

# Herstellung einer kombinierten Primär- und Vorsatzoptik einer LED aus LSR mittels innovativer Werkzeugtechnik

C. Hopmann, M. Röbig, M. Kaup

*In vielen optischen Anwendungsbereichen, wie beispielsweise im Automobilbau, aber auch in Handykameras, Displays oder bei Lifestyle-Produkten, haben sich thermoplastische Kunststoffe gegenüber dem klassischen Werkstoff Glas durchgesetzt. Neben einer deutlichen Gewichtsreduktion zählen vor allem die große Designfreiheit, die geringen Herstellungskosten sowie die weitgehend überflüssige Nachbearbeitung zu ihren Stärken. Im Vergleich zum Werkstoff Glas muss jedoch bei der Auslegung die geringere thermische und chemische Beständigkeit sowie die geringere Stabilität gegen energiereiche, z. B. ultraviolette, Strahlung berücksichtigt werden. Insbesondere durch den Einsatz immer leistungsstärkerer Leuchtdioden (LEDs) stoßen thermoplastische Optiken an ihre Grenzen. Die Werkstoffklasse der hochtransparenten Flüssigsilikonkautschuke (LSR) kann hingegen die hohen Anforderungen erfüllen, sodass Kunststoffoptiken neue Anwendungsbereiche erschließen können.*

*For many optical applications, for example in the automobile manufacture, but also in camera phones, displays or in lifestyle-products the use of thermoplastic optics has been established as state of the art compared to the classical material glass. In addition to a significant weight reduction, the great freedom of design, the low production costs and mostly unnecessary post machining are their main advantages. For construction, however, the in comparison to the material glass lower thermal and chemical resistance as well as the lower stability against high-energy, e. g. ultraviolet, radiation has to be considered. Especially increasingly more powerful light-emitting diodes (LEDs) limit the usage of thermoplastic optics. In contrary, the material class of highly transparent liquid silicone rubber (LSR) is able to achieve the stringent requirements, so that plastic optics are able to open up new applications.*

## 1. Einleitung

LEDs erobern den globalen Wachstumsmarkt der Lichttechnologien. Sie halten durch ihre vielfältigen Vorteile Einzug in Anwendungen jeglicher Massenmärkte wie z. B. Consumer-Artikel (Mobiltelefone, LCD-Fernsehgeräte etc.), Beleuchtungsanwendungen im Heim- und Mobilitätsbereich (**Abb. 1**) sowie industri-

rielle Anwendungen. Ein wesentlicher Vorteil der LED ist die hohe Energieeffizienz. Setzt eine konventionelle Glühlampe ca. 5 % der elektrischen Leistung in Licht um, sind es bei einer LED bei kleinerem Bauraum ca. 20 % [1]. Somit lässt sich durch den Einsatz der LED als Lichtquelle an vielen Stellen nachhaltig Energie einsparen. Dabei ist zu beachten, dass die Entwicklung der LED noch nicht abgeschlossen ist.

## 2. Neues Potenzial für Kunststoffoptiken in LED-Anwendungen

Um den nutzbaren Lichtstrom anwendungsspezifisch zu maximieren, muss die Abstrahlcharakteristik u. U. mittels optischer Bauteile modifiziert werden. Heutzutage erfolgt dies häufig durch Einsatz einer Primär- und einer Vorsatzoptik (**Abb. 2**). Die Primäroptik einer LED schützt zum einen den Halbleiterkristall vor Umwelteinflüssen sowie mechanischen Belastungen und stellt zum anderen ein optisch wirksames Element dar. Den hohen mechanischen, thermischen und optischen Anforderungen an diese Optiken können thermoplastische Kunststoffe nicht genügen. Deshalb werden heutzutage nicht spritzgießfähige Vergussmassen, wie z. B. transparente Epoxidharze oder Polyurethane, eingesetzt. Da die Designfreiheit der Vergussmassen eingeschränkt ist, können die Primäroptiken oft nicht die gewünschte Lichtverteilung bereitstellen. Deshalb werden zusätzliche Vorsatz- und in einiger Entfernung von der LED Sekundäroptiken vorgesehen, welche in separaten Fertigungsschritten aus thermoplastischen Kunststoffen oder Glas hergestellt werden (**Abb. 3, oben**) [2, 3].

Auch bei den genannten Vergussmassen kommt es im Betrieb der LED aufgrund energiereicher Strahlung und einer Temperaturbelastung von ca. 150 °C zu Abbauerscheinungen, welche zum einen die Lebensdauer der LED senken und zum anderen die Lichtausbeute verringern [4, 5]. So degradieren Epoxidharze und Polyurethane bei sehr hohen thermischen Belastungen bereits nach wenigen Betriebsstunden [6]. Die Degradation eines Epoxidharzes als Kapselungsmaterial einer LED ist in **Abbildung 4** dargestellt.

Prof. Dr. Christian Hopmann,  
Malte Röbig M.Sc.  
roebig@ikv.rwth-aachen.de  
Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) an der  
RWTH Aachen, Aachen

Dipl.-Ing. Marc Kaup  
L-Lab / Hella KGaA Hueck & Co., Lippstadt



**Abb. 1:**  
Voll-LED-Scheinwerfer  
im Audi A6 (Hella)

Die Werkstoffklasse der hochtransparenten Flüssigsilikonkautschuke (LSR) bietet aufgrund ihrer guten thermischen Eigenschaften und hohen UV-Stabilität eine vielversprechende Alternative. Untersuchungen zeigen, dass LSR nach einer Wärmebelastung von 150 °C für neun Monate weder Einbußen in der Transparenz noch ein sichtbares Vergilben aufweist [7]. Die Transmission beträgt bei einer Formteildicke von 2 mm ca. 95 % im gesamten sichtbaren Wellenlängenbereich [8, 9]. Darüber hinaus ist LSR spritzgießfähig, sodass sich hinsichtlich der Designfreiheit und Wirtschaftlichkeit mindestens die gleichen Vorteile wie bei thermoplastischen Optiken ergeben. Deshalb kann die Lichtauskopplung durch das Design so vorgegeben werden, dass auf eine zusätzliche Vorsatzoptik verzichtet werden kann (**Abb. 3, unten**).

Im Gegensatz zum Thermoplastspritzgießen liegt LSR als Zweikomponentensystem vor und härtet nach einer Mischung im Verhältnis 1:1 durch eine thermisch aktivierte Vernetzungsreaktion im Werkzeug aus. Typische Werkzeugtemperaturen liegen im Bereich zwischen 130 und 220 °C [10]. Die Vernetzungsgeschwindigkeit beträgt je nach Material und Temperatur zwischen 3 und 7 mm/s, sodass auch dickwandige Bauteile in kurzen Zykluszeiten wirtschaftlich gefertigt werden können [10]. Durch die Vernetzungsreaktion kommt es zu einer gleichmäßigen thermischen Expansion, sodass sich, gepaart mit einer Kaltkanaltechnologie und der niedrigen Verarbeitungsviskosität, komplizierte Bauteile anguss- und nahezu eigenspannungs- und einfallstellenfrei herstellen lassen [10]. Insbesondere für optische Bauteile sind diese Vorteile essenziell.

präziser LSR-Optiken für LEDs. Dabei soll eine LED-Platine in das Spritzgießwerkzeug eingelegt und anschließend eine kombinierte Primär- und Vorsatzoptik aus LSR direkt auf den LED-Chip gespritzt werden. So können zum einen Montageteile und -schritte eingespart werden. Zum anderen kann die Lichtemission erhöht werden, da keine Lichtverluste beim Übergang zwischen Primär- und Vorsatzoptik entstehen. Im Folgenden werden die optische Auslegung und die Werkzeugtechnik vorgestellt und im Detail erläutert.

### 3. Optische Auslegung der kombinierten Primär- und Vorsatzoptiken

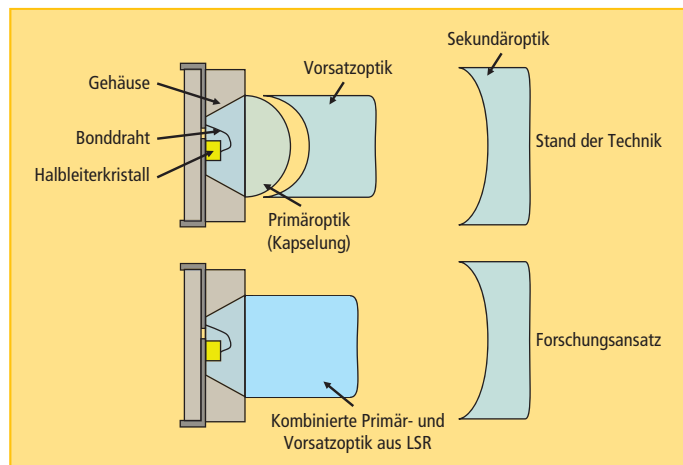
Um die LED mit LSR-Optik beispielsweise im Automobilbereich einsetzen zu können, müssen die optische Wirkung der Optik im Vorfeld geprüft und deren Geometrie ausgelegt werden. Im Rahmen des Verbundprojekts soll die Umsetzung eines Fernlichtmoduls für einen Kraftfahrzeugscheinwerfer untersucht werden. Als Lichtquelle kommt eine Multi-Chip-Hochleistungs-LED zum Einsatz. Die Halbleiterlichtquelle besitzt eine Lambert'sche Abstrahlcharakteristik, d. h. die Strahldichte ist unabhängig vom Abstrahlwinkel. Diese Charakteristik wird durch die LSR-Optik gezielt modifiziert, um die Effizienz des Gesamtsystems deutlich zu steigern. Das emittierte Licht der Diode wird mittels des applizierten Silicons stärker gebündelt, sodass mehr Strahlen die Linse treffen, die als Auskoppeloptik fungiert. **Abbildung 5** veranschaulicht die wichtigsten optisch-lichttechnischen Komponenten sowie das Funktionsprinzip des Moduls.

Der Brechungsindex des transparenten Silicons ist mit  $n \approx 1,41$  (bei 589 nm und 23 °C) relativ gering im Vergleich zu PC, PMMA oder

**Abb. 2:** LED mit Primäroptik und zusätzlicher Vorsatzoptik (Lumitronix)

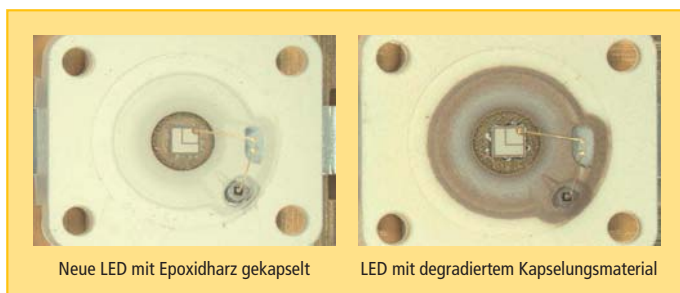


Das Ziel eines von der DFG geförderten Transferprojekts im Rahmen des Sonderforschungsbereichs SFB/TR4 mit den Partnern Hella KGaA Hueck & Co., Lippstadt, Momentive Performance Materials GmbH, Leverkusen, und Elmet Elastomere Produktions- und Dienstleistungs-GmbH, Oftring, Österreich, besteht in der Erforschung eines hochintegrierten Spritzgießprozesses zur Herstellung

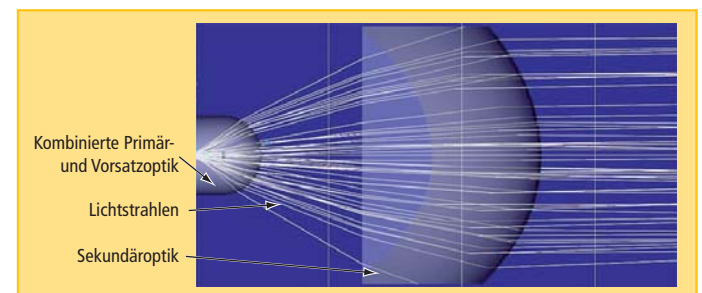


**Abb. 3:** Stand der Technik: LED mit Primäroptik und zusätzlicher Vorsatzoptik (oben) – Forschungsansatz: Kombinierte Primär- und Vorsatzoptik aus Flüssigsilikonkautschuk (LSR) für LED-Anwendungen (unten)

**Abb. 4:** Degradation der Kapselung einer LED aus Epoxidharz (Osram)



**Abb. 5:** Funktionsprinzip Primäroptik – Seitenansicht der Raytracing-Analyse



Gläsern. Allerdings kann dies durch Formgebung der Optik kompensiert werden. Darüber hinaus geht ein geringerer Brechungsindex auch mit einer geringeren Fresnel-Reflexion an den Grenzflächen einher, was positiv zu bewerten ist, da so ein größerer Lichtanteil aus der Optik ausgekoppelt werden kann. Prinzipiell trägt die LSR-Optik zur Steigerung der Lichtausbeute durch Veränderung des Umgebungsmediums der LED bei. Die Differenz der Brechzahlen wird gegenüber dem Medium Luft ( $n \approx 1$ ) herab-, die Zahl der ausgekoppelten Strahlen heraufgesetzt. Einer ungewollten Veränderung des Spektrums der emittierten Strahlung muss jedoch im Hinblick auf eine Serienanwendung ggf. durch die Anpassung des Konverters (Leuchtstoff) Rechnung getragen werden.

#### 4. Werkzeugkonzept für einen integrativen Spritzgießprozess

Um in einem integrativen Spritzgießprozess eine kombinierte Primär- und Vorsatzoptik aus LSR direkt auf eine LED-Platine aufzuspritzen, wird im Rahmen des Forschungsprojekts ein entsprechendes Spritzgießwerkzeug ausgelegt und gefertigt. Das Werkzeug wird modular mit verschiedenen optischen Formeinsätzen (Abb. 6) aufgebaut, damit die LED-Typen und das Optikdesign variiert werden können. Bei der Auslegung müssen insbesondere die Anforderungen und Randbedingungen der Werkstoffklasse LSR und der LED-Platine berücksichtigt werden, welche im Folgenden erläutert werden.

Im Vergleich zum Thermoplastspritzgießen müssen Werkzeuge für LSR aufgrund der deutlich niedrigeren Verarbeitungsviskositäten enger toleriert werden. Insbesondere bei optischen Anwendungen muss sichergestellt sein, dass kein LSR in Spalte zwischen zwei Werkzeugelementen fließt, dort vernetzt und die Optik im nächsten Zyklus verunreinigt. Die in das Werkzeug eingelegte LED-Platine stellt dabei eine besondere Herausforderung an die Abdichtung dar. Während der LED-Chip mit LSR überspritzt werden soll, darf weder die Kontaktierung der LED noch die Rückseite der Platine, über welche im Betrieb die Wärme abgeführt wird, mit dem niedrigviskosen LSR überspritzt werden. Die Platine lässt sich an der Vorderseite aufgrund

verschiedener empfindlicher Beschichtungen mit unterschiedlichen Schichtdicken nur sehr schlecht abdichten. Deshalb werden bei dem entwickelten Werkzeugkonzept die Ränder der LED-Platine sowie die Kontaktierungspunkte beim Zufahren des Werkzeugs gezielt abgedrückt, um so die Kontaktierung und die Rückseite der Platine gegen das LSR abzudichten.

Um die Position der Linsen exakt festzulegen und eine reproduzierbare Herstellung zu gewährleisten, ist es notwendig, die LED-Platine zu zentrieren. Dazu dienen zwei düsenseitig in das Werkzeug eingelassene Zentrierstifte, welche die LED in zwei Bohrungen fixieren.

Ein weiteres Augenmerk liegt in der rheologischen und thermischen Werkzeugauslegung. Dabei muss ein geeignetes Angussystem bestimmt werden, mit welchem die Kavität vollständig und ohne Lufteinschlüsse und Bindenähte gefüllt werden kann. Die Angussposition befindet sich aus

konstruktiven Gründen auf der Rückseite der LED-Platine, sodass das Formteil durch eine Aussparung in der Platine gefüllt wird (Abb. 7). Ferner muss durch eine entsprechende Werkzeugbeheizung eine rasche und homogene Materialvernetzung realisiert werden. Die Füllung und Vernetzung

Abb. 6: Formeinsatz zur Abformung einer kombinierten Primär- und Vorsatzoptik aus LSR

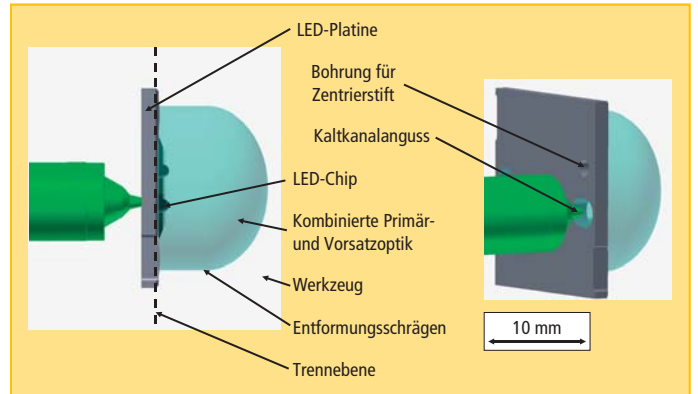
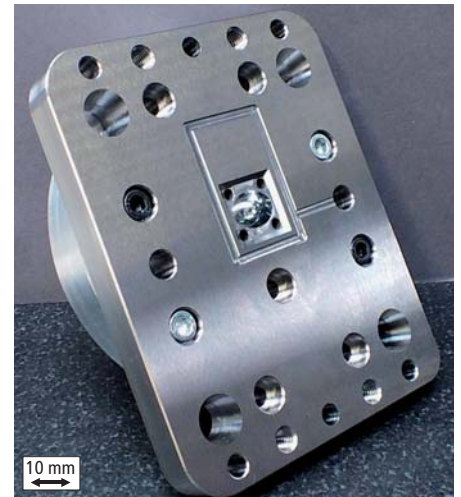
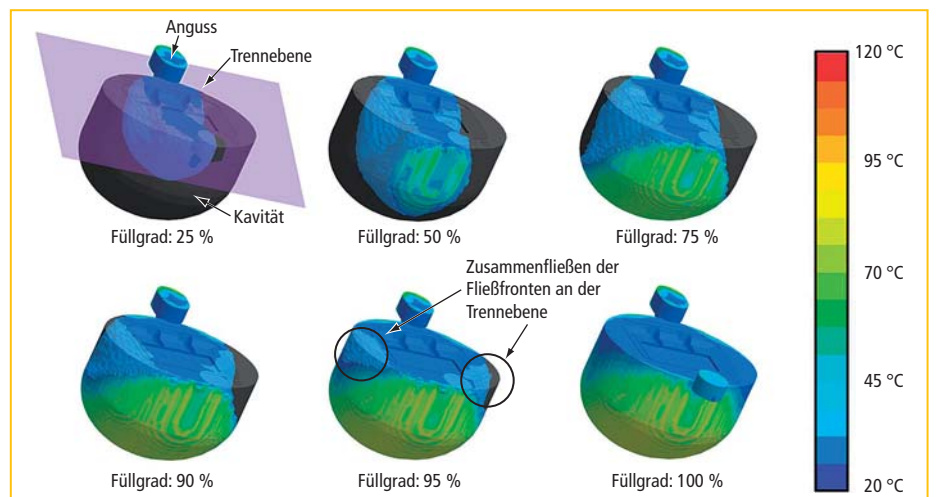


Abb. 7: Angussposition der LSR-Optik an der Rückseite der Platine

Abb. 8: Simulierte Temperaturverteilung des LSRs während der Einspritzphase mit Sigmasoft



des LSRs werden vor der Fertigung simuliert. Insbesondere die Gefahr einer Bauteilschädigung durch zu hohe Druck- und Temperaturbelastungen in der Einspritzphase, Luft einschlüsse oder Bindenähte können durch die Simulation des Prozesses im Vorfeld detektiert werden. Zur Durchführung der Simulation werden thermische und rheologische Materialdaten benötigt. Dazu zählen die spezifische Wärmekapazität, die Wärmeleitfähigkeit aber auch das pVT-Verhalten und die Viskosität. Bei vernetzten Systemen müssen darüber hinaus die Vernetzungskinetik und Reaktionsenthalpie bestimmt werden. Die gemessenen Materialdaten werden dann in Form von Materialkarten zusammengefasst und in eine Simulationssoftware implementiert.

In **Abbildung 8** ist die Temperaturverteilung des LSRs während der Füllphase in einer Simulation mit der Simulationssoftware Sigmasoft, Sigma Engineering GmbH, Aachen, dargestellt. Während der Füllphase tritt aufgrund der niedrigen Verarbeitungsviskosität und der großen Dicke der Optik eine leichte Freistrahlabbildung auf. Aufgrund des geringen Temperaturanstiegs an der Fließfront und der niedrigen Viskosität kann eine frühzeitige Vernetzung ausgeschlossen und von einer guten Durchmischung der Fließfronten ausgegangen werden. Folglich ist die Ausbildung von Bindenähten, welche die optischen Eigenschaften beeinträchtigen würden, nicht zu erwarten. Die Fließfronten fließen im Bereich der Platine zusammen, sodass die Luft über die Trennebene entweichen kann. Um Luft einschlüsse auch im Bereich des Chips auszuschließen, wird die Kavität vor dem Einspritzen evakuiert. Bei einer Werkzeugtemperatur von 135 °C liegt der maximale Werkzeuginnendruck unterhalb von 50 bar. Darüber hinaus treten am LED-Chip keine größeren Schubbelastungen auf, sodass eine Beschädigung des LED-Chips bzw. des Bonddrahtes während der Füllphase nicht zu er-

warten ist. Während der Vernetzung des LSRs nimmt der Werkzeuginnendruck aufgrund der thermischen Expansion des Materials deutlich zu. Inwieweit dieser Druckanstieg zu einer Beschädigung der LED-Komponenten führen kann, muss in praktischen Versuchen evaluiert werden.

Eine weitere Herausforderung liegt in der Entformung der LSR-Optiken. Aufgrund der leichten Verformbarkeit von LSR ist eine Entformung durch Auswerferstifte nicht zielführend. Die Formteile sollen deshalb mithilfe eines Handlingsystems entnommen werden. Um eine beschädigungsfreie Entformung zu ermöglichen, ist bei der optischen Auslegung eine Entformungsschräge an den Flanken der Optik berücksichtigt worden (**Abb. 7**).

## 5. Ausblick

Nach der Fertigung des Werkzeugs werden umfangreiche Spritzgießuntersuchungen durchgeführt und ein geeignetes Prozessfenster bestimmt. Dabei sollen unterschiedliche LED- und LSR-Typen eingesetzt werden. Die replizierten Optiken werden hinsichtlich ihrer optischen Leistungsfähigkeit (Lichtstärke und Lichtverteilung) sowie Abformgenauigkeit untersucht. Langzeittests sollen Aufschluss über die Lebensdauer der LED-Platinen mit aufgespritzter LSR-Optik geben. Ferner werden Abformung und Einsatz von optischen Mikrostrukturen mit LSR untersucht. Dazu werden eine entsprechende Optik und Formeinsätze ausgelegt und abgeformt.

## 6. Dank

Die vorgestellten Arbeiten wurden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Sonderforschungs-

bereichs TR4 finanziell gefördert. Ihr gilt unser ausdrücklicher Dank. Ferner danken wir unseren Projektpartnern der Hella KGaA Hueck & Co., Lippstadt, der Momentive Performance Materials GmbH, Leverkusen, und der Elmet Elastomere Produktions- und Dienstleistungs-GmbH, Oftring, Österreich.

## 7. Literatur

- [1] Drummer, D., Dörfler, R., Leuchtendes Beispiel – Funktionsintegration, *Kunststoffe* 11 (2007), 64
- [2] Angermaier, K., Müller, P., Zeit und Kosten sparen, *Kunststoffe* 100/4 (2010), 73
- [3] Döbler, M., Schiemann, F., Linsenoptiken von LEDs aus Polycarbonat, *Kunststoffe* 96/11 (2006), 116
- [4] Hodgkin, M. J., Epoxies for OptoElectronic, Packaging, Applications and Material Properties, Proceedings of the 36<sup>th</sup> Annual IMAPS Conference, Boston, MA, USA, 2003
- [5] Kräuter, G., Transparente Kunststoffe für LED-Anwendungen, Umdruck zum Seminar Herstellung und Untersuchung von optischen Kunststoffprodukten, Würzburg, 2007
- [6] Norris, A. W., Bahadur, M., Yoshitake, M., Novel silicone materials for LED packaging, Proceedings of the Fifth International Conference on Solid State Lighting, San Diego, CA, USA, 2005
- [7] Bayerl, H., High transparent LSR – Material between Polymer and Glass, Umdruck der Aachener Kunststoffoptiktage, Aachen, 2014
- [8] Müller, P., Silicone – höchste Transparenz und Beständigkeit für Optoanwendungen, Umdruck zum Seminar Optische Kunststoff-Formteile in Design und Technik, Würzburg, 2011
- [9] Wrobel, D., Flüssigsilikonkautschuk (LSR) für optische Anwendungen, Umdruck zur Fachtagung Optische Komponenten aus Kunststoff – Die gesamte Prozesskette im Blick, Aachen, 2011
- [10] Ronnewinkel, C., Mehrkomponentenspritzgießen von Flüssigsilikon-Thermoplast-Verbundbauteilen, RWTH Aachen, Dissertation, 2000

