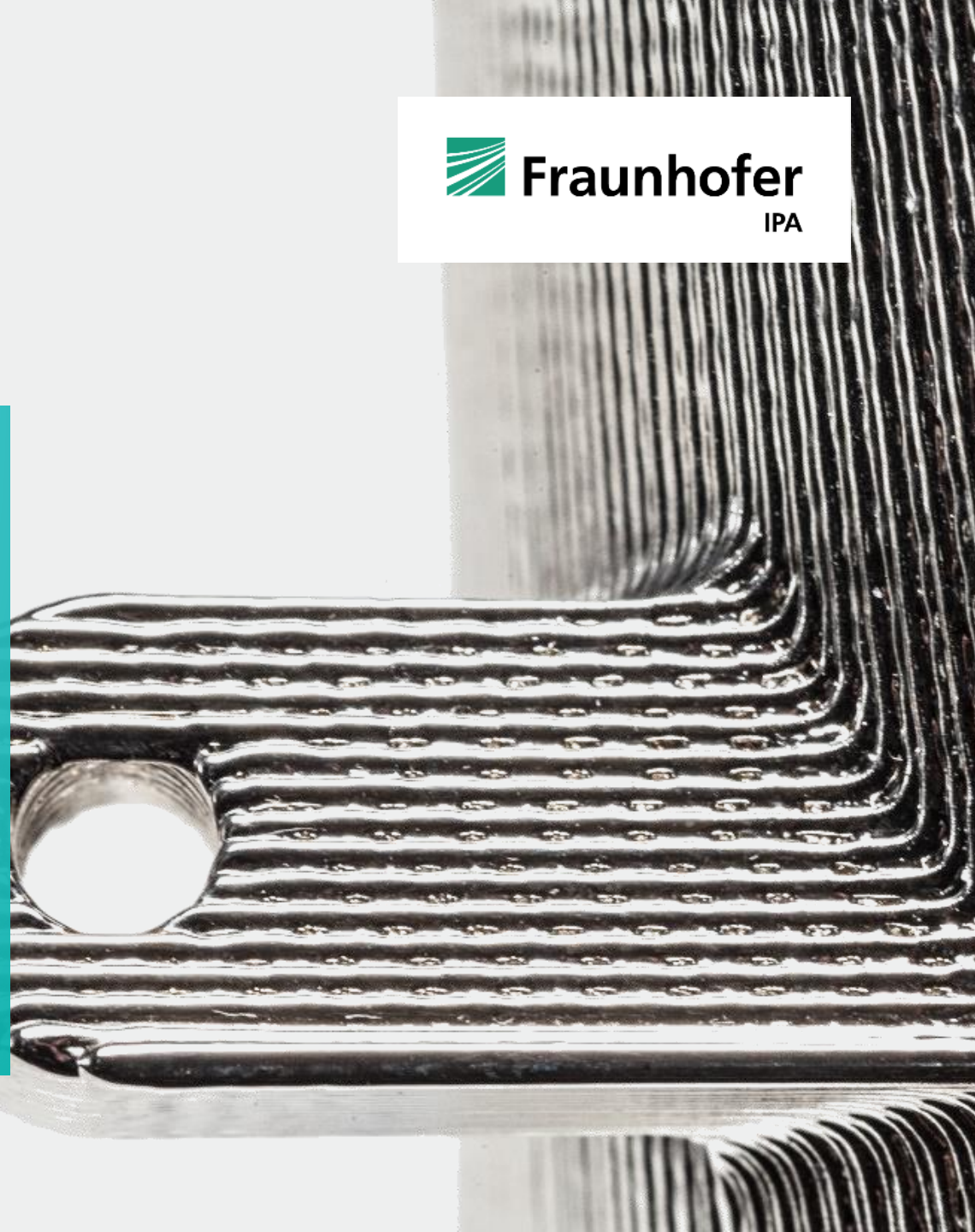


DeburringEXPO Fachforum

**Datum: 10.10.2023**

---

# Effekte von Post-Processing Methoden auf die Oberflächeneigenschaften additiv gefertigter Kunststoffbauteile



# Fraunhofer-Gesellschaft

Forschen, erfinden und unternehmen



Über  
**30 000**  
Mitarbeitende

2021 stieg die Einstellungsquote bei Wissenschaftlerinnen auf 29 Prozent (insgesamt rund 23 Prozent Frauenanteil bei wissenschaftlichem Personal).

Über  
**75**  
Institute

**2**  
Patentanmeldungen  
pro Arbeitstag

**90 %**  
unserer Institutsleitungen  
haben einen Lehrstuhl

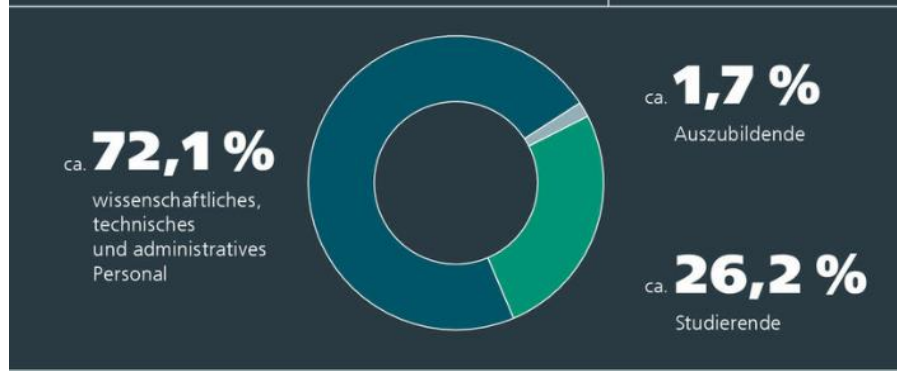
Sie verbinden Hochschulforschung mit angewandter  
Forschung und Entwicklung bei Fraunhofer.

Ca.  
**30**  
Spin-offs pro Jahr

... über 500 seit dem Jahr 2000.  
Ca. 80 Prozent sind noch nach zehn Jahren am Markt

Über  
**7600**  
aktive Patentfamilien

Fraunhofer ist EU-weit führend beim Setzen von Standards.



Fraunhofer ist attraktiver Arbeitgeber und Karrieresprungbrett zugleich.

**2,5** Mrd.  
Euro Ertrag pro Jahr  
aus Vertragsforschung

Die Nachfrage aus Wirtschaft und Gesellschaft leitet das Wachstum.

Quelle: Fraunhofer-Gesellschaft



# Fraunhofer IPA

Innovationstreiber mit wissenschaftlicher Reputation seit 1959

## Auf einen Blick

- > 1 000 Projekte mit Unternehmen pro Jahr
- ~ 1 200 Mitarbeitende an 9 Standorten  
(Hauptsitz: Stuttgart)
- 23 erteilte Patente (10 in Deutschland, 13 international)
- 855 Veröffentlichungen
- Kennzahlen Gesamtjahr 2022 in Mio. Euro <sup>1)</sup>
  - Haushalt gesamt: 90
  - Betriebshaushalt: 82 <sup>2)</sup>
  - Investitionshaushalt: 8
  - Wirtschaftserträge: 24

1) Alle Werte inkl. Fraunhofer Austria Research GmbH, Wien, Geschäftsbereich Produktions- und Logistikmanagement

2) Angepasster Betriebshaushalt: erhöht um kostenentlastende interne Leistungsverrechnungen mit IPA-Wert-



# Technische Ausstattung und Labore

Am Puls der Zeit

## Vernetzte Produktion

- Applikationszentrum Industrie 4.0
- Future Work Lab
- Fabrikplanungs- und Produktionslabor

## Ressourceneffiziente Produktion

- Digital Green Factory Labor
- Gleichstromlabor
- Labor für intelligente Druckluft

## Intelligente Automatisierung und Reinheitstechnik

- Rein- und Sauberräume
- Roboter-Versuchsfeld
- Bildverarbeitungslabore



## Medizin- und Produktionstechnik

- Bewegungslabor
- Bioproduktionslabor
- Interventionsraum
- nICLAS Labor der Zukunft
- Virtual Orthopedic Lab

## Oberflächen- und Materialtechnik

- Galvanik-Labor
- Lackiertechnikum
- Laserschweißen
- Zentrum für Dispergiertechnik
- Zentrum für Partikeltechnik

## Fertigungs- und Prozesstechnik

- Labore für Zerspanen, Fügen und Sägen
- Labore für Additive Fertigung



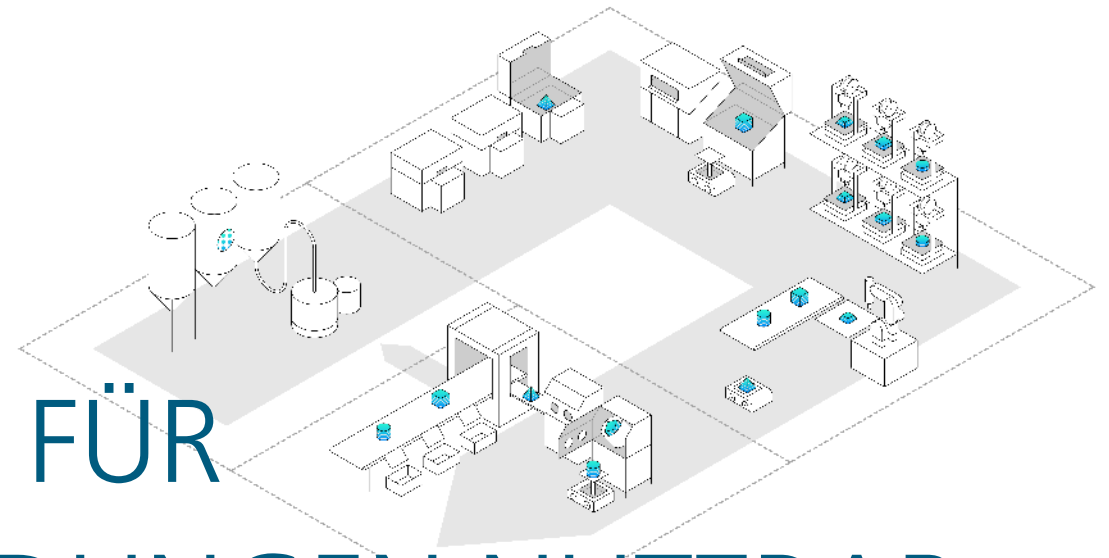
Polymerbasierte Additive Fertigung am Fraunhofer IPA

**Datum: 23.03.2022**

---

Abteilung Additive Produktion





# DIE ADDITIVE FERTIGUNG FÜR PROFESSIONELLE ANWENDUNGEN NUTZBAR MACHEN

Branchenübergreifend | Prozessübergreifend | Materialübergreifend | Fokus auf Gesamtprozesskette



**ADDITIVE PROZESSE**



**HYBRIDE PROZESSE**



**ANLAGENTECHNIK**



**INDUSTRIALISIERUNG**

# Additive Prozesse

## Polymerbasierte Additive Fertigung am Fraunhofer IPA

### Forschungsfelder

- Fokus auf polymerbasierte Materialsysteme
  - Photopolymere
  - Thermoplaste
  - Gefüllte Materialien:  
metallisch | keramisch | faserverstärkt
- Prozesse:
  - MJ
  - SLA & DLP
  - SLS
  - FLM
  - AKF
  - SAF

### Leistungsangebot

- Vorbereitung
  - Anwendungsspezifische Auswahl von Verfahren
  - Design und Datenaufbereitung für AM Prozesse
- Prozess
  - Verarbeitung von anwendungsspezifischen (Sonder-) Materialien
  - Verfahrensentwicklung und –optimierung
- Analyse
  - Analyse von Ausgangsmaterialien
  - Analyse gedruckter Bauteile





# Hybride Prozesse

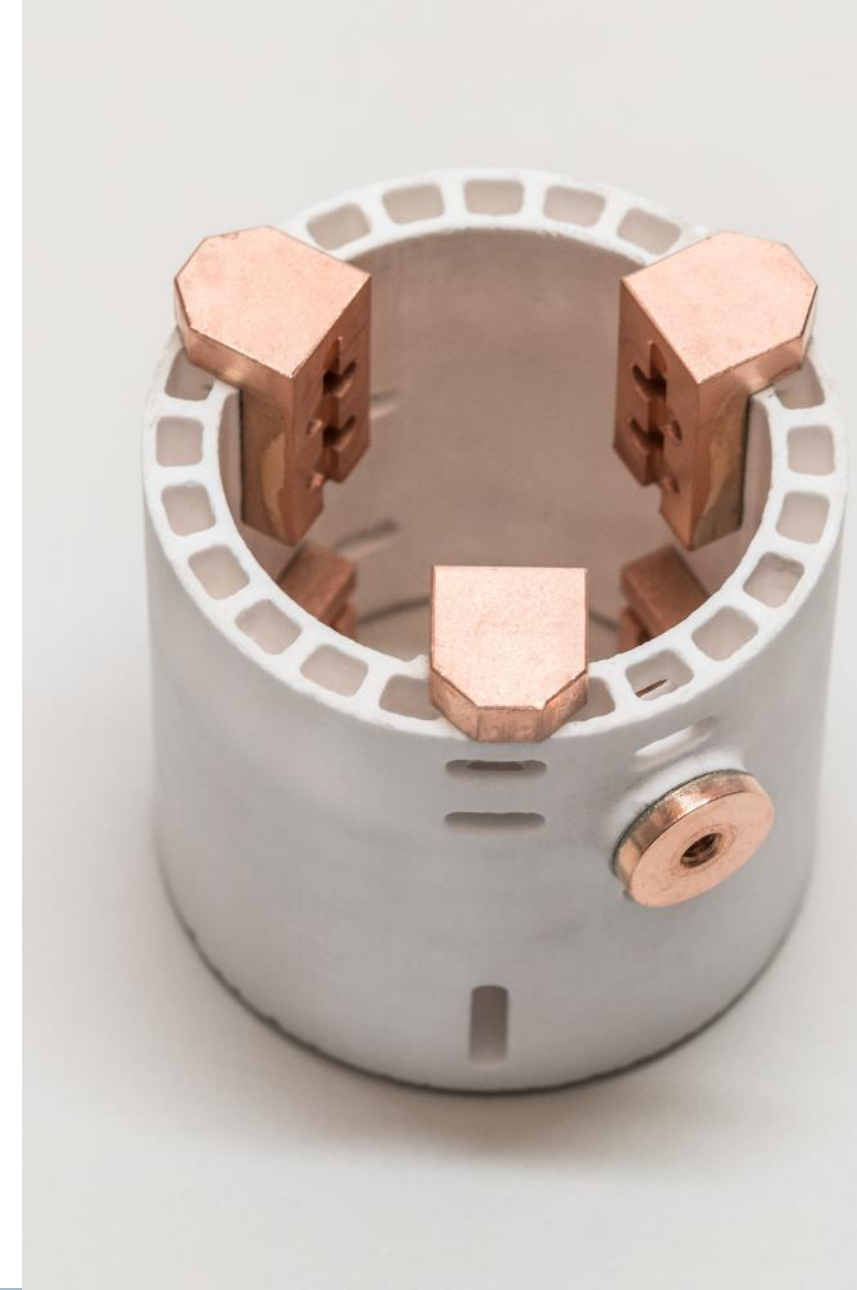
## Polymerbasierte Additive Fertigung am Fraunhofer IPA

### Forschungsfelder

- Funktionsintegration
  - Erweiterte Funktionsintegration und verbesserte Bauteileigenschaften durch Prozesskombinationen
- Kombination von additiven Prozessen mit konventionellen Fertigungsverfahren
  - Inline Integration
  - Sequentielle Prozessketten
  - Integration diskreter Bauteile in den Druckprozess

### Leistungsangebot

- Screening
  - Erschließung neuer Anwendungsfelder durch erhöhte Bauteilfunktionalität
- Verfahrensentwicklung
  - Anwendungsspezifische Entwicklung kombinierter Prozessketten
  - Auswahl und Applikation komplementärer Prozesse und Verfahren
- Qualifikation
  - Test und Qualifikation von Bauteilen und Funktionsbaugruppen





# Anlagentechnik

## Polymerbasierte Additive Fertigung am Fraunhofer IPA

### Forschungsfelder

- Anlagentechnik als offene Versuchsplattformen
- Umsetzung von Prozessen im Laborumfeld und -maßstab
- Entwicklung neuartiger Anlagentechnik inkl. Peripheriesysteme
- Steuerungsseitige Integration von (AM-) Prozessen in Fertigungsumgebungen
- Adaption und Integration kommerzieller Systeme

### Leistungsangebot

- Konzeption
  - Anforderungsanalyse, Konzeption und Auslegung
  - Unterstützung bei Lasten- und Pflichtenhefte
- Hardware
  - Entwicklung von AM Hardware inkl. Steuerungstechnik
  - Drucktechnik und Peripheriesystem
  - Entwicklung von Technikumsanlagen
- Inbetriebnahme
  - Aufbau und Inbetriebnahme



# Industrialisierung

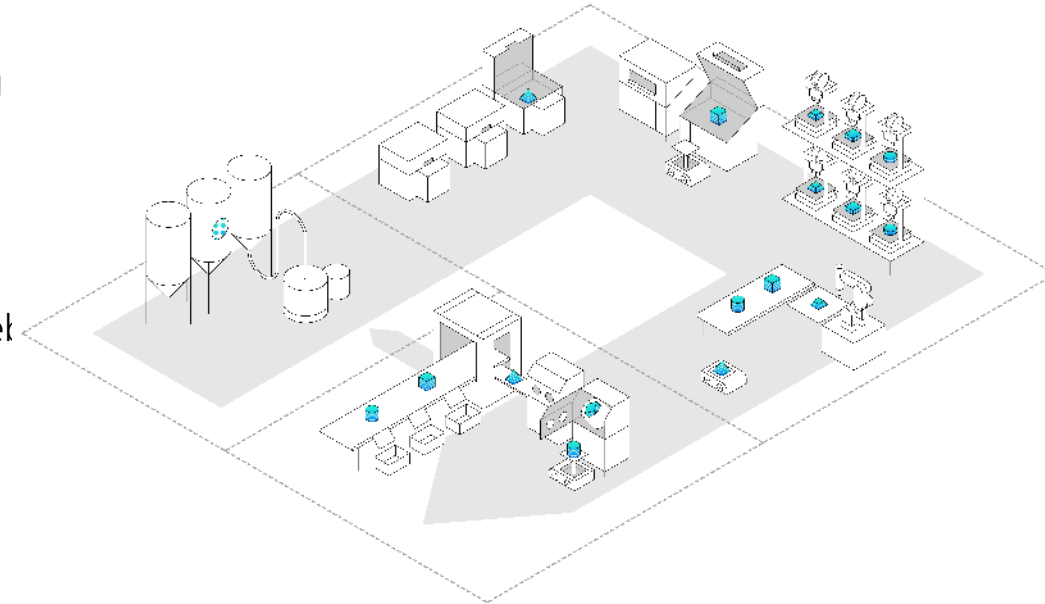
## Polymerbasierte Additive Fertigung am Fraunhofer IPA

### Forschungsfelder

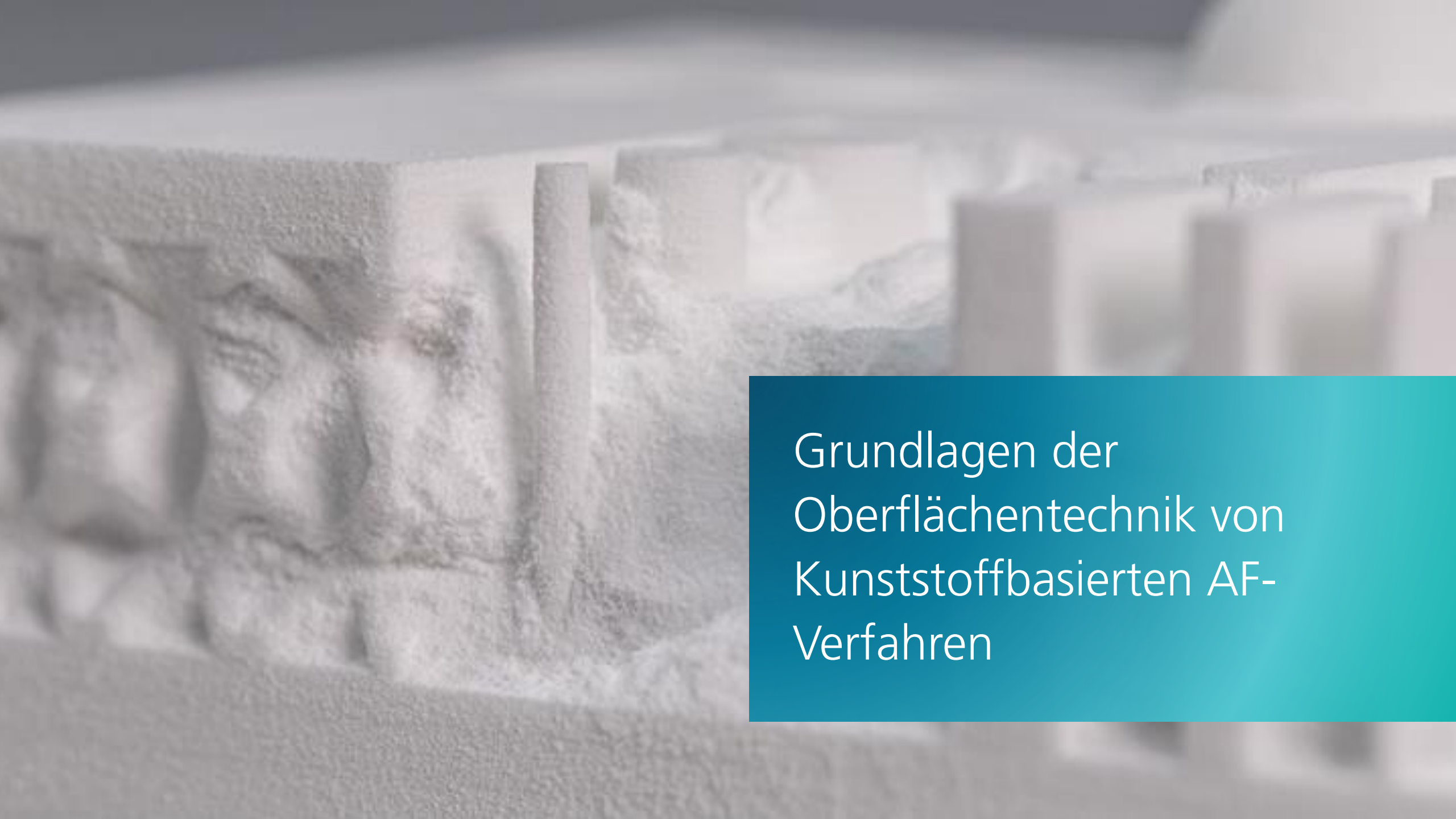
- Betrachtung der Gesamtprozessketten von AM-Verfahren im industriellen Umfeld
- Entwicklung vor- und nachgelagerter Prozessschritte sowie Bauteilhandling
- Schnittstellen zur Integration von AM-Prozessen in digitalisierte Fertigungsumgebungen
- Entwicklung von Geschäftsmodellen
- Entwicklung von Qualitätssicherungsmethoden

### Leistungsangebot

- Bauteilauswahl und –Optimierung
- Design & Konstruktion
- Geschäftsmodellentwicklung
- Beratung zu Verfahren und Gesamtprozessketten
- Integration in der Fertigungsumgebung
- Beratung zu Arbeits- und Gesundheitsschutz



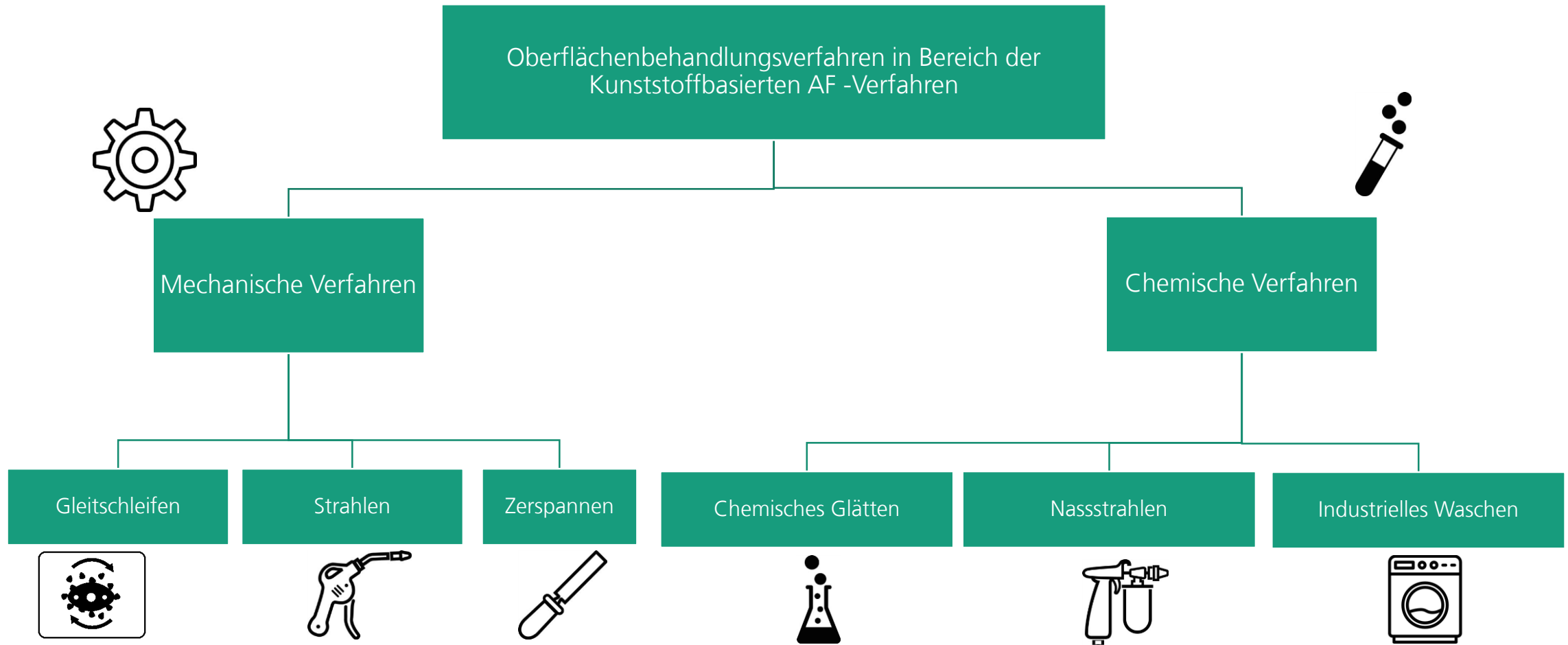


A grayscale microscopic image showing a textured surface with several vertical ridges or pillars. The surface has a fine, granular texture. The ridges are evenly spaced and run parallel to each other. The background is out of focus, showing more of the same textured surface.

# Grundlagen der Oberflächentechnik von Kunststoffbasierten AF- Verfahren

# Grundlagen Additive Fertigung

## Übersicht Oberflächenbehandlungsmethoden





# Grundlagen Additive Fertigung

## Chemische Oberflächenbearbeitung

### Chemisches Glätten

Wie funktioniert es:

Es wird mithilfe eines chemischen Mittels (Lösungsmittel) die Oberfläche von Bauteilen geätzt und damit feine Spitzen entfernt, was die Rauheit der Oberfläche verringert.

Erreichbare Rauheit am Beispiel MJF:  $R_a < 1 \mu\text{m}$  [Quelle: [apc-tec](#)]

Vorteile:

- Geometrie unabhängig
- Dichtheit gegen Flüssigkeiten und Gasen
- Sehr gute Oberflächengüte vergl. Spritzguss
- Verbesserung der mechanischen Eigenschaften



Anlage für das chemische Glätten mittels eines : [DYEMANSION](#)]

# Grundlagen Additive Fertigung

## Mechanische Oberflächenbearbeitung

### Gleitschleifen

Wie funktioniert es:

Werkstücke sowie Schleif – und Polierkörper werden zusammen mit einer Lösung in einen Behälter gegeben und durch oszillierende oder rotierenden Bewegung des Behälters wird zwischen Werkstück und Verfahrensmittel einer Relativbewegung erzeugt. Dadurch wird ein Materialabtrag verursacht.

Erreichbare Rauheit am Beispiel MJF:  $R_a < 1,5\mu\text{m}$  [Quelle: [Dörfler & Schmidt](#)]

Vorteile:

- Schichtspuren entfernen und glätten der Oberflächen
- Einfache Handhabung
- Gut für Serienanwendung



SLS – Bauteil in Gleitschleifmaschine [Quelle: [apc-tec GmbH](#)]



# Grundlagen Additive Fertigung

## Mechanische Oberflächenbearbeitung

### Strahlen

Wie funktioniert es:

Beim Strahlen wird das Strahlmittel mittels eines Mediums z.B. Luft oder Wasser beschleunigt. Dieser beschleunigte Strahl wird auf das zu bearbeitende Werkstück (Strahlgut) gerichtet. Dabei werden drei Strahlwirkungen auf der Oberfläche unterschieden: Verformung, Verfestigung und Abtragung.

Erreichbare Rauheit am Beispiel MJF:  $R_a < 2,5\mu\text{m}$  [Quelle: [Dörfler & Schmidt](#)]

Vorteile:

- Prozess unabhängig von Bauteilgeometrie
- Manuelle oder automatisierte Prozesse
- Geringer Materialabtrag



Strahlkorb in einer Strahlanlage [Quelle: [MST-reutlingen](#)]



Versuche am Fraunhofer IPA  
und  
MST Microstrahltechnik GmbH



# Versuche zu Strahlverfahren

## Zielsetzung

---

### Ziel:

- Aussagekräftige Ergebnisse zum Effekt von Strahlverfahren auf die Bauteiloberflächen von additiv gefertigten Bauteilen aus Kunststoffen
- Reduktion des Einflusses durch Bediener und dadurch eine bessere Vergleichbarkeit
- Vergleich zwischen Bediener und Automation







## Versuchsplanung und -durchführung

# Versuche zu Strahlverfahren

## Ansatz

### Versuchsaufbau

Bauteile mittels Vorrichtung Strahlen

- Definierte Geschwindigkeit
- Definierte Abstand zwischen Strahlpistole und Werkstück
- Bessere Vergleichbarkeit zwischen den Parametern und den Ergebnissen

Gewählte Strahlparameter:

- Rotationsgeschwindigkeit  $0,5 \frac{1}{min}$
- Abstand von Strahlpistole 25 – 40 mm
- Versatz der Strahlbahnen 10 mm

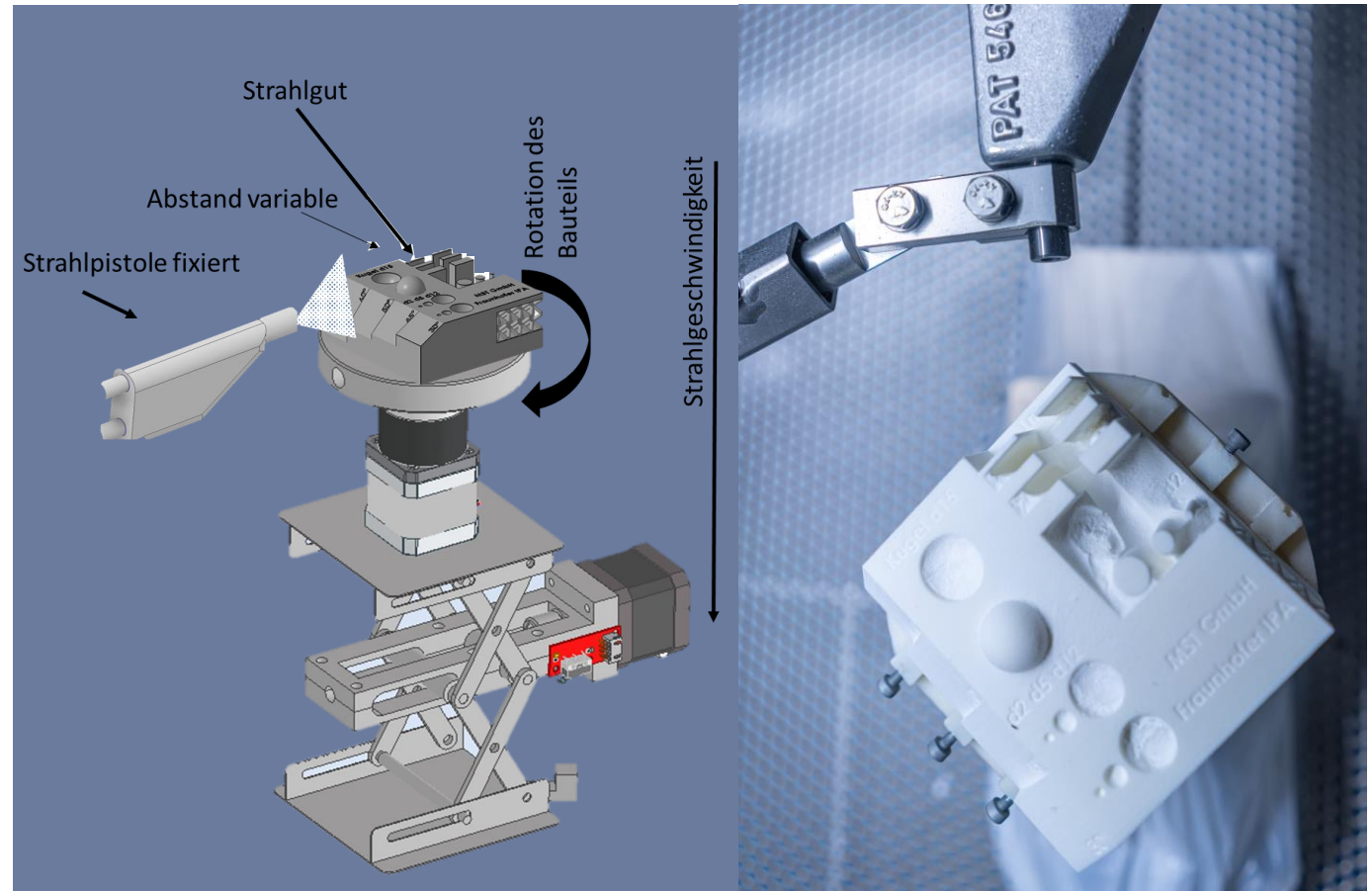


Abbildung links zeigt Versuchsaufbau zum Strahlen, Abbildung rechts zeigt Eigenaufbauten in Strahlkabine

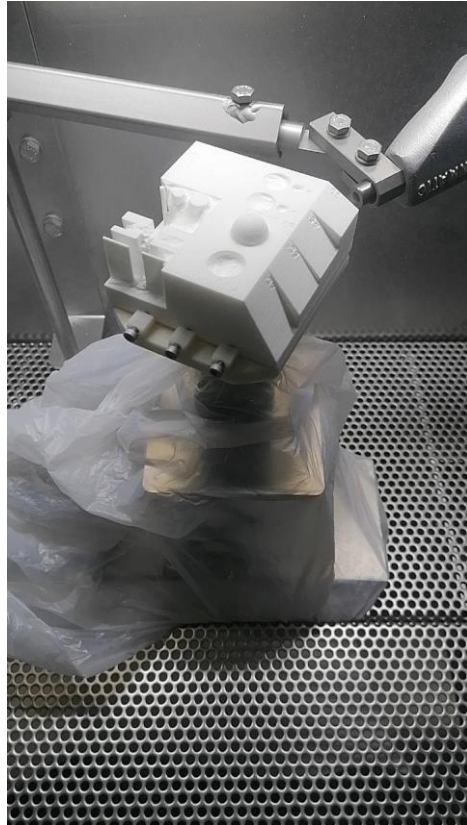


# Versuche zu Strahlverfahren

## Versuchsdurchführung

---

### Erste Aufspannung des Musterbauteils



### Zweite Aufspannung des Musterbauteils





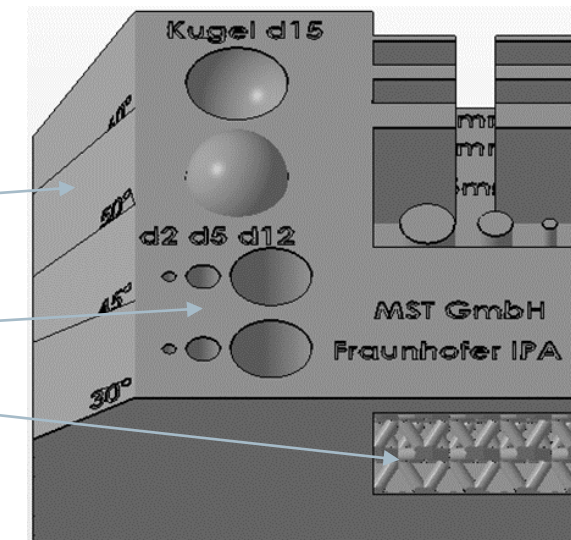
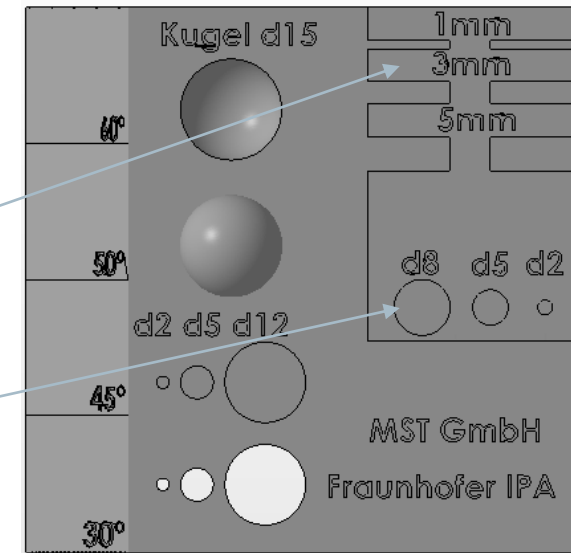
# Versuche

## Musterbauteil und Kriterien für die Bauteilbewertung

### Bewertungskriterien zugeordnet zu den Geometrien des Musterbauteil

#### Beschädigungen

- Bruch von Dünnen Strukturen
  - Wandungen 1 mm, 2 mm, 5 mm
  - Durchmesser 2 mm, 5 mm, 8 mm
- Oberflächenrauheit
  - Flächen im Vergleich zu Winkelflächen
  - Oberseite, Schichtrichtung zu 30°, 45°, 50°, 60°
- Komplexe Strukturen und Löcher
  - Qualitative Bewertung von Reinigungseffekten



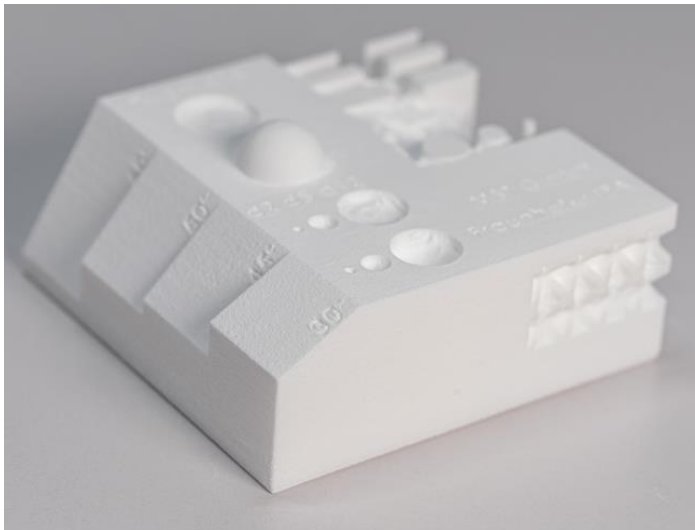
# Versuchsplanung und -durchführung

## Geplante Druckmaterialien, Herstellungsverfahren und Strahlmittel

### PA12 – Musterbauteil (SLS)

Verwendete Strahlmittel:

- Glasbruch
- Kunststoffgranulat
- Keramik

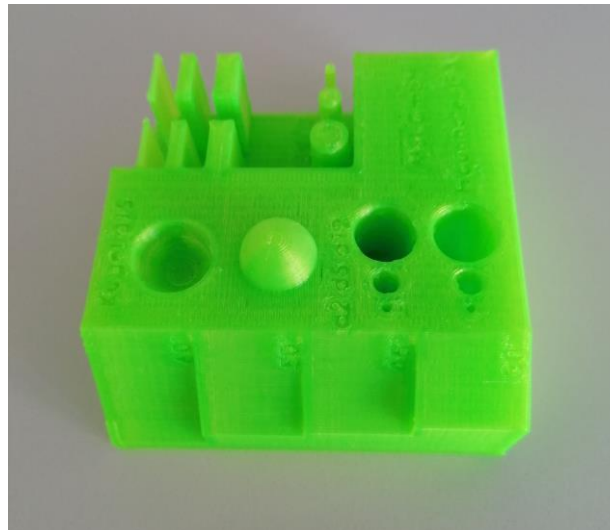


Musterbauteil aus PA12 gedruckt mittels SLS

### PLA – Musterbauteil (FLM)

Verwendete Strahlmittel:

- Glasbruch
- Kunststoffgranulat
- Normalkorund

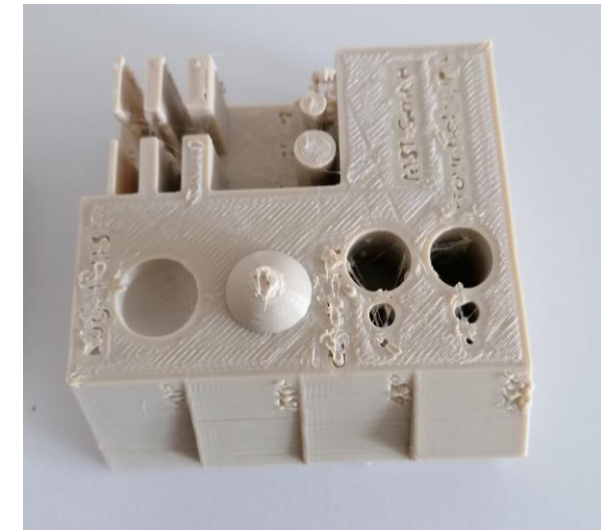


Musterbauteil aus PLA gedruckt mittels FLM

### PEEK – Musterbauteil (FLM)

Verwendete Strahlmittel:

- Glasbruch
- Normalkorund
- Keramik



Musterbauteil aus PEEK gedruckt mittels FLM

# Versuchsplanung und - durchführung

## Versuchsauswertung

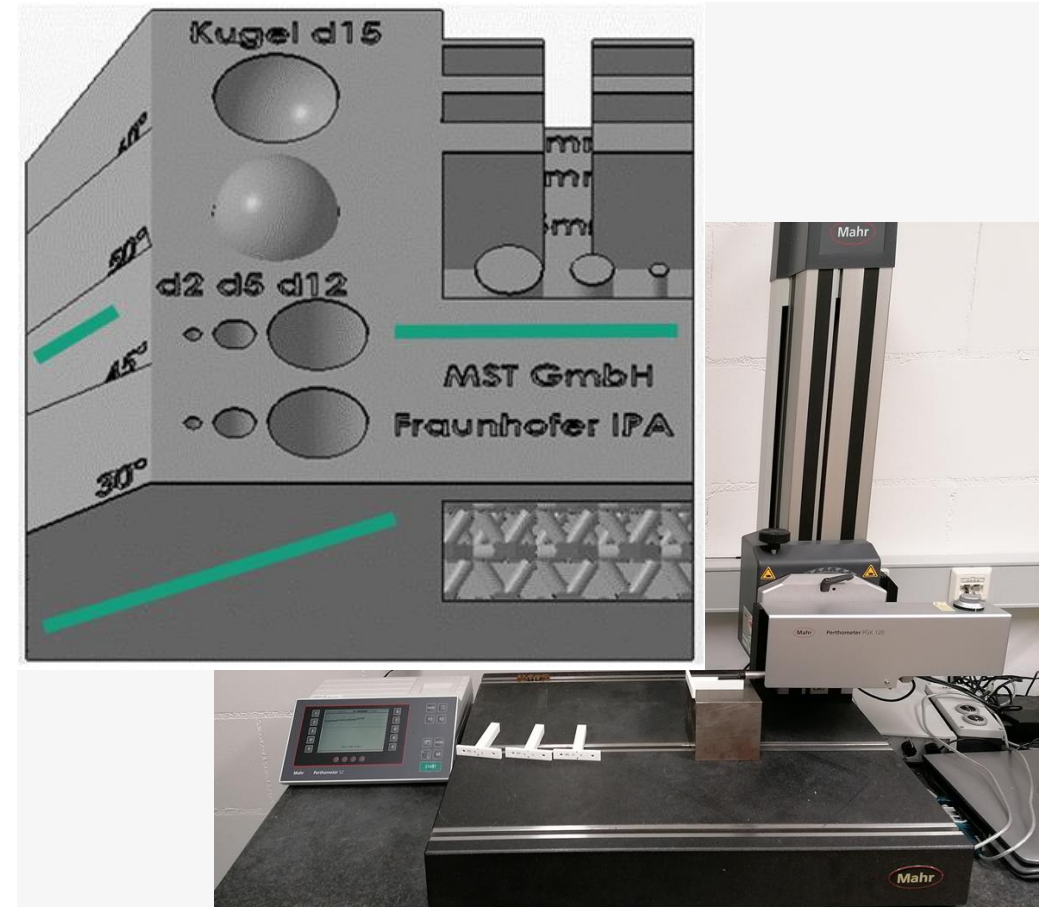
### Quantitative Prüfung

Messen der Rauheit mittels taktile Rauheitsmessgerät

- Messen der verschiedenen Schrägen
- Messen Oberfläche und eine Seite

### Messbereiche für Rauheitsmessung

Die drei grünen Linien stellen die Messstrecke für die Rauheitsmessung da



Musterbauteil mit Messstrecken und taktilem Rauheitsmessgerät der Firma Mahle



A red metal mold is shown with a Mahr measuring tool. The mold has a complex internal structure with a lattice-like pattern. The measuring tool is a cylindrical probe with a black handle and a silver body. The probe is positioned over the mold. The Mahr logo and model number 'MFW-2 685180 4850' are visible on the tool. The mold has some text on it, including 'HST GmbH' and 'Hochleistungs-IPA'.

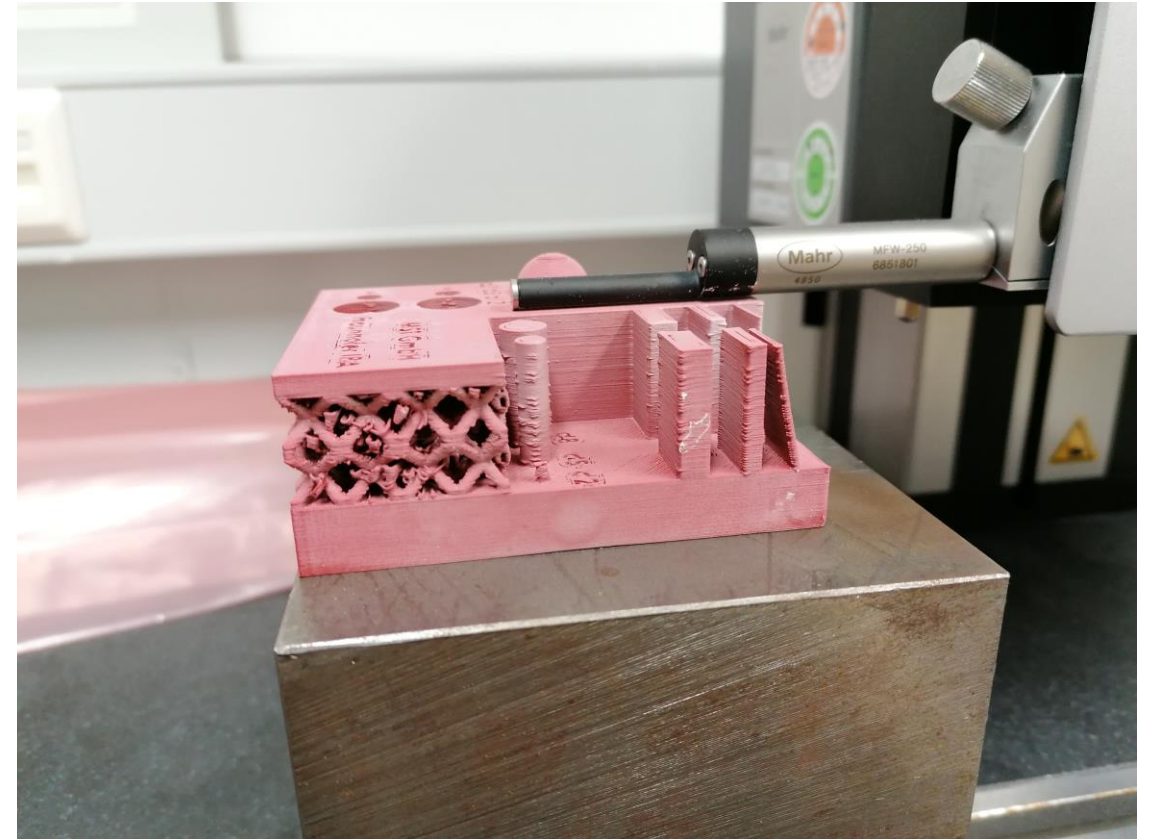
## Ergebnisse

# Ergebnisse

## Zusammenfassung

### Ergebnisse der Rauheitsmessung

- Bei PLA wurde die größte Verbesserung von **32,8 %** mit Glasbruch im manuellen Strahlprozess erreicht
- Bei PEEK wurde die größte Verbesserung von **61,8 %** mit Edelkorund im automatischen Strahlprozess erreicht
- Bei PA12 wurde die größte Verbesserung von **52,2 %** mit Kunststoffgranulat und Glasbruch die besten Ergebnisse erzielt werden. Beides sind abrasive Strahlmittel
- Eine gleichbleibende Verbesserung konnte mit dem **automatischen Strahlprozess** im Vergleich zu den Handstrahlungen erzielt werden.
- **Beschädigungen** wurden bei dünnen Strukturen bei PLA festgestellt



Messung der Rauheit eines aus PLA gefertigten Musterbauteils



# Zusammenfassung und Ausblick

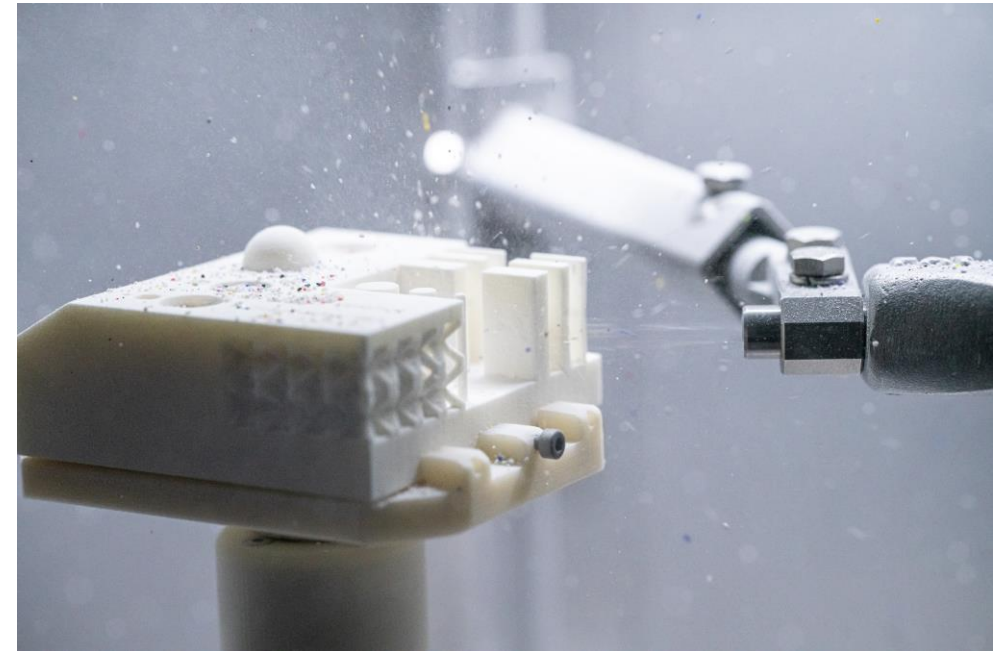


# Zusammenfassung

## Fazit und Ausblick

### Fazit

- Im Bereich des Strahlprozess von AF gefertigten Bauteilen sind **erzielte Oberflächenkennwerte** meistens **noch nicht bekannt**, das macht aktuell einen Vergleich zu anderen schwierig.
- Die **Oberflächenrauheit** zeigten je nach Strahlmittel schon **größere Unterschiede** auf
- Je nach der Anwendung kann es sich lohnen ein **speziell auf das Bauteil angepasstes Strahlmittel und Prozessparameter** zu verwenden, um einen effizienteren Prozess zu gestalten
- Der **automatische Strahlprozess** zeigte in der quantitativen Bewertung der Rauheit eine **gleichbleibende und glattere Oberfläche** als der manuelle Strahlprozess.



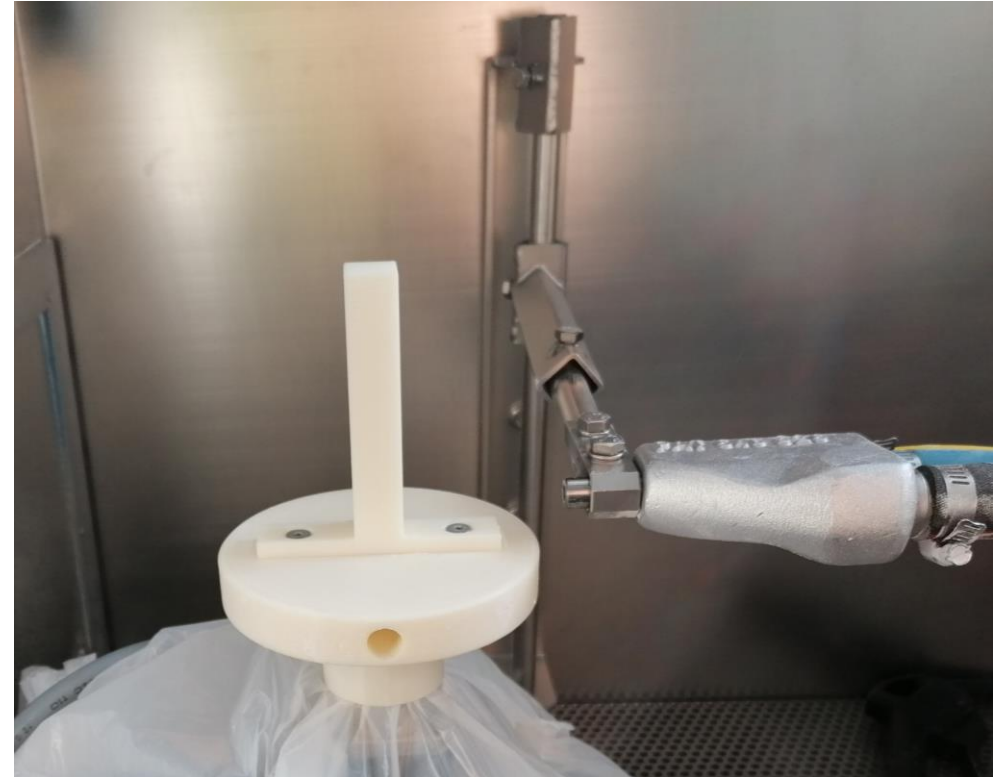
Musterbauteil beim Strahlen mit Kunststoffstrahlmittel

# Zusammenfassung

## Fazit und Ausblick

### Ausblick

- **Parametervariation** im Strahlprozess z.B. Variation des Strahldrucks
- **Kombination aus verschiedenen Strahlmittel** z.B. Glasbruch mit feinem Glaskugeln, damit man große Flächen effizient Strahlt aber auch z.B. feine Bohrungen bearbeiten kann
- **Überprüfen der Ergebnisse** auf z.B. Trommelstrahlsystem was der Standard im Kleinserienanwendung ist
- Des Weiteren wurde ein **formalisierter Ansatz zum besseren Vergleich** am Fraunhofer IPA auf Basis der Versuche weiterentwickelt



Aufbau des formalisierten Ansatz mit verwendeten Prüfkörper

Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit





# Kontakt

---

**Mark Becker**

**Abteilung Additive Fertigung**

**Tel. +49 711 970-1790**

[mark.becker@ipa.fraunhofer.de](mailto:mark.becker@ipa.fraunhofer.de)

Fraunhofer IPA

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

[www.ipa.fraunhofer.de](http://www.ipa.fraunhofer.de)

**Wir produzieren Zukunft**

**Nachhaltig. Personalisiert. Smart.**