleuchtung und den Automobilbereich. Mit einem Entwicklungszentrum in Europa und einer Fabrik für Massenproduktion in China können Produkte in allen Seriengrößen hergestellt werden. Mit einer Geschichte im Präzisions-spritzguss und Formbau, die bis 1927 zurückgeht, hat sich HTP auf Design und Produktion von hochpräzisen optischen Kunststoffkomponenten und Subassemblies spezialisiert.  
[www.htp.philips.com](http://www.htp.philips.com)

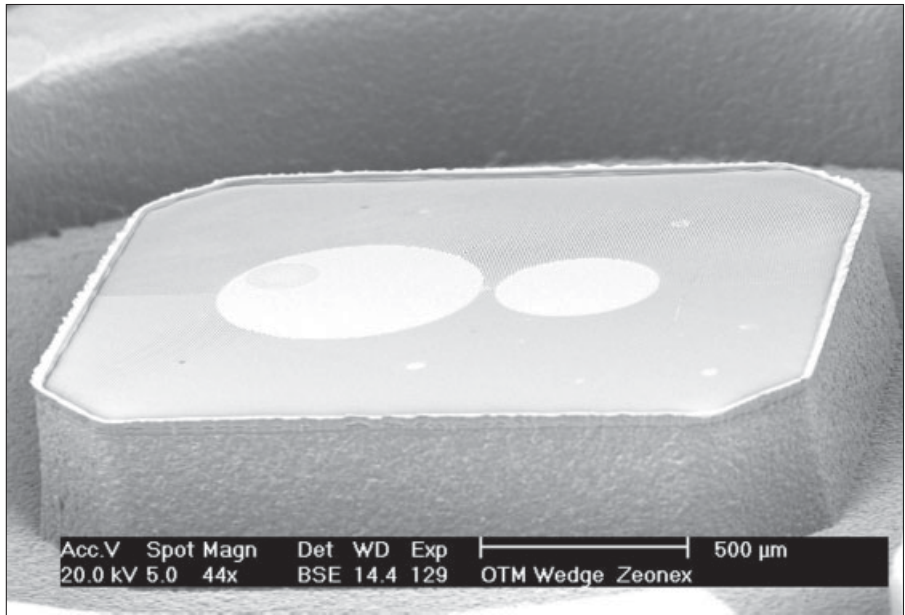


ABBILDUNG 8: Mikrostrukturen für einen Bewegungssensor.

Eine weitere Eigenheit ist die Feuchtigkeitsaufnahme von Kunststoffen. Hier gibt es große Unterschiede zwischen den einzelnen Materialien. Die Feuchtigkeitsaufnahme hat verschiedene Konsequenzen, so verändern sich damit zum Beispiel Form und Brechzahl der Komponente.

Neben den materialbedingten Grenzen gibt es noch einen weiteren Punkt, der der näheren Betrachtung bedarf: die Messtechnik. Im vorherigen Abschnitt sind einige Vorteile der Kunststoffoptik besprochen worden. Allerdings sollte man sich über den folgenden Sachverhalt im Klaren sein. Wenn z.B. eine hochintegrierte Komponente im Spritzguss hergestellt wird, so ist es sehr unwahrscheinlich, dass diese Komponente mit Standardmessinstrumenten gemessen werden kann. Entweder muss so ein Bauteil mit mehreren Instrumenten kontrolliert werden, oder ein eigener, funktionaler Tester muss gebaut werden [5]. Darum sollte man beim Design der integrierten optischen Komponenten die Messtechnik mit einbeziehen. Die Entscheidung für ein bauteilspezifisches Messgerät ist dabei sicher stark abhängig von der geplanten Stückzahl der Komponente. Ein ähnliches Bild bietet sich bei dem Einsatz von Asphären. Die industrielle Messung von (steilen) Asphären, wie sie in Optiken für mobile Telefone eingesetzt werden, ist ein Problem, an dem noch gearbeitet wird. Computer generierte Hologramme (CGH) in Verbindung mit Standardinterferometern, Wellenfrontsensoren, Deflektometrie, mechanische Taster sind Techniken, die erprobt und teilweise auch eingesetzt werden.

Je nach Anwendung und Seriengröße lassen sich Vor- und Nachteile der jeweiligen Messverfahren benennen.

## Ausblick

Wenn man einige Grundregeln beim Entwurf von Kunststoffoptik beachtet, dann können viele neue Anwendungen möglich gemacht werden. Darüber hinaus können bestehende Systeme entweder günstiger oder für größere Kundengruppen zugänglich gemacht werden. Somit kann Plastikoptik einen wesentlichen Beitrag liefern, um das 21. Jahrhundert wirklich ein photonisches Zeitalter werden zu lassen.

## Literatur

- [1] K. Minani, „Optical Plastics“, in Handbook of Plastic Optics, ed. S. Bäumer, Wiley – VCH, 2005
- [2] T. Bauer, D. Marschall, „Tooling for injection molding“, in Handbook of Plastic Optics, ed. S. Bäumer, Wiley – VCH, 2005
- [3] Kinrot, O., Kinrot, U. “Interferometry: transverse Doppler measurement by VCSEL – based optical translation measurement (OTM) sensor”, Laser Focus World, March 2000
- [4] Philips Laser Sensors, <http://www.philips.com/lasersensors>
- [5] Timmers, W., Bäumer, S., Iersel, B. van, Ras, A., Schipper, R. de, Verkade, G. “Metrology of injection molded optical components with multiple optical functions”, Proc SPIE 3778, 78 – 88, (1999)