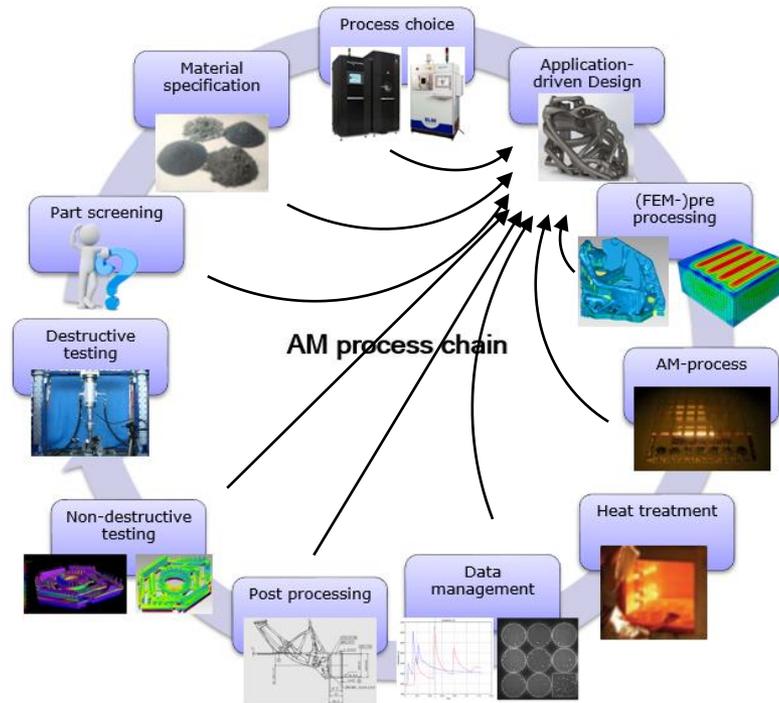
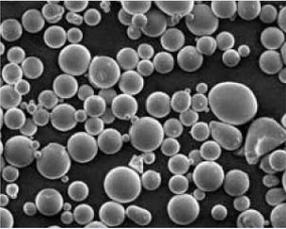
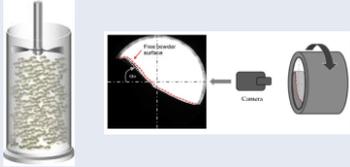
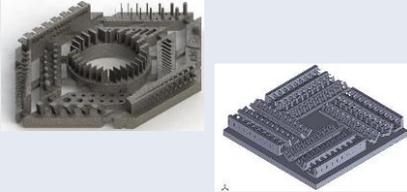
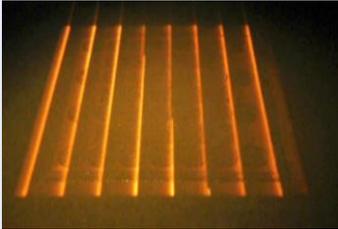


KONSTRUKTION UND DESIGN FÜR DIE ADDITIVE FERTIGUNG

Dr. rer. nat. Burghardt Klöden (Fraunhofer IFAM, Dresden),
Dipl.-Ing. Michael Süß (TU Dresden, KTC)



Kooperation IFAM & KTC für AM / Electron Beam Melting (EBM)

Powder (IFAM)	Design (KTC)	Process (IFAM & KTC)
<ul style="list-style-type: none"> Accredited lab for characterization Assessment of new powder analytics  	<ul style="list-style-type: none"> Design rules, GD&T „Design for AM“, e.g. topology optimization  	<ul style="list-style-type: none"> Process development New materials Prototypes and Components  

Agenda

- Grundlagen, Normung
- Konstruktionsmethodik für die Additive Fertigung
 - Funktionsgerecht Konstruieren
 - Fertigungsgerecht Konstruieren
 - Prozesseffizient Konstruieren
- Zusammenfassung

Grundlagen – Begrifflichkeiten

- Die additive Fertigung ist der „Prozess des Verbindens von Werkstoffen, um Bauteile aus 3-D-Modelldaten, im Gegensatz zu subtraktiven und umformenden Fertigungsverfahren üblicherweise Schicht für Schicht, herzustellen.“(DIN EN ISO/ASTM 52900)

- Einteilung nach Formgebungsverfahren (DIN EN ISO/ASTM 52900)
 - Formende Fertigungsverfahren (Biegen, Schmieden, Guss...)
 - Subtraktive Fertigungsverfahren (Fräsen, Drehen, ...)
 - Additive Fertigungsverfahren

- Standards...

Grundlagen – Normung – national

- VDI 3405-...: - Grundlagen, Begriffe, Verfahrenseinteilung
 - ...-1 – Lasersintern von Kunststoffbauteilen – Qualitätskontrolle
 - ...-1.1 – Lasersintern von Kunststoffbauteilen – Materialqualifikation
 - ...-2 – Strahlschmelzen metallischer Bauteile – Qualitätssicherung & Nachbearbeitung
 - ...-2.1 – Strahlschmelzen metallischer Bauteile – Materialdatenblatt AISi10Mg
 - ...-2.2 – Strahlschmelzen metallischer Bauteile – Materialdatenblatt Nickellegierung 2.4668
 - ...-2.3 – Strahlschmelzen metallischer Bauteile – Charakterisierung Ausgangswerkstoff Pulver
 - ...-3 – Konstruktionsempfehlungen für Lasersintern & -strahlschmelzen → wird zurückgezogen
 - Blatt 3.1 – Konstruktionsrelevante Grundlagen & Begriffe → aktuell in Blatt 3
 - Blatt 3.2 – Prüfkörper für herstellbare Geometrien → in Bearbeitung
 - Blatt 3.3 – Konstruktionsempfehlungen Stereolithografie → eingestellt
 - Blatt 3.4 – Konstruktionsempfehlungen Schmelzextrusionsverfahren → in Bearbeitung
 - Blatt 3.5 – Konstruktionsempfehlungen Elektronen-Strahlschmelzen → September 2018
 - Blatt 3.6 – Konstruktionsempfehlungen Keramikbauteile → in Bearbeitung
 - 6.1 – Anwendersicherheit beim Betrieb additiver Systeme – metallisches Laserstrahlschmelzen

- DIN EN ISO 17296-2; -3; -4 → gehen (vermutlich) in 592.. über

Grundlagen – Normung – international

- DIN EN ISO/ASTM 529...: <https://www.iso.org/ics/25.030/x/>
 - 52900:2015 – Additive Fertigung – Grundlagen - Terminologie
 - 52901:2017 – Grundlagen - Anforderungen an die Beschaffung von additiv gefertigten Bauteilen
 - 52910:2018 – Design – Regeln, Richtlinien, Empfehlungen
 - 52915:2016 – Spezifikation Dateiformat für Additive Fertigung (AMF)
 - 52921:2013 – Maschinenkoordinatensystem & Test Methoden
 - 52911-1 & 52911-2 (Entwurf, Einspruch abgelaufen) – Technische Konstruktionsrichtlinie für Pulverbettfusion – Laserbasierte Pulverbettfusion von Polymeren (Teil 1) & von Metallen (Teil 2)
 - ISO/ASTM DIS 52902:2018 – Test Artefakte – Prüfkörper additiver Systeme

Grundlagen – Normung (Planung, Entwurf 2019)

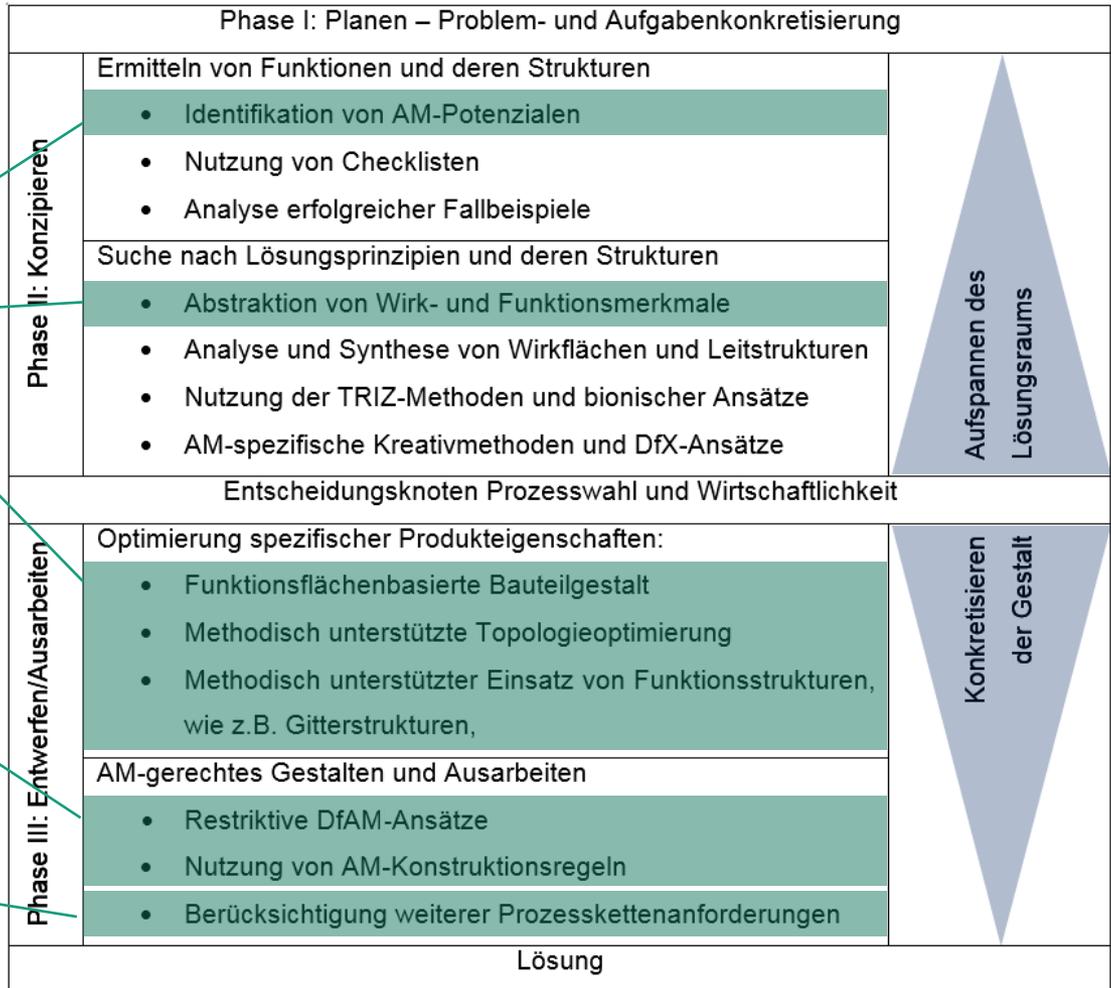
ISO/ASTM	Title
52903	Standard specification for material extrusion based AM of plastics
52904	Standard practice for metal powder bed fusion process to meet critical applications
52905	General principles – Non-destructive testing of additive manufactured products
52906	Non-Destructive Testing and Evaluation – Standard Guideline for intentionally seeding flaws in additively manufactured (AM) parts
52907	Technical specification of metal powder
52908	Post-processing methods -Standard specification for quality assurance and post processing of powder bed fusion metallic parts
52909	Finished part properties – Standard guideline for orientation and location dependence of mechanical properties for metal powder bed fusion
52911-3	Design – Standard Guideline for electron-based powder bed fusion of metals
52912	Functionally graded additive Manufacturing
52914	Design – Standard Guide for Material Extrusion Processes
529...	...

Konstruktionsmethodik

■ Funktionsgerecht Konstruieren

■ Fertigungsgerecht Konstruieren

■ Prozesseffizient Konstruieren

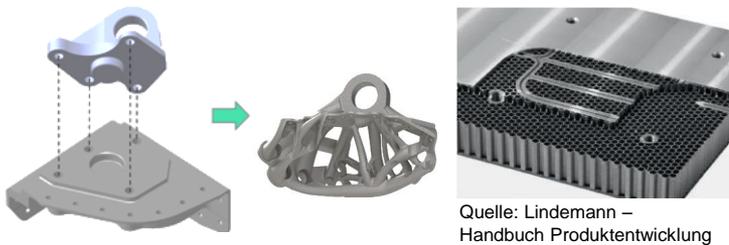


Quelle: in Anlehnung an Kumke 2018: Methodisches Konstruieren von additiv gefertigten Bauteilen, Dissertation, ISBN 978-3-658-22208-3

Funktionsgerecht Konstruieren

■ Potenziale für die Additive Fertigung

Bauteil- / Funktionskombination & -integration



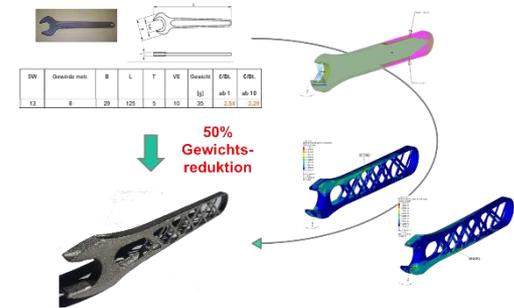
Wirtschaftliche Aspekte
(Materialverbrauch, Losgrößen,
Zeit, Kosten,...)

subtraktiv

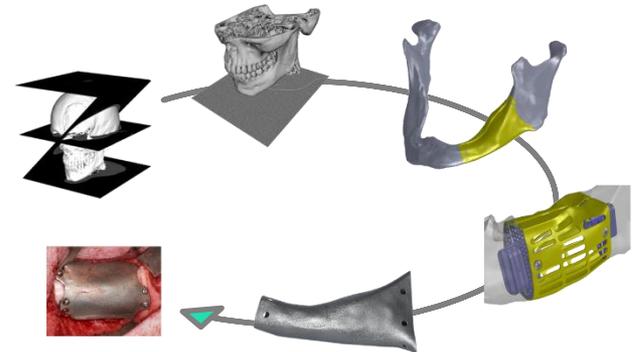
additiv



Funktionsoptimierungspotenzial

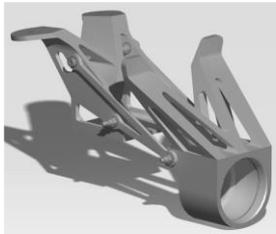


Individuelle, anwendernahe
Bauteilprozessketten

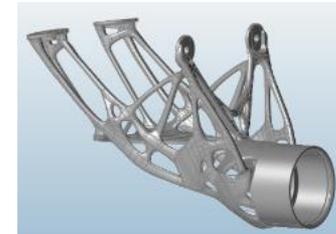


Funktionsgerecht Konstruieren

- Synthese von Wirkflächen → Systemdenken vor Bauteildenken

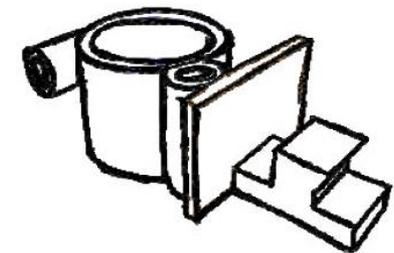
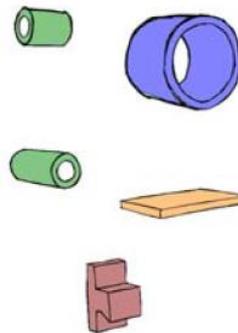
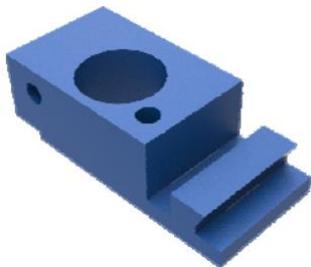


18 Teile (mit
Normteilen)



1 Teil
(keine
Normteile
benötigt)

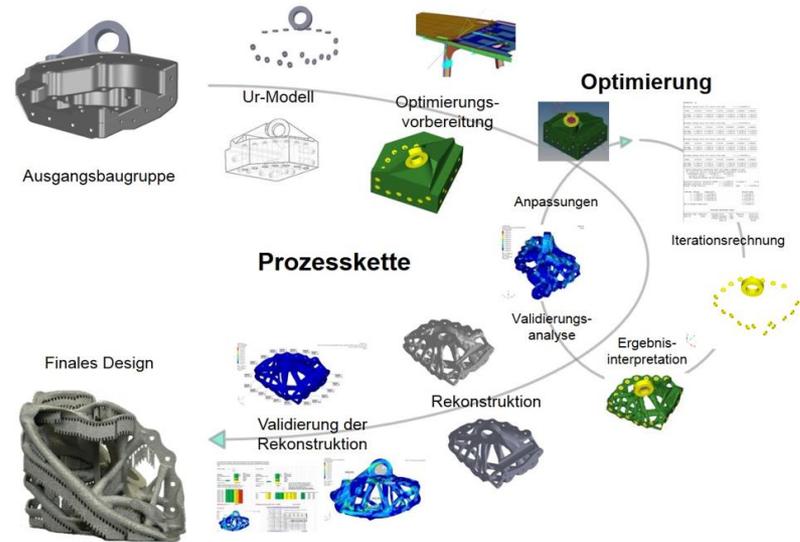
- Funktionsflächenbasierte Bauteilgestalt → abstrahieren



Bildquelle: inspire AG

Funktionsgerecht Konstruieren

- Kraftgerecht
 - Kaum Einschränkungen im Strukturverlauf
 - tatsächlich „nur“ dort Material, wo es notwendig ist
→ Topologie Optimierung



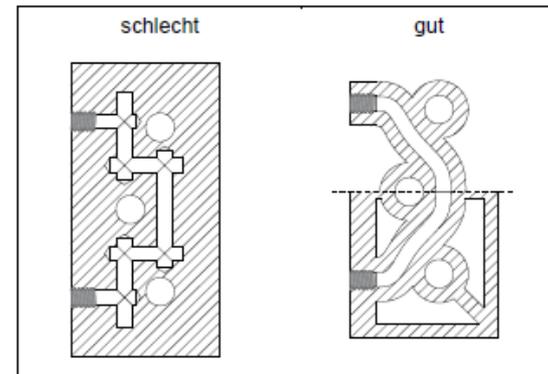
Fluidführungen & Kühlungsstrukturen



Fluidverteiler, Quelle: VDI 3405



Konturnahe Kühlung eines Werkzeuges; Quelle: Renishaw



Gut-Schlecht-Beispiel einer Kanalplatte, Quelle: VDI 3405

Funktionsgerecht Konstruieren

■ Anwendungsgerechte Funktionsstrukturen → Design folgt Funktion

Medizinisches Bauteil?

→ Wie wird es gereinigt?

→ Wie wird es sterilisiert?

oder

Sicherheitskritisches Luftfahrt-Bauteil?

→ Wie wird es inspiziert?

→ Was wenn eine kleine Struktur versagt?

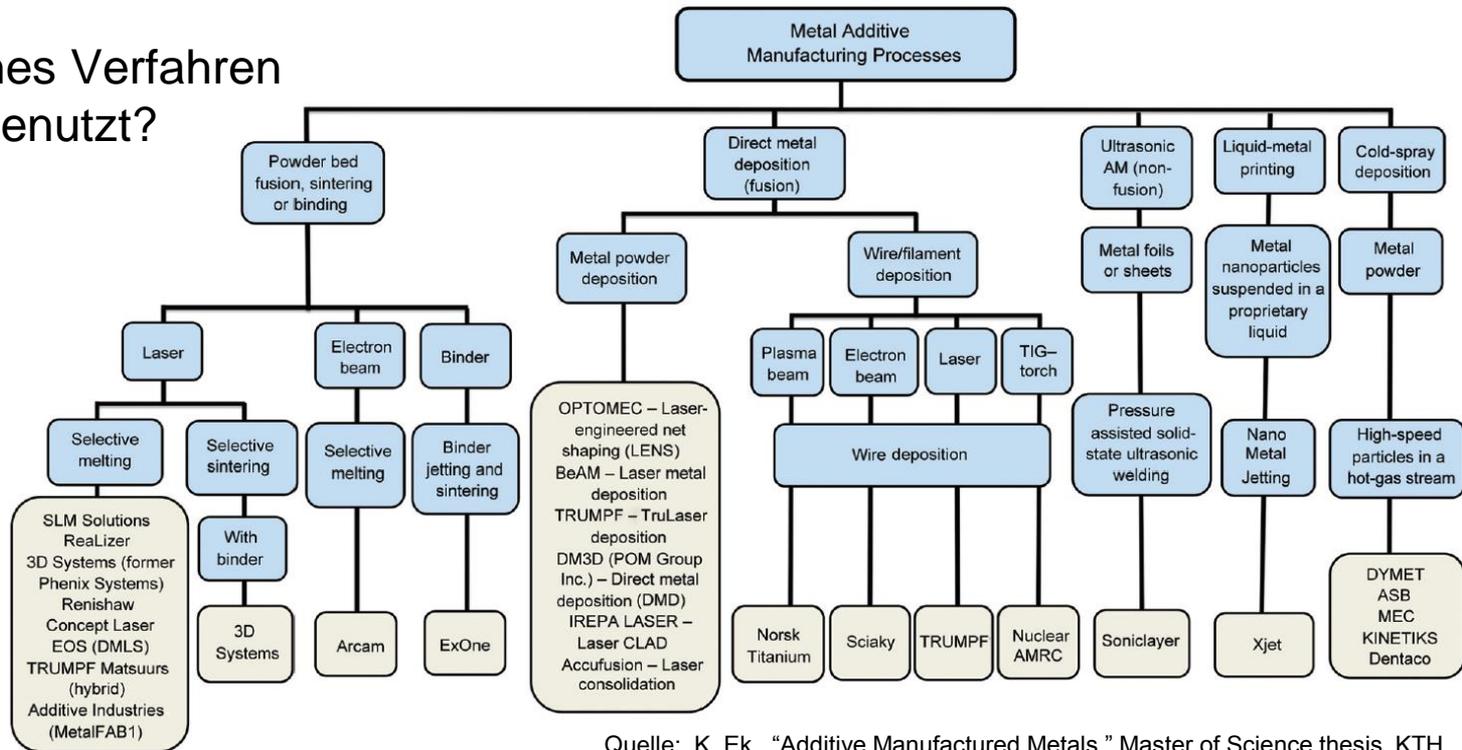
→ Wie viel kleine Strukturen können versagen,
bis das ganze Bauteil versagt?



Quelle: Prof. Richard Bibb: The design process and how it is changed by Additive Manufacturing, Fraunhofer Direct Digital Manufacturing Conference, Berlin, 2016

Fertigungsgerecht Konstruieren

- Welches Verfahren wird genutzt?

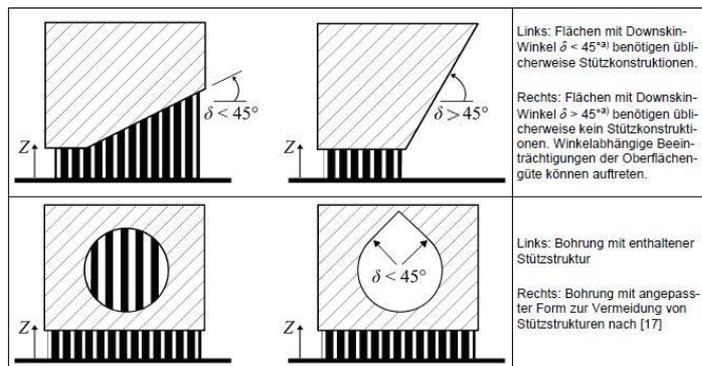


Quelle: K. Ek , "Additive Manufactured Metals," Master of Science thesis, KTH Royal Institute of Technology (2014)

- Entsprechend der Verfahrensvielfalt gibt es spezifische Anforderungen an eine fertigbare Konstruktion

Fertigungsgerecht Konstruieren

- Bauteilorientierung
- Support- / Stützstruktur



^{*)} abhängig von Material und Prozess

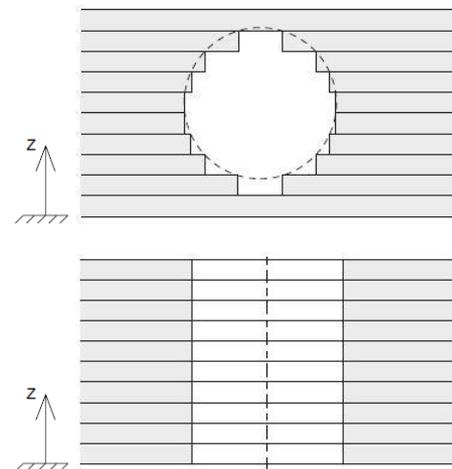
Beispiel zur Nutzung/ Vermeidung von Supportstruktur nach VDI 3405-3



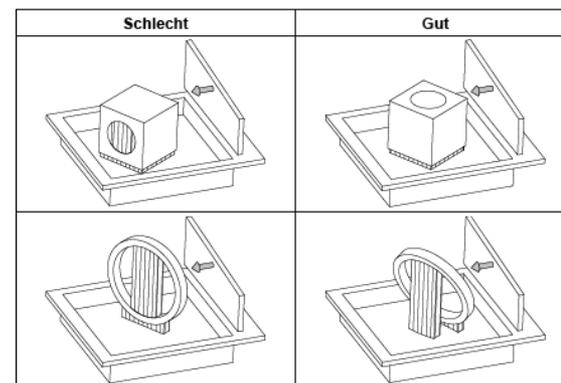
Quelle: Concept Laser Inc.



Quelle: AIRBUS Group



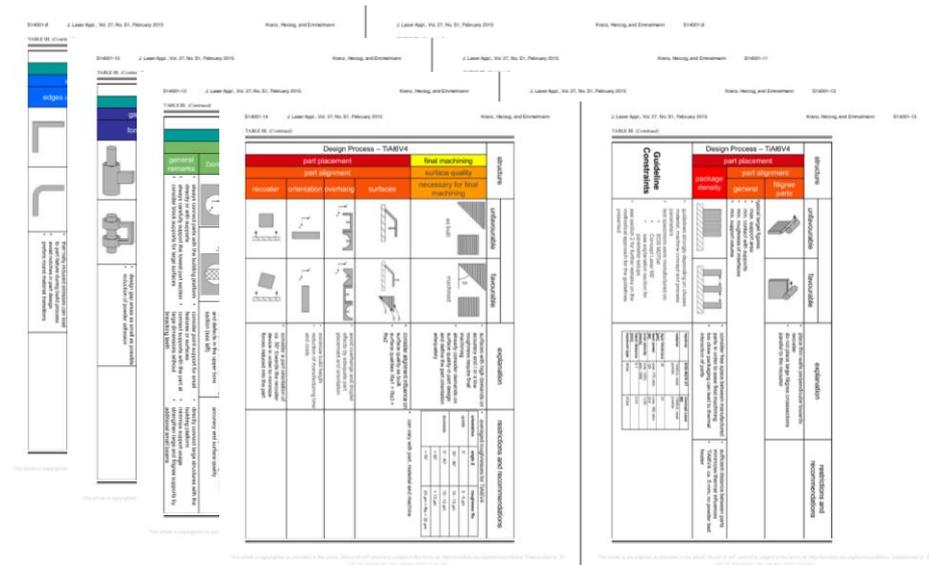
Treppenstufeneffekt durch die Schichtzerlegung beeinflusst entsprechende orientierte Geometrien



Beispiel zur Bauteilorientierung zur Supportstrukturverringern nach VDI 3405-3

Fertigungsgerecht Konstruieren

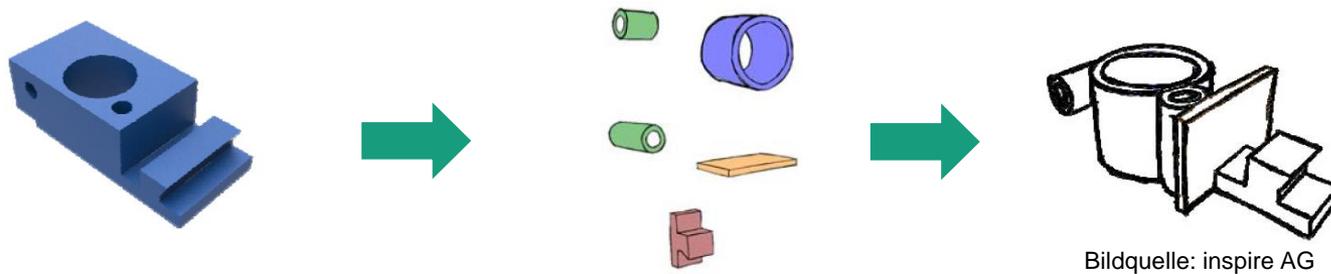
- Verfahrens-(Maschinen-)spezifische Grenzen bestimmter Gestaltungselemente
 - Min. Zylinderdurchmesser/
Wanddicken
 - Min. Lücken-/
Spaltbreiten und
Bohrungsdurchmesser
 - Überhänge
 - ...



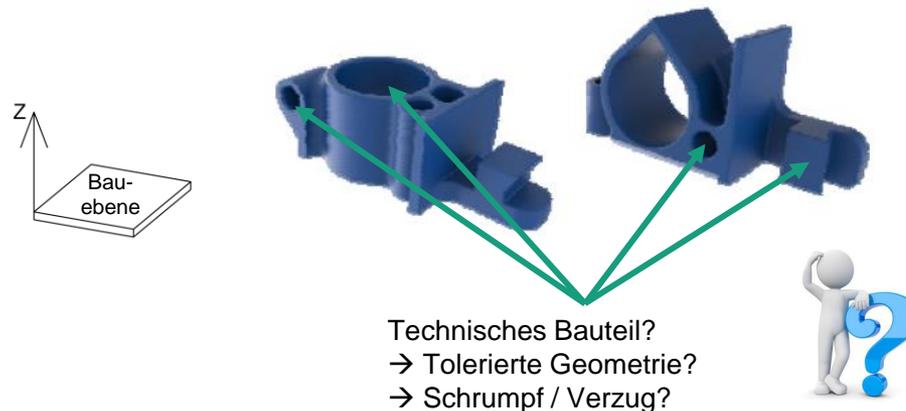
Beispiel eines Konstruktionskataloges für das Laserstrahlschmelzen;
Quelle: Kranz et al.: Design guidelines for laser additive manufacturing
of lightweight structures in TiAl6V4; Journal of Laser Applications 27,
S14001 (2015); doi: 10.2351/1.4885235

Fertigungsgerecht Konstruieren

- Separieren funktionaler Geometrien → Abstrahieren

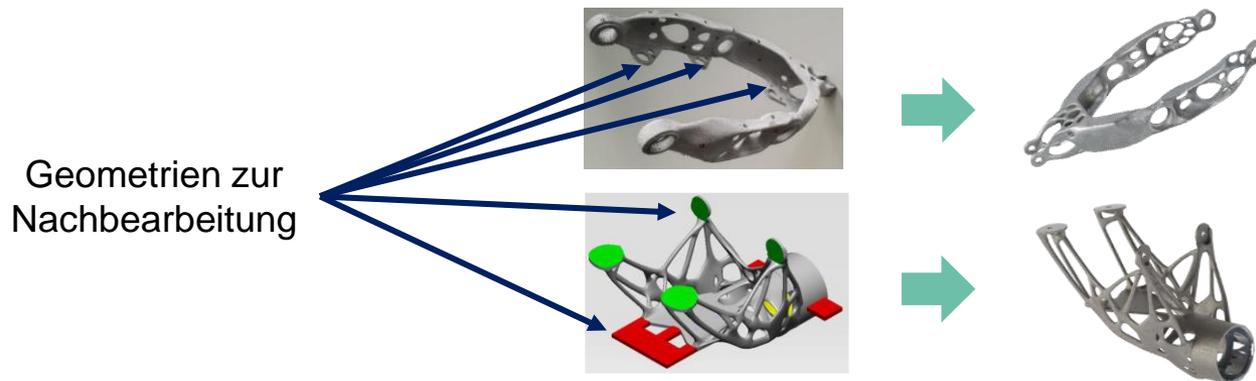
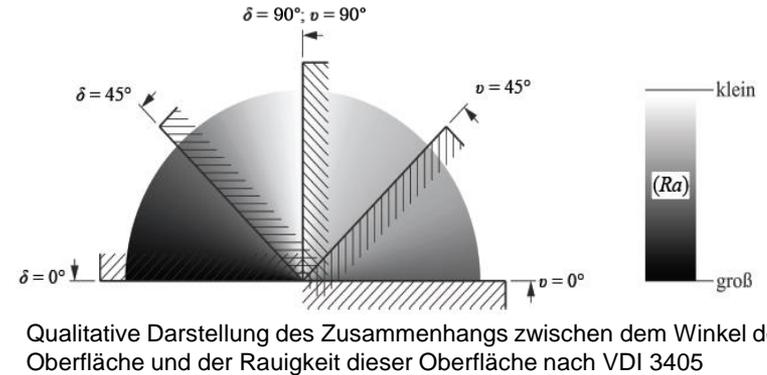


- Konstruktion mithilfe von Designempfehlungen



Fertigungsbedingt Funktionsgerecht Konstruieren

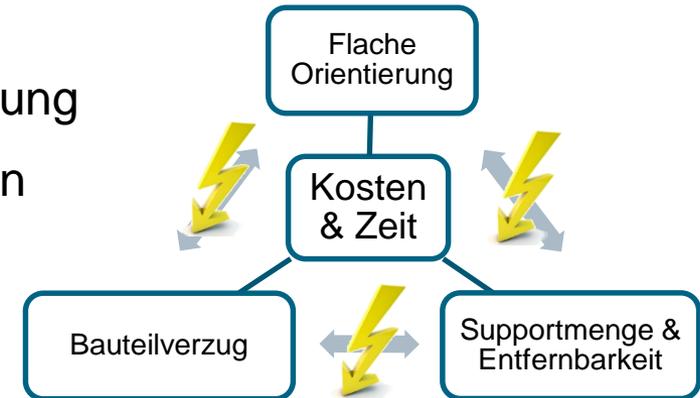
- Oberflächenrauheit?
- Toleranzen?
 - Entsprechend Aufmaß vorsehen
→ orientierungsabhängig
- Filigrane Strukturen sind anfällig für Knickung, Vibrationen,...
→ Technologische Basen zur Nachbearbeitung notwendig



Prozesseffizient Konstruieren

■ Konstruktionsbeeinflussende additive Fertigung

- Orientierung anhand bestimmter Kriterien
→ kann konstruktiv beeinflusst werden



- Bauraum effizient ausnutzen



→ 2 Baujobs für die 21 Einzelteile des Motorradrahmens

- Stückzahl



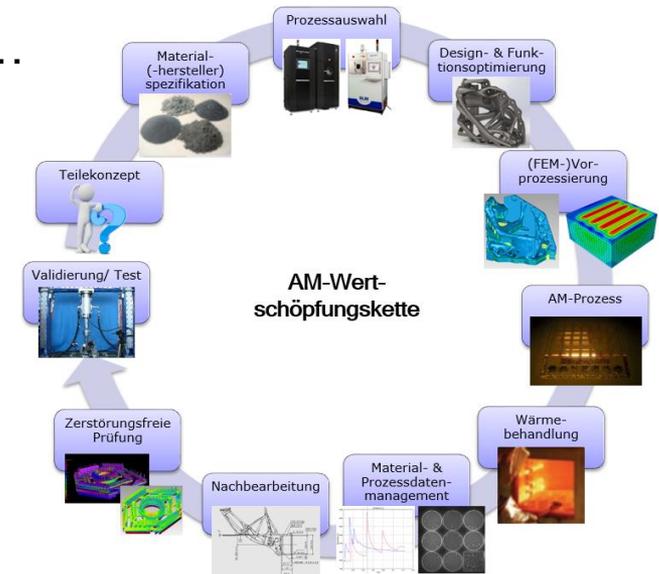
beste Anordnung, da supportfrei & Bauraum komplett ausgenutzt, trotz höherer Bauhöhe

Quelle: Renishaw

Zusammenfassung

- Designfreiheit für Additive Fertigung ist Funktionsgetrieben
- Prozesse vor und nach der Konstruktion müssen beachtet werden
→ „Design for (post-)process“ bei technischen/funktionalen Bauteilen
- Konstruktion für **Ihre** Additive Fertigung durch...

- Anwendungsspezifische Potenzial- & Kostenabschätzung
- Konstruktionsempfehlungen/ -unterstützung, Schulungen & Seminare
- AM-gerechte (Um-)Konstruktion, Funktionsintegration und -optimierung
- EBM @Fraunhofer IFAM/
FDM, SLA & 3D Scan @KTC, TUD



Dr. Burghardt Klöden
burghardt.kloeden@ifam-
dd.fraunhofer.de
+49 351 2537-384



Dipl.-Ing. Michael Süß
michael.suess@tu-dresden.de
+49 351 463-32868