



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



## AM Nachbearbeitung der Polymere *Allgemeine Überlegungen*

Project No. 601217-EPP-1-2018-1-BE-EPPKA2-SSA-B



# 1. Allgemeine Überlegungen

“Jeder Gegenstand steht über seine Oberfläche in Wechselwirkung mit der Umgebung. Vordergründig betrachten wir dabei die Oberfläche von Werkstücken.[...]”.

Als Konsequenz daraus folgt:  
Eine Oberfläche befindet sich immer in Wechselwirkung mit der Umgebung, verbunden mit einer Veränderung ihrer Eigenschaften.

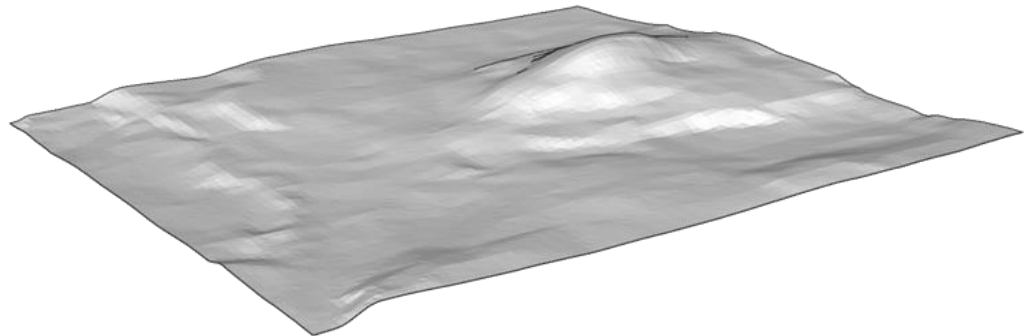
Durch eine gezielte Oberflächenveränderung lässt sich ein neues Oberflächenverhalten schaffen.

Quelle: Hofman, H. und Spindler, J.: *Verfahren in der Beschichtungs- und Oberflächentechnik*. 4. Auflage. München 2020. Hanser Verlag

# 1. Allgemeine Überlegungen

Ein Bauteil/Werkstück besteht aus einem Grundkörper (Mechanische Anforderungen) und seiner Randschicht (Weitere spezielle Anforderungen).

Bei der Nachbearbeitung wird nahezu ausschließlich die Randschicht nachbearbeitet.

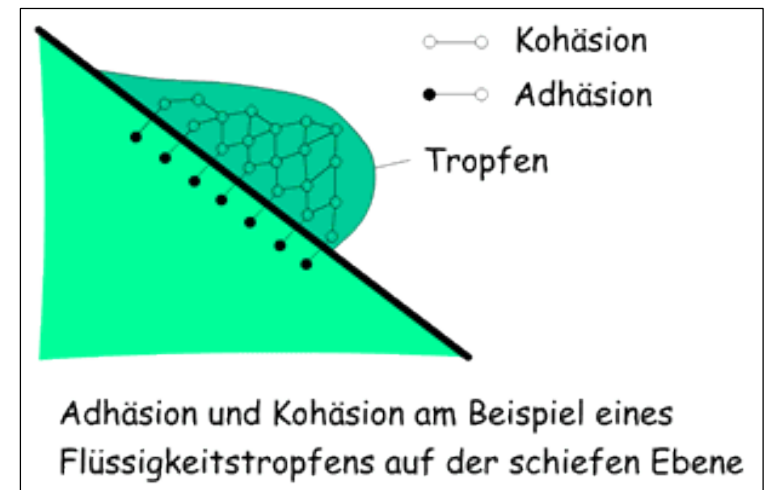


# 1. Allgemeine Überlegungen

Durch Oberflächentechnik wird eine Werkstoffoberfläche so verändert, dass sie bestimmten Belastungen standhalten kann oder besondere Eigenschaften aufweist.

Diese sind z.B.:

- Chemische Eigenschaften
- Mechanische Eigenschaften
- Optische Eigenschaften
- Elektrische Eigenschaften
- Gleit- und Reibeigenschaften



## 1. Allgemeine Überlegungen

Erst durch Veränderung ihrer Oberfläche werden  
Produkte **technisch einsetzbar** (z.B. im  
Maschinenbau, Fahrzeugtechnik, Elektrotechnik,  
Luft- und Raumfahrt, ...)

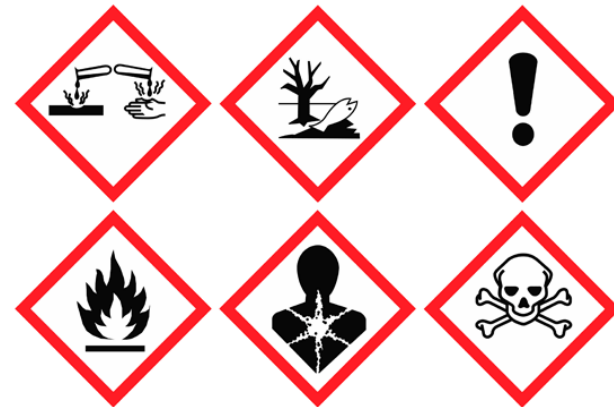
oder

**optisch aufbereitet** und  
**wirtschaftlich attraktiver**  
(z.B. Schmuck, Möbel,  
Verpackungen, ...)



# 1. Allgemeine Überlegungen

- Neben den bereits genannten Eigenschaften müssen bei der Auswahl der Verfahren auch noch folgende Aspekte bzw. Kriterien berücksichtigt werden:
- Umweltschutz / Nachhaltigkeit
- Ungefährlichkeit des Endproduktes
- Arbeitsschutz
- Wirtschaftlichkeit



# 1. Allgemeine Überlegungen

Alle Fertigungsverfahren sind in sechs Hauptgruppen eingeordnet (DIN 8580).

Diese Gruppen sind:

1. Urformen (Nicht relevant für Additive Fertigung)
2. Umformen (Nicht relevant)
3. **Trennen** (Hier z.B. Schleifen, Beizen, Ätzen, ...)
4. Fügen (Nicht relevant)
5. **Beschichten** (Streichen, Spritzen, Galvanisieren,...)
6. **Stoffeigenschaften ändern** (Hauptsächlich Metalle)

# 1. Allgemeine Überlegungen

## 1.1 Trennende Verfahren

Durch spanende oder nicht spanende Trennverfahren wird in der Regel die Oberflächenrauheit verringert. Dadurch verbessert/verbessern sich im Wesentlichen die:

- Haptik
- Gleiteigenschaften
- Optik (z.B. Glanz)



# 1. Allgemeine Überlegungen

## 1.1.2 Glättende Verfahren

Das Glätten ist kein Fertigungsverfahren nach DIN.

Es wird aber bei der Additiven Fertigung als eigenständiges Verfahren zur Nachbearbeitung gelistet. Bei fast (nicht alle) allen Glättverfahren wird etwas Material abgetragen. Sie zählen deshalb zum Trennen.

Durch Glätten - mechanisch, physikalisch oder chemisch - werden ähnliche Oberflächenbeschaffenheiten wie beim Trennen oder Beschichten erreicht.

# 1. Allgemeine Überlegungen

## 1.2 Beschichtende Verfahren

Durch das Fertigungsverfahren des Beschichtens können weitere Änderungen erreicht werden:

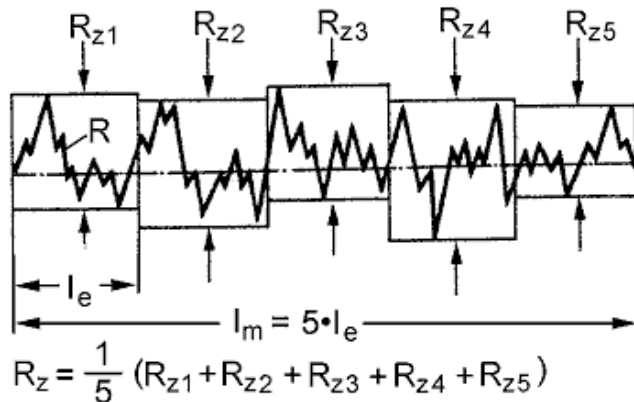
- Chemische Beständigkeit
- Physikalische Beständigkeit
- Optische Änderungen (Farbe, Glanz,...)

# 1. Allgemeine Überlegungen

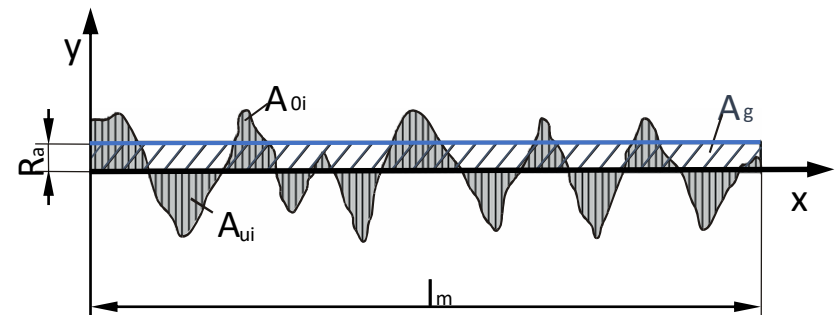
## Kurzer Exkurs: Rauheit (Rauigkeit)

- Bezeichnet Unebenheiten der Oberflächenhöhe

**Gemittelte Rautiefe  $R_z$**



**Mittenrauhwert  $R_a$**





# 1. Allgemeine Überlegungen

Nach der Fertigstellung eines additiv gefertigten Bauteils ist nach der Entnahme noch eine Bearbeitung der Oberfläche oder zusätzlich eine Beschichtung notwendig.

Zur Änderung (oder Verbesserung) der :

- Mechanische Eigenschaften
- Chemischen Eigenschaften
- Optischen Eigenschaften
- Optoelektronischen Eigenschaften

*Thank  
you*



## AM Nachbearbeitung der Polymere *Bauteile entnehmen*

Project No. 601217-EPP-1-2018-1-BE-EPPKA2-SSA-B

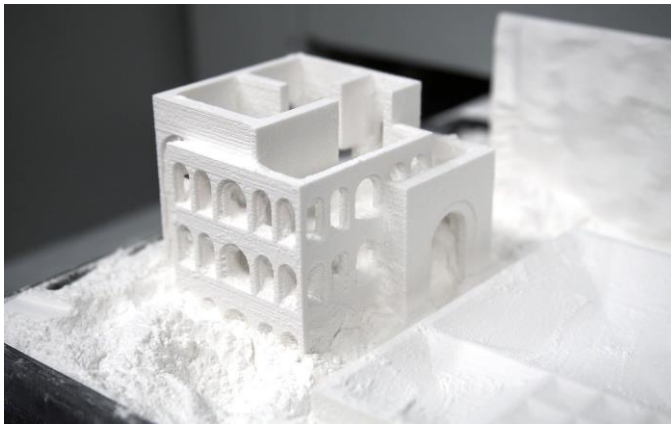


## 2. Bauteil entnehmen

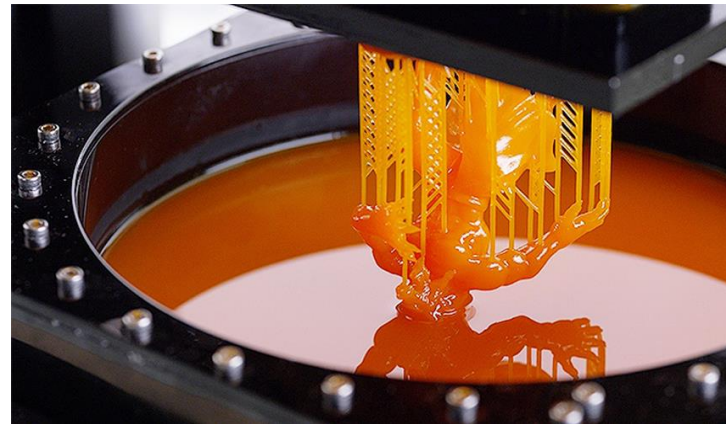
### 2.1 Auspacken und Entfernen der losen Rohstoffe

In der Regel müssen die fertigen Bauteile nach dem Bauprozess zuerst von überflüssigen losen Werkstoffen befreit werden.

Das können Pulver (PBF) oder Flüssigkeiten (SLA-V.) ein.



Bauteil wird aus dem Pulver  
entnommen

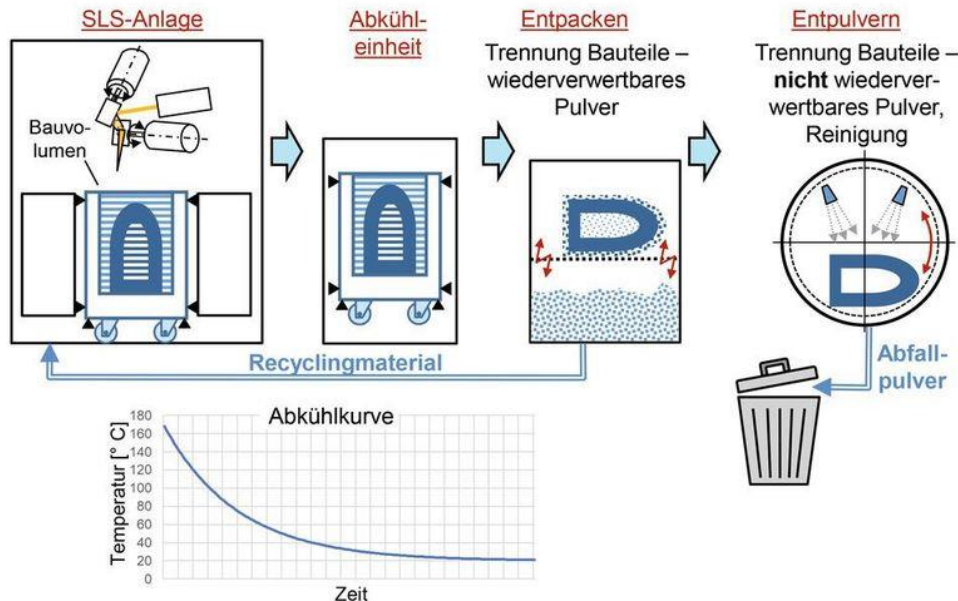


Bauteil wird aus der Flüssigkeit  
entnommen

## 2. Bauteil entnehmen

### 2.1.1 Entpacken und Entpulvern beim PBF-Verfahren (Übersicht)

Im pulverbasierten 3D-Kunststoffdruck (PBF-LB, Powder bed fusion by laser beam) muss nach dem Baujob eine Menge loses und am Bauteil haftendes Pulver entfernt werden. Meistens mit der Hand, aber es gib auch ein automatisiertes Entpulvern und Entpacken.



Nach dem Abkühlen werden die Bauteile vom losen Pulver befreit. Während das lose Pulver im Pulverkuchen wiederverwendet werden kann, muss das an den Bauteilen anhaftende Pulver aufgrund der stärkeren thermischen Beeinflussung entsorgt werden. Bei der Endpackung der Bauteile aus dem Pulverbett erfolgt deshalb zunächst eine grobe Trennung.

<https://www.maschinenmarkt.vogel.de/entpacken-und-entpulvern-bei-sls-a-890152/>



## 2. Bauteil entnehmen

### 2.1.2 Entpacken und Endpulvern bei PBF-Verfahren (händisch)

Bei allen Varianten sind geschlossene Räume erforderlich, da es beim Entpacken immer stark staubt und die Partikel teilweise lungengängig oder sogar giftig sind. Eine geeignete Schutzausrüstung ist zwingend erforderlich und vorgeschrieben.

Das Bauteil wird nach dem Abkühlen aus dem Pulverbett händisch entnommen oder das Pulver wird abgeschüttelt. Das lose Pulver welches nicht anhaftet und auch nicht wärmebelastet wurde, kann wiederverwendet werden. Das anhaftende Pulver wird mit den Fingern oder einem nicht zu harten Spachtel (Holz oder Kunststoff) entfernt. Mit einem harten Pinsel wird der letzte Rest Pulver entfernt.

Da Werkstücke und Pulver mit anderen Materialien bei der händischen Entpulverung in direkten Kontakt kommen, entsteht immer das Risiko der Kontamination.



<https://www.maschinenmarkt.vogel.de/entpacken-und-entpulvern-bei-sls-a-890152/>

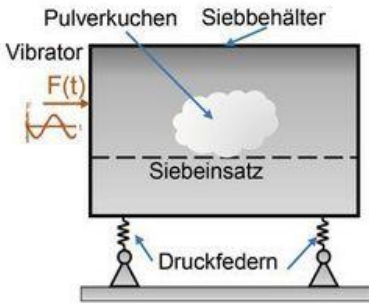
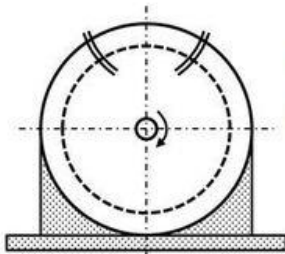




## 2. Bauteil entnehmen

### 2.1.3 Entpacken und Entpulvern bei PBF-Verfahren (maschinell)

Für das automatisierte Entpacken der Bauteile haben Anwender die Wahl zwischen

- Rüttelvorrichtungen,
- Rotationstrommeln,
- Absaugung und
- Druckluft.

	<u>Rüttelvorrichtung</u>	<u>Rotationstrommel</u>	<u>Absaugung</u>	<u>Druckluft</u>
				
Trennelement	Sieb	Trommelsieb	Absaugsieb	separate Absaugung
Trennleistung	hoch	hoch	gering	gering
Aufwand Automatisierung	mittel	mittel	hoch	hoch
Bauteilschonung	gut	schlecht	gut	gut

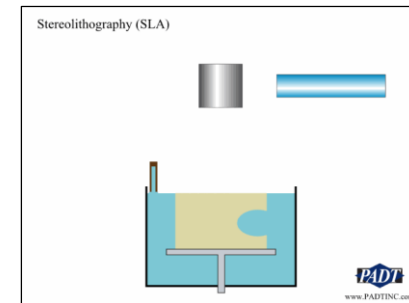
<https://www.maschinenmarkt.vogel.de/entpacken-und-entpulvern-bei-sls-a-890152/>

## 2. Bauteil entnehmen

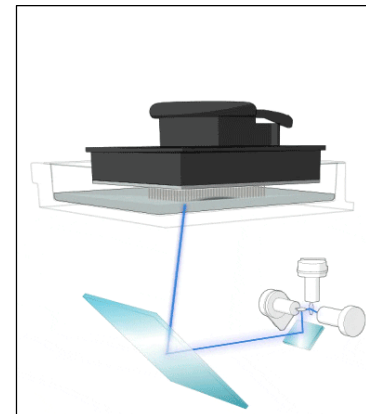
### 2.1.4 Entnehmen bei SLA-Verfahren (Stereolithografie)

Sobald der Druckvorgang abgeschlossen ist, kann das Bauteil aus der Flüssigkeit entnommen werden. Dabei gibt es zwei Methoden, die abhängig vom Verfahren der Anlage sind.

Traditionell wird die Bauplattform während des Fertigungsprozesses abgesenkt und der Laser härtet von oben das flüssige Polymer aus. Anschließend muss die Bauplattform wieder hochgefahren werden, die übrige Flüssigkeit (Monomer-Lösung) muss aufgefangen werden. Erst dann kann das fertige Bauteil entnommen werden.



Standard ist heute aber das „Überkopf“-Bauverfahren. Der Laserstrahl belichtet das Bauteil von unten und die Bauplattform zieht das ausgehärtete Polymer nach oben heraus. Dieses Verfahren hat den Vorteil, dass der Flüssigkeitsbedarf nur so groß ist wie es der Prozess gerade an der Fertigungsstelle erfordert. Das fertige Bauteil (ohne Flüssigkeit) hängt kopfüber und kann abgenommen werden.



<https://www.maschinenmarkt.vogel.de/entpacken-und-entpulvern-bei-sls-a-890152/>

## 2. Bauteil entnehmen

### 2.1.5 Reinigung und Nachbehandlung der SLA-Bauteile

Das gedruckte Objekt muss anschließend unter Verwendung eines Lösungsmittels (üblicherweise Isopropylalkohol, auch Isopropanol genannt) gereinigt werden, um den Überschuss an nichtverfestigtem Harz zu entfernen.

Waschstation  
(Formlabs)



UV-Aushärteschrank (Amazon)

**Nachhärten:**  
Im Anschluss ist in der Regel eine UV-Nachbehandlung erforderlich, um den Photopolymerisations-Prozess abzuschließen und die Festigkeit des Materials zu maximieren.

<https://www.maschinenmarkt.vogel.de/entpacken-und-entpulvern-bei-sls-a-890152/>  
<https://3d-printmaster.de/Formlabs-Form-Wash-Waschstation>

## 2. Bauteil entnehmen

### 2.1.6 Reinigen innerer Kanäle und Hohlräume

Während eines Drucks kann flüssiges Harz in kleinen Hohlräumen eingeschlossen bleiben. Dies ist besonders beim Drucken innenliegender Kanäle, wie sie in milli-fluidischen und mikro-fluidischen Geometrien vorkommen, häufig der Fall.

Durch Spülen dieser Kanäle mit frischem Isopropanol (IPA, 90 % oder höher) kann eingeschlossenes Harz ausgelöst werden. Anschließendes Ausspritzen mit Luft entfernt verbliebene Rückstände.

Arbeitsschritte:

- Konstruktionsplattform auf einer Haltevorrichtung platzieren
- Kanäle mit einer Spritze und frischem IPA spülen
- Wenn vorhanden, Bauteil in einer Waschstation (z.B. Form Wasch) hängen und ca. 10 min waschen
- Erneutes Füllen der Kanäle mit IPA
- Entfernen der Konstruktionsplattform
- Waschen des Bauteils in einem Waschkorb
- Reinigen mit Druckluft



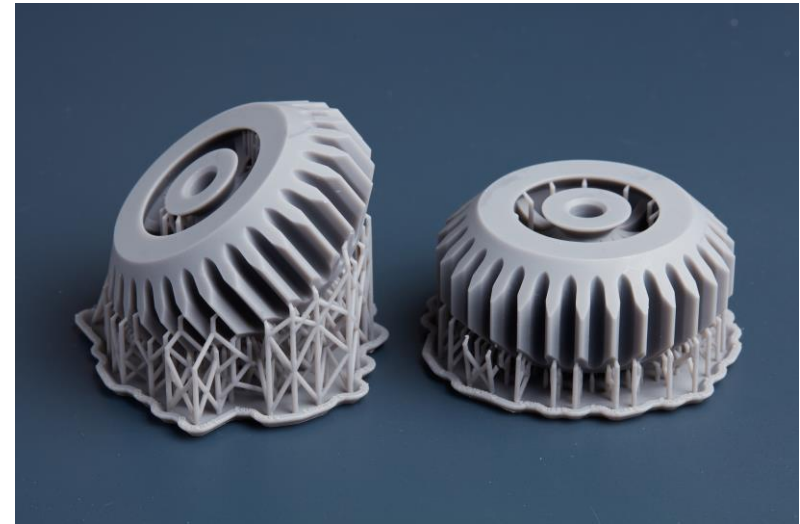
Beispiel: Reinigung innenliegender Kanäle, wie z.B. der Zahnzwischenräume eines Modells

## 2. Bauteil entnehmen

### 2.2 Mechanisches Entfernen von Stützkonstruktionen

Feste Hilfskonstruktionen (Stützen oder Supports) dienen zur Stabilität während des Bauprozesses und müssen anschließend mechanisch entfernt werden. Je nach Bauteilgröße und Bauteilwerkstoff eignen sich Zangen, Seitenschneider, Messer, Trennschleifer oder in der vollautomatisierten Produktion auch Laser.

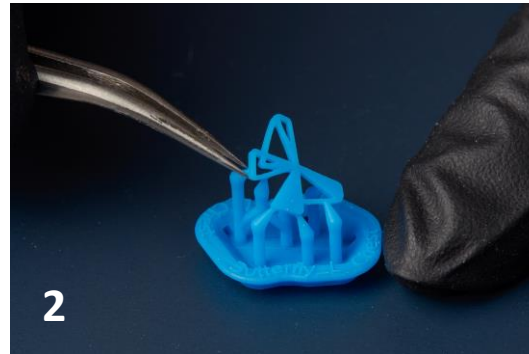
Funktionsflächen haben besondere Aufgaben und werden in der Regel zusätzlich mechanisch nachbearbeitet.



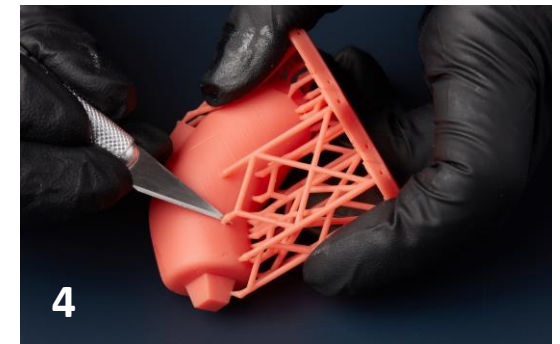
## 2. Bauteil entnehmen

### 2.2.1 Mechanisches Entfernen von Stützkonstruktionen (Beispiele)

Stützstrukturen sind immer so abzuschneiden, dass sie keine Risse oder Kerben hinterlassen!



- 1 Grobe Vorarbeit durch Abreißen
- 2 Abbrechen mit einer Zange
- 3 Abschneiden mit einem Seitenschneider
- 4 Abschneiden mit einem Bastelmesser
- Letzte Rückstände mit feinem Schmirgel entfernen -



<https://support.formlabs.com/s/article/Advanced-Support-Removal-Techniques?language=de>



## 2. Bauteil entnehmen

### 2.3. Reinigung und Glättung der Oberflächen

Für designrelevante Bauteile oder Bauteile mit Körperkontakt (z.B. Brillen)  
empfiehlt sich eine Glättung der Oberfläche

**Gleitschleifen:** Kanten und Schichtstreifen werden mit Schleifmitteln abgerundet.

**PostPro3D:** Die chemische Glättung verleiht dem Produkt ein hochwertiges Erscheinungsbild und schützt es gegen Schmutz oder Schweiß.

**Infiltration:** Ist das Eindringen von festen oder flüssigen Substanzen in die Oberfläche. Wenn das Produkt nicht chemisch geglättet wird, ist die Infiltration bei Produkten, die am Körper getragen werden, zwingend notwendig. Die Produkte werden gegen Schmutz, Schweiß und Umwelteinflüsse geschützt und sind auch langfristig geruchsneutral.

**E-coloring:** Beim selektiven Lasersintern (PBF) kommen die Produkte weiß aus der Maschine; da die Brillenbranche allerdings von ihrer bunten Vielfalt lebt, werden Brillen häufig in alle möglichen Farben eingefärbt.





## 2. Bauteil entnehmen

### 2.5 Zusammenfassung von "2. Bauteil entnehmen"

Nach dem Bauprozess muss das fertige Produkt aus der Anlage entnommen und gereinigt werden (PBF und SLA Verfahren). Nur Bauteile aus dem FDM-Verfahren sind frei von Werkstoff-Anhaftungen. Die Oberflächen sind in der Regel bei allen Verfahren immer zu rau und eine erste Nachbearbeitung ist normalerweise der Fall.

Die notwendigen Schritte sind:

- Pulver restlos entfernen (PBF)
- Anhaftende Flüssigkeiten restlos entfernen (SLA)
- Stützkonstruktionen entfernen (alle Verfahren)
- Kanäle, Hohlräume gesondert auswaschen (alle Verfahren)
- Oberfläche glätten und versiegeln (alle Verfahren)

*Thank  
you*





## AM Nachbearbeitung der Polymere *Oberflächenglättungsmethoden*

Project No. 601217-EPP-1-2018-1-BE-EPPKA2-SSA-B



### 3. Methoden zur Glättung der Oberfläche

Bauteile aus dem 3D-Drucker sind sofort voll funktionsfähig. Die natürliche Oberfläche hat ein sandähnliches, körniges Aussehen und fühlt sich leicht rau an. Diese Beschaffenheit ist nicht für jeden Anwendungsfall ausreichend. Mit unterschiedlichen Nachbearbeitungsverfahren lässt sich die Oberfläche glätten und veredeln.

➤ **Mechanische Verfahren:**

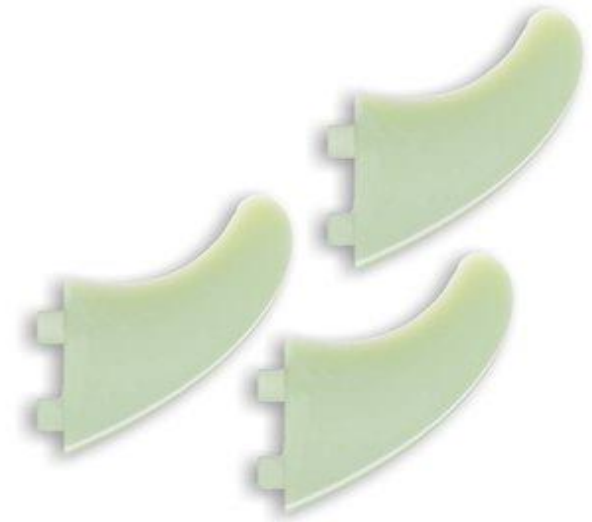
Strahlen, Bürsten, Polieren, Plan- und Gleitschleifen,  
Abtragen und Polieren mit dem Kurzpulslaser  
für ebene Flächen (Optiken aus Kunststoff)

➤ **Physikalische Verfahren:**

Infiltration

➤ **Chemische Verfahren:**

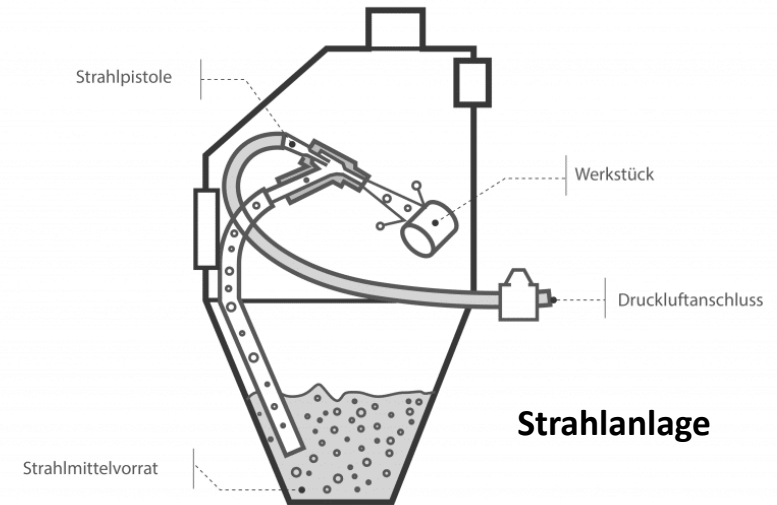
Lösungsmittel



## 3.1 Mechanische Verfahren

### 3.1.1 Strahlen

Glasperlenstrahlen, Sandstrahlen, Kugelstrahlen sowie Strahlen mit Naturstoffen (wie Nussschalengranulat) verleihen den Bauteilen strukturierte und satinierte Oberflächen. Dadurch können Anforderungen an Optik und Funktion der Oberfläche erfüllt werden.

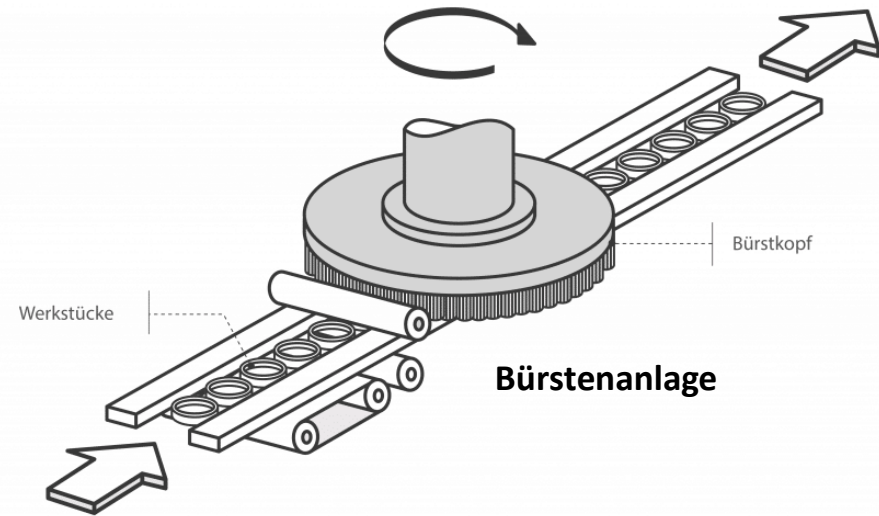


Druckluft strömt durch das Handstück und reißt durch einen zweiten Anschluss das Strahlgut aus dem Vorratsbehälter mit (Injektorprinzip). Die Größe und die Art des Strahlgutes so wie der Druck ist auf den Werkstoff des Bauteils abzustimmen.

## 3.1 Mechanische Verfahren

### 3.1.2 Bürsten

Die wohl verbreitetste Anwendung ist das Entgraten. Festsitzen Grate werden durch das Bürsten effizient entfernt (entgratet). Zudem wird die Beschaffenheit von Kanten mit dem Verfahren verbessert.



Die Bauteile werden in die Anlage geleitet und mit speziellen Bürsten und Polierpasten bearbeitet. Dabei wird die Rauheit auf den Werkstückoberflächen reduziert und aufpoliert.

*Bei metallischen Bauteilen kann unter Verwendung bestimmter Bürsten die Oberflächenstruktur verändert werden, die Rauheit reduziert und die typische Bürstenoptik erzielt werden.*

<https://doerfler-schmidt.de/gleitschleifen-trowalisieren/schleppschleifen/>

## 3.1 Mechanische Verfahren

### 3.1.3 Mechanisches Polieren

Das händische Polieren ist für größere Einzelstücke sinnvoll. Zu den Arbeitsschritten gehören Grob-, Mittel- und Fein-Schleifen. Der anschließende Polierschliff wird mit einer Paste ausgeführt.

Um Schleifspuren zu vermeiden, ist es erforderlich, die Abstufung der Körnungen sukzessiv immer feiner zu wählen, Beispielsweise: 1. P 180, 2. P 240, 3. P 320, 4. P 400, 5. P 800, 6. P 1200, 7. P 1500, 8. P 2000, 9. P 4000.

- Die Drehzahl muss an die Paarung Werkstoff / Körnung angepasst sein.
- Es darf nicht zu lange mit demselben Schleifpapier gearbeitet werden.
- Es darf nicht zu viel Druck ausgeübt werden.
- Zwischendurch sollte der Schleifstaub mit einem sauberen Tuch abgewischt werden.
- Atemschutz ist bei dieser Nachbearbeitung zu tragen.



## 3.1 Mechanische Verfahren

### 3.1.4 Händisches Polieren von **transparenten** Bauteilen

Beispielsweise Drucke aus Polypropylen (PP 04.013) und das entsprechende Photopolymer (Kunstharz) (Resin Clear 04.016 -19) sind naturgemäß transparent. Sie eignen sich hervorragend zur Darstellung von Details im Inneren des Bauteils. Voraussetzung ist allerdings das Polieren der Oberfläche nach dem Druck.

Mögliche Arbeitsschritte:

- Schleifen des Bauteils auf nassem Schleifpapier (V1)  
(mit 800-Körnung starten, bis 1200-Körnung)
- Schleifen des Bauteils mit Acrylreiniger auf Kork (V2)
- Polieren mit einem Mikrofasertuch (V3)
- Besprühen mit einem Acrylreiniger (V4)
- Kontrolle der Transparenz





## 3.1 Mechanische Verfahren

### 3.1.5 Planschleifverfahren

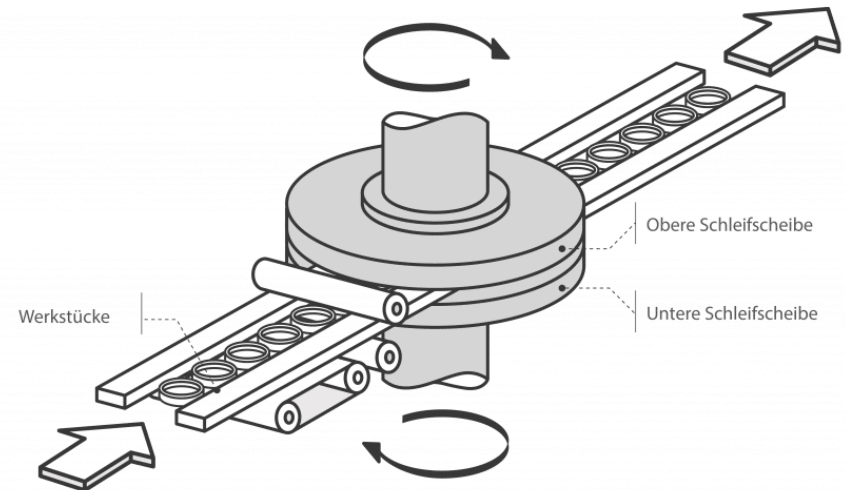
Für ebene Bauteile die zweiseitig bearbeitet werden müssen bietet sich die Verfahrensvariante Doppelplanschleifen an.

Im Durchlaufverfahren werden die Bauteile zwischen zwei Schleifscheiben radial oder linear hindurchgeführt.

Je nach Material der Werkstücke werden unterschiedliche Schleifscheiben verwendet, um beste Oberflächenwerte zu erreichen.

Mit Doppelplanschleifanlagen können Bauteile mit einer Parallelität von 0,01 mm, einer Ebenheit von 0,01 mm und einer Dickengleichheit von 0,01 mm bearbeitet werden.

Die geschliffenen Flächen haben einen Rz-Wert von unter 1 µm.



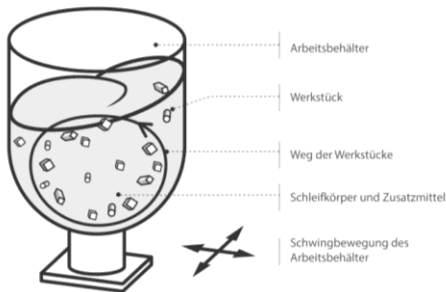
**Doppelplanschleifanlage**

## 3.1 Mechanische Verfahren

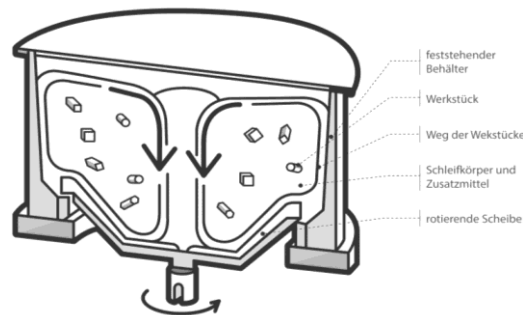
### 3.1.6 Gleitschleifverfahren (Trowalisieren)

#### Vibration-, Fliehkraft-, Trommel- und Schleppgleitschleifen

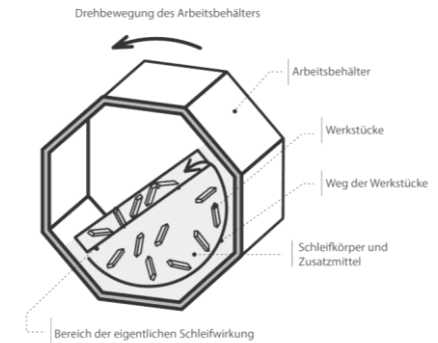
Alle Verfahren bearbeiten die Werkstücke mit Schleifkörnern in einer geschlossenen Anlage, unterschieden durch die Bewegung. Abhängig vom gewünschten Bearbeitungsergebnis werden unterschiedliche Schleif- und Polierkörper eingesetzt. Entgraten und Glätten bis zum Hochglanzpolieren ist möglich.



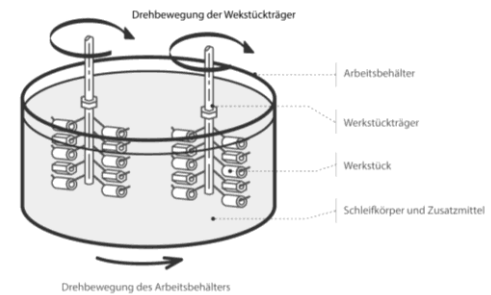
Vibrationsgleitschleifen



Fliehkraftgleitschleifen



Trommelschleifen



Schleppgleitschleifen



## 3.1 Mechanische Verfahren

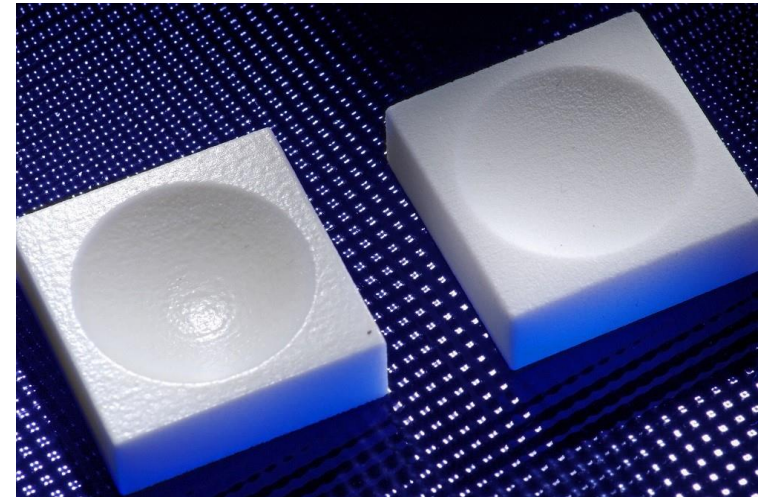
### 3.1.7 Abtragen und Polieren mit Kurzpulslasern

Bei dieser Methode bietet sich eine Kombination von CO<sub>2</sub>- und Festkörper-Lasern an.

Die Formgebung kann durch Materialabtrag mit Ultrakurzpuls-laserstrahlung erfolgen.

Das anschließende Polieren wird mit CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung (Absorption an der Oberfläche) durchgeführt.

Das Prinzip des Laserpolierens basiert auf dem kontrollierten Aufschmelzen der Bauteiloberfläche durch Laserstrahlung und anschließender Glättung der Rauheit durch die Oberflächenspannung.



Laserpoliertes SLS-Bauteil aus PA12.

## 3.2 Physikalische Verfahren

### 3.2.1 Infiltration

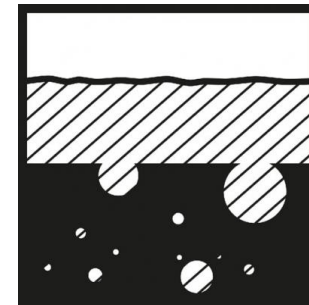
Infiltration bedeutet in diesem Zusammenhang das Eindringen von gasförmigen oder flüssigen Stoffen in einen festen Körper

Epoxid-Harz dringt in das PBF-Bauteil ein und wird anschließend ausgehärtet. Es entsteht eine luft- und flüssigkeitsdichte Imprägnierung. Das Bauteil hat danach eine höhere Stabilität, Steifigkeit und ist resistent gegen Feuchtigkeit. Möglich ist auch das gleichzeitige Einfärben.

Infiltration ist bei Produkten, die am Körper getragen werden zwingend notwendig. Die Produkte werden gegen Schmutz, Schweiß und Umwelteinflüsse geschützt und sind auch langfristig geruchsneutral.

Mögliche Arbeitsschritte:

- Reinigen des Bauteils
- Einpinseln oder Eintauchen (etwa 15 min)
- Trocknen bei Raumtemperatur



## 3.3 Chemische Verfahren (Smoothen)

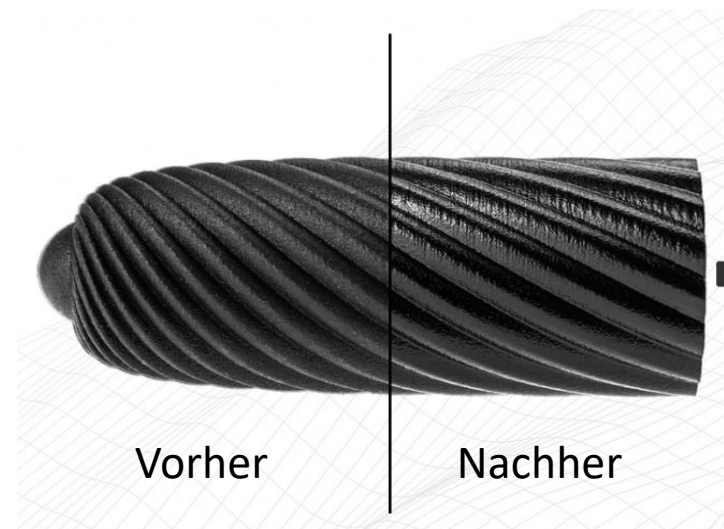
Die Eignung der Teile ist nahezu geometrieunabhängig

Die oberste Schicht der additiv gefertigten Kunststoffteile wird durch den Glättprozess verflüssigt und deren Oberflächenmoleküle somit neu angeordnet. Abhängig von der Dauer und der Intensität des chemischen Glättens erhalten die Bauteile einen unterschiedlichen Glättungs- und Glanzgrad.

Je nach Gefährlichkeit/Toxizität der Lösungsmittel können sie händisch aufgetragen werden (z.B. bei Aceton) oder in einer geschlossenen Anlage (z.B. bei Chloroform) verarbeitet werden.

Vorteile chemischer Verfahren:

- Versiegelte Oberfläche
- Das Bauteil ist abwaschbar
- Flüssigkeitsabweisend
- Oberfläche ist verdichtet
- Resistent gegen Verschmutzung
- Resistent gegen Chemikalien
- Reduzierung der Bakterien
- Verbesserung der Reinigung

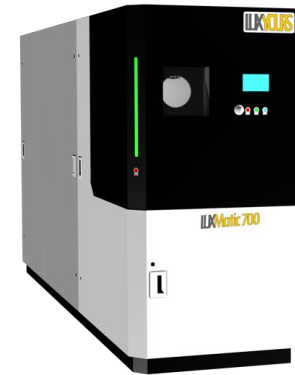


<https://www.apc-tec.de/industrieller-3d-druck-nachbearbeitung-glaetten/>

## 3.3 Chemische Verfahren

### 3.3.1 Mit Lösungsmittel

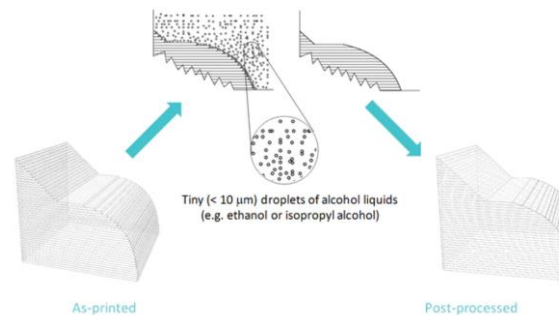
Eine chemische Behandlung sollte immer in einer geschlossenen Kabine (Glättungsanlage) durchgeführt werden, um die Bediener vor den potentiell gesundheitsschädlichen Chemikalien zu schützen.



Glättungsanlage von **luxyours**

Übliche Lösungsmittel sind:

- Kombinationen mit Aceton
- Isopropylalkohol (IPA)
- Natriumhydroxid (NaOH)
- Dichlormethan (DCM)
- Chloroform ( $\text{CHCl}_3$ )



Funktionsprinzip der  
chemischen Behandlung  
(Chemische Glättung)

[https://blog.prusaprinters.org/de/verbessern-sie-ihre-3d-drucke-mit-chemischer-glaettung\\_36268/](https://blog.prusaprinters.org/de/verbessern-sie-ihre-3d-drucke-mit-chemischer-glaettung_36268/)  
<https://3druck.com/industrie/chemische-glaettung-von-kunststoffteilen-luxyours-erhaelt-patent-5396064/>



## 3. Methoden zur Glättung der Oberfläche

### 3.3 Zusammenfassung

Egal wie gut die Vorlage für den 3D-Druck auch ist, in der Regel muss das gedruckte Bauteil geglättet werden. Wie stark nachbearbeitet werden muss, hängt auch von der Voreinstellung ab. Eine höhere Schichthöhe bedeutet mehr Nacharbeit. Eine hohe Auflösung bedeutet weniger zu glätten.

Das zu wählende Verfahren ist abhängig von der gewünschten Oberfläche und den Rahmenbedingungen wie Größe und Kontur.

Es gibt einige **mechanische Verfahren**,  
die überwiegend automatisiert sind

Die **chemischen Verfahren** unterscheiden sich in erster Linie durch das verwendete Lösungsmittel.

Bei der Infiltration dringt Flüssigkeit **physikalisch** in das Bauteil ein und versiegelt es.

Thank  
you



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



## AM Nachbearbeitung der Polymere *Beschichtungsvorgänge*

Project No. 601217-EPP-1-2018-1-BE-EPPKA2-SSA-B





## 4. Beschichtungsvorgänge

Nach DIN 8580 ist Beschichten das Aufbringen einer fest haftenden Schicht aus formlosem Stoff auf ein Werkstück ohne wesentliche Änderung der Geometrie des Werkstücks.

Welchen Zweck verfolgt das Beschichten in Allgemeinen?

- Reduzierung der **Abnutzung** des beschichteten Werkstoffs, z. B.:
  - Verbesserung der Verschleißbeständigkeit
  - Schutz gegen Korrosion
  - Verbesserung der thermischen Beständigkeit.
- Herstellen erforderlicher **Oberflächeneigenschaften**, z. B.:
  - Dekoration
  - Leitfähigkeit
  - Wärmedämmung
  - Elektrische Isolation.
- Änderung der **optischen Eigenschaften**, z. B.:
  - Absorbieren bzw. Reflektieren von Licht



Zahnrad aus FDM, PVD Verschleißschuttschicht  
Bild: Fraunhofer IST

[https://www.wotech-technical-media.de/womag/ausgabe/2019/03/19\\_dietz\\_am\\_03j2019/19\\_dietz\\_am\\_03j2019.php](https://www.wotech-technical-media.de/womag/ausgabe/2019/03/19_dietz_am_03j2019/19_dietz_am_03j2019.php)

## 4.1.1 Beschichtungsverfahren allgemein

Die Beschichtungsverfahren werden nach DIN in Hauptgruppe 5 untergliedert; dabei wird nach dem **Zustand des Beschichtungsstoffes** vor dem Beschichten unterschieden. Die zu beschichtenden Werkstücke werden als **Substrat** bezeichnet.

*Für das Beschichten von Bauteilen aus Polymer-Werkstoffen kann das Schweißen und das Löten nicht angewendet werden.*

Eine weitere Unterteilung wird in organische und anorganische Beschichtungsstoffe gemacht.

Beschichtungsstoffe	Beispiele
Organische Stoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Farben, Lacke</li> <li>• Kunststoffe</li> <li>• Öle, Fette, Wachse, Parafine</li> <li>• Gummi, Teer,</li> </ul>
Anorganische Stoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Metalle</li> <li>• Metallverbindungen</li> <li>• Nichtmetalle, z. B. Silikate, Keramik, Emaille</li> </ul>



**Hinweis:**  
Nicht alle Beschichtungsstoffe eignen sich zum Beschichten von Bauteilen aus Polymerwerkstoffen



## 4.1.2 Beschichtungsverfahren von Polymerwerkstoffen

### Verfahren aus dem **festen** Zustand:

- Beim **Wirbelsintern** wird Kunststoffpulver durch Druckluft aufgewirbelt und in der Schwebe gehalten. Das über die Schmelztemperatur des Pulvers aufgewärmte Werkstück wird in das Wirbelbett eingetaucht. Das Kunststoffpulver schmilzt und bildet eine geschlossene Oberfläche.
- Beim **Thermischen Spritzen** wird der Beschichtungsstoff geschmolzen und mittels unterschiedlicher Verfahren auf die vorbereitete Oberfläche des Substrats aufgebracht.
- Beim **Elektrostatisches Beschichten** wird der Beschichtungsstoff (z. B. Duroplastisches Pulver) elektrostatisch aufgeladen und mittels einer Sprühpistole fluidisiert. Anschließend durchläuft das Werkstück einen Trockenofen.

Bild:  
Beschichten mit  
aufgeladenen Pulver



## 4.1.2 Beschichtungsverfahren von Polymerwerkstoffen

Verfahren aus dem **flüssigen** Zustand sind:

Anstreichen, Lackieren, Bedrucken, Rollen, Tauchen, Spritzen, Gießen, Walzen

*Beim Schmelztauchen (z.B. Verzinken) und Emaillieren sind die Schmelzbadtemperaturen mindesten 400 °C und deshalb nicht für Bauteile aus Polymerwerkstoffen geeignet.*

Verfahren aus dem **gas- oder dampfförmigen** Zustand sind:

### **PVD- und CVD-Verfahren**

Bei diesen Verfahren wird der Beschichtungsstoff in den gas- oder dampfförmigen Zustand gebracht und in dünnen Schichten auf das Substrat aufgetragen. Die Dicke der Schichten reicht von einigen Nanometern bis in den Mikrometerbereich (Dünnschichttechnik).

Als **Beschichtungsstoffe** sind Nitride, Carbide, Oxide, Metalle und Legierungen geeignet.

## 4.1.2 Beschichtungsverfahren von Polymerwerkstoffen

Verfahren aus dem **ionisierten** Zustand sind:

### Elektrostatisches Beschichten

Durch ein elektrisches Feld wird der Beschichtungsstoff ionisiert, beschleunigt und auf dem Substrat abgelagert.

### Elektrolytisches Beschichten

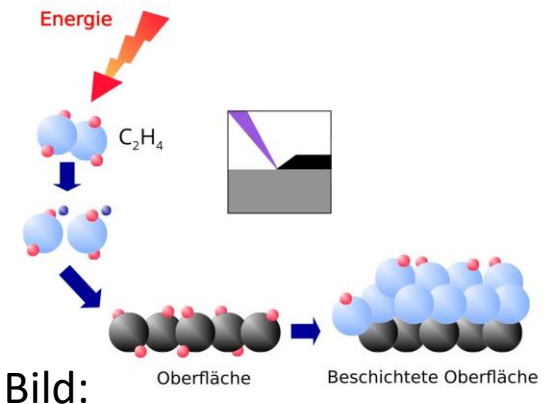
*(Nicht geeignet für Polymere)*

*Die Beschichtung wird in wässriger Metallsalzlösung und einer äußeren Stromquelle erzeugt.*

*Das Werkstück ist als Kathode gepolt.*

### Chemisches Beschichten

Die Schichten bilden sich in einer Säure- oder Metallsalzlösung durch Freisetzen von Ionen.

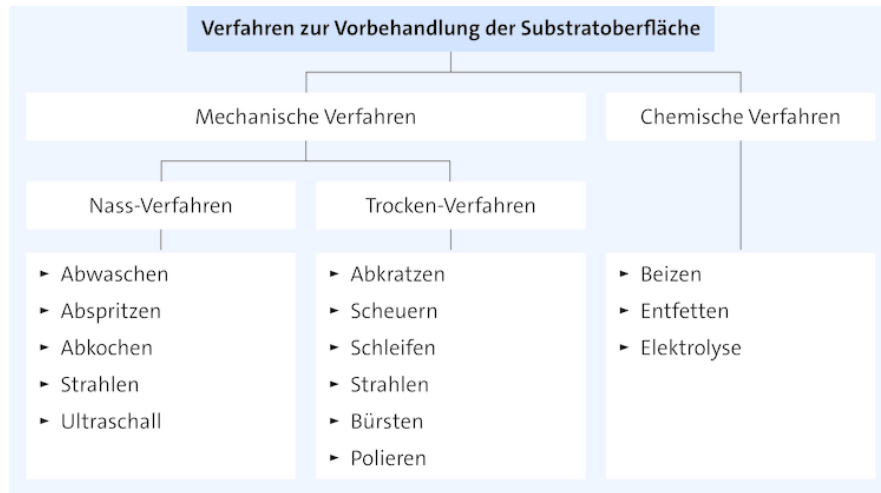


Die Radikale und Ionen des Plasmas reagieren mit den Molekülen der Oberfläche. Es entsteht so eine chemische Bindung zwischen der Oberfläche und der Schicht.

Plasma wird für die Verfahren [PECVD](#), [PEALD](#) und [Sputtern](#) verwendet.

## 4.2.1 Vorbehandlung der Oberfläche

Das Substrat (das zu beschichtende Werkstück) erfährt eine Vorbehandlung der Oberflächen, um eine optimale Haftung des Beschichtungstoffes zu erreichen.



Allgemein wird in mechanische (trocken oder nass) und chemische Verfahren unterschieden

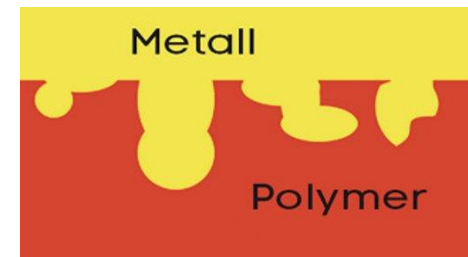


Bild: Schema des Haftungsmechanismus einer Metallschicht auf Kunststoff (Druckknopfeffekt) (© Fraunhofer IST)

Aufgrund der fehlenden elektrischen Leitfähigkeit ist bei der Metallisierung von Kunststoffen eine direkte Metallisierung nicht möglich. Generell funktioniert die Schichthaftung über eine mechanische Verlinkung. Dazu ist eine raue Oberfläche notwendig. In der Regel wird diese raue Oberfläche durch ein chemisches Ätzverfahren erreicht.

## 4.2.2 Keine Vorbehandlung der Oberfläche

Für eine exzellente Haftfestigkeit der Schicht auf einem Polymer wird eine raue Oberfläche benötigt. Insbesondere die pulverbettbasierten **PBF-Verfahren** erzeugen diese raue Oberfläche in situ, sodass ein chemisches Ätzen in diesem Fall nicht mehr notwendig ist.

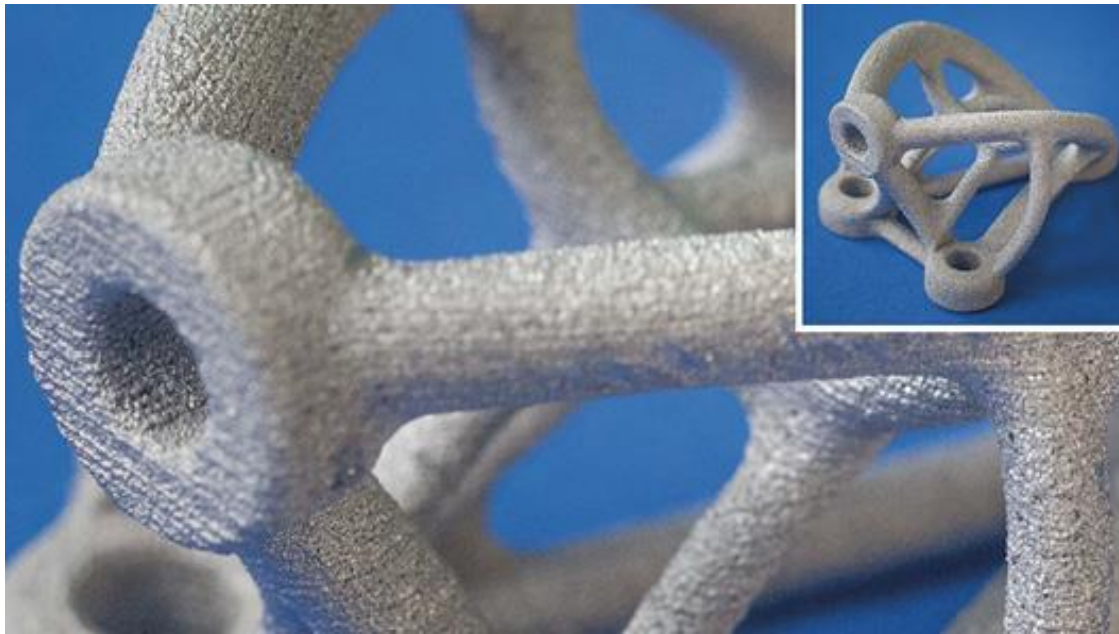


Bild:  
Ein Bauteil aus  
hochtemperaturbeständigem  
Polyetheretherketon (PEEK) mit  
dem PBF-Verfahren hergestellt.

In der Gesamtansicht und als  
Ausschnittvergrößerung  
(© Fraunhofer IST)

[https://www.wotech-technical-media.de/womag/ausgabe/2019/03/19\\_dietz\\_am\\_03j2019/19\\_dietz\\_am\\_03j2019.php](https://www.wotech-technical-media.de/womag/ausgabe/2019/03/19_dietz_am_03j2019/19_dietz_am_03j2019.php)

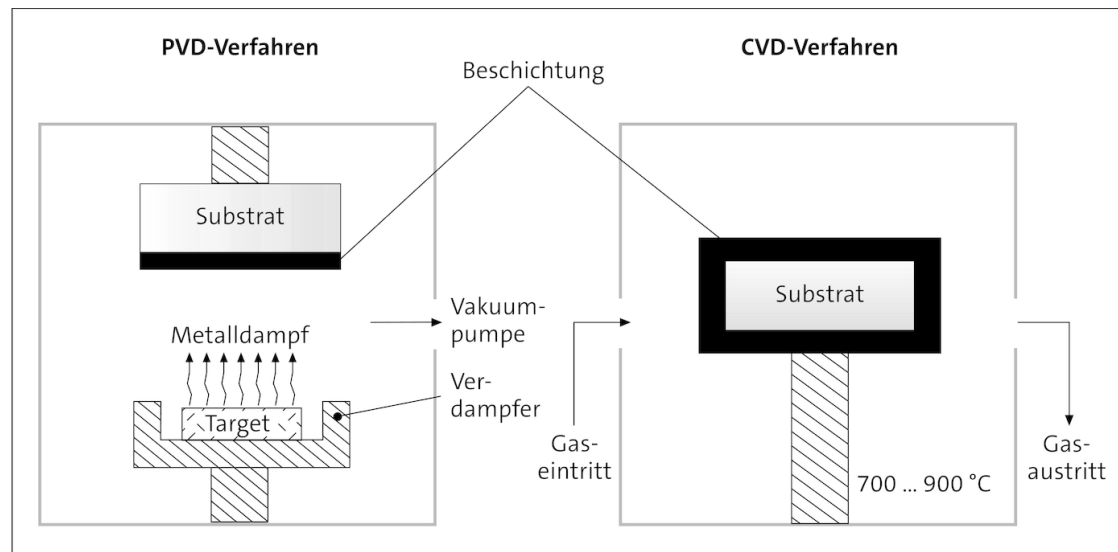
## 4.3.1 Übersicht PVD und CVD Beschichtungen

### Physical Vapour Deposition

Die Beschichtung erfolgt aus dem dampfförmigen Zustand. Der feste Beschichtungsstoff (Target) wird in einem Vakuum verdampft. Die Dämpfe scheiden sich auf dem relativ kalten Substrat als Schicht ab.

### Chemical Vapour Deposition

Der Beschichtungsstoff wird chemisch gebunden (z. B. Chloride, Fluoride) und in gasförmigem Zustand in den Reaktor geleitet. Bei 700 ... 900 °C bildet sich chemisch der Schichtwerkstoff, der sich auf dem Substrat abscheidet.



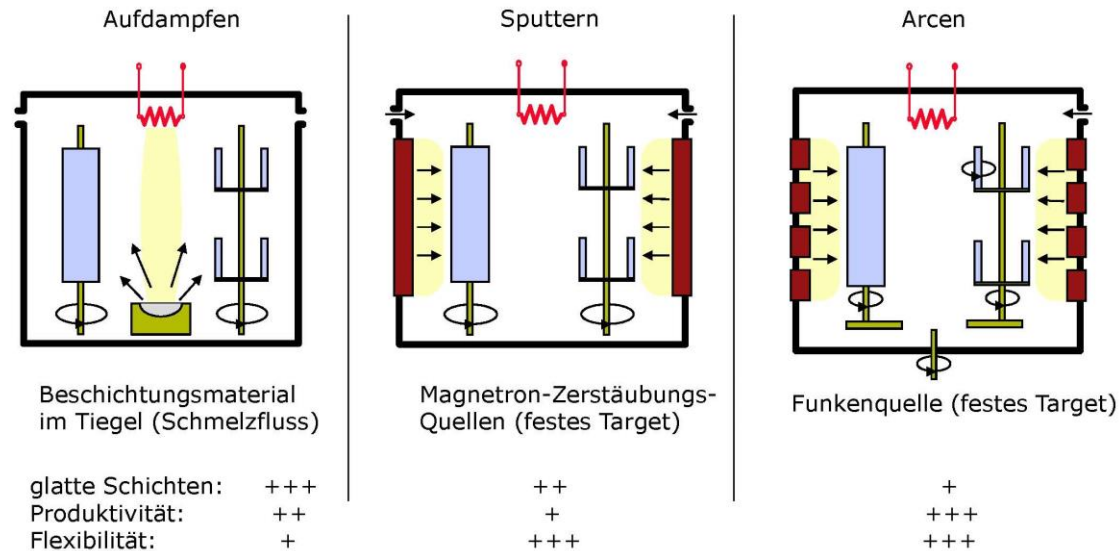
## 4.3.2 PVD - Beschichtung

**Physical Vapour Deposition** Beschichtungen unterscheiden sich in der Art der Verdampfung.

Beim **Aufdampfen** verdampft das flüssige Material in einem Tiegel

Beim **Sputtern**, auch Kathodenzerstäubung genannt, werden Atome aus einem festen Körper (Target) durch Beschuss mit energiereichen Ionen herausgelöst.

**ARCen** ist Sputtern mit Zugabe eines Prozessgases (z.B. Argon). Reaktivgas erzeugt metallkeramische Verbindungen.



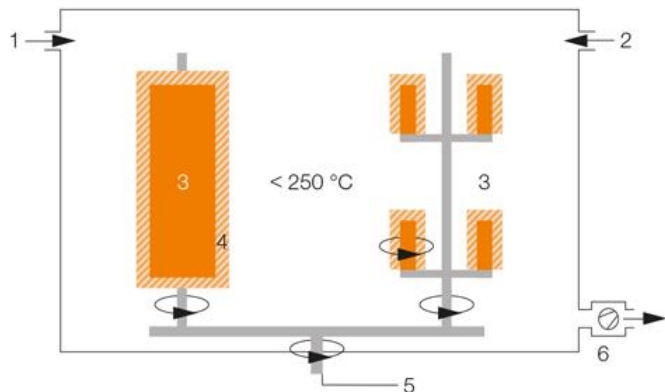
<http://docplayer.org/27567261-Untersuchung-der-haftung-von-pvd-schichten-an-kunststoffoberflaechen.html>



### 4.3.3 CVD (PACVD) - Beschichtung

Es gibt mehrere Varianten der CVD-Beschichtung, die sich in Arbeitsdruck und weiteren Parametern unterscheiden. Immer wird aber **aus zwei gasförmigen Komponenten ein Hartstoff auf das Substrat chemisch abgeschieden**. Zur CVD-Beschichtung kommen die folgenden zwei Verfahren am häufigsten zur Anwendung.

- **Thermische CVD-Beschichtung** mit Temperaturen um die 1000 °C.  
*In fast allen Fällen wird durch Aufbringung des Hartstoffs die Verschleißfestigkeit gesteigert. Die thermische CVD-Beschichtung ist für Bauteile aus Polymerwerkstoffen nicht geeignet.*
- **PACVD-Beschichtung, Plasmabeschichtung** mit Temperaturen um die 500 °C



1. Argon
2. Reaktives Gas
3. Bauteile/Werkzeuge
4. Planare Magnetron-Zerstäubungsquelle (Beschichtungsmaterial)
5. Hochfrequenzanschluss
6. Vakuumpumpe



Bild: Porsche  
"Getränkehalter"



## 4.4 Zusammenfassung

Immer mehr industriell genutzte Bauteile werden additiv gefertigt und aus Polymerwerkstoffen hergestellt.

Zu den **Vorteilen** zählen insbesondere die geringen Massen und die geringen Materialkosten.

**Nachteilige** Eigenschaften (Elekt. Leitfähigkeit, Verschleiß- und Erosionsfestigkeit) können durch eine Oberflächenbeschichtung verändert werden.

Erreicht wird dies durch das Aufbringen hafter Beschichtungen, die das Polymervolumen nicht beeinträchtigen.

Beschichtungen, die der reinen Optik und Haptik dienen, sind gesondert zu betrachten.

Thank  
you



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union

# SAM

SECTOR SKILLS STRATEGY  
IN ADDITIVE MANUFACTURING

AM Nachbearbeitung der Polymere

*Praxisbeispiele*

Project No. 601217-EPP-1-2018-1-BE-EPPKA2-SSA-B



## **PBF (SLS) – Selektives Laser Sintering (Pulverbett)**

Druckverfahren, Entnehmen und gute Beispiele: <https://www.youtube.com/watch?v=fGufU1faGcl>

### **Entnehmen**

Mit Verfahren, auch gut: <https://www.youtube.com/watch?v=W8MqQl5U7SU> (Anfang wegschneiden)

### **Glätten allg. für SLS, SLA, FDM**

<https://www.youtube.com/watch?v=Bkkx1uvQV3Y>

### **Beschichten allg. für SLS, SLA und FDM**

**Wieso, weshalb, wie:** <https://www.oerlikon.com/balzers/de/de/portfolio/balzers-oberflaechenloesungen/pvd-und-pacvd-basierte-beschichtungen/chrom-look-mit-epd/>

Unterscheidung CVD u. PVD: <https://www.youtube.com/watch?v=fmgnvKR45ro>

Prozess Animation PVD: <https://www.youtube.com/watch?v=a8y1nlptyKY>

Allgemein: Handyoberfläche Beschichten: <https://www.youtube.com/watch?v=GQyjRUROQXc>

Kunststoffe Galvanisieren: <https://www.youtube.com/watch?v=dEnwh9QTar8>

Wasser-Transfer Verfahren: <https://www.youtube.com/watch?v=xL8ulqPB9tk>

Sprühbeschichtung: <https://www.youtube.com/watch?v=3MwSOF1mhHg>

## **SLA – Stereolithographie**

Drucken, Entnehmen: <https://formlabs.com/de/blog/leitfaden-stereolithografie-sla-3d-druck/>

Drucken, Entnehmen: <https://www.heise.de/make/artikel/3D-Druck-per-Stereolithographie-2923517.html>

## **Entnehmen**

CAD-Drucken-Abnehmen-Waschen-Härten- Beispiele enthalten in:

<http://medfab.de/3d-druck-verfahren/stereolithographie-sl/>

## **Glätten**

<https://youtu.be/NiG1jDEG0kA>

<https://www.youtube.com/watch?v=McbovMQvGjw> (englisch)

## **Beschichten**

Entnehmen, Glätten, Sprühen, Part 1: <https://youtu.be/-MHFd4jNrVA> (englisch aber gut)

Nur Glätten, Sprühen Part 2: <https://youtu.be/zFAhhpXp4tg> (englisch aber gut)

## **FDM – Fusend Deposition Modeling (Kunststoffdraht)**

1. Animation, Werkstoffe Beispiele: <https://3ddrucker.de/3d-drucktechnologien/fdm-technologie/>
2. Prozess gut zu sehen: <https://www.youtube.com/watch?v=J4OQQ9bA6g0> (Vorne wegschneiden)

## **Entnehmen**

Stützen abschneiden <https://www.youtube.com/watch?v=bLQ1OKH5jJU>

Stützen auflösen: <https://www.youtube.com/watch?v=uzUFMNJrdro>

Stützen auflösen: <https://www.youtube.com/watch?v=0ENgGkPP94w> (Vorne wegschneiden)

## **Glätten Schmirgel**

Mit Azeton bedampfen: <https://www.youtube.com/watch?v=6xFUNFG-UKE> (englisch)

Mit Harz bestreichen, mit Azeton bedampfen: <https://www.youtube.com/watch?v=ihou5CHGRM8>

Gleitschleifen: <https://www.youtube.com/watch?v=Yc9ZozK7lQw>

## **Beschichten**

Grundieren, Schleifen, Lackieren: <https://www.youtube.com/watch?v=0vgynnYzo08>

<https://www.youtube.com/watch?v=0vgynnYzo08>