

Entwickeln und Konstruieren. Viele der generellen Methodiken für die Kunststoff-Produktentwicklung sind nicht neu. Neu sind jedoch die Intensität, mit der methodisches Arbeiten genutzt wird, und der gezielte Einsatz von Wertanalyseexperten, um nicht nur kreative Ideen zu generieren, sondern auch Umsetzung und Kosten mit einzubeziehen. Die Fortschritte in den Simulationstechniken helfen, die Innovationen bestmöglich abzusichern und immer schneller ohne Prototypentests in die Serie zu bringen. Der Trend bei neuen Produkten heißt ungebrochen „grün“, leicht und klein.

Produkte im Wettlauf

THOMAS BRINKMANN

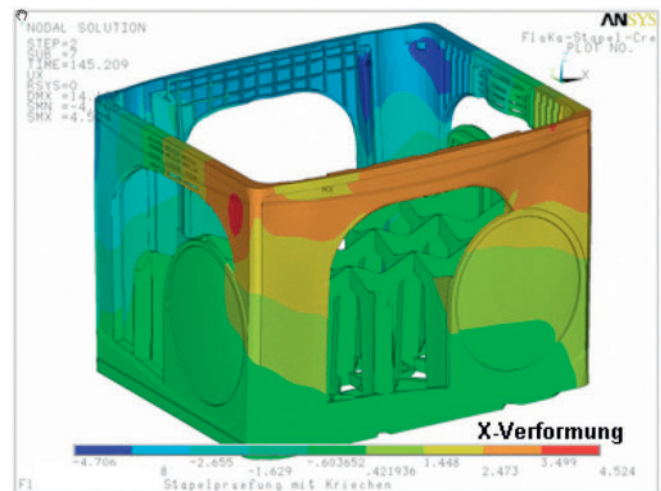
Entwicklung bedeutet immer, an einem Rennen um das Produkt teilzunehmen, das den Kunden am meisten begeistert und ihn zum Kauf anregt. Zudem sichert sich das Unternehmen Kenntnisse und Ergebnisse (Patente), die in der Zukunft den Unternehmenswert steigern helfen. Welches sind nun die Erfolgsfaktoren, um diesen Wettlauf zu gewinnen? Genau wie bei einem 100 m-Lauf oder einem Marathon hängt der Erfolg nicht vom Glück, sondern von der richtigen Vorbereitung ab. Bei der Produktentwicklung stehen also der Einsatz der richtigen Strategien, eine frühest mögliche Absicherung der Fertigung und des Produkteinsatzes sowie die Entwicklungsgeschwindigkeit im Vordergrund (**Bild 1**).

Vermehrter Einzug der Methodik

Innovationsprojekte zählen zu den anspruchsvollsten Aufgaben in einem Unternehmen. Einer der wesentlichen Gründe dafür ist, dass gerade auf einem Gebiet etwas Neues geschaffen werden soll, auf dem noch wenig oder sogar keine Erfahrung vorliegt oder scheinbar alle Lösungen schon bekannt und auch schon geschützt sind. Außerdem steigt die Komplexität der Produktentwicklung kontinuierlich. Entwicklungsingenieure können dabei aus einem immer größer werdenden Fundus an neuen Materialien, Veredlungs- und Fertigungstechniken schöpfen.

ARTIKEL ALS PDF unter www.kunststoffe.de
Dokumenten-Nummer KU110226

Bild 1. Die Simulation des Kriechverhaltens eines Flaschenkastens ist eine Phase in der Produktentwicklung (Bild: Impetus Plastics Engineering)



Gleichzeitig werden Produktlebenszyklen immer kürzer und Ansprüche bedingt durch die Globalisierung umfangreicher. Zudem müssen sie international abgestimmt sein. Derartig vielschichtige Anforderungen sind nicht nur mit erfahrenen Ingenieuren zu bewältigen. Deshalb wurde in den letzten Jahren mehr und mehr das Potenzial der Konstruktionsmethodik erkannt und eingesetzt. Es sind prinzipiell bekannte Strategien, die jedoch erst jetzt vermehrt und konsequenter genutzt werden. Der Einsatz der Methoden und der Wertanalyse sind in der Produktentwicklung, angepasst an das jeweilige Unternehmen, zu einem Erfolgsmodell geworden. Werden in Methodik ausgebildete Ingenieure mit den Aufgaben betreut, wird die Konzepterstellung deutlich beschleunigt und durch das richtige Augenmaß die Kosten in einem wirtschaftlich sinnvollen Rahmen gehalten. Mit den Konstruktionsmethoden lassen

sich Innovationen dann regelrecht organisieren (**Bild 2**).

Simulation ist fester Bestandteil

Nach bzw. schon während der Konzeptentwicklung startet die Konstruktion der Bauteile und der Werkzeuge. Moderne Simulationsverfahren haben sich dabei zu einem festen und unentbehrlichen Bestandteil in der Produktentwicklung etabliert, um die Fertigung und den späteren Einsatz der Formteile bzw. der Baugruppen unter Belastung (statische und dynamische Belastungen, Lebensdauer, Toleranzanalyse) abzusichern. Das nicht zuletzt, weil in den letzten Jahren die Möglichkeiten der Simulationsprogramme gewachsen sind, die für Produktentwickler bislang noch mit Unsicherheiten behaftet waren.

Deutliche Verbesserungen wurden beispielsweise bei Crash- und Lebensdauer-

Lösungsalternativen		Lösungsalternative 1		Lösungsalternative 2		Lösungsalternative 3	
Teilfunktionen Bem. Allgemein	Nr. 1.1	N/a	Nr. 1.2	N/a	Nr. 1.3	N/a	
Verbinden von beweglichen Funktionsträgern innerhalb des Bilanzsystems	Lager, Achsen und Wellen	Finscharnier	Gelenk (Kugel)				
Bem.	TW	IWW	TW	IWW	TW	IWW	
Nr.	2.1	N/a	Nr. 2.2	N/a	Nr. 2.3	N/a	
Führung	Lager, Achsen / Wellen	Kurvenführung	Gelenk (Kugel)				
Bem.	TW	IWW	TW	IWW	TW	IWW	
Nr.	3.1	N/a	Nr. 3.2	N/a	Nr. 3.3	N/a	
Verbinden externe Bilanzsysteme	Schraubverbindung	Schnapverbindung	Pressverbindung				
Bem.	TW	IWW	TW	IWW	TW	IWW	
Nr.	4.1	N/a	Nr. 4.2	N/a	Nr. 4.3	N/a	
Öffnen / Schließen Durchflußquerschnitt der Pipe	Drehhülse	Halbschalen	Push-Push				
Bem.	TW	IWW	TW	IWW	TW	IWW	
Nr.	4.15	N/a	Nr. 4.17	N/a	Nr. 4.19	N/a	
Öffnen / Schliessen Durchflußquerschnitt der Pipe	Horzklappenverschluß (Dreiklappensystem Da)	Kugelventil (Bohrung durch Kugel)	zwei ineinander laufende geschlitzten Hülsen (rotatorisch und Translatorische Ausführung)				

Bild 2. Systematische Auswahl von Produktvarianten mithilfe eines Morphologischen Kastens

(Bild: Impetus Plastics Engineering)

analysen erarbeitet: Durch Berücksichtigung der Anisotropie bei verstärkten Kunststoffen, durch neue Optionen bei der Spritzgießsimulation und nicht zuletzt durch das Zusammenwachsen der Spritzgieß- und der mechanischen FEM-Simulation zu einer Auslegungseinheit. Aufgrund der höheren Aussagequalität der Berechnung, das daraus resultierende hohe Prozessverständnis und die umfassende virtuelle Prüfung des Bauteils können bei immer mehr Entwicklungen (auch komplexen) Prototypentest entfallen oder zumindest reduziert werden. Genauere Ergebnis-

se in kürzeren Zeiträumen, mit denen neue Produkte schneller und abgesicherter in Serie überführt werden können, ermöglichen zusätzlich teilautomatisierte Vernetzermodule und verbesserte Hardware.

Ein unproblematischer Austausch zwischen den verschiedenen Konstruktions- und Simulationsprogrammen ist geschwindigkeits- und damit kostenbestimmend. Während sich der Datenaustausch zwischen verschiedenen CAD-Systemen (Computer Aided Design) nicht grundlegend verbessert hat, ist die Überführung der Daten in CAE-Systeme

(Computer Aided Engineering) auffällig unproblematischer geworden. Zwischen unterschiedlichen CAD-Systemen ist leider immer noch kein parametrischer Datenaustausch möglich. Die Konstrukteure müssen zur Bearbeitung die gleichen CAD-Systeme mit gleichem Stand verwenden.

Schneller und preiswerter vernetzt

Die Kommunikation zwischen CAD-Systemen und grafischen Modellprozessoren funktioniert oftmals über Standardschnittstellen. Über viele Jahre hinweg wurde hierfür vorwiegend IGES (Initial Graphics Exchange Specification) genutzt, eine Schnittstelle, die jedoch keine Volumenmodelle unterstützt. Die Verwendung der modernen STEP-Schnittstelle (Standard for the Exchange of Product model data) hingegen erlaubt nicht nur den Austausch der vom individuellen Volumenkernel unabhängigen Geometriedefinition, sondern zusätzlich auch die Weitergabe von weiteren, assoziierten Daten des Produktmodells.

Bis vor einiger Zeit musste die Überführung einer Konstruktionsstruktur trotz automatischer Vernetzung meist nachgearbeitet werden, besonders bei komplexen Geometrien. Mittlerweile sind Zeitaufwand und damit Kosten für diese Arbeiten stetig gesunken, da die automatischen Vernetzungsalgorithmen einen immer höheren Qualitätsstandard besitzen. Dennoch bietet sich in den meisten Fällen eine Komplexreduktion der Konstruktionsdaten an, um die Berechnungsgeschwin-



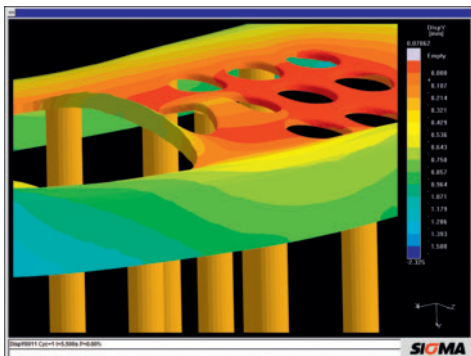


Bild 3. Simulation der Belastung des Kunststoffbauteils und des Werkzeugs durch den Entformungsprozess (Bild: Sigma Engineering)

digkeit zu beschleunigen, etwa um mehrere Varianten zu simulieren.

Ohne Frage hat sich im gleichen Zeitraum, wie die Simulationsprogramme umfangreicher wurden, auch die Hardware in einem hohen Tempo weiter entwickelt. So können Berechnungsergebnisse durch den parallelen Einsatz mehrerer Prozessoren, bis zu acht bei Moldex3D (Anbieter: CoreTech System Co., Ltd., Chupei City/Taiwan), schneller in den Händen gehalten werden. Doch diese Effizienzgewinne werden teilweise durch die benötigte höhere Rechenleistung der erweiterten Simulationsprogramme wieder aufgefressen.

Spezielle Module für Nischen

Die Füllsimulation hilft, Formteilgeometrien und Prozessparameter zu optimieren. Schwachstellen, wie z. B. Bindenähte oder Luftschlüsse, werden erkannt und können durch Änderung der Angussposition sowie der -art oder der Formteilgeometrie noch vor dem Werkzeugbau beseitigt werden. Auch für Spritzgießverfahren (GIT, WIT, 2K, Sandwich) und für Elastomer- bzw. Duroplastspritzgießen stehen zusätzliche Berechnungsoptionen zum Simulieren der Bauteile zur Verfügung. Zudem erweiterten die Entwickler die Programmsysteme kontinuierlich um

neue Module für einzelne Branchen und Nischenbereiche.

So lassen sich mit Cadmould (Anbieter: simcon kunststofftechnische Software GmbH, Würselen) jetzt Bauteile mit integrierten Einlegeteilen auslegen. Damit steht eine Berechnungsoption in 2,5D – im Vergleich: Moldex ist ein 3D-Programm – zur Verfügung, mit der u. a. Temperaturverteilung, Fließwiderstände oder Kühlzeiten simuliert werden. Zudem wird der Verzug der Bauteile dargestellt und die Steifigkeit der Einlegeteile berücksichtigt. Die Einleger können sowohl hart als auch weich sein. Zwar sind 3D-Programme bei komplexen Berechnungen genauer als 2,5D-Systeme, jedoch sind Simulationen in 2,5D schneller durchzuführen. Variantenberechnungen von Produkten mit Einlegeteilen sind somit einfacher, kostengünstiger und schneller geworden.

Sigmasoft, eine 3D-Simulationssoftware der Sigma Engineering GmbH aus Aachen, wurde um zwei Module für die Prozessoptimierung erweitert. Zum einen ist in der neuen Version 4.7 die Simulation des Entformungsvorgangs integriert. Zum anderen ist es nun möglich, ein nachträgliches Aufheizen bereits abgekühlter Formteile zu simulieren. Besonders interessant sind diese Module beispielsweise für Produktentwickler und Verarbeiter im Verpackungssektor.

Das Entformungsmodul erlaubt, schon bei Formteil- und Werkzeugkonstruktion Aussagen zur Konfiguration des Auswerferpakets für einen höchstmöglichen Output unter Einbeziehung des frühest möglichen Entformungszeitpunkts zu treffen. Gerade bei dünnwandigen Teilen, die mit entsprechend kurzen Zykluszeiten produziert werden, kann die Entformung problematisch sein. Nun kann vorab untersucht werden, wann das Formteil ausreichend formstabil ist. Zugleich bietet sich die

Möglichkeit, das Auswerfersystem optimal zu

konfigurieren und zu ermitteln, ob einzelne Auswerferstifte kritisch belastet werden, eventuell versetzt werden müssen oder ganz entfallen können. Das Kunststoffbauteil kann überdies auf Belastungen und bleibende Verformungen während des Entformens analysiert werden (**Bild 3**).

Aufheizen und Abkühlen

Mit dem Modul „Nachträglicher Aufheizprozess“ lässt sich leichter entscheiden, ob das Formteil länger im Werkzeug bleiben soll oder eventuell besser außerhalb in einer Kalibrierstation abkühlt. Spritzgussteile können weiteren Prozessschritten und Belastungen unterliegen, so wird das Bauteil



Bild 4. Die Kunststoffverarbeitung beeinflusst sehr stark die optischen Eigenschaften, daher müssen wichtige Einflussfaktoren vorher erkannt werden

(Bild: Impetus Plastics Engineering)

beim Verchromen erneut thermisch belastet. Das 3D-Programm beinhaltet deshalb in der neuen Version die Möglichkeit, das spätere, erneute Aufheizen von Formteilen unter Berücksichtigung der fortlaufenden Spannungsrelaxation und Kristallisation zu simulieren. Dadurch erfährt der Konstrukteur, wie sich das Bauteil aufgrund der erneuten thermischen Belastung verformt.

Auch Moldex hat eine zeitabhängige Abkühlberechnung integriert, um das Abkühlen sowie das Aufheizen von einzelnen Sektionen im Werkzeug zeitlich zu steuern. Damit sind jetzt auch der Variotherm-Prozess und die Impulskühlung simulierbar. Das Grundprinzip einer solchen Prozessführung ist, dass das Werkzeug kurz vor dem Einspritzen des Kunststoffes nahe der Schmelztemperatur erwärmt wird. Die Fließfähigkeit des Kunststoffes bis zur vollständigen Füllung bleibt erhalten. Anschließend wird das Werkzeug möglichst schnell abgekühlt, sodass das Formteil erstarrt und entformt werden kann. Die Simulation unterstützt so z. B. die fehlerfreie

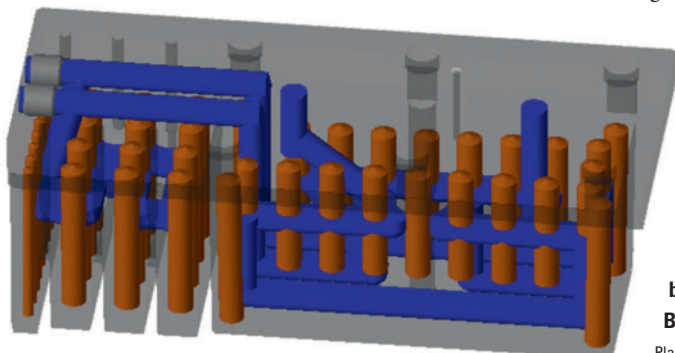


Bild 5. Konturnahe Kühlungen reduzieren die Zykluszeit und verbessern die Qualität der Bauteile (Bild: Impetus Plastics Engineering)

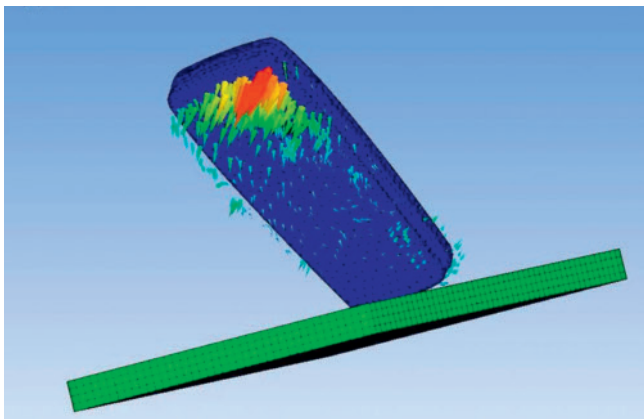


Bild 6. Neue Optionen zur Definition von Kontakt, Gelenken und Randbedingungen in der Version 12.0 (Bild: Ansys)

Abbildung von mikrostrukturierten Oberflächen und ermöglicht das Spritzgießen filigraner Wändicken sowie eine Verbesserung der Bindenahteigenschaften.

Verzug realitätsnah bestimmen

Die Berechnung von Schwindung und Verzug eines Bauteils ist weiterhin sehr anspruchsvoll. Die Ergebnisse für unverstärkte und homogen gefüllte Materialien sind mittlerweile sehr nahe an der Realität. Werden jedoch faserverstärkte Materialien verwendet, insbesondere bei hohem Füllstoffgehalt und langen Faserlängen, sind die Berechnungen nach wie vor kritisch zu bewerten. Die Verzugsrichtung wird im Allgemeinen richtig berechnet, jedoch nicht immer die Verzugshöhe. Die Entwickler der Simulationsprogramme arbeiten daher ehrgeizig daran, den resultierenden Verzug realitätsnäher zu berechnen. Moldex hat in der neuen Version die Möglichkeit geschaffen, Eigenspannungen basierend auf einem viskoelastischen Materialgesetz zu berechnen, die eine Relaxation der inneren Spannungen im Übergang Schmelze/Festkörper berücksichtigen.

Daran anknüpfend wurde speziell für die Simulation von optischen Kunststoffkomponenten ein Modul entwickelt, sodass sich Teile wie Linsen oder Lichtleiter optimieren lassen. In der Verarbeitung werden die optischen Eigenschaften (Doppelbrechung) stark beeinflusst. Die Auswertungsvarianten des Optikmoduls helfen dem Produktentwickler, wichtige Einflussfaktoren zu erkennen und den Prozess bezüglich einer guten optischen Qualität zu verbessern (Bild 4). Zudem kann jetzt das Umspritzen von integrierter Halbleiterschaltungen (IC) berechnet werden. Wichtig ist dabei die Analyse des Verzugs und der Verformung/Verschiebung der dünnen Kontakttrahnte. Auch der Vernetzungsprozess von Duromeren kann in der Simulation berücksichtigt werden.

Thermische Werkzeugauslegung

Zwei Dinge sind für die Fertigungsqualität eines Formteils entscheidend: ein thermisch homogener Wärmehaushalt des Werkzeugs und ein einwandfreies Füllverhalten. Füllprozesse im Vorfeld des Werkzeugbaus zu kontrollieren, gehört zum Standard. Die thermische Werkzeugauslegung hat sich mit den Volumenmodellen in puncto Genauigkeit und Aufwand bzw. Wirtschaftlichkeit ebenfalls stark entwickelt und wird zunehmend eingesetzt. Notwendige Netze werden automatisch generiert und die Temperaturverteilung im Werkzeug sowie Formteil realistisch dargestellt. Mit der 3D-Füllsimulation kombiniert, steigert die thermische Werkzeugauslegung die Qualität der Bauteile beachtlich und reduziert die Zykluszeit. So wird die Temperaturverteilung in der Kavität und im Werkzeug mit allen Details wie Schiebern, Auswerfern, Kühlkanälen oder vorhandenen Einlegeteilen berechnet (Bild 5).

Simulationsergebnisse sind: Verbesserte Kühlleistung, bei Elastomeren auch Heizleistung, richtige Positionierung der Kühlung, notwendige Werkzeugmaterialien und optimaler Energieeinsatz. Unter Nutzung des Volumenmodells können bereits in der Konzeptphase ohne eine 3D-Konstruktion des Werkzeugs die kritischen Bereiche des Formteils, wie Hot Spots, erkannt und in der Konstruktion berücksichtigt werden. Der wirtschaftliche Effekt ist selbstverständlich am größten, wenn die thermische Werkzeugauslegung, wie die Füllsimulation, vor dem Werkzeugbau eingesetzt wird. Temperaturdifferenzen an der Formteiloberfläche können durch unterschiedlich gekühlte Werkzeugbereiche – positionierte oder konturangepasste Kühlkanäle – verringert werden. Oftmals zeigen geringfügige Änderungen an der Kühlung schon große Effekte. Weiterhin stehen Mehrkreissysteme und hochwärmeleitfähige Materialien →

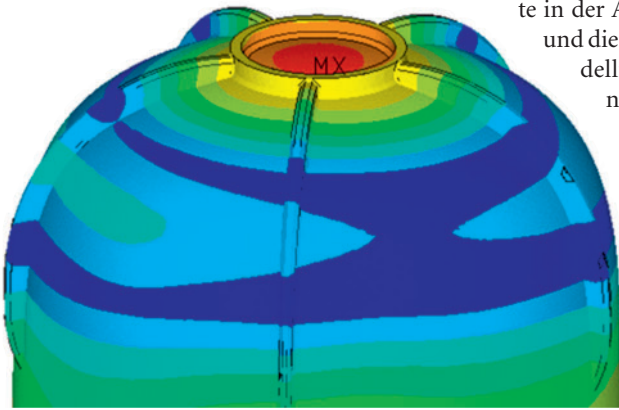


Bild 7. Die verstärkte Einbeziehung der Anisotropie verbessert die Lebensdauervorhersage (Bild: Impetus Plastics Engineering)

zur Verbesserung der Werkzeugkühlung zur Verfügung.

Zusammenwachsen von Systemen

Ein weiterer Trend ist die Integration von verschiedenen Simulationsprogrammen unter einem gemeinsamen Dach, damit die Anwender von einer parametrischen und durchgängigen Umgebung profitieren können. Diese Umgebung bietet die Ansys, Inc., Canonsburg in Pennsylvania/USA, mit ihrer Simulationsplattform. Die Version 12.0 bietet eine hohe Anwendungsbreite, die dem Kunden gestattet, eine Vielzahl physikalischer Phänomene zu untersuchen – von Frequenzanalysen bis hin zu Bewegungen nichtlinearer, flexibler Mehrkörpersysteme.

Die Software beinhaltet ein umfassendes Portfolio von Lösungsalgorithmen, das Funktionalitäten von der Strukturmechanik über die Strömungsdynamik und die thermische Analyse bis hin zu Elektromagnetismus einschließt. So ist u. a. für die numerische Strömungssimulation der CFD-Löser (Computational Fluid Dynamics) Fluent in die Arbeitsplattform integriert. Das Programm unterstützt die Produktentwickler, indem es Entwurfszyklen weiter komprimiert, Parameterstudien und Optimierungen quer über unterschiedliche Disziplinen ermöglicht, Realitätsnähe von virtuellen Prototypen erhöht sowie Simulationsprozesse und -daten erfasst für eine effiziente Wiederverwendung.

Im Modul Strukturmechanik haben die Entwickler eine Reihe von Verbesserungen eingearbeitet: Hierzu gehört als wichtige Neuerung die Integration eines expliziten Gleichungslösers des Typs Explicit STR für hochgradig nichtlineare Systeme. Zudem kann der Nutzer Gasket-Elemente

in der Arbeitsumgebung modellieren und die neuartige 2D/3D-Kontaktmodellierung für Dichtheitsberechnungen (Fluid Pressure Penetration) einsetzen. Ferner wird die Berechnung beliebiger Starrkörper für die Kontaktbestimmung unterstützt. Weiterhin sind zahlreiche Erweiterungen für die Definition von Kontakt, Gelenken und Randbedingungen hinzugekommen (Bild 6).

Anisotropien integriert

Die letzten Jahre haben auch zu einem Zusammenwachsen der Spritzgieß- und der mechanischen FEM-Simulation zu einer Auslegungseinheit geführt. So werden genauere Aussagen bei Crash- und Lebensdaueranalysen durch die Berücksichtigung der Anisotropie bei verstärkten Kunststoffen gewonnen.

Im Rahmen der Dimensionierung eines Bauteils möchte der Entwicklungingenieur unter Annahme bestimmter Umwelteinflüsse wie Temperatur und Medieneinwirkung die Lebensdauer vorhersagen können. Das gilt insbesondere für komplexe, faserverstärkte Bauteile. Fasern verursachen eingebettet in eine Kunststoffmatrix ein anisotropes Materialverhalten. Unter Belastung verhalten sich die Bauteile richtungsabhängig, also anisotrop. Die Werkstoffdatenbanken stellen die Materialeigenschaften nur begrenzt richtungsabhängig zur Verfügung, z. B. den E-Modul eines kurzglasfaserverstärkten Kunststoffs

in Faserorientierung. Andere Orientierungen und die zugehörigen Eigenschaften werden durch eine gekoppelte Füllsimulation und strukturmechanische Berechnungen ermittelt. Für ein aussagekräftiges Ergebnis ist die erzielbare Genauigkeit in der Berechnung entscheidend.

Im Unterschied zu Metallen gibt es jedoch bei Kunststoffen kein wissenschaftlich fest verankertes Vorgehen. Allen unterschiedlichen Ansätzen gemeinsam ist jedoch eine FEM-Analyse, die auf Basis der Belastungen und der Eingabe vorher berechneter Werkstoffkennwerte eine Verteilung der Spannungen und Dehnungen im Bauteil ermittelt. Moldex stellt als ein sehr leistungsfähiges Werkzeug eine Steifigkeitsmatrix für eine genaue Berechnung mit dem FE-System Ansys zur Verfügung.

Bei metallischen Werkstoffen sind eine Vielzahl der Einflussfaktoren und deren Auswirkungen auf das Bauteilversagen bekannt. Für Kunststoffe, besonders bei faserverstärkten Materialien, müssen weitere Einflüsse in der Betrachtung der Lebensdauer berücksichtigt werden: Faserorientierung, Faser-Matrix-System, Umgebungs- und Herstellungsbedingungen, aber auch komplexe Versagensbedingungen. Die Alterungseinflüsse können zumeist vorliegenden Zeit-/Dehnlinien entnommen werden. Für den Fertigungseinfluss werden häufig pauschale Abminderungsfaktoren definiert, die auf die Werkstoffeigenschaften des gesamten Bauteils projiziert werden.

Durch die Kopplung der beiden Programme können die Fertigungseinflüsse weit individueller und gezielter berechnet und damit in Korrelation mit den Ergeb-

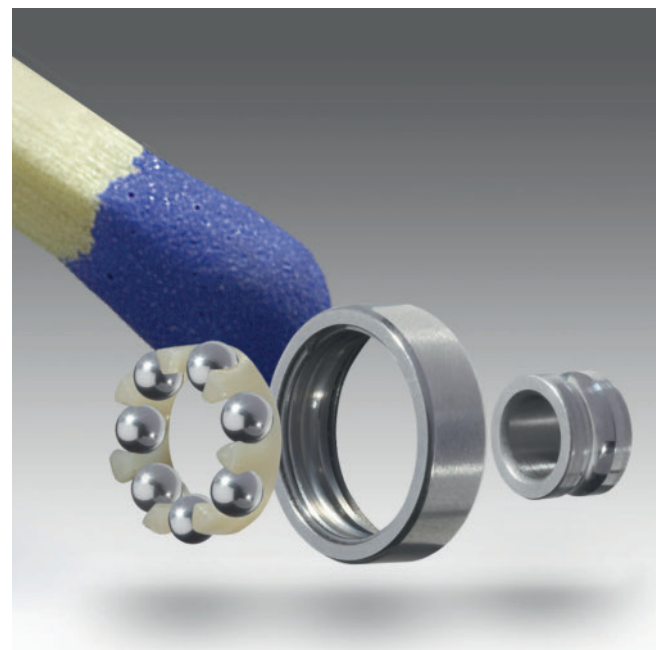


Bild 8. 22 Kugellagerkäfige entstehen aus einem Granulat Korn, das einen Durchmesser von 2,3 mm hat

(Foto: Horst Scholz)

nissen der theoretischen Bestimmung der Werkstoffeigenschaften kombiniert werden (**Bild 7**). Hierzu führt der Produktentwickler im ersten Schritt eine 3D-Füllsimulation durch, um die lokale Steifigkeitsmatrix zu berechnen. Grundlagen sind der Faservolumengehalt und die Steifigkeit der Matrix. Die berechnete Steifigkeitsverteilung wird anschließend entweder auf ein FEM-Netz exportiert (Mapping) oder bei ausreichender Rechnerleistung wird das für die Füllsimulation erzeugte Netz direkt in der FEM-Berechnung genutzt.

Versuche und Entwicklungszeit reduzieren

Crash-Simulationen haben sich zu einem unverzichtbaren Instrument für stoßartige Belastungen von Bauteilen entwickelt. Mit ihnen werden Autounfälle oder Aufprälle von Kunststoffbauteilen aus größerer Höhe (Transport, Handy) simuliert. Crash-Analysen können frühzeitig potenzielle Problembereiche im Bauteil oder sogar gefährliche Stellen identifizieren und helfen, teure Produktüberarbeitungen im späten Entwicklungsstadium zu vermeiden. So verkürzen sie zudem den Einführungszeitraum des Produkts. Bei diesen Simulationen müssen sowohl das komplexe nichtlineare, viskoelastische als auch das anisotrope Materialverhalten bei faserverstärkten Kunststoffen beschrieben werden. Hierfür wird ebenfalls die Füllsimulation mit der FEM-Berechnung gekoppelt. Unter anderem hat die BASF SE, Ludwigshafen, diese Systemkopplung und die Messung der notwendigen Daten unter dem Namen Integrative Simulation eingeführt. Nach dem Mapping der Faserorientierung aus dem Füllprozess auf das FE-Netz wird die Crash-Analyse mit LS-Dyna (Anbieter: Livermore Software Technology Corporation, Livermore in Kalifornien/USA) durchgeführt.

Seit einiger Zeit wird die Berechnung von Systemen aus Materialkombinationen vorangetrieben. So lassen sich mittlerweile Zusammensetzungen, wie Metall-Kunststoff-Strukturschaum-Kombinationen, simulieren. Die Verbunde sind z. B. bei Automobilkarosserien im Einsatz, um die eher gegenläufigen Anforderungen an Leichtbau und erhöhter Sicherheit zu erfüllen.

Trend zur Miniaturisierung

Veränderte Lebensgewohnheiten, Globalisierung, gesteigertes Umweltbewusstsein, aber auch Bevölkerungsentwicklung sind Trends in der Gesellschaft, die sich in der Entwicklung neuer Produkte wiederfin-

den. Die verstärkte Nachfrage nach miniaturisierten Systemen, sei es im Gesundheitswesen, für elektronische Geräte oder zur Gewichtsreduzierung von Produkten, ist eine Tendenz, eine weitere der sich beschleunigende Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen auch für technische Anwendungen. Zudem werden Konzepte entwickelt, Produkte mit weniger bzw. preiswerten Fertigungsschritten und dennoch optisch ansprechend zu gestalten.

Miniaturisierte und leistungsfähige Systeme werden weiterhin vermehrt gefragt sein und beeinflussen die Produktentwicklung in nahezu allen Branchen. Dafür müssen sowohl konzeptionell als auch werkzeug- und fertigungsseitig die Möglichkeiten weiterentwickelt werden. Entscheidend ist vielfach auch die Auswahl des richtigen Werkstoffs bzw. die Geometrieoptimierung. So fertigt die Horst Scholz GmbH & Co. KG, Kronach, anspruchsvolle Mikro-Kugellagerkäfige für die Medizintechnik. Aus einem Granulat Korn entstehen 22 Mikrobauteile mit einem Durchmesser von $d_A = 2,30 \text{ mm}$ (**Bild 8**). Der 0,8 mg leichte Käfig ist Teil eines Kugellagers für eine Herzpumpe, die die Abiomed, Inc., Danvers in Massachusetts/USA, vertreibt. Das für die Implantation zugelassene, jedoch sehr teure und schwer verarbeitbare Polyetheretherketon (PEEK) stellt nur eine Herausforderung dar, die zweite ist das Werkzeug. Alle sieben Schieber müssen gleichzeitig am Kern und an sich selbst abdichten, was bei den kleinen Abmessungen extreme Anforderungen an die Herstellungsprozesse des Werkzeugs stellt.

Mit dem Mikroerosionsverfahren lassen sich die erforderlichen Toleranzen erreichen. Die Mikroerodiermaschine steht in einem eigenen, klimatisierten Raum mit einer maximalen Temperaturschwankung von $\pm 0,3 \text{ K}$. Besonders anspruchsvoll ist das Angussystem. Um Markierungen zu vermeiden, wird ein Ringguss verwendet, der automatisch beim Öffnen des Werkzeugs abreißt. Dafür ist ein sehr kleiner Anschnitt erforderlich, der gleichzeitig Durchtrittsquerschnitt für die Schmelze ist, sodass die Kavität nur unter sehr hohen Drücken gefüllt wird.

Hochwertig, kostengünstig und nachhaltig

Ein Beispiel für das Reduzieren der Fertigungsschritte in der Produktentwicklung ist die Herstellung eines hochwertigen Kühlergrills mit Rautengitter für den aktuellen Mercedes CLS (**Bild 9**). Für das Bauteil erhielt die A. Schulman, Inc., Akron in Ohio/USA, zusammen mit der Monta- →

plast GmbH, Morsbach, und der Daimler AG, Stuttgart, den ersten Platz in der Kategorie „automotive body exterior“ des Automotive Awards der Society of Plastic Engineers (SPE).

Das Gitter besteht aus dem silbermetallisch eingefärbten, hochschlagzähem Polyamidtyp Schulamid 66 MT5 HI LS. Das Material ermöglicht die Produktion eines optisch hochwertigen Kühlergrills in nur einem Schritt, das Lackieren entfällt. Die Produktionskosten werden direkt gesenkt und der Gebrauchswert erhöht. Eine Herausforderung bei der Verarbeitung von Metallic-Compounds sind Fließ- und Bindnähte. Speziell bei Bauteilen mit zahl-



Bild 9. Der Kühlergrill mit Rautengitter wird aus einem Metallic-Compound kostengünstig in einem Arbeitsschritt gefertigt (Foto: SPE)

reichen Durchbrüchen sind sie kaum zu vermeiden. Zusammen mit Verarbeiter und Automobilhersteller entwickelte der Materialproduzent nach eigenen Angaben eine neue Technik, mit der Fließ- und Bindnähte gezielt außerhalb der sichtbaren Bereiche des Bauteils positioniert werden.

Um die endlichen Ressourcen fossiler Stoffe zu schonen, werden in Zukunft im Automobilbau vermehrt Werkstoffe auf Basis biotechnologischer Verfahren zum Einsatz kommen. Die Bauteile bieten angesichts der in Zukunft wahrscheinlich steigenden Ölpreise großes Potenzial für einen kostenneutralen Einsatz. Zudem zeichnen sich die Biopolymere durch technische und ökologische Vorteile aus: Signifikant geringeres Gewicht, deutlich reduzierte Wasseraufnahme und vorteilhafte Ökobilanz.

So wurde die Mann+Hummel GmbH aus Ludwigsburg gemeinsam mit Daimler, BASF und der Robert Bosch GmbH, Gerlingen-Schillerhöhe, von der VDI-Gesellschaft Werkstofftechnik mit dem Preis für innovative Werkstoffanwendung ausgezeichnet. Ihnen war es erstmals gelungen, ein serientaugliches Luftfiltersystem für den neuen Mercedes-Benz V8-Motor aus Biopolyamid herzustellen, das zu etwa

60 % aus dem Rohstoff Sebarinsäure besteht, der aus Rizinusöl gewonnen wird.

Schneller Austausch

Erfolgreiche Produkte sind Teamarbeit. Wie sehen aber die Organisationsform und die Kommunikationswege aus, die die Entwicklungsingenieure bestmöglich bei ihrer Arbeit unterstützen? In den letzten Jahren haben sich hier durch die erweiterten technischen Möglichkeiten entscheidende Verbesserungen ergeben. Für eine gut geplante Produktentwicklung werden bereichsübergreifende Teams mit klaren Verantwortlichkeiten über die komplette

Projektdauer ausgewählt. Eine effektive Entwicklung benötigt häufige und gute Kommunikation. Alle Beteiligten müssen über den Fortgang des Projekts informiert sein, und das gesamte Team muss das Entwicklungstempo mithalten.

Heutzutage werden die Projektmitglieder je nach Aufgabe und Firmenstruktur weltweit zusammengestellt. Eine Zeit lang wurde deshalb versucht, die Kommunikation über Videokonferenzen zu erleichtern. Das dafür notwendige Equipment war jedoch zu aufwendig, und es kam wiederholt zu Kompatibilitätsproblemen. Deshalb sind Videokonferenzen, außer konzernintern, heute so gut wie komplett durch Webkonferenzen abgelöst worden. Die technische Ausstattung dafür ist vorhanden und der bedarfsabhängige Austausch von Dokumenten, Messwerten, Simulationsergebnissen, auch in Videoform, erfolgt direkt bei jedem Gespräch, und das weltweit. Ein schneller internationaler Austausch unterstützt auf der einen Seite die Umsetzung von Bauteilplattformen, die weltweit genutzt werden können, und verbessert gleichzeitig die Vorbereitung eines Produkts für unterschiedliche, regionalspezifische Varianten,

bspw. verschiedene Gehäuse- bzw. Designvarianten.

Webkonferenzen haben den Informationsaustausch deutlich verbessert mit direkten Auswirkungen auf Entwicklungsgeschwindigkeit und Produktqualität. Der Produktentwickler kann seine Diskussionspunkte ohne aufwendige Dienstreisen international schnell klären und unmittelbar in das Projekt einfließen lassen. Eventuelle Verzögerungen werden so vermieden. Kurze wöchentliche oder auch tägliche Treffen des kompletten Teams oder einzelner Mitglieder sichern einen raschen und qualitativ hochstehenden Projektfortgang und dokumentieren gleichzeitig den Entwicklungsweg.

Fazit

Kein Unternehmen kann es sich leisten, auf Innovationen zu verzichten, um am Markt dauerhaft zu bestehen. Die Methoden und Werkzeuge der Produktentwicklung sind wie die zu entwickelnden Produkte selbst einem stetigen Wandel und Fortschritt durch Weiterentwicklungen unterzogen. Die Möglichkeiten der Produktentwickler haben aber dabei in den letzten Jahren stark zugenommen. Konstruktionsmethodiken haben zunehmend Einzug gehalten und Simulationstechniken sind aufgrund der erweiterten Möglichkeiten und den daraus resultierenden sehr guten Aussagequalitäten Standard geworden. Je nach Komplexität der Produkte ist eine Produktentwicklung heute sogar nur unter Einbeziehung der Simulationstechniken effizient zu erzielen ■

DER AUTOR

PROF. DR.-ING. THOMAS BRINKMANN, geb. 1958, ist Geschäftsführender Gesellschafter der Impetus Plastics Engineering GmbH, Aachen und als Professor an der Hochschule Rosenheim im Studiengang Kunststofftechnik tätig; t.brinkmann@impetus-engineering.de

SUMMARY

RACE OF PRODUCTS

DEVELOP AND DESIGN. New is the intensity with which methodical work is being performed and how value analysis experts are being used to not only generate new ideas, but to also take implementation and costs into account. Advances in simulation techniques help to provide a secure basis for innovations and to convert ideas into volume production at an ever-faster pace without the need for prototype testing. The trend among new products continues to be "green", lightweight and compact.

Read the complete article in our magazine

Kunststoffe international and on www.kunststoffe-international.com