

KUNSTSTOFFE

Synthetics

Magazin für Herstellung, Verarbeitung
und Anwendung von Kunststoffen und neuen Werkstoffen

Kunststofftechnik wohin?

DIE KUNSTSTOFFTECHNIK VISIERT IHRE ZUKUNFT AN



HOCHSCHULE
RAPPERSWIL
HSR



Kunststoff- Ausbildungs- und Technologie-Zentrum

Separatdruck aus Zeitschrift «Kunststoffe-Synthetics» Nr. 1/2000

VS/H
VOGT-SCHILD/HABEGGER MEDIEN

Vogt-Schild/Habegger Medien AG, Zuchwilstrasse 21, CH-4501 Solothurn

Kunststofftechnik wohin?

DIE KUNSTSTOFFTECHNIK VISIERT IHRE ZUKUNFT AN

Das 20. Jahrhundert ist mitunter auch schon als «Kunststoff-Zeitalter» bezeichnet worden – etwas vorschnell, wie es scheint. Denn die Polymerwerkstoffe dürften ihre grosse Zukunft erst noch vor sich haben. Davon kann in einer Betrachtung zur Zeitenwende wohl mit Bestimmtheit ausgegangen werden.

Prof. Dr. phil. Wolfgang Kaiser, geb. 1936, Professor für Kunststofftechnik an der FH Aargau in Brugg-Windisch von 1966 bis 1999, Initiator des Fachbereichs Kunststofftechnik und langjähriger Leiter des erfolgreichen berufsbegleitenden NDS Kunststofftechnik in Brugg-Windisch, Lehrbeauftragter an der ETH Zürich für Verarbeitung von Polymeren, seit 1991 Geschäftsführer des Kunststoff-Ausbildungs- und Technologie-Zentrums KATZ in Aarau.

Prof. Dipl.-Ing. Johannes Kunz, geb. 1940, Professor für Technische Mechanik und Kunststoffkonstruktion an der Hochschule Rapperswil seit 1974, Dozent für Berechnen und Gestalten von Kunststoffteilen im NDS Kunststofftechnik an der FH Aargau seit 1976, Mitherausgeber der Loseblatt-Nachschlagewerke «Kunststoffpraxis: Eigenschaften» und «Kunststoffpraxis: Konstruktion».

Interessant ist zunächst auch die Tatsache, dass die Geschichte der Kunststofftechnik viel weiter zurückreicht, als gemeinhin angenommen wird. Das älteste bekannte Dokument, das die Herstellung eines Kunstharzes beschreibt, datiert aus dem frühen 16. Jahrhundert. In einer seiner Schriften berichtet der bayerische Benediktinerpater Wolfgang Seidel (1492–1562) über die Herstellung eines farblosen, durchsichtigen Kasein-Kunstharzes aus Ziegenkäse. Die Rezeptur dazu hatte er 1530 im Augsburger Hause der Fugger vom St. Galler Bürger Bartholomäus Schobinger (1500–1585) übernommen, dessen Geburtstag sich also heuer zum 500. Male jährt. Schobinger war erfolgreicher Handelsherr und galt als einer der angesehensten und reichsten Männer der Eidgenossenschaft. Er stand auch in Verbindung mit Paracelsus und hinterliess deutsche und lateinische Schriften über Chemie. Sein Originalrezept enthält nicht nur die ausführliche Beschreibung der Herstellung dieses Materials, sondern auch der Eigenschaften. Dies lautet – übertragen in die heutige Sprache – wie folgt: «...Doch musst du wissen, wenn du diese Materie formen willst und nach deinem Gefallen machen, so musst du dieses tun, solange sie warm ist, so lässt sie sich drücken und biegen wie ein Leim, auch dann, wenn sie schon vorgeformt ist..., sobald sie aber kalt ist, so muss man es lassen, wie es ist, es lässt sich nicht biegen oder falten, es bricht wie ein Glas...» Dies ist akkurat das Verhalten eines amorphen Thermoplasten!

Auch wenn mit keiner Zeile in diesem Rezept behauptet wird, Schobinger habe es erfunden – es kann also sehr viel früher entwickelt worden sein –, stehen nach heutigem Kenntnisstand der wohlhabende Eidgenosse und der experimentierfreudige Pater am Beginn der somit rund fünfhundertjährigen Kunststoffgeschichte.

Wie aber sieht die Zukunft aus? Diese aktuelle Frage lässt sich am besten schlaglichtartig anhand einiger spezieller Bereiche erhellen.

Was bringen die kommenden Kunststoff-Generationen?

Die heutigen Massen- und Ingenieur-Kunststoffe können entsprechend ihrer Entwicklungsstufen als Polymere der ersten und zweiten Generation bezeichnet werden (Abb. 1). Eine Delphi-Studie zeigt, mit welchen enormen Entwicklungsschritten bei der Realisierung der dritten und vierten Generation in den nächsten ein bis drei Jahrzehnten zu rechnen sein wird. Hierzu einige Fallbeispiele zu den Erwartungen an Polymere der dritten Generation: Hitzebeständige Polymere mit einer Temperaturbeständigkeit von 450 °C im Dauereinsatz ersetzen metallische oder keramische Materialien. Zeitraum: 2006–2010.

Polymerfasern, die eine Reissfestigkeit von 40% des theoretischen Wertes (20 GPa) und einen Elastizitätsmodul von 90% des theoretischen Wertes (250 GPa) haben, werden entwickelt. Zeitraum: 2006–2010.

Es wird ein Verfahren entwickelt, mit dem massgeschneiderte Poly-

kondensationswerkstoffe hergestellt werden. Zeitraum: 2001–2005.

Durch gezielten Aufbau von molekularen Architekturen und Morphologie gelingt es, Polyethylen und Polypropylen mit einem Eigenschaftsspektrum von Polystyrol, Polyamiden, Polycarbonat und Polyester herzustellen. Zeitraum 2011–2015.

Hochtemperaturbeständige thermoplastische Elastomere (TPE) werden durch verringerte Kriechneigung in Anwendungsgebieten eingesetzt, die bisher von Gummimaterialien besetzt sind. Zeitraum: 2006–2010.

Hochpolymere Materialien, die bei Zimmertemperatur ähnlich gut den elektrischen Strom leiten wie Kupfer, finden praktische Verwendung. Zeitraum: 2001–2005 (2010).

Eine Technik wird angewendet, welche die effiziente Herstellung von Mikro- resp. Nano-Strukturen mit Abmessungen bis 10 Nanometer ermöglicht. Zeitraum: 2006–2010.

Polymermembranen werden als Hautersatz bei Verbrennungen routinemässig genutzt. Zeitraum 2006–2010.

Intelligente Materialien (Formgedächtnislegierungen) werden im Spritzgiess-Formenbau angewendet. Zeitraum: 2006–2010.

Beinahe schon phantastisch muten Szenarien an, die einen Ausblick auf die Polymere der vierten Generation vermitteln wie beispielsweise:

Selbstregenerierende Polymere werden entwickelt. Zeitraum: 2021–2025.

Aufladbare Polymerbatterien mit einer volumenspezifischen Energiedichte von 400 Wh/dm³ finden praktische Anwendung (derzeitige

NiCd-Batterien: 180 Wh/dm³). Zeitraum: 2011–1015.

Es wird eine Supraleitersubstanz (Polymer?) entwickelt, deren Sprungtemperatur bei Normaltemperatur liegt. Zeitraum: 2015–2025.

Die Nanotechnik kommt

«Unten ist jede Menge Platz!» Mit diesem inzwischen Legende gewordenen Ausspruch des späteren Physik-Nobelpreisträgers Richard P. Feynman vor rund 40 Jahren ist eines der wichtigsten Zukunftsthemen aus der Kunststofftechnik angesprochen: die Miniaturisierung. Inzwischen hat die Nanotechnik auch in der Kunststoffwelt Einzug gehalten. Ihre Nutzung steht aber erst an

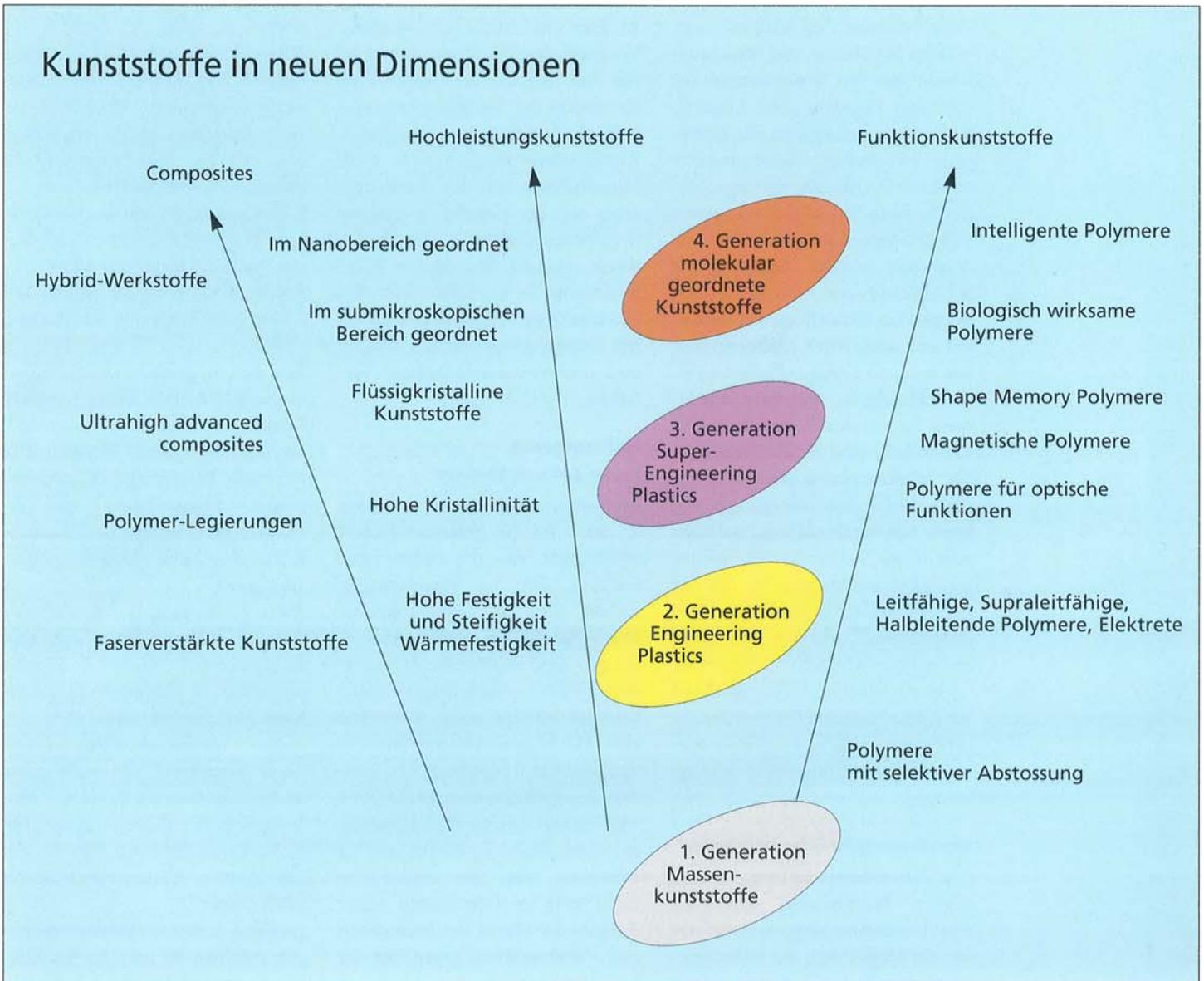
einem Anfang, und das enorme Zukunftspotential der möglichen Anwendungen lässt sich kaum realistisch abschätzen. In einem Verbundprojekt von Maschinenhersteller (Netstal Maschinen AG), Rohstofflieferant (Bayer AG), Werkzeugbauer (AWM Werkzeugbau AG), Wissenschaftlern der Oberflächentechnik (Paul Scherrer Institut PSI) und FH Aargau (Fachbereich Kunststofftechnik) ist es gelungen, im vollautomatischen Spritzgiessverfahren Abformungen mit einer Replikationstreue von 25 Nanometern bei einer Zykluszeit von wenigen Sekunden zu erzielen (Abb. 2). Die erreichten Strukturgrößen liegen dabei im Bereich der Knäuel-

größen der verwendeten Polymere. Dies bedeutet, dass die Spieldauer einer normalen CD theoretisch auf dreieinhalb Tage verlängert würde!

Photoadressierbare Polymere revolutionieren die Datentechnik

In wenigen Jahren schon dürften sogenannte Photoadressierbare Polymere (PAP) die Datentechnik revolutionieren. Dabei handelt es sich um kettenartige Verbindungen mit Seitenketten aus jeweils etwa 50 Atomen. Diese Polymere haben gegenüber den Kristallen vor allem den Vorteil, dass sie beinahe unbegrenzt modifizierbar sind. Die Datenspeicherung mittels Lichteffekten erfolgt so, dass ein polarisierter Laserstrahl

Abb. 1: Mit den Polymeren der dritten und vierten Generationen stösst die Kunststofftechnik in völlig neue Dimensionen vor (nach Menges).



Fotos: Gutenberg-Museum, Mainz



Abb. 2: 10000fach verkleinerter Abdruck eines Ausschnitts aus der Gutenberg-Bibel, hergestellt aus Anlass des 600. Geburtstages von Johannes Gutenberg im Jahr 2000 durch Kunststoff-Spritzgiessen in Nanotechnik. Er belegt auf der CD eine Fläche von der Grösse einer Bakterie.

die im Normalzustand ungeordneten Seitenketten senkrecht zur Polarisationsachse des Lichts ausrichtet (Abb. 3). Dadurch kann dem Polymer eine Information eingepreßt werden, die später durch einen Laserstrahl wieder abgefragt werden kann. Mit solchen PAP dürften in wenigen Jahren DVDs mit wesentlich höherer Informationsdichte und grösserer Ablesegeschwindigkeit als bei den herkömmlichen CD-R resp. DVD realisiert werden. Eine weitere Perspektive ist die Holo-CD, die nicht auf den Massenmarkt zielt, sondern auf den «High-End»-Bereich. Zu denken ist hier an Krankenhäuser, die enorme Mengen an Röntgenbildern speichern müssen, oder Filmverlage, die ihre Spielfilme digitalisieren wollen, aber auch Bibliotheken, Versicherungen usw. Auf einer einzigen Holo-CD dürften sich nach Schätzungen etwa 1000 Gigabyte speichern lassen, eine Datenmenge, die etwa 1500 herkömmlichen CDs entspricht.

Nachwachsende Rohstoffe werden zunehmend wichtiger

Autos aus Sojabohnen? Bereits 1941 stellte Henry Ford in den USA eine Limousine aus Sojabohnen-Plastik vor. Mit Ausnahme eines innovativen Stahlrohrrahmens, des Motors und der Räder war der Rest dieses Autos pflanzlichen Ursprungs. Ford

knüpfte dabei an die Theorien des Chemikers William T. Hale an, wozu die Substitution des Pferdes durch den Verbrennungsmotor, der keine Cellulose frass und keinen nützlichen Dünger an den Boden zurückgab, ein riesiges Unglück für die Landwirtschaft gewesen sei. Auch war Hale von der Fähigkeit der Landwirtschaft überzeugt, aus den «drei Muskettieren der Natur», Cellulose, Pflanzenöl und Alkohol, Rohmaterial für die Industrie herstellen zu können.

In Henry Ford, 1863 auf einer Farm geboren und dort aufgewachsen, fand Hale einen leidenschaftlichen Befürworter dieser «Farm Chemurgy». Leider bewirkte der Eintritt der USA in den Zweiten Weltkrieg bis heute einen Unterbruch dieser erfolgversprechenden Entwicklung. Dabei ist der Grundgedanke äusserst attraktiv: Denn statt Erdöl – notabene «uralt Chemie-Abfall» der belebten Natur und somit nicht nachwachsend – als Rohstoff zu nutzen, sind längerfristig die Ideen von Ford, zum Beispiel Polymerwerkstoffe nach Mass aus landwirtschaftlichen Produkten zu erzeugen, nicht nur für «grüne» Autos von ökologischem und ökonomischem Interesse.

Thermoplaste erleichtern die Metall- und Keramik-Formung

Das Spritzgiessen mit seiner hohen Gestaltungsfreiheit und den vorteil-

haften Verarbeitungsmöglichkeiten thermoplastischer Kunststoffe wird zunehmend auch für die Herstellung von Formteilen aus Metall oder Keramik genutzt. Beim sogenannten Pulverspritzgiessen (PIM) wird der metallische oder keramische Werkstoff in Pulverform mit einem Kunststoff fein vermischt und spritzgegossen. Der Thermoplast fungiert dabei als Binder. Der im Spritzgiessprozess entstandene Grünling wird anschliessend entbindert, das heisst der Kunststoff wird entfernt, und im letzten Arbeitsgang unter Anwendung von Druck und Wärme zum fertigen Formteil gesintert. Die Vorteile liegen auf der Hand: Es lassen sich vielseitige Legierungen und Materialmischungen mit ihren gewünschten mechanischen und thermischen Eigenschaften zu Formteilen mit komplexen Geometrien rationell verarbeiten, welche keine oder höchstens geringe Nacharbeit benötigen.

Fotos: Boyer AG

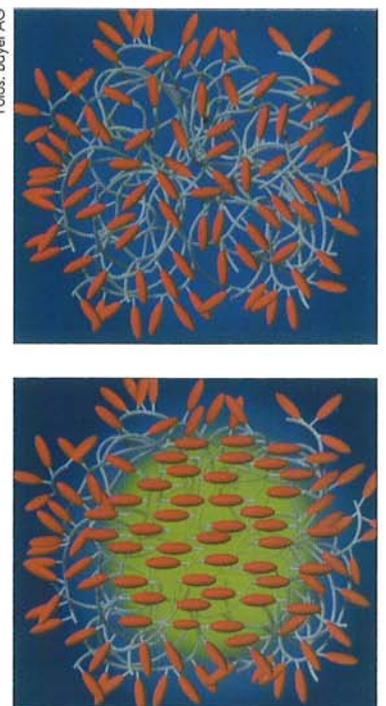


Abb. 3: Photoadressierbare Polymere (PAP): Die an das polymere Rückgrat angebotenen Seitenketten sind im Normalzustand ungeordnet in allen Richtungen, bestrahlt mit polarisiertem grünem Licht stellen sie sich senkrecht zur Polarisationsrichtung.

Kunststoffe ermöglichen neue Konstruktionstechniken

Die werkstofflichen und verarbeitungs-technischen Innovationen der letzten Jahre eröffnen auch im Bereich Konstruktion und Anwendung völlig neue Möglichkeiten. Eindrückliche Beispiele hierfür sind die Hybridtechnik, die Dünnwandtechnik und die Mehrkomponententechnik.

Bei der Hybridtechnik handelt es sich um einen neuartigen Verbund, der die kostengünstigen Produktionsverfahren Blech-Tiefziehen und Kunststoff-Spritzgießen vereint und dabei die Stärken von Metall und Polymerwerkstoff zu einem vorteilhaften Eigenschaftsprofil kombiniert. So gelingt es, höhere Belastbarkeiten und Steifigkeiten zu erzielen als bei reiner Blechkonstruktion. Der Verbund zwischen dem Blech und dem Kunststoff wird form- und kraftschlüssig realisiert. An der Kunststoffkomponente lassen sich zudem beliebige Formelemente für Positionierung und Montage integrieren wie zum Beispiel Schraubverbindungen, Schnapphaken usw.

Die Dünnwandtechnik zielt auf konsequente Einsparung von Gewicht, Material und Zeitaufwand für die Herstellung von Gehäusen und anderen flächigen Konstruktionen (Abb. 4). Bei geringen Wanddicken bei gleichen Aussenabmessungen steht ausserdem ein grösseres Innenvolumen für die Konstruktion zur Verfügung. Die Verwendung spezieller leichtfliessender Thermoplaste gestattet Fliesswegverhältnisse von 200:1 und mehr bei Füllzeiten von unter einer Sekunde mit entsprechend hohem Einspritzdruck. Diese Technologie stellt nicht nur hohe Ansprüche an eine durchdachte beanspruchungsgerechte Formteilgestaltung, sie ist auch auf besonders steife Werkzeuge mit speziellen Anguss- und Anschnittpartien sowie guter Entlüftung angewiesen und benötigt Spritzgiessmaschinen mit hohen Schliesskräften.

Die Mehrkomponententechnik – bereits heute sehr leistungsfähig – steht vor einer grossen Zukunft. Sie ermöglicht die kostengünstige Her-

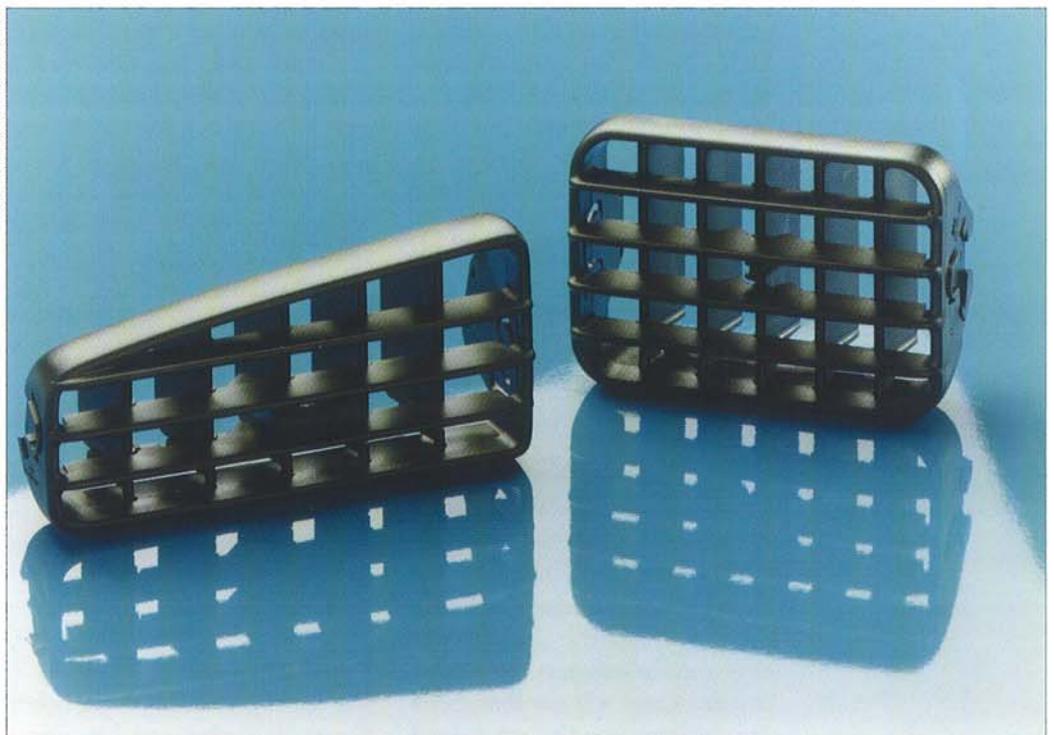
Foto: Beyer AG



Abb. 4 (links): Kunststoffgehäuse von Mobiltelefonen, konstruiert nach dem Prinzip der Dünnwandtechnik, haben eine Wanddicke von 0,8 Millimetern und weniger, und können mit Füllzeiten unter 0,5 Sekunden spritzgegossen werden.

Abb. 5 (unten): Die Lüfterklappen für die Automobil-Innenraumbelüftung werden in Mehrkomponententechnik mit werkzeug-integrierter Montage spritzgegossen und fertig montiert entformt.

Foto: Ferroplast Milocron GmbH



Wolfgang Kaiser und Johannes Kunz vor der «7 Tropfen Plastik» aus GFK des Berner Künstlers Herbert Distel. Die beiden Autoren pflegen seit über 25 Jahren eine erfolgreiche schulübergreifende Zusammenarbeit in Aus- und Weiterbildung und in Projekten der angewandten Forschung und Entwicklung und des Technologie-Transfers.

Foto: FH Aargau



stellung von Konstruktionen mit komplexen Geometrien und Funktionen. Dies ergibt sich bei entsprechend grossen Stückzahlen trotz höherer Maschinen- und Werkzeugkosten aus den Einsparungen bei Montage, Handling und Logistik. Seit langem bekannt ist die Erzeugung mehrfarbiger Bedienungselemente im Zweifarben-Spritzgiessen. Bei der Hart/Weich-Technik werden weiche Funktionselemente mit solchen aus steifem Werkstoff im Spritzgiessprozess verbunden, zum Beispiel zur Herstellung von Gehäusen mit integrierter Dichtung oder von haptisch griffigen Partien an einem Handgerät. Für den innovativen Konstrukteur geradezu herausfordernd sind die Möglichkeiten der werkzeugintegrierten Verbindung, die fest oder beweglich, stoff-, form- oder kraftschlüssig, unlösbar oder lösbar, heterogen oder homogen sein können, und bei der das fertig montierte Formteil aus dem entsprechend gebauten Werkzeug entformt wird (Abb. 5). Je nach Formteilgestaltung, Verträglichkeit der Kunststoffe und Prozessführung entsteht eine chemisch-adhäsive oder eine geometrisch-mechanische Verbindung.

Simulieren geht über probieren

Die Zukunftsentwicklung in Forschung, Verarbeitung, Auslegung und Anwendung hängt nicht zuletzt von der Möglichkeit ab, die komplexen physikalischen Zusammenhänge

wirklichkeitsnah mathematisch beschreiben zu können. Problemspezifische Software und leistungsfähige Rechner sind hierfür unabdingbare Voraussetzung. Es ist nur eine Frage der Zeit, bis die dreidimensionale Simulation der Strömungsvorgänge beim Spritzgiessen mit erträglichen Rechenzeiten möglich sein wird. Unaufhaltsam ist der Fortschritt auch bei der Simulation anderer Verarbeitungsprozesse wie Extrudieren, Pressen, Blasformen, Thermoformen usw., aber auch bei den mechanischen Strukturanalysen mit Erfassung von Nichtlinearitäten und thermo-viskoelastischem Verhalten.

Hoffnungsvoll in die Zukunft blicken

Man braucht wohl kaum Futurologe zu sein, um der gesamten Kunststofftechnik von der Polymerentwicklung über die Verarbeitungstechnik und den Konstruktionsmöglichkeiten bis zu den Anwendungen eine stürmische Zukunftsentwicklung vorauszusagen, deren Grenzen derzeit nicht abzusehen sind. Die Begrenzung liegt nicht in den denkbaren Möglichkeiten, sondern einzig in den verfügbaren Ressourcen von Zeit, Geld und Geistespotential. Bleibt zu hoffen und zu wünschen, dass der menschliche Geist stets im Bewusstsein seiner Aufgabe im Dienst der Menschheit und Verantwortung gegenüber der Schöpfung handelt.

Literaturverzeichnis

- Kaiser, W.: Ein Streifzug durch die Geschichte der Kunststoffe – Auf der Suche nach Schweizer Spuren. Ferrum, Nachrichten aus der Eisenbibliothek, Stiftung der Georg Fischer AG, Schaffhausen. Nr. 63, 1991
- Krätz, O.: «So fing es an». In Glenz, W., (Hrsg.): Kunststoffe – ein Werkstoff macht Karriere. Hanser Verlag München Wien, 1985
- Menges, G.: Werkstoffkunde Kunststoffe. 4. Aufl., Hanser Verlag München Wien, 1998, S. 8
- N.N.: Delphi '98. Umfrage, Daten, Megatrends. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft und Forschung (BMBF). Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (FhG-ISI). Karlsruhe, 1998
- Köppel, S., Schiff, H., Gabriel, M., Kaiser, W.: Spritzguss stösst in immer kleinere Dimensionen vor. Kunststoffe-Synthetics 46(1999)2, S. 11–14
- N.N.: Speichern in 3D. research – Das Bayer Forschungsmagazin, Ausgabe 10, 1998, S. 36–44
- Eickmanns, J., Marowsky, G.: Optische Datenspeicherung in Polymeren. NZZ, 12. Dezember 1998
- Kaiser, W.: Polymerwerkstoffe, Teil I. Skript zur Vorlesung. FH Aargau, 1997
- Fenichell, St.: plastic – Unser synthetisches Jahrhundert. Verlag Rütten & Loening, Berlin, 1997
- Herrlich, N., Land, W., Kunz, J., Michaeli, W., (Hrsg.): Kunststoffpraxis: Eigenschaften. WEKA-Fachverlag für technische Führungskräfte Augsburg, Aktualisierungsstand 1999
- Kunz, J., Michaeli, W., Herrlich, N., Land, W., (Hrsg.): Kunststoffpraxis: Konstruktion. WEKA-Fachverlag für technische Führungskräfte Augsburg, Aktualisierungsstand 1999
- N.N.: Metallstrukturen werden durch Kunststoff stärker, leichter und wirtschaftlicher. Bayer AG, Firmenschrift KU 40 261, Ausgabe 7/95
- N.N.: Thinwall Technology Guide. GE Plastics, Firmenschrift NBC-575A (9/98) CA
- Kudlik, N.: Dünnwandtechnik. Spritzgiessverfahren für geringe Wanddicken. Kunststoffe 89(1999)9, S. 92–96