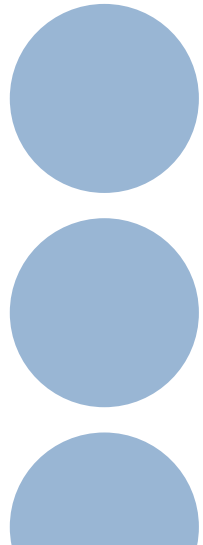


Grundlagen der Laserphysik

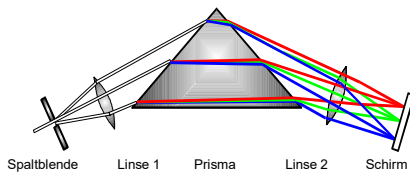


Grundlagen der Laserphysik

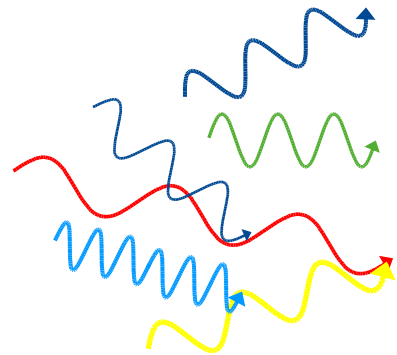
- Eigenschaften von Licht / Optischer Strahlung
- Laserprinzip
- Aufbau eines Lasers
- Eigenschaften von Laserstrahlung
- Technisch relevante Laser

Licht

Alltägliche Lichtquellen



IR
UV

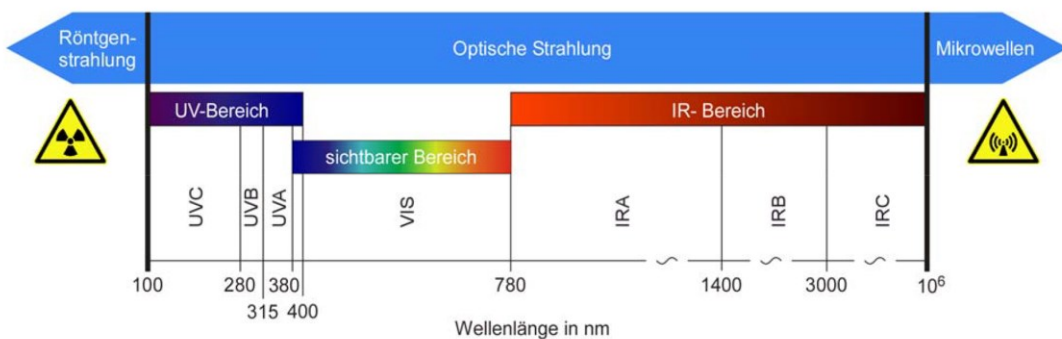


- emittieren breites Spektrum, „weißes Licht“
- ungerichtete Abstrahlung
- „Wellensalat“

Grafiken: BGHM

ID 032114a

Optische Strahlung



TROS IOS, Teil Allgemeines, Ausgabe 11/2013, Ausschuss für Betriebssicherheit - ABS-Geschäftsführung - BAuA - www.baua.de

ID 090176

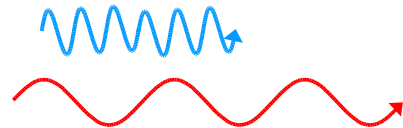
Zusammenhang zwischen Wellenlänge und Frequenz

$$c = f \cdot \lambda \quad \text{oder} \quad \lambda = c / f$$

| | | |
|-----------|-------------------------------------|-----------------------|
| λ | Wellenlänge | [Einheit: m] |
| f | Frequenz (Schwingungen pro Sekunde) | [Einheit: 1/s] |
| c | Lichtgeschwindigkeit | [ca. 300.000.000 m/s] |

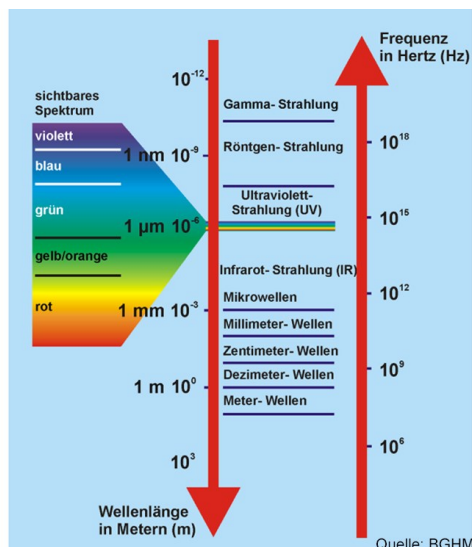
Kurze Wellenlänge \leftrightarrow Hohe Frequenz

Lange Wellenlänge \leftrightarrow Niedrige Frequenz



ID 082832

Elektromagnetisches Spektrum



Quelle: BGHM

ID 032110

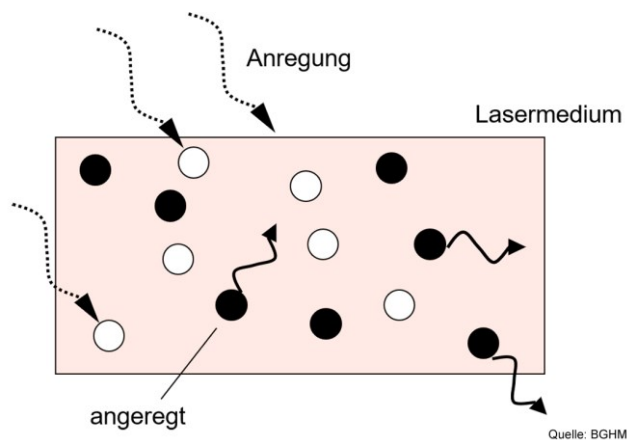
Laser

Light **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation

Lichtverstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung

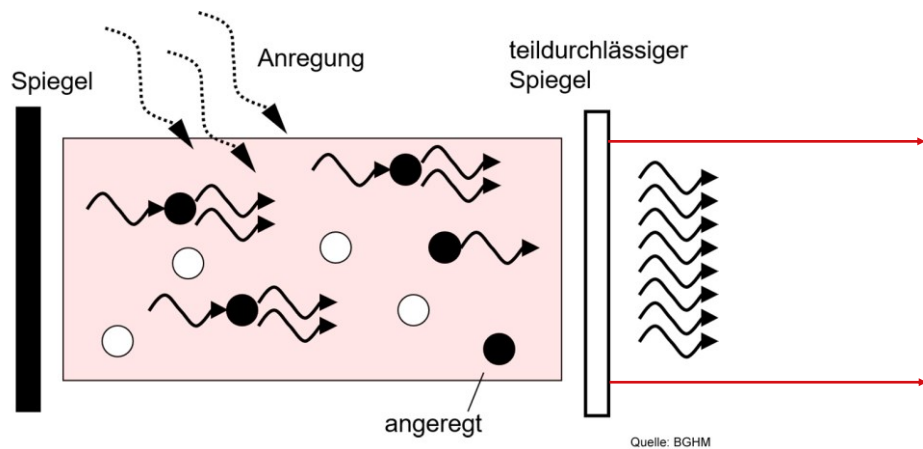
ID 032115a

Laserprinzip (1)



ID 013453

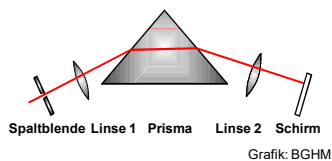
Laserprinzip (2)



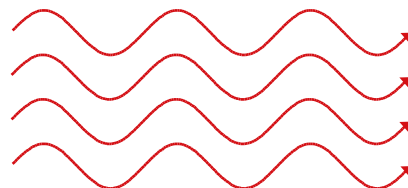
ID 013455

Laserstrahlung

Eigenschaften Laserstrahlung



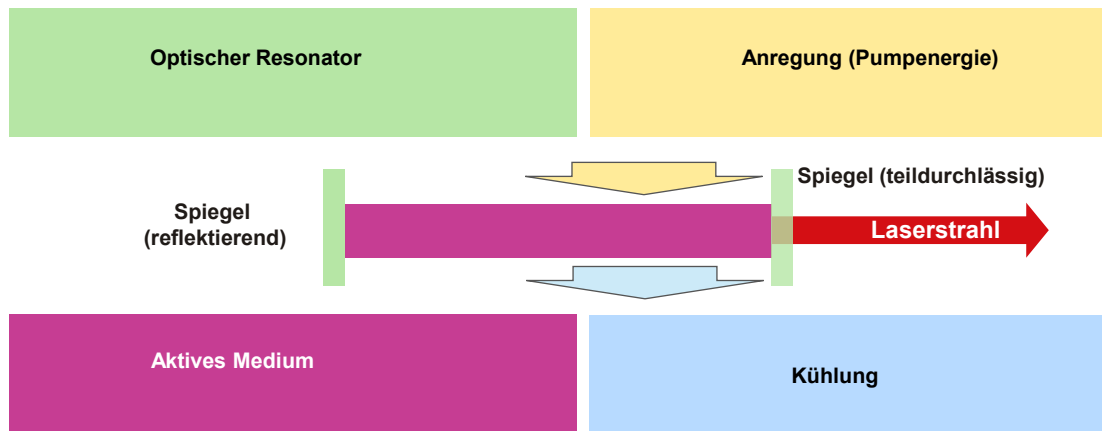
- **monochromatisch** („einfarbig“)
- **kohärent**: räumlich und zeitlich in Phase
- **gerichtete Abstrahlung**: „Laserstrahl“



Grafik: BGHM

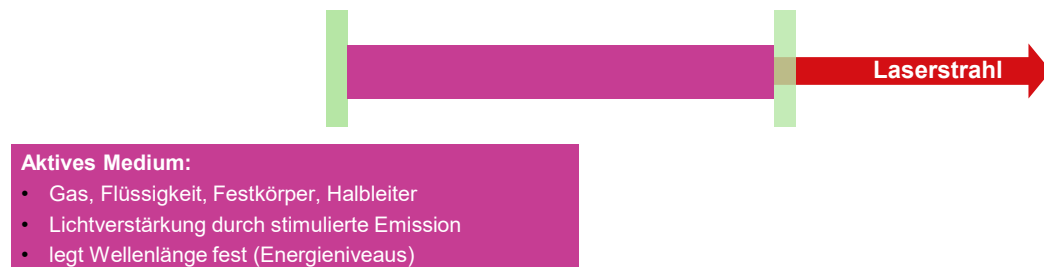
ID 032114b

Aufbau eines Lasers



ID 032117a

Aufbau eines Lasers

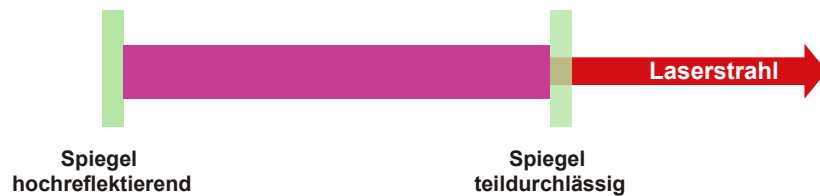


ID 032117b

Aufbau eines Lasers

Optischer Resonator:

- Licht-Rückkopplung durch Spiegel
- Auskoppeln durch teildurchlässigen Spiegel
- legt Strahlachse und -form fest



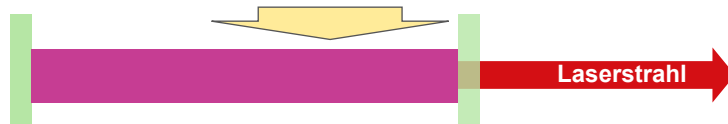
ID 032117c

Aufbau eines Lasers

Pumpe:

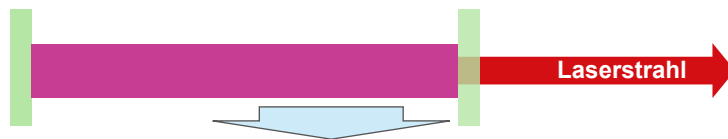
Energiequelle, Anregung des aktiven Mediums

- Elektrisch: Strom, Gasentladung
- Optisch: spezielle Lampen, Laser



ID 032117d

Aufbau eines Lasers

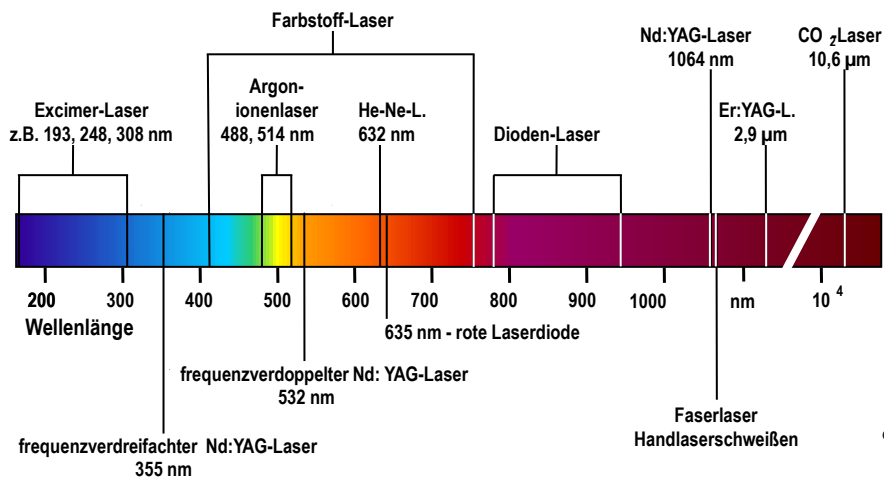


Kühlung:

- Führt nicht in Laserstrahlung umgesetzte Pumpleistung ab
- verhindert zu starke Aufheizung

ID 032117e

Technisch relevante Laser



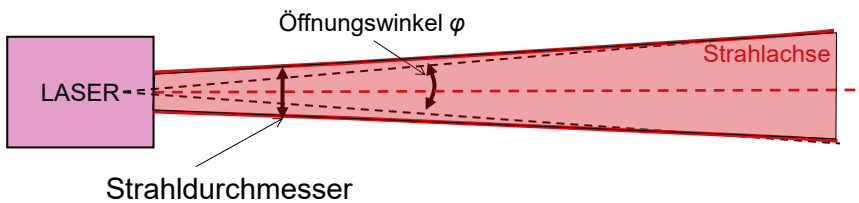
Grafik: BGHM

ID 032124

Eigenschaften des unfokussierten Laserstrahls (Rohstrahl)

Science Fiction: Über unendliche Streckenlängen beliebig dünner Strahl

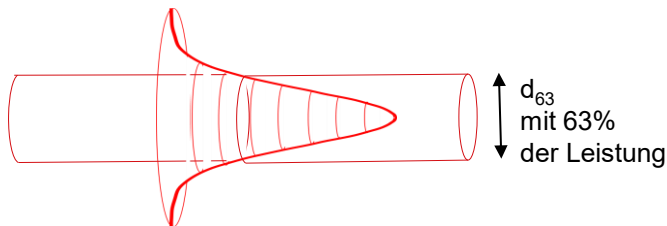
Realität: Strahl weitet sich auf (Divergenz), beschrieben durch Öffnungswinkel φ



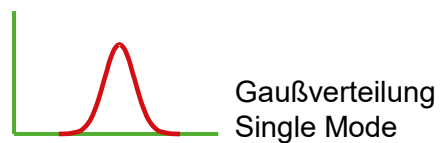
ID 013456a

Eigenschaften des Laserstrahls

Leistungsverteilung im Laserstrahl

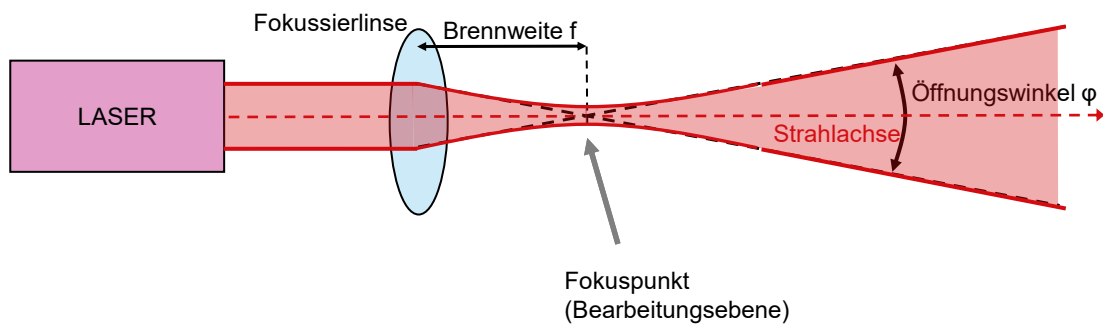


Grafik: BGHM



ID 090188

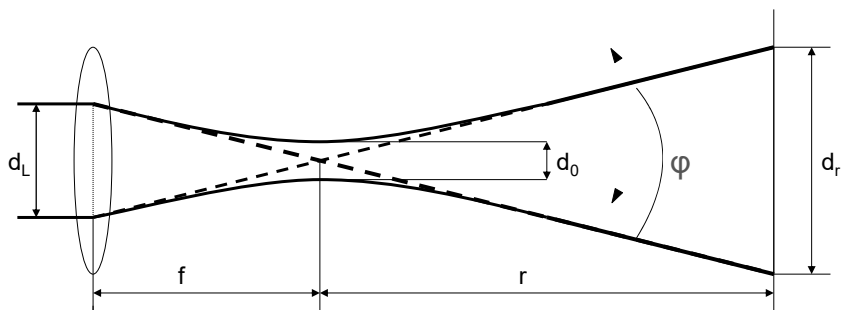
Eigenschaften des fokussierten Laserstrahls



Grafik: BGHM

ID 032121

Geometrische Größen

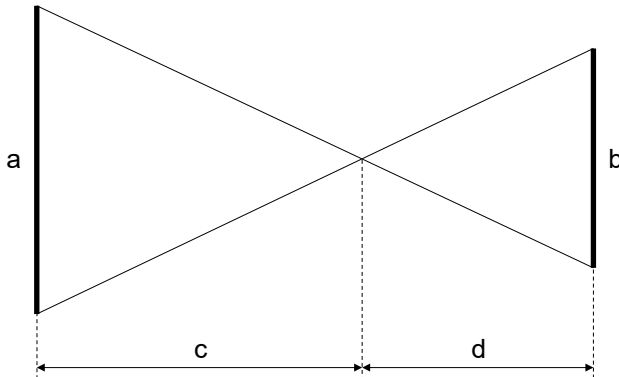


d_L = Rohstrahldurchmesser
 d_0 = Fokusbereich
 d_r = Strahldurchmesser im
Abstand r zum Fokuspunkt

f = Brennweite der Linse
 φ = Divergenzwinkel
(Öffnungswinkel)

ID 090079

Geometrie: Strahlensatz



„Ähnliche Dreiecke“

$$\frac{a}{b} = \frac{c}{d}$$

Gleichung umgeformt:

$$b = \frac{a * d}{c}$$

ID 090079b

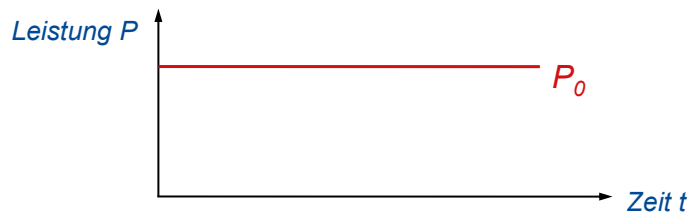
Physikalische Größen

| Radiometrische Größen (gesamter Wellenlängenbereich) | | Relevante physikalische Größen | |
|---|--------------------------------------|--------------------------------|--|
| Strahlungsleistung P | W | | |
| Strahlungsenergie Q | J = Ws | Q = P · t | |
| | | | |
| Bestrahlungsstärke E Leistungsdichte | W/m ² | E = P / A | |
| Bestrahlung H Energiedichte | J/m ² = Ws/m ² | H = Q / A | |

ID 090192

cw-Laser / Dauerstrichlaser

- cw = continuous wave
- Wellenlänge λ in nm oder μm
- Laserleistung P_0 in W

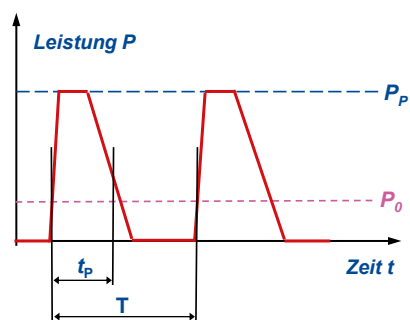


Grafik: BGHM

ID 032122

Pulslaser

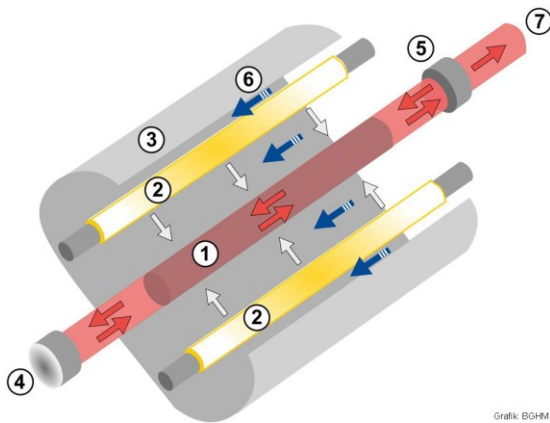
- hohe Spitzenleistung P_p
- Pulsdauer t_p (Halbwertsbreite)
- Pulsfrequenz $f_R = 1 / \text{Pulsperiode } T$
- Pulsenergie $Q_p = P_p \cdot t_p$ in J
- mittlere Leistung $P_0 = Q_p \cdot f_R$



Grafik: BGHM

ID 032123

Lampengepumpter Festkörperlaser



- (1) Nd:YAG-Kristall
- (2) Blitzlampen
- (3) Hohlspiegel
- (4) hochreflektiver Spiegel
- (5) Auskoppelspiegel
- (6) Kühlwasser
- (7) Laserstrahl

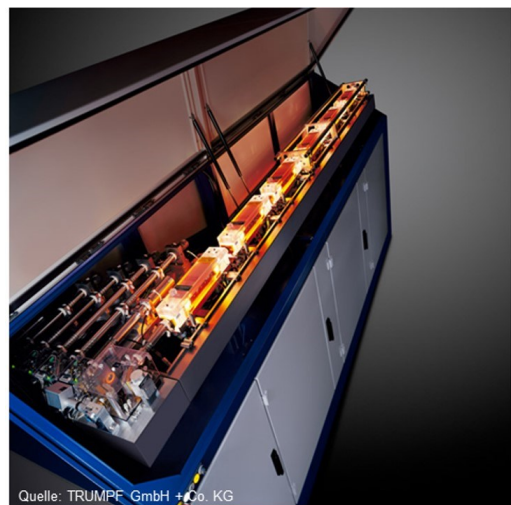
Grafik BGHM

ID 032126a

Lampengepumpter Festkörperlaser

Lampengepumpter Nd:YAG-Laser

- 3,3 kW cw
- 6 Stäbe/Kavitäten in Serie

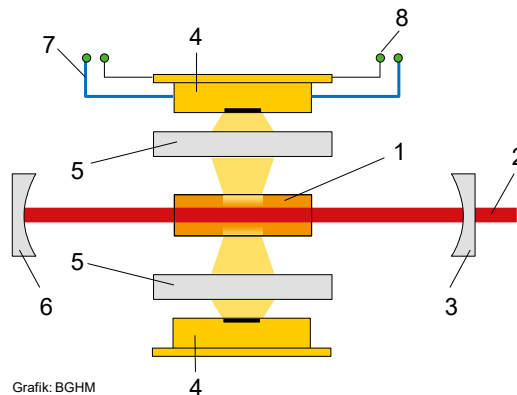


Quelle: TRUMPF GmbH + Co. KG

ID 032127

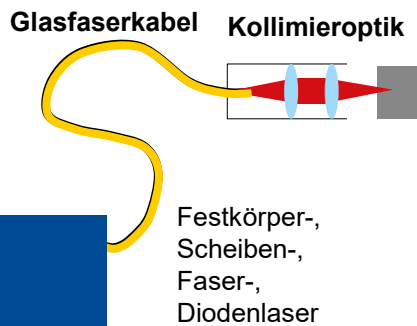
Diodengepumpte Festkörperlaser

Diodengepumpter Nd:YAG-Laser:



ID 032128

Strahlführung Festkörperlaser (1)



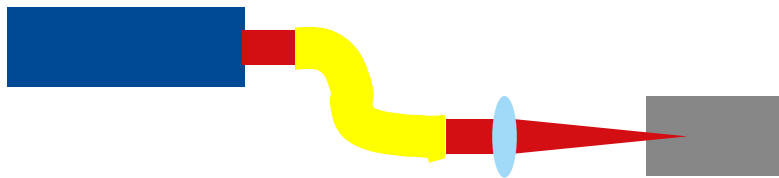
ID 032129

Prinzip der Strahlführung

CO₂-Laser



Festkörper-,
Scheiben-,
Faser-,
Diodenlaser

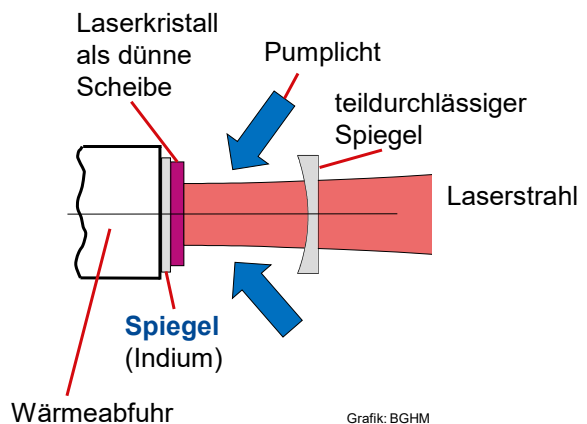


Grafik: BGHM

ID 071559

Scheibenlaser

- Pumpquelle: Diodenlaser
- scheibenförmiger Kristall
- verbesserte Strahlqualität
- derzeit kommerziell verfügbar bis 16 kW



Grafik: BGHM

ID 032131a

Scheibenlaser

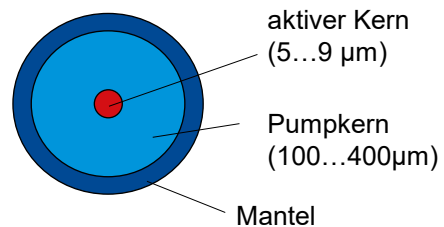


ID 090189

Faserlaser



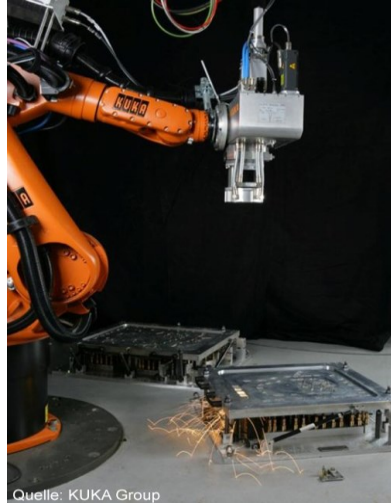
- Pumpquelle: Diodenlaser
- aktives Medium: Lichtwellenleiter
- derzeit kommerziell verfügbar
bis 50 kW



Grafik: BGHM

ID 032131b

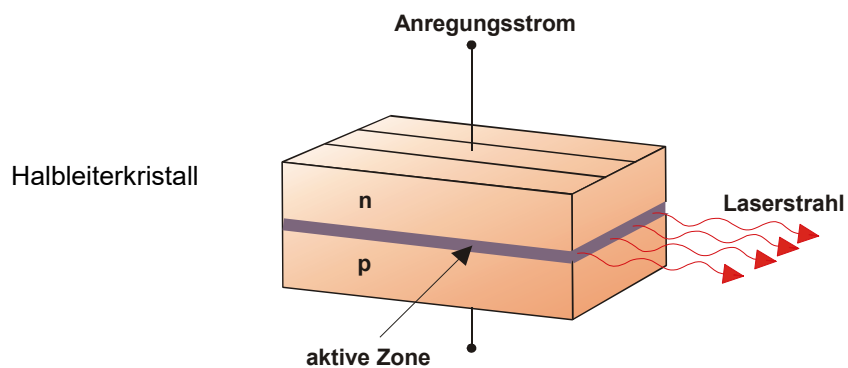
Laser-Remoteschweißen



Quelle: KUKA Group

ID 090190

Halbleiter-Laserdiode



Zwei Flächen des Kristalls sind verspiegelt → Resonator

Quelle: BGHM

ID 013450

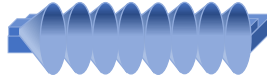
Diodenlaser - Bauformen

Einzelemitter

bis ca. 10 Watt

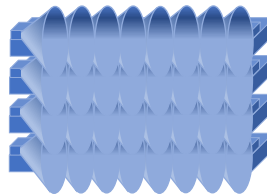


Diodenlaserbarren



Diodenlaserstack

bis > 20 kW bei
Zusammenschaltung



Quelle: BGHM

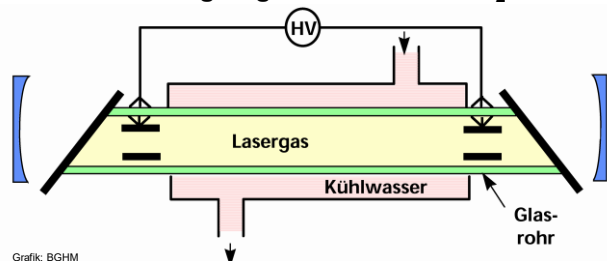
ID 032136

Gaslaser

- Anregung (Pumpen) eines Gases in einer Hochspannungs-Gasentladung
- Wasser-Kühlung des Entladungsrohres, evtl. schnelle Gasströmung
- Beispiele:

- CO₂-Laser (IR)
- HeNe-Laser (rot)
- Argon-Laser (türkis)

Aufbau HF-angeregter Sealed-Off-CO₂-Laser:

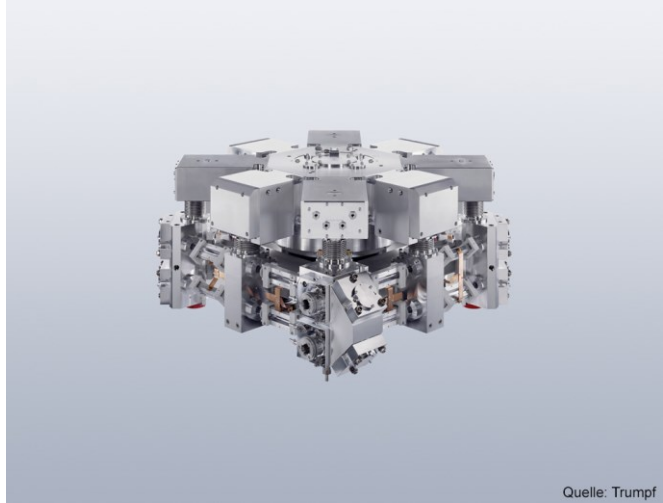


Grafik: BGHM

ID 032132

CO₂-Laser

Anregung:
Hochspannungs-
Gasentladung



Quelle: Trumpf

ID 090191

CO₂-Flachbettlaser



Foto: BGHM

ID 030983

Vergleich der Laserarten - Wirkungsgrad

| | |
|---------------------------|--------------|
| CO ₂ | 15 % |
| Scheibenlaser, Faserlaser | > 30% |
| Diodenlaser | bis über 50% |

Anhaltswerte!

ID 013451

Ultrakurzpuls laser

- extrem kurze Pulse bis in fs-Bereich $1 \text{ fs} = 10^{-15} \text{ s}$
- Licht legt in 1 fs einen Weg von ca 0,3 μm zurück
- extrem hohe Spitzenleistungen bis in TW-Bereich $1 \text{ TW} = 10^{12} \text{ W}$
- mittlere Leistungen bis ca. 100 W
- praktisch keine Materialerwärmung
- Bearbeitung kleiner Strukturen - Bohren, Schneiden, Oberflächenstrukturen
- möglicherweise Röntgenstrahlung als Sekundärstrahlung

ID 090078

Laserklassen nach DIN EN 60825-1

| Laserklasse | |
|-------------|--|
| 1 | augenungefährlich |
| 1M | ohne optische Instrumente augenungefährlich |
| 1C | durch Aufsetzen auf die Haut augenungefährlich |
| 2 | bei $t < 0,25$ s augenungefährlich |
| 2M | bei $t < 0,25$ s und ohne optische Instrumente augenungefährlich |
| 3R | 5 x Klasse 1 bzw. 5 x Klasse 2 |
| 3B | augengefährlich |
| 4 | hautgefährlich |

Einteilung erfolgt
nach der
Gefährdung

Vereinfachte
Definition!

Quelle: in Anlehnung an TROS Laserstrahlung Teil Allgemeines - Seite 29

ID 030883