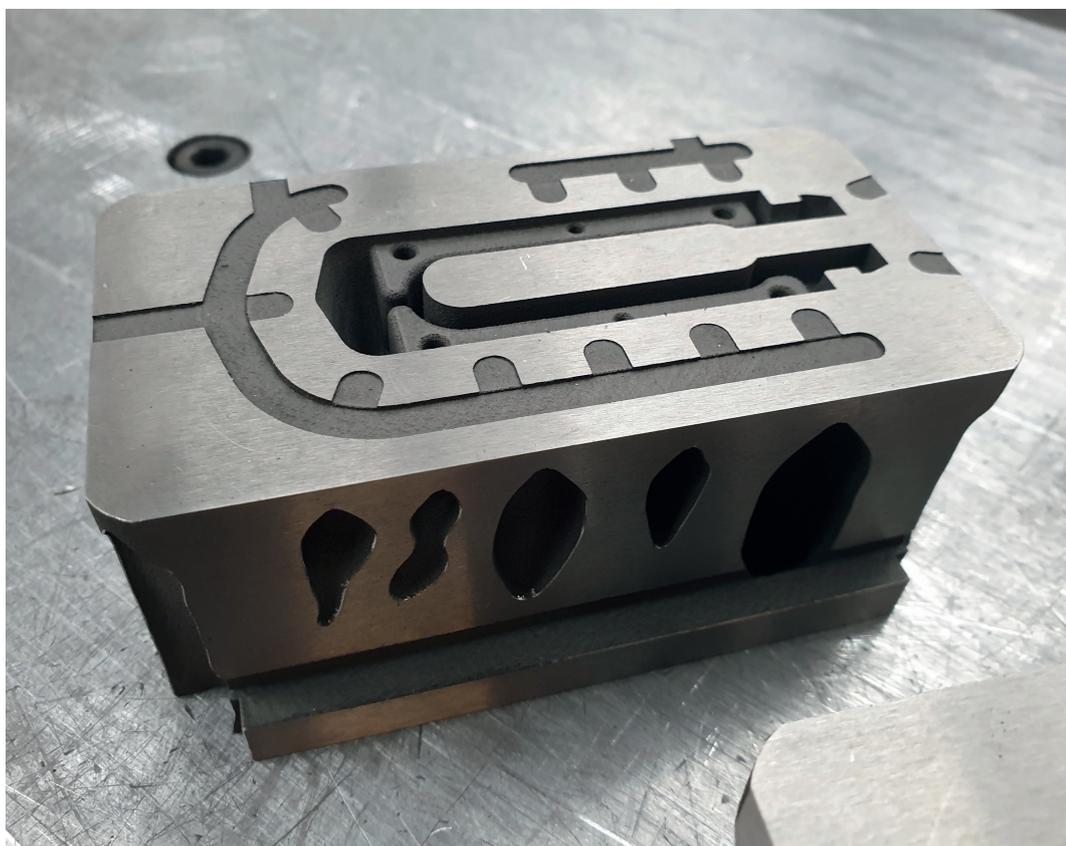


Das Potenzial von Redesign und Bauteilkonsolidierung

Additive Fertigung und hybride Werkzeuge in Kombination mit konventioneller Bearbeitung

Hybride Produktionsketten rücken in jüngster Zeit mehr und mehr in den Fokus. So auch die Kombination aus herkömmlicher Fertigung und additiven Verfahren im Werkzeugbau. Am Beispiel eines Spritzgießwerkzeugs wird gezeigt, dass mit additiv gefertigten Formeinsätzen die Zykluszeiten erheblich verkürzt werden können und damit die Stückteilkosten deutlich sinken. Wichtig ist hierbei, aus der Vielfalt der Verfahren jeweils eine geeignete Kombination auszuwählen.



Werkzeugeinsatz für einen „Abstandshalter“ aus einem glasfaserverstärkten PA 66. Das Beispiel zeigt, dass auch bei vergleichsweise einfachen Bauteilen die hybride Fertigung sinnvoll und wertschöpfend ist © Eisenhuth

Additive Fertigungsverfahren haben sich im Laufe der letzten Jahre in Hinblick auf ihre Leistungsfähigkeit, Zuverlässigkeit und das verfügbare Materialspektrum deutlich verbessert. Es gibt inzwischen viele industrielle Anwendungen und jeden Tag kommen neue hinzu – wie insbesondere die Beispiele in der Corona-Krise belegen. Es zeigt sich aber auch,

dass bei der industriellen Serienproduktion die Zulassung bzw. Zertifizierung ein Hemmschuh für die schnelle Umsetzung sein kann. Insbesondere wenn es um Serienprodukte geht, sind nicht alle Prozesse vollständig zertifiziert oder es stehen nicht alle Werkstoffe zur Verfügung; Grund dafür ist das Verfahrensprinzip des Schichtaufbaus.

Kombiniert man nun die Verfahren des 3D-Drucks und der konventionellen spanabhebenden Fertigung mit dem Formenbau – Voraussetzung ist wie immer eine adäquate Ausstattung und entsprechendes Know-how –, dann lassen sich die Nachteile in einer hybriden Produktionskette zur Teilefertigung mithilfe des Werkzeugbaus in Vorteile verwandeln. »

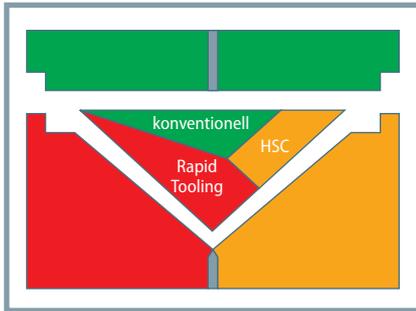


Bild 1. Bestandteile des Hybrid Molding sind neben dem konventionellen Werkzeugbau additiv gefertigte Formeinsätze und HSC-Fräsen Quelle: Eisenhuth; © Grafik: Hanser

Werkzeuge für das Spritzgießen von Elastomeren, Thermo- und Duroplasten entstehen seit jeher durch die bekannten materialabtragenden Fertigungsverfahren wie Drehen, Fräsen und Erodieren. Die – anschließend größtenteils gehärteten – Formen und Formeinsätze weisen eine hohe Oberflächengüte, Härte und Dauerfestigkeit auf. Basis für den Erfolg ist hier langjährige Erfahrung beim Einsatz der Werkzeuge. So können Bauteile und Komponenten bei hoher Werkzeugstandzeit in gleichbleibend hoher Qualität erzeugt werden.

Die Prozesskette wird noch anspruchsvoller

Seit vielen Jahren ist ein Wandel zu kleineren Losgrößen und kürzeren Verfügbarkeiten zu erkennen – wobei immer eine gleichbleibend hohe Qualität gefordert wird. Hier entsteht ein Dilemma für den Formenbauer, denn schneller hergestellte Werkzeuge (z.B. aus einfach zu bearbeitenden Werkstoffen) bieten eine weniger hohe Standzeit. Um dies zu kompensieren, sind neue, technisch oft aufwendigere Lösungen erforderlich. Es ist also notwendig, Lösungen mithilfe neuer Verfahren zu finden, die diese herausfordernden Randbedingungen erfüllen.

Additive Fertigungsverfahren (Additive Manufacturing, AM) – insbesondere die metallischen Schichtbauverfahren – bieten bei richtiger Anwendung in der Herstellung von Werkzeugen viele Vorteile und ermöglichen es, Alleinstellungsmerkmale und Funktionen zu realisieren, die bisher (in konventioneller Fertigung) nicht denkbar waren. Allerdings weisen diese Verfahren auch Nachteile in der Oberflächengüte und in der Herstellungs-

geschwindigkeit auf. Hier zeigt sich, dass die additive Fertigung eine vielversprechende Ergänzung zu klassischen Verfahren ist, insbesondere dann, wenn man sie mit den klassischen Verfahren wie z.B. dem HSC (High Speed Cutting), das bekanntermaßen für die schnelle Bearbeitung von Oberflächen geeignet ist, kombiniert. Wichtig bei dieser Vorgehensweise ist die Erkenntnis, dass die Prozesskette durch die Kombination der Verfahren um einen weiteren Faktor ergänzt, aber auch anspruchsvoller wird.

Bereits jetzt wird deutlich: Es gibt im Formenbau für die schnelle Herstellung von Spritzgießformen kein Verfahren, das wirklich allen Ansprüchen genügen könnte. Die Randbedingungen bei der mechanischen Bearbeitung erlauben Schnelligkeit nur bedingt. Demgegenüber bietet das 3D-Drucken Vorteile, die bei Wahl der richtigen Prozessparameter und -ketten genutzt werden können und trotz prozessbedingter Nachteile in der Oberflächenbeschaffenheit und Dauerfestigkeit die Leistungsfähigkeit wesentlich erhöhen können.

Ausgehend von der oben beschriebenen Problematik ist es der Eisenhuth GmbH & Co. KG, Osterode, in Rahmen des öffentlich geförderten BMBF-Projekts „Kit-Add“ mit viel Eigeninitiative und Empirie gelungen, die Kombination aus der mechanischen Herstellung von Werkzeugen und dem metallischen 3D-Druck zum sogenannten „Hybrid Molding“ weiterzuentwickeln. Bei diesem Ansatz finden im Wesentlichen additiv gefertigte Formeinsätze, im HSC-Verfahren hergestellte Stahleinsätze, gefräste Graphitelektroden und Formenbaunormalien wie Stammform, Führungssäulen und -buchsen ihren Einsatz (**Bild 1**).

Die Kombination: Hybrid Molding

Jedes dieser Elemente besitzt prozessbedingte positive material- und fertigungstechnische Eigenschaften, die nicht nur die Spritzgießform bestimmen, sondern auch deren Konstruktion [1] und Bau. Somit ist es unabdingbar, die entsprechenden Eigenschaften der einzelnen Bauteile und Verfahren miteinander zu vereinen. Indem die Vorteile aller Fertigungsverfahren miteinander kombiniert werden, entstehen sehr leistungsfähige Werkzeuge mit einigen Alleinstellungsmerkmalen [2].

Zunächst muss der Anwendungsfall genau beschrieben werden. Auf Basis ihrer Vor- und Nachteile entsteht eine Strategie zur Nutzung der Verfahren schon weit vor der gestalterischen Konstruktionsarbeit. Der Konstrukteur entscheidet, welche Bauteile mit welchem Verfahren hergestellt werden und welche Verfahren zum Einsatz kommen können. Nach Abschluss der fertigungsgerechten Einzelteilkonstruktion beginnen die jeweiligen Fertigungsschritte simultan, auch unter Kombination der einzelnen Herstellungs- und Nachbearbeitungsverfahren. Dieser Prozess muss besonders sorgfältig geplant und umgesetzt werden. Am Ende werden die Bauteile miteinander vereint und stehen in einem Formeinsatz für die Produktion zur Verfügung [3].

Fertigungsgerecht konstruieren für AM

Dabei gilt es, für alle Fertigungstechnologien die Produktionsparameter zu beachten. Beispielsweise sind beim HSC die absoluten Abtragraten relativ gering, dafür können Werkstoffe mit sehr hoher Festigkeit bearbeitet werden. Das 3D-Drucken bietet Vorteile bei komplexen Strukturen und eine große geometrische Freiheit und Flexibilität, wobei auch hier Tücken im Detail lauern: Geringe Aufbauraten und damit ein hoher Preis pro aufgebautem Volumen erfordern schon in einem frühen Stadium eine an das AM angepasste Konstruktion, um einen möglichst geringen Materialeinsatz zu haben.



Bild 2. Das Bauteil wird im Lackierprozess eingesetzt, um die Motorhaube auf einen definierten Abstand zu halten © Eisenhuth

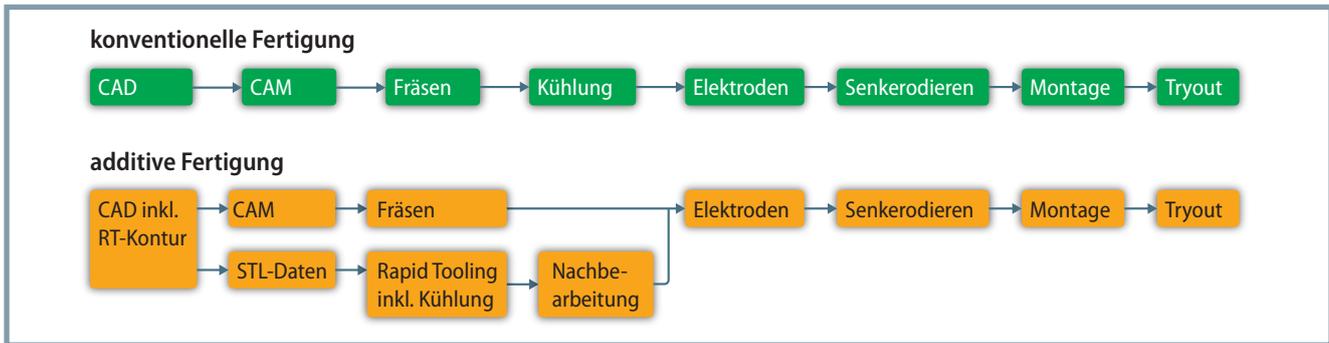


Bild 3. Darstellung der konventionellen, der hybriden und der additiven Prozesskette. Die Formeinsätze für das Werkzeug zum Spritzgießen des Abstandshalters wurden per selektivem Laserschmelzen hergestellt. Quelle: Eisenhuth, © Grafik: Hanser

Auch lassen sich nicht alle Strukturen uneingeschränkt additiv herstellen, so dass beispielsweise schmale Stege, tiefe Nuten oder filigrane Strukturen Schwierigkeiten bereiten können. Da dies auch noch abhängig ist von der Orientierung des Bauteils im Bauraum der AM-Maschine, fordert es den Konstrukteur besonders heraus, fertigungsgerecht zu konstruieren.

Der Vorteil des generativen Aufbaus der metallischen Werkzeugkomponenten, nämlich die Möglichkeit, äußerst komplexe Formen herzustellen, kann auch für eine kombinierte Anwendung beim Erodieren genutzt werden. So können additiv hergestellte Kupferelektroden hier neue Bearbeitungsmöglichkeiten eröffnen und die mittels HSC hergestellten Graphitelektroden bei besonders schwierigen Geometrien ergänzen.

Praxisbeispiel Abstandhalter

In den vergangenen Jahren konnte Eisenhuth in verschiedenen Branchen mit Kundenbauteilen viel Erfahrung sammeln.

Hier soll das Beispiel eines Spritzgießwerkzeugs für ein einfaches Bauteil (**Titelbild**) einen sinnvollen Verfahrensmix aus herkömmlicher und additiver Fertigung veranschaulichen. Das Formteil, das damit hergestellt wird, ist ein Abstandhalter (**Bild 2**) aus einem hochtemperaturbeständigen glasfaserverstärkten „Triple-Six-Polyamid“ (PA6T/66, Typ: Grivory HT2V-3H, Hersteller: Ems-Chemie AG, Domat/Ems, Schweiz).

Ziel des damit durchgeführten Projekts ist es zu überprüfen, welche Vorteile sich mit AM-Bauteilen erreichen lassen und wie groß der Einfluss der additiven Fertigung auf die Zykluszeit und damit auf die Kosten des Spritzgussteils ist. Und zu zeigen, dass auch bei vergleichsweise einfachen Bauteilen die hybride Fertigung sinnvoll und wertschöpfend ist [4].

Der ursprüngliche Ansatz sah lediglich vor, das finale Serienbauteil kostengünstig zu optimieren. Da der Abstandhalter jedoch bereits für die Serienfertigung (also final) optimiert war und sich außerdem nicht im 3D-Druck aus dem spezifizierten Serienmaterial mit der entspre-

chenden Belastbarkeit herstellen ließ, bot sich der „Umweg“ über die Optimierung des Werkzeugs zugunsten kürzerer Spritzgießzyklen an. Dies wurde durch ein Temperiersystem mit konturnaher Kühlung erreicht. Zusätzlich ergab sich die Möglichkeit, den Materialeinsatz und damit die Kosten bei der Werkzeugherstellung durch ein sogenanntes bionisches Design zu reduzieren [5].

Optimierungen des Werkzeugs durch bionisches Design

Die Konstruktion des Werkzeugeinsatzes basierte zunächst auf der Zielgeometrie, also dem ursprünglichen Datensatz [5]. Die Umsetzung in den 3D-Druck erforderte vor allem eines: die AM-spezifischen Konstruktionsregeln zu beachten [1]. Am Ende entstand eine belastungs-, fertigungs- und nachbearbeitungsgerecht ausgelegte Konstruktion für einen Werkzeugeinsatz, der per selektivem Laserschmelzen hergestellt wurde.

Bedingt durch das schichtweise Herstellungsverfahren konnte in der CAD- »



Your Future. Our Vision.

Gemeinsam für eine nachhaltige Zukunft!

Innovative Filtrationslösungen für Kunststoffrecycling

- Geringere Betriebskosten durch reduzierte Rückspülzyklen
- Geringere Materialverluste aufgrund verlängerter Standzeiten
- Höherer Durchsatz durch Verwendung einer größeren Filterfläche

WWW.NORDSONPOLYMERPROCESSING.COM

Nordson

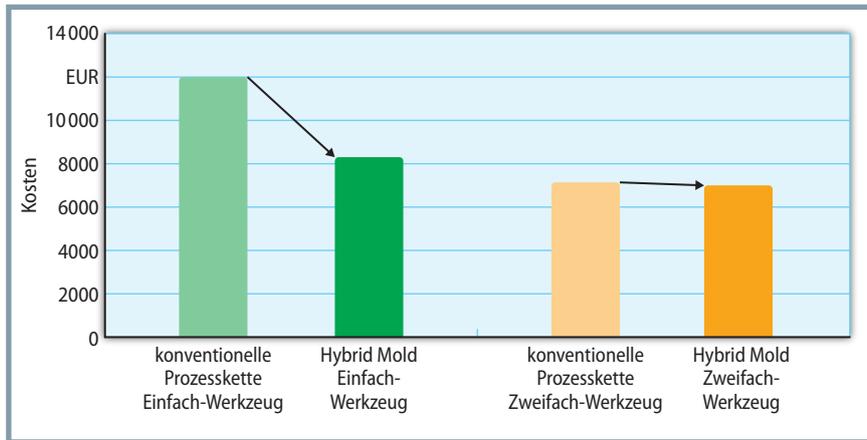


Bild 4. Produktionskosten für jeweils 100 000 Kunststoffteile mit einem Einfach- und einem Zweifach-Werkzeug: Die hybride Prozesskette zeigt deutliche Vorteile. Quelle: Eisenhuth; © Grafik: Hanser

Konstruktion das Design so optimiert werden, dass die Formeinsätze mit einem um etwa 35% geringeren Materialeinsatz hergestellt werden konnten [5].

Dadurch sank auch die Prozesszeit in der AM-Maschine – in der Regel der Kostentreiber [6] –, sodass die Fertigung der Formeinsätze in knapp zwei Drittel der Zeit vonstatten ging [5]. Darüber hinaus wurde die Hybrid-Molding-Konstruktion so gewählt, dass ein möglichst geringer Aufwand für die Nachbearbeitung entstand.

All diese Maßnahmen – insbesondere die konturnahe Kühlung – erhöhen die Bauteilkomplexität deutlich. Und darin zeigt sich der große Vorteil der additiven Verfahren, denn im Gegensatz zur klassischen mechanischen Bearbeitung hat die Komplexität hier nur einen sehr geringen

Einfluss auf die Kosten („complexity for free“) [4].

Vergleich der Prozessketten: Komplexität kostet nichts extra

Im Rahmen des öffentlich geförderten Projekts „KitkAdd“ [7] entwickelte Eisenhuth zusammen mit einem der Projektpartner, dem Institut für Produktionstechnik am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), ein Berechnungstool, um die Herstellkosten und -zeiten in der Produktion zu ermitteln. Die Ausgangsdaten können nunmehr jederzeit geändert werden, und da man annähernd genau vorhersagen kann, wie die Änderungen jeweils das Ergebnis beeinflussen, lässt sich daraus die Wirksamkeit einer Maßnahme ableiten.

Die Basis des Berechnungstools stellt die detaillierte Analyse der verschiedenen Prozessketten (Bild 3) dar. Daraus können sämtliche Daten und Parameter abgeleitet werden, die die Werkzeug- und Spritzgussteilkosten sowie die Produktionszeiten beeinflussen. Das Ergebnis erlaubt jetzt eine Gegenüberstellung der drei möglichen Varianten: der konventionellen, der hybriden und der additiven Prozesskette.

Hybrid in diesem Zusammenhang bedeutet, dass es sich um eine Kombination eines konventionellen Werkzeugs mit additiv gefertigten Formeinsätzen handelt. Der Projektpartner KIT hat im Rahmen des Berechnungstools auch ermittelt, was ein rein additives Werkzeug an Kosten verursacht. Hier stellte sich heraus, dass es keinen Break-even gibt, d. h. zu keinem Zeitpunkt ist das zu 100% additiv gefertigte Werkzeug wirtschaftlicher als ein konventionelles Werkzeug.

Bei einer detaillierten Analyse der Prozessketten werden auch die Werkzeugkosten für die zwei Varianten, das 1-fach- und das 2-fach-Werkzeug, betrachtet, die ebenso in das Berechnungstool einfließen. Als Ergebnis zeigt sich, dass die hybriden Werkzeuge etwa um 35% teurer sind als die konventionell hergestellten Werkzeuge. Der Grund hierfür sind in erster Linie die erhöhten Fertigungs- und Nacharbeitskosten der additiv gefertigten Einsätze.

Entscheidend ist aber, dass die reine Werkzeugkostenbetrachtung nur einen Teil der Prozesskette abdeckt, denn beim Einsatz von hybriden Werkzeugen sinken die Produktionskosten der finalen Bauteile. Folglich ist es nötig, nach den Werkzeugkosten auch die Formteilkosten für die zwei Werkzeugvarianten zu bestimmen. Das entwickelte Kostenmodell liefert nicht nur die reinen Kosten für die Werkzeugbasis und Formeinsätze, es werden alle Kostenfaktoren, wie beispielsweise die Zykluszeit, betrachtet.

Dies zeigt sich auch in der Praxis: Bei additiv gefertigten Formeinsätzen verkürzt sich die Zykluszeit aufgrund der konturnahen Kühlung im Gegensatz zu konventionell gefertigten Formeinsätzen signifikant (statt 38 s jetzt 25 s). Dies führt zu einer deutlich höheren Auslastung der Maschinen und steigert die Kapazitäten: So ist beispielsweise hier für 100 000 Bauteile der Break-even früher erreicht (Bild 4). Folglich sinken die Stückkosten der hybriden AM-Produktionskette bei diesem 2-fach-Werkzeug um etwa 2,5% im Vergleich zu einem konventionell gefertigten Werkzeug.

Fazit

Das Beispiel zeigt: Trotz der höheren Werkzeugkosten und der notwendigen Nacharbeit steigt die Produktivität beim Einsatz von hybriden Werkzeugen deutlich, während gleichzeitig die Stückkosten sinken. Voraussetzungen dafür sind allerdings zunächst ein höherer Konstruktionsaufwand und die Notwendigkeit eines übergreifenden Prozesswissens über die eingesetzten – sehr unterschiedlichen – Verfahren. Zusammenfassend lässt sich sagen: Die additive Fertigung von Werkzeugen und Werkzeugeinsätzen führt zu signifikanten technischen und wirtschaftlichen Vorteilen, wenn man offen für neue Denkweisen ist und den Aufwand nicht scheut. ■

Die Autoren

Thorsten Hickmann ist Geschäftsführer der Eisenhuth GmbH & Co. KG, Osterode am Harz.

Eric Klemp ist selbstständiger Berater; eric@klemp-online.de

Service

Literatur & Digitalversion

➤ Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/2020-06

English Version

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