

Glasklare Vorteile in vielen Anwendungen

Kunststoffe gewinnen den Wettbewerb mit Glas nicht immer und überall

Als der deutsche Chemiker Hermann Staudinger 1920 mit einem Fachartikel das Fundament der modernen Polymerwissenschaften legte, ahnte niemand, welche Erfolgsgeschichte die Kunststoffe schreiben würden. Zur 100-jährigen Wiederkehr seines Beitrags stellen die Fachgruppe Makromolekulare Chemie in der Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V. (GDCh), PlasticsEurope Deutschland e.V. und Kunststoff erzeugende Unternehmen bis Ende 2021 auf der Aktions-Website www.100jahrekunststoffe.de spannende Anwendungsgebiete rund um den Werkstoff vor.

Aus diesem Anlass beleuchtet K-PROFI die Kunststoffe im Wettbewerb zu anderen Werkstoffen, analysiert den Fortschritt der Substitution, zeigt weitere Anwendungschancen für die Polymere auf und recherchiert Gegenbewegungen. Den Auftakt zu dieser Artikelreihe macht der Wettbewerb von Kunststoff mit Glas – bei Behältern für Getränke und Pharmazeutika, bei Verschleißungen im Automobil sowie bei optischen Anwendungen.

Text: Dipl.-Ing. Karin Regel, Dipl.-Ing. Sabine Rahner und Dipl.-Ing. Markus Lüling, Redaktion K-PROFI

Einer der beeindruckendsten Substitutionsprozesse von Glas zum Kunststoff ist die PET-Flasche für Wasser und Erfrischungsgetränke. Erster Meilenstein beim Siegeszug der PET-Flasche in der deutschen Getränkebranche war die Einführung der 1,5-Liter-Mehrweg-Flasche von Coca-Cola im Jahr 1990 (bereits 1978 gab es die erste

2-Liter-Coca-Cola-PET-Flasche in den USA). Schon 1998 folgten PET-Mehrweg-Flaschen für Mineralwasser und zwar als Individualflaschen. Die Vorteile lagen auf der Hand und haben bis heute nichts an Aktualität verloren: Kunststoffflaschen sind leicht, lassen sich überallhin mitnehmen, gehen fast nie kaputt und sind individuell gestaltbar. Hinzu kommt ein klarer Vorteil in Punkto Nachhaltigkeit: Lkw sind einfacher zu be- und entladen, und bei gleichem Gewicht und gleichem CO₂-Ausstoß lassen sich deutlich mehr Kunststoff- als Glasflaschen transportieren.

„Für die Mineralwasserbranche brachte die individualisierte Kunststoffflasche im Vergleich zur bis dahin üblichen einheitlichen Glasflasche jedoch logistisch auch Herausforderungen mit sich“, erklärt für die Gerolsteiner Brunnen GmbH & Co. KG ihr Leiter Technische Entwicklung und Ressourcen, Dr. Thomas Hens: „Trotzdem hat uns und der gesamten Branche die innovative Kunststoffflasche einen unglaublichen Aufschwung verschafft“, freut sich der Gerolsteiner-Prokurist. Die PET-Mehrwegflasche ist seiner Einschätzung nach derzeit das nachhaltigste Gebinde. Sie vereine die Vorteile der leichten Kunststoffflasche mit der idealen Logistik und der Wiederbefüllbarkeit.

Dr. Thomas Hens, Leiter Technische Entwicklung und Ressourcen bei Gerolsteiner Brunnen



Foto: Gerolsteiner Brunnen

Mineralwasser wird heute nicht nur mit unterschiedlich viel Kohlensäure angeboten, sondern auch in PET- (links und Mitte) und Glasflaschen (rechts).

PET-Flaschen in der Diskussion um Nachhaltigkeit

Zweiter Meilenstein für die Branche war die Einführung des Einwegpfands im Jahr 2003. „Plötzlich wurden Einwegflaschen salonfähig, und das mit gutem Grund“, so die Einschätzung von Dr. Thomas Hens. Einwegflaschen boomen, laufen schließlich mit einer Quote von 55 % im Discounter über die Ladentheke. Dank des erfolgreich etablierten Pfandsystems werden in Deutschland 99 % der PET-Einweg-Getränkeflaschen gesammelt, 97 % recycelt. So weit so gut, trotzdem bleibt noch Luft nach oben: „Nur rund ein Drittel des aus PET-Flaschen gewonnenen Rezyklats geht heute wirklich zurück in die Flaschenproduktion“, gibt Dr. Hens zu bedenken. „Wir setzen uns dafür ein, dass hochwertiges, für Lebensmittel geeignetes Recycling-PET auch wieder zur Herstellung von PET-Getränkeflaschen verwendet wird.“ Gerade die hohen Qualitätsansprüche bei der Flaschenherstellung machten den Einsatz von Recyclingware aber teuer und damit schwierig.

Aktuell erlebt auch die Glas-Mehrwegflasche eine Renaissance. Immer mehr Verbraucher entdecken wieder Glasflaschen für sich, und vielleicht bemerkt der eine oder andere, dass Wasser aus einer Glasflasche aufgrund der besseren Barrierewirkung spritziger schmeckt. So wandelt sich das Blatt erneut. „Seit 2019



Foto: Gerolsteiner Brunnen

erlebt die PET-Einwegflasche das gleiche Schicksal wie die Glasflasche vor über 25 Jahren“, berichtet Dr. Thomas Hens weiter. Glasflaschen sind heute wieder stärker gefragt.

In Medizin und Pharmazie entscheidet die Sicherheit

Bei Medizinprodukten hat die Sicherheit von Patienten und Pflegepersonal höchste Priorität. Während die Infusionstherapie in den 1930er Jahren noch unter Einsatz von zerbrechlichen Glas-Ampullen an den Start ging, erleichterten 20 Jahre später bereits Infusionslösungsbehälter aus Kunststoff das Handling. Je nach Einsatzgebiet spielen heute beide Werkstoffgruppen ihre spezifischen Vorteile in der Medizin und Pharmazie aus. Sterile Behälter und Spritzen sind dabei nur zwei von vielen Anwendungen, die mit der Werkstoffpaarung „Glas oder Kunststoff“ assoziiert werden und die zu den Kernprodukten der Gerresheimer-Gruppe mit Sitz in Düsseldorf zählen.

Glas oder Kunststoff? Diese Frage stellt sich für Gerresheimer nicht. Das Unternehmen blickt auf eine bis 1864 zurückreichende Historie in der Glasbehälterherstellung und bedient heute seine Kunden aus der Pharma- und Healthcare-Industrie sowohl mit Behältern aus Glas als auch – seit 2005 – aus Kunststoff. Beide Werkstoffgruppen erschließen hier ein breites Spektrum an pharmazeutischen Verpackungen sowie Produkten zur einfachen und sicheren Verabreichung von Medikamenten: Insulin-Pens, Inhalatoren, vorfüllbare Spritzen, Injektionsfläschchen, Ampullen, Flaschen und Behältnisse für flüssige und feste Medikamente mit Verschluss- und Sicherheitssystemen sowie Verpackungen für die Kosmetikindustrie. 2019 erwirtschaftete das Unternehmen mit rund 10.000 Mitarbeitern 54 % des Umsatzes von rund 1,4 Mrd. EUR im Geschäftsbereich Plastics & Devices, 45 % entfielen auf den Geschäftsbereich Primary Packaging Glass.

Welche Primärverpackungs-Anwendungen sind nach wie vor Glas vorbehalten? „Ein gutes aktuelles Beispiel dafür sind die Injektionsfläschchen, die man auch Durchstechfläschchen nennt. Sie bestehen aus Typ I-Borosilikatglas, einem sehr chemikalien- und temperaturbeständigen Glas. Wegen dieser Eigenschaften ist Borosilikatglas als Transportmittel für Impfstoffe und viele andere Medikamente konkurrenzlos. Auch die Einwegspritzen, wie sie beispielsweise für die jährliche Grippeimpfung verwendet werden, sind aus Borosilikatglas“, erklärt eine Unternehmenssprecherin. Die Injektionsfläschchen bzw. Vials sind nicht nur zu Pandemiezeiten heiß begehrt. Jährlich werden Milliarden Fläschchen aus dem Spezialglas Borosilikatglas Typ 1 (Typ 2 ist Normalglas bzw. Kalk-Natron-Glas) produziert, dem Quasi-Standard in der Pharmaindustrie, wenn es



Foto: Viaoptic/Daniel Klatt

Viaoptic-Geschäftsführer Bernhard Willnauer über das Einsatzspektrum von Kunststoffoptiken: „Wir sind jeden Tag aufs Neue überrascht, mit welchen Ideen Kunden auf uns zukommen“

um Verpackungen für Impfstoffe geht. Gerresheimer will im Rahmen der globalen Covid-19-Impfkampagnen mehr als ein Drittel des erwarteten Gesamtbedarfs von 2 bis 3 Mrd. Fläschchen liefern.

Doch auch Kunststoff eignet sich für die sichere Verpackung flüssiger Medikamente. Seine so genannten Multishell-Fläschchen mit glasklarer Optik fertigt Gerresheimer seit gut zehn Jahren aus einer COP/Polyamid/COP-Sandwich-Struktur. Empfindliche Medikamente sind so gegen Oxidation und Wasserdampf geschützt, und die Sauerstoffbarriere der PA-Schicht verbessert die Haltbarkeit. Der Werkstoff

In der Welt der Pharmazie bestimmt das Einsatzgebiet das geeignete Material für eine zuverlässige Primärverpackung.



Foto: Gerresheimer

Für diese Point-of-Care-Diagnostik sind sieben optische Elemente integriert.



COP (Cyclic Olefine Polymer) ist auch bei Spritzen – je nach Einsatzgebiet – die Alternative zu Glas. Er eignet sich für die Primärverpackung anspruchsvoller Medikamente, insbesondere für sensible, biotechnologisch hergestellte Wirkstoffe. Ergänzend zur Glasvariante sind seit einigen Jahren sogar vorfüllbare Spritzen aus COP am Markt. COP ist besonders bruchfest und daher gut für die Verpackung aggressiver oder toxischer Wirkstoffe geeignet. Die vorfüllbaren COP-Nadelspritzen sind zudem klebstofffrei, da die Kanüle nicht eingeklebt, sondern im Spritzgießverfahren direkt umspritzt wird.

Zu Anwendungen, die sich sowohl in Kunststoff- als auch in Glasbehälter abfüllen lassen, zählen beispielsweise Augen- oder Nasentropfen. Das gleiche gilt für trockene Medikamente wie Tabletten und Pulver sowie für flüssige Medikamente (siehe oben). Bei den aus Kunststoff gefertigten Mikropumpen von Gerresheimer ist das mit der Pumpe zu verabreichende Medikament als Verbrauchsmaterial in einer Glaskartusche enthalten. Naturkosmetik wird gern in Braunglas abgefüllt, Duschgel eher in einer Kunststoffflasche angeboten, die nicht zerbricht, wenn sie aus der Hand gleitet. Für beide Werkstoffgruppen bietet Gerresheimer die Verwendung von nachhaltigem PCR-Kunststoff und PCR-Glas an und erhielt dafür inzwischen Auszeichnungen sowohl von Kunden als auch von Initiativen.

Im Fahrzeug punkten Gewichtsvorteil und Gestaltungsfreiheit nicht immer

In der zweiten Hälfte der 1990er Jahre setzten die großen Erzeuger von Polycarbonat (PC) darauf, Fahrzeugverschiebungen als Anwendungsgebiet für den Kunststoff zu erschließen. Die Hoffnung bestand einerseits in einem Marktpotenzial von einigen 100.000 t jährlich für den polymeren Werkstoff, andererseits in der Gewichtsersparnis von mehreren kg pro Fahrzeug und damit einer Option auf Senkung des Spritverbrauchs.

Die Anstrengungen der zwei PC-Anbieter Bayer (heute: Covestro) und GE Plastics (heute: Sabic) mündeten sogar in einem paritätischen Entwicklungs-Joint-venture: Exatec trat gegen Systemlieferanten der

Freiformoptik für Automobilanwendung: Die Gestaltungsfreiheit spricht für den Einsatz von Kunststoff.



Glasindustrie wie Sekurit Saint-Gobain an, die ihrerseits versuchten, ihre Systemkompetenz und ihren Marktzugang um Kunststoff-Kompetenz anzureichern. Trotz jahrelanger Bemühungen um geeignete Lackier- und Beschichtungsstrategien ließen sich aber die Folgen von Steinschlag und die Kratzbeanspruchung u.a. durch Scheibenwischer nicht eliminieren: Keine Strategie erwies sich für Front- bzw. Windschutzscheiben und die versenkbaren Seitenscheiben („fallende Gläser“) als erfolgreich. Letztere besaßen in Kunststoffausführung zudem keine ausreichende Biegefestigkeit, was größere Änderungen am Fenster- und Türmodul zur Folge gehabt hätte. Der Kostenvorteil und die Kratzfestigkeit des Glases hat sich in diesen Anwendungen also gegen den Gewichtsvorteil und die Gestaltungsfreiheit des Kunststoffs behauptet.

Dennoch sind aus den umfassenden Entwicklungen zahlreiche Anwendungen für die transparenten Kunststoffe wie Polycarbonat (PC) und Polyacrylmethacrylat (PMMA) entstanden: Feste und ausstellbare Seitenscheiben, Heckscheiben und ganze Heckmodule, Panoramaglaser und Dachmodule sowie verschiedenste Verkleidungen mit hohem optischem Anspruch.

Kunststoff mit glasklaren Vorteilen für die Optik

Ihre erste optische Komponente aus Kunststoff produzierte die Feinwerktechnik Wetzlar GmbH 1965 für den hellsten Sucher einer Spiegelreflexkamera. Das geht aus der Historie des Schwesterunternehmens der Leica Camera AG, der heutigen Vioapptic GmbH aus Wetzlar, hervor. Während die eigentliche abbildende Optik der Kamera-Objektive nach wie vor aus mineralischem Glas besteht, erobern Kunststoffoptiken seither immer neue Anwendungsfelder.

„Wir sind jeden Tag aufs Neue überrascht, mit welchen Ideen Kunden auf uns zukommen“, berichtet Geschäftsführer Bernhard Willnauer. Kundenspezifische Optiken aus COP/COC, PC sowie PMMA für die Automobilindustrie, die Sensorik und die Medizintechnik sind die drei großen Treiber bei Vioapptic. Hohe Designfreiheit, geringes

Gewicht, Bruchsicherheit sowie die wirtschaftliche Großserienfertigung sind die entscheidenden Vorteile von Kunststoff gegenüber Glas.

„Die Gestaltungsfreiheit sehe ich als größten Vorteil an“, so Willnauer. So profitieren optische Anwendungen von Freiform-Linsen und so genannten Asphären, also Linsen mit elliptischer und nicht kugelförmiger Grundgeometrie, die ein aus mehreren sphärischen Linsen bestehendes optisches System auf eine Linse reduzieren können. Während sich diese in Glas äußerst schwierig oder gar nicht realisieren lassen, sind sie aus Kunststoff „sobald das Werkzeug steht, genauso einfach herzustellen wie eine sphärische Linse.“ Denn im Gegensatz zu den geometrischen Limitierungen in der Glasverarbeitung ist das Einbringen von Freiformflächen in Spritzgießwerkzeuge Standard. Und mittels Ultrapräzisionsbearbeitung im Werkzeugbau lassen sich die hohen Anforderungen an die Genauigkeit und Oberflächenrauigkeit der optischen Kunststoffsysteme erfüllen.

Die einfache Integration von Befestigungs-, Zentrier- und Abstandselementen ist ein weiterer Aspekt der Gestaltungsfreiheit. Genauso wie die Möglichkeit, in einem Bauteil unendlich viele optische Flächen miteinander zu kombinieren. Die klassische Glaslinse (bikonvex, plankonvex oder konkav) besitzt zwei, ein geschliffenes Prisma maximal vier optische Flächen. „Eine Kunststoffoptik mit sieben oder acht optischen Flächen, wie sie beispielsweise zur Lenkung des Lasers in einer Computer-Maus eingesetzt wird, ist in Glas überhaupt nicht herstellbar.“ Kunststoff erschließt zudem die Herstellung von optischen Mikrostrukturen. Über Strukturen, die feiner als die Wellenlänge des Lichts sind, lässt sich die Lichtbeugung so steuern, dass mit sehr flachen Elementen ähnliche Effekte erzielt werden wie mit einer refraktiven Optik, bei der das Licht gebrochen und nicht gebeugt wird. Auch bei der Herstellung von Mikrolinsen-Arrays aus Kunststoff, bei der viele kleine Linsen auf einer Fläche angeordnet werden, sind die Restriktionen deutlich geringer als bei der Glasvariante.

Bei Brillen die Nase vorn

Unterlegen ist der Kunststoff in puncto Kratzfestigkeit, Temperaturbeständigkeit und (Abbilde-) Genauigkeit: „Die erzielbare Präzision ist bei Glas vor allem aufgrund der geringen Wärmeausdehnung deutlich

höher.“ Auch bezüglich Dispersion und Brechungsindex decken Kunststoffe ein weniger breites Spektrum ab als Glas.

Trotz dieser Einschränkungen hat sich Kunststoff gerade in der Brillenoptik durchgesetzt. 2019 lag der Anteil von mineralischen Gläsern am Gesamtumsatz von Brillengläsern in Deutschland bei nur 4 %, 2010 waren es noch 12 %. „Glas ist hier so gut wie verschwunden“, weiß Bernhard Willnauer, auch wenn Viaoptic in diesem Geschäftsfeld nicht tätig ist. Bruchsicherheit und Gewicht sind die entscheidenden Aspekte. Über Antireflex- und Kratzfestbeschichtungen sind Kunststoffgläser „annähernd auf dem Niveau von mineralischen Gläsern“. Zudem besteht eine große Auswahl an Einfärbemöglichkeiten für Filterfunktionen oder modische Zwecke.

LED und Laserdiode sorgen für Wachstumsboom

Exponentielles Wachstum erfahren Kunststoffoptiken in technischen Anwendungen seit den 90er Jahren. Mit dem Einzug der LED (geringe Wärmeentwicklung) und der Laserdiode (dosierbare Strahlungsintensität) erweiterten sich schlagartig die Einsatzmöglichkeiten. „Gasentladungs- bzw. Xenon- oder Halogen-Lampen, wie sie früher in OP-Leuchten im Einsatz waren, erzeugten

eine für Kunststoff zu große Wärme. Auch bei Automobilscheinwerfern sind mit der LED die Kunststoff-Linsen eingezogen. Für die vorherigen Halogen- und Xenon-Lampen kamen aufgrund der enormen Temperaturentwicklung nur Glas-Linsen in Frage.“ In der neuen Generation der Matrixscheinwerfer mit Beamer-Technik ist eine Glas-Kunststoff-Kombination die Lösung, da hier „die Temperaturen wieder etwas höher sind und die Anforderungen an Auflösung und Präzision steigen.“ Neben Beleuchtungsoptiken bietet die Automobilindustrie eine große Spielwiese für den Einsatz von Kunststoffoptiken in der Sensorik (Beispiel LiDAR) und in abbildenden Anwendungen wie Head-up-Displays. „Bei den für Fahrzeugassistenzsysteme eingesetzten Kameras hat sich dagegen wieder Glas durchgesetzt, unter anderem, weil inzwischen der Temperaturbereich für den Test der Komponenten auf 130°C ausgedehnt wurde.“

In der Medizintechnik, speziell in der Endoskopie und der Mikroskopie, konnte sich Kunststoff bislang nicht gegenüber Glas behaupten. „Es gibt immer wieder Ansätze mit Kunststoffoptiken bei Einweganwendungen, aber meist reicht die Abbildungsqualität nicht für die gewünschte Bildgebung aus.“ Dagegen wird die bei Augen-Laser-Operationen zwischen Laser und Auge eingesetzte Optik klassisch in Form einer sterilen



Foto: Viaoptic/Daniel Klatt



Foto: Viaoptic

Miniaturoptik aus Kunststoff:
Je kleiner, desto schwieriger ist die
Herstellung von Linsen aus Glas.



Einweg-Kunststoff-Komponente realisiert. Als prädestiniert für Kunststoff erachtet Bernhard Willnauer auch optische Baugruppen für die patientennahe Labordiagnostik (Point-of-Care-Testing), landläufig Schnelltest genannt. „Der Bedarf ist groß, die Abläufe sind komplex, und es werden viele optische Komponenten benötigt. Kunststoff ermöglicht dabei eine Reduzierung der Kosten.“

Einen riesigen Konsumentenmarkt stellen die in Smartphones verbauten Optiken dar. In neuen Spitzenmodellen sind bis zu fünf Objektive mit mehreren Linsenelementen verbaut. „In der vorletzten und letzten Generation setzte man auf Kunststofflinsen mit einem Glaselement zur Kompensation des Temperatureffekts. Aktuelle Modelle besitzen reine Kunststoffoptiken, in den nächsten Generationen wird wieder eine Glas-Kunststoff-Kombination verbaut sein“, berichtet Bernhard Willnauer. „Mineralische Gläser bieten in der abbildenden Optik einfach mehr Möglichkeiten hinsichtlich Brechungsindex, Dispersion und Temperaturbereich. Da sich Glas aber in der Größenordnung der Handyobjektive nicht zu asphärischen Linsen schleifen lässt, wird derzeit viel Forschung und Entwicklung in das Pressen kleinster Linsen investiert.“

Mit noch mehr Präzision in die Zukunft

Doch auch bei Kunststoffoptiken steht die Entwicklung nicht still, siehe das Beispiel Virtual-Reality-Brillen. Der Viaoptic-Geschäftsführer berichtet über zahlreiche neue Einsatzgebiete von Kunststoffoptiken, so zum Beispiel Sensoren, die im Smart Home-Bereich eingesetzt werden. Und neben Navigationsgeräten für Operationen zählen dazu

auch ganz banale Anwendungen wie neue Signalanzeigen in öffentlichen Verkehrsmitteln für eine verbesserte Seitensichtbarkeit und Farbenvielfalt.

Und selbst der 3D-Druck macht vor der Optik nicht halt. „Es gibt die Vision, dass der Brillenoptiker künftig direkt nach dem Vermessen der Augen die individuellen Gläser in seinem Backoffice druckt. Das Verfahrensprinzip birgt hier noch Einschränkungen, aber es existieren bereits viele Ideen, wie diese zu lösen sind. Ich denke, das wird irgendwann kommen“, ist Bernhard Willnauer überzeugt.

Bei Viaoptic und anderen Herstellern technischer Kunststoffoptiken ist eine weitere Steigerung der Präzision die große Herausforderung. „Für die in optischen Systemen

eingesetzten Massenprodukte wie LED, Photodioden, Chips etc. geben die Hersteller pauschal relativ große Toleranzen an. Wird für die Anwendung eine höhere Präzision benötigt, soll eine noch genauere Kunststoffoptik dies kompensieren. Die höhere Präzision erzielen wir allerdings nur durch eine bessere Messtechnik. Wir investieren daher in die Inline-100-Prozent-Prüfung mit Kamerakontrolle und spezifische Messtechniken, wie sie auch für die Selektion von Handylin-sen Einsatz finden. Diesen Trend zur höheren Präzision durch 100-Prozent-Prüfung und Selektion sehen wir in vielen Bereichen.“

Weitere Einsatzgebiete lassen sich möglicherweise auch durch Spezialkunststoffe, wie die OKP-Polyester von Osaka Gas Chemicals aus Japan erzielen. Diese besitzen gegenüber COP, PC und PMMA erweiterte Dispersions- und Doppelbrechungseigenschaften sowie einen höheren Brechungsindex und werden u.a. für Smartphone-Linsen verwendet. „Diese Materialien sind teilweise jedoch derart rationiert, dass sie nur in Consumer Optiken einfließen und hier in Europa nur schwer erhältlich sind.“

www.gerolsteiner.de
www.geresheimer.com
www.viaoptic.de

Wie Viaoptic den Herausforderungen des Wachstumsbooms bei Kunststoffoptiken begegnet, fasst das Porträt „Wir könnten noch viel stärker wachsen“ aus K-PROFI 10/2017 zusammen, direkt abrufbar unter: www.k-profi.de/heft/171006

Virtueller Qualitätsgipfel Kunststoff

Nachdem bereits 2020 keine Präsenzveranstaltung möglich war, bietet das SKZ am 16. und 17. März 2021 seinen vierten „Qualitätsgipfel Kunststoff“ als virtuelle Tagung an.

Das Programm nimmt Aufgaben an neuen Kunststoffanwendungen auf, beleuchtet Neuheiten in den klassischen, kunststoffspezifischen Qualitätstechniken und zeigt Chancen der Digitalisierung im Qualitätsmanagement auf. Mehrere Plenarvorträge rahmen ein zweizügiges Programm ein, bei dem u.a. einer von vier Workshops belegt werden kann. Die Plenarvorträge zeigen u.a. mögliche zukünftige Qualitätsmerkmale wie den Product Carbon Footprint auf, beleuchten die Möglichkeiten und Grenzen der Tomografie an Kunststoffprodukten, ermuntern zur überbetrieblichen Kooperation und geben Einblicke in das Risikomanagement aus Sicht von Versicherern. K-PROFI-Kolumnist Dr.-Ing. Arno Rogalla bestreitet einen Plenarvortrag zum Thema „Virtuelle Unternehmen – Unternehmensverbände als neue Chance?!“ Die Geschäftsführer des hinter K-PROFI stehenden Kunststoff-Profi Verlags, Andreas Hertsch und Markus Lülling, arbeiten im Fachkomitee der Veranstaltung mit. www.qualitaetsgipfel-kunststoff.de