
Additive Manufacturing (AM) als Herausforderung für die Oberflächentechnik

19.Oktober 2017

A. Dietz, Fraunhofer IST, Braunschweig

Übersicht

- Überblick AM-Verfahren
 - AM für Metalle
 - AM für Polymere
- Notwendige Oberflächenbehandlung
 - Metalle
 - Polymers
- Mögliche Beschichtungsverfahren
- Herausforderungen bei der Kunststoffmetallisierung
- DLR-INNOSPACE-Masters: AMPFORS
- Zusammenfassung

**God made the
bulk; surfaces
were invented by
the devil**
W. Pauli, Nobel Prize winner
1945

Institutsleiter: Prof. Dr. G. Bräuer | Stellvertreter: Dr. L. Schäfer
 Sekretariat: C. Drath

Verwaltung: U. Holzauer | European Business Development: Dr. J. Gäbler
 Marketing und Kommunikation: Dr. S. Kondruweit

Maschinenbau, Werkzeuge und Fahrzeugtechnik Dr.-Ing. T. Hentrich	Luft- und Raumfahrt Dr. A. Dietz	Energie und Elektronik Dr. O. Kappertz	Optik n.n.	Life Science und Umwelt Dr. J. Borris
--	--	--	----------------------	---

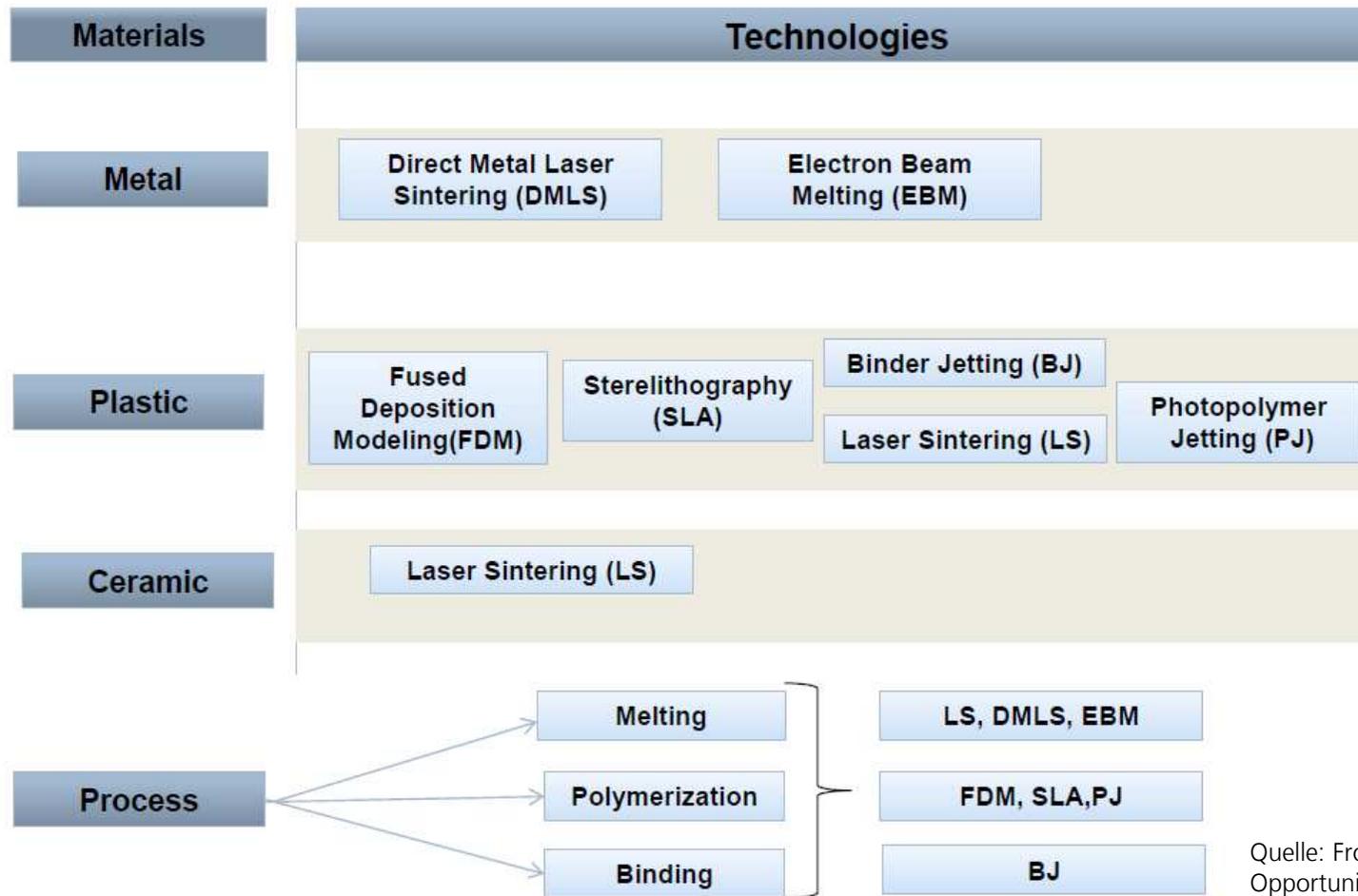
Technologien

Niederdruck- Plasmaverfahren Magnetron- zerstäubung Hochionisierte Plasmen und PECVD Dr. M. Vergöhl	Chemische Gasphasen- abscheidung Heißdraht-CVD Atomlagen- abscheidung Photokatalyse Dr. V. Sittinger	Atmosphären- druckverfahren Atmosphärendruck- Plasmaverfahren Elektrochemische Verfahren Oberflächenchemie Dr. M. Thomas Prof. Dr. C.-P. Klages	Zentrum für Tribologische Schichten Tribologische Systeme Mikro- und Sensortechnologie DOC – Dortmunder OberflächenCentrum Dr.-Ing. J. Brand	Anwendungszentrum für Plasma und Photonik Atmosphärendruck- Plasmaquellen Laser-Plasma- Hybrid-Verfahren Plasmamedizinische Verfahren Plasma-Partikeltechnik Plasmadiagnostik Prof. Dr. W. Viöl
---	--	---	--	---

Simulation (Dr. A. Pflug)

Analytik und Qualitätssicherung (Dr. K. Schiffmann)

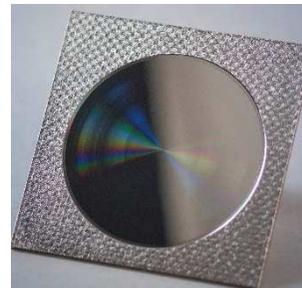
Materialien und Prozesse für das Additive Manufacturing



Quelle: Frost Sullivan;
 Opportunities for Materials,
 F 19-39, 2016

Notwendige Oberflächentechnik

- Metallische Werkstoffe
 - Rauheit und Grate
 - Poren
 - Fehlende Oberflächenfunktion (Korrosionsfestigkeit, tribologische Eigenschaften, optische Eigenschaften...)
- Polymere Werkstoffe
 - Rauheit und Grate
 - Mangelnde elektrische und thermische Leitfähigkeit
 - Ausgaseffekte
 - Fehlende mechanische Festigkeit
 - Fehlende Oberflächenfunktion (tribologische Eigenschaften, optische Eigenschaften...)



Quelle: Fraunhofer IST 2016

Mögliche Beschichtungsmethoden

■ Lacke

■ Vorteile

- Homogene Verteilung auch bei komplexen Geometrien (Flüssiglacken)

■ Nachteile

- Neigen zum Ausgasen
- Thermisch und mechanisch häufig nicht stabil
- Elektrisch häufig nicht leitfähig

■ PVD-Schichten

■ Vorteile

- Vielfalt von Schichtmaterialien und Baumaterialien

■ Nachteile

- Nicht für komplexe Strukturen
- Teures Verfahren durch Vakuumprozess
- Haftfestigkeit nicht immer gewährleistet



Quelle:
Fraunhofer IST 2017

Mögliche Beschichtungsmethoden

■ Thermisches Spritzen

■ Vorteile

- Einfaches Verfahren
- Vielfältige Materialien einsetzbar
- Hohe Schichtdicken möglich

■ Nachteile

- Nicht für komplexe Strukturen

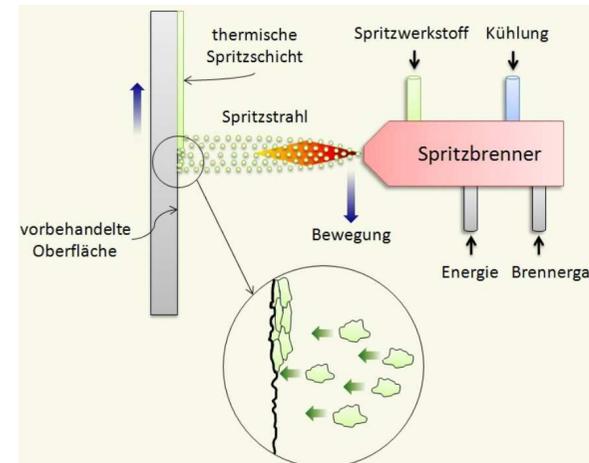
■ Galvanische Schichten

■ Vorteile

- Für komplexe Strukturen geeignet (ggfs. stromlose Verfahren)
- Schichtdicken variierbar

■ Nachteile

- Nur Metalle abscheidbar
- Leichtmetalle aufwändig zu beschichten



Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Thermisches_Spritzen



Quelle: Fraunhofer IST 2016

Grundlagen der galvanischen Verfahren

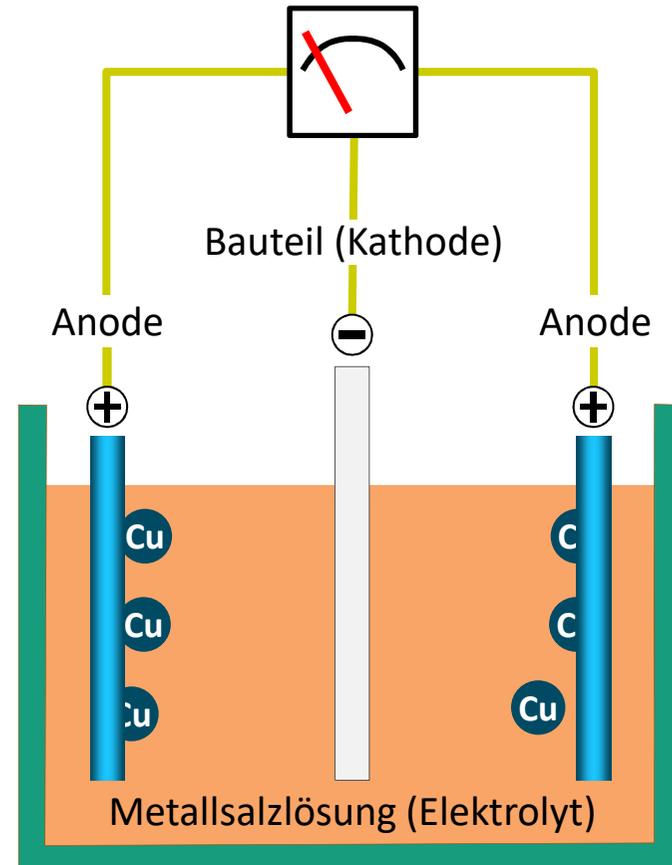
Das zu beschichtende Bauteil wird in eine Metallsalzlösung (Elektrolyt) eingetaucht und an den negativen Pol einer Gleichstromquelle (Kathode) angeschlossen.

Das abzuscheidende Metall (z. B. Kupfer, Nickel, oder Zink) wird mit dem positiven Pol (Anode) verbunden.

Eine Gleichspannung wird angelegt. Die Anode geht als Metallion in die Lösung.

Diese Metallionen werden vom Werkstück (Kathode) angezogen und scheiden sich dort als Metallüberzug ab.

Die Schichtdicke ist nach dem Faraday'schen Gesetz berechenbar und prozesssicher reproduzierbar.

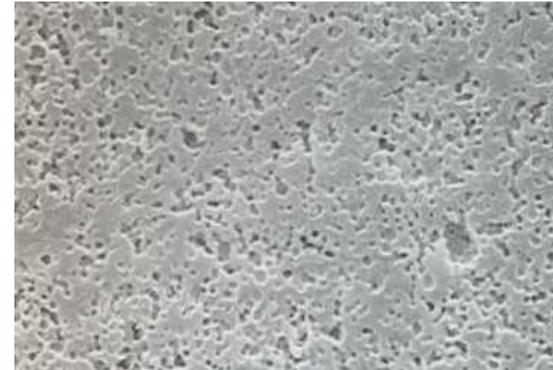


Herausforderungen der galvanischen Verfahren

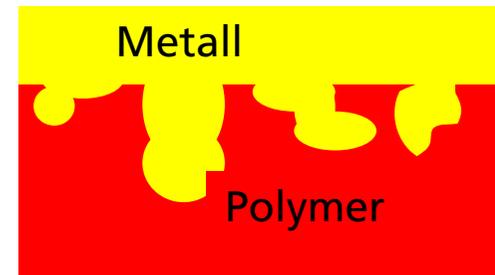
- **Metallisierung von Metallsubstraten**
 - Leichtmetalle (Ti, Al, Mg) passivieren leicht → Haftungsprobleme
 - Kontakt zweier unterschiedlicher Metalle kann zu Korrosion führen (galvanisches Element)
- **Kunststoffmetallisierung**
 - Hydrophobe Oberflächen → keine Benetzung
 - Elektrisch nichtleitende Oberflächen → Keine direkte Metallisierung
 - Unterschiedliche atomistische Eigenschaften zwischen Kunststoff und Metallschicht → mangelnde Haftung
 - Unterschiedliche thermische Ausdehnung von KS und Metall kann zu Abplatzungen der Schicht führen

Kunststoff-Metallisierung: Verfahrensablauf

Verfahrensablauf	Arbeitsschritt
Konditionierung	Mikroaufrauung und Modifizierung der Oberfläche; i.d.R. chemisch mit Chromschwefelsäure
Bekeimung	Adsorption von Pd-Verbindungen an der Oberfläche
Aktivierung	Erzeugung von Pd-Keimen an der Oberfläche
Metallisierung	Abscheidung von chemisch Kupfer oder Nickel
Galvanische Verstärkung	Kupfer, Nickel, Chrom

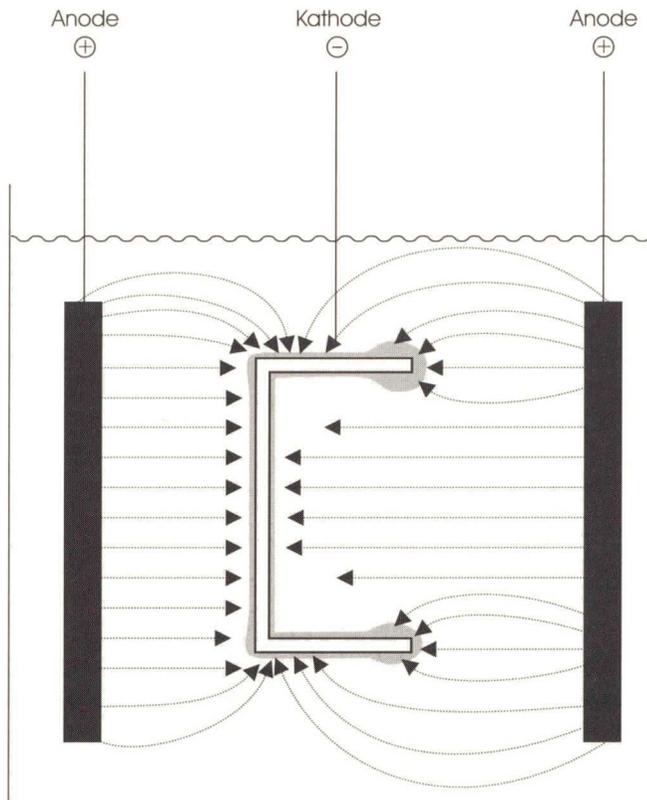


Oberflächenzustand eines ABS-Kunststoffes nach dem Beizen mit Chrom/Schwefelsäure

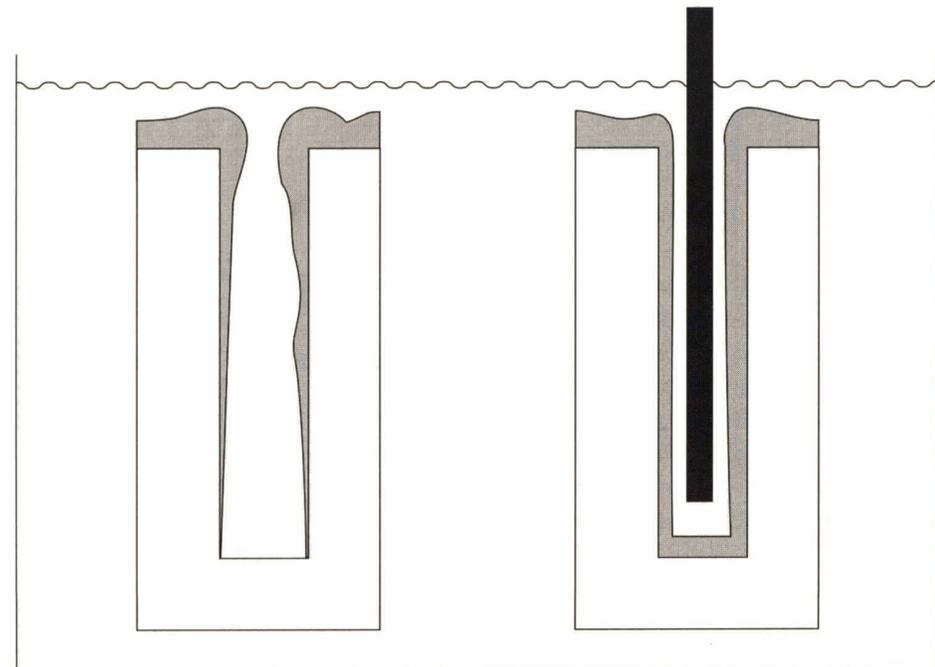


Schematische Darstellung des Druckknopfeffektes

Stromdichteverteilung an kompliziert geformten Teilen



„Hundeknochen (dog bone)-effekt“
aufgrund der Feldlinienverteilung



Gleichmäßige Schichtdickenverteilung
durch den Einsatz einer Hilfsanode

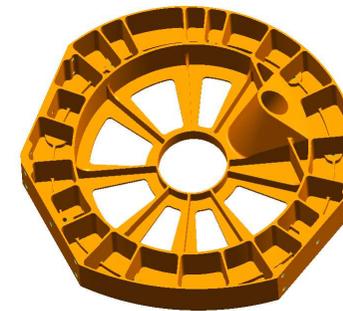
Mechanische und thermische Eigenschaften einiger Metalle und Kunststoffe

Material	Zugfestigkeit [MPa]	E-modul [GPa]	Dichte [g/cm ³]	Schmelzpunkt [°C]
Magnesium	275	42	1,74	650
Aluminium	600	70	2,7	660
Stahl	2 000	200	7,86	< 1536
Ti6Al4V	1 300	113.8	4,43	1668
PEEK	115	3.6	1,32	343
PEI	85	3.2	1.27	217
CFK Komposit	1 240	240 - 930	1,58	---
ABS	37	2.4	1.05	100

DLR-INNOSPACE-Masters: AMPFORS

Ziel des Vorhabens:

- Gewichtsreduzierung von Satellitenstrukturen durch den Einsatz hochfester, metallisierter Kunststoffe
- Herstellung durch additive SLS-Verfahren
 - Modifizierung der Oberfläche
 - Entwicklung der Metallisierungsverfahren
 - Testverfahren/Qualitätssicherung
- Entwicklung eines metallisierten Strukturbauteils als Demonstrator
 - TRL 5
 - Verifikation kritischer Funktionen (Maßhaltigkeit, Haftung Metallschicht, mechanische Festigkeit)



▲ Aluminium Satellitenteile, die durch additiv gefertigte Kunststoffteile ersetzt werden können Quelle: OHB System

DLR-INNOSPACE-Masters: AMPFORS



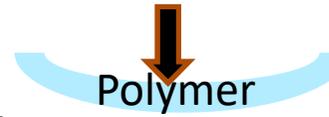
Bracket aus PEEK:
Oben: herkömmliches Design
Unten: AM-optimiertes Design
Source: Rauch GmbH



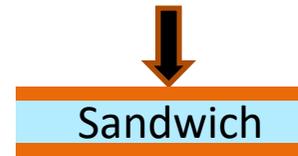
Hohe Kosten
Mech. Stabilität
Gute Leitfähigkeit



Geringe Kosten
Geringe Stabilität
Geringe Leitfähigkeit
Ausgasen

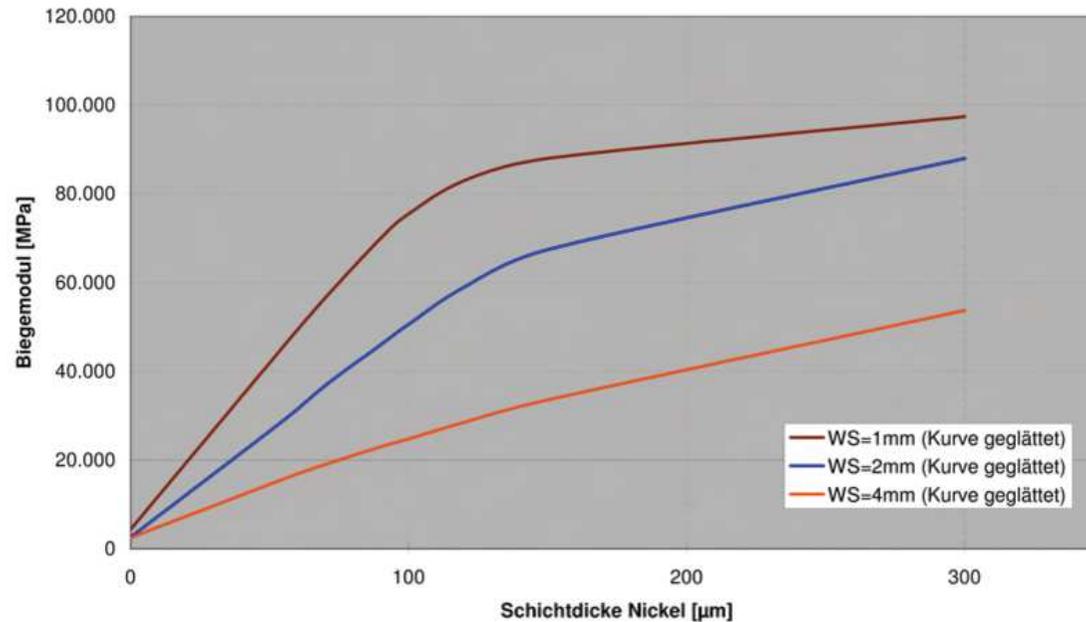


Geringe Kosten
Mech. Stabilität
Gute Leitfähigkeit
Kein Ausgasen



Die Lösung:
**Kombination der Vorteile von Metallen
und Polymeren**

DLR-INNOSPACE-Masters: AMPFORS



WS = Wandstärke Plastik

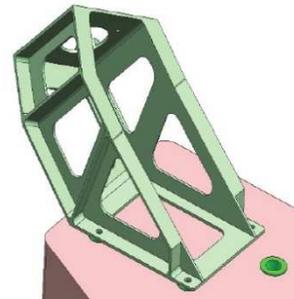
Quelle: Alphaform (DE)

Biegefestigkeit einer Kunststoffprobe, die mit Nickel verstärkt wurde

DLR-INNOSPACE-Masters: AMPFORS

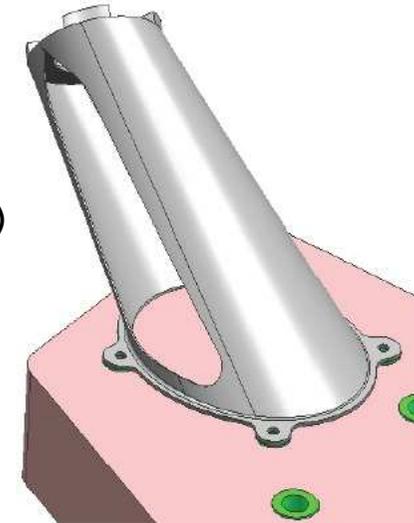
Vorteile der vorgeschlagenen-Technologie:

- Metallersatz durch hochfeste Kunststoffe
- Herstellung durch additive Fertigung: ermöglicht höhere Komplexität der Teile, reduzierte Masse, geringe Fertigungszeit
- Metallisierung ergibt Sandwich-Struktur mit höherer Festigkeit und Wärmeleitfähigkeit, ermöglicht elektrische Erdung, vermindert Ausgaseffekte
- Große Anzahl von Metallteilen im Satelliten können ersetzt werden
- Erwartete Massenreduktion einer Satellitenstruktur: 20%
- Erwartete Kostenreduktion einer Satellitenstruktur: 50%



▲ S-Band –Support
(Original: Aluminium)

▶ S-Band – Support
(Optimiert für AM
und PEEK)



Quelle: OHB System

Raumfahrzeug	Element	Material	Massenreduktion mit AMPFORS
Telekommunikation - Satellit	S-Band Antenne Support	Original: Aluminium (aus dem Vollen gefräst) => Optimiert: PEEK metallisiert (additiv gefertigt)	50 %

Zusammenfassung

- Die Oberflächentechnik für AM- und traditionell gefertigte Teile ist gleich
- AM-Verfahren erzeugen häufig eine rauere Oberfläche als traditionelle Verfahren
- Komplexe Geometrien stellen für alle Beschichtungsverfahren eine Herausforderung dar
- Für neue, AM-optimierte Werkstoffe müssen neue Beschichtungsverfahren entwickelt werden
- Durch die Metallisierung von AM-gefertigten Kunststoffbauteilen sind große Gewichts- und Kosteneinsparungen möglich

Fragen Sie gerne!



Quelle: Fraunhofer IST 2016