

Rapid Prototyping (RP)

- 1. Einführung**
(introduction)
- 2. Ausgewählte RP-Verfahren**
(exclusive RP techniques)
- 3. Folgetechniken**
(following techniques)

Einführung (introduction)

Der Begriff Rapid Prototyping (RP) umfasst verschiedene Verfahren zur Herstellung von Prototypen. (Andere Begriffe: Desktop Manufacturing (DMF), Solid Freeform Manufacturing oder Layer Manufacturing, ..)

(The term rapid prototyping (RP) covers different methods for the generation of prototypes. (other terms: Desktop Manufacturing (DMF), Solid Freeform Manufacturing or Layer Manufacturing, ..))

Rapid Prototyping ermöglicht die Einbeziehung des Muster- und Prototypenbaus in den Konstruktionsprozess (Simultaneous Engineering). *(Rapid prototyping enables the comprehension of prototyping into the design process (Simultaneous Engineering).)*

In den letzten Jahren sind mehrere Rapid Prototyping-Verfahren entwickelt worden: die **S**tereolithographie (STL), das **S**elective **L**aser **S**intering (SLS) und das **S**olid **G**round **C**uring (SGC), das **L**aminated **O**bject **M**anufacturing (LOM) und das **F**used **D**eposing **M**odelling (FDM), ...

*(In the last years several rapid prototyping methods have been developed: the **S**tereolithography (STL), the **S**elective **L**aser **S**intering (SLS) and the **S**olid **G**round **C**uring (SGC), the **L**aminated **O**bject **M**anufacturing (LOM) and the **F**used **D**eposing **M**odelling (FDM), ...)*

Vorgehensweise (proceeding)

Die Vorgehensweise zur Herstellung von Rapid Prototyping Modellen ist immer die gleiche (*The proceeding for the production of rapid prototyping models is always the same*):

- Bauteilgenerierung im CAD-System (*part generation in the CAD system*)
- Festlegung und Überprüfung von Genauigkeitsanforderungen, z.B. Sehnenhöhe (*predefinition and verification of accuracy requirements, e.g. chord height*)
- Erzeugung einer STL-Datei (*creation of a STL-file*)
- Rapid Prototyping (*rapid prototyping*)
- Modellnachbearbeitung (*model finishing*)

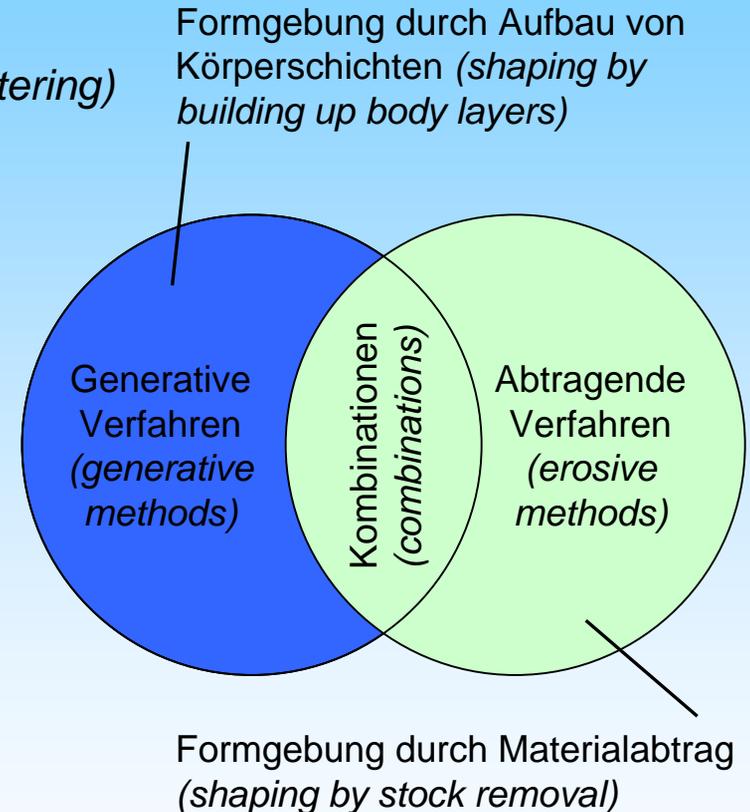
Einteilung der RP-Verfahren (1) (classification of RP methods)

Generative Verfahren (generative methods):

- Stereolithographie (SLA/STL) (*stereolithography*)
- Selektives Laser-Sintern (SLS) (*selective laser sintering*)
- Laminated Object Manufacturing (LOM)
- Solid Ground Curing (SGC)
- Fused Deposition Modelling (FDM)
- Laser-Auftragsschweißen (*laser build-up welding*)
- ...

Abtragende Verfahren (erosive methods):

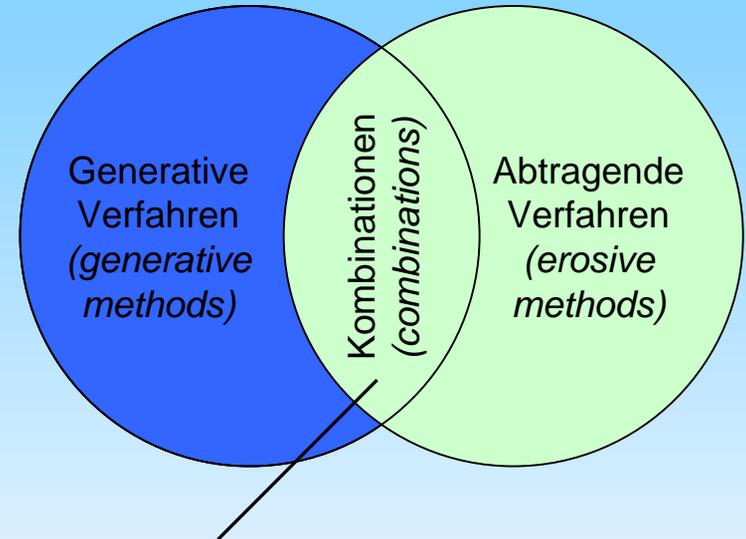
- Bohren (*drilling*)
- Drehen (*turning*)
- Fräsen (*milling*)
- High Speed Cutting (HSC)
- ...



Einteilung der RP-Verfahren (2) (classification of RP methods)

Kombinierte Verfahren (combined methods):

- Fräsen und Fügen (*milling and joining*)
- Controlled Metal Build-up (CMB)
(Laserauftragsschweißen + HSC) (*laser build-up welding + HSC*)
- ...

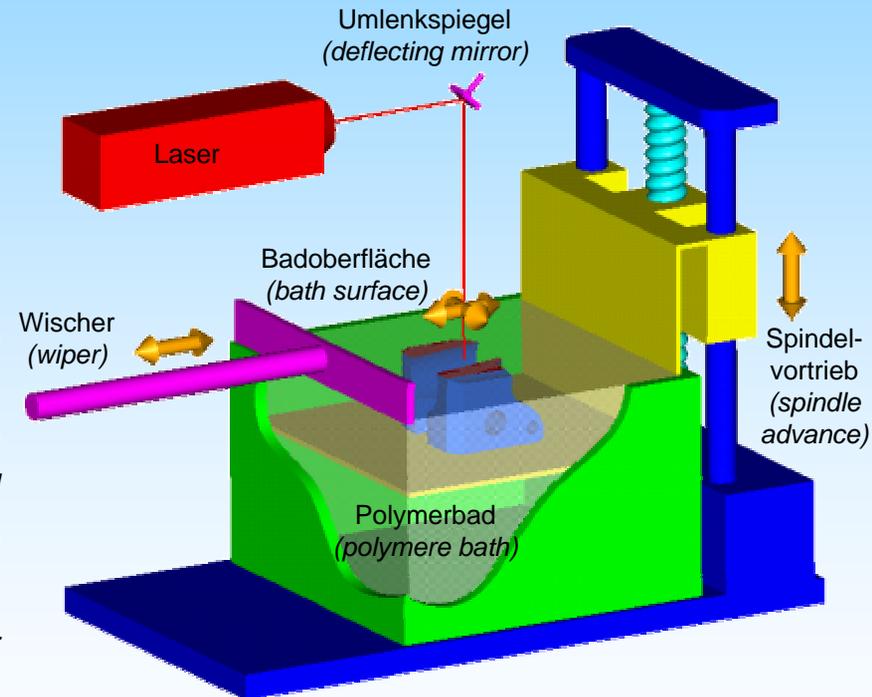


Formgebung durch Aufbau von Körperschichten und anschließendem Materialabtrag (*shaping by building up body layers and stock removal afterwards*)

Stereolithographie (SLA/STL) (1) (stereolithography)

→ schichtweise Aushärtung eines flüssigen Photopolymers mittels Laser. (Schichtdicke 0,1 mm bis 0,2 mm.) (→ *curing in layers of a liquid photopolymer with the help of a laser (layer thickness: 0,1 mm up to 0,2 mm.)*)

3D-CAD-Daten (STL-Daten) werden in 2D-Querschnitte umgewandelt, computergesteuerter UV-Laserstrahl bildet die jeweiligen Konturen der Schichten auf einem flüssigen Polymerharz ab. Wo der Laserstrahl auf das Harz trifft, härtet dieses aus. Entstehendes Kunststoff-Modell wird um eine Schichtdicke in das Harz abgesenkt → nächste darüberliegende Schicht wird ausgehärtet. (3D CAD data (STL data) will be converted into 2D cross sections, computer-controlled UV laser beam reproduces the respective outlines of the layers on a liquid polymer resin. Where the laser beam meets the resin, it hardens. Resulting plastic model is lowered into the resin by a layer thickness → next layer is hardened.)



Stereolithographie (SLA/STL) (2) (stereolithography)



Citroën C3 in Stereolithographie (Maßstab 1:5), gestrichen und lackiert. (*Citroën C3 in stereolithography (scale 1/5), painted and lacquered*)

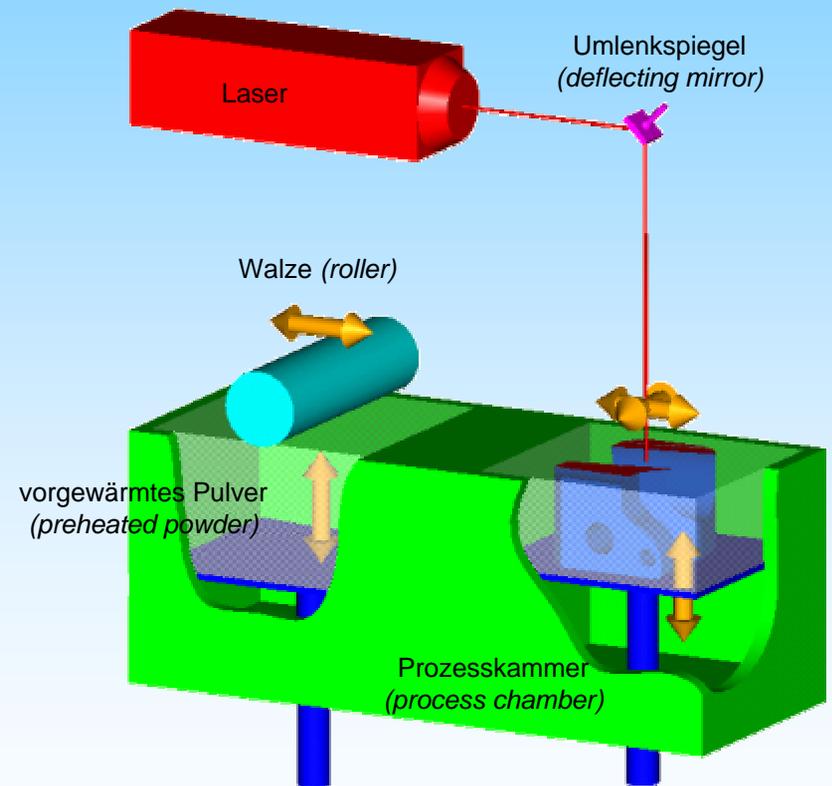
Beim Post-Processing wird die evtl. notwendige Stützkonstruktion entfernt und das Modell von nicht ausgehärteten Polymerresten gereinigt. Das Modell wird später unter UV-Licht nachgehärtet. Bei erhöhten optischen Anforderungen kann ein Oberflächenfinish durchgeführt werden.

(With the post processing the possibly necessary supports will be removed and the model will be cleaned by non-cured polymer left-overs. Later on the model will be post cured under UV light. In the case of increased optical requirements a surface finish can be accomplished.)

Selective Laser Sintering (SLS)

Schichtweises Aufschmelzen und Sintern eines Pulvers aus thermoplastischem Kunststoff, Metallpulver oder Gießsand. (*Layer-wise melting and sintering of a thermoplastic powder, metallic powder or casting sand.*)

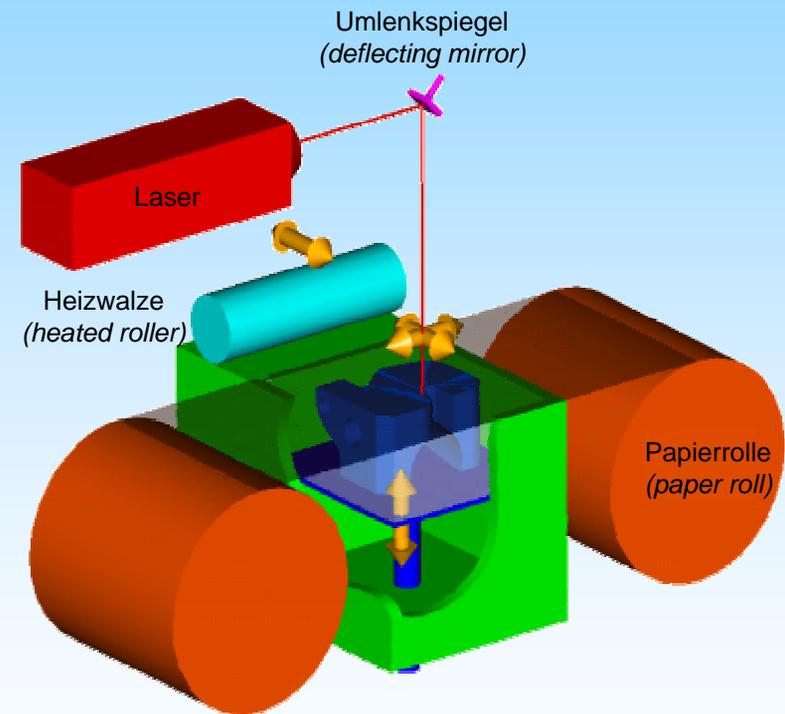
Mit Infrarotlampe vorgewärmte Pulverschichten werden mit einer Walze unter inerter Atmosphäre (Schutzgas: Stickstoff) aufgebracht. Nicht durch den Laser verfestigtes Material bleibt zurück und stützt Bauteil ab. Anschließend fährt das Modell um Schichtdicke tiefer in die Prozesskammer ein. Vollständige Aushärtung von metallischen Werkstoffen → Sinterprozess nachschalten. (*With infrared lamp preheated powder layers will be applied with a roller under inert atmosphere (inert gas: Nitrogen). Material which is not solidified by the laser is left and supports the model. Subsequently, the model moves downwards into the process chamber by a layer thickness. Complete hardening of metallic materials → adding sinter process.*)



Laminated Object Manufacturing (LOM)

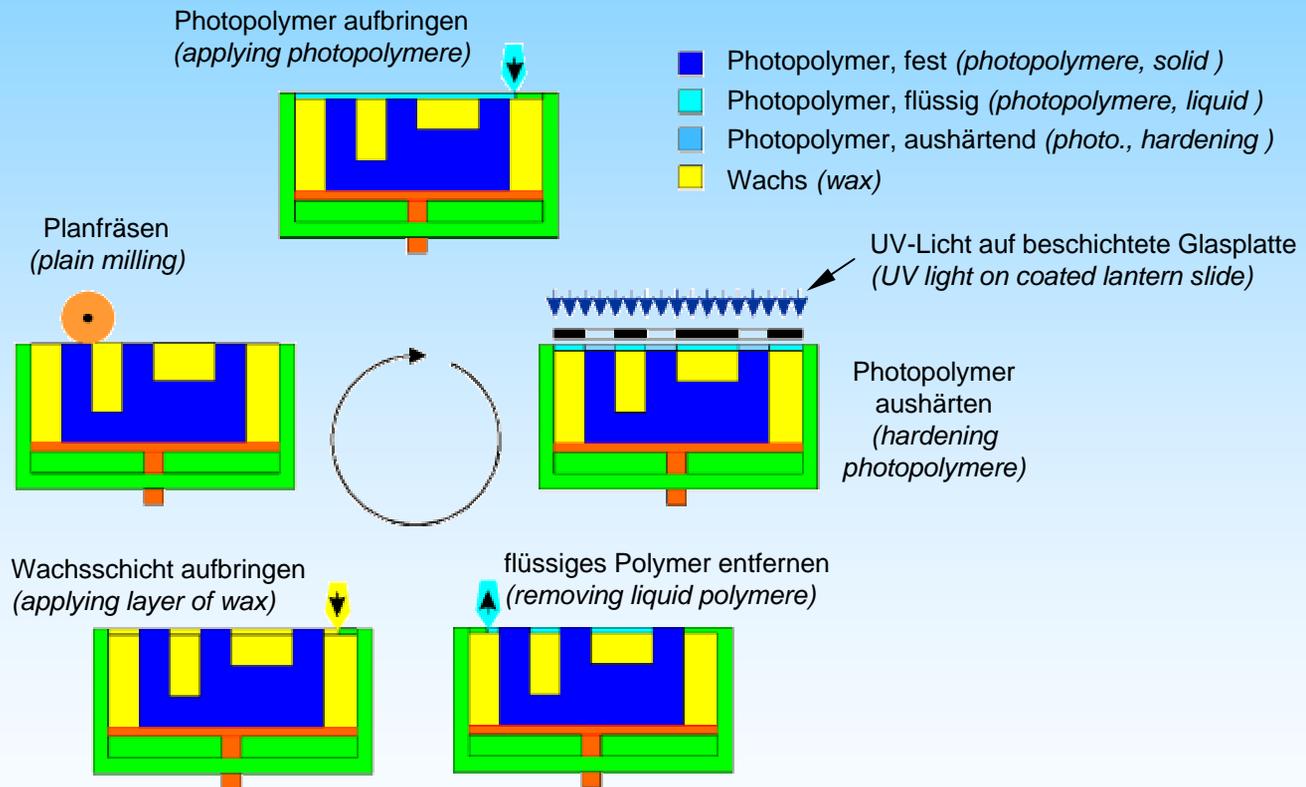
Aufeinanderlaminierten von beschichtetem Folienmaterial und abschneiden des Restmaterials mittels Laser, Messer oder Heißdraht. (*Laminating of coated foil material and cutting off the remaining material by means of laser, knife or hot wire.*)

Folien werden beheizt und auf die darunter liegende Schicht gepresst bzw. verklebt. Laser ist so eingestellt, dass nur die oberste Schicht geschnitten wird. Um später die nicht zum Werkstück gehörenden Teile leichter entfernen zu können, werden diese in Rechtecke variabler Größe geschnitten → Nachbearbeitungen nötig! (*Foils are heated and pressed or stuck together with the subjacent layer. Laser is adjusted that only the top level layer will be cut. In order to be able to remove those parts, which don't belong to the workpiece, more easily, these will be cut into rectangles of variable size → finishing necessarily!*)



Solid Ground Curing (SGC) (1)

Schichtweises Aushärten eines Photopolymers oder Wachses mittels Belichtung durch eine Maske mit einer Lampe, die Licht einer Frequenz ausstrahlt. (*Hardening in layers of a photopolymere or a wax by means of exposure by a mask with a lamp, which radiates light of one frequency.*)



Solid Ground Curing (SGC) (2)

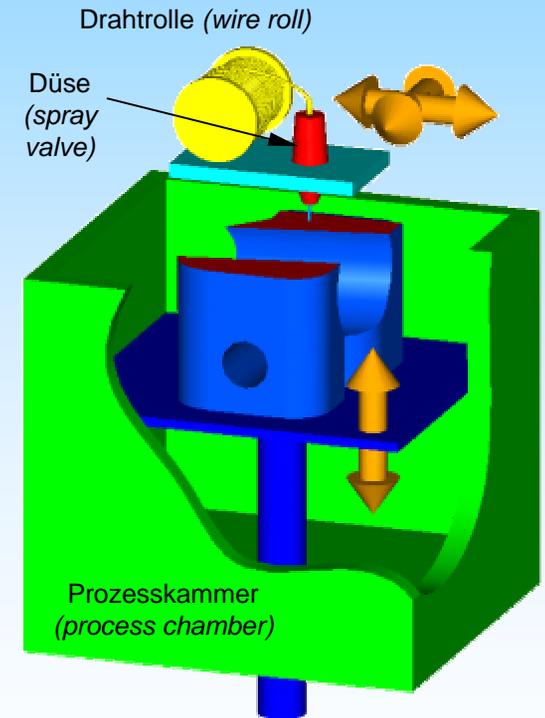
- dünne Schicht Photopolymer aufbringen (*applying thin layer of photopolymere*)
- Schicht wird an gewünschten Stellen durch eine Maske mit UV-Licht belichtet und damit ausgehärtet. Restliches flüssiges Polymer wird abgesaugt und wieder verwendet. (*Layer is exposed in desired regions by a mask with UV light and thereby hardened. Remaining liquid polymere is exhausted and used again.*)
- Entstandenen Freiräume mit Wachs auffüllen (→ Stützkonstruktion entfällt), abkühlen, Oberfläche auf Nennmaß abfräsen → entstandene planare Oberfläche kann für den nächsten Zyklus vorbereitet werden. (*Filling up the resulting free spaces with wax (→ supporting structure unnecessary), cooling, milling the surface to nominal dimension → resulting planar surface can be prepared for the next cycle.*)

SGC-Modelle müssen nicht nachgehärtet werden, da das Material bei der Belichtung vollständig aushärtet. Da sich das Modell nach Abschluss des Prozesses in einem Wachsblock befindet, muss ein Reinigungsvorgang nachgestellt werden, bei dem das Modell mit Zitronensäure vom Wachsblock getrennt wird. (*SGC models do not have to be post cured, since the material hardens completely with the exposure. Since the model is located in a wax block after the process, a cleaning operation must be added, with which the model is separated from the wax block with citric acid.*)

Fused Deposition Modelling (FDM)

Ein Miniaturextruder erzeugt dünne aufgeschmolzene Thermoplastfäden, die durch mäanderförmiges Ablegen („Plotten“) einen Konturquerschnitt des zu erzeugenden Prototypen bilden. Durch Übereinanderlegen vieler Querschnitte wird das komplette Modell aufgebaut. *(A miniature extruder produces thin melted thermoplastic filaments, which build up an outline cross section of the forming prototype by depositing („plot“) meanderly. The complete model is built up by laying many cross sections on top of each other.)*

Bei ausladenden Teilen ist eine Stützkonstruktion aus Pappe, Polystyrol oder ähnlichem erforderlich. Als Materialien lassen sich Formwaxe und Thermoplaste (Polyamid, Polyethylen) verarbeiten. Gleichzeitiges Auftragen zweier Materialien → Herstellung von Verbundwerkstoffen. *(With cantilevered parts a supporting construction made of cardboard, polystyrene or the like is necessary. Possibility to treat materials like form waxes and thermoplastics (polyamide, polyethylene). Simultaneous application of two materials → manufacturing of composite materials.)*



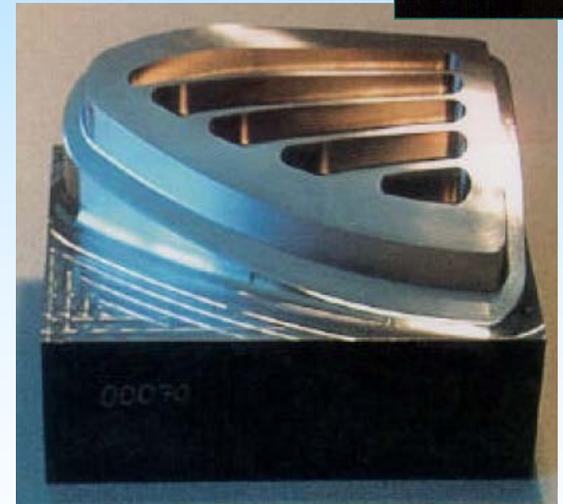
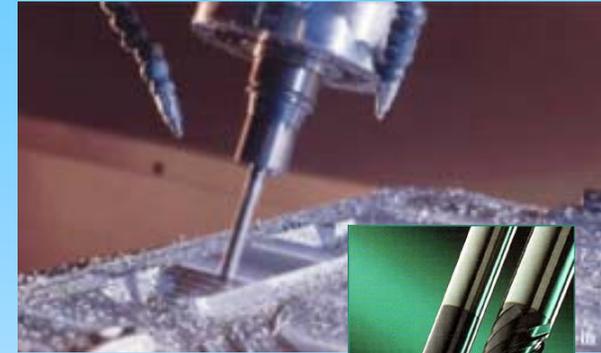
Detailierung (detailing)

Verfahren (method)	Stereolithographie (stereolithography) STL/SLA	Selective Laser Sintering SLS	Fused Deposition Modeling FDM	Laminated Object Manufacturing LOM	Solid Ground Curing SGC
Materialausgangszustand (initial state of the material)	flüssig (liquid)	pulverförmig (powdery)	fest (solid)	fest (solid)	flüssig (liquid)
Anforderungen/Detailierung (requirements/detailing)					
minimal darstellbare Wandstärke (minimum representable wall thickness)	< 0,5 mm	0,5 – 1 mm	> 1 mm	> 1 mm	> 1 mm
minimale Genauigkeit xy- Ebene (minimum accuracy xy plane)	≥ ±0,05 mm	≥ ±0,1 mm	≥ ±0,1 mm	≥ ±0,15 mm	≥ ±0,1 mm
minimale Genauigkeit z- Richtung (minimum accuracy z direction)	≥ 0,1 mm	≥ 0,13 mm	≥ 0,1 mm	≥ 0,1 mm	≥ 0,1 mm

High Speed Cutting (HSC)

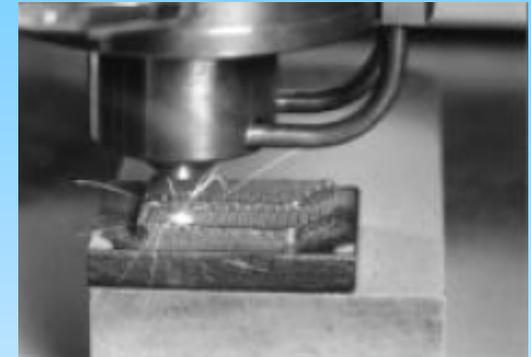
HSC beschreibt Zerspanungsprozesse, die im Vergleich zur konventionellen spanenden Fertigung mit deutlich höheren Geschwindigkeiten durchgeführt werden. (*HSC describes cutting processes which are performed with definite higher speeds compared to the conventional cutting manufacturing.*)

- Reduktion der Bearbeitungszeiten durch höhere Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeiten (*reduction of machining time by higher rates of work and feed*)
- Hohe Genauigkeit ($< \pm 0,01\text{mm}$) (*high accuracy ($< \pm 0,01\text{mm}$)*)
- Hohe Festigkeiten ohne Nachbehandlung (*high strengths without retreatment*)
- Unterschiedliche Materialien verwendbar (*different materials utilisable*)
- Kostensenkungen (*cost reductions*)



Controlled Metal Build-up (CMB)

1. Materialaufbau durch Laserschweißen
(material build-up by laser build-up welding)
Aufschmelzen eines Stahldrahtes auf der Werkstückoberfläche mittels Laser sowie Herstellen weiterer Schweißnähte neben der bereits gefertigten Naht → Entstehung einer feinen Schicht. *(Coating of a steel wire on the workpiece surface by means of lasers and production of additional welding seams next to the finished weld → formation of a fine layer.)*
2. Definierter Materialabtrag durch HSC
(well-defined stock removal with HSC)
Herstellen der Außen- und Innenkontur durch Überfräsen der Schicht → definierte Ausgangsfläche für den Aufbau der nächsten Schicht. *(Manufacturing of the outer and inner contour by milling the layer → defined starting surface for the build-up of the next layer.)*
3. Schritt 1 wiederholen
(repeat step 1)



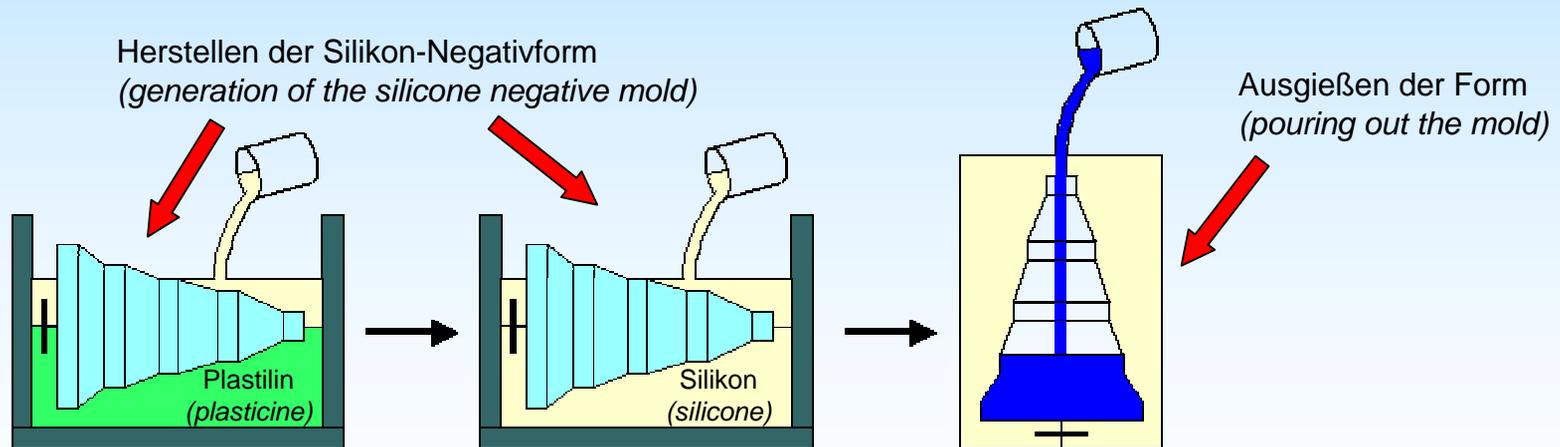
weitere RP-Verfahren (other RP methods)

- 3D-Printing Systeme (3DP) – Binder wird auf Pulver gespritzt, ähnelt SLS (*3D-Printing Systems (3DP) – binder is sputtered on powder, resembles SLS*)
- Multi Jet Modelling – Druckkopf mit über 96 Düsen für Thermoplastmaterial (*Multi Jet Modelling – print head with over 96 injectors (jets) for thermoplastic material*)
- Laser Aided Powder Solidification – ähnelt dem Auftragsschweißen (*Laser Aided Powder Solidification – resembles the build-up welding*)
- Laser Chemical Vapor Deposition (LCVD) – LCVD liefert als Ergebnis aufgedampftes Material in einem durch einen konzentrierten Laserstrahl erhitzten mikroskopischen Bereich (*LCVD results in the deposition of material in a microscopic heated region created by a focussed laser beam*)
- Solid Foil Polymerisation (SFP) – Schichtweise Verfestigung und Verbindung von halbpolymerisierten Materialfolien mittels Laser (*solidification in layers and joining of semi-polymerized material foils with the help of lasers*)
- Holographic Interference Solidification (HIS) – Interferenz-Verfestigung in einer chemischen Reaktionsflüssigkeit aufgrund einer Hologrammbelichtung (*interference solidification in a chemical liquid reaction as a result of a hologram exposure*)
- Beam Interference Solidification (BIS) – Polymerisation eines photosensitiven Reaktionsgemisches im Schnittpunkt zweier zueinander senkrecht angeordneter Laserstrahlen (*polymerization of a photosensitive mixture of reaction in the intersection point of two orthogonal laser beams*)

Kunststoffgießverfahren (synthetic casting method)

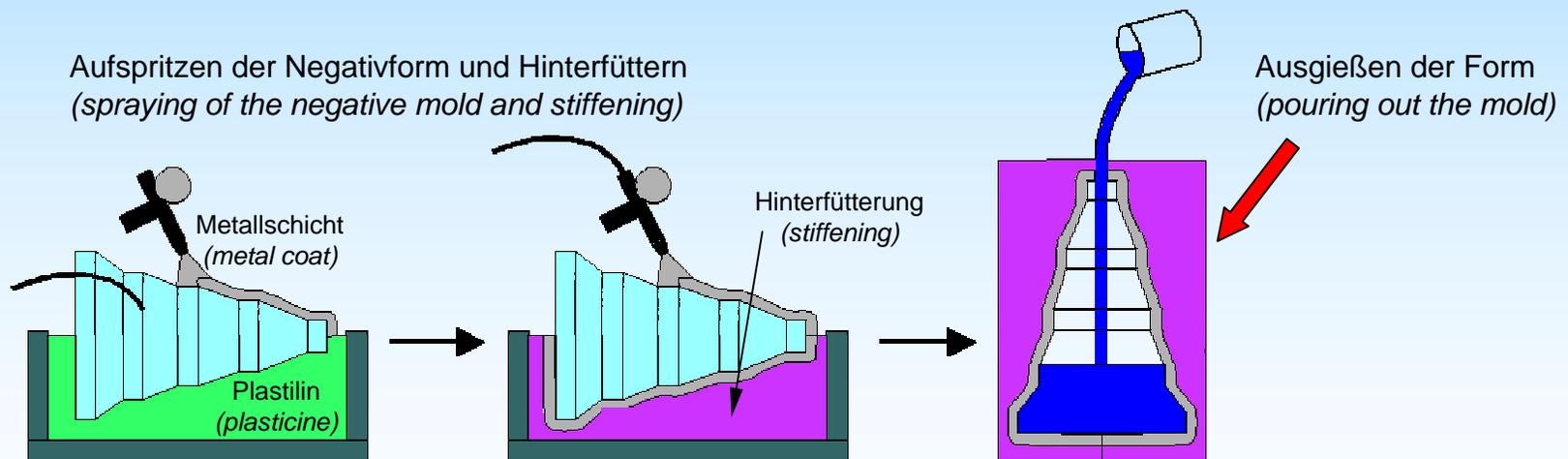
Sogenannte **Folgetechniken** sind Verfahren, mit denen von einem bestehenden RP-Modell weitere funktionelle oder technische Prototypen aus Kunststoff oder Metall hergestellt werden können. (So called **following techniques** are methods, with which further functional or technical prototypes (made of plastic or metal) can be generated by an existing RP model.)

- **Kunststoffgießverfahren** – Modell wird in mehreren Schritten mit einer Silikonschale umgossen. Erzeugtes Silikonnegativ bildet Gussform, die später mit Gießharz ausgegossen wird. Silikon leicht verformbar → Hinterschneidungen am Modell möglich, Formschrägen unnötig. (**Synthetic casting method** - model will be encased with a silicone shell in several steps. Created silicone negative forms mold, which is later filled with casting resin. Silicone easily ductile → undercuts at the model possible, form bevels unnecessarily.)



Metallspritzverfahren (soft tooling)

- **Metallspritzverfahren** – Modell wird mit Metall (Wismut, Zink, Zinn, bedingt Stahl, Alu, Bronze) besprüht. Werkstoff (in Drahtform) wird in einer Metallspritzpistole in einem Lichtbogen aufgeschmolzen und durch Druckluft in feine Partikel zerstäubt und auf das Modell gesprüht → etwa 2-3 mm dicke Schicht, die das Modell als negativ abbildet. Evtl. Hinterfütterung zur Erhöhung der Stabilität. (**Soft tooling** – model is sprayed with metal (bismuth, zinc, tin, conditionally steel, aluminum, bronze). Material (in form of a wire) is melted in a metal spray gun in an arc and sputtered by compressed air into fine particles and sprayed on the model → 2-3 mm layer thickness, which reproduces the model as a negative. Possibly stiffening for the increase of stability.)



Gipsformverfahren (following techniques)

- **Gipsformverfahren** – zwei Negativformhälften werden aus Epoxydharz vom Urmodell abgegossen. Entstandene Form wird mit Silikon ausgegossen → verformbares Silikon-Positiv, welches anschließend mit Gips umgossen wird. Verwendung von Silikon, da dieses leicht aus der Form zu nehmen ist. (*Gypsum copying method – two female form halves made of epoxy resin are poured off by the original model. Resulting form is filled with silicone → ductile silicone positive, which will be recasted with gypsum afterwards. Use of silicone because it can be uncased from the form easily.*)

