

Einsatzpotenzial additiver Fertigung im Werkzeug- und Formenbau

Dipl.-Ing. (FH) Mathias Gebauer, Dipl.-Ing. (FH) Markus Oettel, Dr.-Ing. Bernhard Müller
Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU



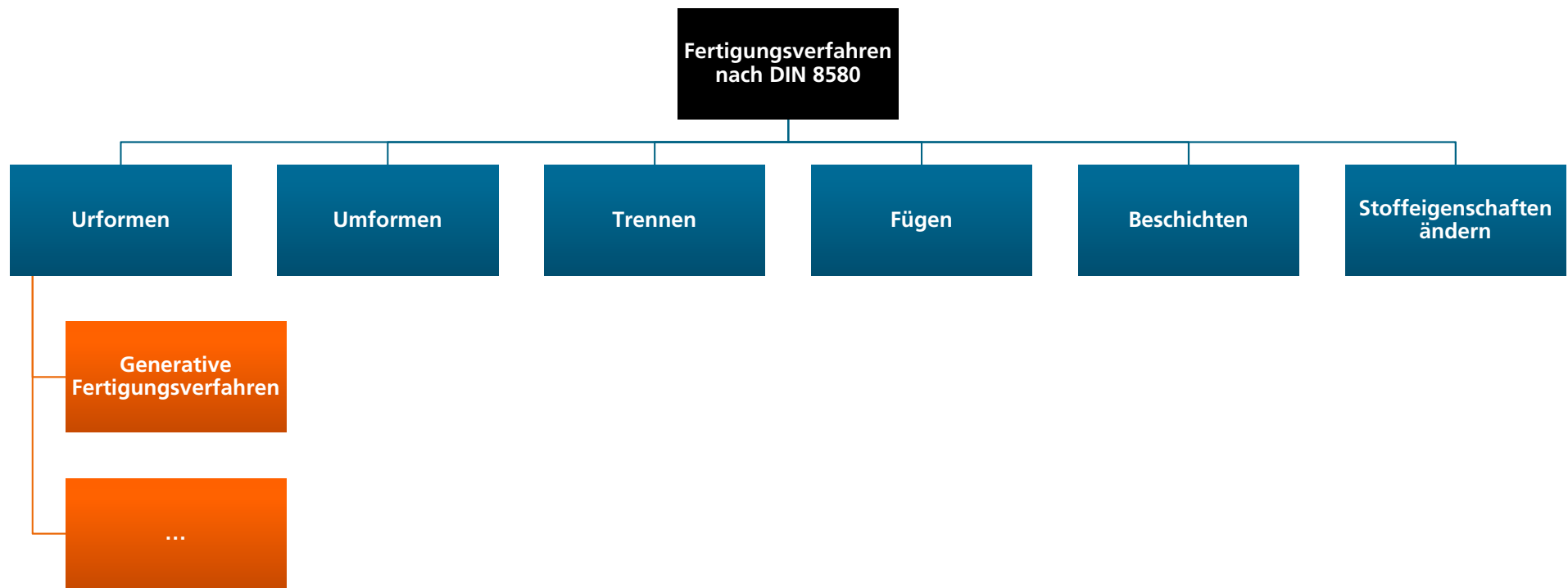
13. Netzwerkabend für Fachleute Messtechnik und Konstruktion, 20.03.2019, Leipzig

Gliederung

- Additive Fertigungsverfahren
 - Einordnung nach DIN 8580
 - Grundlagen und Begriffe
- Laserstrahlschmelzen
 - Verfahrensvorstellung
 - Prozesskette
 - Hybridbauweise
 - Werkstoffe für den Werkzeug- und Formenbau
- Funktionsintegration in Werkzeuge und Formen
 - Temperierung
 - Zellulare Strukturen
 - Sensor/ Aktorintegration
- Anwendungsbeispiele
 - Kunststoffspritzgießen
 - Druckgießen
 - Blechumformung
 - Massivumformung
- Entwicklungstrends

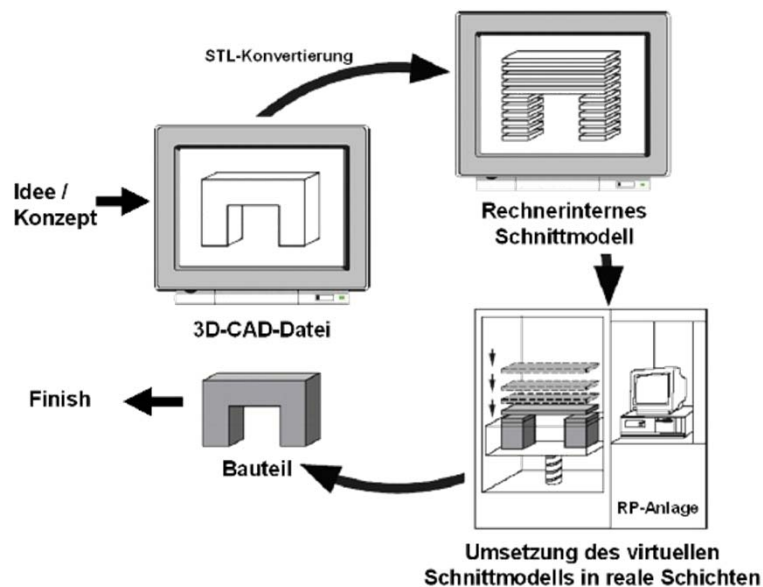
Additive Fertigungsverfahren

Einordnung nach DIN 8580



Additive Fertigungsverfahren

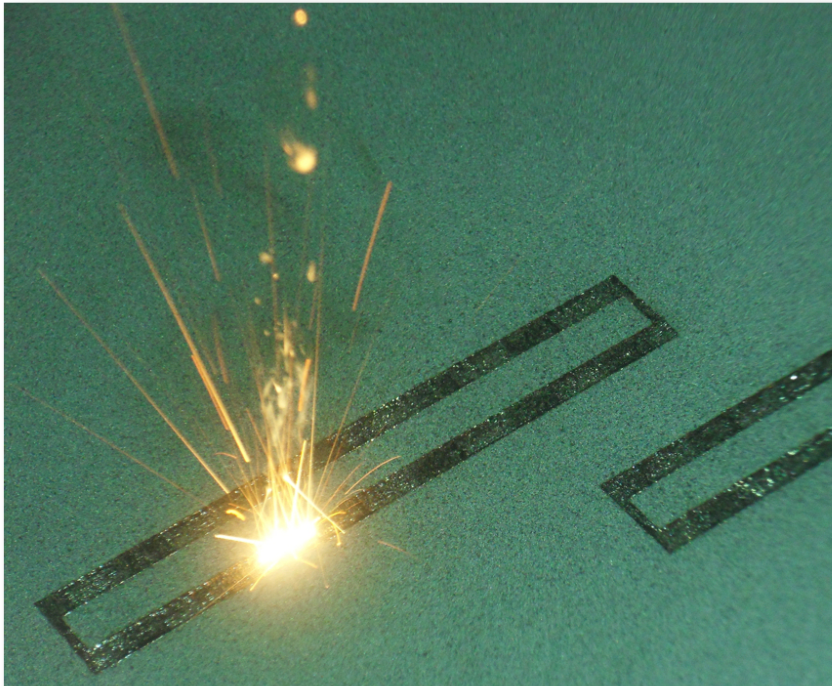
Grundlagen und Begriffe



Prinzipskizze generativer Fertigungsverfahren
(Quelle: Gebhardt, A.: Generative Fertigungsverfahren)

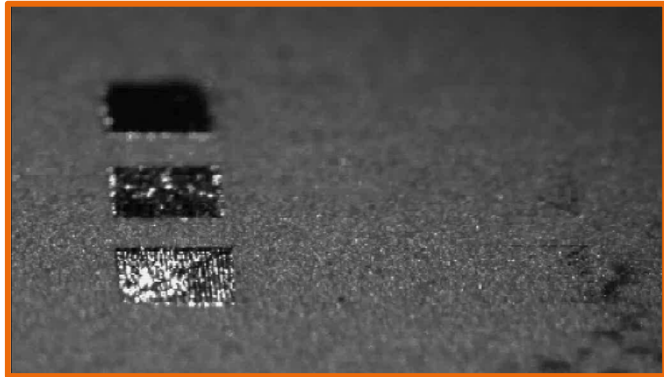
- **generativ** [aus dem Lateinischen]
– erzeugend, urformend; hier: aufbauende Verfahren, z. B. schichtweise, **additiv**
- **Rapid Prototyping (RP):**
generative Herstellung von Bauteilen mit eingeschränkter Funktionalität (Prototypen, Versuchsteile)
- **Additive Manufacturing (AM):**
generative Herstellung von Endprodukten/ Serienteilen (Konstruktion und Material entspricht dem des Endproduktes)
- **3D-Drucken:**
populäre Bezeichnung, die sich meist auf den Bereich der Low-Cost-Anlagen für den Heimgebrauch bezieht

Laserstrahlschmelzen

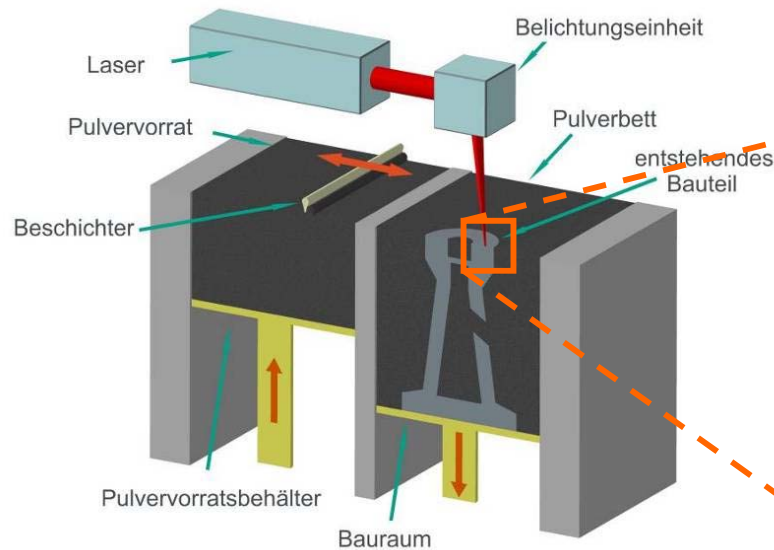


Laserstrahlschmelzen

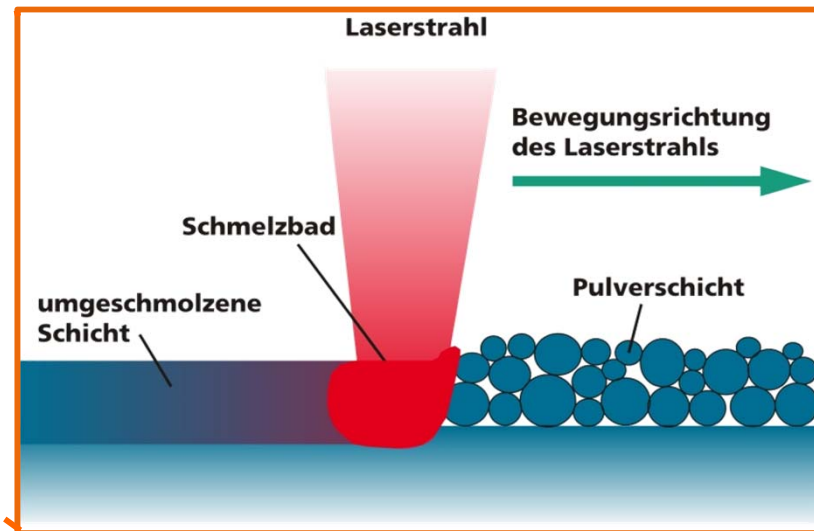
Verfahrensvorstellung



- **direktes Verfahren**, bei dem die gewünschten Teile in einem **einstufigen Prozess** im **metallischen Serienmaterial** entstehen (ggf. ist Entfernung von Stützstrukturen und Reinigung erforderlich)
- **vollständiges**, lokales **Aufschmelzen** von Metallpulvern zu einem 99,5 - 100 % dichten Gefüge

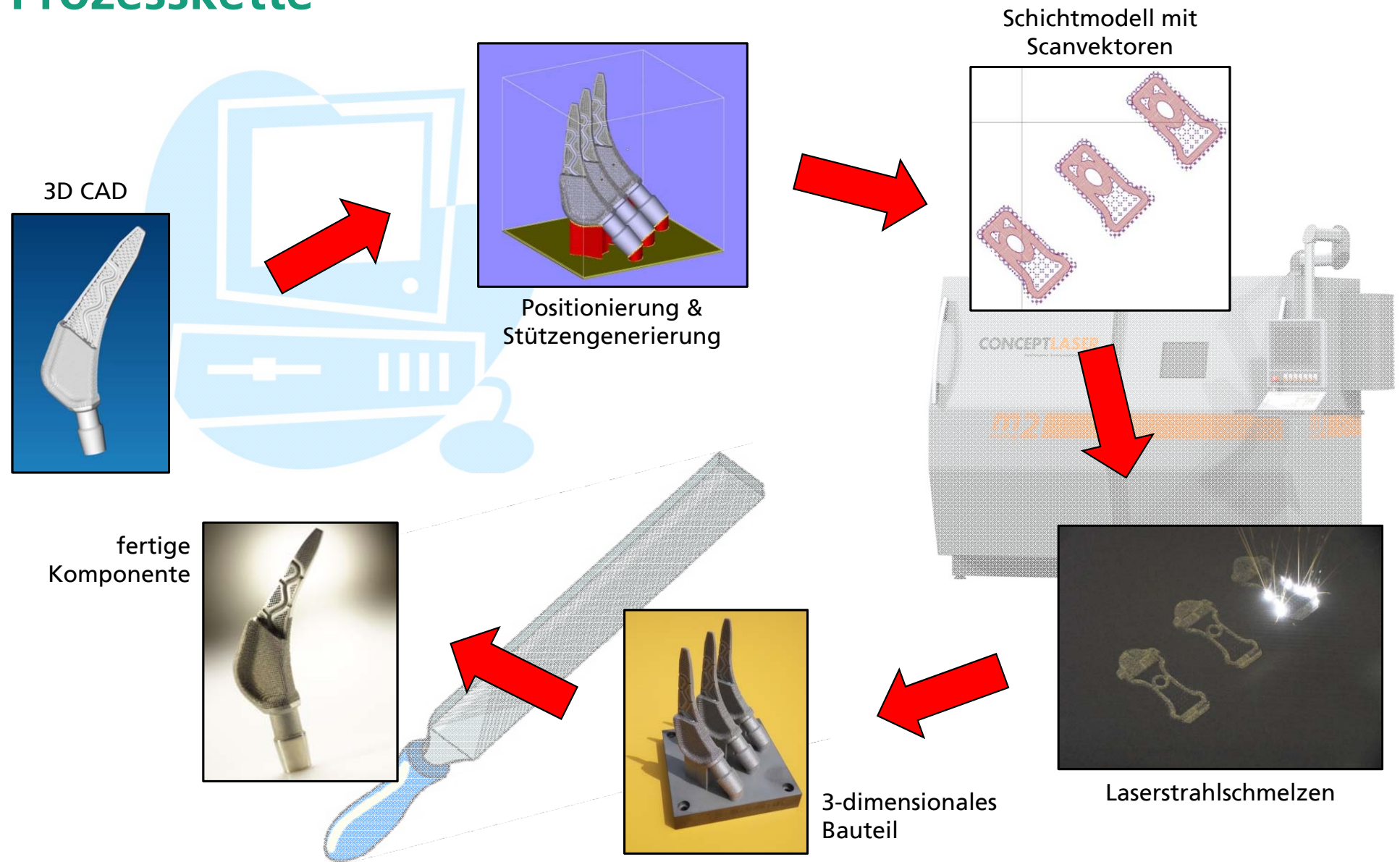


Funktionsprinzip einer Laserstrahlschmelzanlage



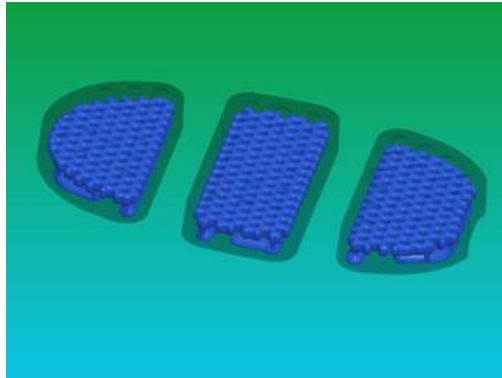
Laserstrahlschmelzen

Prozesskette



Laserstrahlschmelzen

Hybridbauweise

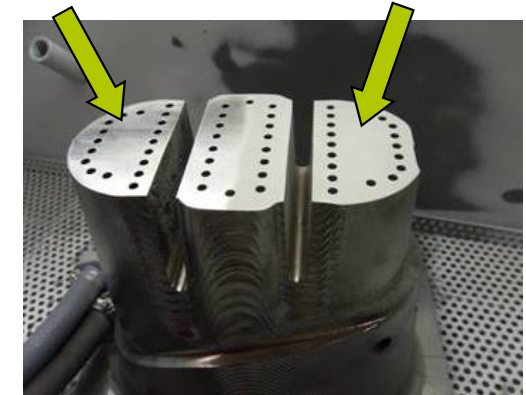


CAD-Modell der
Flächenkühlung

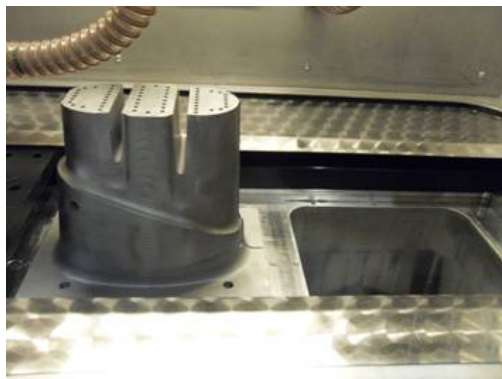


gefräster Grundkörper mit
Kühlbohrungen (vorgeschruppt)

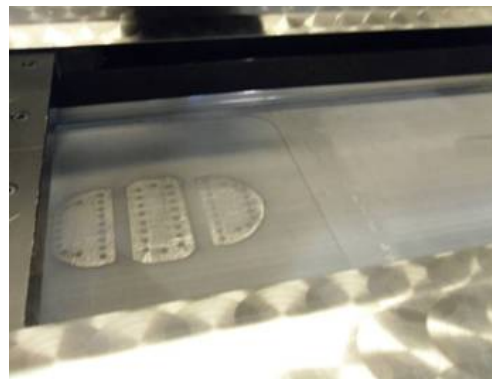
1. geschliffen 2. gestrahlt



Vorbereitung der
Verbindungsfläche



Ausrichten und Fixieren in der
Strahlschmelzanlage



Strahlschmelzanlage vorbereitet
→ fertig für Bauprozess



Werkzeugeinsatz mit Flächen-
kühlung → fertig für die
Schlichtbearbeitung

(Mit freundlicher Genehmigung vom Institute for Advanced Tooling IAT der Stellenbosch University, Südafrika)

Laserstrahlschmelzen

Werkstoffe und mechanische Kennwerte

Werkstoff	Zustand	Zugfestigkeit R_m [MPa]	Streckgrenze $R_{p0,2}$ [MPa]	Bruchdehnung A [%]	Härte	E-Modul [GPa]
Werkzeugstahl ¹ 1.2709 X3NiCoMoTi 18 9 5	wärmebehandelt (490 °C)	2.040 - 2.180	1.870 - 1.940	3 - 5	54 - 56 [HRC]	
Werkzeugstahl (rostfrei) Corrax®	wärmebehandelt (525 °C)	1.700	1.600	> 2	48 - 50 [HRC]	
Edelstahl 1.4404 X2CrNiMo 17-12-2	wie gebaut	640	500	> 15	20 [HRC]	
Titan ⁴ 3.7165 TiAl6V4	wärmebehandelt	950 - 1.250	800 - 1.100	10 - 20	32 - 36 [HRC]	
Aluminium ² 3.2381 AlSi10Mg	wie gebaut lösungsgeglüht T6 wärmebehandelt	353 - 482 221 - 260 281 - 320	210 - 295 126 - 160 222 - 262	2 - 7 10 - 18 5 - 10	95 - 119 [HB] 63 - 74 [HB] 85 - 101 [HB]	67 - 78 57 - 73 69 - 80
Inconel 718 ³ 2.4668 NiCr19NbMo	wie gebaut lösungsgeglüht T6 wärmebehandelt	929 - 1308 896 - 1080 1334 - 1545	583 - 945 549 - 922 924 - 1278	20.2 - 32.7 31.9 - 42.2 6.6 - 19.4	280 - 395 [HV 10] 273 - 320 [HV 10] 453 - 485 [HV 10]	128 - 232 142 - 257 149 - 242

**weitere Werkstoffe: CoCr, 17-4 PH,
AlSi12, Hastelloy X**

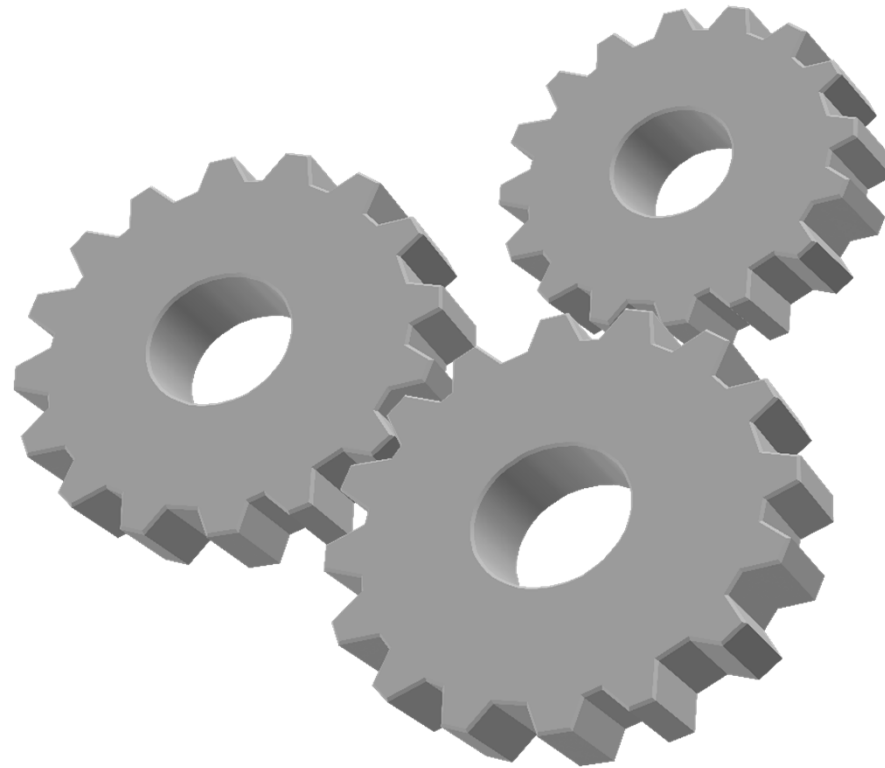
¹ Kennwerte lt. VDI 3405 Blatt 2

³ VDI 3405 Blatt 2.2

² VDI 3405 Blatt 2.1

⁴ VDI 3405 Blatt 2.4 in Vorb.

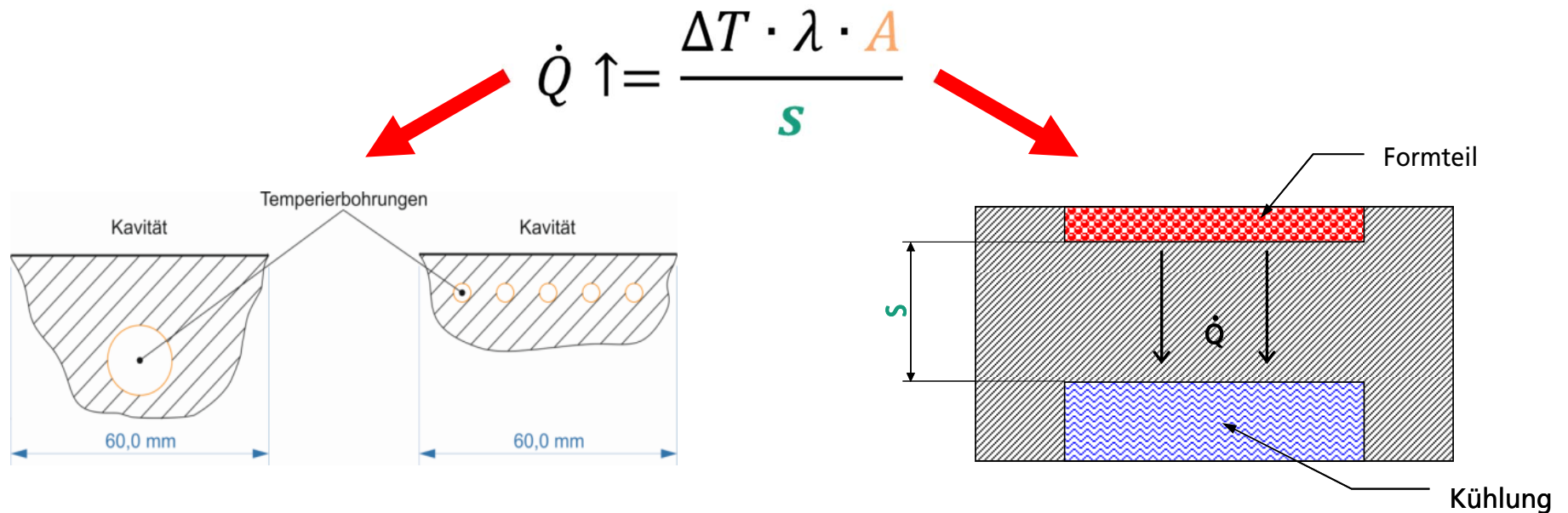
Funktionsintegration in Werkzeuge und Formen



Funktionsintegration in Werkzeuge und Formen

Temperierung

- Einfluss des Kanalabstands s (Haupteinfluss) und der Kanaloberfläche A

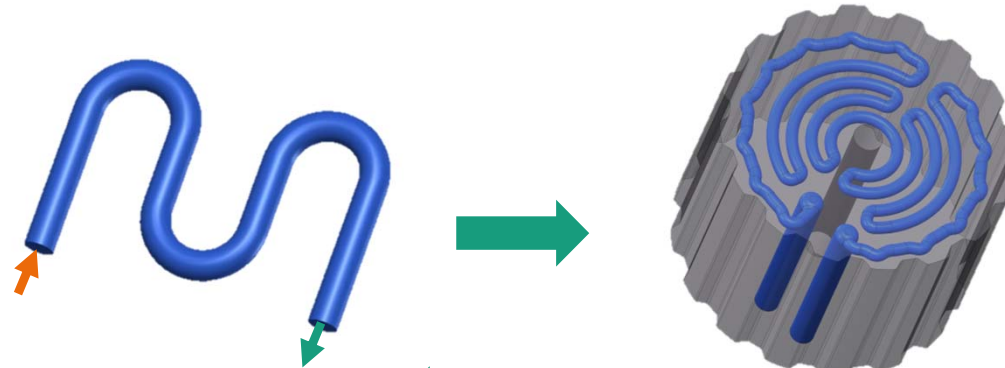


- mit größerer Kanaloberfläche wird ein höherer Wärmestrom $\dot{Q}$ übertragen
 - Prozesszeit sinkt
- wird der Abstand s reduziert, steigt der Wärmestrom $\dot{Q}$
 - Prozesszeit sinkt

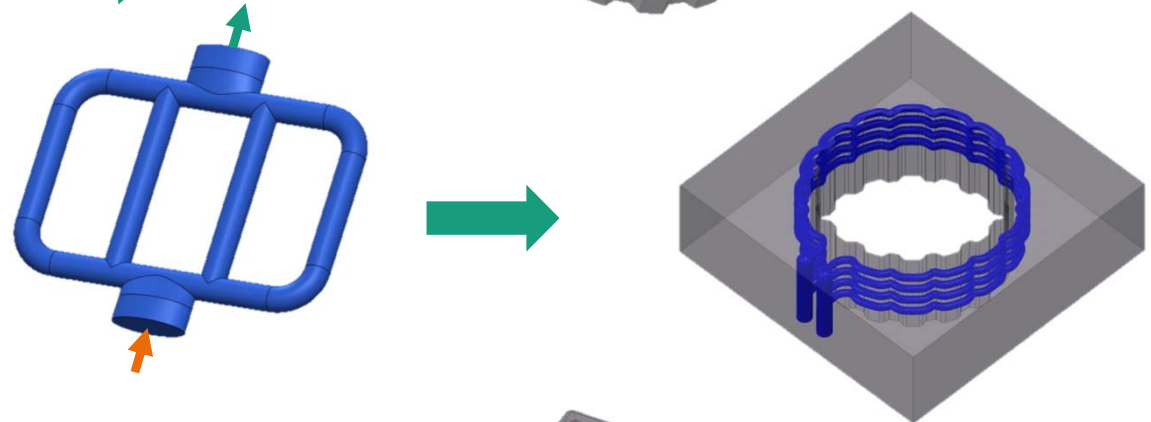
Funktionsintegration in Werkzeuge und Formen

Temperierung

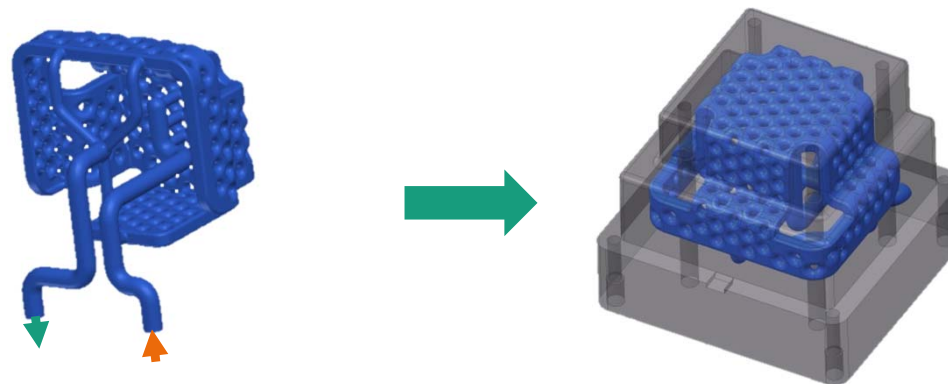
Serieller Kreislauf



Paralleler Kreislauf



Flächenkühlung

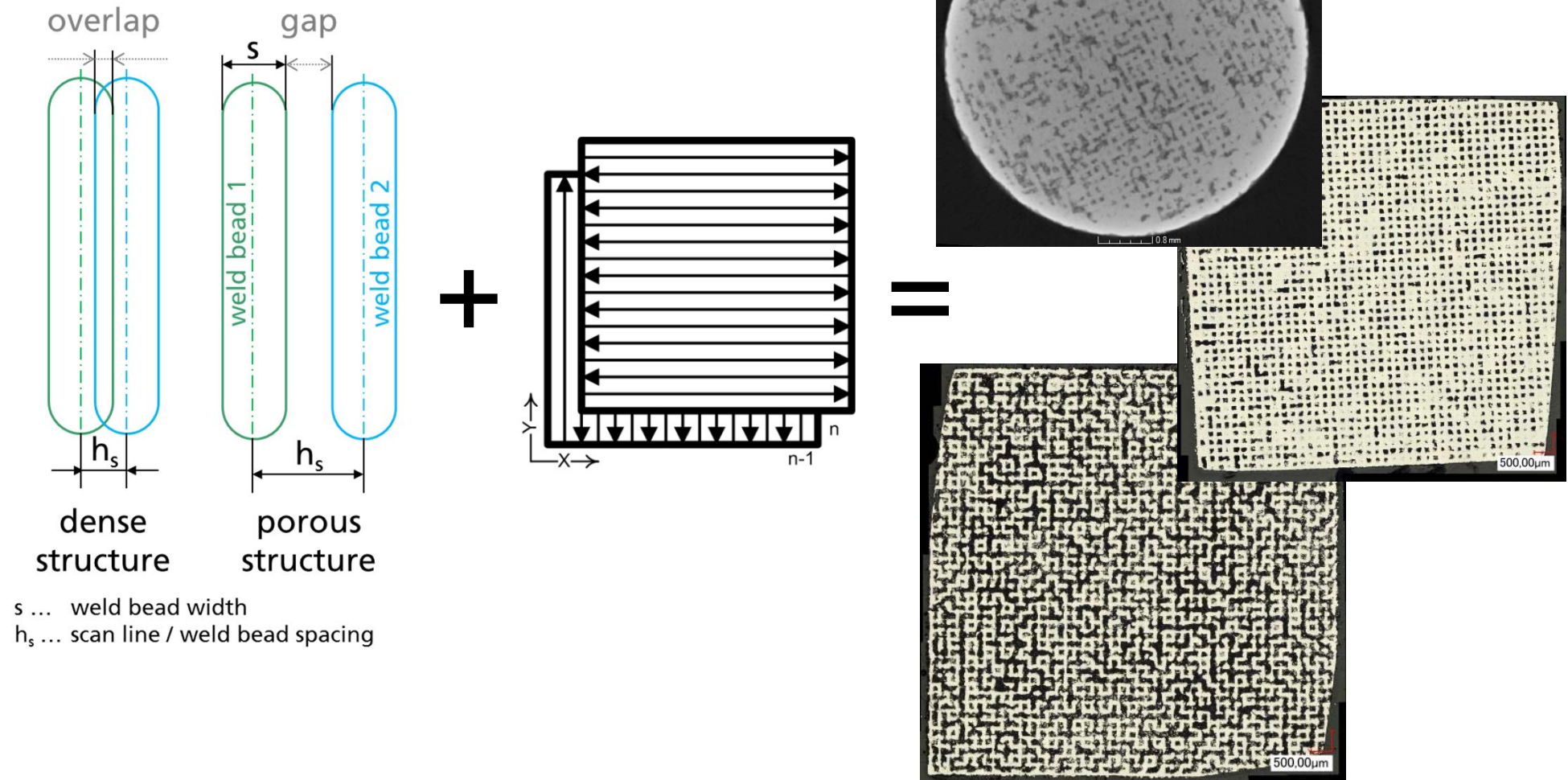


Zulauf/ Rücklauf

Funktionsintegration in Werkzeuge und Formen

Zellulare Strukturen

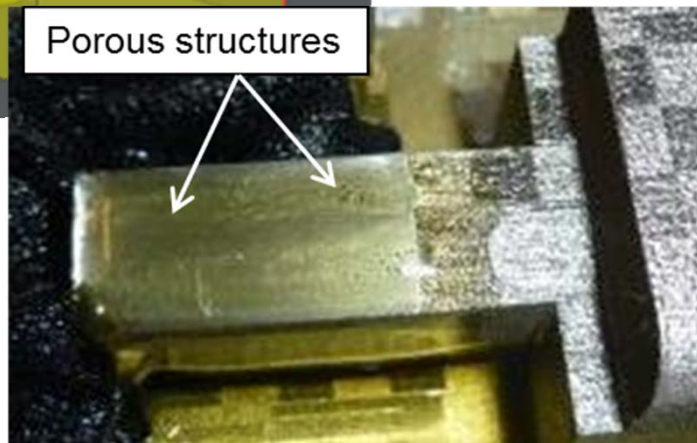
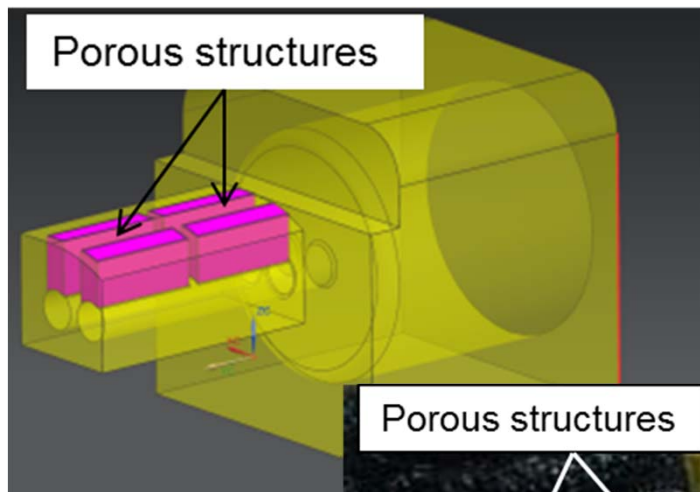
- als Formentlüftung



Funktionsintegration in Werkzeuge und Formen

Zellulare Strukturen

- zur Schmiermittelzufuhr

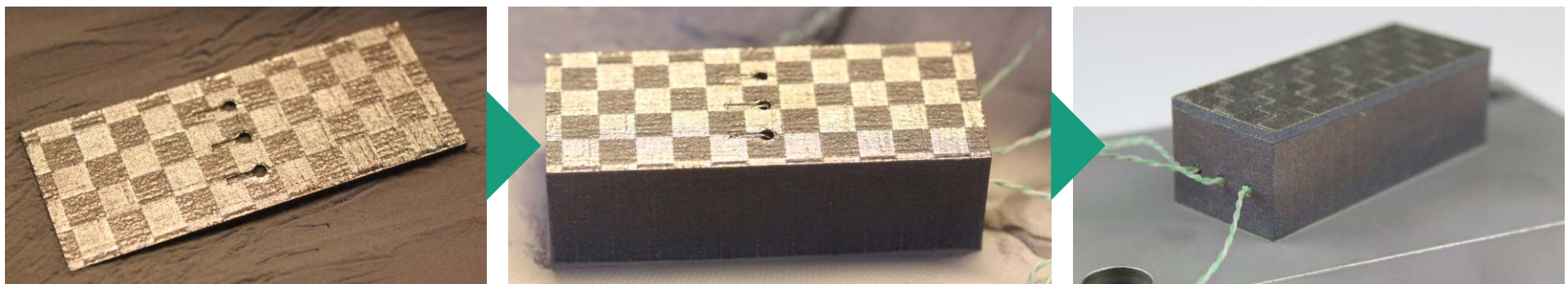
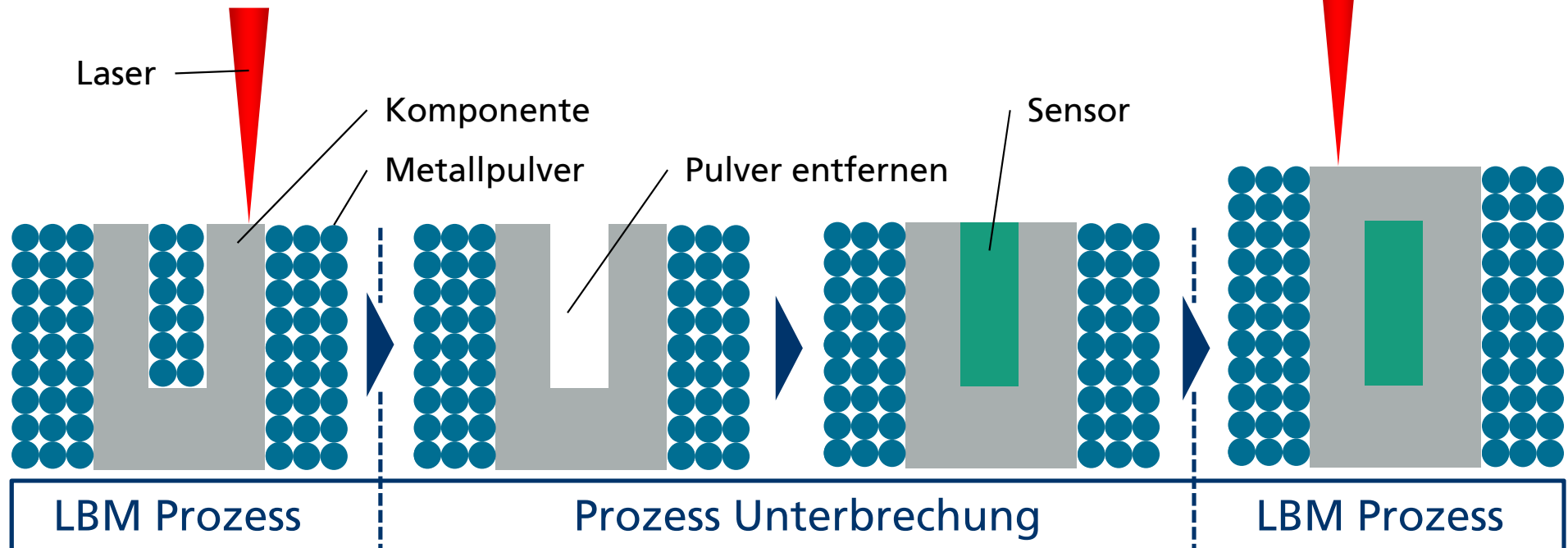


(Quellen: Stoll, Philipp: Gute Poren - Erwünschte Porosität in SLM-Werkstücken. Rapid.Tech 2015, Erfurt, 10. - 11.06.2015)

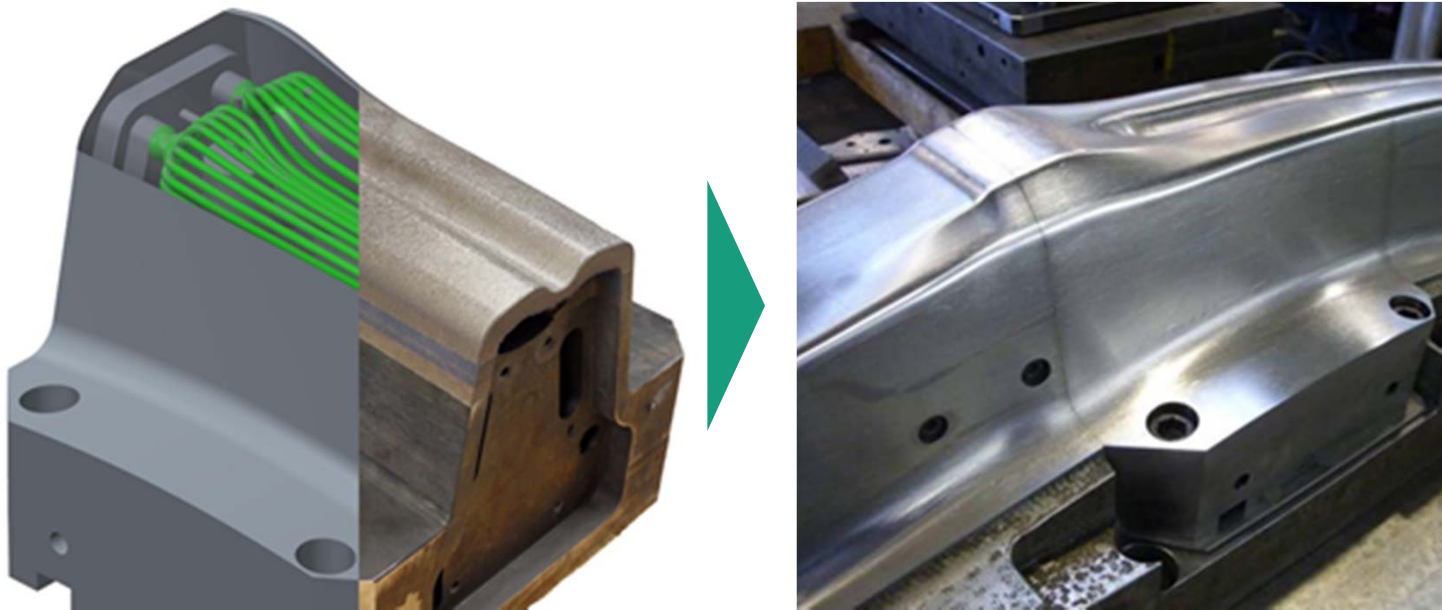
Funktionsintegration in Werkzeuge und Formen

Sensor/ Aktorintegration

- bspw. Konturnahe Integration von Temperatursensoren



Funktionsintegration in Werkzeuge und Formen – Anwendungsbeispiele

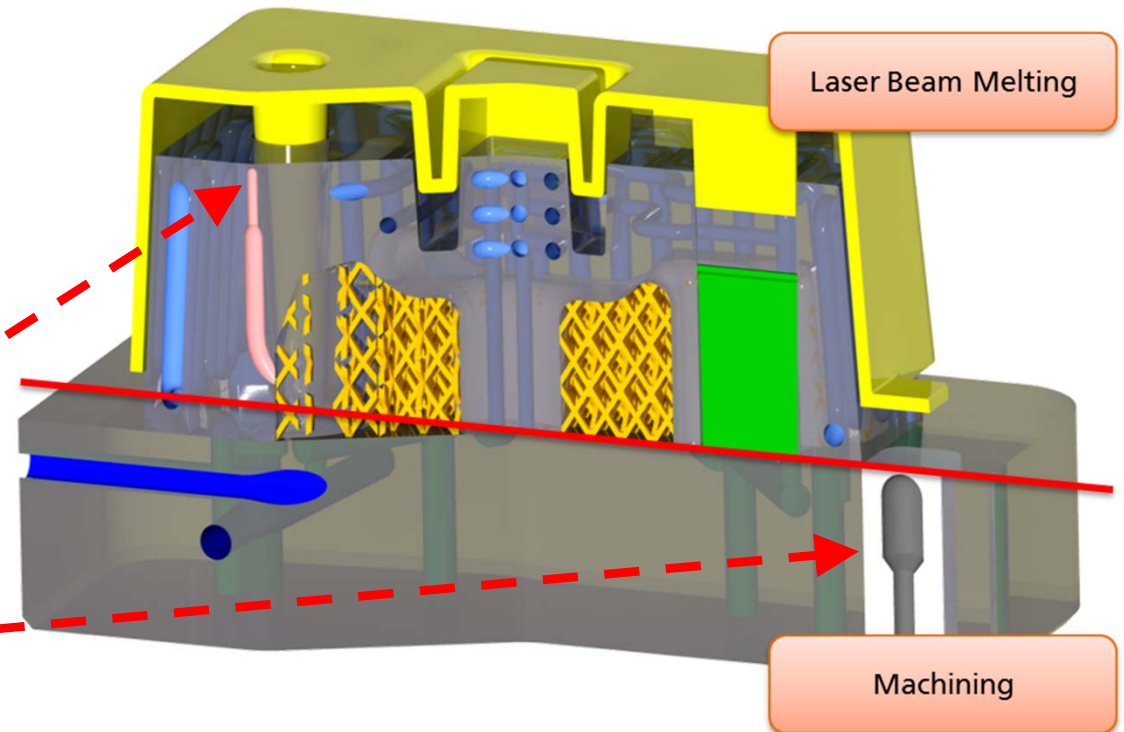


Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

Kunststoffspritzgießen

Gestaltung

- “Leichtbau” zur Volumen- und Kostenreduzierung
- Hybridbauweise
 - gefräster Grundkörper
 - additive Funktionsgeometrie
- poröse Struktur zur Entlüftung
- Integration von Temperaturfühler und Drucksensor

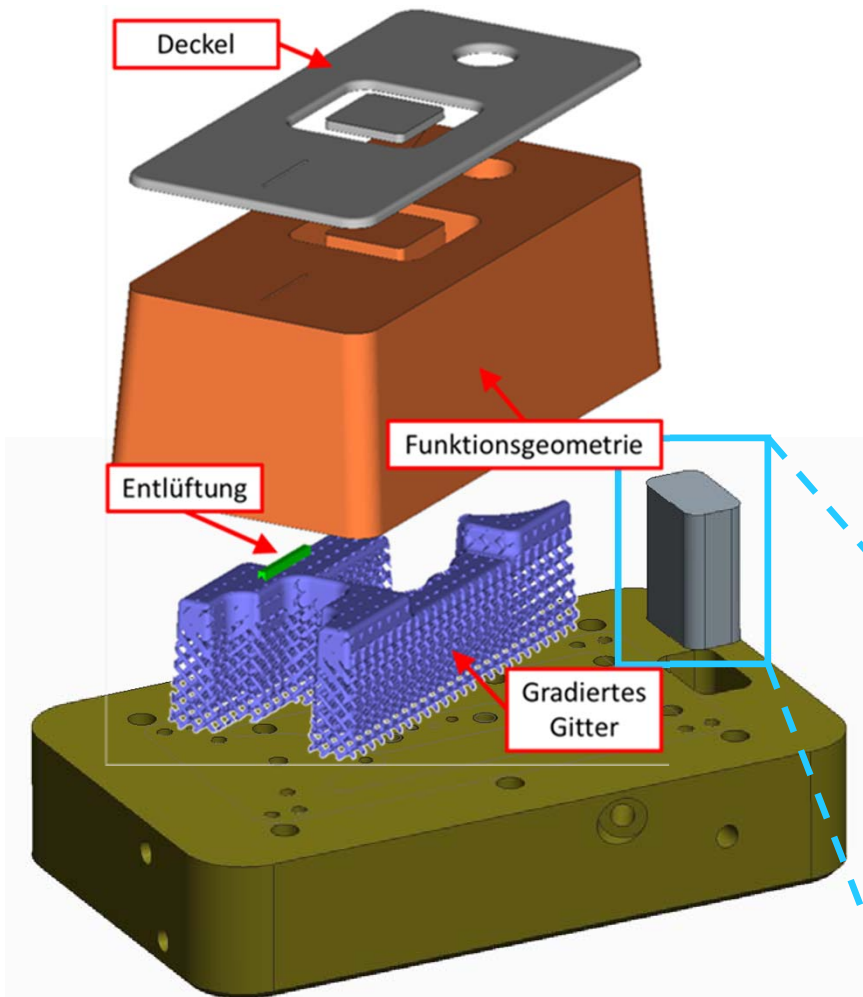


CAD-Modell Spritzgießwerkzeug “FunGeoS”

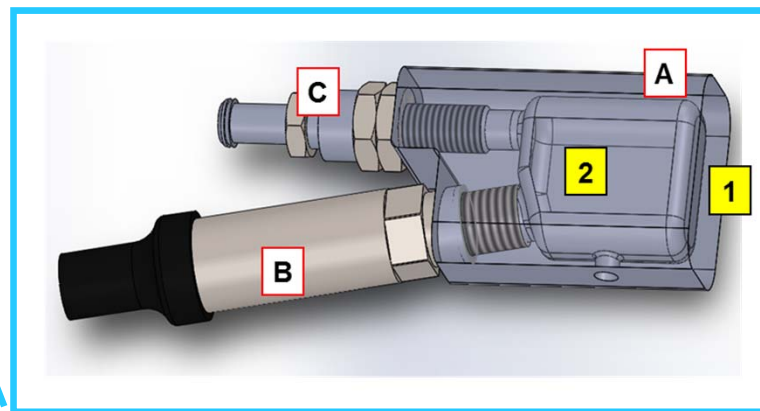
Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

Kunststoffspritzgießen

Fertigungsstrategie



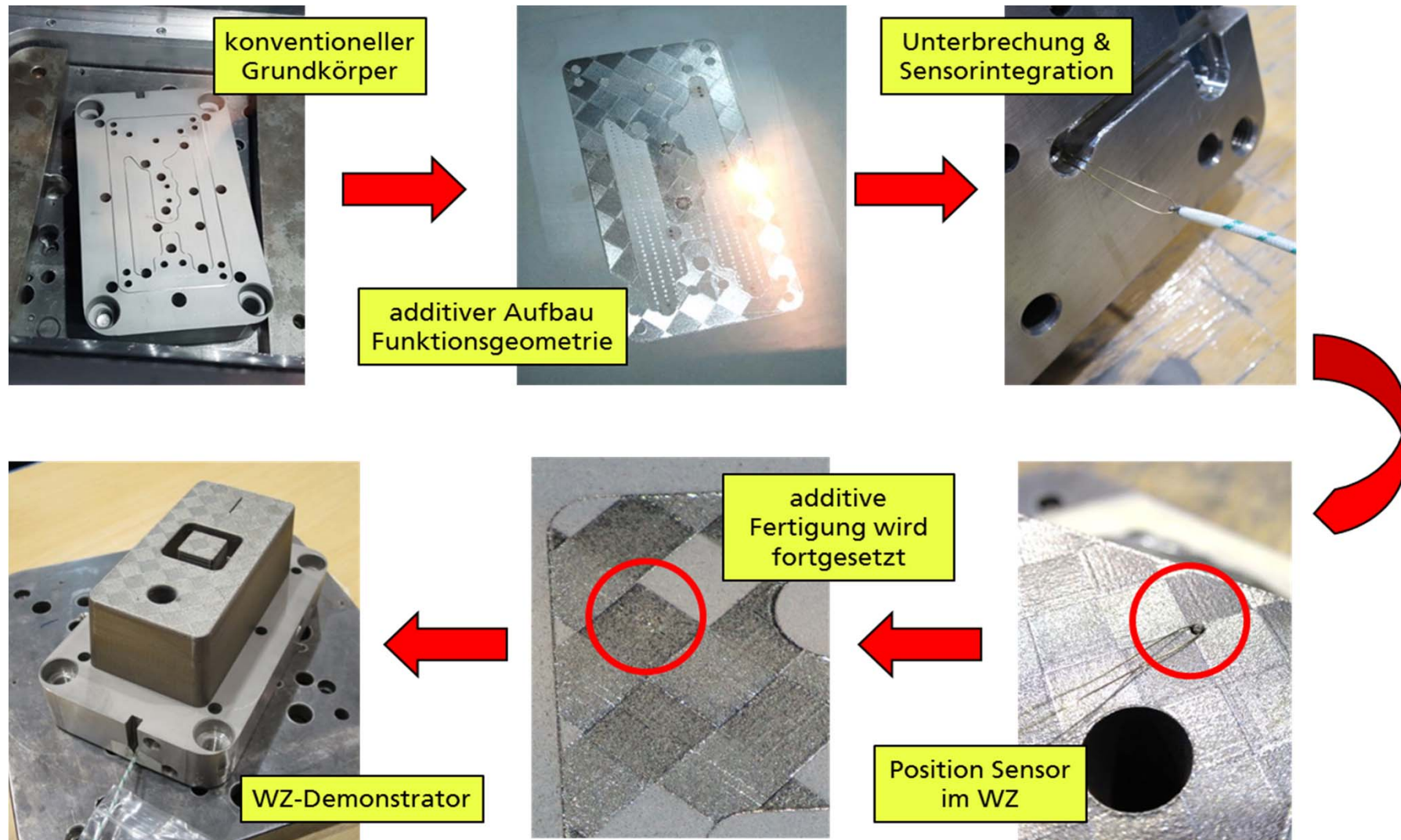
- Einzelsegmente für individuelle Parameter
- Gitter ohne Konturfahrt zur Sprungzeitminimierung
- Funktionsstruktur und Deckel mit besonders dichten Parametern
- Parameter für poröse Strukturen zu Formentlüftung
- (Medien)-Drucksensor vorerst als separater Einsatz



- [A] Einsatz mit
[1] Membran und
[2] Reservoir
[B] elektronischer
Drucksensor
[C] Entlüftungsventil

Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

Kunststoffspritzgießen

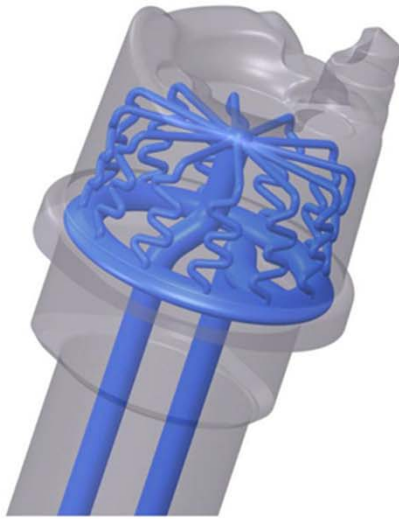


Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

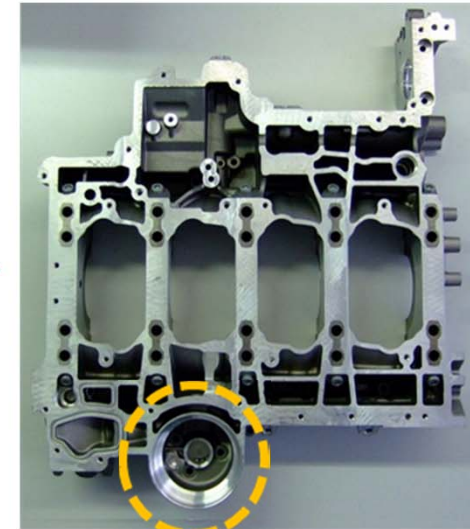
Druckgießen

Motivation:

- kritische Porositäten im Bereich des Ölfiltergehäuses einer Lagertraverse (V8 Motor)



Werkzeugeinsatz mit konturnaher Kühlung



Fertigteil

Lösung:

- laserstrahlgeschmolzener Werkzeugeinsatz mit konturnaher Kühlung in Hybridbauweise

Ergebnisse:

- weniger Hotspots → weniger Porosität (- 50 %) → weniger Ausschuss → geringere Kosten
- Reduzierung der Zykluszeit → höhere Produktivität

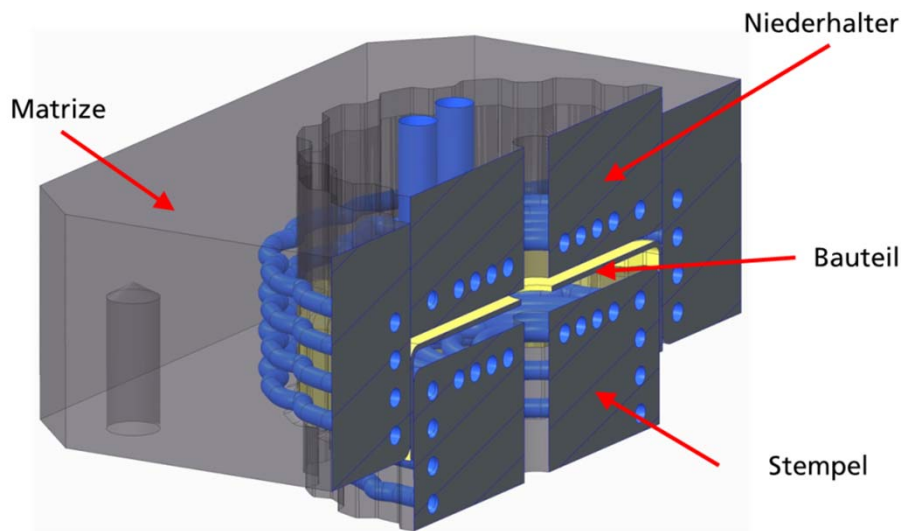
Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

Blechumformung (warm)

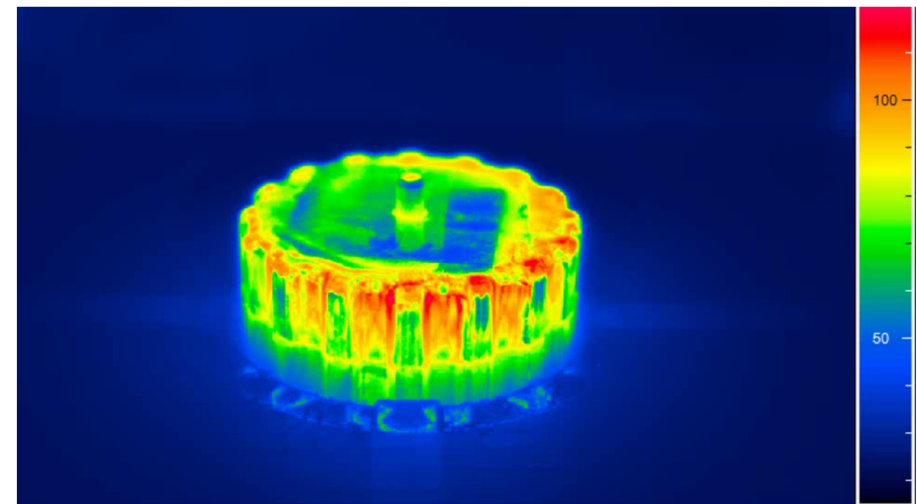


Motivation

- Steigerung der Leistungsfähigkeit von drei Blechumformprozessen (Tiefziehen, Abstreckziehen, **Blechwarmumformung**) unter Nutzung des generativen Laserstrahlschmelzens
 - Schaffung von Mehrwert und Integration zusätzlicher Funktionen
 - je nach Zielanwendung Kühlen, Heizen, Schmieren und Sensorik



3D-CAD Modell Blechwarmumformwerkzeug



Rückkühlung generativ gefertigter Stempel

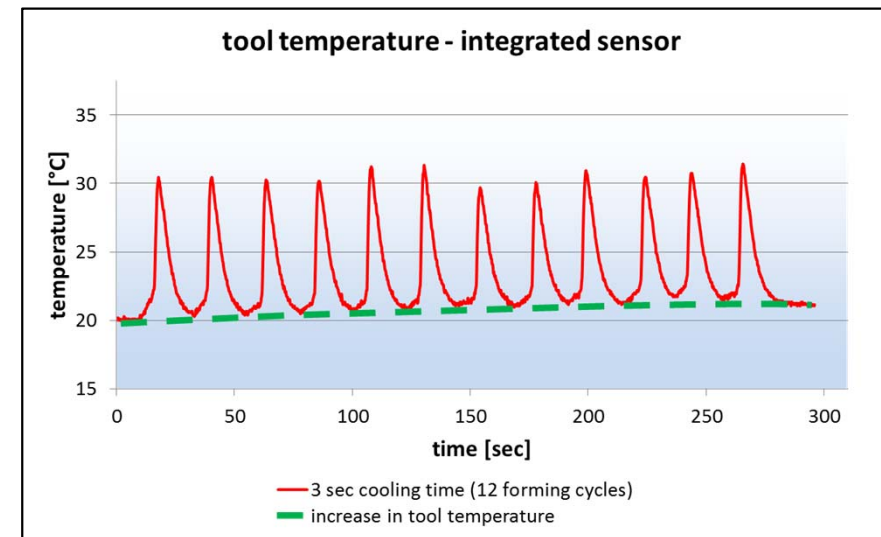
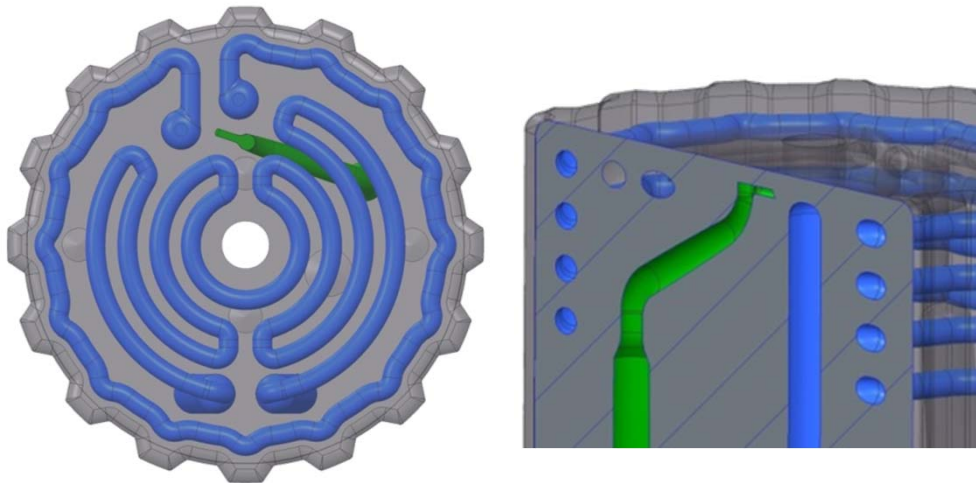
Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

Blechumformung (warm)



Ergebnisse Blechwarmumformung

- Erfolgreiche Integration eines Thermosensors in das Werkzeug für die Blechwarmumformung → Nachweis der Funktionalität in Testläufen
- signifikante Reduktion der Kühl-/Haltezeit **von 10 s auf 3 s** unter Einhaltung der Anforderungen hinsichtlich geometrischer Abweichungen und Härte der Bauteile



Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

Blechumformung („kalt“)

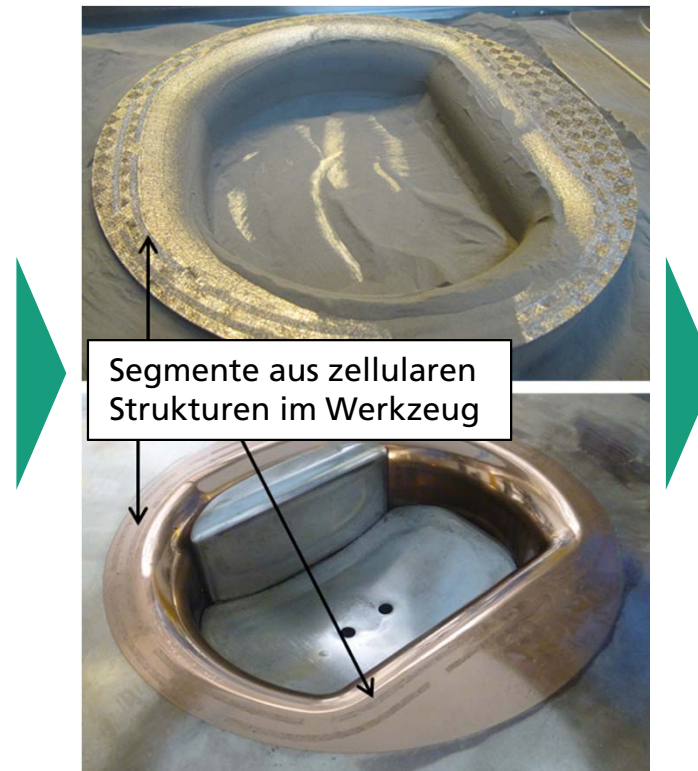


Lösungsweg

- Entwicklung zellulärer Strukturen für lokale Schmiermittelversorgung zur gezielten Verringerung des Reibwerts im Umformprozess



CAD-Modell der Matrize mit Position der zellulären Strukturen zur Schmiermittelversorgung



umgeformtes Blechteil

Anwendung im Werkzeug- und Formenbau

Massivumformung (Gesens Schmieden)

Zielstellung:

- Reduzierung thermisch-mechanischer Verschleiß bei Schmiedegesenken

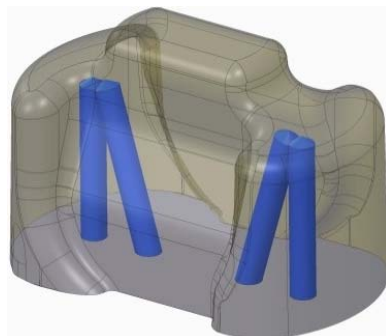
Ausgangssituation:

- große thermisch-mechanische Belastung, insbesondere an der Außenkontur des Werkzeugeinsatzes
→ hoher Verschleiß
- unzureichende Kühlung aufgrund der komplexen Werkzeugform

Lösungsansatz:

- Integration eines komplexen, konturnahen Kühlsystems
- **Herstellung durch Hybrid Tooling**
(konventionell hergestellter Grundkörper + generative Funktionsgeometrie)

konventionell

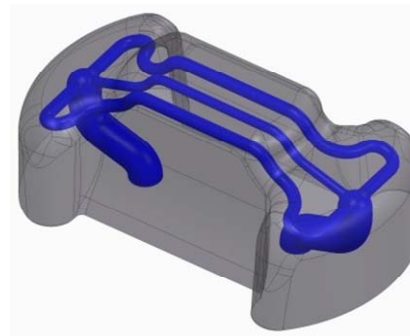


gebohrte Kühlkanäle



Verschleiß nach **5836**
Schmiedezyklen

generativ



komplexes, konturnahes
Kühlsystem



Verschleiß nach **6855**
Schmiedezyklen

→ **deutliche Reduzierung des Werkzeugverschleißes** → **Standmengenerhöhung um 17,5%**

Entwicklungstrends



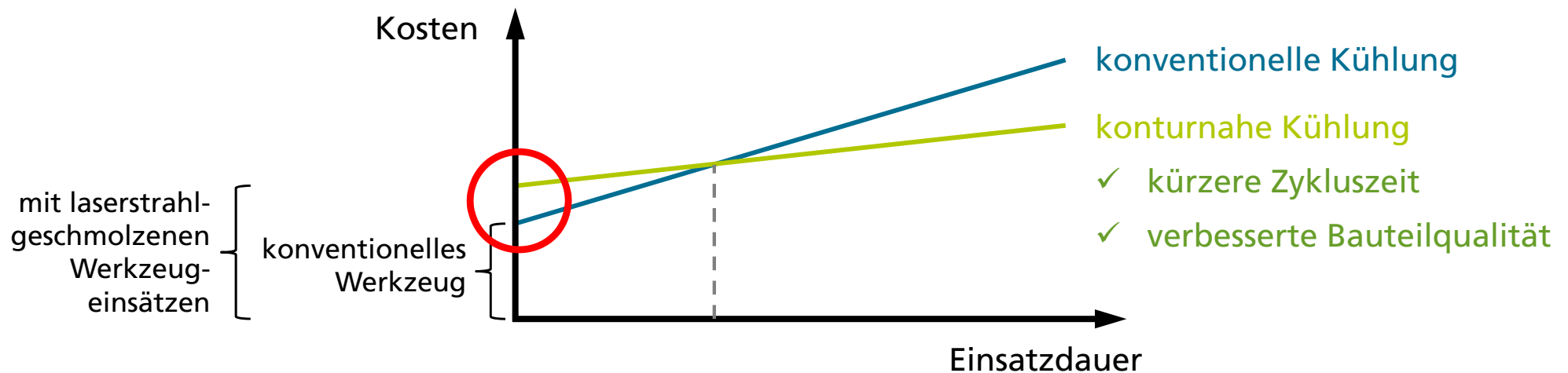
Trends der Generativen Fertigung

Kosten / Wirtschaftlichkeit (aktuell)

Pulvermaterial: 100 - 600 €/kg
WZ-Stahl ~ 150 €/kg

Maschine: 50 - 80 €/h

Aufbaurate: 5 - 20 cm³/h



Trends der Generativen Fertigung im Bereich Werkzeug- und Formenbau

Temperierung

- integrierte **Heatpipe-Strukturen** zur Temperaturregulieren komplexer und thermisch hoch belasteter Werkzeugbereiche für kleine Geometrien
 - durch direkte Strukturintegration von Heatpipes in das Werkzeug, anstelle nachträglicher Montage (kein thermischer Übergangswiderstand, Maximierung Wirkflächen)
- integrierte Heizelemente für bspw. Aluminiumumformung
 - konturnahes „Einschmelzen“ von Rohrwendelpatronen

Sensorintegration

- Ziel ist ein intelligentes Werkzeug mit Sensoren für Temperatur, Druck oder zur Bestimmung Werkzeugverschleiß

belastungsgerechte Werkzeuggestaltung bspw. gradierte Gitterstrukturen

- Ziel ist die Minimierung des aufzubauenden Volumens um Fertigungszeit und Kosten zu sparen
- Reduzierung der thermischen Trägheit → schnellere Reaktion, geringere Werkzeugerwärmung

Trends der Generativen Fertigung

Potential im Werkzeug- und Formenbau

- Im Werkzeug- und Formenbau hat sich die Erkenntnis noch nicht in ausreichendem Maße durchgesetzt, dass sich Mehrkosten eines generativen Werkzeugs oft sehr bald mehrfach amortisieren.
- Für ein bestmögliches Verhältnis aus erreichbarem Mehrwert und geringen Werkzeugkosten sind Kenntnisse über generative Fertigung, insbesondere der Restriktionen notwendig.
 - Man sollte "generativ" konstruieren!!!
 - Die Möglichkeit der Hybridbauweise reduziert die Kosten.
- Ohne entsprechende Simulationswerkzeuge sind verlässliche Aussagen zur verbesserten Kühlung nur unzureichend möglich.
- Der für das Laserstrahlschmelzen typische 1.2709 stößt immer noch auf Skepsis beim Endanwender.



Fraunhofer
IWU

Dipl.-Ing. (FH) Mathias Gebauer

Gruppenleiter »Anwendung«
Abteilung »Generative Verfahren«

Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und
Umformtechnik IWU

Noethnitzer Strasse 44 | 01187 Dresden

Telefon: + 49 (0) 3 51 / 47 72-21 51

Fax: + 49 (0) 3 51 / 47 72-23 03

E-Mail: mathias.gebauer@iwu.fraunhofer.de