

Institut für Fertigungstechnik / Lehrstuhl für Laser- und Oberflächentechnik

VORLESUNG FERTIGUNGSTECHNIK I

Prof. Dr. Eckhard Beyer,
Dresden, 02. Februar 2018

Vorlesungsplan FT I / Oberflächen- und Schichttechnik

02.02. Wiederholung / Fragen

chemische Verfahren / Galvanik

- Korrosion
- Lackieren
- Galvanisieren
- Verzinken
- Eloxieren
- Emaillieren

Ausblick – Additive Fertigung und
Lehrstuhl für Laser- und Oberflächentechnik

Prüfungsvorbereitung

Vorlesungsplan FT I / Oberflächen- und Schichttechnik

02.02. Wiederholung / Fragen

chemische Verfahren / Galvanik

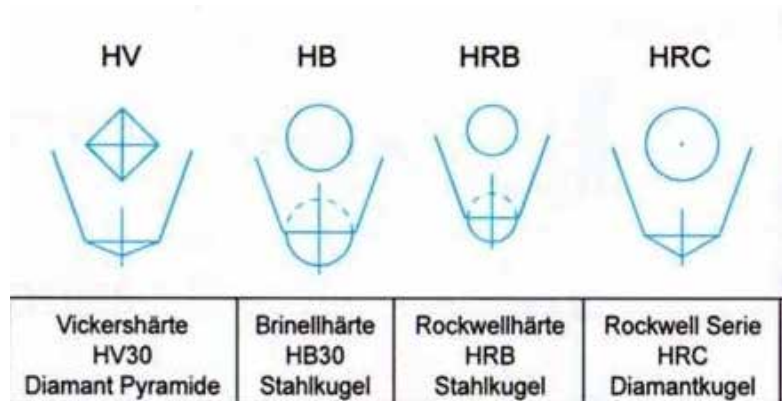
- Korrosion
- Lackieren
- Galvanisieren
- Verzinken
- Eloxieren
- Emaillieren

Ausblick – Additive Fertigung und
Lehrstuhl für Laser- und Oberflächentechnik

Prüfungsvorbereitung

Warum benötigt man unterschiedliche Härteprüfungen?

Härte nach Vickers, Rockwell, Brinell, usw.



[bünting.com]

à Härteprüfung ist zerstörendes Prüfverfahren

à Eindringtiefe des Prüfkörpers mit definierter Prüfkraft à abhängig z. B.
... von Homogenität des Werkstoffes
... von Härte des Werkstoffes,
... usw.

Beispiel: Härteprüfung nach Brinell

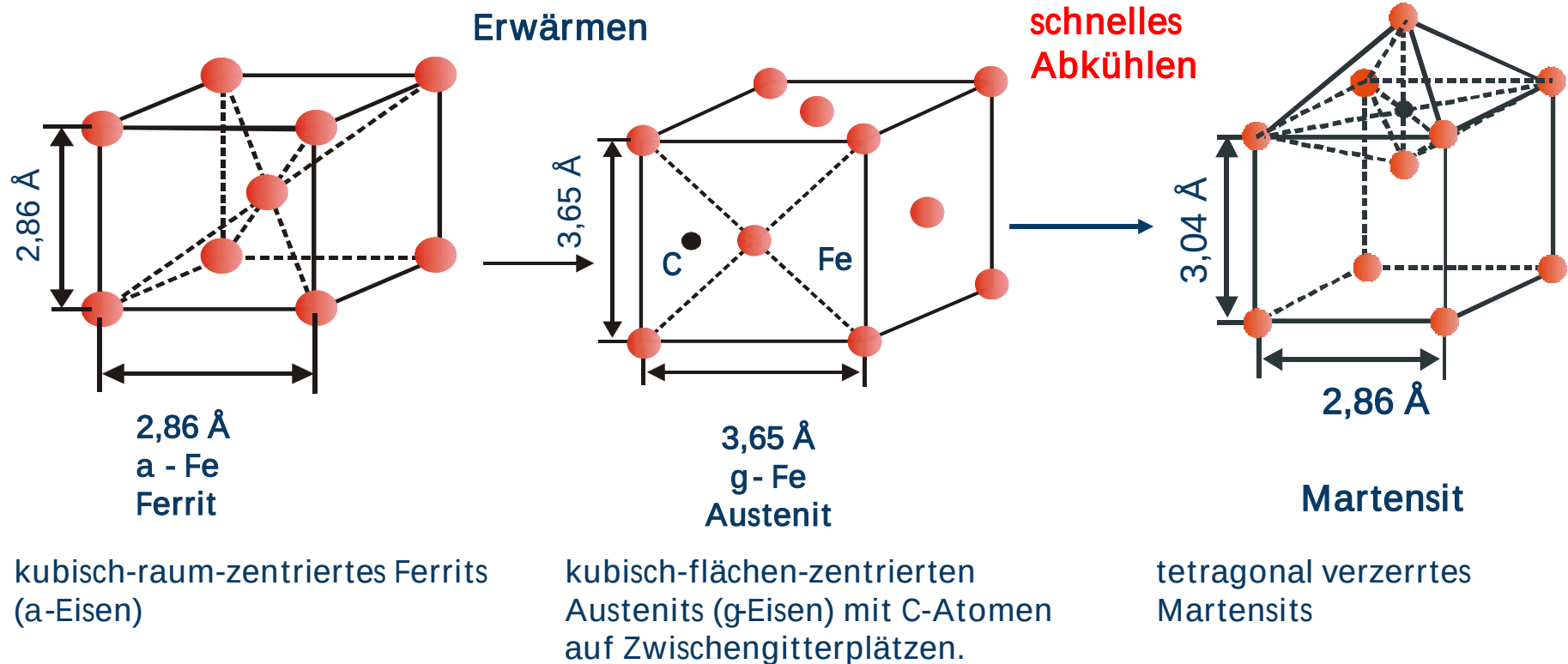
à vergleichsweise großer Prüfkörper
à geeignet für inhomogene Werkstoffe

Beispiel: Härteprüfung nach Rockwell

à Verfahren für Werkstoffe hoher Härte (> 20 HRC)

Martensitentstehung

à Volumenvergrößerung à Druckspannungen



Vorlesungsplan FT I / Oberflächen- und Schichttechnik

02.02. Wiederholung / Fragen

chemische Verfahren / Galvanik

- Korrosion
- Lackieren
- Galvanisieren
- Verzinken
- Eloxieren
- Emaillieren

Ausblick – Additive Fertigung und
Lehrstuhl für Laser- und Oberflächentechnik

Prüfungsvorbereitung



Spanen mit
geometr.
unbestimmt.
Schneide

Abtragen

Reinigen

Verfestigen
durch
Umformen

Thermo-
mechan.
Behandeln

Wärme-
behandeln

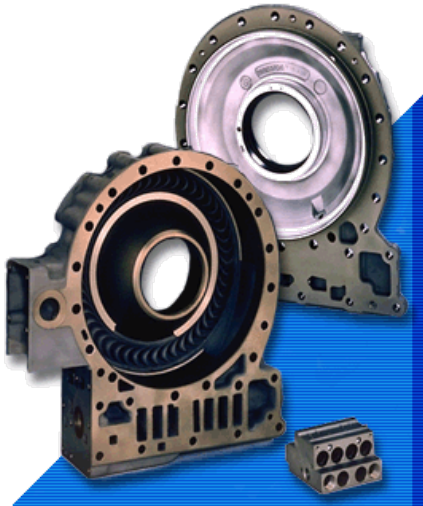
Beschichten
aus dem
flüssigen
Zustand

Beschichten
aus d. breiig-
pastenförm.
Zustand

Beschichten
aus d. gas-
od. dampff.
Zustand



Übersicht



Anodisch oxidierte Teile
<http://www.anox.nl>

Korrosionsschutz	Verschleißschutz
elektrolytisches / galvanisches Metallabscheiden	elektrolytisches Metallabscheiden
chemisches Metallabscheiden	chemisches Metallabscheiden
Anstrichbeschichten -Tauchen, Spritzen	phys. Abscheiden aus der Dampfphase (PVD)
Plastbeschichten -Wirbelsintern, elektrostatisch	chem. Abscheiden aus der Dampfphase (CVD)
Thermisches Spritzmetallisieren - Metallspritzen; Lichtbogen-, Plasmaspritzen	thermisches Spritzen
Feuermetallisieren - Schmelztauchen	Auftragschweißen
Emaillieren	Ionenplattieren

Korrosion und Korrosionsschutz

Die DIN 50 900 Teil 1 definiert Korrosion als:

„Reaktion eines metallischen Bauteiles mit seiner Umgebung, die eine messbare Veränderung des Werkstoffes erwirkt und zu einer Beeinträchtigung der Funktion eines metallischen Bauteils oder eines ganzen Systems führen kann“.

Ursache der Korrosion von Metallen

elektrochemische Korrosion
chemische Korrosion

Gegenmaßnahmen

aktiver Korrosionsschutz
passiver Korrosionsschutz

Voraussetzung/Triebkräfte:	Inhomogenitäten in Zusetzung, Heterogenitäten, <i>Potentialunterschiede</i>
	à Elektronenaustausch, Stattfinden einer Redoxreaktion
stimulierend:	H ₂ O, O ₂ , CO ₂ , Abgase, Staub,... à „Belüftungselement“

Korrosionsmechanismen



Trinkwasserrohr aus verzinktem Stahl
<http://www.korrosion-online.de>

§ elektrochemische Korrosion an Oberflächen von Metallen
elektrochemische Metallkorrosion

§ Fe: Rost = hydratisierte Eisenoxide wie FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4

§ chemische Korrosion (chem. u./o. phys. Vorgänge)

à chemische Metallkorrosion als

à Hochtemperaturkorrosion von Metallen

à Umwandlung u. Auflösung von Metallen

à Korrosion durch Mikroorganismen

à Auflösung silikatischer Werkstoffe

à Abbau organischer Hochpolymere

Voraussetzung/Triebkräfte:

Inhomogenitäten in Zusetzung, Heterogenitäten,
Potentialunterschiede

à Elektronenaustausch, Stattfinden einer Redoxreaktion

stimulierend:

H_2O , O_2 , CO_2 , Abgase, Staub,... à „Belüftungselement“

Wichtige Erscheinungsformen der Korrosion nach DIN 50900 sind:



interkristalline Korrosion

- § liegt vor, wenn im Gefüge der Metalle an Korngrenzen infolge elektrochemischer Einflüsse Materialzersetzung auftritt und damit Verminderung der Festigkeit verursacht wird



Flächenkorrosion

- § liegt vor, wenn metallischer Werkstoff von der Oberfläche annähernd gleichförmig abgetragen wird
- § diese Form ist auch Grundlage für Berechnung des Massenverlustes bei der Ermittlung der Korrosionsgeschwindigkeit



Lochfraßkorrosion

- § liegt vor, wenn kraterförmige, die Oberfläche unterhöhende oder nagelstichartige Vertiefungen auftreten
- § Tiefe der Lochfraßstellen ist meist größer als ihr Durchmesser

Übersicht, Teil II

Korrosionsschutz	Verschleißschutz
artfremd	
elektrolytisches / galvanisches Metallabscheiden	elektrolytisches Metallabscheiden
chem. Metallabscheiden	chem. Metallabscheiden
Anstrichbeschichten - Tauchen, Spritzen	phys. Abscheiden aus der Dampfphase (PVD)
Plastbeschichten - Wirbelsintern, elektrostatisch	chem. Abscheiden aus der Dampfphase (CVD)
thermisches Spritzmetallisieren - Metallspritzen; Lichtbogen-, Plasmaspritzen	thermisches Spritzen
Feuermetallisieren - Schmelztauchen	Auftragschweißen
Emaillieren	Ionenplattieren

Arten von Lacken

Pulverlacke
Klarlacke + Bindemittel
Nasslacke
Wasser- und Elektrotauchlacke

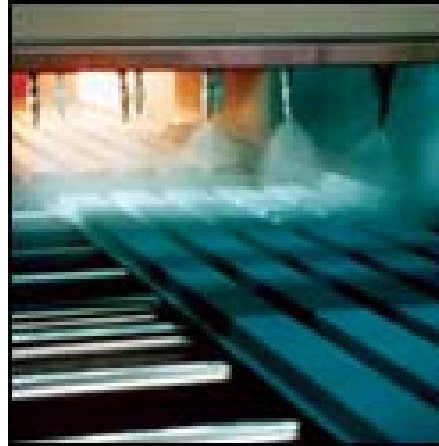
Verarbeitung von Lacken



Wirbelgesinterte Rohrbögen
<http://www.sit-salzgitter.de/>

- § lösungsmittelhaltig:
 - § Handpistole (airless, Druckluft, elektrostatisch)
 - § Automatikpistole (airless-elektrostatik, Luft-elektrostatik)
 - § Turbo-Automatikdüse
 - § Sprühglocke, Sprühscheibe, Sprühspalt
- § wasserhaltig:
 - § Wasserlacke; Verarbeitung wie lösungsmittelhaltige Lacke
 - § Elektrotauchlacke; anaphoretisches und kataphor. Tauchlackieren
- § Pulverlacke:
 - § Sprühtechnik, Wirbelsintern, Flammsspritzen

Moderne Pulverbeschichtungsanlagen



Korrosionsschutz	Verschleißschutz
artfremd	
elektrolytisches / galvanisches Metallabscheiden	elektrolytisches Metallabscheiden
chemisches Metallabscheiden	chemisches Metallabscheiden
Anstrichbeschichten - Tauchen, Spritzen	phys. Abscheiden aus der Dampfphase (PVD)
Plastbeschichten - Wirbelsintern, elektrostatisch	chem. Abscheiden aus der Dampfphase (CVD)
thermisches Spritzmetallisieren - Metallspritzen; Lichtbogen-, Plasmaspritzen	thermisches Spritzen
Feuermetallisieren - Schmelztauchen	Auftragschweißen
Emaillieren	Ionenplattieren

Galvanotechnik

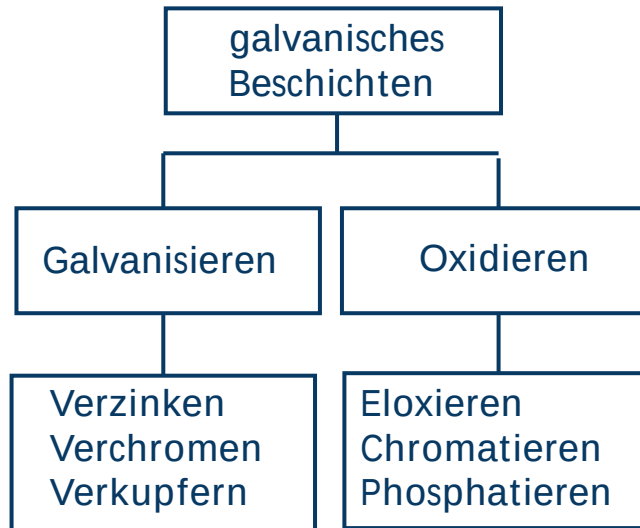
Galvanotechnik ist in Oberflächen- und Schichttechnik ein Überbegriff

- § beinhaltet im eigentlichen Sinne die **elektrochemischen**,
- § im erweiterten Sinne jedoch auch die **chemischen Verfahren** der

Metallabscheidung und Umwandlung von Metalloberflächen, inclusive Vor- und Nachbehandlung

Hierzu gehören:

- § Metallabscheidung ohne Stromquelle
- § Metallabscheidung mit Stromquelle
- § anodische Oxidation
- § chemische Abscheidung



Stromlos abgeschiedene Schichten - Merkmale

Abscheidung ohne äußeren Strom, mit Hilfe chemischen Reduktionspartner aus wässrigen Metallsalzlösungen
-> Hauptbestandteil: Salz des schichtbildenden Metalls
Vorteil: Werkstück muss nicht metallisch sein

Schichtwerkstoffe

Ni, Cu, Ag, Sn,
Schichtverbunde Ni-P, Ni-B Dispersionsschichten

Hauptverfahren:
chemisch Vernickeln: Verschleiß- und Korrosionsschutz
chemisch Verkupfern: Leitschichten

Merkmale

- § Ausbildung eines galvanischen Elementes aus Elektrolytlösung (Metall-Kationen)
- § Redoxreaktion; heterogene Katalyse
- § gleichmäßige und konturentreue Beschichtung, Toleranz $\pm 1\mu\text{m}$
- § jedoch komplizierte Badführung und
- § geringere Vielfalt als beim elektrolytischen Abscheiden

Elektrochemische Spannungsreihe [Bearbeiten]

(Standardpotenziale bei 25 °C und 101,3 kPa)

Element im Redox-
Paar,

dessen Oxidationsstufe

sich ändert

	Ox	+ z e ⁻	□ Red	Standardp
Sauerstoff (O)	S ₂ O ₈ ²⁻	+ 2e ⁻	↪ 2 SO ₄ ²⁻	+2,00 V
Sauerstoff (O)	H ₂ O ₂ + 2 H ₃ O ⁺	+ 2e ⁻	↪ 4 H ₂ O	+1,78 V
Gold (Au)	Au ⁺	+ e ⁻	↪ Au	+1,69 V
Gold (Au)	Au ³⁺	+ 3e ⁻	↪ Au	+1,42 V
Chlor (Cl)	Cl ₂	+ 2e ⁻	↪ 2Cl ⁻	+1,36 V
Sauerstoff (O)	O ₂ + 4 H ₃ O ⁺	+ 4e ⁻	↪ 6 H ₂ O	+1,23 V
Platin (Pt)	Pt ²⁺	+ 2e ⁻	↪ Pt	+1,20 V
Quecksilber (Hg)	Hg ²⁺	+ 2e ⁻	↪ Hg	+0,85 V
Silber (Ag)	Ag ⁺	+ e ⁻	↪ Ag	+0,80 V
Eisen (Fe)	Fe ³⁺	+ e ⁻	↪ Fe ²⁺	+0,77 V
Kupfer (Cu)	Cu ⁺	+ e ⁻	↪ Cu	+0,52 V
Schwefel (S)	S	+ 2e ⁻	↪ S ²⁻	+0,48 V
Eisen (Fe)	[Fe(CN) ₆] ³⁻	+ e ⁻	↪ [Fe(CN) ₆] ⁴⁻	+0,361 V
Kupfer (Cu)	Cu ²⁺	+ 2e ⁻	↪ Cu	+0,34 V
Kupfer (Cu)	Cu ²⁺	+ e ⁻	↪ Cu ⁺	+0,16 V
Zinn (Sn)	Sn ⁴⁺	+ 2e ⁻	↪ Sn ²⁺	+0,15 V
Wasserstoff (H₂)	2H⁺	+ 2e⁻	↪ H₂	0
Eisen (Fe)	Fe ³⁺	+ 3e ⁻	↪ Fe	-0,04 V

Zinn (Sn)	Sn ⁴⁺	+ 2e ⁻	↪ Sn ²⁺	+0,15 V
Wasserstoff (H₂)	2H⁺	+ 2e⁻	↪ H₂	0
Eisen (Fe)	Fe ³⁺	+ 3e ⁻	↪ Fe	-0,04 V
Blei (Pb)	Pb ²⁺	+ 2e ⁻	↪ Pb	-0,13 V
Zinn (Sn)	Sn ²⁺	+ 2e ⁻	↪ Sn	-0,14 V
Nickel (Ni)	Ni ²⁺	+ 2e ⁻	↪ Ni	-0,23 V
Cadmium (Cd)	Cd ²⁺	+ 2e ⁻	↪ Cd	-0,40 V
Eisen (Fe)	Fe ²⁺	+ 2e ⁻	↪ Fe	-0,41 V
Nickel (Ni)	NiO ₂ + 2 H ₂ O	+ 2e ⁻	↪ Ni(OH) ₂ + 2 OH ⁻	-0,49 V
Zink (Zn)	Zn ²⁺	+ 2e ⁻	↪ Zn	-0,76 V
Wasserstoff	2 H ₂ O	+ 2e ⁻	↪ H ₂ + 2 OH ⁻	-0,83 V
Chrom (Cr)	Cr ²⁺	+ 2e ⁻	↪ Cr	-0,91 V
Mangan (Mn)	Mn ²⁺	+ 2e ⁻	↪ Mn	-1,18 V
Titan (Ti)	Ti ³⁺	+ 3e ⁻	↪ Ti	-1,21 V
Aluminium (Al)	Al ³⁺	+ 3e ⁻	↪ Al	-1,66 V
Titan (Ti)	Ti ²⁺	+ 2e ⁻	↪ Ti	-1,77 V
Magnesium (Mg)	Mg ²⁺	+ 2e ⁻	↪ Mg	-2,38 V

Bedingungen

1. Potentialunterschied vorhanden
2. Elektronenaustausch möglich
3. Gesamter Prozess katalysierbar

Metallsubstrate

elektrochemisch unedler als der Schichtstoff
à Ionenaustauschverfahren
elektrochemisch edler als der Schichtstoff
à Reduktionsverfahren (am häufigsten)
à Kontaktverfahren
à kurzer kathodischer Stromstoß

Nichtmetallsubstrate

Ionogenes Aktivieren
à Erzeugung leitfähiger Schichten durch „Bekeimen“ mit
Edelmetalllösungen, z.B. Palladiumchlorid PdCl_4
= aktiver Bereich, in dem Reduktion von Me-Kationen möglich ist
Kolloidales Aktivieren
à dispergierte Edelmetallkolloide werden adsorbiert
= aktiver Bereich

Elektrolytisch abgeschiedene Schichten - Merkmale

Schichten werden

- § in meist **wässrigen Metallsalzlösungen** („Elektrolyte“) unter Zuhilfenahme einer
- § **äußeren Stromquelle** erzeugt, das
- § **Bauteil** ist als **Katode** gepolt, **Anode** enthält **Schichtwerkstoff**
- § Ionenbewegung in der Lösung ist mit Materialtransport verbunden
- § Entladung bei Auftreffen auf Elektrode → Abscheiden des Metalls

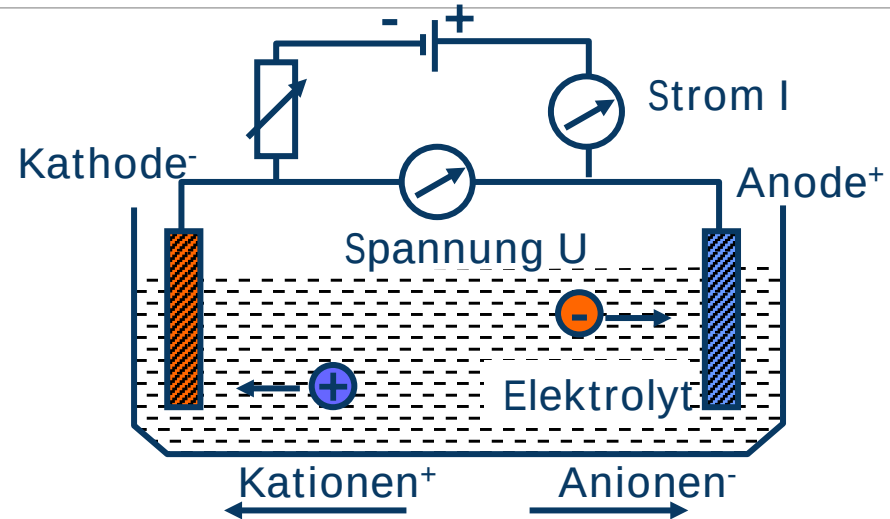
Schichtwerkstoffe

Metalle: Cr / Ni / Fe / Co / Cu / Al / Ag / Cd / Sn / Pb

Legierungen: binär Messing, Bronze, Blei-Zinn
ternär Cu-Cr-Ni, Cu-Sn-Zn, Sn-Cu-Pb

Dispersionsschichten: Hartstoffe oder Gleitstoffe im Metall
z.B. Ni+SiC, Co+Cr₃C₂

Galvanisch - elektrolytisches Metallabscheiden



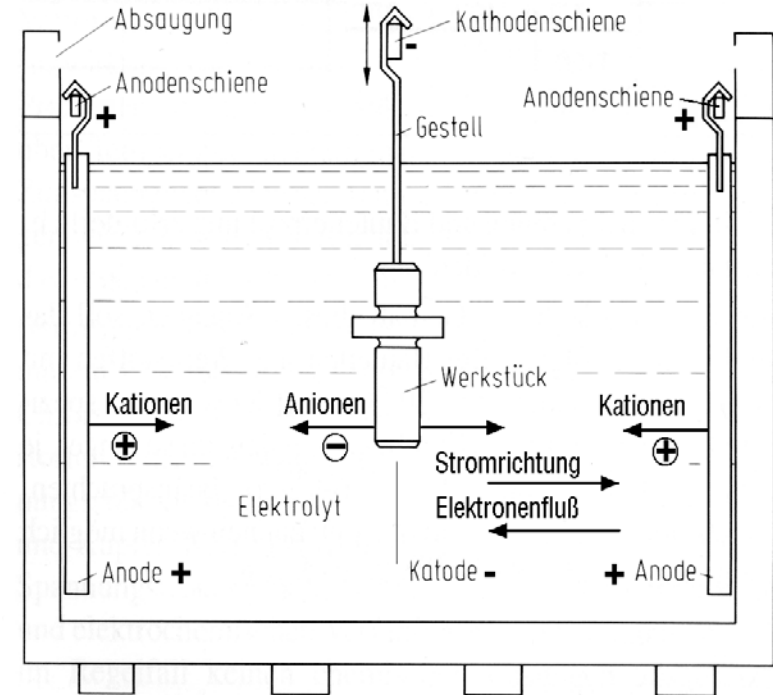
Wanderungs- und Anlagerungsbewegung von Kationen in wässriger Lösung

Quelle der Kationen:

- Anode, die in Lösung geht
- ionisierter Elektrolyt
 - à angelegte Spannung bewirkt Wanderung der Kationen
 - à Niederschlag der Kationen auf der Kathode
 - à Bedingung: Werkstücke sind metallisch leitend oder metallisiert
 - à theoretisch: jedes Metall abscheidbar
 - à praktisch: nicht jedes Metall auf jedem abscheidbar (edel / unedel)
 - à Zwischenschichten erforderlich

Galvanisches Bad

Anode :
 $\text{Me} - 2\text{e}^- \rightarrow \text{Me}^{++}$
 $(2\text{OH}^- - 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2} \text{O}_2)$



Kathode :
 $\text{Me}^{++} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Me}$
 $(2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{H})$

Galvanische Elektrolyte

Grundbestandteile

- § Metallträger
- § Lösungsmittel
- § Komplexbildner
- § Salze zur Verbesserung der Anodenlöslichkeit
- § Puffersubstanzen
- § Substanzen zur Erhöhung der Leitfähigkeit
- § Glanzbildner
- § Einebner
- § Substanzen zur Verringerung der inneren Spannungen
- § Netzmittel (Tenside)

zu beachten

- § ungewollter Einbau von Wasserstoff führt zu Werkstoffversprödung!
- § Schichten an Spitzen und Kanten dicker als auf Fläche

Quelle: Buch V. Schmidt

Spannungsverluste in Elektrolyten

Zur Gewährleistung eines hohen Stromflusses durch den Reaktor sollte die Wanderungsgeschwindigkeit der Ladungsträger hoch, also der Widerstand des Elektrolyten R_{El} möglichst gering sein.

à stoffspezifische Größe zur Charakterisierung der Ionenbeweglichkeit:

ionische Leitfähigkeit k (Werte 0,05 ...4,5 S/cm bzw. W^{-1}/cm für Flüssigkeiten)

à für zwei Elektroden mit der Fläche A und dem Abstand d , an die von außen eine Spannung U angelegt wird, gilt:

$$k = \frac{d}{A} \times L \quad \text{mit } L \text{ als Leitwert eines Leiters bzw. Kehrwert des Widerstandes } R_{\text{El}}$$

$$L = \frac{1}{R_{\text{El}}} = k(T, c) \times \frac{A}{d}$$

(k ist zusätzlich von Temperatur T und Konzentration c des Elektrolyten abhängig)

- § Stromfluss durch einen Elektrolyten verursacht wegen begrenzter ionischer Leitfähigkeit einen **Spannungsverlust** DU_{IR} in Zelle bzw. Reaktor → auch als **Überspannung** h_{IR} bezeichnet

$$DU_{IR} = h_{IR} = I \times R_{EI}$$

$$DU_{IR} = h_{IR} = \frac{I \cdot d}{A \cdot k(T,C)} = \frac{j \cdot d}{k(T,C)} : \text{wichtige Ausgangsgleichung für die Konstruktion eines elektrochemischen Reaktors – Spannungsverluste geringer, wenn spezifische Leitfähigkeit mögl. hoch und Elektrodenabstand mögl. gering sind}$$

dazu Beispiel 4

- Praxis:
- Säuren oder Laugen hoher Konzentration
 - Betriebstemperaturen bei 20-80°C
 - Elektrodenabstand oft < 1cm

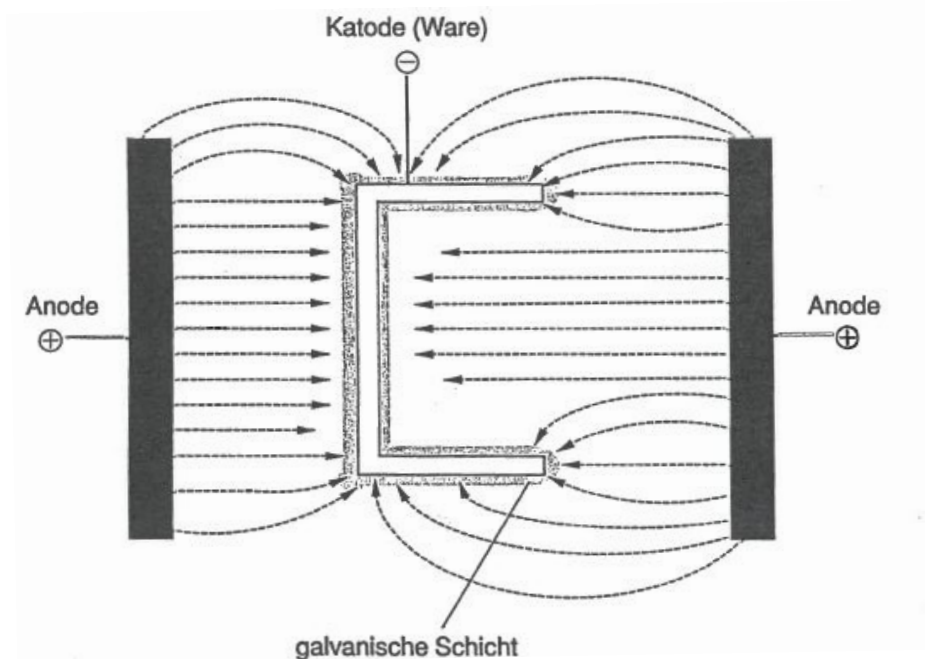


Galvanik Leiterbildaufbau

die im Fotoresist frei entwickelten Leiterbahnen und Pads werden in den galvanischen Kupferbädern auf ca. 35µm aufgekupfert und mit einer ca. 6µm -10µm dicken Zinnschicht versehen, die beim anschließenden Ätzen die Leiterbahnen und Pads schützt



- § auf realer Werkstückoberfläche scheidet sich Metallschicht nicht gleichmäßig ab
- § Schichtdickenunterschiede sind umso ausgeprägter, je stärker Gegenstand profiliert ist, Kanten weisen hohe Schichtstärke auf, Hohlräume werden nicht beschichtet (siehe Anforderungen an Elektrolyten)
- § Ursache: Stromdichteverteilung auf der Werkstückoberfläche
 - à Kanten: hohe Stromdichte
 - à Hohlraum: Abschirmung



Anforderungen an den Elektrolyten (wässrige Lösungen)

Hauptanforderungen „Metallverteilung“

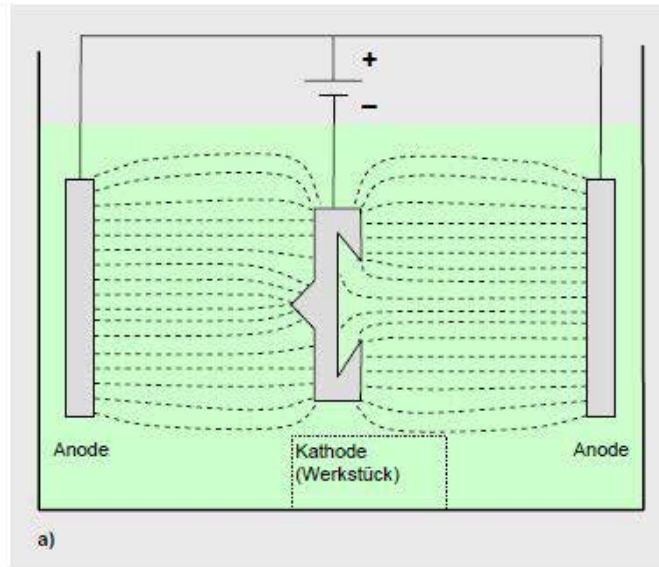
1. Streufähigkeit – Eigenschaft, die Abscheidung des Metalls unabhängig vom Abstand zur Anode bzw. von der lokalen Stromdichte gleichmäßig erfolgen zu lassen
2. Deckfähigkeit - Vermögen, bei geringer lokaler Stromdichte noch zu beschichten; eine Metallabscheidung auch in Bohrungen u. ä. zu ermöglichen
3. Einebnung –Vermögen, bestehende Oberflächenrauigkeiten vermindern bzw. Mirkorauhigkeiten einebnen zu können

weitere Faktoren:

Glanzgrad; Duktilität des Überzugs, Härte, Spannungen, Porigkeit, elektrische Oberflächenleitfähigkeit, Haftfestigkeit, Mikrorissaufreten,...

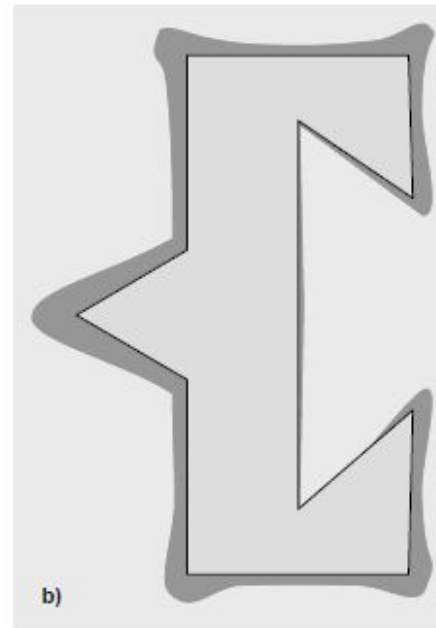
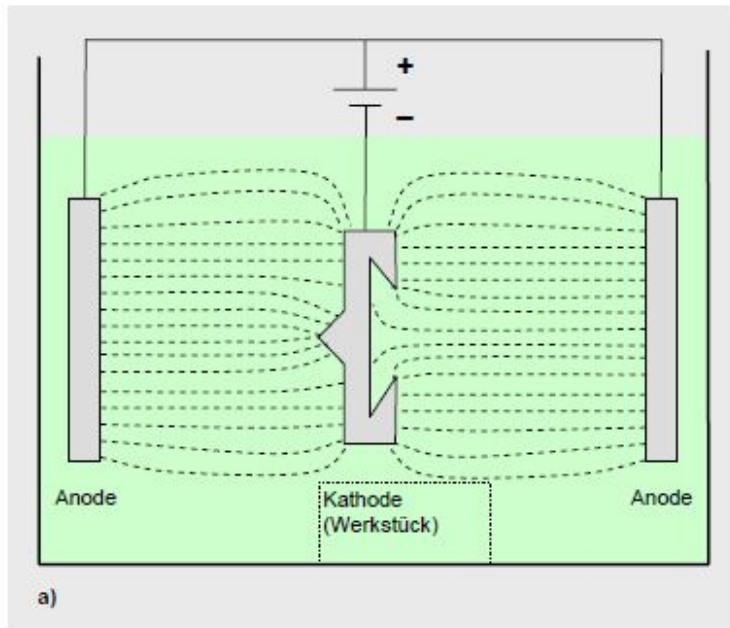
- § die für galvanische Bäder einzusetzenden Elektrolyte werden im allgemeinen bei Fachfirmen chemisch komponiert
- § dabei spielt die mit hohem Aufwand verbundene analytische Überwachung der Bäder eine große Rolle

- § auf einer realen Werkstückoberfläche scheidet sich Metallschicht nicht gleichmäßig ab
- § Schichtdickenunterschiede sind umso ausgeprägter, je stärker der Gegenstand profiliert ist, Kanten weisen eine hohe Schichtstärke auf, Hohlräume werden nicht beschichtet (siehe Anforderungen an Elektrolyten)
- § Ursache: Stromdichteverteilung auf der Werkstückoberfläche



a) Stromlinienverlauf im Elektrolyten

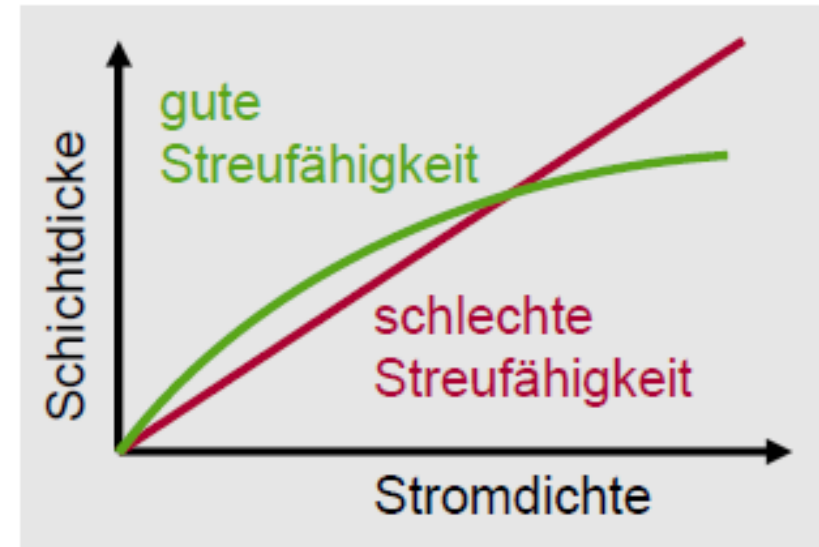
- § auf einer realen Werkstückoberfläche scheidet sich Metallschicht nicht gleichmäßig ab
- § Schichtdickenunterschiede sind umso ausgeprägter, je stärker der Gegenstand profiliert ist, Kanten weisen eine hohe Schichtstärke auf, Hohlräume werden nicht beschichtet (siehe Anforderungen an Elektrolyten)
- § Ursache: Stromdichteverteilung auf der Werkstückoberfläche



- a) Stromlinienverlauf im Elektrolyten
- b) Metallschichtverteilung nach dem Galvanisieren

Vorteile guter Streufähigkeit

- § Materialeinsparung durch Vermeiden zu hoher Schichtdicken an exponierten Stellen
- § Gewährleistung der Maßhaltigkeit
- § gute Verformbarkeit der Bauteile
- § keine Fehlstellen durch Rücklösung beim Passivieren
- § kürzere Expositionszeit zur Erzielung einer Mindestschichtdicke
- § zu hohe Schichtdicken führen zu spröden Schichten



Steuerung der Kathodenpolarisation beim galvanischen Verzinken

- § Erhöhung der Diffusionsüberspannung
- § durch Herabsetzen der Zink-Konzentration
- § durch Erniedrigung der Temperatur

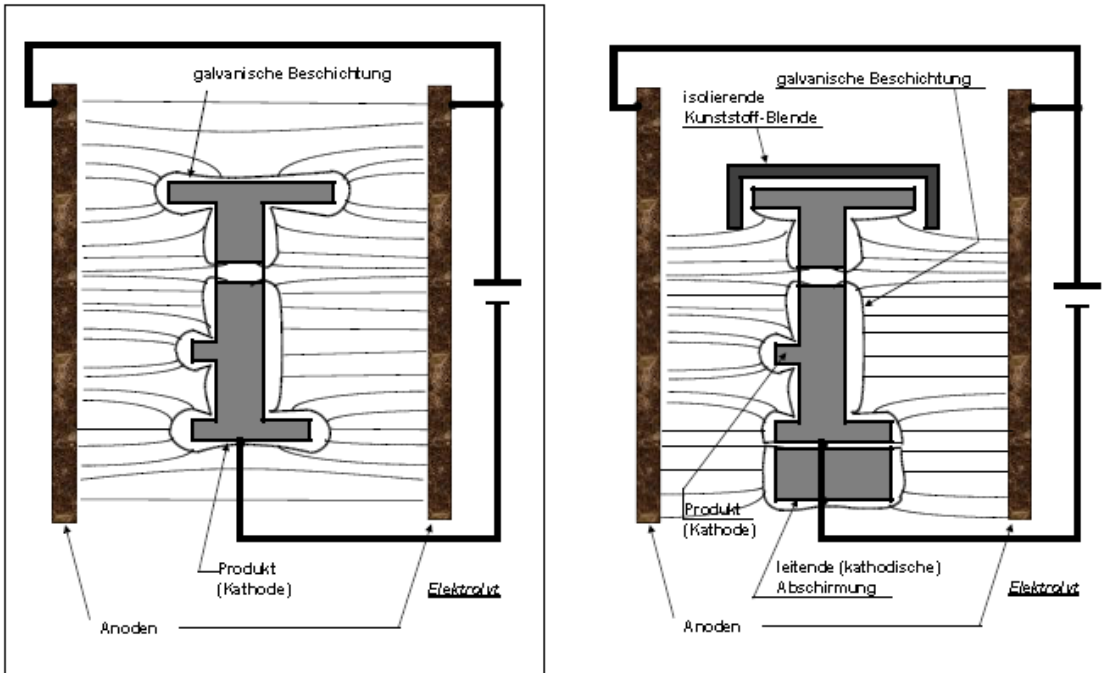
Organische Additive zur Erhöhung der Streufähigkeit in alkalischen Zinkelektrolyten

- § Bildung eines Deckfilmes auf der Kathodenoberfläche, der die Polarisation erhöht
 - à Hemmung der Durchtrittsreaktion

geeignete organische Additive (kationische Polymere) wirken bevorzugt im Bereich hoher Stromdichte à daher wird der Wirkungsgrad nicht wesentlich beeinträchtigt

Minderung des Kanteneffektes

- § entsprechende Anordnung der Beschichtungsteile im Bad
- § zusätzliche Abschirmungen und Blenden, die das elektrische Feld entspr. beeinflussen



Quelle: P. Winkel, Zeitschrift
Metalloberfläche



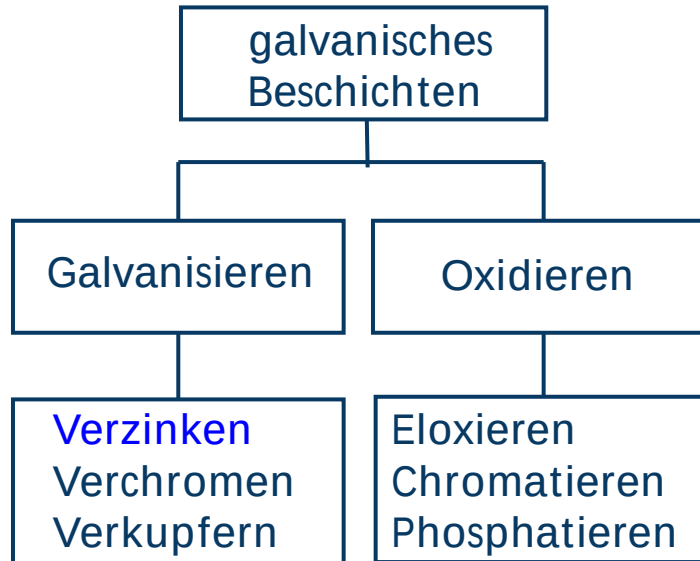
Abschirmvorrichtungen im Siemens-Schaltwerk zur partiellen Versilberung von Kontaktrohren

Elektrolytische Abscheidung gegenüber stromloser Abscheidung

- + höhere Abscheidungsrate
- + wesentlich größere Auswahl an Abscheidungsmetallen und -legierungen
- + Lebensdauer der Elektrolytlösungen viel höher
- + Prozess über Stromdichte steuerbar → Eigenschaften beeinflussbar (z.B. Schichtdicke, Strukturierung)
- + kleine Kerben einebenbar → Vorbehandlung weniger aufwändig
- geringere Streufähigkeit → Gleichmaß an ungleichmäßigen Geometrien schlechter möglich
- bevorzugt Zugeigenspannungen → Rissanfälligkeit
- keine amorph-feinkristallinen Schichten → Eigenschaften schlechter
- keine nichtmetallischen Substrate

beide Verfahren ergänzen sich in Vor- und Nachteilen und sind etwa gleichwertig

Galvanotechnik



Galvanotechnik gehört zur Oberflächen- und Schichttechnik und beinhaltet

- § die elektrochemischen und
- § die chemischen Verfahren

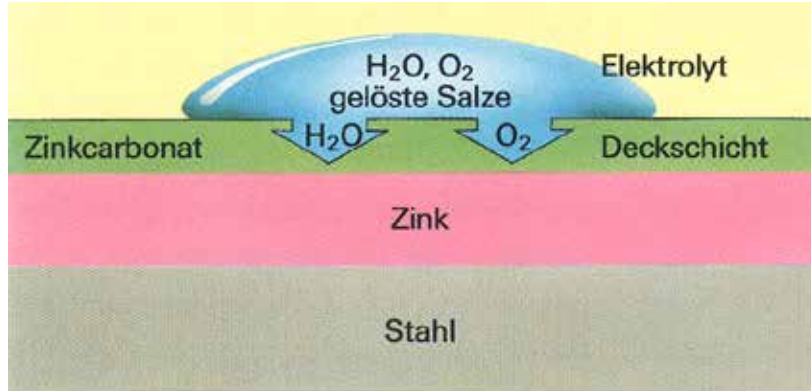
der Metallabscheidung und Umwandlung von Metalloberflächen, inklusive der Vor- und Nachbehandlung

hierzu gehören die

- § Metallabscheidung ohne Stromquelle
- § Metallabscheidung mit Stromquelle
- § anodische Oxidation
- § chemische Oxidation
- § Phosphatieren

Begriffsgleichheit:	Feuermetallisieren / Schmelztauchen Metall wird in Schmelze getaucht
Werkstoffe	Zn, Al, Sn, Pb (alle niedrigschmelzend)
Technolog. Besonderheit	Verwendung eines Flussmittels, welches die Oberfläche aktiviert Lebensdauer ~ Schichtdicke (Anstrich: $t_L \sim d^2$) am Ende Lagerung in O ₂ -freier Atmosphäre à Bildung von Passivschichten
Grundwerkstoffe	un- und niedriglegierter Stahl (hauptsächlich) Gusseisen hochlegierter Stahl Cu, Al (Messing, Bronze)
Anwendung	außerordentlich häufig: mehrere Millionen Tonnen/Jahr weltweit > 90% davon verzinkt Aluminium: Tendenz steigend

Korrosionsschutzwirkung

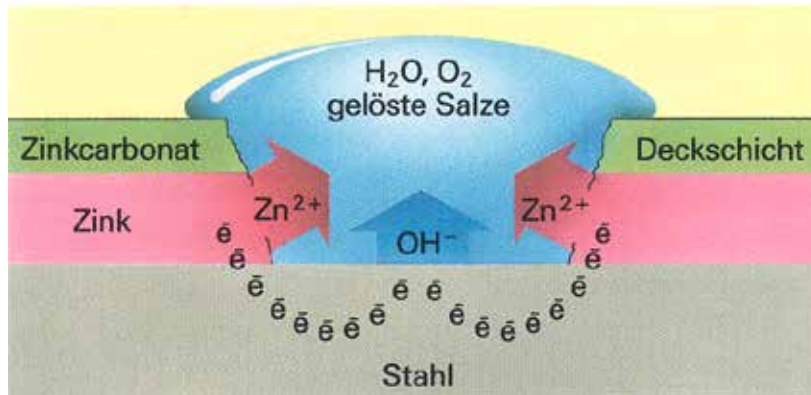


1. Ausbildung einer Carbonat-Passivschicht an der Atmosphäre

frühes Stadium des korrosiven Angriffs

Penetration der Deckschicht durch Cl^- -haltigen Elektrolyt

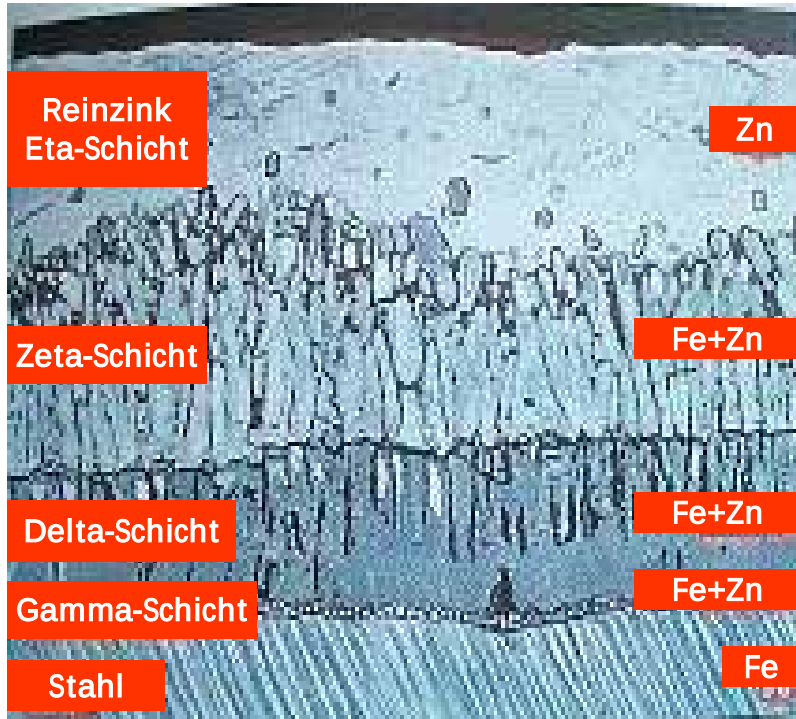
Barrierewirkung des Zn-Überzugs



spätes Stadium des korrosiven Angriffs

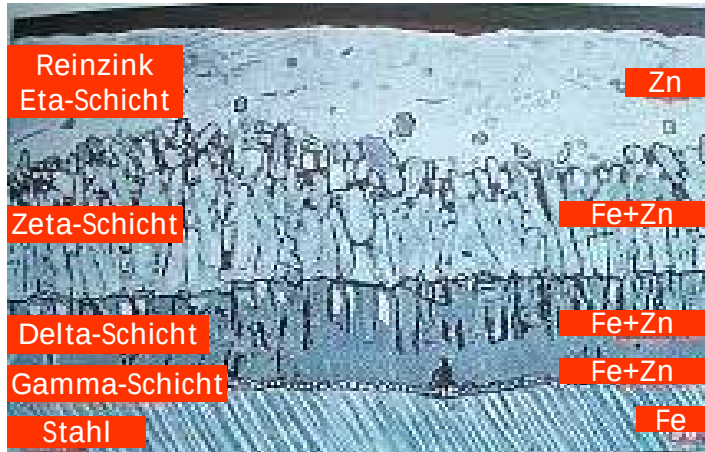
2. Wirkung des Zn-Überzugs als Opferanode

kathodischer Schutz des Stahls



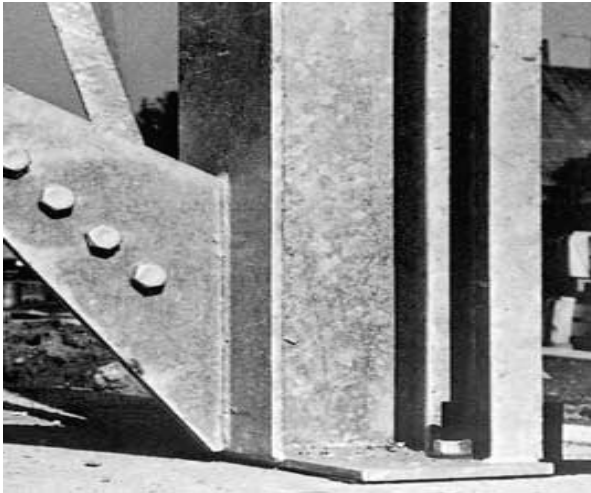
Metallurgische Vorgänge bei der Feuerverzinkung

- § Feuerverzinkung erfolgt üblicherweise bei 450°C
- § bei dieser Temperatur bilden sich beginnend auf der Stahloberfläche die Zink-Eisen-Legierungsschichten Gamma, Delta und Zeta
- § Gammaschicht ist sehr dünn und wäre bei korrektem Maßstab in der Abbildung nicht zu erkennen
- § auf der Außenseite in der Regel eine Reinzinkschicht vorhanden



Schicht	Eta	Zeta	Delta	Gamma
Bezeichnung	Reinzinkschicht	Legierungsschicht	Palisadenschicht	Haftschicht
Zusammensetzung	Zn	FeZn_{13}	FeZn_7	$\text{Fe}_5\text{Zn}_{21}$
Eisengehalt in %	-	5,8 – 6,2	7 - 12	21 – 28
Kristallstruktur	hexagonal	monoklin	hexagonal	kubisch
Dicke in μm	8 - 12	7 - 20	30 - 40	1 - 2
Eigenschaften	zäh	hart, spröde	hart, spröde	starke Adhäsion

Metallurgische Vorgänge bei der Feuerverzinkung



typ. Zinkblumenstruktur
(Außenpfeiler Lagerhalle)

Phänomen beim Feuerverzinken:

- § die einzelnen Kristalle der Eisen-Zink-Legierungsschichten wachsen senkrecht zur Stahloberfläche
- § an Ecken und Kanten öffnen sich Legierungsschichten deshalb fächerförmig, und Zwischenräume füllen sich mit Zink
- § durch Stückverzinken hergestellte Zinküberzüge sind deshalb im Regelfall an Ecken und Kanten mindestens ebenso dick wie auf den angrenzenden Flächen, bei reaktionsfreudigen Stahlsorten sind sie dort häufig sogar dicker

Kristallisation:

- § abhängig von Schmelze, Abkühlung, mechan. Nachbehandlung
- § Ziel: „zinkblumen“-frei
- § Schmelzzusätze von Spurenelementen: Pb, Bi, Sn, Al, Cu, Sb
- § Anblasen mit Wasserdampf, Luft, Wasser à hohe Keimzahl
- § Nachwalzen der Schicht

Einteilung nach Form

a) Stückgutverzinken:

Schichtdicken 40 – 140 μm

b) Blech- bzw. Bandverzinken: Schichtdicken 20 – 30 μm ,
da Zn-Schicht mit verformungsfähig sein muss

Einteilung nach Technologie

Trockenverzinkung

Nassverzinkung

Sendzimirverfahren



Feuerverzinken von Stückgut 1921

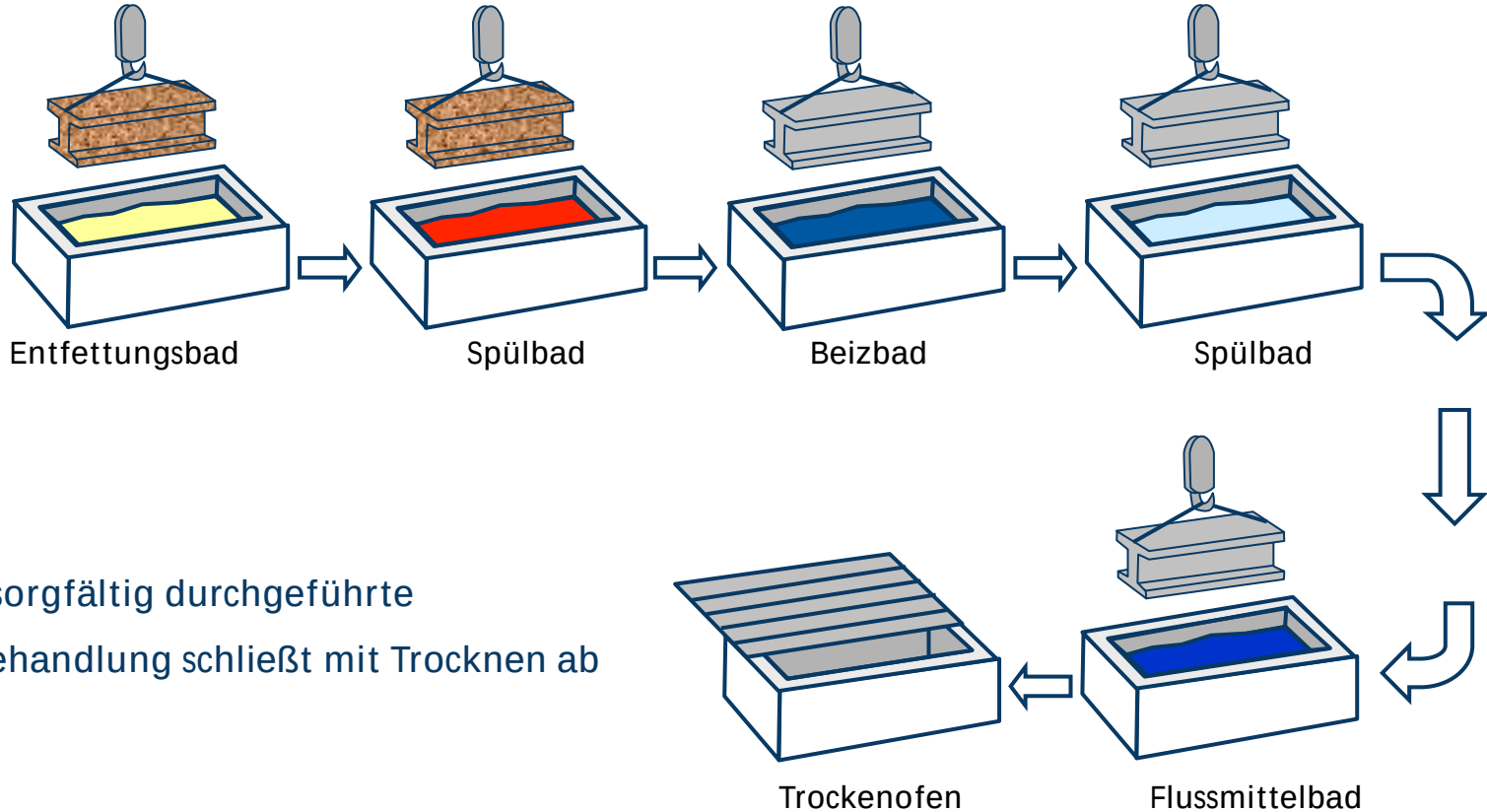


Kontinuierliche feuZn-Anlage für Stückgut 1951



[Verzinkerei Wettingen]

Verfahrensschritte beim Stückverzinken: Vorbehandlung



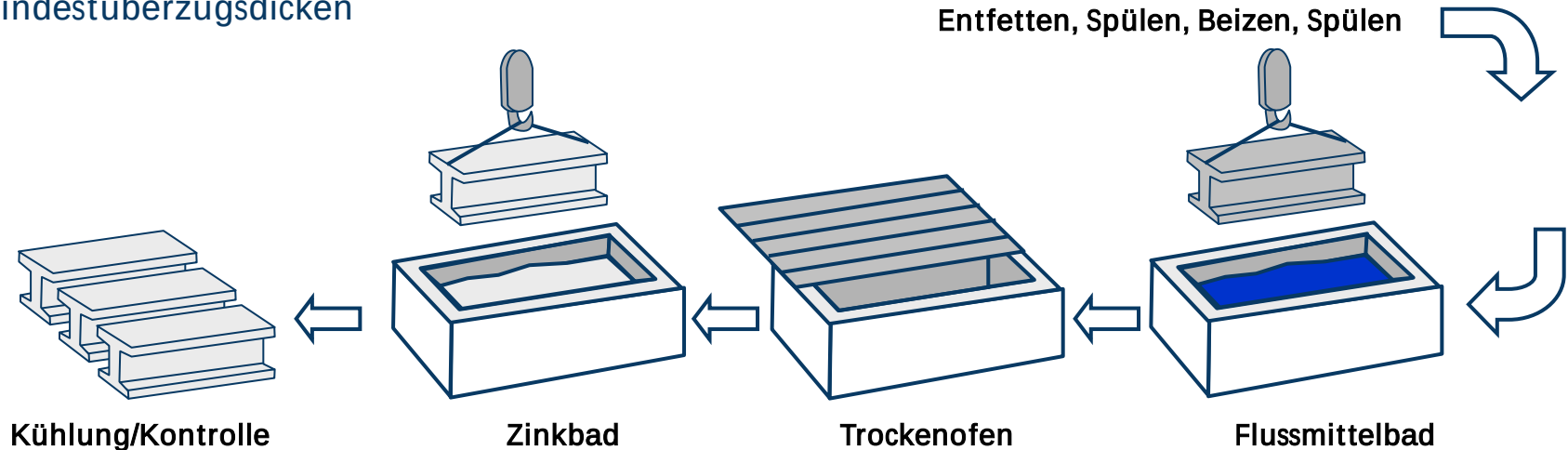
Trocknen

§ eine sorgfältig durchgeführte
Vorbehandlung schließt mit Trocknen ab

Verfahrensschritte beim Stückverzinken

Feuerverzinken

- § Tauchen des Verzinkungsgutes in die flüssige Zinkschmelze
- § Betriebstemperatur eines Verzinkungsbades: 440°C bis 460 °C
- § nach dem vollständigen Eintauchen des Verzinkungsgutes verbleiben Teile im Zinkbad mindestens so lange, bis sie die Temperatur des flüssigen Zinks angenommen haben
- § Tauchzeit abhängig der Konstruktion und der Materialdicke des Werkstückes
- § Herausziehen des Verzinkungsgutes aus der Zinkschmelze
- § die Zinkschichtdicke abhängig von der Stahlsorte, der Badtemperatur und der Tauchzeit DIN 50976: Mindestüberzugsdicken



Zusatzbehandlungen

Zn korrodiert selbst sehr langsam, aber Ausbildung einer dichten, fest haftenden, dunkelgrauen Deckschicht (Zinkpatina) notwendig.

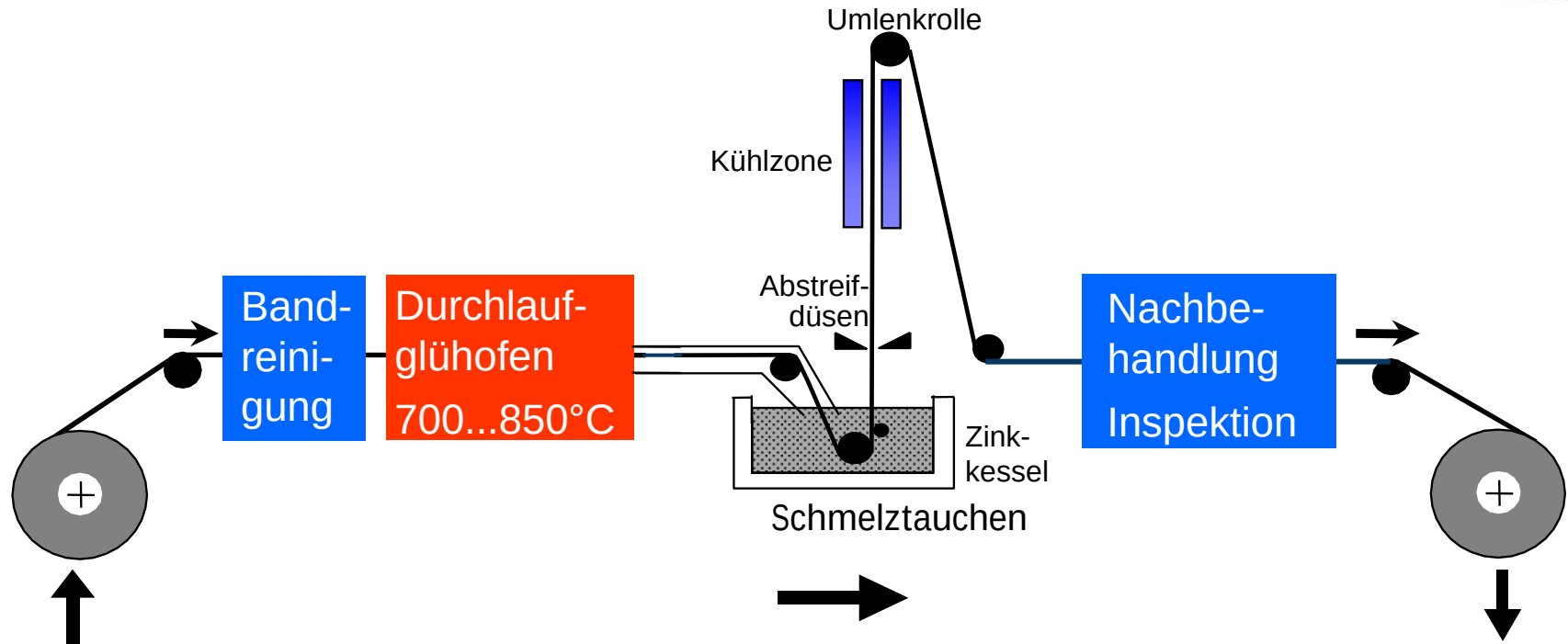
à Zinkcarbonat

durch einfaches Verzinken Schutz bei Kratzern und an Schnittflächen

zur weiteren Steigerung des Korrosionsschutzes zusätzlich:

- § organische Deckschicht 10-15µm
- § erhöhte Zinkschichtdicke
- § Überzug aus einer Al-Zn-Legierung (55%Al) à erhöhter Schutz vor Bewitterung
- § Chromatieren der Oberfläche

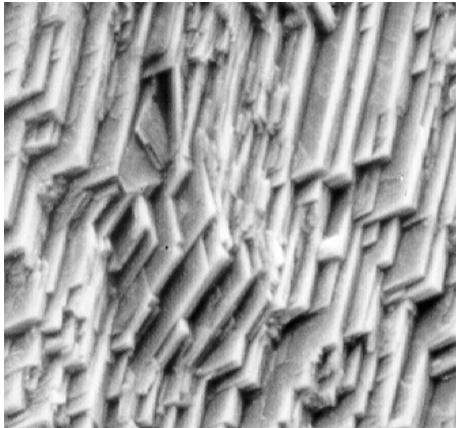
Schmelztauchverfahren: Bandbeschichten



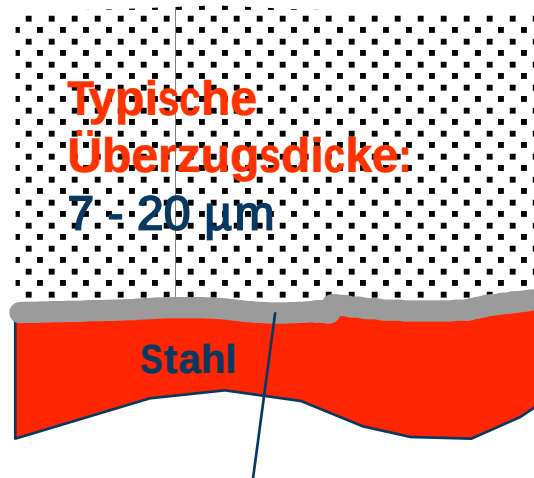
Schmelztauchverfahren: Bandbeschichten

Feuerverzinktes Feinblech

- § Barrierewirkung
- § kathodische Schutzwirkung



REM-Aufnahme von
elektrolytisch erzeugter
Zn-Schicht



Typische
Überzugsdicke:
7 - 20 μm

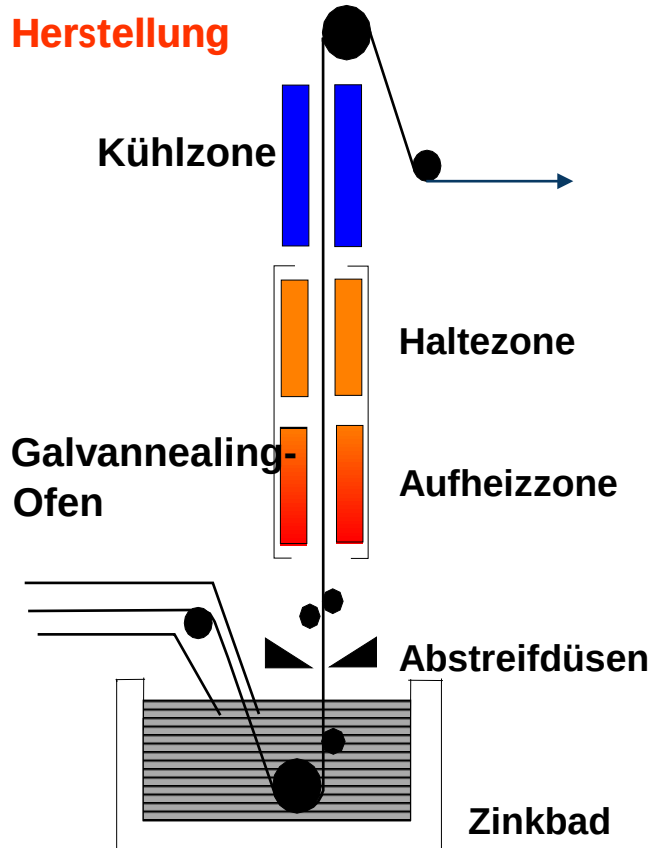
Zusammensetzung des Überzuges:

min. 99 mass.-% Zn
0,1 - 0,25 mass.-% Al
0,001 - 0,3 mass.-% Pb

Al₅Fe₂-Zwischenschicht (Dicke: einige 10 nm bis 300 nm)

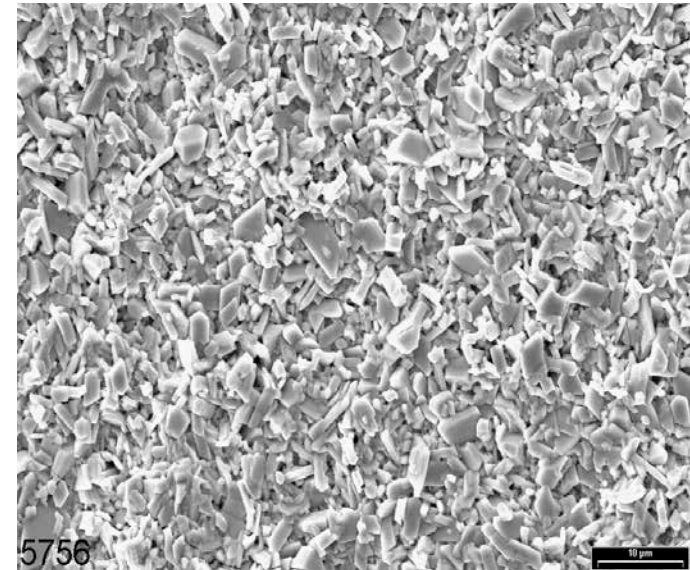
Galvanealed Feinblech

Herstellung



§ durch nachträgliche Verlängerung der Diffusionszeit wird eine einheitliche Zn/Fe-Schicht mit 7-12% Fe erzeugt

Oberfläche



§ gleichförmiger, feinkristalliner Zn-Fe-Überzug mit ca. 8 - 11 mass.-% Fe

Verzinken von Stahl- Feinblechband



Produktion

Stahlband	1 t Stahl entspricht 150 m ² Feinblech TKS: ca. 5 Mio t beschichtetes Feinblech/a = 750 Mio m ² /a
Verfahren	Zn (+X): Schmelztauchen, Galvanik organische Deckschicht: „Chem-Coating“
Anlagenparameter	Bandbreite 1,5 m Bandgeschwindigkeit » 3 m/s Flächengeschwindigkeit » 4 m ² /s
Zn-Beschichtung	Schichtdicke » 10 µm Zinkverbrauch/Anlage » 4000 t/a

Bandbeschichtungs-Pilotanlage mit modularem Aufbau

im Dortmunder Oberflächen Centrum (DOC) bei Thyssen Krupp Stahl AG

Bandstahl:

Korrosionsschutz-Beschichtung
mittels (aktiviertem)
Aufdampfen und
Atmosphärendruck-CVD

Bandbreite: 300 mm
Banddicke: max. 0,7 mm
Bandgeschw.: max. 1 m/s
Anlagenlänge: ca. 80 m

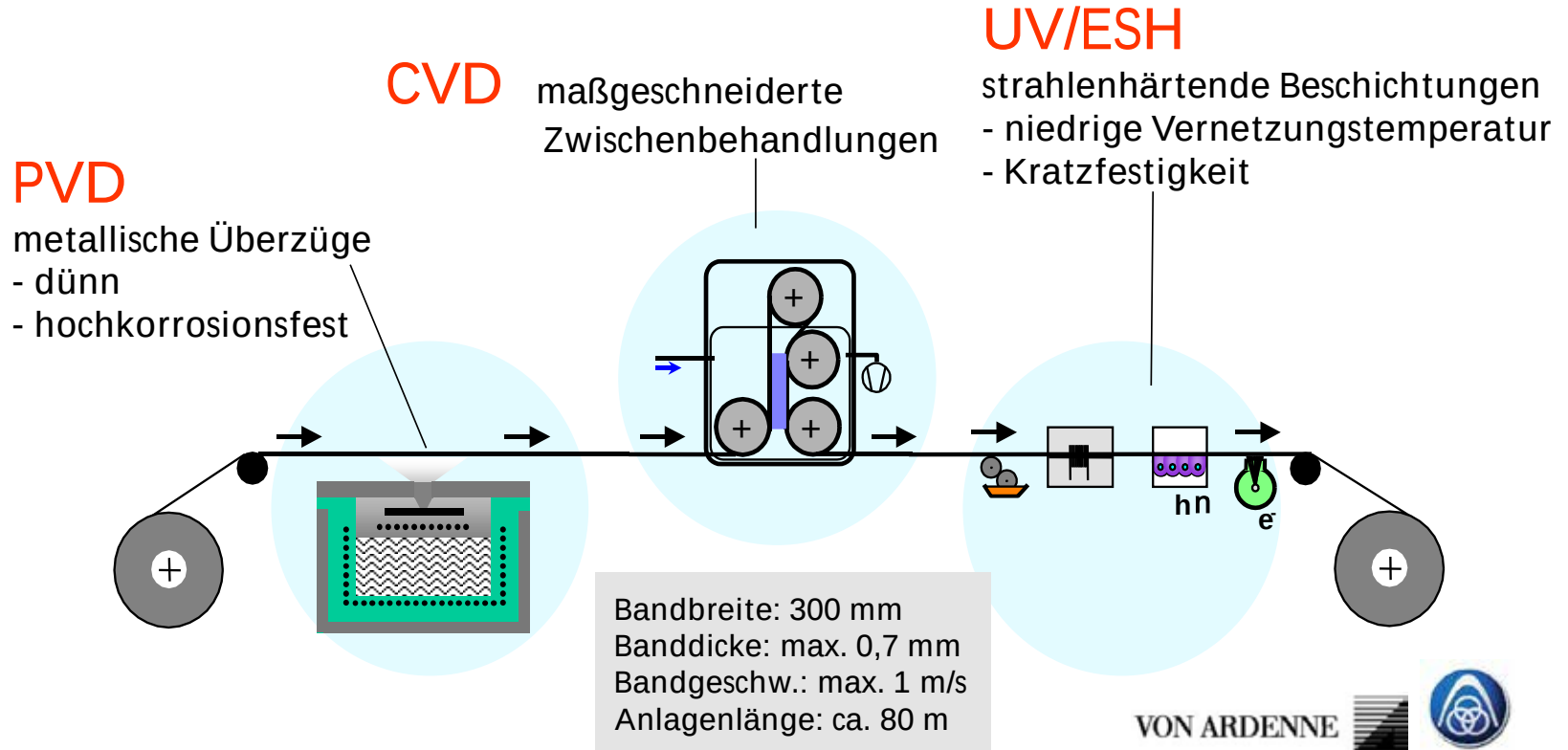


VON ARDENNE

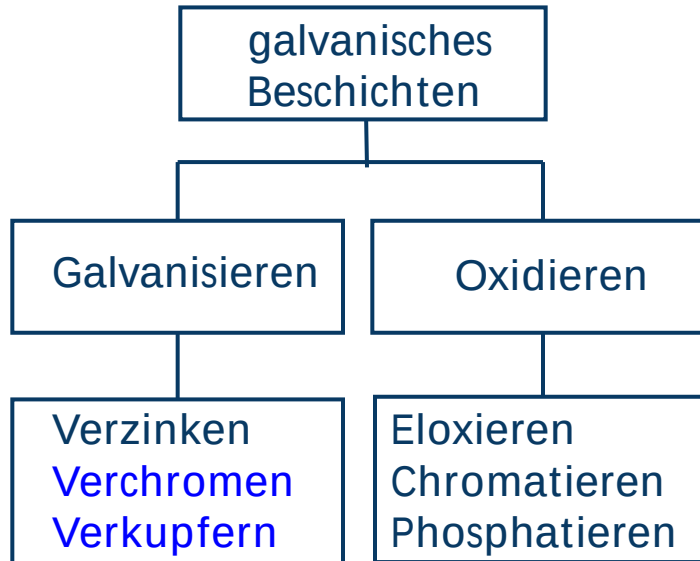


Bandbeschichtungs-Pilotanlage mit modularem Aufbau

im Dortmunder Oberflächen Centrum (DOC)



Galvanotechnik



Die Galvanotechnik gehört zur Oberflächen- und Schichttechnik und beinhaltet

- § die elektrochemischen und
- § die chemischen Verfahren

der Metallabscheidung und Umwandlung von Metalloberflächen, inklusive Vor- und Nachbehandlung

Hierzu gehören die

- § Metallabscheidung ohne Stromquelle
- § Metallabscheidung mit Stromquelle
- § anodische Oxidation
- § chemische Oxidation
- § Phosphatieren

Galvanisches Verchromen

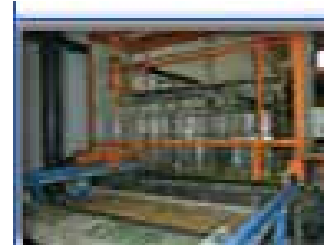
- § Korrosionsschutz (bes. bei höheren Schichtdicken)
- § Dekorationsschichten
- § Reparaturschichten zum Auf-Maß-Bringen von Bauteilen
- § Verschleißschutz als Alternative zum Einsatzhärten oder Nitrieren
 - à **Hartverchromung** (800 – 1200 HV)

Schichtaufbau/ Rissbildung

- § dekorative Cr-Schichten bis $0,5\mu\text{m}$ Schichtdicke rissfrei
- § $0,5$ bis $2,5\mu\text{m}$ Mikrorisse durch Zugspannungen
- § oberhalb $2,5\mu\text{m}$ Makrorisse bis zum Grundmaterial
- § oberhalb $20\mu\text{m}$ Risse durch neue Cr-Schicht wieder gedeckt



Wetzstahl



Fertigungstechnik I



Korrosionsschutz



Basis: **Ausbildung eines fest haftenden, passivierenden Oxidfilms**
jedoch:

Einfache Hartchromschichten wg. Rissnetzwerks ungeeignet

à Hartchrom- auf Ni-Schicht (Bsp. Schutz vor Meersalzkorrosion)

oder:

à Schichtdicke mind. 25-50 μm , da Schicht sich aus einzelnen Lagen mit jeweils eigenem Rissnetzwerk ausbildet - bei 300 μm Schichtdicke Korrosionsbeständigkeit wie bei Cr-Ni-Stahl

Oxidfilm

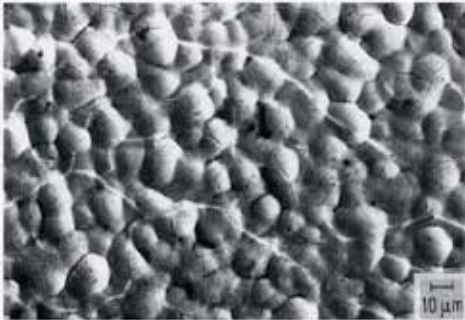
- § verhindert außerdem Adhäsion
- § vermindert den Reibungskoeffizienten
- § minimiert Benetzbarkeit mit Öl und
- § ist selbstregenerierend
- § wird bei $T < 320^\circ\text{C}$ dunkler und dicker
- § verfärbt sich bei noch höheren T grünschwarz bis schwarz



Grillplatte verchromt

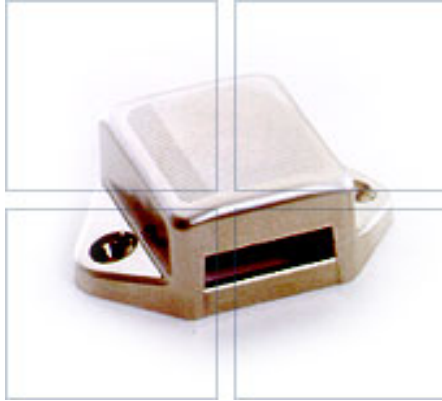
Eigenschaften von Hartchromschichten

- § Härte 800 – 1200 HV, Abfall ab 400°C
- § Schichtdicken bis zu 1mm, zunehmend spröde
- § beste Haftfestigkeit auf Stahl
- § Einsatz bis 450 °C, ab 600°C rasche Oxidation
- § optimaler Verschleißschutz bis 300°C, danach Verringerung
- § bei hochfesten Stählen Gefahr der Wasserstoffversprödung
Gegenmaßnahmen: vorher entspannen, nachher ausgasen
- § Cr-Schicht kann Bauteilfestigkeit vermindern
Gegenmaßnahmen: Verdichtungsstrahlen oder
Wärmebehandlung bei 400°C



Chromschicht (REM)

Beschichtungsbedingungen	→	mögl. Erscheinungsform
- Zusammensetzung des Elektrolyts		- glänzend und hart
- Stromdichte		- grau-matt, spröde
- Beschichtungstemperatur		- milchig-glatt, weich



Schlossgehäuse aus ABS-Kunststoff 10-15 μm verkupfert, 5-10 μm velours vernickelt



Schlossgehäuse aus PA-Kunststoff 10 - 15 μm vernickelt und verchromt - 10 - 15 μm verkupfert



Schlossgehäuse aus Zink-druckguss verkupfert 5-10 μm glanz und vernickelt 3-5 μm



Schaltsscheibe aus PA für Elektrogeräte. PA-Kunststoff mit 30% GF 20-25 μm verkupfert, matt vernickelt und verchromt

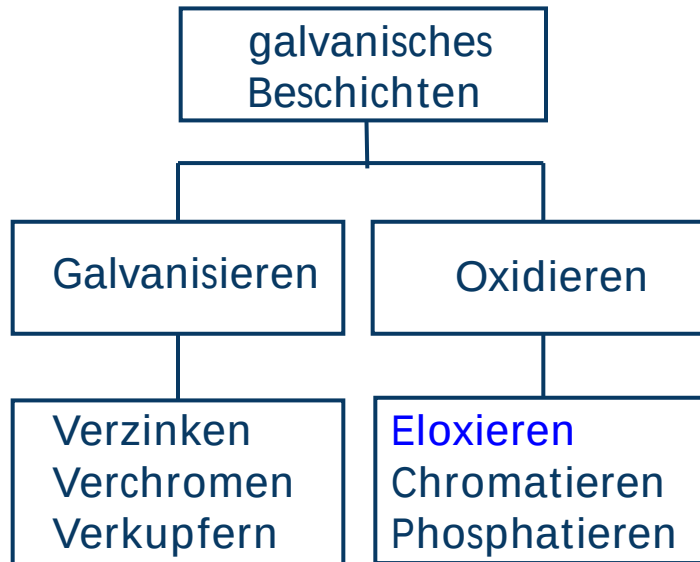


Feststellmutter für Brause aus ABS-Kunststoff. 10-15 μm Cu, 10-15 μm Ni und verchromt

<http://www.simongruppe.de>

Korrosionsschutz	Verschleißschutz
artfremd	
elektrolytisches / galvanisches Metallabscheiden	Elektrolytisches Metallabscheiden
chemisches Metallabscheiden	chemisches Metallabscheiden
Anstrichbeschichten -Tauchen, Spritzen	phys. Abscheiden aus der Dampfphase (PVD)
Plastbeschichten -Wirbelsintern, elektrostatisch	chem. Abscheiden aus der Dampfphase (CVD)
thermisches Spritzmetallisieren - Metallspritzen; Lichtbogen-, Plasmaspritzen	thermisches Spritzen
Feuermetallisieren - Schmelztauchen	Auftragschweißen
Emaillieren	Ionenplattieren

Galvanotechnik



Die Galvanotechnik gehört zur Oberflächen- und Schichttechnik und beinhaltet

- § die elektrochemischen und
- § die chemischen Verfahren

der Metallabscheidung und Umwandlung von Metalloberflächen, inklusive Vor- und Nachbehandlung

Hierzu gehören die

- § Metallabscheidung ohne Stromquelle
- § Metallabscheidung mit Stromquelle
- § anodische Oxidation
- § chemische Oxidation
- § Phosphatieren

Chemische und anodische Oxidbildung bei Aluminium

- § Aluminiumwerkstoffe werden durch Ausbildung einer Oxidschicht vor Korrosion geschützt
- § dickere Oxidschichten dienen als Dielektrikum bei elektrischen Kondensatoren
- § Aluminiumoxidschichten lassen sich ohne Lackanwendung einfärben



Der Begriff ‚Eloxal‘ oder ‚eloxieren‘ ist ein Akronym aus ‚Elektrolytische Oxidation des Aluminiums‘, also ein aus den Anfangsbuchstaben mehrerer Worte gebildetes Kurzwort.

Beispiel: Sportfußrasten der Motorradindustrie

Materialien
Ausführung

AlCuMgPb (geschmiedet)
ungebeizt mit Sonderverfahren für Cu-Gehalt >1,5%
eloxiert und anschließend mit unterschiedlichen Clariant-Pigmenten eingefärbt

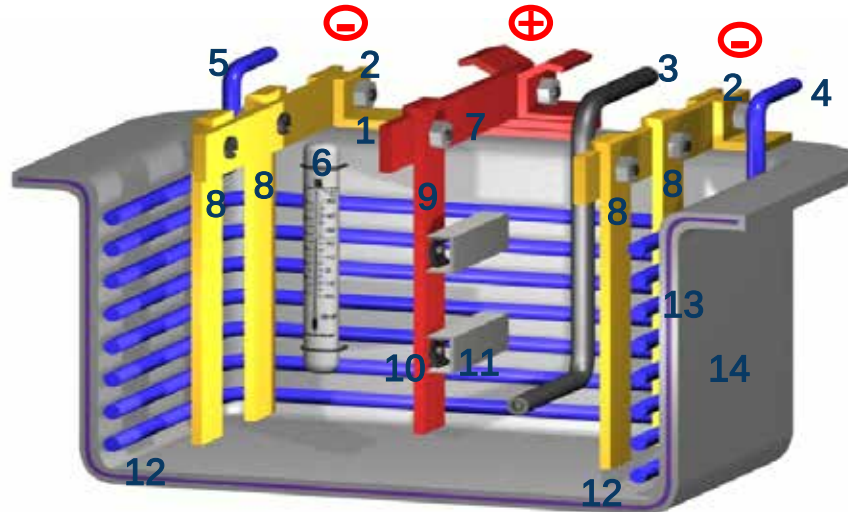
Verfahren

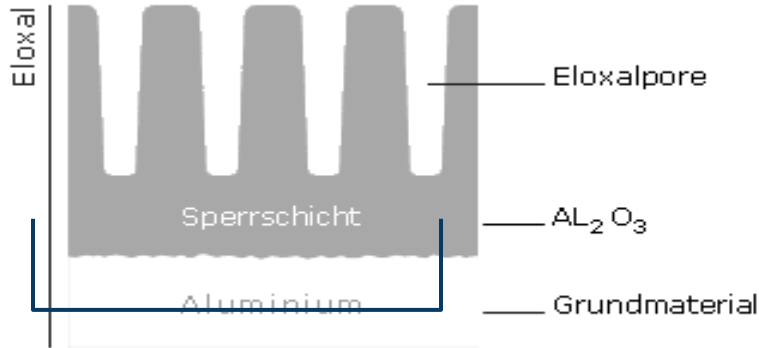
- § Al-Werkstück in gekühltem Bad als Anode geschaltet
- § beidseitig gegenüber stehen Katoden
- § Oxidation beginnt punktwise → flächig → Kanalstruktur
- § Schichtbildung endet, wenn el. Widerstand der Schicht nicht mehr überwunden werden kann

Schematische Darstellung einer Anodisierzelle

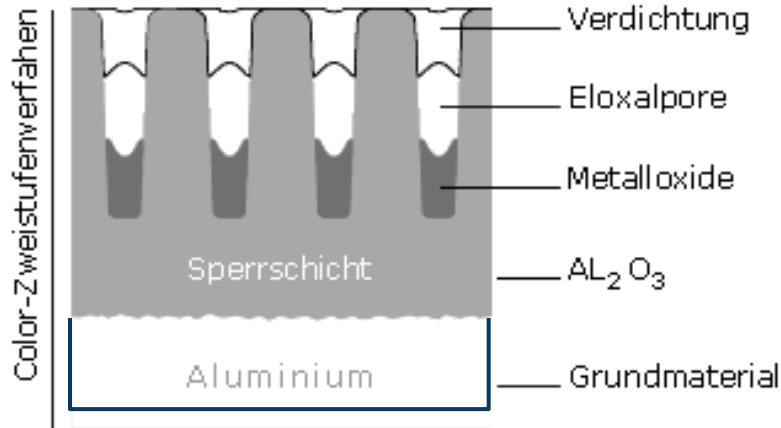
- 1 Anodenklemme;
- 2 Kathodenstange;
- 3 Luftzufuhr;
- 4 Kühlwassereintritt;
- 5 Kühlwasseraustritt;
- 6 Badthermometer;
- 7 Bauteilhalter (Anode);
- 8 Kathode;
- 9 Halterung;
- 10 Halteklemmen;
- 11 Aluminiumbauteile;
- 12 Kühlrohre;
- 13 Isolierung;
- 14 Stahlwanne

Quelle: Aluminium-Verlag





- § auf Aluminium entsteht beim anodischen Oxidieren (Eloxieren) eine Duplexschicht
- § bei anodischen Oxidation bildet sich zuerst eine eher dünne geschlossene Sperrschicht
- § mit zunehmender Verweildauer des Bauteiles im Bad wächst Schicht weiter an, es entstehen kapillarähnliche Poren
- § zunächst sind anodisch erzeugte Oxidschichten transparent, d.h. größte Teil des einfallenden Lichts wird nicht an Oberfläche der Oxidschicht, sondern an Grenzfläche zum Metall reflektiert, wodurch das metallische Aussehen beim Eloxieren erhalten bleibt



Einfärben

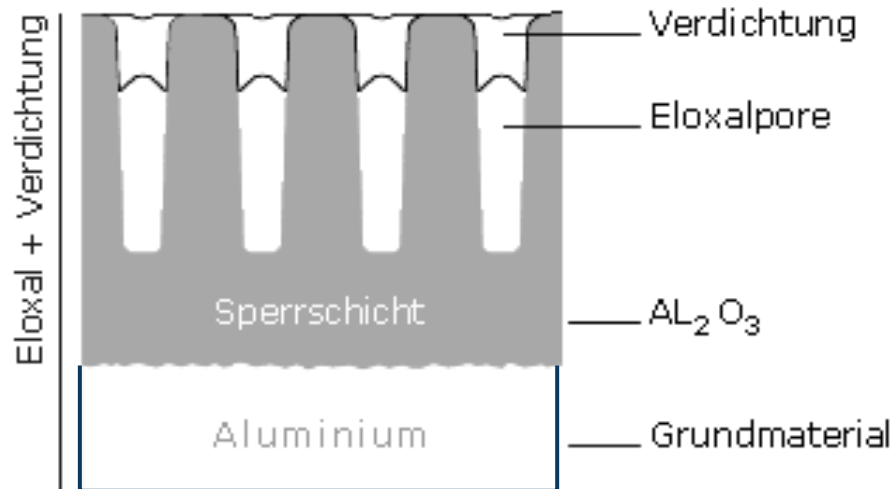
- § in offenporige Eloxalschicht können Metalloxide eingelagert werden, sie ergeben lichtbeständige Farbtöne, die in ihrer Helligkeit von hellbeige über bronze bis schwarz abgestuft werden können
- § Farbwirkung entsteht nicht auf Oberfläche der Eloxalschicht, sondern völlig geschützt gegen Umwelteinflüsse am Porengrund der Eloxalschicht, geschützt durch eine Verdichtung

$PbCrO_4$	gelb
Sb_2S_3	orange
$Cu_3[Fe(CN)_6]$	rotbraun
$Fe_4[Fe(CN)_6]_3$	blau
CoS	schwarz

ausgewählte Beispiele

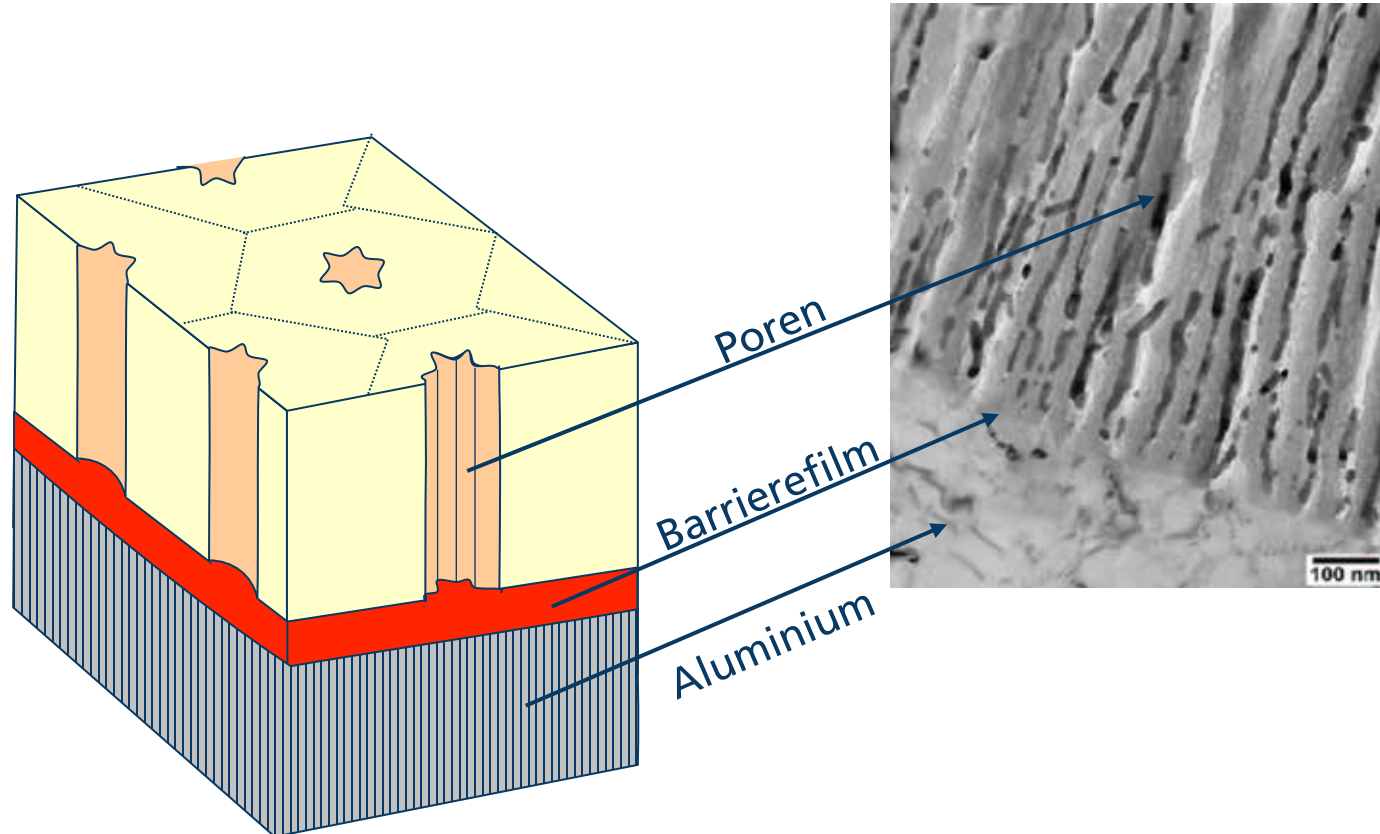
Verdichten

- § im Anschluss an diese farblose Oxidation lassen sich in einer zweiten Stufe die offenen Poren verschließen

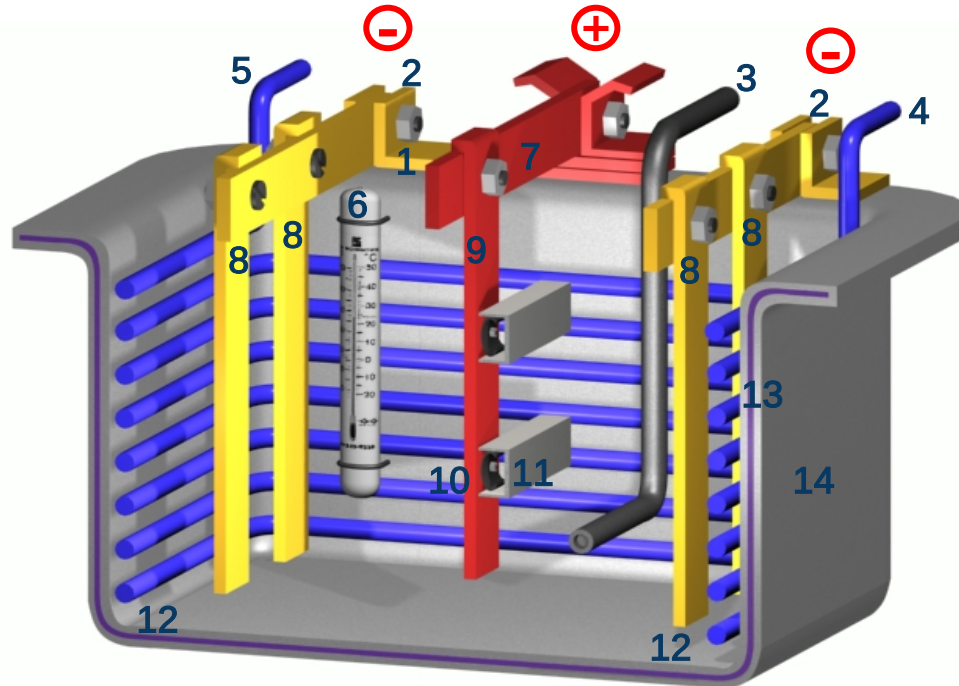


- § diesen Vorgang nennt man Verdichtung oder Sealing
- § Verdichtung ist stets der abschließende Schritt des Eloxierverfahrens und für die Witterungs- / Korrosionsbeständigkeit des Aluminiums entscheidend

auf Aluminium entsteht beim anodischen Oxidieren (Eloxieren) eine Duplexschicht



Tauchbad zum Anodisieren von Aluminiumbauteilen

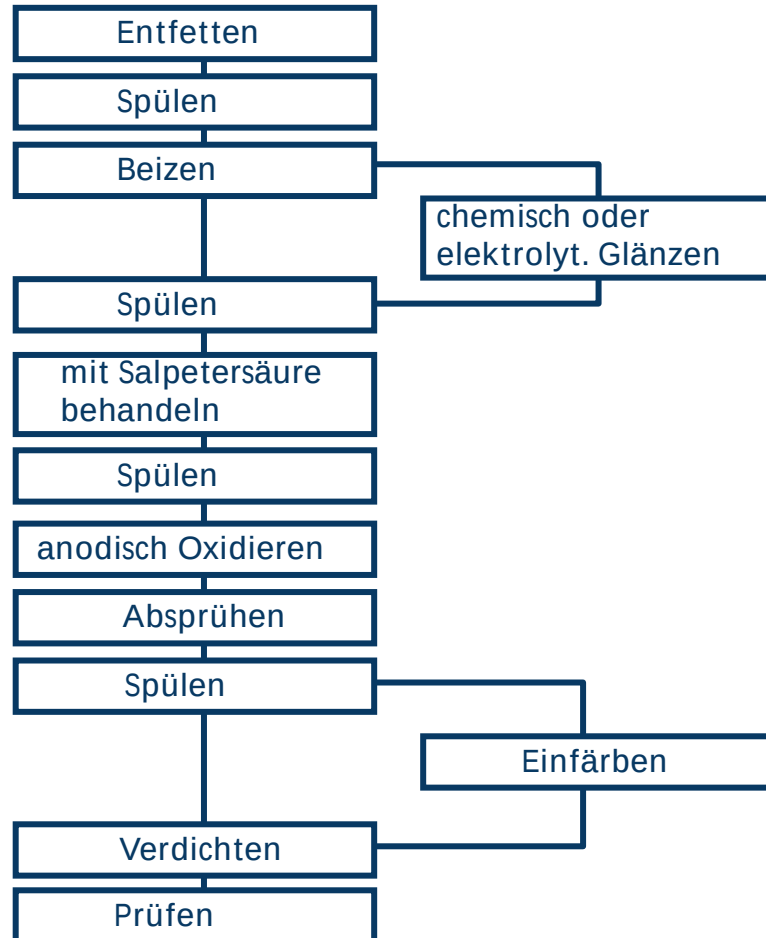


Schematische Darstellung einer Anodisierzelle



Video

Fertigungsablauf



Tauchbad zum Anodisieren von Aluminiumbauteilen



Eloxieren Beispiele



Verwendung	Profi-Teleobjektiv
Hersteller	Carl Zeiss (Endkunde Hasselblad)
Materialien	AlMg5
Ausführung	glasperlgestrahlt, E6-gebeizt, eloxiert und mit Clariant-Farbpigmenten Typ HLN gefärbt



Verwendung	Teile der optischen Industrie
Materialien	AlMgSiX, AlZnMgCu1,5
Ausführung	(1), (2), (3) ungebeizt und schwarz eloxiert(4) glasperlgestrahlt, chemisch gegläntzt, eloxiert und schwarz-HBL gefärbt

Korrosionsschutz	Verschleißschutz
artfremd	
elektrolytisches / galvanisches Metallabscheiden	elektrolytisches Metallabscheiden
chemisches Metallabscheiden	chemisches Metallabscheiden
Anstrichbeschichten -Tauchen, Spritzen	phys. Abscheiden aus der Dampfphase (PVD, Vorl. 13)
Plastbeschichten -Wirbelsintern, elektrostatisch	chem. Abscheiden aus der Dampfphase (CVD, Vorl. 12)
thermisches Spritzmetallisieren - Metallspritzen; Lichtbogen-, Plasmaspritzen	thermisches Spritzen
Feuermetallisieren - Schmelztauchen	Auftragschweißen
Emaillieren	Ionenplattieren

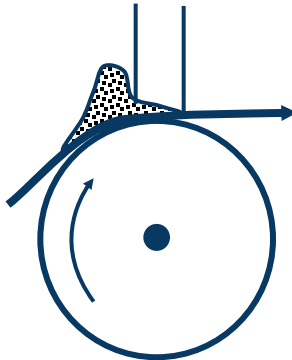
Emaillieren



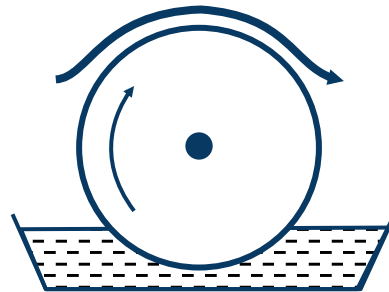
- § Aufbringen eines Emails auf ein festes Substrat (meist Stahlblech) zur Erhöhung der
 - § Härte
 - § Abriebfestigkeit
 - § Korrosionsbeständigkeit
- § Email ist ein nichtkristallines, glasartiges Material
- § die Gerüstmoleküle sind u.a.
 - § Silikate und Borate
 - § miteinander polymerisiert
 - § polymeres Anionengerüst
- § in Gerüstlücken sind Kationen aus dem Bereich der Alkalimetalle, Erdalkalimetalle oder Schwermetalle eingebaut

Emallierverfahren

- § beim Nassemailauftrag wird die Emailsicht in Form eines Schlickers (Dispersion) aufgetragen
- § Verfahren: Tauchen
Spritzen
Rollcoater für Bänder
- § Schichtdicken: $> 50 \mu\text{m}$



Rakeln



Walzenauftrag



Sprühen, Spritzen

Emaillierverfahren



Elektrostatischer Pulverauftrag
www.emailverbund.de

- § beim Pulveremailauftrag werden in der Regel Koronapistolen eingesetzt
- § Schichtdicken: 20 - 50 mm Grundsicht
100 - 250 mm Decksicht
- § Emailbrand erfolgt bei Temperaturen von 800-900 °C

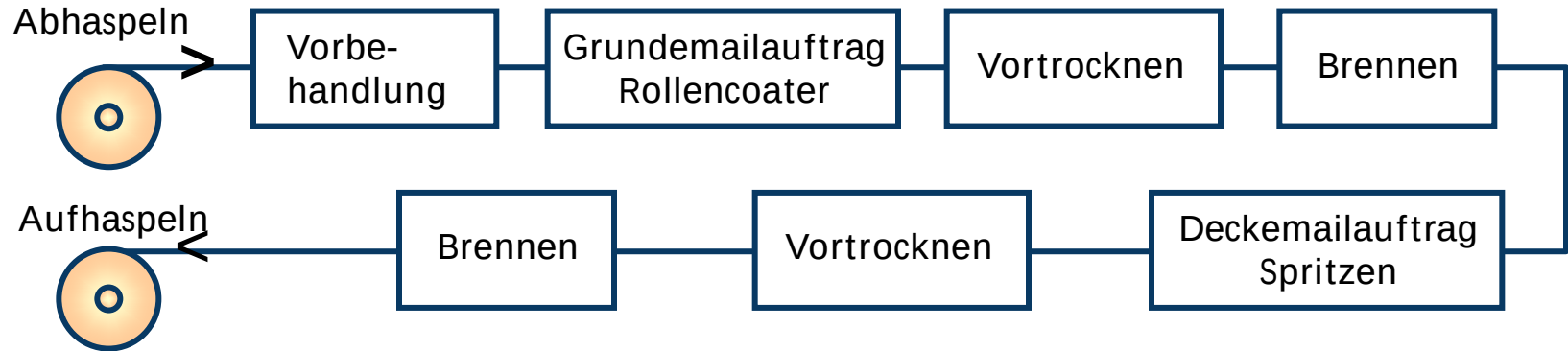
Haftung

- § intensive, druckknopfartige Verzahnung, die beim Brennprozess geschaffen wird
- § begünstigt durch Druckspannungen

Beispiel: Emaillieren von Küchenspülen ... vom Rohstoff zum fertigen Produkt



Bandstahl-Emaillierverfahren, Alliance Ceramicsteel, Genk



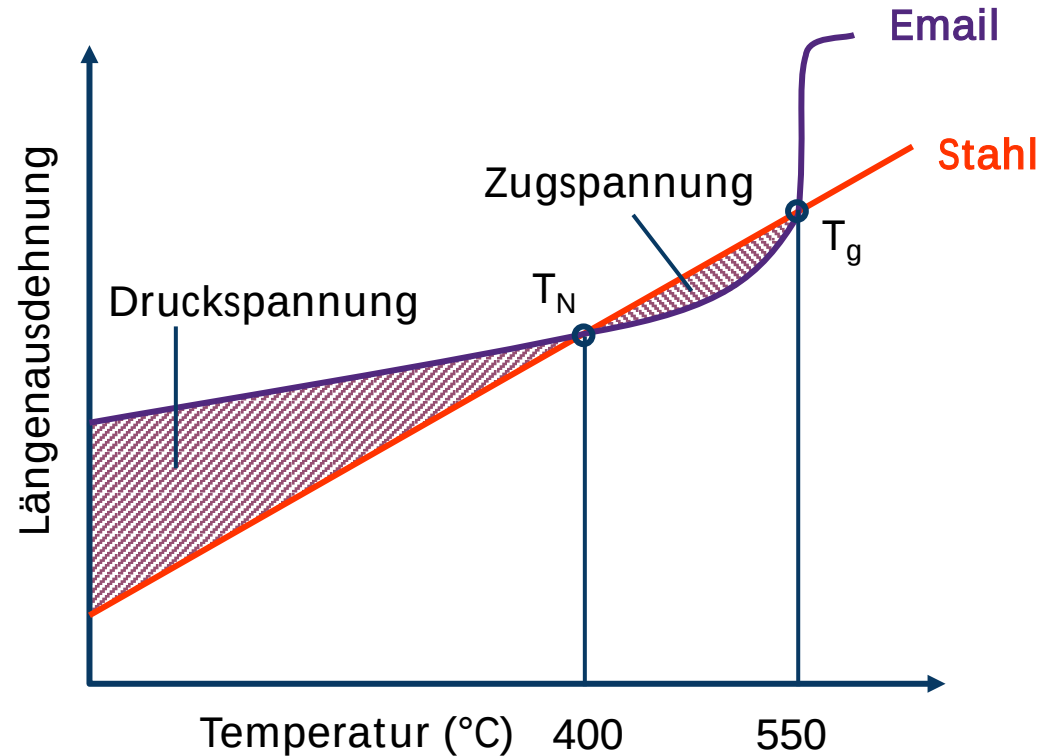
Anwendungsbereiche:

- § Verkleiden von Fassaden, Häusern, Hallen, Flughäfen, U-Bahnstationen, Büroräumen, etc.
- § Straßenbegrenzungen, Hausdächer
Karosserieblech für S- und U-Bahn
- § Wandtafeln für Schulen, Universitäten, etc.

Vorteile: kratzfest, - korrosionsfest, - biegsam, - farbenfreudig

Wärmeausdehnung von Email und Stahl

T_g oberer
Transformationspunkt
 T_n Neutralpunkt



- § Email schrumpft beim Abkühlen weniger als Basismaterial
- § durch entstehende Druckspannungen gewinnt der Verbund Substrat - Emailschrift an Festigkeit

Eigenschaften nichtmetallischer Schichten



- ++ sehr gut
- + gut
- +/- befriedigend
- schlecht geeignet
- unbefriedigend

	Ölanstrich	Einbrennlack	Silikonharz	Stahlemail
Verbrennungs- temperatur (°C) dauer (min)	30 1000	150 60	220 30	840 5
hitzebeständig bis (°C)	60	120	250	450
Härte	--	-	+/-	++
Abriebfestigkeit	--	-	+/-	++
Witterungs- beständigkeit	-	+/-	+/-	++
Schlagfestigkeit	+	+	+	-
Beständigkeit geg. Säuren u. Basen Heißwasser und Dampf	--	- bis +	+/-	++
	--	-	+/- bis +	+



Trennen

Stoffeigen-
schaften ändern

Beschichten

Spanen mit
geometr.
unbestimmt.
Schneide

Abtragen

Reinigen

Verfestigen
durch
Umformen

Thermo-
mechan.
Behandeln

Wärme-
behandeln

Beschichten
aus dem
flüssigen
Zustand

Beschichten
aus d. breig-
pastenförm.
Zustand

Beschichten
aus d. gas-
od. dampff.
Zustand



Beschichtung aus der flüssigen Phase

Galvanik, Schmelztauchen /
Emaillieren

Vorlesungsplan FT I / Oberflächen- und Schichttechnik

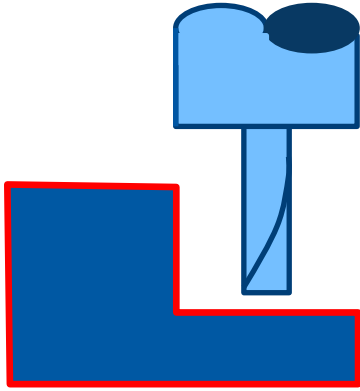
02.02. Wiederholung / Fragen

chemische Verfahren / Galvanik

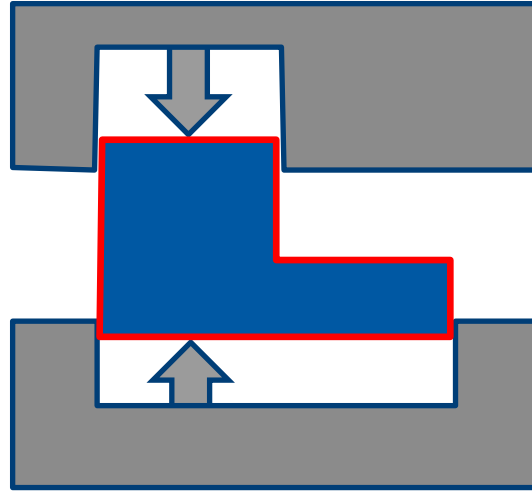
- Korrosion
- Lackieren
- Galvanisieren
- Verzinken
- Eloxieren
- Emaillieren

Ausblick – Additive Fertigung und
Lehrstuhl für Laser- und Oberflächentechnik

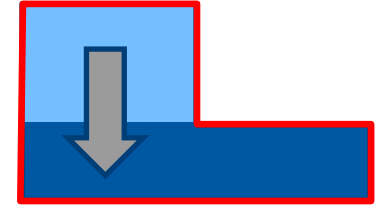
Prüfungsvorbereitung



subtraktiv

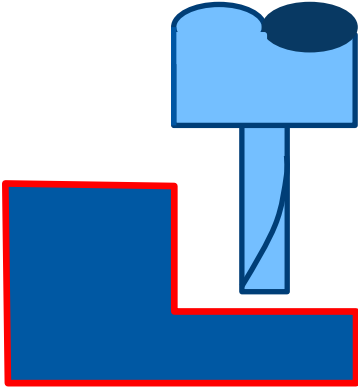


formativ



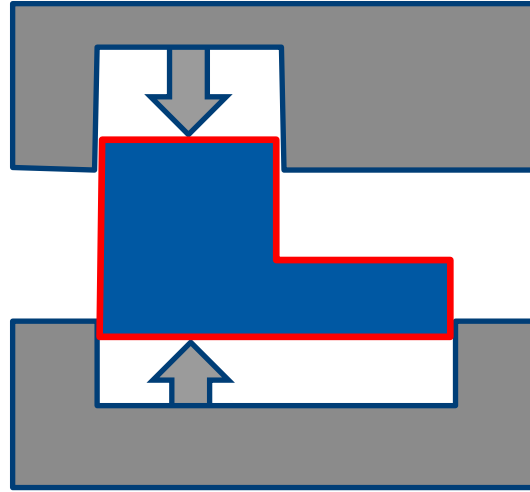
additiv





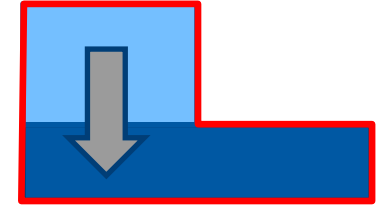
subtraktiv

- n Fräsen
- n Drehen
- n Sägen
- n usw.



formativ

- n Schmieden
- n Umformen
- n Pressen
- n usw.



additiv

- n Polymerisation
- n Pulverbett-
technologien
- n Freiformtechn.
- n usw.

Fertigungstechnische Einordnung



Der Oberbegriff **Generative Fertigung** kennzeichnet neuartige Verfahren zur Herstellung von Bauteilen, Werkzeugen, Modellen, etc., die durch einen **schichtweisen** Auftrag (additiv) von Werkstoffen charakterisiert sind.

Dagegen sind klassische Verfahren formgebunden, d.h. Bauteile entstehen durch Umformen (Schmieden, Tiefziehen, etc.) eines Halbzeugs oder durch Gießen in einer klassischen Form.

(C. Leyens: Initialkonzept Additiv-Generative Fertigung, Dresden, 2013)



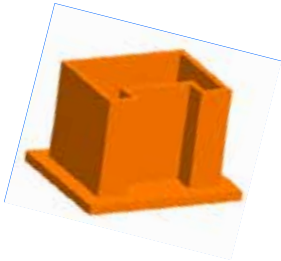
- § Serienfertigung von Individualbauteilen
- § Werkzeug- und Prototypfertigung
- § Musterfertigung und Designänderungen
- § Reparaturen

à Die generativen Fertigungstechnologien sind **urformende** Verfahren.

Generative Fertigungsverfahren: grundsätzliche Prozesskette

Konstruktion

CAD-Geometriebeschreibung
STL-Format



Daten-Modell



Slicen

Zerlegen des CAD-Modells in Schichten

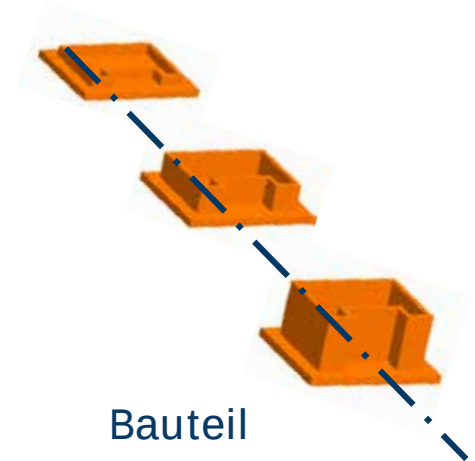


Bearbeitetes Daten-Modell



Fertigung

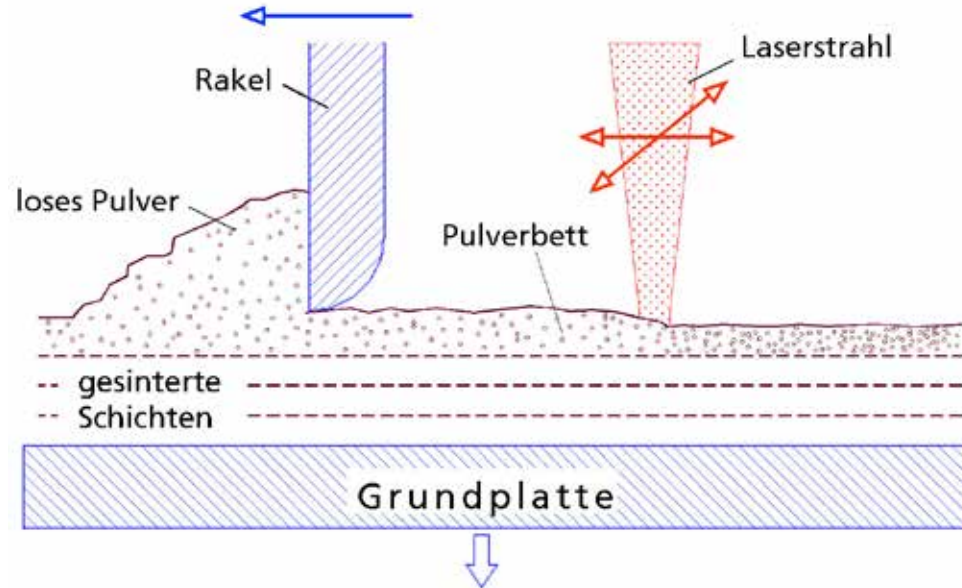
Schichtweiser Aufbau
des Bauteils



Bauteil

Prozessschritte

- § STL-Daten in CAD-Rechner einlesen
- § Modell im CAD orientieren
- § Schichtdicke festlegen
- § Modell slicen (SLI-Daten generieren)



- § SLI-Daten in Prozessrechner einlesen
- § Modell auf Bauplattform positionieren
- § Prozessparameter festlegen
- § Modell sintern
- § Nachbearbeitung (Infiltrieren, Dichtsintern)



Vor- und Nachteile additiver Fertigungsverfahren

- n Erweiterung fertigungstechnischer Möglichkeiten
- n “complexity for free”
- n verbesserte Werkstoffausnutzung
- n flexible Produktion; Individualisierung
- n Funktionsintegration
- n Multi-Material-Aufbau
- n Reparatur / Redesign
- n werkzeuglos
- n kurze Leadzeiten
- n (Kostenvorteile)
- n „nur“ endkonturnah
- n geringe Aufbauraten
- n Oberflächenrauheit
- n Supportstrukturen
- n Gefahr von Rissen
- n Überzeugung der Anwender
- n (Kostenvorteile)



Ausgewählte additiv-generative Fertigungsverfahren



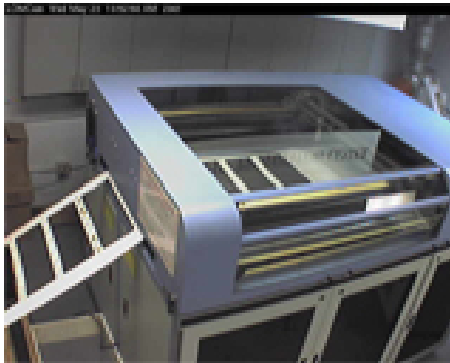
Stereolithographie (STL)



Selektives Laser Schmelzen (SLM)



Fused Deposition Modeling (FDM)



Laminated Object
Manufacturing (LOM)

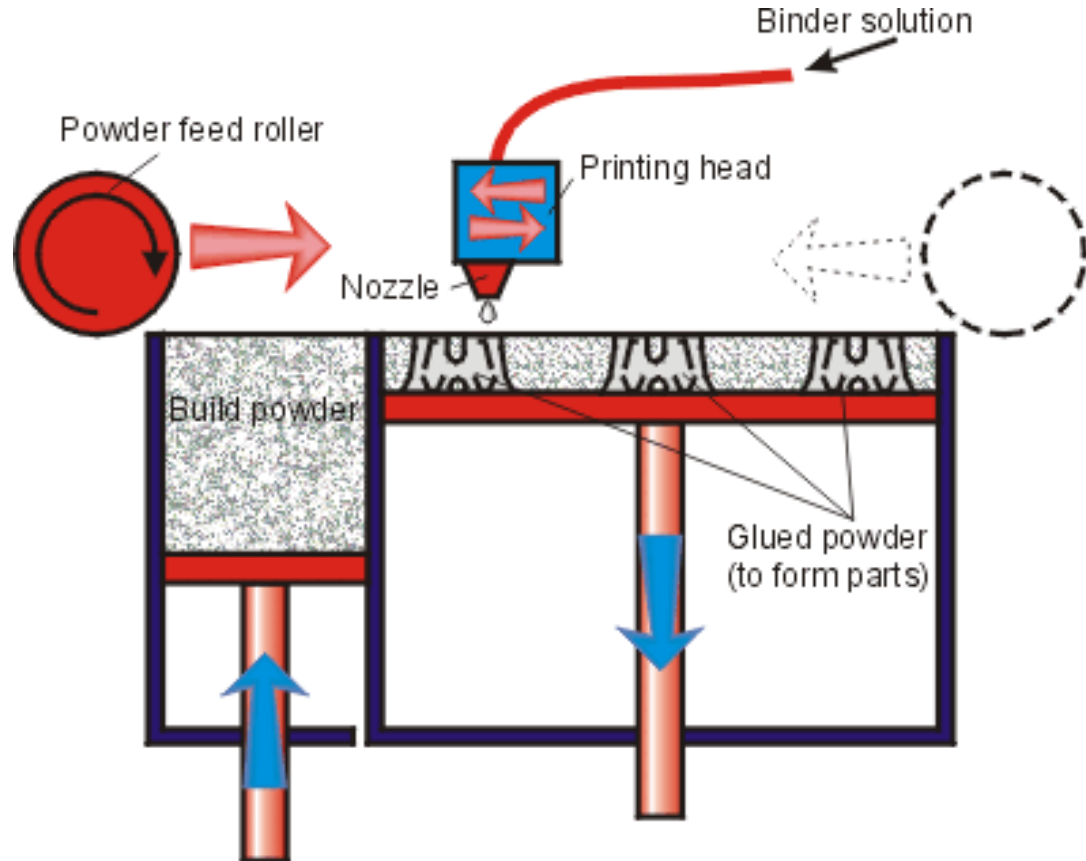


Laser-Auftragschweißen (LA)



„3D-Drucken“ (FDM / FFF)

3D Printing



Bildquelle: 3D Systems/Z Corporation

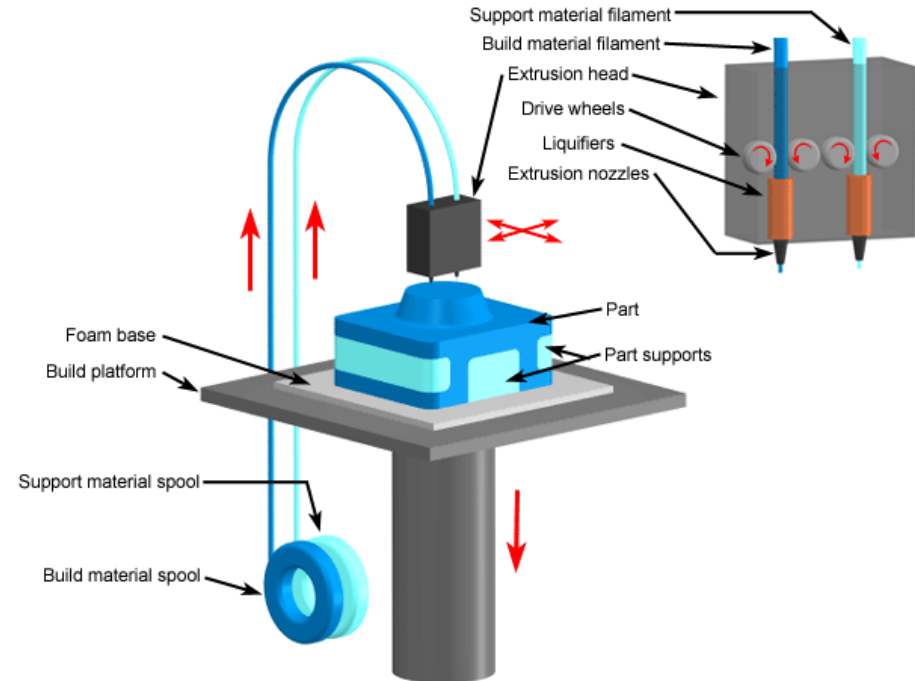
Fused Deposition Modelling (FDM) – 3D-Drucken !

Funktionsprinzip:

Lokaler Materialauftrag über
Zufuhr thermoplastischer Drähte
mit beheizten Extrudierdüsen

Materialen:

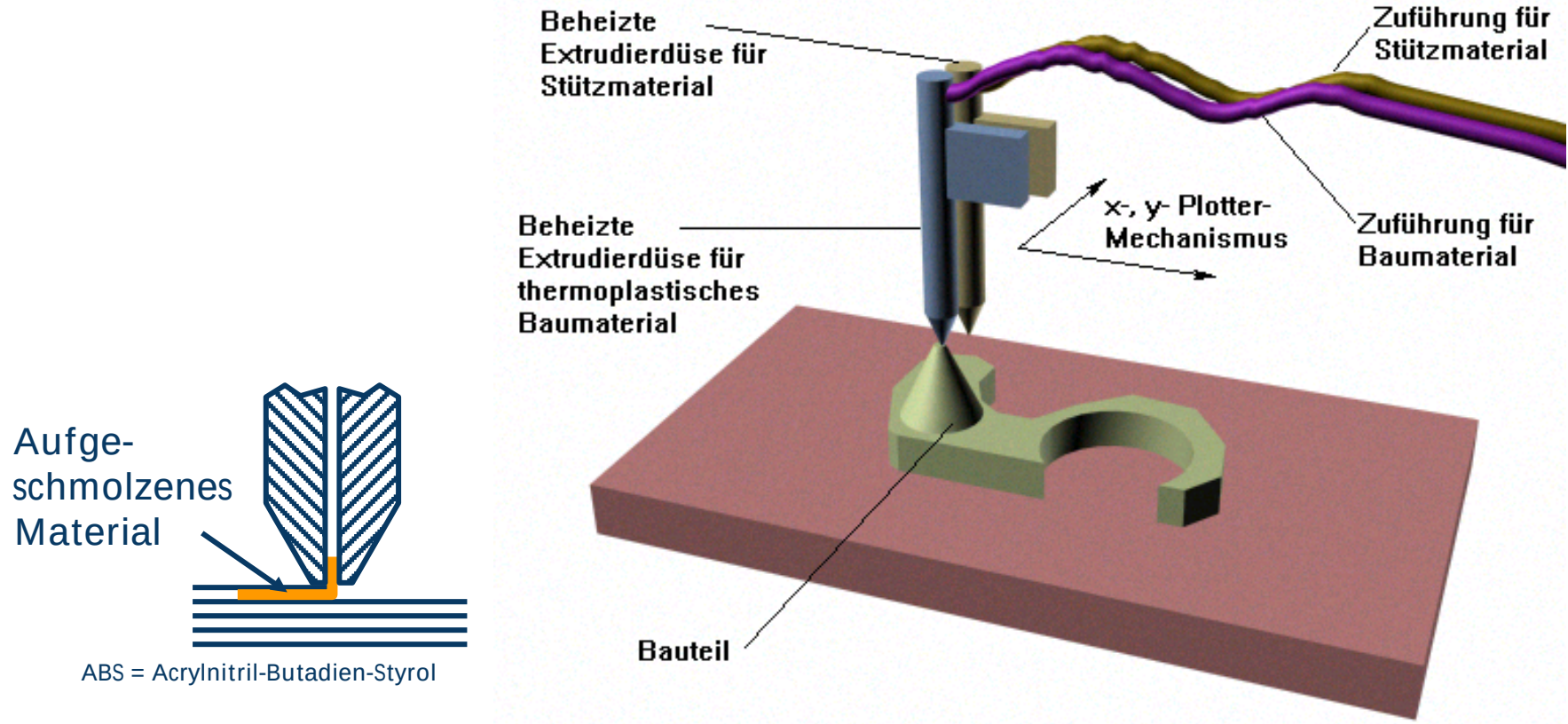
ABS, PC, Wachs
biokompatible Polymere
(Chitosan, Hydrogel, Silikon, ...)



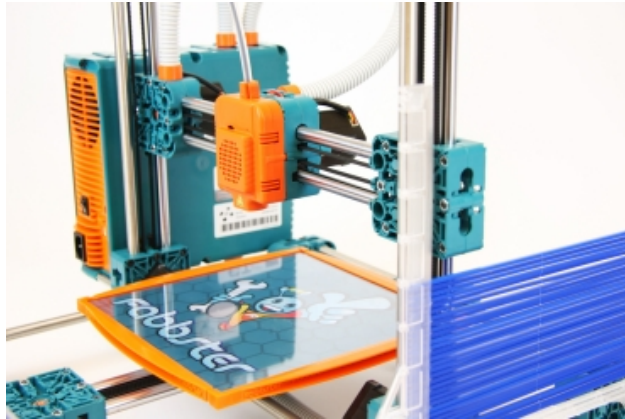
Copyright © 2008 CustomPartNet

Klassische **STRATASYS**-FDM-Technologie mit thermo-
plastischen Drähten als Baumaterial.

FDM – Verfahrensprinzip (Stratasys Inc., USA)



Beispiele für 3D-Drucker



Bauraum	230 x 230 x 210 mm
Auflösung	min. Wandstärke 600 μm min. Schichtstärke 44 μm

Fa. Fabbster > 1.500,00 €

Bauraum	185 x 275 x 240 mm
Auflösung	125 x 20 x 500 μm

Fa. konstruktionswerk 3.800,00 €

3D Printing - Beispiele



3D-Produktionsanlage

Quelle: 3D Systems



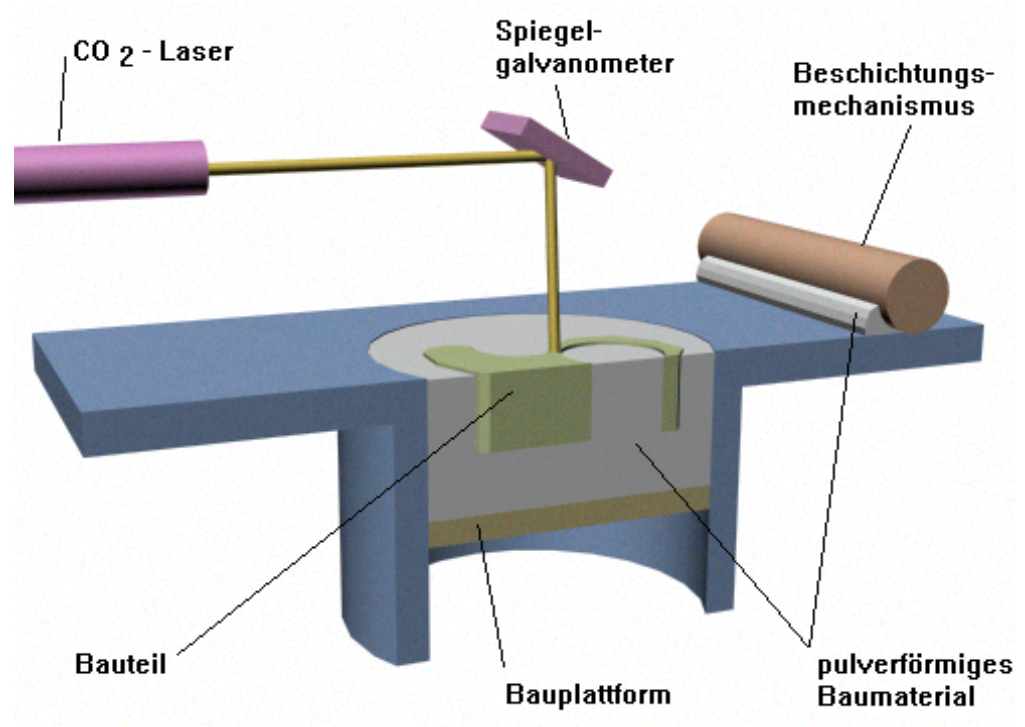
Architekturmodelle

Quelle: 3D Systems

Metallpulversintern (SLS)

Funktionsprinzip:
Kurzzeit-
Flüssigphasensintern von
2-Komponenten-Pulvern

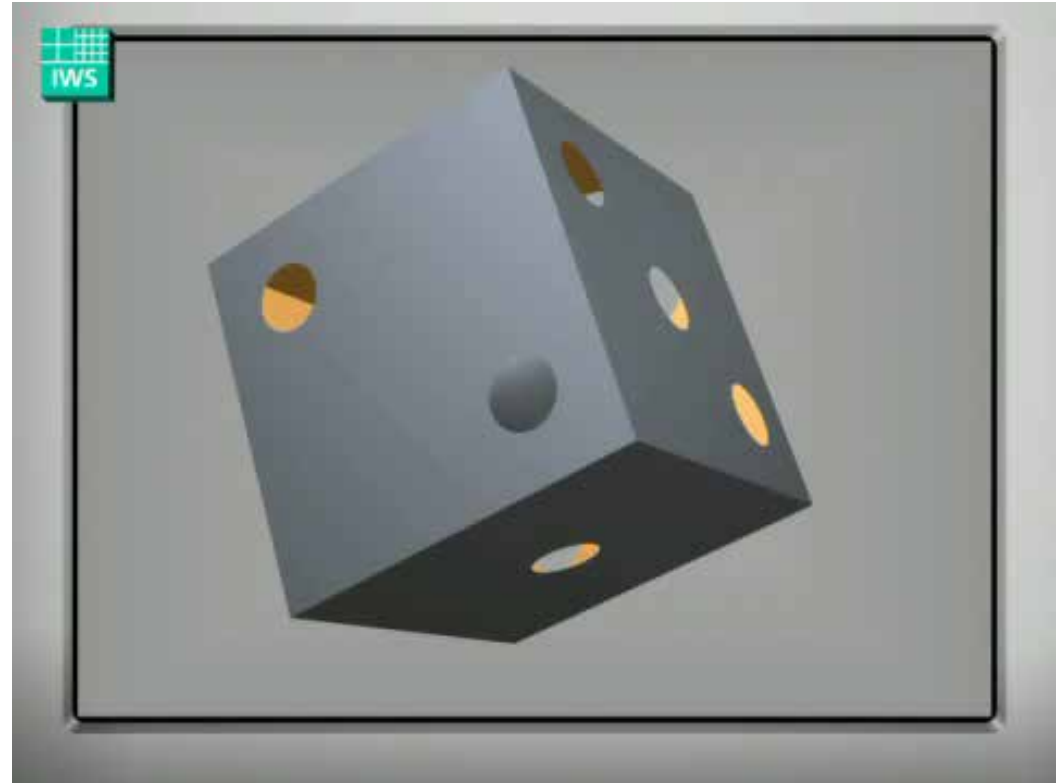
Materialen:
Stähle, WC/Co-
Hartmetall, W-Cu,
Keramik



Metallpulversintern (SLS)

Funktionsprinzip:
Kurzzeit-
Flüssigphasensintern von
2-Komponenten-Pulvern

Materialen:
Stähle, WC/Co-
Hartmetall, W-Cu,
Keramik



Lasersinterprozess

Besonderheiten des **Sinter**prozesses:

Positiver Einfluss:

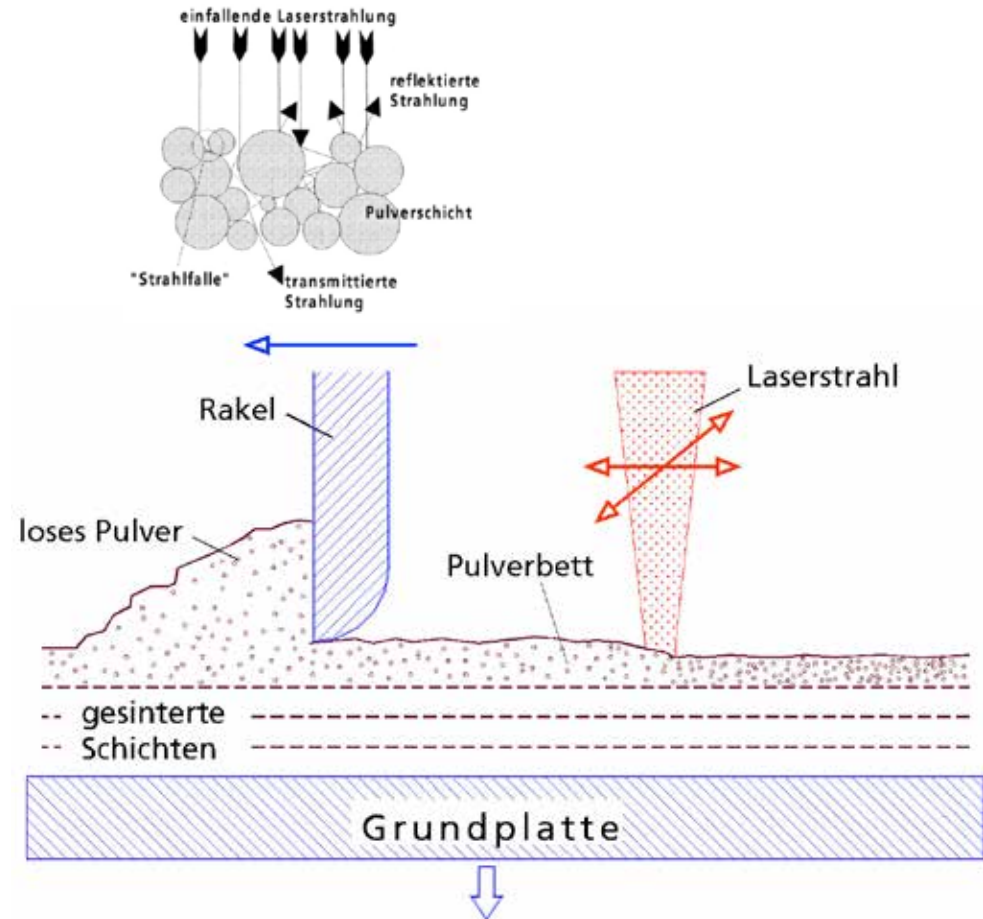
Oberflächenrauheit (Pulverstruktur)
Temperaturgradient in der Schicht

Negativer Einfluss:

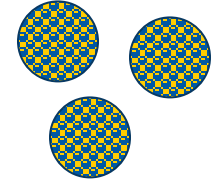
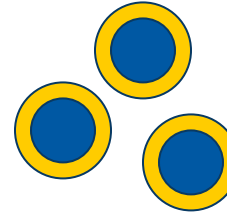
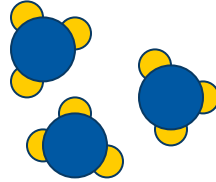
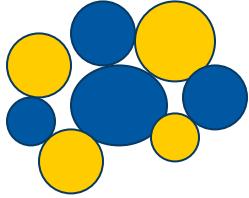
kurze Wärmeeinwirkzeit ($< 0,1 \text{ s}$)
Deponieren von losem Pulver

Ergebnis:

- geringer Verzug ($T_{\text{sinter}} < T_{\text{schmelz}}$)
- harte und spröde Materialien
verarbeitbar
- geringe Sinterdichte (45 - 70 %)



Sinterpulver



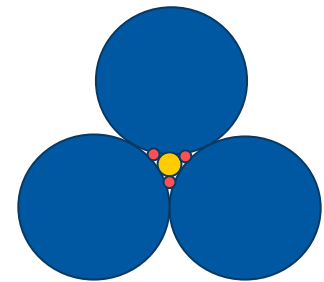
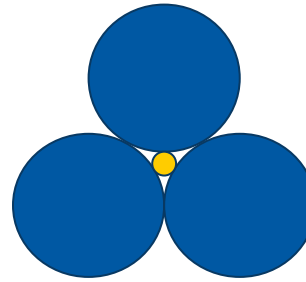
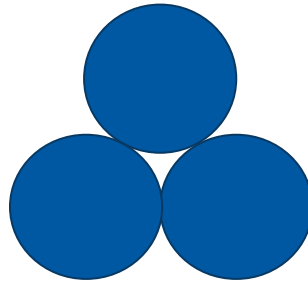
Pulver:

gemischt

anlegiert

beschichtet

legiert



Mischung:

monomodal

bimodal

trimodal

Größenverhältnis:

1 : 1

6,5 : 1

49 : 6,5 : 1

Füllfaktor

0,74

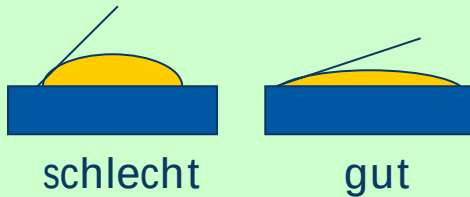
0,85

0,95

Prinzip des Flüssigphasen-Sinterns

**Einflussgröße auf
Materialtransport-
mechanismen:**

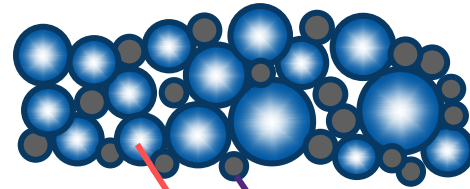
Benetzung



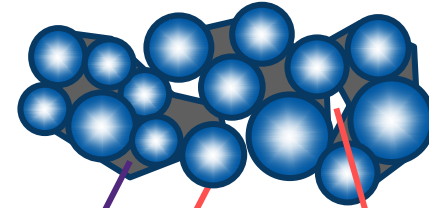
Löslichkeit



**Pulverschicht
vor dem Sintern**



**Pulverschicht
nach dem Sintern**



niedrigschmelzende

hochschmelzende
Komponente

Restporosität

Lasersintern mehrphasiger Pulvergemische

Gefüge nach dem Lasersintern

X38 CrMoV 5.1

Partikelgröße $< 63 \mu\text{m}$

Mischung:

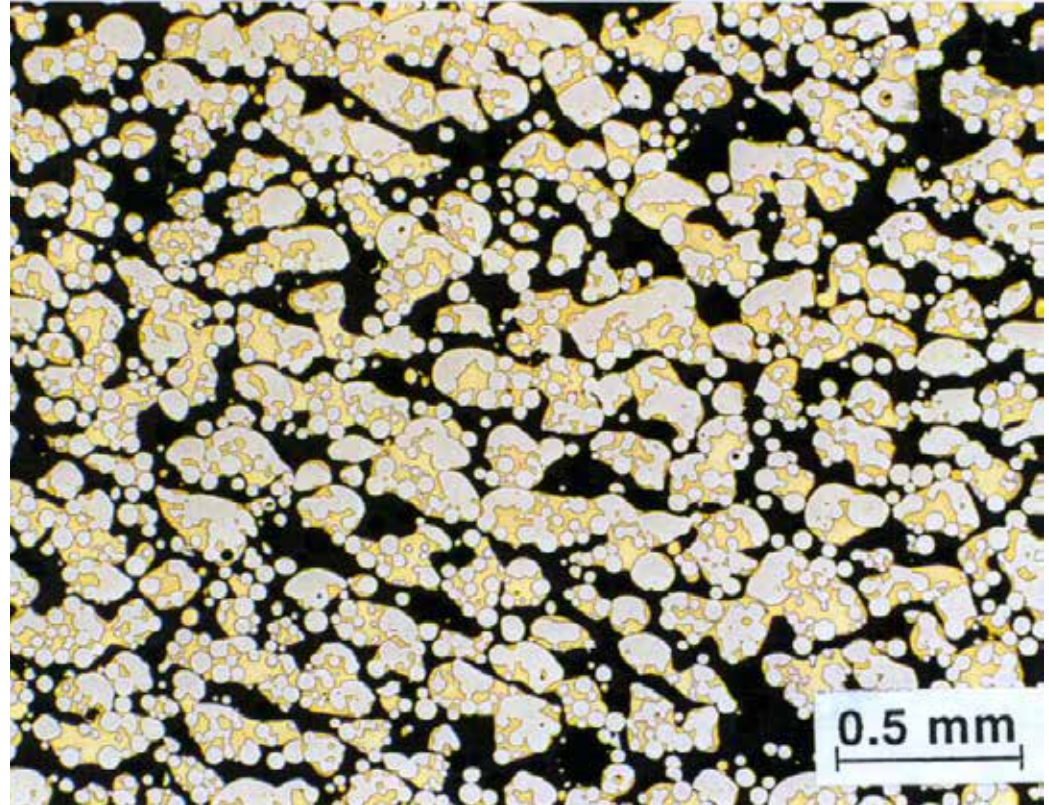
70% Stahl + 30% Cu11Sn

§ rel. Sinterdichte
55 ... 70 %

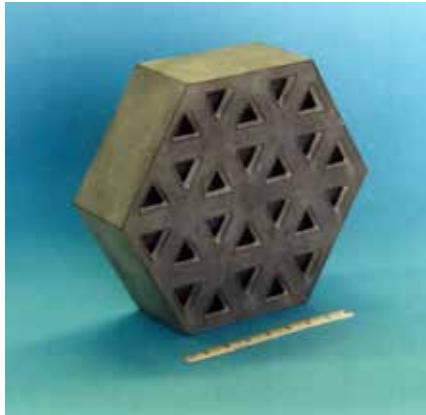
§ Formabweichung
 $\pm 100 \mu\text{m}$

§ Rauheit
 $R_z < 50 \mu\text{m}$

§ minimale Wandstärke
1 mm



Lasergesinterte Formkörper aus Stahl und Keramik



Beispiele: Fraunhofer IWS, Dresden



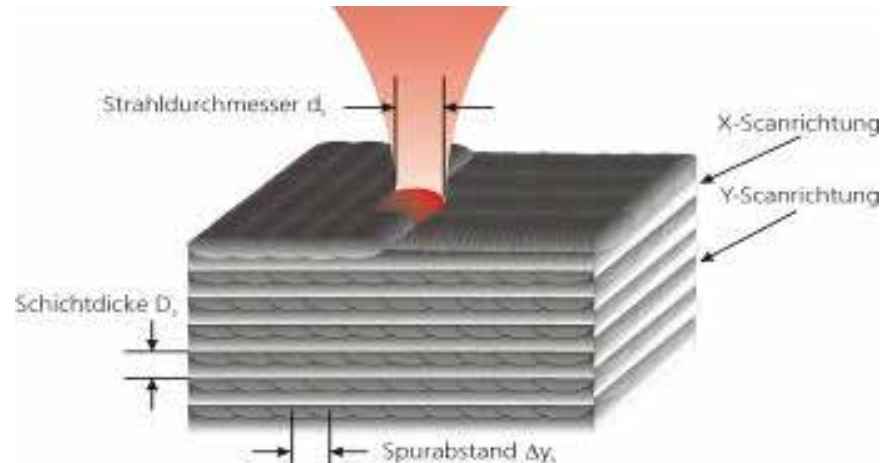
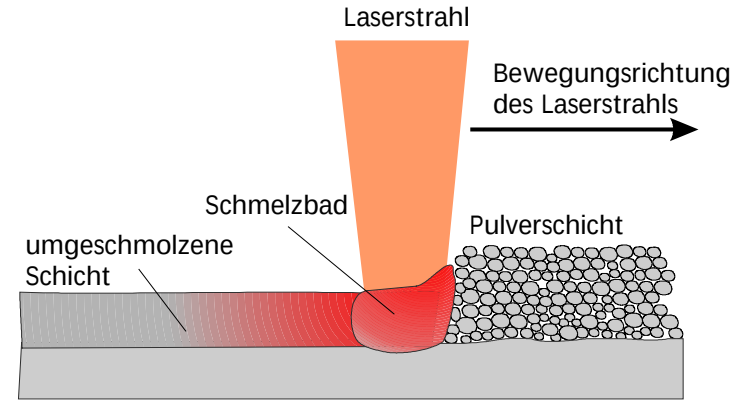
§ **Selektives Laserstrahlschmelzen (SLM)**

§ gegenüber SLS vollständiges
Umschmelzen des
Werkstoffes

§ typisches Branchen:
- Luft- und Raumfahrt
- Werkzeug- /
Maschinenbau
- Medizin / Dental

SLM - Verfahrensmerkmale

- § Verwendung von metallischen Serienwerkstoffen
- § im Unterschied zum Laser-Sintern: **vollständiges** Aufschmelzen des Pulverwerkstoffes
- § Erzeugung nahezu 100% dichter Metallstrukturen mit feinkristallinem Gußgefüge



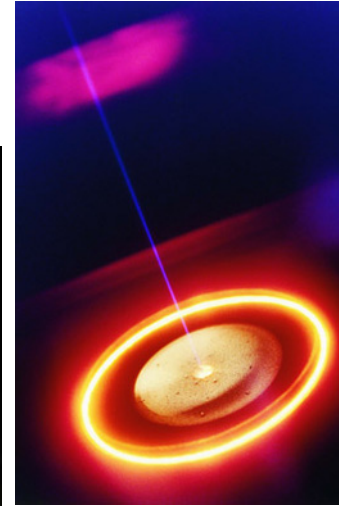
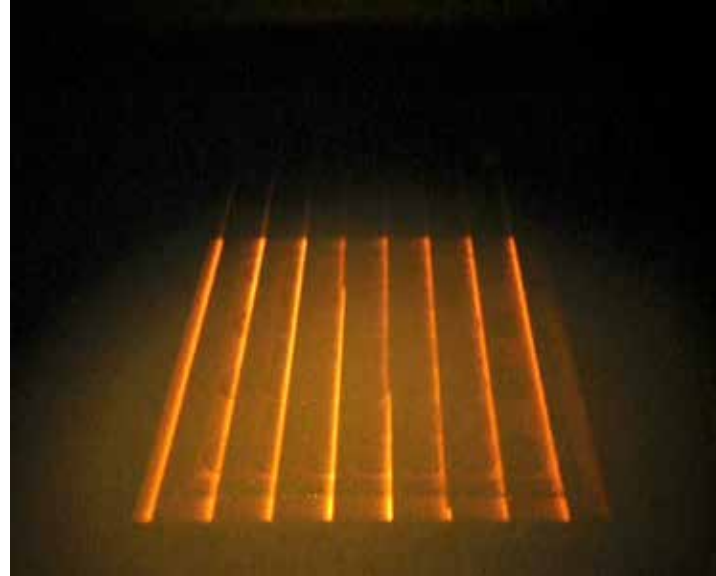
Beispiel: Minimalinvasive Chirurgie eines Unfallpatienten





EBM - Besonderheiten

Das Elektronenstrahlschmelzen, Electron Beam Melting EBM, stellt eine Alternative zu den lasergestützten Verfahren dar. Im wesentlichen wird der Laser durch einen Elektronenstrahl ersetzt. Der Bauraum der Maschine wird auf etwa 1000°C aufgeheizt und mit einem Vakuum versehen. Dies, der bessere Wirkungsgrad des Elektronenstrahles, die höheren Bauraten und das größere Werkstoffspektrum sind die wesentlichen Vorteile, die den höheren Kosten entgegenstehen.



Quelle: ARCAM

EBM - Anlage

EBM-Anlagen zum direkten Fertigen von Einzelteilen für Luft- und Raumfahrt-Anwendungen sowie medizinischen Implantaten

Bauraum: 350x350x300 mm

Schichtdicke: 50...200 μm

Bauteilgenauigkeit: +/- 0,3 mm

Datenformat: Standard STL



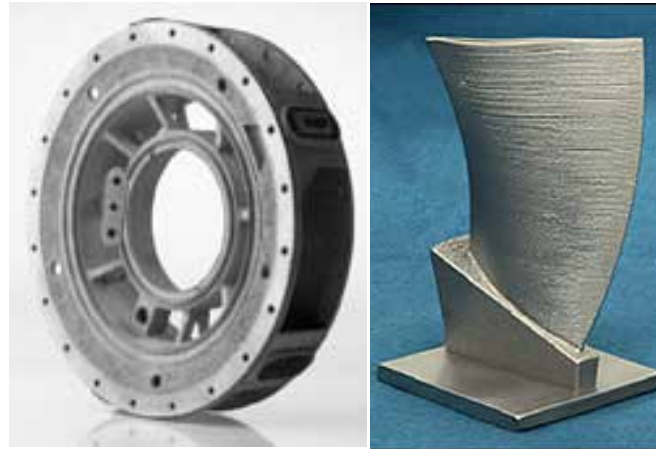
Quelle: ARCAM

Pulverbettverfahren EBM: Beispiele



Medizinische Implantate, Titan

Quelle: ARCAM



Flugtriebwerkskomponenten, Titan

Quelle: ARCAM



Massives Flanschbauteil,
Edelstahl

Quelle: ARCAM

Generatives Laser-Auftragschweißen (LA)

Verfahrensprinzip

2,5D und 3D Multilagen-Auftragschweißen
ohne Pulverbett

Schichtweiser Volumenaufbau direkt aus
3D-CAD-Daten mittels bauteil- und
eigenschafts-optimierter Schweißstrategie

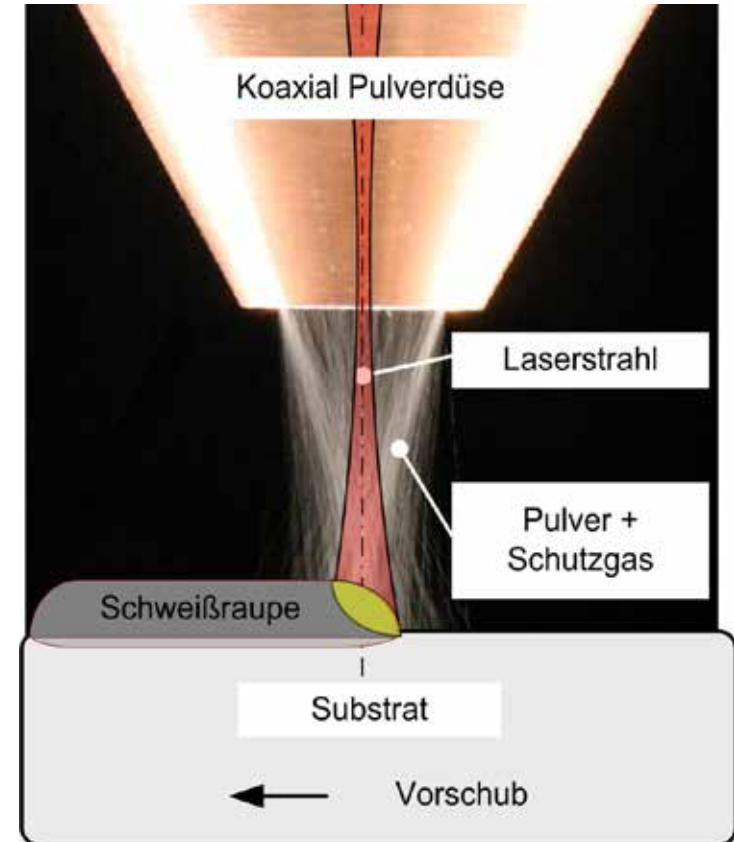
Materialien (Pulver und Draht)

Titan und Titanlegierungen

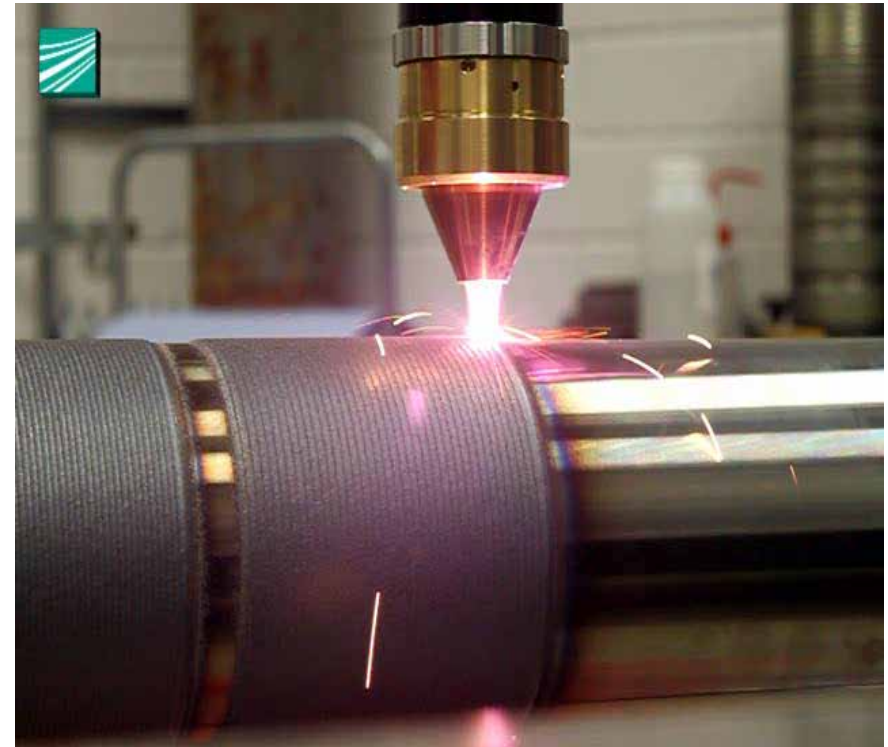
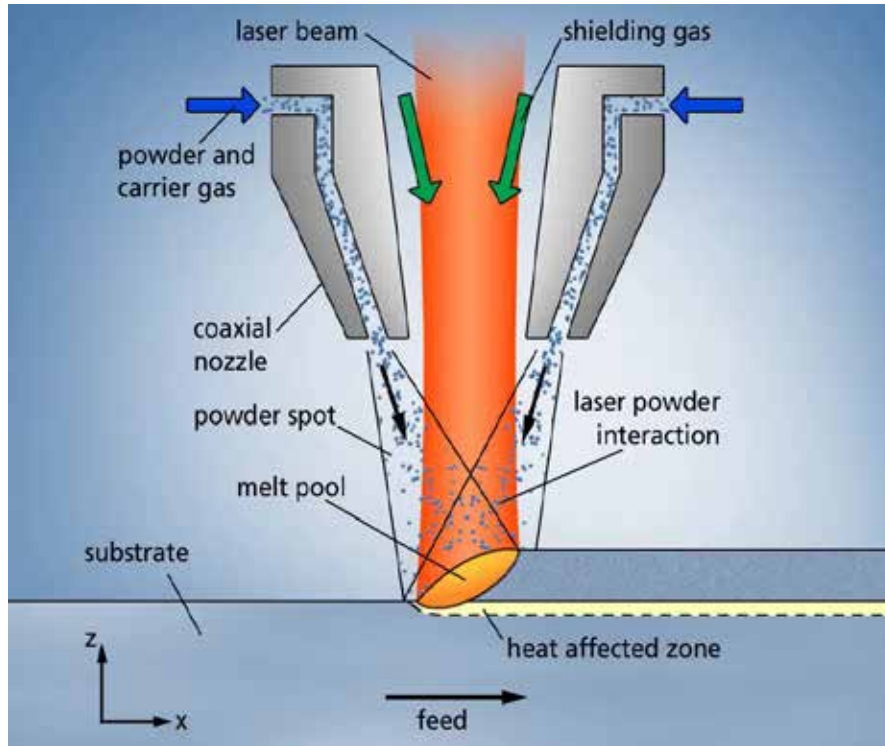
Nickelbasis-Legierungen

Kobaltbasis-Legierungen

Stähle



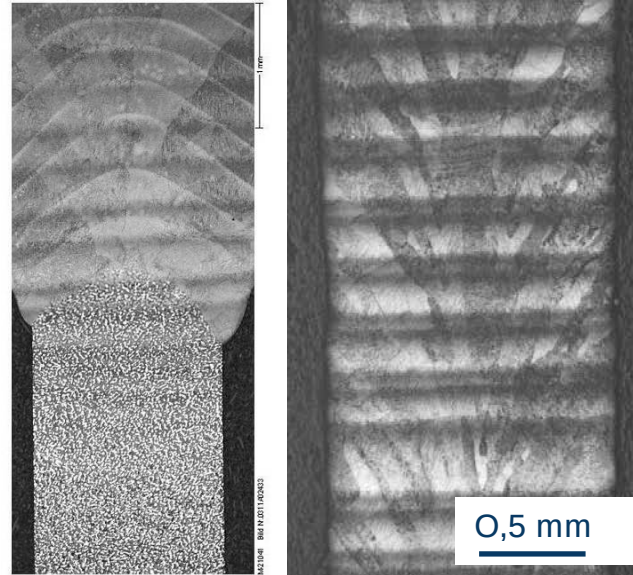
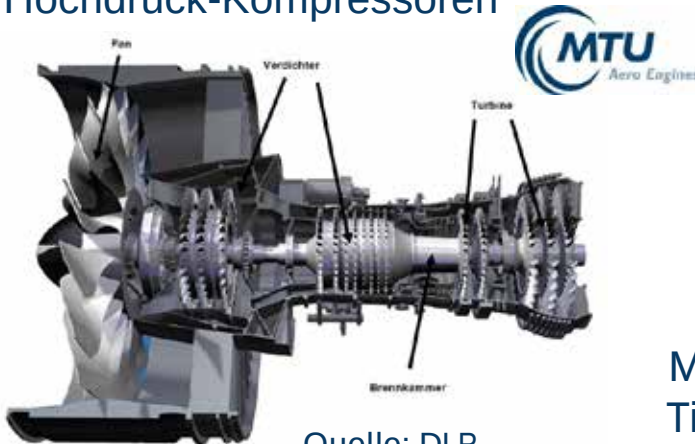
Generatives Laser-Auftragschweißen (LA)



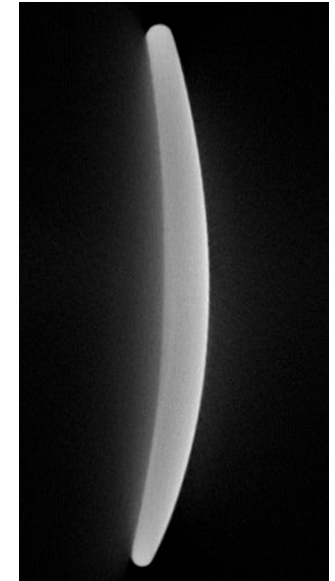
Anwendung des generativen Laser-Auftragschweißens in der Triebwerksinstandsetzung

Reparatur von Kompressor-Blisks aus Ti6242 - Mikrostruktur

- § Ti6242 ist nahezu α -Ti-Legierung mit gegenüber Ti6-4 erhöhter Festigkeit bei hohen Temperaturen
- § wichtiges Einsatzgebiet: Hochdruck-Kompressoren



Mikrostruktur und CT-Prüfung von lasergenerierten Ti6242-Probe-Schaufeln



Anwendung des generativen Laser-Auftragschweißens zur Bauteilfertigung

Direkte generative Fertigung einer Metal Leading Edge (MLE) aus TiAl6V4

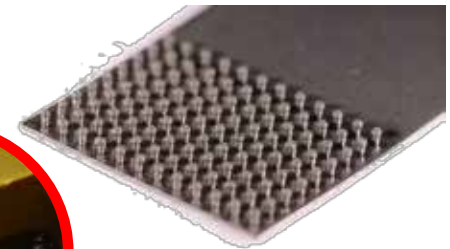
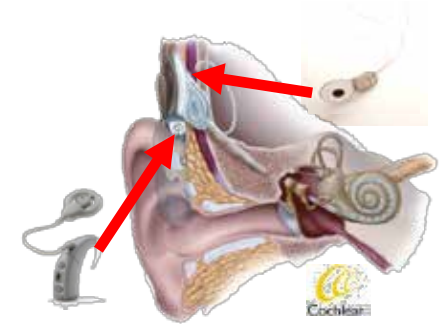
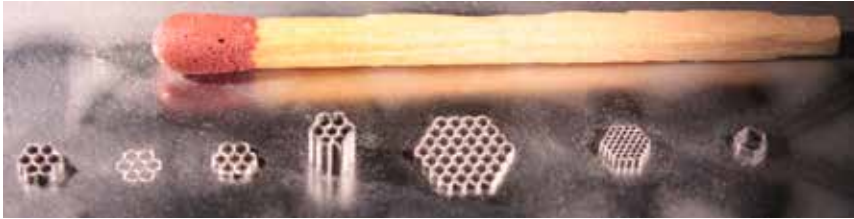
- § Metallischer Kantenschutz von Fan-Schaufeln aus Faser-Verbundwerkstoffen
- § Leichtbau
- § Verringerung der Fertigungszeit gegenüber Fräsen aus dem Vollen



[Quelle: GE]



Hoch-Präzisions-Laser-Auftragschweißens



LPA/
LDA

Reparatur



Modifikation



Fertigung



Direkte Fertigung funktionaler Individualbauteile

SLM/
EBM



Werkzeuge



Bauteile

Vorlesungsplan FT I / Oberflächen- und Schichttechnik

02.02. Wiederholung / Fragen

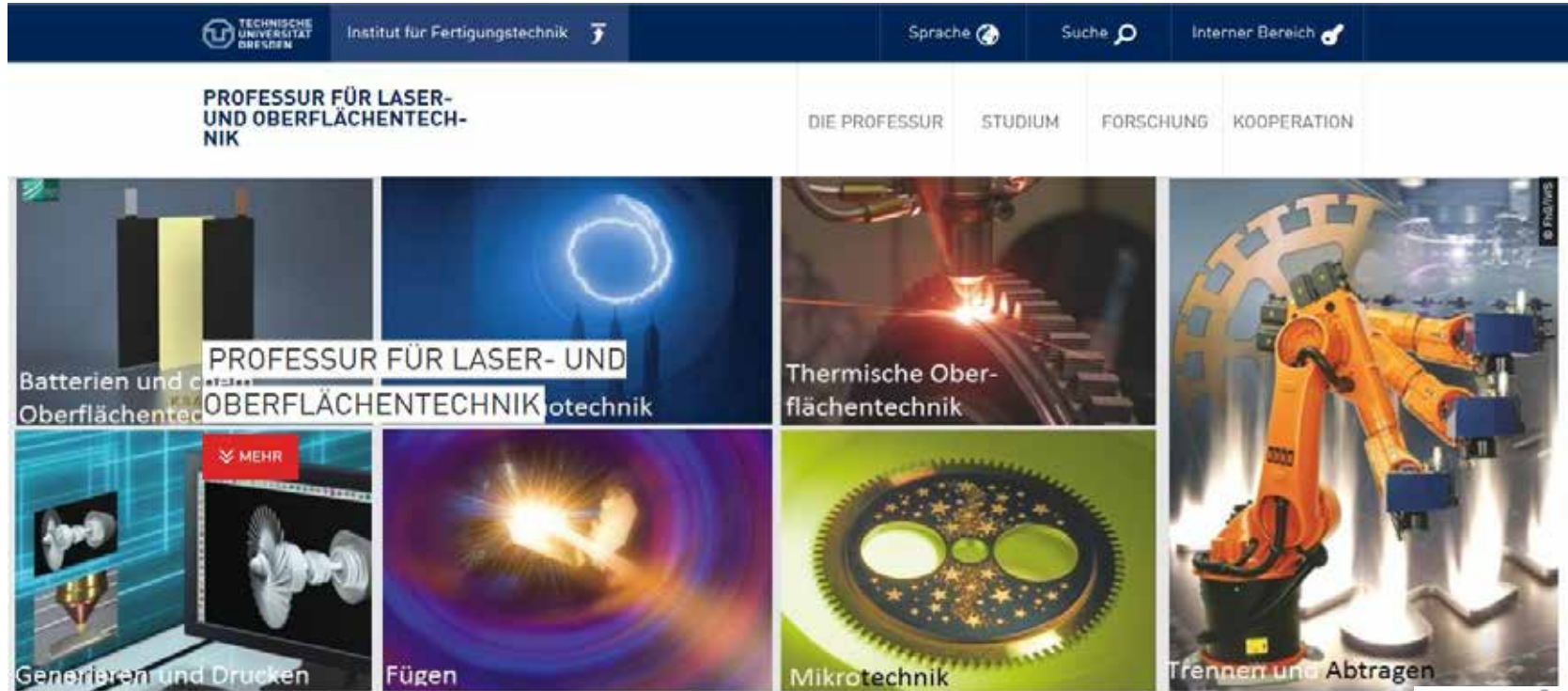
chemische Verfahren / Galvanik

- Korrosion
- Lackieren
- Galvanisieren
- Verzinken
- Eloxieren
- Emaillieren

Ausblick – Additive Fertigung und
Lehrstuhl für Laser- und Oberflächentechnik

Prüfungsvorbereitung

Lehrveranstaltungen des Lehrstuhls für Laser- und Oberflächentechnik



<https://tu-dresden.de/ing/maschinenwesen/if/lot>

3. + 5. Semester		Vorlesung Fertigungstechnik / Oberflächen- und Schichttechnik	
Einführung		LV Fertigungstechnik /OST/ 3. Semester	
Mechanische Oberflächentechn., Rauigkeit			
Oberflächenreinigung			
Reibung, Verschleiß, Korrosion			
	Nitrieren/Härten		
Beschichtungsverfahren	Chemische Verfahren	LV Fertigungsverfahren und -planung /OST/ 5. Semester	
	CVD (chemische Dampfabscheidung)		
	PVD (physikalische Dampfabscheidung)		
	Laser-/Plasma-Oberflächenbeschichtung		
	Spritzverfahren		
	Drucktechnik		
	+ Übungen		



6. + 8. Semester	Vorlesung LASERTECHNIK	(montags, 3. DS)
Einführung und Laserprinzip		
Laserresonator		
CO ₂ -Laser		
Diodenlaser		
Festkörperlaser		
Exkursion, z.B. zur Lasermesse München (fakultativ)		
Wechselwirkung, Absorption		
Wärmeleitung, Schmelzdynamik, Beschichten		
Laserstrahlschneiden		
Laserstrahlschweißen		
Pulslaser, Excimer-Laser, X-Ray-Laser		
Mikrobearbeiten, Strukturieren		
Exkursion		
Konsultation, Belegpräsentation		



weitere Vorlesungen:

- **Plasmatechnik (SS)**
- **Mikro-, Fein- und Ultrapräzisionsbearbeitung**
- **Laserpräzisionsbearbeitung**
- **Nanotechnologie**
- **Generative Fertigungstechnik**
- **Dünnschichttechnologie**

Modul MB-PT 08
„Mikro-
und
Nanotechnologie“

à www.if.mw.tu-dresden.de

Vorlesungsplan FT I / Oberflächen- und Schichttechnik

02.02. Wiederholung / Fragen

chemische Verfahren / Galvanik

- Korrosion
- Lackieren
- Galvanisieren
- Verzinken
- Eloxieren
- Emaillieren

Ausblick – Additive Fertigung und
Lehrstuhl für Laser- und Oberflächentechnik

Prüfungsvorbereitung

Skripte sind die Basis für die Prüfung

Skripte:

www.if.mw.tu-dresden.de

à Professur LOT

à Studium

à Menüpunkt Materialien

Passwort: ft1-lot



Beispielfragen

3 Punkte

1. Bei einer Keramikbindung handelt es sich um eine

ja nein

- ☐ ☐ Atombindung
- ☐ ☐ Atomkettenbindung
- ☐ ☐ Ionenbindung
- ☐ ☐ Metallbindung

3 Punkte

Begründen Sie ihre Antworten:

Beispielfragen

3 Punkte

1. Bei einer Keramikbindung handelt es sich um eine

ja nein

- ☐ ☒ Atombindung
- ☐ ☒ Atomkettenbindung
- ☒ ☐ Ionenbindung
- ☐ ☒ Metallbindung

3 Punkte

Begründen Sie ihre Antworten:



Beispielfragen

3 Punkte

Beim martensitischen Härten werden in der Bauteiloberfläche erzeugt:

ja nein

- ☐ ☐ keine Spannungen
- ☐ ☐ Zugeigenspannungen
- ☐ ☐ Druckeigenspannungen

3 Punkte

Begründen Sie ihre Antworten:

Beispielfragen

3 Punkte

Beim martensitischen Härten werden in der Bauteiloberfläche erzeugt:

ja nein

- ☐ ☒ keine Spannungen
- ☐ ☒ Zugeigenspannungen
- ☒ ☐ Druckeigenspannungen

3 Punkte

Begründen Sie ihre Antworten:



Beispielfragen

1 Punkt

Unter Eloxieren versteht man

ja nein

☐ ☐ eine kathodische Oxidation einer Aluminiumoberfläche

1 Punkt

Begründen Sie ihre Antworten:

Beispielfragen

1 Punkt

Unter Eloxieren versteht man

ja nein

☐ ☒ eine kathodische Oxidation einer Aluminiumoberfläche

1 Punkt

Begründen Sie ihre Antworten:



**Viel Erfolg
bei der Prüfung!**

