

# Laser

eine Zusammenstellung von Stephan Senn

## **Emissionslinien, maximale Leistung, maximaler Wirkungsgrad und Anwendungen von wichtigen Lasern**

<b>Laser</b>	<b>Hauptemissionslinien</b>	<b>Maximale Leistung (und maximale Puls- repetitionsrate)</b>	<b>Maximaler totaler Wirkungsgrad</b>	<b>Minimale Pulsdauer</b>	<b>Anwendungen</b>
He-Ne Laser	632.8nm (rot) 1.15µm (IR) 3.39µm (IR)	bis 50mW (CW)	0.1%	-	<ul style="list-style-type: none"><li>• Justieren und Ausrichten</li><li>• Strichcodeleser</li><li>• Interferometrie und optische Inspektion</li><li>• Holographie</li><li>• Medizin und Kosmetik</li><li>• teilweise verdrängt von Diodenlasern<sup>1</sup></li></ul>
Kupferdampfaser	510nm (grün) 578nm (gelb)	nur gepulster Betrieb! bis 50W (PW) (bis 15kHz)	1%,	-	<ul style="list-style-type: none"><li>• Pumplaser für Farbstofflaser</li><li>• Hochgeschwindigkeitsphotographie</li><li>• Medizin (photodynamische Therapie zur Zerstörung von Tumoren)</li></ul>
Golddampfaser	628nm (rot) 312nm (UV)	nur gepulster Betrieb! bis 9W (PW) (bis 8kHz)	1%	-	(siehe Kupferdampfaser!)

<sup>1</sup> Die Diodenlaser kommen bei weitem nicht an die Strahlqualität von HeNe-Laser heran.

Ar <sup>+</sup> -Laser	350nm – 1µm	bis 20W (CW)	< 0.1%	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pumplaser für CW-Farbstofflaser</li> <li>• Druckindustrie (Laserdruckern)</li> <li>• Holographie</li> <li>• Medizin (Laserchirurgie)</li> <li>• Unterhaltungssektor (Lightshows)</li> <li>• teilweise verdrängt von Nd:YAG-Laser</li> </ul>
Excimerlaser	100nm – 350nm (UV)	nur gepulster Betrieb! bis 15MW (PW) (bis 150Hz)	1%	bis 13ns	<ul style="list-style-type: none"> <li>• intensive und effiziente UV-Quellen</li> <li>• Pumplaser für PW-Farbstofflaser</li> <li>• Mikrobearbeitung</li> <li>• Halbleiterlithographie</li> <li>• Medizin (Augenkorrektur)</li> <li>• LIDAR</li> </ul>
N <sub>2</sub> -Laser	337.1nm (UV)	bis 500mW (CW) bis 10MW (PW) (bis 100Hz)	0.1%	bis 0.5ns	<ul style="list-style-type: none"> <li>• intensive UV-Quellen mit kurzen Pulsen</li> <li>• weitgehend durch Excimerlaser ersetzt</li> <li>• Pumpen von Farbstofflasern</li> <li>• Einsatz zum Studium von Fluoreszenz- und Ramaneffekten</li> <li>• Zeitmessungen</li> </ul>
CO <sub>2</sub> -Laser <sup>2</sup>	9.4µm (IR) 10.4µm (IR)	bis 80kW (CW) bis 1GW (PW) (bis 1kHz)	bis 30%	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sehr intensive Laserquelle</li> <li>• Materialbearbeitung aller Art</li> <li>• Analytik</li> <li>• LIDAR</li> <li>• Medizin</li> <li>• Pumplaser für FIR-Laser</li> </ul>

<sup>2</sup> Der CO<sub>2</sub>-Laser hat vier diskrete Emissionsspektren zwischen 9 und 11µm.

CO-Laser	4.8 – 8.4µm (IR)	bis 100kW (CW) (bis 1kHz)	bis 60%	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschränktes Anwendungsgebiet, da tiefe Gastemperaturen notwendig sind</li> <li>• Spektroskopie</li> </ul>
FIR <sup>3</sup> -Laser	50µm – 1mm (IR)	-	-	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laser-Grundlagenforschung</li> <li>• hochauflösende Spektroskopie von Molekülen und Gasen</li> </ul>
Farbstofflaser	300 – 1100nm	meist nur gepulster Betrieb! bis 1MW [~0.1J](PW)	-	bis 1ns	<ul style="list-style-type: none"> <li>• „Arbeitspferde“ der modernen Spektroskopie</li> <li>• Analytik</li> <li>• Chemie</li> <li>• Medizin (dermatologische Anwendungen, photodynamische Therapie zur Zerstörung von Tumoren)</li> </ul>
Halbleiterlaser	400nm – 12µm	bis 150mW (CW) bis 100W (Stapel)	bis 50% <sup>4</sup>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• optische Kommunikationstechnik</li> <li>• Unterhaltungselektronik (CD, DVD)</li> <li>• Lichtzeiger</li> <li>• Laserdrucker</li> <li>• Strichcodeleser</li> <li>• Pumplaser für Festkörperlaser</li> <li>• Entfernungsmessung</li> <li>• Spektroskopie mit Bleisalzdiodenlaser und Nahinfrarot-Diodenlaser</li> <li>• integrierte Optik</li> </ul>

<sup>3</sup> steht für: Fern-InfraRot

<sup>4</sup> Es handelt sich hier um den differentiellen Wirkungsgrad.

Rubinlaser	692.8nm (rot) 694.3nm (rot)	bis 1mW (CW) bis 1GW (PW)	0.1%	bis 10ps	<ul style="list-style-type: none"> <li>• heute: nicht mehr weit verbreitet</li> <li>• früher: Materialbearbeitung und Pumpen von Farbstofflasern</li> </ul>
Nd:YAG-Laser	1064.1nm (IR) <sup>5</sup>	bis 100W (CW) bis 1GW [~0.1J] (PW)	bis 10%	bis 20ps	<ul style="list-style-type: none"> <li>• intensive Laserquelle</li> <li>• Materialbearbeitung</li> <li>• Entfernungsmessung</li> <li>• Pumplaser für Farbstofflaser und anderen Lasern</li> <li>• Medizin</li> <li>• photochemische Untersuchungen</li> </ul>
Nd:Glas-Laser	1062.3nm (IR)	nur gepulster Betrieb! bis 100TW [100kJ] (PW) <sup>6</sup>	-	< 1ns	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sehr intensive Laserquelle</li> <li>• Laserfusion</li> </ul>
Ti:Saphir-Laser	670nm – 1070nm	bis 1W (CW) bis 1TW [~1μJ] (PW)	-	< 80fs	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spektroskopie</li> <li>• LIDAR</li> <li>• Anwendungen mit ultrakurzen Laserpulsen</li> <li>• wichtigster abstimmbarer Laser</li> </ul>
Chemische Laser	3.5 – 5.8μm	-	-	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Militär</li> <li>• Laserfusionsforschung</li> <li>• Bereiche, wo sehr hohe Pulsspitzenleistungen und Pulsenergien gebraucht werden</li> </ul>

<sup>5</sup> Es existieren frequenzvervielfachte Linien bei 532nm, 355nm und 266nm. Dazu sind sogenannte frequenzvervielfachende Kristalle notwendig.

<sup>6</sup> Diese Leistung wurde vom grössten Lasersystem der Welt am Lawrence Livermore National Laboratory erreicht.

Farbzentrenlaser	0.8 – 4 $\mu$ m	bis 2.7W (CW)	bis 60% <sup>7</sup>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• hochauflösende Molekül- Atom- und Festkörperspektroskopie</li> <li>• Studium der Dynamik chemischer Prozesse mit ultrakurzen Laserpulsen</li> <li>• Untersuchung der Dispersions- und Absorptionseigenschaften von optischen Glasfasern</li> <li>• Solitonlaser</li> </ul>
Free Electron Laser (FEL)	1 – 2000 $\mu$ m	bis 2W (CW) bis 1TW (PW)	< 0.01%	bis 1ps	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medizin</li> <li>• Umweltanalytik</li> <li>• Materialbearbeitung</li> <li>• Halbleiterlithographie</li> <li>• Photochemie</li> </ul>

CW : Continuous Wave, kontinuierlicher Betrieb

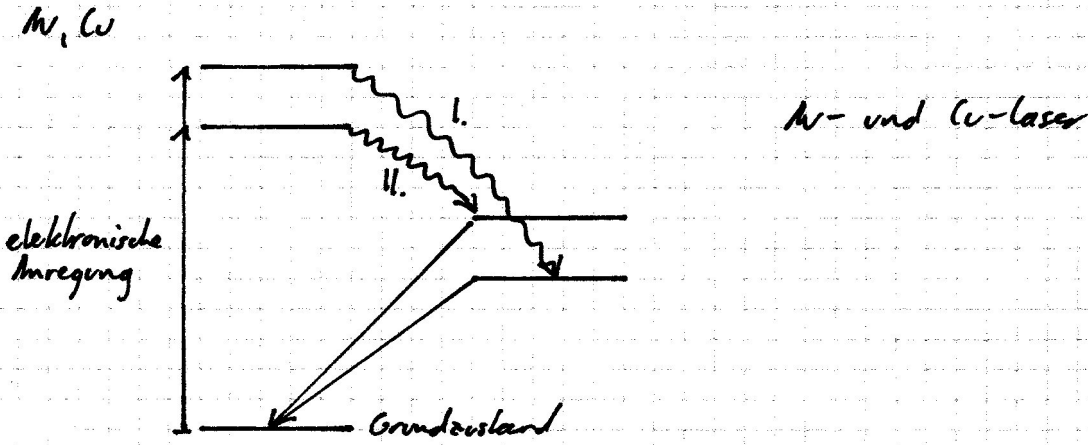
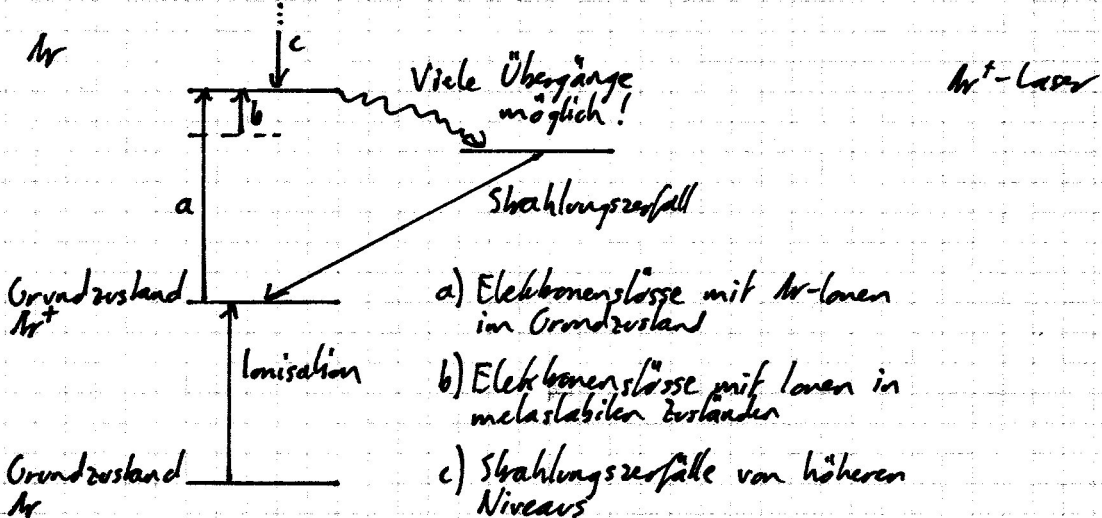
PW : Pulsed Wave, gepulster Betrieb

---

<sup>7</sup> Es handelt sich hier um den differentiellen Wirkungsgrad.

## Energieniveauschema von einigen ausgewählten Lasern

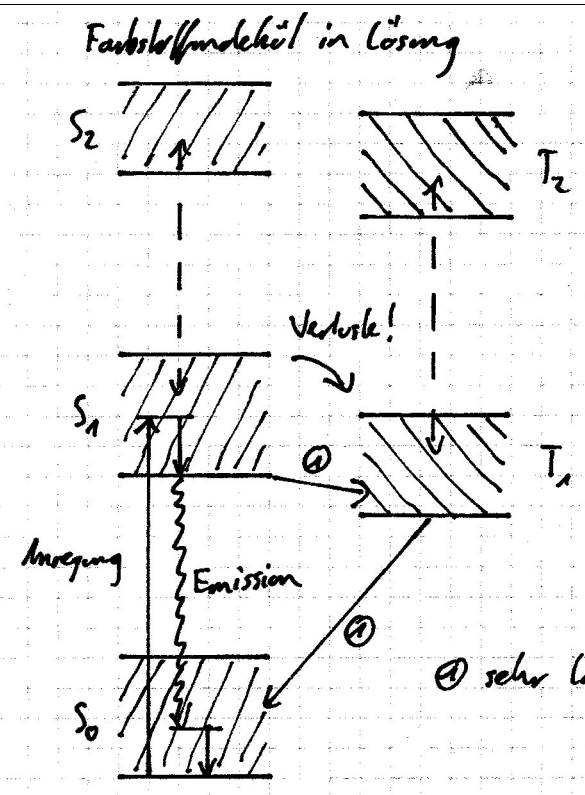
Laser	Energieniveauschema
<p>He-Ne Laser</p>	<p>He-Ne-Laser</p> <p>① Die energiereichen Entladungselektronen regen die He-Atome in verschiedene angeregte Zustände an. In der Zerfallskaskade sammeln sich die He-Atome in diesen beiden metastabilen Zuständen mit langen Lebensdauern.</p>

Laser	Energieniveauschema
<p>Kupfer- und Golddampf-laser</p>	<p><math>Nr, Cu</math></p>  <p>Ni- und Cu-Laser</p>
<p><math>Ar^+</math>-Laser</p>	 <p>Viele Übergänge möglich!</p> <p>Strahlungszerfall</p> <p>a) Elektronenlösse mit <math>Ar</math>-Ionen im Grundzustand</p> <p>b) Elektronenlösse mit Ionen in metastabilen Zuständen</p> <p>c) Strahlungszerfälle von höheren Niveaus</p> <p><math>Ar^+</math>-Laser</p>

Laser

Energieniveauschema

Farbstofflaser



$S_i$ : Singulettzustände  
 $T_i$ : Triplettzustände

Die elektronischen Zustände sind aufgespalten in Vibrationsniveaus und diese wiederum in Rotationsniveaus.

In einer Farbstofflösung sind die dicht liegenden Rotations-Schwingungsniveaus infolge der Wechselwirkung von Farbstoffmolekülen mit Lösungsmittelmolekülen so stark flussverbreitert, dass sie sich überlagern. Dies hat Absorptions- bzw. Emissionsbanden zur Folge.

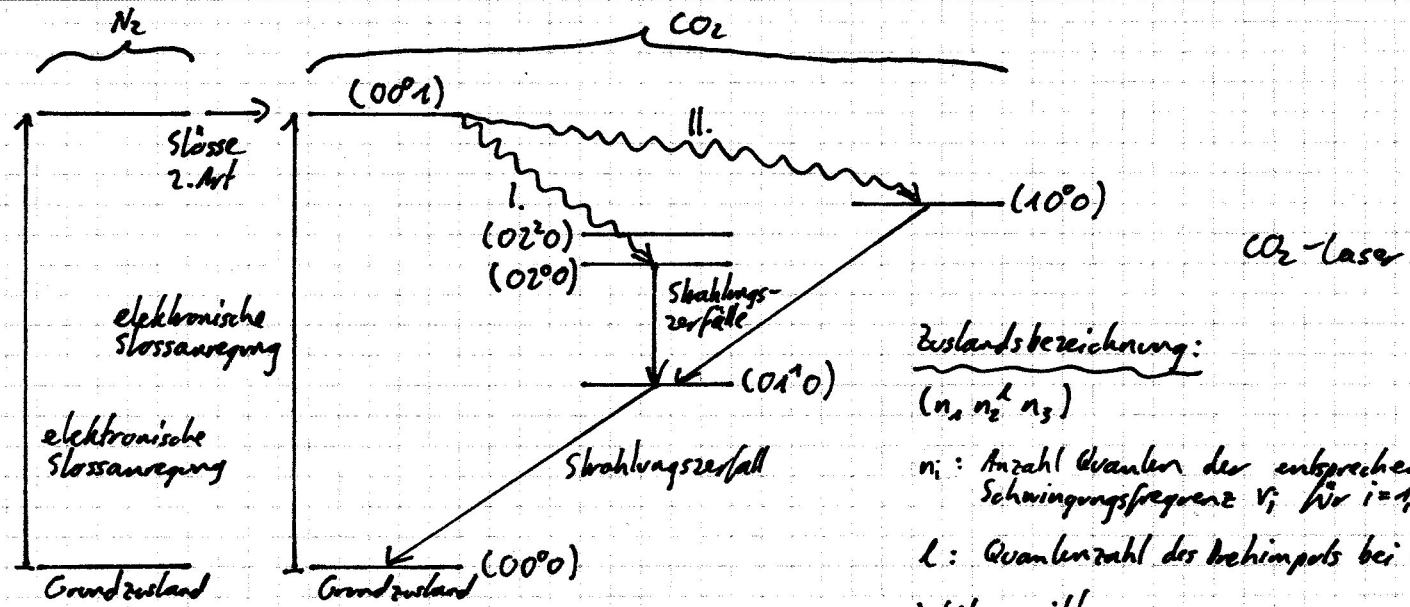
① sehr langsame Übergangszeiten



Laser

Energieniveauschema

CO<sub>2</sub>-Laser



Zustandsbezeichnung:

$(n_1, n_2, n_3)$

$n_i$ : Anzahl Quanten der entsprechenden Schwingungsfrequenz  $\nu_i$  für  $i=1,2,3$

$l$ : Quantenzahl des Drehimpuls bei  $n_2$

Weiter gilt:

- $(0, 0^l, n_3)$ : asymmetrische Streckerschwingung
- $(0, n_2^l, 0)$ : Knickschwingung
- $(n_1, 0^l, 0)$ : symmetrische Streckerschwingung

Zudem gilt:

$l = n_2, n_2 - 2, \dots, 1$  oder  $0$

Um die unteren Niveaus zu entleeren, gibt man He-Atome dem Gemisch bei!

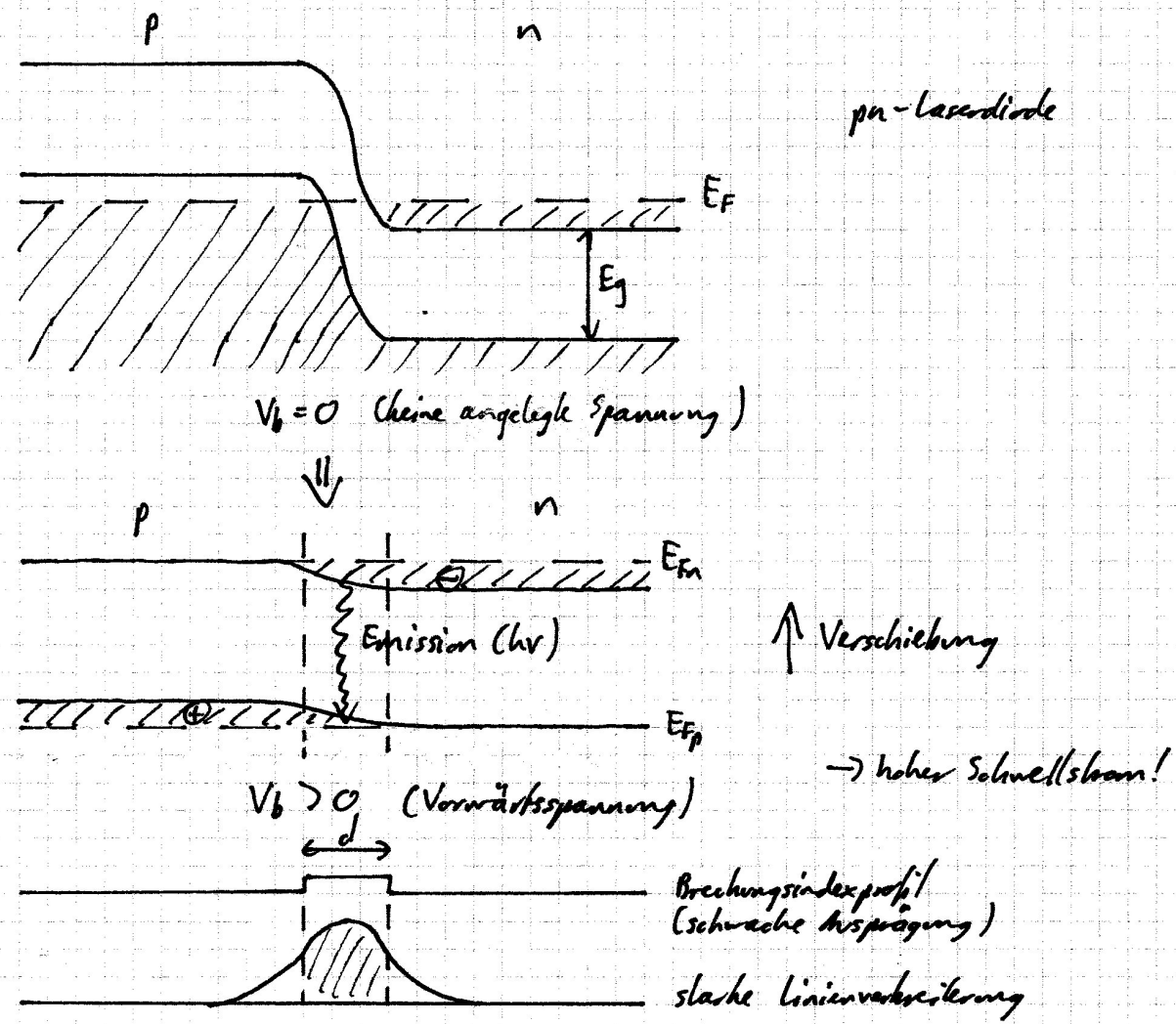
Die beiden Laserübergänge können auf verschiedenen Rotationsniveaus der involvierten Vibrationsniveaus stattfinden.

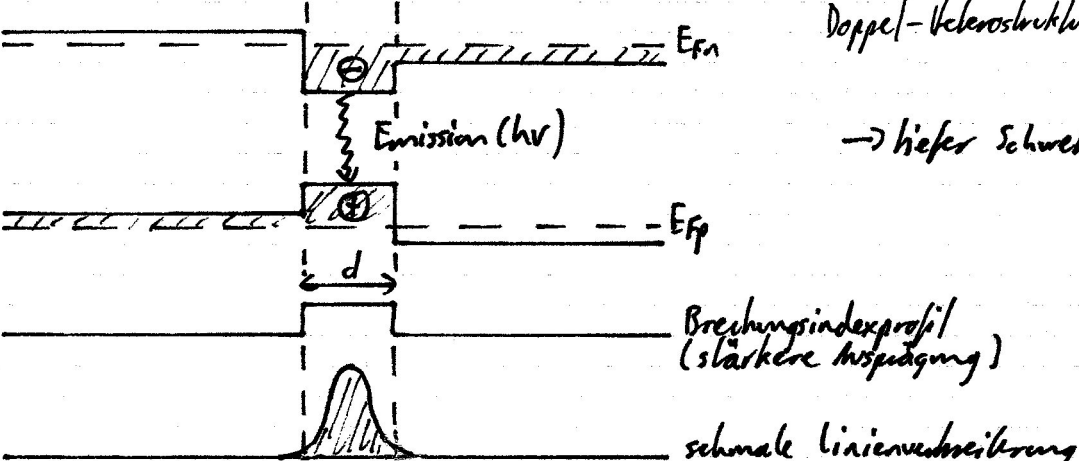
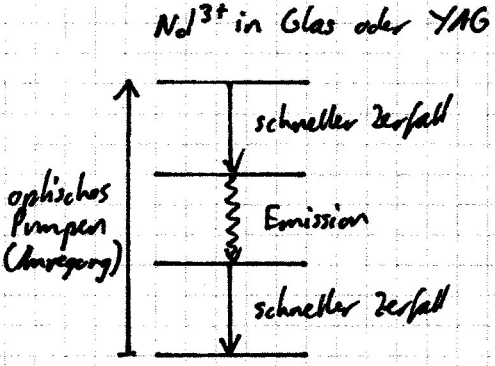
Laser	Energieniveauschema
CO-Laser	<p style="text-align: center;">CO</p> <p style="text-align: center;">⋮</p> <p style="text-align: center;">4</p> <p style="text-align: center;">3</p> <p style="text-align: center;">2</p> <p style="text-align: center;">1</p> <p style="text-align: center;">v=0</p> <p>elektronische Anregung</p> <p>Kaskadenprozess!</p> <p>CO-Laser</p>

Laser

Energieniveauschema

Halbleiterlaser



Laser	Energieniveauschema
<p>Halbleiterlaser (Fortsetzung)</p>	 <p>Doppel-Heterostruktur-Laser → hierer Schwelstrom!</p> <p>Brechungsindexprofil (stärkere Ausprägung)</p> <p>schmale Linienverbreiterung</p>
<p>Nd:YAG-Laser und Nd:Glas-Laser</p>	 <p>Nd<sup>3+</sup> in Glas oder YAG</p> <p>optisches Pumpen (Anregung)</p> <p>schneller Zerfall</p> <p>Emission</p> <p>schneller Zerfall</p> <p>Nd: YAG-Laser Nd: Glas-Laser</p> <p>Die strahlungslosen Übergänge führen zur Erwärmung des Kristalls.</p>

Laser	Energieniveauschema
<p>Rubinlaser</p>	<p style="text-align: center;"><math>\text{Cr}^{3+}</math> in <math>\text{Al}_2\text{O}_3</math></p> <p style="text-align: right;">Rubin-Laser</p> <p>optisches Pumpen (Anregung)</p> <p>Die strahlungslosen Übergänge führen zur Erwärmung des Kristalls.</p> <p>lange Lebensdauer!</p> <p>(zwei Linien!)</p>