

**Funktionsintegration.** Beispielhaft wird die Herstellung einer kompletten LED-Lampe im Mehrkomponentenspritzgießen demonstriert. Die Integration der unterschiedlichen Funktionen wie Linsen und Leiterbahn sowie das Bestücken des Werkzeugs mit Leuchtmittel und Widerstand erspart Arbeitsschritte und erhöht durch Verkürzung der Prozess- und Toleranzkette die Qualität.



# Leuchtendes Beispiel

DIETMAR DRUMMER  
ROLAND DÖRFLER

Optische Technologien spielen eine zentrale Rolle in vielen Bereichen des täglichen Lebens: Lichttechnik, die mit immer ausgefeilteren Methoden und Lampensystemen eine immer bessere und energieeffizientere Beleuchtung sicherstellt, laserbasierte Materialbearbeitung in der industriellen Fertigung, optische Sensorik und optische Nachrichtentechnik sowie die Displaytechnik sind nur einige Beispiele für optische Technologien, die eine wichtige Bedeutung für die moderne Industriegesellschaft haben.

Bei den optischen Technologien handelt es sich damit um ein sehr breites Feld von Anwendungen, in denen es um die Erzeugung, die Übertragung, die Messung und generell die Nutzbarmachung von Licht geht. Die potenziellen Märkte sind gigantisch und übertreffen bereits jetzt die der Halbleiterelektronik: Zurzeit werden weltweit insgesamt ca.

130 Mrd. EUR im Bereich der Photonik umgesetzt, und für das Jahr 2013 sind Steigerungen auf 400 Mrd. EUR prognostiziert.

Die Entwicklung der Leuchtdioden (Light Emitting Diode; LED) ist beispielhaft für diesen Bereich. Sie wandeln elektrische Energie in Licht um und funktionieren dabei wie Halbleiterdioden, die in Durchlassrichtung Licht erzeugen. Leuchtdioden gibt es in verschiedenen Farben, Größen und Bauformen (Bild 1).

Mit zunehmender Lichtstärke verdrängen LEDs klassische Beleuchtungsquellen in vielen Anwendungen, von der Verkehrsampel über Großdisplays bis hin zur Operationsleuchte. Schwerpunkte liegen auch bei optoelektronischen Bauelementen (z. B. für Anzeigewecke oder Halbleiterlaser für DVD-Player), bei modernen Lampen sowie Flachbildschirmen. Auch in Fahrzeugen z. B. hat die Lichttechnik bereits in den letzten Jahren einen raschen Wandel vollzogen: zunächst neue Scheinwerfersysteme mit

Freiflächenreflektoren und Projektionsystemen, dann neue Gasentladungslampen (Xenon). Und das Ende ist noch nicht abzusehen: Variable Lichtverteilungen für Kurvenfahrt oder abhängig von Fahrgeschwindigkeiten sowie spezielle Tag-Fahrleuchten werden zukünftige Scheinwerferlösungen beinhalten – LEDs finden dabei zunehmend Anwendung.

## Interdisziplinäres Zusammenspiel

Die Entwicklung und Fertigung optischer Anwendungen im sichtbaren Bereich ist geprägt vom interdisziplinären Zusammenspiel unterschiedlicher physikalischer Felder, wie Optik, Elektronik und Mechanik, die bereits jede für sich häufig komplex in der Auslegung und Fertigung ist. Grundlegende Weiterentwicklungen in den elektronischen Bauelementen und Werkstoffen sowie Fertigungsverfahren dieser Disziplinen er-

möglichen inzwischen den Aufbau völlig neuer optischer Systeme mit deutlich erweiterten Möglichkeiten in Anwendung und Design.

LEDs gewinnen in optischen Systemen aufgrund vorteilhafter Eigenschaften wie z. B. langer Lebensdauer, geringem Bauraum oder hoher Lichtausbeute zunehmend an Bedeutung (Tabelle 1). Der Aufbau von LEDs unterscheidet sich dabei grundlegend z. B. von klassischen Lampensystemen. Die gebräuchlichsten Standard-T-Bauformen haben einen 5 mm oder 3 mm großen Durchmesser. Die Vielfalt leistungsstarker Bauelemente, insbesondere von SMD-LEDs (Surface Mounted Device) nimmt rasant zu. Leuchtdioden schalten sehr schnell vom leuchtenden in den nicht leuchtenden Zustand. Der Lichtstrahl kann bis in den MHz-Bereich getaktet werden, was allerdings für das menschliche Auge nicht mehr auflösbar ist. Da LEDs das Licht nicht über Temperatur (wie Glühlampen) erzeugen, sondern durch Rekombination

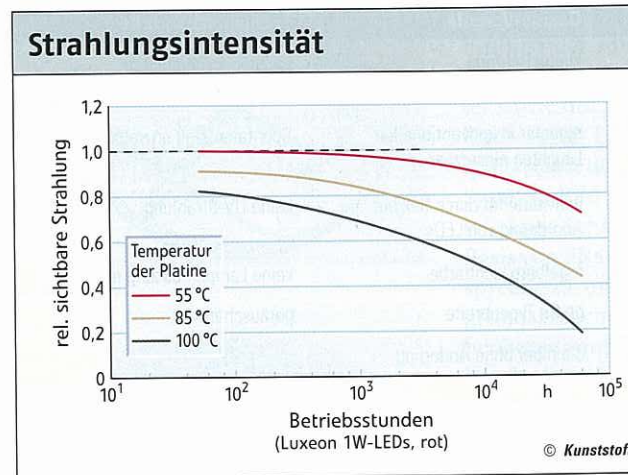


Bild 2. Sichtbare Lichtstrahlung in Abhängigkeit der Leuchtdauer und der Temperatur der Elektronik

ser-Einrichtungen gilt auch für LEDs, die äquivalent zu Lasern behandelt werden.

## Komplexe Herausforderung im Temperaturhaushalt

Während bei klassischen Glühlampen die Lichtausbeute nur etwa 5 % beträgt, liegt

der Unterseite der LEDs über Wärmeleitung abgeführt werden muss.

- Da der Halbleiter im LED typischerweise bei ca. 120 °C zerstört wird, dürfen am Bauelement im Betrieb auch keine höheren Temperaturen auftreten.
- Die Lichtstärke einer LED hängt ungefähr proportional vom Strom ab. Aber

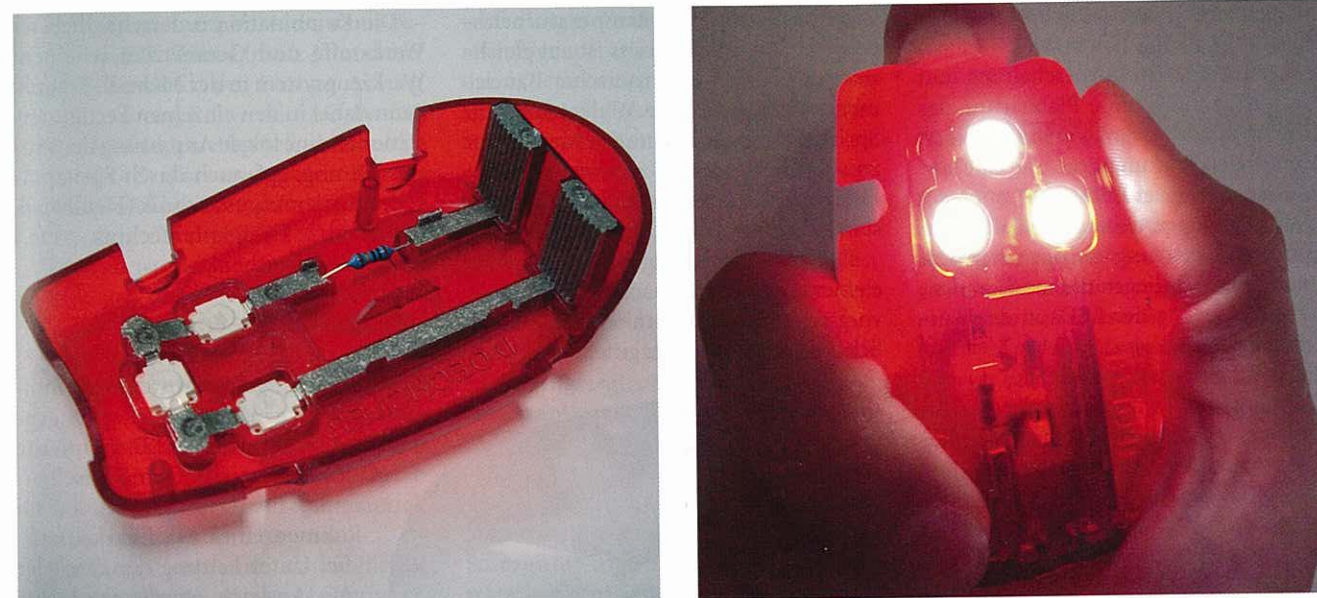


Bild 3. Spritzgegossene Lichtleiste in 3K-Technik, links: Innenseite der Oberschale mit LEDs, Widerstand und spritzgegossenen Leiterbahnen, rechts: LED-Lichtleiste in Funktion

der Ladungsträger Photonen freisetzen, kann man durchaus auch von „kaltem“ Licht sprechen. So erlauben LEDs auch dort einen Einsatz, wo bisherige Leuchtmittel aufgrund ihrer Wärmeabgabe nicht zur Diskussion standen.

Aufgrund ihrer inzwischen sehr hohen Intensität können LED-Geräte eine Gefährdung des Auges darstellen, wie man sie von Lasern kennt. Daher schreibt das Produktsicherheitsgesetz für die Marktzulassung eine Klassifizierung nach dem Standard DIN EN 60825-1 zwingend vor. Dieser Standard zur Augensicherheit von La-

diese bei LEDs bei deutlich kleinerem Bauraum um etwa das Vierfache höher. Dieser verbesserten Funktionalität steht jedoch eine mehrschichtige Herausforderung im Temperaturhaushalt gegenüber:

- Glühlampen geben demnach 95 % ihrer Leistung vorwiegend über Strahlungswärme ab. Diese kann durch Bauraum über benachbarte Komponenten in Lampensystemen vergleichsweise gut abgeleitet werden. Bei LEDs dagegen liegt die Wärmeerzeugung bei „nur“ 80 %, die jedoch überwiegend an

gleichzeitig wird sie mit zunehmender Temperatur der Sperrschicht im Halbleiter kleiner, da die Höhe der Sperrschichttemperatur wiederum vom Strom abhängig ist.

- Durch das große Temperaturgefälle bei konventionellen Lampensystemen von beispielhaft 3000 °C an der Wendel bis zu 400 °C am Sockel sind Temperaturdifferenzen der Umgebungstemperatur von z. B. 30 °C unerheblich im Vergleich zu einem Halbleiter mit 90 °C Betriebstemperatur, der bei gleichem Temperaturunterschied in der Umge-

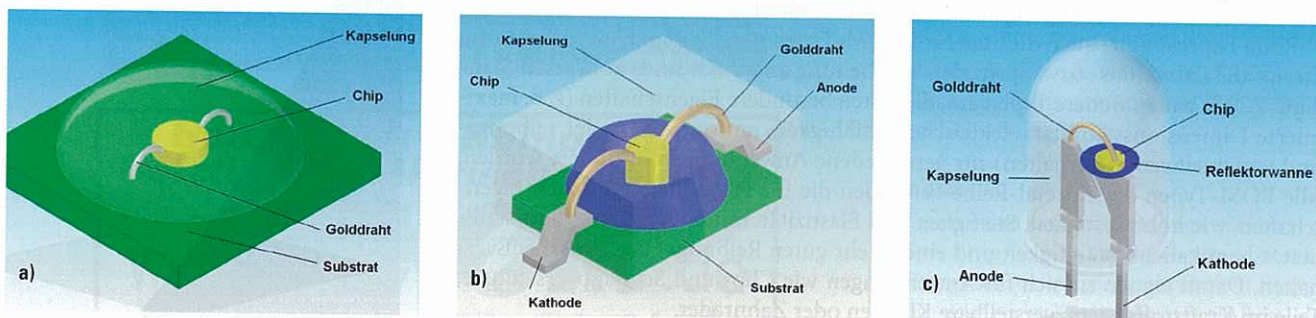


Bild 1. Schematische Darstellung bedeutsamer Bauarten von LEDs: a) Chip on Board (COB), b) SMD-Bauelement, c) T-Type (konventionelle Bauart)

Wirtschaftliche Vorteile	Design-Vorteile	Technische Vorteile
hoher Wirkungsgrad / geringer Energieverbrauch	kleine Bauform	mechanisch belastbar (Stoß, Vibration)
geringe Wärmestrahlung	modular in konventionellen Leuchten einsetzbar	Spontanausfall unwahrscheinlich
hohe Lebensdauer	Individualität durch flexible Anordnung von LEDs	keine UV-Strahlung
keine Wartungskosten	regelbare Lichtfarbe	keine Lampenfassung erforderlich
keine Reinigungskosten	große Typenbreite	geräuscharm
	dimmbare ohne Änderung der Lichtfarbe	

Tabelle 1. Vorteile von LEDs gegenüber konventionellen Leuchtmitteln

bung mit 5 °C oder 35 °C Frischluft umströmt wird. Der Kühlungsaufwand des LED-Chips ist von größter Bedeutung, und die Temperatur der LED hat erheblichen Einfluss auf eine evtl. Überhitzung oder die Verringerung des Lichtstroms (Bild 2).

Der Wirkungsgrad einer LED wird somit erhöht, indem ein konstanter abgestimmter Strom zur Verfügung gestellt und gleichzeitig der Halbleiterkristall so kühl wie möglich gehalten wird. Deshalb ist der Aufwand der Vorbeschaltung und eine wärmeabführende Platzierung des Chips ebenfalls extrem wichtig für einen vernünftigen Wirkungsgrad und eine lange Lebensdauer der LED.

- Wichtige Fragestellungen bei der Auslegung und Fertigung von optischen Systemen mit LEDs liegen demnach in der
- Positionierung der LEDs in der Baugruppe,
  - Ankontaktierung der LEDs,
  - Kühlung der LEDs und in der
  - Integration optischer Elemente wie Reflektoren, Blenden oder Linsen.

**Integration im Spritzgießverfahren**

Heutige, funktionsintegrierende Verfahren der Kunststofftechnik wie Insert-Techniken, Mehr-K-Spritzguss, In-Mold-Labeling oder MID-Techniken bestehen durch ihre Freizügigkeit in der Formgebung unterschiedlichster, auch modifizierter Kunststoffe und ihre inzwischen fast beliebige Kombinierbarkeit. Die sich hieraus ergebende, anwen-

dungsspezifische Flexibilität in Werkstoff und Verfahren schafft damit eine grundlegende Voraussetzung, um marktwirtschaftliche Synergien aus Qualität, Funktionalität und Wirtschaftlichkeit zu nutzen.

Elektrische Bauelemente können präzise und automatisiert in ein Spritzgießwerkzeug eingelegt werden. Durch eine auf das elektronische Bauteil abgestimmte Druck- und Temperaturbelastung im Spritzgießprozess ist ein gleichzeitiges Fixieren elektronischer Bauelemente wie LEDs oder Widerstände im Spritzguss möglich, ohne das Bauelement zu beschädigen oder zu zerstören. Andere elektronische Bauelemente sind Gegenstand aktueller Entwicklungen.

Die Ankontaktierung umspritzter Bauelemente kann durch nachträgliche Fügevorgänge erfolgen. Es ist aber ebenso möglich, vorbestückte Stanzgitter, Leiterplat-

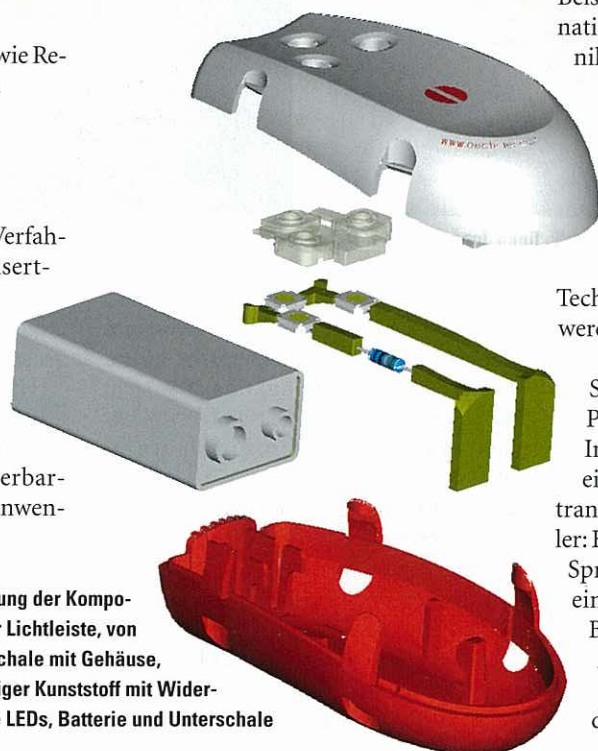


Bild 4. Darstellung der Komponenten der Lichtleiste, von oben: Oberschale mit Gehäuse, Linsen, leitfähiger Kunststoff mit Widerstand sowie LEDs, Batterie und Unterschale

ten, aus Glasfasergewebe, das mit Epoxydharz gebunden ist (FR4) sowie Flexfolien zu integrieren oder die Ankontaktierung über speziell leitfähige Kunststoffe direkt beim Spritzgießen zu realisieren.

Für die Wärmeabfuhr von LEDs stehen heute modifizierte Kunststoffe zur Verfügung, deren Wärmeleitfähigkeit etwa 1000-fach über der ungefüllter Kunststoff liegt. Derartige Kunststoffe, wie sie umfangreich auch am Lehrstuhl für Kunststofftechnik der Universität Erlangen-Nürnberg untersucht werden, erfordern ein eng eingegrenztes Prozessfenster, ermöglichen gleichzeitig aber die unmittelbare und geometrisch freigestaltbare Integration von Kühlkörpern mittels Mehr-K-Technik zur ggf. auch gerichteten Wärmeabfuhr.

Durch die Mehr-Komponenten-Technik lassen sich optische Elemente wie Linsen oder Tragstrukturen für Linsen durch die lokale Verwendung von transparenten Kunststoffen, bzw. hochgefüllten Kunststoffen mit niedriger Wärmeausdehnung integrieren.

Die Kombination unterschiedlichster Werkstoffe und Geometrien in einem Werkzeugsystem in der Mehr-K-Technik kann dabei in den einzelnen Fertigungsstationen eine lokale Anpassung der Prozessführung, ggf. auch durch Spritzprägen, oder der Angusstechnik (Heißkanal, Kaltkanal, Dreiplattentechnik etc.) erforderlich machen.

**Machbarkeit bewiesen**

Beispielhaft umgesetzt wurde in Kombination vorab genannter Spritzgießtechniken eine innovative LED-Lichtleiste (Oberschale einer Demo-Taschenlampe) aus Anlass der K 2007 im Rahmen einer Machbarkeitsstudie. Unter Leitung der Oechsler AG, Ansbach, wurde eine Lichtleiste entwickelt, die voll funktionsfähig mittels Insert- und 3K-Technik im Spritzgießprozess gefertigt werden konnte (Bild 3).

Hierzu wurde in einem ersten Schritt ein Gehäuse aus eingefärbtem Polycarbonat (PC) (Hersteller: Sabic Innovativ Plastic) gespritzt, an das in einem zweiten Schritt drei Linsen aus transparentem Polyamid (PA) (Hersteller: Evonik) eingespritzt wurden. Vor dem Spritzgießen der dritten Komponente, einem hochleitfähigen Kunststoff auf Basis von PA 6 (Hersteller: Siemens AG) wurde das Dreikomponenten-Drehwerkzeug vollautomatisch mit drei SMD-LEDs (Typ: Golden Dra-

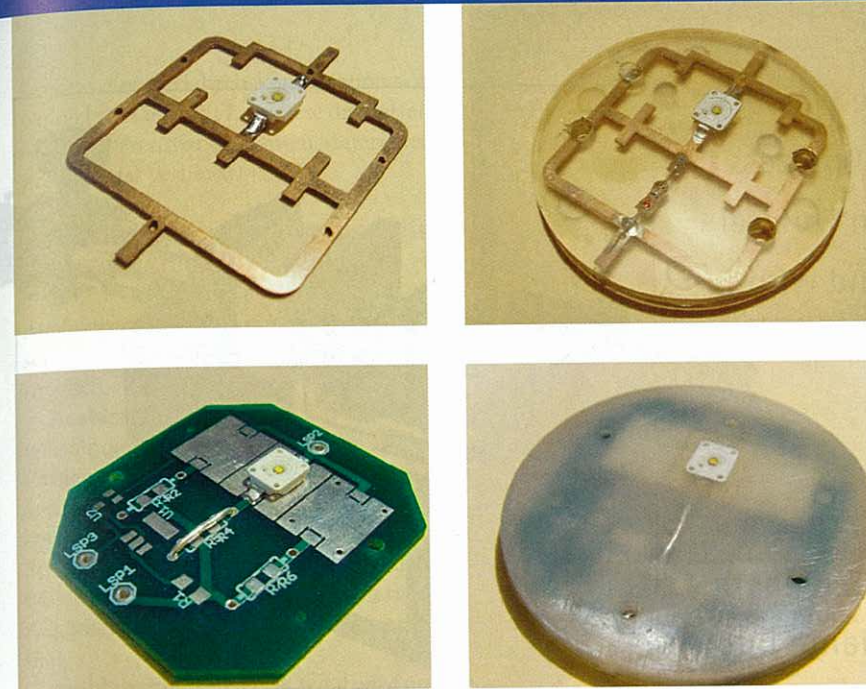


Bild 5. Prüfkörper zur Untersuchung der Integration elektrischer LED-Schaltungen, oben: Stanzgitterstruktur vor und nach dem Umspritzen mit PMMA, unten: bestückte FR4-Leiterplatte vor und nach dem Umspritzen mit PA 6

gon, Hersteller: Osram Semi Conductors GmbH) sowie einem Vorwiderstand bestückt (Bild 4). Zum Einsatz kam dabei Maschinentechnik der Firmen Arburg GmbH, Loßburg, Rohwedder AG, Bruchsal, und Kiki Ingenieurgesellschaft mbH, Malsch. Die Bestückung wurde mittels in der Elektronikbranche standardisierten Aufnahmen durchgeführt. Der Werkzeugaufbau wurde spezifisch an die Anforderungen der Kunststoffe angepasst. Während Gehäuse und Linse durch Heißkanaltechnik (Hersteller: Günther Heißkanaltechnik GmbH, Frankenberg) verarbeitet werden, werden die einzelnen Leiterbahnsegmente des leitfähigen Kunststoffs über einen kombinierten Heiß-Kaltkanal in einem segmentierten Dreiplattenaufbau spritzgegossen.

Die Integration der unterschiedlichen Funktionen wie Linse, Leiterbahn,

Leuchtmittel, Widerstand und Ankontaktierung im Spritzgießwerkzeug erspart nachfolgende Arbeitsschritte und erhöht durch Verkürzung der Prozess- und Toleranzkette die Qualität. Untersuchungen zum Langzeitverhalten dieser Leiste zeigen, dass sich bei Bestromung der verwendeten LEDs von 50 mA durch eine Batterie die Temperatur am LED bei 40 °C stabil bleibt. Bei maximaler Stromlast wären zusätzliche Kühlkörper an den LEDs erforderlich

Während bei diesem Beispiel die LEDs eingelegt und im Spritzgießverfahren ankontaktiert werden, haben sich weitergehende Untersuchungen der Oechsler AG auf das direkte Umspritzen von LEDs auf Basis unterschiedlicher Schaltungsträger wie FR4-Leiterplatten, Stanzgitterstrukturen oder Foliensubstrate konzentriert. Wesentliche Frage-

stellungen bezogen sich dabei auf den Einfluss der Abdichtung im Werkzeug, des Kunststoffs, der Spritzgießparameter sowie des Schaltungsaufbaus auf die Kurz- und Langzeiteigenschaften der LEDs sowie auf den Wärmehaushalt des Systems. Bild 5 zeigt beispielhaft die bestückten Schaltungsstrukturen auf der Basis von FR4 und Stanzgitter sowie entsprechend umspritzte Prüfkörper. Die grundsätzliche Machbarkeit konnte dabei bereits aufgezeigt werden. Weitergehende Entwicklungen zielen nun zunehmend auf das Langzeitverhalten der Baugruppen ab. ■

**DIE AUTOREN**

DR.-ING. DIETMAR DRUMMER, geb. 1971, ist Leiter des Technologiemanagements bei der Oechsler AG.  
DIPLO.-ING. ROLAND DÖRFLER, geb. 1969 ist Projektmanager bei der Oechsler AG.  
Kontakt: info@oechsler.com

Dieser Beitrag ist Prof. em. Dr.-Ing. Dr. h. c. Gottfried W. Ehrenstein zum 70. Geburtstag gewidmet.

**SUMMARY KUNSTSTOFFE INTERNATIONAL**

**A Shining Example**

**FUNCTION INTEGRATION.** An LED lamp manufactured entirely by multi-component injection molding provides an excellent example. Integrating various functions such as lenses and circuit path as well as inserting the illuminant and resistance in the mold saves working steps and improves quality by shortening the process and tolerance chain.

NOTE: You can read the complete article in our magazine *Kunststoffe international* and by entering the document number PE104114 on our website at [www.kunststoffe-international.com](http://www.kunststoffe-international.com)



**Magnet-Spannsysteme + Wechseltechnik**  
- für Thermoplaste bis 130°C  
- für Elastomere und Duroplaste bis 240°C

transportieren, anheben, positionieren und spannen von Werkzeugen

- deutlich reduzierte Rüstkosten
- kleine Losgrößen wirtschaftlich fertigen
- keine Werkzeugänderung erforderlich
- vollflächige Kraftwirkung und bessere Temperaturverteilung
- schnelles Spannen ohne Spannrandhöhen und Werkzeuggrößen zu standardisieren
- mit integrierter Heizung lieferbar

Hilma-Römheld GmbH · 57271 Hilchenbach · Tel. 02733/281-116 · qmc@hilma.de · www.hilma.de