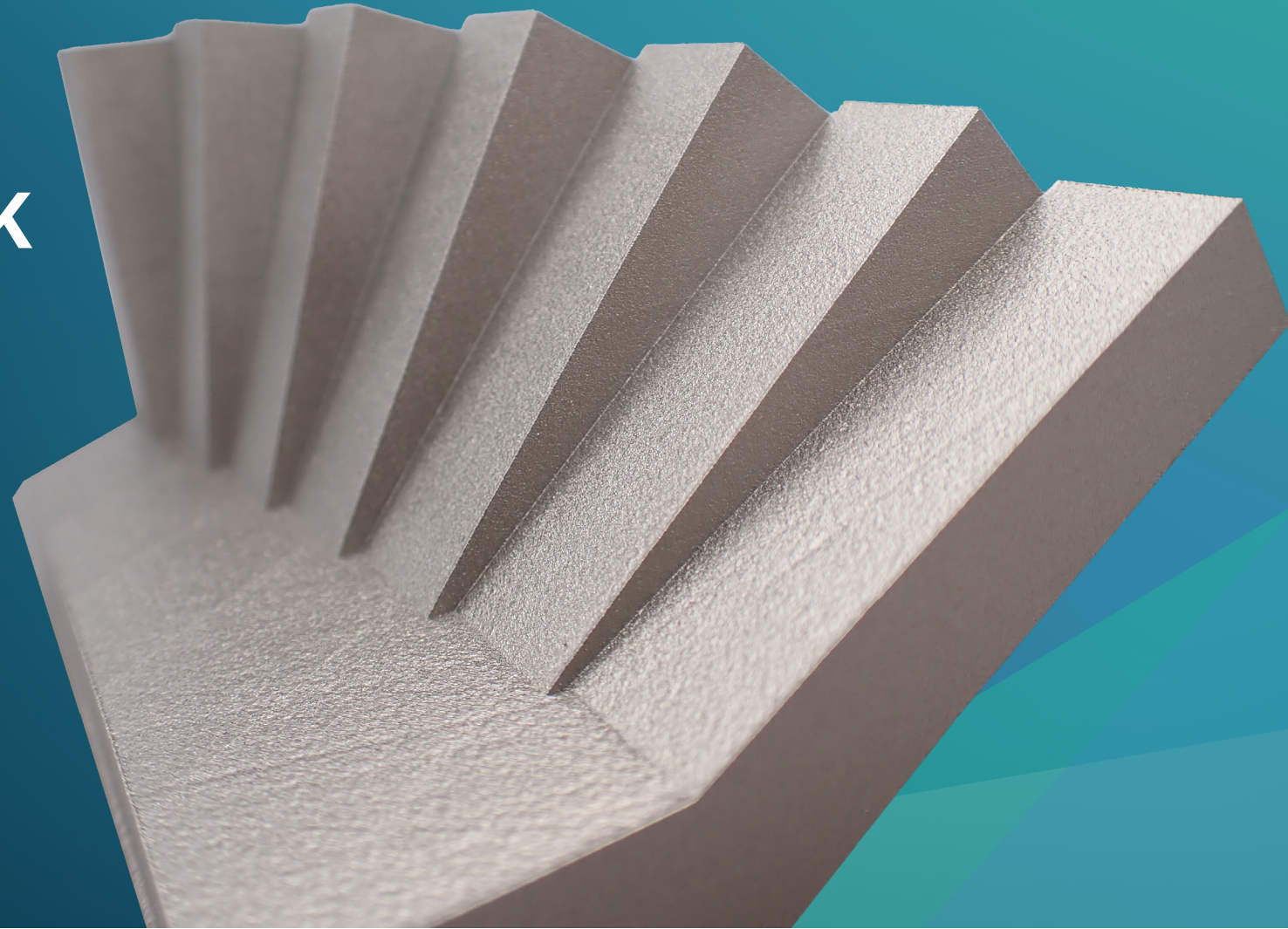


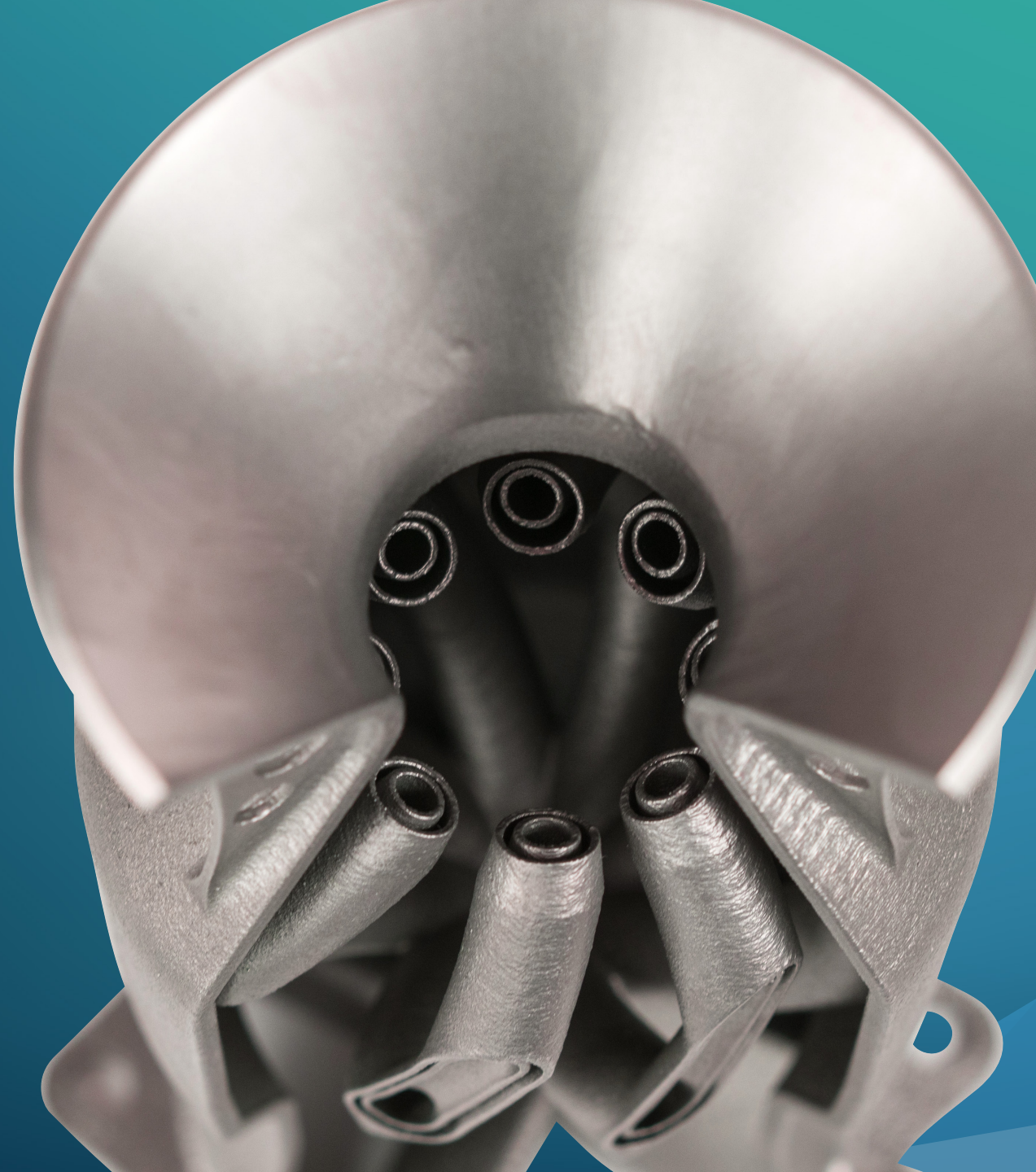
Benutzerhandbuch

Direktmetalldruck



Inhalt

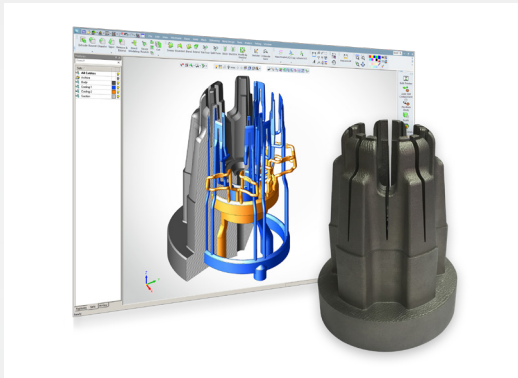
- 03 Gründe für den Direktmetalldruck
- 04 Der Direktmetalldruck-Prozess
- 05 Grundprinzipien des Direktmetalldrucks
- 15 Nachbearbeitung
- 18 DMP-Labora Aufbau
- 19 DMP-Sicherheit
- 20 DMP-Drucker
- 22 Metallmaterialien
- 26 Wir sind für Sie da



Gründe für den Direktmetalldruck

Der Direktmetalldruck (DMP) ist eine additive Fertigungstechnik, mit der Teile in einer Vielzahl von Metalllegierungen hergestellt werden können.

Aus Metallpulver als Ausgangsmaterial wird das Produkt Schicht für Schicht hergestellt. Jede Schicht wird dann auf die vorhergehende aufgeschmolzen, wodurch ein festes und dichtes Teil (bis zu 99,9 %) entsteht, das mit den Ergebnissen konventioneller Herstellungsverfahren (Fräsen, Gießen) vergleichbar ist. Bei diesem Prozess entsteht fast kein Abfallmaterial, und es können komplexe Geometrien gebaut werden, die sonst nicht hergestellt werden könnten.



DMP eignet sich ideal für die Fertigung komplexer, organisch geformter interner Merkmale (z. B. konturnahe Kühlkanäle).



Durch die Kombination mehrerer Teile zu einem einzigen Produkt entfallen Montageprozesse (z. B. das Schweißen), was für zusätzliche Funktionalität sorgt.

VORTEILE DES DIREKTMETALLDRUCKS



Verbesserte Funktionalität von Teilen

Einschließlich thermischer, strömungstechnischer und struktureller Funktionalität oder Integration verschiedener Funktionen in ein Teil



Mehr Designfreiheit

Fähigkeit, optimierte organische Formen zu schaffen



Verbesserte Leistung auf Systemebene

Verbesserte Kraftstoffeffizienz, verringerter Wartungsaufwand



Maßgeschneiderte Produkte

Interne Strukturen wie komplexe Kühlkanäle, die auf andere Weise nicht hergestellt werden könnten, patientenspezifische Anwendungen im Gesundheitswesen usw.



Reduzierung der Teileanzahl und Entfernung sekundärer Vorgänge

Reduzierung oder Eliminierung von Baugruppen



Schnelle Produktion

Keine Werkzeuge oder umfangreiche Programmierung erforderlich



Weniger Abfall

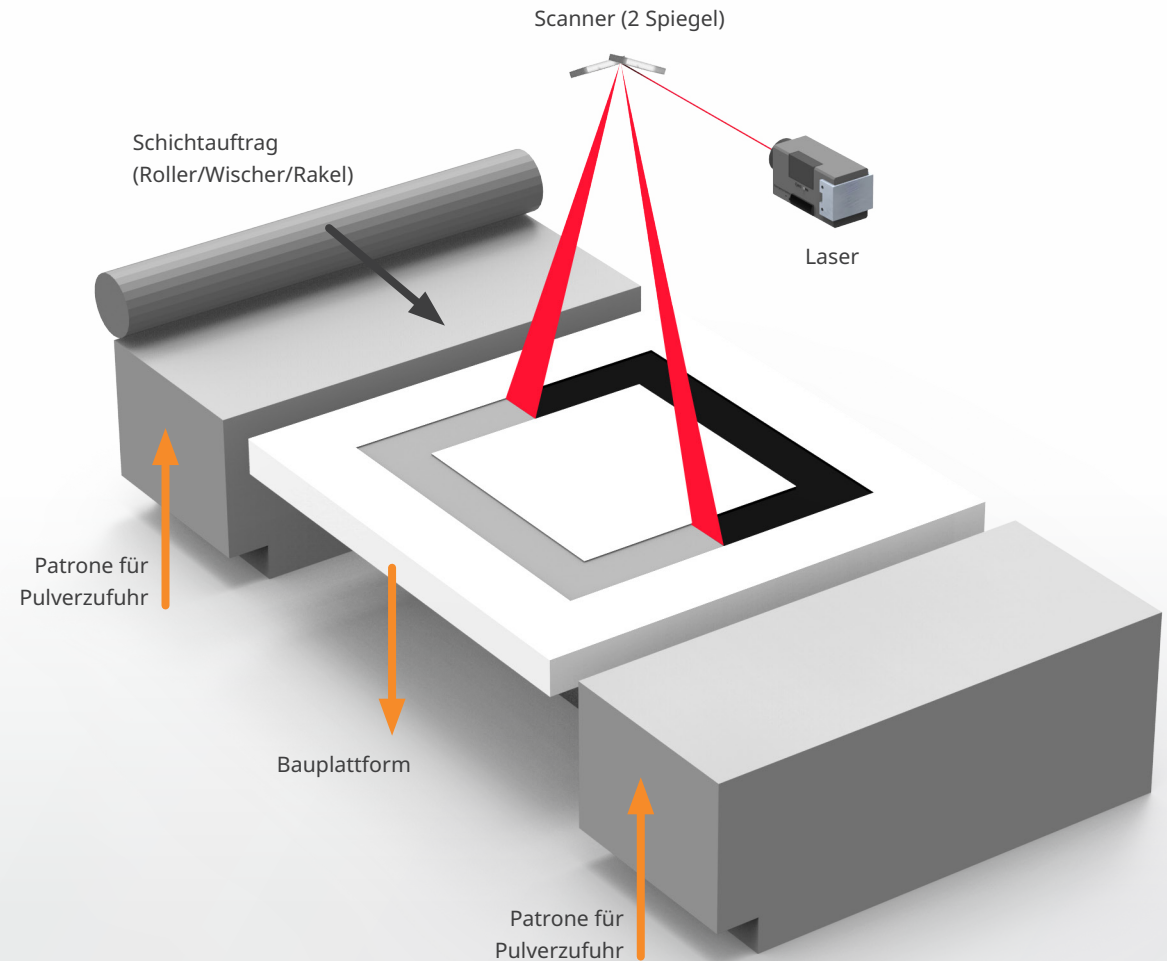


Reduzierung des Gewichts

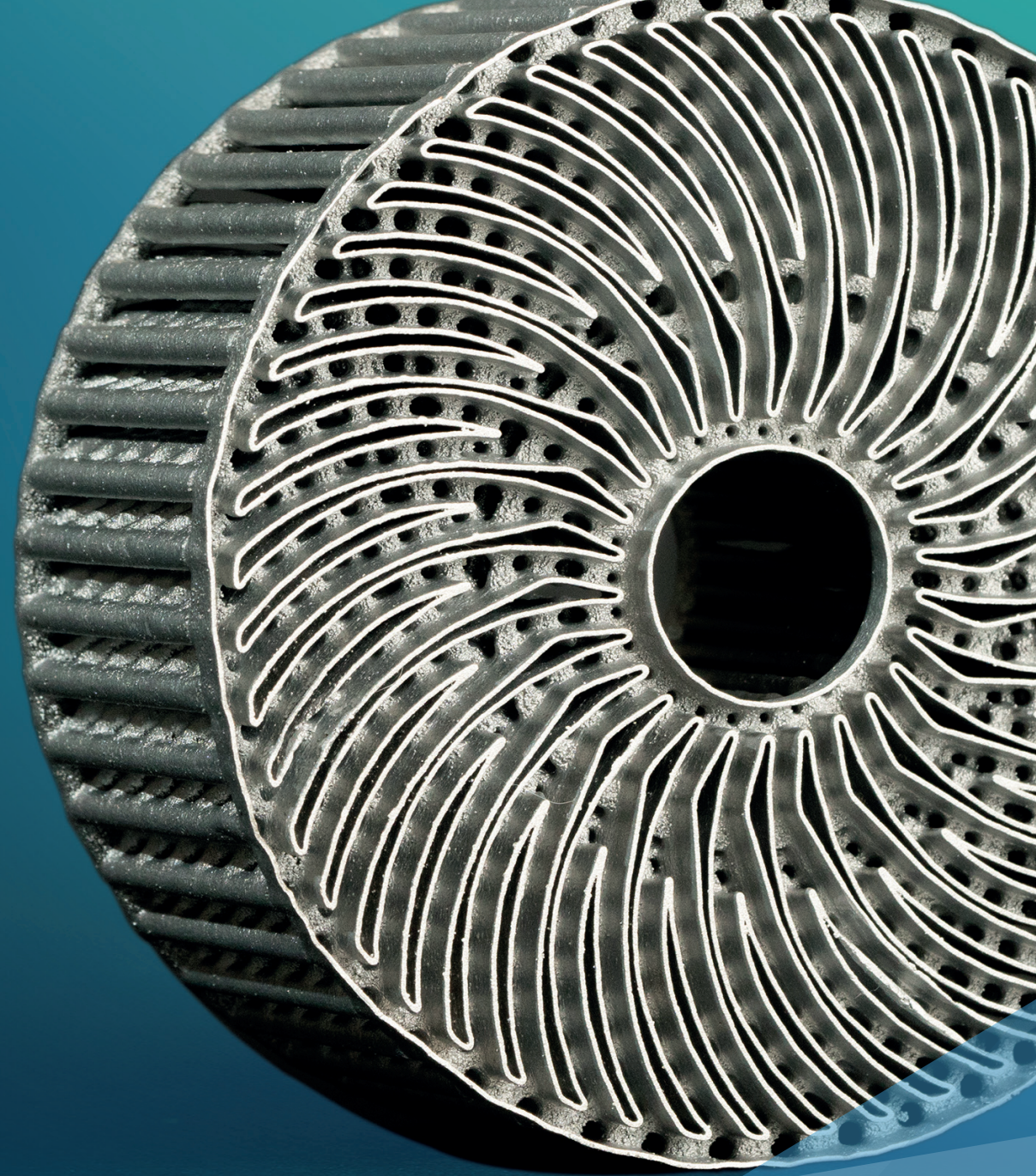
Verwendung von Gitterstrukturen, Topologieoptimierung usw.

Der Direktmetalldruck-Prozess

- Metallpulverschichten können in Schritten von bis herab zu 10 Mikron abgelagert werden
- Laserscanner verwenden optimale Energiedichte, um das gesamte Pulver in vollständig dichte Teile zu schmelzen (bis zu >99,9 %)
- Der bidirektionale Pulverauftrag erhöht den Durchsatz
- Die extrem sauerstoffarme Umgebung ermöglicht einen Sauerstoffgehalt von unter 25 ppm
- Das Argongas wird recycelt, um den Verbrauch für lange Druckvorgänge zu minimieren
- Zusätzliche lokale Überwachungstools zum Prüfen und Qualifizieren von Produkten sind verfügbar

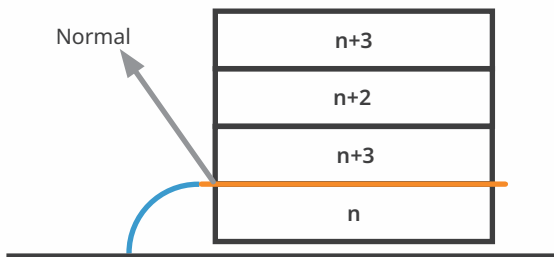


Grundprinzipien des Direktmetalldrucks



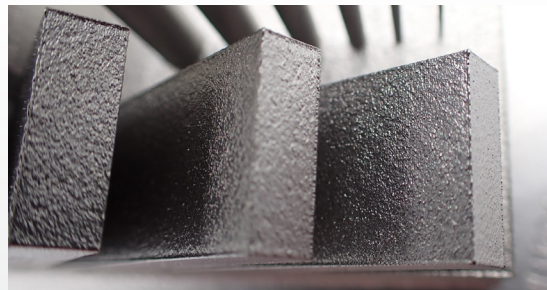
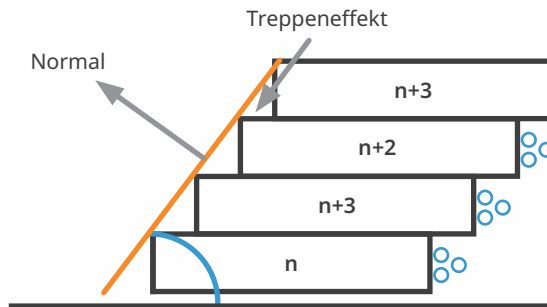
Grundlegende Begriffe

MITTLERE FLÄCHEN



Die mittleren Oberflächen sind dadurch gekennzeichnet, dass die Normale des Objekts parallel zur Bauplattform liegt.

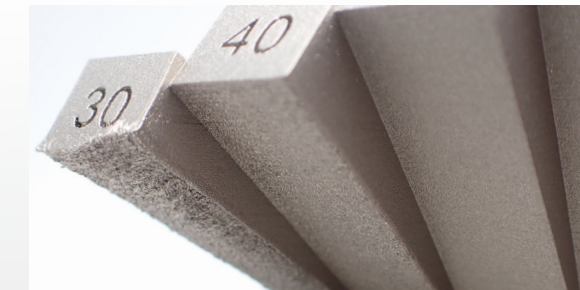
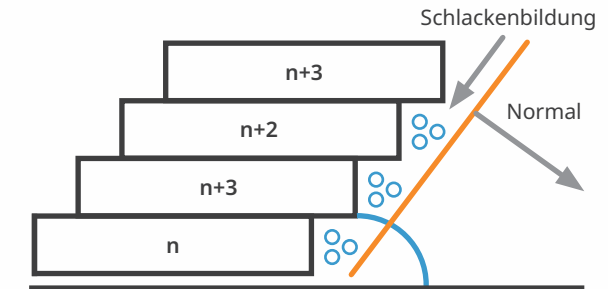
NACH OBEN GERICHTETE FLÄCHEN



Nach oben gerichtete Flächen sind dadurch gekennzeichnet, dass die Normale des Objekts von der Bauplattform weg weist.

NACH UNTEN GERICHTETE FLÄCHEN

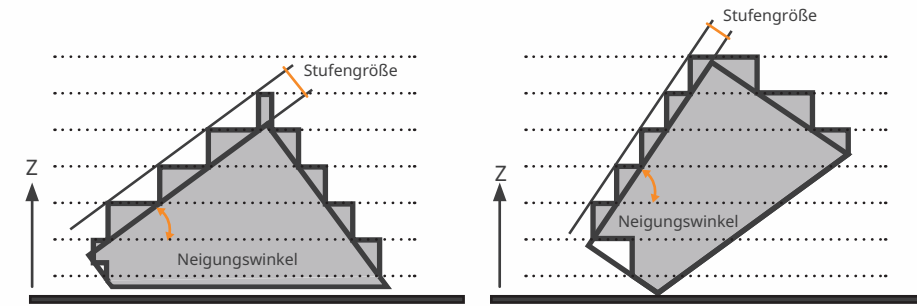
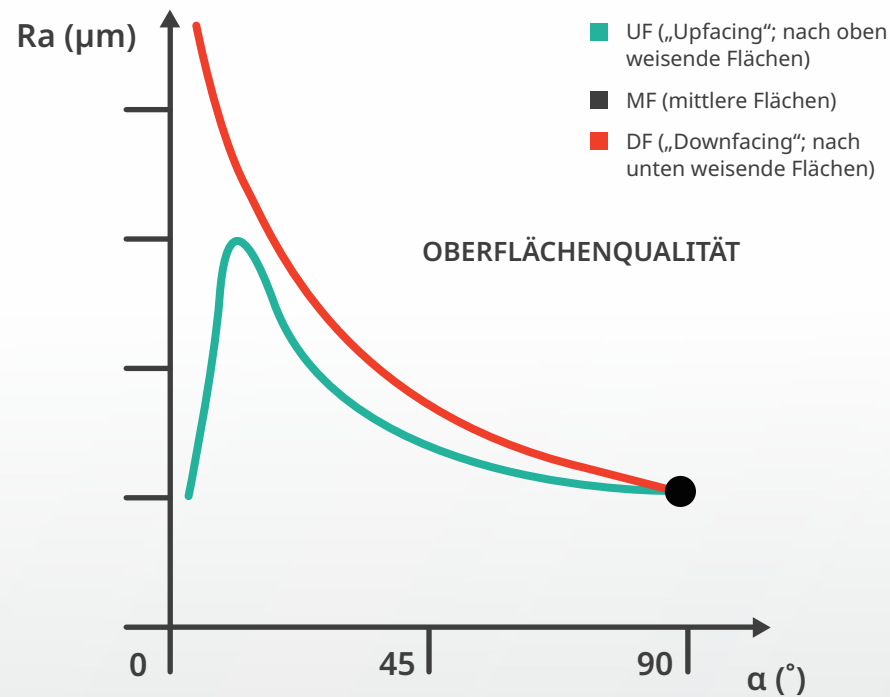
Die Kanten der nach unten gerichteten Flächen werden auf nicht geschmolzenem Metall aufgebaut



Nach unten gerichtete Flächen sind dadurch gekennzeichnet, dass die Normale des Objekts zur Bauplattform hin weist.

Auswirkungen auf die Qualität

Oberflächenqualität je nach Art der Oberfläche und Winkel

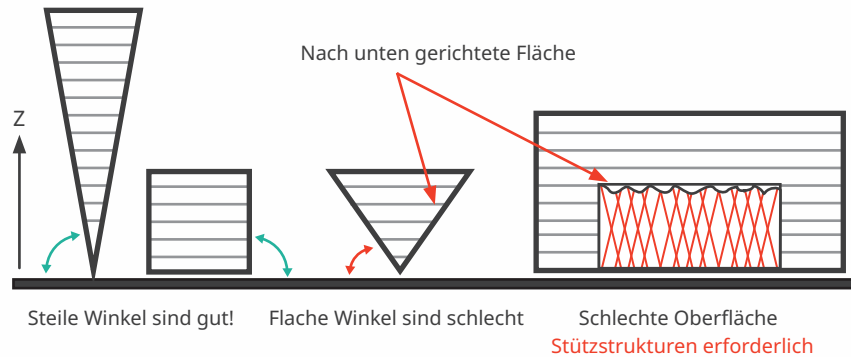


Die Oberflächenqualität beim Direktmetalldruck ist abhängig von der Ausrichtung der Oberfläche.

Der Treppenstufeneffekt, der allen additiven Schichtherstellungstechnologien gemein ist, kann durch den Aufbau von eher vertikalen oder aber vollständig horizontal ausgerichteten Flächen verringert werden.

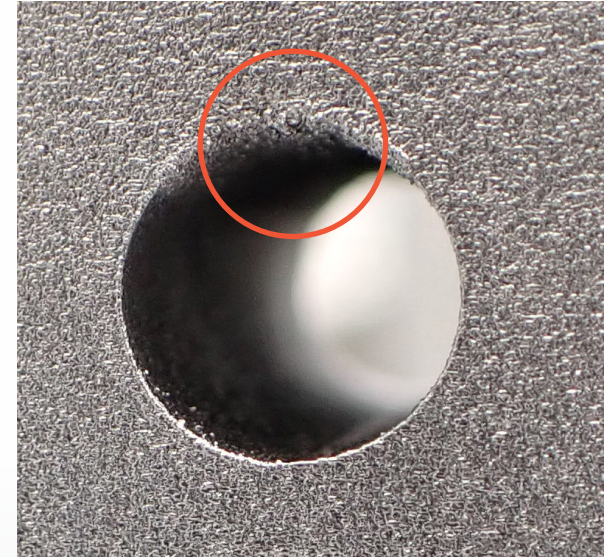
Auf nach oben gerichteten Flächen ist dieser Effekt deutlich sichtbar und wichtig.

Auswirkungen auf die Qualität



Auf nach unten gerichteten Flächen ist der Schlackenbildungseffekt in den meisten Fällen größer als der Treppeneffekt. Schlacke ist die unerwünschte Menge an geschmolzenem Material und Teilchen als Folge des Schmelzens auf losem Pulver.

- Je flacher der Winkel, desto größer die Schlackenbildung, und dadurch schlechtere Oberflächenqualität.
- Niedrige Winkel benötigen Stützstrukturen, bei denen es sich um temporäre Merkmale handelt, die zusätzliche Stabilität beim Drucken bieten und bei der Nachbearbeitung entfernt werden.
- Gestützte Flächen sind von schlechterer Qualität



Grundprinzipien

Warum gibt es thermische Spannungen im Bauteil?

- Hohe Schmelztemperaturen (z. B. Titan: 1650 °C; Edelstahl: 1200 °C)
- Schnelle Kühlrate (1 ms/100 °C)
- Spannungen sammeln sich über alle Schichten an, weil bei jedem Druck einer Schicht die oberen Schichten mehrfach erwärmt und abgekühlt werden. Ausdehnung und Schrumpfung, blockiert durch bereits verfestigte Schichten, verursachen Restspannungen.
- Das Verformungsverhalten ist materialspezifisch.

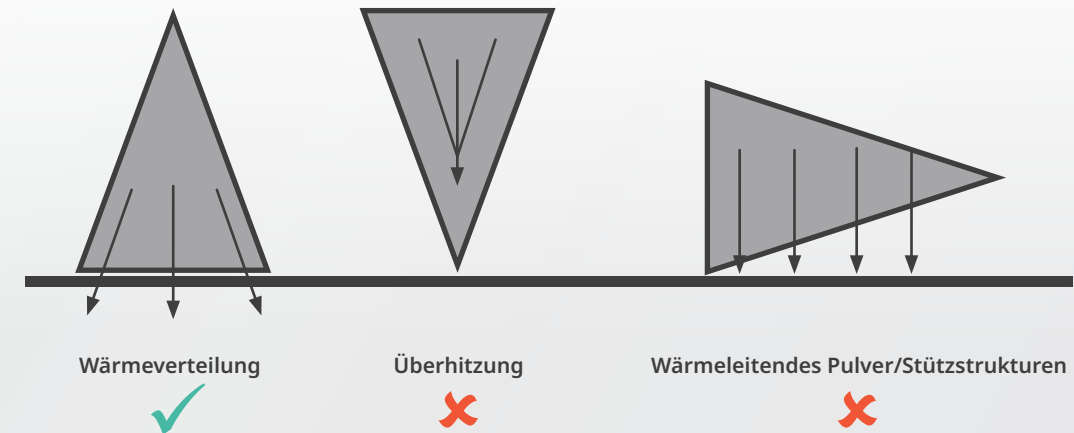
Wichtige Einflüsse auf derartige Belastungen

$\sigma T \sim A$ Die thermische Spannung ist proportional zum geschmolzenen Bereich der Oberfläche. Dies lässt sich wie folgt verbessern:

- Reduzieren Sie die zu schmelzende Fläche pro Schicht
- Stellen Sie sicher, dass die längste Ausdehnung des Teils entlang der Z-Achse liegt
- Sorgen Sie für eine hohe Anzahl von kleinen Abschnitten, was besser ist als ein großer Abschnitt

$\sigma T \sim \Delta T$ Die thermische Spannung ist proportional zum Temperaturabfall während der Verfestigung.

Achten Sie auf eine gute Wärmeübertragung zur Grundplatte und zur Maschine. Je besser die Wärme übertragen wird, desto weniger wird sich ein Teil verziehen.



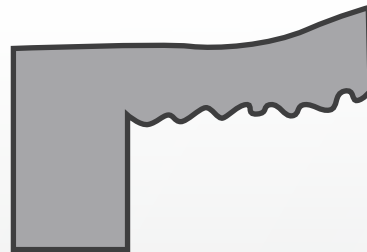
Umgang mit thermischen Spannungen

- Restspannungen führen zu Teilen, die zum Verziehen neigen
- Stützstrukturen sind erforderlich, um Verformungen zu vermeiden und ein Teil in Form zu halten.
- Spannungen bleiben nach dem Aufbau im Bauteil bestehen – wenn die Stützstruktur sofort entfernt wird, verformt sich das Teil immer noch in eine unerwünschte Position

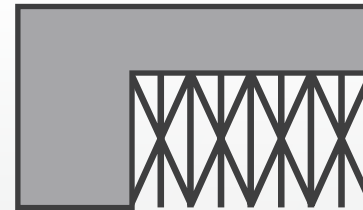
Eine Wärmebehandlung ist nach der Pulverentfernung und vor der Entfernung der Stützstrukturen und dem Ablösen von der Plattform erforderlich, damit die Spannungen sich lösen.



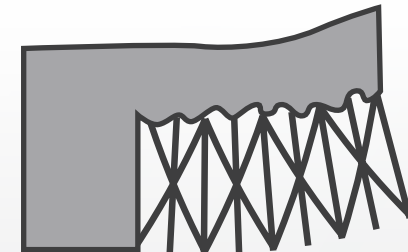
ENTWICKELTES
MODELL



VERFORMUNG UND
SCHLACKENBILDUNG



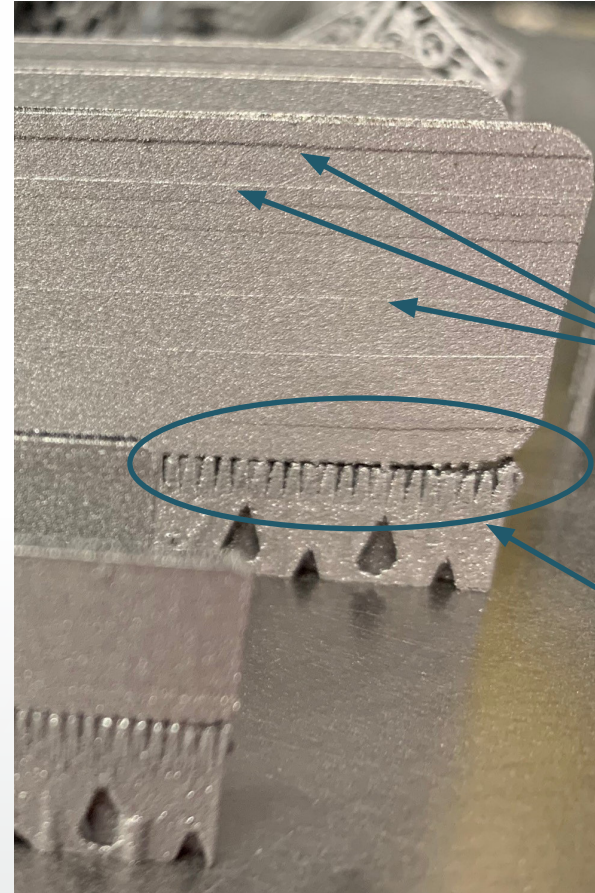
STÜTZSTRUKTUR



VERFORMUNG BEI
ENTFERNEN VON
DER PLATTE VOR
WÄRMEBEHANDLUNG

Ebenenverschiebungen

- Verursacht durch unsachgemäße Stützstrukturen
- Verbindung zwischen Stützstrukturen und Teilen reißt aufgrund von Eigenspannung
- Teil verschiebt sich, während sich der Riss ausbreitet
- Der Laser erkennt diese Veränderung nicht und scannt weiter gemäß Konstruktionsabsicht
- Das Ergebnis ist eine horizontale „Verschiebung“ über den gesamten Scanbereich



Ebenenverschiebungen

Trennen der Verbindung
zwischen Teil und Stützstruktur

Ursachen für Schrumpflinien

Schrumpflinien erscheinen, wenn zwei getrennte Einheiten zu einer Schicht verbunden werden

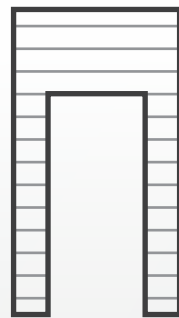
- Die Verbindungsfläche schrumpft und zieht die beiden Einheiten zueinander
- Die nächste Ebene wird wieder auf die Originalmaße gedruckt
- Im Teil sichtbare Linie
- Typisch auf Brücken/innenliegenden Kanälen

Ebenenverschiebung =
Stützstrukturproblem

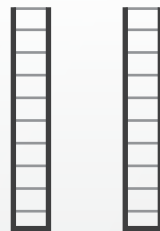
Schrumpflinien =
Geometrieproblem



ENTWICKELTES MODELL



VERTIKALER AUFBAU



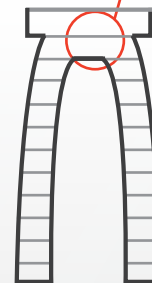
Während diese vertikalen Säulen aufgebaut werden, hat jede von ihnen eine Eigenspannung; diese interagieren jedoch nicht miteinander.

HORIZONTALER AUFBAU



Eine große, plötzliche Veränderung im Querschnitt führt aufgrund der Wechselwirkung von Restspannungen zur Bildung von Schrumpflinien.

VERFORMUNG

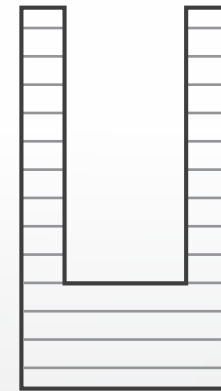


Der Laser scannt weiterhin basierend auf Ihrem entworfenen Modell.

Ausmaß der Verformung
hängt von der Geometrie ab

VS

OPTION



OPTIMIERTE AUSRICHTUNG

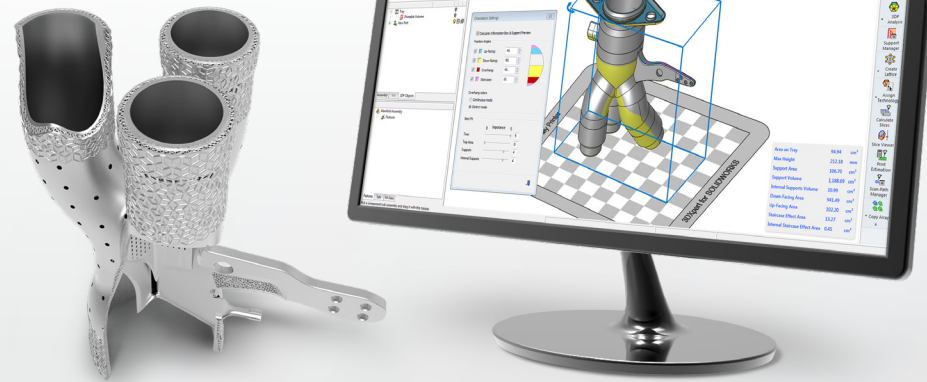
Vermeiden Sie Schrumpflinien, indem Sie das Teil so konstruieren oder ausrichten, dass Elemente beim Aufbau in Z-Richtung nicht konvergieren, sondern divergieren.

Vorhersage von Schrumpflinien mit der Software 3DXpert®

3DXpert ist eine integrierte All-in-One-Software für den gesamten Workflow der additiven Fertigung, die eine ultimative Kombination aus Automatisierung und vollständiger Kontrolle durch den Benutzer bietet.

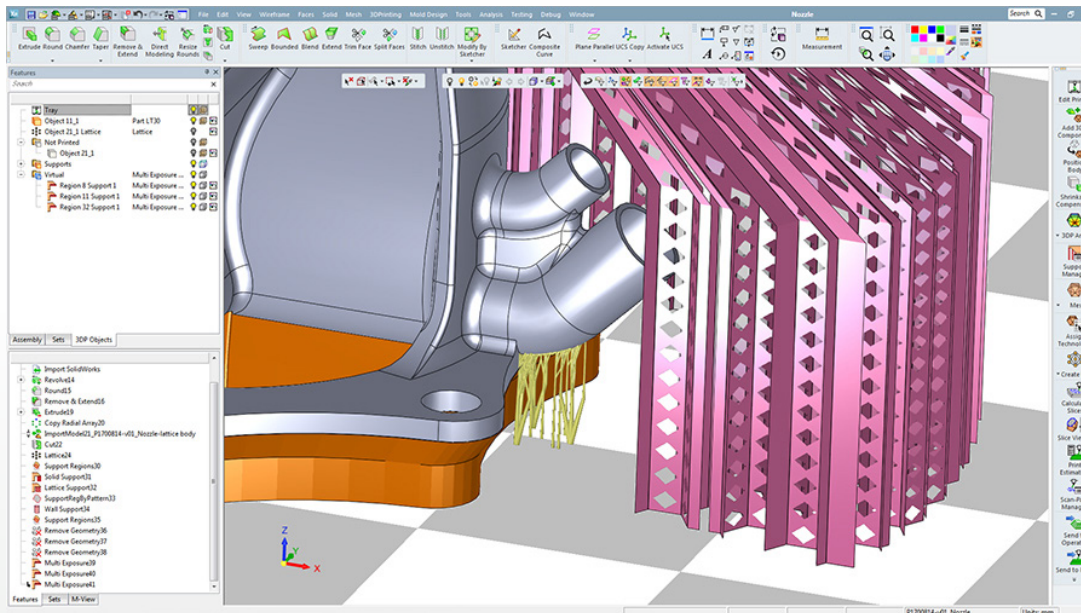
Die Simulationswerkzeuge in 3DXpert ermöglichen es Anwendern, effektiv vorherzusagen, wo und wie Verschiebungen an einem Teil auftreten können, damit für das gewünschte Ergebnis Stützstrukturen optimal platziert werden können.

3DXpert ermöglicht außerdem die Minimierung von Handarbeit durch die Verwendung von kompensierten Modellen, bei denen die Software prognostizierten Verformungen entgegenwirkt, um den idealen Zustand zu erreichen.



Stützstrukturen

Für die Wärmeübertragung ist eine geeignete Stützstruktur erforderlich, um Verformung zu verhindern, Schlackenbildung zu minimieren und Schrumpflinien zu reduzieren.



Es gibt eine Vielzahl möglicher Stützstrukturen.

Hier sind einige Beispiele:



Wandstützen



Volumenkörperstützen



Gitterstützen



Feste Wand



Kegelstützen



Manueller Kegel



Seitenstütze (Schürze)

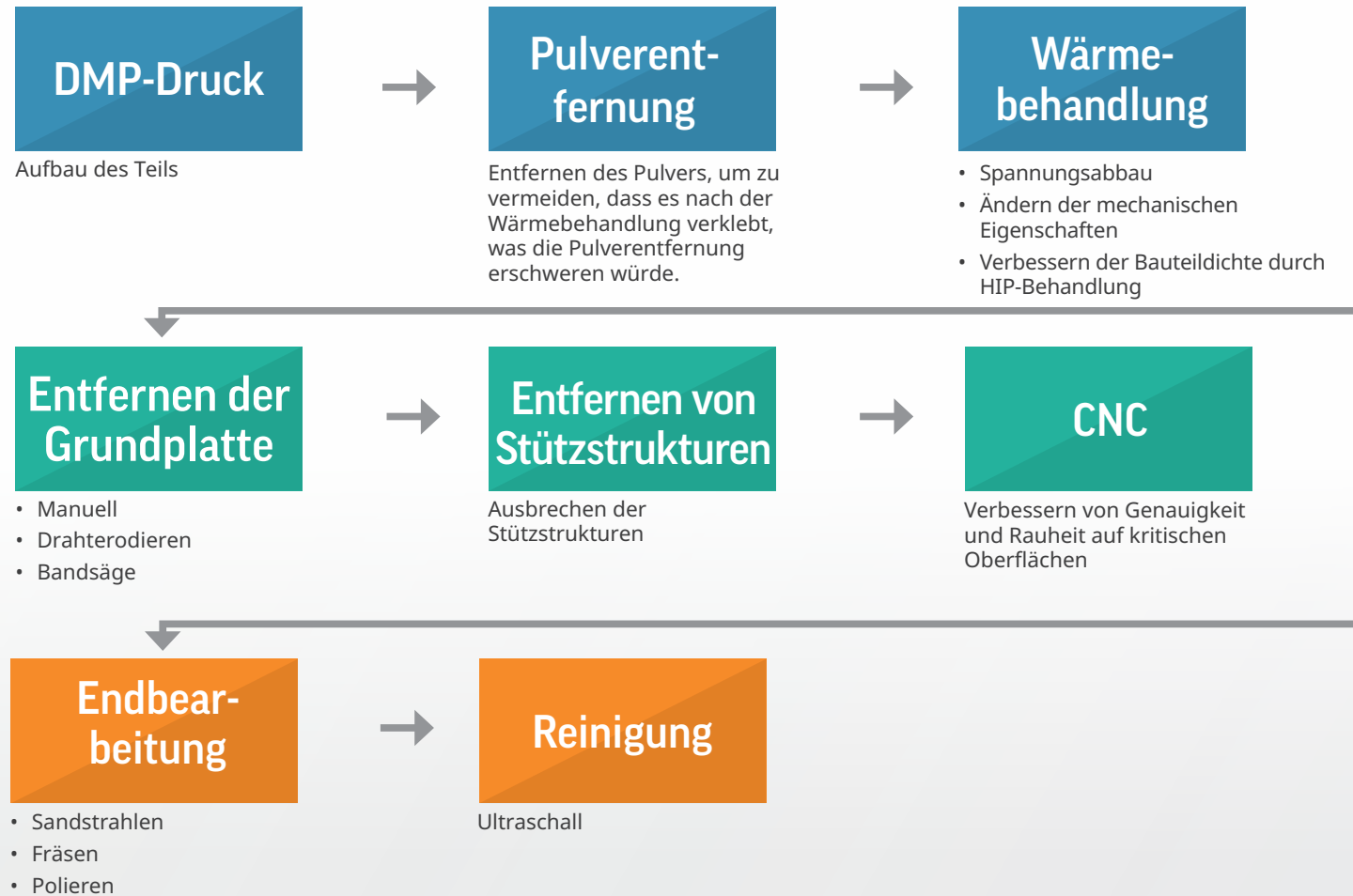


Mehrfachbelichtung

Nachbearbeitung



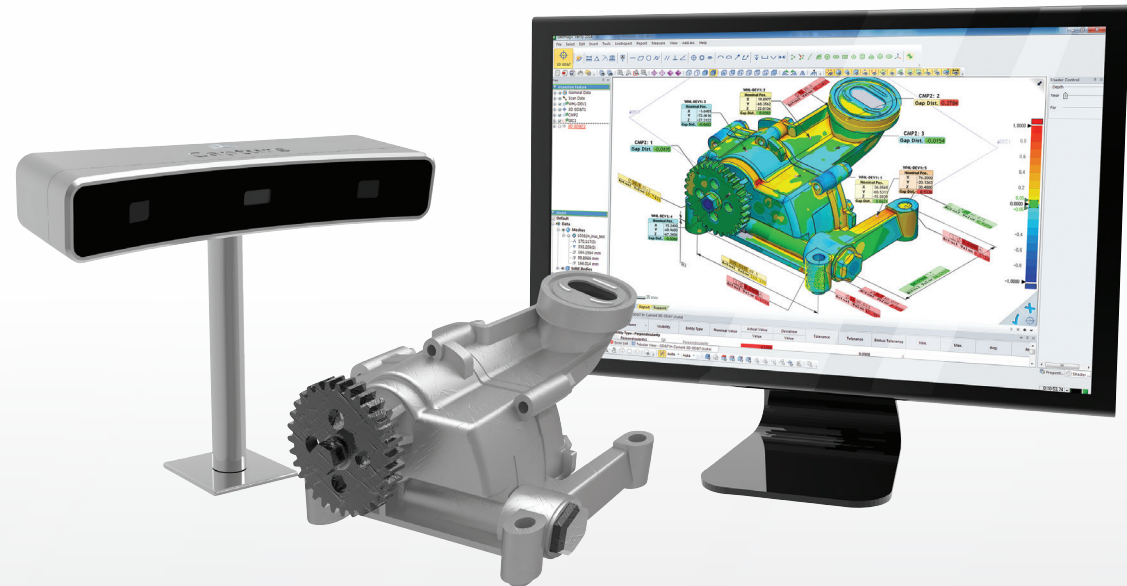
Typischer Prozessablauf*

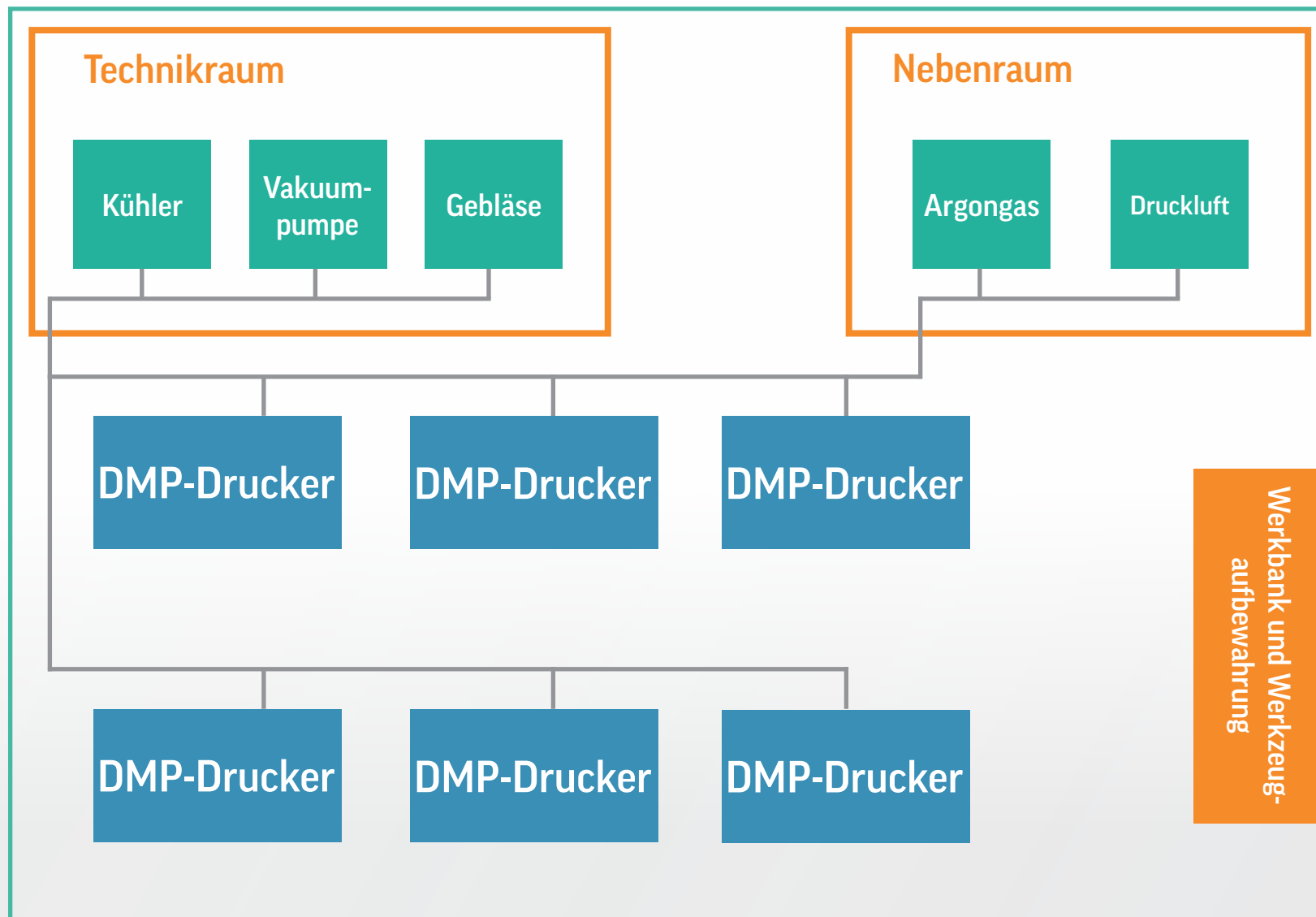


*Dieser Arbeitsablauf dient der Veranschaulichung und ist nicht vollständig. Zusätzliche Nachbearbeitungsvorgänge ähnlich wie andere Produktionstechniken für ähnliche Materialien sind möglich, erfordern jedoch möglicherweise eine Feinabstimmung durch einen Experten in der additiven Fertigung.

Zusätzliche Nachbearbeitungsoptionen

- Beschichtung von Teilen
- Allgemeine Qualitätsprüfungen:
 - Röntgen zur Überprüfung der internen Kanäle
 - Optischer Scan zur Überprüfung der Maßhaltigkeit
 - Geomagic-Software kann auf Grundlage von Scandaten eine Verformung nach dem Bauvorgang anzeigen
 - 3DXpert kann vorhersagen, welche Verformungen nach dem Bauvorgang entstehen und diese kompensieren





DMP-Sicherheit

Wie jeder Herstellungsprozess erfordert auch der Direktmetalldruck Sicherheitsausrüstung.

Persönliche Schutzausrüstung (PSA), die beim Arbeiten mit Metallpulvern erforderlich ist:

- Masken und Atemschutzgeräte
- Augenschutz
- Nitrilhandschuhe
- Kopfabdeckung
- Schuhe: antistatische, leitfähige Sohlen, Sicherheitskappe
- Antistatische oder leitfähige Oberbekleidung (Overalls)
- Gehörschutz je nach gemessenem dB-Pegel

Ordentliches Haushalten

Auch die Aufrechterhaltung einer sauberen Arbeitsumgebung ist ein wichtiger Faktor für die Sicherheit beim Drucken mit Metallen. Durch eine regelmäßige Reinigung kann sichergestellt werden, dass gefährliche Staubkonzentrationen vermieden werden. Einige Beispiele für ordentliches Haushalten sind u. a.:

- Verwenden Sie nach jedem Gebrauch einen Nassabscheider und einen explosionsgeschützten Staubsauger, um mögliche Staubwolken zu vermeiden
- Verwenden Sie eine Bodenreinigungsmaschine am Ende jeder Arbeitsschicht, um Staubansammlungen zu vermeiden
- Verwenden Sie ein Staubabsaugsystem zur Entfernung von Staub in der Luft
- Wischen Sie die Module nach jedem Gebrauch mit reinem Ethanol ab

Zusätzliche Sicherheit

Feuerlöscher

Die Einrichtung muss über einen Feuerlöscher der Klasse D oder trockenen Sand oder Salz und eine Löschdecke im Arbeitsbereich verfügen. Erwägen Sie auch, für nicht metallische Brände ein tragbares Gerät für den ABC-Schutz zur Hand zu haben.

Raumbelüftung

Beim Vorbereiten, Be- und Entladen wird Argongas an den Arbeitsplatz abgegeben. Beim Reinigen der Maschine können Pulverpartikel/ Staub in die Luft gelangen. Es wird empfohlen, Sauerstoffüberwachung für Räume und Personal einzusetzen.

Abfallentsorgungsbereiche

Für die Abfallentsorgung müssen geschlossene Metallbehälter zur Verfügung stehen. Diese Behälter sollten in einer geschlossenen Umgebung außerhalb der Produktionsanlage gelagert werden.

DMP-Drucker



DMP FACTORY 500

Skalierbare additive Metallfertigung für nahtlose große Bauteile

- Bauvolumen 500 mm x 500 mm x 500 mm
- Integriertes Pulvermanagement
- Konsistente Umgebung mit geringem O₂-Anteil
- Intelligente, nahtlose Teilefertigung
- Skalierbare Fertigung für die Produktion
- Mehrere Materialien

Zubehör

- Depowdering-Modul (DPM)
- Pulver-Recycling-Modul (PRM)
- Aufbewahrungsmodul (PAM)
- Transportmodul (TRM)
- Abnehmbares Druckmodul (RPM)



DMP FLEX 350 UND DMP FLEX 350 DUAL

Robuste, vielseitige 3D-Metalldrucker für die Teileproduktion rund um die Uhr

- Bauvolumen 275 mm x 275 mm x 420 mm
- Schneller, einfacher Materialwechsel
- Konsistente Umgebung mit geringem O₂-Anteil
- Hoher Durchsatz, hohe Wiederholbarkeit
- Mehrere Materialien

Zubehör

- Abnehmbares Druckmodul (RPM)
- RPM-Transportwagen



DMP FACTORY 350 UND DMP FACTORY 350 DUAL

Skalierbare, hochwertige additive Metallfertigung mit integriertem Pulvermanagement

- Bauvolumen 275 mm x 275 mm x 420 mm
- Integriertes Pulvermanagement
- Konsistente Umgebung mit geringem O₂-Anteil
- Hoher Durchsatz, hohe Wiederholbarkeit
- Spezialmaterial

Zubehör

- Kit zur Volumenreduzierung

DMP-Drucker



DMP FLEX 100

Erschwinglicher, präziser 3D-Metalldrucker für feinste Details und dünnste Wände

- Bauvolumen: 100 mm x 100 mm x 90 mm
- Feine Details/dünne Wände
- Unübertroffene Oberflächengüte
- Einzigartiges Roller-/Recoater-System
- Perfekte Schichten mit fast jedem Pulver
- Spezialmaterial



DMP FLEX 200

Professioneller und präziser 3D-Metalldrucker mit 500-W-Laserquelle

- Bauvolumen: 140 mm x 140 mm x 115 mm
- Einfaches Laden und Reinigen
- Hohe Leistung bei geringeren Kosten
- Feine Details/dünne Wände
- Unübertroffene Oberflächengüte
- Einzigartiges Roller-/Recoater-System
- Perfekte Schichten mit fast jedem Pulver
- Spezialmaterial

Zubehör

- Kit zur Volumenreduzierung

Titan



LaserForm Ti Gr5 (A)

Hohe Festigkeit, geringes Gewicht, hervorragende Biokompatibilität



LaserForm Ti Gr23 (A)

Hohe Festigkeit, geringes Gewicht, hervorragende Biokompatibilität, weniger Sauerstoff als Gr5



LaserForm Ti Gr1 (A)

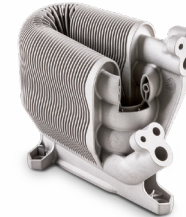
Hohe Festigkeit, biokompatibel, extreme Temperatur- und Korrosionsbeständigkeit

Edelstahl



LaserForm 316L (A)

Sterilisierbar und hoch korrosionsbeständig



LaserForm 316L (B)

Sterilisierbar und hoch korrosionsbeständig



LaserForm 17-4PH (A)

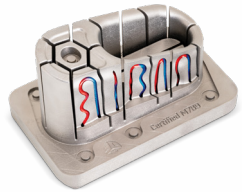
Hervorragende Korrosionsbeständigkeit, hohe Festigkeit bei guter Zähigkeit



LaserForm 17-4PH (B)

Hervorragende Korrosionsbeständigkeit, hohe Festigkeit bei guter Zähigkeit

Maraging-Stahl



Certified M789 (A)
Kobaltfreier, hochfester
Werkzeugstahl mit hervorragender
Korrosionsbeständigkeit



LaserForm Maraging Steel (A)
Hervorragende Härte und Festigkeit,
hohe Verschleißfestigkeit



LaserForm Maraging Steel (B)
Echter Werkzeugstahl (1.2709),
hohe Festigkeit und Härte

Kobalt-Chrom



LaserForm CoCrF75 (A)
Hochgradige Beständigkeit
gegenüber Korrosion, Abrieb
und Hitze; biokompatibel



LaserForm CoCr (B) oder (C)
Sehr korrosionsbeständig, geeignet
für biomedizinische Anwendungen

Aluminiumlegierung



Certified Scalmalloy (A)

Hochfestes Aluminium mit ausgezeichneter Korrosionsbeständigkeit



LaserForm AlSi7Mg0.6 (A)

Leicht, gute mechanische Eigenschaften und verbesserte Wärmeleitfähigkeit



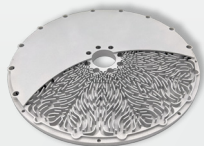
LaserForm AlSi10Mg (A)

Gute mechanische Eigenschaften und gute Wärmeleitfähigkeit



LaserForm AlSi12 (B)

Metallpulver für leichte Teile mit guten thermischen Eigenschaften



A6061-RAM2 (A)

Verbesserte Festigkeit, Duktilität und Oberflächengüte im Vergleich zu AlSi10Mg

Nickel-Superlegierung



LaserForm Ni625 (A)

Hervorragende Korrosionsbeständigkeit, hohe Festigkeit und Hitzebeständigkeit



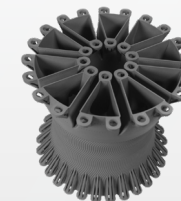
LaserForm Ni625 (B)

Hervorragende Korrosionsbeständigkeit, hohe Festigkeit und Hitzebeständigkeit



Laserform Ni718 (A)

Oxidations-, Korrosions- und extrem hohe Temperaturbeständigkeit



Certified HX

Hochleistungs-Nickellegierung für erhöhte Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit

Kupferlegierung



Certified Copper Nickel CuNi30 (A)

Kupfer-Nickel mit hervorragenden Materialeigenschaften für Stabilität und Korrosionsbeständigkeit in Salzwasser



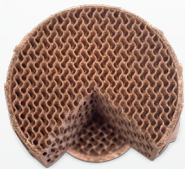
Certified Copper CuCr2.4 (A)

Hochleistungs-Kupferlegierung für Leitfähigkeit in Strukturteilen



Certified GRCop-42 (A)

Verbesserte Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit bei hohen Temperaturen im Vergleich zu reinem Cu



Certified CuCr1Zr (A)

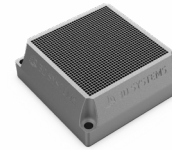
Standard-Kupferlegierung (>99 Gew.-% Cu), die gute Leitfähigkeit mit guten mechanischen Eigenschaften kombiniert



Certified Oxygen-Free Copper (A)

Beispiellose Leitfähigkeit dank extrem sauerstoffarmer Umgebung (DMP-Vakuumkammerarchitektur)

Hochschmelzende Metalle



Wolfram (A)

Reinmetall mit hoher Dichte und hervorragender Strahlungsabschirmung und hervorragender Korrosionsbeständigkeit

Wir sind für Sie da

Seit mehr als drei Jahrzehnten beweist 3D Systems seine Führungsrolle und Kompetenz und unterstützt Hersteller in einer Vielzahl von Branchen bei der Neudefinition ihrer Arbeitsabläufe und der Umsetzung der Vorteile der additiven Fertigung.

Wir sind bestrebt, die Entwicklung fortschrittlicher Anwendungen voranzutreiben. Von der Installation bis hin zur praktischen Schulung und Beratungsunterstützung ermöglichen Ihnen die Experten von 3D Systems einen schnellen und effektiven Übergang von der Prototypenerstellung bis hin zur Serienproduktion. Die Application Innovation Group von 3D Systems besteht aus einer engagierten Gruppe von Ingenieuren, Technikern und Designern, die Ihnen bei der Lösung Ihrer schwierigsten Aufgaben in Design und Produktion helfen können. Ob es darum geht, Qualifikationsdefizite zu ermitteln, die Leistung von Teilen zu verbessern oder Ihren Fertigungs-Workflow zu skalieren – wir stehen Ihnen in jeder Phase zur Verfügung, um unser professionelles Fachwissen für Ihre individuellen Ziele einzusetzen.



Entdecken

Strategische Beratung zur Ermittlung der Kundenbedürfnisse



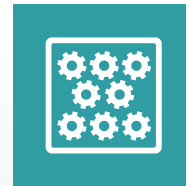
Erneuern

Gemeinsame Anwendungsentwicklung und Design for Additive Manufacturing (DfAM) für spezifische Anforderungen



Entwickeln

QS und Prozesscharakterisierung vom Vor-Prototyp bis zum Prototyp



Überprüfen

Schulung, Validierung und Zertifizierung



Entwickeln

Produktions- und Fertigungsservices



Maßstab

Aufwärtsskalierung und Technologietransfer

Was ist der nächste Schritt?

Unsere Experten unterstützen Sie gerne.
Setzen Sie sich noch heute mit uns in Verbindung—wir sind sofort für Sie da!

[Sprechen Sie mit einem Experten](#)