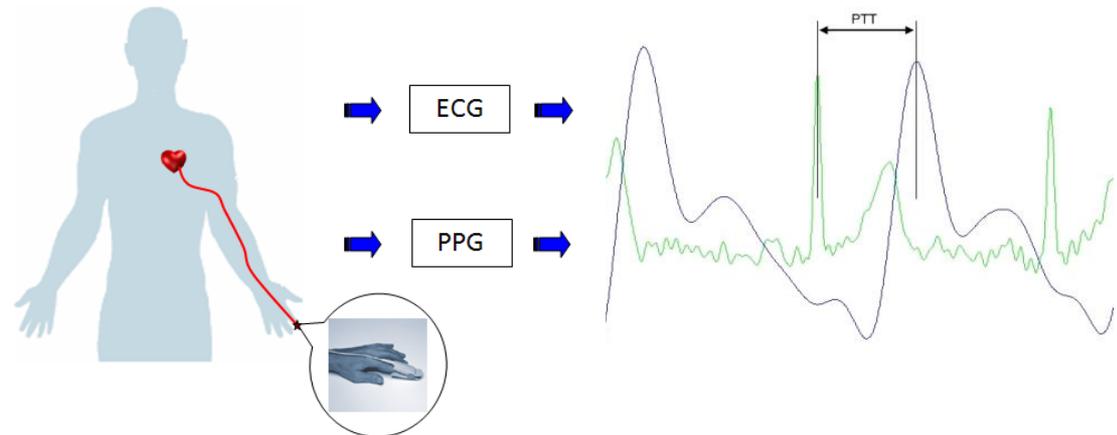


Vorlesung Mikrosystemtechnik

Teil 10: LIGA-Verfahren

Stefan Hey

Institut für Technik der Informationsverarbeitung



Gliederung

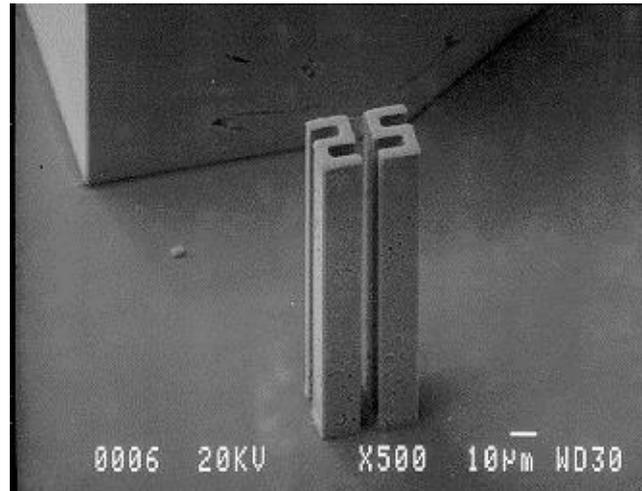
- LIGA Verfahren
 - LIGA Technik
 - Prozessabfolge
 - Maskenherstellung
 - Röntgentiefenlithographie
 - Galvanische Abscheidung
 - Abformung

- Anwendungsmöglichkeiten

LIGA-VERFAHREN - ÜBERSICHT

Das Verfahren

- LIGA steht für Lithographie, Galvanik und Abformung
- Das LIGA Verfahren bietet den Vorteil, Mikrobauerteil mit nahezu beliebigen lateralen Geometrien und großer Strukturhöhe aus den Materialien Kunststoff, Metall und Keramik erstellen zu können
- Deckt den Bereich der Nicht-Silizium-Materialien ab



Das Verfahren

- Am KIT (FZK) in den 80er Jahren entwickelt
- Zur Herstellung von Trenndüsen zur Urananreicherung
- Herstellung großer Stückzahlen durch Prägwerkzeug zum Spritzgießen oder Heißformen
- Anwendung in Automobiltechnik, Medizintechnik, Kommunikationstechnik



Eigenschaften des LIGA-Verfahrens

- große Freiheit bei der Geometrie des Layouts
- große Aspektverhältnisse bis über 500 sind möglich
- parallele Seitenwände mit Flankenwinkeln nahe 90° (Abweichung: etwa $1 \mu\text{m}$ für 1 mm hohe Strukturen, $< 0,1^\circ$)
- glatte Seitenwände (R_a im Bereich von 10 nm), die z. B. als optische Spiegel geeignet sind
- laterale Maßhaltigkeit von einigen Mikrometern über Abstände von einigen Zentimetern
- Strukturdetails im 30 nm -Bereich auf Seitenwänden sind möglich
- zusätzliche, geneigte Strukturen sind über Zweitbelichtungen möglich

LIGA-Verfahren

■ Vorteile:

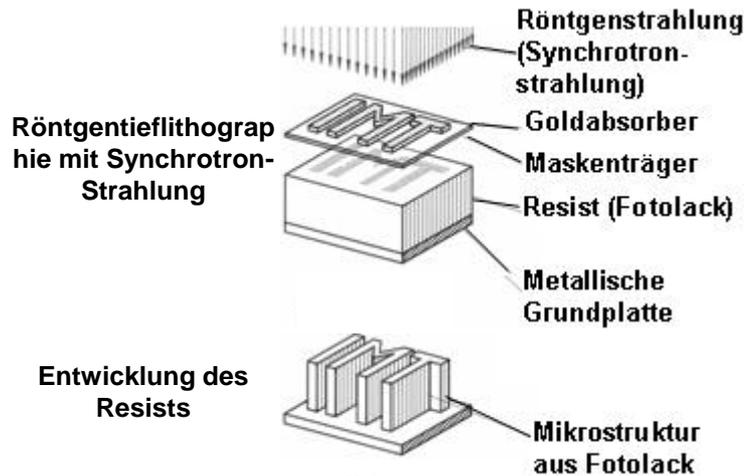
- Sehr hohes Aspekt-Verhältnis - je nach Struktur bis zu 50 – 500 und eine Oberflächenqualität im Submikrometerbereich
- Strukturhöhen bis zu 3mm
- Große Materialpalette: Kunststoffe, Metalle, Keramiken

■ Nachteile:

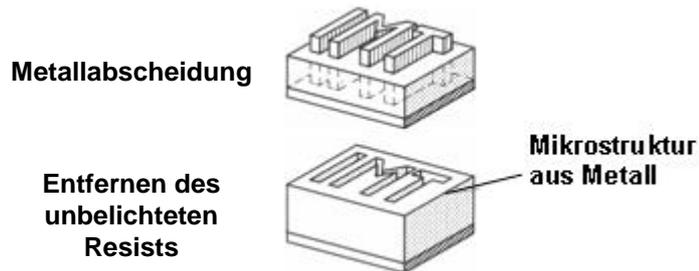
- Zwingend: Direktbelichtung mit 1:1 Maske
- Herstellung von 1:1 Maske ist sehr teuer
- Erst ab sehr großen Stückzahlen wirtschaftlich

Übersicht der wichtigsten Prozessschritte des LIGA-Verfahrens

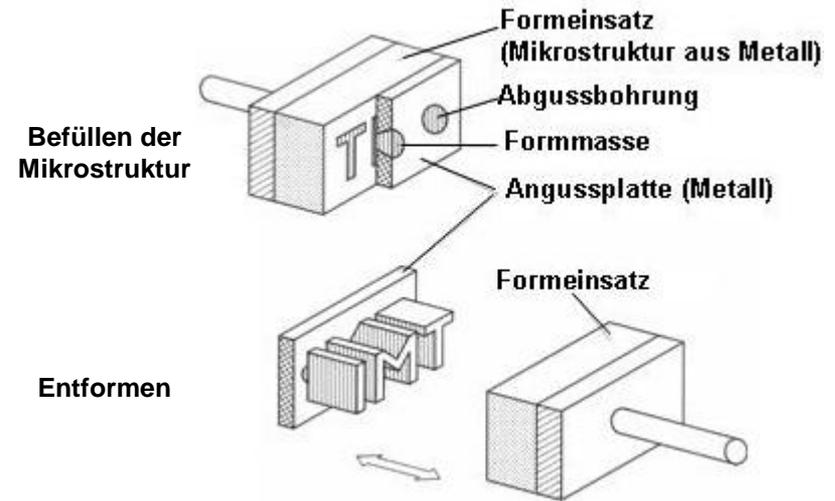
1. Lithographie



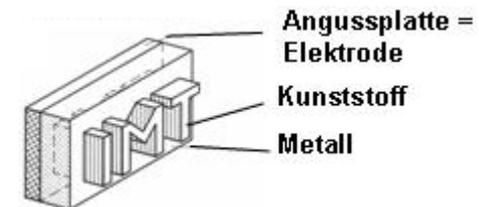
2. Galvanik



3. Abformung



4. Zweite Galvanik



Quelle: W. Menz, Mikrosystemtechnik für Ingenieure

LIGA-Verfahren

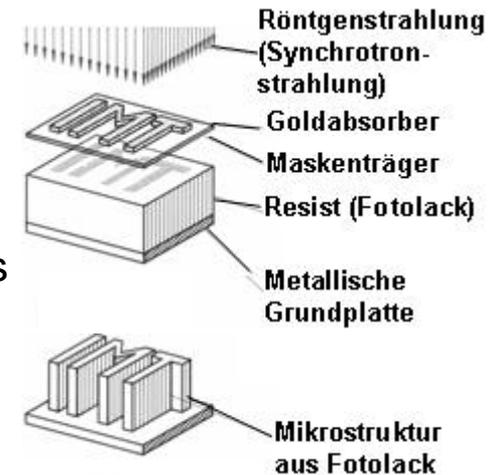
■ Röntgentiefenlithographie mit Synchrotron-Strahlung

■ Vorteile:

- intensive, parallele Strahlung mit Wellenlänge von 0,2 nm – 2 nm
- geringe Beugung erlaubt hohe Lackdicken (100 µm bis 3 mm)

■ Nachteile:

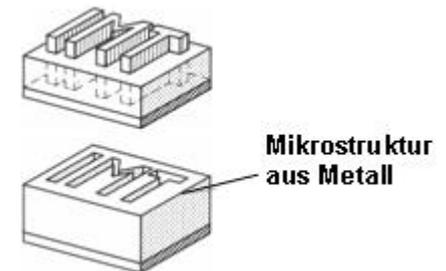
- sehr teure Apparatur



■ Galvanoformung (electroplating)

■ Vorteile:

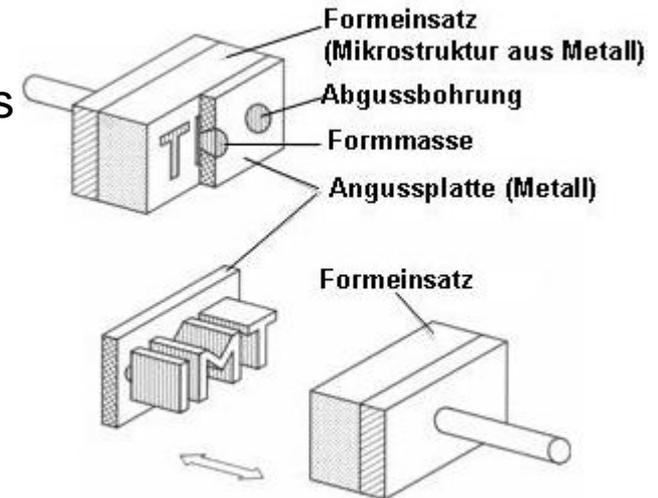
- hohe Materialvielfalt
- Die Kunststoffstruktur (Resist) wird zur (Negativ) – Metallstruktur



LIGA-Verfahren

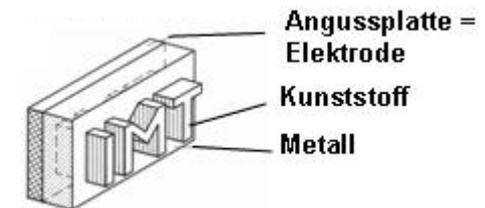
■ Abformung

- Die (Positiv) Kunststoffstruktur wird aus der (Negativ) Metallstruktur durch Mikrospritzguss oder Prägen (Warmumformen) abgeformt
- Vorteil:
 - Massenfertigung von Mikrostrukturen in Kunststoff

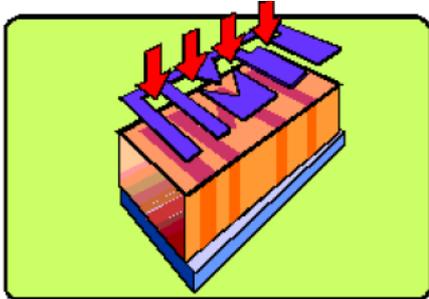


■ Eventuell zweite Galvanoformung (electroplating)

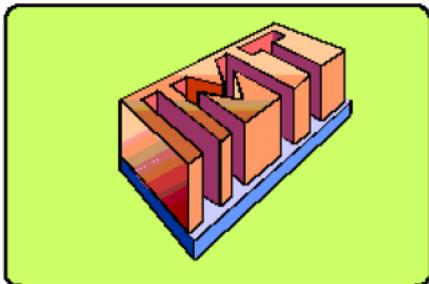
- Vorteile:
 - hohe Materialvielfalt
- Nachteile:
 - verlorene Formen



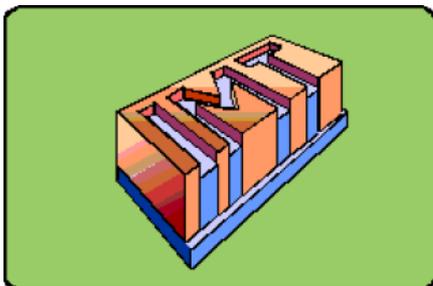
LIGA-Verfahren



- eine relativ dicke Schicht röntgenempfindlichen Kunststoffs (meist PMMA = Plexiglas) wird auf einem Metallträger mit Hilfe von Röntgentiefenlithographie (1:1 Maske) belichtet

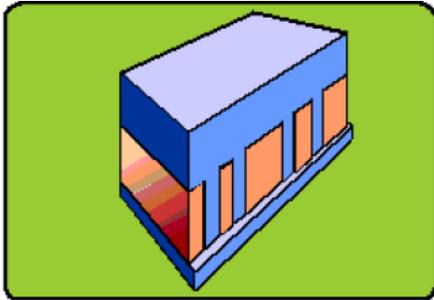


- Die nach dem Ätzen entstandene Form

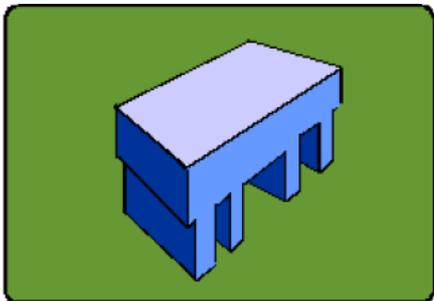


- Durch den metallischen Träger besteht nun die Möglichkeit an diesen galvanisch Metall anzulagern

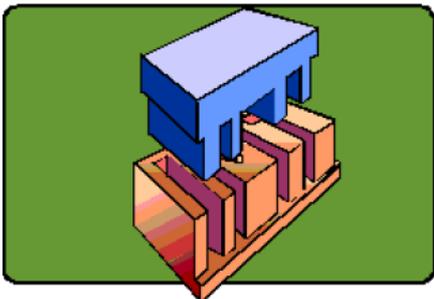
LIGA-Verfahren



- Setzt man den Galvanisierungsvorgang fort, bis sich eine dicke Metallschicht auf der Oberfläche gebildet hat...



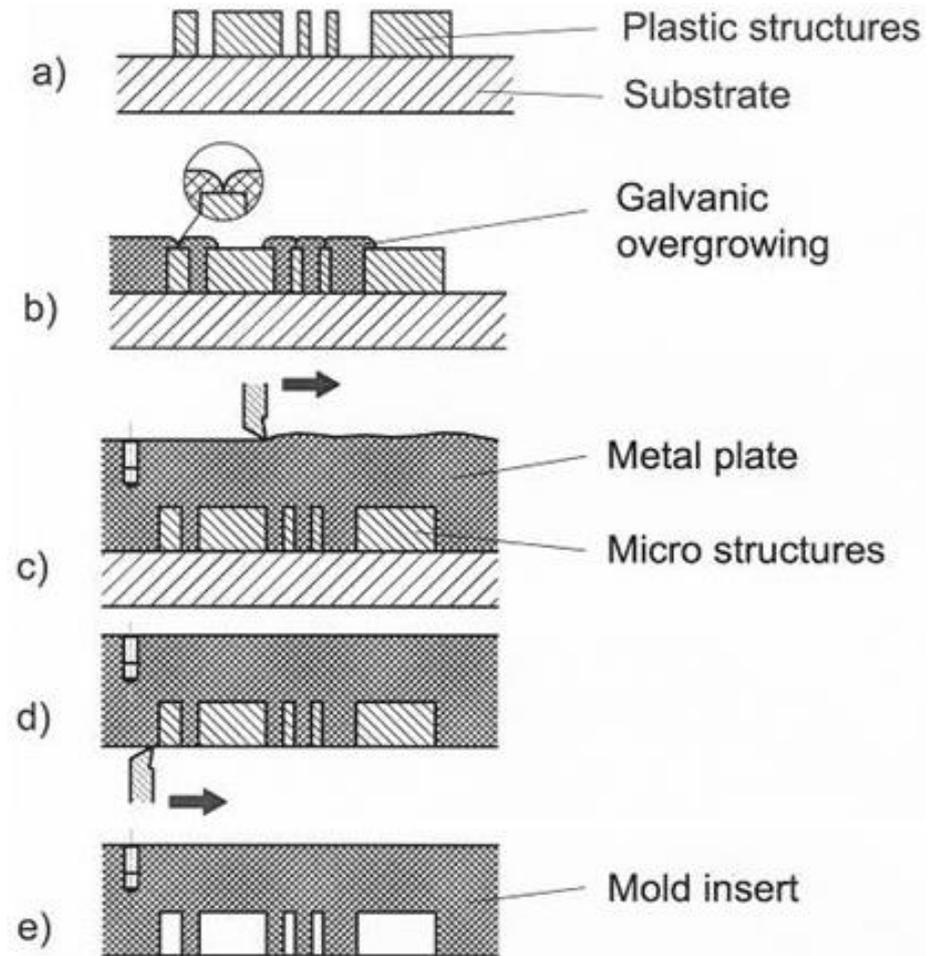
- ...erhält man entweder das gewünschte Bauteil aus Metall...



- ...oder eine Metallform, die zum Spritzgießen oder Heißprägen von Kunststoffen dienen kann

Herstellung eines Formeinsatzs in LIGA-Technik

- Herstellung der Mikrostrukturen (Röntgenlithografie) (a)
- Galvanische Abscheidung von Nickel mit Überwachsen der Metallabscheidung (b)
- Bildung einer stabilen Metallplatte oberhalb der Mikrostrukturen (z.B. 5mm) (c)
- Abtrennung der Grundplatte (ggf. Oberflächenbearbeitung der Stirnfläche)
- Entfernen des Resist



Bildquelle: IMTEK – Institut für Mikrosystemtechnik

MASKENHERSTELLUNG

Maskenherstellung für die Röntgenlithographie

■ Anforderungen

■ Transmission einer Schicht

$$T(\lambda) = e^{-\alpha(\lambda) \cdot d}$$

α : Absorptionskoeffizient, d : Schichtdicke

■ Absorber

■ Absorption der Strahlung im bestrahlten Bereich

■ Material mit hohem Atomgewicht (Au, Ta, W) und hohem Absorptionskoeffizient

■ Gold-Schicht mit Dicke bis zu 25 μm

■ Trägerfolie

■ Idealerweise keine Absorption

■ Material mit geringem Atomgewicht (Be, Ti, Si)

■ Dünne Schicht (wenige μm)

■ Die Maskenherstellung beim LIGA-Verfahren :

■ Herstellung der Trägerfolien

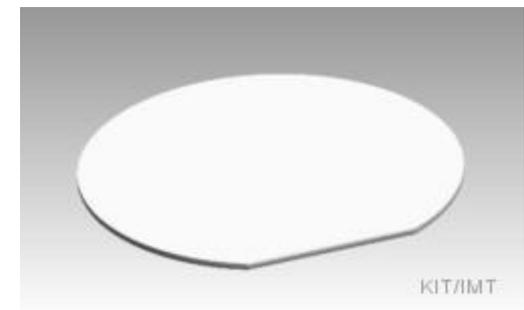
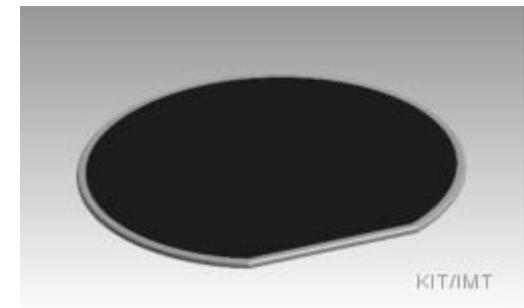
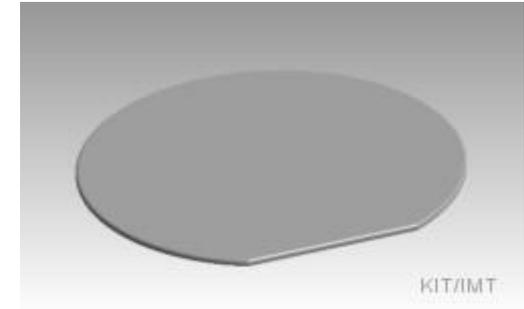
■ Strukturierung der Resistschicht einer Zwischenmaske

■ Goldgalvanik der Absorberstrukturen

■ Kopieren der Zwischenmaske und erneute Goldgalvanik

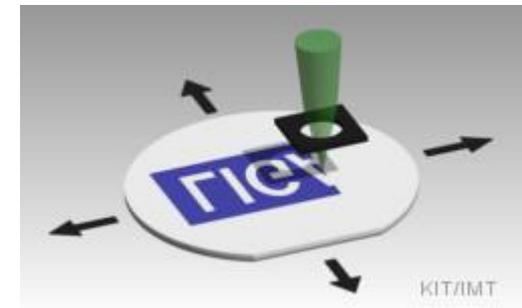
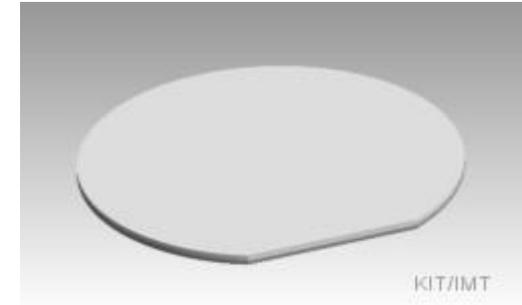
Herstellung – Zwischenmaske (ZM)

- Siliziumwafer als Substrat eben, glatt und preiswert
- Beschichtung mit Kohlenstoff im Zentrum des Wafers. Antihafschicht für nachfolgende Schicht, um Maske am Ende vom Wafer trennen zu können
- 2 μm Titan aufspattern, für Röntgenlicht nahezu transparent



Herstellung – Zwischenmaske (ZM)

- Beschichtung mit Resist (3,5 μm PMMA)
Spin-Off-Verfahren
- Elektronenstrahlschreiben (100 keV)
max. 3,5 μm wegen Streuung der Elektronen
im Material
- Entwickeln und entfernen des Resist



Herstellung – Zwischenmaske (ZM)

- Galvanische Abscheidung von Gold ($2,2\ \mu\text{m}$) auf Titanschicht
- Restlichen Resist entfernen
- Aufkleben eines Stahlrahmens Halterung für die Titanmembran



Herstellung – Zwischenmaske (ZM)

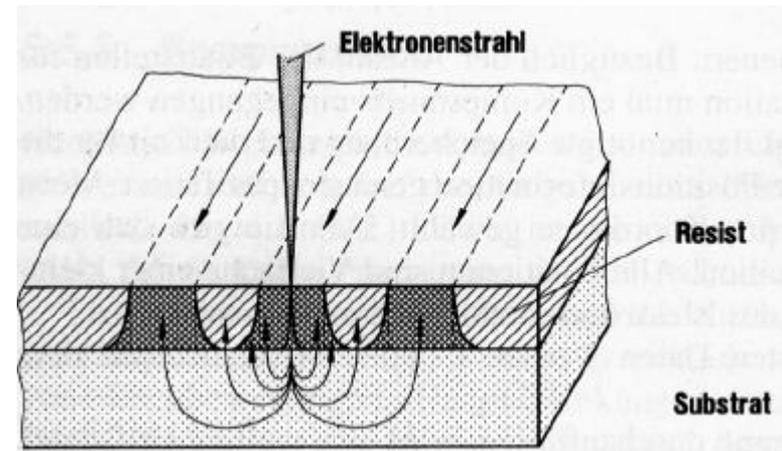
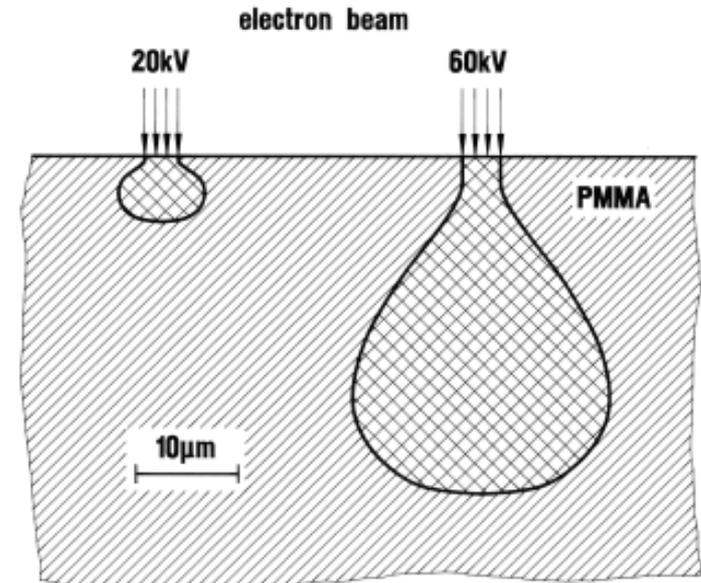
- Durchtrennen der Titanschicht
- Abheben der Zwischenmaske vom Wafer
- Fertige Zwischenmaske (2 μm Ti, 2 μm Au)
Röntgenkontrast für Strukturierung von maximal 70 μm PMMA => Arbeitsmaske



Auflösung der Elektronenstrahl-Lithographie

- Kleinste Strukturgeometrie wird bestimmt durch Wechselwirkung zwischen Elektronen, Resist und Substrat
 - Strahldurchmesser (~ nm) nicht entscheidend

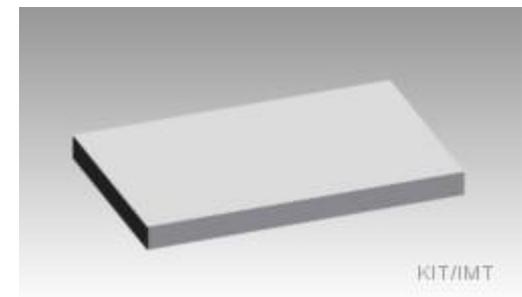
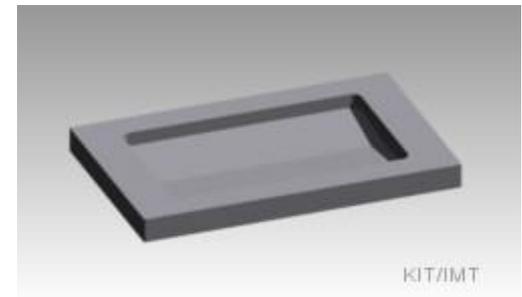
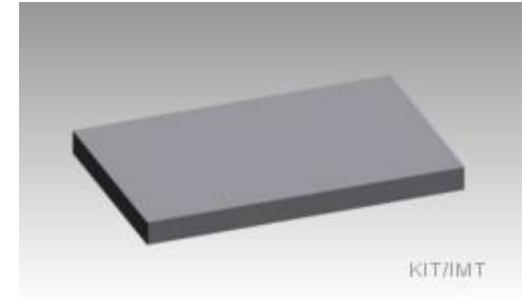
- Proximity-Effekt
 - Vorwärtsstreuung der Elektronen im Resist
 - Keulenförmig Verteilen
 - Rückstreuung der Elektronen vom Substrat
 - Belichtung des Resists von unten



Bildquelle: <http://www.imtek.de>

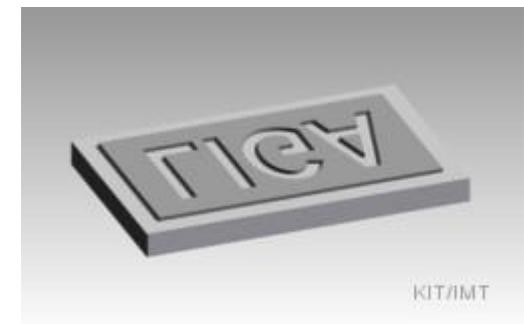
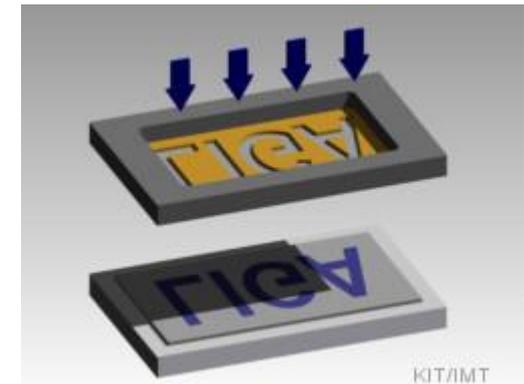
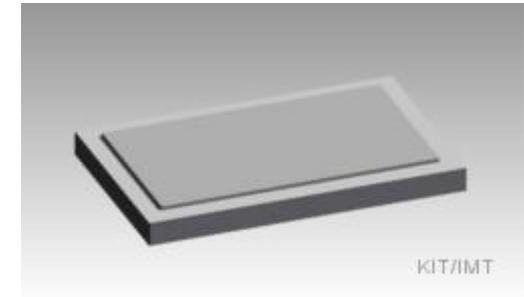
Herstellung – Arbeitsmaske (AM)

- AM Stahlplatte (polierte Vorderseite)
- Rückseite der Arbeitsmaske
- Beschichten mit 2 μm Titan



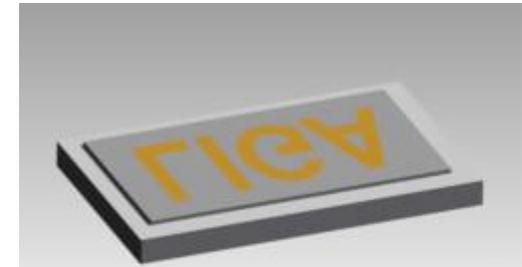
Herstellung – Arbeitsmaske (AM)

- Beschichtung mit Resist (60 μm PMMA) durch aufkleben
- Röntgenlithographie mit Zwischenmaske
- Entwickeln und entfernen des Resist



Herstellung – Arbeitsmaske (AM)

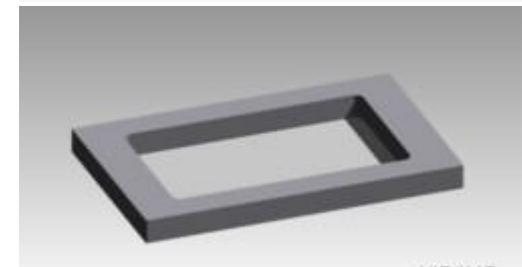
- Galvanisches Abscheiden von Gold (25 μm)
- Entfernen des Resist
- Rückseite der Arbeitsmaske (Entfernen des Stahl mit selektivem Ätzmittel)



KIT/IMT

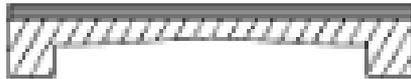


KIT/IMT



KIT/IMT

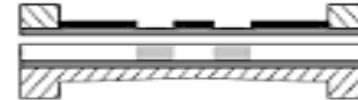
Herstellung einer Arbeitsmaske



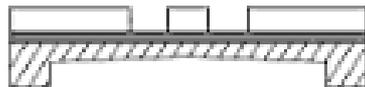
Aufputtern von Titan



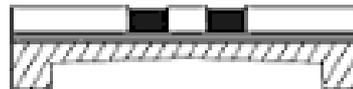
Resistschicht aufkleben und abfräsen



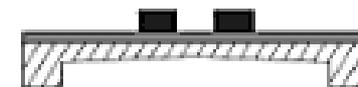
Resist durch ZM belichten
(Synchrotron)



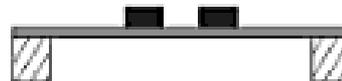
Resist entwickeln



Aufgalvanisieren



Auflösen des Resists



Freiätzen der Arbeitsmaske

Bildquelle: Röntgenlinsen mit großer Apertur – Markus Simon

RÖNTGENLITHOGRAPHIE

RÖNTGENLITHOGRAPHIE

Warum Röntgenlithographie

- Verdopplung der Komponenten auf integrierten Schaltkreisen alle 1-2 Jahre
- Halbierung der Prozessgröße alle 2-4 Jahre
- Wellenlänge der Strahlung ist entscheidend für die minimale Strukturauflösung
- Optische Lithographie:
 - Wellenlänge von 426 nm – 157 nm
- Röntgenlithographie
 - Wellenlänge von 2 - 0.2 nm sind nutzbar
→ wesentliche Verringerung der Strukturbreite

| Jahr | Prozessgröße (min. möglich) |
|-------------|-----------------------------|
| 1971 | 10 µm |
| 1974 | 6 µm |
| 1977 | 3 µm |
| 1982 | 1.5 µm |
| 1985 | 1 µm |
| 1989 | 800 nm |
| 1994 | 600 nm |
| 1995 | 350 nm |
| 1997 | 250 nm |
| 1999 | 180 nm |
| 2001 | 130 nm |
| 2004 | 90 nm |
| 2006 | 65 nm |
| 2008 | 45 nm |
| 2010 | 32 nm |
| 2012 | 22 nm |
| 2014 | 14 nm |
| 2016 | 10 nm |
| 2018 | 7 nm |
| 2020 | 5 nm |

Röntgentiefenlithographie

- Warum Röntgentiefenlithographie:
 - Wellenlängenbereich: $0,2 \text{ nm} \leq \lambda_c \leq 2 \text{ nm}$
 - Beugungseffekte sind vernachlässigbar
 - Belichtung des Resist bis zu einer Dicke von 3 mm (3000 μm) möglich
- Schwierigkeiten:
 - Keine optischen Komponenten verfügbar (wie Linsen oder Hohlspiegel):
 - Nur Schattenprojektion (Proximity - Belichtung) möglich
 - Keine Recticle (Verkleinerung 10:1) möglich
 - Strukturen der Maske haben dieselben Abmessungen wie im Resist
 - Großer Aufwand bei der Massenfertigung
 - Strahlungsschäden (im Resist)
- Haupteinsatzgebiet: LIGA-Technik

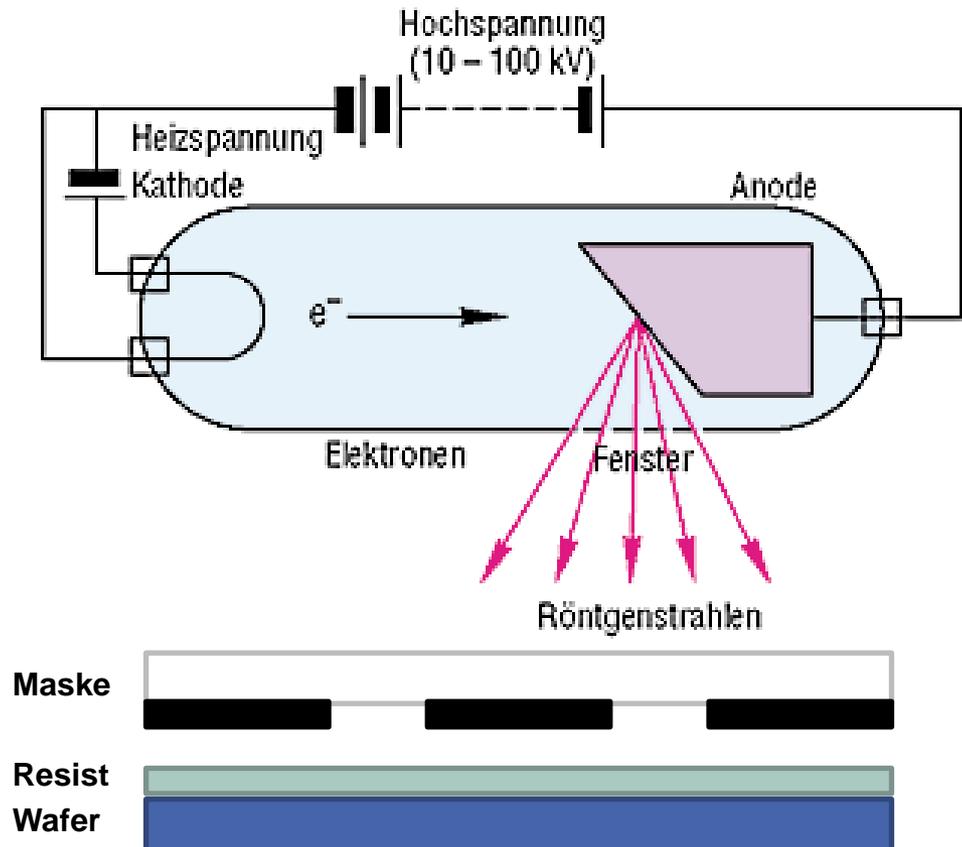
Röntgenquellen

- Anforderung:
 - Hohe Intensität
 - kurze Belichtungszeit → hoher Scheibendurchsatz
 - Hohe Parallelität der Strahlung
 - hohe Strukturauflösung
 - hohes Aspektverhältnis

- Röntgenquellen:
 - Hochleistung – Röntgenröhren
 - Plasmaquellen
 - Synchrotron

Strahlerzeugung der Röntgenröhren

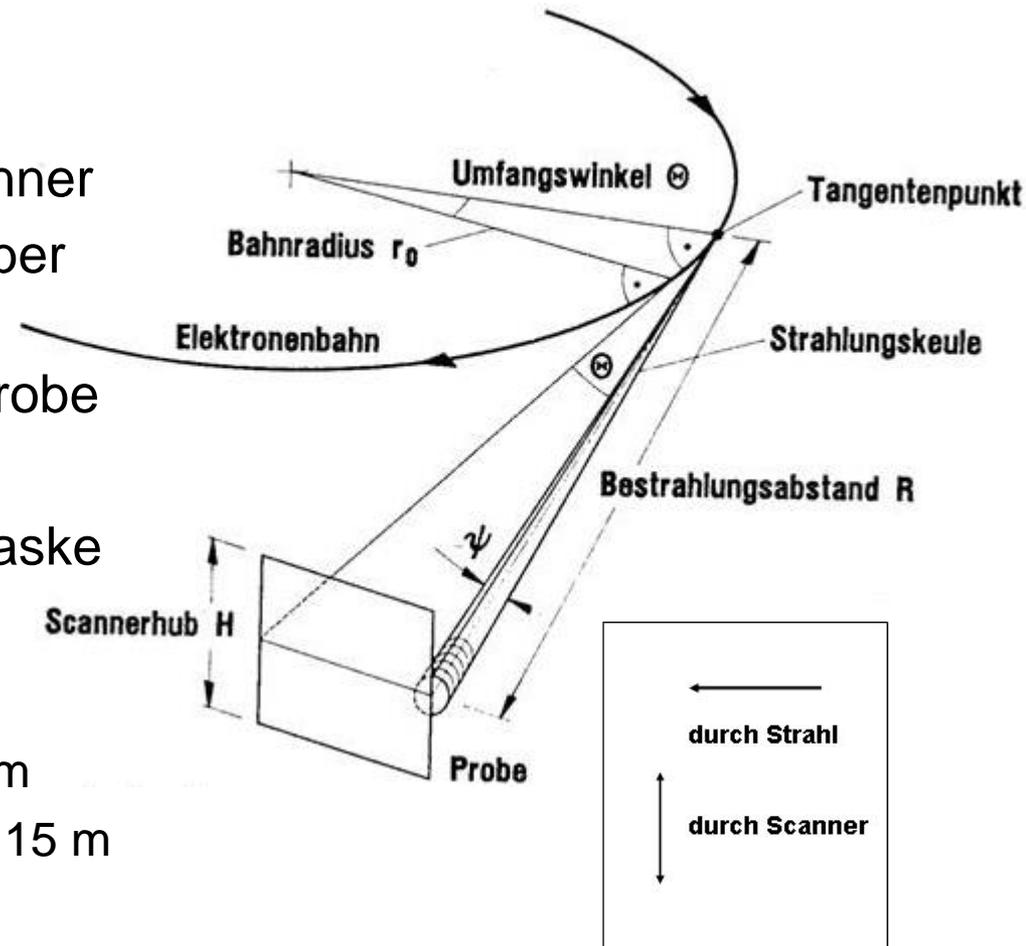
- Glühender Metalldraht (Kathode) sendet e^- aus
- Anode beschleunigt e^-
- Abbremsen der Elektronen am Target
 - Bremsstrahlung + Wärme
- Nachteile:
 - Starke Wärmeentwicklung am Substrat
 - Zu geringe Intensität
 - Nicht parallel
- Keine Bedeutung in der MST



Prinzip des Synchrotron

- Strahlung strahlt tangential ab
- Horizontal: Streifenförmig
- Vertikal: Bewegung durch Scanner
- Proben müssen mit Scanner über den Strahl gelenkt werden
- Komplette Ausleuchtung der Probe
- Periodischer Energieeintrag
- Periodische Erwärmung der Maske

- **Typische Werte:**
 - Halbwertsbreite (1σ): ca. 1 mm
 - Bestrahlungsabstand R: 10 – 15 m
 - Scannerhub H: max. 200 mm

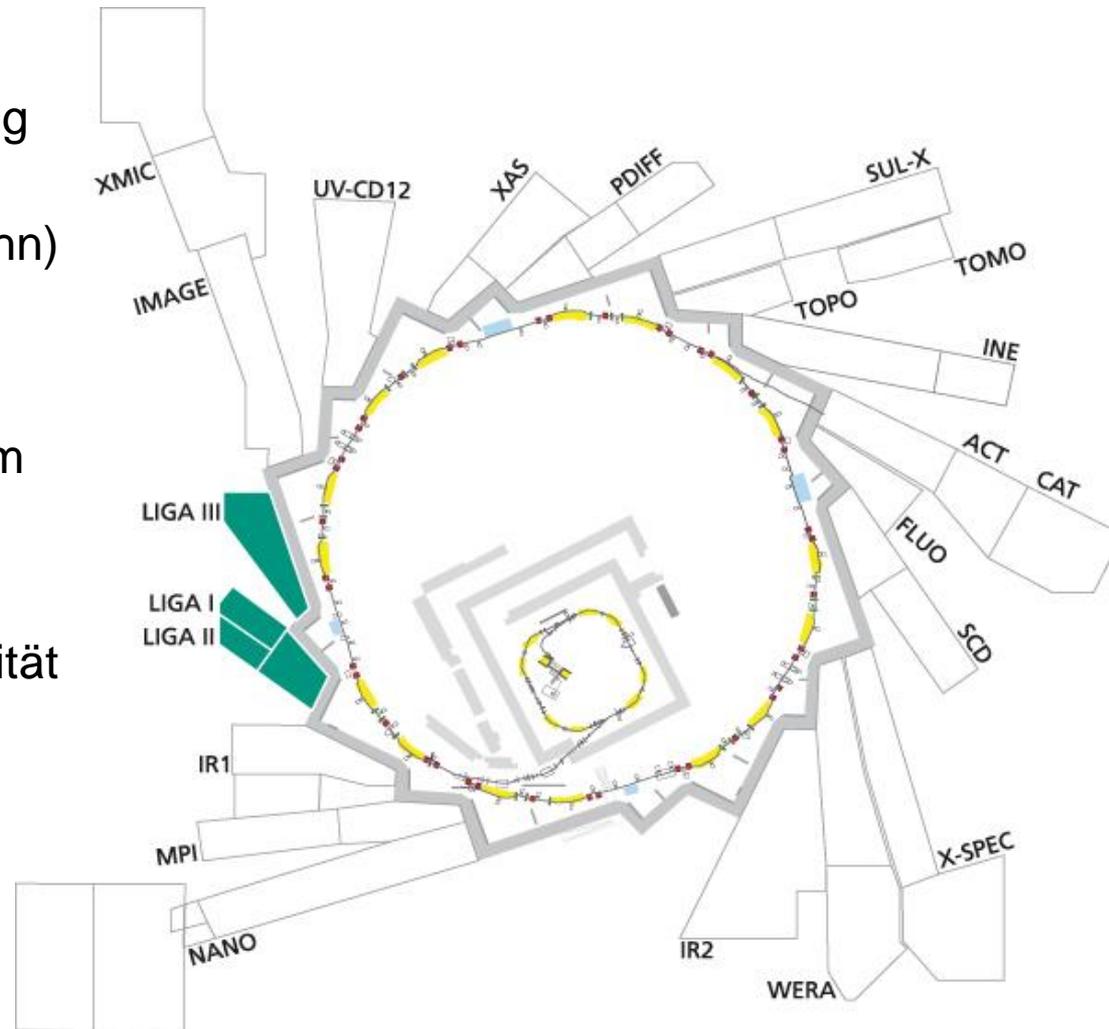


Bildquelle: <http://www.imtek.de>

Synchrotron-Strahlung

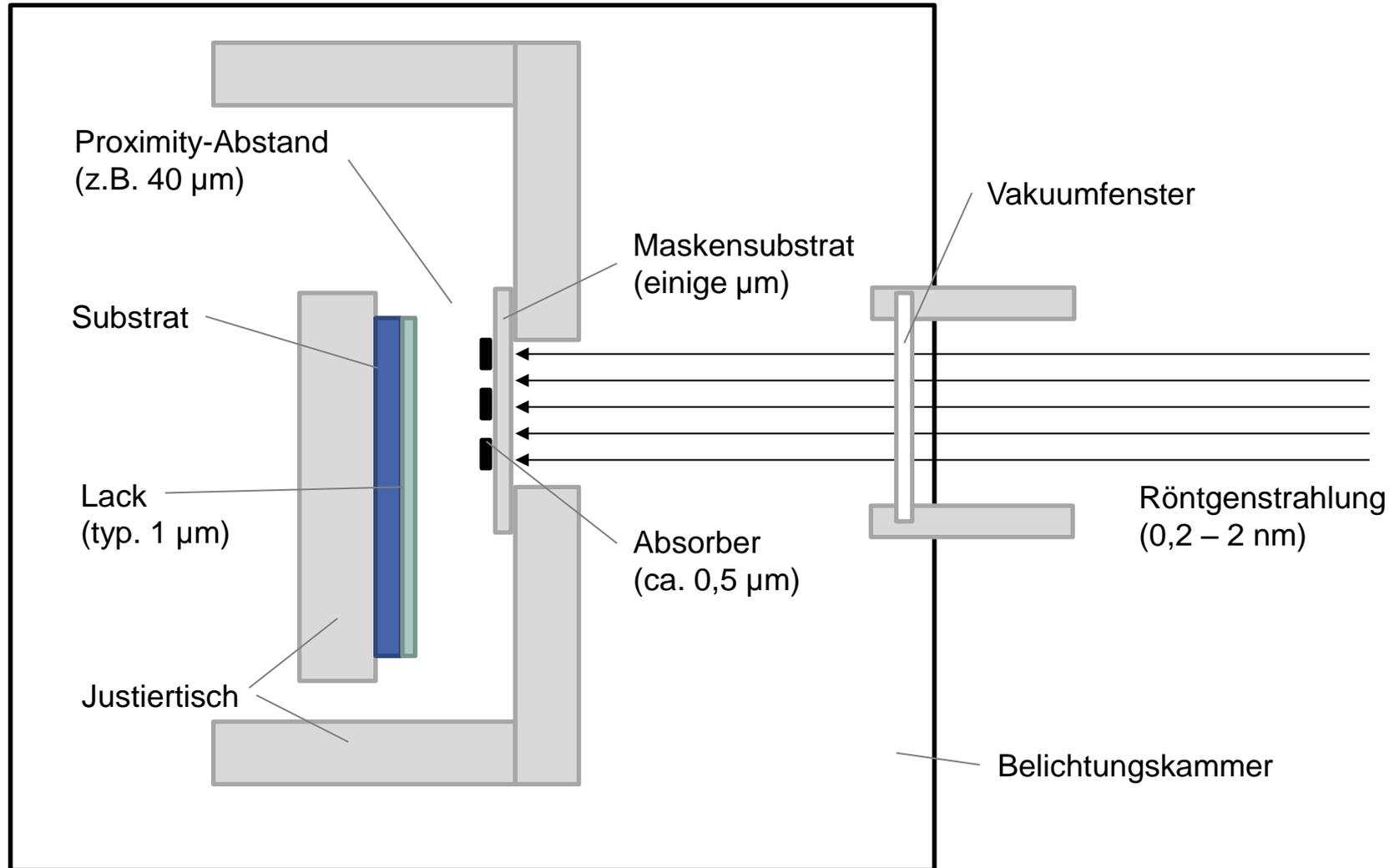
- Elektronen auf Kreisbahn
 - Zentripetalbeschleunigung
 - Synchrotron-Strahlung (tangential zur Umlaufbahn)

- Eigenschaften
 - Kontinuierliches Spektrum
 - Hochparallel
 - Polarisiert
 - Sehr hohe Langzeitstabilität
 - Technisch geeignet für Lithographie



Bildquelle: <https://www.anka.kit.edu/>

Synchrotron Lithographie

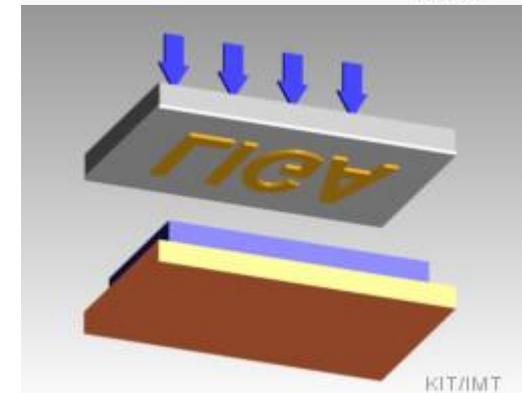
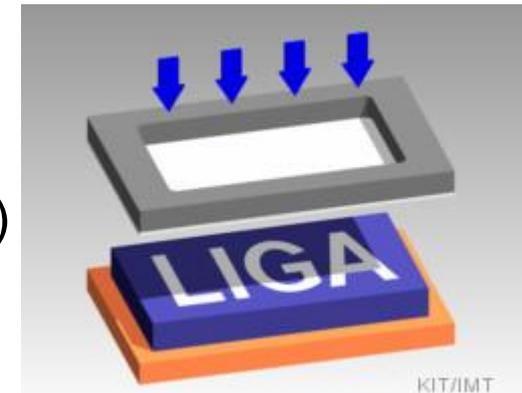


Röntgenlithographie

- Vorteile:
 - Sehr kleine Wellenlänge
 - Beugungseffekte sind vernachlässigbar
 - Strukturbreiten im nm-Bereiche sind möglich
- Nachteile:
 - Synchrotron-Strahlung sehr aufwendig (Teilchenbeschleuniger)
 - Hohe Anforderungen an die Röntgenmasken
 - Sehr teures Verfahren
 - Für die Mikroelektronik noch keine Bedeutung
- Aspektverhältnis:
 - Hochenergetische, parallele Strahlung
 - Belichtung von Resist bis zu einer Dicke von 3 mm möglich
 - Hohe Strukturen, Verwendung für den Spritzguß (LIGA)
 - Interessant für die MST

Resiststrukturierung durch Röntgenlithographie

- Herstellung der PMMA-Resistschicht (kleben oder gießen mit anschließender Polymerisation)
Röntgenlithographie mit Arbeitsmaske
- Röntgenlithographie mit Arbeitsmaske
- Entwickeln und entfernen des Resist

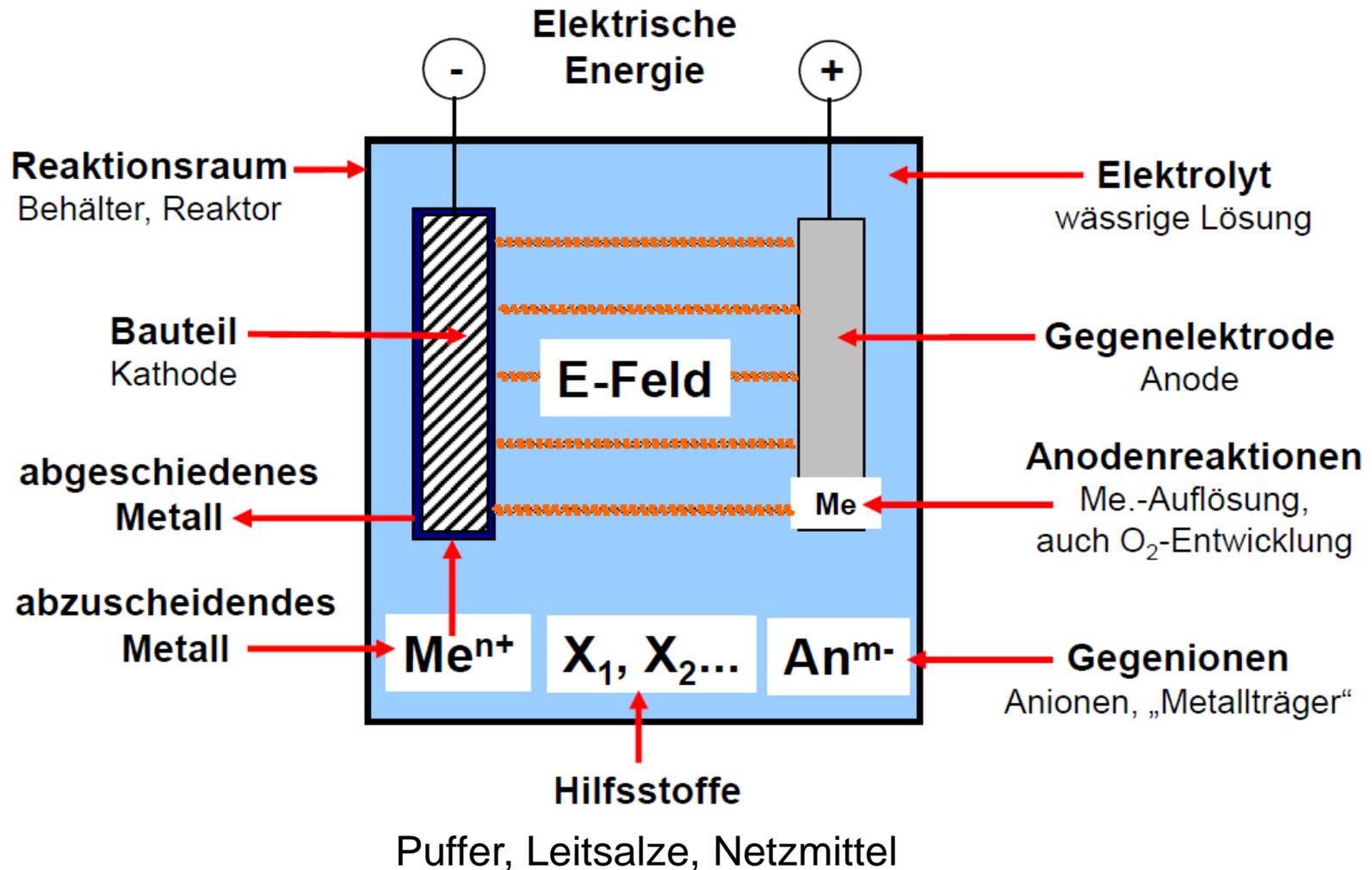


GALVANISCHE ABSCHIEDUNG

Galvanoformung

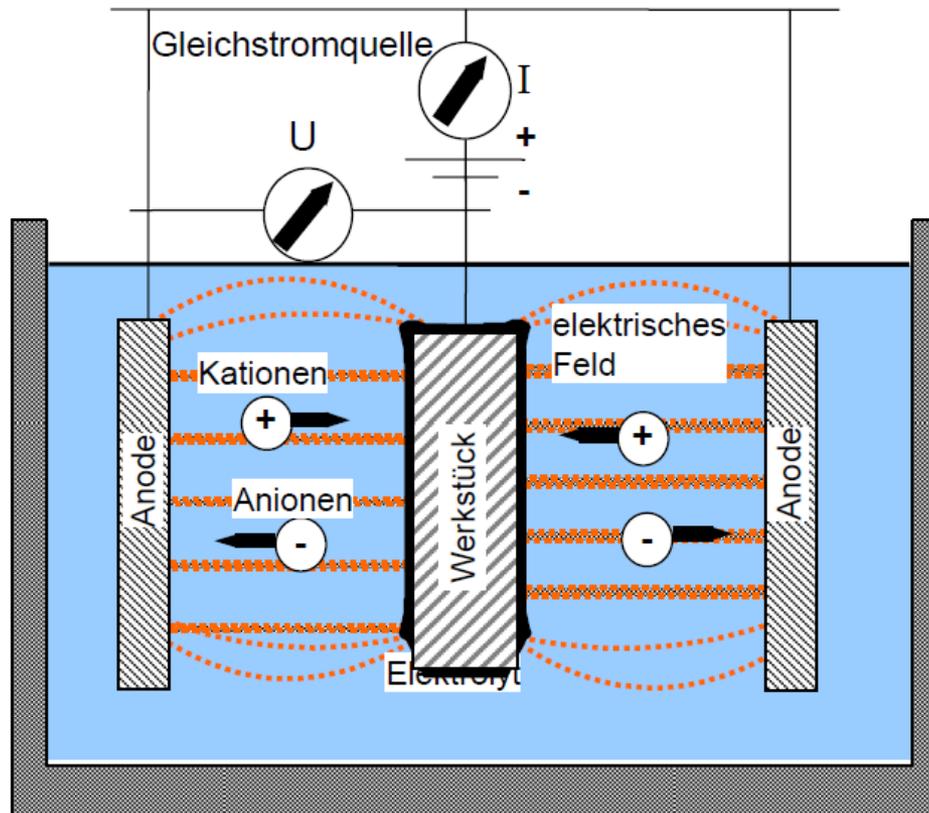
- Die galvanische Abscheidung, das so genannte Galvanoformen, erlaubt in einem wirtschaftlichen Prozess komplexe dreidimensionale Formen aus hochwertigen Materialien in Verbindung mit einer extrem genauen Oberflächenabbildung
- Die Galvanoformung stellt durch elektrolytische Abscheidung eigenstabile Metallteile her
- Diese Technik wurde bereits im 19. Jahrhundert zur naturgetreuen Reproduktion von Kunst- und Sakral-Gegenständen angewandt
- Die mit Galvanoformen hergestellten Teile werden häufig als Formwerkzeuge für die Massenproduktion großer, komplizierter Kunststoffbauteile eingesetzt
- Oft ist die Galvanoformung die einzige Möglichkeit, kompliziert konstruierte und strukturierte Bauteile herzustellen
- Möglichkeit, um die Fertigung beweglicher Teile zu realisieren

Galvanoformen - Schematischer Aufbau

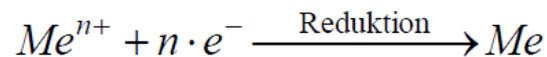


Bildquelle: IFF Universität Stuttgart - Oberflächentechnik

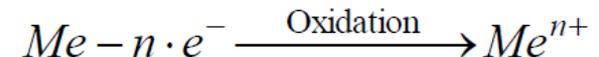
Galvanoformen - Schematischer Aufbau



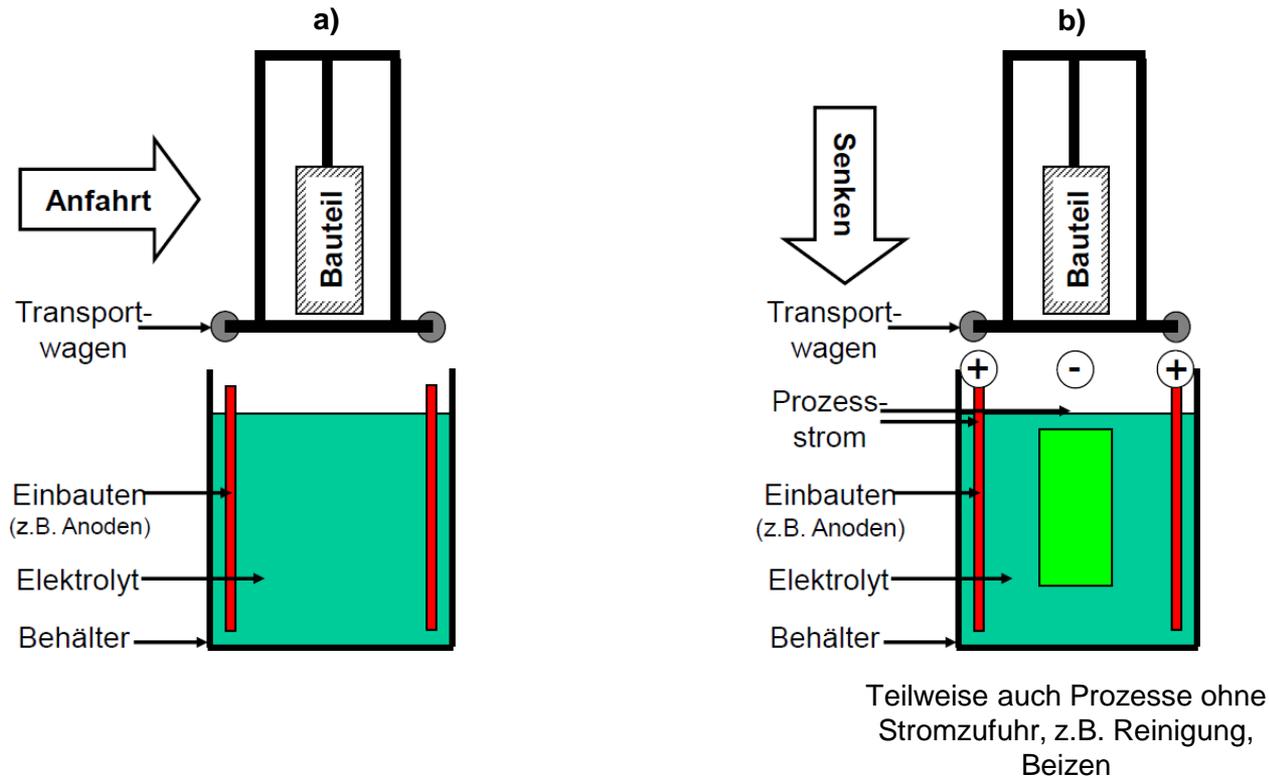
Kathodenreaktion:
(Reduktion, Schichtbildung auf dem Werkstück)



Anodenreaktion:
(Oxidation)

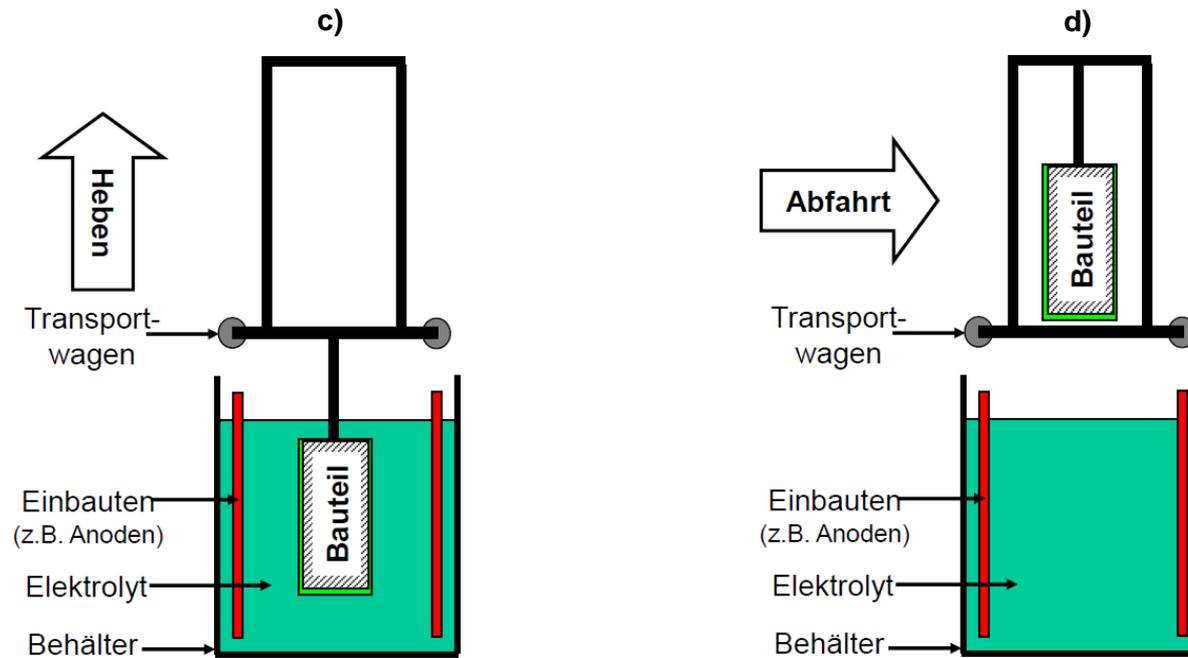


Galvanofarmen - Beschichtungsablauf



Bildquelle: IFF Universität Stuttgart - Oberflächentechnik

Galvaniformen - Beschichtungsablauf

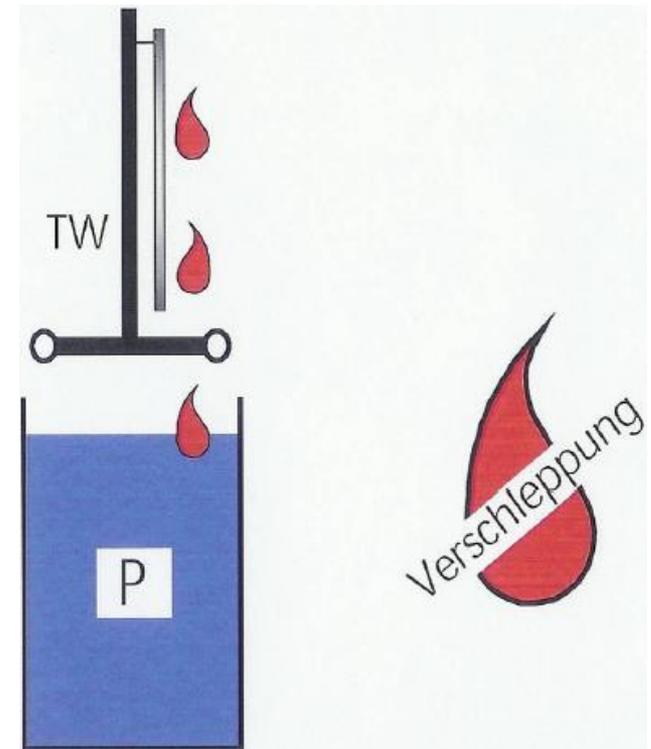


Bildquelle: IFF Universität Stuttgart - Oberflächentechnik

Verschleppung

- Verschleppung
 - Beim Transport am Bauteil anhaftende Prozessflüssigkeit / Elektrolyte
 - Gefahr der Störung weiterer Prozessstufen
 - Elektrolyte sind meist aggressiv / giftig

- Konsequenz
 - Nach jedem Prozess müssen anhaftende Elektrolytreste durch Spülen in Wasser verdünnt werden



Bildquelle: IFF Universität Stuttgart - Oberflächentechnik

Galvanische Prozesskette

■ Typische Prozesse

■ Vorbehandlung:

- Entfettung / Reinigung (teilweise mehrstufig)
- Beizen
- Dekapieren (chemische Anpassung)
- Aktivierung (z.B. Kunststoffmetallisierung, meist mehrstufig)

■ Beschichtung:

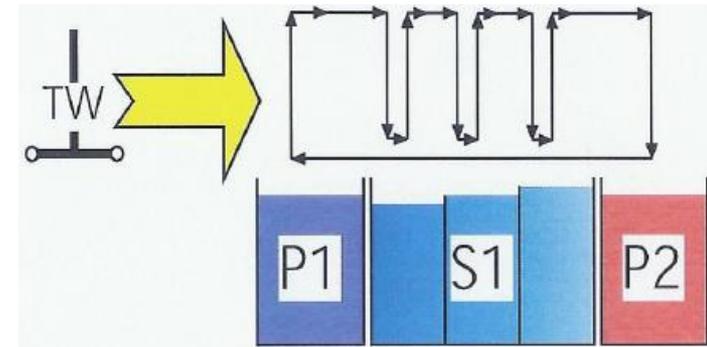
- Kupfer, Nickel, Chrom, Zink und Legierungen, Edelmetalle usw.
- Phosphatieren, Brünnieren, Eloxieren usw.

■ Nachbehandlung:

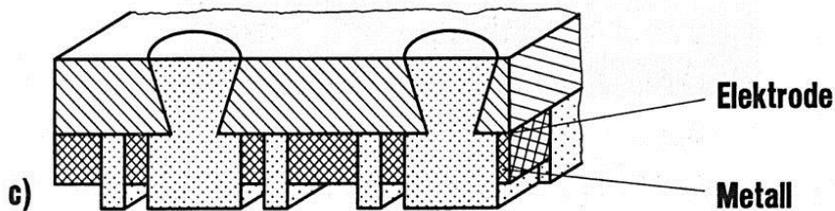
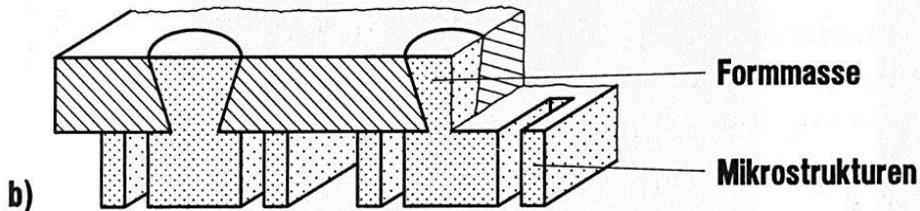
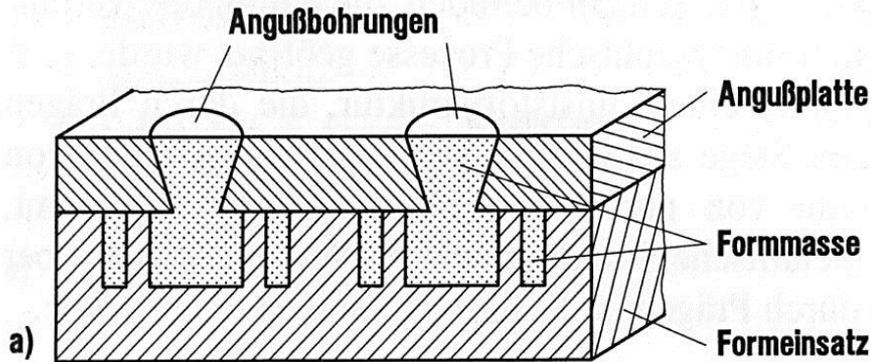
- Chromatieren und Versiegeln von Zinkschichten
- Färben und Verdichten von Eloxalschichten usw.

■ Trocknung:

- Umlufttrocknung
- Vakuumtrocknung



Galvanisierung mittels Angussplatte



- Befüllen des Formhohlraumes zwischen Angussplatte aus Metall und Formeinsatz mit Formmasse

- Entformung

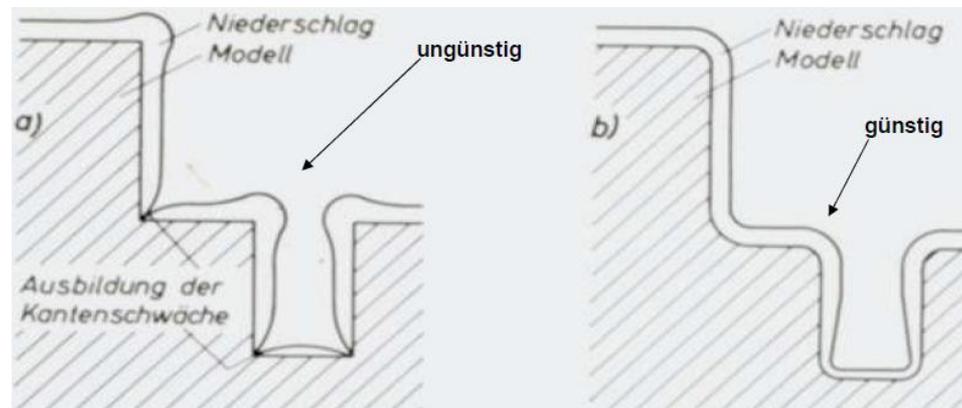
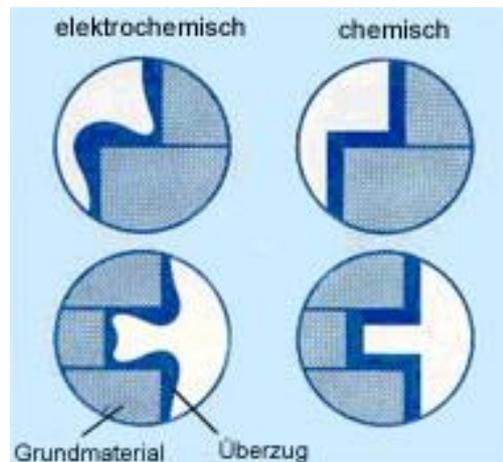
- Galvanische Metallabscheidung zwischen den abgeformten Mikrostrukturen; die Angussplatte dient hierbei als Elektrode

Vorteile des Verfahrens

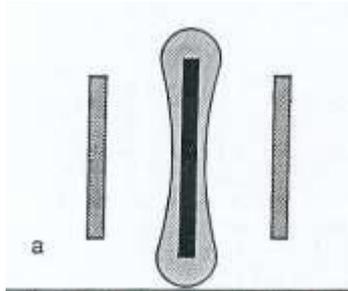
- Absolute Wiedergebegenaugigkeit von Oberflächenstrukturen
- Darstellung komplexer Geometrien
- Hohe Korrosions- und Abriebbeständigkeit gegenüber aggressiven Kunststoffen
- Anti-Hafteigenschaften der Formoberfläche
- Verschiedene Reparatur- und Änderungsmöglichkeiten
- Wirtschaftlichkeit der Werkzeugherstellung im Vergleich zu spanend hergestellten Formen

Grenzen des Verfahrens

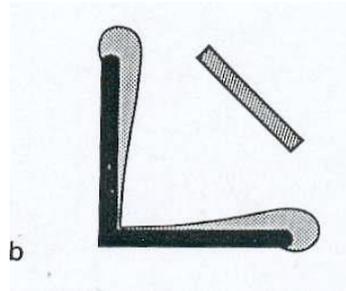
- Tiefe Schlitz bei gleichzeitig geringer Breite lassen sich galvanisch nur schlecht mit Material ausfüllen
- Bei innenliegenden Bereichen sind nach Möglichkeit Radien vorzusehen



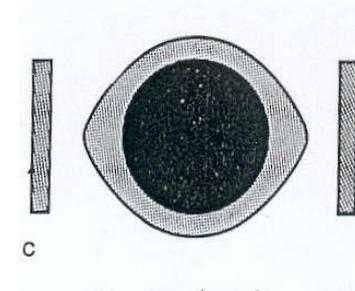
Niederschlagverteilung an den verschiedenen Oberflächen



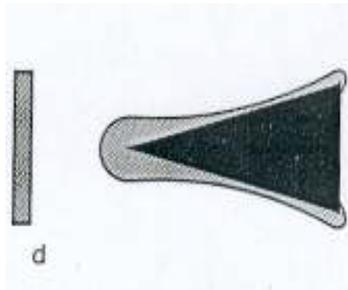
a
Verdickung an den Kanten
flacher Teile



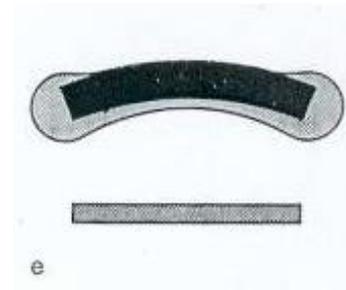
b
Bei rechtwinkligen Formen
ist der Niederschlag an den
Kanten dicker und in den
Ecken dünner



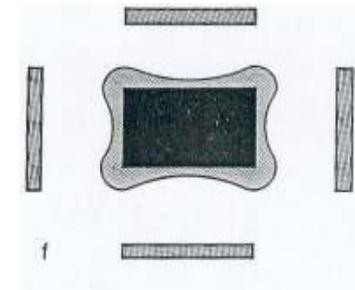
c
Ovalförmiger Niederschlag
auf einem runden
Querschnitt



d
Verdickung des
Niederschlages an der Spitze



e
Dünner Niederschlag in der
Mitte konkaver Querschnitte



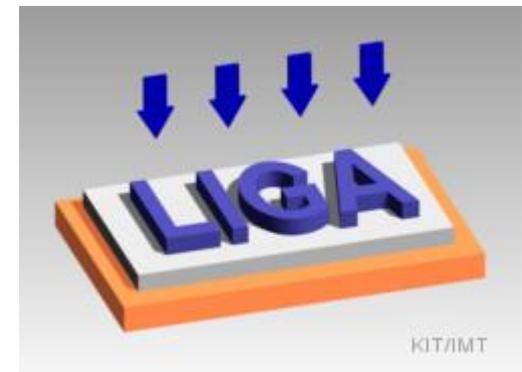
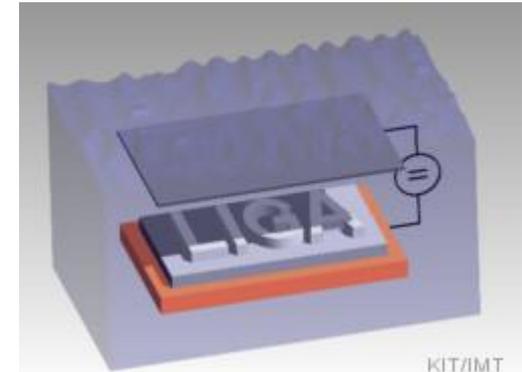
f
Verdickung an den Kanten
eines quadratischen Profils

Galvanoformung von Metallmikrostrukturen

- Galvanoformung mit Resiststruktur auf leitfähigem Substrat

- Belichten des Resist

- Entwickeln und entfernen des Resist



Galvaniformung von Metallmikrostrukturen

- Fertige Metallmikrostruktur
- Werden mit einem Galvanikschritt hergestellt

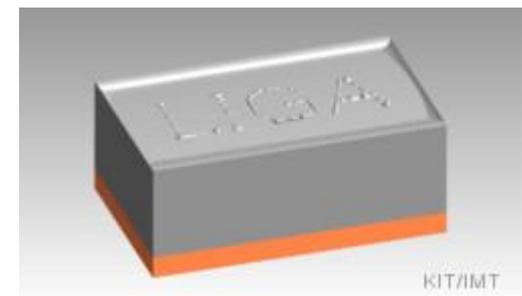
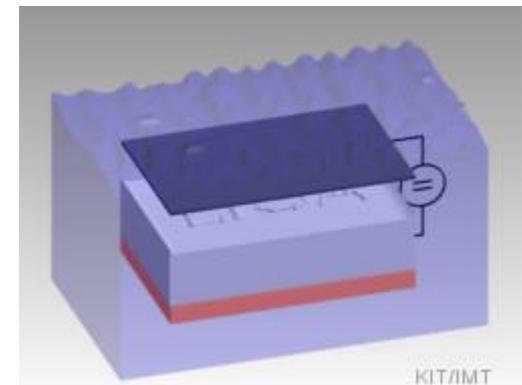
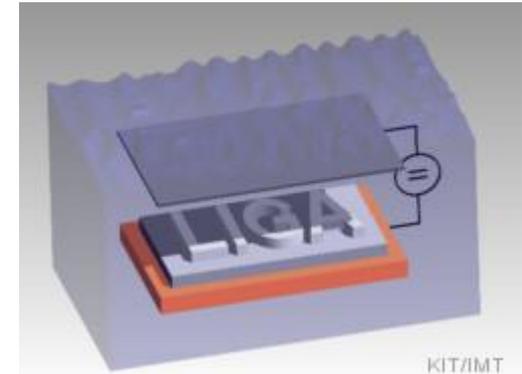


Galvanoformung von Formeinsätzen

- Galvanoformung mit Resiststruktur auf leitfähigem Substrat

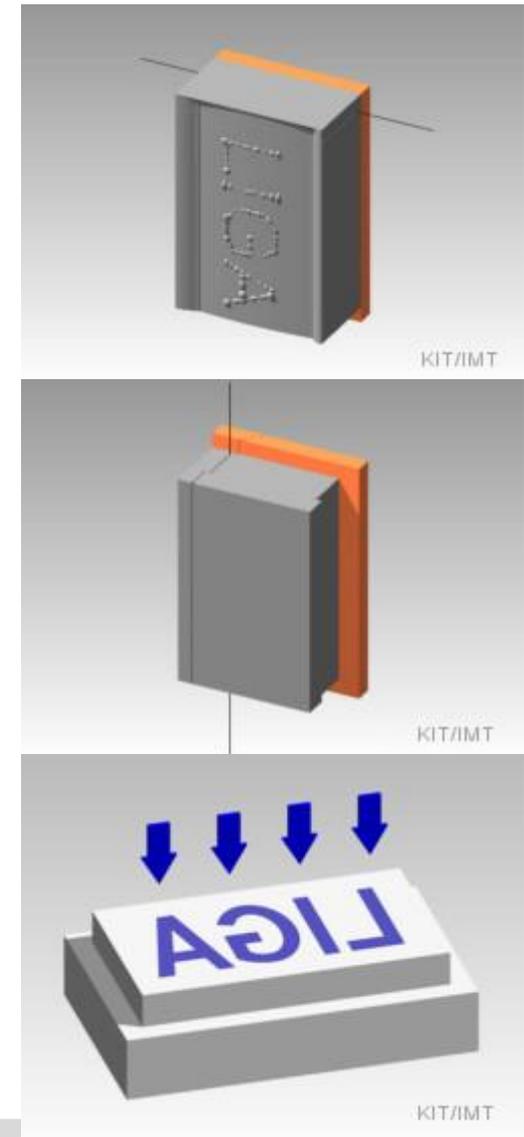
- Metall überwächst die PMMA-Struktur

- Formeinsatz auf Substrat



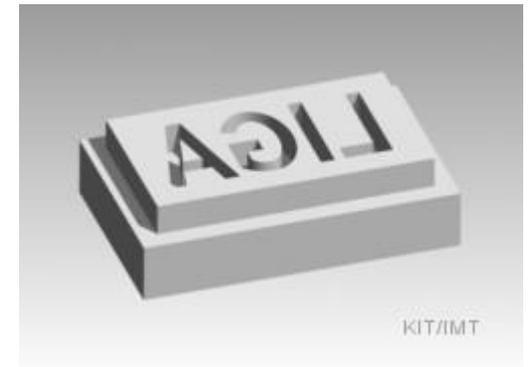
Galvanoformung von Formeinsätzen

- Abtrennen des Substrates
- Formgebung durch Drahterodieren
- Belichtung des Resist



Galvanoformung von Formeinsätzen

- Fertiger Formeinsatz



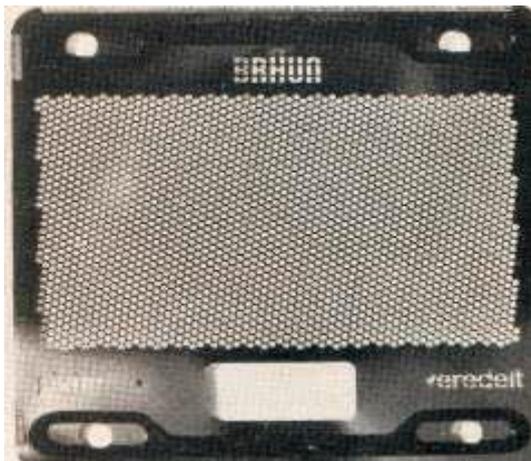
Galvanoformung - Anwendung



Mikrostrukturen



**Spritzgießwerkzeug für
Blinker**



Schersieb

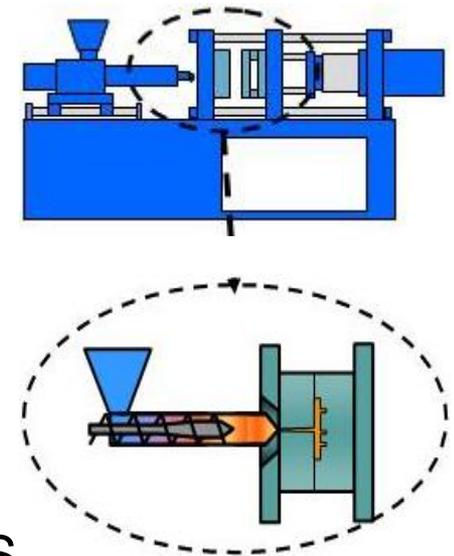


Gold-Hohlschmuck

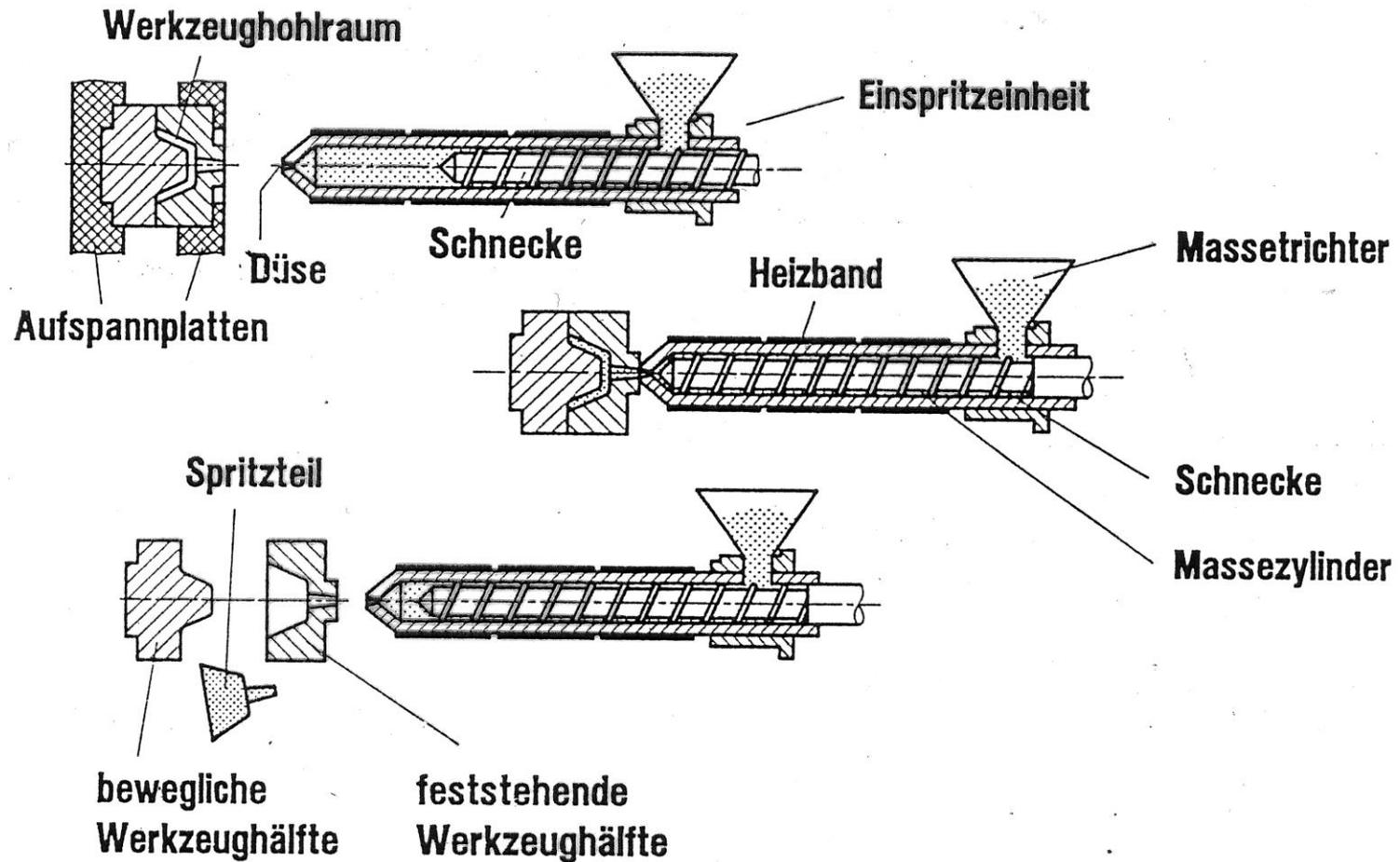
ABFORMUNG

Spritzgießverfahren (Injection Moulding)

- Funktionsprinzip:
 - Aufschmelzen des Kunststoffgranulats in der Spritzeinheit
 - Beheizen des Werkzeuges auf nahezu Schmelztemperatur des Kunststoffs
 - Evakuieren der Kavität des Formeinsatzes, damit sich keine Luftblasen bilden
 - Einspritzen der Kunststoffschmelze in die Kavität
 - Ausüben eines Nachdrucks zur Kompensation der Schwindung
 - Öffnen des Werkzeugs
 - Entnahme des Spritzgussteils
- Standardmaterial: PVC (Polyvinylchlorid), PMMA, ABS (Polyacrylnitrilbutadienstyrol)
- Das Spritzgießen in der Mikrostrukturtechnik erfolgt im Wesentlichen ebenso wie in der konventionellen Technik

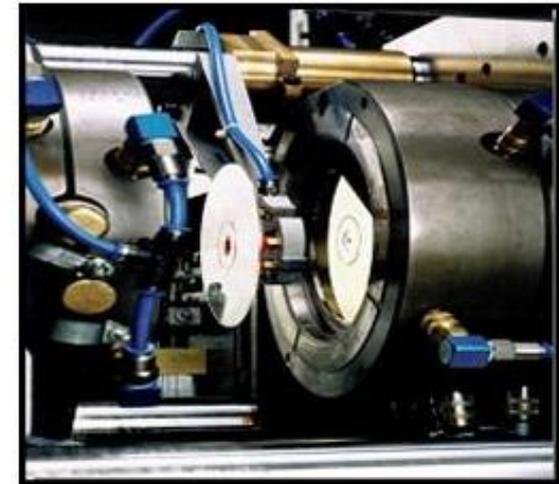


Spritzgießverfahren (Injection Moulding)



Spritzgießverfahren: Initialisierungskosten

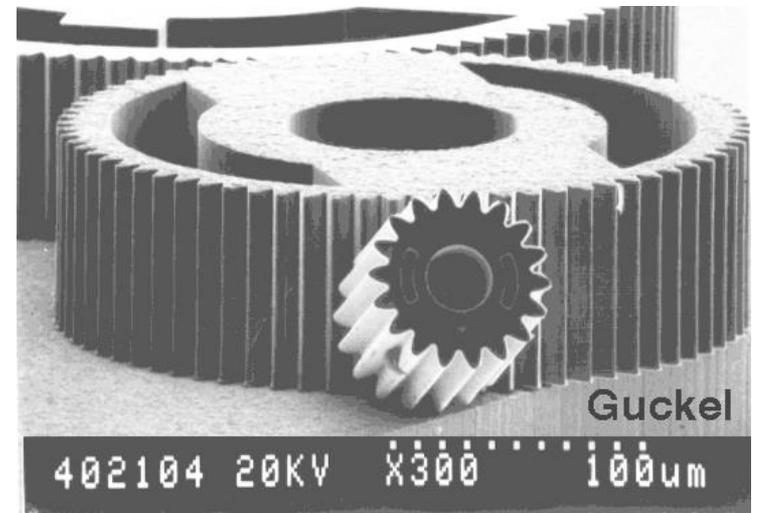
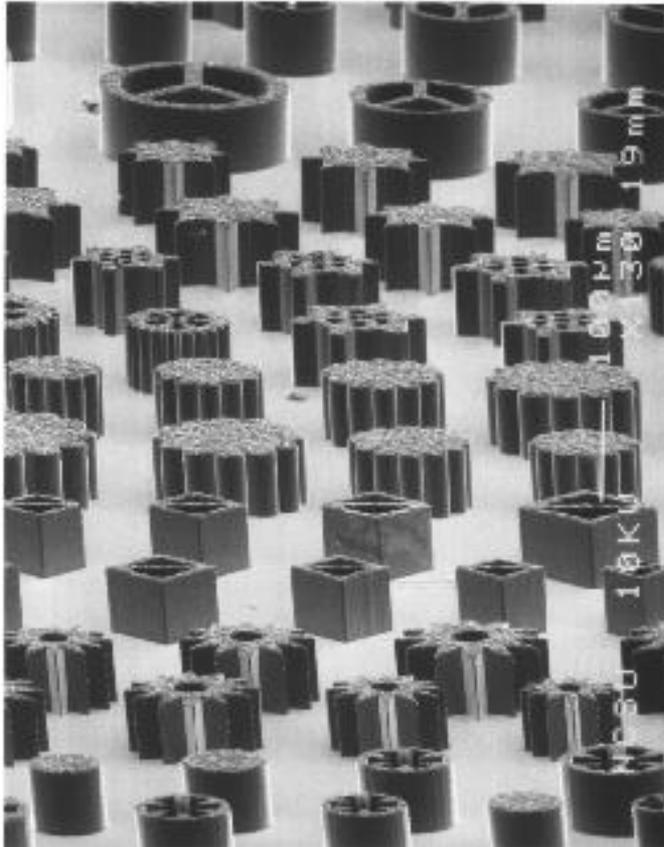
- Hohe Initialisierungskosten aufgrund teurer Werkzeuge
 - Starke Beanspruchung durch hohe Drücke und hohe Temperaturen



Werkzeug mit Formeinsatz und automatisiertem Auswurfsystem für CD Herstellung

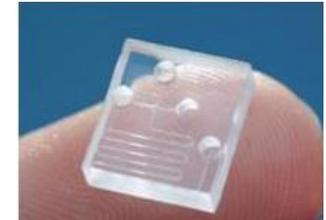
Bildquelle: IMTEK – Institut für Mikrosystemtechnik

Spritzgussverfahren - Beispiel

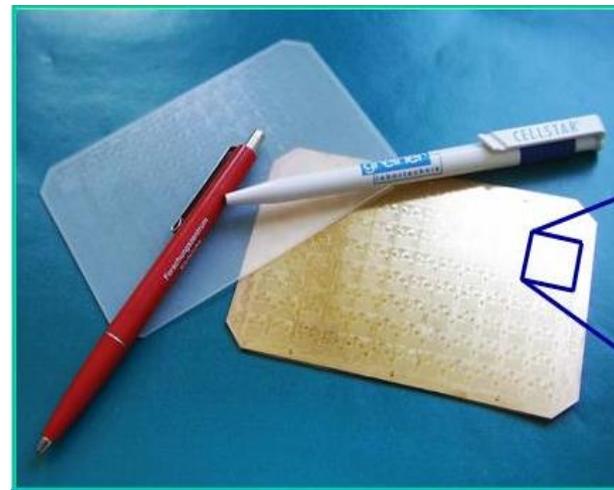


(Heiß-) Prägeverfahren

- Durch Prägen sind mikrostrukturierte großflächige Platten ohne großen Verzug möglich
- Materialien
 - Thermoplastische Polymere
 - Thermoplastische Elastomere
- Vorteilhaft für Optiken auf Grund niedriger interner thermischer Spannung



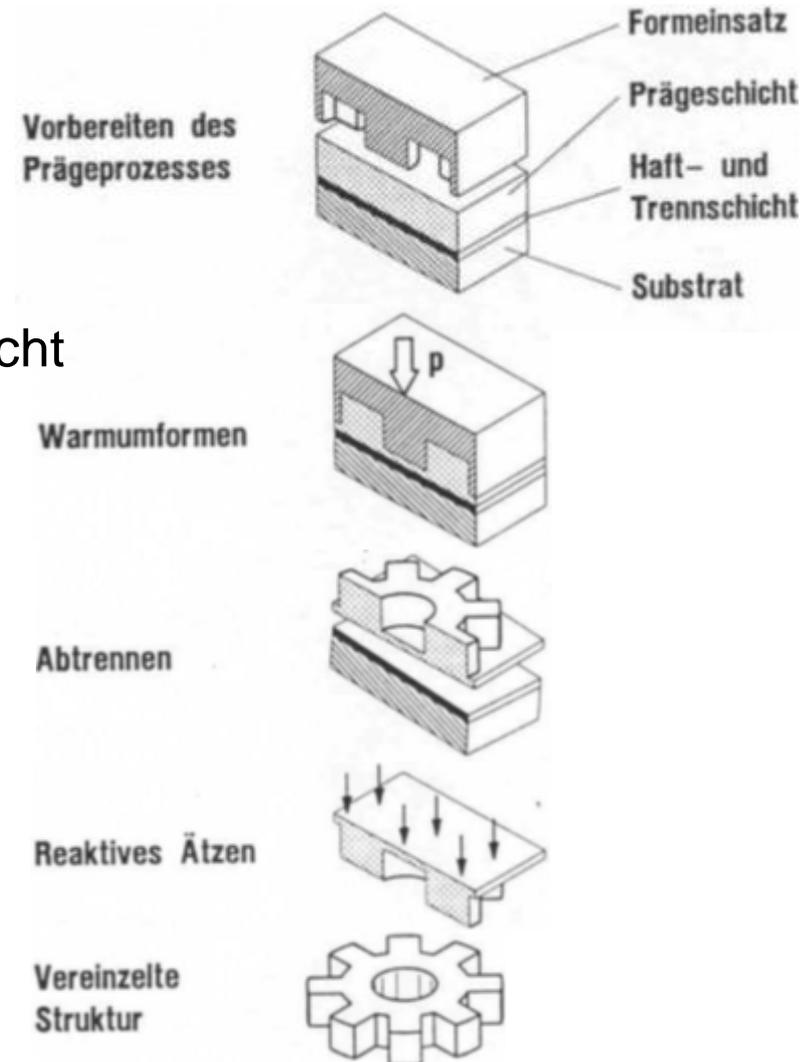
CE-Chip von „Greiner Bio One“



8 x 12 cm

(Heiß-) Prägeverfahren

- Die Drücke betragen einige 100 bar
- Zwischen der Stirnfläche des Formeinsatzes und dem Bode der Kunststoffplatte verbleibt eine Restschicht ($\sim 10 - 15 \mu\text{m}$)
- Durch Rückseitenätzen der dünnen Schicht können die abgeformten Mikrostrukturen vereinzelt werden



(Heiß-) Prägeverfahren

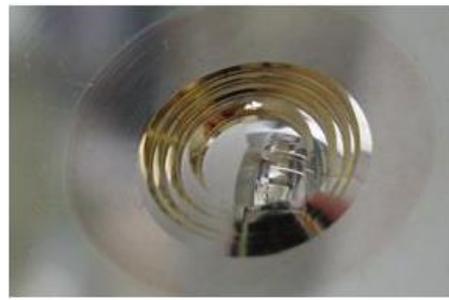
- Warmumformung thermoplastische Kunststoffe
- Kunststoff muss während des Prägevorgangs über die Glasübergangstemperatur erwärmt werden (z.B. PMMA: 160°C; PC: 190°C)
 - Kunststoff ist im viskoelastischen Zustand
 - Formeinsatz kann relativ leicht aufgeprägt werden
- Entformung findet bei Temperaturen unterhalb der Glasübergangstemperatur statt (z.B. PMMA: 80°C; PC: 150°C)
- Prägen erfolgt ebenfalls im Vakuum (Vermeidung von Lufteinschlüssen)
- Initialisierungskosten einer Heißprägeanlage (z.B. HEX Serien von Jenoptik: 160.000€ bis 350.000€ für HEX01 – HEX03)



Hot Embossing Anlage HEX 01

Quelle: IMTEK – Institut für Mikrosystemtechnik

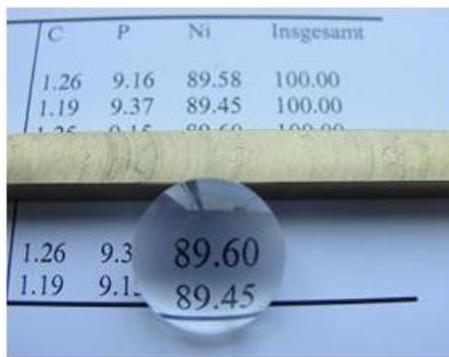
Prägeverfahren - Beispiele



Prägewerkzeuge aus Messing



Abgeformte Linsenstrukturen



Optische Komponenten aus PMMA und COC

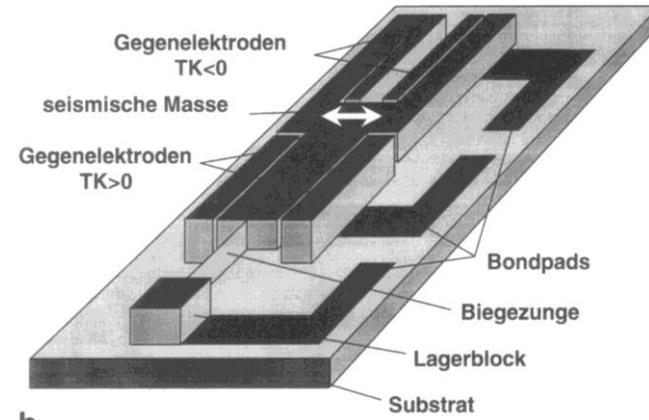
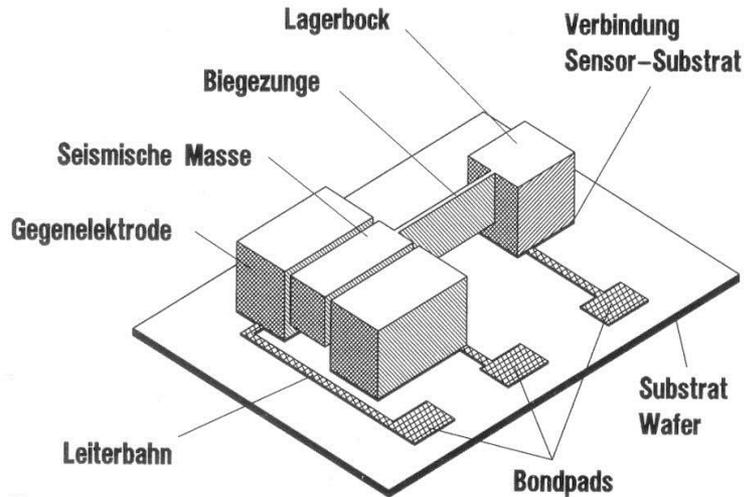
Bildquelle: IMTEK – Institut für Mikrosystemtechnik

Die wichtigsten Parameter

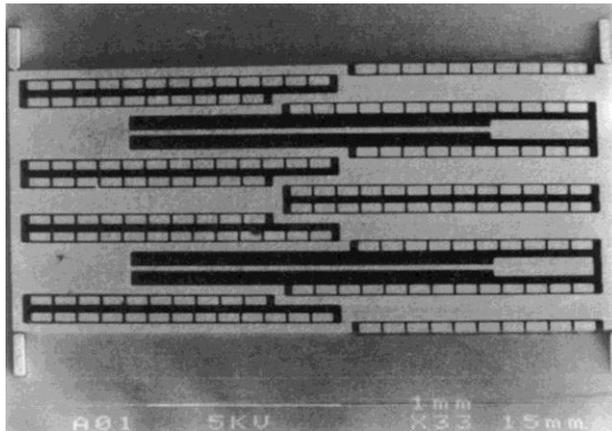
| | Heißprägen | Spritzgießen |
|---|---|--|
| Bevorzugter Anwendungsbereich | Kleinserien | Massenfertigung |
| Typische Rüstzeit | 15 min | 45 min |
| Typische Zykluszeit | 5 -30 min | 55s – 8 min |
| Temperaturführung | Variotherm | Variotherm |
| Getestete Formeinsatzmaterialien | Metall, Keramik, Kunststoff, Silizium | Metall, Kunststoff, Silizium |
| Kleinstes abgeformtes strukturelles Detail | 200 nm | 200 nm |
| Geeignete Materialklassen | Nahezu sämtliche Thermoplaste und thermoplastische Elastomere | Nahezu sämtliche Thermoplaste und thermoplastische Elastomere, hochgefüllte Formmassen für das Pulverspritzgießen |

LIGA-VERFAHREN ANWENDUNGSBEISPIELE

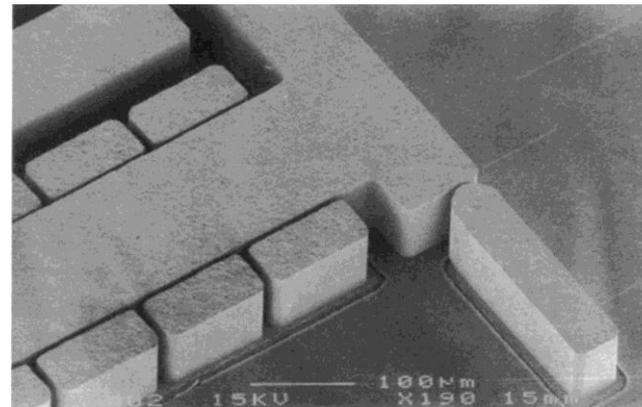
LIGA-Beschleunigungssensor



Temperaturkompensation

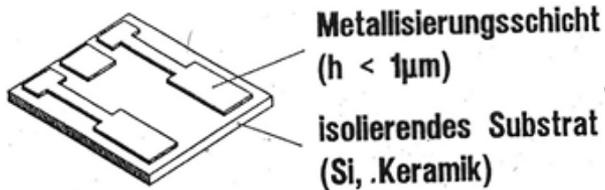


praktische Ausführung

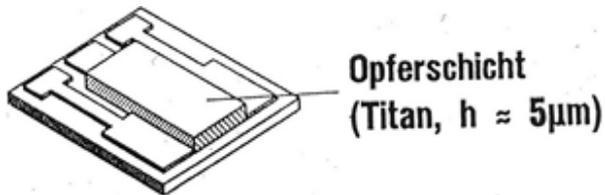


Detail

Herstellung beweglicher LIGA-Strukturen (Opferschichttechnik)



a) Aufbringen und Strukturieren
von Metallisierungsschichten



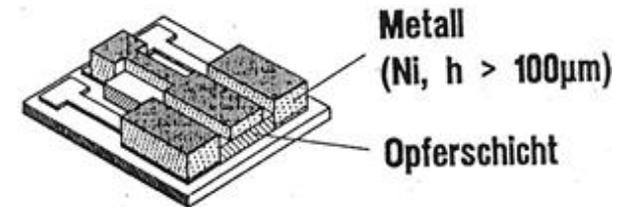
b) Aufbringen und Strukturieren
der Opferschicht



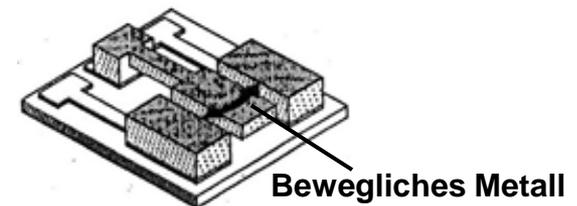
c) Aufbringen des Resists+
Röntgentiefenlithographie



d) Aufbau einer metallischen Struktur



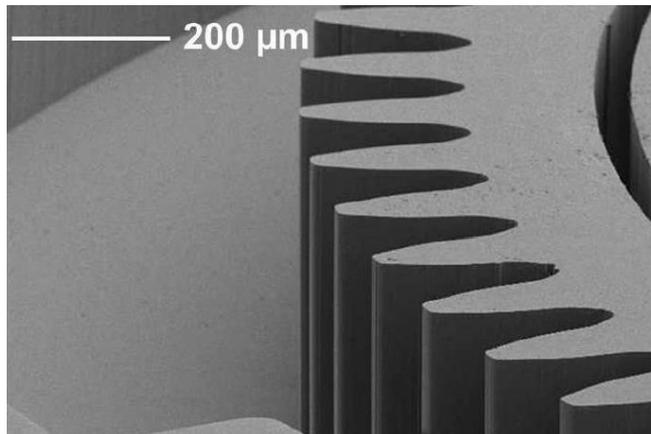
e) Entfernen der Opferschicht



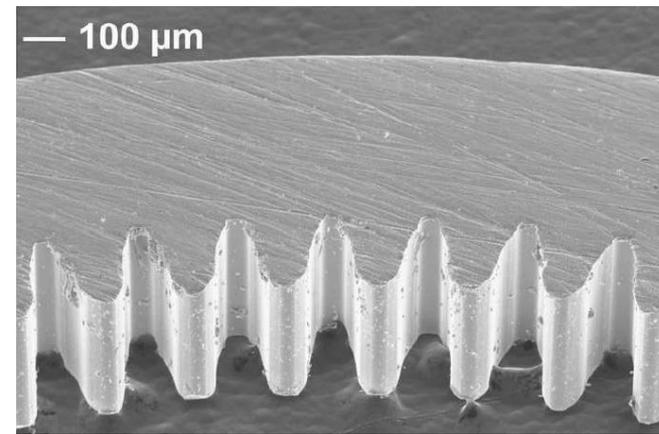
LIGA-Beschleunigungssensor (Daten)

| | |
|---------------------------|---------------------------------|
| Messbereich | $\pm 2 \text{ g}$ |
| Auflösung | $1 \text{ mg}/\sqrt{\text{Hz}}$ |
| Bandbreite (-3dB) | DC...700 Hz |
| Empfindlichkeit | 2,5 V/g |
| Temperaturbereich | -20...100 °C |
| Temperaturempfindlichkeit | 300 ppm/K |
| Nichtlinearität | <0,6 % |

Mikro-Mechanische Komponenten



Resist SU-8
(Röntgentiefenlithografie)



NiFe