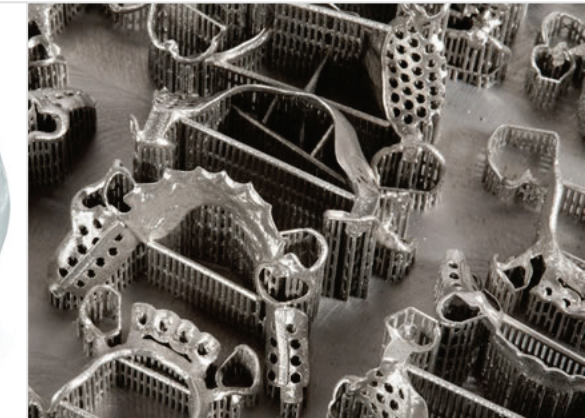
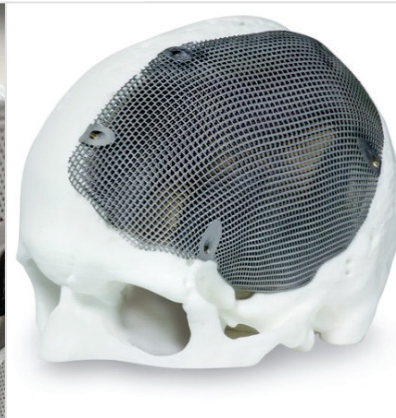
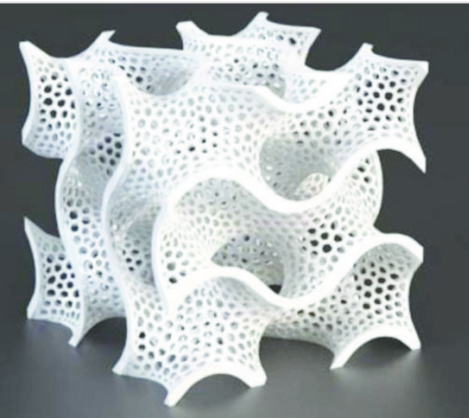


ADDITIVE FERTIGUNG



Sommersemester 2021

GLIEDERUNG

1. Einführung in das Thema additive Fertigungstechnik
2. Produktentstehungsprozess
3. Modelle und Prototypen in der Produktentwicklung
4. Klassifizierung
5. Preprocessing (Datenaufbereitung, Datennutzung)
6. Additive Fertigungsverfahren
7. Postprocessing
8. **Wirtschaftlichkeit**

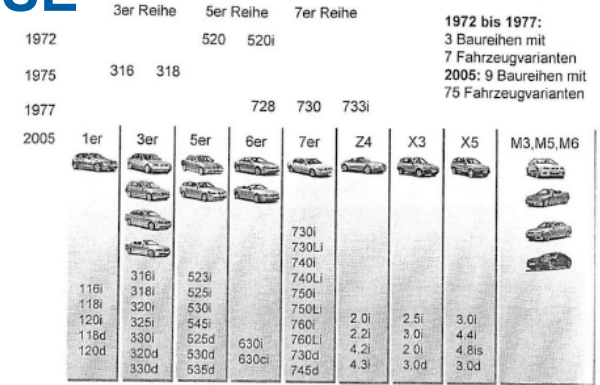
AUFBAU DER VORLESUNG

1. Einflussfaktoren und Kosten
 1. Entwicklungszeiten
 2. Wirtschaftlichkeit der Prototypenherstellung
 3. Aspekte für die Anwendung von additiven Fertigungsverfahren
 4. Kostenstruktur
2. Beispiel Schwungrad
3. Vergleich mit konventionellen Verfahren
 1. Hüftimplantat
 2. Kolben
 3. Rohrverzweigung

ÄNDERUNG DER MARKTBEDÜRFNISSE

Beispiel aus der Automobilindustrie

- Steigende Variantenvielfalt
- Gleichzeitige Abnahme der Stückzahl pro Variante
- Verdreifachung der Baureihen in den letzten Jahrzehnten
- Potential der Rapid-Technologien durch Individualität der Bauteile bei geringen Stückzahlen



[Zäh- Wirtschaftliche Fertigung mit Rapid Technologien]



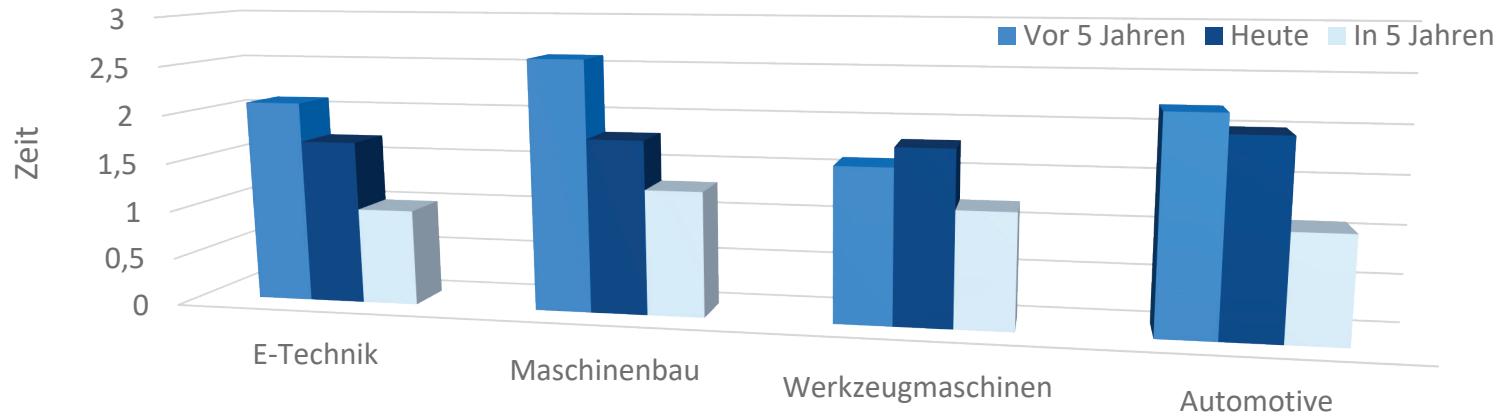
[www.bmw.de]

PRODUKTENTWICKLUNGSZEITEN

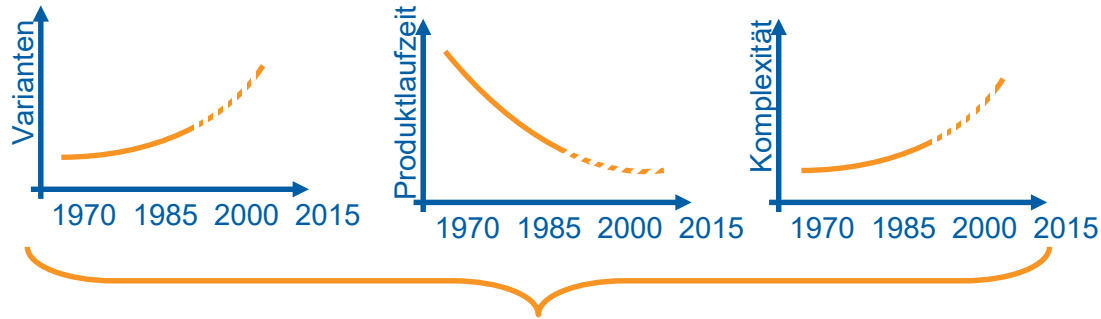
Erfolgreiche und schnelle Markteinführung bei gleichzeitigem hohem Individualisierungsgrad ist grundsätzlich zwei Bedingungen unterworfen:

- Der Kunde ist die Preise eines Massenproduktes gewöhnt und nicht dazu bereit für ein individualisiertes Produkt mehr zu zahlen
- Der Kunde akzeptiert keine Einschränkungen in der Qualität oder Funktionalität des Produktes

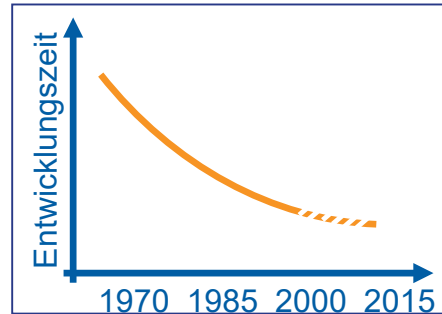
Produktentwicklungszeiten in verschiedenen Industriebranchen



REDUZIERUNG DER ENTWICKLUNGSZEITEN (1)



**Organisatorische
Lösungen:**
Simultaneous
Engineering

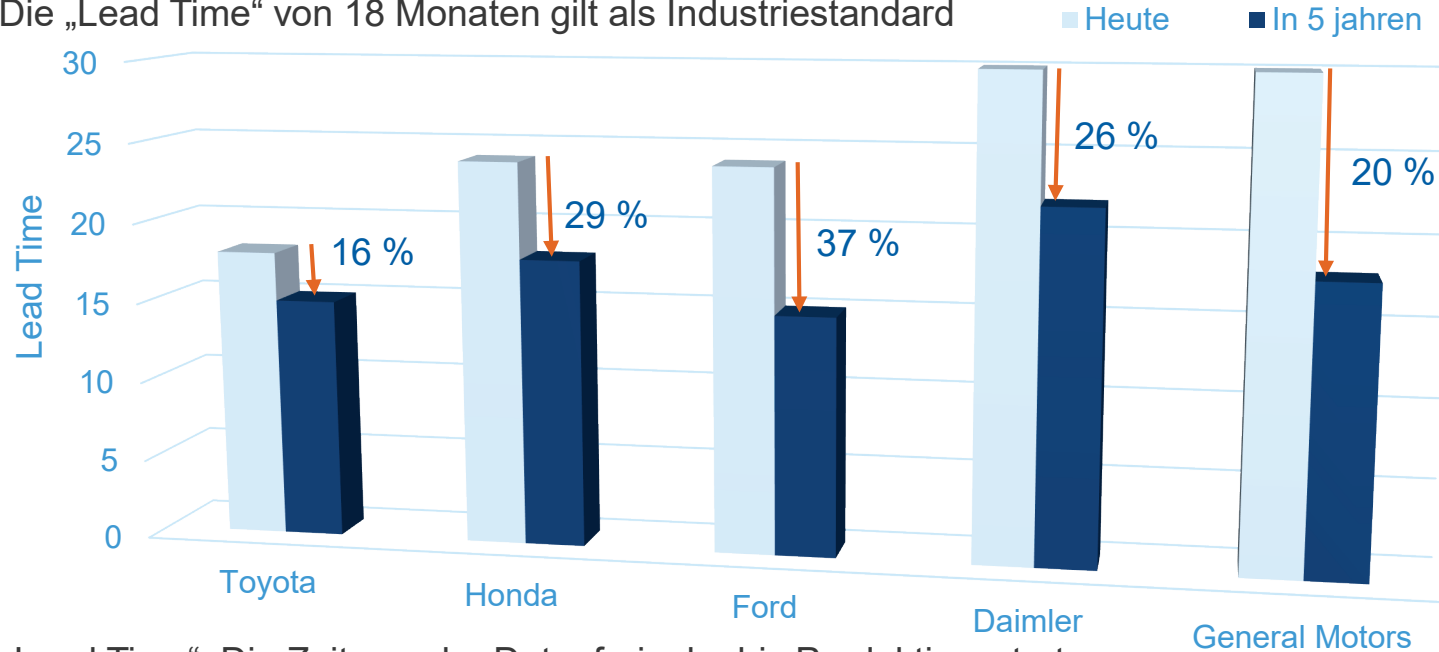


**Technologische
Lösungen:**
Rapid Prototyping
Rapid Tooling
Rapid Manufacturing

REDUZIERUNG DER ENTWICKLUNGSZEITEN (2)

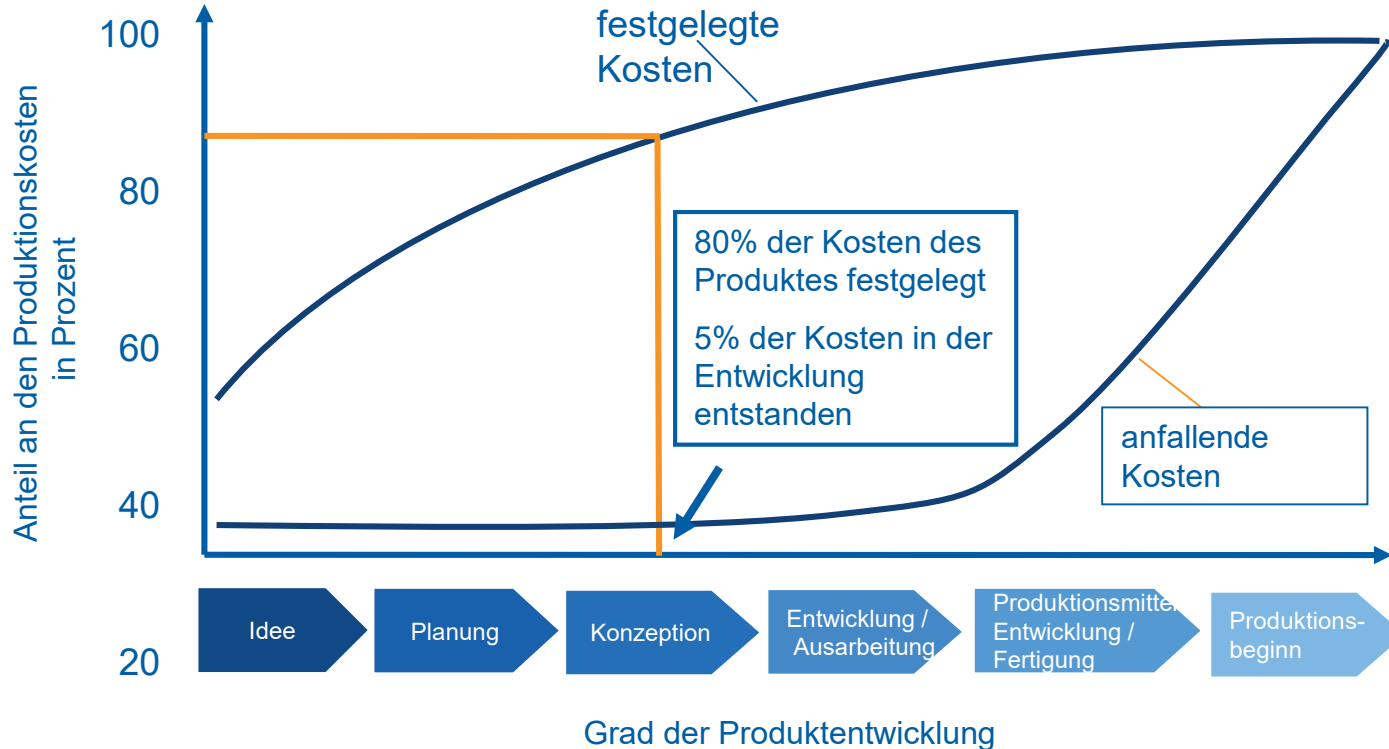
Die Strategien der Automobilhersteller weltweit sind sehr ähnlich

Die „Lead Time“ von 18 Monaten gilt als Industriestandard



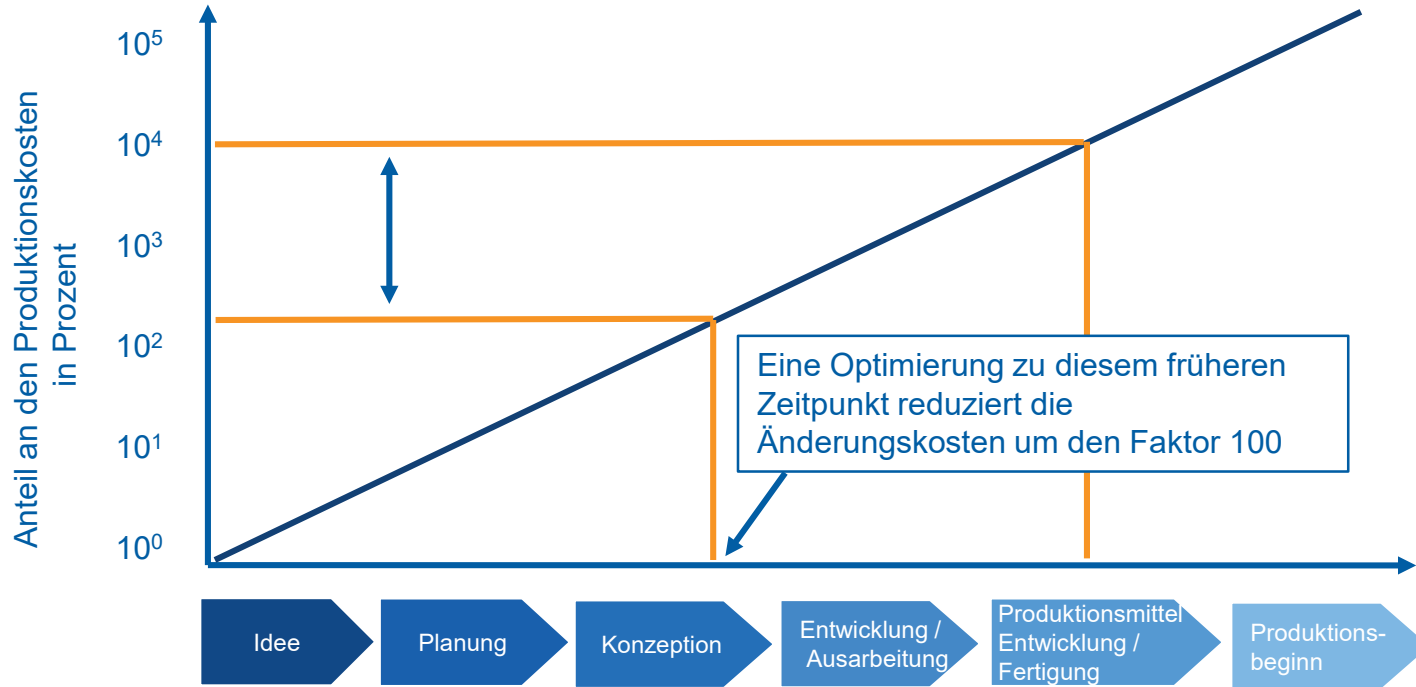
„Lead Time“: Die Zeit von der Datenfreigabe bis Produktionsstart

KOSTEN IN DER PRODUKTENTSTEHUNG



Quellen: [M. Zäh: Wirtschaftliche Fertigung mit Rapid-Technologien]

ÄNDERUNGSKOSTEN



Grad der Produktentwicklung

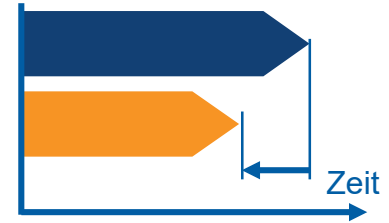
WIRTSCHAFTLICHKEIT DER PROTOTYPENHERSTELLUNG

Zentrale Fragen zur Wirtschaftlichkeit des Prototyping im Produktentwicklungsprozess

Eine wirtschaftliche Optimierung des Gesamtprozesses „Produktentwicklung“ bedingt zwangsläufig die Minimierung der Produktentwicklungszeit



Lässt sich die Produktentwicklungszeit durch den Einsatz von Modellen (signifikant) verkürzen ?



Die Verkürzung der Produktentwicklungszeit ist im Wesentlichen vom jeweiligen Produkt abhängig. Es muss ermittelt werden, in welcher Entwicklungsphase des Gesamtprozesses wie viel Zeit (mindestens) durch die Verwendung von Modellen eingespart werden kann.



In welchem Umfang hat eine Zeiteinsparung durch Modelle tatsächlich eine Ertragssteigerung des Produkts zur Folge ?

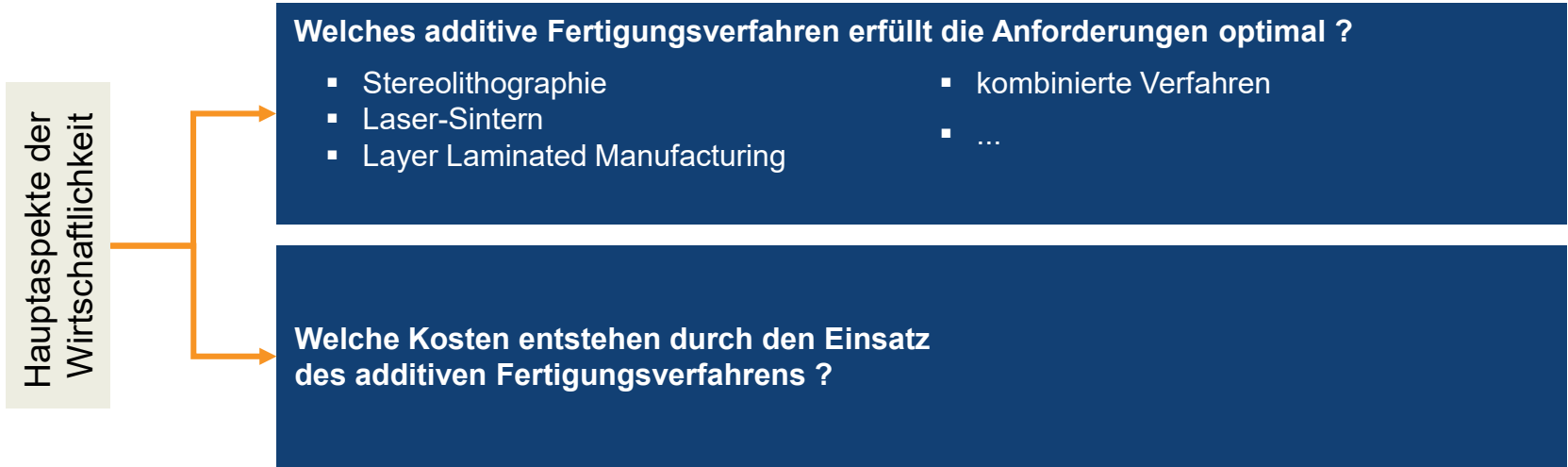


Schwierigkeit: Die beiden Faktoren sind nur sehr schwer zu ermitteln.

- Häufig ist nur eine Abschätzung möglich, insbesondere, wenn noch nicht mit Modellen gearbeitet wurde
- Wurden schon Modelle eingesetzt, liegen vielfach Vergleichswerte vor

WIRTSCHAFTLICHKEIT DER PROTOTYPENHERSTELLUNG

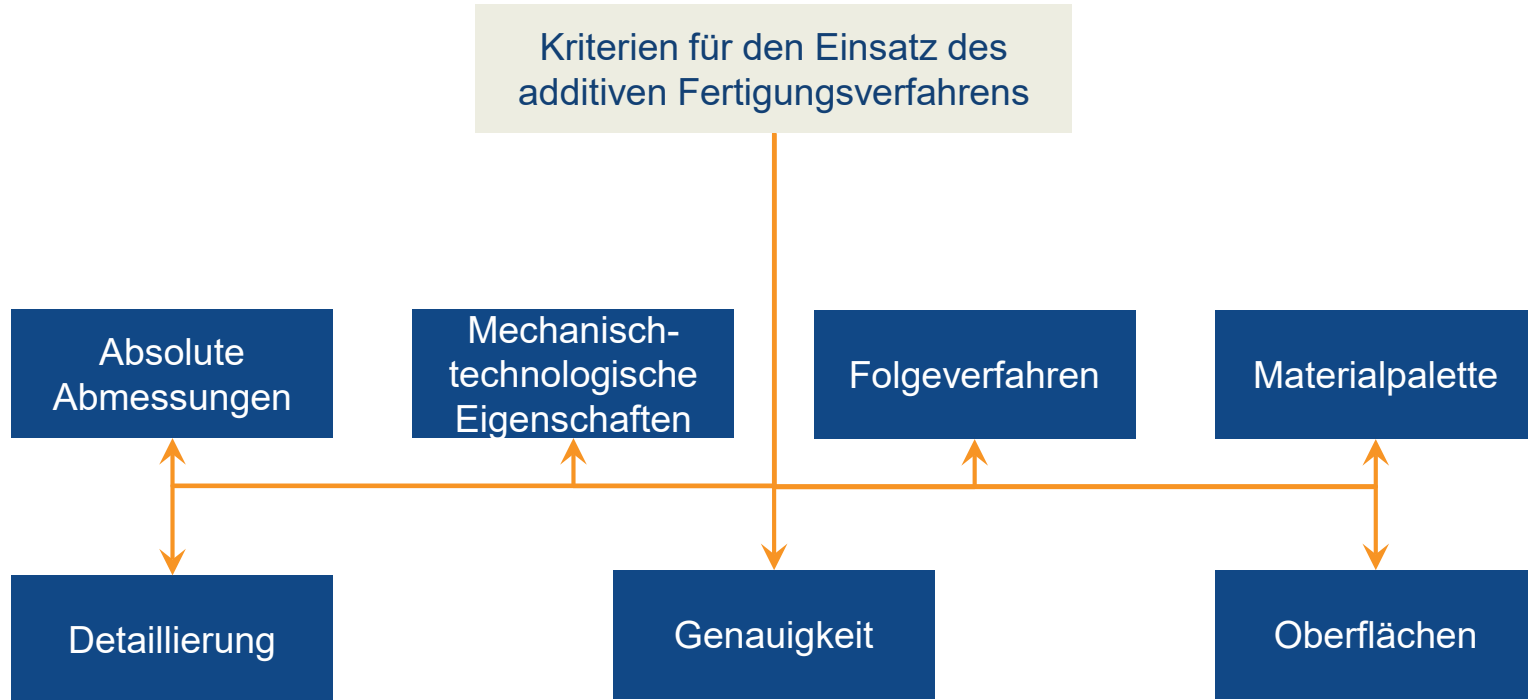
Auswahl des optimalen additiven Fertigungsverfahrens für eine Aufgabe



Die Anwendung bestimmt das Verfahren!

- Wird nur ein Verfahren vorgehalten, ergeben sich Einschränkungen in den Anwendungen
- Bei mehreren Verfahren parallel kann das für den Anwendungsfall passende Verfahren genutzt werden; Nachteil: Auslastung / Kosten

WELCHES ADDITIVE FERTIGUNGSVERFAHREN ERFÜLLT DIE ANFORDERUNGEN OPTIMAL ?



WELCHES ADDITIVE FERTIGUNGSVERFAHREN ERFÜLLT DIE ANFORDERUNGEN OPTIMAL ?

Motivation für die Anwendung von additiven Fertigungstechnologien



MOTIVATION FÜR DIE ANWENDUNG VON ADDITIVEN FERTIGUNGSTECHNOLOGIEN

Akzeptanz der Verfahren / Bekanntheitsgrad

- Defizite der Verfahren identifizieren und kommunizieren
- Mehrwert der Anlagen muss für Kunden, Mitarbeiter und Unternehmensführung klar ersichtlich sein

Unmittelbare Vorteile von Rapid-Technologien

- Welcher konkrete Vorteil soll durch den Einsatz der additiven Fertigungstechnologien genutzt werden?
- Einsatz sinnvoll?

MOTIVATION FÜR DIE ANWENDUNG VON ADDITIVEN FERTIGUNGSTECHNOLOGIEN

Anforderungen an Oberflächen, Genauigkeiten, Standzeiten oder Festigkeiten der Bauteile

- Oberfläche
 - verfahrensbedingt oft schlechte Qualitäten
- Genauigkeit
- Festigkeit
- Standzeiten

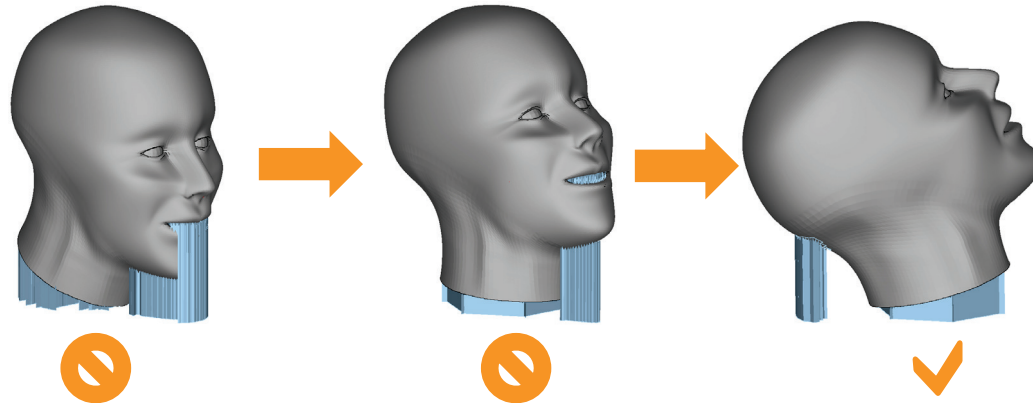
Typische Komplexität der Bauteilgeometrien

- Geringer Einfluss der Bauteilkomplexität auf die Kosten
 - Fokus der Anwendungen liegt auf Produkten mit hoher Komplexität
- Kein kosteneffizienter Einsatz bei Standardbauteilen

MOTIVATION FÜR DIE ANWENDUNG VON ADDITIVEN FERTIGUNGSTECHNOLOGIEN

Fertigungszeiten und -kosten

- Branchen mit kurzen Produktlebenszyklen von Vorteil
 - Wettbewerbsvorteil durch schnellere Markteinführung der Produkte
- Verfahrensspezifische Optimierung der Fertigungsprozesse
 - wirtschaftliche Prozessparameter
 - optimale Platzierung im Bauraum (Berücksichtigung der Stützkonstruktionen)



[P. Köhler, S. Danjou 2009]

WELCHE KOSTEN ENTSTEHEN DURCH DEN EINSATZ DES ADDITIVEN FERTIGUNGSVERFAHRENS ?

Herstellungskosten

Bei der Festlegung der Herstellungskosten muss ein Kompromiss zwischen den (Qualitäts)-Anforderungen, der davon abhängigen Fertigungsdauer und den für den Kunden akzeptablen Kosten gefunden werden. Diese Entscheidung muss bauteilabhängig unter der Berücksichtigung aller Faktoren erfolgen.



KOSTENARTEN

Fixe Kosten:

(von der Stückzahl unabhängig)

- Abschreibungen
- Zinsen
- Gehälter
- Weitere fixe Kosten

Teil der Gesamtkosten, der hinsichtlich der Änderung einer betrachteten Bezugsgröße in einem bestimmten Zeitraum konstant bleibt:

- Produktfixe Kosten z. B. Spezialwerkzeug, Formen, Modelle etc.
- Produktgruppenfixierte Kosten z. B. Kosten für Maschinen zur Herstellung einer Produktgruppe (unabhängig von der Ausbringungsmenge)
- Kostenstellenfixierte Kosten z. B. Raumkosten, Gehälter (unabhängig von der Ausbringungsmenge)
- Bereichsfixe/spartenfixe Kosten z. B. Verwaltungskosten (für Produktgruppen innerhalb einer Sparte)
- Unternehmensfixe Kosten z. B. Beitragszahlungen, allgemeine Kosten für die Geschäftsführung

KOSTENARTEN

Variable Kosten:

(von der Stückzahl abhängig)

- Werkstoffkosten (Pulver)
- Energiekosten (Stromversorgung)
- Lohnkosten
- Hilfsstoffe (Schutzgase)

Teil der Gesamtkosten, der sich hinsichtlich der Änderung einer betrachteten Bezugsgröße in einem bestimmten Zeitraum ebenfalls ändert.

Variable Kosten sind z. B. Kosten für Rohstoffe oder Löhne.

Mischkosten können nicht als rein fix oder variabel betrachtet werden, diese werden teilweise als Fixkosten oder als variable Kosten behandelt.

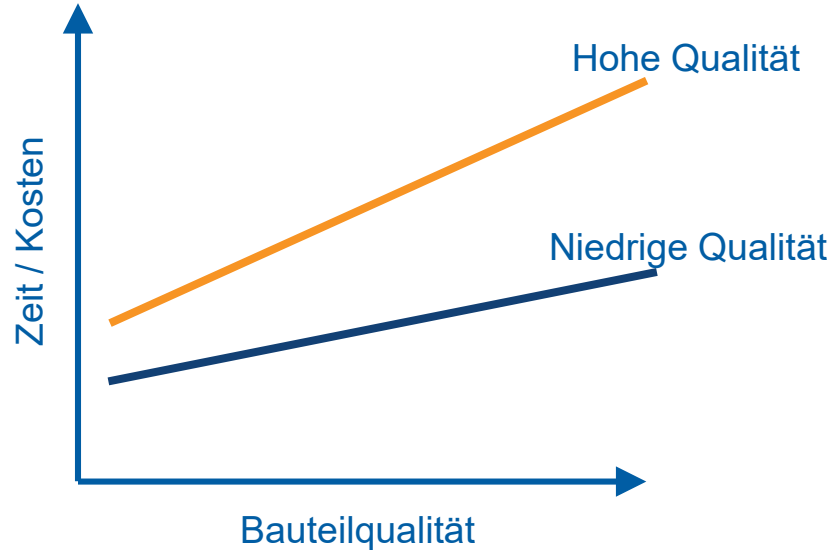
Mischkosten sind z. B. Instandhaltungskosten, welche anteilig durch fixe Kosten für das gesamte Jahr und als variable Kosten für anfallende Instandhaltungen je Arbeitsstunde anfallen. Auch Energiekosten fallen anteilig als fixe Kosten (Grundgebühren etc.) und variable Kosten (Leistungsaufnahme bei Betrieb) an.

Additive Fertigung - 8 Wirtschaftlichkeit

QUALITÄTSABHÄNGIGE KOSTEN

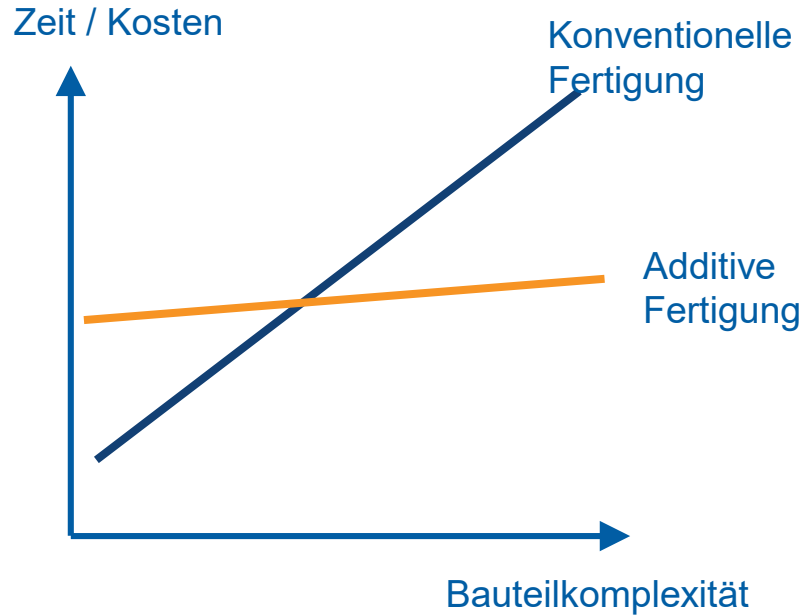
Vergleichbar mit den konventionellen Fertigungsverfahren

... kann auch bei der additiven Fertigung festgestellt werden, dass die Kosten mit zunehmenden Anforderungen an die Bauteilqualität steigen. Aufgrund der Anforderungen und ggf. anfallende Nachbearbeitungsschritte können sich diese Effekte verstärken.



QUALITÄTSABHÄNGIGE KOSTEN

Fertigungszeit und -kosten sind bei den additiven Technologien kaum mehr von der vorhandenen Bauteilkomplexität abhängig.



Additive Fertigung - 8 Wirtschaftlichkeit

MULTI-PART JOBS (1)

Kostenersparnis durch Multi-Part Jobs

- Durch die Möglichkeit mehrere Bauteile (bei entsprechender Größe) gleichzeitig zu fertigen, können erhebliche Kosten eingespart werden.
- Gegebenenfalls wird auf diese Art die individuelle Fertigungszeit einzelner Bauteile verlängert, im Schnitt sinkt bei der Betrachtung aller simultan gefertigter Bauteile jedoch die Fertigungszeit
- Wenn möglich, sind immer Multi-Part Jobs anzustreben

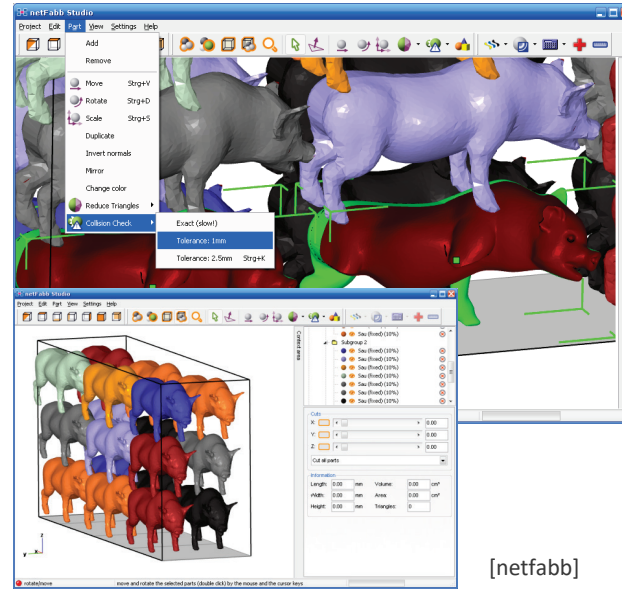
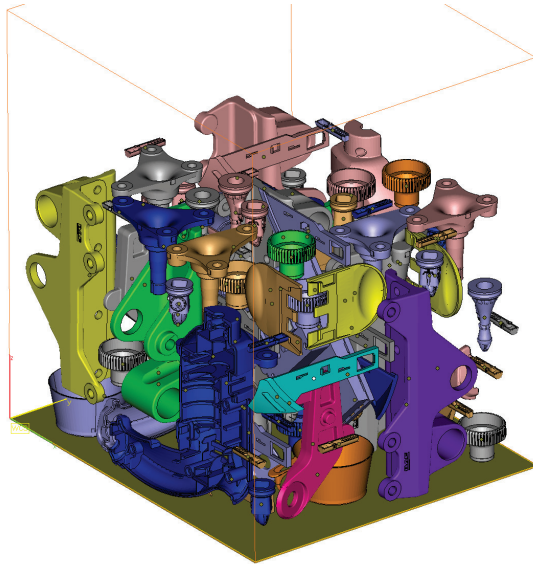


[www.envisiontec.de]

MULTI-PART JOBS (2)

Software

Unterschiedliche Softwarelösungen (z. B. Magics, NetFabb) unterstützen den Anwender durch (teil-)automatisches Packen der einzelnen Bauteile im zur Verfügung stehenden Bauraum.

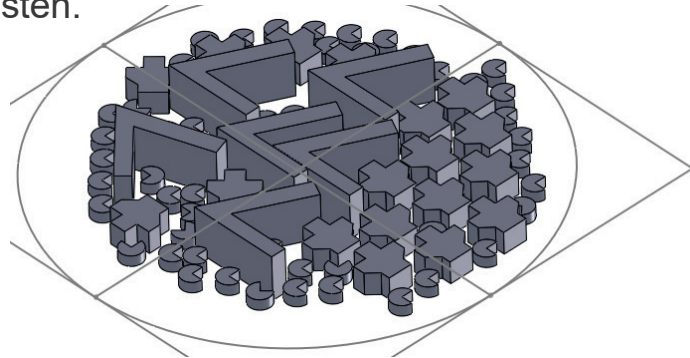


[netfab]

MULTI-PART JOBS (3)

Nesting

- Bei den meisten additiven Fertigungsverfahren mit Stützkonstruktionen können die Bauteile nur nebeneinander angeordnet werden (Nesting).
- Ziel ist es auch hier eine Anordnung zu finden bei der so viele Bauteile wie möglich gleichzeitig hergestellt werden können.
- Bei vielen unterschiedlichen Bauteilen sollte immer versucht werden Bauteile mit vergleichbarer Höhe in einem Fertigungsdurchlauf herzustellen. Dies reduziert gesamt die Fertigungszeit und somit die Fertigungskosten.



AUFBAU DER VORLESUNG

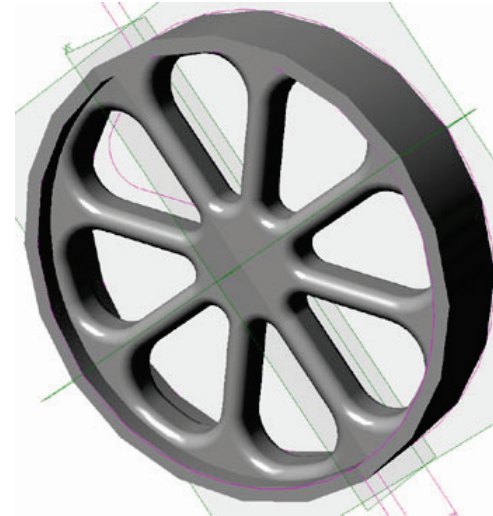
1. Einflussfaktoren und Kosten
 1. Entwicklungszeiten
 2. Wirtschaftlichkeit der Prototypenherstellung
 3. Aspekte für die Anwendung von additiven Fertigungsverfahren
 4. Kostenstruktur
2. Beispiel Schwungrad
3. Vergleich mit konventionellen Verfahren
 1. Hüftimplantat
 2. Kolben
 3. Rohrverzweigung

BEISPIELKOSTENKALKULATION: SCHWUNGRAD

Ausgangssituation

Schwungrad mit einem Durchmesser von 100 mm und einer Dicke von 20 mm.

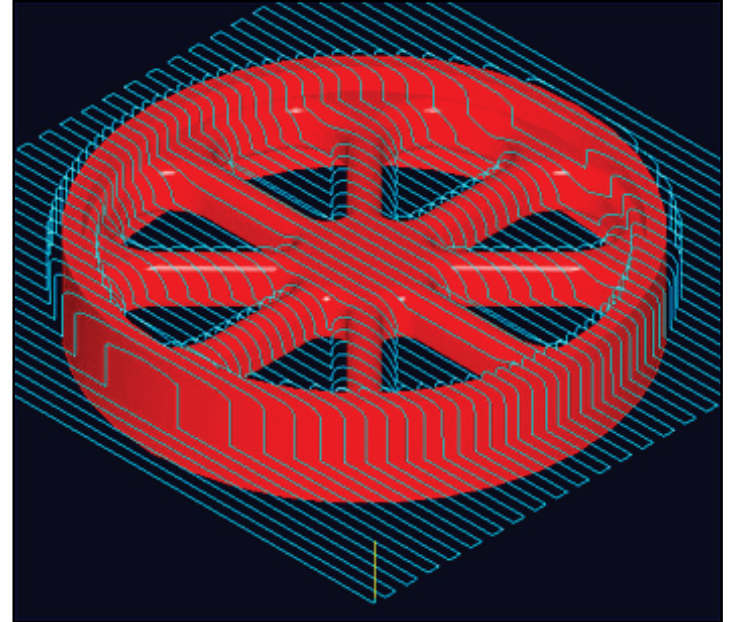
- Stückzahl: 1
- Material: Metall
- STL-Daten stehen zur Verfügung



BEISPIELKOSTENKALKULATION: SCHWUNGRAD

Ausrichtung

- Liegende Ausrichtung
 - Höhe und Schichtzahl wird minimiert
- Ausrichtung ist bei diesem Beispiel auch in Bezug auf die Bauteilqualität von Vorteil



BEISPIELKOSTENKALKULATION: SCHWUNGRAD

Materialkosten

- Fertigung aus Metall
 - Herstellung durch Laser-Strahlschmelzen
 - Nicht verwendetes Pulver kann wiederverwendet werden
- Materialkosten abhängig von Materialqualität (Herstellung durch Gasverdüsung) und Kilopreis
 - Annahme: Materialkosten 80 €

Bei der Bestimmung des Materialpreises müssen folgende Faktoren betrachtet werden:

- Volumen und somit genutztes Material der Bauteilgeometrie
- Volumen und somit genutztes Material der Stützgeometrie
- Materialverluste bei der Beladung und Entladung der Anlage
- Materialverluste durch Schweißspritzer und prozessbedingte Verunreinigungen

BEISPIELKOSTENKALKULATION: SCHWUNGRAD

Fertigungszeiten: Preprocessing

- Aufbereitung der STL-Daten → Dauer: jeweils ca. eine Arbeitsstunde
- Vorbereitungen des Bauprozesses wie z. B. die Pulverbeladung der Maschine → Unabhängig von der benötigten Stückzahl
- Besonders qualifizierter Mitarbeiter notwendig
- Stundensatz von 60 € angenommen.

Fertigungszeiten: Prozessvorbereitung

- 20 mm Bauteildicke, geplante Schichtdicke 0,1 mm → Bei ca. 90 Sekunden je Schicht entspricht dies ca. 5 Stunden
- 200 Schichten für das Bauteil → Annahme: Maschinenstundensatz 60 €/h

Fertigungszeiten: Postprocessing

- Bauteilentnahme, Anlagenreinigung → Ca. 1 h / 60 €
- Nachbearbeitung des Bauteiles → Ca. 30 min / 30 € bei einem Stundensatz für eine Werkstattfachkraft von 60 €

BEISPIELKOSTENKALKULATION: SCHWUNGRAD

Gesamtberechnung

Bei steigender Stückzahl sinken die Herstellungskosten entsprechend der simultan gefertigten Bauteile!

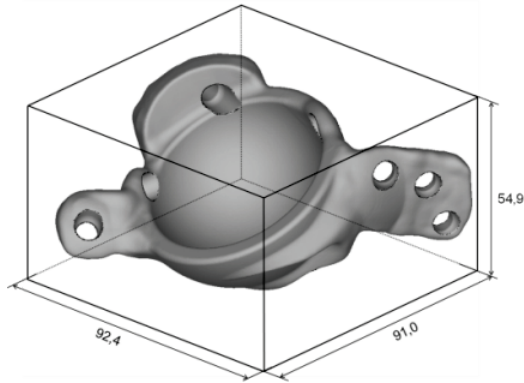
Prozessschritt	Dauer	Stundensatz	Kosten
Vorbereitung / Datenaufbereitung	1 Stunde	Anlage 60 € Mitarbeiter 60 €	120 €
Herstelldauer	5 Stunden	Anlage 60 €	300 €
Nachbereitung Anlage	1 Stunde	Anlage 60 € Mitarbeiter 60 €	120 €
Nachbereitung Bauteil	0,5 Stunden	60 €	30 €
Materialkosten			80 €
Gesamte Kosten			650 €

Quellen: Universität Duisburg / Essen

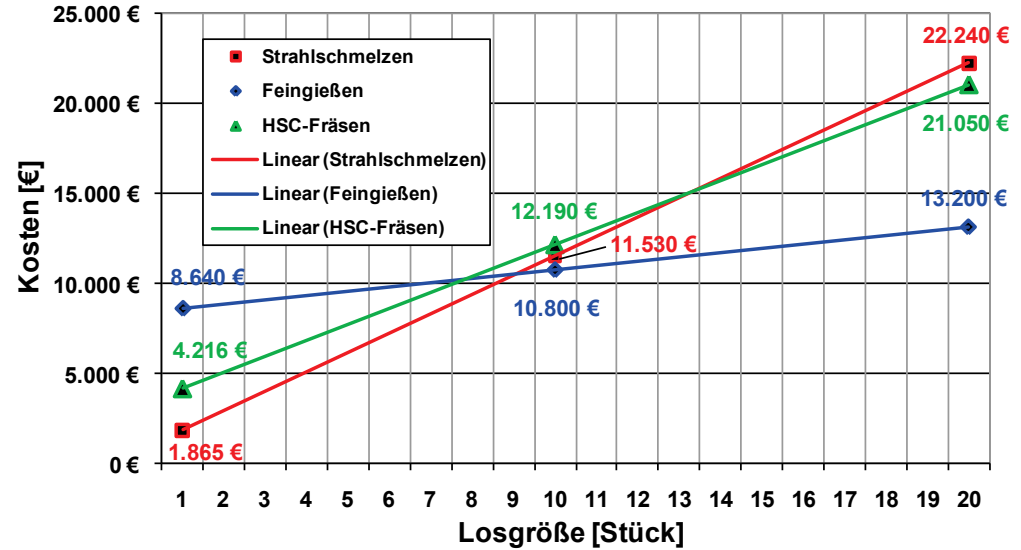
AUFBAU DER VORLESUNG

1. Einflussfaktoren und Kosten
 1. Entwicklungszeiten
 2. Wirtschaftlichkeit der Prototypenherstellung
 3. Aspekte für die Anwendung von additiven Fertigungsverfahren
 4. Kostenstruktur
2. Beispiel Schwungrad
3. Vergleich mit konventionellen Verfahren
 1. Hüftimplantat
 2. Kolben
 3. Rohrverzweigung

VERGLEICH MIT KONVENTIONELLEN VERFAHREN (1)



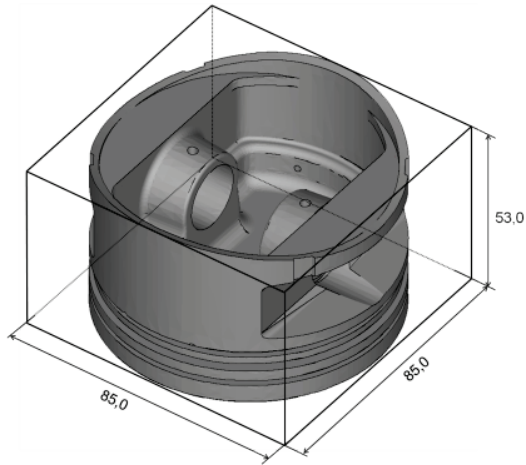
CAD-Modell Hüftimplantat



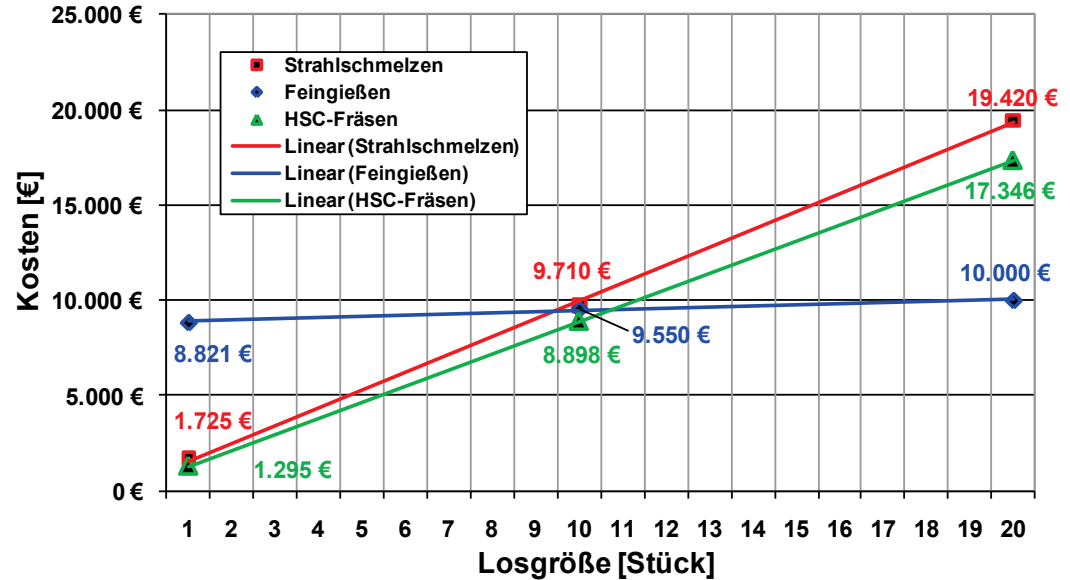
Losgrößenabhängige Kosten Hüftimplantat

a) Bauteil Hüftimplantat

VERGLEICH MIT KONVENTIONELLEN VERFAHREN (2)



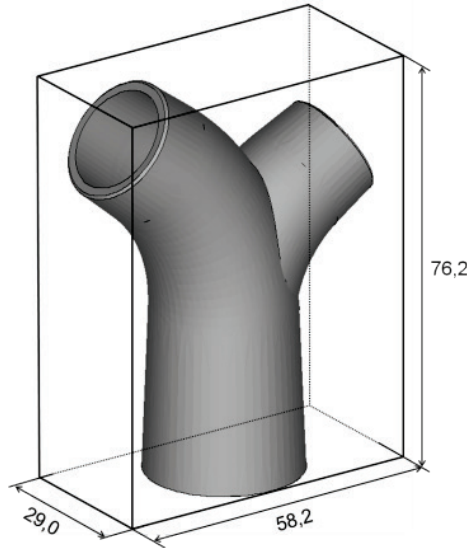
CAD-Modell Kolben



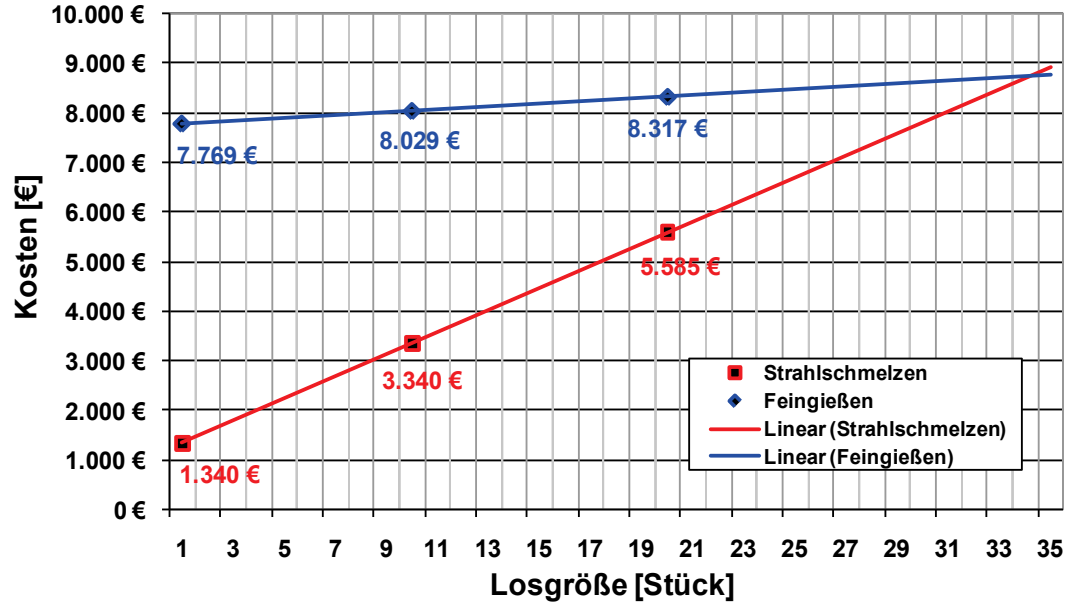
Losgrößenabhängige Kosten Kolben

b) Bauteil Kolben

VERGLEICH MIT KONVENTIONELLEN VERFAHREN (3)



CAD-Modell Rohrverzweigung



Losgrößenabhängige Kosten Rohrverzweigung

c) Bauteil Rohrverzweigung



Additive Fertigung

Additive Fertigung 21 – 08

Wirtschaftlichkeit

Technische Universität Bergakademie Freiberg
IMKF - Additive Fertigung
Agricolastraße 1, 09599 Freiberg, Germany

Prof. Dr.-Ing. Henning Zeidler
Tel: +49 3731 39 30 66
henning.zeidler@imkf.tu-freiberg.de



imkf
INSTITUT FÜR MASCHINENELEMENTE
KONSTRUKTION UND FERTIGUNG



TU Bergakademie Freiberg | Institut für Maschinenelemente, Konstruktion und Fertigung | Professur für Additive Fertigung
Agricolastraße 1 | 09599 Freiberg DE | Tel.: +49 3731 39 2986 | <http://www.imkf.tu-freiberg.de> | Prof. Dr.-Ing. Henning Zeidler

08_35