

FERTIGUNGSTECHNIK



Wintersemester 2020/21

GLIEDERUNG DER VORLESUNG

1	Einführung: Grundlagen der Fertigungstechnik		
2	Die verschiedenen Fertigungsverfahren		
2.1	Urformen (Gießen, Additiv, ...)	2.4	Fügen (Schweißen, Löten, ...)
2.2	Umformen (Massiv-, Blech-, ...)	2.5	Beschichten
2.3	Trennen (Drehen, Fräsen, ...)	2.6	Stoffeigenschaft ändern
3	Messen in der Fertigung		
4	Prüfungsvorbereitung		

2.3 Trennen

ELEKTROCHEMISCHES POLIEREN

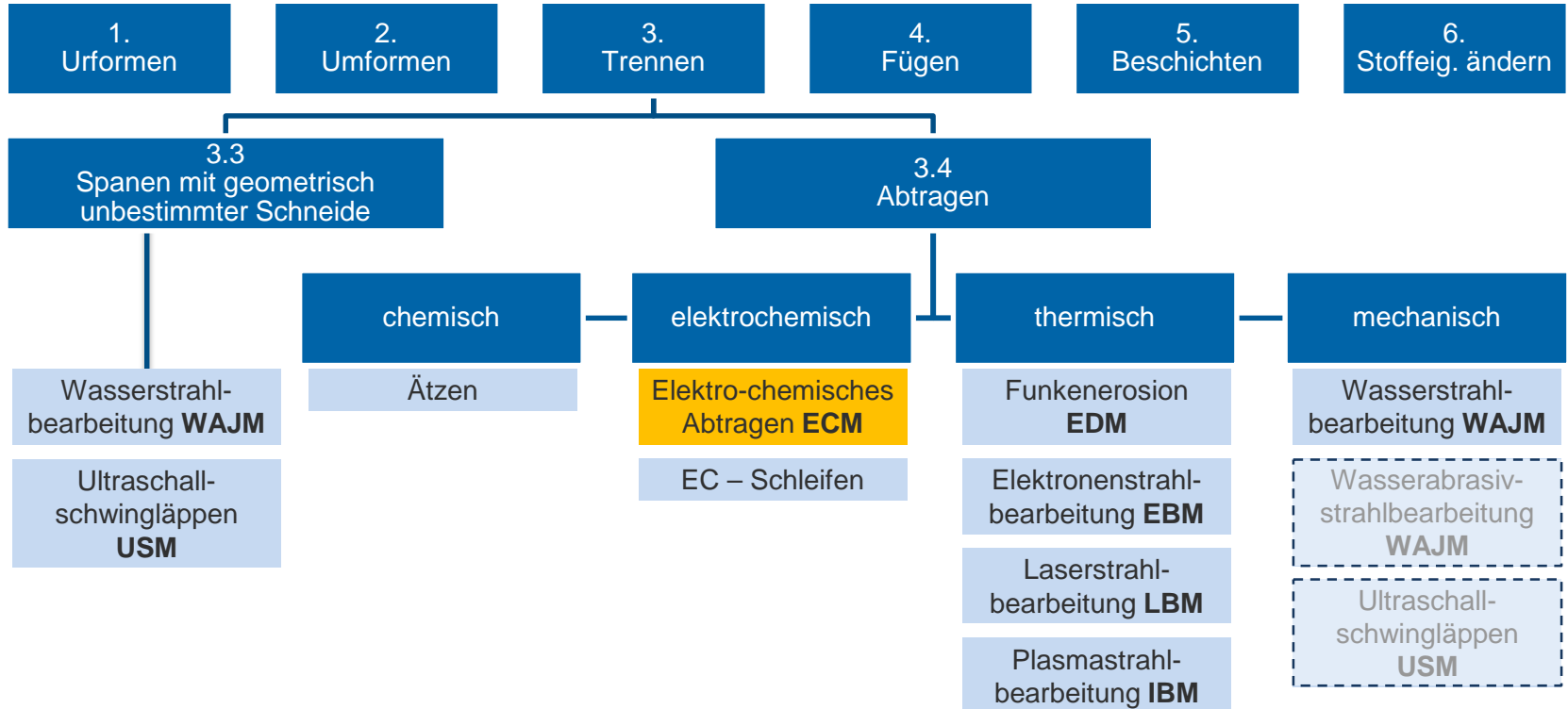
Fertigungsbedingte Verunreinigungen wie Werkzeugabrieb, Zunder, Öle, Fette sowie Reste von Schleif- und Poliermittel werden durch mechanische Bearbeitung in die Oberfläche eingetragen und im weiteren Prozess durch Überlappen und Verziehen des Metalls eingebettet und zugedeckt. Oberflächliche Reinigungsprozesse bleiben dadurch wirkungslos. Ansprüche an die Beseitigung der Verunreinigungen sind, keine weiteren Fremdstoffe einzubringen bzw. keine erneute Schädigung der Oberfläche zu verursachen.

- **Ziel:** Abtragen der oberflächennahen Werkstoffschichten ohne mechanische und thermische Belastung
Glättung der Oberfläche

- **Lösung:** Elektrochemisches Polieren

2.3 Trennen

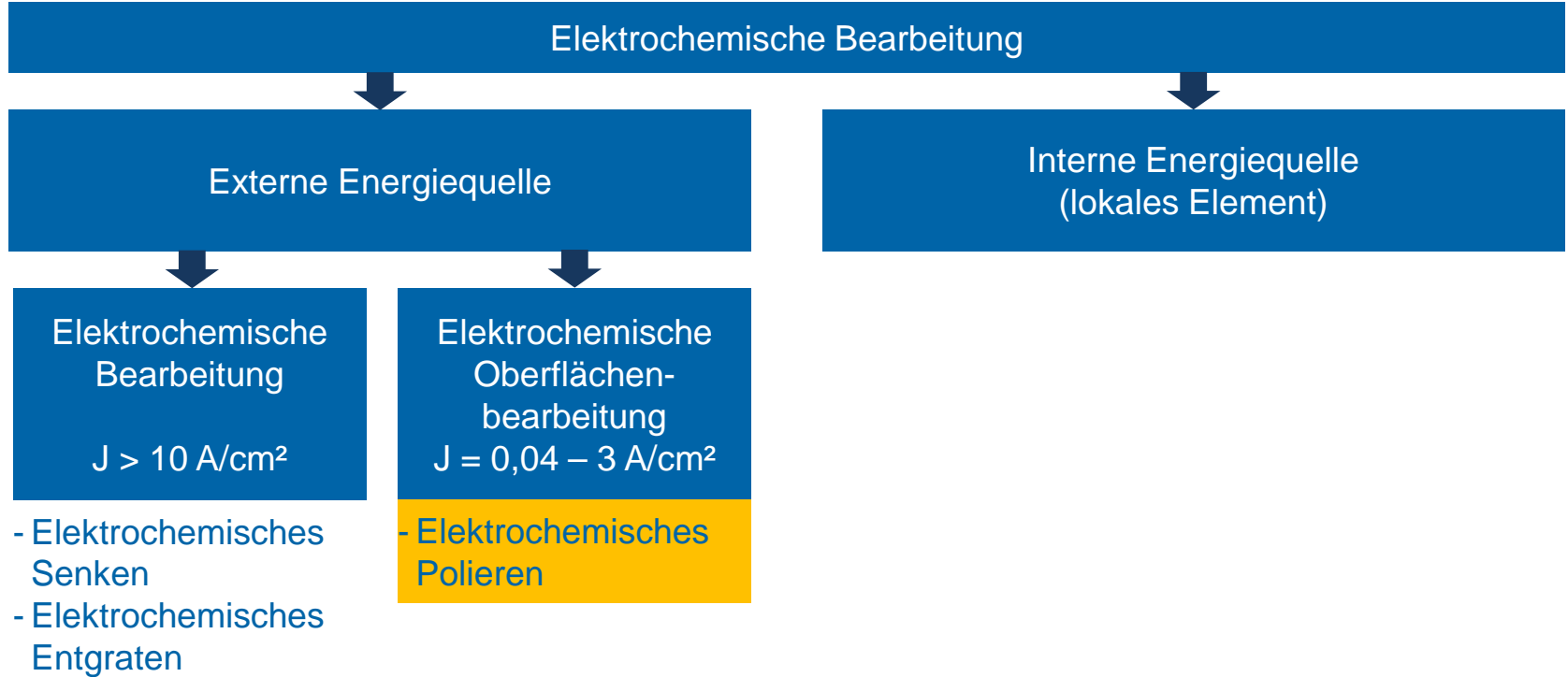
EINORDNUNG I



Quellen: TU Chemnitz IWP

2.3 Trennen

EINORDNUNG II



2.3 Trennen

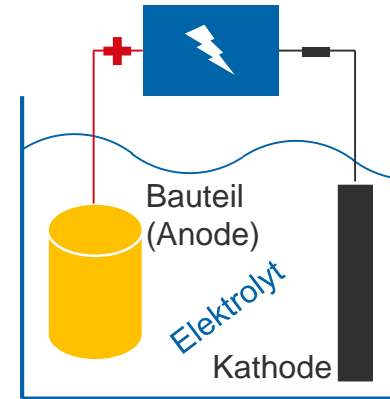
ELEKTROCHEMISCHES POLIEREN – PRINZIP

Umkehrung des galvanischen Prozesses

- Metallabtragung in einem Elektrolyt (Lösung mit hoher Leitfähigkeit) von einer Werkstückoberfläche unter Gleichstromeinwirkung
- Bauteil bildet den Pluspol (Anode), Minuspol (Kathode) wird hinzugegeben.
- Unter Stromzuschaltung löst sich das Metall an der Anodenoberfläche auf und geht in Lösung.

Einfluss auf Materialabtrag durch:

- geeignete Wahl des Elektrolyten und der Kathode
 - Z.B. Mischungen von Phosphorsäure, Schwefelsäure
- Stromdichte j
 - Zwischen 0,1 und 10 A/dm²
- Polierdauer
 - i.d.R. im Bereich von Minuten

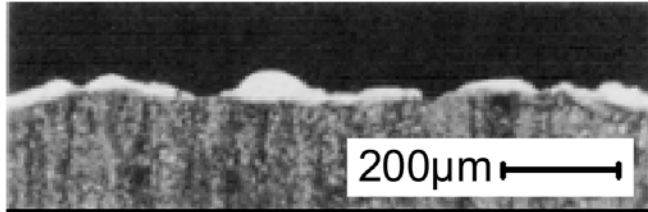


2.3 Trennen

ELEKTROCHEMISCHES POLIEREN – NOTWENDIGKEIT

funkenerosiv bearbeitete Oberfläche:

- Thermisch beeinflusste Randzone („weiße Schicht“)
- Verminderte dynamische Festigkeit
- Unzureichende Haftung von Hartstoffschichten
 → **Nachbearbeitung notwendig**



Randzone thermisch beeinflusst

Entfernung der Randzone



2.3 Trennen

ENTFERNUNG DER RANDZONE DUCH EP

Elektropolieren (EP)

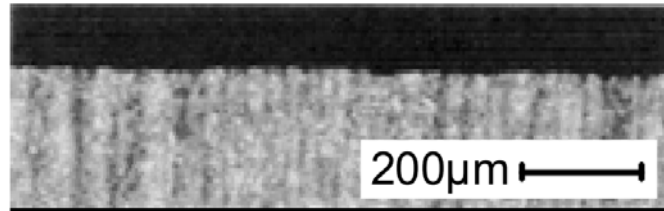
- Kurze Bearbeitungszeit (Minuten)
- Hohe Reproduzierbarkeit (kein mechanischer Einfluss)
- Flächiger Abtrag
- Hohe Oberflächengüte



- Verbesserte Oberfläche
- Randzone entfernt
- Erhöhte dynamische Festigkeit
- Oberfläche beschichtbar

Vergleich: Manuelle Nachbearbeitung

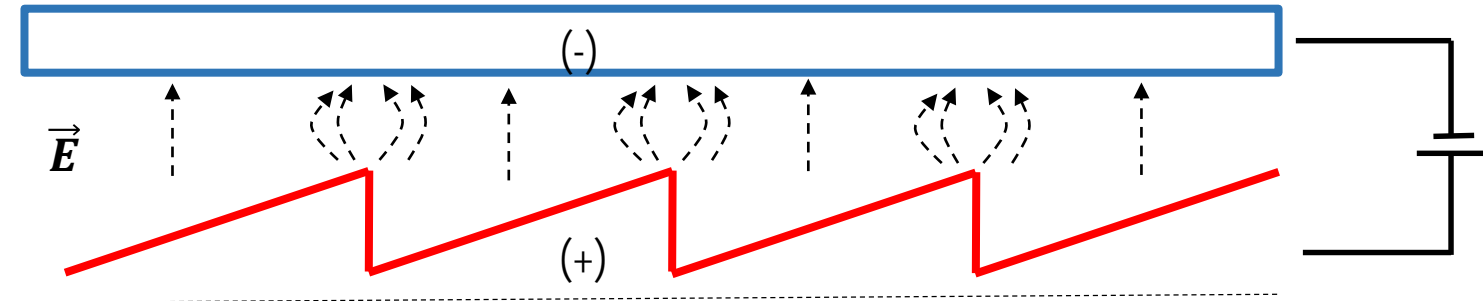
- Lange Polierzeiten
- Eingeschränkte Reproduzierbarkeit in Hinblick auf:
 - Abtrag der Randzone
 - Maßhaltigkeit
 - Formgenauigkeit
 - Oberflächengüte



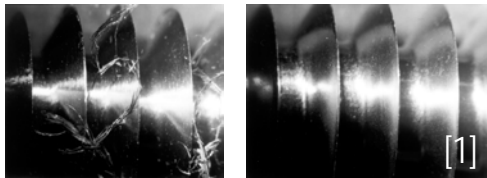
keine Randzonenbeeinflussung

ELEKTROCHEMISCHES POLIEREN – RAUHEIT

- bevorzugter Angriff in Bereichen erhöhter Feldliniendichte



- Entfernung von Spanresten, Grat, Erreichen sehr hoher Oberflächengüten
 - Beispiel: Einspritzdüse
 - Feder



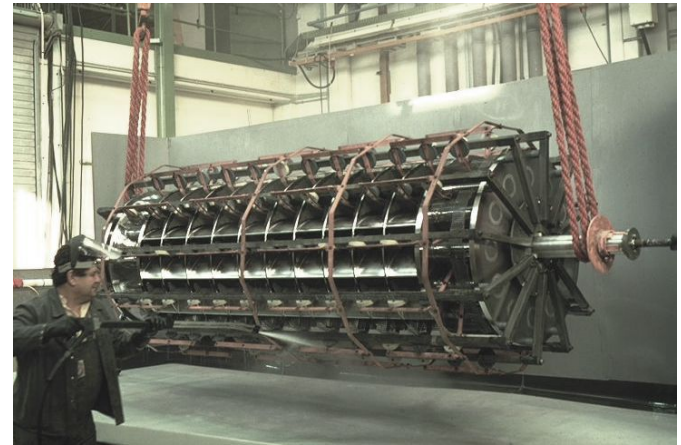
2.3 Trennen

ANWENDUNG

- Behälterbau, auch für kerntechnische Anlagen
- Triebwerksteile für Luft- und Raumfahrt
- Zahnräder / Wellen
- Etc.



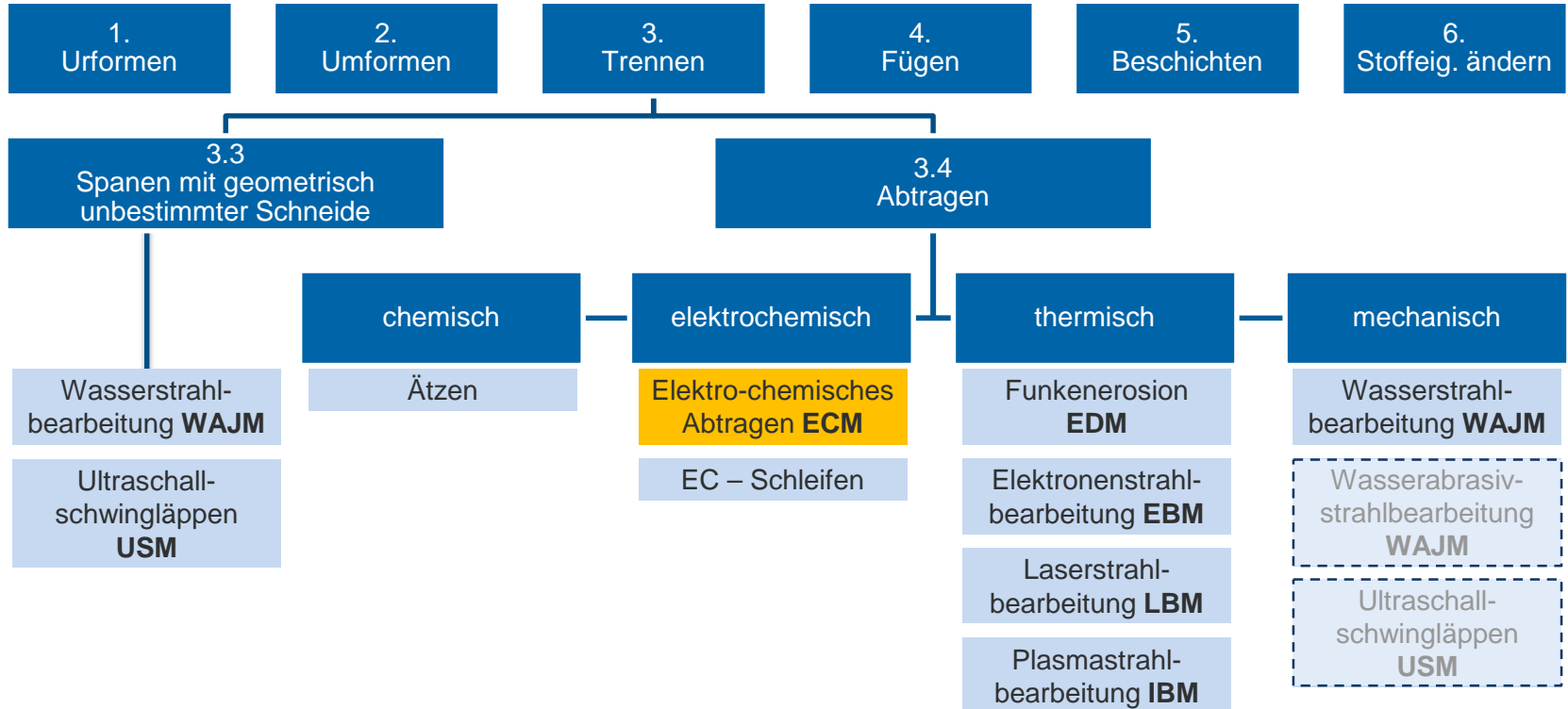
Polymer-Reaktor aus Edelstahl, Vor-Ort-Arbeit



Edelstahlmischer zur Herstellung von Nylon

2.3 Trennen

ABTRAGEN

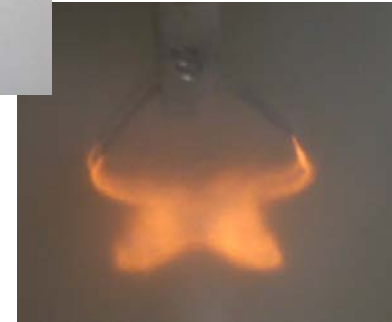


Quellen: TU Chemnitz IWP

2.3 Trennen

PEP – PLASMAELEKTROLYTISCHES POLIEREN

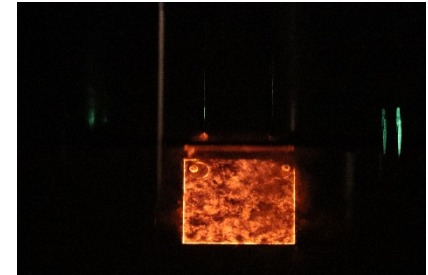
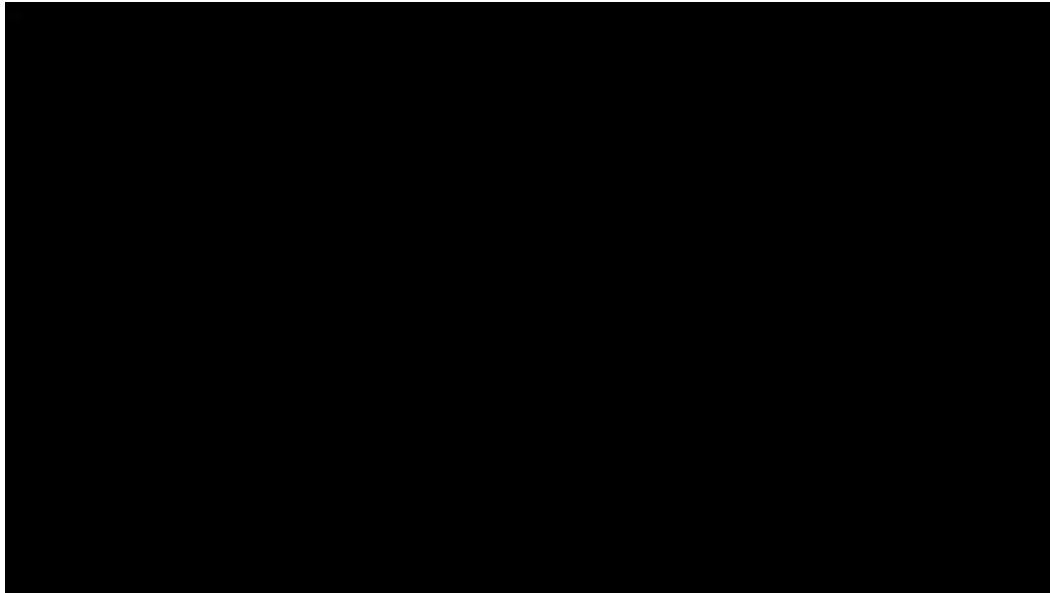
- Elektrolytttemperaturen: 60°C bis 90°C
- Hohe elektrische Potentiale:
 $180V \leq u_{PEP} \leq 400V$
- Hochgradig werkstoffspezifische Elektrolyte notwendig
- wasserbasierte Elektrolyte mit geringem Salzgehalt von 3% bis 5%
- Geringe Stromdichten im Bereich von 0,1 A/cm² bis 0,3 A/cm²
- Elektrolytisches Plasma unter Atmosphärendruck (1 bar)
- Bearbeitung komplexer Oberflächengeometrien möglich
- Kurze Prozesszeiten von wenigen Minuten


 Unpoliertes
Werkstück

 PEP-
Prozess

 Poliertes
Werkstück

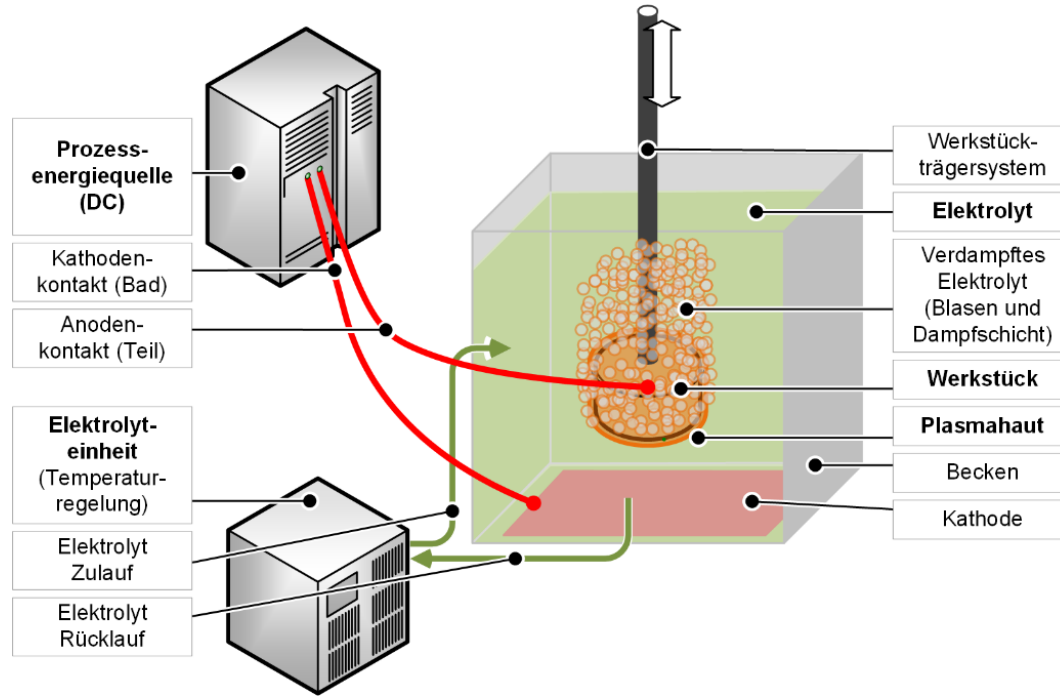
2.3 Trennen

PEP – PLASMAELEKTROLYTISCHES POLIEREN



2.3 Trennen

PEP – PLASMAELEKTROLYTISCHES POLIEREN



Quellen: Beckmann-Institut

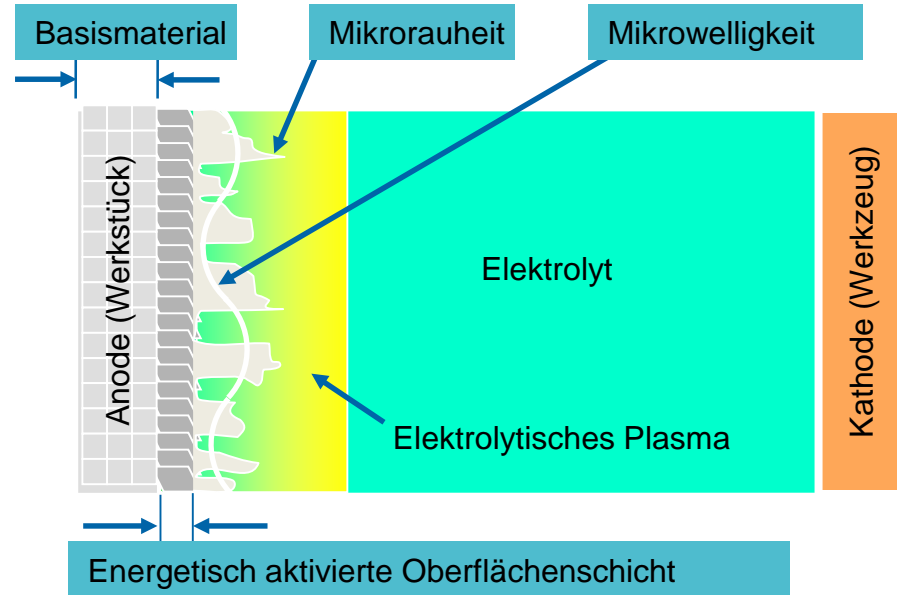
2.3 Trennen

PEP – PLASMAELEKTROLYTISCHES POLIEREN

Synonym: **Plasmapolieren**

Prinzip:

- Kathodisch gepolter Elektrolytbehälter
- Anodisch gepoltes Werkstück
- Ausbildung eines elektrolytischen Plasmas in der Nähe der Anode
- Besonderheit: Plasma entsteht unter Normaldruck in Flüssigkeit



Prinzipdarstellung des PEP

Quellen: Beckmann-Institut

2.3 Trennen

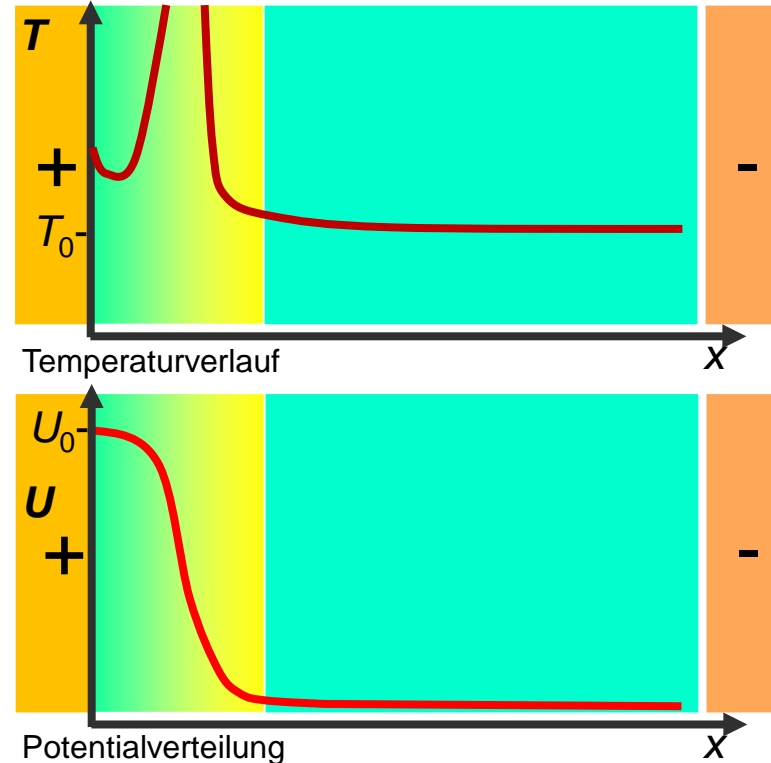
PEP - POTENTIAL- UND TEMPERATURVERTEILUNG

Temperaturverlauf

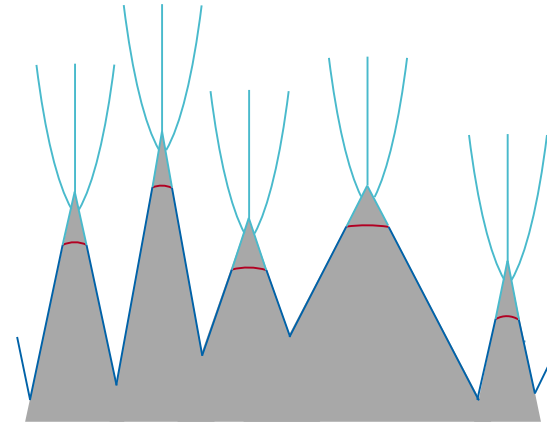
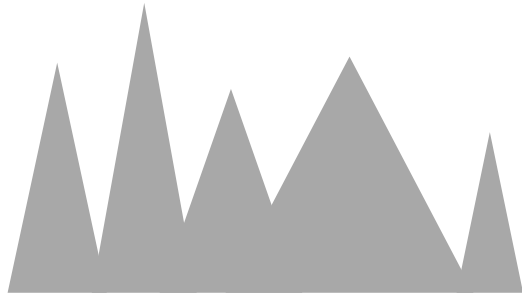
- Starker Anstieg der Temperatur im Bereich des Plasmas bis zu mehreren 1000 K
- Nur geringfügig erhöhte Temperatur an der Werkstückoberfläche → ca. 100°C (Siedetemperatur Elektrolytlösung)

Potentialverteilung

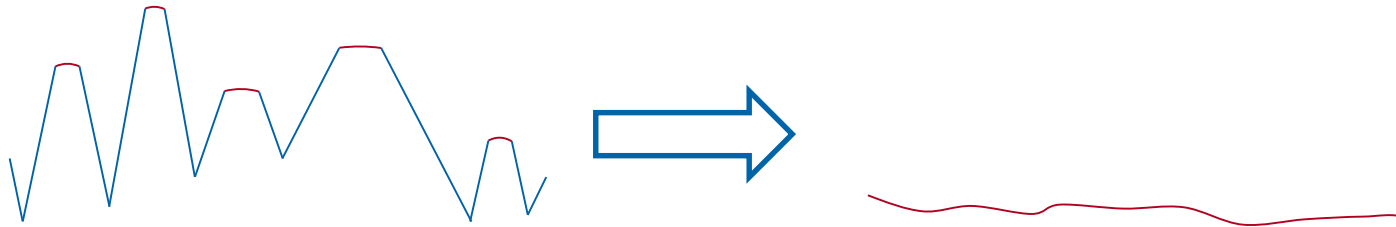
- Lokalisierter Abfall des elektrischen Potentials im Bereich des Plasmas



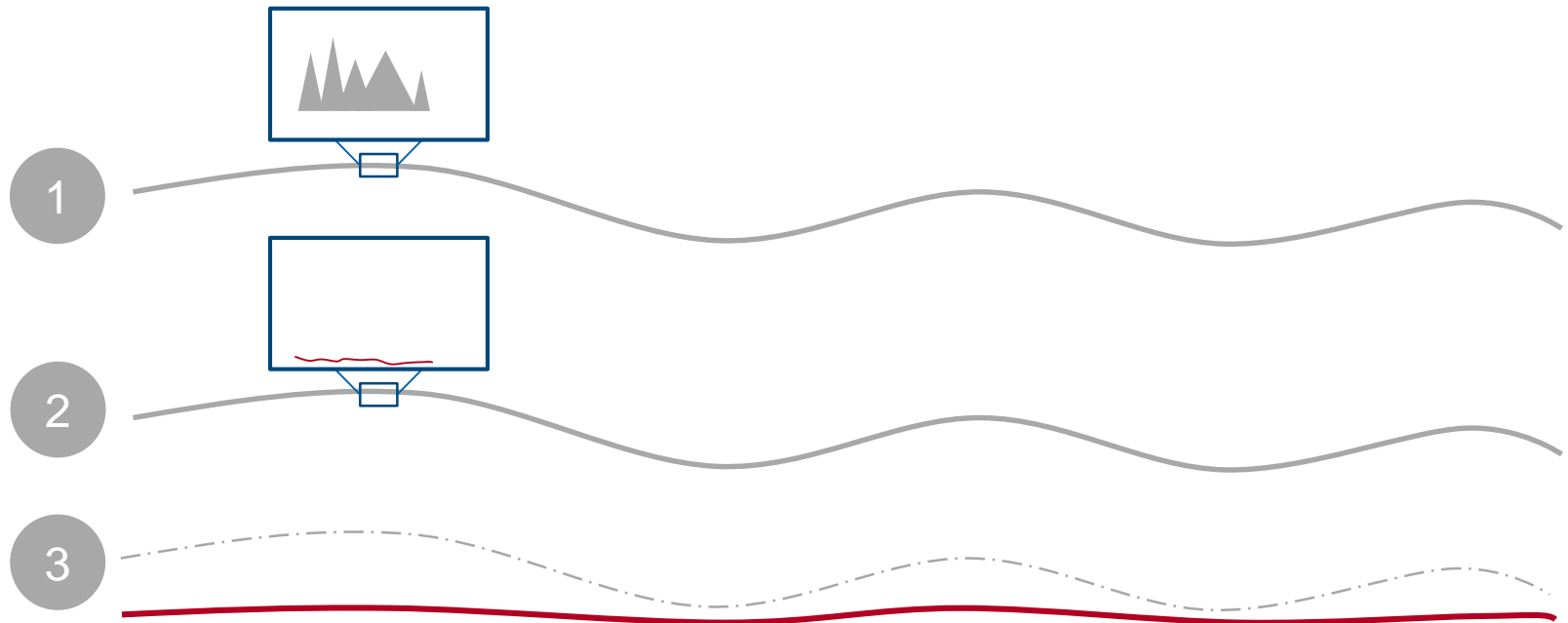
PeP - OBERFLÄCHENTWICKLUNG



PeP - OBERFLÄCHENENTWICKLUNG



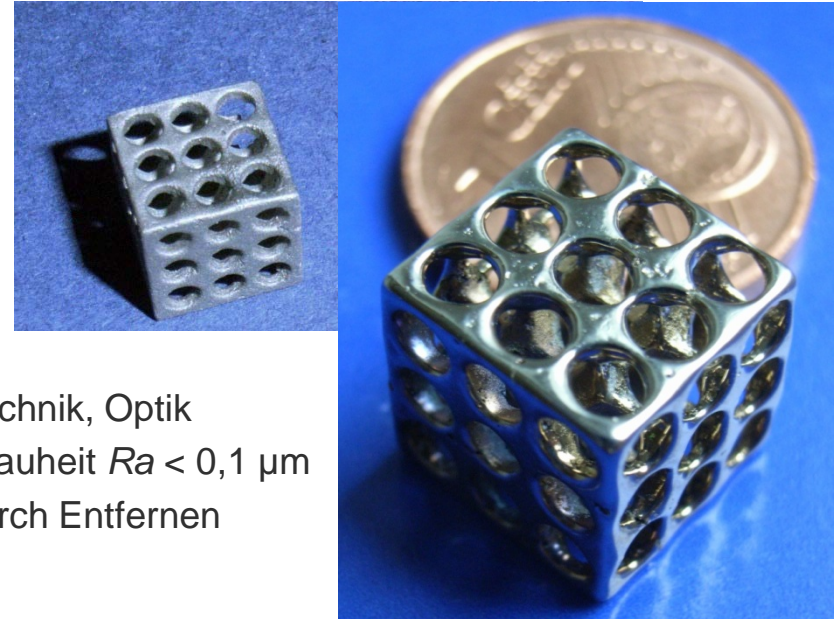
PeP - OBERFLÄCHENENTWICKLUNG



2.3 Trennen

BEARBEITBARE WERKSTOFFE / ANWENDUNGSGEBIETE

- Stähle, eisenbasierte Werkstoffe
- Kupfer, Kupferlegierungen
- Titan, Titanlegierungen
- Leichtmetalllegierungen
- Speziallegierungen



Anwendungen / Eigenschaften

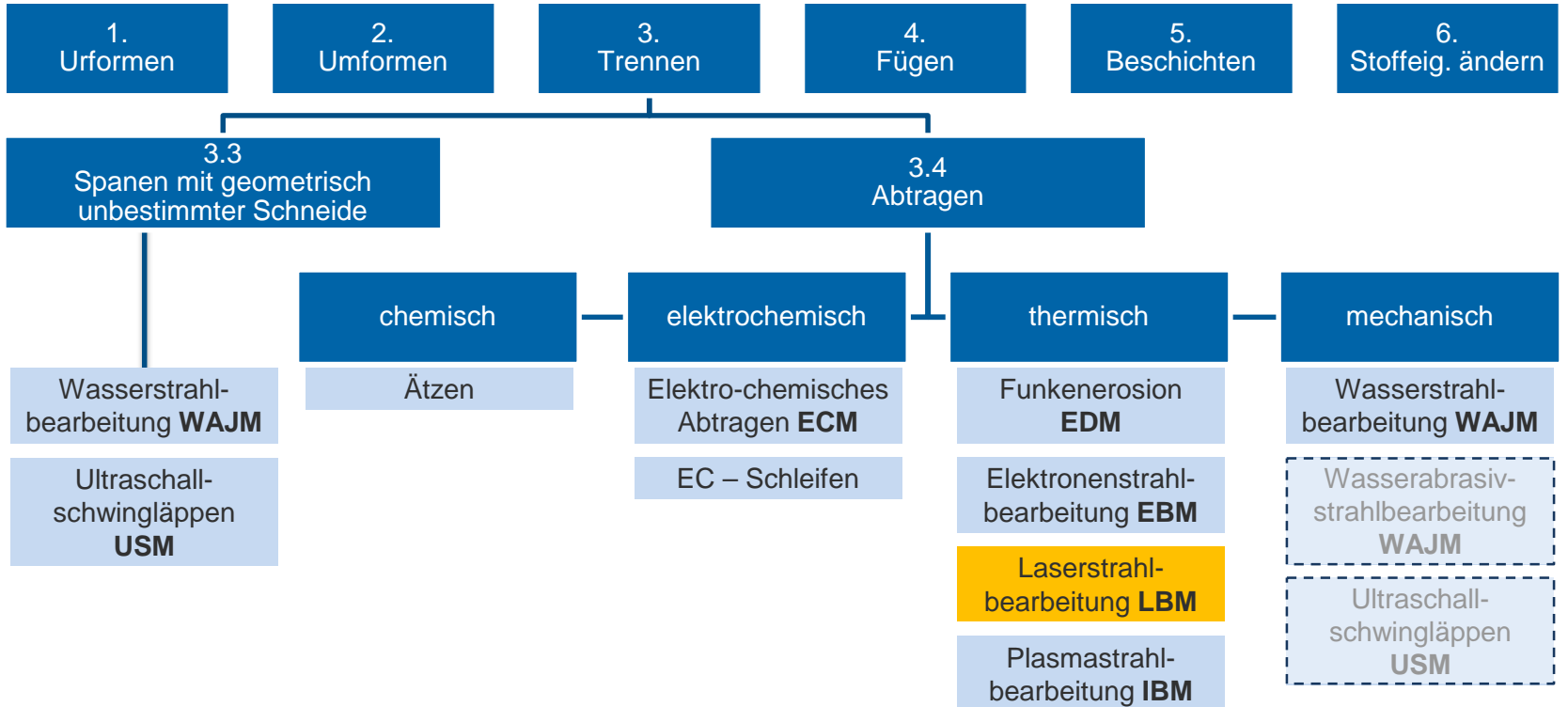
- Medizintechnik, Additive Fertigung, Mikrotechnik, Optik
- Polieren, Glätten, Entgraten: erreichbare Rauheit $Ra < 0,1 \mu m$
- Reinigen / Sterilisieren von Oberflächen durch Entfernen organischer Schichten
- Temporärer Korrosionsschutz
- Bearbeitung komplexer Strukturen

Glätten und Polieren eines Präzisionsgussteils

Quellen: Beckmann-Institut

2.3 Trennen

ABTRAGEN



Quellen: TU Chemnitz IWP

2.3 Trennen

LASERBEARBEITUNG

1.
Urformen

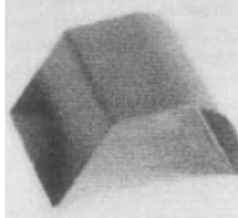
Lasersintern



VDI 3405

2.
Umformen

Biegen



3.
Trennen

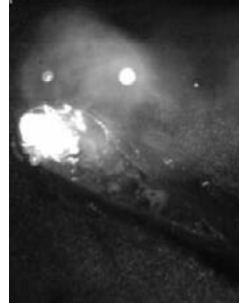
Schneiden



DIN 2310-6

4.
Fügen

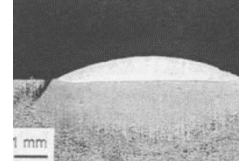
Schweißen



DIN 1910-2

5.
Beschichten

Beschichten



6.
Stoffeig. ändern

Härten



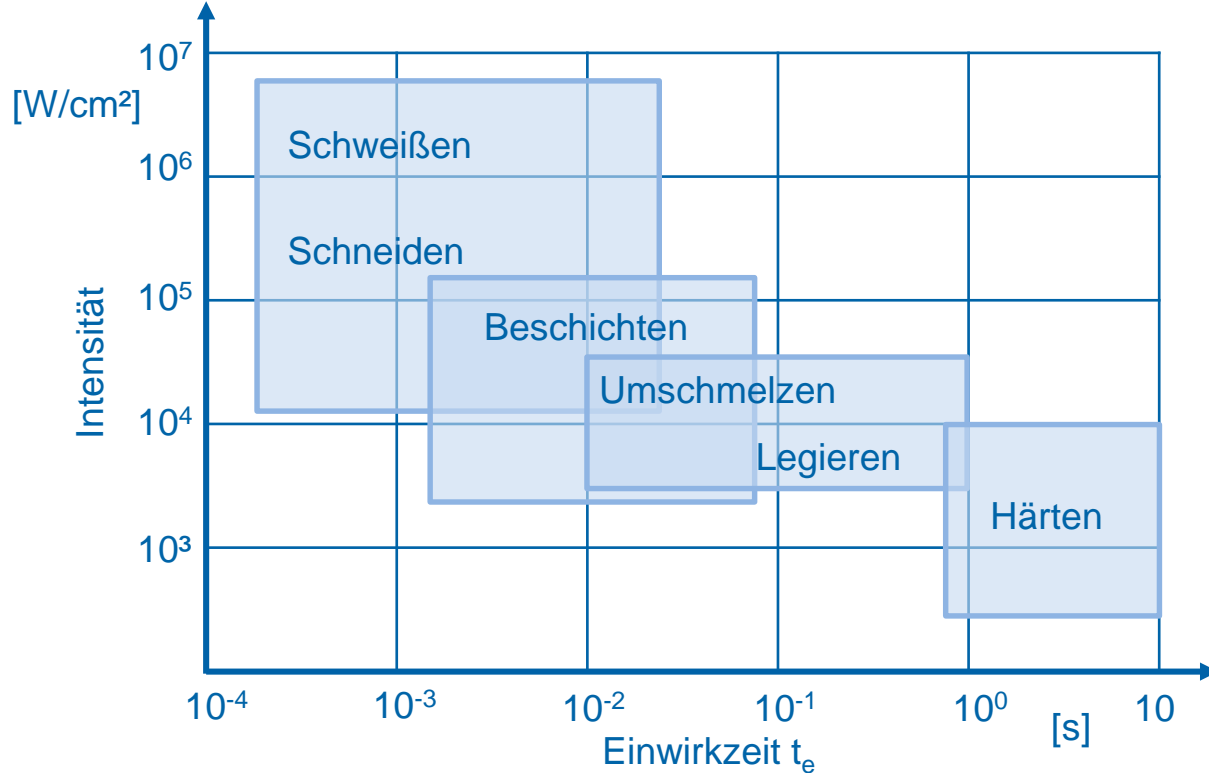
DIN EN 10052

Laserbasierte Verfahren in allen Hauptgruppen der Fertigungsverfahren (DIN 8580) vertreten

Quellen: TU Chemnitz IWP

2.3 Trennen

LASERBEARBEITUNG



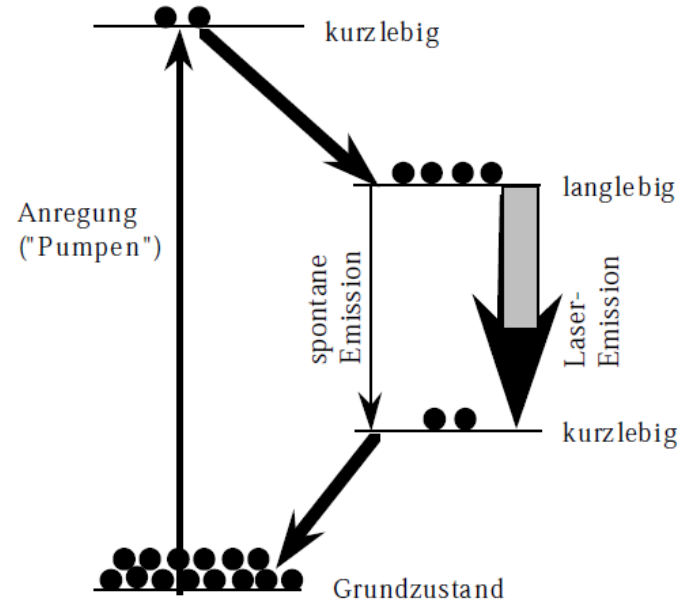
2.3 Trennen

ERZEUGUNG VON LASERSTRAHLUNG

LASER - Light Amplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation

Lasieranregung - Prinzip

- Grundlage ist der physikalische Effekt der **Besetzungsinversion**
- Besetzungsinversion beschreibt den Zustand eines Systems, in dem sich mehr Atome auf einem energetisch **höheren Niveau** befinden als auf einem energetisch **niedrigeren Niveau**
- Besetzung der Energieniveaus ist vom energetischen Grundzustand des Systems (Temperatur) abhängig
- durch **Anregung** (z.B. optisches Pumpen) wird eine **Nichtgleichbesetzung** der Energieniveaus im laseraktiven Medium bewirkt



Erzeugung einer Besetzungsinversion am Beispiel eines 4-Niveau-Systems

Quellen: TU Chemnitz IWP

2.3 Trennen

EIGENSCHAFTEN VON LASERSTRAHLUNG

Kohärenz

Wellenzüge haben sowohl räumlich als auch zeitlich eine feste Phasenbeziehung.

Monochromasie

Laser strahlen ihre Leistung in der Regel über einen sehr engen Wellenlängenbereich aus (einfarbiges Licht).

Kollimation

Laserstrahlen verlassen die Laserquelle stark kollimiert, d. h. das Strahlenbündel ist nahezu parallel und nimmt daher mit zunehmender Entfernung im Durchmesser nur geringfügig zu. Der verbleibende Öffnungswinkel der ausgesendeten Strahlung wird als Divergenzwinkel bezeichnet.

Strahlungsstärke

Ist ein Maß für die Helligkeit eines Objektes und gibt die Strahlungsleistung, die pro Strahlerfläche und pro Raumwinkeleinheit ausgestrahlt wird an. Laserstrahlung zeichnet sich durch besonders hohe erreichbare Strahlstärken aus.

Vergleich: Die Strahlstärke eines einfachen Laserpointers mit einer Ausgangsleistung von 1mW liegt etwa 50-fach höher als die der Sonne.

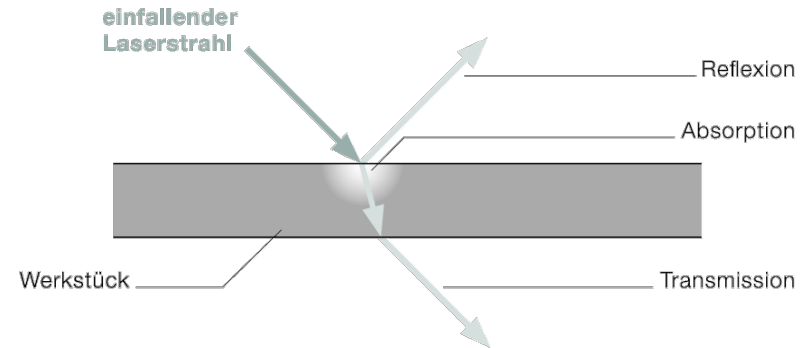
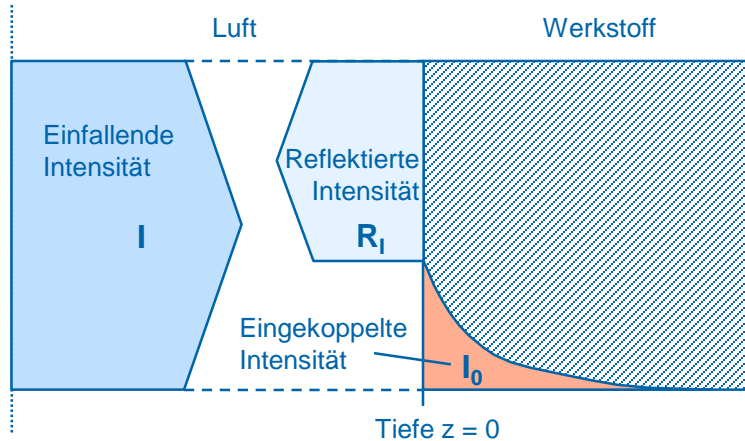
2.3 Trennen

LASERSTRAHLBEARBEITUNG

Laser Beam Machining - LBM

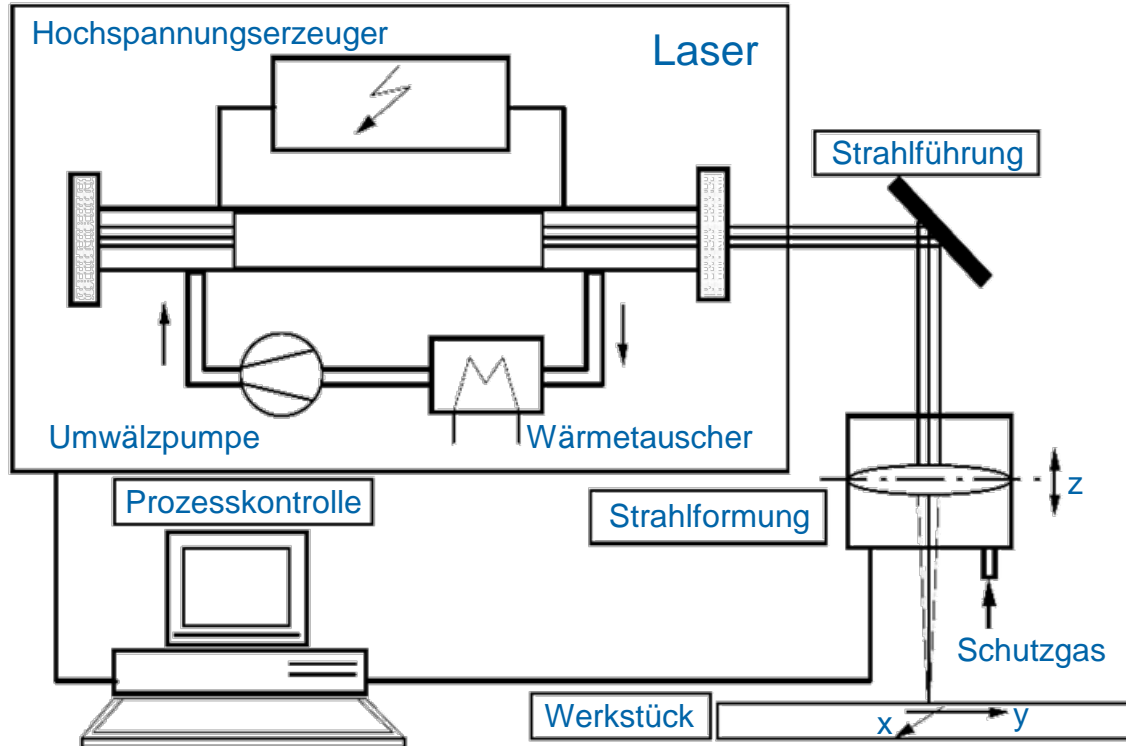
Verfahrensprinzip/ Phasen des Werkstoffabtrags:

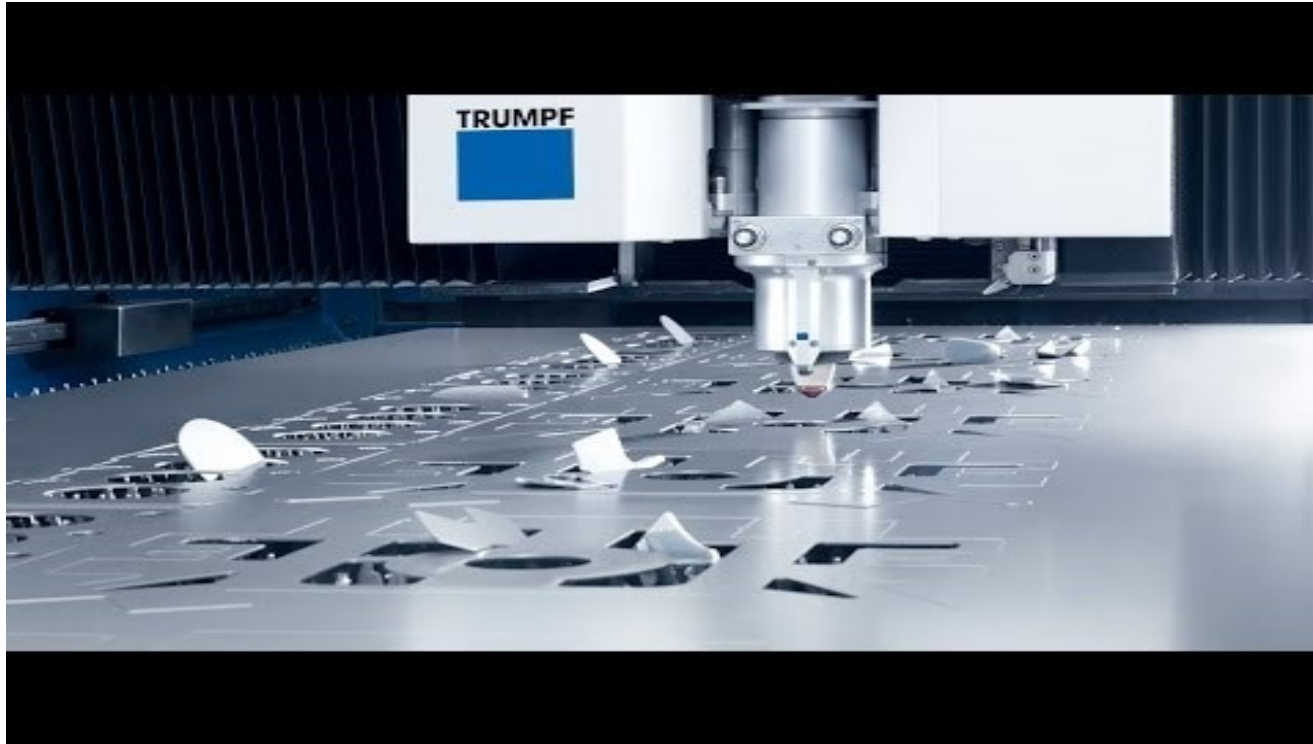
- Reflexion und Absorption der Strahlung
- Bildung einer Flächenwärmequelle, Phasenumwandlungen
- Verlagerung der Schmelz- und Verdampfungszone in immer tiefere Werkstoffbereiche bei stetigem Auswurf des flüssigen bzw. dampfförmigen Werkstoffs



2.3 Trennen

ANLAGE ZUR LASERSTRAHLBEARBEITUNG



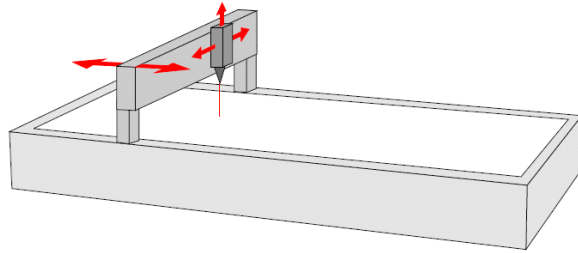


PRINZIP

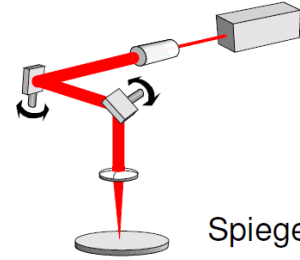
- Mittels Fokussierung besitzt der Laserstrahl eine hohe Leistungsdichte auf einem sehr kleinen Durchmesser.
- Energieabgabe ist abhängig von den Eigenschaften des Werkstückwerkstoffes wie
 - Absorptionskoeffizient,
 - Thermische Leitfähigkeit
 - usw.
- Metalle mit einem Absorptionskoeffizient >1 :
 - eindringender Teil der Welle wird auf kürzester Wegstrecke **absorbiert**
 - größter Teil der Lichtwelle wird **reflektiert** → Behandlung des Lasers als eine flächenhafte Wärmequelle
 - D. h. die Tiefenwirkung beim Bearbeiten beruht auf Wärmeleitungsvorgängen im Werkstückwerkstoff.

2.3 Trennen

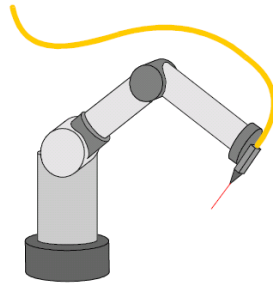
HANDHABUNGSPRINZIPIEN



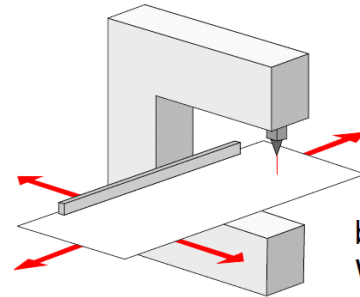
fliegende Optik



Spiegel



Lichtleitfaser und Roboter



bewegtes Werkstück

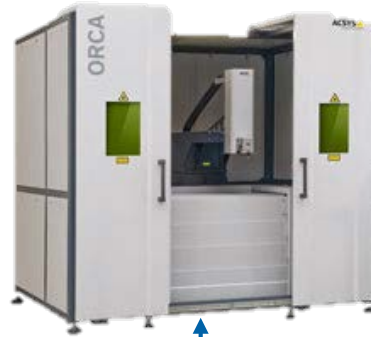
2.3 Trennen

SYSTEMTECHNIK UND PERIPHERIE

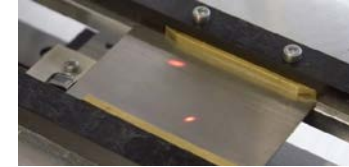
**Laserstrahl-
erzeugung**



Grundmaschine



Handlingsystem

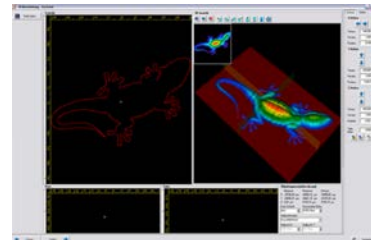


Automatisiertes Bauteilhandling
insbes. bei Großserien

**Strahlführung und
-formung**



**Steuerung von Maschine
und Laser**



Hard-
und Soft-
ware

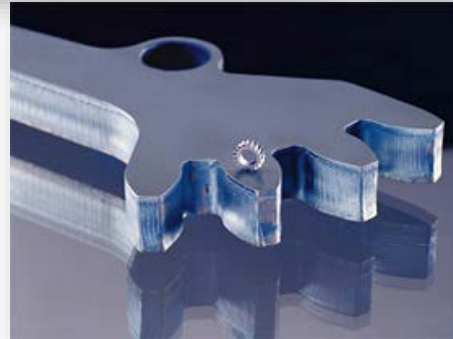
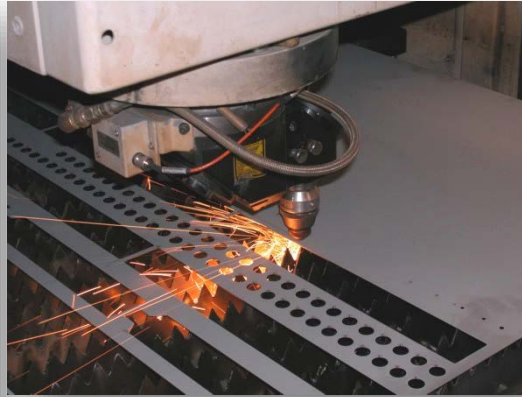
Absauganlage



Lokale und
globale
Absaugung von
Dämpfen,
Stäuben, ...

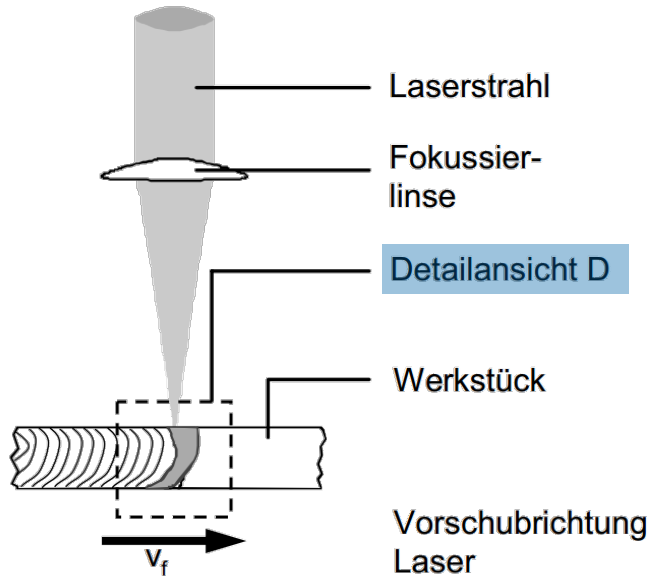
2.3 Trennen

BEISPIELE

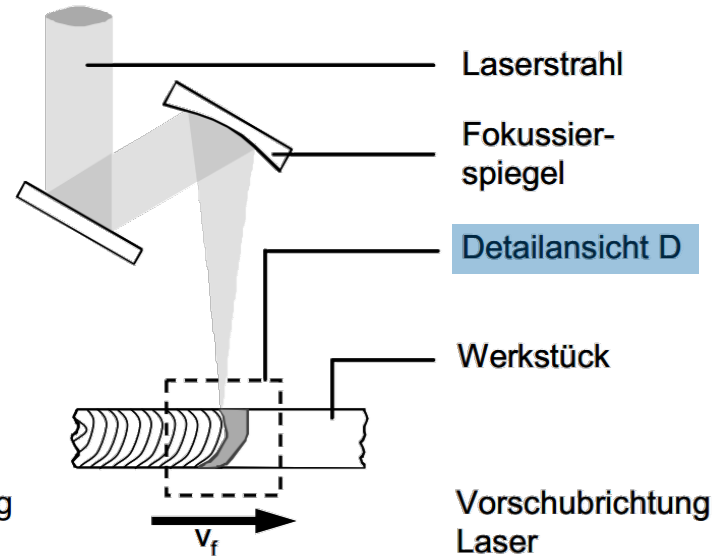


TECHNOLOGIE DER STRAHLFÜHRUNG

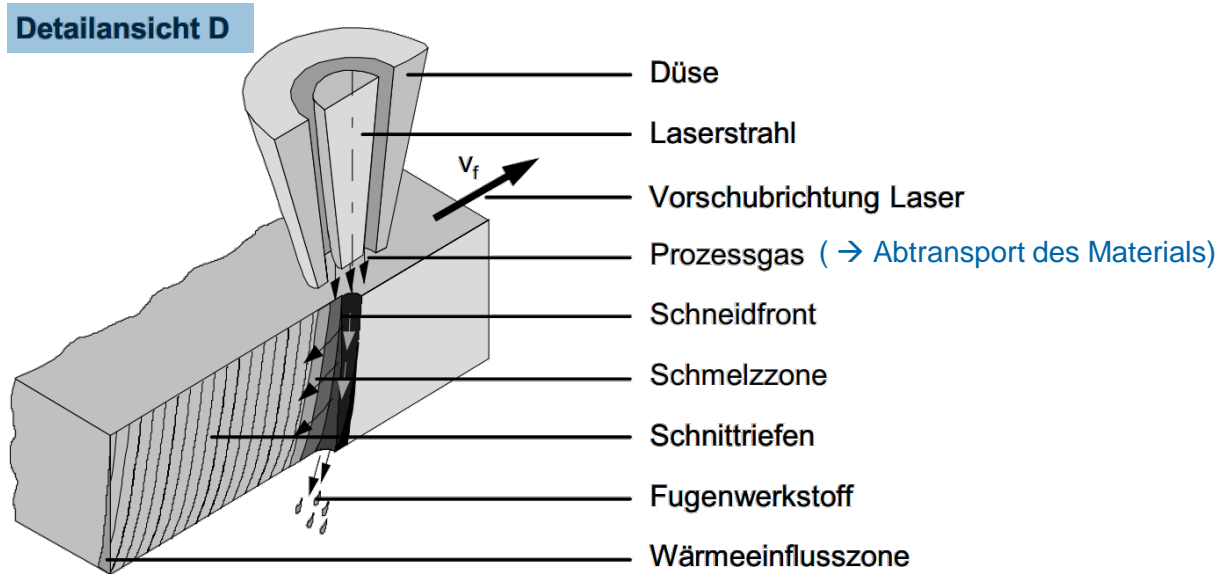
Strahlführung/-formung mit Linse



Strahlführung/-formung mit Spiegel



TECHNOLOGIE DER STRAHLFÜHRUNG – DETAIL



2.3 Trennen

PROZESSGASE

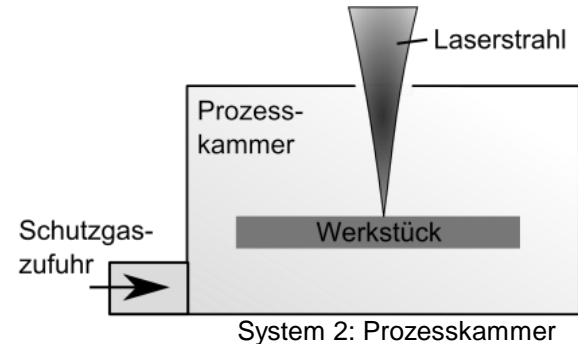
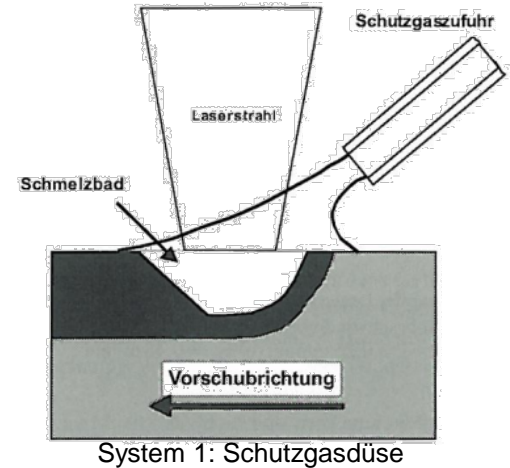
Aufgaben

- Vermeidung von Oxidation
- Entfernen von Schmelze
- Druckreduktion/-veränderung
- „Wegblasen“ von Schmelzepartikeln und Dämpfen
- chemische Werkstoffbeeinflussung

Medien

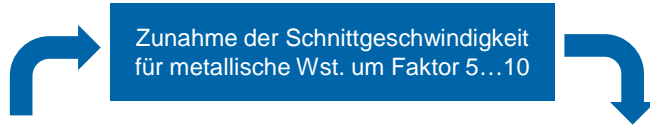
- Sauerstoff
(Brennschneiden)
- Stickstoff
- Kohlendioxid
- Argon
- Helium
- Inerte Gasgemische

Systeme



2.3 Trennen

VERFAHRENSVARIANTEN

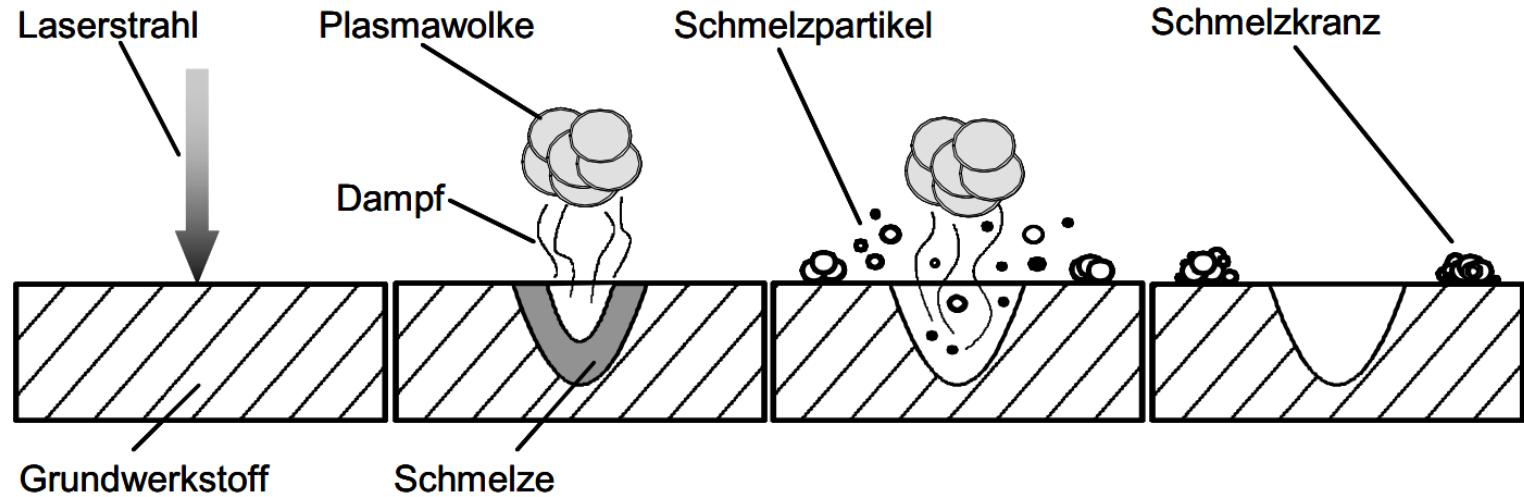


Schmelzschnneiden	Brennschnneiden	Sublimierschnneiden
<p>Erschmelzen des Werkstoffs und Ausblasen der Schmelze aus der Fuge mittels inertem oder reaktionsträgem Gas (z. B. Aluminiumlegierungen, Nichteisenwerkstoffe, Titanlegierungen)</p>	<p>Erwärmen des Werkstoffs auf Zündtemperatur und Verbrennen unter Sauerstoffzufuhr (z. B. Fe-Werkstoffe)</p>	<p>Erhitzen des Werkstoffs auf Verdampfungstemperatur und Ausblasen mittels inertem oder reaktionsträgem Gas (z. B. Kunststoffe, Holz, Leder, Papier, Textilien)</p>

Quellen: Fritz / Klocke - Fertigungsverfahren

2.3 Trennen

PRINZIP – SUBLIMIERSCHNEIDEN



2.3 Trennen

LASERTYPEN

Lasertyp	Laser	Wellenlänge [nm]	Erzeugung kurzer und ultrakurzer Laserpulse
Gaslaser	HeNe-Laser	633, 611, 594, 543	
	CO ₂ -Laser	10600	
	N ₂ -Laser	337	
	Excimerlaser	193 (ArF), 249 (KrF), 308 (XeCl), 351 (XeF)	
	Argon-Ionen-Laser	488/514	
	Metалldampfaser	510/578 (Kupfer) 628 (Gold)	
Festkörperlaser	Rubin-Laser	694	
	Alexandrit-Laser	710 - 820	
	Nd:YAG-Laser	1064	
	Er:YAG-Laser	2940	
	Nd:YLF-Laser	1047 - 1053	Güteschaltung
	Nd:YVO ₄	1064	Güteschaltung, Modenkopplung
	Ti:Saphir	695 - 950 (Blitzlampen gepumpt) 700 - 1000 (Ar+ cw-gepumpt)	Modenkopplung Modenkopplung

Quellen: TU Chemnitz IWP

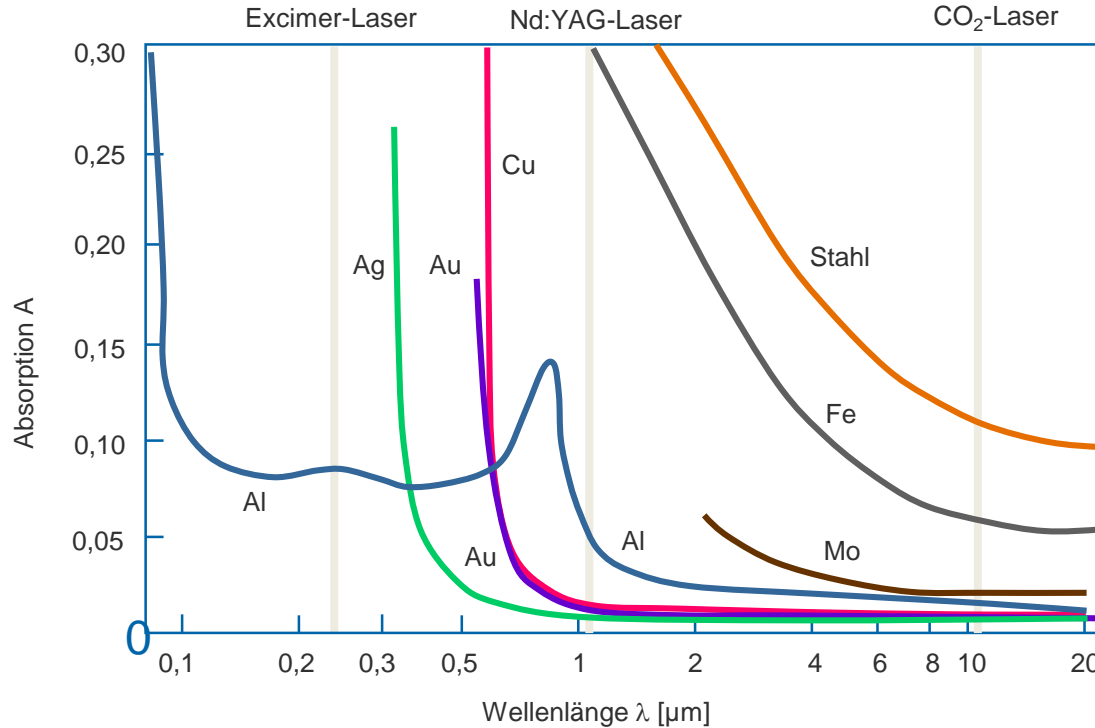
2.3 Trennen

LASERTYPEN

Lasertyp	Laser	Wellenlänge [nm]	Erzeugung kurzer und ultrakurzer Laserpulse
Halbleiterlaser	InGaAlP	635 - 680	
	GaAlAs	670 - 890	
	InGaAsP	900 - 1800	
Farbstofflaser	Coumarin 120	441 (Excimerlaser gepumpt)	
	Coumarin 102	495 (Ionenlaser gepumpt)	
	Rhodamin 6G	581 (Excimerlaser gepumpt)	
	Rhodamin 6G	593 (Ionenlaser gepumpt)	

2.3 Trennen

ABSORPTIONSGRAD DER METALLE



LASERTYPEN FÜR DIE MATERIALBEARBEITUNG

Lasertyp (Wellenlänge)	Leistungsbereich [W]	Betriebsart	Anwendung
CO ₂ -Laser (10,6 µm)	< 8000 2000 - 4000	gepulst (µs) kontinuierlich	Trennen, Schweißen, Bohren, Oberflächenbehandlung
Nd: YAG-Laser (1,06 µm)	< 5000 < 3000	gepulst (ms) kontinuierlich	Bohren, Feinschweißen, Oberflächenbehandlung
He-Ne-Laser (632 nm)	< 1	kontinuierlich	Messtechnik
Excimerlaser (193 nm - 248 nm)	< 0,3	gepulst (ns)	Abtragen, Ritzen, Fotochemie, Medizin

Folie 42

Quellen: TU Chemnitz IWP | <http://uv-technikgroup.com>

2.3 Trennen

VERFAHREN

Maskenprojektionsverfahren

- ✓ Erzeugung ganzer Bilder mit einem Laserpuls, flächiger Abtrag
- ✓ homogene Intensitätsverteilung
→ exakte Abtragstiefen erreichbar
- ✓ geringe Strahlintensitäten → geringe Abtragsraten (0.05 – 3 μm / Laserpuls)

! hohe Kosten zur Herstellung der Masken

Direkt Schreibender Strahl (Fokusabtrag)

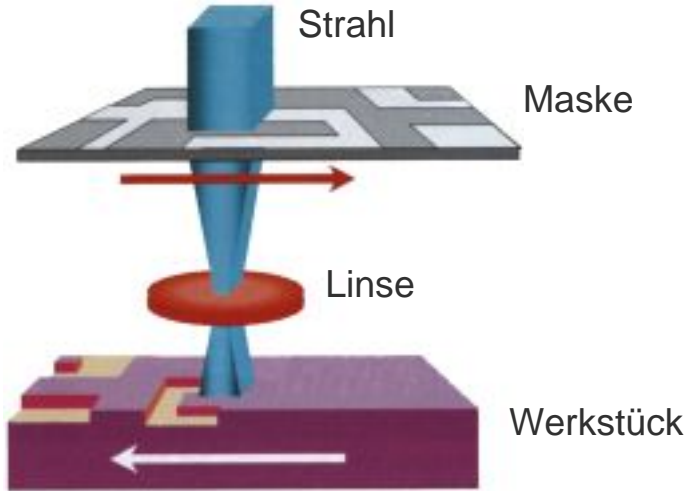
- ✓ Erzeugung beliebiger Muster
- ✓ keine teuren Masken erforderlich
- ✓ hohe Bearbeitungsgeschwindigkeiten sind realisierbar

! Geringer Flächenabtrag

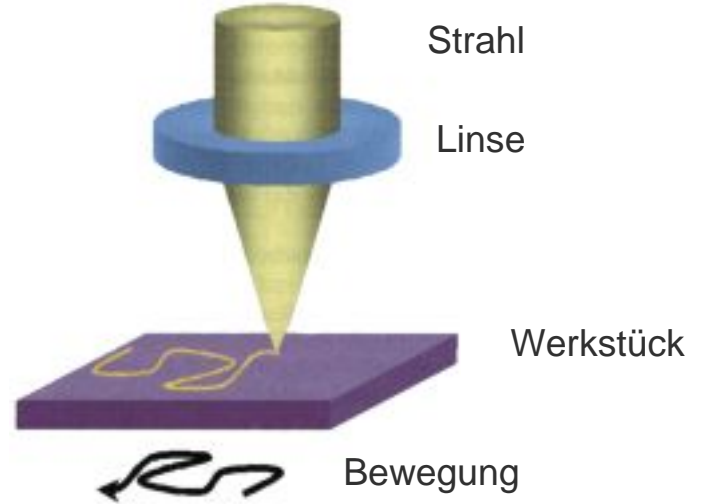
2.3 Trennen

VERFAHREN

Maskenprojektionsverfahren



Direkt Schreibender Strahl (Fokusabtrag)



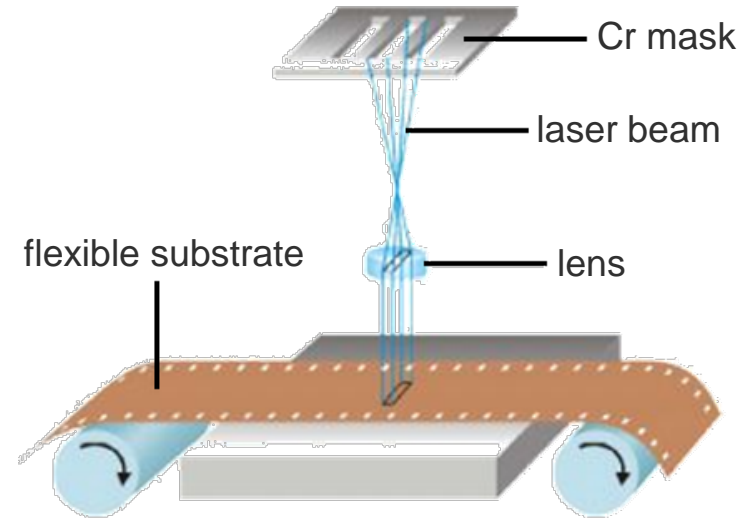
2.3 Trennen

BEISPIEL MASKENABBILDUNG

LASER DIRECT PATTERNING

Dünne metallische (Cu, Au, Al, Pd, Pt...) oder organische Schichten (leitfähige Polymere, organische Dielektrika...) mit Stärken bis zu ca. 200 nm auf flexiblen oder starren Substraten werden mit Hilfe des Maskenprojektions-verfahren ablatiert und somit strukturiert.

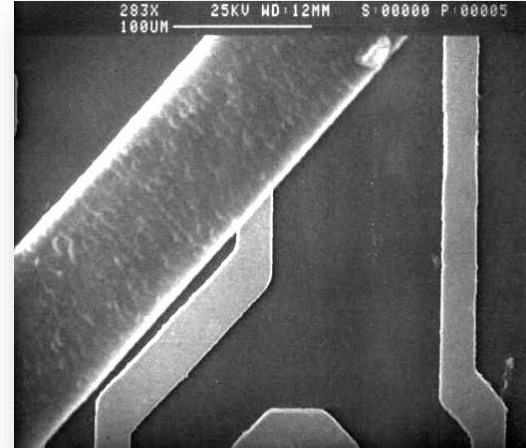
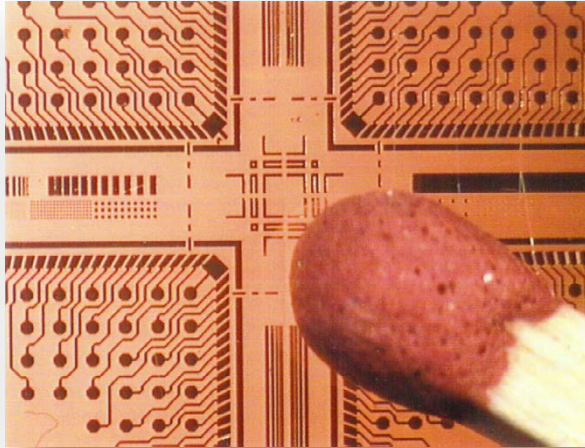
Durchlaufgeschwindigkeit:	bis 150 Schuss/sek.
Strahldauer	25 ns
Bestrahlte Fläche	$\leq 3 \text{ cm}^2$
Laserleistung:	225 mJ/cm ²



LPKF
MicroLine
Laser Reel-to-Reel

2.3 Trennen

BEISPIEL MASKENABBILDUNG



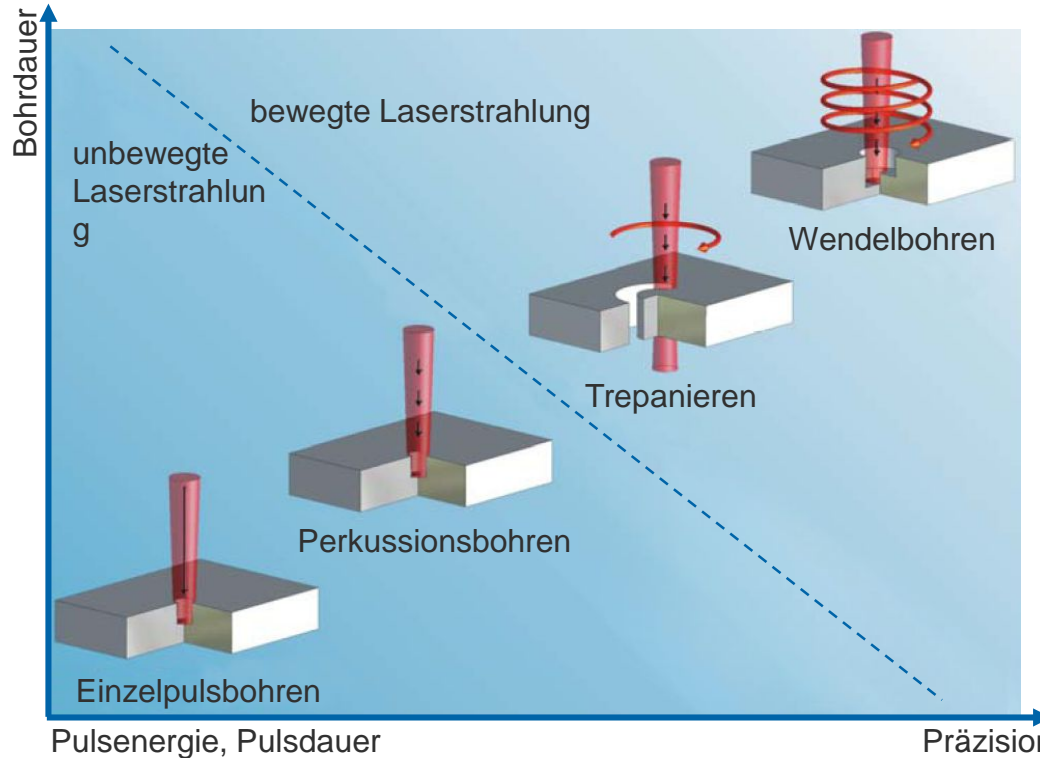
— Funktionsschicht (Cu, Al, Au, Pd, max. 200 nm, PVD)

— Bindschicht (Cr, z. B. 10 nm, PVD)

— Trägerschicht (PET, PC, PI, PEN)

2.3 Trennen

BEISPIEL FOKUSABTRAG: LASERBOHRVERFAHREN



2.3 Trennen

VERGLEICH DER LASERBOHRVERFAHREN

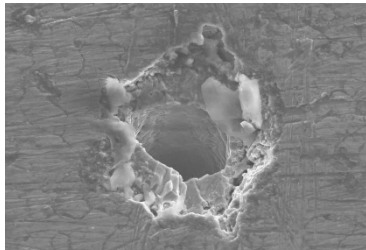
Typ	Einzelpulsbohren	Perkussionsbohren	Trepanieren	Wendelbohren
Bohrungs-Ø	30 µm – 600 µm	100 µm – 1 mm	200 µm – 5 mm	< 150 µm
Tiefen	1 mm	20 mm		
Aspekt-verhältnis	4 : 1 bis 12 : 1	20 : 1 bis 200 : 1	20 : 1	20 : 1
Anwendungs-beispiele	Bohrungen in Kraftstofffiltern, Außenhaut des Leitwerks von Verkehrsflug-zeugen, Chirurgenadeln	Mikro in Leiterplatten	Kühlbohrungen in Turbinenschaufeln und Brennkammer-platten	Bohrungen in Einspritzdüsen
Bohrzeit	bis 120 Bohrungen/ s	10 – 20 Bohrungen/ s	1 – 20 s/ Bohrung	
Besonderheit			Neigungswinkel > 60 ° möglich	

Quellen: TU Chemnitz IWP

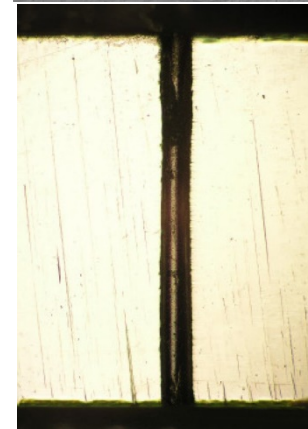
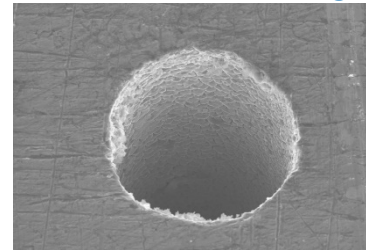
2.3 Trennen

VERGLEICH PERKUSSIONSBOHREN - WENDELBOHREN

Perkussionsbohrung



Wendelbohrung



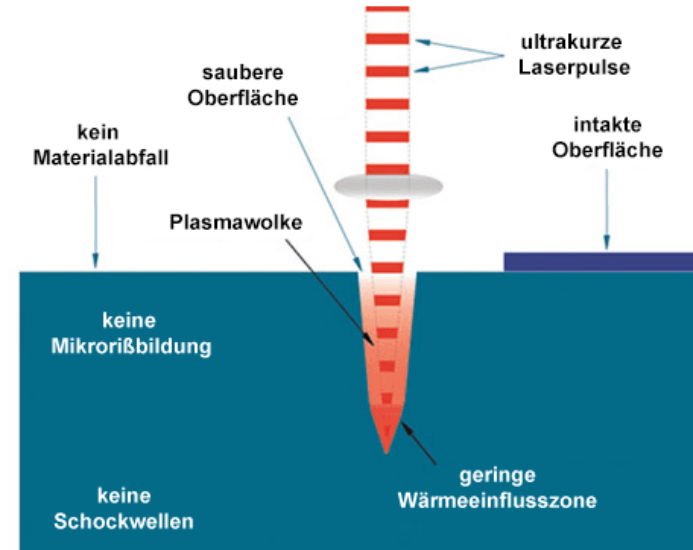
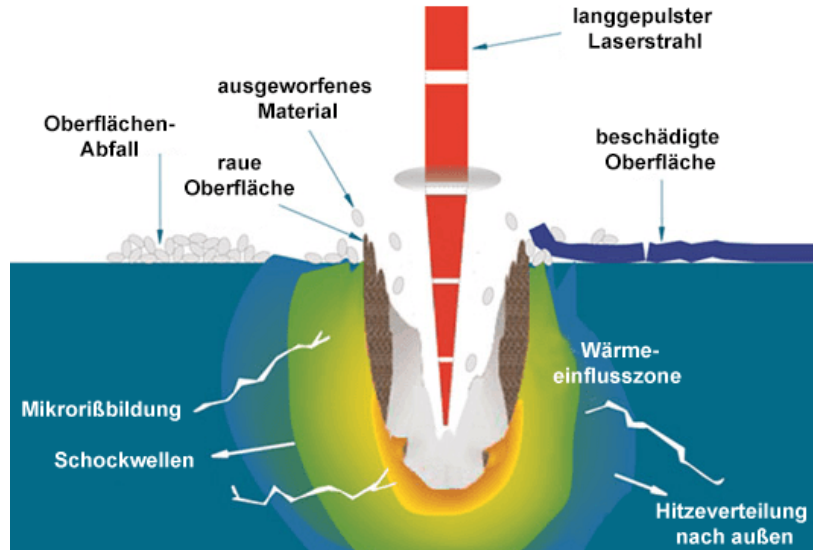
- Bohrungsdurchmesser und Aufweitungsverhältnis stufenlos einstellbar
- flexible Bohrungsgeometrien
- hohe Oberflächengüte

2.3 Trennen

BETRACHTUNG DER PULSDAUER

lang gepulster Laser

ultrakurz gepulster Laser



Werkstoff geht unmittelbar vom festen Zustand in die Gasphase über, ohne dass ein schmelz-flüssiger Zustand entsteht = Sublimation

2.3 Trennen

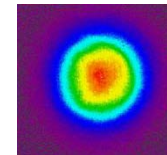
STRAHLQUALITÄT - SCHWINGUNGSMODEN

Modenform						
Intensität						
Typ	TEM ₀₀	TEM ₀₁	TEM ₁₀	TEM ₀₂	TEM ₂₀	Multimode
Beugungsmaßzahl M²	1	2	3	4	5	7

(Grundmode)

TEM – Klassifikation

- Verteilung der **Strahlleistung über den Strahlquerschnitt**
- Beugungsmaßzahl $M^2 = 1$ entspricht der Grundmode: Gauß'sche Verteilung
- Ausbildung der Schwingungsmoden durch die **Resonatorkonstruktion** bestimmt
- Vermessung realer Laserstrahlen mittels Strahldiagnostik (CCD-Detektoren)



TEM00 – Mode eines HeNe-Lasers

Quellen: TU Chemnitz IWP

2.3 Trennen

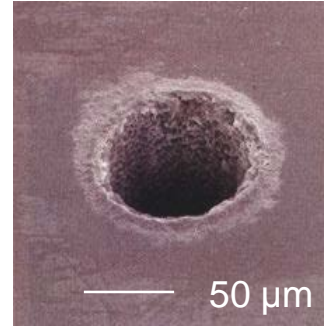
STRAHLQUALITÄT - SCHWINGUNGSMODEN

Mikrobohrungen in Silizium mit einer Dicke von 0,2 mm



Femtosekundenlaser
(130 fs = $130 \cdot 10^{-15}$ s)

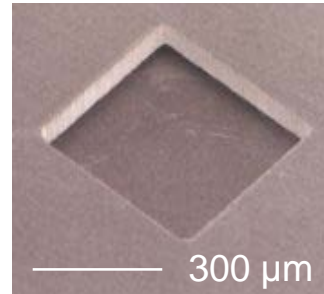
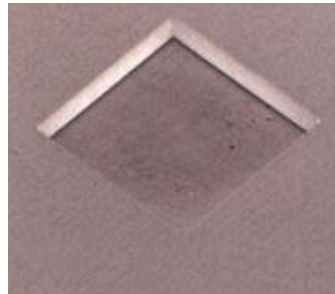
- zum Trennen dickerer Materialien,
- für Bohrungen mit hohem Aspekt-verhältnis



Pikosekundenlaser
(12 ps = $12 \cdot 10^{-12}$ s)

- zum Bearbeiten dünnerer Materialien und Halbleitern

Präzisionsschnitte in Edelstahlfolie mit einer Dicke von 0,1 mm



2.3 Trennen

FEMTOSEKUNDENLASER

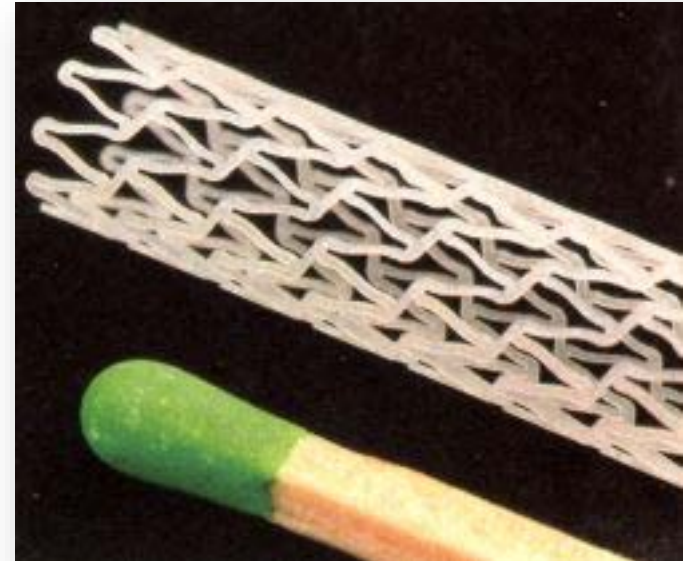
Ultrakurzpuls laser,
bei dem die Dauer der hochintensiven Lichtpulse nur Femtosekunden (10^{-15} s) beträgt.
(Strecke des Lichtstrahls in einer fs: $0,3 \mu\text{m}$)

Vorteile:

- schmelzfreie Bearbeitung
→ ca. zehnmals höhere Genauigkeit als bei anderen Laserverfahren
- alle Materialien (auch transparente und sehr temperaturempfindliche) können bearbeitet werden → hohe Flexibilität

Anwendung:

- Abtragen kleinster Materialmengen



Selbstexpandierender Biostent aus biokompatiblen Kunststoff mit fs-Laser getrennt

2.3 Trennen

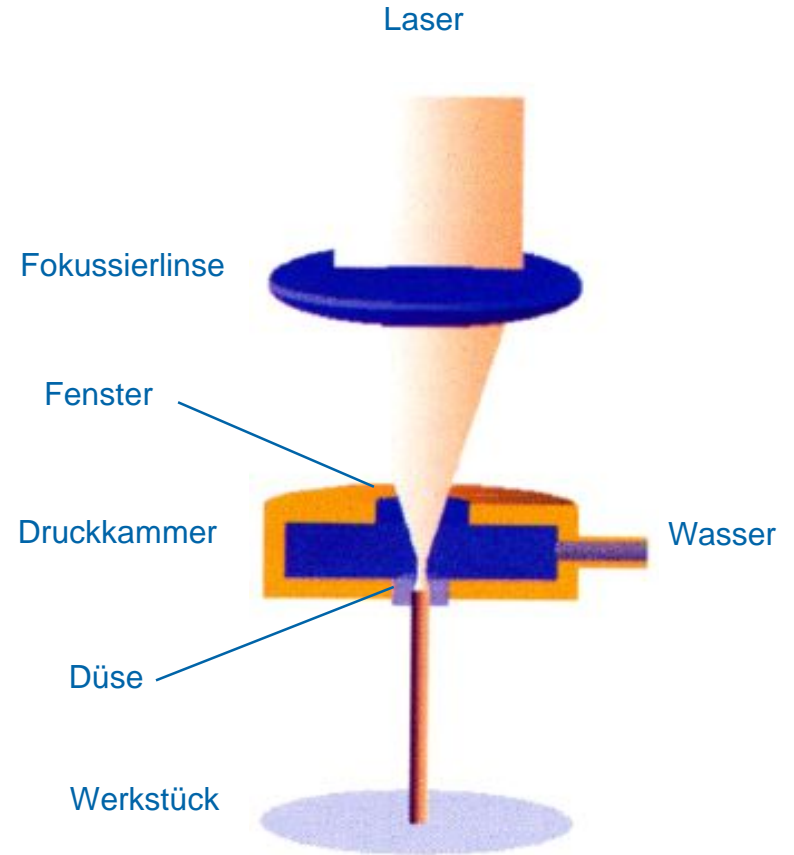
LASER-MICROJET (LMJ)

Wasserstrahlgeführte Laserbearbeitung

Der Laser wird durch eine Hochdruck-Wasserkammer hindurch in die Düse fokussiert.

Der von der Düse ausgehende Wasserstrahl leitet den Laserstrahl durch Totalreflektion an der Wasser-Luft-Grenzfläche, in genau der gleichen Weise, wie es in Glasfaserkabeln geschieht.

Der Wasserstrahl wird daher als flüssiger optischer Wellenleiter veränderlicher Länge bezeichnet.

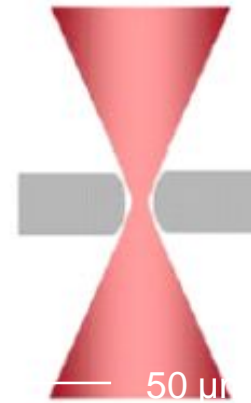


2.3 Trennen

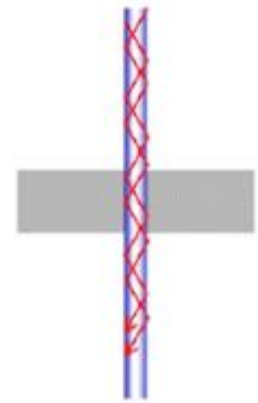
LASER-MICROJET – TECHNISCHE DATEN

- Laser:** Nd:YAG-Laser, gepulst (ns/ μ s)
Pulsfrequenz: 50 – 500 Hz
Leistung: 50 – 200 W
- Wasser:** deionisiertes, gefiltertes Wasser
Wasserdruck: 20 – 500 bar
Strahl-Durchm.: 28 – 100 μ m
Durchflussmenge: 5 – 75 ml/min

- Vorteile:**
- Minimaler Wärmeeintrag in die Probe durch Wasserstrahlkühlung
 - Effizienter Austrieb der Schmelze
 - Grat- und ablagerungsfreier Schnitt
 - Sehr kleiner Werkzeugradius: 14 μ m
 - Bearbeitungsgenauigkeit: bis zu 1 μ m
 - Schnittgeschwindigkeit: 60 mm/s



konventionelles Laserschneiden:
→ konische Strahlform



Laser-Microjet:
→ Der Laserstrahl wird im Wasserstrahl geleitet und die Schnittfuge hat parallele Wände.

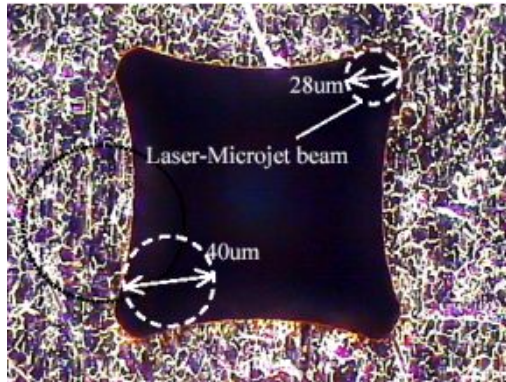
Quellen: TU Chemnitz IWP

2.3 Trennen

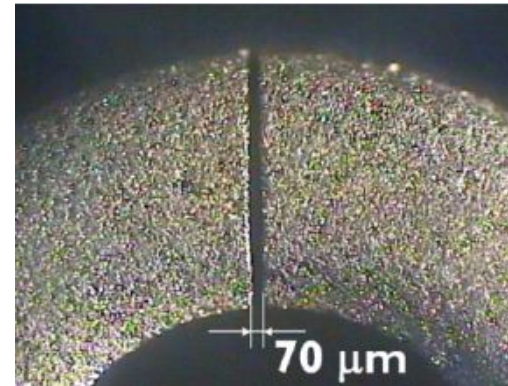
LASER-MICROJET – ANWENDUNGEN

Herstellung von:

- Halbleiterbauteilen (Wafer, Solarzellen, Dioden- und Thyristorscheiben u. a.)
- Stencil-Schablonen für die Elektronikindustrie (Metallfolie 50 µm dick, 10.000 Löcher/cm²)
- Schneidwerkzeugen aus superhartem Material (z. B. CBN, Diamant, SiN)
- Medizinteilteilen (Mikronadeln, Endoskope, Implantate, Skalpelle)



Konkave Öffnung einer Stencil-Schablone



Spalt, der in einen Ferrit-Ringkern geschnitten wurde



Additive Fertigung

FERTIGUNGSTECHNIK 20/21 - 14

Technische Universität Bergakademie Freiberg
IMKF - Additive Fertigung
Agricolastraße 1, 09599 Freiberg, Germany

Prof. Dr.-Ing. Henning Zeidler
Tel: +49 3731 39 30 66
henning.zeidler@imkf.tu-freiberg.de

