

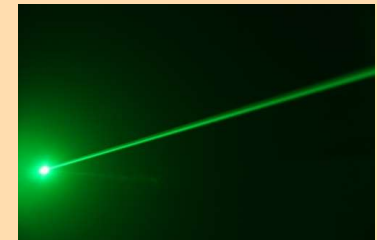
Lasertechnik VL-7

Mechatronik 4.tes Semester

Vorlesung Sommersemester 2023

VL: Prof. Dr. Thomas Hebert (thebert@fb2.fra-uas.de)

Labor: Hans-Peter Tögel, Lutz Zimmermann, Prof. Kurt Jansen



Übung: Vergleich HeNe Laser mit Rubin Laser

25.) E5.1

Berechnen Sie die Zahl der Neon-Atome in einem He-Ne-Laser mit einem Kapillardurchmesser von 1 mm und einer Länge von 20 cm. Wieviele Photonen pro Sekunde werden von einem Atom bei einer Ausgangsleistung von 1 mW emittiert? (Fülldruck $p = 500 \text{ Pa}$, $p_{\text{He}}/p_{\text{Ne}} = 5:1$, Avogadrokonstante $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$, Molvolumen bei 1 bar (10^5 Pa) = 22,4 Liter)

[Lösung: $N_{\text{Ne}} \sim 3,5 \cdot 10^{15}$; Photonen/Ne ~ 1] (+)

25b.)

Geben Sie für den HeNe Laser aus Aufgabe 25.) die Teilchendichte der Neon Atome (Atome / cm^3) an und vergleichen Sie den Wert mit der Cr^{3+} Konzentration (Teilchen / cm^3) eines Rubin Lasers bei einer Dotierung von 0,03% (der Al Atome ersetzt durch Cr)

Dichte: $\rho_{\text{Al}_2\text{O}_3} \sim 3,95 \text{ g/cm}^3$

Atomgewichte in: Al $\sim 27\text{u}$; O $\sim 16\text{u}$; atomare Masseneinheit: $1 \text{ u} = 1.66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

[Lösung: $n_{\text{Ne}} \sim 2,3 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$; $n_{\text{Cr}^{3+}} \sim 1.37 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$]

CO₂ Laser

- **Prinzip, Aufbau**
- **Anwendung: Materialbearbeitung**
- **Bedeutung in der Industrie**

CO₂ Laser Steckbrief

Kohlenstoffdioxidlaser, CO₂-Laser oder umgangssprachlich auch **Kohlendioxidlaser:**

- Wurde 1964 von C. Kumar & N. Patel bei den Bell Laboratories entwickelt.
- Lasermedium ist Kohlenstoffdioxid CO₂ (und N₂ für die Anregung)
- Ist einer der leistungsstärksten und am häufigsten industriell eingesetzten Laser (heute: in der Industrie mehr und mehr Festkörperlaser).
- Erreicht Ausgangsleistungen von bis zu 80 kW und Pulsenergien bis zu 100 kJ
- CO₂-Laser liefert Infrarotlicht mit einer Wellenlänge 9,4 oder 10,6 µm.
- CO₂-Laser sind relativ effizient und kostengünstig
 - Einsatz besonders in der industriellen Materialbearbeitung
 - Wirkungsgrad liegt bei etwa 15 bis 20 %

Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Kohlendioxidlaser>

Übersichtsartikel CO₂ Laser in der Industrie (2017)

<https://www.produktion.de/technik/warum-der-co2-laser-eine-echte-allzweckwaffe-ist-243.html>

CO₂ Laser – Arbeitspferd in der Materialbearbeitung mit verschiedensten Anwendungen

- Schweißen, Schneiden von Metallen
- Schneiden, Trennen Stanzformen aus Holz
- Textilschnitte
- Aushöhlungen Armaturenbrett
- Texturen auf Jeansstoffen
- Gezieltes Schwächen von Folien (Stellen zum Aufreißen)
- Elektronik / Lithographie
- Gravieren...

Media Kontakt **my connect**

Technik und Wirtschaft für die deutsche Industrie

Produktion

Newsletter Heftarchiv Login Suche

Technik Wirtschaft Themen Wissen Veranstaltungen Stellenmarkt

Home Technik Warum der CO₂-Laser eine echte Allzweckwaffe ist

Technik

Viele verschiedene Anwendungsfelder 29. Nov. 2017 | 08:00 Uhr
von Gabriel Pankow und Julia Duszold

Aktualisiert am: 27. Nov. 2020

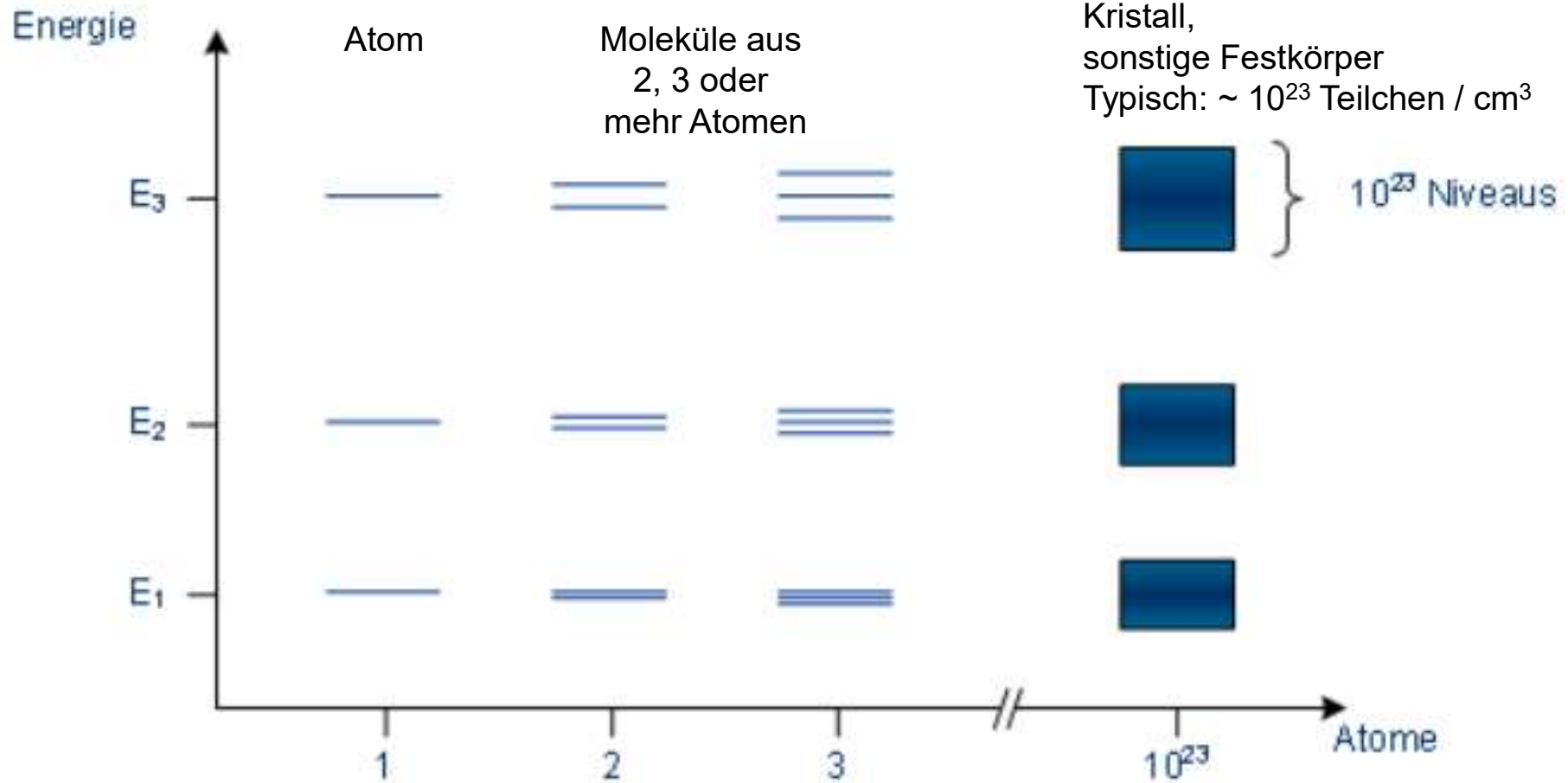
Warum der CO₂-Laser eine echte Allzweckwaffe ist

Andere Lasertypen haben den CO₂-Laser teilweise verdrängt, aber er erschließt neue Aufgabenfelder. Welche das sind und welche Vorteile der Gaslaser dort hat.

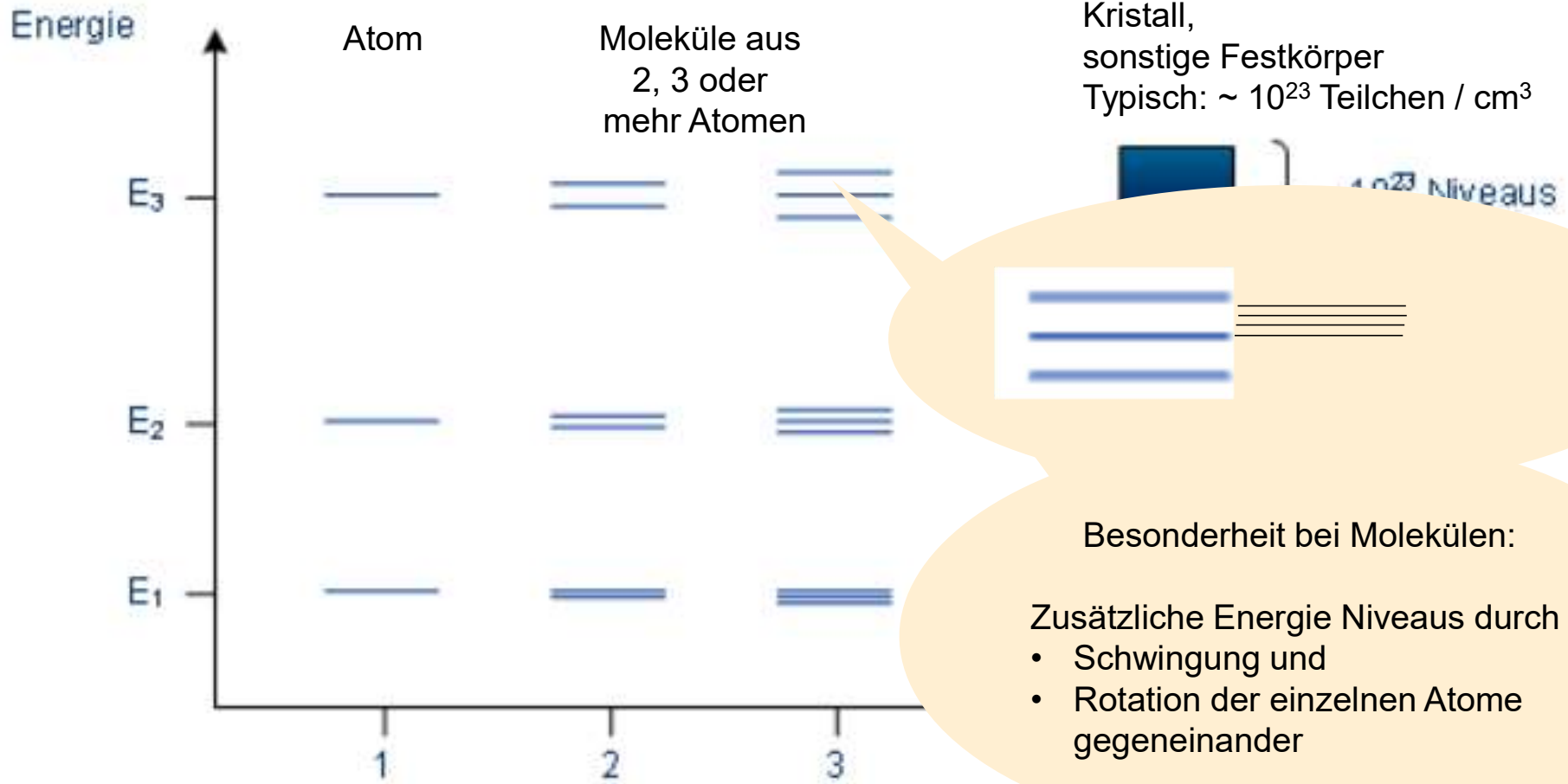


Es gibt viele verschiedene Lasertypen, die für verschiedene Einsatzzwecke benötigt werden. Der CO₂-Laser ist einer davon. PRODUKTION erklärt, wie er funktioniert und was er besonders gut kann. - Bild: Fotolia/motorradch

Energie Niveaus in Atomen / Molekülen / Festkörpern

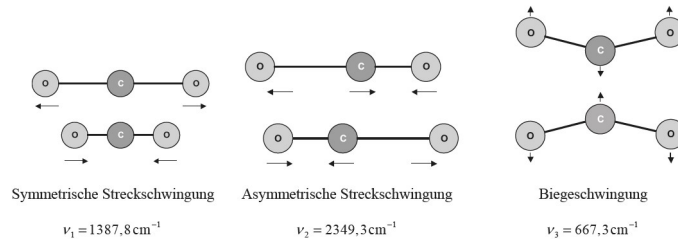


Energie Niveaus in Atomen / Molekülen / Festkörpern



CO₂-Molekül, das aktive Medium im CO₂ Laser

- CO₂ Molekül besteht aus drei Atomen: O – C – O
- O-C-O können gegeneinander schwingen und rotieren. Dadurch entstehen Energieniveaus, die sog. Schwingungs-Rotations-Niveaus



- Für den CO₂ Laser sind zwei Rotations-Schwingungs-Übergänge bei 9600 nm und bei 10600 relevant.

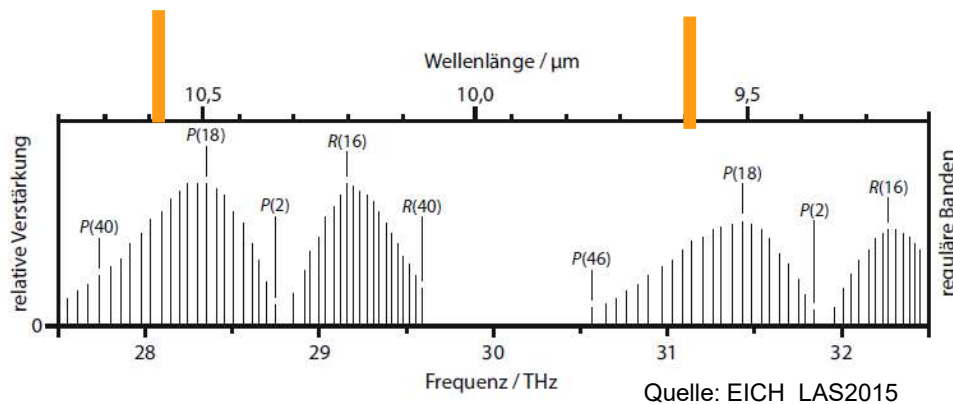
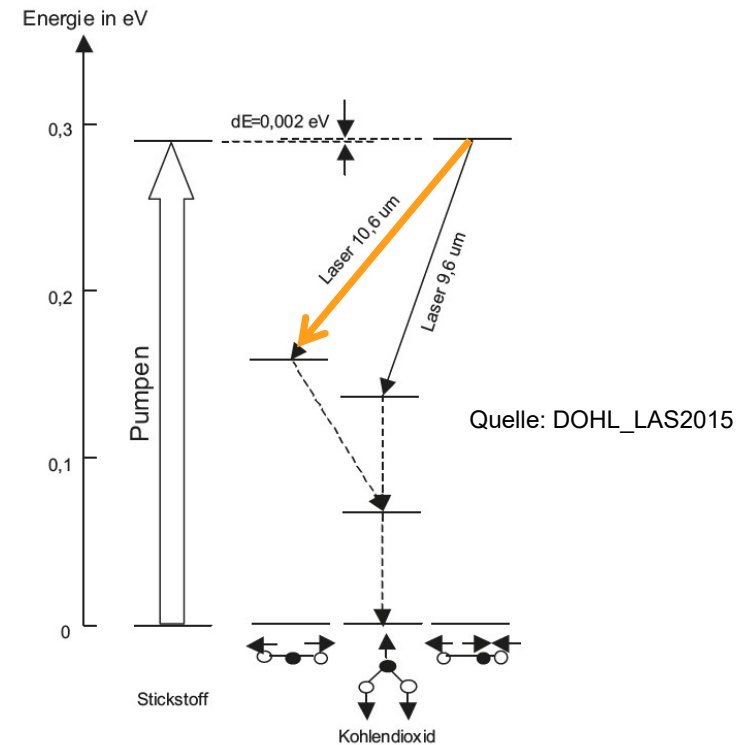


Abb. 6.5 Emissionslinien des CO₂-Lasers



- Anregung erfolgt bei N₂, mit Stößen 2.ter Art
- Der CO₂ Laser müsste streng genommen N₂-CO₂-Laser genannt werden.

CO₂ Laser - „Geschlossenes System“

- **Röhre wird ab Werk mit Gas befüllt.**
 - Füllung: 20% CO₂, 20% N₂, 60% He, Fülldruck ca. 10-25 mbar
- **Laserleistungen von ca. 60 W pro Meter Entladungslänge**
- Pumpen erfolgt per Hochspannung / Gasentladung
- **Laserspiegel bilden Enden des Entladungsrohrs und sind fest verklebt**
 - Spiegelmaterialien für IR Licht: Ge, ZnSe
 - Keine Justierung nötig/möglich
- **Problem: Zersetzung des CO₂ Gases**
CO₂ → CO + O, führt zu Leistungsabfall über die Zeit
- **Lösung:**
Zugabe von H₂O: CO + OH → CO₂ + H
Pt-Katalysator 2 CO + O₂ → 2 CO₂ (Pt als Katalysator), Pt als Elektroden

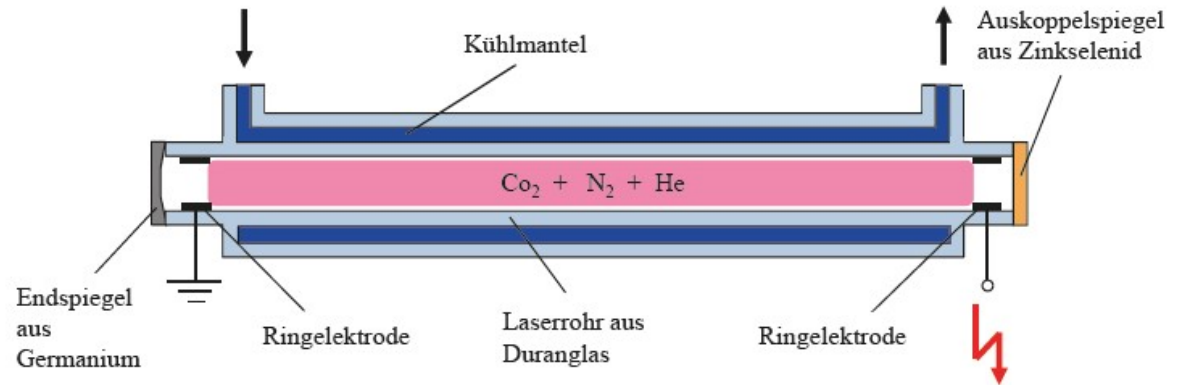
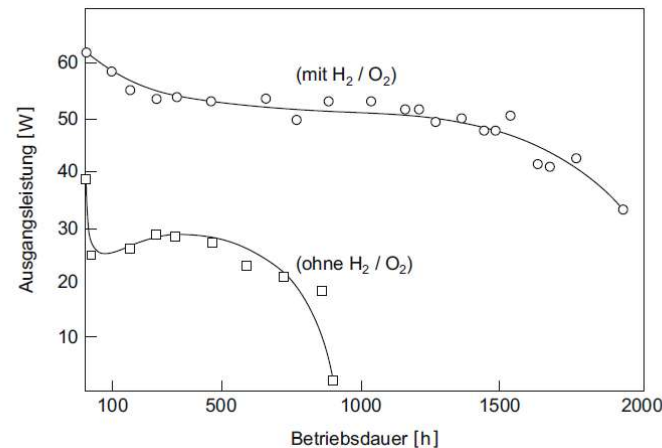


Abb. 2.57: Abgeschmolzener CO₂-Laser.

Quelle: DOHL_LAS2015



Leistungsabfall eines
CO₂ Lasers über die
Betriebsstunden

Quelle: SIGR_LAS2018

CO₂ Laser Röhre

Beispiel: Hersteller (vermutlich aus China); Vertrieb über Firma Vevor;
VK im Internet < 400€ (ohne Netzteil)



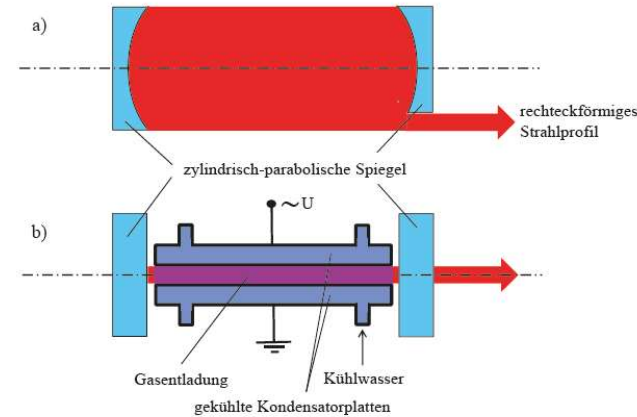
Spezifikationen

- Ausgangsleistung: 100 W
- Länge: 1430 mm
- Strahldurchmesser: 2,5 mm
- Wellenlänge: 10,6 Mikron
- Material: Borsilikatglas
- Außendurchmesser: 80 mm
- Auslösespannung: 26 KV
- Arbeitsspannung: 20 KV
- Optimaler Betriebsstrom: 7-40 mA
- Bruttogewicht: 16,46 kg
- Packungsgröße: 161 x 32 x 27 cm

https://www.vevor.de/laserroehre-c_11139/co2-glas-laserroehre-100w-fuer-laser-graviermaschine-gravur-zubehoer-acryl-1430mm-p_010187824178

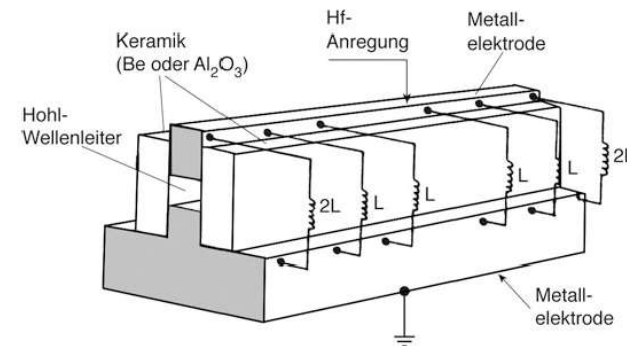
Waveguide CO₂ Laser – weitere häufig verwendete Variante des „geschlossenen Systems“

- Laserrohr = Kapillare aus BeO oder Al₂O₃
- „dielektrischer Wellenleiter“, d.h. Strahlung wird an Wandflächen reflektiert. Es bilden stehende Wellen (analog Mikrowellen in Hohlleitern).
- Anregung erfolgt meist als **Hochfrequenzanregung**
Vorteile: keine Elektroden im Lasergas nötig (Hochfrequenz wird kapazitiv über die Rohrwand eingekoppelt)
- Systeme bis 600 W Laserleistung erhältlich
- Wird gerne auch als „Instabiler Resonator“ verwendet



Quelle: DOHL_LAS2015

Abb. 2.58: Waveguide-Laser in Draufsicht (a) und in Seitenansicht (b). Sein Resonator ist instabil.

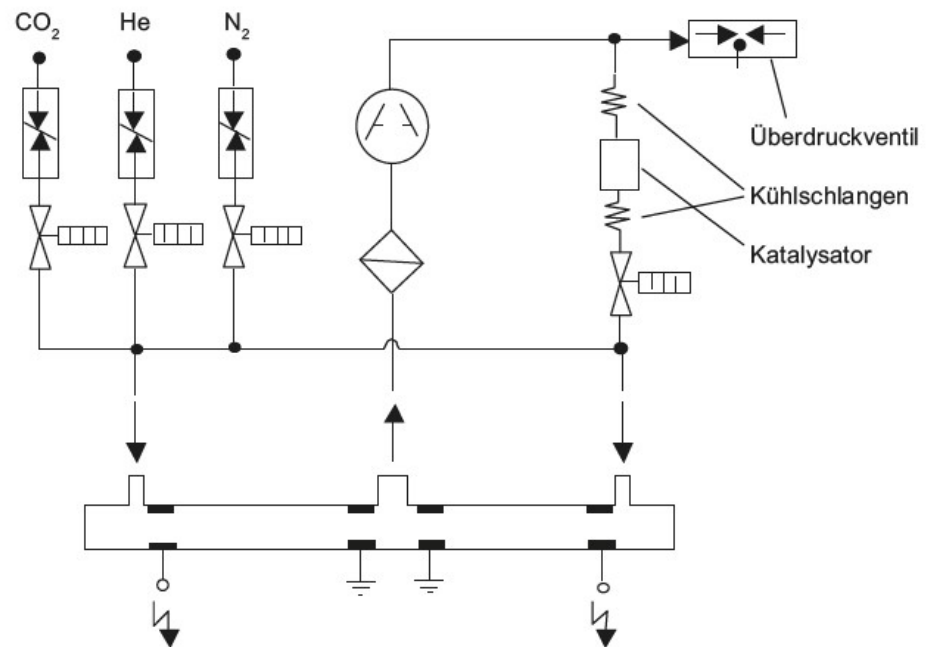


Quelle: EICH_LAS2015

Abb. 6.7 Aufbau eines Wellenleiter-CO₂-Lasers mit Hochfrequenz-Anregung

Offene CO₂ Laser Systeme – „Langsam geströmtes System“

- **CO₂ / N₂ / He Gasgemisch wird permanent von außen zugeführt (Flow 1-2 m/s)**
- Katalysator im Gas-Rücklauf ermöglicht Wiederverwendung der Gase
- **Laserrohr mit angeschmolzenem Kühlmantel**
- Kupferelektroden
- Hier im Bild:
zwei Entladestrecken um eine längere CO₂ Laserstrecke (mehr Verstärkung) zu erhalten (ohne dass doppelte Hochspannung nötig wäre)
- **Resonatorlängen bis 20m Länge** (gefaltet in 1-1,5m Teilstücke) wurden realisiert
- Technische Grenzen durch Kühlung und Temperatur Stabilität des Resonators
- **Laserleistung bis in den kW Bereich**



Quelle: DOHL_LAS2015

Abb. 2.59: Resonatoraufbau und Gasversorgung eines langsam geströmten CO₂-Lasers mit zwei Entladestrecken und Katalysator.

CO₂ Laser – „schnell geströmtes System“

- **Gasstrom mit 200-250 m/s**
- Gas wird umgewälzt, Kühlung erfolgt über das Gas selbst außerhalb des Lasers in einem Wärmetauscher
- **Laserleistung ca. 400 W pro m Entladelänge** (beim langsam geströmten System nur 60-80 W/m)
- **Anregung erfolgt vorzugsweise über HF**
 - HF Sender robuster im Vergleich zu HV Netzteilen bei DC-Entladung
 - keine Elektroden im Lasergas, somit kein Materialabtrag an den Elektroden
 - Es kondensiert kein Elektrodenmaterial auf den Spiegeln
 - Homogenität der Entladung ist höher als bei der DC-Entladung
- **Laserleistungen bis 20 kW wurden realisiert**

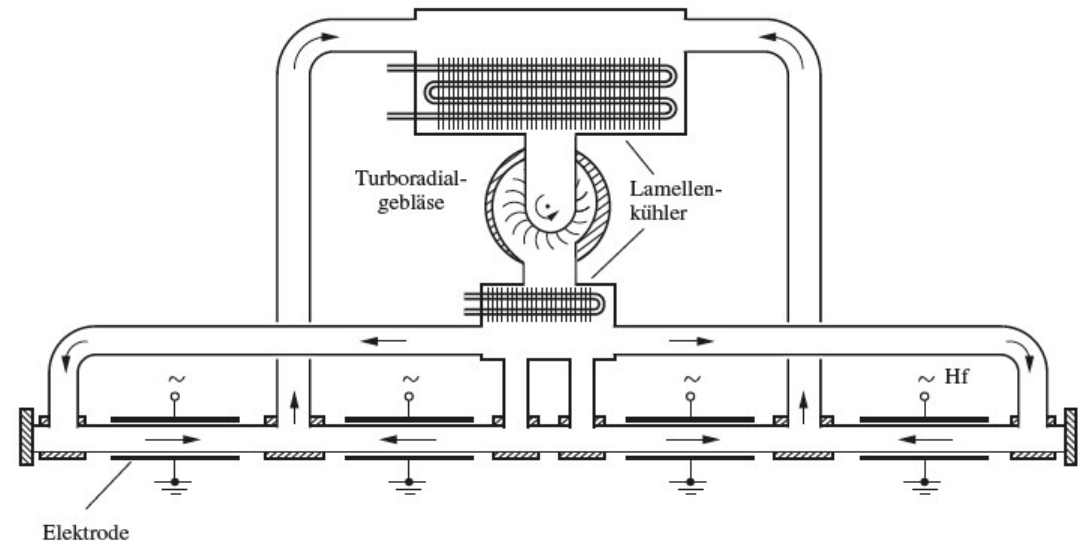
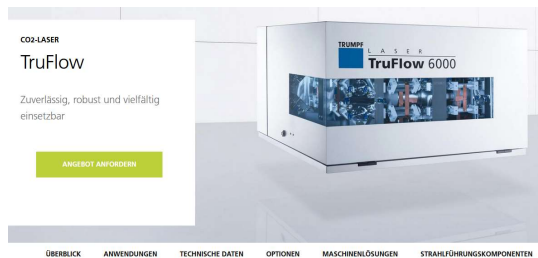


Abb. 2.60: Schematische Darstellung eines schnellgeströmten CO₂-Lasers mit vier Entladestrecken. Die Pumpenergie wird kapazitiv ins Lasergas eingekoppelt. Die schnelle Gasströmung wird durch ein Turboradialgebläse aufrechterhalten. Nicht gezeichnet sind Vakuumpumpe und Gasversorgung bzw. Gasabfuhr.

Quelle: DOHL_LAS2015

Beispiel: CO₂ Laser – schnell geströmtes System

- Entladungsstrecken sind hier ringförmig gefaltet um ein kompakteres System zu erreichen
- Laserleistung: bis 20.000 W



https://www.trumpf.com/de_DE/produkte/laser/co2-laser/truflow/

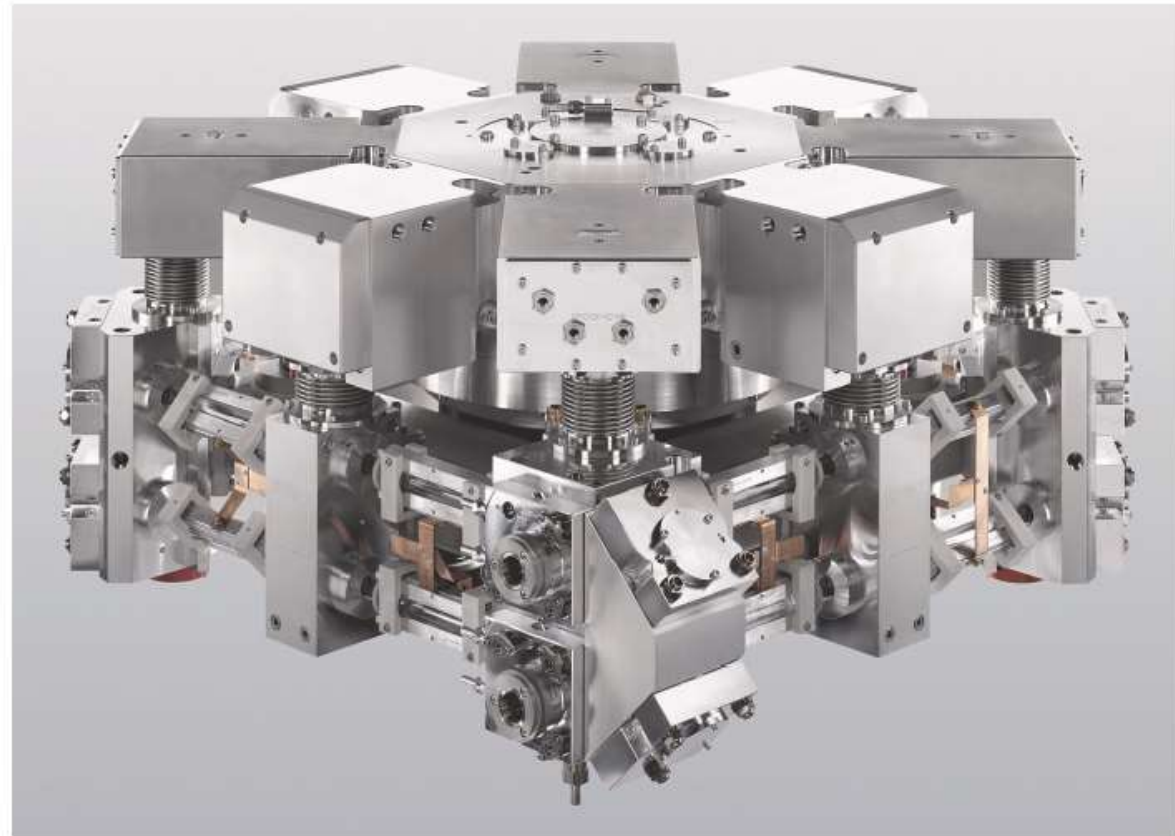


Abb. 2.61: Moderner Resonatoraufbau eines schnell geströmten CO₂-Lasers. Quelle: TRUMPF GmbH + Co. KG.

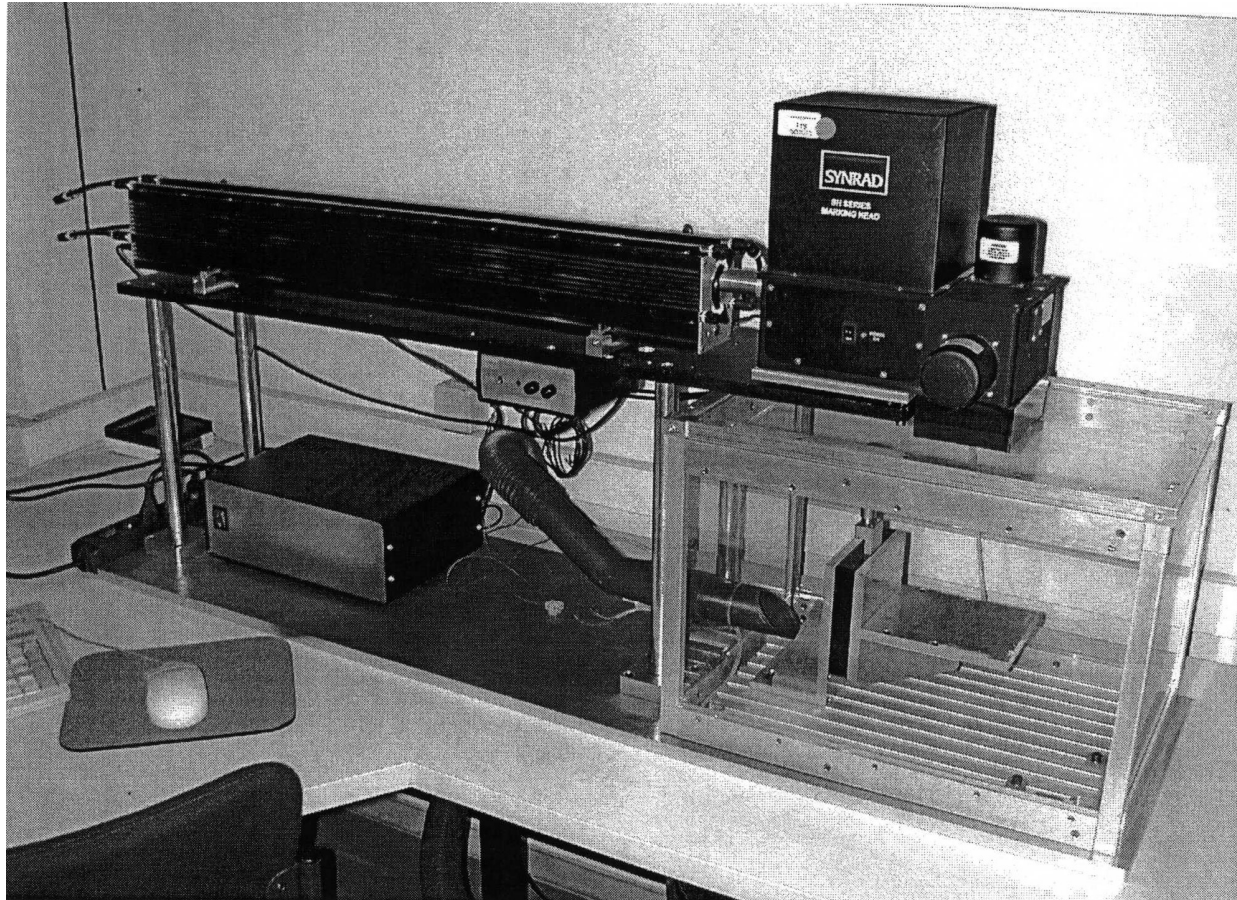
Quelle: DOHL_LAS2015

Beispiel CO₂-Slab-Laser (SLAB = engl. Platte, Waveguide Laser)



<https://www.rofin.de/produkte/co2-laser/co2-laser/dc-serie/>

Laser-Gravur mit CO₂ Laser im U A S Laser Labor



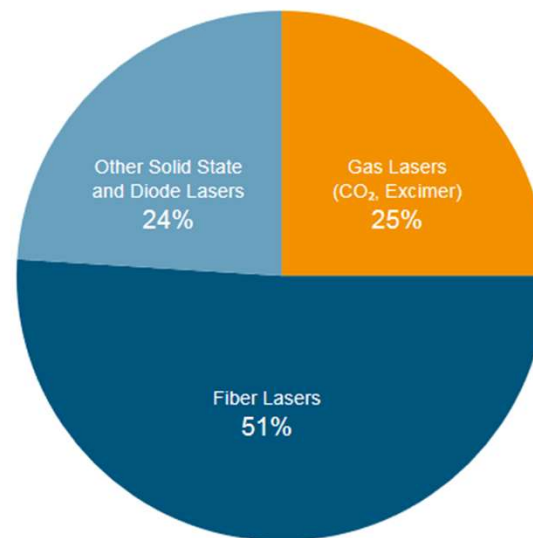
Was macht Laserlicht so besonders?

- Laserlicht ist (nahezu) **monochromatisch**
 - Z.B. Helium-Neon-Laser: Wellenlänge $632,8 \text{ nm} \pm 0,002 \text{ nm}$
 - Bei genauerem Messen findet man eine bestimmte „Bandbreite“ für die Wellenlänge oder die Lichtfrequenz, die aber im Vergleich zu anderen Lichtquellen deutlich geringer ist
 - Zum Vergleich Interferenzfilter rot: $630 \text{ nm} \pm 10 \text{ nm}$
- Laserstrahlung liefert einen **nahezu parallelen Strahl, mit geringer Divergenz**
 - hohe Strahlintensität pro Fläche → Materialbearbeitung (Laserschneiden, -schweißen, -bohren, -gravieren, ...)
- Laserstrahlung ist **kohärent** (lange Wellenzüge mit konstanter Phasenbeziehung)
 - Kann sehr gut für Interferenz Anwendungen verwendet werden
- Hohe Leistung pro Fläche (= Intensität) möglich → Materialbearbeitung
- Sehr **kurze Laserpulse erzeugbar** (z.B. Femtosekunden-Laserpulse (ca. 10^{-15} s)
 - relevant in der Wissenschaft, aber auch in **Materialbearbeitung und Medizintechnik**
- Oft hohe Laserleistung aber gleichzeitig Wirkungsgrad oft gering (<1%), aber auch bis zu 20% möglich

Übersicht Lasertypen & Anwendungen

	Lasertyp	Typische Wellenlängen [nm]	Betriebsart	Anwendungsbeispiele
Gaslaser	HeNe-Laser	633, 611, 594, 543, ...	cw	Positionierhilfe, div. Messaufgaben
	CO ₂ -Laser	10600	cw, gepulst	Materialbearbeitung, Laserchirurgie
	Excimer-Laser	193 (ArF), 248 (KrF), 308 (XeCl), 351 (XeF)	gepulst	Materialbearbeitung, Gewebeablation (LASIK), ...
	Argon-Ionen-Laser	488/514	cw	Pumpquelle, Holographie, Laserchirurgie, ...
	Metaldampf-Laser	510/578 (Kupfer), 628 (Gold)	gepulst	Pumpquelle, Materialbearbeitung, photodynamische Therapie, ...
	„Weißlicht“-Laser	z.B. Ar/Kr-Mischgas-Laser	cw	Lasershow, Kalibrierzwecke
Festkörperlaser	Rubin-Laser	694	cw, gepulst	Medizinische Anwendungen, ...
	Alexandrit-Laser	710-820 (Blitzlampen gepumpt)	cw, gepulst	Haar- u. Tattoorentfernung, Zahnmedizin, Spektroskopie, ...
	Nd:YAG-Laser	1064	cw, gepulst	Pumpquelle, Materialbearbeitung, Laserchirurgie
	Er:YAG-Laser	2940	gepulst	Medizinische Anwendungen
	Ho:YAG-Laser	2100	gepulst	Medizinische Anwendungen
	Ti:Saphir-Laser	695-950 (Blitzlampen gepumpt) 700-1000 (Ar ⁺ cw-gepumpt)	cw, gepulst	Photochemie, LIDAR, Isotopentrennung, Spektroskopie
HL-Laser	InGaAlP GaAlAs InGaAsP GaN	635 bis 680 670 bis 890 900 bis 1800 400 bis 450	cw, gepulst	Laserpointer, Positionierhilfe, Materialbearbeitung (Schweißen), Nachrichtentechnik, CD-Spieler, div. Messaufgaben, ...

World market for lasers for materials processing 2020 by laser type



Quelle: Optech Consulting

Ein führender Hersteller von Lasern und Laserlösungen im Industrie Umfeld ist die Firma Trumpf



Produkte

Lösungen

Unternehmen

Nachhaltigkeit

Newsroom

Karriere

🔍 SUCHE

✉️ KONTAKT

👤 LOGIN

🌐 DEUTSCHLAND | DE

📦 ZU MYTRUMPF

< Produkte < Laser



TRUMPF Laser

Schneiden, Schweißen, Markieren, Oberflächen bearbeiten – immer mehr Experten in der Fertigungstechnik schätzen die Flexibilität, Vielseitigkeit und Kosteneffizienz des Werkzeugs Laser. Bei TRUMPF finden Sie für jede Aufgaben den richtigen Laser. Wir beraten und unterstützen Sie, wie Sie durch die Vernetzung Ihrer Laser mit Software, Maschinen und Services, Schritt für Schritt Ihre Smart Factory aufbauen und sich so für die digitale Zukunft Ihrer Fertigung rüsten.

Kontakt

Vertrieb Lasertechnik

Telefon 07156 30330862

E-Mail →

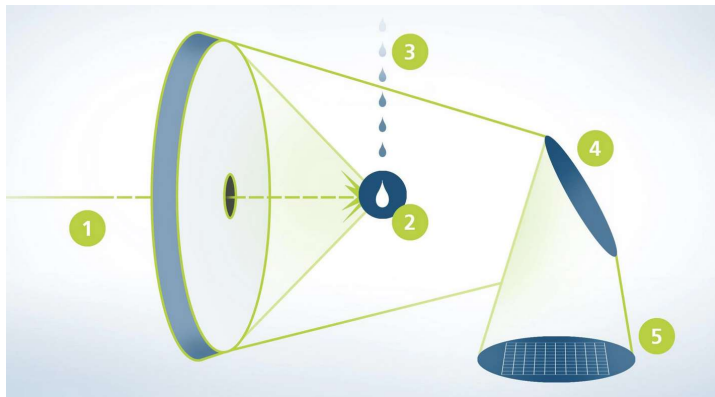
zur Außendienstsuche →

Downloads



https://www.trumpf.com/de_DE/produkte/laser/

Aktuelle Entwicklung: EUV Laser (Extreme UV) (13,5 nm) erlauben die Herstellung noch kompakterer elektronischer Schaltkreise



1. Ein verstärkter CO₂ Laserpuls
2. trifft auf einen Zn Tropfen und ionisiert diesen.
3. Es werden 50000 Tropfen / s erzeugt.
4. Die ionisierte Tropfen geben 13,5 nm EUV Licht ab, das durch Umlenkspiegel
5. auf das Chip Material trifft, wo durch ein Lithografie verfahren die einzelnen Schaltkreise per Belichtung erzeugt werden



Material- bearbeitung

CO2 Laser Gravierer der Firma AM Laser Point Robotik Labor & FROST Team des FB2



Laserkopfdüse und Autofocussensor



Wasserkühler 3000 bis 80W
Laserröhre



Abluft Standard



Luftkompressor Standard



Up- and Downtable



<https://www.amlaserpoint.com/laser-co2/>

CO₂ Laser Röhre

Beispiel: Hersteller (vermutlich aus China); Vertrieb über Firma Vevor;
VK im Internet < 400€ (ohne Netzteil)



Spezifikationen

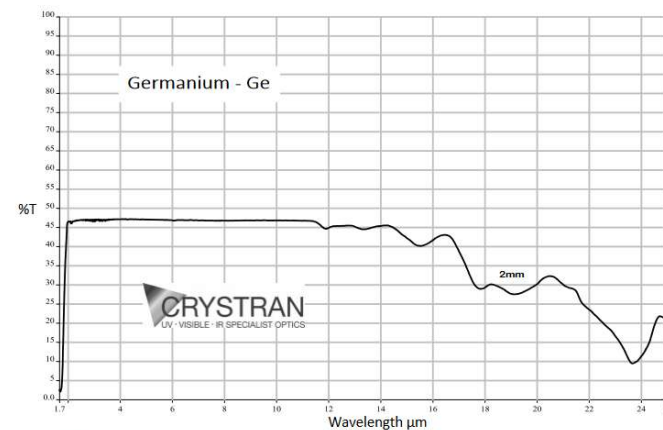
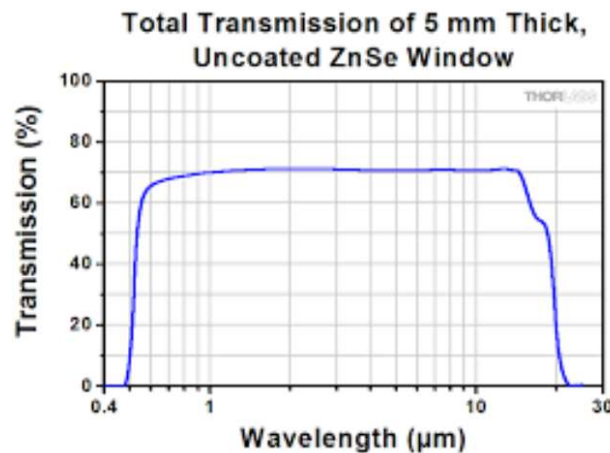
- Ausgangsleistung: 100 W
- Länge: 1430 mm
- Strahldurchmesser: 2,5 mm
- Wellenlänge: 10,6 Mikron
- Material: Borsilikatglas
- Außendurchmesser: 80 mm
- Auslösespannung: 26 KV
- Arbeitsspannung: 20 KV
- Optimaler Betriebsstrom: 7-40 mA
- Bruttogewicht: 16,46 kg
- Packungsgröße: 161 x 32 x 27 cm

https://www.vevor.de/laserroehre-c_11139/co2-glas-laserroehre-100w-fuer-laser-graviermaschine-gravur-zubehoer-acryl-1430mm-p_010187824178

Resonatorspiegel sind auf die Enden der Laserröhre aufgeklebt – keine spätere Justierung nötig/möglich

Besondere Spiegelmaterialien für IR Licht der Wellenlänge 10600 nm nötig

- Auskoppelspiegel: Zinkselenid (ZnSe): T ~ 70 %, R ~ 30%
- Endspiegel: Germanium T ~ 50 %, R ~ 50%



Laser-Materialbearbeitung

Laserintensität für verschiedene Bearbeitungsverfahren

In der Materialbearbeitung spielen: Absorptionsverhalten des Materials, Laserintensität und Einwirkdauer eine entscheidende Rolle!

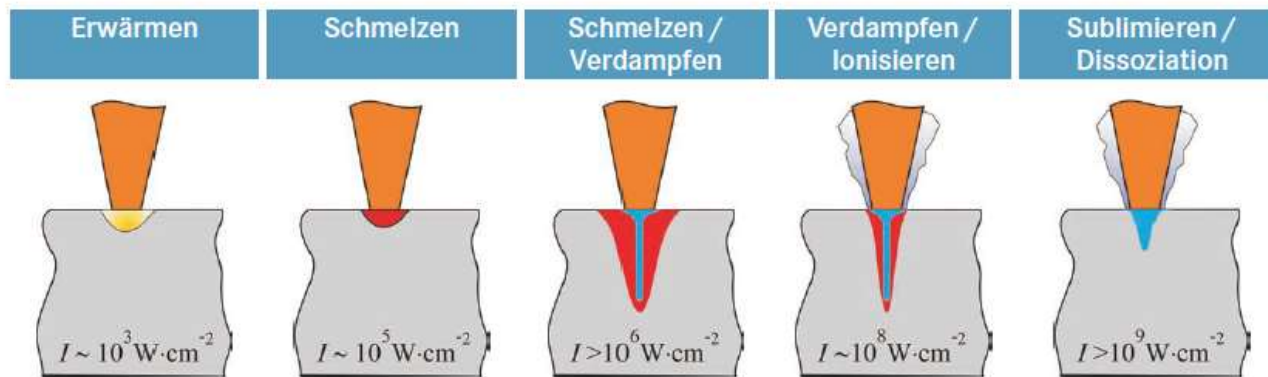


Bild 5.19 Wechselwirkungsprozesse und typische Phasen in Abhängigkeit von der Intensität /Hüge1992/

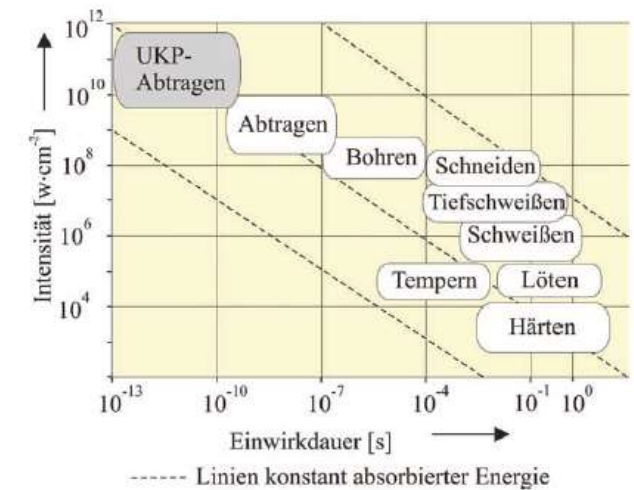


Bild 5.1 Laserintensität und Einwirkdauer für ausgewählte Bearbeitungsverfahren nach /Popr1998/

Anforderungen an den Laser / Strahlengang:

- Hohe Lichtintensität auf dem Werkstück bzw. genügend hohe Laserleistung
- Auf das Werkstück fokussierter Strahl
- Angepasste Einwirkdauer (z.B. Schnittgeschwindigkeit)

Quelle:

BLMÜBA_LAS2013: Lasermaterialbearbeitung, J. Bliedtner, H. Müller, A. Barz, Fachbuchverlag Leipzig, 2013, E-Book-ISBN 978-3-446-42929-1

Wärme-Einfluß-Zone WEZ

- In den meisten Fällen erwärmt sich das Material durch Absorption der Laserstrahlung
 - Erwärmung: stark \leftrightarrow schwach
 - Einwirkdauer: kurz \leftrightarrow lang
- Somit spielen thermische Materialeigenschaften eine große Rolle:
 - k = Temperaturleitfähigkeit
 - L = Wärmeleitfähigkeit
 - ρ = Dichte
- Ein einfacher Zusammenhang (ohne Herleitung) stellt die Abhängigkeit der Einwirktiefe d von der Laser-Pulsdauer dar:

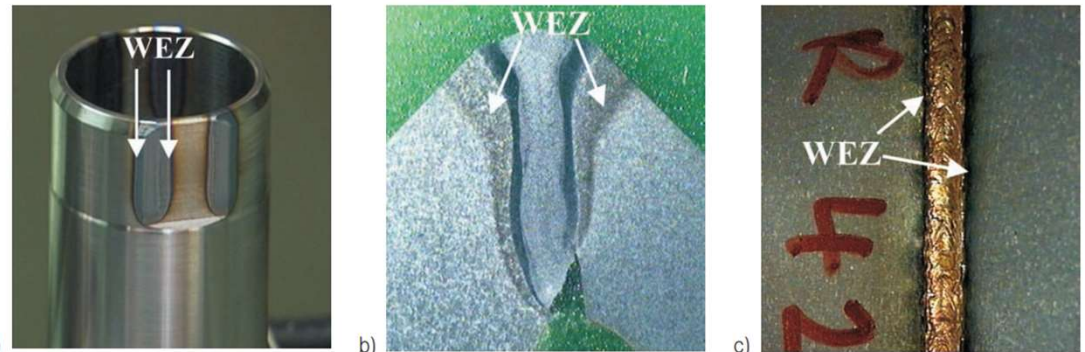
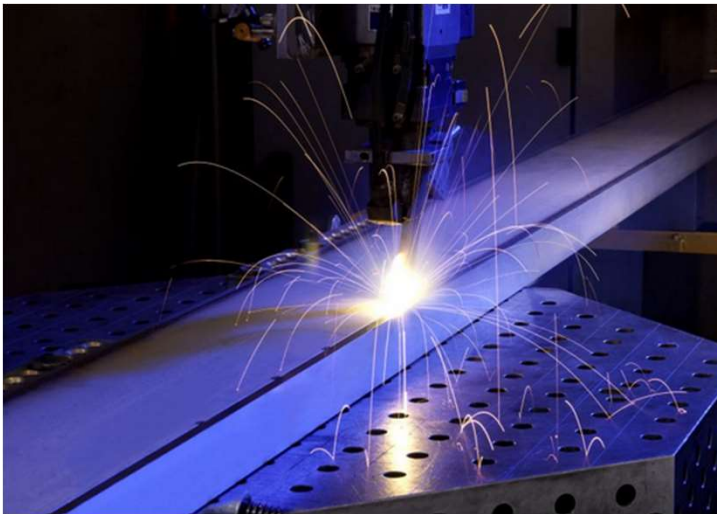


Bild 5.12 Ausgewählte Beispiele für Wärmeeinflusszonen. a) Härtespur, b) Schweißnaht (Schliffbildarstellung), c) Hartlötnaht verzinkter Stahlbleche

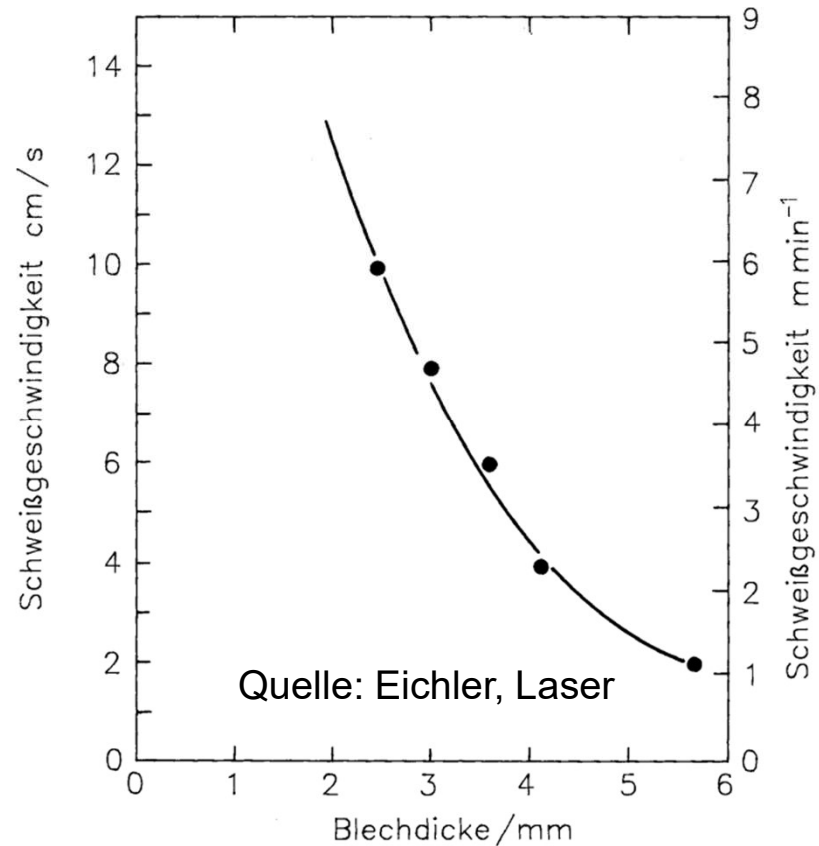
- $d^2 \sim 4 k t_{\text{Puls}}$ mit $k = L / (c \rho)$
- Beispiel: Stahl: $k = 0,13 \text{ cm}^2 / \text{s}$
 - $t_{\text{Puls}} = 20 \text{ ns} \rightarrow$ Eindringtiefe $d \sim 1 * 10^{-4} \text{ cm}$
 - $t_{\text{Puls}} = 20 \text{ ms} \rightarrow$ Eindringtiefe $d \sim 2 * 10^{-2} \text{ cm}$
- Nicht zu verwechseln mit der optischen Eindringtiefe (Absorption) , die ist für Metalle nur ca. $1 * 10^{-6} \text{ cm}$

Beispiel: Abhängigkeit von Geschwindigkeit und Blechdicke beim Laserschweißen

Abb. 23.3 Schweißgeschwindigkeit eines CO₂-Hochleistungslasers von unlegiertem Stahl bei einer konstanten Laserleistung von 3,6 kW

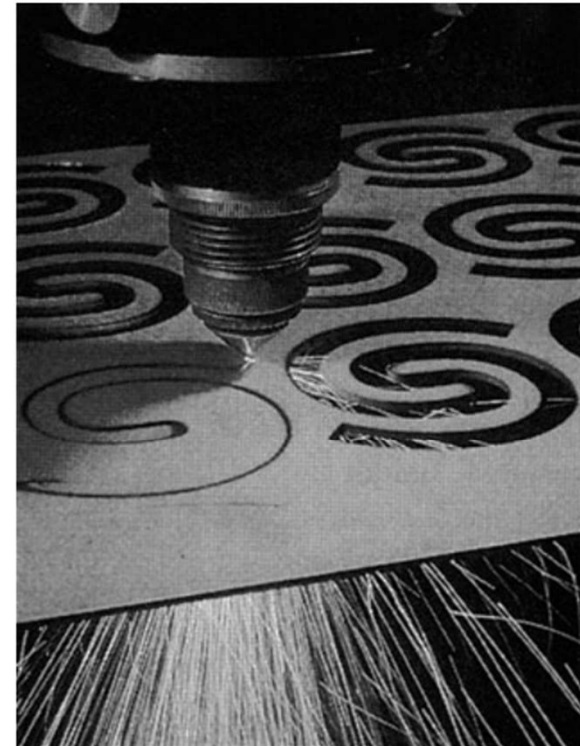


https://laser-more.com/laserschweissen/?gclid=EAlaIqobChMikf2BoquT_wiVhdLtCh2UaAE3EAAAYASAFegJ4N_D_BwE



Das abgetragene Material wird in der Regel abgesaugt

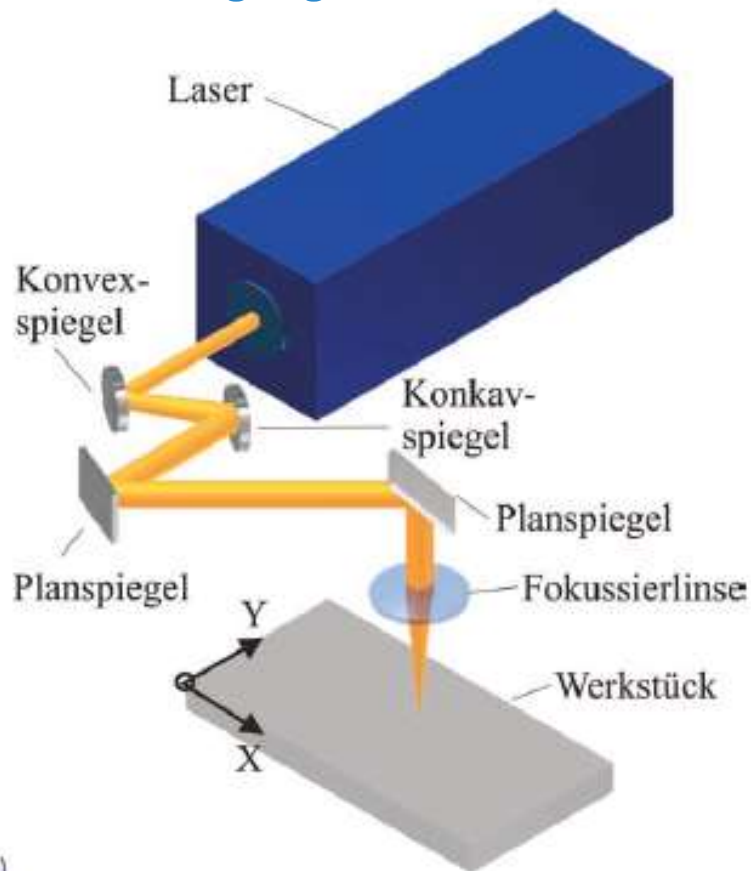
Abb. 23.5 Ansicht beim Schneiden mit einem Laser (Firma Spectra Physics). Das verdampfte Blechmaterial wird in Form kleiner Partikel nach unten ausgetrieben



Quelle: Eichler, Laser

Laser-Materialbearbeitung

Typischer Strahlengang



Typischer Strahlengang

- Laserstrahl wird durch verschiedene Umlenkspiegel, einer X-Y Verschiebeeinrichtung und einer Fokussierlinse auf das Werkstück abgebildet
- Die nötige Laser-Intensität wird durch die Laserleistung und vor allem auch durch die Fokussierung des Strahls erreicht

Eigenschaften des Laserstrahls und Möglichkeiten zur Abbildung z.B. mit Linsen nötig.

a)

Quelle:

BLMÜBA_LAS2013: Lasermaterialbearbeitung, J. Bliedtner, H. Müller, A. Barz, Fachbuchverlag Leipzig, 2013, E-Book-ISBN 978-3-446-42929-1

Aufgaben

E23.3

Ein 100 W-CO₂-Laser mit einem Strahldurchmesser von $d = 1$ cm strahlt auf einen Vorhang (0,5 mm dick, Plastik). In welcher Zeit entflammt der Vorhang?

(Zündtemperatur = 400 °C, Dichte $\rho = 1$ g/cm³, Wärmekapazität $c = 4,2$ kJ/(kg K))

>> Lösung: $t = 0,63$ s <<

E23.5

Ein Excimerlaser wird zur Korrektur der Hornhautkrümmung eingesetzt. Welche Tiefe x wird mit einem 100 mJ-Puls bei einem Strahldurchmesser von $d \sim 6$ mm abgetragen?

(Verdampfungswärme $L \approx 2,2 \cdot 10^6$ kJ / kg, Dichte ~ 1200 kg/m³)

Tipp: Die Laserenergie E wird auf das Volumen V übertragen, es gilt $E = \rho V L$, mit $V = d^2 \pi x/4$.

>> Lösung: $x = 1,3$ Mikrometer <<