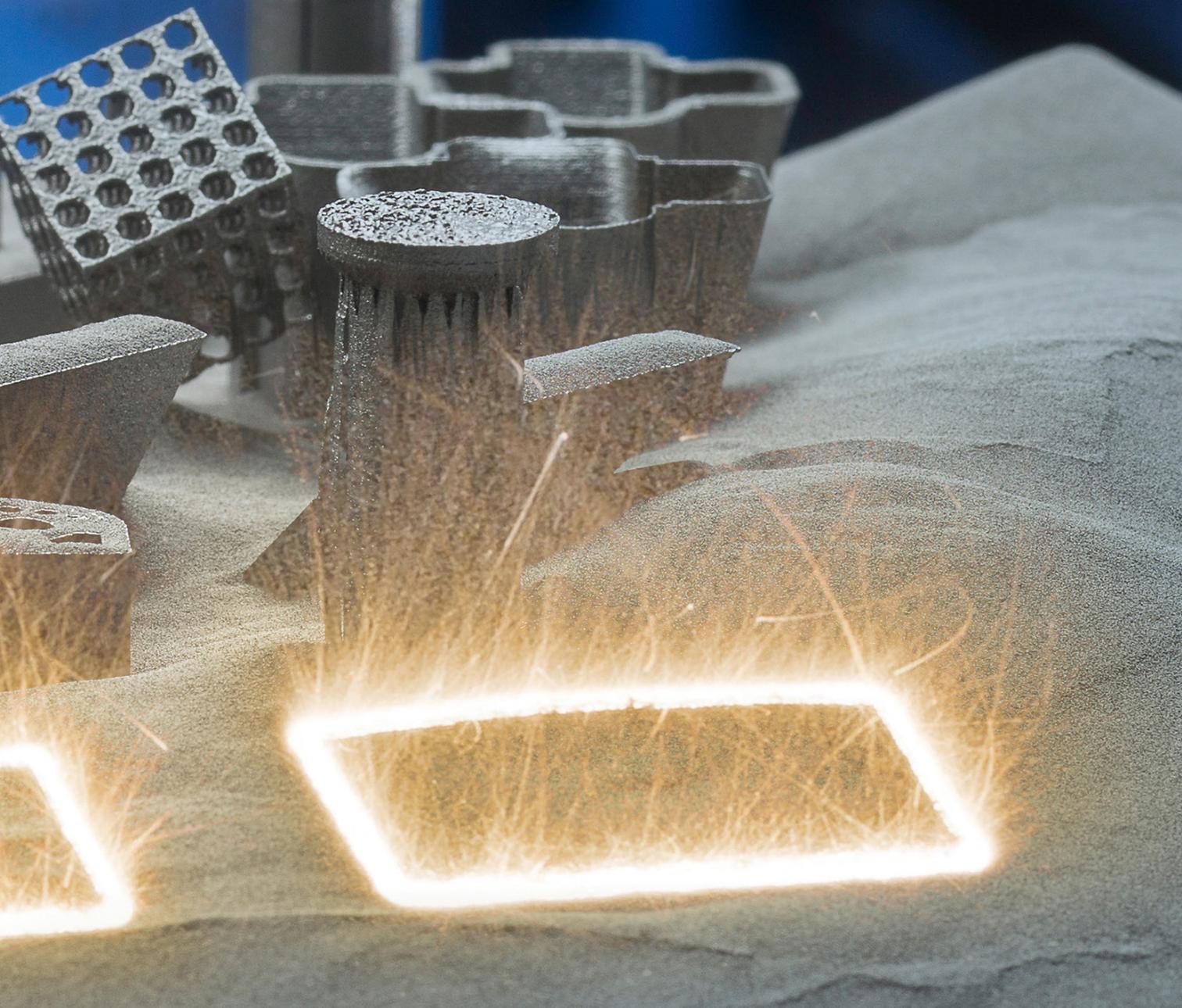


AM Network
Additive Fertigung
in der industriellen
Serienproduktion
– ein Statusreport





Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
pd |z Product Development Group Zurich
Leonhardstrasse 21, 8092 Zurich
www.pdz.ethz.ch



it's all about
technology
Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften
Gerbergasse 5, 8001 Zürich
www.satw.ch



AM Network
c/o BWI, Technoparkstrasse 1, 8005 Zürich
www.amnetwork.ch



Additive Manufacturing Expo
Messe Luzern
Horwerstrasse 87, 6005 Luzern
www.am-expo.ch

AM Network

Additive Fertigung in der industriellen Serienproduktion – ein Statusreport

Inhalt

2	Editorial
5	Showcases: Die Macht der Anwendungen
6	Übergangsstück für einen hocheffizienten Wärmetauscher
8	Fördertöpfe für Automationstechnik
12	Transparente herausnehmbare Zahnspangen
16	Streulichtblenden für modulare High-End-Kameras
19	Batteriekühlsystem für das Solar Impulse Flugzeug
23	Ionisierer zur Reinigung von Chip-Bonding-Substraten
26	Patientenspezifische Einweg-Schnittschablonen für chirurgische Eingriffe
30	Zahnräder für Tram-Rolldisplays
33	Entwicklung eines automatisierten Zuführsystems für einen spritzgussgefertigten Steckverbinder
36	Einsätze für CFK-Composit-Rahmen einer Flugdrohne
39	Strukturkomponenten für das «Chairless Chair» Exoskelett
42	SATW Forschungsübersicht
44	Übersicht über AM-Technologien
54	AM: Daten und Fakten
55	Partner AM Report
60	Impressum

Editorial

Liebe Leserinnen und Leser

Additive Fertigungstechnologien (AM Additive Manufacturing) entwickeln sich in einer beeindruckenden Geschwindigkeit. Diese Entwicklung beflügelt die Berichterstattung in den Medien und die Vorstellung, wie Produkte zukünftig produziert und Dienstleistungen gestaltet werden können. Es ist Spekulation, was davon einmal möglich sein wird und was Fiktion bleibt. Fakt ist, dass die Technologie hohes Innovationspotenzial bietet und es sich lohnt, sich mit dieser Technologie auseinanderzusetzen.

Industrieunternehmen, die sich das Ziel setzen, additiv gefertigte Serienteile zu entwickeln, stehen schnell vor ähnlichen Fragestellungen: Wie werden AM-Bauteile optimal konstruiert und sicher ausgelegt? Wie hoch ist die Streuung der Materialeigenschaften? Wie hoch sind die Kosten für Produktion und Nachbearbeitung? Wie lässt sich die Qualität in der Serie sicherstellen?

Der Einstieg in die Technologie ist eine Herausforderung und viele Unternehmen entscheiden sich dazu, abzuwarten, da das Potenzial nur vage abgeschätzt werden kann und der Aufwand und das damit verbundene Risiko als zu gross eingeschätzt werden. Bei einem richtigen Einsatz und den geeigneten Anwendungen birgt AM ein hohes Innovationspotenzial und auch schon kurzfristig messbaren Nutzen. Die Anzahl von spezifischen Additive-Manufacturing (AM)-Patenten in Anwendungen steigt rasant. Das Risiko für AM-Prototypen ist letztlich gering, denn genau hier ist die Technologie gross geworden.

Durch die Bemühungen vieler ist es gelungen, drei Initiativen auf den Weg zu bringen, um diese Technologien in Forschung und Industrie gezielt voranzubringen. Das NTN AM Network hat das Ziel, den Zugang und die Nutzung des Additive Manufacturing für die Industrie zu verbessern. Die Swissmem-Fachgruppe SAMG will einen Wissens- und Erfahrungsaustausch zwischen Industrieunternehmen ermöglichen, die AM bereits einsetzen. Der SATW-Forschungsverbund AM hat sich zum Ziel gesetzt, die Zusammenarbeit zwischen Schweizer Forschungseinrichtungen im Bereich der AM-Technologieentwicklung zu koordinieren.

Ich persönlich habe die Erfahrung gemacht, dass sich überzeugende Argumente für den Einsatz der Technologie erst in Verbindung mit erfolgreichen Implementierungsbeispielen aus anderen Unternehmen veranschaulichen lassen. Daraus ist die Idee für diesen Report entstanden.



Der Report soll Einblicke geben, wie Unternehmen die Technologie erfolgreich implementiert haben, welche Entscheidungen sie hierzu getroffen haben und welchen Herausforderungen sie dabei begegnet sind. Unternehmen, die schon heute die Fähigkeit besitzen, die additive Fertigung wirtschaftlich erfolgreich in Serien- und Endkundenprodukten einzusetzen, sind in einer exzellenten Ausgangssituation, von zukünftigen Entwicklungen weiter zu profitieren.

Der Report enthält elf Fallbeispiele und basiert auf Interviews, die Filippo Fontana, Doktorand in meinem Team, mit entwicklungsverantwortlichen Personen geführt hat. Wir hoffen, dass wir Ihnen mit diesem Beitrag Impulse für Ihr Unternehmen geben können. Die elf AM-Serienbauteile, die wir Ihnen in diesem Report vorstellen, sind überzeugende und schlüssige Beispiele. Der Weg, diese zu realisieren, war jedoch nicht einfach. Es gehört die Bereitschaft dazu, Lösungen komplett neu zu denken – und zwar von der Konstruktion bis zur kompletten Wertschöpfungskette. Rückblickend scheinen alle Lösungen offensichtlich zu sein – denn, so hat es Oscar Wilde einmal gesagt: «Die Zukunft gehört denen, die die Möglichkeiten erkennen, bevor sie offensichtlich werden.»

Dr.-Ing. Mirko Meboldt
Professor für Produktentwicklung Konstruktion, ETH Zürich

Mirko Meboldt ist seit 2012 ordentlicher Professor für Produktentwicklung und Konstruktion an der ETH Zürich. Zuvor war er bei der Hilti AG in Liechtenstein für die Forschungs- und Entwicklungsprozesse verantwortlich. Im Zentrum seiner Forschung steht Innovation im technischen Umfeld. Seine Forschungsgebiete umfassen: additive Fertigung, Industrie 4.0, nutzerzentrierte Produktentwicklung, Validierung, agile Entwicklung und Medizintechnik. Für seine Lehre, die Forschung und industrielle Praxis verbindet, wurde Mirko Meboldt mehrfach ausgezeichnet. 2016 wurde er von der ETH mit dem KITE Award, die höchste Ehrung der ETH für den bedeutendsten Beitrag für innovative Lehre für die Forscher- und Ingenieursgeneration der Zukunft, ausgezeichnet.

Showcases: Die Macht der Anwendungen

Als Forschungsinstitut in der Rolle des Beobachters auf dem Gebiet generativer Fertigungsprozesse ist es unser Anliegen, aussagekräftige und ehrliche Bilder davon zu zeichnen, was sich hinter dem Begriff der generativen Fertigung verbirgt, was dieser Industriezweig liefert und wie er Innovationsprozesse ankurbelt und Wertschaffung in den Unternehmen fördern kann. In der heutigen Zeit kann man einen grossen Enthusiasmus rund um das Gebiet der generativen Fertigung beobachten. Dieses einseitige Interesse wird oft von einer Art medialer Inszenierung begleitet. Die Folgen davon sind oft eine Überinflation technologischer Errungenschaften und die Manipulierung der Erwartungshaltung der Bevölkerung. Wir haben uns mit diesem Bericht das Ziel gesetzt, Ihnen die echte Welt der generativen Fertigung zu zeigen, im Speziellen des 3D-Drucks, indem wir die Schweizer Industrielandschaft unter die Lupe genommen haben.

Über den Autor – Methodologie

Heutzutage haben viele Unternehmen Schwierigkeiten, generative Fertigungsprozesse in ihr technisches Portfolio aufzunehmen. Das wesentliche Problem dabei liegt in der Erkennung von technologisch machbaren und ökonomisch rentablen Anwendungen innerhalb der Wertschöpfungskette des Unternehmens sowie in der Entwicklung des notwendigen Know-hows, um diese umzusetzen. In meiner Forschung habe ich mich mit diesem Problem auseinandergesetzt, indem ich untersucht habe, auf welchem Level der Wertschöpfung eines Unternehmens man generative Fertigungsprozesse einsetzen kann, um sowohl für den Hersteller als auch für den Kunden Wert zu schaffen. Zu diesem Zweck habe ich mich darauf konzentriert, wie sich die generative Fertigung auf die Neuproduktentwicklung und gleichzeitig auf die Lieferkette des Unternehmens auswirkt.

Filippo Fontana
Forschungsmitarbeiter/Doktorand, pd|z ETH Zürich



Übergangsstück für einen hocheffizienten Wärmetauscher

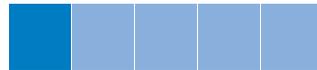
Innovativität



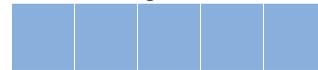
Engineering



Business



End2End-Integration



Die funktionsorientierte Konstruktion des Wärmetauschers vermeidet clever innenliegende Stützstrukturen und reizt mit 0,2 mm Wandstärke die technischen Möglichkeiten von Laser Melting aus.

Zur Maximierung der thermischen Effizienz sind moderne Wärmetauscher auf eine grösstmögliche Oberfläche zum Wärmeaustausch ausgelegt. Dies stellt vor allem dann eine Herausforderung dar, wenn die Ausmasse des finalen Bauteils durch Raumrestriktionen begrenzt sind. Die ideale Gestalt der Wärmetauscher ist deshalb oft so komplex, dass sie mit konventionellen Fertigungsprozessen nur schwer oder gar unmöglich umzusetzen ist. Ein übliches Vorgehen zur Vergrösserung der Wärmetauschfläche ist es, die Zahl der parallel verlaufenden Röhren und Schichten im Innern des Wärmetauschers zu erhöhen. Dieses Vorgehen hat allerdings den Nachteil, dass sämtliche Kalt- und Warmstromröhren an beiden Enden des Wärmetauschers jeweils mit einem Übergangsstück zu einer Gesamtleitung zusammengeführt werden müssen.

Im Auftrag eines Industriekunden hat 3D-Metalprint ein einzigartiges Übergangsstück entwickelt, das einen hocheffizienten Wärmetauscher in ein bereits bestehendes Kühlsystem integriert. Die beiden Enden des hexagonal geformten Gegenstromwärmetauschers mussten dafür mit den runden Flüssigkeitseinlässen und -auslässen des Kühlsystems verbunden werden.

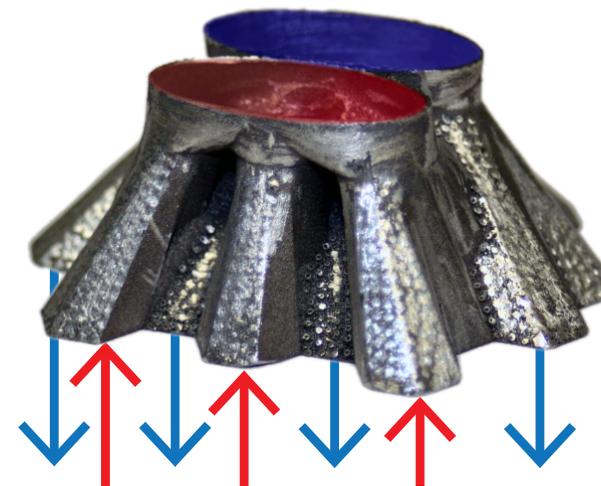
Das Übergangsstück muss eine gleichmässige Strömungsverteilung durch die Warm- und Kaltstromröhren des Wärmetauschers gewährleisten. Weitere wesentliche Anforderungen sind eine absolut sichere Dichtung an beiden Enden des Übergangsstücks, die Maximierung der Wärmetauschflächen im Übergangsstück und die Minimierung der Wärmekapazität des gesamten Bauteils. Für letzteres wurden die Masse des Bauteils reduziert, indem Wanddicken verringert und wabenförmige Strukturen eingesetzt wurden.

Die Anforderungen bezüglich Wärmeleitfähigkeit und Korrosionsresistenz machen rostfreien Stahl zum idealen Werkstoff für das Übergangsstück. Die Tatsache, dass

OEM Firma
Vertraulich
Hersteller/Lieferant
3D-Metalprint
Technologie
Laser Melting
Material
Warmarbeitsstahl CL50WS
Maschine
Concept Laser Mlab
Produzierte Menge
1-10
Bounding Box
55x45x80 mm

der Wärmetauscher ebenfalls aus diesem Material besteht, vereinfacht den Lötprozess beim Verbinden der beiden Teile. Laserschmelzmaschinen können rostfreien Stahl normalerweise mit einer durchschnittlichen minimalen Wanddicke von 0,5 mm verarbeiten. Im Rahmen dieses Projekts gelang es 3D-Metalprint, mit ihrer Concept-Laser-Maschine eine konstante Wanddicke von 0,2 mm zu erreichen.

Auch die Entwicklung des Bauteils erfolgte durch 3D-Metalprint. Der Konstrukteur konzentrierte sich zunächst auf die Ausarbeitung einer Gestalt, die eine gleichmässige Strömungsverteilung innerhalb des Wärmetauschers ermöglicht. Die grösste Herausforderung bei der Gestaltung im CAD war es, die Wanddicke in allen Bereichen der Komponente konstant zu halten. Eine weitere Priorität lag darin, das Bauteil so zu gestalten und im Bauraum der Fertigungsmaschine auszurichten, dass Stützstrukturen im Inneren vermieden werden konnten. Diese hätten in einem schwierigen zusätzlichen Arbeitsschritt nach der Fertigung entfernt werden müssen. Das Bauteil wurde deshalb mit seiner Symmetrieebene rechtwinklig zur Bauplattform der Maschine ausgerichtet.



Die äusseren Stützstrukturen müssen aufgrund der komplexen Gestalt und geringen Wanddicke des Bauteils manuell entfernt werden. Anschliessend erfolgt die Glättung der Oberfläche mittels Sandstrahlen, wobei die Funktionsflächen an Verbindungspunkten zusätzlich manuell nachbearbeitet werden.

Das gesamte Projekt zur Entwicklung des Übergangsstücks dauerte drei Monate von der ersten Idee bis zur Inbetriebnahme. Durch den Einsatz von additiver Fertigung konnte der Auftraggeber die Effizienz seiner Anlage steigern, indem er ein Bauteil implementierte, dessen komplexe Gestalt mit konventionellen Fertigungsmethoden nicht hätte umgesetzt werden können. Inzwischen arbeiten der Zulieferer und der Auftraggeber an einer neuen Gestalt für das Bauteil, die es möglich machen soll, den gesamten Wärmetauscher inklusive des Übergangsstücks in nur einem einzigen Schritt zu fertigen. Dieser Ansatz wird weitere finanzielle Einsparungen ermöglichen, da er den filigranen Lötprozess überflüssig macht.



Fördertöpfe für Automationstechnik

Innovativität



Engineering



Business



End2End-Integration



Fördertöpfe wurden bis anhin in anspruchsvollen, langen Fertigungsprozessen hergestellt. Mittels Laser Sintering wird der Prozess digitalisiert, was zu höherer Reproduzierbarkeit und Wertschöpfung im Haus führt.

Fördertöpfe kommen häufig in der Automationstechnik zum Einsatz. Fördertöpfe werden in Produktionslinien dort eingesetzt, wo Schüttgut-Komponenten automatisiert vereinzelt und lagerichtig zugeführt werden müssen, damit sie beispielsweise ein Roboter zur anschliessenden Montage präzise greifen kann. Dazu werden diese Komponenten auf einer spiralförmig ansteigenden Bahn aus dem Topf, der von einem Antrieb in Schwingung versetzt wird, hochgefördert. Auf ihrem Weg den definierten Konturen entlang – sogenannten Ordnungseinrichtungen – werden sie ausgerichtet und nacheinander aufgereiht zur Entnahme bereitgestellt. Jeder Topf ist in allen seinen Dimensionen und Elementen genau auf die Geometrie und Masse des zu fördernden Teils ausgelegt. Die meisten dieser Fördertöpfe sind Einzelanfertigungen und eigentliche physikalische Kunstwerke, deren Schwingungsverhalten genau auf die Masse und die Abmessungen der geförderten Teile abgestimmt sein muss, damit sie funktionieren.

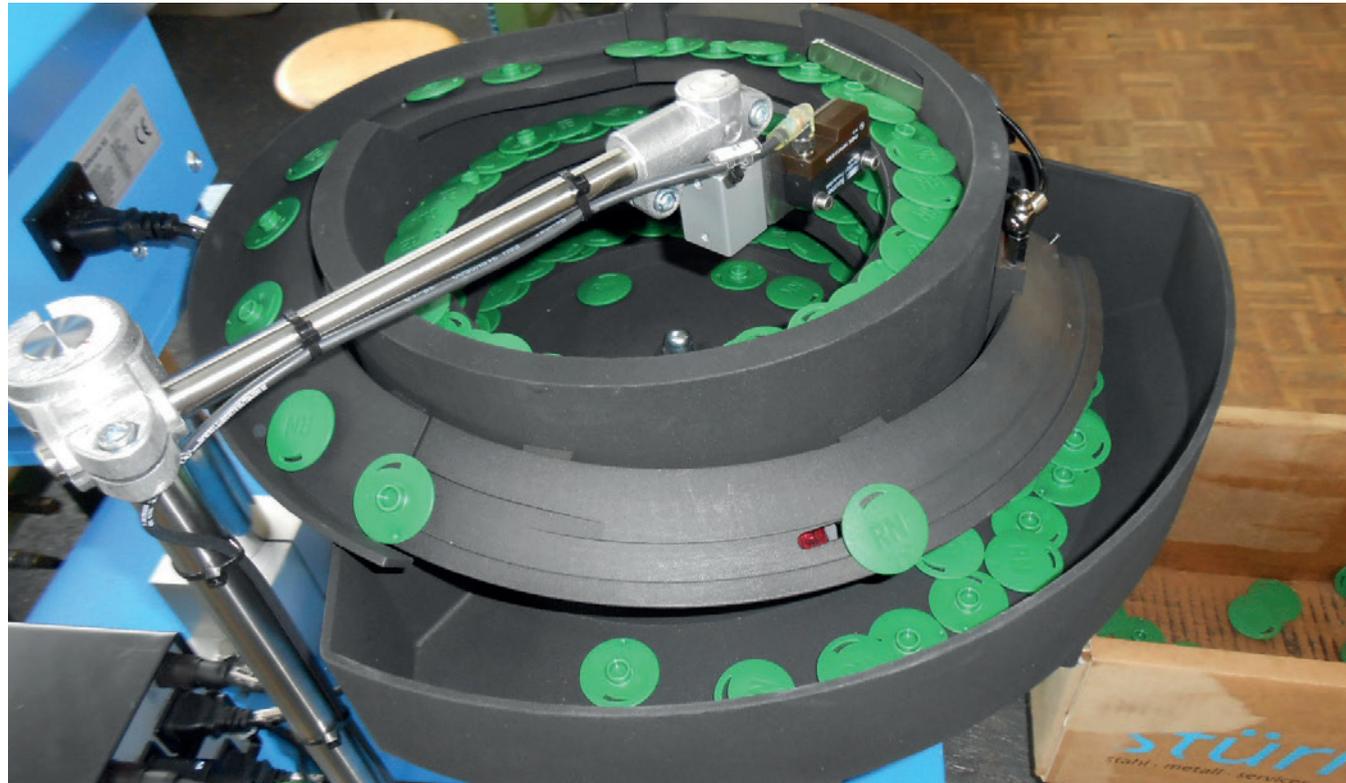
OEM Firma	Zaugg Maschinenbau AG
Hersteller/Lieferant	Rüfenacht AG
Technologie	Laser Sintering
Material	Duraform PA
Maschine	3D Systems ProX 500
Produzierte Menge	1-10 Parts pro Jahr
Bounding Box	Ø 300x200 mm



Fördertöpfe werden konventionell mehrheitlich aus Stahlblech, rostfreiem Stahl oder Aluminium durch Zuschneiden, Biegen und Schweißen aufgebaut, gegossen oder aus Vollmaterial gefräst. Ausgeprägte handwerkliche Fähigkeiten sind dabei entscheidend, denn die Töpfe sind sehr komplex aufgebaut. Ihre Herstellung erfordert erfahrene Techniker, benötigt lange Fertigungsprozesse und durchläuft diverse Phasen des Testens und der Feinabstimmung, bevor ein zuverlässiges Produkt entstehen kann. «Jeder neue Fördertopf ist ein einzigartiges Projekt», erklärt Stefan Freiburghaus, Leiter Entwicklung der Rüfenacht AG. «Es gibt keine Eins-für-alles Lösung und die Fördertöpfe mit den besten Leistungen erhält man, wenn man für jede neue Komponente wieder bei null anfängt und eine neue, einzigartige Gestalt entwickelt.»

Vor einigen Jahren erkannte die Rüfenacht AG das grosse Potenzial, welches AM-Technologien bieten, indem sie die konventionellen Vorgänge ergänzen oder gar vollständig ersetzen und dabei auch einige ihrer Nachteile eliminieren können. Zwei Faktoren waren ausschlaggebend für die Erweiterung der Produktion auf additive Fertigung. Zum einen ermöglicht es der Einsatz von AM, einen grösseren Teil der Produktion in die eigene Firma zu verlegen. Zuvor war z. B. der Fräsprozess von einer externen Partnerfirma durchgeführt worden. Die Umstellung auf additive Fertigung bot somit die Gelegenheit, einen grösseren Teil der Wertschöpfung auf das eigene Unternehmen zu verlagern, dadurch die eigenen Gewinnspannen zu erhöhen und gleichzeitig den Koordinationsaufwand für die einzelnen Fertigungsschritte zu reduzieren. Der zweite Faktor war die Reproduzierbarkeit des additiven Prozesses. Ein verbreitetes Problem der konventionellen Herstellung von Fördertöpfen ist die hohe Anfälligkeit für Abweichungen, die durch die handwerklich geprägte Fertigung bedingt ist. So können sich zwei konventionell gefertigte Kopien des gleichen Fördertopfes in ihrer Performance deutlich unterscheiden, selbst wenn sie von demselben Facharbeiter gefertigt wurden. Die Umstellung auf AM führte nicht nur zu einheitlicheren Produkten, sie reduzierte zudem die Kosten für die Herstellung mehrerer Kopien eines Fördertopfes drastisch. Nun können leicht Ersatzteile oder bei Bedarf auch zusätzliche Kopien der Töpfe geliefert werden, wenn Kunden die Kapazität ihrer Produktionslinien erweitern wollen.

Die Rüfenacht AG ist das erste Unternehmen in der Schweiz, das Fördertöpfe mit der additiven Fertigungsmethode des Selektiven Lasersinterns SLS herstellt. Da die Firma im Vorfeld kaum Erfahrung im Bereich der additiven Fertigung hatte, verwandte man einen Zeitraum von sechs Monaten auf die Evaluation der beiden infrage kommenden AM-Technologien FDM und SLS. Die elementaren Anforderungen an das hergestellte Produkt sind eine korrekte Übertragung der Vibrationen innerhalb des Fördertopfes und eine gleichmässige Oberflächenbeschaffenheit, um die Bewegung der geförderten Teile zu erleichtern. Hinzu kommt die Notwendigkeit eines grossen Bauraums für die Fertigung der Töpfe. Erste Versuche für die Produktion mit FDM zeigten, dass die benötigten Standards mit dieser Fertigungsmethode nicht erreicht werden konnten. Dies äusserte sich hauptsächlich in schlechten Vibrationseigenschaften. Zusätzlich gab es durch den herstellungsbedingten Treppenstufeneffekt Probleme bei der Förderung von sehr kleinen Teilen. Die Produktion von Fördertöpfen mittels SLS aus Duraform PA Pulver in einer ProX 500 Maschine der Firma 3D Systems lieferte dagegen zufrieden-

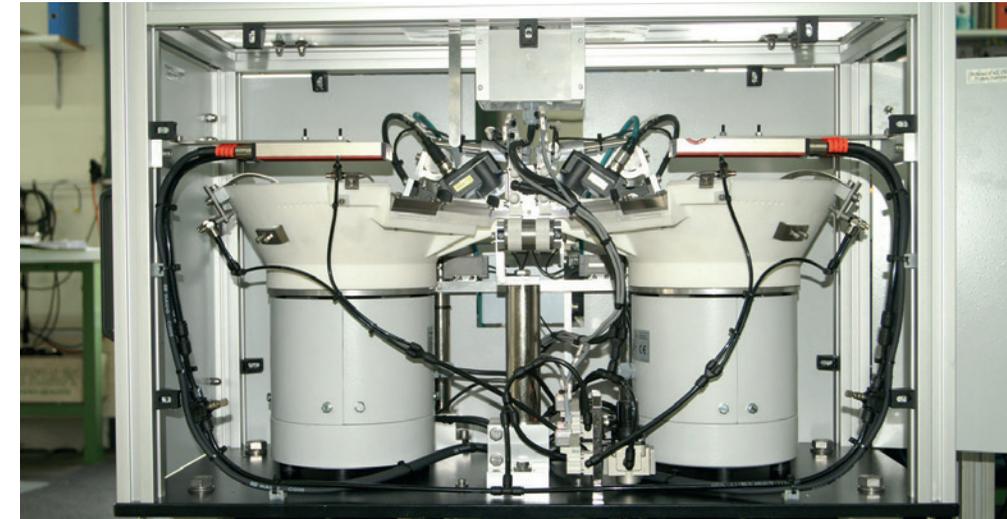


stellende Ergebnisse, welche die gewünschten Standards erfüllten. Die Qualität der Endergebnisse ist auf einem vergleichbaren Niveau mit konventionell gefertigten Töpfen.

Die Entwicklung und Fertigung eines neuen Fördertopfes mittels additiver Fertigung dauert etwa zwei Wochen, wobei die Feingestaltung der Modelle im CAD einen Grossteil der Zeit ausmacht. Um eine passende Gestalt zu erhalten, greifen die Konstrukteure vor allem auf ihren eigenen Erfahrungsschatz im herkömmlichen Topfbau zurück und können so die meisten Probleme direkt am Computer lösen. Dennoch müssen einige Konzepte oder spezielle Funktionen zunächst mittels Versuchen in konventionellen Fördertöpfen mit Originalteilen des Kunden getestet werden oder es müssen zunächst bestimmte Teilbereiche des finalen Produkts additiv gefertigt werden. Durch ausreichende Erfahrung und fundiertes Wissen über den Ausrichtungsprozess, kann die Gestaltungsphase aber beschleunigt und Testphasen können häufig vermieden werden.

Die Gestaltungsfreiheit bei der additiven Fertigung ist hier ein besonderer Vorteil. Die Konstrukteure sind in der Lage, schnell zusätzliche Funktionen in die Fördertöpfe zu integrieren, wie etwa pneumatische Kanäle, Sensoren, Rückführungen, Schlitze und Laschen. So können auch solche Elemente, die bei konventioneller Fertigung zunächst abgestimmt oder in einem zusätzlichen Arbeitsschritt hinzugefügt werden mussten, bereits in die Gestalt des Fördertopfes integriert und alles in einem einzigen Produktionsschritt gefertigt werden.

Auch Rüstzeiten sind ein wichtiger Faktor. Produktionslinien müssen regelmässig auf ein anderes Format umgerüstet werden, wozu häufig ein Austausch von Wechselteilen im Fördertopf notwendig ist. Die Befestigung dieser Wechselteile erfordert aufgrund der notwendigen Kalibrierung normalerweise erfahrene Arbeiter. AM bietet hier die Möglichkeit, kostengünstig den ganzen Fördertopf als Wechselteil zu konzipieren. So kann die Umrüstung auch ohne spezielle Kenntnisse und noch dazu mit weniger Zeitaufwand erfolgen.



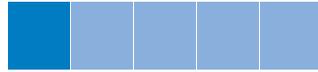
Der selektive Fertigungsprozess liefert direkt aus der Maschine Bauteile von ausreichender Qualität. Dies bedeutet, dass nach Abschluss der additiven Fertigung lediglich das Entfernen des Pulvers und die Reinigung des Bauteils als zusätzliche Arbeitsschritte nötig sind. Nach einer kurzen Sandbestrahlung zur Reinigung der Oberfläche sind die Fördertöpfe sofort einsatzbereit.

Die Umstellung auf additive Fertigung ermöglichte der Rüfenacht AG die vertikale Integration der Herstellung. Durch den Einsatz von AM konnte der gesamte Wertschöpfungsprozess auf das Unternehmen selbst verlagert und die Abhängigkeit von externen Dienstleistern reduziert werden. Dabei wurde auch der Arbeitsaufwand des gesamten Produktionsprozesses verringert und zudem die Reproduzierbarkeit des finalen Produkts verbessert. Die Wertschöpfung läuft nun vollständig über die Gestaltung im CAD. Wo der Fertigungsprozess zuvor spezialisiertes Fachwissen und profunde handwerkliche Erfahrung verlangte, können nun, basierend auf dem 3D-Modell, zahlreiche Kopien in kurzer Zeit produziert werden. Dies wirkt sich auch auf den Servicebereich der Firma aus, da defekte und abgenutzte Bauteile nicht mehr von Spezialkräften repariert werden müssen. Stattdessen wird einfach eine neue Kopie des entsprechenden Bauteils gefertigt oder gar der gesamte Fördertopf ersetzt. Gerade diese Möglichkeiten erlauben es den Kunden der Rüfenacht AG, ihre Produktionskosten erheblich zu senken, da Stillstandzeiten der Zuführungen in der Produktion auf ein Minimum reduziert werden können. All diese Vorteile konnten die internationale Wettbewerbsfähigkeit und die Innovationskraft der mittelständischen Rüfenacht AG in hohem Masse steigern.



Transparente herausnehmbare Zahnschienen

Innovativität



Engineering



Business



End2End-Integration



Dank der Kombination von traditionellen mit additiven Technologien kann eine bessere Zahnbehandlung für die Patienten erzielt werden. Das etablierte Konzept besticht insbesondere durch die digitale Prozesskette.

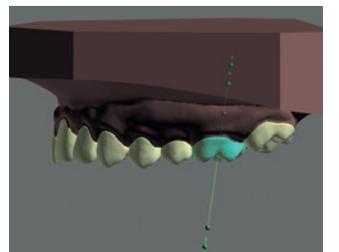
Schöne und ebenmäßige Zähne sind ein zunehmend wichtiger ästhetischer Standard in vielen Industrie- und Schwellenländern. Das konventionelle Vorgehen zur Korrektur von Fehlstellungen durch feste Metallzahnschienen empfinden viele Patienten jedoch als unangenehm, was vor allem in der invasiven Natur dieser Schienen begründet ist. Zudem empfinden die Patienten die deutliche Sichtbarkeit der Schienen als Einschränkung in ihrem alltäglichen Leben. Eine neuartige und beinahe unsichtbare Methode zur Korrektur von Zahnfehlstellungen basiert auf dem Einsatz von additiver Fertigung. Sie wird vom Schweizer Start-Up-Unternehmen nivellmedical AG angeboten.

OEM Firma	nivellmedical AG
Hersteller/Lieferant	Steiner Werkzeugmaschinen AG
Technologie	Stereolithografie und Vakuumtiefziehen
Material	Accura Xtreme
Maschine	3D Systems ProX 80
Produzierte Menge	1000+ pro Jahr
Bounding Box	80x80x50 mm



Die kieferorthopädische Korrektur von Zähnen mit transparenten Zahnschienen basiert auf der Fertigung einer ganzen Serie von Zahnschienen für Ober- und Unterkiefer. Im Abstand von zwei bis vier Wochen werden neue Schienen angefertigt, die sich von den vorhergehenden Modellen nur gering unterscheiden. Sie sind jeweils der bereits erfolgten Korrektur der Zähne angepasst und können so den notwendigen Druck ausüben, um die Zähne weiterhin gezielt zu ihrer gewünschten Position zu verschieben. Abhängig vom Schwierigkeitsgrad der Zahnkorrektur, sowie auch von der Motivation des Patienten im Laufe der Behandlung, kann diese Form der Zahnstellungskorrektur einen Zeitraum von wenigen Monaten bis hin zu zwei Jahren umfassen. Die Anzahl der benötigten Zahnschienen variiert dabei von Patient zu Patient. In manchen Fällen können weniger als fünf Modelle ausreichen, während in anderen mehr als zwanzig benötigt werden.

Die notwendigen Unterlagen für die Erstellung der Zahnschienenmodelle können kieferorthopädische Röntgenaufnahmen, Abdrücke von Ober- und Unterkiefer sowie Fotografien von Gesicht und Mundinnenraum beinhalten. Es ist möglich, digitale Scans anstelle von Abdrücken zu nutzen, sofern die Arztpraxis entsprechend ausgerüstet ist. Über den Zugang zu einer speziellen Internet-Plattform kann die kieferorthopädische Praxis die erforderlichen Daten zusammen mit der Patientenakte und dem vom Kieferorthopäden erstellten Behandlungsplan an die nivellmedical AG übermitteln. Im Labor der Firma wird daraufhin ein Konzept für den Behandlungsablauf erstellt, das sowohl 3D-Modelle der aktuellen und gewünschten Zahnstellungen des Patienten beinhaltet als auch die voraussichtlich benötigte Anzahl an Zahnschienen aufführt. Sobald der behandelnde Kieferorthopäde diesem digitalisierten Behandlungsplan zugestimmt hat, kann die Fertigung der Modelle beginnen.



Die Fertigung der transparenten Zahnschienen erfolgt in zwei Phasen. Zunächst werden entsprechend dem digitalisierten Behandlungsplan die Positivmodelle der Patientenzähne für jeden Abschnitt der Behandlung additiv gefertigt. In einem zweiten Schritt werden die transparenten Schienen mittels Vakuumtiefziehen direkt auf diesen Zahnmodellen hergestellt. Hierfür werden drei verschiedene dicke thermoplastische Schienen produziert. Diese Schienen, zusammen mit dem 3D-Modell, bilden eine Behandlungssequenz, auch STEP genannt.

Die Auswahl der am besten geeigneten additiven Fertigungstechnologie und das Ausarbeiten der notwendigen Fertigungsabläufe erfolgten in einer frühen Phase des Projekts mit Unterstützung der Steiner Werkzeugmaschinen AG. Da die Zahnmodelle sehr genau gefertigt sein müssen und zugleich für den Tiefziehprozess ein hoher Anspruch an ihre Oberflächenbeschaffenheit besteht, kamen zwei Photopolymer-basierte additive Fertigungsverfahren in Betracht: Photopolymer Jetting und Stereolithografie. Diese beiden Fertigungsmethoden liefern die besten Ergebnisse bei den Oberflächen- und Toleranzeigenschaften, da sie mit geringen Schichtstärken (Stereolithografie: 0,025 mm; Photopolymer Jetting: 0,016 mm) arbeiten. Die Hauptunterschiede zwischen den beiden Verfahren bestehen in der Notwendigkeit von Stützstrukturen und im Prozess der Bauteilaushärtung. Die Fertigung mittels Stereolithografie kommt ohne



Stützstrukturen aus und verbraucht dementsprechend weniger Baumaterial als Photopolymer Jetting. Letzteres erfordert Stützstrukturen und verursacht damit im Vergleich höhere Werkstoffkosten.

Photopolymere sind ein flüssiger Werkstoff, der unter ultraviolettem Licht polymerisiert und dadurch aushärtet. Beim Photopolymer Jetting werden die herzustellenden Bauteile bereits während der Fertigung mithilfe einer auf dem Druckerkopf angebrachten UV-Lichtquelle ausgehärtet. Sie sind danach aber noch anfällig für Kratzer und kleinere Deformationen an der Oberfläche. Im Gegensatz dazu werden Bauteile bei der Stereolithografie während des Schichtaufbaus nur teilweise polymerisiert und später in einem UV-Ofen komplett ausgehärtet. Dieser zweigeteilte Arbeitsablauf führt zu Bauteilen, die eine grössere Kratzer-Resistenz aufweisen und dadurch für den anschließenden Vakuumtiefziehprozess besser geeignet sind.

Zusätzlich spielte auch die Durchsatzstärke der einzusetzenden AM-Maschine eine wichtige Rolle. Die Wahl fiel auf ein Modell der Stereolithografie-Maschine ProX 800 mit einem Bauraumvolumen von 650 x750x50 mm. Eine Plattform dieser Grösse bietet eine Produktionskapazität, die Polymer-Jetting-Maschinen nicht erreichen können. Durch diese Prozesswahl können knapp 100 Modelle in 11 Stunden gefertigt werden, was die Serienproduktion kosteneffektiver macht. Das Produktionsvolumen ist damit um das Sieben- bis Zehnfache höher als bei einer vergleichbaren Fertigung mittels Photopolymer Jetting. Da der Prozess der additiven Fertigung neben der Planung der teuerste Teil der gesamten Produktion ist, wirken sich die höhere Produktionskapazität, wie auch die geringeren Materialkosten der Stereolithografie positiv auf die Kosten pro gefertigtem Bauteil aus.

Die Zahnsparren werden üblicherweise 14 bis 20 Tage nach Abschluss der Bilddatenakquise an die Patienten ausgeliefert. Die grösste Herausforderung der Prozesskette war es, die Modelle in den Produktionslinien nachzuverfolgen und sicherzustellen, dass sie dem richtigen Endkunden zugeordnet werden. Derartige «mass customisation applications» sind nur durch den Einsatz spezieller Informationssysteme möglich, die



die Nachverfolgung der Produkte automatisieren und den Datenaustausch in jeder Phase der Produktionskette vereinfachen. Der Trend zur Digitalisierung im Bereich der Zahnmedizin zeichnet sich bereits seit den frühen 2000er-Jahren deutlich ab. Viele Arztpraxen nutzen heutzutage rechnerbasierte 3D-Modelle. Computerprogramme unterstützen den alltäglichen Praxisbetrieb, von Röntgen- und Fotoaufnahmen bis hin zur Verwaltung der Patientendaten. Im Fall der kieferorthopädischen Zahnverschiebung eröffnet die Anwendung derartiger 3D-Technologien in Verbindung mit dem Einsatz von transparenten Zahnsparren nun Möglichkeiten, die den gesamten Behandlungsprozess von Patienten wegweisend verändern können.

Für Kieferorthopäden sind die Auswirkungen der digitalisierten Prozesskette bei der Behandlung mit transparenten Zahnsparren gravierend. Ein Arzt kann in der gleichen Zeit, die bei einer konventionellen Behandlung mit festsitzender Metallzahnsparre für einen Patienten aufgebracht wird, nun bis zu drei Patienten untersuchen und ihre Behandlungspläne erstellen. Die Wertschöpfung wird auf diese Weise vom Zahnarztstuhl zur Analyse und Planung der Behandlung hin verschoben. Zudem kann auch weniger spezialisiertes Personal die Datenakquise und Erstellung des Bildmaterials durchführen, die für den Start der Behandlung notwendig sind. Der Kieferorthopäde kann sich somit auf die Planung der Behandlung konzentrieren und muss weniger Zeit mit Untersuchungen verbringen.

Der Erfolg einer kieferorthopädischen Behandlung ist nicht zuletzt stark abhängig von der Motivation des Patienten. Transparente Zahnsparren sind beim Tragen kaum sichtbar und können bei Bedarf einfach herausgenommen werden, etwa für Mahlzeiten, zum Zähneputzen und zur Reinigung. Dies führt dazu, dass Patienten sich mit dem Einsatz transparenter Sparren im Allgemeinen wohler fühlen als mit konventionellen Metallspargen. Auch die Folgeuntersuchungen sind einfacher und weniger invasiv als beim Einsatz konventioneller Sparren, was eine zusätzliche Verbesserung für die Patienten darstellt. Ein weiterer Vorteil der AM-basierten Methode ist die Möglichkeit, den Behandlungsplan bei Bedarf jederzeit einfach und schnell anzupassen.

Streulichtblenden für modulare High-End-Kameras

Innovativität



Engineering



Business



End2End-Integration



Dank AM kann eine unbegrenzte Variantenvielfalt kosteneffektiv produziert werden. Dies ermöglicht ALPA, die ersten kamera-spezifischen Streulichtblenden auf den Markt zu bringen.

Der Zürcher Kamerahersteller ALPA ist spezialisiert auf modulare Mittelformat-Kamera-Systeme im High-End-Sektor, die sowohl von Berufsfotografen als auch von ambitionierten Amateuren eingesetzt werden. Sie werden vorwiegend in der Architektur- und Landschaftsfotografie genutzt, kommen aber auch bei Produktaufnahmen, bei Stillleben und in der Portraitfotografie zum Einsatz. ALPA bietet unterschiedliche Modelle von Mittelformat-Kameras, die sowohl mit eigenen analogen Filmkassetten als auch mit Digitalrückteilen verschiedener namhafter Hersteller bestückt und mit einer grossen Zahl verschiedener Objektive kombiniert werden können. Fotografen können sich so das für ihre Herangehensweise und Aufgabenstellung optimal geeignete Kamerasystem individuell aus den verschiedenen Modulen zusammensetzen. Die Kombinationsmöglichkeiten sind dadurch ausgesprochen vielfältig. Entsprechend wichtig ist für ALPA die bestmögliche Kompatibilität der angebotenen Produkte nicht nur mit neuen und älteren eigenen Komponenten, sondern auch mit Systemen anderer Hersteller von Objektiven, Rückteilen und Zubehör.

In der fotografischen Praxis kann es gerade bei Sujets mit komplexen Lichtsituationen (wie der Kombination von Tages- und Kunstlicht) leicht zu Lichtreflexionen im Objektiv kommen. Zwar wurde dieser meist ungewünschte Effekt durch moderne Techniken der Vergütung deutlich reduziert, doch zugleich erfordern moderne Objektivrechnungen, die auf höchste Auflösungen hin optimiert sind, Konstruktionen mit einer hohen Anzahl an optischen Elementen, was wiederum Reflexe begünstigt. Starke Lichtquellen führen dabei zu sogenannten «Lens Flares», also im Bild deutlich wahrnehmbaren (farbigen) Überstrahlungen. Aber auch ausgedehnte helle Flächen ausserhalb des eigentlichen Bildfelds können Kontrast und Farbbrillanz der Aufnahme deutlich minimieren.

Um dies zu vermeiden, nutzen Fotografen sog. Streulichtblenden, die das Objektiv der Kamera als «physische Barriere» gegen unerwünschte äussere Lichtquellen abschir-

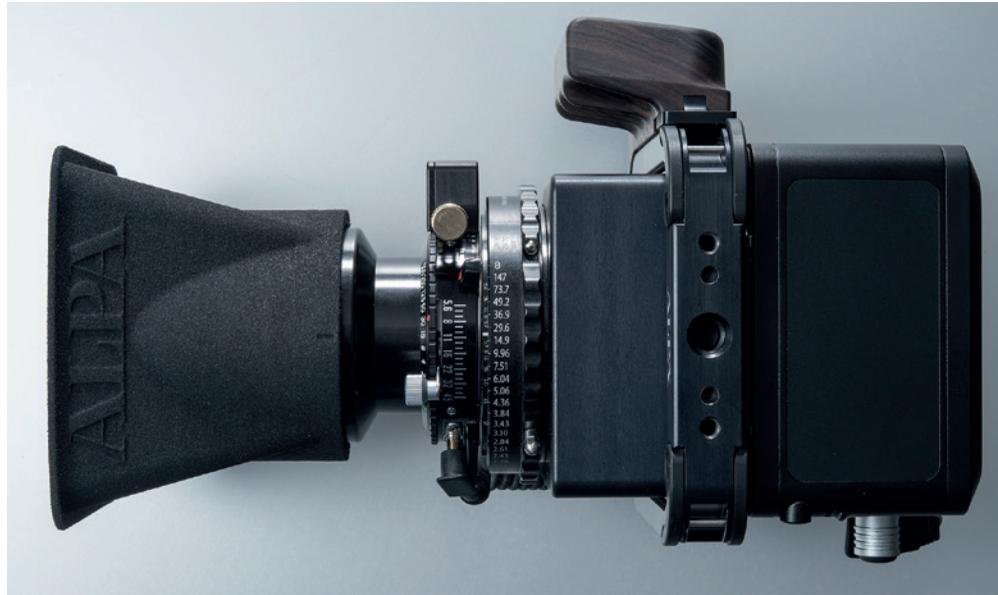
OEM Firma	ALPA Capaul & Weber Ltd.
Hersteller/Lieferant	prodartis AG
Technologie	Laser Sintering
Material	Thermoplastic Polyurethane
Maschine	keine Angaben
Produzierte Menge	100-1000 pro Jahr
Bounding Box	200x180x180 mm

men. Die Form der Blenden muss dafür allerdings möglichst genau an den Bildwinkel der Kamera-Rückteil-Objektivkombination angepasst sein, was dazu führt, dass je nach Setup eine unterschiedliche Form der Streulichtblende optimale Resultate liefert. Bisher mussten die Nutzer modularer Kamerasysteme daher auf verstellbare Streulichtblenden (sogenannte Kompendien) zurückgreifen, deren Handhabung am Set aber zeitaufwendig und fehleranfällig ist. Um seinen Kunden eine einfache und verlässliche Lösung zu bieten, nutzt ALPA seit zwei Jahren das selektive Lasersintern mit TPU. Die Konstrukteure entwickelten dabei in Zusammenarbeit mit der ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften und Additively dafür parametrisierte CAD-Modelle verschiedener Varianten von Streulichtblenden, die schnell auf den entsprechenden Bildwinkel jeder möglichen Kombination von Objektiv und Rückwand angepasst werden können. Im Moment wurden mithilfe dieser Modelle zwei Serien von Streulichtblenden mit Kameras mit Perspektivkorrektur (rund) und ohne Verschiebung (rechteckig) erstellt und erfolgreich auf dem Markt etabliert. Für die Zukunft ist eine Ausweitung auf weitere Konfigurationen und auch eine interaktive Anpassung in einem Web-CAD angedacht.



An die Streulichtblenden werden im fotografischen Alltag hohe Anforderungen gestellt: Sie müssen nicht nur langlebig und wasserresistent sein sondern sich auch einfach an die Kamera anbringen und leicht transportieren lassen. Daher bietet sich ein flexibles Material an, das es dem Fotografen erlaubt, die Blenden jederzeit zu biegen und in einer kleinen Tasche zu verpacken. Diese müssen auch nach häufiger elastischer Verformung immer wieder in die gewünschte Form zurückkehren. Des Weiteren sollten die Blenden über eine mattschwarze Oberfläche verfügen, um die Lichtabsorption so weit wie möglich zu maximieren.

Um all diese Kriterien erfüllen zu können, fiel die Wahl des Materials auf Thermoplastische Polyurethane (TPU), einen flexiblen, gummiartigen Werkstoff. Nach der additiven Fertigung zeigt TPU eine leicht raue und matte Oberflächenbeschaffenheit, es ist leicht und stossresistent. Durch die Flexibilität des Materials kann es direkt auf die Aussenseite des Tubus aufgeschoben werden, wodurch aufwendige Befestigungsmechanismen entfallen. So bleiben in der Nachverarbeitung lediglich die Entfernung des Pulvers, die manuelle Versäuberung der Kanten und die Infiltrierung zur mattschwarzen Färbung des Bauteils. Die Herstellung der Bauteile erfolgt durch die prodartis AG.



Bei den ersten Versuchen zur Fertigung der Blenden traten Schwierigkeiten im Bereich der Prozessstabilität auf. Insbesondere der Werkstoff TPU zeigte sich problematisch. Aufgrund der dünnwandigen Struktur traten in der Anfangsphase verschiedene Probleme auf: Dazu zählten Verformungen des Bauteils (bedingt durch den thermischen Charakter des Fertigungsprozesses), aber auch zeitweilige Schwierigkeiten bei der Stabilität und der Passform am Objektiv-Fitting. Durch die Anpassung der Geometrie (insbesondere der Wanddicke an einigen kritischen Stellen), durch die Abstimmung der Maschinenparameter des SLS-Prozesses, aber vor allem durch die Erarbeitung strenger Prüfkriterien und der Etablierung eines umfassenden Workflows zur Qualitätskontrolle gelang es ALPA in enger Zusammenarbeit mit der prodartis AG, die gewünschte Reproduzierbarkeit zu erreichen, sodass sich die Streulichtblenden heute in aller Welt im Einsatz bewähren und von den Fotografen geschätzt werden.

Heute kann ALPA seinen Kunden dank additiver Fertigung zahlreiche Varianten von einfach zu handhabenden Streulichtblenden anbieten, deren Form jeweils exakt auf das individuelle Kamerasystem angepasst ist. Die Firma konnte so ihrem Angebotspektrum eine Vielzahl von variablen Produkten hinzufügen, ohne dabei im Vorfeld grössere Investitionen tätigen zu müssen. Eine derartige Flexibilität wäre mit einer anderen Fertigungsmethode kaum möglich.

Batteriekühlsystem für das Solar Impulse Flugzeug



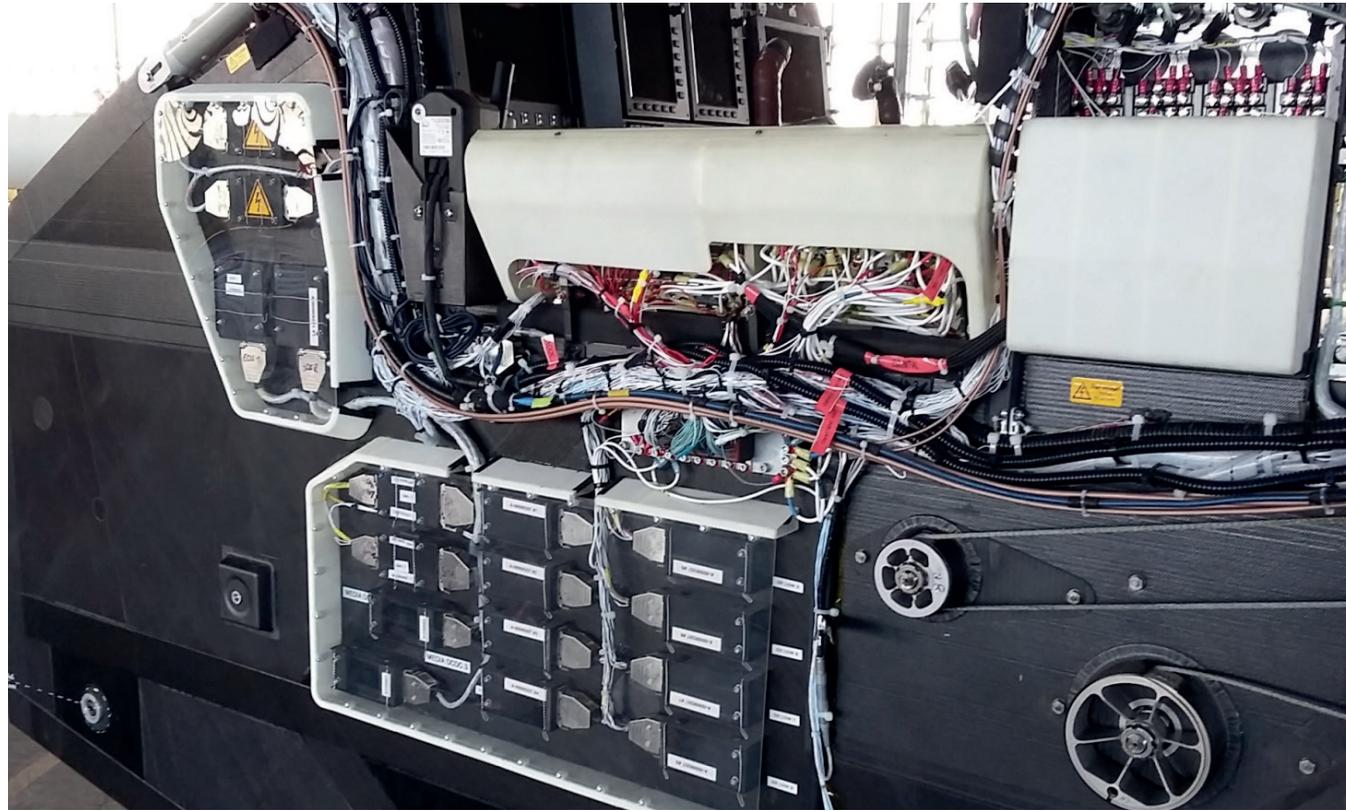
Am 26. Juli 2016 vollendete Solar Impulse erfolgreich die erste Umrundung der Erde in einem solarbetriebenen Flugzeug. Im Laufe dieses Projekts spielte der Einsatz additiver Fertigungsmethoden eine elementare Rolle, sowohl bei der Entwicklung von Prototypen als auch in der Herstellung von finalen Bauteilen für verschiedene wichtige Systeme des Flugzeugs.

Eines dieser Systeme ist die Batteriekühlung. Das Flugzeug verfügt über vier elektrische Motoren mit je 13kW Leistung, die unter den Flügeln angebracht sind, und erreicht so eine durchschnittliche Reisegeschwindigkeit von rund 45 km/h. Solarzellen auf den Flügeln, dem Höhenleitwerk und dem Flugzeugrumpf liefern genug Energie, um sowohl die Motoren anzutreiben, als auch die vier 155 kg schweren Lithium-Polymer(LiPo)-Batteriesysteme aufzuladen, die sich in den Gondeln direkt hinter den Propellern befinden. LiPo-Batterien sind die Akkumulatoren mit der höchsten Energiedichte, die heutzutage auf dem Markt erhältlich sind. Allerdings müssen diese Akkus dauerhaft in dem für sie geeigneten Temperaturbereich von 20° C bis 55° C operieren, egal ob sich das Flugzeug in Abu Dhabi auf dem Boden befindet, oder 8 km über dem Meeresspiegel fliegt. Steigt die Temperatur in den Zellen zu stark an, können die Batterien geschädigt werden.

Während der knapp 118-stündigen Fluchtphase von Nagoya (Japan) nach Kalaeloa (Hawaii, USA) überhitzten die Batteriesysteme der Maschine leicht. Das Konstruktions-team entschied daraufhin, das Flugzeug mit einem neuen Batteriekühlsystem auszustatten, um das Risiko einer erneuten Überhitzung zu verringern. Durch das neue Kühlsystem kann bei Bedarf Umgebungsluft über einen speziell angefertigten Einlassverteiler in die Belüftungskanäle der Batterie geleitet werden. Der bei Flugeschwindigkeit entstehende Druck reicht aus, um die Kanäle mit frischer Luft zu durchströmen, das Batteriesystem zu kühlen und die aufgeheizte Luft auf der Rückseite des gleichen Verteilers wieder auszuleiten.

Dank des cleveren Designs und der Ausreizung der technischen Möglichkeiten kann eine Vielzahl von Funktionen in ein einziges Bauteil integriert werden. Dies führt zu in der Luftfahrt äusserst relevanten Gewichtsersparungen.

OEM Firma	SOLAR IMPULSE SA
Hersteller/Lieferant	prodartis AG
Technologie	Laser Sintering
Material	PA-HF Infiltrated
Maschine	keine Angaben
Produzierte Menge	1-10 pro Jahr
Bounding Box	600x400x300 mm



Die Konstrukteure ermittelten die ideale Gestalt mithilfe von Strömungssimulationen und Tests in einem improvisierten Windkanal. Damit keine Wassertropfen aus der Umgebung in das Kühlsystem eindringen, besitzt der Luftkanal eine nach oben hin siphonförmige Krümmung im Einlass. Jegliches Restwasser, das sich im Einlass gesammelt hat, wird durch einen dünnen Ableitungskanal ausgetrieben. Eine konische Düse auf der Auslassseite verstärkt den Luftstrom durch das System, indem sie durch ihre Form die Luft aus dem Verteiler ansaugt.

Aufgrund der leichtbaulichen Ansprüche tendierten die Konstrukteure bei der Wahl des Materials zunächst zu karbonfaserverstärkten Polymeren für die Herstellung der Kanäle. Für den Herstellungsprozess wären dann teure Gussformen zum Aufbringen der Fasern notwendig gewesen. Zudem hätten zwei gespiegelte Versionen der Formen angefertigt werden müssen, um den Verteiler für jede Seite der Gondeln passend herzustellen, was die Produktionskosten noch weiter in die Höhe getrieben hätte. Hinzu kam die sehr komplexe Gestalt der Kanäle. Die diversen Komponenten hätten einzeln gefertigt und dann zusammengebaut werden müssen.



All diese Faktoren konnte das Konstruktionsteam durch den Einsatz von additiver Fertigung umgehen. Mittels Lasersintern konnte das gesamte Bauteil in nur einem einzigen Produktionsschritt gefertigt und dabei alle notwendigen Funktionen integriert werden. Die grösste Herausforderung lag in der Charakterisierung des Materialverhaltens aufgrund der dünnwandigen Bauweise des Verteilers. Mehrere in Zusammenarbeit mit dem Partner prodartis AG gefertigte Prototypen lieferten die Erkenntnis, dass die gewünschten Eigenschaften bei einer Wanddicke von 0,6 mm erreicht werden. Kreisförmige Verstärkungen in der Gestalt sollen insbesondere in den längeren Röhren das Knicken verhindern.

Die Fertigung der Bauteile erfolgte durch die prodartis AG, die dem Konstruktionsteam auch mit Beratung in Fragen der Herstellbarkeit und der Integration von Funktionen zur Seite stand. Ein stabiler Fertigungsprozess für derart dünnwandige Bauteile bringt den SLS-Prozess an seine Grenze und erfordert eine fundierte Kenntnis des Equipments. So können zum Beispiel die falsche Positionierung der Bauteile in der Prozesskammer und die unmittelbare Nähe zu anderen Komponenten die Ergebnisse beeinträchtigen. In diesem Fall wurde das Bauteil vertikal, auf der konischen Düse sitzend, in der SLS-Maschine positioniert. Durch diesen Ansatz konnten mehr Teile in der Maschine untergebracht und so die Fertigungskosten reduziert werden. Die gestaltspezifische Ausrichtung der Teile ist die Grundvoraussetzung, um eine konstante Wanddicke und korrekte Masse zu erhalten. Auch die Entfernung des Pulvers nach der Fertigung stellte eine Herausforderung dar, insbesondere weil einige von aussen nicht sichtbare Bereiche des Bauteils schwer zugänglich zwischen zwei dünnen Wänden liegen. Spezielle SLS-gefertigte Werkzeuge waren nötig, um das Pulver aus solch unzugänglichen Orten zu entfernen.



Um eine vollständige Dichtigkeit der Bauteile zu gewährleisten, wurden diese einem speziellen Infiltrationsprozess unterzogen. Dies ist notwendig, da es auch bei geringer Porosität zu Druckabfall in den Kanälen kommen kann, was die Kühlwirkung reduzieren würde. Zudem könnten so hochproblematische Wasserlecks im Batteriesystem entstehen. Ein positiver Nebeneffekt der der Infiltration ist die Glättung der Oberfläche.

Durch den Einsatz von selektivem Lasersintern und einen fähigen Konstruktionsteam, gelang es Solar Impulse in kurzer Zeit, komplexe Bauteile für die Batteriekühlung zu entwickeln und zu optimieren, und dabei gänzlich auf kostenintensive Werkzeuge für die Fertigung zu verzichten. Die neuen Bauteile wurden zusammen mit einem neuen Batteriesystem nach Hawaii geliefert und zügig installiert, sodass Solar Impulse seine Erdumrundung fortsetzen konnte.

Ionisierer zur Reinigung von Chip-Bonding-Substraten

Innovativität



Engineering



Business



End2End-Integration



Die BE Semiconductor Industries AG, kurz Besi, ist ein Hersteller von Halbleiterfertigungstechnologien und beliefert weltweit Kunden aus der Halbleiter- und Elektronikindustrie. In Cham (LU) befindet sich eine Niederlassung des Unternehmens, die auf die Entwicklung und Fertigung von Die Bondern* spezialisiert ist.

Von der Idee bis zum Launch des Bauteils auf dem Markt sind gerade einmal drei Monate vergangen. Das für Laser Melting stark optimierte Design wird nun in Serie gefertigt.



OEM Firma

Besi Switzerland AG

Hersteller/Lieferant

Inspire IRPD

Technologie

Laser Melting

Material

Stainless steel 1.4404

Maschine

keine Angaben

Produzierte Menge

10-100 pro Jahr

Bounding Box

150x90x40 mm



Im Dezember 2013 erweiterte ein Konkurrent von Besi sein Angebot im Bereich der Bonding-Anlagen und begann, seinen Kunden Luftionisierer als zusätzliche Module anzubieten. Ionisierer reduzieren die statische Oberflächenladung und vermindern so die Anziehung von Staubpartikeln, welche die Chips kontaminieren. Eine derart gereinigte Oberfläche ermöglicht eine bessere Haftung des Chips am Substrat und dadurch eine längere Haltbarkeit des Bondings. Bald forderten die Kunden von Besi ebenfalls ein entsprechendes Modul zur Nachbesserung ihrer eigenen Anlagen.

Das Konstruktionsteam von Besi sah sich der Herausforderung gegenüber, so zeitnah wie möglich ein geeignetes Ionisierungssystem zu entwickeln. Das Unternehmen hatte bereits zuvor erfolgreiche Projekte mit dem Einsatz von Laserschmelzen durchgeführt und war sich so bereits der Möglichkeiten dieser additiven Fertigungstechnologie bewusst. Da die Position des Ionisierers in der Bonding-Maschine bereits vorgegeben war, bestand zunächst die Schwierigkeit, das Bauteil den Bauraumrestriktionen entsprechend passgenau zu gestalten. Auch die Lage der Druckluftanschlüsse war bereits festgelegt.

Während der Entwicklungsphase erstellten die Konstrukteure eine Vorabversion des Bauteils. Zunächst wurden die Funktionsflächen und die Schnittstellen zu anderen Systemen festgelegt. Basierend auf dem erwünschten Luftstrom entwickelten die Konstrukteure das Design der im Innern liegenden Kanäle und die Idealgestalt des Ionisierers. Über den zentralen Kanal des Bauteils wird gereinigte ionisierte Luft auf das Chip-Bonding-Substrat geblasen, um dieses zu reinigen. Der Luftstrom wird dann zusammen mit den entfernten Staubpartikeln durch die grössere Öffnung wieder angesaugt.



Bereits Mitte Januar stand ein Prototyp des Ionisierers für den Testlauf in einer Kundenmaschine zur Verfügung. Für die Fertigung wurden weder bauteilspezifische Werkzeuge noch CNC-Programme benötigt. Die Konstrukteure konnten so auch weiterhin mit nur geringem Kostenaufwand Verbesserungen der Bauteilgestalt vornehmen, wie etwa die genauere Anpassung der Gestalt an die jeweilige Kundenmaschine.

Wegen der Anforderungen an die Lebensdauer und der notwendigen Luftdichtigkeit des Bauteils fiel die Wahl der Fertigungstechnologie auf Laserschmelzen. Diese additive Fertigungsmethode kann innerhalb weniger Tage Bauteile mit reproduzierbaren Materialeigenschaften liefern. Herausforderungen in der Anwendbarkeit für Serienbauteile entstehen hauptsächlich durch die relativ raue Oberflächenbeschaffenheit, die diese Fertigungsmethode mit sich bringt, wie auch in der Notwendigkeit von spezifisch gestalteten Stützstrukturen. Die Fertigungskosten für die ersten beiden Prototypen lagen im Bereich von etwa 600 CHF pro Teil. Durch effizientere Produktionsbedingungen, wie zum Beispiel die vollständige Nutzung des Bauraums (siehe Bild), konnten die Kosten noch weiter reduziert werden.

Dank ihrer Erfahrung im Einsatz von SLM-Technologie und einem innovationsorientierten Konstruktionsteam, konnte die Besi AG auf den Vorsprung ihrer Konkurrenz reagieren und innerhalb sehr kurzer Zeit ein neues, den Kundenwünschen entsprechendes Produkt auf den Markt bringen.

* Die Bonder: Maschine, die Siliziumchips auf ein Trägermaterial platziert

Patientenspezifische Einweg-Schnittschablonen für chirurgische Eingriffe

Innovativität



Engineering



Business



End2End-Integration



Der digitale Workflow ermöglicht Ärzten, Ihre Schnittschablonen selbst zu gestalten und in der speziell zertifizierten Produktion auf Abruf fertigen zu lassen.

Für die moderne Chirurgie sind medizinische Bildgebungsverfahren von ausserordentlicher Bedeutung. Computertomografie (CT), Magnetische Resonanztomografie (MRT) oder auch Röntgenaufnahmen dienen als Vorlage zur Erstellung detaillierter virtueller 3D-Modelle von Körperstrukturen des Patienten, die nicht nur diagnostischen Zwecken dienen, sondern auch für das Üben komplexer chirurgischer Eingriffe genutzt werden können. Ein weiteres wichtiges Einsatzgebiet derartiger 3D-Modelle ist die präzise Planung von Operationen, für die beispielsweise ein Knochen virtuell in Segmente eingeteilt und die intraoperativen Schnitte im Voraus festgelegt werden können. Ein solcher virtueller Operationsplan trägt entscheidend dazu bei, die Operationszeit zu verringern und die intraoperative Entscheidungsfindung auf ein Minimum zu begrenzen. Dies reduziert nicht nur die Gefahr von Fehlentscheidungen und Komplikationen, sondern spart auch Kosten durch die effizientere Nutzung des Operationssaals. Ein virtueller Operationsplan ist nur dann von Nutzen, wenn er auch im Operationssaal während des chirurgischen Eingriffs angewandt werden kann. Ein wirkungsvoller Weg, um dies zu erreichen, ist der Einsatz von additiv gefertigten Schnittschablonen (Chirurgieschablonen), welche aus einem sterilisierbaren Material gefertigt und der Anatomie des einzelnen Patienten exakt angepasst sind. Derartige Schablonen können den Chirurgen beispielsweise bei Säge- oder Bohrprozessen von Knochenmaterial anleiten.

OEM Firma

Universitätsspital Basel

Hersteller/Lieferant

**Composites Busch SA,
Porrentruy (JU)**

Technologie

Laser Sintering

Material

PA 2200

Maschine

EOS

Produzierte Menge

Nicht bekannt

Bounding Box

200x100x20 mm

In vielen Situationen, wie zum Beispiel bei der Behandlung von posttraumatischen Knochenschädigungen, Knocheninfektionen, Deformationen oder auch der Folgen von Tumoren müssen Chirurgen die Knochen des Patienten präzise rekonstruieren. Dazu werden bestimmte Teile der betroffenen Knochen entfernt (Osteotomie) und/oder durch Knochentransplantate ersetzt. Es handelt sich dabei entweder um autologe Transplantate, für die Knochenmaterial aus dem Körper des Patienten selbst gewonnen wird, oder um synthetische Transplantate. Die Rekonstruktionsmedizin bevorzugt körpereigenes Gewebe des Patienten, um die bestmögliche Verträglichkeit des Transplantats zu gewährleisten. Chirurgieschablonen können bei derartigen Eingriffen nicht nur garantieren, dass die durchzuführenden Schnitte korrekt positioniert werden, sondern auch die Richtung und die gewünschte Tiefe des Schnitts vorgeben.

Die Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie des Universitätsspitals Basel setzt diese Technik nahezu täglich in Kooperation mit Composites Busch SA im Operationssaal ein. In der Klinik wird dafür das erforderliche Bildmaterial aufgenommen und bearbeitet. Auch die auf dem Bildmaterial basierenden virtuellen Operationspläne und massgefertigten Chirurgieschablonen entwickelt die Klinik selbst.

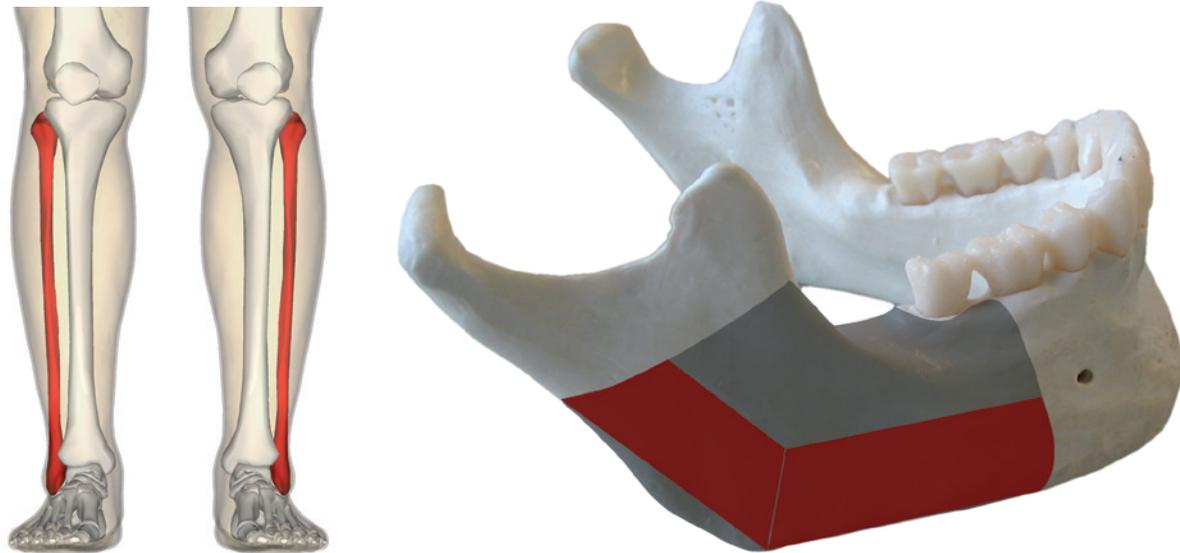


Für den spezifischen Fall der Rekonstruktion eines Unterkieferknochens mit einem autologen Wadenbein-Transplantat mussten die Chirurgen eine spezielle Schnittschablone entwickeln. Die Schablone stellt sicher, dass die notwendige Osteotomie am Wadenbein des Patienten genau der Planung entsprechend durchgeführt wird und dass die entnommenen Transplantate die korrekte geometrische Form für die Rekonstruktion des Kiefers aufweisen. Das Prinzip einer solchen Rekonstruktion ist im unteren Bild dargestellt.

Vor dem Eingriff wurden anhand eines CT-Scans genaue 3D-Knochenmodelle des Patienten generiert. Mit einer entsprechenden Software wurde ein detaillierter virtueller Operationsplan ausgearbeitet. Mitarbeiter der Klinik entwickelten daraufhin massgefertigte Schnittschablonen und leiteten diese weiter an Composites Busch SA.

Damit das Transplantat die richtigen Winkel für die Rekonstruktion aufweist, ist eine Reihe von präzisen Schnitten am Wadenbein notwendig. Dies kann eine Menge Zeit in Anspruch nehmen, wenn kein virtueller Plan zur Verfügung steht oder die Schnitte frei während der Operation vorgenommen und angepasst werden müssen, wodurch wiederum die Gefahr von Infektionen oder sonstigen postoperativen Komplikationen steigt.

Für die Herstellung von Chirurgieschablonen, wie auch jedes anderen Werkzeugs zum Einsatz im Operationssaal, gelten sehr strenge Auflagen. Die Bauteile müssen vor ihrem Einsatz im OP die vorgeschriebenen Reinigungs- und Sterilisationsprozesse durchlaufen, ohne dass es zu Deformationen oder Veränderungen des Materials kommt. Insbesondere auch die mechanischen Eigenschaften des Bauteils dürfen nicht



beeinträchtigt werden. Diese Prozesse beinhalten die Tiefenreinigung der Teile wie auch eine rund 70-minütige Dampfdruck-Sterilisation bei etwa 134° C in einem Autoklaven. Da das Bauteil in direkten Kontakt mit dem Körpergewebe des Patienten kommt, muss ausserdem seine Bioverträglichkeit garantiert sein. Weder die Schablone selbst, noch zurückgebliebene Partikel durch ihren Gebrauch dürfen lokale oder systemische Reaktionen im Körper des Patienten verursachen. Nicht zuletzt muss der eingesetzte Werkstoff es dem Chirurgen erlauben, das Bauteil während der Operation mit Schrauben am Knochen zu befestigen und bei Bedarf auch kleinere Anpassungen vorzunehmen, etwa durch Bohrungen.

Um die gegebenen Anforderungen zu erfüllen, werden die Schablonen im Lasersinter-Verfahren aus dem Polyamid-12-basierten Werkstoff PA2200 hergestellt. Der additive Fertigungsprozess kommt ohne Stützstrukturen und besondere Nachbearbeitung aus und ermöglicht so eine präzisere Gestaltung der Bauteile. Aufgrund der Gestaltungsfreiheit beim Lasersinter-Prozess können zudem dreidimensionale Beschriftungen in die Bauteilgestalt integriert werden, die beispielsweise Informationen zur Identität des

Patienten enthalten, oder auch eine Referenz zu dem Knochen, auf welchem das Bauteil fixiert werden muss. Der Chirurg erhält so zusätzliche visuelle Kontrollpunkte, an denen er sich im Laufe der Operation orientieren kann.

Die additive Fertigung dieser komplexen Bauteile erfolgt durch Composites Busch SA. Die Qualitätsansprüche, sowohl an den Werkstoff als auch an den Fertigungsprozess selbst, sind ausgesprochen hoch. Spezielle Massnahmen stellen sicher, dass die Parameter des Herstellungsprozesses konstant eingehalten werden und dass es nicht zu Kontaminationen des Bauteils kommt. Dafür muss beispielsweise die Reinigung der Maschinen und insbesondere des Bauraums mit grosser Sorgfalt durchgeführt werden. Auch beim Wechsel von einem Werkstoff zu einem anderen muss darauf geachtet



werden, Kreuzkontaminationen zu vermeiden. Für die entsprechenden Zulassungen unterzieht sich Composites Busch SA jährlich Audits von Kunden und Zertifizierungsstellen. Nicht nur der Fertigungsprozess muss validiert werden, sondern auch die Software, die in den einzelnen Produktionsschritten zum Einsatz kommt. Dies umfasst die Software zur Bauvorbereitung, die Gestaltungssoftware, wie auch die Software zur Erstellung der Operationspläne.

Der Einsatz dieser hochmodernen Technologien kann die Dauer von chirurgischen Eingriffen verringern und Fehler während der Operationen vermeiden. Durch spital-eigene Fachkompetenz und die gelungene Zusammenarbeit mit dem Hersteller erhält die Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie innerhalb kurzer Zeit (normalerweise 1 - 3 Werktage) die benötigten Bauteile und kann die Behandlungskosten so stark reduzieren, dass die Anwendung additiv gefertigter Schablonen in zahlreichen chirurgischen Bereichen möglich ist.

Zahnräder für Tram-Rolldisplays

Innovativität



Engineering



Business



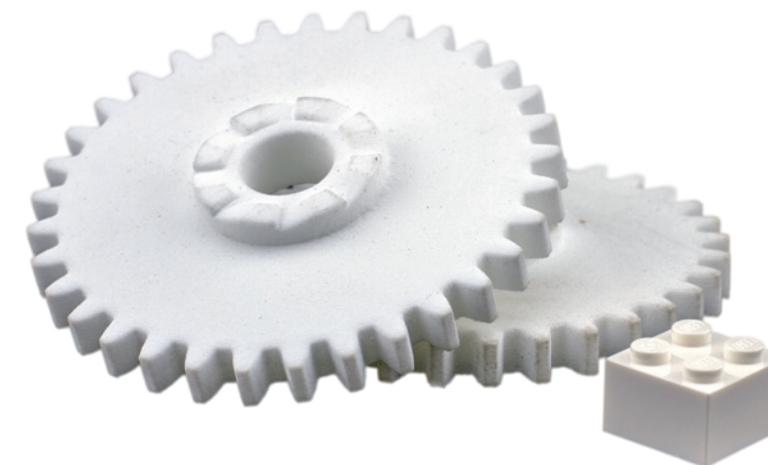
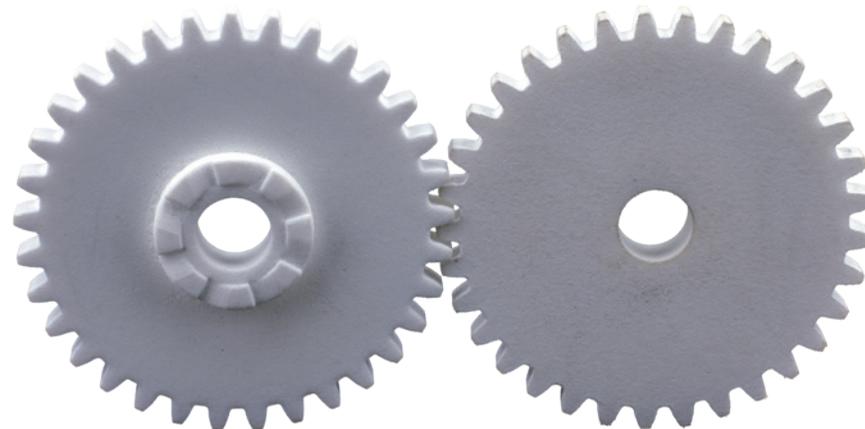
End2End-Integration



Diese Anwendung ist ein gutes Beispiel für digitales Ersatzteilmanagement mit Reverse Engineering und lokaler Produktion in der Stadt Zürich.

Die Verkehrsbetriebe Zürich, kurz VBZ, nahmen die erste Tram des Modells Tram 2000 im Jahr 1978 in Betrieb. Bis zum Jahr 1992 wurden drei Baureihen dieses Fahrzeugtyps produziert. Heute sind noch 170 davon im Einsatz und befördern täglich Tausende Fahrgäste im Stadtgebiet Zürich. Um die Fahrgäste über Liniennummer und Endhaltestelle der jeweiligen Tram zu informieren, verfügen die meisten dieser Fahrzeuge über analoge Rolldisplays, von denen sich zwei jeweils oberhalb der Front- und Heckscheiben befinden und zwei weitere an Fenstern zu jeder Seite des Tramwagens angebracht sind.

OEM Firma	Verkehrsbetriebe Zürich (VBZ)
Hersteller/Lieferant	My3Dworlts Rene Faigle AG
Technologie	Laser Sintering
Material	Duraform PA
Maschine	3D Systems
Produzierte Menge	100-1000 pro Jahr
Bounding Box	100x100x10 mm



Die Rolldisplays bestehen aus einem flexiblen Folienmaterial mit aufgedruckten Liniennummern und Endhaltestellen, die bei Bedarf von einem elektromechanischen Antrieb weiterbewegt werden. Diese Bewegung wird durch zwei Metallwalzen im oberen und unteren Teil des Displays ermöglicht, deren Enden jeweils über Zahnräder an einen elektrischen Motor gekoppelt sind. Die Positionierung der gewünschten Anzeige erfolgt anhand von Barcodes auf der Rückseite der Folie, die von optischen Sensoren abgelesen werden.

Während des routinemässigen Trambetriebs gelangen fortwährend Schmutz, Staub und andere Kleinteile ins Innere der Rolldisplays, wodurch der Mechanismus frühzeitig verschleisst. Vor allem die Zahnräder des Systems sind davon betroffen. Aus diesem Grund müssen die Bauteile regelmässig von Technikern inspiziert und soweit nötig ausgetauscht werden. Dies wurde beizeiten zu einem Problem, da der bisherige Zulieferer aus Osteuropa seinen Betrieb inzwischen eingestellt hat und auch die technischen Zeichnungen der benötigten Zahnräder nicht mehr zur Verfügung stehen. Im Jahr 2015 gingen bei den VBZ die Bestände an Ersatzzahnrädern zur Neige, sodass eine alternative Bezugsquelle für die benötigten Bauteile gefunden werden musste.

Die VBZ wandte sich mit ihrem Anliegen an my3Dworld und stellte dem dortigen Konstruktionsteam einige Originalbauteile zum Reverse Engineering* zur Verfügung. Nachdem das Team von my3Dworld sowohl die Stirnradparameter als auch die Sperrklinkengeometrie der Zahnräder vermessen hatte, erstellte es anhand der gewonnenen Daten ein parametrisches CAD-Modell. Bereits zwei Tage später stand der erste Prototyp des Ersatzteils zur Verfügung und konnte von der VBZ in ein Rolldisplay eingebaut und hinsichtlich seiner Funktion getestet werden. Dabei stellte sich heraus, dass die Höhe der Sperrklinkenverzahnung angepasst werden musste, um ein besseres Feststellmoment sicherzustellen. Nach einer kleinen Modifikation der Sperrklinkengeometrie konnte die Produktion der Bauteile beginnen. So reichten zwei Gestaltiterationen aus, um ein einsatzfähiges Bauteil zu erhalten.

Die Fertigung der Ersatzzahnäder erfolgte mittels Lasersintern, was unter anderem in der Wahl des verwendeten Werkstoffs Duraform PA begründet ist. Der Kunststoff besitzt gute Materialeigenschaften, wie etwa eine hohe Verschleissresistenz, und ist relativ kostengünstig in der Verarbeitung. Tatsächlich hat sich gezeigt, dass in diesem Fall die Beschaffungskosten der additiv gefertigten Bauteile aufgrund der geringen Stückzahl vergleichbar sind mit konventionell hergestellten Bauteilen. Nach Fertigung und standardmässigem Trowalisieren der ersten Zahnäder konnten diese aufgrund der geringen Distanz zwischen Kunde und Hersteller mit dem Fahrrad schnell an die Werkstatt der VBZ ausgeliefert werden. Vor dem Einbau in die Rolldisplays muss für eine reibschlüssige Verbindung mit der Walze nur noch die zentrale Bohrung des Zahnäders angeschliffen werden.



Langzeitbeständigkeit und Zuverlässigkeit der additiv gefertigten Zahnäder werden erst nach mindestens einem Jahr im Betrieb ersichtlich sein. Besonders die Frage nach der Wirtschaftlichkeit dieser Lösung wird sich erst anhand der Lebensdauer der Bauteile klären lassen. Tatsächlich muss die Lebensdauer der additiv gefertigten Zahnäder mindestens jener von konventionell gefertigten Bauteilen entsprechen, damit sich die Umstellung von Material und Fertigungsmethode für das Unternehmen wirtschaftlich rechnet, da die Beschaffungskosten deutlich weniger ins Gewicht fallen als die Arbeitskosten für das Auswechseln der verschlissenen Teile. Die Erwartungen, welche die VBZ als Kunde an die additiv gefertigten Bauteile hatten, haben sich mit den bisherigen Ergebnissen zufriedenstellend erfüllt. Da die Zahnäder nur geringen Lasten ausgesetzt sind, sollte die voraussichtliche Lebensdauer jener von konventionell gefertigten Bauteilen entsprechen.

* Reverse Engineering: Rekonstruktion/Nachkonstruktion von Bauteilen

Entwicklung eines automatisierten Zuführsystems für einen spritzgussgefertigten Steckverbinder

Innovativität



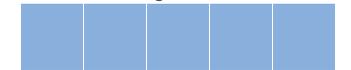
Engineering



Business



End2End-Integration



Die Satrotec AG ist ein Systemzulieferer für Gussteile mit Sitz in Eglisau (ZH). Die Produktpalette des Unternehmens reicht von gestanzten und elektronischen Komponenten bis zu Diagnosekabeln und Steckverbindern für die Automobilindustrie. In ihrem Fertigungsbetrieb setzt die Satrotec AG in grossem Umfang auf selektives Lasersintern. Diese additive Fertigungsmethode ermöglicht dem Unternehmen die Reduktion von Kosten und die Beschleunigung der Entwicklung von Automatisierungssystemen für die Massenproduktion. Sie dient ausserdem der schnellen Herstellung von Vorrichtungen, um die Fertigung zu beschleunigen und Fehlerquoten bei der Nullserienproduktion zu reduzieren.

Das Unternehmen ist derzeit dabei, ein neues Produkt auf den Markt zu bringen. Ein Kunde in der Automobilindustrie hat die Entwicklung eines neuen elektrischen Steckverbinders aus Spritzguss zum Einbau in Zündkerzenbaugruppen in Auftrag gegeben. Für die Massenproduktion des Bauteils benötigt Satrotec eine Vorrichtung für ein automatisiertes Zuführsystem zur Bestückung der Spritzgusspresse mit sieben Metallkontakten. Bei der Herstellung des finalen Produkts werden diese Kontakte mit Kunststoff umspritzt.

Automatisierte Zuführsysteme, die in der Produktion solcher Steckverbinder zum Einsatz kommen, können sehr teuer sein. Normalerweise bestehen sie aus gehärtetem Stahl und erfordern mehrere Fertigungsschritte des Fräsens und Drahterodierens. Jeder Fehler, der hierbei auftritt, treibt die Entwicklungskosten deutlich in die Höhe. Das Fertigen und Testen von Prototypen aus gehärtetem Stahl ist deshalb wirtschaftlich nicht sinnvoll. Aus diesem Grund werden SLS-Prototypen der Zuführsysteme gebaut, um ihre Funktionalität zu prüfen und die Nullserienproduktion des Steckverbinders voranzutreiben. Die Zuführsysteme werden ausgiebig in teilautomatisierten Zyklen getestet, wodurch mögliche Probleme früh identifiziert werden können. Diese additiv gefertigten Prototypen erlauben zudem die schnelle Fertigung der ersten Serienbauteile

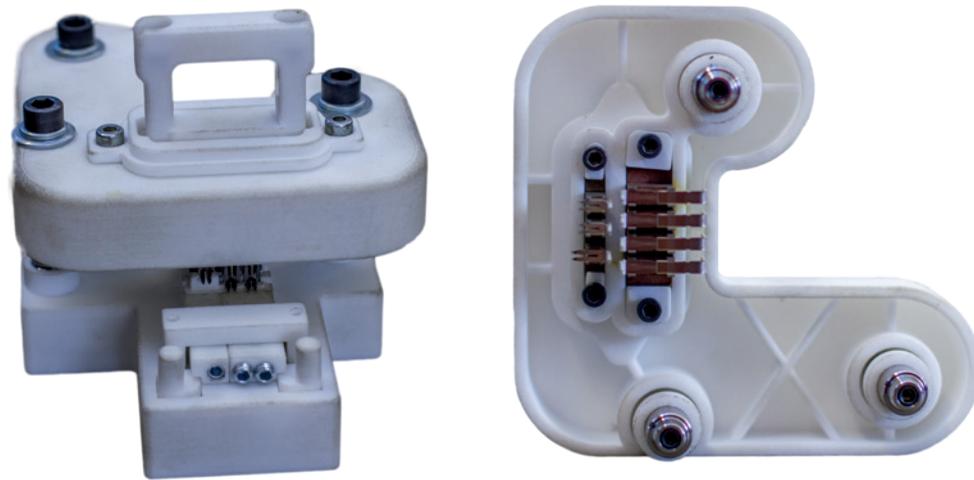
Dank dem Einsatz von laser-gesinterten Support-Teilen kann die Produktentwicklung bis hin zur Produktion der Nullserie schneller und günstiger realisiert werden.

OEM Firma	Satrotec AG
Hersteller/Lieferant	Rapid Manufacturing Stebler
Technologie	Laser Sintering
Material	PA 2200
Maschine	EOS P110 Formiga
Produzierte Menge	1-10 pro Jahr
Bounding Box	180x180x30 mm

(einige Tausend Stück), die der Kunde selbst testen und verifizieren kann.

Das von Satrotec entwickelte Zuführsystem besteht aus einer Kombination von SLS-gefertigten Strukturelementen, sowie SLS-gefertigten Funktionselementen, bei denen keine engen Toleranzen eingehalten werden müssen (bis 0,1 mm), und drahterodierten Metalleinsätzen für Funktionselemente mit sehr engen Toleranzen.

Das Zuführsystem ist aus zwei Hauptkomponenten aufgebaut: einer Vorbereitungseinheit und einem Greifersystem. Die Vorbereitungseinheit dient der korrekten Ausrichtung von sieben gestanzten Metallkontakten für den Spritzgussprozess. Das Greifersystem übergibt die Kontakte an die Kavität, in welcher die Kontakte eingeklemmt werden, bevor der Spritzgussvorgang beginnt.



Nachdem die Kontakte manuell in die Vorbereitungseinheit eingelegt wurden, gleiten sieben Haltestifte in Position, um die Kontakte einzuspannen und an der richtigen Stelle für den Greifvorgang zu fixieren. Die Spannkraft der Stifte kann über das Vorspannen von integrierten Federn mit kleinen Schrauben auf der Vorbereitungseinheit eingestellt werden. Ein Schnappmechanismus blockiert die Stifte.

Daraufhin kann der Greifvorgang beginnen. Für den halbautomatisierten Testzyklus positioniert der Bediener das Greifersystem auf der Vorbereitungseinheit. Drei Zentrierbolzen aus Metall stellen die korrekte Ausrichtung zwischen Vorbereitungseinheit und Greifersystem sicher. Das Greifersystem verfügt über sieben Spannzangen aus Metall, um die Kontakte aufzunehmen. Sobald die Kontakte in den Spannzangen fixiert sind, betätigt der Bediener drei kleine Schalter an der Vorbereitungseinheit, löst damit die Haltestifte und gibt so die Kontakte frei, die nun vom Greifer aufgenommen werden können.

Die ausgerichteten Kontakte können dann vom Greifersystem in die Kavität überführt werden. Dieselben drei Zentrierbolzen sorgen auch hier für eine korrekte Ausrichtung.

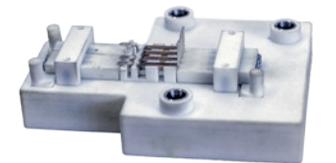
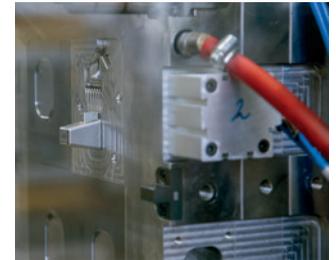
Sobald die Kontakte in der Kavität festgeklemmt sind, kann die Einspannung der Kontakte im Greifer aufgehoben werden. Der Bediener betätigt dafür einen Hebel auf der Rückseite des Greifersystems und entlässt die Kontakte in ihre endgültige Position in der Kavität.

Sowohl die Vorbereitungseinheit als auch das Greifersystem basieren auf einer intelligenten Kombination aus SLS-gefertigten Bauteilen, Normteilen und präzisen drahterodierten Metalleinsätzen. Besondere Herausforderungen beim Einsatz von SLS liegen in der Gestaltung der Zentrierung und in der Reduktion des Spiels zwischen den verschiedenen Elementen. Normteile befinden sich unter anderem im Zentriersystem, wo Bolzen genutzt werden. Drahterodieren wurde weiterhin als einzig möglicher Ansatz zur Herstellung der Spannzangen verwendet, da zum einen die Präzision des SLS-Prozesses, zum anderen die Steifigkeit des Werkstoffs PA für eine solche Komponente keine ausreichende Lebensdauer bieten können.

Die additive Fertigung dieser Vorrichtungen erfolgt durch Rapid Manufacturing Stebler aus Rümlang. Die eingesetzte EOS Formiga Maschine rangiert unter den besten ihrer Klasse im Bereich der Formtoleranzen und Oberflächenqualität auf dem Gebiet des Lasersinterns und ist daher sehr geeignet für solch funktionale Anwendungen. SLS-gefertigte Bauteile in der hier benötigten Grösse sind deutlich preiswerter im Vergleich mit konventionellen Fräsbauteilen. Weitere Einsparungen können durch die Anwendung einiger einfacher SLS-spezifischer Gestaltungsregeln zur Reduktion der Bauteilmasse erreicht werden. Diese beinhalten zum Beispiel die Aushöhlung massiver Bereiche und das Einbringen von strukturellen Verstärkungen. Durch solche Massnahmen können die Kosten pro hergestellter Vorrichtung verglichen mit der konventionellen Fertigung um das Acht- bis Zehnfache gesenkt werden.

Hinzu kommt, dass zerspannte Versionen solcher Vorrichtungen aus mehr Einzelteilen bestehen, die zusammengesetzt werden müssen. Da Satrotec nur eine CNC-Fräsmaschine besitzt, werden solche Komponenten normalerweise an mehrere externe Werkstätten ausgelagert. Dies erhöht den Aufwand von Koordination und Auftragsverwaltung. Durch das Ausschöpfen der Vorteile von SLS können nicht nur viele Strukturelemente in ein Bauteil integriert werden, es können auch mehrere Bauteile in einem einzigen Fertigungsgang bei Rapid Manufacturing Stebler hergestellt werden. Die Zeitersparnis ist beeindruckend: Die Bauteile einer Gestaltiteration stehen innerhalb von Tagen zur Verfügung anstelle von Wochen, und die Zeit, bis getestet werden kann, verkürzt sich bis um das Dreifache.

Die Reduktionen von Kosten und Auftragsdurchlaufzeiten haben weitreichende Auswirkung auch auf die Art und Weise, wie Konstrukteure entwickeln und zusammenarbeiten. Aufgrund des geringeren finanziellen Drucks sind weniger Treffen zur Abstimmung der Umsetzbarkeit von Gestaltvarianten notwendig. Stattdessen kann der Konstrukteur nun selbst Tests durchführen und die am besten geeigneten Gestaltungsvarianten ermitteln. Dies hat die Konsequenz, dass Entwicklungsaufgaben parallel ausgeführt werden können und die Gesamtentwicklungszeit reduziert wird.



Einsätze für CFK-Composit-Rahmen einer Flugdrohne

Innovativität



Engineering



Business



End2End-Integration



Die Nutzung von AM in der Serienproduktion macht die Drohne leichter und deren Produktion schneller. Dank dem teilweise automatisierten Versionsmanagements können Teile kontinuierlich weiterentwickelt werden.

Die Trimble UX5 ist ein autonomes System zur Luftbildkartografie und darauf ausgelegt, Aufnahmen für Vermessungsaufgaben zu erstellen. Die Drohne verfügt über ein bordeigenes Navigationssystem, sowie eine leistungsstarke Kamera mit einer grossen Auswahl an Linsen zur Erhöhung ihrer Flexibilität. Im Inneren der Drohne sorgt ein Composit-Rahmen aus karbonfaserverstärkten Kunststoffröhren (CFK-Röhren) und SLS-gefertigten Verbindungseinsätzen für die erforderliche Steifigkeit bei stark reduziertem Gesamtgewicht. Leichtere Rahmen sind entscheidend, da sich jedes eingesparte Gramm positiv auf die zu erreichende Flugdistanz pro Batterieladung auswirkt.

Vor einigen Jahren trafen sich die Konstruktionsteams von Trimble und Materialise zu einem gemeinsamen Workshop und beschäftigten sich mit der Frage, wie der Einsatz additiver Fertigung die Baustruktur solcher unbemannter Flugsysteme (UAV) verbessern kann. Die Erfahrung der Trimble-Konstrukteure im Bereich der Drohnengestaltung, kombiniert mit dem fundierten Wissen über additive Fertigung von Materialise, ermöglichten dem Team nicht nur die Entwicklung neuer Ideen zur Verbesserung der UAV-Gestalt durch einen leichteren und steiferen Rahmen, sondern auch zur Vereinfachung des zugehörigen Fertigungsprozesses. In einer ersten Iteration entwickelte das Team neue SLS-gefertigte Einsätze, die das Verbinden mehrerer Standard-CFK-Röhren zu einem steifen und leichten Rahmen erlauben. Allerdings reichte dies noch nicht aus, um den gesamten Herstellungsprozess zu vereinfachen. Der Umstieg auf additive Fertigung beseitigte nicht ein entscheidendes Problem bei der Montage. Da der Zusammenbau des Rahmens manuell erfolgte, war es sehr schwierig, die präzise Menge an Klebstoff für jedes Verbindungsstück zu kontrollieren. Dies konnte eine Beeinträchtigung von Festigkeit, Qualität und Gewichtsbalance der Drohne zur Folge haben. Um dieses Problem zu bewältigen, arbeiteten die Konstrukteure von Trimble und Materialise in einer zweiten Iteration an der Integration einer Reihe von Kanälen in den Verbindungsstücken, die eine optimale Klebstoffverteilung gewährleisteten und so zu einer sicheren Verbindung und Haftung der CFK-Röhren führen.

OEM Firma	Trimble Navigation Limited
Hersteller/Lieferant	Materialise
Technologie	Laser Sintering
Material	PA 12
Maschine	keine Angaben
Produzierte Menge	100-1'000 Rahmen pro Jahr
Bounding Box	180x180x30 mm



Dank dieser Lösung ermöglicht der Einsatz von additiver Fertigung Trimble heute einen vereinfachten und schnellen Produktionsprozess. Trimble nutzt die Vorteile des SLS-Prozesses nicht nur für die Herstellung der Verbindungseinsätze, sondern auch für andere Strukturelemente wie Kamerahalterungen oder kundenspezifische Sensorvorrichtungen. SLS ermöglicht den Konstrukteuren umfangreiche Freiheiten in der Verbesserung des Drohnendesigns, ohne dabei für jede Iteration in neue Gussformen investieren zu müssen.

Wenn additive Fertigung den Herstellungsprozess eines Produkts ersetzt, das zuvor gegossen und gefräst wurde, führt dies zwar zu neuen Freiheiten in der Gestaltung, die etablierten Standards der Industrie müssen aber weiterhin erfüllt sein. Dies sind unter anderem genaue Toleranzen, Qualität und die Verfolgbarkeit jedes einzelnen produzierten Bauteils. Die Drohnen von Trimble benötigen einen zertifizierten Fertigungsprozess, mit optimierter Hardware (in Form der SLS-Maschinen), geeigneter

Software zur Überwachung des Fertigungsprozesses sowie umfassende Qualitätsprüfungen. Materialise übernimmt einen wesentlichen Anteil der Fertigung und Montage der Rahmen, die so direkt nach Auslieferung in die Drohne verbaut werden können. Durch diesen Ansatz kann Trimble wertvolle Zeit in der Produktion einsparen und sich vor allem auf die Produktentwicklung konzentrieren.



«Materialise liefert uns die Drohnen-Rahmen vollständig zusammengebaut und sogar inklusive Teilen, die nicht additiv gefertigt sind, wie zum Beispiel Kabel», sagt Maarten Durie von Trimble. «Das spart uns wertvolle Zeit. Dadurch, dass wir beim Zusammenbau ganz auf Materialise setzen, haben wir mehr Zeit, um uns auf die Gestaltung und Produktentwicklung zu konzentrieren, ohne uns Sorgen über die Produktion machen zu müssen. Mit einem so glatten Arbeitsablauf konnten wir in diesem Jahr mehr als 500 Rahmen fertigstellen.»



Copyright Bilder:
Materialise
Trimble Navigation Ltd.

Strukturkomponenten für das «Chairless Chair» Exoskelett



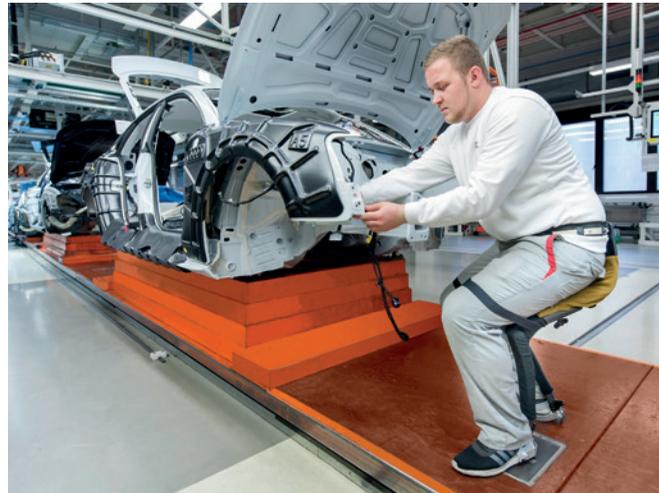
Mit ihrem «Chairless Chair» bietet die noonee AG eine neuartige Technologie, die es Fabrikarbeitern vor allem im Bereich der Fließbandarbeit ermöglichen soll, ihre Muskeln zu entspannen und sich während der Arbeit hinzusetzen – und das ganz ohne Stuhl. Das Leichtbau-Exoskelett kann an den Beinen befestigt werden, was dem Nutzer den Vorteil bietet, sich nicht nur zu setzen, wann immer er das wünscht, sondern auch damit herumzulaufen. Ein mechatronisches Unterstützungssystem, das einen aktiven Dämpfungsmechanismus verwendet, ermöglicht die Anpassung der Sitzhöhe. Das Produkt hat das Potenzial, die Art und Weise, wie Arbeiter in Produktionslinien sitzen und stehen, zu revolutionieren.

Der erste Prototyp des «Chairless Chair» bestand aus karbonfaserverstärktem Kunststoff (CFK). Die Herstellung war aufgrund der Notwendigkeit spezieller Werkzeuge und des intensiven Arbeitsaufwands beim Laminierprozess relativ teuer. Um eine hohe Steifigkeit bei geringem Gewicht zu erreichen, ist bei diesem Fertigungsverfahren eine korrekte Ausrichtung der Fasern notwendig. Das Team von noonee musste so schnell wie möglich einen funktionsfähigen Prototyp entwickeln. Die CFK-Variante zeigte aber zu viele Probleme hinsichtlich Fertigungskomplexität und Steifigkeit. Insbesondere die Bauteilverbindungen zum Dämpfer liessen den Prototyp häufig versagen. Nach einem ersten Kontakt mit der Ecoparts AG entschied das Team, für die Produktion der grundlegenden Strukturelemente des Exoskeletts auf additive Fertigung umzusteigen. Aufgrund der leichtbaulichen Anforderungen und der hohen Lasten, insbesondere an den Bauteilverbindungen, wurde die Titanlegierung Ti6Al4V als Werkstoff ausgewählt, die auch häufig in der Luftfahrt und der Medizintechnik verwendet wird.

Ausgehend von der Gestalt des CFK-Prototyps reduzierte das Konstruktionsteam das Bauteilvolumen deutlich und war weniger als 24 Stunden später in der Lage, einen neuen Prototyp additiv zu fertigen. Besonders der untere Teil des Exoskeletts stellte eine grosse Herausforderung dar. Er wurde von zwei Schalen auf ein einzelnes

Der Einsatz von AM als Bridge-Manufacturing-Technologie ermöglicht es funktionierende «Chairless Chairs» innert kürzester Zeit zum Kunden zu bringen. Das supportfreie Design wird anspruchsvoll nachbearbeitet.

OEM Firma	Noonee AG
Hersteller/Lieferant	Ecoparts AG
Technologie	Laser Melting
Material	Titanium
Maschine	EOSINT M 270
Produzierte Menge	10-100 Rahmen pro Jahr
Bounding Box	180x180x30 mm



Additiv gefertigte Strukturteile des Exoskeletts. Der obere Bereich des linken Bauteils verfügt über drei Bohrungen zur Einstellung der Sitzhöhe. Der untere Bereich des rechten Bauteils mit Bohrungen zur Einstellung der Verbindung mit dem Fussstück.

konkaves Bauteil reduziert. Um Knicken zu vermeiden, wurden zwei Verstärkungsrippen in den dünnwandigsten Bereichen eingesetzt. Die Erarbeitung der ersten für den Laserschmelzprozess geeigneten Gestalt erforderte eine enge Zusammenarbeit der Konstrukteure von noonee und der Ecoparts AG.

Idealerweise hätten die Bauteile aufrecht im Bauraum der LM-Maschine positioniert werden müssen, um gänzlich auf Stützstrukturen verzichten zu können. Dies war wegen der Länge aber nicht möglich. Um das längste Bauteil in der Maschine unterzubringen, musste es um 20° gedreht werden. Dies hatte wiederum zur Folge, dass mehrere Elemente des Bauteils nun als Überhänge positioniert waren, wodurch sie nahe an und teilweise sogar über dem kritischen Winkel von 45° ausgerichtet waren. Sämtliche Elemente in den betroffenen Bereichen mussten angepasst werden, um die Notwendigkeit von Stützstrukturen so weit wie möglich zu begrenzen. Ecoparts unterstützte die Konstrukteure von noonee während des gesamten Anpassungsprozesses und auch bei der Fertigung.

Im Anschluss an die additive Fertigung waren noch einige zusätzliche Bearbeitungsschritte erforderlich. Neben der Entfernung der wenigen benötigten Stützstrukturen mussten alle Bohrungen wie auch die Schnittstellen zum Sitz spanend nachbearbeitet werden. Die Bearbeitung von Titanlegierungen ist recht schwierig und erfordert spezielle Werkzeuge und Maschinen.

Beim Aufbau eines Unternehmens ist es wichtig, auf flexible Fertigungsprozesse zu setzen, die dennoch in der Lage sind, Bauteile mit ausgezeichneten mechanischen Eigenschaften zu produzieren. Durch den Einsatz des Laserschmelz-Verfahrens konnte noonee schnell funktionsfähige Exoskelette fertigen und potenziellen Kunden vorstellen, während gleichzeitig und praktisch ohne zusätzlichen Kostenaufwand die Konstrukteure weiterhin Änderungen vornehmen und das Produkt so stetig weiterentwickeln konnten.



Die Titanteile zeigten sich als sehr widerstandsfähig. Beim ersten Feldversuch in der russischen Produktionsanlage eines Automobilherstellers setzten die potenziellen Kunden das Produkt hohen Lasten aus und liessen sich aus dem Sprung mit ihrem ganzen Gewicht in das Exoskelett fallen, um dieses gezielt zu beschädigen. Trotz dieser teils schwergewichtigen Prüfungen zeigte das Bauteil keine Anzeichen von struktureller Verformungen oder Instabilität.

Mit dem Übergang zur Serienproduktion des «Chairless Chair» verlegt sich noonee inzwischen wieder auf die Fertigung mittels Spritzguss. Die verschiedenen Varianten von additiv gefertigten Prototypen waren ausgesprochen hilfreich bei der Optimierung des Produkts und ermöglichten es noonee zudem, ihr Geschäftsmodell zu konkretisieren. Alles in allem schliesst Keith Gunura, der CEO von noonee, aber die Option nicht aus, besonders anspruchsvollen Kunden auch in Zukunft eine LM-gefertigte Version des «Chairless Chair» anzubieten.



Der untere Bereich des Exoskeletts wurde für die additive Fertigung von zwei Schalen auf ein einzelnes konkaves Bauteil reduziert. Das Bauteil besitzt eine rauere Oberfläche an der Bauteilverbindung zum Dämpfer, bedingt durch den kritischen Ausrichtungswinkel im Bauraum der Maschine.

SATW Forschungsübersicht

Schweizer Industrieunternehmen müssen neue Produktionstechnologien beherrschen, um konkurrenzfähig zu bleiben. Die Schweizer Forschung trägt dazu bei, wie die SATW-Forschungsübersicht «Advanced Manufacturing in der Schweiz» zeigt.

Neue, additive Herstellungsverfahren wie 3D-Druck bieten revolutionäre Möglichkeiten und haben das Potenzial, traditionelle Fertigungsprozesse abzulösen. Mit Industrie 4.0 ist zudem ein neues Konzept für die Fabrikationssteuerung und für das Produktdesign definiert worden, welches das Potenzial für fundamentale Umwälzungen hat.

Sowohl zu additiver Fertigung wie auch zu Industrie 4.0 existieren in der Schweiz bereits zahlreiche Forschungsaktivitäten. Die SATW hat deshalb eine Übersicht erstellt. Damit können die Schweizer Forschenden ihre Aktivitäten besser aufeinander abstimmen und die Industrie erhält einen Einblick in die Forschungsaktivitäten. Auch lassen sich Lücken in der Forschung erkennen.

Bei der ersten Ausgabe der Forschungsübersicht «Advanced Manufacturing in der Schweiz» haben fast 100 Institute von knapp 20 Forschungszentren, Universitäten und Fachhochschulen mitgearbeitet. Damit deckt die Forschungsübersicht fast die gesamte Schweizer Forschungslandschaft ab.

Die Forschungsübersicht «Advanced Manufacturing in der Schweiz» kann gedruckt oder als PDF bestellt werden unter info@satw.ch.

Weitere Informationen unter www.satw.ch/advanced-manufacturing



-  Additive Fertigung
-  Architektur
-  Bioprinting
-  Datenerfassung
-  Design
(Teil-Design und Optimierung)
-  Ökonomie
(Geschäftsmodelle und Lieferkette)
-  Rechtliche Aspekte
-  Material
(Entwicklung, Qualifizierung, Prüfen)
-  Prozess (Maschinenentwicklung, Software-Kette, Kontrollsysteme, Simulation)
-  Kleinmasstäbliche additive Fertigung
(Millimeter und kleiner)

Um einen einfachen und übersichtlichen Zugang zu den Daten zu ermöglichen, wurden jedem der rund 100 beteiligten Institute maximal sechs übergeordnete Fachbegriffe – visualisiert als Symbole – aus den beiden Themenfeldern «Additive Fertigung» und «Industrie 4.0» zugeordnet, welche die Aktivitäten und Kompetenzen des Instituts widerspiegeln. Diese Information findet sich in der Forschungsübersicht als Tabelle sowie direkt bei den Texten der Institute. Somit kann entweder systematisch nach Instituten oder nach Akteuren mit bestimmten Interessen gesucht werden.

satw it's all about technology

Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften SATW

Die SATW entwickelt Handlungsempfehlungen zu technischen Themen, die für die Schweiz als Lebensraum sowie als Werk- und Forschungsplatz von hoher Bedeutung sind. Sie fördert auch das Technikinteresse und -verständnis in der Bevölkerung, insbesondere bei Jugendlichen. Als eine vom Bund anerkannte Institution vereinigt die SATW ein grosses Netzwerk von Fachleuten und Fachgesellschaften. Sie ist politisch unabhängig und nicht kommerziell. www.satw.ch

Übersicht über AM-Technologien

Legende

- BJ** Binder Jetting
- EBM** Electron Beam Melting
- FDM** Fused Deposition Modeling
- LM** Laser Melting
- LS** Laser Sintering
- MJ** Material Jetting
- PJ** Photopolymer Jetting
- SL:** Stereolithografie

Material	Technologien		
	Aufbau durch Polymerisation	Aufbau durch Verkleben	Aufbau durch Verschmelzen
Keramik		 BJ	 LM
Metall			 EBM
Sand			
Kunststoff	 SL  PJ		 FDM  LS
Wachs			 MJ*
	<ul style="list-style-type: none"> ◀ Tiefer ◀ Glatter ◀ Höher ◀ Prototypen, indirekte Prozesse 	<ul style="list-style-type: none"> Beständigkeit Oberfläche Detailgenauigkeit Anwendungsbereich 	<ul style="list-style-type: none"> ◀ Höher ◀ Rauer ◀ Tiefer ◀ Funktionale Teile

*MJ erzielt glatte Oberflächen und genaue Details

Professioneller 3D-Druck oder additive Fertigung (engl. Additive Manufacturing AM) steht für Technologien, die Bauteile Schicht für Schicht aufbauen. Ausgangspunkt ist ein digitales 3D-Modell eines Bauteils, das von einer speziellen Software in Schichten «geschnitten» wird. Ein 3D-Drucker baut diese Schichten auf, fügt sie schrittweise zusammen und produziert somit das physische Bauteil.

Um das Potenzial von AM verstehen zu können, ist es wichtig, die Technologien dahinter zu verstehen. Obenstehende Übersicht unterteilt die Technologien nach Material (in der vertikalen Achse) und wie die Teile aufgebaut werden (in der horizontalen Achse). Die einzelnen Technologien unterscheiden sich in der Art und Weise, wie die Schichten gebildet und zusammengefügt werden:

- Polymerisation-basierte Technologien nutzen die durch UV-Licht aktivierte Verfestigung einer chemisch reaktiven Flüssigkeit, um Kunststoffbauteile aufzubauen.
- Verkleben bedeutet, dass Pulverschichten lokal durch einen Leim verklebt und zusammengefügt werden.
- Bei Technologien mit Schmelzprozessen werden Ausgangsmaterialien aufgeschmolzen, durch Abkühlen verfestigt und daraus die Bauteile aufgebaut.

Die verwendete Paarung von Technologie und Material hat einen massgeblichen Einfluss auf die Bauteileigenschaften und Anwendungsgebiete. In der Grafik kann eine grobe Indikation bezüglich Beständigkeit, Oberflächengüte, Detailtreue und Anwendungsgebiet gefunden werden.

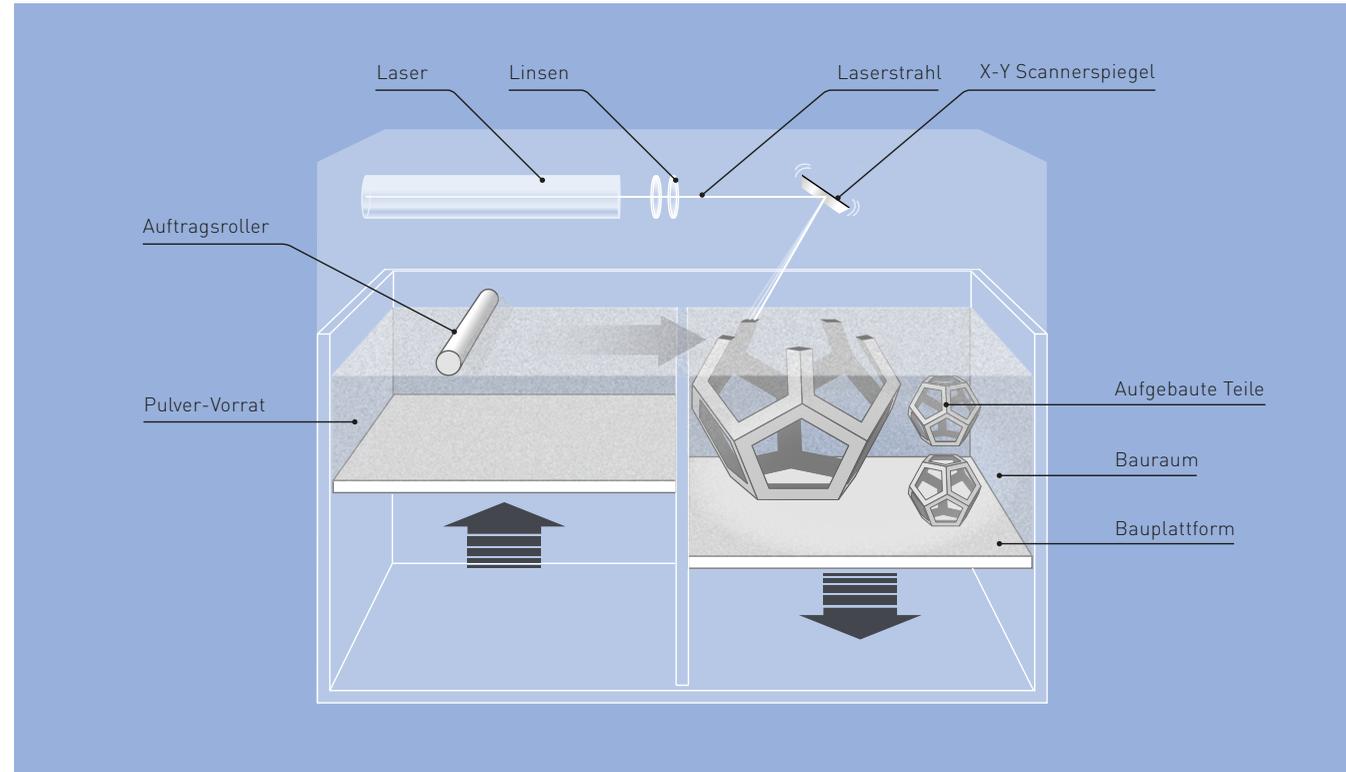
Um gewünschte Eigenschaften zu erreichen, können Bauteile entweder direkt mittels additiver Fertigungstechnologien hergestellt werden oder indirekt in der Kombination mit traditionellen Technologien. Die Charakteristiken und Eigenschaften unterscheiden sich je nach AM-Technologie. Entsprechend den Bauteilanforderungen können diese Technologien alleine genutzt werden oder sind mit anderen Herstellungsverfahren zu verbinden.

Direkte Prozesse umfassen End-Bauteile, die direkt mit AM-Maschinen produziert werden. Bei einstufigen Prozessen können die AM-Grünteile auch nachbearbeitet werden, um zum Beispiel Toleranzen oder die Oberflächengüte zu verbessern. In mehrstufigen Prozessen wird ein Grünteil mit zusätzlichen Technologien weiterverarbeitet. Beispielsweise wird Binder Jetting benutzt, um Metall-Grünteile herzustellen (entspricht mittels Leim verklebtem Metallpulver), welche dann gesintert und infiltriert werden.

Bei indirekten Prozessen wird additive Fertigung benutzt, um Urmodelle für traditionelle Fertigungsprozesse herzustellen. Beispielsweise werden Wachsmodelle mit AM gefertigt, welche dann im Feinguss verwendet werden, um die finalen Werkstücke herzustellen.

Heutzutage sind für die industrielle Serienfertigung vier additive Fertigungstechnologien relevant: Laser Sintering, Laser Melting, Fused Deposition Modeling und Stereolithographie. Deren Vor- und Nachteile, Anwendungsbereiche, Charakteristiken und Einschränkungen sind in diesem Bericht zusammengefasst.

Laser Sintering (LS)



Prozessbeschreibung

Eine Laser-Sintering-Maschine trägt eine Schicht Plastikpulver auf eine Bauplatzform auf. Dort wird mithilfe eines Lasers (oder mehrerer Lasern) die Schichtgeometrie geschmolzen. Die Bauplatzform wird abgesenkt und die nächste Schicht Plastikpulver wird aufgetragen. Durch Wiederholung der schichtweisen Pulverauftragung sowie der selektiven Schmelzung werden die Teile im Pulverbett aufgebaut. Das Prozesspulver muss nachträglich entfernt werden.

Laser Sintering benötigt keine Stützstrukturen. Die Teile liegen im nicht geschmolzenen Plastikpulver. Daher kann das gesamte Bauvolumen mit mehreren Teilen aufgefüllt werden, inklusive Stapeln und Verschachteln von Teilen. Die Prozesskammer wird vorgeheizt und befindet sich in einer Schutzgasumgebung.

Vor- und Nachteile

Mit Laser Sintering können Teile in Standardplastik mit guten mechanischen Eigenschaften hergestellt werden. Das Angebot von Materialien wächst konstant. Die Teile haben jedoch nicht die genau gleichen Eigenschaften wie die im Spritzguss hergestellten Gegenstücke. Für kleine Losgrößen ist Laser Sintering sehr kompetitiv im Preis und oftmals die kostengünstigste Lösung.

Laser-Sintering-Teile haben nicht die exakt gleichen Eigenschaften wie Spritzgussteile, vor allem im Bezug zum Oberflächen-Finish. Prozessbedingte Genauigkeiten müssen beachtet werden.

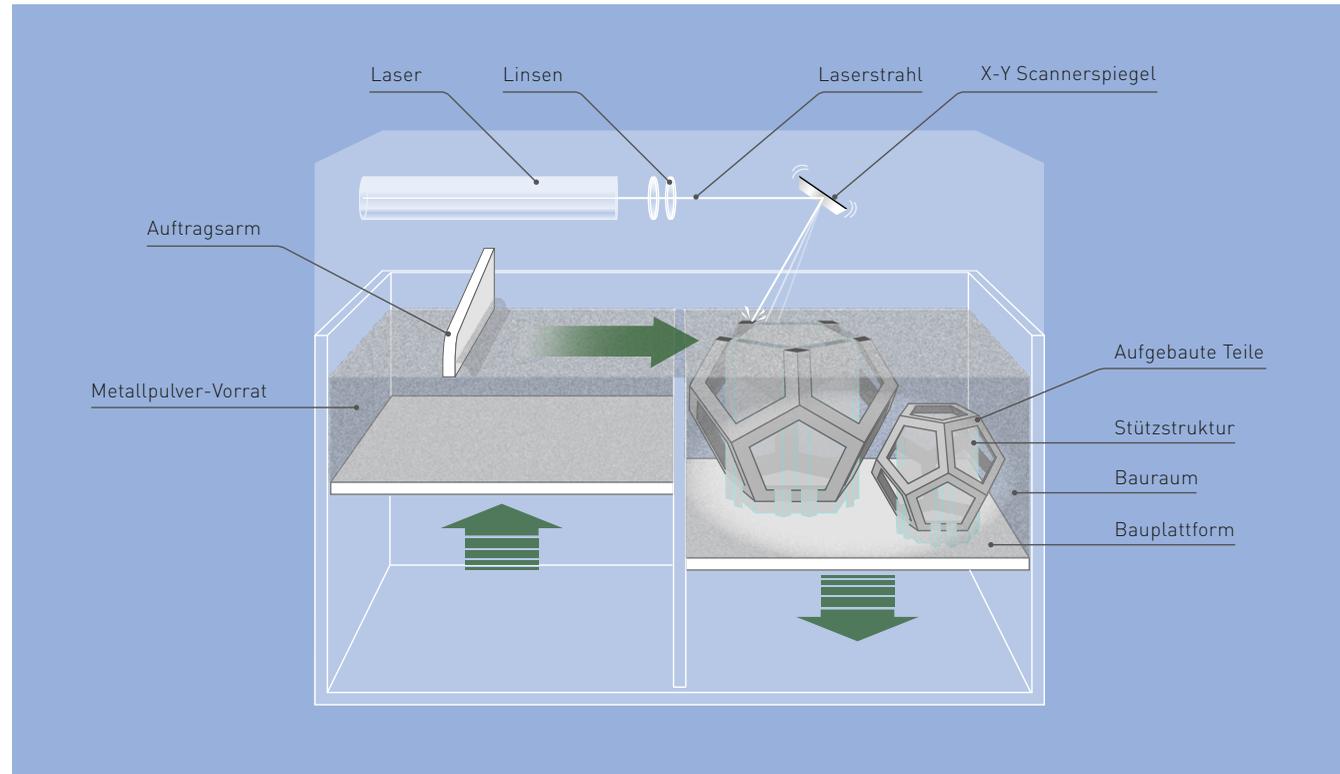
Anwendungsbereiche

- Prototypen werden durch Laser Sintering in Standardmaterialien für Form- und Passtests sowie für Funktionstests gebaut.
- Hilfsteile (Schablonen, Positionierer, Lehren) können hergestellt werden.
- Serienteile werden in Standardmaterialien gebaut.

Charakteristiken/Restriktionen

- Maximale Bauraumgröße: 1200x1200x750 mm³
- Kleinste mögliche Strukturgröße: 0,15 mm
- Genauigkeit: +/-0,125 mm
- Kleinste Schichtdicke: 0,1 mm

Laser Melting (LM)



Prozessbeschreibung

Ähnlich wie beim Laser Sintering trägt beim Laser Melting die Maschine eine Schicht Metallpulver auf eine Bauplattform auf. Die Schichtgeometrie wird dann mithilfe eines Lasers (oder mehrerer Lasern) geschmolzen. Die Bauplattform wird abgesenkt und die nächste Schicht Metallpulver wird aufgetragen. Durch Wiederholung des Vorgangs werden die Teile im Pulverbett aufgebaut. Im Gegensatz zum Laser Sintering werden beim Laser Melting die Materialpartikel komplett aufgeschmolzen.

Laser Melting benötigt Stützstrukturen, welche die Teile und Überhänge auf der Bauplattform verankern. Dies ermöglicht die Ableitung der Wärme vom Schmelzpunkt, wodurch Hitzebelastungen und Verformungen verhindert werden. Auch deshalb sind Überhänge ab 45° von der vertikalen Baurichtung (z. B. bei grossen Bohrungen) ebenfalls mit Stützstrukturen versehen. Das gesamte Bauvolumen kann mit mehreren Teilen aufgefüllt werden, solange diese alle auf der Bauplattform befestigt sind. Die Stützstrukturen werden nach dem Prozess mechanisch entfernt.

Vor- und Nachteile

Laser Melting kann Teile in Standardmetallen mit hoher Dichte (über 99 %) herstellen. Die mechanischen Eigenschaften sind mit traditionellen Herstellungsverfahren vergleichbar. LM-Teile können wie ein geschweisstes Bauteil weiterverarbeitet werden. Die Angebotspalette an Materialien wird ständig vergrößert.

Allerdings ist die Technologie eher noch langsam und teuer. Auch ist die Oberflächenbeschaffenheit limitiert. Dies kann jedoch mittels Nachbearbeitung (Sandstrahlen, Schleifen, Drehen usw.) verbessert werden.

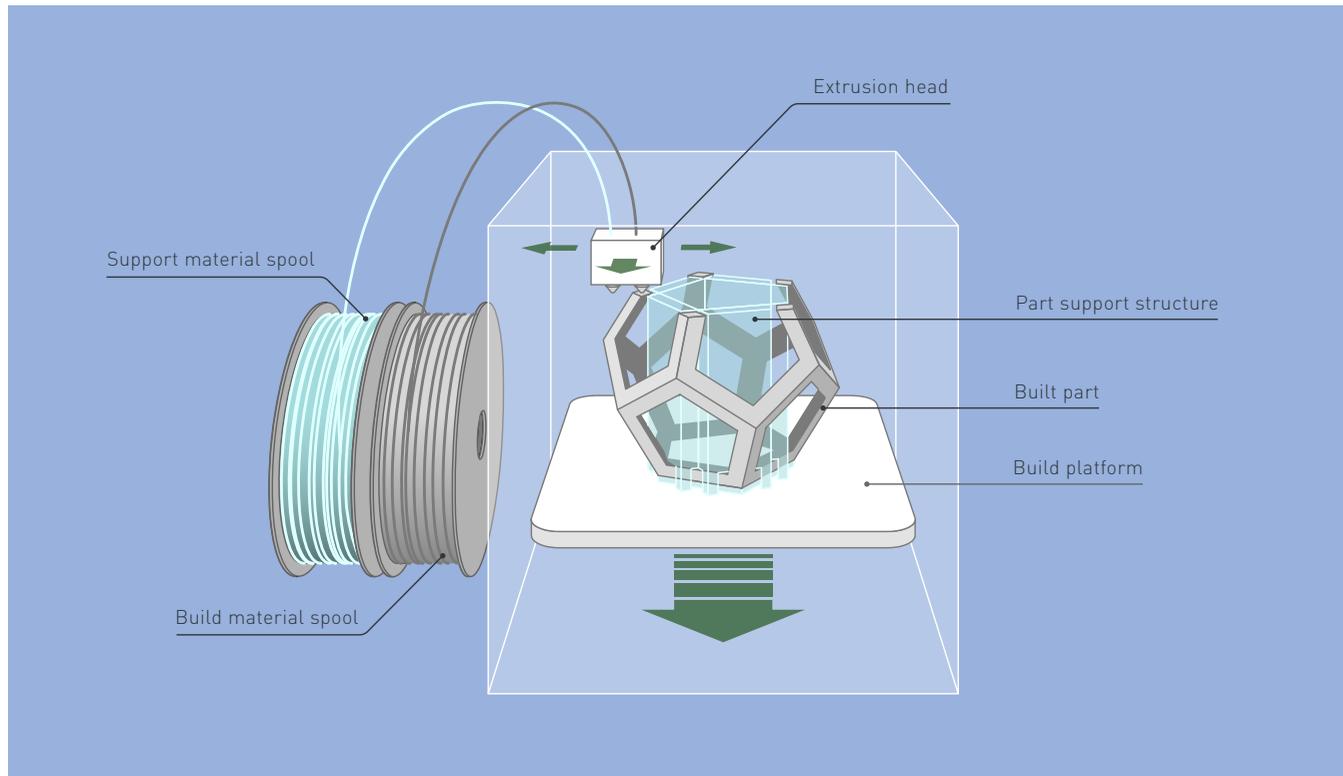
Anwendungsbereiche

- Prototypen werden durch Laser Melting in Standardmetallen für Funktionstests gebaut.
- Kleinserienteile hinunter bis zu Unikaten werden direkt in Standardmetallen gebaut.
- Werkzeuge für Spritzguss, welche konturnahe Kühlkanäle enthalten, können in Warmarbeitsstahl hergestellt werden.

Charakteristiken/Restriktionen

- Maximale Bauraumgröße: 800x400x500 mm³
- Kleinste mögliche Strukturgröße: 0,04-0,2 mm
- Genauigkeit: +/- 0,05-0,2 mm (+/- 0,1-0,2 %)
- Kleinste Schichtdicke: 0,03 mm
- Typische Oberflächengüte: 4 – 10 microns RA
- Dichte: bis zu 99.9 %

Fused Deposition Modeling (FDM)



Prozessbeschreibung

Ein Kunststoffdraht wird geschmolzen und durch eine Düse extrudiert. Das geschmolzene Material wird auf eine Bauplattform aufgetragen, wo es abkühlt und aushärtet. Die Bauplattform wird abgesenkt und die nächste Schicht aufgetragen. Dieser Vorgang wird wiederholt, bis das gesamte Bauteil aufgebaut ist.

FDM braucht Stützstrukturen, welche die Bauteile auf der Bauplattform befestigen und Überhänge unterstützen. Diese werden durch eine zweite Düse in einem anderen Material aufgebaut, das sich leicht entfernen lässt. Mehrere Teile können gleichzeitig produziert werden, solange sie alle auf der Bauplattform befestigt sind.

Vor- und Nachteile

Fused Deposition Modeling kann funktionale Teile aus Standard- und Spezialmaterialien herstellen. Fused Deposition Modeling arbeitet mit Standardkunststoffen, zum Beispiel ABS, PC, Ultem, Nylon oder PLA. Die Teile haben gute mechanische Eigenschaften und sind beständig über Zeit. Sie können nachbearbeitet werden wie traditionell hergestellte Kunststoffteile.

Fused Deposition Modeling erzeugt allerdings eine Anisotropie in z-Richtung und eine meist sichtbare Stufenstruktur auf der Oberfläche. Zudem können feine Details nicht realisiert werden.

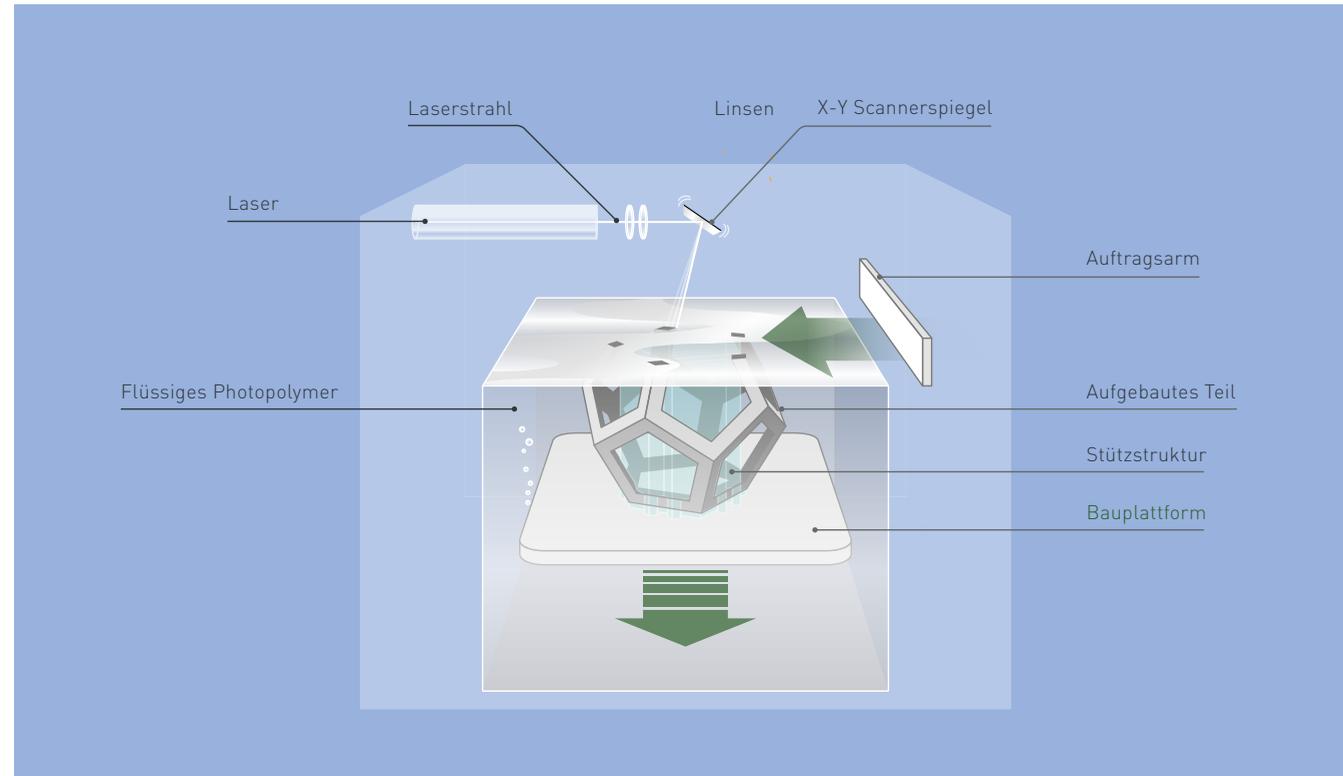
Anwendungsbereiche

- Prototypen werden durch FDM in Standardmaterialien für Form- und Passtests sowie für Funktionstests gebaut.
- Hilfsteile (Schablonen, Positionierer, Lehren) können hergestellt werden.
- Kleinserienteile werden in Standardmaterialien gebaut.

Charakteristiken/Restriktionen

- Maximale Bauraumgröße: 914x610x914 mm³
- Kleinste mögliche Strukturgröße: 0,178 mm
- Genauigkeit: +/-0,178 mm
- Kleinste Schichtdicke: 0,178 mm

Stereolithografie (SL)



Prozessbeschreibung

Mit UV-Laser wird an der Oberfläche eines Bades aus flüssigem Photopolymer die Schichtgeometrie ausgehärtet. Eine Bauplattform in dem Bad wird abgesenkt, die nächste Schicht ausgehärtet und so durch Wiederholen ein Bauteil aufgebaut. Stereolithografie benötigt eine Stützstruktur bei Überhängen, die aus dem gleichen Material aufgebaut wird.

Vor- und Nachteile

Stereolithographie kann grosse Teile mit guter Oberflächengüte herstellen. Eine grosse Palette an Materialien ermöglicht spezifische Eigenschaften.

Allerdings funktioniert die Technologie nur mit Photopolymeren, die aber mit der Zeit altern und somit nicht beständig sind. Die Materialien sind zudem eher teuer und der Bauprozess ist langsam.

Anwendungsbereiche

- Prototypen werden mit guter Oberfläche und feinen Details für visuelle Tests, Form- und Passtests sowie teilweise für Funktionstests gebaut. Spezielle Materialien imitieren die Eigenschaften von Standardmaterialien (kurzfristig).
- Urmodelle für verschiedene traditionelle Prozesse werden aufgrund der guten Oberflächengüte mittels Stereolithografie produziert.

Charakteristiken/Restriktionen

- Maximale Bauraumgrösse: 2'100 x 700 x 800 mm³
- Kleinste mögliche Strukturgrösse: 0,1 mm
- Genauigkeit: +/-0,05 mm
- Kleinste Schichtdicke: 0,016 mm

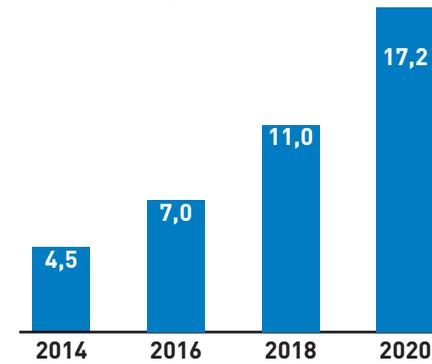
AM: Daten und Fakten

Additive Fertigung (AM) ist nach wie vor ein Nischenmarkt im Vergleich zur Maschinenindustrie. Der weltweite Maschinen- und Werkzeugemarkt betrug 2014 USD 138 Mrd. bei einem Wachstum von 5,5 %. Die additive Fertigung betrug im gleichen Zeitraum USD 4,5 Mrd. mit einem Wachstum von 36 %.

Quelle: Freedonia Group 2016 und Wohlers Report 2015

3D-Industrie: Markt für Hardware, Lieferanten und Dienstleistungen

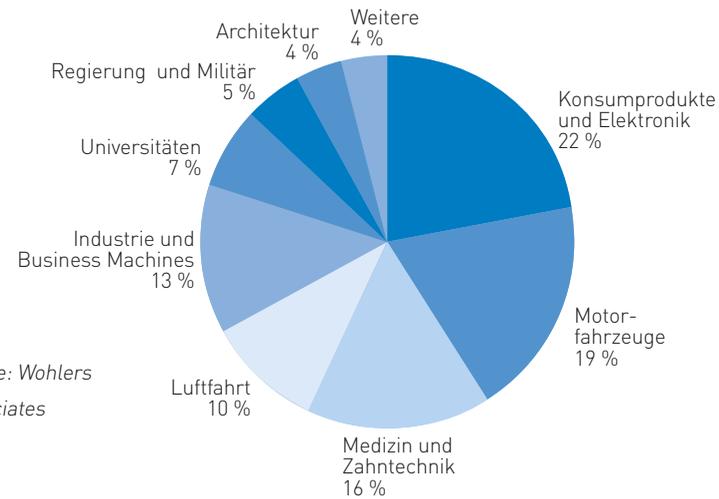
in Milliarden USD



3D-Printing-Markt

Sektor	2014 in USD	5 Jahre CAGR
Luftfahrt inkl. Militär	0,8 Mrd.	15-20 %
Industrie	0,8 Mrd.	15-20 %
Gesundheitswesen	0,7 Mrd.	20-25 %
Automobilindustrie	0,5 Mrd.	15-20 %
Schmuck	0,5 Mrd.	25-30 %
Energiewirtschaft	unter 5 %	30-35 %
Weitere	unter 20 %	20-25 %
Total	4,5 Mrd.	25 %

3D-Print-Umsatz 2012 in % vom Umsatz

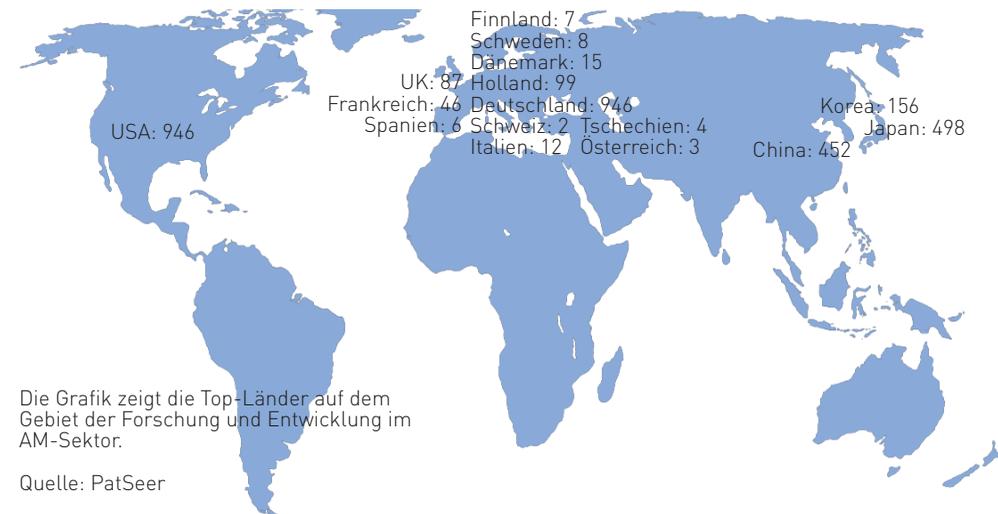


Quelle: Wohlers Associates

Weltweite Patente nach Materialkategorien

Keramik:	> 200
Kunststoff:	~ 170
Metalle:	~ 470
PET:	~ 125

AM Forschung und Entwicklung weltweit 2015



Die Grafik zeigt die Top-Länder auf dem Gebiet der Forschung und Entwicklung im AM-Sektor.

Quelle: PatSeer

Partner AM Report

Additive Herstellungsprozesse sind nicht wirklich brandneu. Selective Laser Melting beispielsweise ist bereits vor gut 20 Jahren erfunden worden. Mit dem Aufkommen von 3D-Druckern für den Heimgebrauch ist das Thema aber ins allgemeine Bewusstsein gedrungen und hat in der Öffentlichkeit eine Zeit lang einen wahren Hype ausgelöst.

Wie sind additive Herstellungsverfahren aus professioneller Sicht zu beurteilen? Sicher ist, dass sie in naher Zukunft die klassischen Herstellungsverfahren nicht verdrängen können. Allerdings besitzen sie revolutionäre Eigenschaften, die völlig neuartige Bauteile oder Konstruktionsprinzipien ermöglichen. Das Entwicklungspotenzial für neue Prozesse und Materialien ist sehr gross. Die verwendbaren Materialien schliessen nebst Kunststoffen und metallischen Werkstoffen auch biologische Materialien und Keramiken ein. Zusätzlich zum Prozess-Know-how braucht es auch computerbasierte Methoden für Entwurf und Produktion der Bauteile. Dies macht additive Verfahren ideal für eine digital gesteuerte Industrieproduktion der Zukunft (Industrie 4.0).

Die Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften SATW ist der Überzeugung, dass es für den Hightech-Werkplatz Schweiz wichtig ist, hier an vorderster Front dabei zu sein. In vielen Industrieländern haben die Regierungen additive Herstellungsverfahren als Priorität erkannt und erhebliche Fördermittel gesprochen. Bereits 2011 hat der US-amerikanische Präsident Barack Obama die «Advanced Manufacturing Partnership» lanciert. 2013 zog Grossbritannien mit dem «High Value Manufacturing Catapult Program» nach und in Deutschland ist das Fraunhofer Institut sehr aktiv.

In der Schweiz gibt es aus politischer Überzeugung keine vergleichbaren, konzentrierten Forschungsprogramme. Entsprechend betragen die verfügbaren Mittel für die Forschung auf diesem Gebiet nur einen Bruchteil. Umso wichtiger ist es daher, dass die vorhandenen Kräfte gebündelt werden. Die SATW hat sich dies zum Ziel gesetzt. Sie hat einen Verbund aller Forschungsorganisationen der Schweiz lanciert und eine Übersicht über alle Forschungsaktivitäten erstellt. Diese Forschungsübersicht ist gratis über die Website der SATW (www.satw.ch) erhältlich.

Bereits heute gibt es in der Schweiz mehrere Anbieter, die additive Herstellungsverfahren beherrschen und damit eine Vielzahl von interessanten Anwendungen möglich machen. Eine Ausstellung wie die AMX ist ein idealer Ort, um mit diesen Know-how-Trägern der ersten Stunde in Kontakt zu treten und die neuen Möglichkeiten kennenzulernen. Dieser Report soll dabei einen Beitrag leisten. Er ist von der ETH Zürich erstellt worden und präsentiert einige innovative Design-Beispiele aus der Schweiz, die zeigen, welche Möglichkeiten die neuen Verfahren eröffnen.

Rolf Hügli
Managing Director

Additive Manufacturing (AM) verändert die Produktion und hat grosses Innovations- und Differenzierungspotenzial für die Schweizer Industrie. Der vorliegende Report beweist das Potenzial mit eindrücklichen Beispielen in verschiedenen Wirtschaftszweigen. Bis in zehn Jahren soll AM 2.7 - 6.8 Milliarden CHF zur Wertschöpfung der produzierenden Industrie in der Schweiz beitragen.

Die Beispiele in diesem Report zeigen allerdings auch die Herausforderungen rund um AM auf. Um innovative Anwendungen zu realisieren, müssen Firmen anspruchsvolle Fragestellungen in den Bereichen Datengenerierung, Produktion und Nachbearbeitung beantworten. An Schweizer Forschungsinstituten wird intensiv am Thema Additive Manufacturing geforscht und das benötigte Know-how ist hier vorhanden. Das AM Network bringt die Industrie mit den richtigen Forschungspartnern zusammen, um genau diese Fragestellungen zu beantworten und innovative Anwendungen zu realisieren.

Das AM-Network wird von der Kommission für Technologie und Innovation (KTI) als National Thematisches Netzwerk (NTN) gefördert und wird ab dem 1. Januar 2017 operativ tätig. Dank der WTT-KTI-Förderung kann das AM-Network zu dem Ansprechpunkt für AM-Innovation in der Schweiz werden, die richtigen Forschungspartner zusammenbringen, die Anzahl von gemeinsamen F&E-Projekten erhöhen und so die langfristige Wettbewerbsfähigkeit von Firmen und Forschungsinstituten in der Schweiz fördern. So leistet es einen Beitrag, dass das volle Potenzial von AM in der Schweiz realisiert werden kann.

Markus Bärtschi
Präsident AM Network



Die erste Schweizer Fachmesse fokussiert auf die additive Fertigung in der Serienproduktion. Sie zeigt anschaulich, was heute mit additiver Fertigung realisiert werden kann. Die Aussteller präsentieren an der AM Expo verschiedenste Bauteile, welche sie bei ihren Kunden realisiert haben. Anhand dieser konkreten Anwendungsbeispiele (Showcases) erfahren die Besuchenden, wie die verschiedenen additiven Fertigungsverfahren oder Materialien lohnend eingesetzt werden können. Diese konkreten Anwendungsbeispiele sind dank der Zusammenarbeit mit additively, einem Spin-off der ETH Zürich, auch auf der AMX-Website während 365 Tagen zu entdecken.

Die Showcases werden in verschiedenen Programmpunkten der AM Expo im Detail thematisiert. Im Showcase-Forum geben die Aussteller aus Industrie und Wissenschaft kompetent Antwort auf zentrale Fragen zur additiven Fertigung, abgestimmt auf die verschiedenen Absatzmärkte wie Elektronik, Industrie, Medizin, Mikrotechnik oder Mobilität.

Der vorliegende AM Report porträtiert die innovativsten Showcases, die an der AM Expo zu sehen sind, und demonstriert damit die Innovationskraft der additiven Fertigung.

Wir freuen uns, dass der erste AM-Report an der AM Expo seine Premiere feiert.

René Ziswiler
Leiter Industriemessen

inspire pdz: Produktentwicklung und Konstruktion

Additiven Fertigungsverfahren halten zunehmend Einzug in die Herstellung von Serienbauteilen und Endkundenprodukten. Die hohe geometrische Gestaltungsfreiheit von Additive Manufacturing bietet die Möglichkeit, Bauteile an der optimalen Erfüllung der Funktion und den individuellen Kundenbedürfnissen auszurichten. Bei diesem Paradigmenwechsel von einem fertigungsgerechten zu einem funktionsgerechten Design unterstützt das inspire pdz Firmen von der Ideenfindung bis zum ersten AM Serienbauteil und bei der folgenden dauerhaften Einbindung von Additive Manufacturing den Entwicklungsprozess.

Angebot:

- Workshops zur Identifikation und Ideenfindung von AM Einsatzbereichen
- Entwicklung und Konstruktion von Bauteilen für die optimale Ausnutzung des AM-Potenzials
- Bewertung der Bauteile hinsichtlich Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit
- Konstruktionsbegleitung und Schulungen für Konstrukteure und Entwickler

Ansprechpartner:

Christoph Klahn, klahn@inspire.ethz.ch
Inspire AG, Leonhardstrasse 21, 8092 Zürich
Tel: +41 44 632 74 87
www.inspire.ethz.ch

inspire

AG für mechatronische Produktionssysteme und Fertigungstechnik



Dr.-Ing. Christoph Klahn
Ist seit 2013 Leiter der Gruppe Design for Additive Manufacturing bei der inspire AG. Bereits seit 2008 beschäftigt er sich in verschiedenen Funktionen mit den Möglichkeiten der additiven Fertigung von Serienbauteilen und den Herausforderungen für die Produktentwicklung. Das Ziel seiner Gruppe ist es, Wissen über die Additive Fertigung von der Forschung in die Industrie zu transportieren und gemeinsam mit Schweizer Unternehmen die Potentiale der neuen Fertigungsverfahren in ihren Produkten zu finden und erfolgreiche AM-Produkte zu realisieren.

Impressum

Additive Fertigung in der industriellen Serienproduktion – ein Statusreport

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Mirko Meboldt
Professur für Produktentwicklung und Konstruktion
pd|z Produktentwicklungsgruppe Zürich
ETH Zürich
Leonhardstrasse 21
8092 Zürich
www.pdz.ethz.ch



Redaktion Showcases:

Filippo Fontana pd|z, ETH Zürich
Jasmin Jansen

Redaktion AM Technologien:

Matthias Baldinger, additively.com
Oliver Kirchhoff, pd|z, ETH Zürich

Gestaltung:

Coande GmbH
Almastrasse 6, 8708 Männedorf
www.coande.com

Lektorat:

Petra Meyer Korrektorium
www.korrektorium.ch

Druck:

Eicher Druck AG
Grisigenstrasse 6, 6048 Horw
www.eicherdruck.ch

