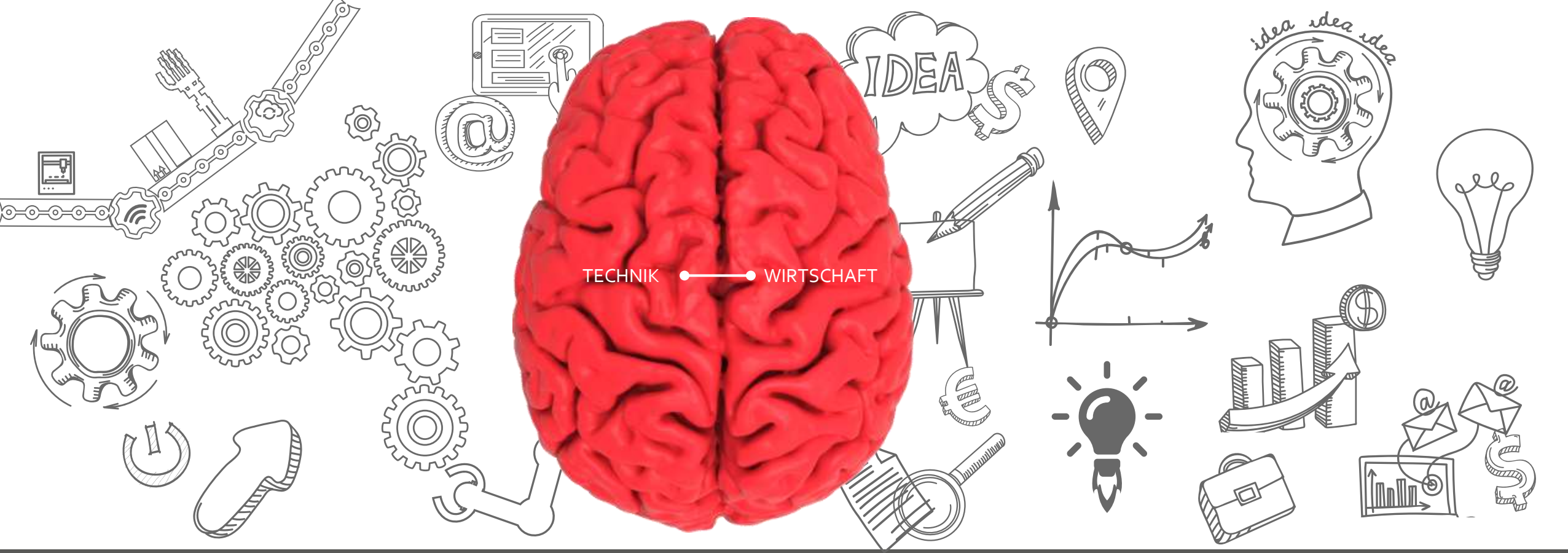




Metall3D-Druck

Bernhard Heiden, Salzburg, 16h30-17h00, 14.11.2019

3D Druck: Innovative Technologien und Materialien,

Zweiteilige Veranstaltungsreihe - Termine: Donnerstag, 14.11.2019 (14:00 – 17:00), Penthouse A des WIFI Salzburg

[Freitag 29.11.2019 (09:00 – 12:00), TBD (St. Johann / Zell am See) TBD]

Veranstaltungspartner: Wirtschaftskammer Salzburg, FH Salzburg



Wirtschaftsingenieurwesen
www.fh-kaernten.at/wing | www.fh-kaernten.at/iem



**„Menschen, die miteinander arbeiten, addieren ihre Potenziale.
Menschen, die füreinander arbeiten, multiplizieren ihre Potenziale“**

Steffen Kirchner

RNTEN
University of Applied Sciences



FH-Prof. Mag. DI Dr. Bernhard Heiden, MBA
Professor for
Production Engineering



FH-Prof. DI Dr. Roland Willmann
Professor for
Industrial Management



FH-Prof. DI Dr. Erich Hartlieb
Degree program leader
Industrial Engineering
Professor für Innovation- und
Technologymanagement



Mag. Dr. Petra Hössl
Senior Researcher
Start Up Initiative



Mag. Dr. Patrick Holzmann
Senior Researcher
Start Up Initiative



FH-Prof. Dr. Joachim Werner
Professor for Business
Administration



DI (FH), Mag. (FH) Michael Roth
Scientific Employee



Mag. (FH) Thomas Saier
Scientific Employee



DI Dr. Josef Tuppinaer
Senior Researcher



DI Reinhard Tober
Laboratory Engineer
Smartlab



Joris Löschnig
Student Staff Member
Smartlab



Monika Decleva, BSc
Scientific Employee



Tamara Penker
Administration



Alexandra Reithofer
Administration

FH-Kärnten
Wirtschaftsingenieurwesen
Studiengang WING & IEM

The CUAS-Interdisciplinary Team for Additive Manufacturing (AM)



**FH-Prof. DI Dr. Robert
Hauser**

*Professor for Physics
Head of Mechanical
Engineering & Light Weight
Construction Studiengang
Focus: Sensors*



**FH-Prof. Mag. DI Dr.
Bernhard Heiden, MBA**

*Professor for
Production Engineering
Focus: Manufacturing*



**FH-Prof. DI Dr. Franz
Riemelmoser, MBA**

*Professor for
Mechanical
Engineering
Focus: Light Weight
Materials*

AM Team & Related:

- Hannes Oberlercher, BSc MSc (FH)
- FH-Prof. Pascal Nicolay
- FH-Prof. Roland Willmann
- Joseph Zwatz MSc (FH)
- Dominic Zettel MSc. (FH)

Projects

- MMO3D – Development of a Robot Cell for AM, Interreg
- GENFEROS 4.0 – Qualifizierungsnetz FFG – Spreading of AM-technology knowledge for the industry
- Metal 3D-Printing for the Industry
- MMO3D Follow Up

Von der Idee zur erfolgreichen Marktumsetzung



InnovationsWerkstatt KÄRNTEN

Impuls

Analyse und
Zieldefinition

Ideenentwicklung
und -verdichtung

Konzept-
entwicklung und
Geschäftsmodell

Leistungs-
entwicklung und
Markttest

Umsetzung und
Markteinführung



smart lab
— CARINTHIA —

Prototyping & Industrie 4.0

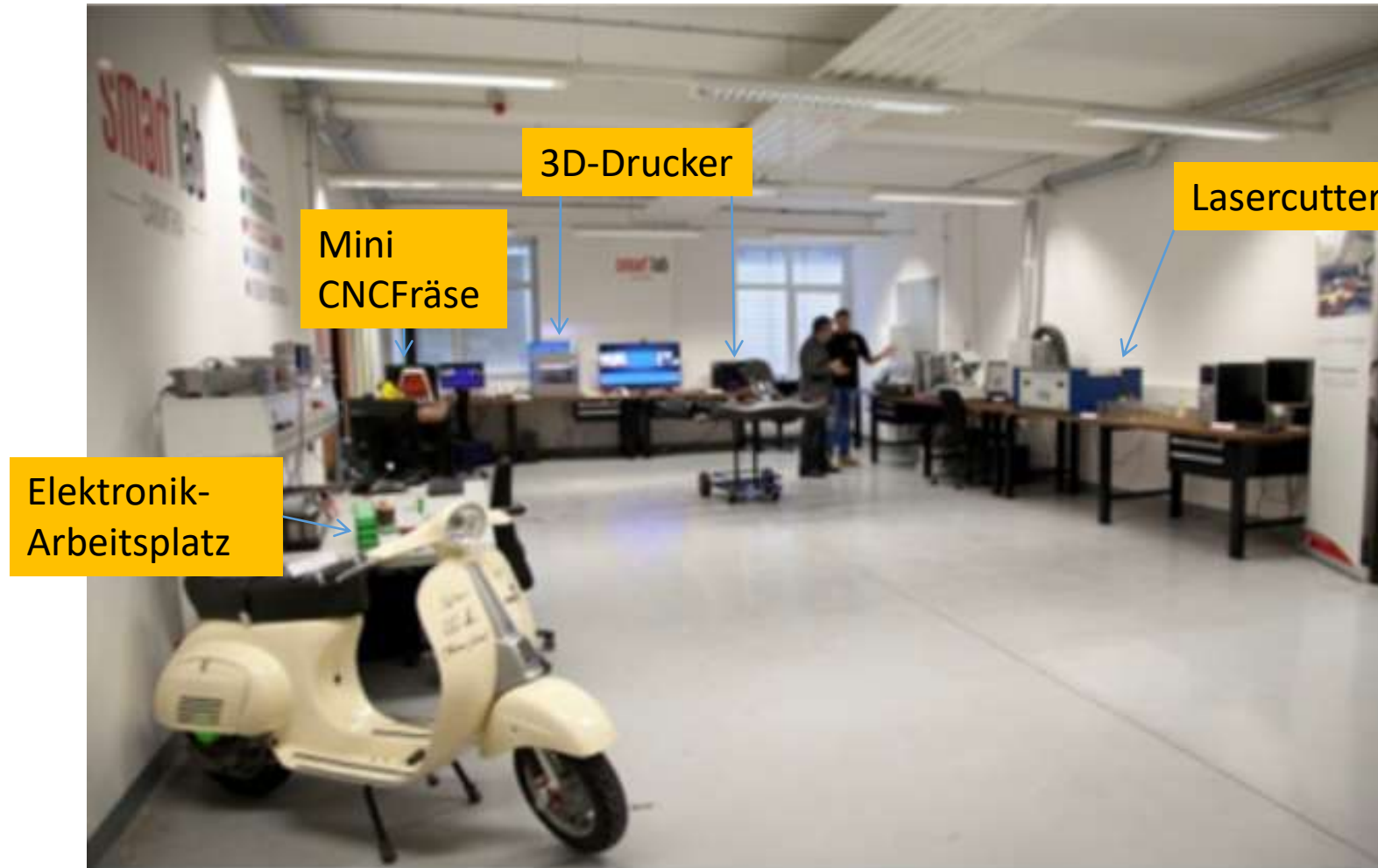
● CNC
● LASER CUTTER
● SCHNEIDPLOTTER
● 3D-DRUCK / SCANNING
● ELEKTRONIK
● DESIGN / KONSTRUKTION

Konstruktion
und Entwicklung

Prototypen-
fertigung

Prototypen-
validierung

Smartlab (I)



Smartlab (II)



Maschinentypologien

Free place option

Aktuelles – Smartlab Lakesidepark



1

3D-Druck – Allgemein und Metall - Verfahren

2

Systemtheoretische Betrachtungen und 5.HS

3

Wissenschaftliches & Anwendungen

4

GPS – Villach – Metall 3D-Druckzentrum - Einblicke

Zusammenfassung

1. 3D-Druck - RP

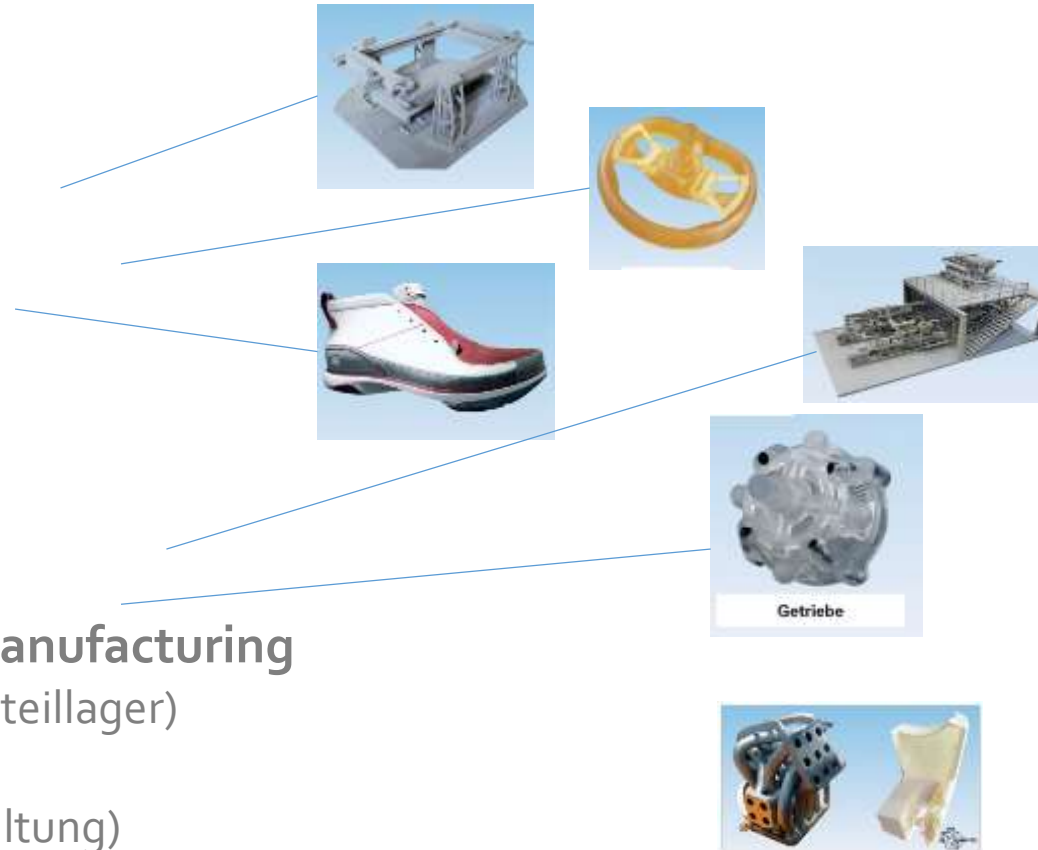
- Was ist **R**apid **P**rototyping (RP) ?

Rapid Prototyping ermöglicht eine schnelle Umsetzung erster
Entwicklungsergebnisse in aussagekräftigen Prototypen [KüR13]

1. Rapid Prototyping (RP)

■ Arten von Prototypen:

- Veranschaulichung
 - Konzeptmodelle
 - Ergonomiemodelle
 - Designmodelle
- Funktionsprüfung
 - Geometrie
 - Rekonstruktion (Medizin)
 - Planung (Architektur)
 - Funktionsprototyp
- Technische (Seriengleich) – **Rapid Manufacturing**
 - Maschinenbauteile (digitales Ersatzteillager)
 - Kleinserien
 - Ersatzteile (Restaurierung Instandhaltung)
- Für Werkzeuge und Vorrichtungen – **Rapid Tooling**

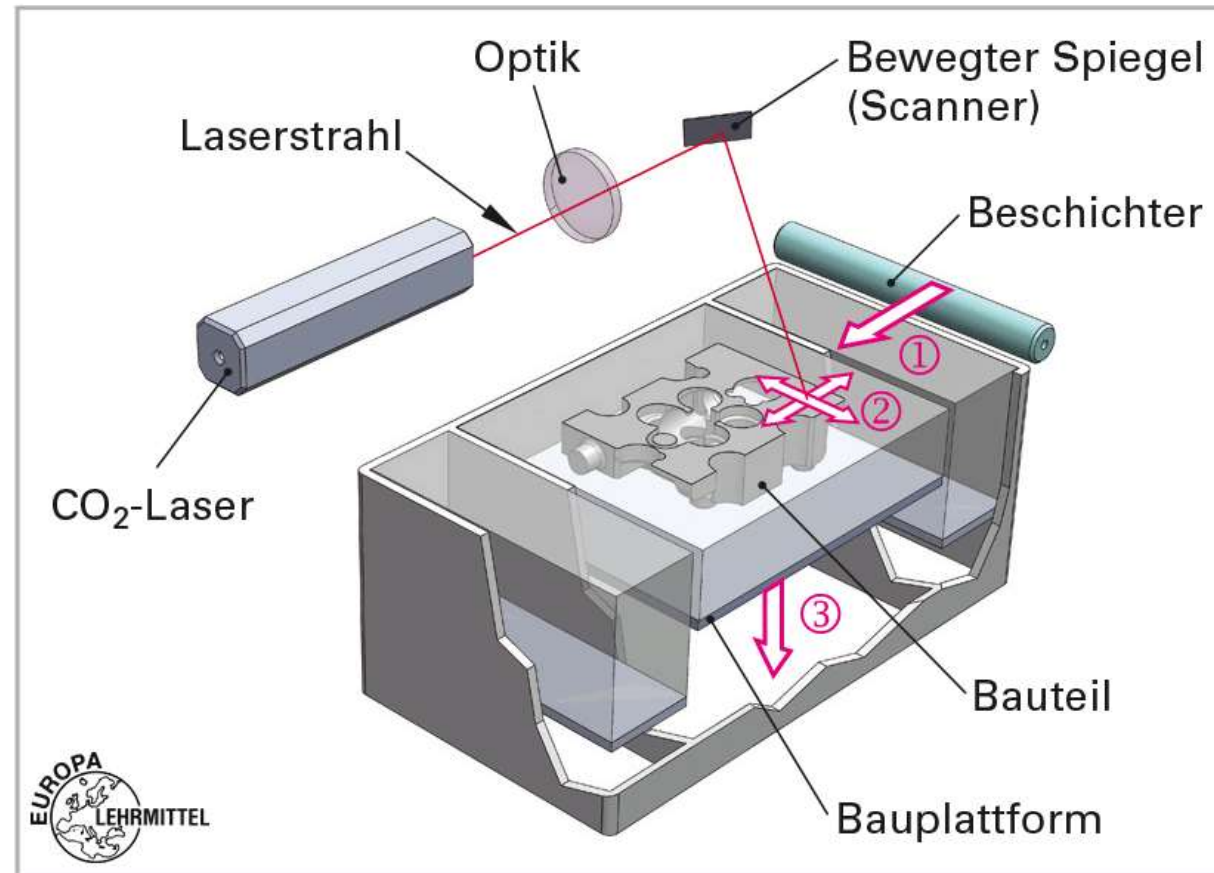


[KüR13]

1. RP-Verfahren: Strahlschmelzen (SM)

Wichtige Merkmale:

- Pulver
- Maschinenteile
- Implantate



[KüR13]

1. Einordnung AM und RP* (1)

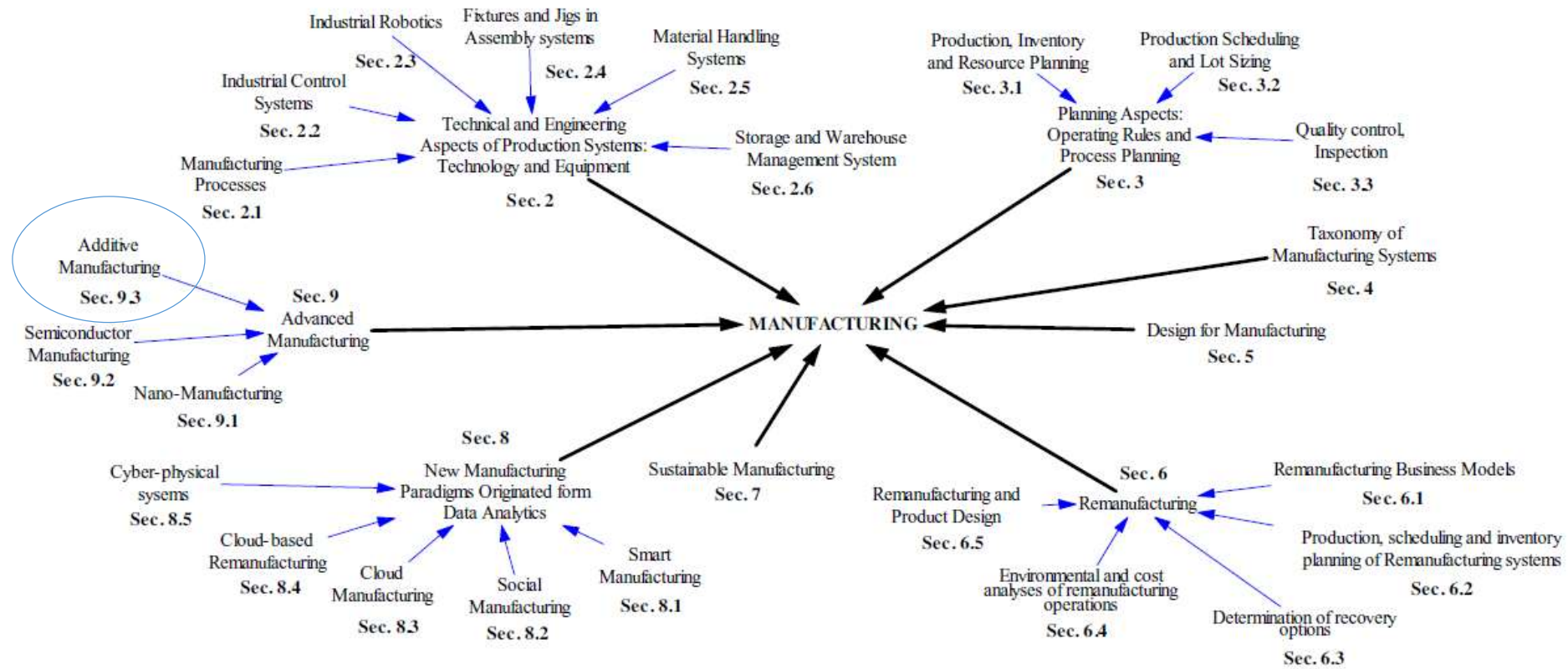
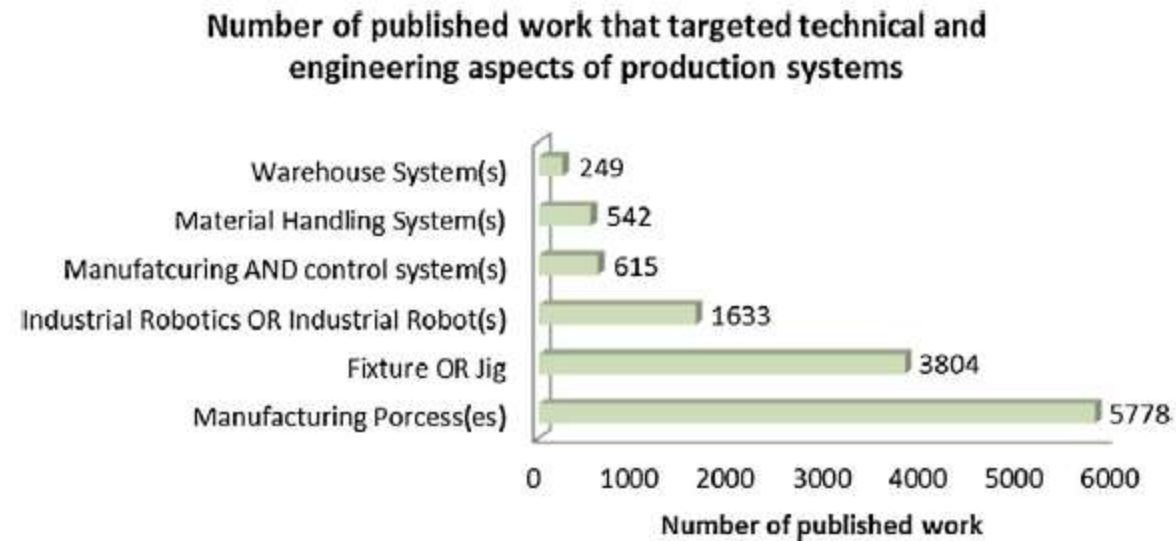


Fig. 1. The scope and structure of the survey along with the section numbers.

*[EsB16] “The evolution and future of manufacturing: A review”

1. Einordnung AM und RP* (2)



*[EsB16] “The evolution and future of manufacturing: A review”

1. Einordnung AM und RP* (3)

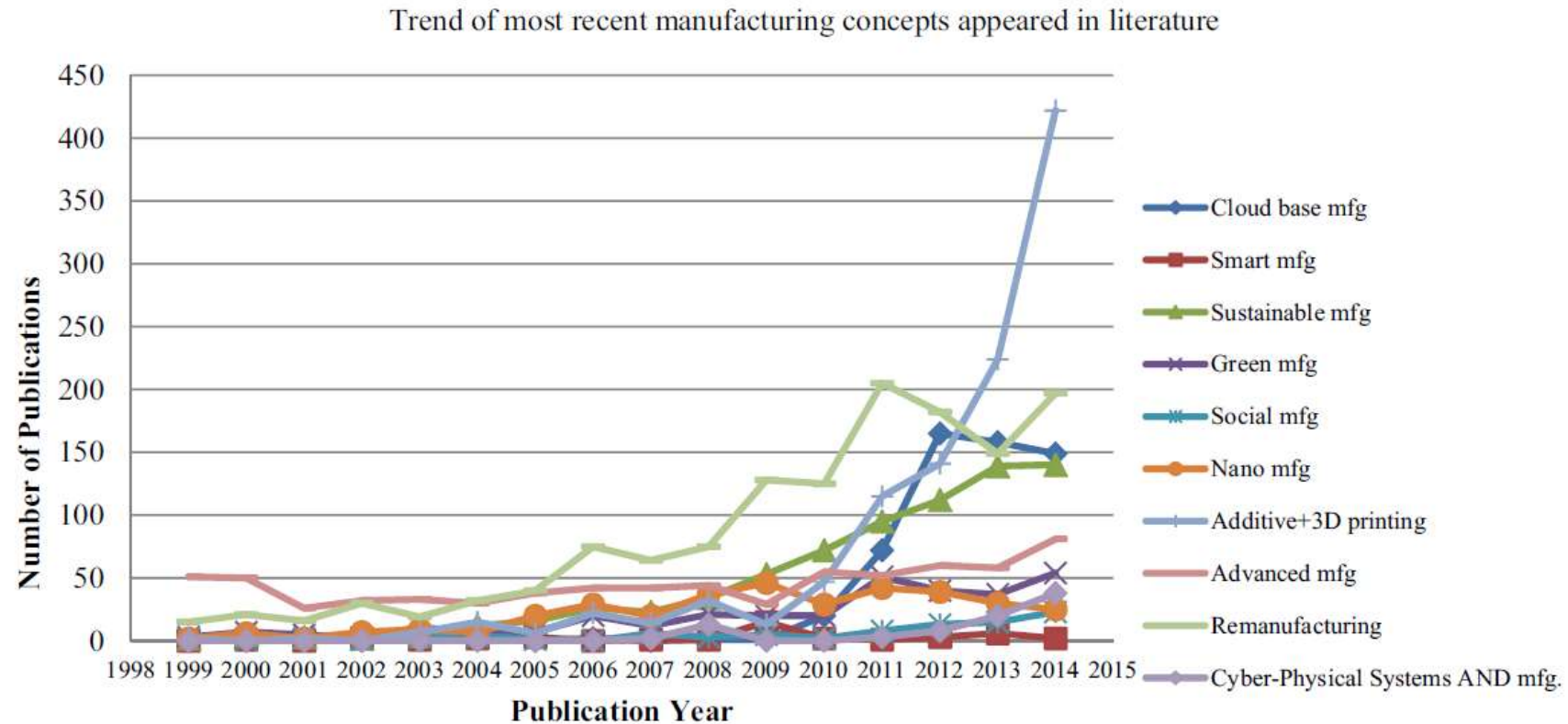
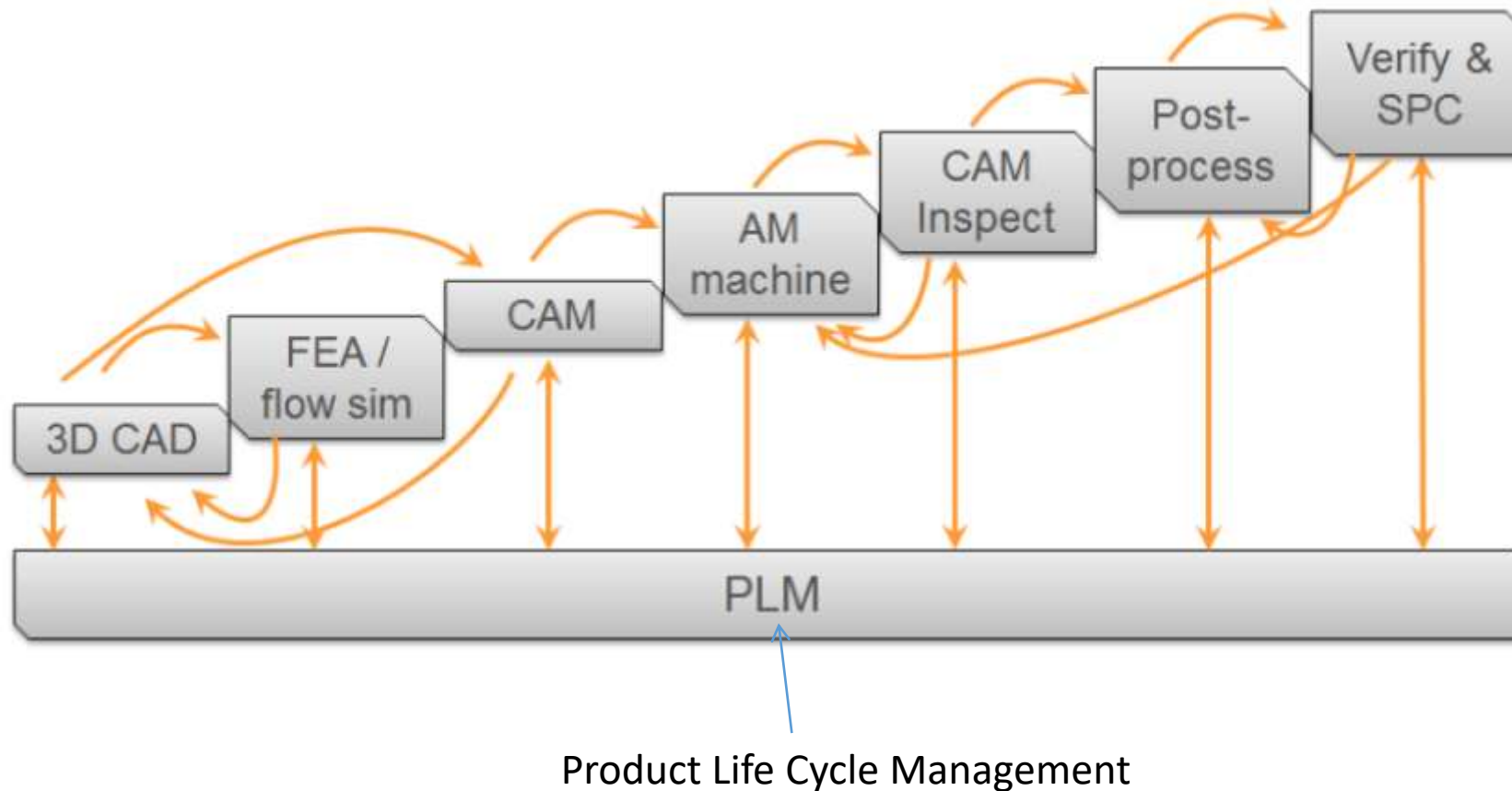


Fig. 10. The number of publications found in Engineering Village, Compendex, Inspec & GEOBASE databases from 1999 to April 2015 with titles including one of the following labels: cloud-based manufacturing, smart mfg., sustainable mfg., green mfg., social mfg., nano-manufacturing, additive mfg. or 3D printing, advanced mfg., remanufacturing and 'cyber-physical systems AND mfg'.

*[EsB16]

1. AM – Prozesskette in einem Industriebetrieb



[SaM15] <https://www.linkedin.com/pulse/chain-tools-creating-process-am-marc-saunders>

4th Main Sentence of Thermodynamics*:

Energy Forms have different orders:

→ more ordered Energy Forms can more broadly be used

* Heiden, B. & U. Leitner, Additive Manufacturing – a system theoretic approach (approved) 2018/10/11, Conference ICAT 2018, Maribor, Slovenja [HeB18]

5th Main Sentence of Thermodynamics:

Increased Structured Application of Energy
Ordering Process itself (can) increase Order
→ more ordered Energy Forms are built from
less ordered Forms successively

$$S(dE_i+1)_{\leftarrow i} < S(dE_i)_{\leftarrow i} \quad i: 1 \dots n$$

5th Main Sentence of Thermodynamics

2. Implications of 5th MS Thd.

- AM (Additive Manufacturing) vs. SM (Subtractive Manufacturing) regarding to energy efficiency potential for 3D-Printing
- Relation of AM Processes to 5th MS Thd.
 - FDM
 - SLM
 - 3DP
 - FR3DP

2. Implications

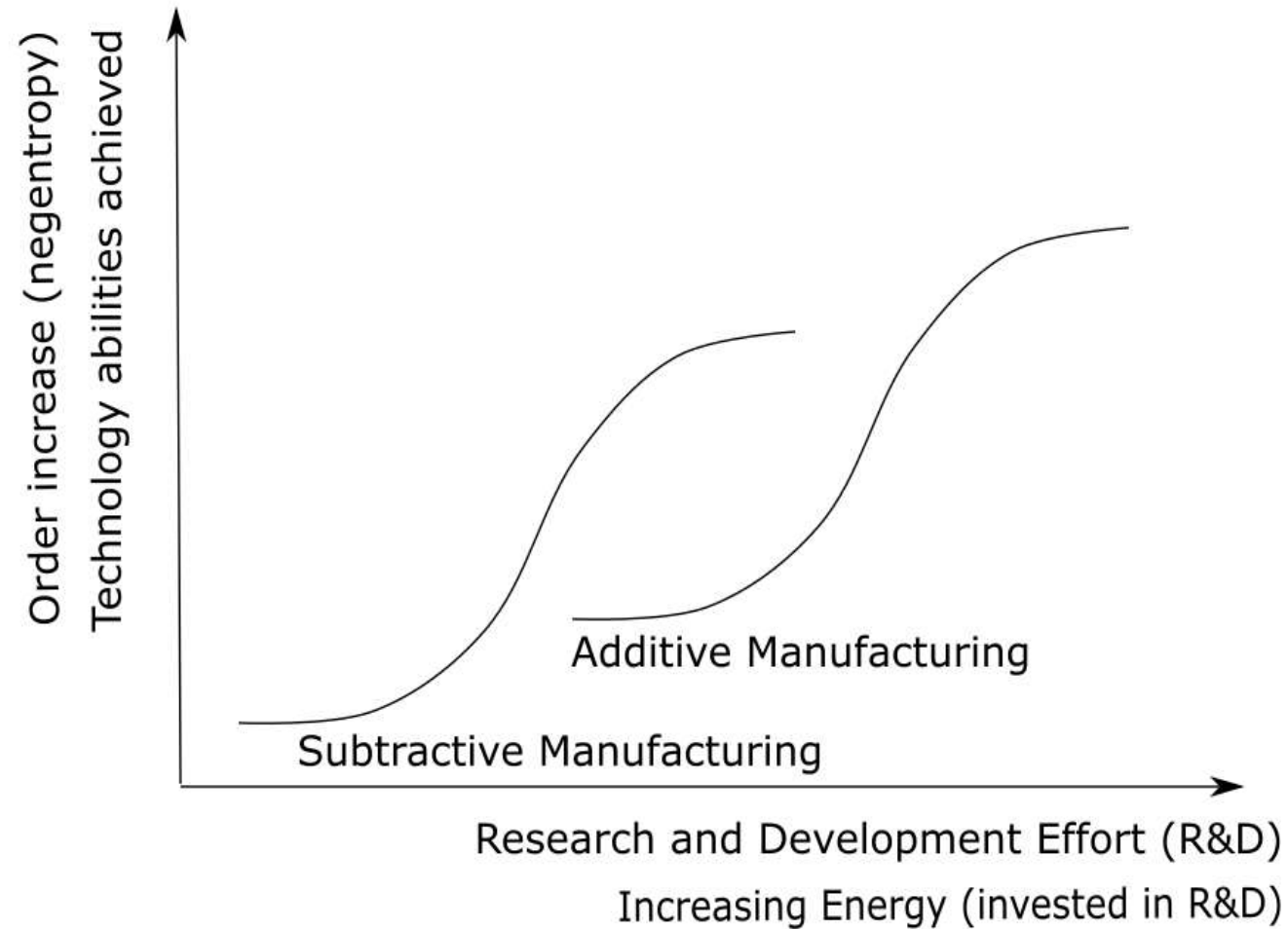
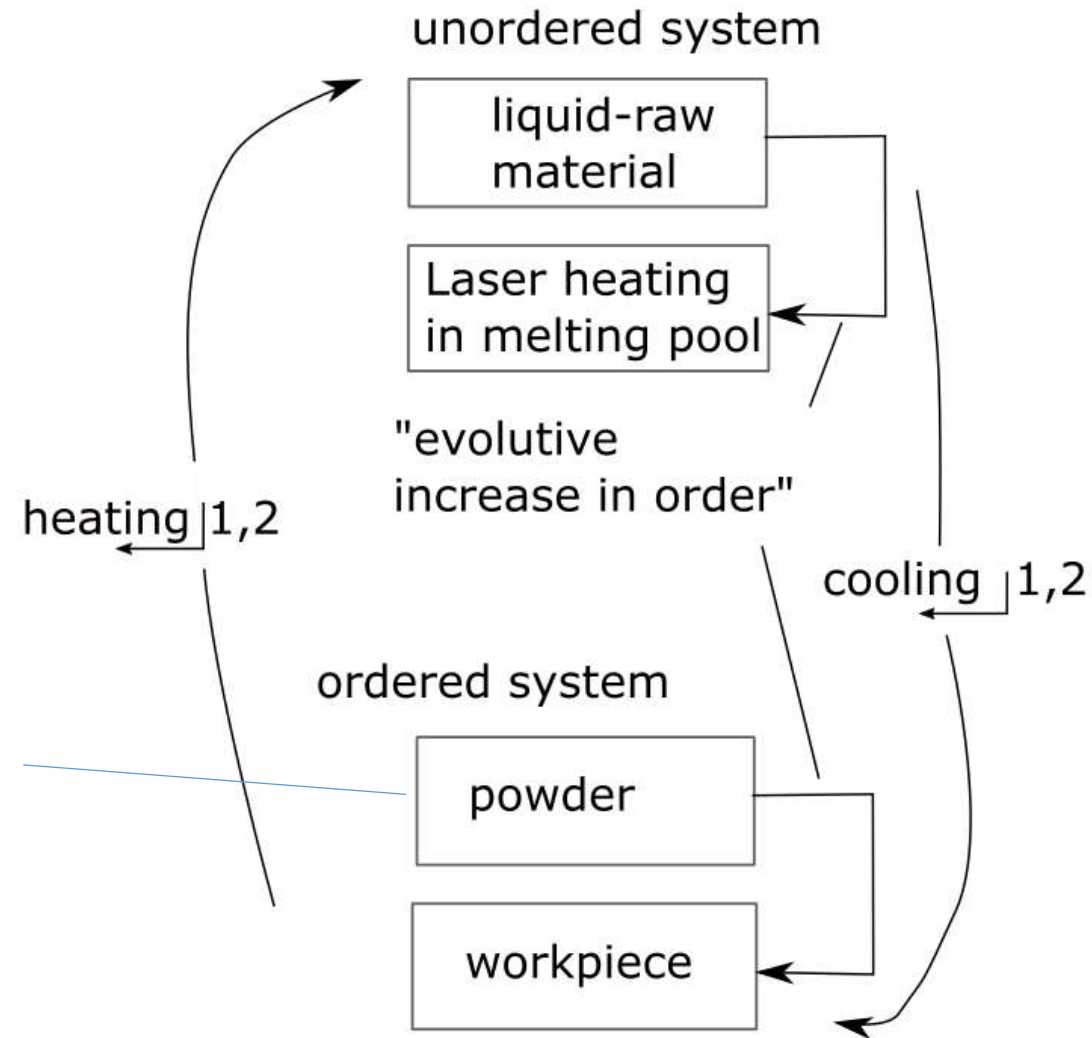


Fig.: AM vs. SM with regard to order increase - Technology life cycle curve for Subtractive and Additive Manufacturing (SM&AM) – Two “S-Curves”

2. Selective Laser Sintering (SLM) - Prozess



PULVER wird idealerweise industriell hergestellt

Fig. SLM Process in the context of the 5th Main Sentence of Thermodynamics

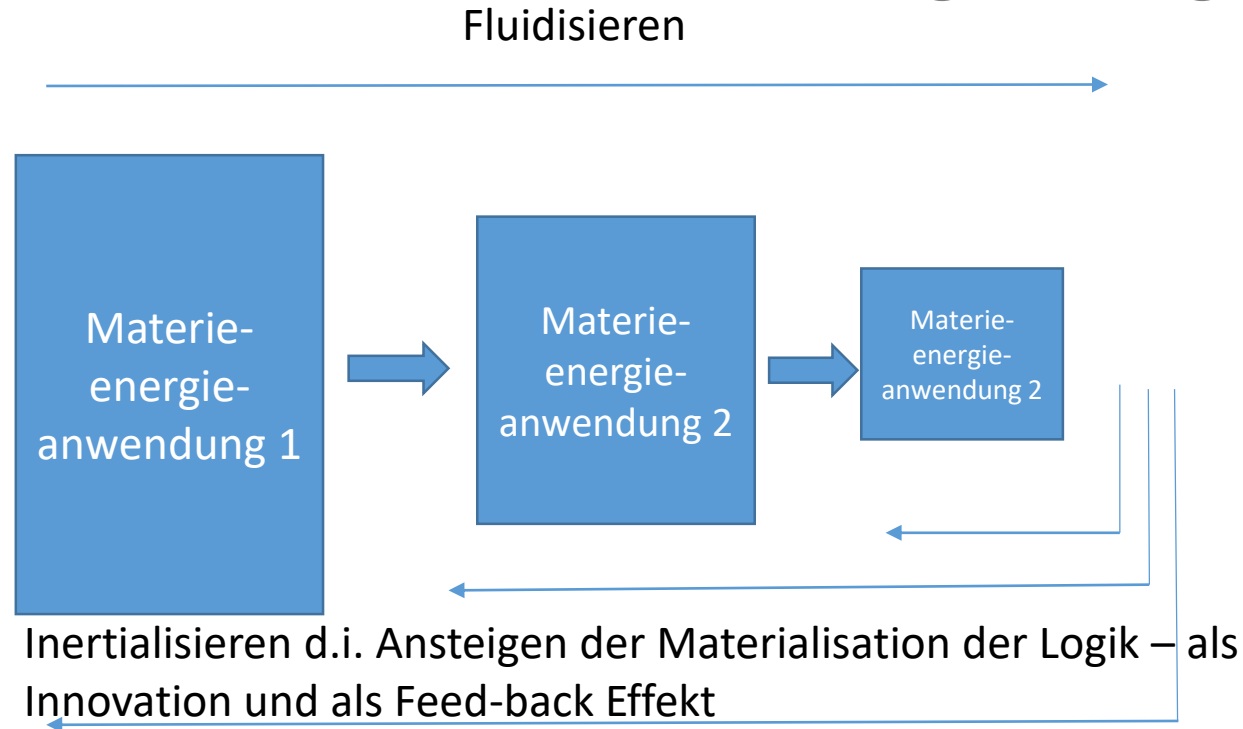
2. Fluidisieren & Inertialisieren

* Fluidisieren

→ Informationsanwendungen steigen,
Systeme werden dynamischer, flexibler, personalisierter

* Inertialisieren

→ Materialisierte Informationsanwendungen steigen: Produktion
und Logistik



- Metall3D-Druck ist das Fluidisieren des Gießprozesses
 - Klassische Gussform
 - „Gießen“ mit CNC-Steuerung = 3D-Druck (AM) → „fluidisiert“
- Gegossene Spritzgussformen (sind rückgekoppeltes Gießen)
 - Ermöglichen durch das Gießen das Gießen (Kybernetik 2ter Ordnung)
 - dadurch dass z.B. Kühlkanäle mitgegossen werden können, kann die KÜHLUNG verbessert werden und damit die Produktivität erhöht werden (ist z.T. nur mit 3D-Druck möglich)

2. 3D-Druck- Metall 3D-Druck – Nutzen 1

- Nutzen von 3D-Druckanwendungen entsteht durch Verteilungen der Druckzentren (Inertialisieren – d.i. großes Netzwerk) → große Investitionen
- Kosteneinsparungen durch Nutzen von **Metall 3D-Drucknetzwerken**, da das Wechseln des Pulvers derzeit sehr aufwendig ist → die ganze Maschine muss gereinigt werden 1/2 Tag bis 1 Tag
 - damit wird geringe Auslastung kompensiert, bei gleichzeitiger Wahrung anwendungsspezifischen Materialvariabilität
- Nutzen entsteht durch lokale Arbeitsintegration – Hoch qualifizierte Fachkräfte für die Bedienung der Maschinen (Fluidisieren)
- Nutzen entsteht durch Firmenübergreifende Lehrlingsausbildung (Inertialisieren) → i.a. politische Finanzierung notwendig und sinnvoll

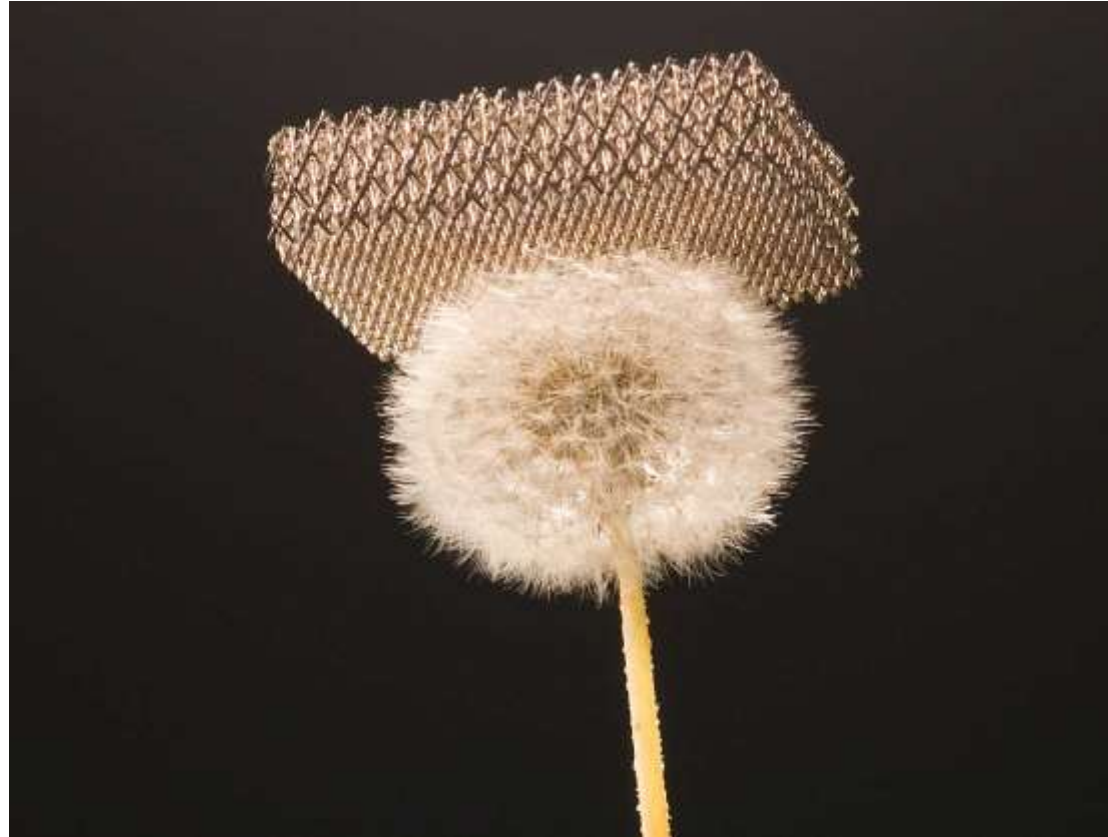
2. 3D-Druck- Metall 3D-Druck – Nutzen 2

- Nutzen von 3D-Druckanwendungen in einem **logistischen Netzwerk** z.B. bei Transportanwendungen → sehr flexible Ersatzteillieferung; ökologischer Nutzen durch Lokalanpassung (Inertialisierung und Fluidisierung).
- Universelle Werkzeugmaschine. Beliebige Produktionsteile.
- Außergewöhnliche Lösungen möglich → „complexity for free“
- Nahezu verschwendungsfrei – z.B. bei hohen Materialkosten (Gold etc.)
- Bauteile ein einem Stück herstellbar → mehrere Baugruppen zusammen (z.B. Motorenkomponenten)

3.) Wirtschaftliche Anwendungen ++

- Schmuckanwendungen und Kunst
- Anwendung als Spritzgusswerkzeuge
- Anwendungen als Hochleistungsfräswerkzeuge (mit integrierter Kühlung)
- Sehr kleine tragbare Kühler
- Leichtbauanwendungen im Fahrzeug/Flugzeugbau/Raumfahrt i.a. mobile Anwendungen
- Exoskelett
- Extremleichte Materialien

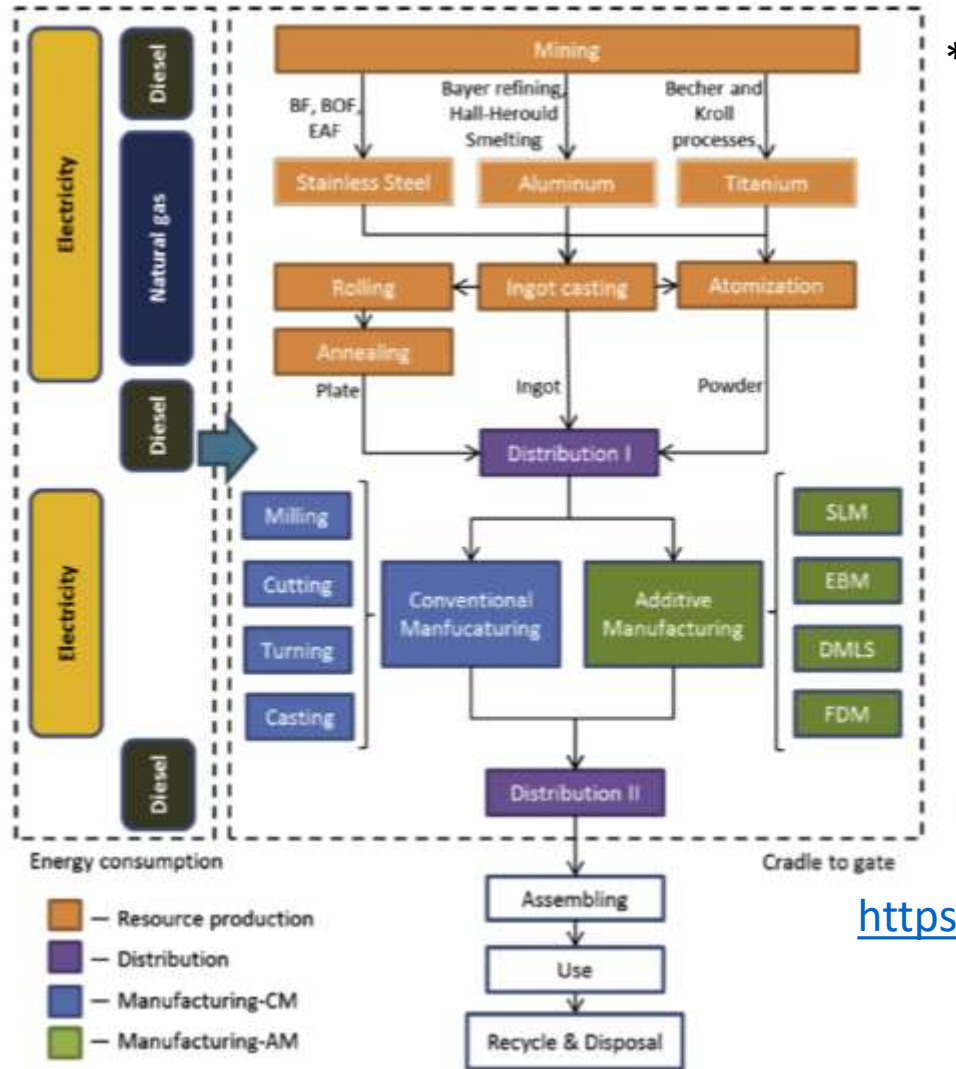
3. Leichtestes Metall der Welt



© Dan Little / HRL Laboratories

Das aus einem Gitter aus hohlen Metallröhrchen aufgebaute Ultraleicht-Material ist so leicht, dass es sogar auf dem Samenstand eines Löwenzahns liegen kann, ohne ihn zu beschädigen.

3. AM – in der Flugzeugindustrie* (1)



NASA's Plan to Make Supersonic Flight Quiet

<https://www.youtube.com/watch?v=cVkcParH6Ww>

US Air Force 2015: Secrets of future Air Power

<https://www.youtube.com/watch?v=8kHsWT9>

yeLc

*[HuR15]

Metall3D-Druck

3. AM – in der Flugzeugindustrie* (5)

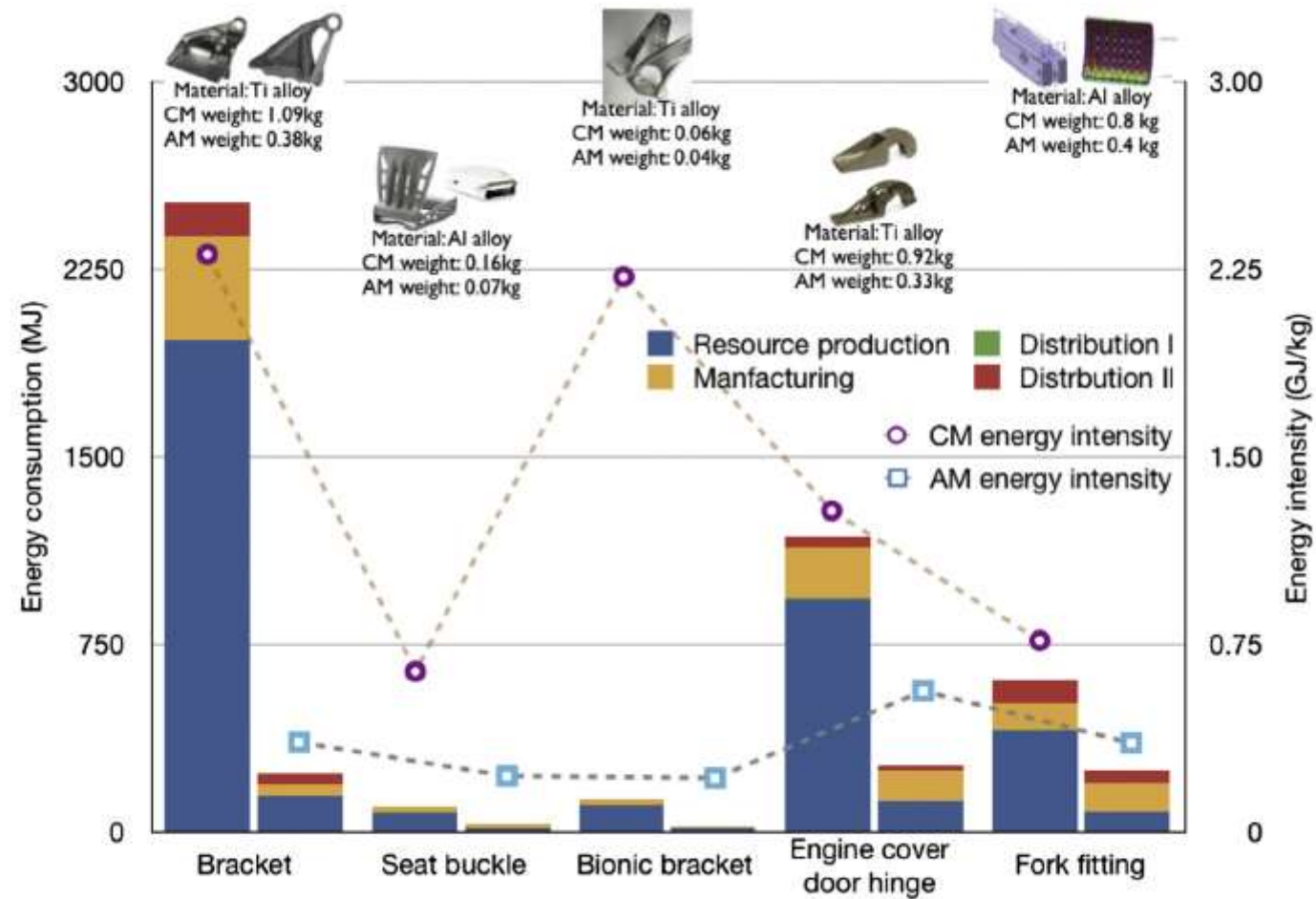
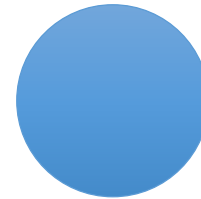


Fig. 2. Cradle to gate primary energy results for case study components.

*[HuR15]

3. AM – in der Flugzeugindustrie* (9)



important for airplanes. If AM components evaluated in this study are used to their full potential, airplane fuel consumption could be reduced by as much as 6.4%.

The LCI analysis of cradle-to-gate energy use also shows that producing AM components may use as little as 1/3 to 1/2 of the energy needed to produce CM components. In our study that evaluated only a few specific AM applications, we identified the potential to save 4050 tons/year Aluminum, 7600 tons/year Titanium and 8110 tons/year Nickel by 2050. Although the metal waste

Life Cycle Inventory

Conventional Manufacturing

*[Hur15]

3. AM – in der Flugzeugindustrie* (8)

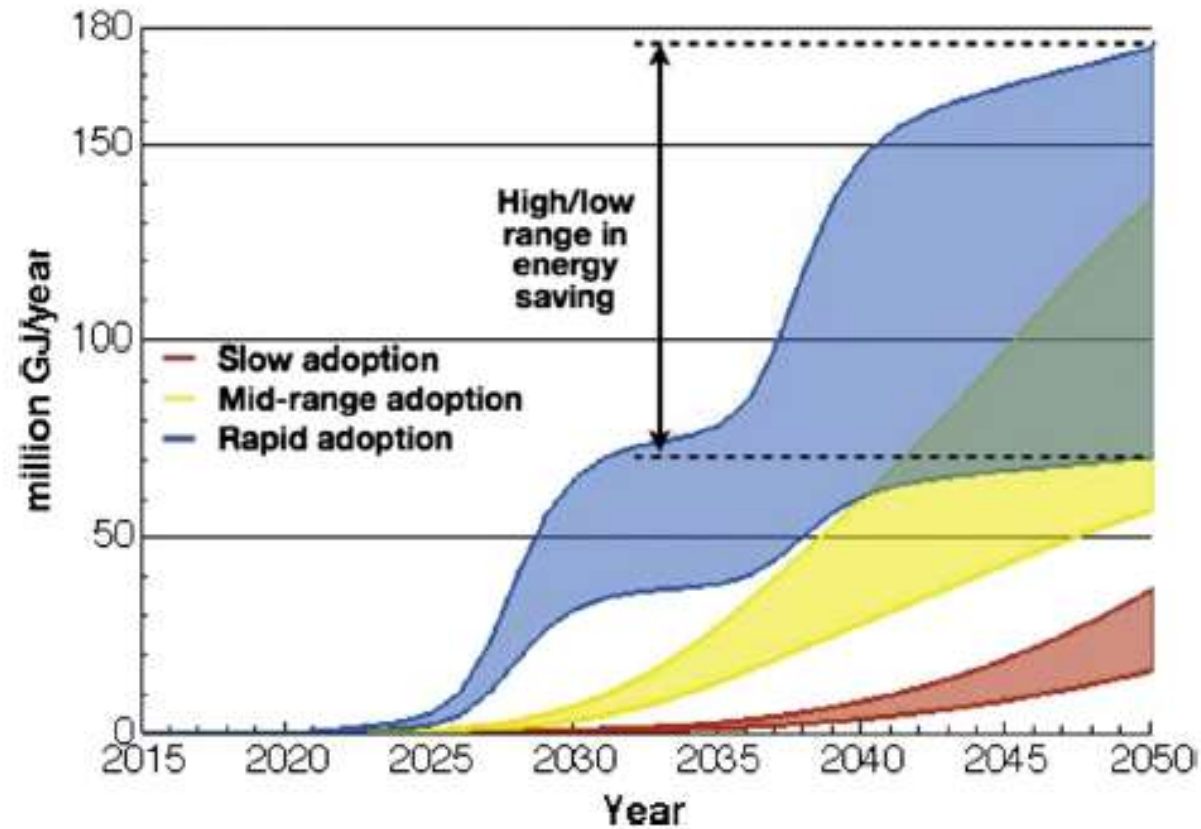


Fig. 4. Fleet-wide primary energy use implications of AM Adoption.

*[HuR15]

3. Zukünftige Anwendungen

- Generatoren mit einer höheren Leistungsdichte
- Kombiniertes 3D-Druck mehrere Metalle: → z.B. 4D-Druckanwendungen als eine Erweiterung der materialisierten Logik
- Hochleistungsanwendungen im Werkzeugbau

4. Ausbildungszentrum Villach - GPS

 **AUSBILDUNGSZENTRUM
VILLACH**

Europastrasse 9
9524 Villach / St. Magdalen



Metall3D-Druck

4. GPS - Ausstattung 3D Druck Labor - Metalldruck



EOS M400 DMLS

Bauraum 400x400x400
1 kW Yb-Fiber Laser
Scan speed bis 7.0 m/s
Fokusbereich 90µm



4. GPS - Ausstattung 3D Druck Labor - Metalldruck



EOS M290 DMLS

Bauraum 250x250x325

400W Yb-Fiber Laser

Scan speed bis 7.0 m/s

Fokusbereich 100µm



4. GPS - Ausstattung 3D Druck Labor - Metalldruck

Verfügbare Metallpulver

- Aluminium
- Kupfer Legierungen
- Rostfreie Stähle
- Martensitausgehärtete Stähle
- Verschleißfeste Stähle
- Vergütungsstähle
- Nickel Legierungen
- Wolfram
- Titan
-



4. GPS – Ausstattung Makerspace - Kunststoffdruck



Stratasys J735-750

PolyJet Technologie

Material:

Vero™ VeroVivid™ Vollfarbe

Agilus30™ Flexibel

Vero Clear Transparent

Bauraum 490 × 390 × 200

Schichtdicke 0,014mm

HP MJF4200



HP Multi Jet Fusion Technologie

Material - VESTOSINT® PA 12

Bauraum 380x284x380

Baugeschwindigkeit 4115 cm³/Stunde

Schichtdicke 0,08mm

Metall3D-Druck



4. GPS Ausstattung Postprocessing

Strahlanlage

IEPCO PEENMATIC 750S

Poliermaschine

Polimaxx-vario

Trowalisiertrommel

Lortone C40



4. GPS Ausbildungskonzept Additive Fertigung 1



4. GPS Ausbildungskonzept Additive Fertigung 2



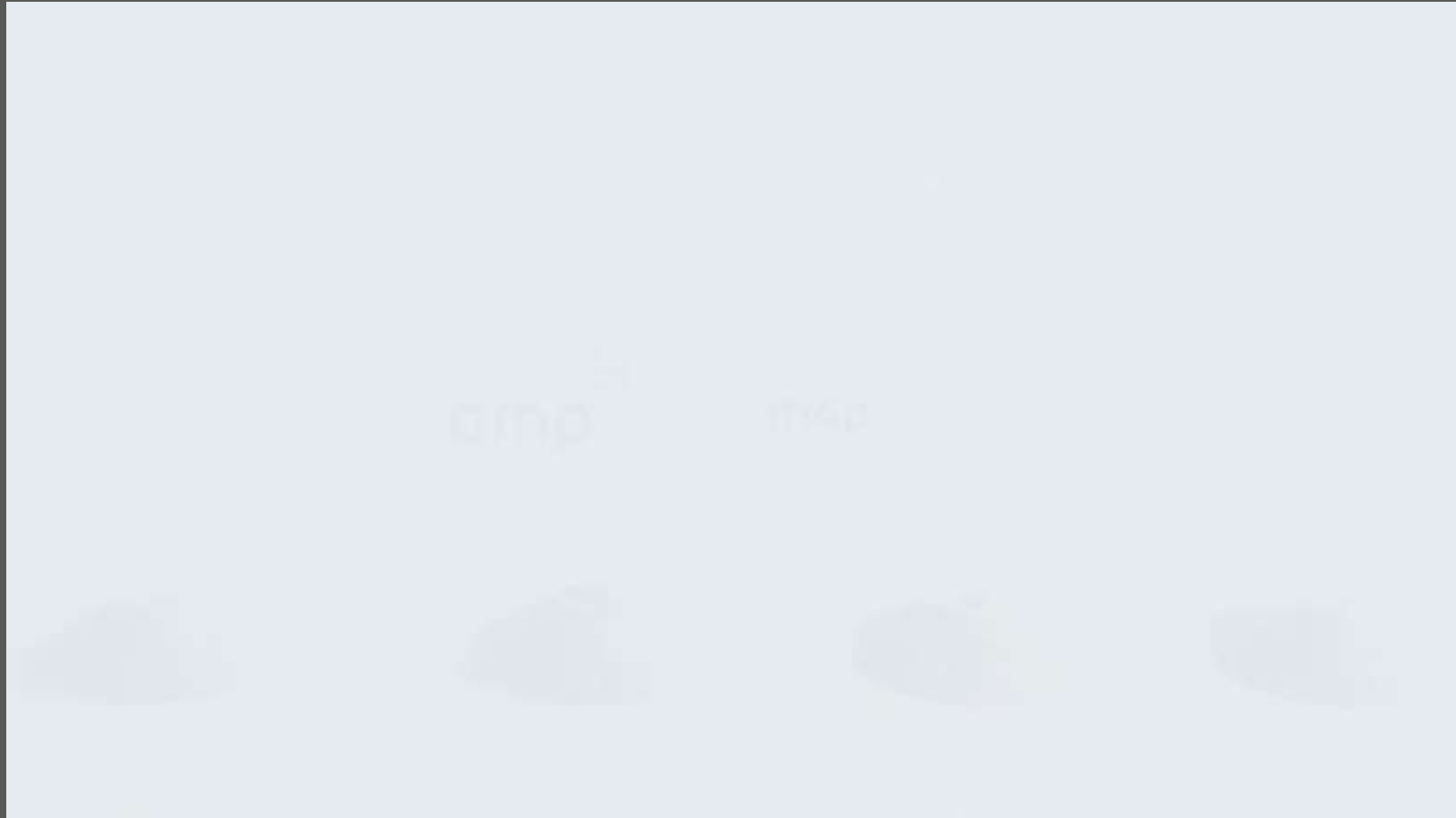
4. GPS Ausbildungskonzept Additive Fertigung 3

	Leadership Training	Basics Training	Advanced Training	Expert Training
Grundlagen	✕	✕		
Theoretische Ausbildung	✕	✕	✕	
Praktische Ausbildung			✕	✕
Projektarbeit				✕

4. GPS - Additive Partnerschaft



4. GPS-Metall 3D-Drucker



4. Al -m4p

Basis	Material Klasse	Produkt Name	Werkstoff Eigenschaften
Al	Aluminium	m4p™ AlSi10Mg	Standard Aluminium Gußlegierung mit guter Schweißbeignung
		m4p™ AlSi9Cu3	Aluminiumlegierung mit einer vorteilhaften Kombination aus hoher Wärmeleitfähigkeit und guten Festigkeits- und Korrosioneigenschaften.
		m4p™ AlSi7Mg	Im Vergleich zum AlSi10Mg mit reduzierten mechanischen Kennwerten
		m4p™ B-PureAl	Aluminiumlegierung mit geringstem Legierungsanteil und dadurch hoher Wärmeleitfähigkeit
		m4p™ B-AW7075	Hochfeste Aluminiumknetlegierung mit sehr guter Polierbarkeit – bedingt schweißgeeignet.
		m4p™ B-DuktAl	Aluminiumlegierung mit höchster Duktilität für verformungsbeanspruchte Anwendungen
		m4p™ B-HartAl	Partikelverstärkte Aluminiumlegierung mit hoher Festigkeit und erhöhter Verschleißfestigkeit
		m4p™ B-StrengthAl	Höchstfeste Aluminiumlegierung als Scalmaloy Alternative
		m4p™ B-AW6060	Aluminiumknetlegierung mit guter Korrosionsbeständigkeit; sehr gut anodisierbar – bedingt schweißgeeignet.

4. Cu - m4p

Cu	Kupfer Legierungen	m4p™ CuNiSiCr	Aushärtbarer kupferbasierter Hochleistungswerkstoff, mit hoher elektrischer und thermischer Leitfähigkeit bei hoher Härte und Festigkeit; bis zu 42% IACS bei guter additiver Verarbeitbarkeit
		m4p™ PureCu	<u>Hochreines Kupferpulver</u> für Anwendungen mit höchster elektrischer und thermischer Leitfähigkeit; Reinheitsgrad >99,95%Cu
		m4p™ CuCrZr	Aushärtbarer kupferbasierter Hochleistungswerkstoff mit hoher elektrischer und thermischer Leitfähigkeit und hoher Entfestigungstemperatur; bis zu 80%IACS - anspruchsvoller additiv zu verarbeiten im Vergleich zu CuNiSiCr
		m4p™ Al-Brz9,5	Aluminiumbronze; Kupferwerkstoff mit höchster mechanischer Festigkeit und optimaler Zähigkeit - auch bei niedrigsten Temperaturen. Es lässt sich sehr gut additiv verarbeiten und weist neben den exzellenten mechanischen Eigenschaften einen hohen Widerstand gegen abrasiven Verschleiß auf. Traditionell liegen die Anwendungen im maritimen Bereich.
		m4p™ B-CoNiBe	Aushärtbare Kupferlegierung, die sich insbesondere durch eine hohe Warmfestigkeit auszeichnet. Das Material ist vor allem bei der Kombinationserwartung einer hohen Festigkeit und guter elektrischer und thermischer Leitfähigkeit gefragt.
		m4p™ CuZn42	Messinglegierung mit sehr geringem Bleigehalt und dadurch besonderer Eignung für Schmuckanwendungen. Darüber hinaus <u>besitzt der Werkstoff ein günstiges Verhältnis</u> von Festigkeit und Verformbarkeit, was eine Vielzahl industrieller Anwendungen ermöglicht.
		m4p™ Brz10	Bronze/Konstruktionswerkstoff; Zinnbronze mit guten mechanischen Festigkeitseigenschaften und bester Korrosionsbeständigkeit

4. Fe -m4p

Fe	Rostfreie Stähle	m4p™ 316L	Korrosionsbeständige austenitische Legierung mit guten Verformungseigenschaften. Breites Einsatzspektrum
		m4p™ Fe-4542	Auch bekannt unter 17-4PH (AISI-Norm) ist eine aushärtbare nichtrostende Legierung mit ausgezeichneten Festigkeitseigenschaften.
		m4p™ CrMo1	Niedrig legierter, warmfester Stahlwerkstoff für Verwendungstemperaturen bis 530°C. Einsatz im Kesselbau, Kraftwerksbau oder Energieerzeugung.
		m4p™ Fe-4828	Nichtrostender hitzebeständiger austenitischer CrNi-Stahl. Standardgüte für Ofenbau und Hochtemperaturanwendungen
		m4p™ Fe-4011	Feritischer, rostfreier Chromstahl mit guter Verarbeitbarkeit. Insbesondere zur Herstellung ferromagnetischer Bauteile und Prototypen.
		m4p™ Fe-4021	Martensitischer Chromstahl, mit gutem Korrosionswiderstand. Für Konstruktionsteile aber auch Werkzeuge die Schneidkanten aufweisen oder eines erhöhten Verschleißwiderstandes bedürfen.
		m4p™ Fe-4308	Korrosionsbeständige austenitische Legierung – (im Vergleich zum m4p 316L mit reduzierter Lochfraßbeständigkeit)
		m4p™ B-CXplus	Rostfreier gut polierbarer Edelstahl mittlerer bis hoher Härte, insbesondere für <u>nicht-rostende Werkzeuge und Formen</u>
		m4p™ Fe-4405	Korrosionsbeständiger Fe-Basiswerkstoff mit hoher Temperaturwechselfestigkeit, härter als m4p 316L.

4. Fe – m4p

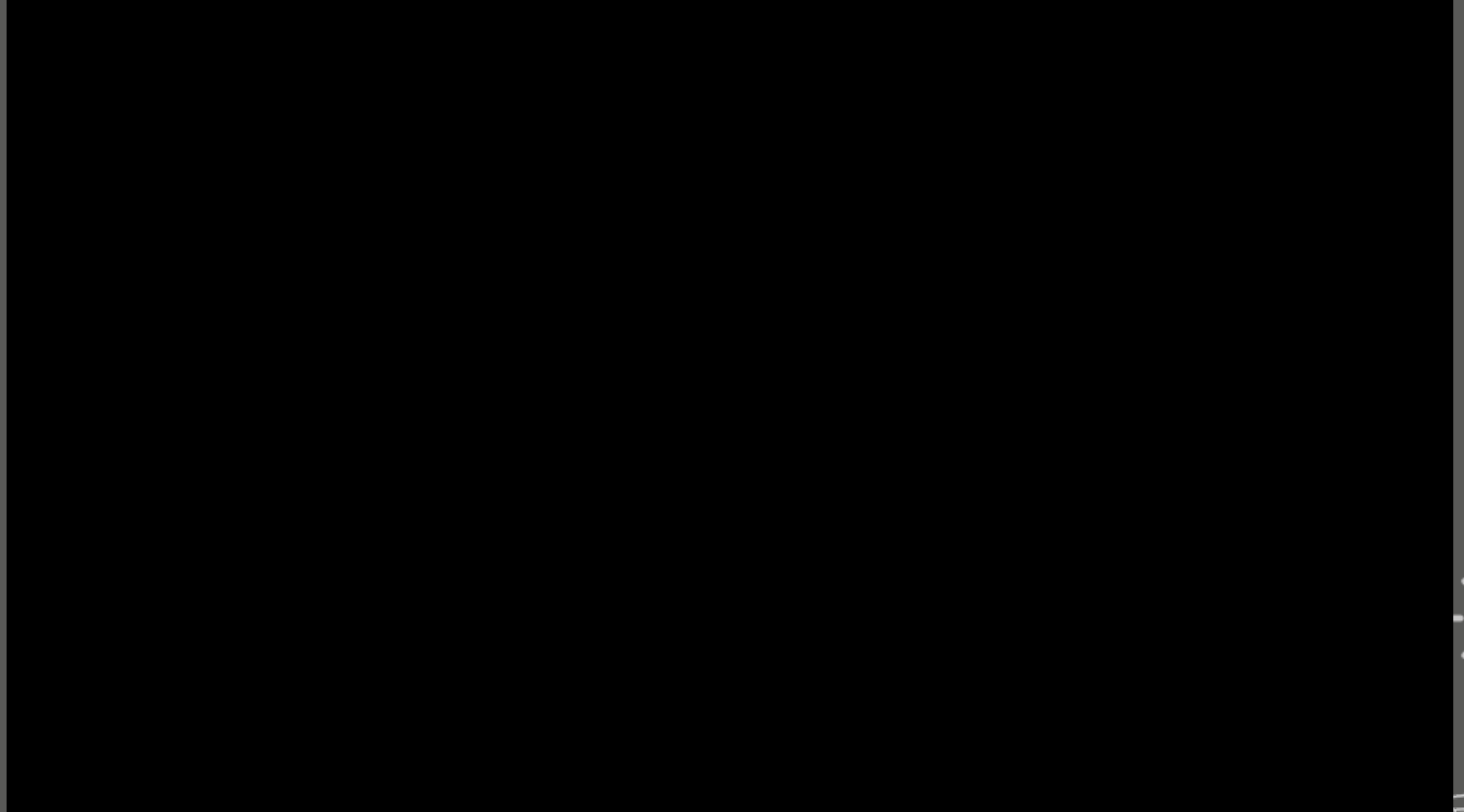
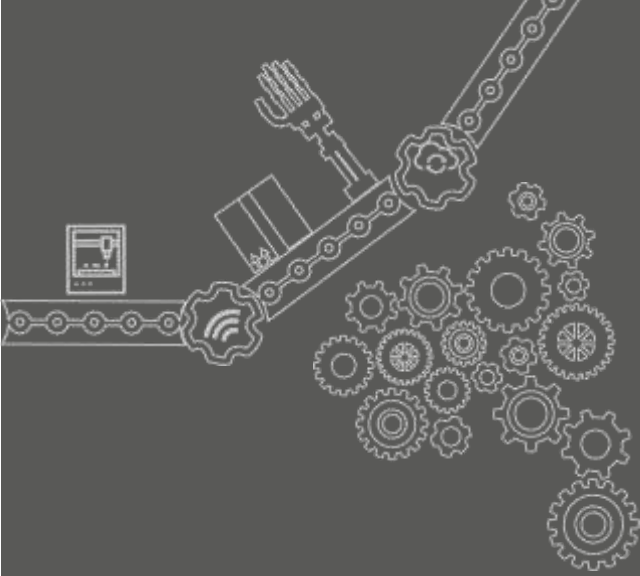
Basis	Material Klasse	Produkt Name	Werkstoff Eigenschaften
Fe	Martensit- gehärtete Stähle	m4p™ Fe-2709	Werkzeugstahl (Maraging steel) mit exzellenten mechanischen Eigenschaften und extremen Festigkeiten bzw. hohen Härtewerten nach Wärmebehandlung (490°C/6h)
		m4p™ MS2	Alternativer Maraging Steel für hochbeanspruchte Teile im Werkzeug- und Formenbau – insbesondere für bessere Oberflächen nach dem Erodierprozess im Vergleich zum m4p Fe-2709.
Fe	Verschleißfeste Stähle	m4p™ Fe-2343	Zäher und warmfester Stahl für Werkzeug- und Formenbau mit hoher "as built" Härte (48 HRC) und kann bis 52-56 HRC nachgehärtet werden
		m4p™ H13	Vielseitig einsetzbarer Warmarbeitsstahl – ohne Vorwärmung verarbeitet, neigt das Material zur Rissbildung.
		m4p™ B-type26	Hochtemperaturbeständiger Eisenbasiswerkstoff für anspruchsvolle Anwendungen im Motorenbau
		m4p™ FeCr-10V	Verschleißbeständige Eisenbasislegierung mit guter Restzähigkeit für Schneidanwendungen oder Anwendungen gegen feinschmiergelenden Verschleiß.
Fe	Vergütungsstähle	m4p™ Fe-6773	<u>Vergütungsstahl mit hoher Verschleißfestigkeit</u>
		m4p™ 42CrMo	Vielseitig einsetzbarer Vergütungsstahl für hochbeanspruchte Anwendungen – ohne Vorwärmung verarbeitet, neigt das Material zur Rissbildung.
Fe	<u>Einsatzstähle</u>	m4p™ 18CrNiMo7-6	Zähharter Einsatzstahl mit guter Verarbeitbarkeit für <u>Getriebeteile und Zahnräder.</u>
Fe	<u>Weichmagnetische Werkstoffe</u>	m4p™ FeSi2,9	Weichmagnetischer Werkstoff auf Fe-Basis mit guter Verarbeitbarkeit im additiven Prozess.
		m4p™ FeSi6,5%	Weichmagnetischer Werkstoff auf Fe-Basis mit guter Verarbeitbarkeit im additiven Prozess
		m4p™ CoFe48	Weichmagnetischer Werkstoff mit höchster Sättigungspolarisation.
		m4p™ FeCo50	Weichmagnetischer Werkstoff mit hoher Sättigungspolarisation.

METALS FOR PRINTING

4. W, Ti, Mo, Co – m4p

W	Wolfram	m4p™ APV5	Ein Wolframpulver, das sogar unter Standardbaubedingungen zu akzeptablen Dichtewerten führt:
		m4p™ Hart12	Typische Hartmetall-Zusammensetzung
		m4p™ Hart17	Typische Hartmetall-Zusammensetzung mit höherem Binderanteil und dadurch höherer Duktilität
		m4p™ sWC	Ultra-harter Hartstoff
Ti	Titan	m4p™ Ti64	Ti-64 stellt ein Ti-Basis-Pulver dar, das für die generative Fertigung von industriellen Bauteilen im Pulverbettverfahren mittels Laserstrahl geeignet ist.
		m4p™ Ti64 grade5	Vielseitige Ti-Legierung, mit ausgezeichnetem Festigkeits-Gewichts-Verhältnis und besten Korrosionswiderstand.
		m4p™ Ti64 grade23	Der Werkstoff weist ein ausgezeichnetes Festigkeits-Gewichts-Verhältnis auf. Im Zusammenspiel mit der hohen Korrosionsbeständigkeit ist m4p™ Ti-64 ELI für anspruchsvolle Anwendungen prädestiniert.
Mo	Molybdän	m4p™ APV6-2	Molybdänbasiswerkstoff für die additive Fertigung
Co	Cobalt	m4p™ CoF75	Spezial
		m4p™ CoT400	Spezial
		m4p™ CoT800	Spezial

4. GPS-Metall3D-Drucker Pulver-Handling



1.) Metall-3D-Druck

2.) Systemtheoretische Betrachtungen

- 4.und 5. HS. Thd. und Implikationen für Metall 3D-Druck
- Fluidisieren und Intertialisieren als Metakonzept
 - Systemische Vorteile Metall 3D-Druck

3.) Wissenschaftliches und Anwendungen

- Flugzeugindustrie, aktuelle und zukünftige Anwendungen

4.) GPS-Metall 3D-Druck Anwendung

- Verwendete Maschinen
- Ausbildungskonzept als praktisch systemische Anwendung
- Verwendbare Materialien Pulver

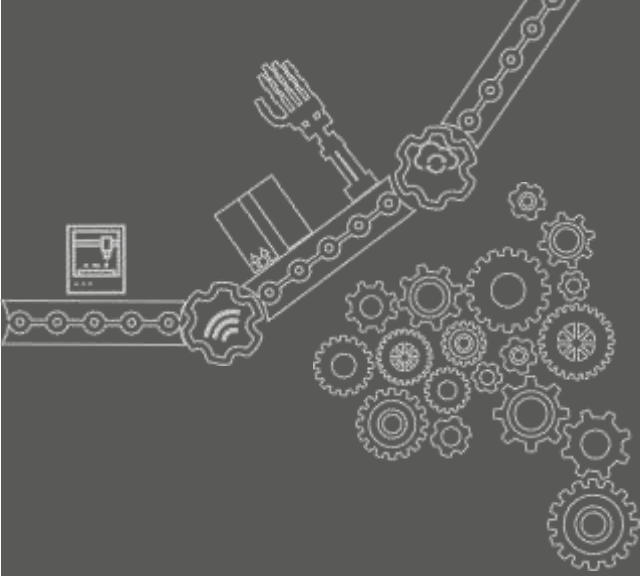
Herzlichen Dank für die Aufmerksamkeit!



FH-Prof. Mag. DI Dr. Bernhard Heiden MBA

*Professor for
Production Engineering
b.heiden@fh-kaernten.at*

PS.: The presentation you will find soon also at: <http://www.dr-heiden.com/Vortraege.htm>



Wirtschaftsingenieure verbinden ...



Literature AM Recommendation 1

- [3DS18] 3DSL, 2018, Markforged Mark Two Enterprise 3D Printer, product description, <https://www.3dsl.com.au/shop/markforged-mark-two-enterprise-3d-printer/>, retrieved 2018/10/02
- [BeL10] Bertalanffy v., L. (2009), General System Theory, George Braziller, New York, 7th Ed.
- [GeA14] Gebhardt A., 2014, 3D-Drucken, Grundlagen und Anwendungen des Additive Manufacturing (AM), Carl Hanser Verlag, München
- [HaT15] Halterman TE, 3DPRINT, 2018, 3HTi Signs Deal with MarkForged to Sell the Mark One 3D Printer, <https://3dprint.com/45660/3htimarkforged-partnership//> publication date 2015/02/15, retrieved 2018/10/02
- [HeB16] Heiden B., 2016, Wirtschaftliche Industrie 4.0 Entscheidungen - Mit Beispielen - Praxis der Wertschöpfung, AV Akademikerverlag
- [HeB17] Heiden B. & U. Leitner, 2016, Additive Manufacturing with coated materials - First experimental investigations and design considerations, Paper & Presentation, ICAT2016, Nürnberg, Germany
- [HeB18] Heiden B. & U. Leitner, 2018, Additive Manufacturing – a system theoretic approach
2018/10/11, Conference ICAT 2018, Maribor, Slovenia
- [GeA14] Gebhardt A., 2014, 3D-Drucken, Grundlagen und Anwendungen des Additive Manufacturing (AM), Carl Hanser Verlag, München
- [GOM18] GOM, 2018, ARAMIS 3D Camera, Product Description, <https://www.gom.com/de/messsysteme/aramis/aramis-3d-camera.html>, retrieved 2018/10/02
- [Gil15] Gibson I. et al., 2015, Additive manufacturing technologies, 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing, Springer Verlag
- [LeU16] Leitner U., 2016, 3-D Druck von Verbundwerkstoffen - Erstellung eines Prozesskonzeptes für glasfaserverstärkten Kunststoff (GFK), Bachelorthesis, Carinthia University of Applied Sciences, Villach

Literature AM Recommendation 2

- [LuJo8] Lunze, J. (2008) Automatisierungstechnik, Oldenburg Verlag, München, 2nd ed.
- [WiG15] Gerd Witt et. al, Neue Entwicklungen in der Additiven Fertigung: Beiträge aus der wissenschaftlichen Tagung der Rapid.Tech, 2015, Springer Verlag

Anhang Beispiele:

<https://m.youtube.com/watch?v=Ul7aMxCcoFo>