



WHITEPAPER

Leitfaden zum Rapid Prototyping für Produktentwicklung

Die Prototypenfertigung ist ein entscheidender Schritt des Produktentwicklungsprozesses, aber ursprünglich ist sie ein Engpass.

Produktdesigner und Ingenieure erstellen provisorische Proof-of-Concept-Modelle mit grundlegenden Werkzeugen, aber die Herstellung von funktionsfähigen Prototypen und Teilen in Produktionsqualität erfordert dieselben Prozesse wie bei Endprodukten. Traditionelle Fertigungsprozesse wie Spritzguss erfordern kostspielige Werkzeugausstattung und Einrichtung, was personalisierte Prototypen in Kleinserienfertigung unerschwinglich teuer macht.

Rapid Prototyping hilft Unternehmen dabei, Ideen in realistische Konzeptnachweise zu verwandeln, diese Konzepte zu Prototypen mit hoher Originaltreue weiterzuentwickeln, die wie Endprodukte aussehen und funktionieren, und Produkte durch eine Reihe von Validierungsphasen zur Massenproduktion zu führen.

Mit Rapid Prototyping können Designer und Ingenieure Prototypen so schnell wie nie zuvor direkt aus CAD-Daten erstellen und in kurzer Zeit viele Revisionen an ihren Designs durchführen, die sich auf Tests unter realen Bedingungen und auf Feedback stützen.

In diesem Leitfaden lernen Sie, wie Rapid Prototyping in Ihren Produktentwicklungsprozess passt, über seine Anwendungen und wie Rapid-Prototyping-Werkzeuge den Produktentwicklungsteams von heute zur Verfügung stehen.

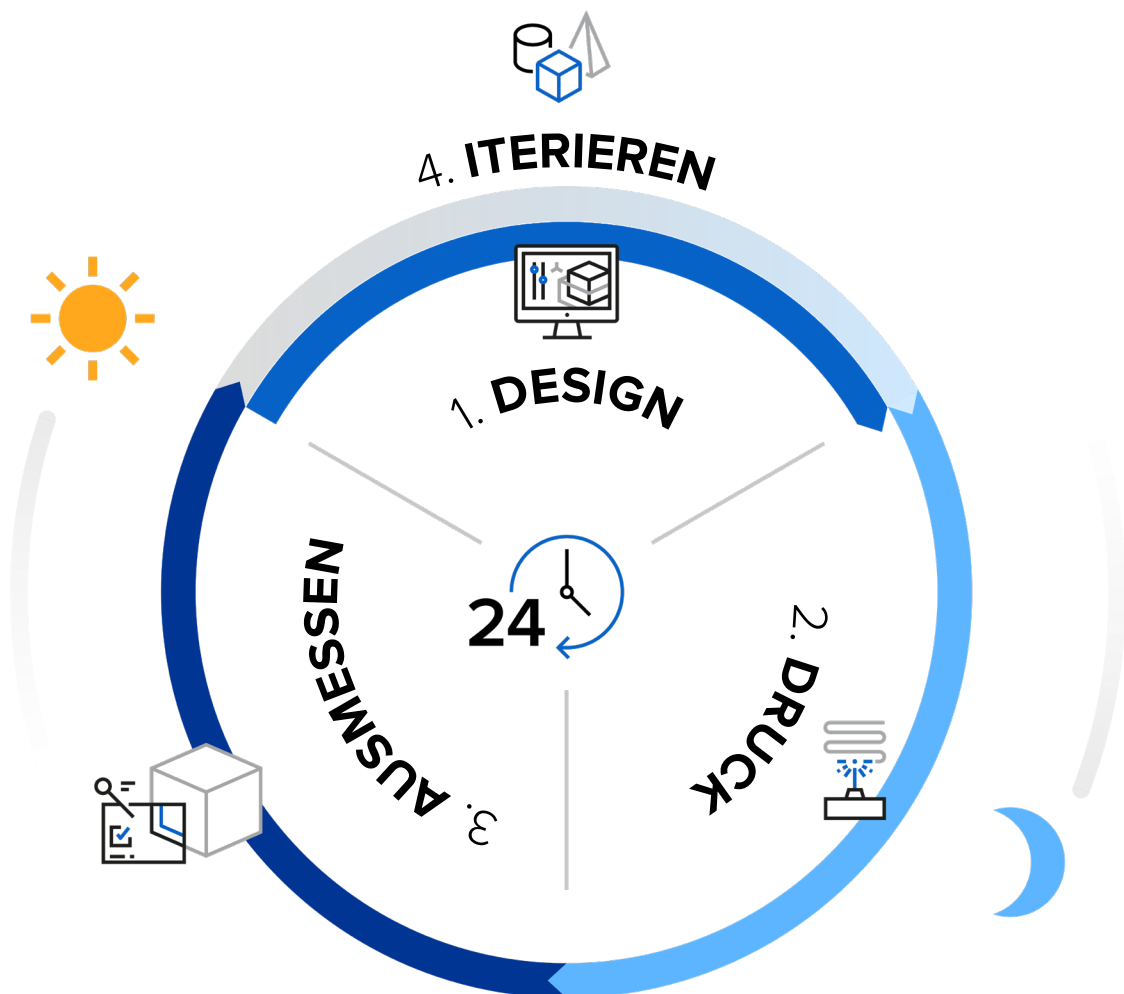
Inhalt

Was ist Rapid Prototyping?	3
Vorteile von Rapid Prototyping	4
Anwendungen von Rapid Prototyping	5
Werkzeuge und Methoden für Rapid Prototyping	11
Vergleich von Tools für Rapid Prototyping	14
Mit Rapid Prototyping starten	15

Was ist Rapid Prototyping?

Rapid Prototyping ist eine Gruppe von Techniken, die verwendet wird, um schnell ein skalierbares Modell eines physischen Teils oder einer Baugruppe mithilfe dreidimensionaler Computer-aided Design (CAD)-Daten herzustellen. Da diese Teile oder Baugruppen für gewöhnlich mit additiven Fertigungstechniken und nicht mit den herkömmlichen subtraktiven Methoden gefertigt werden, wurde der Begriff zu einem Synonym für additive Fertigung und 3D-Druck.

Additive Fertigung und Prototypenentwicklung sind wie füreinander gemacht. Sie gewährt annähernd unbegrenzte Gestaltungsfreiheit, erfordert keine Werkzeugbestückung und erstellt Teile mit mechanischen Eigenschaften, die den verschiedenen Materialien traditioneller Fertigungsverfahren entsprechen. 3D-Drucktechnologien gibt es schon seit den 80ern, aber durch ihre hohen Kosten und Komplexität wurden sie zumeist von großen Unternehmen genutzt oder zwangen kleinere Unternehmen, die Produktion an spezialisierte Dienstleister auszulagern und Wochen zwischen aufeinander folgenden Iterationen zu warten.



Mit dem 3D-Druck können Designer schnell zwischen digitalen Designs und physischen Prototypen iterieren und schneller produzieren.

Das Aufkommen des Desktop- und Benchtop-3D-Drucks hat diesen Status quo verändert und eine breite Anpassungswelle entfacht, die nicht aufzuhören scheint. Mit betriebsinternem 3D-Druck können Ingenieure und Designer schnell zwischen digitalen Designs und physischen Prototypen iterieren. Das macht es möglich, am selben Arbeitstag mehrere Prototypen zu erstellen und Iterationen in Design, Größe, Form oder Montage vorzunehmen, basierend auf Ergebnissen von Echtzeit-Tests und -Analysen. Unterm Strich bringen Unternehmen dank Rapid Prototyping bessere Produkte schneller auf den Markt als ihre Konkurrenz.

Vorteile von Rapid Prototyping

KONZEPTE SCHNELLER UMSETZEN UND ENTDECKEN

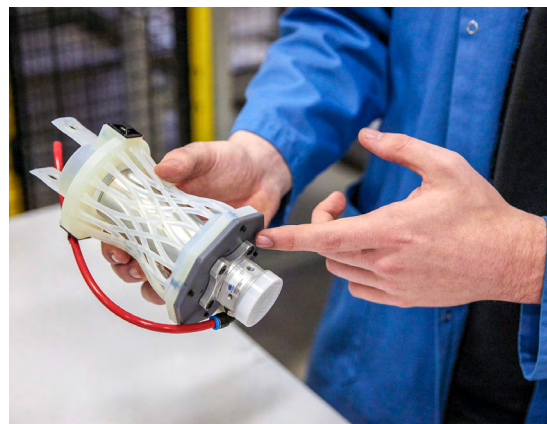
Rapid Prototyping stärkt erste Ideen für Konzepterkundungen mit niedrigem Risiko, die im Nu wie echte Produkte aussehen. Es ermöglicht Designern, über virtuelle Darstellung hinauszugehen, was es einfacher macht, das Aussehen und Gefühl des Designs zu verstehen und Konzepte nebeneinander zu vergleichen.

IDEEN EFFIZIENT KOMMUNIZIEREN

Physische Modelle ermöglichen es Designern, ihre Konzepte mit Kollegen, Kunden und Mitarbeitern zu teilen, um Ideen auf Arten zu übermitteln, die durch einfache, visuelle Designs am Bildschirm nicht möglich wären. Rapid Prototyping vereinfacht ein verständliches, umsetzbares Nutzerfeedback, das für die Ersteller unerlässlich ist, um den Bedarf der Nutzer zu verstehen und ihre Designs entsprechend zu verfeinern und zu verbessern.

ITERATIV ENTWERFEN UND ÄNDERUNGEN SOFORT EINBINDEN

Design ist immer ein iterativer Prozess, der mehrere Testrunden, Evaluationen und Verfeinerungen benötigt, bevor ein Endprodukt dabei herauskommt. Rapid Prototyping bietet über den 3D-Druck die Flexibilität, realistischere Prototypen schneller zu erstellen und Änderungen sofort zu implementieren, was diese essenzielle Vorgehensweise mittels Ausprobieren erhöht.



Konsequente Iterationen eines Robotergreifers zum Aufheben und Absetzen, prototypisiert mit Formlabs-SLA-Druckern.

Ein 24-Stunden-Entwurfszyklus ist ein gutes Modell: Entwurf während der Arbeitszeit, 3D-Druck der Prototypenteile über Nacht, Reinigung und Testen am nächsten Tag, Verfeinern des Designs, und schließlich wiederholen.

KOSTEN UND ZEIT SPAREN

Mit 3D-Druck brauchen Sie keine teure Werkzeugausstattung und Einrichtung. Es können dieselben Geräte verwendet werden, um verschiedene Geometrien zu produzieren. Betriebsinternes Rapid Prototyping eliminiert die hohen Kosten und Durchlaufzeiten, die mit der Auslagerung einhergehen.

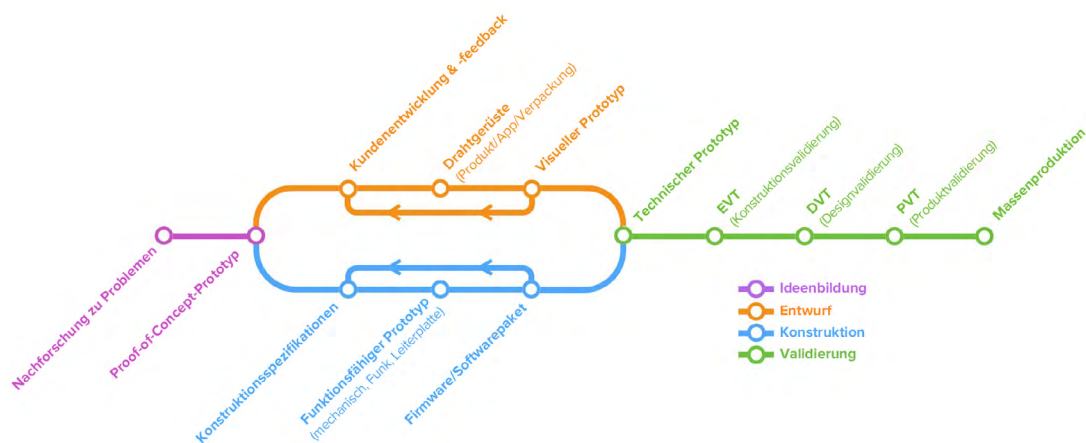
GRÜNDLICH TESTEN UND ENTWURFSMÄNGEL MINIMIEREN

In Produktdesign und -herstellung kann das frühzeitige Erkennen und Beheben von Konstruktionsfehlern Unternehmen helfen, kostspielige Designrevisionen und Werkzeugwechsel im weiteren Verlauf zu vermeiden.

Rapid Prototyping ermöglicht es Ingenieure Prototypen, die wie Endprodukte aussehen und funktionieren, gründlich zu testen. So werden die Risiken von Bedienbarkeits- und Fertigungsproblemen reduziert, bevor sie in die Produktion gehen.

Anwendungen von Rapid Prototyping

Dank einer Vielzahl verfügbarer Technologien und Materialien hilft Rapid Prototyping Designern und Ingenieuren während der gesamten Produktentwicklung, von den ersten Konzeptmodellen über Weiterentwicklung und Validierung bis hin zur Produktion.



Der Hardwareentwicklungsprozess. Quelle: [Ben Einstein, Bolt](#).

PROOF-OF-CONCEPT-(POC)-PROTOTYPEN UND -KONZEPTMODELLE

Konzeptmodelle oder Proof-of-Concept (PoC)-Prototypen helfen Produktdesignern dabei, Ideen und Annahmen zu validieren und die Umsetzbarkeit eines Produkts zu erproben. Physische Konzeptmodelle können zur Präsentation einer Idee vor involvierten Parteien genutzt werden, Diskussionsstoff bieten und als risikoarme Konzeptbeispiele Akzeptanz oder Ablehnung beschleunigen.

Die PoC-Prototypenfertigung erfolgt in den frühesten Phasen des Produktentwicklungsprozesses. Diese Prototypen verfügen über die minimale Funktionalität, um Annahme zu validieren, bevor die nächsten Entwicklungsphasen eingeläutet werden.



Ein Proof-of-Concept sollte einfach sein und gerade für eine Imitation ausreichen, wie das Produkt funktioniert. Zum Beispiel kann der PoC für eine Ladestation einfach ein 3D-gedrucktes Gehäuse sein, das an ein Standard-USB-Ladekabel angeschlossen ist.

Der Schlüssel zum erfolgreichen Konzeptmodellieren ist Geschwindigkeit. Designer müssen eine unglaubliche Vielfalt an Ideen generieren, bevor sie physische Modelle bauen und bewerten. Zu diesem Zeitpunkt sind Bedienbarkeit und Qualität weniger wichtig, und Teams verlassen sich so stark wie möglich auf Fertigteile.



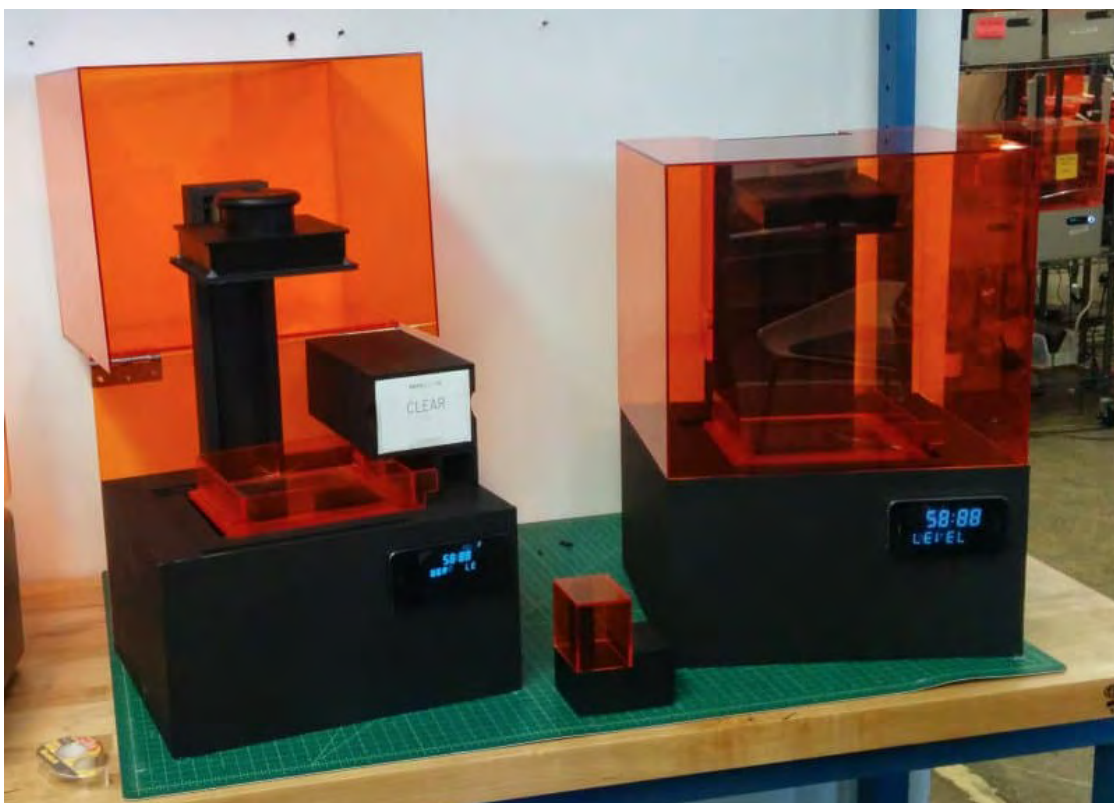
Designer im schweizerischen Design- und Beratungsstudio Panter&Tourron verwendeten SLA-3D-Druck, um innerhalb von zwei Wochen vom Konzept zum Präsentationsmodell zu gelangen.

3D-Drucker sind ideale Werkzeuge zur Unterstützung der Konzeptmodellierung. Sie bieten ungeschlagene Durchsatzzeiten, um eine Computerdatei in einen physischen Prototypen zu konvertieren, was es Designern ermöglicht, zusätzliche Konzepte schnell zu testen. Im Gegenteil zum Großteil der Werkstatt- und Herstellungswerkzeuge sind Desktop-3D-Drucker bürofreundlich und ersparen Ihnen die Notwendigkeit eines fest zugewiesenen Standorts.

VISUELLE PROTOTYPEN

Visuelle Prototypen demonstrieren das Endprodukt auf abstrakter Ebene, ihnen fehlen jedoch die meisten funktionalen Elemente. Sie dienen dazu, sich das Endprodukt visuell besser vorstellen zu können und auszuloten, wie Endbenutzer mit ihm interagieren würden. Die Ergonomie, die Benutzeroberfläche sowie die Benutzergesamterfahren können mit visuellen Prototypen validiert werden, bevor wesentliche Investitionen in Design und technische Umsetzung der endgültigen Produktmerkmale getätigt werden.

Die Entwicklung visueller Prototypen beginnt häufig mit Zeichnungen, Schaumstoff- oder Tonmodellen und wird dann mit der CAD-Modellierung fortgesetzt. Im Verlauf des Designprozesses wechseln sich hier digitale und physische Modelle des Prototypen ab. Gegen Ende des Designprozesses stellen industrielle Designteams häufig visuelle Prototypen her, die dem Endprodukt extrem nahekommen, indem sie die endgültigen Farben, Materialien und Finishes (Colors, Materials and Finishes, CMD) verwenden.

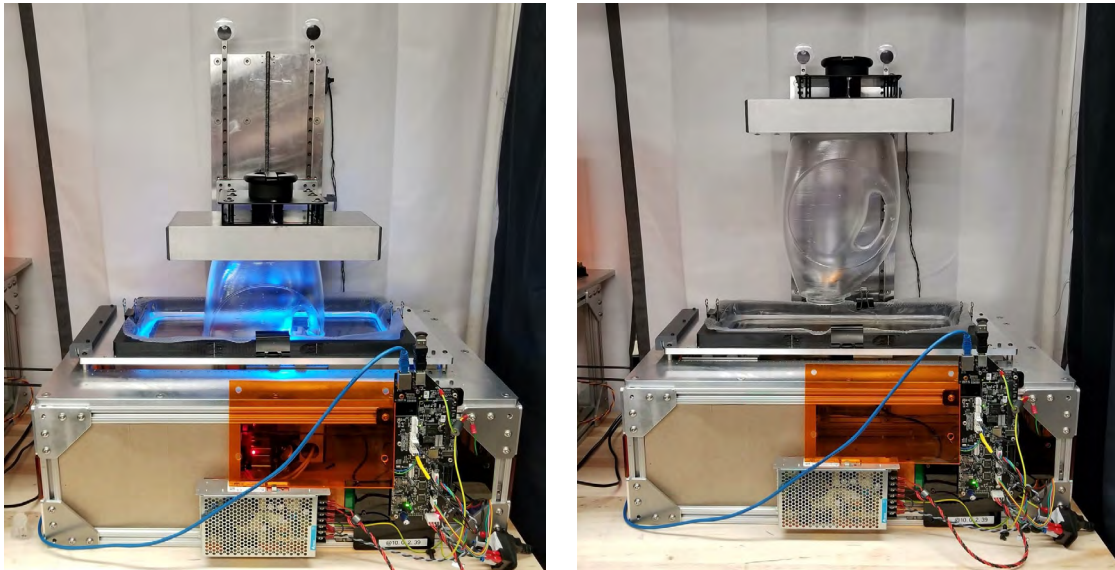


Visuelle Prototypen des Form 2 SLA-3D-Druckers mit verschiedenen Lösungen für die Kartuscheneinpassung.

FUNKTIONSFÄHIGE PROTOTYPEN

Parallel zum industriellen Designprozess arbeiten Ingenieurteams an einer anderen Prototypenserie, um die mechanischen, elektrischen und thermischen Systeme des Produkts zu testen, iterieren und zu verfeinern. Diese funktionalen Prototypen ähneln dem Endprodukt nicht im Aussehen, verfügen dafür über die wichtigsten Technologien und Funktionen, die entwickelt und getestet werden müssen.

Diese Hauptfunktionen werden häufig in separaten Einheiten entwickelt und getestet, bevor sie in einem einzigen Produktprototyp integriert werden. Bei diesem Ansatz werden Variablen isoliert, sodass Teams Aufgaben leichter aufteilen und vor der Integration der einzelnen Komponenten eines Systems sicherstellen können, dass diese zuverlässig sind.



Frühe funktionsfähige Prototypen aus dem Form 3L SLA-3D-Großformatdrucker.

TECHNISCHE PROTOTYPEN

Beim technischen Prototyp kommen Design und Konstruktion zusammen, um eine minimal brauchbare Version des kommerziellen Endprodukts zu erstellen, die Design for Manufacturing (DFM) entspricht. Diese Prototypen werden für laborbasierte Nutzertests mit ausgewählten Gruppen von führenden Nutzern verwendet, um die Produktionsabsichten an Werkzeugausstattungspezialisten in Folgephasen zu kommunizieren und als Demonstrationsobjekte bei Ersttreffen der Vertriebsabteilung.

Zu diesem Zeitpunkt werden Details zunehmend wichtiger. 3D-Drucker ermöglichen es Ingenieuren, Prototypen mit hoher Originaltreue zu erstellen, was ein genaueres Verständnis des fertigen Produkts bietet. So können Design, Passung, Funktion und Herstellbarkeit leichter verifiziert werden, bevor man in teure Werkzeuge investiert und zur Produktion übergeht. Denn ab dann werden Änderungen zunehmend zeitintensiver und kostspieliger.



Tauchkamerahersteller Paralenz verwendete 3D-Druck, um funktionsfähige Prototypen zu erstellen, die Tests in über 200 Meter unter dem Meeresspiegel standhielten.

Fortgeschrittene 3D-Druckmaterialien können das Aussehen, Gefühl und die Materialeigenschaften von Teilen, die mit traditionellen Fertigungsverfahren wie dem Spritzguss hergestellt werden, sehr gut imitieren. Verschiedene Materialien können Teile mit feinen Details und Texturen, weicher Haptik, geschmeidiger und reibungsarmer Oberflächen, harter und robuster Gehäuse oder transparenter Komponenten simulieren. 3D-Druckteile können über Sekundärprozesse wie Schleifen, Politur, Lackieren oder Galvanisieren veredelt werden, um jegliche visuelle Attribute eines Endprodukts zu replizieren, aber auch verbunden werden, um Baugruppen aus mehreren Teilen und Materialien zu erstellen.



Ingenieure von Wöhler bauten einen visuellen, funktionsfähigen Prototypen eines Wassergehaltmessers aus mehreren Materialien, mit hartem Gehäuse und Schaltflächen mit weicher Haptik.

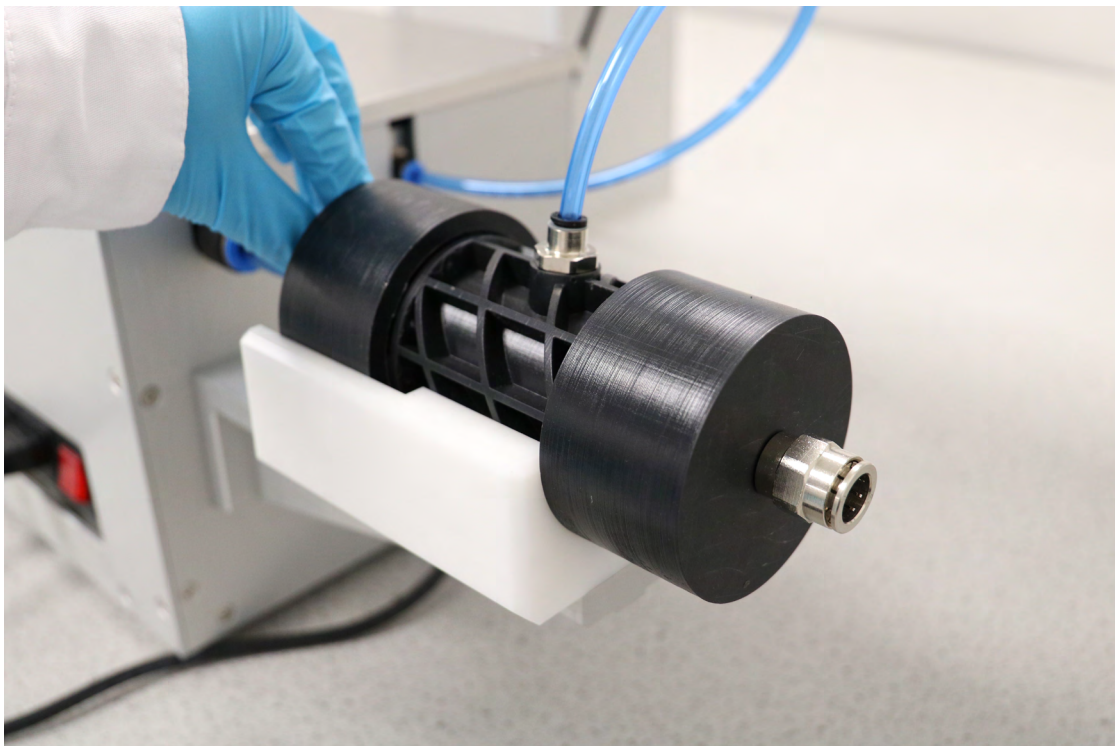
Technische Prototypen erfordern extensive Funktions- und Bedienbarkeitstests, um zu sehen, wie ein Teil oder eine Baugruppe funktionieren wird, wenn es/sie Belastungen und arbeitsrelevanten Nutzungsbedingungen ausgesetzt ist/sind. 3D-Druck bietet Konstruktionskunststoffe für hochleistungsfähige Prototypen, die thermischen, chemischen und mechanischen Belastungen widerstehen können.

TESTEN UND HERSTELLEN ZUR VALIDIERUNG

Rapid Prototyping ermöglicht Ingenieuren die Erstellung kleiner Chargen, einmaliger Sonderanfertigungen sowie von Unterbaugruppen für Konstruktion, Design und Produktvalidierung (EVT, DVT, PVT), um die Herstellbarkeit zu testen.

3D-Druck macht es einfacher, Toleranzen vor dem Hintergrund des tatsächlichen Fertigungsverfahrens zu prüfen und umfassende Tests betriebsintern und in der Praxis durchzuführen, bevor schließlich zur Massenproduktion übergegangen wird.

3D-gedrucktes Rapid Tooling kann ebenfalls mit traditionellen Herstellungsprozessen wie Spritzguss, Tiefziehen oder Silikonguss kombiniert werden, um die Produktionsprozesse auszubauen, indem ihre Flexibilität, Agilität, Skalierbarkeit und Kosteneffizienz verbessert werden. Die Technologie bietet auch eine effiziente Lösung zur Erstellung individualisierter Haltevorrichtungen und Vorrichtungen, um Funktionstests und Zertifizierung durch Sammlung konsistenter Daten zu vereinfachen.



Das Designunternehmen für Medizinprodukte Coalesce verwendet individualisierte Haltevorrichtungen für das betriebsinterne Testen.

Mit 3D-Druck muss Design nicht beim Produktionsbeginn enden. Rapid-Prototyping-Werkzeuge ermöglichen es Designern und Ingenieuren, Produkte stetig zu verbessern und schnell und effizient auf Probleme mit Vorrichtungen und Halterungen reagieren, die die Montage- oder Qualitätssicherungsprozesse verbessern.

Werkzeuge und Methoden für Rapid Prototyping

ADDITIVE FERTIGUNG

Rapid Prototyping wurde im Grunde ein Synonym für additive Fertigung und 3D-Druck. Es sind mehrere 3D-Druckverfahren verfügbar, wobei die für Rapid Prototyping am häufigsten genutzten Schmelzschichtung (FDM), Stereolithografie (SLA) und selektives Lasersintern (SLS) sind.

Schmelzschichtung (Fused Deposition Modeling, FDM)

Beim 3D-Druck mit Schmelzschichtung werden Teile durch Schmelzen und Extrudieren eines drahtförmigen thermoplastischen Kunststoffes (genannt Filament) aufgebaut, der anschließend von einer Druckdüse schichtweise im Konstruktionsbereich aufgetragen wird.

FDM ist bei Privatpersonen die am häufigsten verbreitete Form des 3D-Drucks, dank der vielen Hobbybastler, die damit den Einstieg in den 3D-Druck wagen. Industrielle FDM-Drucker sind aber auch bei Designern und Ingenieuren beliebt.

Schmelzschichtung hat die niedrigste Auflösung und Präzision der 3D-Druckprozesse für Kunststoffe und eignet sich deshalb nur bedingt für den Druck komplexer Designs oder filigraner Details. Hochwertigere Oberflächengüte lässt sich dabei durch chemische Prozesse oder mechanische Politur erzielen. Einige industrielle FDM-3D-Drucker nutzen lösliche Stützstrukturen, um einige dieser Probleme zu reduzieren.

FDM arbeitet mit einer Bandbreite von Standard-Thermoplasten wie ABS, PLA und deren verschiedenen Mischformen, während fortschrittlichere FDM-Drucker eine größere Bandbreite an Konstruktionsthermoplasten oder sogar Verbundwerkstoffe bieten. Beim Rapid Prototyping sind FDM-Drucker insbesondere zur Herstellung von einfachen Teilen nützlich, z. B. Teile, die typischerweise zerspannt werden.

Stereolithografie (SLA)

SLA-3D-Drucker verwenden einen Laser, um flüssige Kunstharze zu festen Teilen auszuhärten. Dieser Prozess nennt sich Photopolymerisation. SLA ist einer der beliebtesten Prozesse bei Fachleuten, da er hohe Auflösung, Präzision und eine große Materialvielfalt bietet.



Ein 3D-gedruckter Rapid-Prototyp einer Uhr, produziert mit dem Form 3 SLA-3D-Drucker, neben dem Endprodukt.

SLA-Teile haben die höchste Auflösung und Genauigkeit, die klarsten Details und die glatteste Oberflächenbeschaffenheit von allen 3D-Drucktechnologien für Kunststoffe, was SLA zur einer klasse Option für visuelle Prototypen und funktionsfähige Prototypen macht, die geringe Toleranzen erfordern.

Allerdings ist der Hauptvorteil von SLA die Vielfalt seiner Materialbibliothek. Materialhersteller haben innovative SLA-Photopolymer-Kunstharzformulierungen entwickelt, die unterschiedliche optische, mechanische und thermische Eigenschaften bieten und denen von Standard-, technischen und industriellen Thermoplasten in nichts nachstehen.

Mit Draft Resin ist SLA-3D-Druck ebenfalls eines der schnellsten Werkzeuge zur Prototypenfertigung und bis zu zehnmal schneller als FDM-3D-Druck.

Mit dem Form 3 und Draft Resin über Rapid Prototyping große Teile bis zu 10 Mal schneller herstellen

	FORM 3 DRAFT RESIN <small>Schichthöhe: 200 Mikrometer</small>	FDM[~]Vergleich PLA/ABS <small>Schichthöhe: 200 Mikrometer*</small>	Unterschied
Druckzeit	8 h 43 min	80–87 h	90 % schneller
Oberflächenbeschaffenheit			
Feste Teile	✓	30 % Füllung	

* Druckzeiten wurden mithilfe der Druckvorbereitungssoftware-Werkzeuge von FDM-Branchenführern zusammengetragen.



formlabs
PROTOTYP EINES LAUTSPRECHERGEHÄUSES
16,5 x 13,5 x 13,5 cm

Selektives Lasersintern (SLS)

Selektives Lasersintern ist die typischste Technologie der Additiven Fertigung für industrielle Anwendungen, auf deren Fähigkeit, starke, funktionsfähige Teile zu produzieren, Ingenieure und Hersteller verschiedener Branchen vertrauen.

SLS-3D-Drucker verwenden einen Hochleistungslaser, um kleine Partikel aus Polymerpulver zu sintern. Da das ungesinterte Pulver das Teil beim Drucken stützt, sind keine zusätzlichen Stützstrukturen erforderlich. SLS eignet sich somit ideal für komplexe Geometrien wie Merkmale im Inneren von Teilen, Hinterschneidungen, dünne Wände und negative Details. SLS-Teile bieten herausragende mechanische Eigenschaften, deren Festigkeit mit der von Spritzgussteilen vergleichbar ist.



SLS-3D-Druck kann starke, funktionsfähige Prototypen und technische Prototypen für anspruchsvolle Produktfunktionstests herstellen.

Beim Rapid Prototyping wird der SLS-3D-Druck primär für funktionsfähige Prototypen und technische Prototypen verwendet, die für anspruchsvolle Produktfunktionstests (z. B. Leitungen, Halterungen) und brancheninternes Kundenfeedback gedacht sind.

CNC-WERKZEUGE

CNC-Werkzeuge, anders als FDM, SLA oder SLS, sind subtraktive Fertigungsprozesse. Sie gehen von festen Blöcken oder Stäben aus Metall oder Kunststoff aus, die geformt werden, indem Material durch Schneiden, Bohren und Schleifen abgehoben wird.

CNC-Werkzeuge umfassen CNC-Bearbeitung, wobei Material entweder durch ein rotierendes Werkzeug und ein festes Teil (Fräsen) oder ein rotierendes Teil und ein festes Werkzeug (Drehmaschine) abgehoben wird. Beim Schneidlasern kommt ein Laser zur Anwendung, um mit höchster Präzision bestimmte Materialien einzugravieren oder auszuschneiden. Bei Wasserstrahl-Cuttern kommt Wasser mit Abriebstoffen bei hohem Druck zum Einsatz, um beliebige Materialien zu schneiden. CNC-Fräsmaschinen und -Poliermaschinen können mehrere Achsen aufweisen, was es ihnen ermöglicht, komplexere Designs zu managen. Schneidlaser und Wasserstrahl-Cutter sind eher für flache Teile geeignet.

CNC-Werkzeuge können Teile aus Kunststoffen, Weichmetallen, Hartmetallen (Industriemaschinen), Holz, Acrylglas, Stein, Glas und Verbundwerkstoffen formen. Im Vergleich zu Werkzeugen zur additiven Fertigung sind CNC-Werkzeuge komplizierter einzurichten und zu betreiben, und einige Materialien und Designs erfordern besondere Werkzeugbestückung, Handhabung, Positionierung und Verarbeitung, was sie für Einzelteile verglichen mit additiven Prozessen kostspielig macht.

Beim Rapid Prototyping sind das ideale, einfache Entwürfe, strukturelle Teile, Metalkomponenten und andere Teile, die mit additiven Tools nicht möglich oder kosteneffizient zu produzieren wären.

Vergleich von Tools für Rapid Prototyping

	SCHMELZSCHICHTUNG (FUSED DEPOSITION MODELING, FDM)	STEREOLITHOGRAFIE (SLA)	SELEKTIVES LASERSINTERN (SLS)	CNC-WERKZEUGE
Auflösung	●●○○○	●●●●●	●●●●○	●●●●●
Genauigkeit	●●●●○	●●●●●	●●●●●	●●●●●
Oberflächengüte	●●○○○	●●●●●	●●●●○	●●●●●
Benutzerfreundlichkeit	●●●●●	●●●●●	●●●●○	●●●○○
Komplexe Designs	●●●○○	●●●●○	●●●●●	●●●○○
Fertigungsvolumen	Bis zu 300 × 300 × 600 mm (Desktop- und Benchtop-3D-Drucker)	Bis zu 300 × 335 × 200 mm (Desktop- und Benchtop-3D-Drucker)	Bis zu 165 × 165 × 300 mm (Desktop-3D-Drucker)	Abhängig vom Werkzeug
Preisspanne	Billigdrucker und 3D-Drucker-Kits beginnen bei wenigen 100 EUR. Desktop-3D-Drucker im mittleren Preisbereich mit höherer Qualität beginnen bei 2000 EUR, und industrielle Systeme sind ab 15 000 EUR erhältlich.	Professionelle Desktop-3D-Drucker beginnen bei 3500 EUR, großformatige Benchtop-Drucker bei 11 000 EUR, und industrielle Großmaschinen sind ab 80 000 EUR erhältlich.	Benchtop-Systeme beginnen bei 18 500 EUR und traditionelle industrielle Drucker sind ab 100 000 EUR erhältlich.	Kleine CNC-Maschinen beginnen bei etwa 2 000 EUR, aber professionelle Werkzeuge sind weit teurer. Einfache Gravierapparate sind für unter 500 EUR erhältlich, während Schneidlasen der Mittelklasse für Werkstätten, die verschiedene Materialien schneiden, ab etwa 3500 EUR erhältlich sind. Wasserstrahl-Cutter beginnen bei etwa 20 000 EUR.
Materialien	Standardthermoplaste wie ABS, PLA und deren Mischungen	Verschiedene Harze (Duroplaste) Standard, technisch (ABS-, PP-, Silikon-ähnlich, flexibel, hitzebeständig, hart), Gussverfahren, biokompatibel (Medizin und Zahnmedizin)	Thermoplaste für den Maschinenbau, für gewöhnlich Nylon und seine Verbundwerkstoffe (Nylon 12 Powder ist biokompatibel und für die Sterilisation geeignet).	Kunststoffe, Weichmetalle, Hartmetalle (Industriemaschinen), Holz, Acrylglas, Stein, Glas, Verbundwerkstoffe.
Anwendungen	Grundlegende Proof-of-Concept-Modelle, kostengünstige Prototypenfertigung einfacher Teile.	Schnelle Prototypen, visuelle Prototypen mit hoher Originaltreue und funktionsfähige Prototypen, die geringe Toleranzen und glatte Oberflächen erfordern.	Komplexe Geometrien, funktionsfähige Prototypen und technische Prototypen.	Einfache Designs, strukturelle Teile, Metallkomponenten.



Mit Rapid Prototyping starten

Rapid Prototyping wird in einer Vielzahl von Branchen genutzt – von Fortune 500 bis zu Kleinunternehmen – um die Entwicklung zu beschleunigen, Kosten zu senken, die Kommunikation zu verbessern und letztlich bessere Produkte herzustellen.

Während der 3D-Druck traditionell komplex und unerschwinglich war, haben Desktop- und Benchtop-3D-Drucker die Technologie für jedes Unternehmen zugänglich gemacht.

Erfahren Sie mehr über 3D-Drucker sowie darüber, wie führende Hersteller den 3D-Druck nutzen, um Geld zu sparen und Durchlaufzeiten vom Design bis zur Produktion zu verkürzen.