

Grundlagen der Laserphysik



1

Grundlagen der Laserphysik

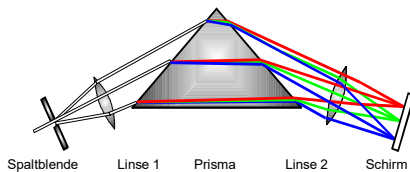
- Eigenschaften von Licht / Optischer Strahlung
- Laserprinzip
- Aufbau eines Lasers
- Eigenschaften von Laserstrahlung
- Technisch relevante Laser

ID 090077

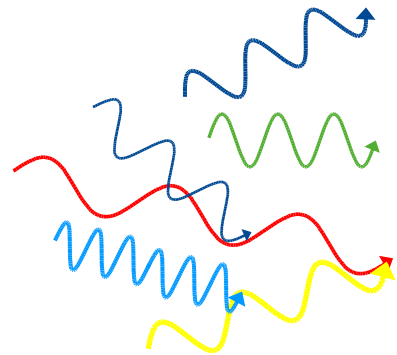
2

Licht

Alltägliche Lichtquellen



IR
UV



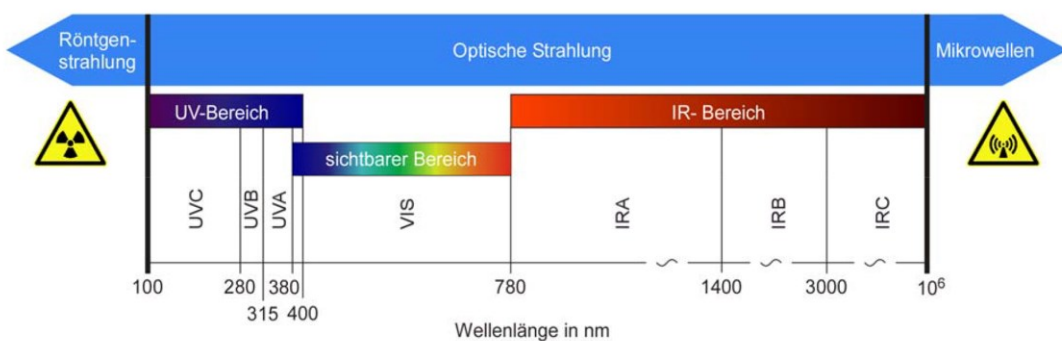
- emittieren breites Spektrum, „weißes Licht“
- ungerichtete Abstrahlung
- „Wellensalat“

Grafiken: BGHM

ID 032114a

3

Optische Strahlung



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

ID 090176

4

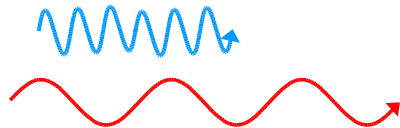
Zusammenhang zwischen Wellenlänge und Frequenz

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

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

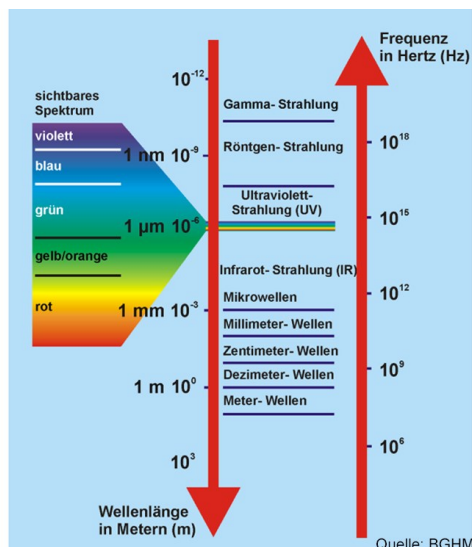
Lange Wellenlänge \leftrightarrow Niedrige Frequenz



ID 082832

5

Elektromagnetisches Spektrum



Quelle: BGHM

ID 032110

6

Laser

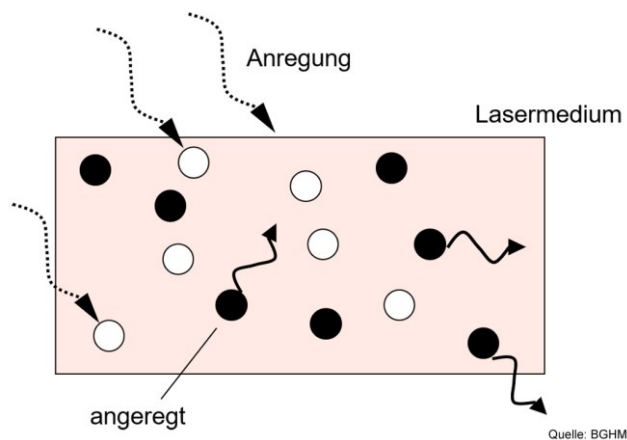
Light **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation

Lichtverstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung

ID 032115a

7

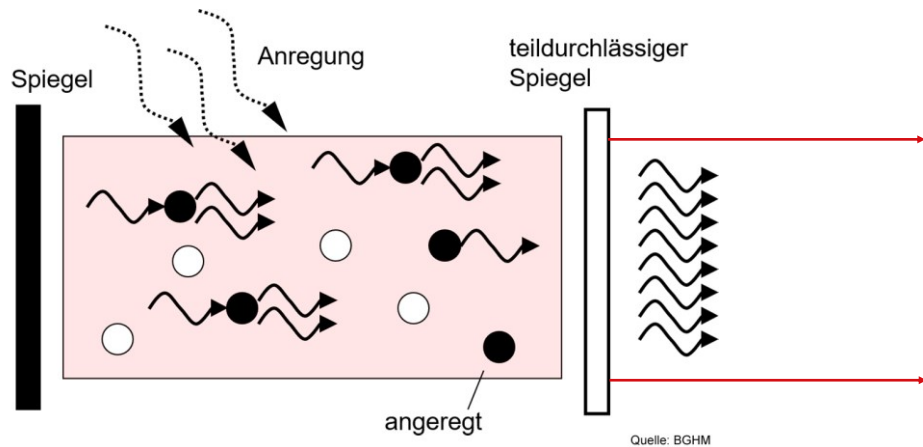
Laserprinzip (1)



ID 013453

8

Laserprinzip (2)

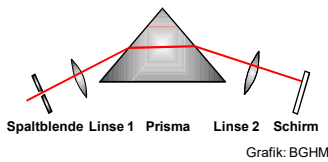


ID 013455

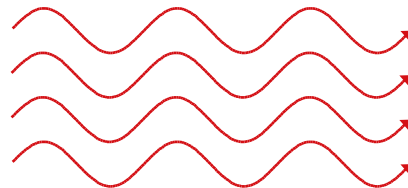
9

Laserstrahlung

Eigenschaften Laserstrahlung



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



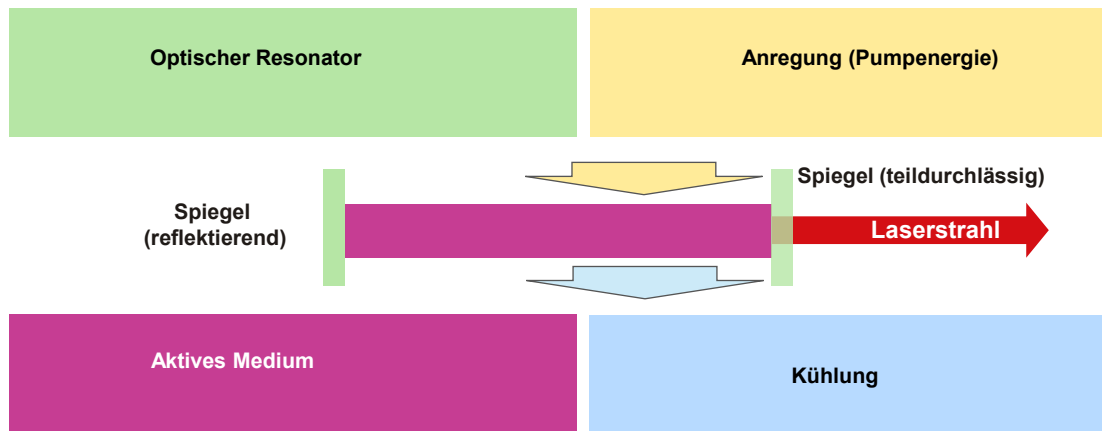
Grafik: BGHM



ID 032114b

10

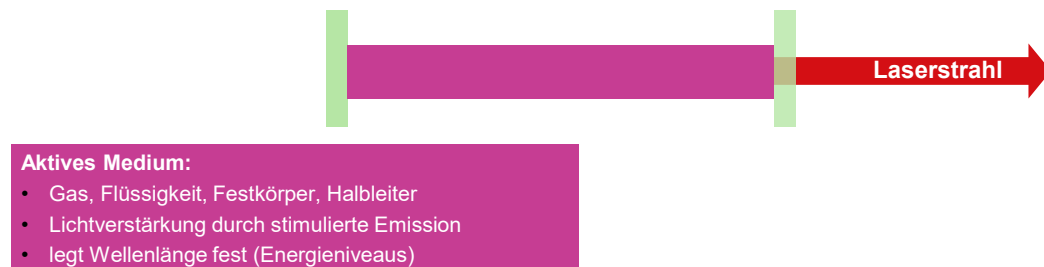
Aufbau eines Lasers



ID 032117a

11

Aufbau eines Lasers



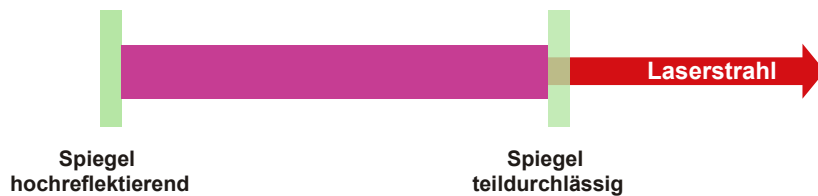
ID 032117b

12

Aufbau eines Lasers

Optischer Resonator:

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



ID 032117c

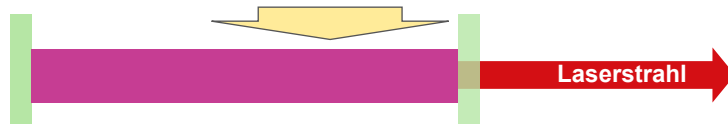
13

Aufbau eines Lasers

Pumpe:

Energiequelle, Anregung des aktiven Mediums

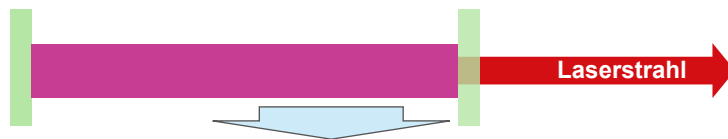
- Elektrisch: Strom, Gasentladung
- Optisch: spezielle Lampen, Laser



ID 032117d

14

Aufbau eines Lasers



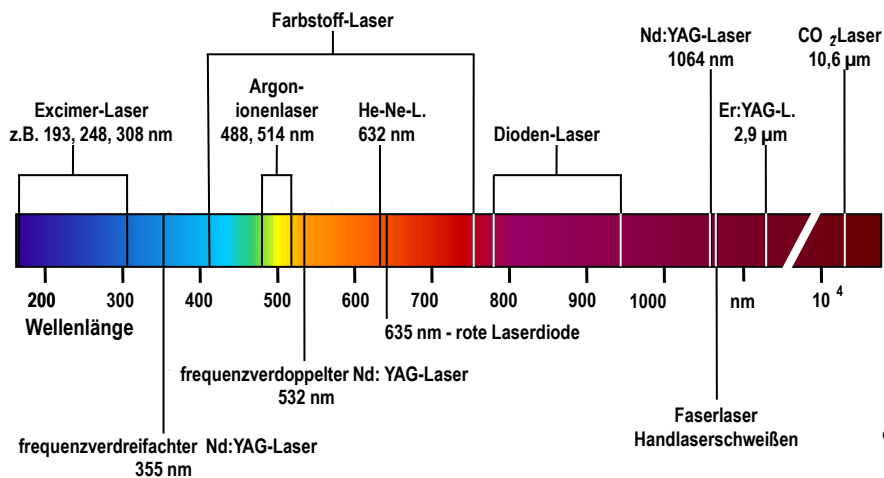
Kühlung:

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

ID 032117e

15

Technisch relevante Laser



Grafik: BGHM

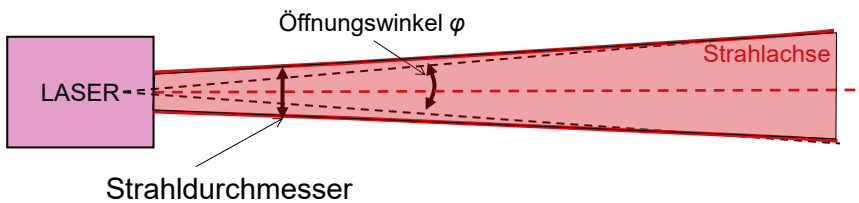
ID 032124

16

Eigenschaften des unfokussierten Laserstrahls (Rohstrahl)

Science Fiction: Über unendliche Streckenlängen beliebig dünner Strahl

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

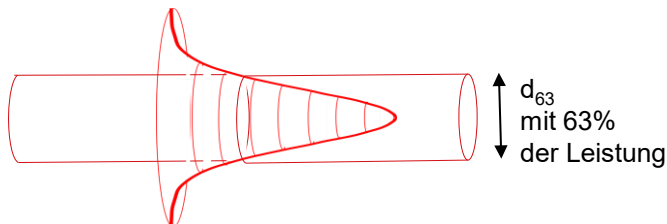


ID 013456a

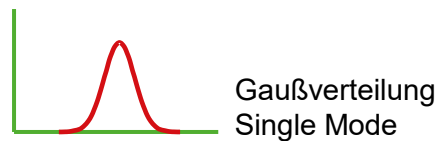
17

Eigenschaften des Laserstrahls

Leistungsverteilung im Laserstrahl



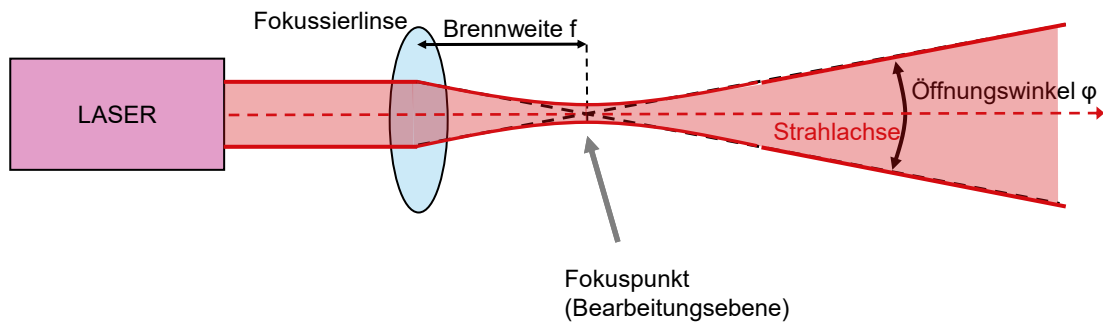
Grafik: BGHM



ID 090188

18

Eigenschaften des fokussierten Laserstrahls

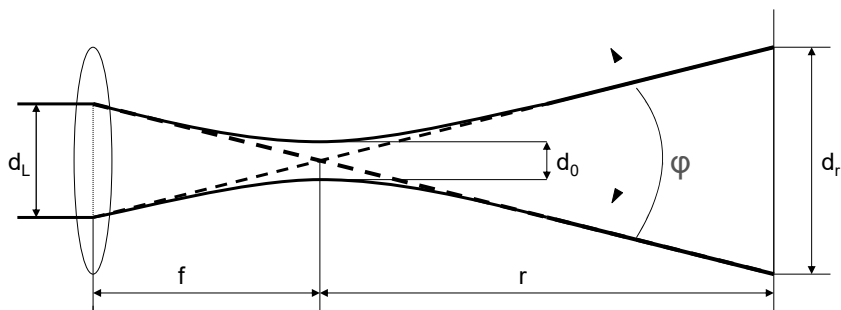


Grafik: BGHM

ID 032121

19

Geometrische Größen



d_L = Rohstrahldurchmesser

d_0 = Fokusbereich

d_r = Strahldurchmesser im
Abstand r zum Fokuspunkt

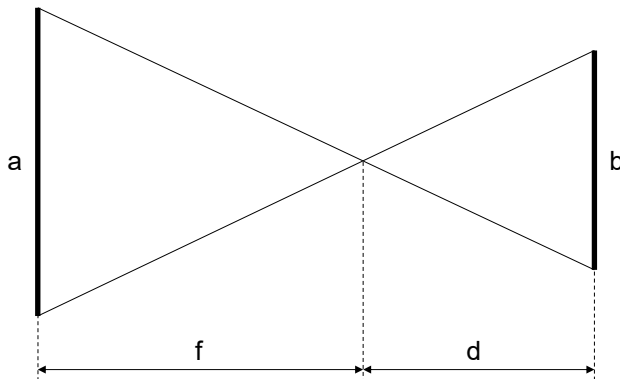
f = Brennweite der Linse

φ = Divergenzwinkel
(Öffnungswinkel)

ID 090079

20

Geometrie: Strahlensatz



„Ähnliche Dreiecke“

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

Gleichung umgeformt:

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

ID 090079b

21

Physikalische Größen

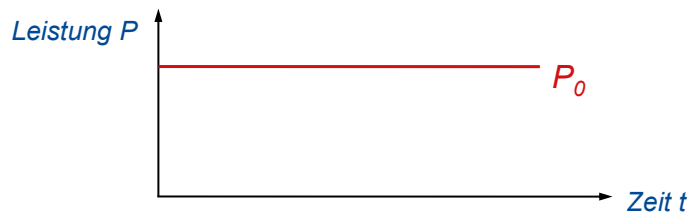
Radiometrische Größen (gesamter Wellenlängenbereich)		Relevante physikalische Größen	
Strahlungsleistung P	W		
Strahlungsenergie Q	J = Ws	Q = P · t	
Bestrahlungsstärke E Leistungsdichte	W/m²	E = P / A	
Bestrahlung H Energiedichte	J/m² = W/(s·m²)	H = Q / A	

ID 090192

22

cw-Laser / Dauerstrichlaser

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



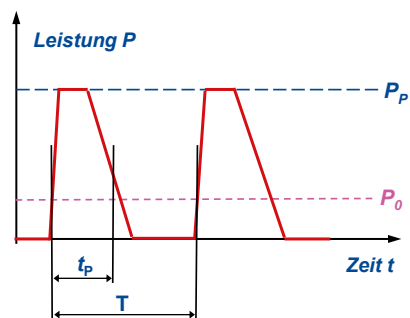
Grafik: BGHM

ID 032122

23

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 $P_0 = Q_p \cdot f_R$

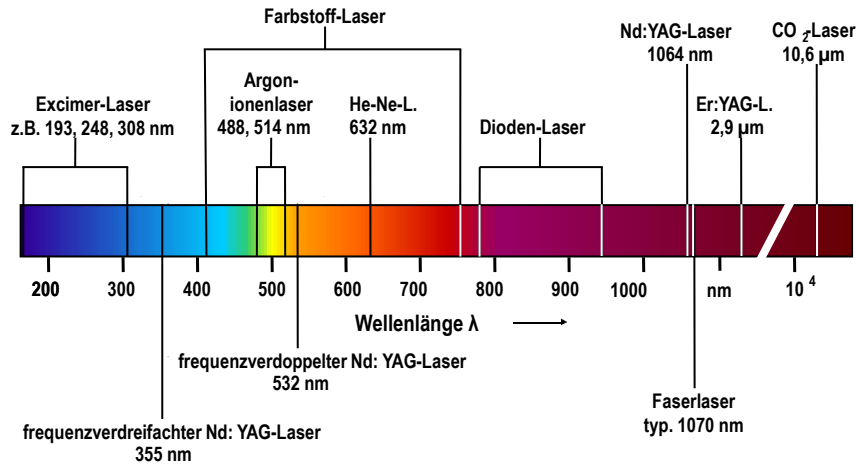


Grafik: BGHM

ID 032123

24

Technisch relevante Laser

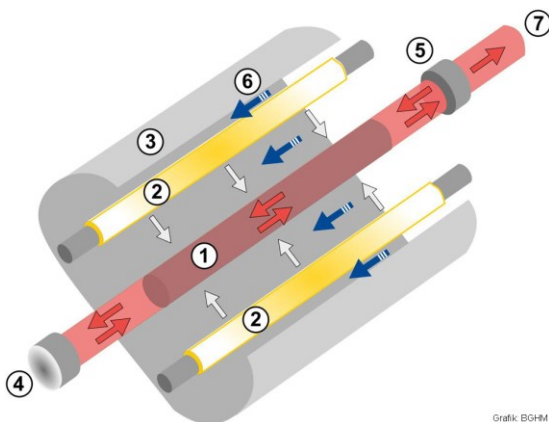


Grafik: BGHM

ID 032124

25

Lampengepumpter Festkörperlaser



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

Grafik: BGHM

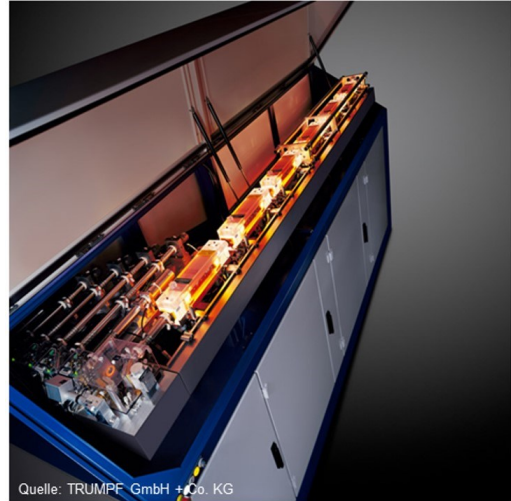
ID 032126a

26

Lampengepumpter Festkörperlaser

Lampengepumpter Nd:YAG-Laser

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

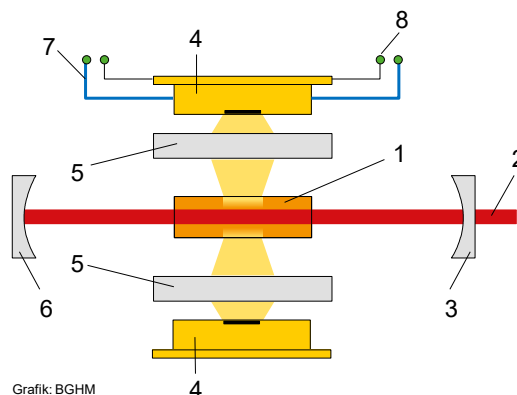


ID 032127

27

Diodengepumpte Festkörperlaser

Diodengepumpter Nd:YAG-Laser:

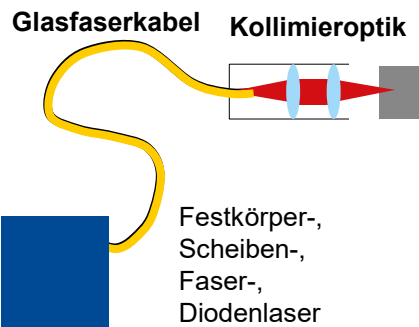


Grafik: BGHM

ID 032128

28

Strahlführung Festkörperlaser (1)



Grafik: BGHM



ID 032129

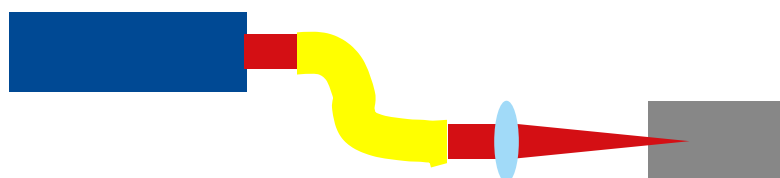
29

Prinzip der Strahlführung

CO₂-Laser



Festkörper-,
Scheiben-,
Faser-,
Diodenlaser



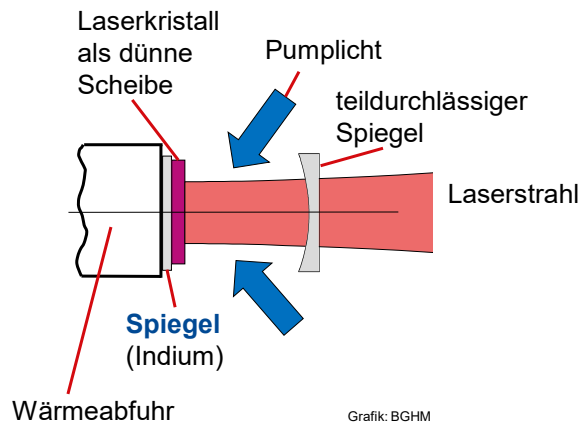
Grafik: BGHM

ID 071559

30

Scheibenlaser

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



ID 032131a

31

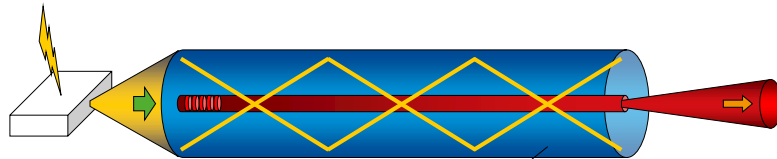
Scheibenlaser



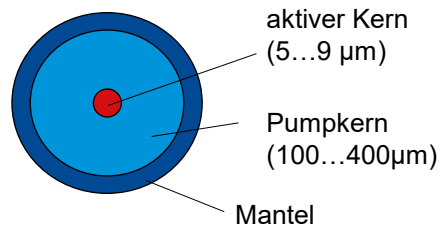
ID 090189

32

Faserlaser



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

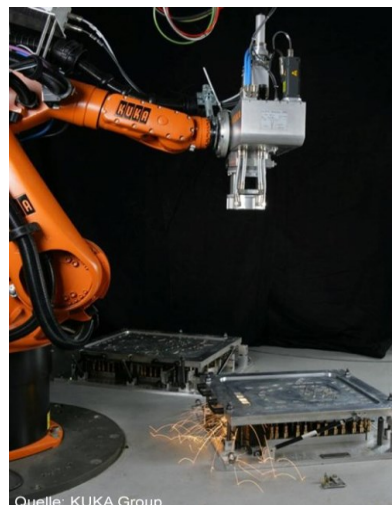


Grafik: BGHM

ID 032131b

33

Laser-Remoteschweißen

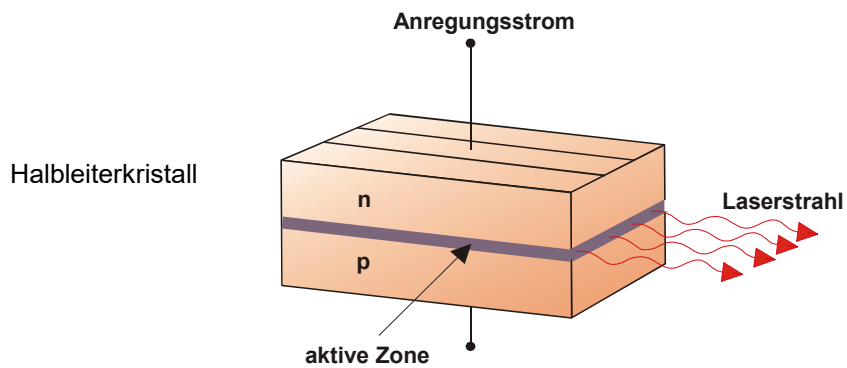


Quelle: KUKA Group

ID 090190

34

Halbleiter-Laserdiode



Zwei Flächen des Kristalls sind verspiegelt → Resonator

Quelle: BGHM

ID 013450

35

Diodenlaser - Bauformen

Einzelemitter

bis ca. 10 Watt

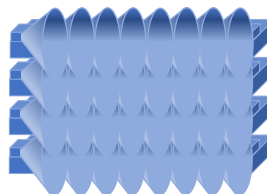


Diodenlaserbarren



Diodenlaserstack

bis > 20 kW bei
Zusammenschaltung



Quelle: BGHM

ID 032136

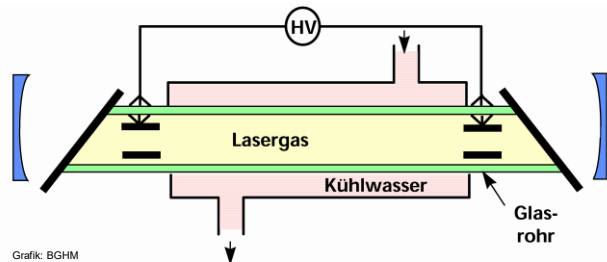
36

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:

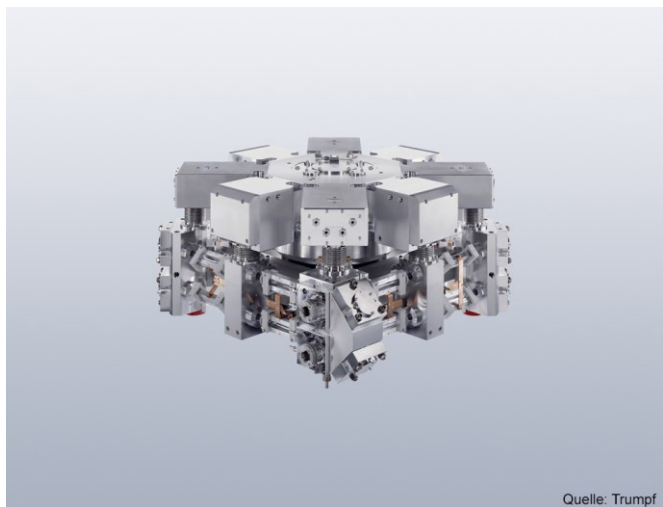


ID 032132

37

CO₂-Laser

Anregung:
Hochspannungs-
Gasentladung



ID 090191

38

CO₂-Flachbettlaser



ID 030983

39

Vergleich der Laserarten - Wirkungsgrad

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

Anhaltswerte!

ID 013451

40

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 $0,3 \mu\text{m}$ 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

41

Laserklassen nach DIN EN 60825-1

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

Einteilung erfolgt
nach der
Gefährdung

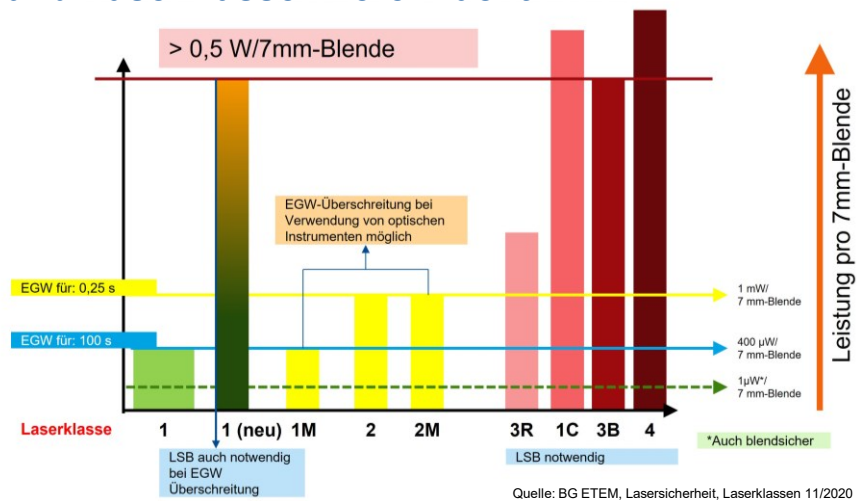
Vereinfachte
Definition!

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

ID 030883

42

EGWs und Laserklassen vereinfacht



ID 030883