
Aus der Fraunhofer-Forschung – AKTUELLE ENTWICKLUNGEN IM WERKZEUG- UND FORMENBAU

15. Anwenderforum RPD, Stuttgart, 13. Oktober 2010

Dr.-Ing. Bernhard Müller

Gruppenleiter

Generative Fertigungsverfahren

Fraunhofer IWU, Chemnitz/Dresden

Gliederung

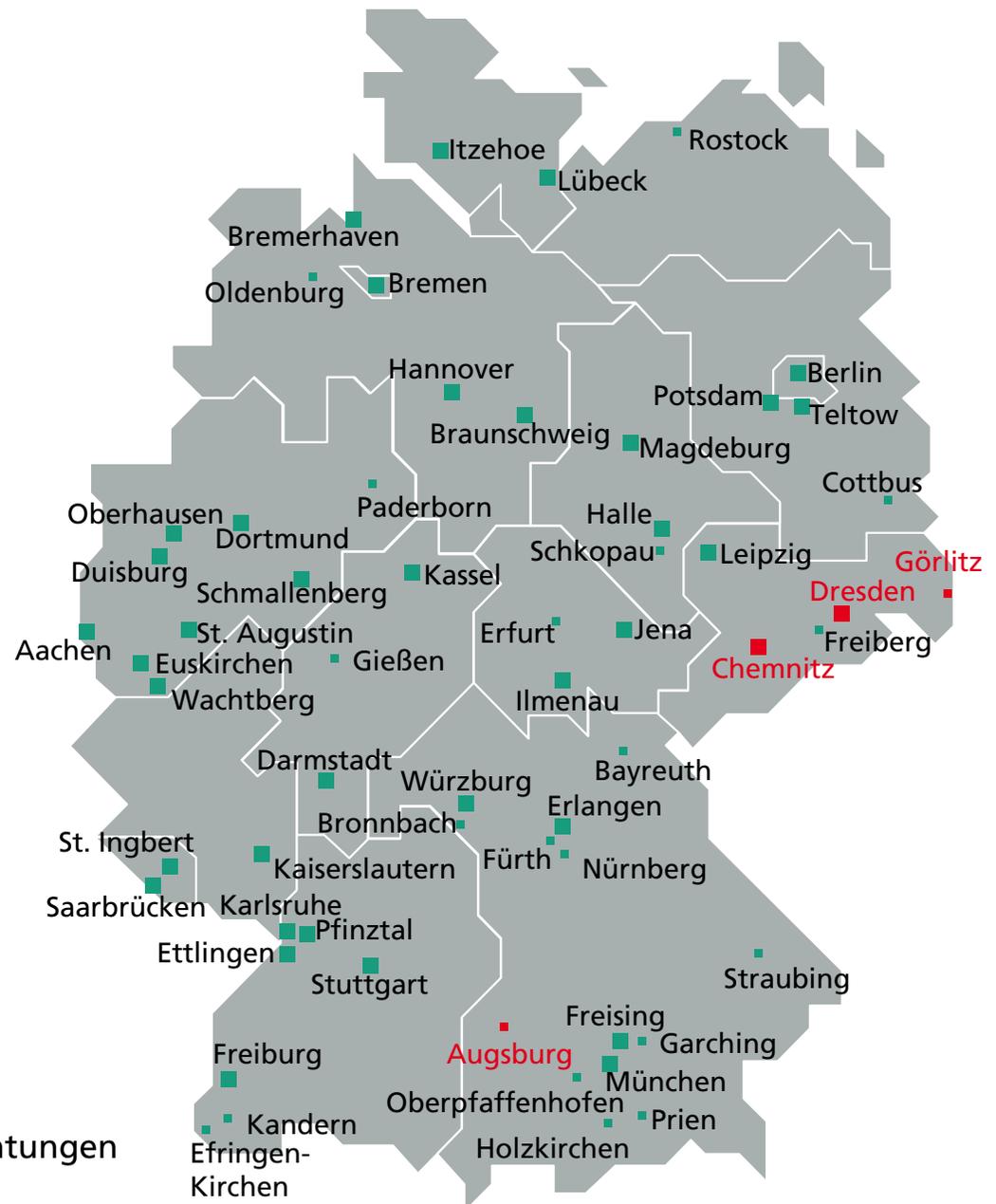
1. Das Fraunhofer IWU
2. Generative Fertigungsverfahren
3. Rapid Tooling
4. Laserstrahlschmelzen
5. Werkstoffe
6. Mechanische Eigenschaften
7. Anwendungen im Werkzeug- und Formenbau
8. Leistungsangebot für den Werkzeug- und Formenbau
9. Weitere Forschungsaktivitäten
10. Fazit

1. Das Fraunhofer IWU

Standorte in Deutschland

- Gründung am 1. Juli 1991
- ca. 380 Mitarbeiter
- > 23 Mio Euro Jahresetat
- 7 000 m² Fläche, davon 4 000 m² Versuchsfeldfläche in Chemnitz und Dresden
- Projektgruppe Augsburg seit 01/2009
- Projektgruppe Görlitz in Planung

- Institute und Einrichtungen
- weitere Standorte



1. Das Fraunhofer IWU Profil



Kompetenzfelder

- Werkzeugmaschinen
- Mechatronik
- Spanende Technologien
- Umformtechnologien
- Systemtechnologien

im Verbund mit

- Technischer Universität Chemnitz
- Fraunhofer-Gesellschaft
- Maschinen-, insbesondere Werkzeugmaschinenbauern
- deutscher und internationaler Automobilindustrie
- Zulieferindustrie (Umformung, Zerspanung, Werkzeugbau)

1. Das Fraunhofer IWU

Institutsverbund Produktionstechnik Chemnitz – Dresden



Fraunhofer IWU
Chemnitz



Fraunhofer IWU
Dresden

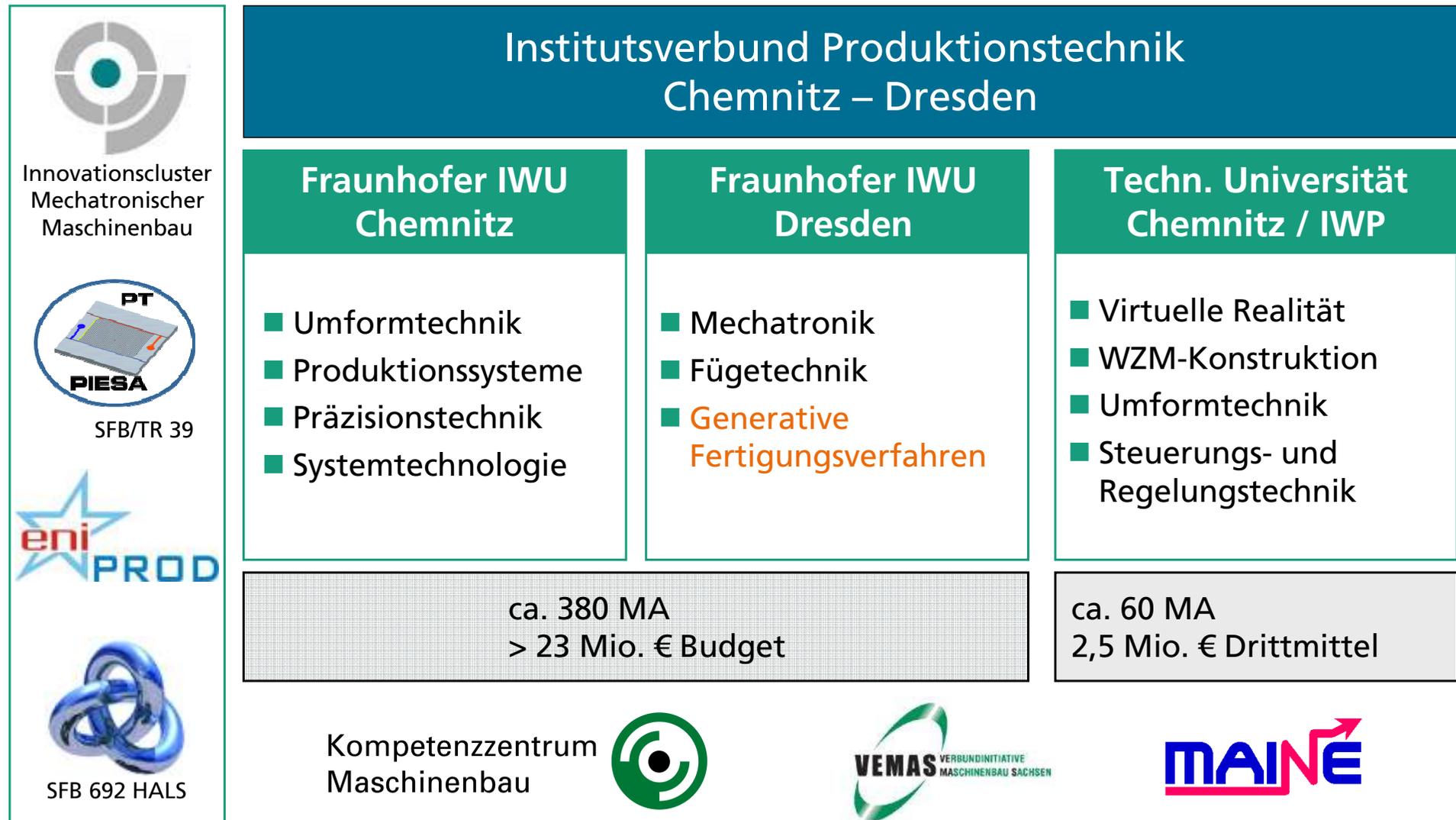


IWP
TU Chemnitz



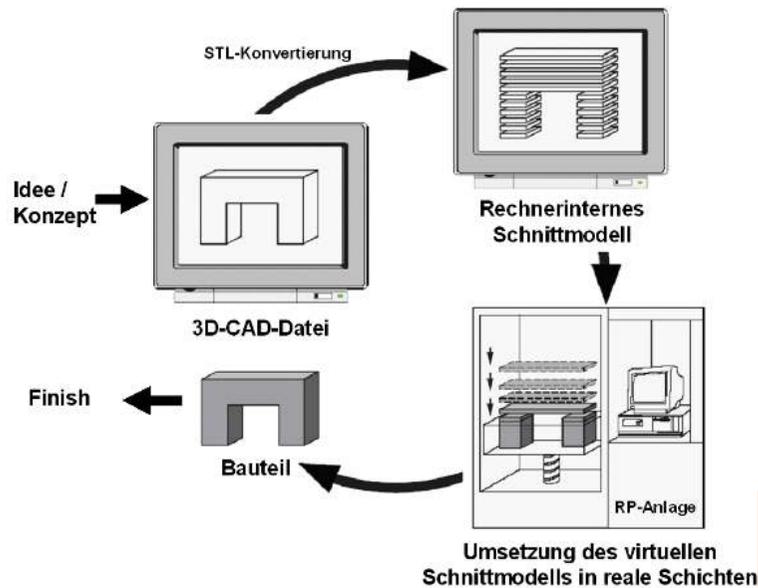
1. Das Fraunhofer IWU

Organisationsstruktur und regionale Netzwerke



2. Generative Fertigungsverfahren

Entwicklung und Anwendungsfelder



Prinzipskizze generativer
Fertigungsverfahren
(Quelle: Gebhardt – 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)
- **Rapid Tooling:** Anwendung der generativen Methoden und Verfahren auf den Bau von Werkzeugen und Formen
- **Rapid Manufacturing (RM):** generative Herstellung von Endprodukten / Serienteilen (Konstruktion und Material entspricht dem des Endproduktes)

3. Rapid Tooling

Entwicklung und Beispiele



Prototypenform mit Epoxidharz-
Formeinsatz, abgeformt vom
Stereolithographie-Modell
(Quelle: PROFORM AG, Schweiz)



Indirektes Rapid Tooling mit dem
Keltool-Verfahren
(Quelle: 3D Systems, Inc., USA)



Direktes Metall-Lasersintern mit
Bronzelegierung
(Quelle: EOS GmbH, Krailing)

➔ **Schnelle** Fertigung von **Prototypen- und Vorserienwerkzeugen** u. -formen

3. Rapid Tooling

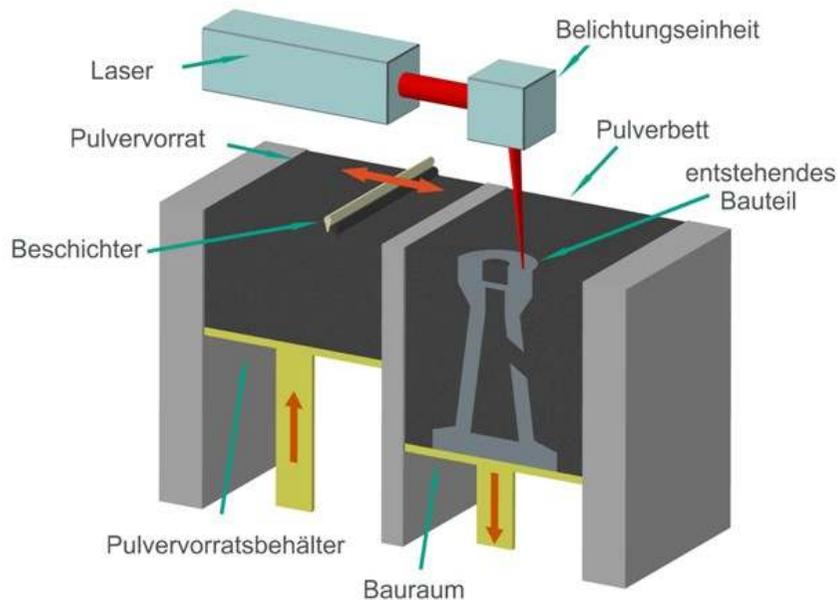
Nachteile und Einschränkungen

- Werkzeuge nicht aus Serienwerkstoff
 - reduzierte Festigkeit
 - geringe Standmenge
 - nur in wenigen Fertigungsverfahren einsetzbar
- aufwändige, indirekte und/oder mehrstufige Prozessketten
 - Mehrfachabformung von RP-Urmodell → Addition von Abweichungen
 - Nachbehandlung (Sintern, Infiltrieren) → Schwindung
- poröse Gefügestruktur
 - Abformverfahren → Poren
 - direktes Metall-Lasersintern → poröser Grünling

→ zurückgehende Bedeutung des Rapid Tooling

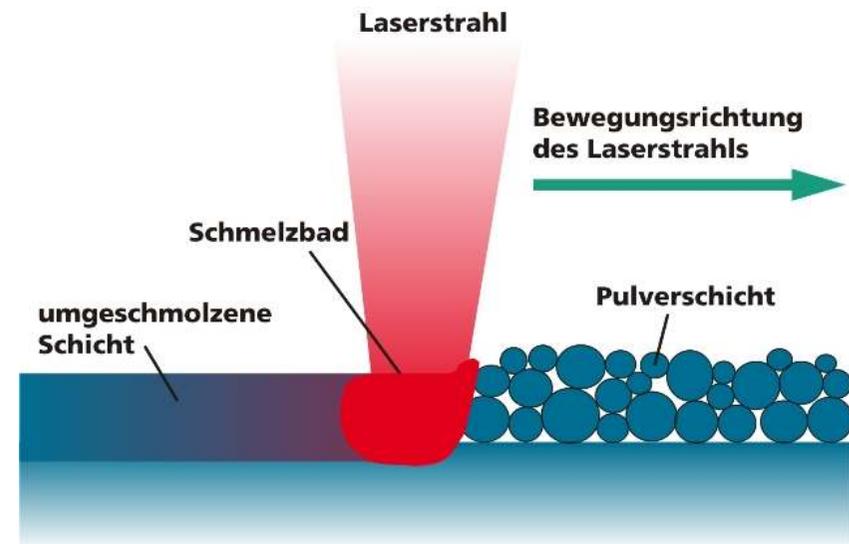
4. Laserstrahlschmelzen

Verfahrensvorstellung



Funktionsprinzip einer Laserstrahlschmelzanlage

- **direktes Verfahren**, bei dem die gewünschten Teile in einem **einstufigen Prozess** aus **metallischem Serienmaterial** entstehen
- **vollständiges**, lokales **Aufschmelzen** von Metallpulvern zu einem 99,5 - 100 % dichten Gefüge



4. Laserstrahlschmelzen

Vorteile

time to product

- keine Werkzeuge
- keine AV / Technologieplanung
- keine NC-Programmierung
- einstufiger Prozess
(kein Schlichten, Erodieren)

Gestaltfreiheit

- beliebig komplexe Geometrien
- Hinterschneidungen
- Innengeometrien, Hohlräume
- filigrane Strukturen
- spanend/umformend nicht herstellbare Geometrien

Werkstoffvielfalt

- Warmarbeitsstahl
- Edelstahl
- Nickel-Basis-Legierung (Inconel)
- Kobalt-Chrom
- Aluminium
- Titan

Leichtbau / Biokompatibilität

- Hohl- / Fachwerkstrukturen
- 100 % topologieoptimierte Bauteile
- bionische Strukturen
- gradierte Porenstrukturen

4. Laserstrahlschmelzen

Anlagentechnik am Fraunhofer IWU



Laserstrahlschmelzanlage M2 Cusing
(Hersteller: CONCEPT Laser GmbH, Lichtenfels)

- Bearbeitungsbereich (x, y, z):
250 x 250 x 280 mm³
(größte derzeit am Markt verfügbare Multi-Material-Anlage)
- Laserleistung:
400-W-Faserlaser
(leistungsstärkster aktuell im Strahlschmelzen verfügbarer Laser)
- Verarbeitung von:
Stahl, Titan, Aluminium, Inconel,
Kobalt-Chrom, (...)
- Hybridbauweise möglich
(generativer Aufbau auf gefrästen/
gegossenen Grundkörper)

5. Werkstoffe

Übersicht und mechanische Kennwerte

Werkstoff	Zustand	Zugfestigkeit R_m [MPa]	Streckgrenze $R_{p0,2}$ [MPa]	Bruchdehnung A [%]
Werkzeugstahl 1.2709	wärmebehandelt (490 °C)	1.900	1.800	2 - 3
Werkzeugstahl (rostfrei) 1.2083	wärmebehandelt (525 °C)	1.700	1.600	> 2
Edelstahl 1.4404	wie gebaut	570	470	> 15
Kobalt-Chrom nach ASTM F75	wärmebehandelt	960	560	20
Nickel-Basis-Leg. IN718	wie gebaut, bei 20 °C	1.295	1.110	10 - 13
Titan TiAl6V4	wärmebehandelt	1.091	1.013	10 - 18
Aluminium AlSi10Mg	wie gebaut	280	235	1 - 2

5. Werkstoffe

Werkzeugstahl 1.2709 (X3NiCoMoTi18-9-5)

Verwendung:

Formen für Kunststoffspritzguss, Leichtmetall und Druckguss, Verzahnungstempel, Kaltfließpresswerkzeuge, etc.

Werkstoffeigenschaften:

martensitahärtender Werkzeugstahl, verzugsarm, sehr gute Zähigkeit, hohe Streckgrenze und Zugfestigkeit, gleichmäßige Schrumpfung von 0,09 %

Physikalische Eigenschaften:

Wärmeleitfähigkeit: 20°C: 14,2 W/(m K), 500°C: 19 W/(m K), 600°C: 21 W/(m K)
Wärmeausdehnungskoeffizient: $10,3 \times 10^{-6}$ m/(m K) bei 20 bis 100 °C

Spezifische Eigenschaften im Laserstrahlgeschmolzenen Zustand:

Oberflächenrauigkeit: Rz 40 - 80 (nach Mikrostrahlen, Werkstoff polierbar)
Bauteilgenauigkeit: abhängig von der Bauteilgröße ca. $\pm 0,1 - 0,2$ mm
kleinste realisierbare Wandstärke: 0,3 mm

6. Mechanische Eigenschaften

Werkzeugstahl 1.2709 (X3NiCoMoTi18-9-5)

Allgemeine Festigkeitseigenschaften

vergleichbar und z. T. besser als Stand der Technik, weil:

- sehr hohe Dichte der Bauteile $\geq 99,5 \%$
- Originalwerkzeugstahl 1.2709 ohne Abwandlungen/Zumischungen
- Zugfestigkeit, Streckgrenze, Bruchdehnung und Härte bei vergleichbarem Wärmebehandlungszustand auf dem Niveau des Blockmaterials

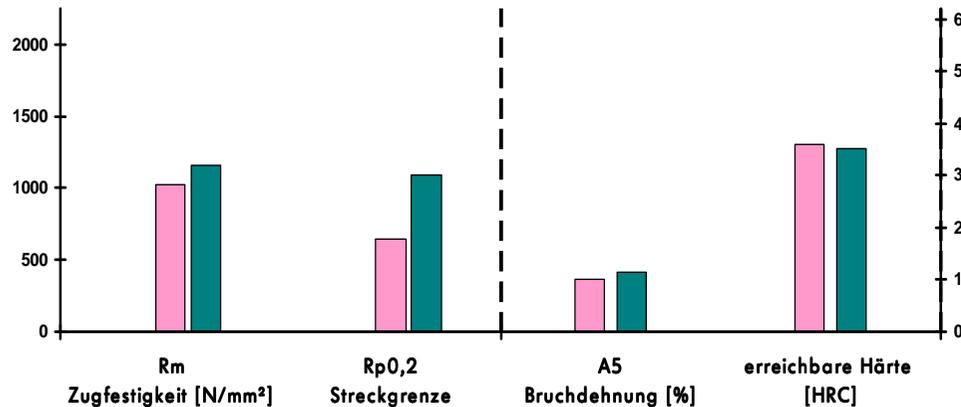
Druckfestigkeit:

- noch keine gesonderten Messungen für laserstrahlgeschmolzene Proben
- Druckfließgrenze meist ca. 10% über Zugfließgrenze (Quelle: Uddeholm), bei Zugfestigkeiten wie Blockmaterial keine verringerte Druckfestigkeit
- Druckbelastung ist unkritischer als Zugbelastung (Restporosität im Drucklastfall bei Belastung geschlossen)

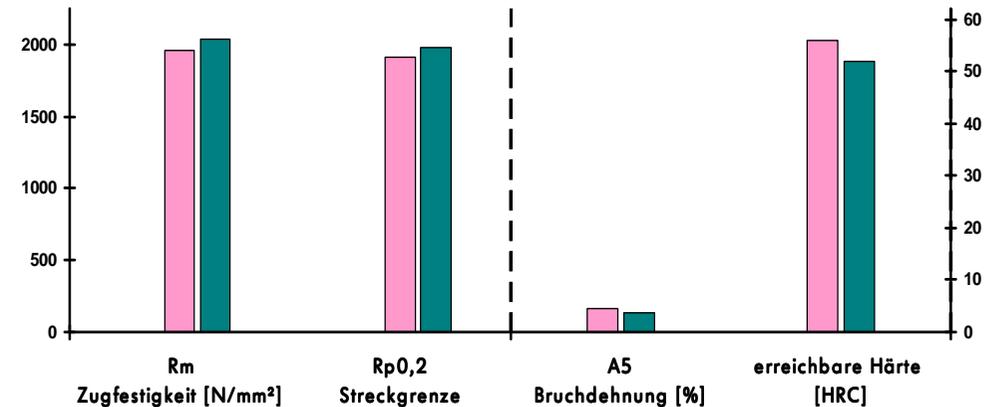
6. Mechanische Eigenschaften

Vergleich 1.2709 konventionell vs. laserstrahlgeschmolzen

Vergleich 1.2709 konventionell und laserstrahlgeschmolzen
(unbehandelt)



Vergleich 1.2709 konventionell und laserstrahlgeschmolzen
(gehärtet)



■ 1.2709 konventionell ■ 1.2709 laserstrahlgeschmolzen

Werkstoff		R _m Zugfestigkeit [N/mm ²]	R _{p0,2} Streckgrenze [N/mm ²]	A ₅ Bruch- dehnung [%]	Härte [HRC]	
weich	1.2709 konventionell	950 - 1100	650	10	36	(Quelle: IFW Jena)
	1.2709 laserstrahlgeschmolzen	1110 - 1206	1030 - 1149	11,5	35	(Quellen: Fh IWU, IFW Jena, LBC)
gehärtet	1.2709 konventionell	1960	1910	4,5	56	(Quelle: WIAM®-METALLINFO Online)
	1.2709 laserstrahlgeschmolzen	2029 - 2051	1961 - 1995	3,4 - 3,9	52	(Quelle: LBC)

6. Mechanische Eigenschaften

Standardisierung und Kennwertermittlung

VDI-Fachausschuss „Rapid Prototyping“
VDI-GPL FA105 (Mitgliedschaft von
Fraunhofer ILT, IPA und IWU)

- VDI-Richtlinie 3405b „Generative Fertigung metallischer Bauteile durch Strahlschmelzen – Qualifizierung, Qualitätssicherung und Nachbearbeitung“
- in Erarbeitung durch Arbeitsgruppe „Metall“ des FA (Mitwirkung von Fraunhofer durch ILT und IWU)
- Durchführung von Ringversuchen zur Ermittlung mechanischer Kennwerte und Aufnahme in die Richtlinie (Mitwirkung durch Fraunhofer IWU)
 - ➔ 1.2709 im gebauten Zustand fertig
 - ➔ im gehärteten Zustand in Arbeit



7. Anwendungen im Werkzeug- und Formenbau

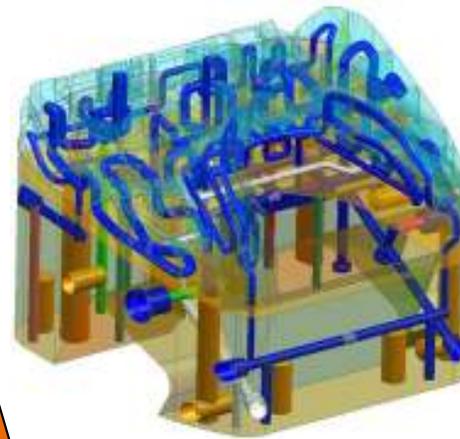
Vom Rapid Tooling zum Mehrwert im Serienwerkzeug



(Quelle: EOS GmbH, Krailing)

Rapid Tooling

- „schnelle“ Fertigung
- Prototypen/Vorserie
- nur Kunststoffverarbeitung
- Geometrie wie konventionell

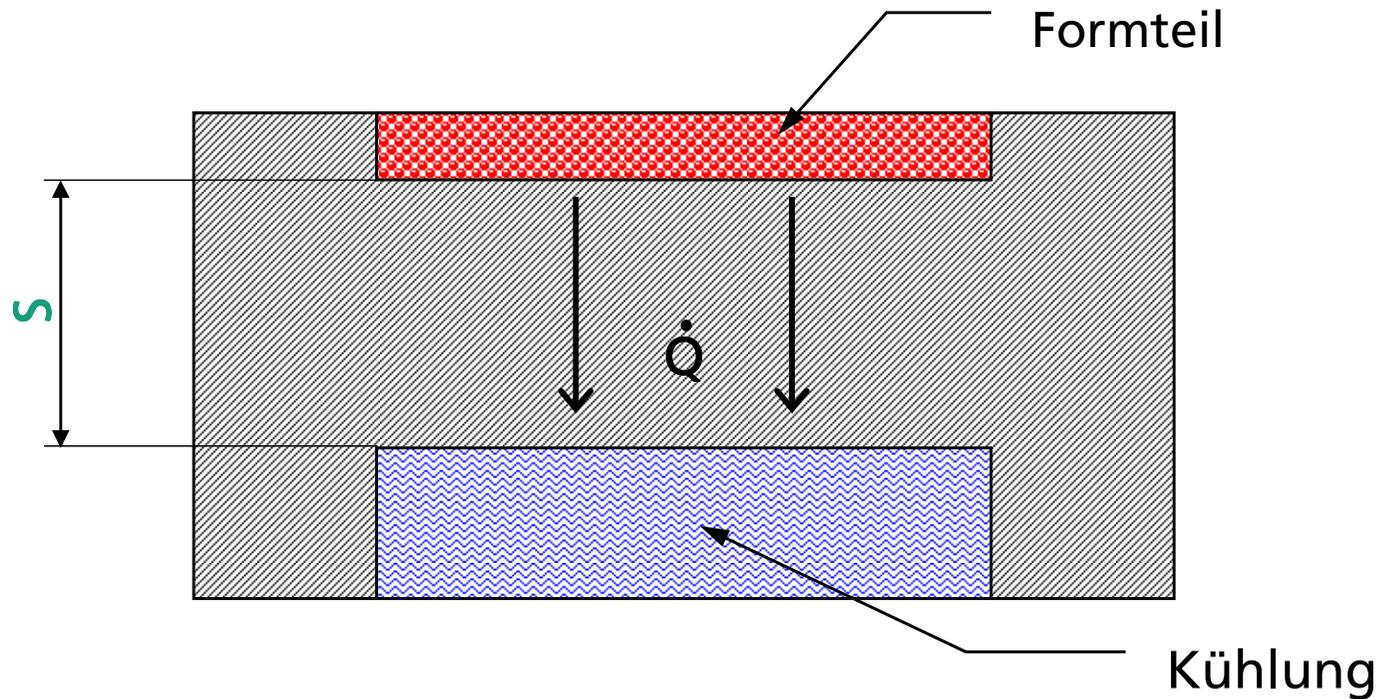


Generatives Serienwerkzeug

- Fertigungszeit nicht im Fokus
- voll (groß)serientauglich
- viele Fertigungsverfahren
- Mehrwert und Zusatzfunktionen durch geometrische Besonderheiten

7. Anwendungen im Werkzeug- und Formenbau

Grundprinzip der konturnahen Kühlung



Kühlmedium Wärmeleitfähigkeit

$$\dot{Q} = \frac{\Delta \text{Temp.} \cdot \lambda \cdot A}{s}$$

konturnahe Kühlung

7. Anwendungen im Werkzeug- und Formenbau

Vorteile konturnaher Kühlung

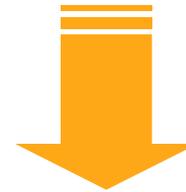
- Reduzierung der Zykluszeit (Wirtschaftlichkeit ↑)
- geringere Restspannungen im Formteil (Qualität ↑)
- höhere Maßgenauigkeit und bessere Formstabilität des Formteils (Qualität ↑)
- komplexere Geometrien werden herstellbar



**Kunststoff-
spritzguss**



**Leichtmetall-
druckguss**

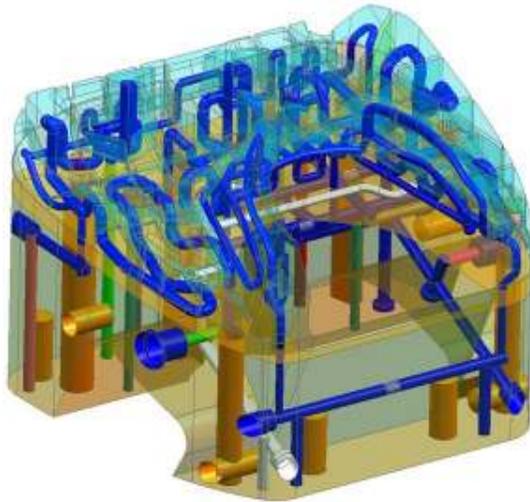
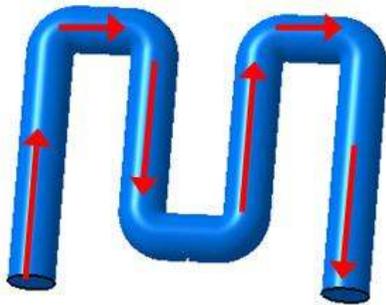


**Warmumformung
(Presshärten, Schmieden)**

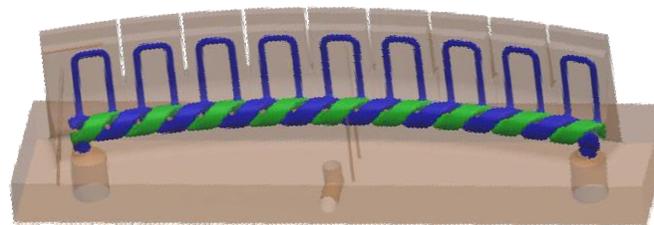
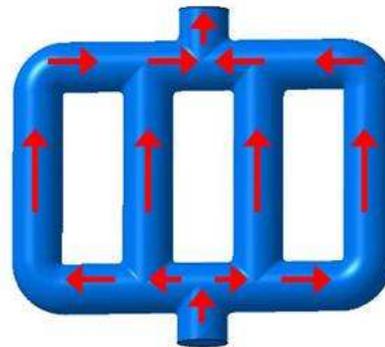
7. Anwendungen im Werkzeug- und Formenbau

Arten von Kühlkreisläufen

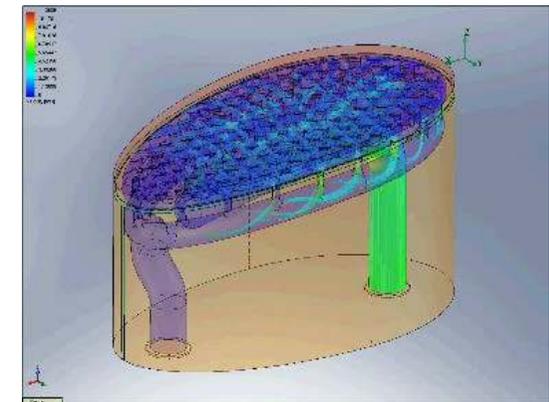
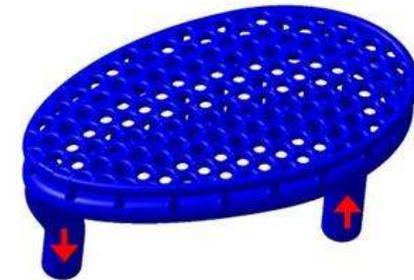
Serielle Kühlung (Mäander)



Parallelkühlung (Bypass)

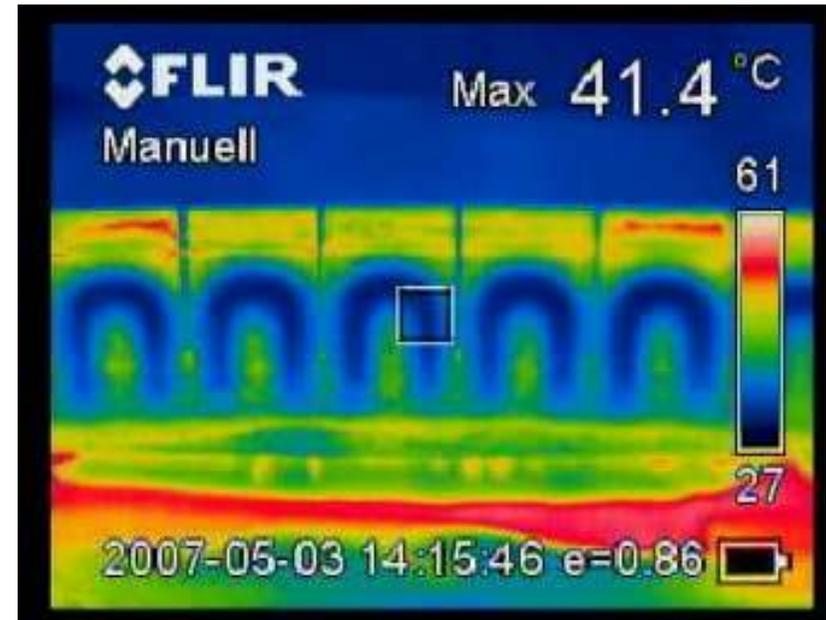
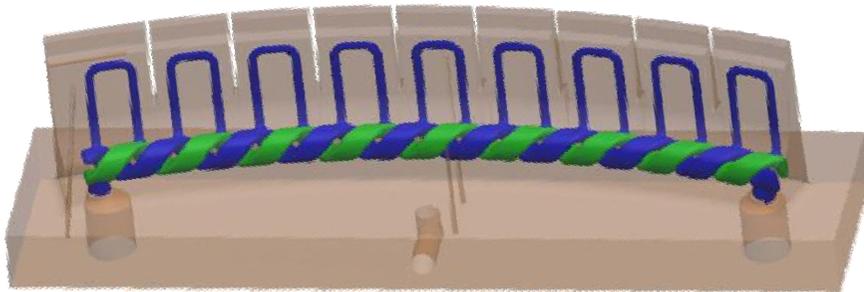


Flächenkühlung (Netz)



7. Anwendungen im Werkzeug- und Formenbau

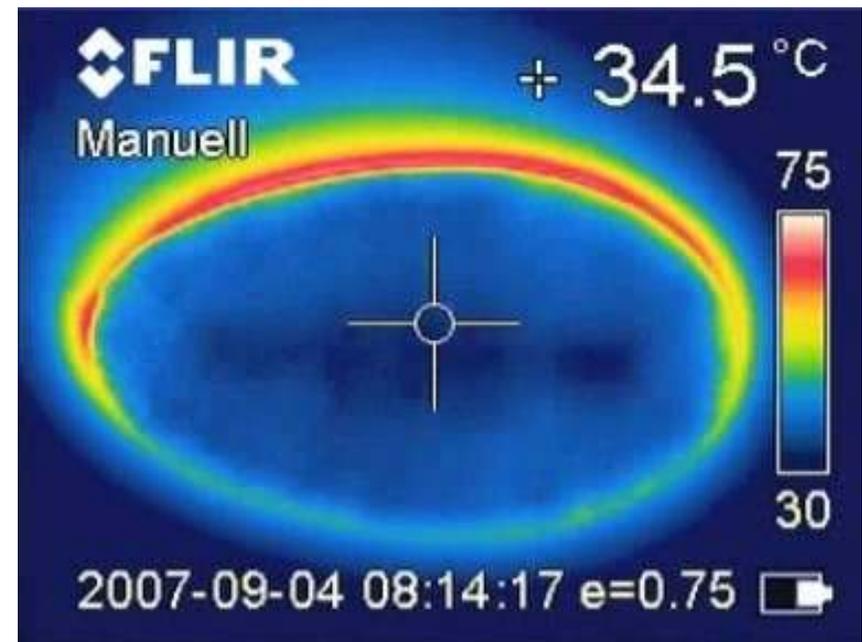
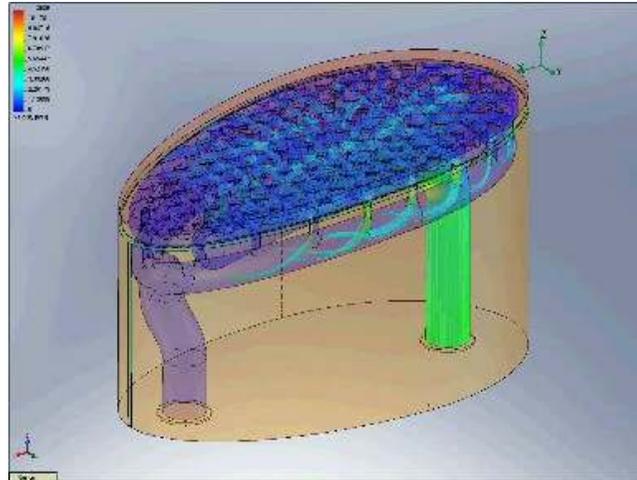
Kunststoffspritzguss (Parallelkühlung)



Werkzeugeinsatz für einen Farbeimerdeckel

7. Anwendungen im Werkzeug- und Formenbau

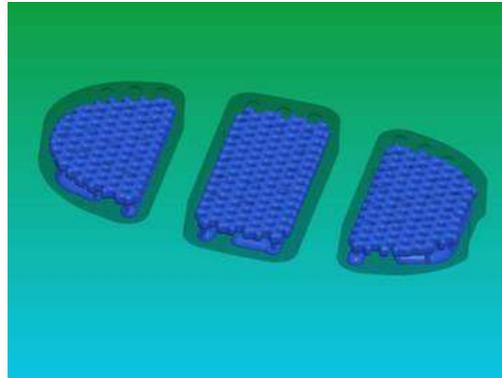
Kunststoffspritzguss (Flächenkühlung)



Werkzeugeinsatz für ein Sportbrillenglas

7. Anwendungen im Werkzeug- und Formenbau

Kunststoffspritzguss (Hybridbauweise)



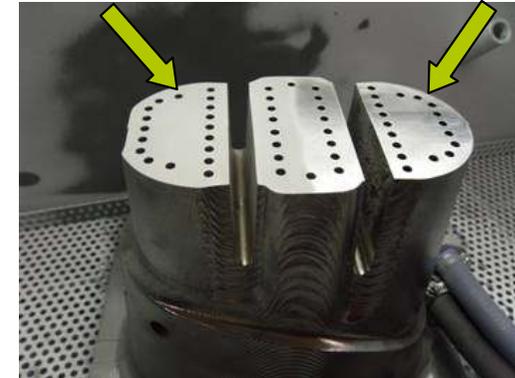
CAD-Modell der Flächenkühlung



gefräster Grundkörper mit Kühlbohrungen (vorgeschruppt)

2. gestrahlt

1. geschliffen



Vorbereitung der Verbindungsfläche



Ausrichten und Fixieren in der Strahlschmelzanlage



Strahlschmelzanlage vorbereitet
→ fertig für Bauprozess

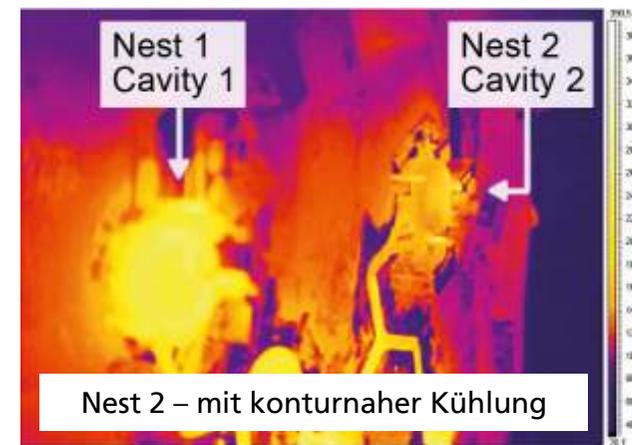
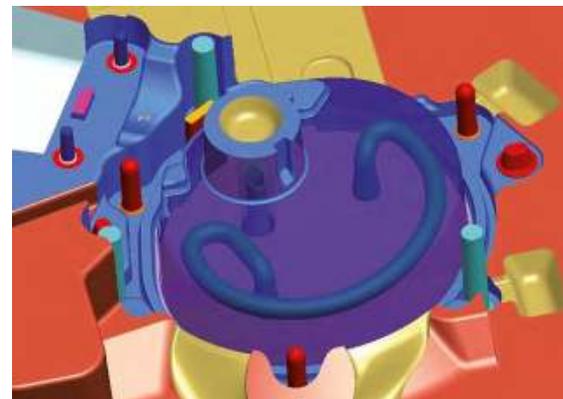
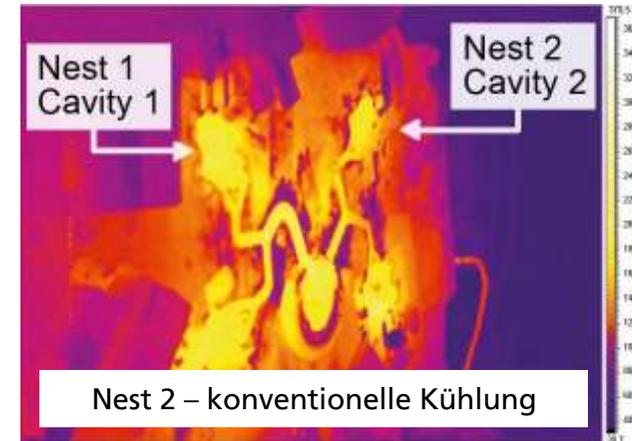


Werkzeugeinsatz mit Flächenkühlung
→ fertig für die Schichtbearbeitung

(mit freundlicher Genehmigung des IAT der Stellenbosch University, Südafrika)

7. Anwendungen im Werkzeug- und Formenbau

Leichtmetall-Druckguss



Werkzeugeinsatz für eine Druckgießform (Pumpengehäuse) mit konturnaher Temperierung, 1.2709
(Quelle: AE Group AG)

7. Anwendungen im Werkzeug- und Formenbau

Presshärten (Blechwarmumformung)

Innovationsallianz „Green Carbody Technologies“ (InnoCaT)
Teilprojekt 3.2.2 „Ressourceneffiziente Blechwarmumformung durch innovative Werkzeugtemperierung“



- Erhöhung der Abkühlrate → Zykluszeitenreduzierung von bis zu 5%
- Verringerung des Energiebedarfs zur Werkzeugtemperierung → Energieeinsparung von bis zu 10% je gefertigtem Bauteil
- Projektpartner:



CONCEPTLASER
hofmann innovation group

- gefördert durch:



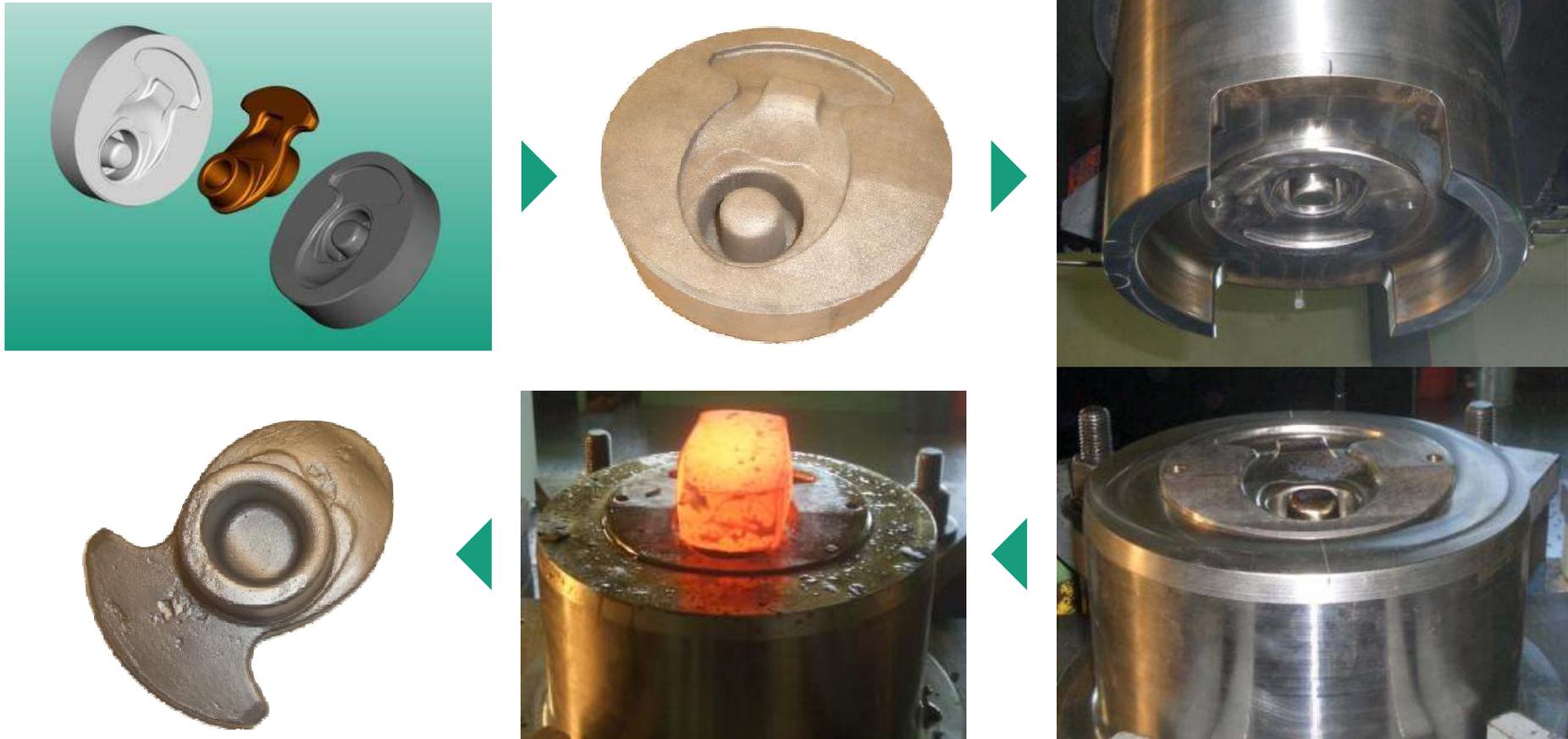
Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Bildquelle: Volkswagen AG, Kassel

7. Anwendungen im Werkzeug- und Formenbau

Gesenkschmieden (Massivumformung)



Laserstrahlgeschmolzener Formeinsatz für ein Schmiedegesenk, 1.2709
(Kurbelwellensegment; direkter Einsatz im Schmieden ohne spanende Nachbearbeitung der Kontur)

8. Leistungsangebot für den Werkzeug- und Formenbau

Beispielhafter Projektumfang und -ablauf

- Unterstützung bei der Auswahl oder Entwicklung eines anspruchsvollen Serienbauteils
- Entwicklung, Auslegung und Simulation der Kühl- bzw. Temperiersysteme
- Unterstützung bei der Gesamt-Werkzeug-Konstruktion, eigenständige Konstruktion der Werkzeugeinsätze für das Laserstrahlschmelzen
- Generative Herstellung der Werkzeugeinsätze mittels Laserstrahlschmelzen am IWU
- Implementierung der laserstrahlgeschmolzenen Einsätze ins Werkzeug
- Betreuung des Anlaufs in der Produktion, Erfassung relevanter Fertigungsdaten für den Vergleich mit konventionellem Werkzeug
- Bewertung der Zykluszeit, Werkzeugstandzeit sowie Qualität und Maßhaltigkeit der Formteile zu einem vergleichbaren, konventionell gefertigten Werkzeug

8. Leistungsangebot für den Werkzeug- und Formenbau

Forschungskooperation mit Unternehmen

- Industriedirektaufträge
 - meist bilateral (Geheimhaltung)
 - vom Kleinauftrag (< 10 T€) bis zum Großprojekt (> 1 Mio. €)
- öffentlich geförderte Forschungsprojekte mit Industriebeteiligung
 - EU-Förderung
 - nationale Förderung (BMBF, AiF)
 - regionale Förderung (Technologieförderung der Länder)
 - meist Verbundprojekte mit mehreren Partnern

9. Weitere Forschungsaktivitäten

Parameterqualifizierung zur Produktivitätssteigerung

Standard: 180 W Laserleistung,
600 mm/s Scangeschwindigkeit

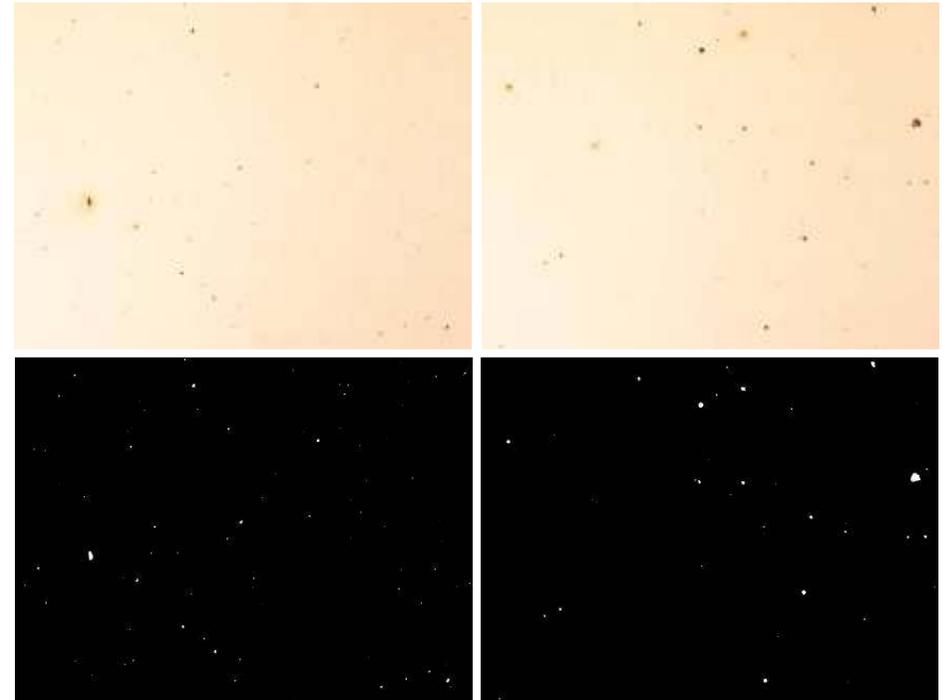


99,7 %

99,8 %

Volumenenergiedichte = 95 J/mm^3
Volumenrate = $1,89 \text{ mm}^3/\text{s} = 6,8 \text{ cm}^3/\text{h}$

Fraunhofer IWU: 400 W Laserleistung,
1.100 mm/s Scangeschwindigkeit



99,9 %

99,9 %

Volumenenergiedichte = 115 J/mm^3
Volumenrate = $3,47 \text{ mm}^3/\text{s} = 12,5 \text{ cm}^3/\text{h}$
84 % Produktivitätssteigerung

9. Weitere Forschungsaktivitäten

Netzwerk Strahlschmelzen



- zum 1. Juli 2010 gegründet
- öffentlich gefördert (ZIM-Nemo)
- weitere Partner sind im Netzwerk willkommen!



10. Fazit

- generative Verfahren sind reif für den serienmäßigen Einsatz im Werkzeugbau
- heutige Beschränkungen in Bauteilgröße und Produktivität werden schrittweise abgebaut (größere Maschinen, mehr Laserleistung)
- positive Erfahrungen im Spritzguss und Druckguss zeigen Potential für Blechumformwerkzeuge auf
- Fraunhofer IWU hat Spitzenstellung in der Forschung zum Einsatz laserstrahlgeschmolzener Werkzeugeinsätze in der Umformtechnik (Blech/massiv, kalt/warm)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dr.-Ing. Bernhard Müller

Gruppenleiter »Generative Fertigungsverfahren«

Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU

Postanschrift:

Reichenhainer Str. 88

09126 Chemnitz

Besucheranschrift:

Nöthnitzer Str. 44

01187 Dresden

Telefon: + 49 (0) 3 51 / 47 72-21 36

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

E-Mail: bernhard.mueller@iwu.fraunhofer.de