

Der Prototypenbau zwischen Entwicklung und Produktion



Überblick und aktuelle Trends

Dr.-Ing. Martin Schilling, Dr.-Ing. Thomas Schilling

Geschichte Schichtbauverfahren

siehe auch Download www.3d-schilling.de

- 1981 Formulierung Grundgedanke Stereolithografie
- 1984 Chuck Hull, Patent auf das Verfestigen eines flüssigen Polymers durch Polymerisation
- 1986 Erteilung patent auf Stereolithografieprozess
- Ca. 1985 erstes 3D-Konstruktionsprogramm (Phytia)
- 1987 Beschreibung Oberfläche von Körpern mittels STL-Format
- 1987 Dr. Charles Deckard von der Universität Texas veröffentlicht das „Selektive Laser Sintering“
- 1988 Dupont und Huntsmann stellen UV-härtende Harze her
- 1988 Auslieferung der ersten Stereolithografiemaschinen durch 3D-Systems
- 1988 S. Scott und Frau Lisa erfinden das Fused Depositon Modeling (FDM) Verfahren
- 1988 Michael Feygin läßt sich das Laminated Object Manufacturing (LOM) patentieren
- 1990 EOS verkauft die erste Stereografie-Maschine
- 1990 Gründung der Fa. Focke und Schwarz in Paderborn
- 1991 Auslieferung der ersten Solid Grind (SGS)-Maschine der Firma Cubitalis
- 1991 erste kommerzielle FDM-Anlage verfügbar
- 1992 Auslieferung der ersten SLS-Anlage von DTM
- 1993 erstes kommerzielles System des Direct Shell Production Casting (DSPC) für keramische Schalen
- 1991 Einvisiontec verkauft sein erstes Stereolithografiensystem auf Basis DLP-System
- 2002 Konzept Laser verkauft die ersten Laser-Cusing-Maschinen
- 2004 Trumpf gibt ein kurzes Intermezzo (bis 2004, 17 Maschinen insgesamt) auf dem SLM-Markt
- 2005 Voxeljet liefert die erste Maschine aus
- 2006 Sintermask verkauft die erste Maschine
- 2009 – Auslieferung der EOSINT P 800 für Verarbeitung von PEEK
- 2009 Real Lizer verkaufen 9 Maschinen

Die Geschichte der Schichtbauverfahren wurde aus diversen Quellen zusammengetragen. Der geneigte Leser wird aufgefordert, mögliche Ergänzungen und Berichtigungen 3D-Schilling mitzuteilen.

Begriffserklärung

Eine Vielzahl von Verfahren, die Konstruktionsdaten direkt in körperliche Modelle umsetzen, werden unter dem Begriff **RP-Verfahren** (Rapid Prototyping Verfahren) zusammengefasst. Da mittlerweile subtraktive Verfahren (Fräsen, Erodieren etc.) oder **ganze Prozessketten** (Vakuumguss) eine hinlängliche Schnelligkeit aufweisen, wurden zur besseren Unterscheidung für die „traditionellen“ RP-Verfahren neue Begriffe eingeführt. Für den schichtweisen Aufbau von Objekten wurde zutreffender Weise der Begriff **Schichtbauverfahren** publiziert. Daneben existieren ebenfalls die Begriffe

- **generative Fertigungsverfahren**
- **Solid Freeform Fabrication**
- **Additive Fertigungsverfahren**

Die Herstellung **von Fertigteilen im Schichtbauverfahren** wird zunehmend zum Begriff „Rapid Manufacturing“ folgenden Synonymen verwendet:

- **Layer Manufacturing**
- **Advanced Digital Manufacturing (ADM)**, aber auch
- **E-Manufacturing**

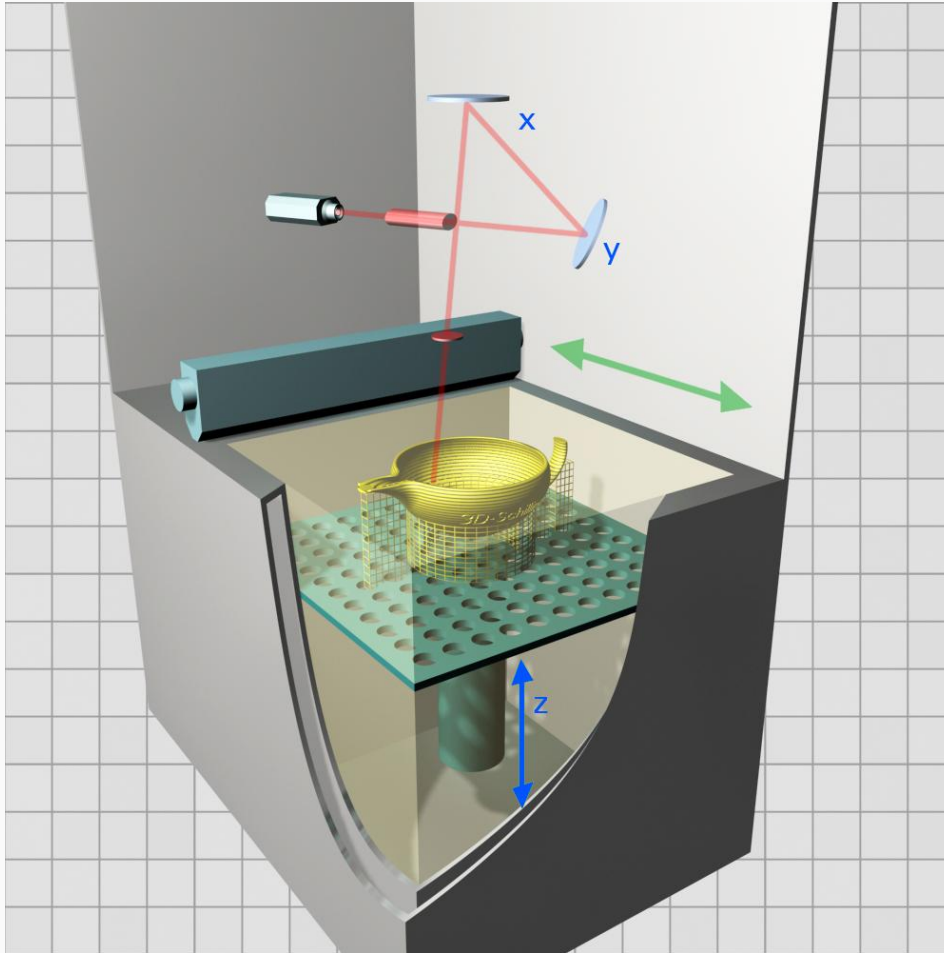
Es scheint auch, dass der gut eingeführte Begriff des Rapid Prototypings von Maschinenherstellern und Dienstleistern (und den Theoretikern der Branche) bewusst zurückgedrängt wurde, um das Image des Prototyping und damit den damit verbundenen definierten Platz in der Produktentwicklung hinter sich zu lassen.

Allgemeiner Ablauf Schichtbauverfahren

Die Datenaufbereitung für generative Verfahren läuft weitgehend nach dem gleichen Schema ab:

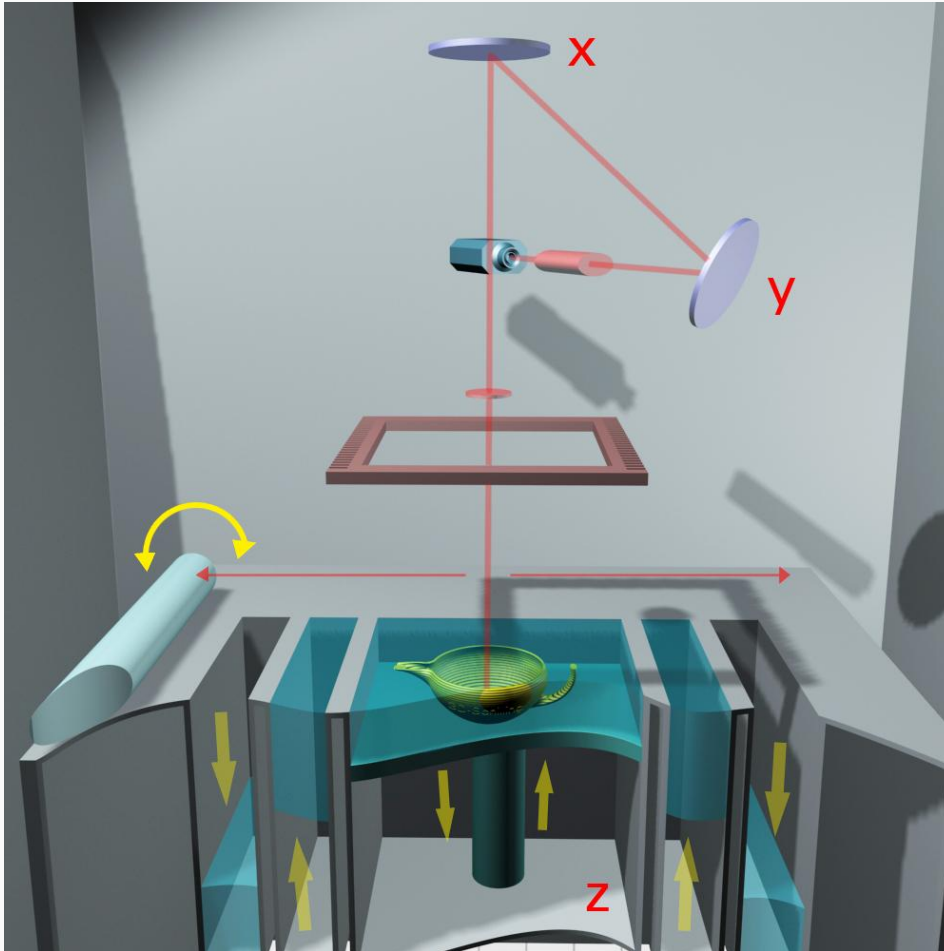
- 3D-Beschreibung des Körpers,
- Transformation in das STL-Format,
- Erzeugung der mathematischen Einzelschichten,
- Umsetzung der Schichtinformation in Maschinenparameter.

Prinzip Stereolithografie



Gemäß der erzeugten Maschinenparameter Wird an der Oberfläche eines mit UV-härtender Photochemisch reaktiver Flüssigkeit Harz gefüllten Behälters eine konturierte Schicht erzeugt. Durch Licht wird eine chemischen Reaktion initiiert. Die Belichtung wird mittels der Information der jeweiligen Einzelschicht erzeugt. Bevorzugt erfolgt die Belichtung mittels Laser. Bei der Laserbelichtung wird die Fokusposition durch die Ablenkspiegel x und y bestimmt wird. Nach dem Aushärten einer Einzelschicht Wird die Oberfläche neu benetzt und der Elevator um die Schichtstärke nach unten (z) bewegt. Überhänge werden mittels einer Stütz-Konstruktion abgestützt.

Lasersintern



Das im Pulverbett angeordneten Pulver bildet die Basis für die Herstellung der definiert konturierten Schicht. Der „generative“ Sintervorgang ist das kurzzeitige thermische Aktivieren der lose nebeneinander liegenden Partikel im Pulverbett, so dass die Oberfläche angeschmolzen wird und die Partikel sich beim Abkühlen verbinden. In der Regel sind die Bauteile porös. Werden die Partikel vollständig geschmolzen, dann entsteht ein dichteres Bauteil.

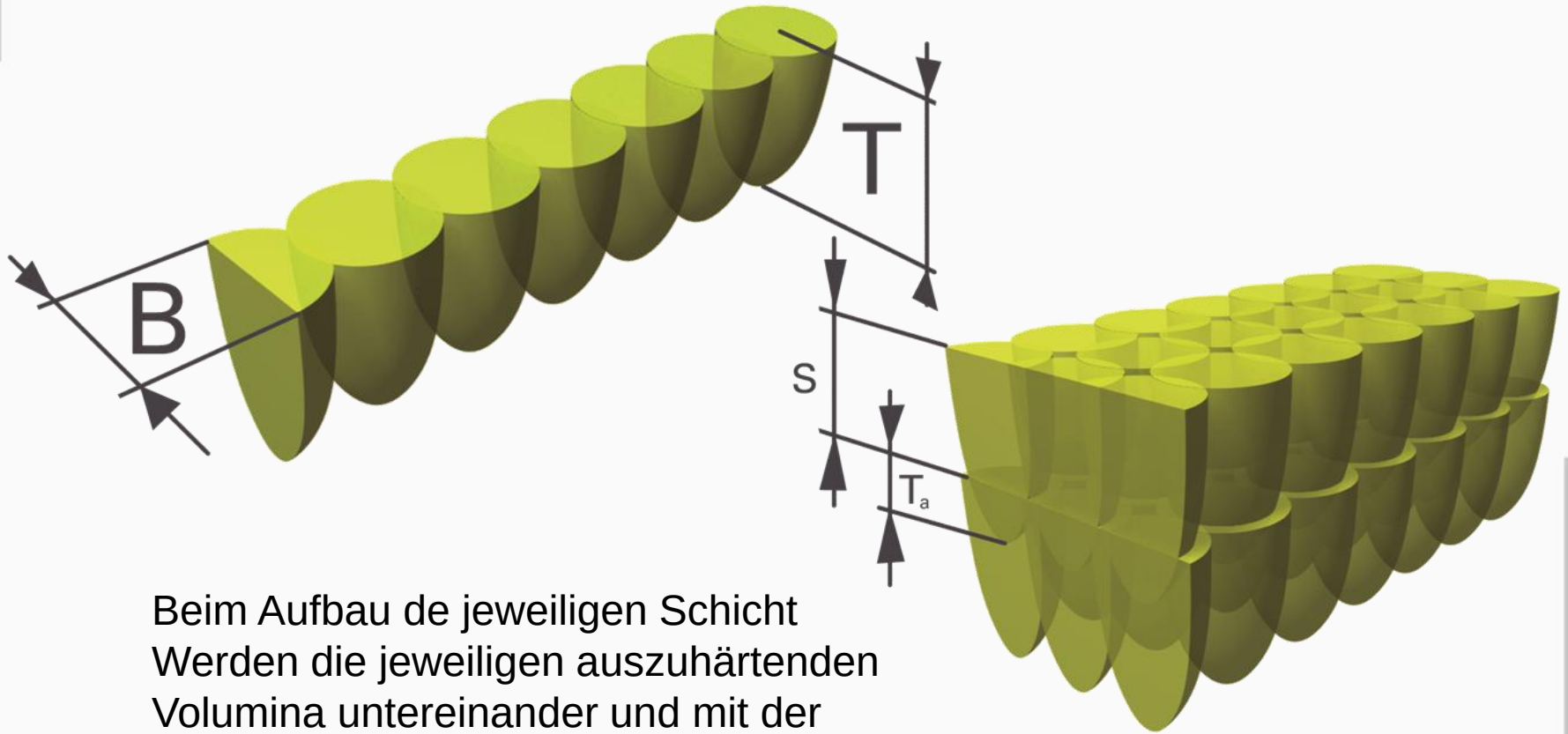
Bei einer Vielzahl von SLS-Anlagen erfolgt das thermische Aufwärmen mittels Laserstrahl. Die Positionierung des Laserstrahl erfolgt analog der Stereolithografie. Das Pulverbett wird entsprechend dem jeweiligen thermoplastischen Kunststoff so temperiert, dass das Pulver noch nicht plastisch ist und erst durch Einbringen der Aktivierungsenergie die Oberfläche angeschmolzen wird.

Maskensintern



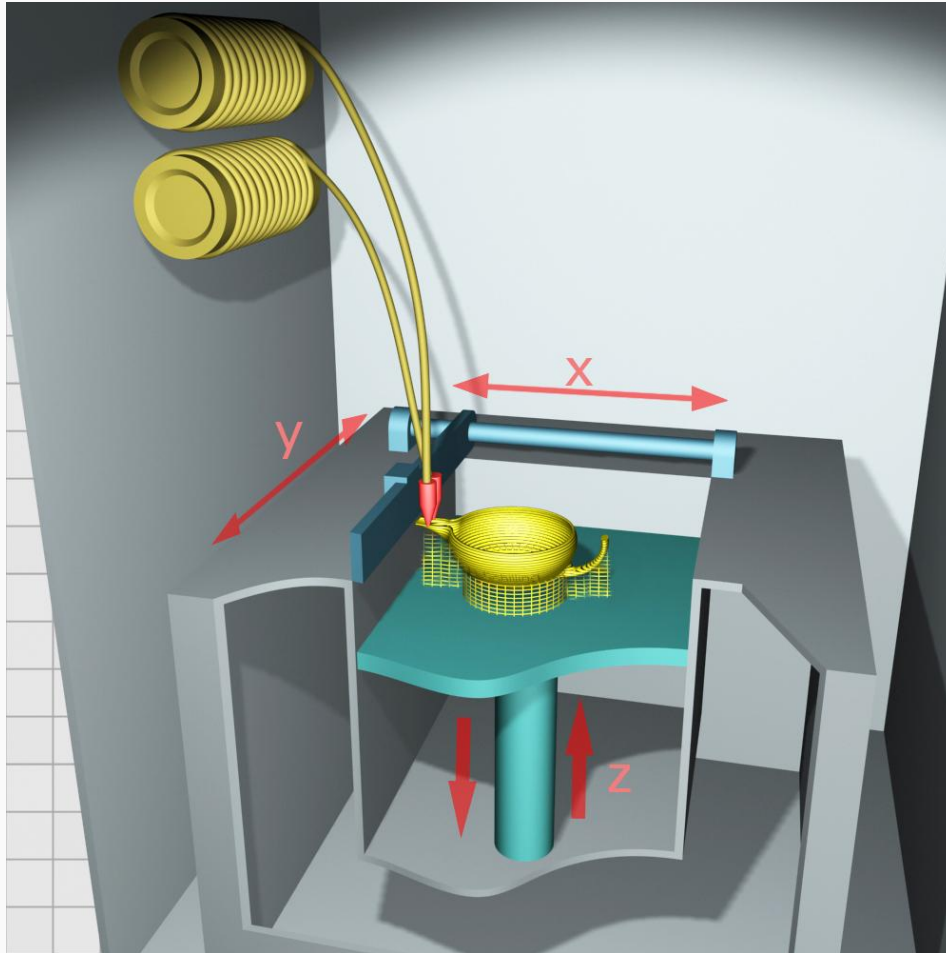
Das Maskensintern ist eine spezielle Form des Lasersintern. Eine Maske (im Bild blau) wird für die jeweilige Schicht so konfiguriert, dass sie an den Stellen, wo die Schicht entstehen soll, „Energie durchlässig“ ist. Beim Maskensintern wird immer eine Schicht gleichzeitig bearbeitet.

Schichtaufbau Stereolithografie/Lasersintern



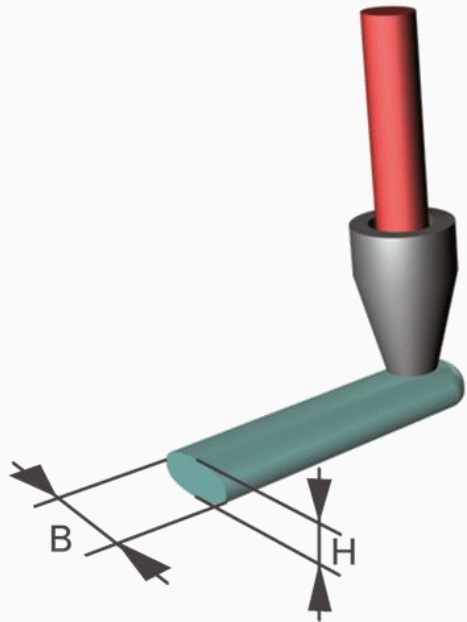
Beim Aufbau der jeweiligen Schicht
werden die jeweiligen auszuhärtenden
Volumina untereinander und mit der
darunter liegenden Schicht verbunden.

FDM - Verfahren

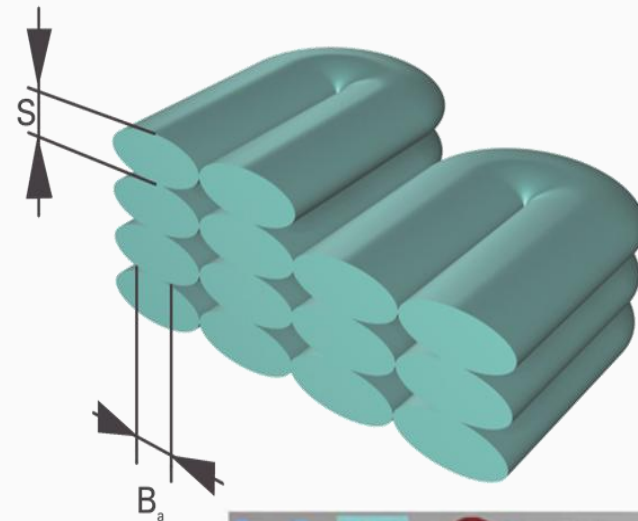


Beim FDM-Verfahren werden thermoplastische Werkstoffe erhitzt und über eine feine Düse als endlos Faden extrudiert. Der Kunststoffaden wird konturgerecht Schicht für Schicht aufeinander gelegt und schmilzt dabei auf die darunter liegende Struktur. Überhänge wurden mit einer Stützkonstruktion aus einem anderen Material, das meist gut löslich ist, abgestützt.

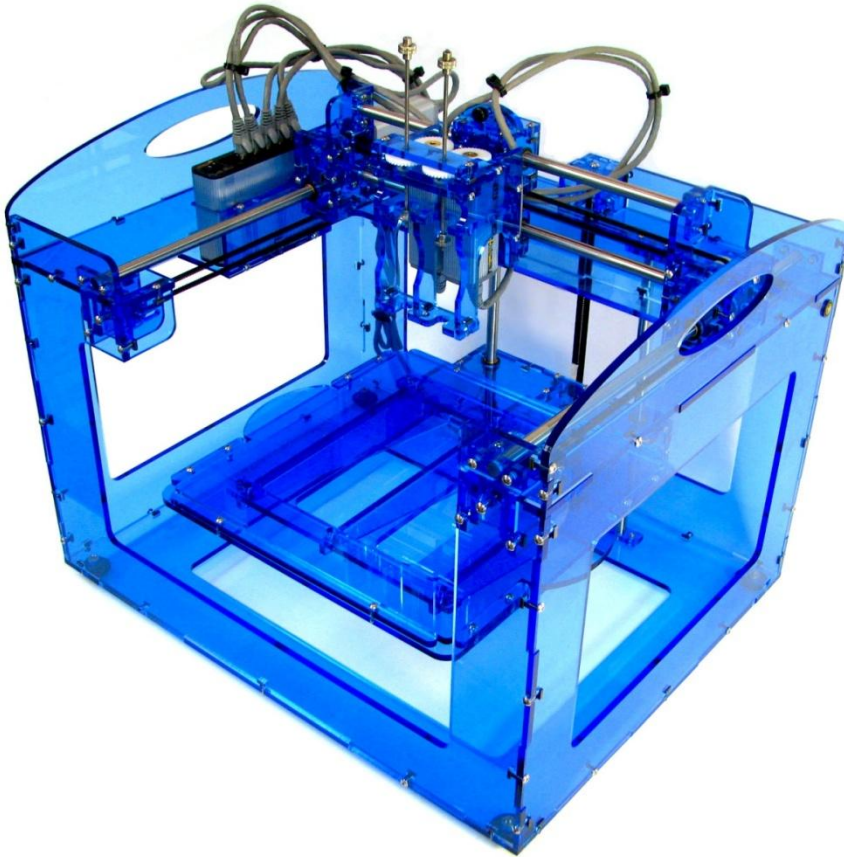
Schichtaufbau FDM



links : erzeugte Einzelschicht,
Unten: Verbinden der Schichten untereinander.



3D Printer

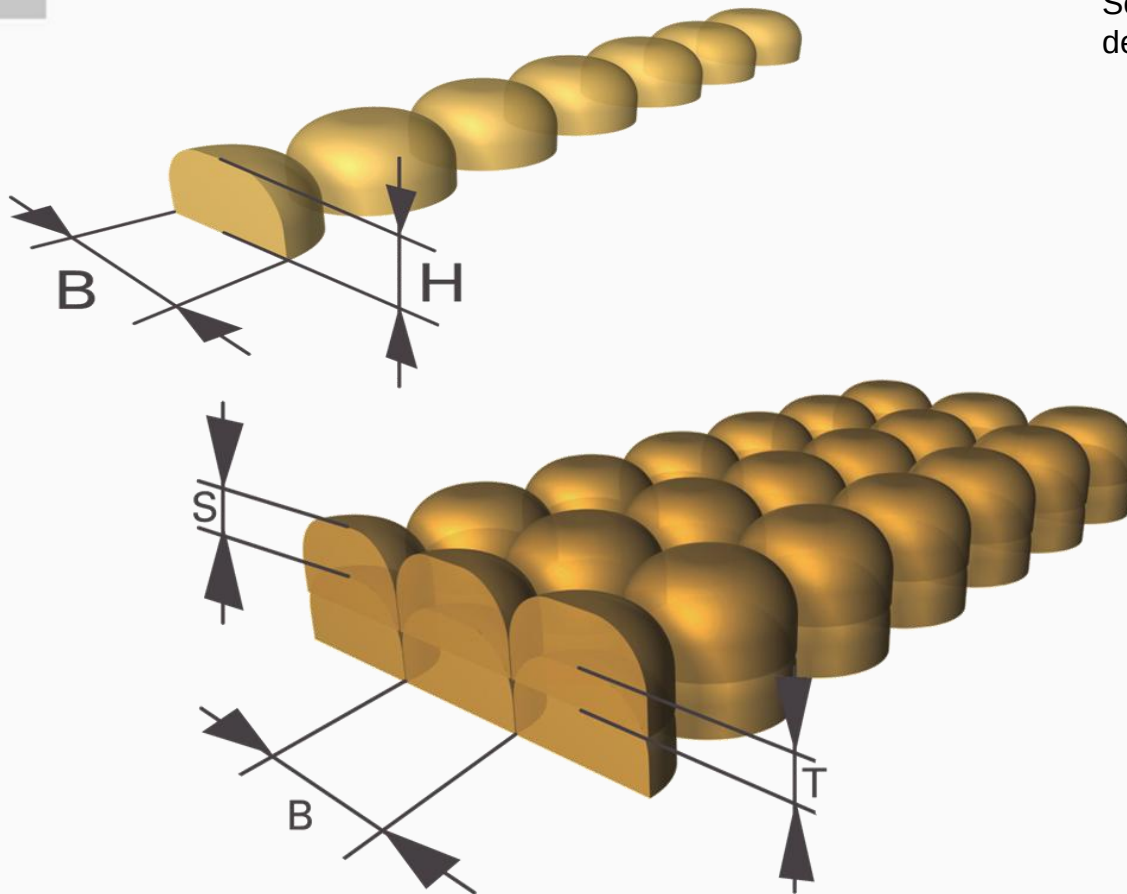


Es können folgende Varianten unterschieden werden:

- Der Printer arbeitet mit einem Pulverbett, nach dem Aufbringen einer neuen Schicht wird durch den Druckkopf ein flüssiger Binder gedruckt, der die unterschiedlichsten Werkstoffe verfestigt (Stärke, Gips, Aluminium Oxide, Kunststoff, Lignite)
- Der Druckkopf druckt aufgeschmolzene Werkstoffe, die sich beim Abkühlen verfestigen (Wachs, Polymerge mische)
- Der Druckkopf verdüst flüssiges Polymer, das anschließend durch UV-Licht ausgehärtet wird.

Schichtbaufbau 3D-Drucker

Gemäß Druckertyp erfolgt der jeweilige Schichtaufbau. Im Bild dargestellt ist der Schichtaufbau eines Druckers, der nach dem Tintenstrahl-Prinzip erfolgt.



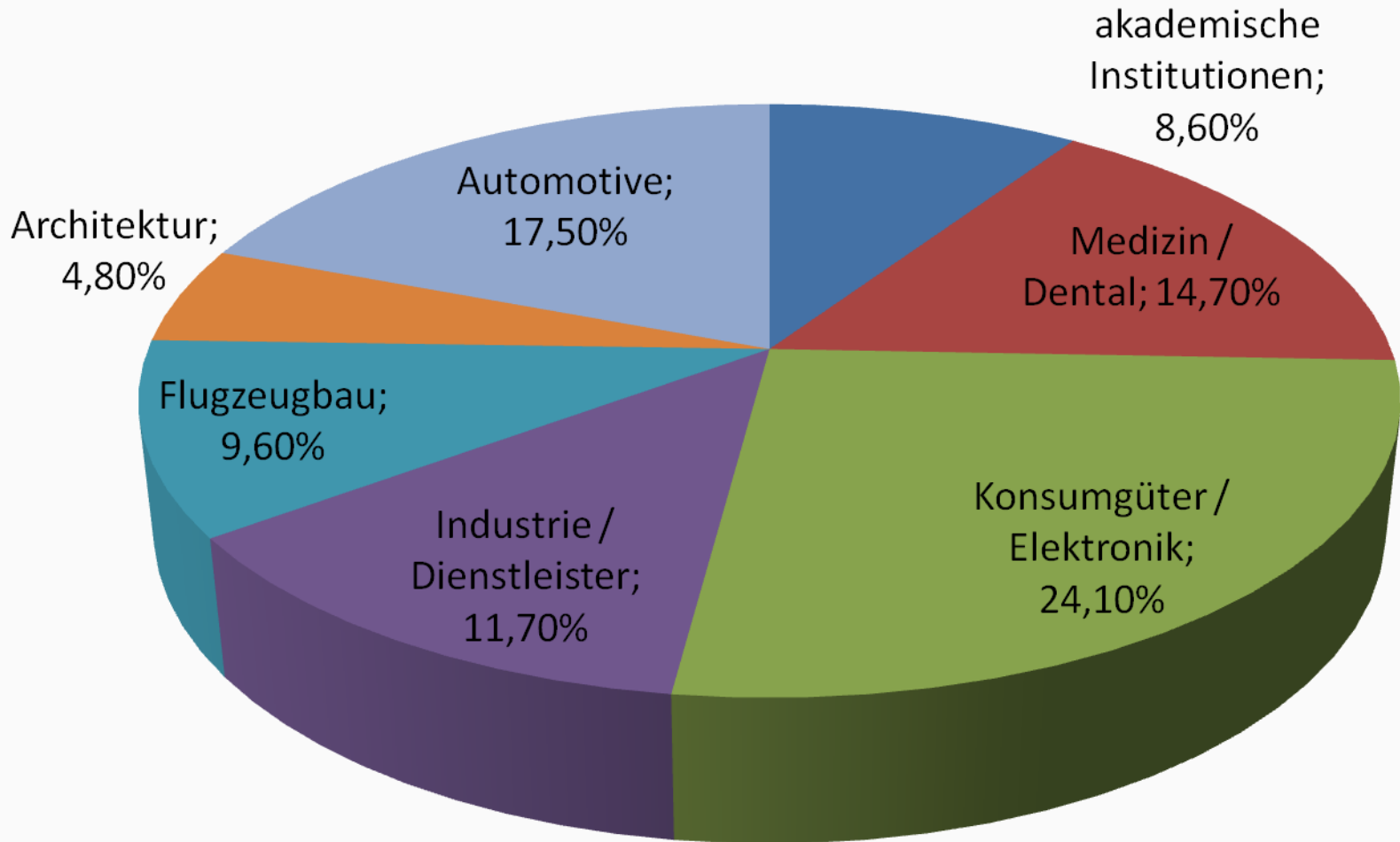
Materialien der Schichtbau-Verfahren

Stereolitho- grafie	Lasersintern	FDM	3D-Printing	SLM
Lichthärtende Polymere -Acrylate - Epoxy hybrid - Epoxy gefüllt	Pulver -Thermoplaste -- ABS -- PA -Metall -- Stahl -- Kobalt/Chrom	Thermoplaste -ABS -PC -PC-ABS	-Binder + Pulver -- Legierungen -- Keramik - lichthärtende Polymere - Wachse / digitale Materialien - organische Materialien	- Metalle - Stahl - Kobalt/Chrom - Alu - Kupfer

Materialien ist ein wichtiges Entwicklungsfeld der Schichtbauverfahren, sie erweitert sich ständig.

Markt für Maschinen und Anlagen der Schichtbauverfahren

Quelle: Wohlers Report 2010)



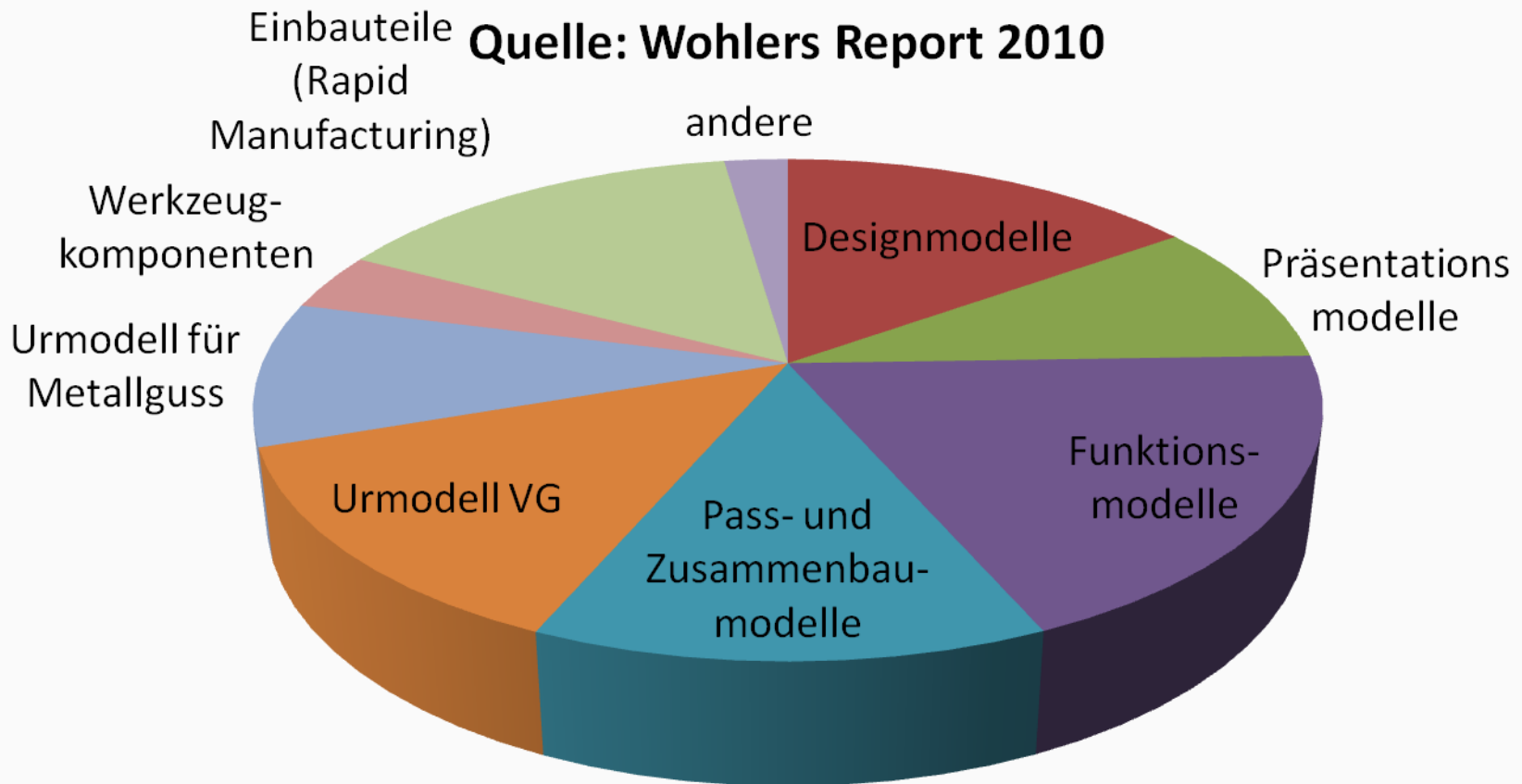
Maschinen und Anlagenhersteller weltweit

Quelle: Internetseiten der jeweiligen Hersteller,, Wohlers Report 2010

*Unter der jeweiligen Technologie ist die Anzahl der gegenwärtig von dem Hersteller angeboten unterschiedlichen Anlagen eingetragen. Irrtümer nicht ausgeschlossen!

Hersteller	Land	SLA *	SLS *	SLM / FMD *	sonstige Maschinen	LOM *	FDM *	3D Drucker: Photopolymer *	3D-Drucker: Binder-Injekt *	3D-Drucker Polymer	sonstige	Maschinen bis 2009
3DSYSTEMS	USA	5	3	2				6			1	4392
EOS	Deutschland		6									906
Z Corp.	USA								3			5598
Accufusion	Kanada			1								
Arcam	Schweden			2								69
CONCEPT Laser	Deutschland			3								88
Desktop Factory	USA										1	1
Envisiontec	Deutschland	7									1	1643
Ex One	USA		3		2							196
POM	USA			0 / 3								15
Huntsmann	USA	1										
Fab@Home	USA						2					132
Mcor	Irland					1						13
Bit From Bytes	England			2								1229
Optomec	USA			3							2	121
Phenix Systems	Frankreich			7/3								65
ReaLizer	Deutschland			3								9
Sintermask	Deutschland		1									6
Solidcape	USA									5		2901
Solidop	Israel					1						451
Stratasys	USA						8					13284
Voxeljet	Deutschland									2		14
Trumpf	Deutschland				1							17
Hermle	Deutschland				/1							?
Objet	Israel									9		2099

Einsatzbereiche Schichtbauteile



Gesamtumsatz an Erzeugnissen, die mit Schichtbauverfahren 2009 hergestellt wurden

Umsatz Dienstleister **409,3 Mio US \$**

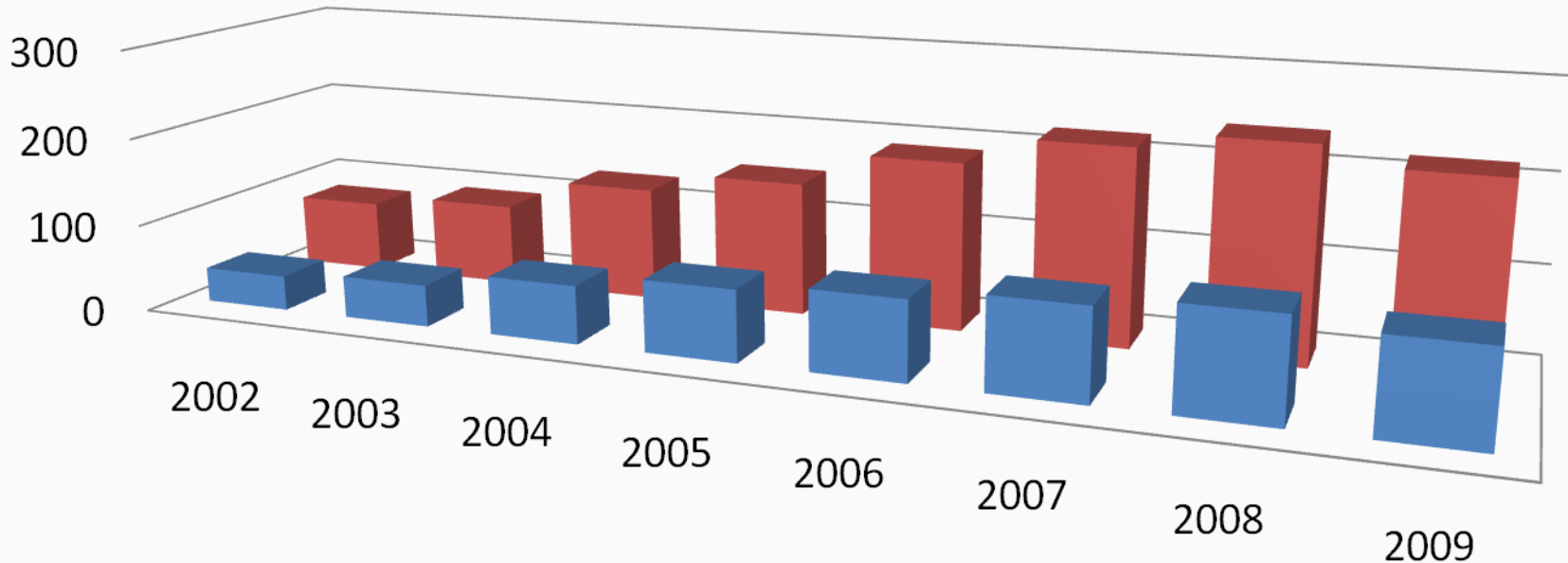
Umsatz Nicht-Dienstleister **658,7 Mio US \$**

Gesamtumsatz primär 1.068 Mio US \$

Quelle: Wohlers Report 2010

Materialereinsatz (Quelle: Wohler Report 2010)

Weltweiter Umsatz Material für Schichtbau-Verfahren



■ Umsatz Photopolymere in Mio US \$ (2009 = 103,7)

■ Gesamtumsatz Schichtbau-Materialien in Mio US \$ (2009 = 217,8)

Deutschlands Dienstleister - territoriale Verteilung -



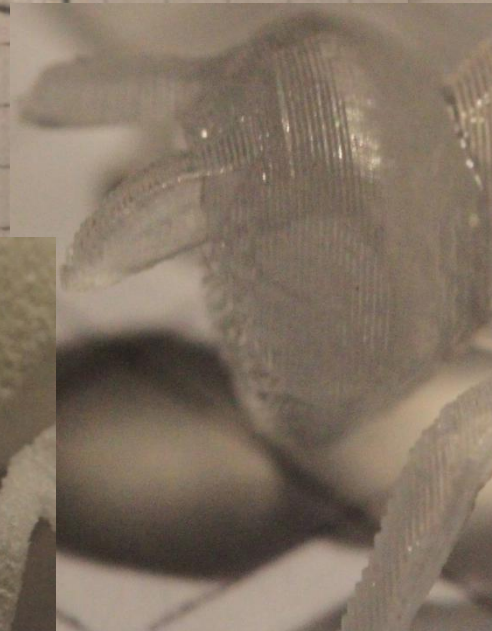
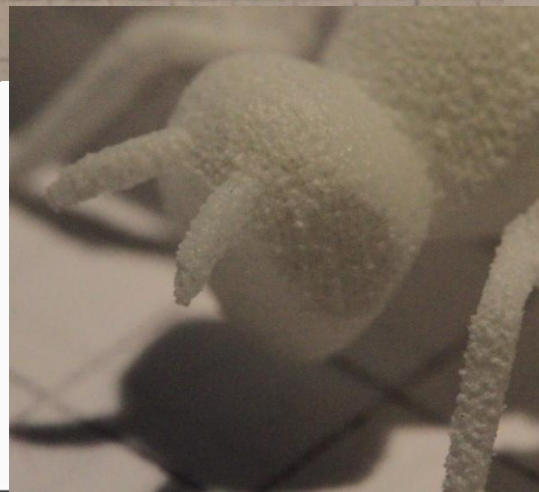
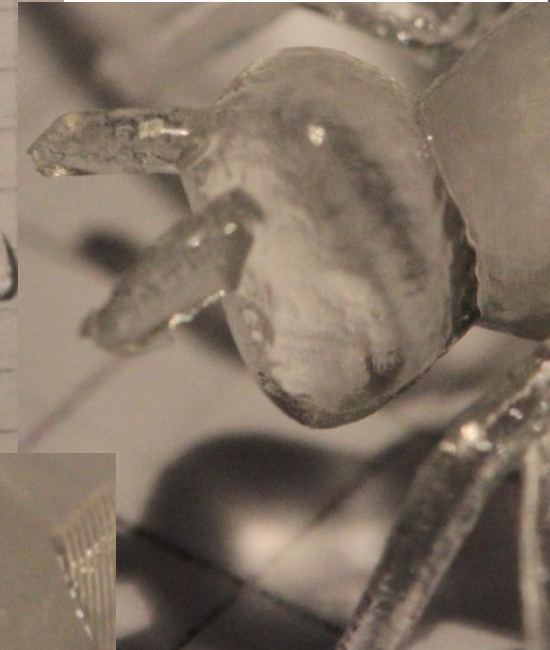
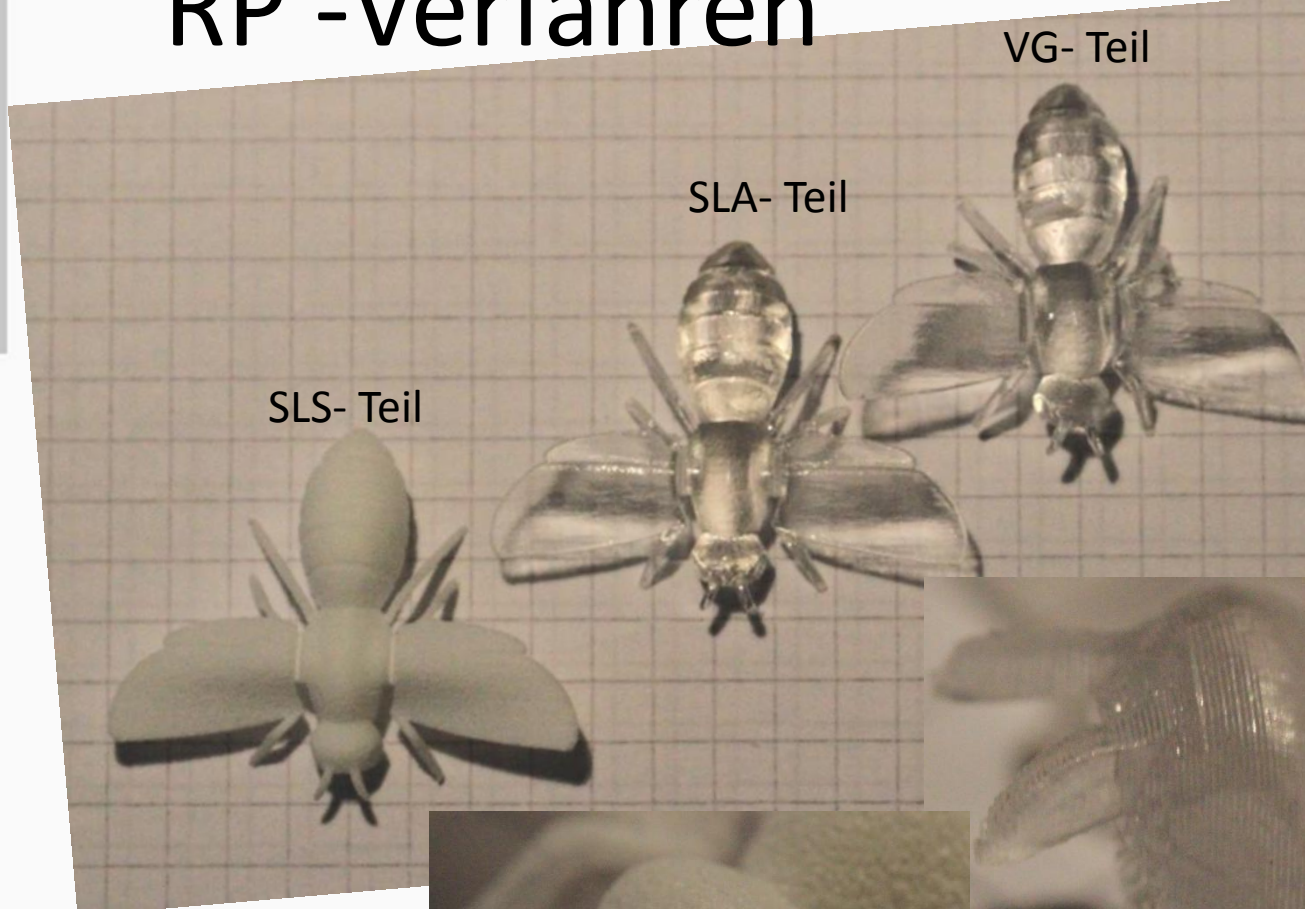
Deutschlands Dienstleister

Anzahl Dienstleister in Deutschland	82
davon bieten an:	
Stereolithografie	63
Lasersintern	62
VG / RIM	60
3D-Print	25
PA-Guss	7
Metallguss	33
Wachslinge	12
Fräsen	34
Rapid Tooling	35
FDM	14
Objet	16
LOM	4
SLM	16
EBM	2

Quelle: Internet + Katalogrecherche 3D-Schilling

RP -Verfahren

Vergleich Oberflächen
der unterschiedlicher
RP-Verfahren



Schichtbauverfahren

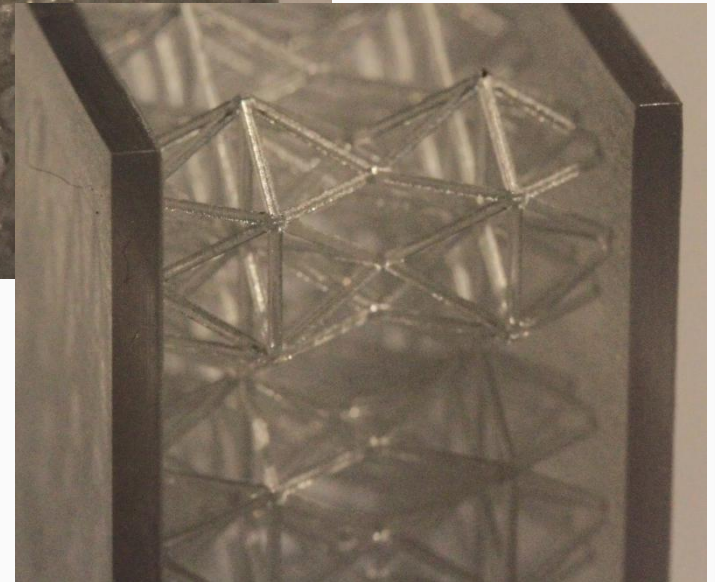
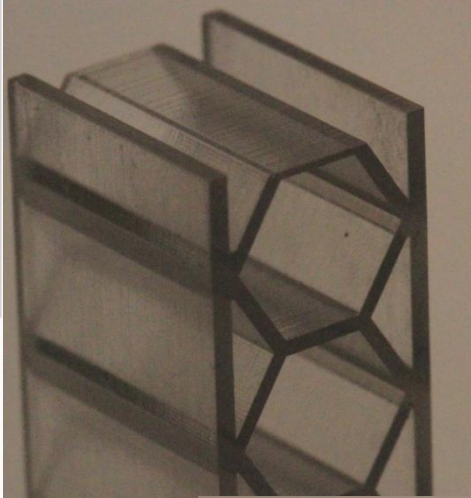
Vorteile

- Minimaler Programmieraufwand
- Nacharbeit gering/vertretbarer manueller Aufwand
- Fast alle denk- und konstruierbaren Strukturen realisierbar
- Verfügbare Materialpalette wird ständig erweitert
- Vielfältige und neuartige Möglichkeiten / Anwendungen

Nachteile

- Übertragung konventioneller Denk- und Herangehensweisen
- ständiger Wettbewerb zu konventionellen Verfahren
- Eigenständigkeit des Verfahrens zu wenig erkannt
- Visionen und Entwicklungen durch Maschinenhersteller dominiert
- Materialvergleichbarkeit gering

Vorteil: Strukturen



Entwicklungstrends Baugrößen

Stand:

1 – 700 mm in jede Dimension als Standard

Strukturen ab 0,4mm Breite

Ziel: untere Bereich:

0,002 mm in jede Dimension

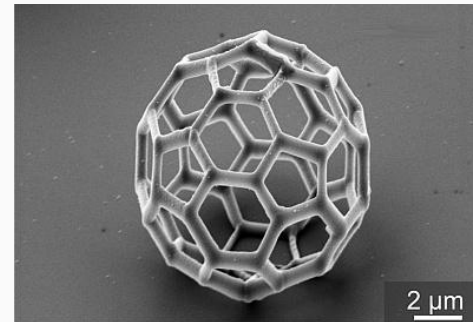


Foto: Nanoscribe

Ziel: oberer Bereich:

2100 x 640 x 600 mm (SLA Mammoth/ Materialise)

Entwicklungstrends Technologie

- Effektivität der Maschinen
 - Baugeschwindigkeit (Belichtung und Recoating)
 - Präzision
 - Materialien
- Einführung digitaler Materialien
(Objet, Hermle – Materialeigenschaften werden vorgegeben und durch Maschine umgesetzt)
- Arbeit mit wiederverwertbaren Material
- Umweltverträglichkeit
- Konsumentenausrichtung
- Personal-Fabricator

Personal Fabricator

- RepRap (Replicating Rapid-prototyper)
open source Project, Start 2004
- Fab@Home – open source Project, Start 2006

Ziel:

Personal Fabber für weniger als 1000 US \$ zum
Selberbauen / Individualgebrauch

Entscheidungsmatrix für den Einsatz von RM

Genügt ein **RM-Material** dem Einsatzfall, z.B.

- mechanische Festigkeit
- Biokompatibilität
- Oberflächenbeschaffenheit
- gibt es Vorschriften zur Verwendung bestimmter Kunststoffe

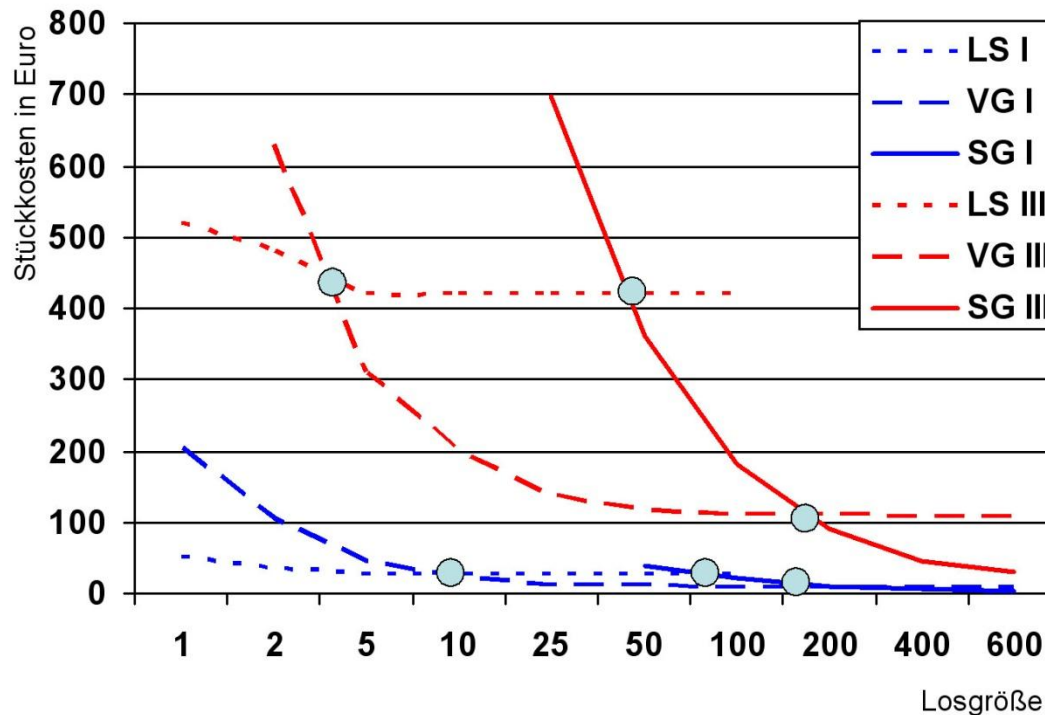
Genügt die mögliche **RM-Fertigungsgenauigkeit** der geforderten Präzision

- wenn nicht, ist sie über Verfahrenskombinationen erreichbar?

Halten die **RM-Aufwand** dem Vergleich zu konventionellen Verfahren stand (Stückkosten, Fertigungszeit)?

Stückkosten in Abhängigkeit von der Losgröße

Vergleich SLS, VG, SG

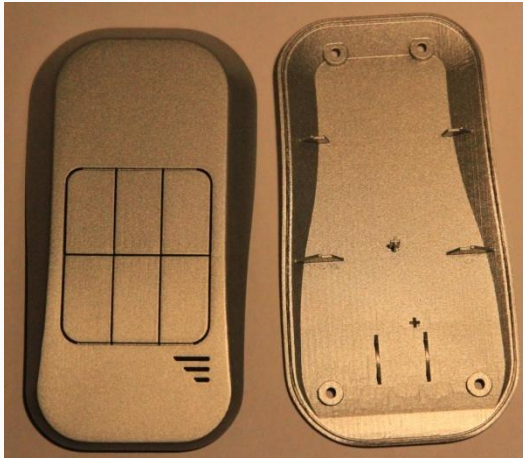


Die Gleichwertigkeit für den Anwendungsfall vorausgesetzt wurden nach geometrischen Abmaßen Kostenvergleich der Stückkosten in Abhängigkeit von der Losgröße vorgenommen.

I – Außenabmaße 50 x 50 x 30 mm

III – Außenabmaße 350 x 250 x 100 mm

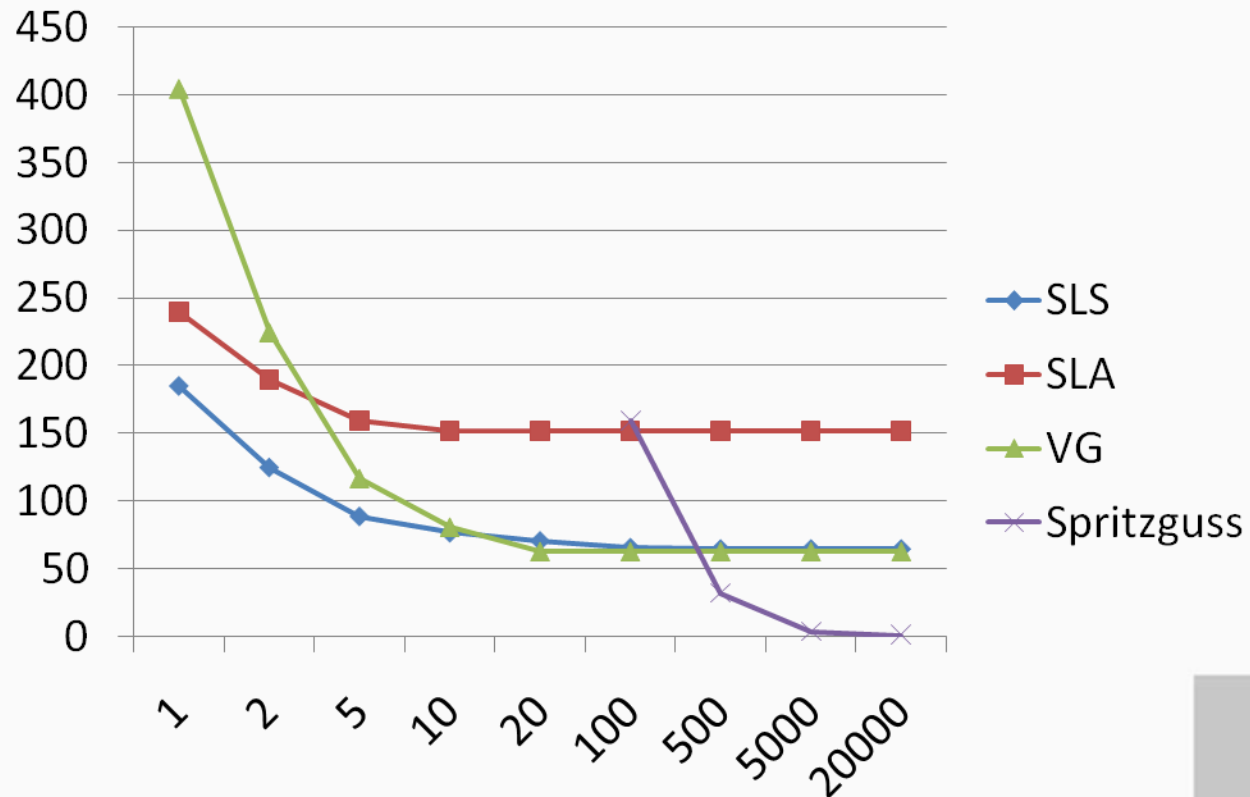
Beispiel 6-Kanal-Sender



Designmodell



Ziel: Beschicht- und lackierbare Kunststoffteile



Mit dem Beispiel soll gezeigt werden:

Vorausgesetzt, Oberflächen bleiben unberücksichtigt, ist Lasersintern bei Stückzahlen <10 Stück kostengünstiger als Vakuumguss. Ab 500 Stück gibt es zu Spritzguss keine Alternative.

Bei den geforderten Oberflächenqualitäten ist SLS jedoch nicht geeignet.

Fazit

- Generative Verfahren sind am Markt gut eingeführt
- Über Dienstleister und Hersteller sind sie industrieintegriert
- Potentiale sind nicht erschöpft
- Das Schichtbauverfahren ist grundsätzlich nach der Anwendung auszuwählen
- Netzwerke und Verbünde sind notwendig um die Anlagen auszulasten



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!