

Klappern für die Kunststofftechnik

Neue Wege zu besonderen Bauteileigenschaften bringen das Spritzgieß-Handwerk voran

Klappern gehört zum Handwerk. In der Vergangenheit haben Handwerker auf Märkten mit hölzernen Klappern auf sich aufmerksam gemacht. Auch die Industrie heute versucht ihren Entwicklungen Gehör und Akzeptanz zu verschaffen, z. B. auf Messen und in den Medien. Was hatte die Spritzgießtechnik zuletzt zu bieten, auch abseits von Industrie 4.0? Vor allem Prozessentwicklungen, die den Einsatzbereich von Kunststoffbauteilen erweitern, sowie maschinentechnische Assistenzsysteme, die zuverlässiger eine gleichbleibend hohe Bauteilqualität ermöglichen. Und dann ist da noch das große Themenfeld Temperierung.

Wo führt das hin? Eine ganz normale Frage für einen Statusbericht. Wenn man zurückblickt, lässt sich fast alles erklären. Aber kann man mit einem Rückblick eine sichere Prognose für die Zukunft machen? Einigermaßen zuverlässig

scheint nur der Wetterbericht zu sein – auch wenn die Unsicherheit mit der Anzahl der Vorhersagetage rasant zunimmt, denn schon leichte Verschiebungen von Randbedingungen wirken sich auf die Entwicklung von Hochs und Tiefs aus.

Beim Spritzgießen ist es ähnlich. Zunächst ist die Herstellung von Spritzgussteilen eine etablierte Technik. Aber was sind die Hochs und Tiefs? Bringt Industrie 4.0 schönes Wetter, um im Bild zu bleiben?

Prozesse für leichtere Kunststoffteile

Deutlichen Aufwind verspüren in jedem Fall Schäumverfahren. Das Schäumen spielt eine wichtige Rolle für das Ansinnen, Bauteilgewicht einzusparen. Thermoplastschmelzen lassen sich aufschäumen, wenn zuvor darin gelöstes Treibgas (N₂ oder CO₂) aufgrund eines Druckabfalls aus der Lösung entweicht und in den Gaszustand wechselt. Das Schäumen erfolgt also beim Einspritzen, wenn der Schmelzedruck im Bereich der Fließfront den Lösungsdruck unterschreitet, bei CO₂ ist das unterhalb von ca. 70 bar und bei N₂ unterhalb von 34 bar der Fall.

Klassisch wird die Schmelze mit einem chemischen Treibmittel beladen, das dem Plastifizieraggregat mit dem Granulat zugeführt wird und sich während des Plastifizierens thermisch zersetzt sowie CO₂ bzw. N₂ freisetzt. Auch das physikalische Schäumen, bekannt als MuCell-Verfahren (Anbieter: Trexel), hat sich etabliert, wobei das Treibgas durch die Wand des Plastifizierzylinders als überkritische Flüssigkeit direkt der Schmelze zugeführt wird. Hierbei sind besondere Mischteil-schnecken erforderlich, damit das Treibgas möglichst fein in der Schmelze verteilt wird. Überwiegend wird beim Mu-



Anspruchsvolle Oberflächen im One-Shot-Verfahren: durch dynamische Wechseltemperierung hergestelltes Demonstratorbauteil aus vollständig recyceltem ABS (© KraussMaffei)

Cell-Verfahren N_2 verwendet, weil es preiswerter als CO_2 ist und eine etwas feinere Schaumstruktur erzeugt.

Alternativ hierzu hat das Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) der RWTH Aachen bereits 2010 das Profoam-Verfahren entwickelt, bei dem das Treibgas über einen druckdichten Materialtrichter zugegeben wird. Bei Drücken von 50 bar und den Temperaturen im Trichter bzw. in der Einzugszone der Schnecke diffundiert das Treibgas in das Kunststoffgranulat ein und liegt dann in Lösung vor. Hier wird überwiegend mit CO_2 gearbeitet, weil die Diffusionsgeschwindigkeit von CO_2 im Vergleich zu N_2 etwa doppelt so hoch ist. Nachteilig ist bei dieser Technik der etwas höhere Gasverbrauch im Vergleich zum MuCell-Verfahren, denn immer, wenn der Trichter mit Granulat befüllt wird, muss das System geöffnet und anschließend der Gasdruck erneut aufgebracht werden.

Die vorläufig letzte Ausbaustufe bildet eine gemeinschaftliche Entwicklung des Kunststoff-Instituts Lüdenscheid und der

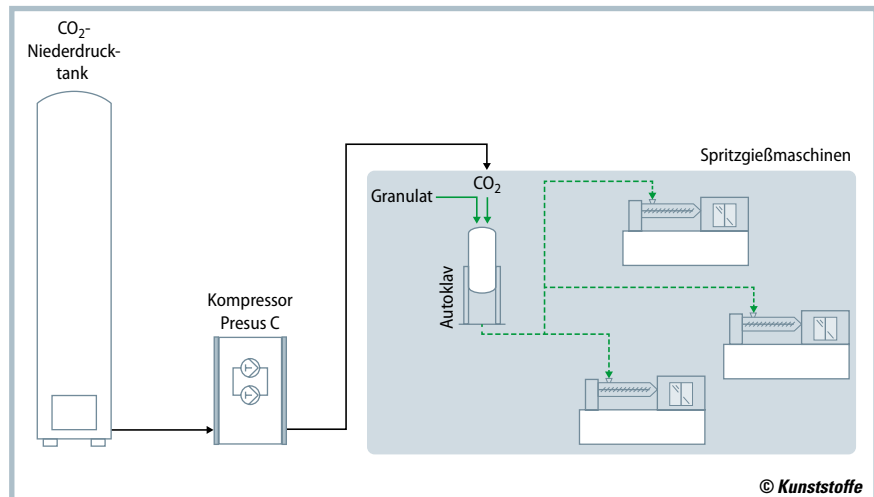


Bild 1. Anlage zur Begasung von Kunststoffgranulaten mittels Autoklav: Im Gegensatz zu anderen physikalischen Schäumverfahren wird das Granulat vorher mit dem Treibmittel beladen (Quelle: Linde)

Linde AG [1], später ergänzt um den Peripheriepartner ProTec. Man hat nämlich bei PET-Flaschen festgestellt, dass gelöstes CO_2 bei moderaten Temperaturen relativ langsam aus dem Kunststoff herausdiffun-

diert. Daher kann das Eindiffundieren auch in einem separaten Autoklaven erfolgen (**Bild 1**). So kann man gleich größere Kunststoffmengen vorbehandeln und dann an mehreren Maschinen verarbeiten. »

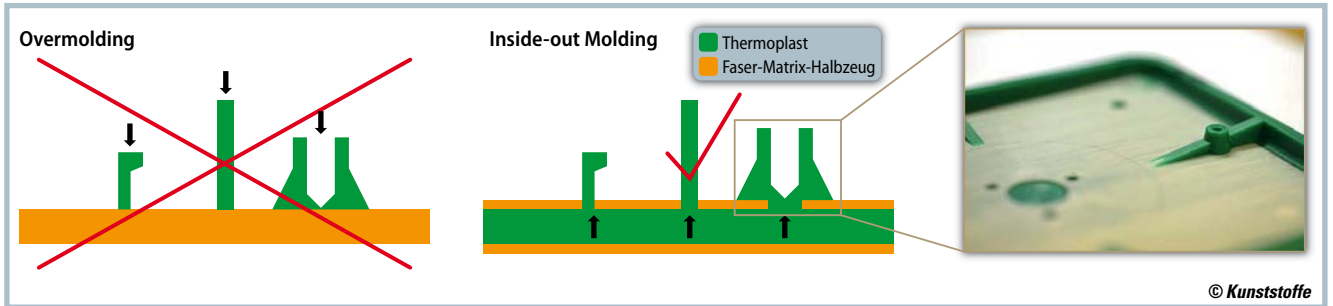


Bild 2. Schematischer Sandwichtaufbau mit zwei hinterspritzten Fasergeweben und durchtauchenden Rippenstrukturen. Alle Bauteilstrukturen werden kontinuierlich aus dem Kern heraus ausgeformt, statt sie auf ein Organoblech aufzuspritzen (Quelle: Fraunhofer LBF)

Prozesse für bessere mechanische Eigenschaften

Die Achillesferse thermoplastischer Kunststoffe ist der im Vergleich zu konventionellen Werkstoffen geringe E-Modul, der zudem mit steigender Temperatur kleiner wird. Für Leichtbauanwendungen ist häufig nicht nur das Gewicht entscheidend, sondern auch eine gute mechanische Belastbarkeit vonnöten. Die Steifigkeit lässt sich mit Fasern erhöhen. Bei längeren Fasern verbessern sich zusätzlich die Schlagzähigkeit und die Festigkeit. Bei Faserverstärkungen sind die Eigenschaf-

ten fast zwangsläufig anisotrop, also richtungsabhängig. Daher ist eine sorgfältige Ausrichtung von Fasern für definiert gute Produkteigenschaften wesentlich.

Bislang wurden faserverstärkte Thermoplast-Halbzeuge, sogenannte Organobleche, in Form von Geweben oder Gelegen aus im 90°-Winkel angeordneten Endlosfasern oder mit UD-Tapes (unidirektionale Faserfolien, nur eine Richtung) verwendet. Diese werden mit komplexen Bauteilstrukturen über- oder umspritzt. So erhält man über die Faserlage die sehr guten mechanischen Eigenschaften und über die spritzgegossene Bauteilgeome-

trie die große konstruktive Gestaltungsfreiheit.

Diese Organobleche sind meistens konsolidiert, d.h. Glas- oder Kohlenstofffasern und Thermoplastfasern werden unter Wärme verpresst, sodass die Thermoplastfasern aufschmelzen, das Gewebe infiltrieren und den Verbund nach dem Abkühlen fixieren, also ein Verschieben der Fasern verhindern. Das Überspritzen dieser Organobleche erfordert bei nicht flächigen Bauteilen einen Warmumformvorgang. Zuschnitte müssen also in einem separaten Ofen neben der Spritzgießmaschine erwärmt und können dann mit dem Schließvorgang des Werkzeugs umgeformt werden. Nicht konsolidierte Halbzeuge sind auch im kalten Zustand flexibel und verformbar. Sie waren bislang weniger interessant, weil die Prozesswärme des Spritzgießens für die Konsolidierung nicht ausreicht.

Diese Technik hat noch Schwachstellen: Zum einen sind Organobleche als Halbzeug relativ teuer, größere Reste nach dem Zuschneiden sind somit ein Kostentreiber. Zum anderen sind die Zykluszeiten noch ausbaufähig, auch wenn die Organobleche parallel zum Spritzgießzyklus erwärmt werden. Dazu kommt, dass die Bauteiloberflächen vergleichsweise schlecht sind, weil die Halbzeuge nicht zwangsläufig vollflächig überspritzt werden und in der Zeit zwischen dem Einlegen in das Werkzeug und dem Umformvorgang teilweise am Werkzeug anliegen und ungleichmäßig abkühlen.

Der Bedarf an mechanisch belastbaren Bauteilen ist jedoch hoch, sodass mehrere parallele Entwicklungen laufen. Das Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit (LBF) favorisiert dünne, nichtkonsolidierte zweilagige Faserverbunde, zwischen die die

Bild 3. In das Werkzeug integrierte Haltestempel haben die erwärmten Fasertapes exakt positioniert, bevor diese mit einem faserverstärkten Thermoplast überspritzt und zum fertigen Bauteil ausgeformt werden

(© Georg Kaufmann
Formenbau)

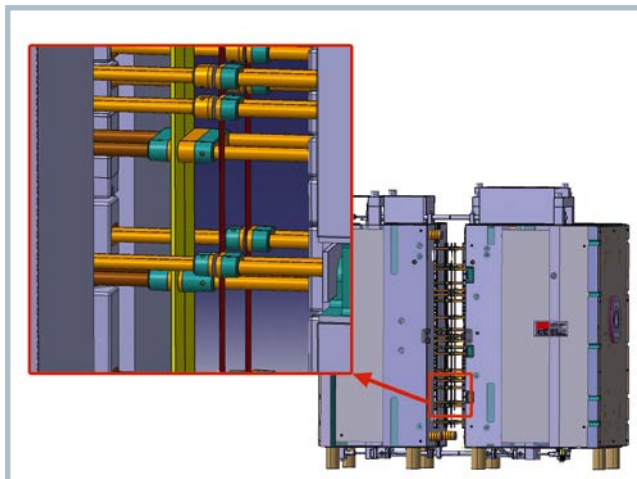


Bild 4. Multiaxial-Tapelegeanlage: Das Konzept sieht zwei Vakuum-Legetische und bis zu vier Materialzuführungen für einen prozessstabilen flexiblen UD-Tape-Gelegeaufbau vor (© NMB)



Schmelze eingespritzt wird [2]. Die beiden Lagen bilden somit die Bauteiloberflächen. Aus mechanischer Sicht ist das sehr sinnvoll, weil die Schichten in der Querschnittsmitte bei einer Biegebelastung ohnehin kaum belastet werden. Wenn die Lagen zuvor im Bereich von z. B. Rippen eingeschnitten werden, kann die Schmelze hindurchtauchen und die gewünschten nicht flächigen Geometriebereiche füllen (**Bild 2**).

Dadurch ist die Belastbarkeit der reinen Spritzgussbereiche erheblich besser im Vergleich zu den konventionell überspritzten Organblechen, bei denen die Schmelze das Organblech zunächst anschmelzen muss, um mit ihm verschweißen zu können. Die Konsolidierung kann mit dieser Technik gut erfolgen, weil die hinterspritzten Verbundlagen mit circa 0,5 mm ziemlich dünn sind und im Bauteilinneren reichlich Wärme der Thermoplastschmelze für den Prozess nutzbar ist.

Etwas näher an einer möglichen industriellen Umsetzung ist das IKV. Hier werden nur noch besonders belastete Bauteilbereiche mit UD-Tapes verstärkt [3]. Diese Tapes werden als dünne Folienstreifen eingesetzt, die in bestimmten Breiten als Endlosrollenware verfügbar sind. Sie werden im Werkzeug zwischen Klemmstempeln auf der Düsen- und der Auswerferseite fixiert (**Bild 3**). Wenn die Schmelze beim Einspritzen diese Klappen erreicht, werden sie ähnlich wie bei einer Heißkanalkaskade gesteuert zurückgezogen, sodass die Schmelze die Tapes schließlich vollflächig überspritzt kann [4].

Eine Herausforderung ist aktuell noch die Handhabung der Tapes. Für eine flächige Verstärkung müssen mehrere Tapes

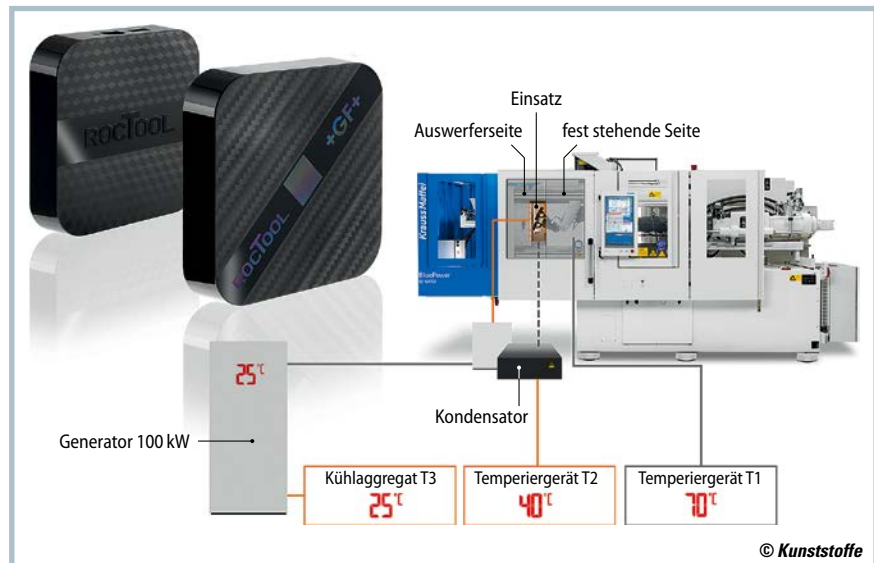


Bild 5. Anlagenkomponenten für induktiv beheizbare Werkzeuge. Mit der Komplettanlage kann der Anwender komfortabel verschiedene Temperaturzonen steuern (Quelle: KraussMaffei)

vorkonfektioniert werden. So entwickeln z. B. der Spritzgießmaschinenhersteller Engel und die Neue Materialien Bayreuth GmbH (NMB) hierfür Anlagen (**Bild 4**), die ein Muster aus unterschiedlich lang zugeschnittenen Tapes legen und die Einzelagen punktuell verschweißen [5, 6]. Diese Gelege können anschließend wieder warmumgeformt oder direkt im Spritzgießwerkzeug hinterspritzt werden. Je schmaler die Tapelagen sind, desto geringer ist der Verschnitt, aber desto mehr Legevorgänge sind notwendig und desto länger dauert der Legeprozess.

Wechseltemperierung für eine besonders hohe Oberflächenqualität

Für gute Oberflächen ohne aufwendige Nachfolgeprozesse wie z. B. das Lackieren

bieten sich mehrere Prozesse an. Es ist bekannt, dass Werkzeuge mit alternierend heißen und kalten Oberflächen sowohl eine hervorragende Abformung der Oberflächenstruktur der Kavität ermöglichen als auch zügige Zykluszeiten. Eine geeignete Technik für eine solche Wechseltemperierung ist die induktive Erwärmung der Kavitätsoberflächen, die im fast geschlossenen Werkzeug erfolgt. Abhängig von der Frequenz und der Leistung eines elektrischen Wechselfelds lässt sich die Eindringtiefe und somit die zu erwärmende Schichtdicke regeln. Sobald das Wechselfeld abgeschaltet wird, kommt es zum Wärmeausgleich mit dem ansonsten kalten Werkzeug.

Je geringer das Stahlvolumen ist, das erwärmt werden muss, desto niedriger sind die notwendigen Energiekosten. »

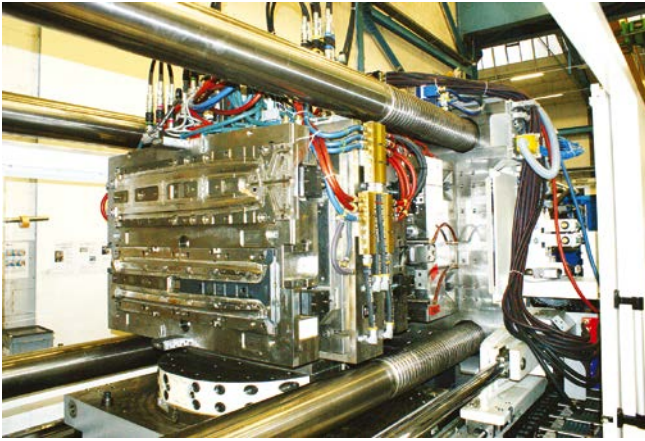


Bild 6. Alle vier Teile der A-Säulenverkleidungen werden in diesem Wendeplattenwerkzeug gespritzt und nach dem Wenden des Werkzeugs in der Lackkavität überflutet – in einem einstufigen sowie löse- und trennmittelfreien Prozess (© Panadur, KraussMaffei)

Es wird zwar kurzfristig eine hohe Leistung benötigt; berücksichtigt man aber die Aufheizleistung über den gesamten Zyklus, bleibt der Energiebedarf insgesamt niedrig.

Andere Lösungen im Werkzeug könnten im preiswertesten Fall Zweikreistemperierungen mit zwei Heiz- bzw. Kühlgeräten sein oder eine Kombination aus einer elektrischen Widerstandsheizung und einer konventionellen Medientemperierung. Der Nachteil dieser technisch einfacheren Varianten ist der höhere Energiebedarf, denn hier wird das Werkzeug von innen her erwärmt und somit ist das betroffene Stahlvolumen zwangsläufig größer.

Der Maschinenbauer KraussMaffei bietet zusammen mit dem Werkzeugspezialisten Roctool Anwendern ein komplettes Dienstleistungspaket für die Bauteilentwicklung, damit die Induktionstechnik zum Einsatz kommen kann (**Bild 5**). Der Vorteil dieser Allianz besteht darin, das große Vertriebsnetz von KraussMaffei mit dem Know-how von Roctool bei der Entwicklung und dem Einbau induktiv beheizter Werkzeuge zu paaren.

Es sollte nicht unerwähnt bleiben, dass sich mit der Induktionstechnik kurzfristig Werkzeugoberflächentemperaturen von 160°C erreichen lassen. Das hat auch eine Wirkung auf die Fließweglängen. Bei 1,5 mm dicken Prüfmustern lassen sich je nach Kunststoff die Fließweglängen bei ABS um fast 40% und bei PP um ca. 70% steigern [7]. Die Partner sehen auch Chancen für die Verarbeitung von Rezyklaten (**Titelbild**). Speziell Bauteile, die nachträglich galvanisiert werden, verlangen eine sehr gute Oberflächenqualität des Rohteils.

Daneben bietet KraussMaffei weiterhin das ColorForm-Verfahren an, bei dem in einem Overmolding-Verfahren ein zuvor gespritztes Kunststoffteil in einem nachfolgenden Prozessschritt mit einem Polyurea-Lack überflutet wird (**Bild 6**). Der Vorteil dieser Kombination ist zweifach: Einerseits ist der Lack aushärtend, sodass die Oberfläche im Vergleich zu üblichen Thermoplasten ziemlich kratzfest ist. Andererseits ist der Lack vor der Vernetzung sehr leichtfließend und überdeckt größere Flächen mit einer sehr dünnen Schicht [8]. Auf diese Weise werden typische Oberflächenfehler von Spritzgussteilen einfach überdeckt. Das Ergebnis ist bei schwarzer Einfärbung eine Brillanz, die mit der von Klavierlack vergleichbar ist.

Im Werkzeug überflutet und mit Elektronik bedruckt

Die Anlagentechnik ist ziemlich aufwendig und beinhaltet eine konventionelle Spritzgießmaschine mit einem großen Öffnungshub, wenn ein Werkzeug mit einer vertikalen Dreheinheit zum Einsatz kommt. Statt eines zweiten Spritzgießaggregats kommt eine Dosiereinheit für die beiden Polyurea-Basiskomponenten mit einem an das Werkzeug angebauten Mischkopf zum Einsatz. Erfreulicherweise gibt es bereits eine erste Anwendung dieser Technik im Markt: Der Schweizer Kunststoffverarbeiter Weidplas produziert auf diese Weise die A-Säulenverkleidung des Peugeot 3008.

Eine weitere Möglichkeit, besondere Oberflächen zu erzeugen, ist das Hinterspritzen von Folien. In einem von Engel gemeinsam mit dem Werkzeugbauer

Kaufmann und dem Oberflächenspezialisten Benecke-Kaliko entwickelten Prozess werden Folien vor dem Hinterspritzen zunächst warmumgeformt. Man spricht hier von In-Mold Graining [9], womit die Bildung einer definierten Oberflächennarbung gemeint ist. Dabei werden mit einem PUR-Lack versehene, circa 0,5 mm dicke TPO-Folien bei geöffnetem Werkzeug mit einem IR-Strahler erwärmt und anschließend in der Auswerferseite des Spritzgießwerkzeugs tiefgezogen (**Bild 7**). Hierfür muss das Werkzeug zwei Funktionen erfüllen.

Für die Tiefziehfunktion wird die Folie mit Unterdruck an die strukturierte Werkzeugoberfläche gezogen. Dafür sorgt ein Mehrschichtaufbau aus einer Nickelschale mit der Narbung und entsprechenden Bohrungen für das Luftabsaugen, die in ein stabiles Grundgerüst für den Spritzgießprozess eingebettet ist. Der Hohlraum zwischen diesen beiden Schichten besteht aus einem mikroporösen, luftdurchlässigen Harz. Dieser Aufwand muss sich natürlich wirtschaftlich umsetzen lassen. Das Konsortium hat einen Kostenvorteil von 14% im Vergleich zu einem mehrstufigen Prozess aus konventionellem Spritzgießen und anschließendem Lackieren errechnet.

Hinterspritzte Folien bieten nicht nur die Möglichkeit, die Oberfläche zu dekorieren oder Oberflächenfehler zu kaschieren. Unternehmen wie der Automobilzulieferer Heyco bedrucken Folien zusätzlich mit elektrisch leitfähigen Tinten [10]. Damit können elektrische Schaltkreise erzeugt werden, sodass die spritzgegossenen Bauteile anschließend z.B. Bedienfelder mit kapazitiven Tasten aufweisen

(Bild 8). Je nach Farbaufbau können die Bauteile auch teilweise lichtdurchlässig sein, sodass die Schaltsymbole erst bei eingeschalteter Hinterleuchtung sichtbar werden. Wegen der durchgehend fugenlosen Folienoberfläche erscheinen die Bauteile bei ausgeschalteter Hinterleuchtung farblich unauffällig gleichmäßig.

Radikale Gedanken in der Maschinentechnik – mit klaren Anwendungsvorteilen

„Rückströmsperre adieu“ ist man versucht zu sagen, wenn man eine überraschende Entwicklung von KraussMaffei in Zusammenarbeit mit der Universität Duisburg-Essen betrachtet [11]. Ausgangspunkt ist hier die Problemzone der Rückströmsperre. Diese dient als Ventil, das beim Einspritzen ein Rückströmen der unter hohem Einspritzdruck stehenden Schmelze aus dem Schneckenorraum verhindert. Sofern dieses Ventil nicht mit jedem Zyklus immer gleich schließt, ergibt sich eine Schussgewichtsschwankung von ca. 1%,



Bild 7. Werkzeughälfte für das Tiefziehen und Strukturieren von TPO-Folien. Der Prägeprozess beginnt während des Aufheizens, indem die Folie (hier schwarz) durch Vakuum in die IMG-Form gezogen wird (© Engel)

die in der Nachdruckphase weitgehend ausgeglichen wird. So weit besteht hier eigentlich kein Problem – gäbe es nicht einen kontinuierlichen Verschleiß und somit wiederholten Reparaturbedarf.

Es hat schon viele Verbesserungen bei Rückströmsperren gegeben, aber bislang hat noch niemand den radikalen Gedanken weiterverfolgt, die Rückströmsperre wegzulassen. Das ist nun offen-

sichtlich möglich, wenn stattdessen eine Schneckenspitze mit Staufunktion eingesetzt wird (Bild 9). Ähnlich wie bei einer Barrierschnecke muss die Schmelze beim Plastifizieren Staustege überwinden. Beim nachfolgenden Einspritzen ist der Spritzdruck erheblich höher als der Staudruck während des Plastifizierens, sodass es beim Einspritzen zwangsläufig zu einer Rückströmung kommt. Die- ➤



Bild 8. Folienhinterspritzte Blende mit Dekor und aufgedruckten kapazitiven Tasten. Die Funktionssymbole sind lasurschwarz hinterlegt, sodass die Tasten nur bei entsprechender Hinterleuchtung sichtbar sind. Das Drucklayout beinhaltet ein Rad, mehrere Tasten und einen seitlich herausgeführten Flextail (© Heyco)



Bild 9. Schneckenspitze mit Staufunktion: Die veränderte Geometrie und fortlaufende Rotation verhindern einen Schmelzerückfluss in der Einspritz- und Nachdruckphase (© KraussMaffei)

se Rückströmung wird kompensiert, indem während des Einspritzens eine moderat geringe Schneckendrehzahl aufrechterhalten und somit weiter plastifiziert wird.

Im Vergleich mit einer konventionellen Rückströmsperre zeigt sich eine klare Verbesserung der Schussgewichtskonstanz. Ein gewisser Nachteil könnte in der etwas längeren Plastifizierzeit liegen, weil

die Staufunktion an der Schneckenspitze einen zusätzlichen Staudruck bewirkt. Bei der Messung des Energiebedarfs zeigt sich eine höhere Antriebsleistung am Schneckenantrieb, gleichzeitig sinkt die Leistung für die Zylinderheizung. Insgesamt ist der Gesamtenergiebedarf gleich groß, die Schmelztemperatur circa 10°C höher und die Schussgewichtskonstanz größer. Man könnte nun die eingestellte

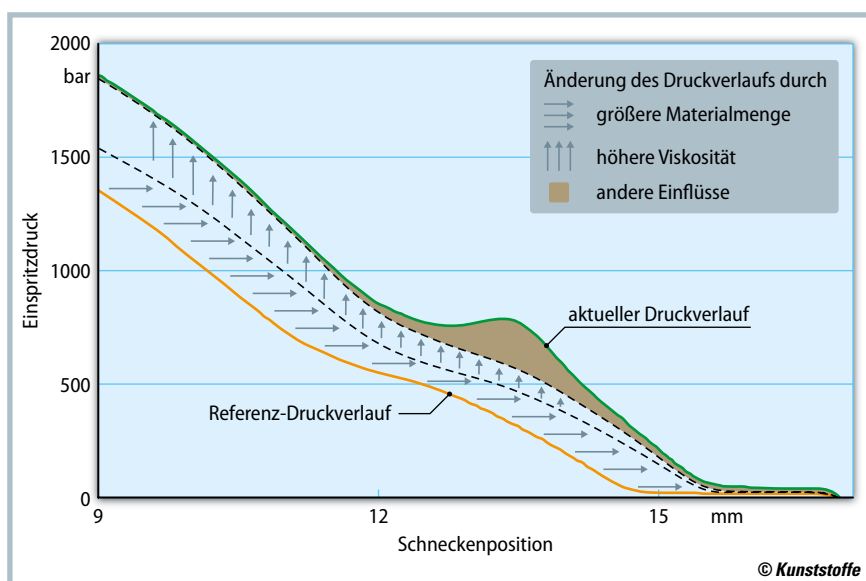


Bild 10. Veränderungen des Einspritzvolumens, der Viskosität und des Druckverlaufs können die Bauteilqualität beeinflussen. Im ungünstigsten Fall kommen, wie hier dargestellt, unterschiedliche Störfaktoren zusammen (Quelle: Engel)

Zylindertemperatur leicht absenken und so etwas Energie sparen.

Adaptive Regelung hält die Qualität konstant hoch

Jeder Praktiker kennt Prozessschwankungen, wenn der Trichter wieder neu befüllt wird und das neue Material sich vom vorherigen in Trocknungszustand, Farbe oder Charge unterscheidet. Das Schließen der Rückströmsperre bewirkt eine statistische Streuung des Schussgewichts, die Materialänderung eine sprunghafte Änderung der Qualität.

Selbst sehr gute, mikroprozessorgeregelte Spritzgießmaschinen reagieren nicht auf Chargenschwankungen bei der Materialzufuhr. In dem Fall muss ein Bediener die Maschineneinstellung nachjustieren, damit die Bauteile weiterhin mit der gewünschten Qualität gespritzt werden. Eine geregelte Maschine sorgt nämlich nur dafür, dass der Einspritzvorgang immer gleich abläuft. Üblicherweise wird hierfür der notwendige Einspritzdruck so geregelt, dass die Einspritzgeschwindigkeit bei jedem Zyklus gleich ist.

Adaptive Regelungen reagieren auf Materialeinflüsse, indem zusätzlich die Prozesseinstellung automatisch verändert wird. Eine ältere Form dieser adaptiven Regelung ist der sogenannte Lego-Prozess mit ansonsten unregulierten Maschinen. Grundidee ist hier, dass die Schnecke bei einem eingestellten Einspritzdruck je nach Fließfähigkeit der Schmelze schneller oder langsamer ist. Damit der Prozess die Einspritzgeschwindigkeit auch bei Materialveränderungen gleich hält, wird über mehrere Zyklen hinweg die Einspritzzeit gemittelt und über diesen berechneten Istwert der Einspritzdruck korrigiert [12]. Mit geregelten Maschinen ist man ähnlich verfahren und hat über mehrere Zyklen hinweg den maximalen Einspritzdruck gemittelt und auf diesen berechneten Istwert hin die Nachdruckhöhe korrigiert [13].

Mit den höheren Rechnerleistungen wurde es möglich, auf Änderungen des Einspritzvorgangs noch im selben Zyklus zu reagieren. Bei Engel heißt das iQ weight control und bei KraussMaffei APC (Adaptive Process Control). Hierbei wird der Druckverlauf über dem Einspritzweg bzw. der Zeit jeweils mit einem Referenzzyklus verglichen. Wenn die Rückströmsperre später schließt, verschiebt sich die

Kurve nach links bzw. der Druckanstieg kommt später. Verschlechtern sich die Fließeigenschaften der Schmelze, wird die Kurve etwas steiler.

Im ersten Entwicklungsschritt hat man aufgrund dieser veränderten Druckkurve den Umschaltzeitpunkt zwischen Einspritz- und Nachdruckphase korrigiert und somit das unregelmäßige Schließen der Rückströmsperre kompensiert [14]. Mit der nächsten Entwicklungsstufe wird nun zusätzlich auch der Nachdruck korrigiert [15, 16].

Engel bietet als Nebenprodukt dieser Entwicklung für alle neuen Spritzgießmaschinen das Softwarepaket iQ weight monitor an. Damit werden aus dem Kurvenverlauf Istwerte für das aktuelle Einspritzvolumen und die Viskositätsänderung berechnet (**Bild 10**). Diese berechneten Werte spiegeln die tatsächliche Qualität des soeben gespritzten Bauteils deutlich besser wider als die bisher genutzten Werte des Massepolsters oder der Einspritzarbeit (Fläche unterhalb der Druck-Schneckenweg-Kurve). Der Nutzer der Maschine kann sich später frei entscheiden, ob er die Option der Regelung zusätzlich einkauft.

Geschlossener Regelkreis mit einer externen Qualitätsüberwachungseinheit

KraussMaffei sieht mit der Entwicklungsstufe APC plus auch Chancen für die Duromerverarbeitung [17]. Hier kommen häufig auch Schnecken ohne Rückströmsperre zum Einsatz, weil man längere Verweilzeiten und dadurch die Ge-



Bild 11. Anlage für die optische Überwachung von Verschlusskappen: Die tatsächlich gemessenen Qualitätsmerkmale fließen in die Prozessregelung
(© Intravis)

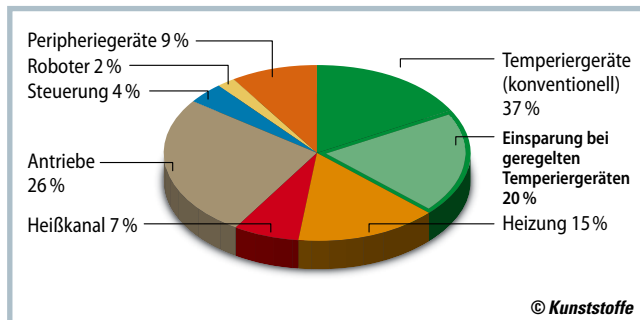


Bild 12. Durch die automatische Drehzahlregelung kann der Anteil der Temperiergeräte am Gesamtenergieverbrauch der Spritzgießanlage erheblich reduziert werden (Quelle: Engel)

fahr eines Vernetzungsbeginns schon im Plastifizierzylinder auf jeden Fall vermeiden will. Außerdem kommen Charginchwankungen bei Duromeren häufiger vor. Wenn die adaptive Regelung von Umschaltzeitpunkt und Nachdruckhöhe bei Thermoplasten gut funktioniert, warum sollte es bei Duromeren anders sein? Vielleicht wird das die Nutzung dieser vernetzten Materialien ankurbeln, denn Duromerbauteile können bei wesentlich höheren Temperaturen eingesetzt werden.

Der Schweizer Spritzgießmaschinenhersteller Netstal nutzt für eine Qualitätsregelung tatsächlich gemessene Qualitätsmerkmale [18]. Bei der Herstellung von Verschlusskappen wird zunächst die Zykluszeit verkürzt, indem die Kappen sehr früh mit noch hoher Resttemperatur entformt werden. Die Peripherie der Maschine besteht aus einem Kühlförderband, bei dem gekühlte Luft die noch sehr warmen Bauteile überströmt, und einer optischen Qualitätsüberwachungseinheit von Intravis, die jede einzelne Verschlusskappe »

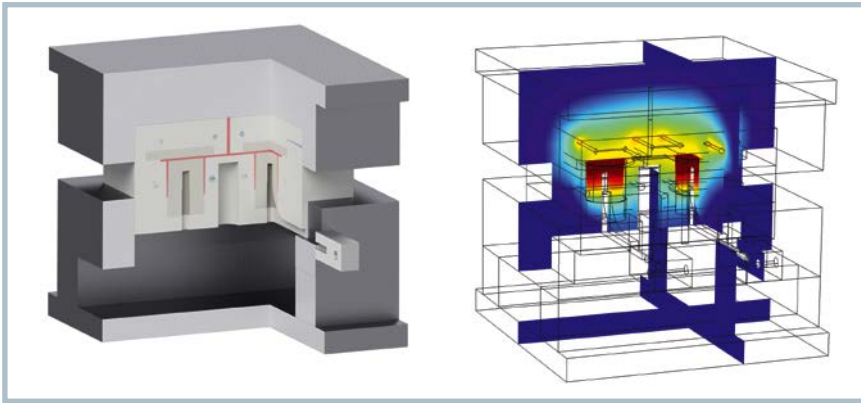


Bild 13. Berechnungsergebnis der Temperaturentwicklung im Spritzgießwerkzeug im zyklischen Betrieb. Heatpipes ermöglichen hier einen schnellen Wärmeaustausch. Die Wärme der Schmelze kann entweder komplett aus dem Werkzeug geleitet werden oder in definierte Klimazonen in kavitätsfernen Bereichen (© FH Bielefeld)

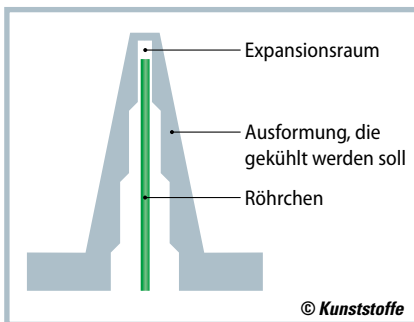


Bild 14. Schematischer Aufbau einer Kernkühlung beim Einsatz verdampfbarer Kältemittel (Quelle: Linde)

fotografiert und mit einem Referenzbauteil vergleicht (Bild 11). Änderungen im Bauteilmaß werden so mit kurzer Verzögerung nach dem Spritzgießvorgang erfasst und die Spritzgießmaschine kann die Prozesseinstellung für die nachfolgenden Produktionszyklen automatisch korrigieren. Hierfür kommuniziert die Maschine mit der Überwachungseinheit über eine OPC-UA-Schnittstelle.

Den Energieverbrauch in der Peripherie in den Blick nehmen

Spritzgießen ist energieintensiv. Mit jedem Zyklus muss Kunststoff aufgeschmolzen und wieder heruntergekühlt werden. Auch wenn die Energiekosten nur einen Anteil von weniger als 5% der Herstellkosten ausmachen, sind heute doch viele Menschen zunehmend sensibel, was die Nutzung von Energie angeht. Dass elektrische Antriebe im Vergleich mit hydraulischen einen erheblich höheren Wirkungsgrad haben und der Energieverbrauch so gesenkt werden kann, ist bekannt.

Zudem hat Engel als Systemlieferant erkannt, dass neben der Spritzgießmaschine auch die Peripherie für einen großen Teil des Energiebedarfs verantwortlich ist. Untersuchungen zeigen, dass die Geräte für die Werkzeugtemperierung 37% des Gesamtenergiebedarfs benötigen. Gemeinsam mit HB-Therm, dem Zulieferer der Temperiergeräte, wurden drehzahlregelte Temperiergeräte entwickelt [19]. Im Aufheizbetrieb läuft die Pumpe mit voller Drehzahl. Nach dem Anfahrvorgang ist der Heizbedarf für die Werkzeuge geringer, weil im zyklischen Betrieb die Wärme stetig der Kunststoffschmelze zugeführt wird. Dann kann die Pumpe stufenweise mit geringerer Drehzahl arbeiten, wodurch der Gesamtenergiebedarf von Spritzgießmaschine und Peripherie um ca. 20% reduziert wird (Bild 12). Auch hier kommuniziert die Maschine mit den Peripheriegeräten über eine OPC-UA-Schnittstelle.

Bei Single Temperiertechnik weiß man, dass die Pumpenleistung (je nach Gerätegröße zwischen 0,5 und 2,8 kW) nur für das Aufheizen und den Anfahrvorgang und ggf. zum Prozessende für das Herunterkühlen vor dem Werkzeugwechsel notwendig ist. Die Energieaufnahme der Pumpe sinkt in der dritten Potenz mit der Drehzahl [20]. Im zyklischen Betrieb ist der Heizbedarf der Temperiergeräte nur noch sehr gering, sodass mit einer um 70% verringerten Drehzahl der Energiebedarf der Pumpe nur noch 10% im Vergleich zum Volllastbetrieb ausmacht.

Über eine adaptive Regelung kann die Drehzahl in Abhängigkeit von der

Temperaturdifferenz von Ein- und Ausgang zuverlässig an den Heizbedarf angepasst werden. Hierbei sollte die Temperatur möglichst dicht am Werkzeug gemessen werden. Für eine gleichmäßige Temperierung des Werkzeugs sollte die Temperaturdifferenz 5°C nicht überschreiten. Der Bediener muss am Temperiergerät lediglich eine maximale Temperaturdifferenz einstellen, den Rest erledigt das Gerät selbstständig, auch im Fall von Prozessstörungen.

Wärmeleitrohre für schnellere Zyklen in Werkzeugen mit schlanken Kernen

Eine weitverbreitete Fachmeinung geht davon aus, dass die Werkzeugtemperatur wesentlich die Abkühlzeit beeinflusst. Grundsätzlich ist das so richtig, aber man sollte sich auch klar machen, dass ein Werkzeug nicht nur eine Werkzeugtemperatur hat. Speziell in engen Kernbereichen ist die Wärmeabfuhr physikalisch nicht so einfach möglich. Daher ist es häufig so, dass Zyklen langsamer als gewünscht verlaufen, weil Teilbereiche nicht ausreichend temperiert werden. Für kurze Zykluszeiten müssen daher zwei Fragenkomplexe für den zyklischen Betrieb geklärt werden:

- Wie niedrig darf die Temperatur an den kältesten Stellen des Werkzeugs sein? Mit welcher Temperatur ist die geforderte Oberflächentemperatur noch erreichbar?
- Wo ist das Werkzeug im zyklischen Betrieb am heißesten? Wie groß sind die lokalen Temperaturunterschiede bzw. bei welcher Maximaltemperatur ist das Bauteil noch formstabil entformbar?

Die FH Bielefeld entwickelt Werkzeuge, die gänzlich ohne konventionelle Medientemperierung auskommen [21]. Dort befasst man sich intensiv mit der exakten Berechnung der zeitlichen Temperaturentwicklung im zyklischen Betrieb und weiß, dass bei höheren Werkzeugtemperaturen ab ca. 70°C häufig die über Strahlung und Konvektion abgeführte Wärme weitgehend im Gleichgewicht mit der über die Schmelze zugeführten Wärme ist. Dabei wurden die Simulationen gewissenhaft mit realen Werkzeugen überprüft.

Das Problem sind Bereiche mit schlanken Kernen. Diese Bereiche lassen sich sehr gut mit Wärmerohren (Heatpipes)



Bild 15. Die Breitschlitz-Heißkanaldüse FDU erlaubt größere Durchsatzmengen pro Zeiteinheit und damit kürzere Einspritzzeiten, ohne wesentliche Abstriche bei der Anschnittqualität (siehe die Abrisslinie an einer Fleischkiste links) akzeptieren zu müssen © Hanser/C. Doriat, Haidlmaier



temperieren (**Bild 13**). Hierbei handelt es sich um stiftförmige Normalien, die im Inneren Wasser bei einem Druck erheblich kleiner als 1 bar enthalten. Bei Unterdruck kann das Wasser bereits bei 40°C verdampfen, der Dampf breitet sich aus und kondensiert an kälteren Bereichen wieder. Die Verdampfungs- bzw. Kondensationswärme ist bei Wasser sehr hoch, d. h. dort, wo das Wasser verdampft, wird

der Umgebung viel Wärme entzogen. Die Wärme wird an den kälteren Bereichen wieder in das Werkzeug geleitet. Weil das Wärmerohr ein geschlossenes System ist, funktioniert es völlig autark und verlustfrei.

Voraussetzung für eine hohe Wirksamkeit ist eine gute thermische Trennung zwischen der kalten und der warmen Seite der Wärmerohre. Die Vorteile

dieser Wärmerohre: Wärme kann über größere Strecken problemlos „verschoben“ werden. Zudem lassen sich auch enge Kernbereiche temperieren. Eine konventionelle Medientemperierung kommt hier an physikalische Grenzen, weil an solchen Stellen eine turbulente Strömung als Voraussetzung für einen guten Wärmeübergang nur schwer zu erzielen ist. Und die Wärmerohre verschleißt nicht bzw. sie können sich nicht wie mit Wasser durchflutete Temperierkanäle zusetzen.

CO₂-Kühlung von Problemzonen

Auch Linde und das Kunststoff-Institut Lüdenschied haben mit „Platinum Spot Cooling“ [22] eine Lösung zur Kühlung schlanker Kerne entwickelt (**Bild 14**). Hierbei handelt es sich um eine Kombination der Stemke- und der Toolvac-Kühlung.

Die Toolvac-Kühlung geht auf ein Patent aus dem Jahr 1991 zurück [23]. Hierbei wird flüssiges CO₂ in einen porösen Werkzeugkern geleitet und dort entspannt. Durch den Druckabfall verdampft das »

Der Autor

Prof. Dr.-Ing. Christoph Jaroschek betreut seit 1998 an der FH Bielefeld im Bereich Maschinenbau das Fachgebiet Kunststoffverarbeitung. Die Schwerpunkte seiner Forschung liegen in der Werkzeug- und Prozesstechnik; christoph.jaroschek@fh-bielefeld.de

Service

Literatur & Digitalversion

➤ Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/6808075

English Version

➤ Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at www.kunststoffe-international.com

CO₂ und entzieht der Umgebung Wärme. Gleichzeitig entsteht ein gewisser Gasdruck, der auf die dem Kern zugewandte Bauteilfläche wirkt, im Prinzip ein frühes Gasaußendruck-Verfahren.

Die Stemke-Kühlung wurde erstmals 2007 vorgestellt, sie nutzt das Kühlschranksprinzip. Ein unter Druck stehendes Kältemittel wird über eine Kanüle in einen Werkzeugkern geleitet und dort entspannt. Dadurch verdampft das Kältemittel und entzieht der Umgebung Wärme. Es können Temperaturen von bis zu -78 °C entstehen. Wenn man die Menge des Kältemittels über kurze Zuführimpulse begrenzt, kann man für das Spritzgießen sinnvolle Temperaturen einstellen. Der Vorteil des Stemke-Verfahrens im Vergleich zur Toolvac-Kühlung ist der geschlossene Kreislauf, denn das Kältemittel wird wieder aus dem Werkzeug geleitet

und für den nächsten Zyklus erneut komprimiert [24].

Die „Platinum Spot“-Kühlung nutzt nun wieder CO₂, das ähnlich wie bei der Stemke-Kühlung über eine Kanüle in das Werkzeug geleitet wird. Angesichts der anhaltenden Diskussionen über CO₂-Emissionen ist anzumerken, dass das CO₂ quasi ein Abfallprodukt aus anderen Prozessen ist, z. B. aus der Düngemittelherstellung, wo es sehr rein anfällt, oder aus Abgasen, die eine nachgeschaltete Reinigung erforderlich machen.

Kühlzeitverkürzung durch die Hintertür

Eine Kühlzeitverkürzung muss nicht zwingend über die Werkzeugtemperierung erfolgen. Bei den üblichen Düsenquerschnitten in Heißkanälen wird die Schmelze zwangsläufig stark beschleunigt. Das bringt einen beträchtlichen Energieeintrag während der Einspritzphase mit sich, die Schmelze wird quasi zusätzlich erwärmt – und die Kühlphase zwangsläufig verlängert. Um dem entgegenzuwirken, hat der österreichische Werkzeugbauer Haidlmair eine (bis zu) 25 mm breite Schlitzdüse (FDU, Flat Die Unit) für Heißkanäle entwickelt [25].

Durch den erheblich vergrößerten Querschnitt im Übergang zur Kavität sinken der Druckbedarf und die Strömungsgeschwindigkeit der Schmelze. Im Praxis Einsatz ergibt sich daraus laut Hersteller eine Kühlzeitreduktion von über 15 %. Die zuvor gemachten rheologischen Simulationen werden bestätigt, sie zeigen im Vergleich zu konventionellen Düsen mit Kreisquerschnitt deutlich geringere und gleichmäßigere Schmelzetemperaturen unmittelbar nach dem Ende des Einspritzens. Besonders eignen dürfte sich das

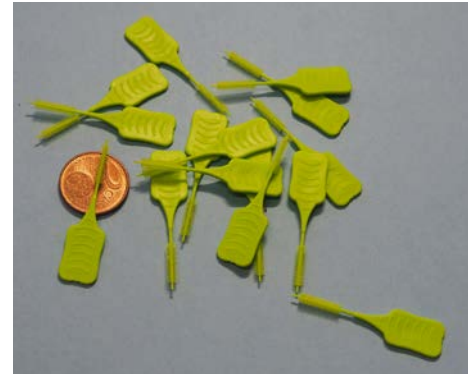


Bild 16. Die steife Seele und bis zu 500 weiche Borsten der Intradentalkörperbürsten lassen sich im 1K-Spritzgießprozess ausformen (© Hanser/ C. Doriat)

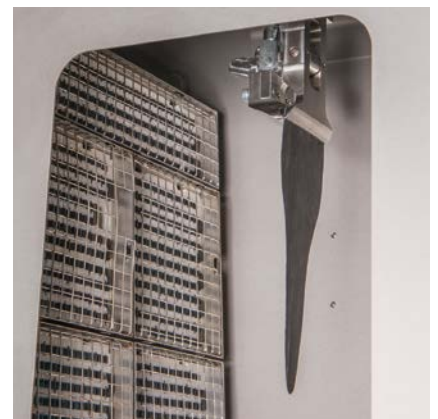
Prinzip für Anwendungen mit relativ dünnwandigen und schweren Bauteilen, bei denen viel Schmelzevolumen eingespritzt wird. Beispiele hierfür sind z. B. Flaschenkästen, Transportkästen oder insgesamt großflächige Bauteile (Bild 15).

Konkurrenzlose Besonderheiten

Einige Entwicklungen der jüngeren Vergangenheit sind teilweise kurios oder laden zum Staunen ein. Der Betrachter fragt sich, wie diese Entwicklungen vielleicht das eigene Geschäft oder Handeln beeinflussen können. Möglicherweise ist es einfach nur gut, sich an dem Mut und der Tatkraft der Akteure ein Beispiel zu nehmen.

Das erst vor sechs Jahren gegründete Unternehmen Pheneo befasst sich mit Produkten der Medizintechnik, u. a. auch mit Zahnzwischenraumbürsten. Ein Problem bei solchen Bürsten soll der Metallkern sein, weshalb das Entwicklungsziel eine metallfreie Variante war. Es handelt sich hier um ein klassisches Einwegpro-

Bild 17. Bevor der Fahrradsattel im Spritzgießwerkzeug von GK Tool hergestellt wird (links), werden die strukturverstärkenden Lamine mit kundenindividuellem Zuschnitt in einem IR-Ofen von Krelus (rechts) erwärmt (© IKV)



dukt. Daher darf kein kostspieliges Verfahren zum Einsatz kommen. Nun muss das Dilemma gelöst werden, dass die Borsten sehr weich sein müssen und der axiale Grundkörper eine gute Steifigkeit haben soll.

Die Lösung ist überraschend einfach und die Vorgehensweise für eine deutsche Entwicklung erstaunlich experimentell und nicht akademisch. Das verwendete Material ist eine Mischung von nicht vollständig verträglichen Kunststoffen (PP/TPE), Additiven und Glasfasern. Die Materialmischung wird auf der Maschine volumetrisch dosiert und mit einer gewöhnlichen Schnecke plastifiziert. Eine gewisse Inhomogenität wird hierbei in Kauf genommen bzw. ist sogar erwünscht.

Die Schmelze wird in ein 8-fach-Werkzeug von Hack Formenbau eingespritzt. Die Kavitätsbereiche für die Borsten sind so eng, dass es zu einer Entmischung des Materials kommt und die Borsten so weitgehend frei von Glasfasern bleiben. Die Bürstchen haben, je nach Werkzeugkonzept, 200 bis 500 feine Borsten (**Bild 16**). Für Menschen mit guten Augen ist das Werkzeug ein Hingucker, denn die Borsten ($\approx 0,2$ mm Durchmesser) werden über eine Vielzahl von Schiebern entformt, die seitlich verfahren. Über diese Schieber erfolgt auch die Entlüftung, ohne die das Füllen der Borsten unmöglich wäre. Auch die rund um Werkzeug und Spritzgießmaschine von Hekuma aufgebaute Automation mit Qualitätsprüfung und Verpackungsstation hat Vorbildcharakter [26].

Bringt Industrie 4.0 schönes Wetter?

Das Bürsten-Beispiel kann hier stellvertretend stehen für viele andere bemerkenswerte Produktideen und Spritzgießkonzepte. Stärker beschäftigen werden die Branche in Zukunft vermutlich Ansätze, wie sich die Fertigung mehrerer Bauteilvarianten in einen Prozess integrieren lässt. Einer der Vorreiter ist hier der Systemlieferant Arburg, der auf den letzten Messen bereits einige Anwendungen gezeigt hat – z.B. auf der K2016 zusammen mit dem

IKV die Produktion von Fahrradsätteln, deren Härte und Dicke sich bei der digitalen Auftragserteilung personalisieren lassen [3]. Die Sättel werden dann durch Hinterschäumen kundenindividuell platzierter strukturverstärkender Tapes und Lamine hergestellt (**Bild 17**).

Weitere Branchen wie die Automobilindustrie werden die Potenziale solcher Verfahren prüfen und ggf. nutzen. Das Thema Industrie 4.0 bleibt also aktuell, speziell wenn mehrere Teile einer Anlage miteinander kommunizieren. Auch wenn das nichts Neues ist – man könnte ja sa-

gen: Eigentlich gibt es Industrie 4.0 schon seit der ersten Einbindung von Robotern als Handhabungshilfsmittel bei der Bauteilentnahme oder -montage.

Um zum eingangs bemühten Bild zurückzukommen: Bringt Industrie 4.0 schönes Wetter? Wichtig ist hier der tatsächliche Nutzen für den Anwender. Unabhängig von allgemeinen Schlagworten müssen dafür überzeugende Weiterentwicklungen stattfinden. Es lohnt sich immer wieder, genau hinzusehen und auch selbst den Mut zu haben, Dinge etwas anders zu machen als bisher. ■