



Trends bei Automobil-Scheinwerfern

Herausforderungen und Chancen für Thermoplaste

Joachim Queisser, Michael Geprächs und Rüdiger Bluhm, Ludwigshafen, Gerd Ickes, Alzenau

Hoch entwickelte Beleuchtungssysteme verlangen zunehmend Werkstoffe, die höheren Anforderungen hinsichtlich der Eigenschaften und des Designs genügen müssen. Daraus ergeben sich Einsatzmöglichkeiten für Kunststoffe, vor allem aber für Technische und Hochtemperatur-Thermoplaste.

Heutige Entwicklungen bei Scheinwerfersystemen im Automobilbereich sind geprägt durch die teilweise gegenläufigen Forderungen nach erhöhter Verkehrssicherheit, einer Verringerung des Kraftstoffverbrauchs durch aerodynamische Auslegung und platz sparende Bauweise sowie einem modernen, dem Fahrzeugtyp angepassten Design. Diese Tendenzen haben dazu geführt, dass neben den früher ausnahmslos verwendeten Paraboloid-Scheinwerfern zwei hinsichtlich Lichtausnutzung (lichtoptische Eigenschaften, Verluste) und Platzbedarf optimierte Grundtypen entwickelt wurden: die Projektions(Ellipsoid, Polyellipsoid)- und Frei-Flächen-Scheinwerfer.

Auch bei den Lampen sind neben Neuentwicklungen bei Halogenlampen die Gasentladungslampen dazugekommen, welche einen höheren Spektralanteil im sichtbaren Bereich liefern und gegenüber Halogenlampen u. a. den Vorteil geringerer Temperaturbelastung für den gesamten Scheinwerfer aufweisen. Wel-

cher Scheinwerfertyp mit welcher Lampe dann im Fahrzeug zum Einsatz kommt, hängt schließlich von einer Abwägung des zur Verfügung stehenden Bauvolumens mit den lichttechnischen Anforderungen und Designvorstellungen ab.

Anforderungen bestimmen die Materialwahl

Mit der Entwicklung der Systeme wuchsen auch die Anforderungen an die Materialien. So müssen die in diesem Bereich eingesetzten Werkstoffe heute hinsichtlich Fertigungstoleranzen, designflexibler Verarbeitbarkeit, Dimensionsbeständigkeit in der Wärme, mechanischer Festigkeit und insbesondere Oberflächengüte der Teile deutlich strengeren Anforderungen genügen. Da z. B. die Abdeckscheiben von Frei-Flächen-Scheinwerfern in Folge der optimierten Lichtausnutzung und -verteilung dieses Reflektortyps meist ohne Profilierung ge-

staltet werden können, sind heute Klarsichtscheiben aus Polycarbonat (PC) oder Glas im Einsatz. Dies hat die Oberflächen-Anforderungen der sichtbaren Elemente (z. B. Reflektor, Blendrahmen) noch erhöht (Bild 1A und B). Wo möglich, werden die lange etablierten Materialien wie Metall, Glas oder Duroplast durch die einfacher und flexibler verarbeitbaren, leichteren Thermoplaste ersetzt. Diese erlauben die direkte Abbildung komplizierter Geometrien durch den Spritzgießprozess und können ohne Nacharbeit als Funktionsteile eingesetzt werden.

Die Materialwahl für die einzelnen Komponenten des Scheinwerfersystems hängt von den funktionsbedingten Anforderungen ab. Frontscheinwerfersysteme, die hier ausschließlich behandelt werden sollen, variieren zwar sehr stark mit dem Fahrzeugmodell, sind aber prinzipiell aus folgenden Elementen aufgebaut:

- ▶ Gehäuse,
- ▶ Beleuchtungseinheit (Lampen, Reflektoren und Halterungen),



Bild 1A. Frontscheinwerfer: vorn - Aufbau aus Klarsichtscheibe, Beleuchtungseinheit (Reflektor aus metallisiertem Ultrason E, Lampen) und Gehäuse; hinten - montierter Scheinwerfer, aufgebaut aus teilprofiliertes Abdeckscheibe, Blende (metallisiertes Ultradur B 4520), Beleuchtungseinheit und Gehäuse



Bild 1B. Nebelscheinwerfer: Aufbau aus Klarsichtscheibe, Beleuchtungseinheit und Gehäuse (Ultrason E)

- ▶ Blendrahmen (nicht immer als einzelnes Element vorhanden) sowie
- ▶ Linse, Streu- oder Abdeckscheibe.

Wesentliche Kriterien für die Materialwahl sind die Temperaturanforderung sowie die erforderliche Oberflächengüte, die sich aus konstruktiven und einbautechnischen Gründen ergeben. Das Spektrum bei den Thermoplasten reicht von Polypropylen bis hin zu den Hochtemperaturwerkstoffen (HT) Polyethersulfon und Polyetherimid (Bild 2).

Gehäuse: Bei den Gehäusen sind mechanische Festigkeit und Temperaturbeständigkeit entscheidend. So genügt bei großen Hauptscheinwerfern in der Regel glasfaserverstärktes Polypropylen (PP) bereits den Temperaturanforderungen. Für weiter integrierte Scheinwerfergehäuse mit komplexeren Anforderungen sowie insbesondere Gehäuse der kleinen, höheren Temperaturen ausgesetzten Nebelscheinwerfer stehen höherwertige Thermoplaste zur Verfügung. Dies können beispielsweise Polybutylenterephthalat (glasfaserverstärktes PBT; z. B. Ultradur der BASFAG) oder sogar

Poly(arylenethersulfone) (PES, PSU; z. B. Ultrason E bzw. S der BASF) sein, die größere Designfreiheiten ermöglichen.

Beleuchtungseinheit: In der Beleuchtungseinheit treten naturgemäß die höchsten Temperaturen auf. Die Reflektoren sind daher entweder aus Blech oder metallisierten Spritzgussteilen aus Duroplast (BMC) oder amorphem HT-Thermoplast (PC-HT, PEI, PSU, PES). Die hohen Toleranzanforderungen, gekoppelt mit der für die Metallisierung erforderlichen Oberflächengüte der Spritzgussteile, werden nur von unverstärkten amorphen HT-Thermoplasten oder lackiertem Duroplast erfüllt. Der Einsatz teilkristalliner Werkstoffe wird hier nicht praktiziert. Wenn die optischen Anforderungen gering sind und/oder Spitzentemperaturen > 220 °C erwartet werden, kommt Blech zum Einsatz.

BMC und HT-Thermoplaste konkurrieren dagegen als Materialien stark im Reflektorbereich. Während der Duroplast zwar den deutlich geringeren Materialpreis aufweist, ergeben sich in der Auslegung und Fertigung des Reflektors mit einem HT-Thermoplast entscheidende Vorteile, wie

- ▶ Verarbeitungsvorteile - kürzere Zykluszeiten, keine Nacharbeit (z. B. Lackieren, Entgraten), Ausschussquote sehr gering,
- ▶ exzellente Oberflächenqualität, direkt metallisierbare Teile,
- ▶ deutliche Gewichtsersparnis (bis zu 50 %) durch geringere Dichte und Auslegung in geringerer Wanddicke,

- ▶ größere Designfreiheit (komplexe Geometrien mit Funktionselementen) sowie
- ▶ Recycling.

Trotz der sich aus diesen Punkten ergebenden Nachteile in den Fertigungskosten wird BMC vor allen Dingen bei größeren Reflektoren noch überwiegend eingesetzt, da der deutlich günstigere Materialpreis hier letztlich den Ausschlag gibt.

Je nach Reflektortyp und den damit geforderten Spitzentemperaturen konkurrieren unter den HT-Kunststoffen wieder verschiedene Thermoplaste miteinander. Größere Reflektoren mit Temperaturen bis 180 °C erlauben noch den Einsatz von PSU, während für kleine, kompakte Reflektoren bis 195 °C höherwertige PC-HT-Typen und bei Beanspruchungen bis 210 °C nur noch PEI und PES eingesetzt werden. Die oben genannten Vorteile gegenüber BMC gelten für alle genannten Thermoplaste. Unterschiede weisen sie untereinander aber vor allen Dingen in der Verarbeitung, hinsichtlich Fließfähigkeit und Metallisierbarkeit sowie in der Dauertemperaturbeständigkeit auf. Im Vergleich zu PC-HT und PEI weisen die BASF-Materialien Ultrason E und S Vorteile auf wie

- ▶ höhere Dimensionsstabilität in der Wärme (für Ultrason S und E kurzzeitig bis T = 180 bzw. 220 °C),
- ▶ höhere Irisiertemperatur (für Ultrason E bis 212 °C),
- ▶ bessere Fließfähigkeit unter den jeweiligen Verarbeitungsbedingungen,
- ▶ im Vergleich zu PEI bessere Metallhaftung (günstig für Metallisierung) sowie
- ▶ höhere Schlagzähigkeit.

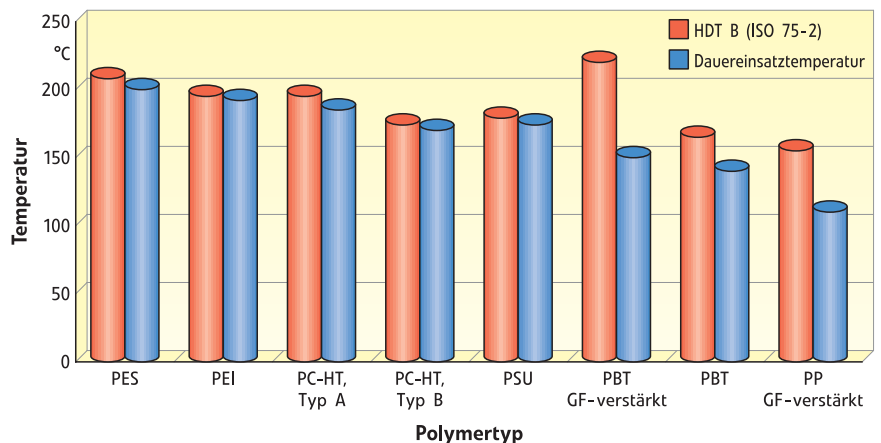


Bild 2. Wärmeformbeständigkeiten HDT-B (ISO 75-2, Quelle: Campus 4.5) und Dauereinsatztemperaturbereiche einiger Thermoplaste

Bild 3. Beispiele für Scheinwerferblenden aus metallisiertem Ultradur B4520 Q112.



Hinsichtlich der Dichte und UV-Stabilität sind dagegen PC-HT und PEI leicht im Vorteil. Letztlich gibt unter weitestgehend vergleichbaren Materialien dann die Kostenkalkulation auf Basis des Materialpreises sowie der materialabhängigen Geometriegestaltung (Teilgewicht) und Verarbeitungsprozedur (Prozesskosten) den Ausschlag für den Einsatz.

Blendrahmen: Durch die Einführung der Klarglaslinsen, die auf dem europäischen Markt in dem überwiegenden Teil neuer Kfz-Modelle eingesetzt werden, haben die Blendrahmen eine große Bedeutung erlangt. Heutige Blendrahmen werden zumeist vollständig metallisiert. Neben der Basisfunktion als Bestandteil des Hauptscheinwerfers zur Anpassung an Kotflügel- bzw. Motorhauben-Geometrien und beleuchtungstechnischer Funktionen, treten vor allem stilistische Merkmale zunehmend in der Vordergrund. Wesentliche Anforderungen an Blendrahmen sind

- ▶ leichte Verarbeitbarkeit,
- ▶ hervorragende Oberflächengüte,
- ▶ leichte Metallisierbarkeit,
- ▶ Beständigkeit gegenüber Umwelteinflüssen und Feuchte,
- ▶ Temperaturbeständigkeit und
- ▶ Dimensionsstabilität.

Darüber hinaus werden zunehmend weitere Funktionseinheiten, beispielsweise Reflektoren für Seitenblinker, in den Blendrahmen integriert.

Um diesem Anforderungsprofil gerecht zu werden, wird zurzeit eine breite Palette von Thermoplasten ausgehend von technischen Kunststoffen über Polymerblends bis zu HT-Kunststoffen eingesetzt. Beispiele sind Polyamid, Polycarbonat, Blends auf Basis von PBT und PC sowie Polysulfon. Die Verwendung von Polyolefinen ist aufgrund der unzureichenden Beständigkeit der Metallschicht und der geringen thermischen Belastbarkeit stark limitiert. Unter diesen Thermoplasten hat sich vor allem PBT, beispielsweise Ultradur B 4520, als vorteilhaft erwiesen, da ausgewogene Polymereigenschaften mit exzellenter Verarbeitbarkeit kombiniert werden. PBT ist aufgrund der sehr geringen Wasseraufnahme hervorragend dimensionsstabil bei gleichzeitig hoher Dauergebrauchstemperatur. Diese liegt deutlich über derjenigen der Polymerblends. Somit ist eine Integration weite-

rer thermisch anspruchsvoller Funktionen, wie oben erwähnt, ermöglicht.

Zur Lösung spezieller thermischer Anforderungen kommen HT-Thermoplaste, wie beispielsweise Ultron E oder S 2010, zum Einsatz, deren Verwendung aus ökonomischen Gründen jedoch limitiert ist. Im Portfolio der BASF AG stehen somit die Werkstoffe Ultradur und Ultron zur Auswahl, die es erleichtern, Funktionalität und Design unter Gewichtsreduktions- und Kostenaspekten zu integrieren.

Abdeckscheiben: Während die Linsen der Projektionsreflektoren naturgemäß eine entscheidende optische Funktion für die Ausleuchtung der Straße haben, muss bei den Abdeckscheiben zwischen solchen mit und ohne Profilierung unterschieden werden. Im letzteren Falle fungieren sie lediglich als „Schutz“ der Reflektoreinheit. Sie werden durchweg aus Glas oder PC gefertigt.

Beispiele für Haupt- und Nebelscheinwerfer-Reflektoren, in denen Ultradur und Ultron als Blendrahmen bzw. Gehäuse und Reflektoren zum Einsatz kommen, sind exemplarisch in Bild 3 und im Titelbild zu sehen. Für den Einsatz in Scheinwerfersystemen werden von der BASF AG eine Reihe geeigneter Produkttypen dieser Thermoplaste angeboten. So sind neben den Standardmarken u. a. solche mit verbessertem Entformungsverhalten erhältlich.

Im Vakuum veredeln

Scheinwerfer-Blenden und -Reflektoren oder andere Kunststoff-Formteile werden mit Vakuum-Beschichtungsverfahren einfach und schnell mit einer Reflexionsschicht versehen.

Die Beschichtungsanlagen können leicht in die Produktion integriert wer-



Bild 4. Sputter-Durchlaufanlage DynaMet 4V zur vollautomatischen Vakuum-Beschichtung von Reflektoren

den. Sputteranlagen, wie die vom Typ DynaMet (Bild 4) der Firma Leybold Optics, Alzenau, können sogar direkt mit anderen Stationen wie dem Spritzgießen verkettet werden. Die in Vakuumanlagen aufgetragenen Spiegelschichten sind sehr dünn, so dass mit Beschichtungsverfahren wie dem Aufdampfen, der Kathodenzerstäubung (Sputtern) und dem Plasma-CVD-Verfahren selbst temperaturempfindliche Kunststoffarten be-

werden müssen. Zur Durchführung des Verfahrens genügt dieselbe Einrichtung wie beim Plasma-Reinigen. Als gasförmige Ausgangssubstanz werden organische Siliziumverbindungen wie Siloxane verwendet, die im Plasma angeregt und fragmentiert werden. Dabei entstehen makromolekulare Netzwerke, die sich als geschlossene Schichten auch auf kompliziert geformten Substraten gleichmäßig abscheiden.

Für den reinen Korrosionsschutz von Aluminium-Spiegelschichten, z. B. auf Scheinwerferreflektoren, sind Schichtdicken von 25 bis 50 nm ausreichend. Auch eine Wischfestigkeit kann mit besonders harten, aber immer noch sehr dünnen Polymer-Schichtdicken erzielt werden. Ist Kratzschutz erforderlich, muss momentan noch Lack als Top-Coat eingesetzt werden. In den F & E-Labors von Leybold Optics wird jedoch intensiv an der Entwicklung industriell einsetzbarer Verfahren gearbeitet, um transparente Kratzschutzschichten im Vakuum herzustellen.

Zur Metallisierung des Formteils wird bei Automobilscheinwerfern Aluminium verwendet. Zwei Vakuum-Beschichtungsverfahren stehen hier zur Auswahl: Das klassische Aufdampfverfahren, das in chargenweise betriebenen Einkammeranlagen eingesetzt wird, und das gut zu automatisierende Sputterverfahren, mit dem in kontinuierlich arbeitenden DynaMet-Anlagen Scheinwerferreflektoren in verketteten Linien produziert werden.

Diskontinuierlich oder kontinuierlich

Das Aufdampfen hat den Vorteil, dass der apparative Aufwand relativ gering ist, was die Investitionskosten niedrig hält. Die entsprechenden Vakuum-Einkammeranlagen sind deshalb immer noch sehr weit verbreitet. Thermisches Aufdampfen ist verfahrenstechnisch sehr zuverlässig und hochwertig. Anlagentechnisch bedeutet der diskontinuierliche Betrieb jedoch die Notwendigkeit einer Zwischenlagerung der Formteile vor und nach der Metallisierung. Die Verdampferquellen (Wendeln) müssen regelmäßig erneuert werden, weiterhin muss nach jeder Charge Aluminium nachgelegt werden. Auch müssen für jedes Beschichtungsgut relativ sperrige, maßgeschneiderte Befestigungs- und Maskierungsteile angefertigt, gelagert und vorgehalten werden.

Wesentlich einfacher vom Handling und damit auch einfacher zu automatisieren sind Sputter-Durchlaufanlagen wie die in Bild 4 gezeigte DynaMet 4V. Dieser sehr kompakte Anlagentyp besteht aus vier Behandlungsstationen in einer kreisförmigen Anordnung. In der Mitte dreht sich trommelartig die Substrathalterung mit den Reflektoren, die in der ersten Kammer be- bzw. entladen, in der nächsten vorbehandelt, dann metallisiert und schließlich mit einem Top-Coat versehen werden (Bild 5). Der Prozess läuft vollautomatisch, und auch die Be- und Entladung der Anlage kann automatisch erfolgen. Die Chargenzeit liegt mit ca. 36 s in der Größenordnung von Spritzgießmaschinen oder Lackierrobotern. Dies und die bereits werkseitig mitgelieferte automatische Beladeein-

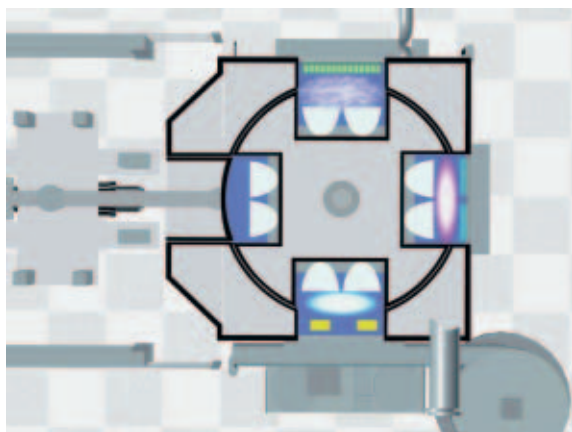


Bild 5. Aufsicht des DynaMet-Anlagenkonzeptes: Be- und Entladen, Vorbehandeln, Metallisieren und Top-Coat in einem Rundlauf

schichtet werden können. Bei stark ausgasenden Kunststoffen und Formteilen mit sehr rauen Oberflächen empfiehlt sich ein Basislack. Bei den hier diskutierten technischen Kunststoffen PBT und PES, PSU ist ein Grundlack wegen der sehr guten Oberflächenqualität der Substrate nicht notwendig.

Zur Sicherstellung guter Hafteigenschaften können die meisten technischen Kunststoffe mit einer Vakuum-Beglimmung vorbehandelt werden. Dies dient zur Entfernung von Wasserdampf und zur Aktivierung der Oberfläche. Bei Vakuum-Metallisierungsverfahren bieten sich hierzu Plasmaverfahren an, die in Vakuumanlagen integriert werden können, um so Produktionszeiten und -kosten zu reduzieren. Einschränkungen gibt es generell bei Polyolefinen und auch bei einigen speziellen Kunststoffarten wie PMMA und POM.

Der wachsende Kostendruck verstärkt das Bestreben, Lackierschritte durch alternative Verfahren zu ersetzen. Hier bietet sich die Plasma-CVD-Technik an, da bei diesem Vakuum-Verfahren keine teuren Umweltauflagen wie für Lackiereinrichtungen, Lackschlammensorgungen oder Lösemitteldämpfe einkalkuliert

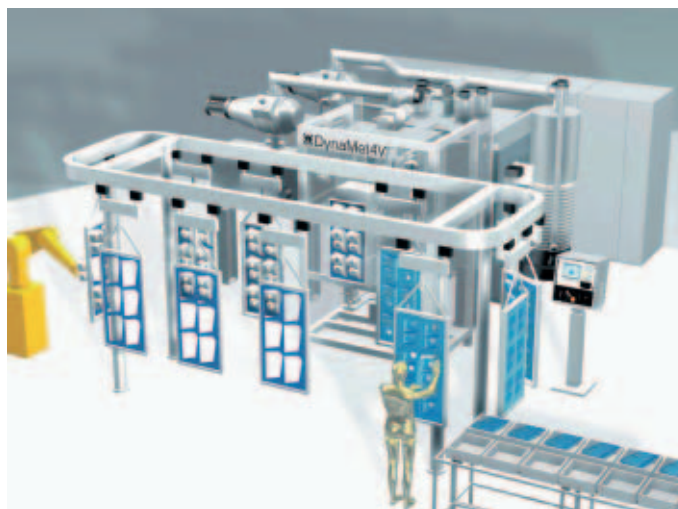


Bild 6. Verkettung der DynaMet-Anlage mit anderen Produktionsstationen

richtung ermöglichen eine direkte Verkettung mit anderen Produktionsstationen (Bild 6).

Die in solchen Mehrkammer-Durchlaufanlagen eingesetzten Beschichtungsprozesse sind die PE-CVD-Technik zur Vor- und Nachbehandlung sowie der Sputterprozess zur Metallisierung. Beim Sputterverfahren wird der Beschichtungswerkstoff durch Ionenbeschuss von einer Metallplatte – dem so genannten Target – abgetragen und auf das Substrat gelenkt. Der Prozess ist sehr gut zu kontrollieren. Die herstellbaren Beschichtungsqualitäten entsprechen höchsten Ansprüchen an Gleichmäßigkeit und Haftung. Außer Produktivität und Qualität ist ein weiterer großer Vorteil dieses Verfahrens seine Vielseitigkeit. Neben Aluminium kann auch eine Vielzahl weiterer Metalle und Metallegierungen abgeschieden werden. Dies eröffnet Möglichkeiten für Ingenieure wie Designer, die über die Funktion einer Aluminium-Spiegelschicht hinausgehen. So können z. B. farbige Reflexionsschichten oder Schichten mit ganz anderen Funktionen wie Kratz- oder Korrosionsschutz im Vakuum hergestellt werden.

■ Ausblick

Neue Ansätze bei der Fahrzeugbeleuchtung wie die zentrale Lichtquelle (Lichtverteilung auf die Linsen über Faseroptik), der zunehmende Einsatz von LED, sensorisch gesteuerte schwenkbare Beleuchtungseinheiten oder die vorausschauende Lichtkontrolle über Satelliten-Navigationssysteme (GPS) stehen derzeit in der Entwicklungsphase und bedürfen auch noch der Zustimmung des Gesetzgebers, von dem hier klare Vorgaben und Richtlinien erwartet werden [1 bis 4].

Weiterhin findet im Zuge der Komplexitätsreduzierung eine zunehmende Integration von Scheinwerferkomponenten zu hoch entwickelten Beleuchtungssystemen statt, die höhere Materialanforderungen erwarten lassen.

Welche Auswirkungen diese neuen Trends auf den Einsatz von Kunststoffen dann haben werden, ist noch nicht klar. Mit Sicherheit ergeben sich aber für derartige „intelligente Beleuchtungssysteme“ wieder ganz neue Herausforderungen und Chancen für Thermoplaste.

■ Literatur

- 1 Adcock, I.: Lights shoot ahead of legislation. *European Automotive Design* Sept. 2001, S. 57–60
- 2 Wördenweber, B.; Lachmeyer, R.; Witt, U.: Intelligente Frontbeleuchtung. *Automobiltechnische Zeitschrift* 98 (1996) 10, S. 546–551
- 3 Strassmann, B.: Das Licht denkt mit. *Die Zeit* Nr. 10, 1999, S. 31
- 4 Fröhlich-Merz, G.: Um die Kurve leuchten. *Süddeutsche Zeitung* Nr. 106, 2001, S. VP2/15

■ Die Autoren dieses Beitrags

Dr. Joachim Queisser, geb. 1967, arbeitet als Technischer Produktmanager für Ultraschall in der Einheit Engineering Plastics Europe der BASF AG, Ludwigshafen.

Dr. Michael Geprägs, geb. 1966, arbeitet als Technischer Produktmanager für Ultraschall in der Einheit Engineering Plastics Europe im gleichen Unternehmen.

Dr. Rüdiger Bluhm, geb. 1964, ist Technischer Marktbearbeiter für Ultraschall in der Einheit Engineering Plastics Europe im gleichen Unternehmen.

Kontakt: ultraplaste.infopoint@basf-ag.de

Gerd Ickes, geb. 1957, leitet die Business Unit Reflection & Protection bei der Leybold Optics GmbH, Alzenau.

Kontakt: info@leyboldoptics.com