Wiederholung vom 22.06

⇨ $\chi^{(2)}$-Prozesse

optisch parametrische Prozesse

⇨ $\chi^{(3)}$-Prozesse

Kerr-Linsen Effekt

Selbstphasenmodulierung

⇨ Erzeugung ultrakurzer Laserpulse

Wahl des aktiven Mediums

Übungsaufgaben

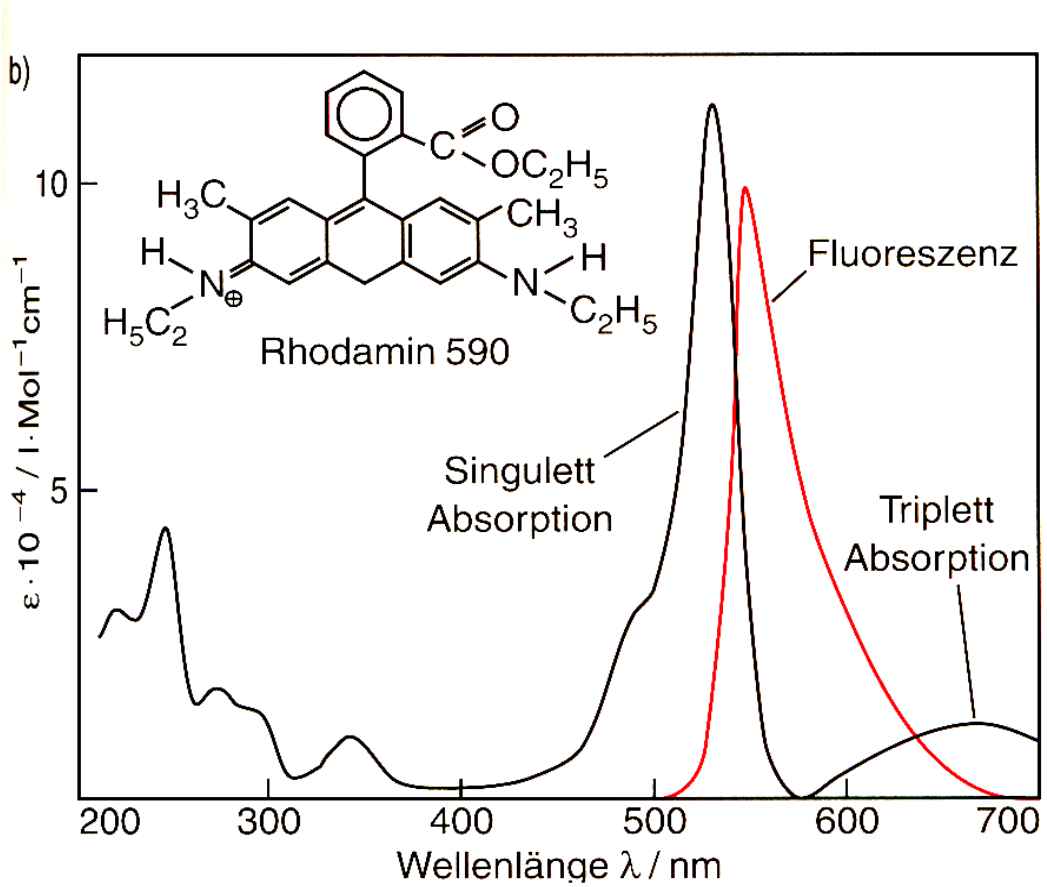
Nichtlinear Prozesse dritter Ordnung (Kerr-Linsen Effekt, Selbstphasenmodulierung) werden relevant, wenn der nichtlineare Beitrag zur Brechung in der Größenordnung von 1% oder mehr liegen. Schätzen Sie für typische Werte von n_2 ab, wie stark ein Laserpuls (30 fs, 10 nJ) fokussiert werden muss, um die benötigten Intensitäten für solche Prozesse zu erzeugen.

$n_2 \approx 5 \cdot 10^{-16} \frac{cm^2}{W}$ (letzte Stunde)

$n_2 I \approx 10^{-2}$ $I = I_{Peak} = \frac{P_{Peak}}{\pi\left(\frac{d}{2}\right)^2}$ mit $P_{Peak} = \frac{E_{Puls}}{\Delta t} = \frac{10\ nJ}{30\ fs} \approx 3.4 \cdot 10^5\ W$

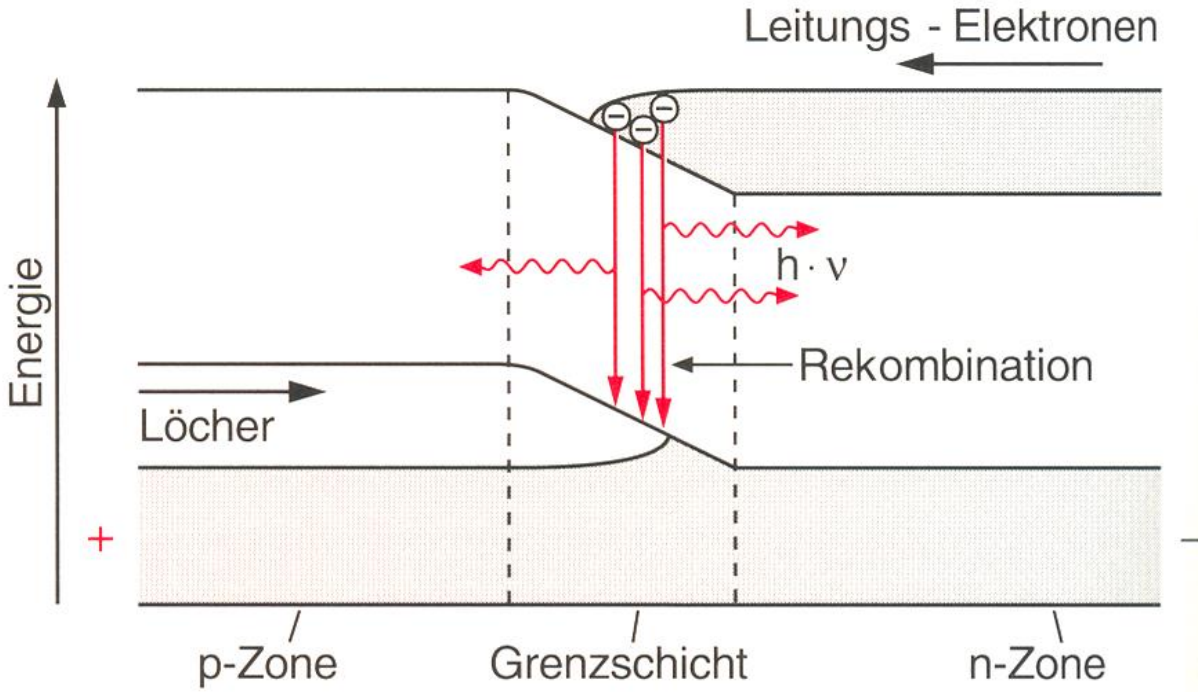
$$d = 2 \cdot \left(\frac{n_2 \cdot P_{Peak}}{\pi \cdot 10^{-2}}\right)^{\frac{1}{2}} \approx 1.5 \mu m$$

Aktives Medium - Farbstofflaser



Absorptions- und Fluoreszenzspektrum des Farbstoffes Rhodamin G (Quelle: Demtröder III).

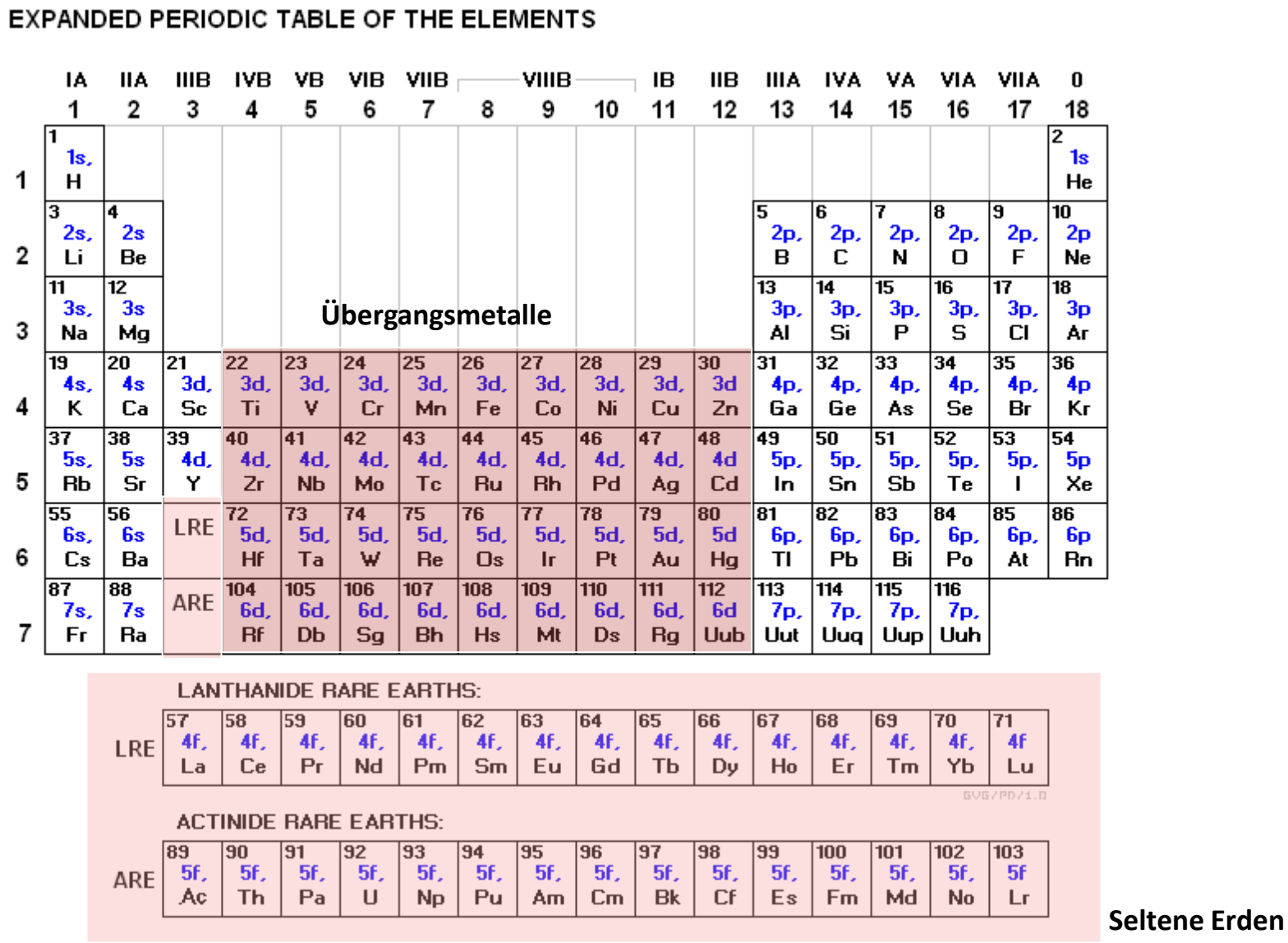
Aktives Medium - Halbleiterlaser



Bandschema einer Halbleiterleuchtdiode (Quelle: Demtröder III).

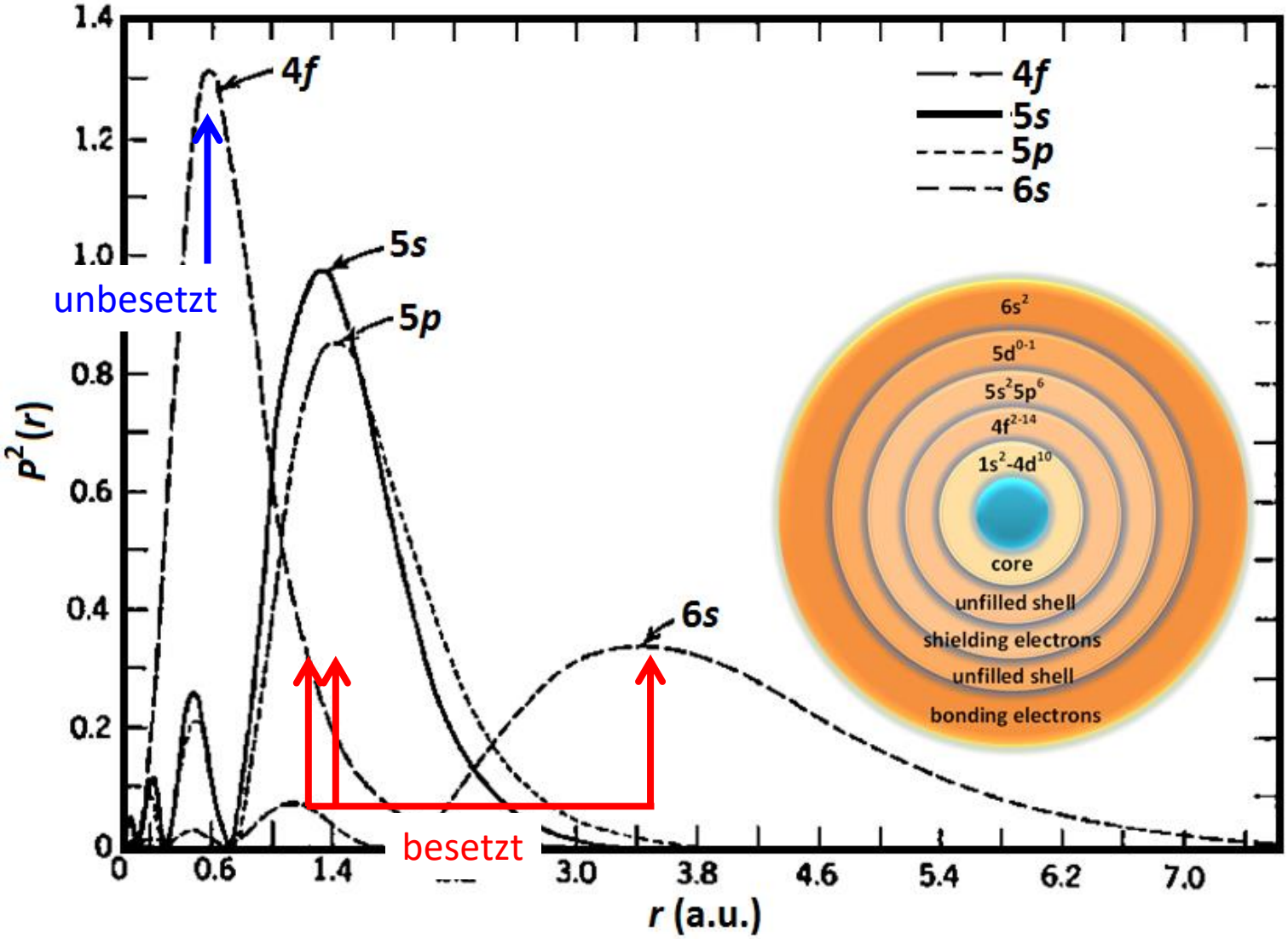
Emissionsspektren verschiedener Leuchtdioden (Quelle: Wikipedia)

Aktives Medium – dotierte Festkörperlaser



Seltene Erden

Seltene Erden - Orbitalausdehnung



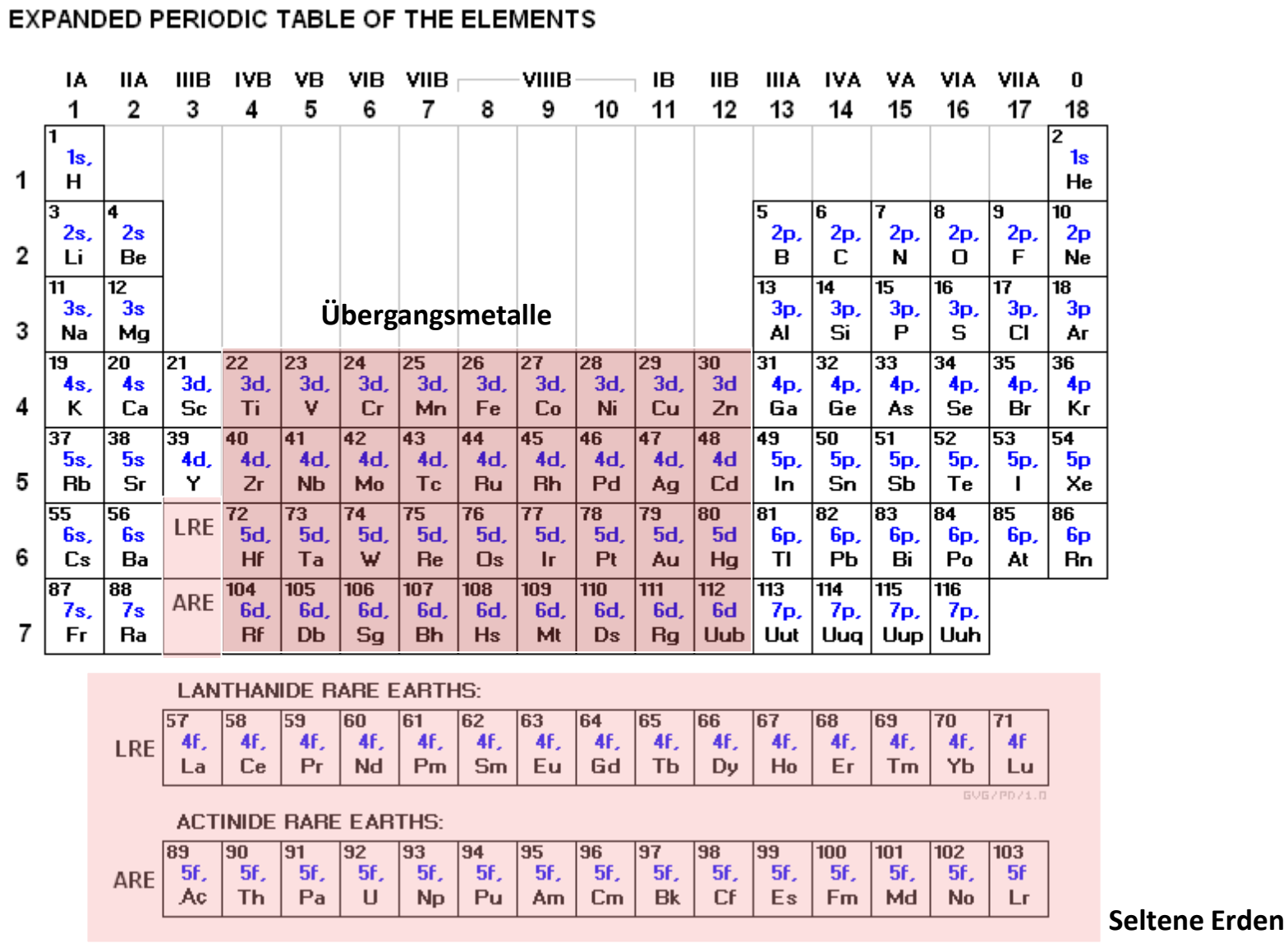
Aktives Medium – dotierte Festkörperlaser

Seltene Erden

Laser	Absorptions-Wellenlänge	Mittlere Laser-Wellenlänge	Fluoreszenz-Bandbreite	Pulslänge
Nd:YAG	808 nm	1.064 µm	0.45 nm	6 ps
Nd:YLF	797 nm	1.047 µm	1.3 nm	3 ps
Nd:LSB	808 nm	1.062 µm	4 nm	1.6 ps
Nd:Glas	804 nm	1.05 µm	22 – 28 nm	80 fs
Nd:Faser	804 nm	1.05 µm	≈ 30 nm	33 fs
Yb:YAG	940, 968 nm	1.03 µm	6 nm	300 fs
Yb:Glas	797 nm	1.03 µm	≈ 30 nm	-

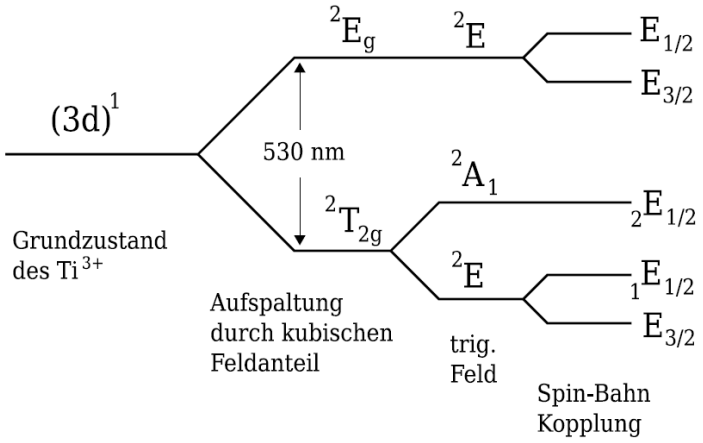
Beispiele einiger mit *seltenen Erden* dotierten Festkörperlaser und die damit erzielbaren Pulslängen;

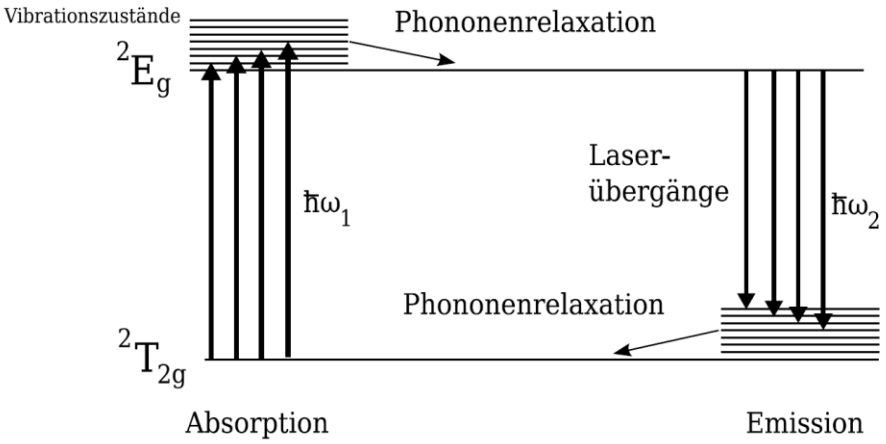
Aktives Medium – dotierte Festkörperlaser

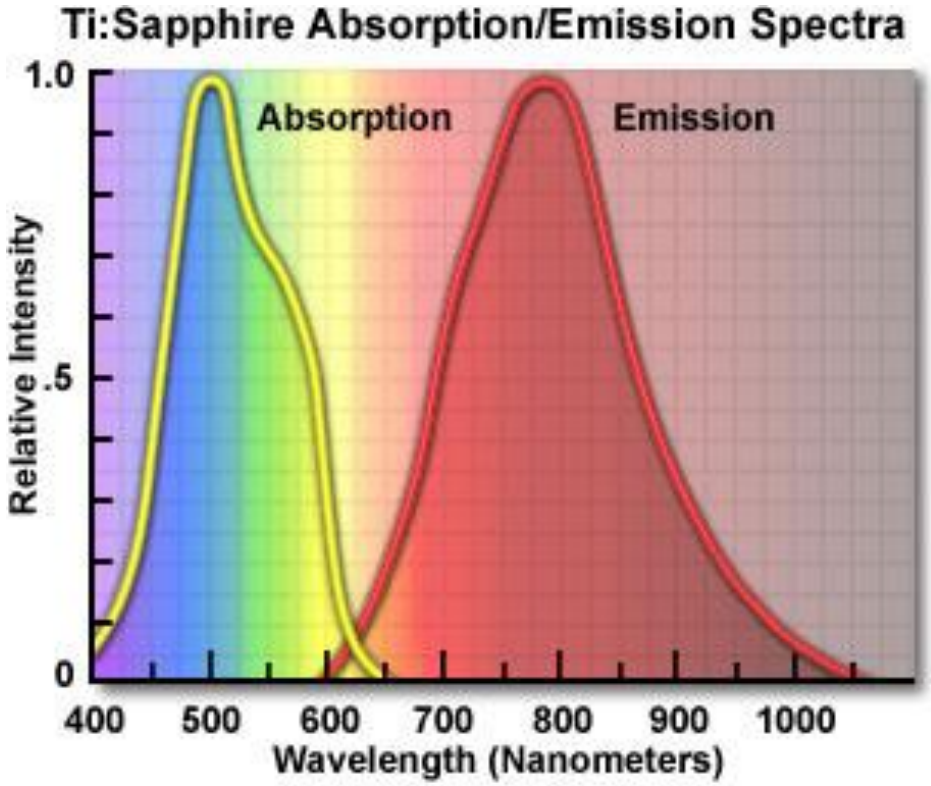


Seltene Erden

Ti-dotierter Saphir (Al_2O_3)







Termniveauschema (links) und Absorptions- und Emissionsspektrum (rechts) eines Titan-dotierten Saphirkristalls (Ti:Saphir);

Aktives Medium – dotierte Festkörperlaser

Übergangsmetalle

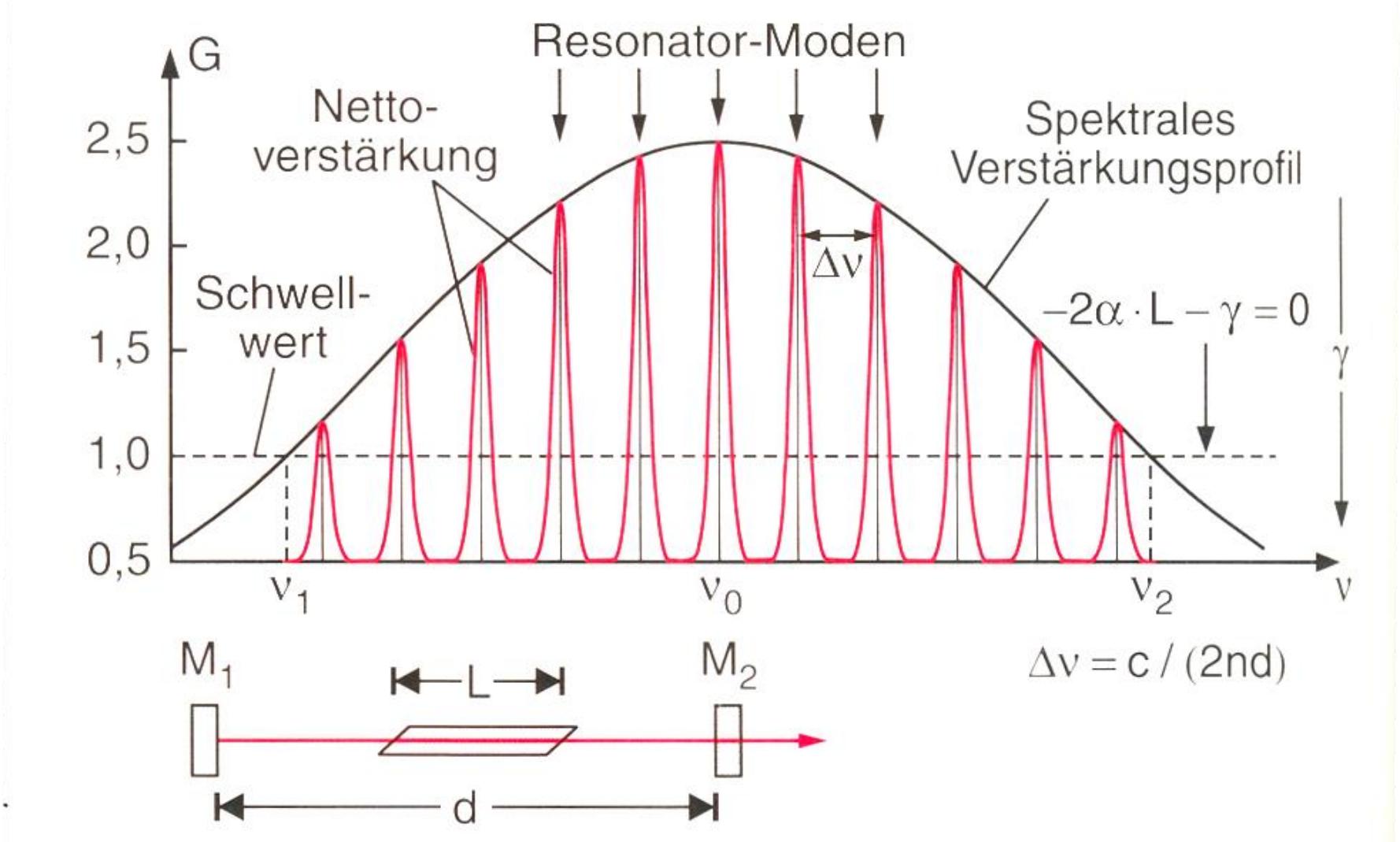
Laser	Absorptions-Wellenlänge	Mittlere Laser-Wellenlänge	Fluoreszenz-Bandbreite	Pulslänge
Ti^{3+}:Saphir	450 - 580 nm	780 nm	230 nm	8 fs
Cr^{3+}:LiSAF	600 - 700 nm	840 nm	180 nm	20 fs
Cr^{3+}:Alexandr.	420/580 nm	760 nm	100 nm	-
Cr^{4+}:Forsterite	700nm/1.06 µm	1.23 µm	190 nm	48 fs
Cr^{4+}:YAG	1.06 µm	1.52 µm	300 nm	60 fs

Beispiele einiger mit *Übergangsmetallen* dotierten Festkörperlaser und die damit erzielbaren Pulslängen;

Vergleich Halbleiterlaser - Festkörperlaser

	Festkörperlaser	Faserlaser	Halbleiterlaser
Minim. Pulsdauer	++	+	-
Ausgangsleistung	++	+	-
Flexibilität Wiederholrate	+	0	++
Flexibilität Wellenlänge	+	-	++
Kompaktheit	--	+	++
Kosten	--	0	+

Schwellwertbedingung des Lasers



Überlagerung von Moden

$$E(t) = \sum_{n=0}^{N-1} E_n sin[2\pi(\nu_0 + n\,\delta\nu)t + \varphi_n(t)]$$

1) $\varphi_n(t)$ fluktuiert willkürlich in der Zeit
   ⇨ Laserleistung $P(t) \sim E(t)^2$ variiert willkürlich in der Zeit

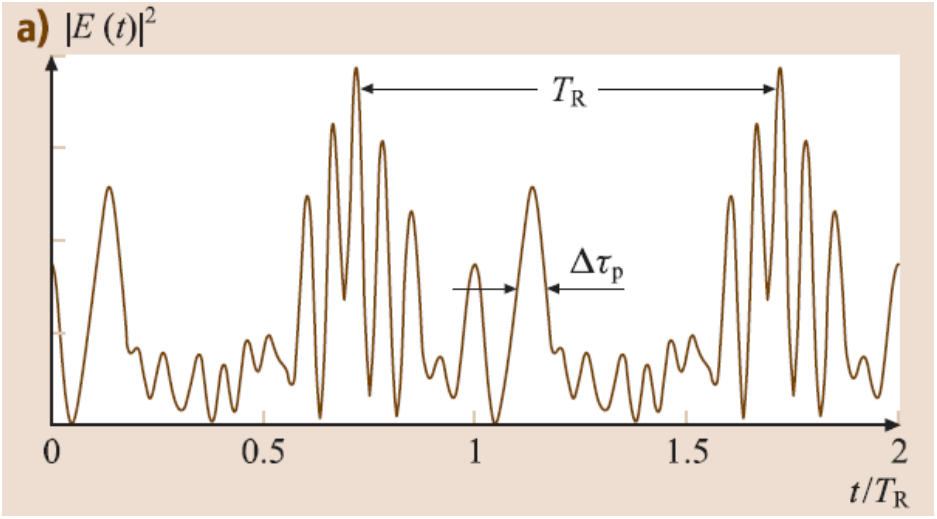
2) $\varphi_n(t) \rightarrow \varphi_n$: (willkürliche) Fixierung der relativen Phase
   ⇨ Laserleistung $P(t)$ ist periodisch moduliert

3) $\varphi_n = n\alpha$: Fixierung der relativen Phase, lineare Abhängigkeit
   ⇨ Laserleistung $P(t)$ ⇨ Ausbildung einer periodischen Pulsstruktur für $n \rightarrow \infty$

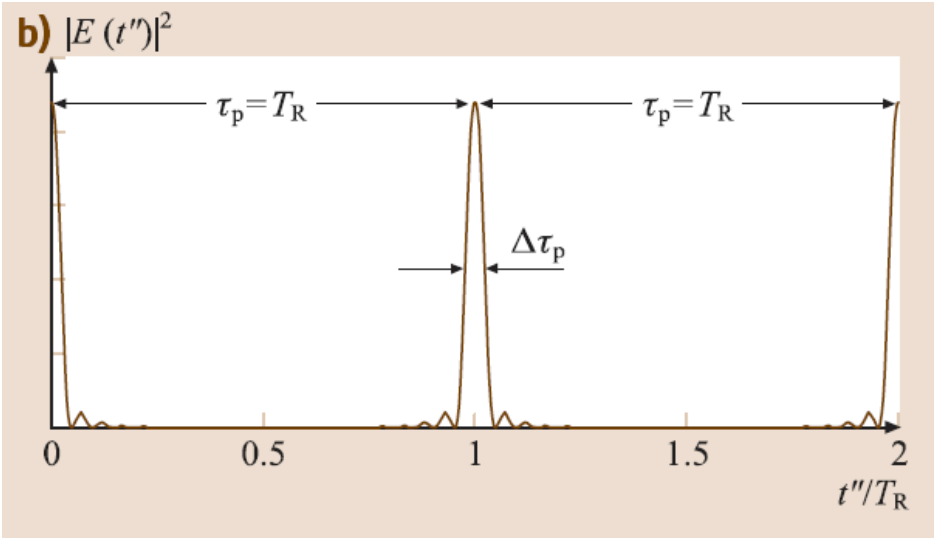
   ⇨ Modenkopplungs-Bedingung

Überlagerung von Moden

$\varphi_n(t) \rightarrow \varphi_n$

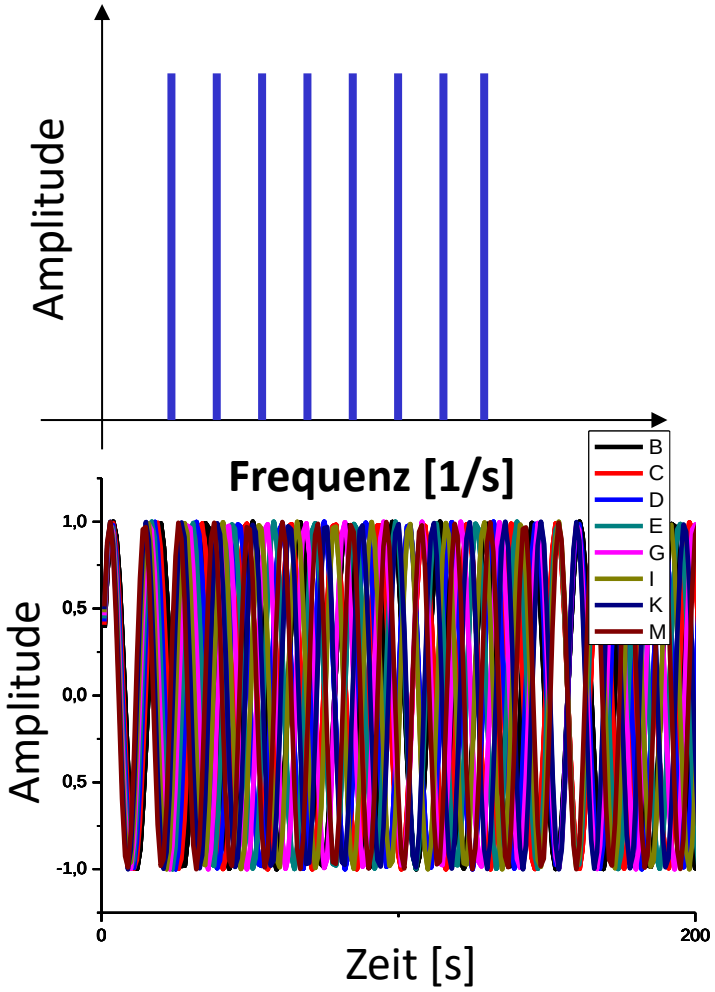


$\varphi_n = n\alpha$

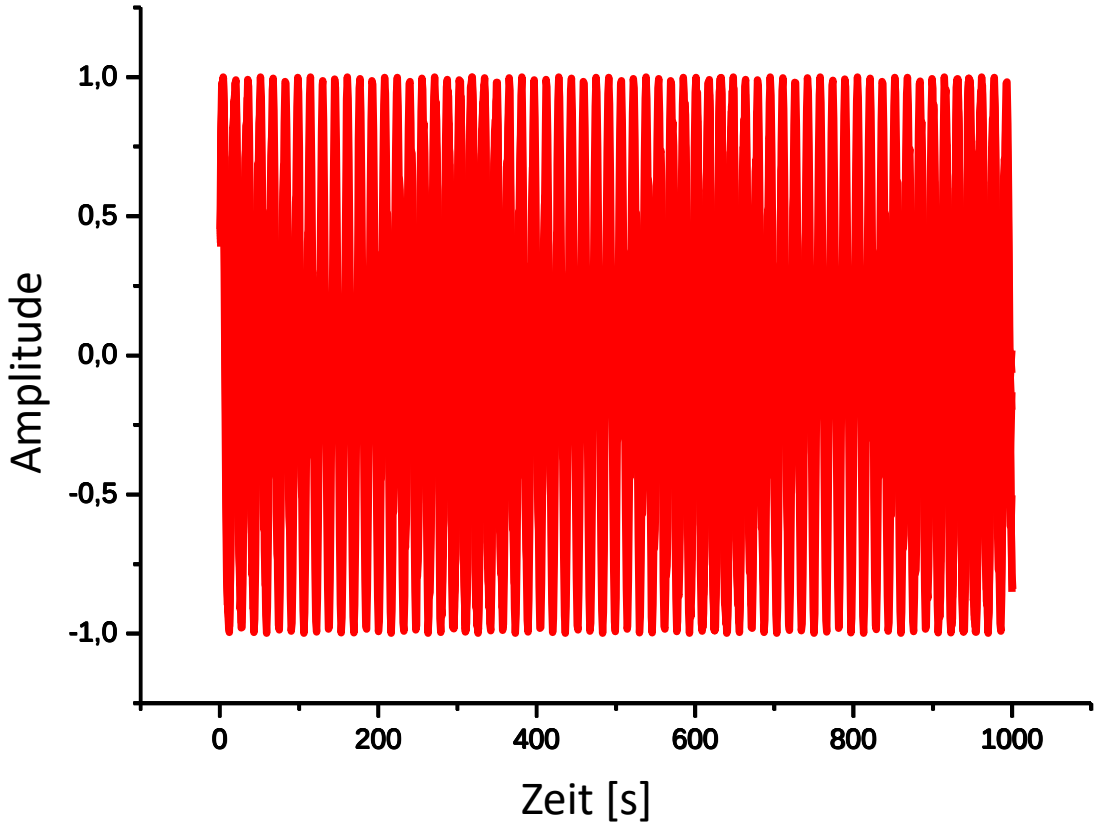


Quelle: Springer Handbook of Lasers

Überlagerung von Moden

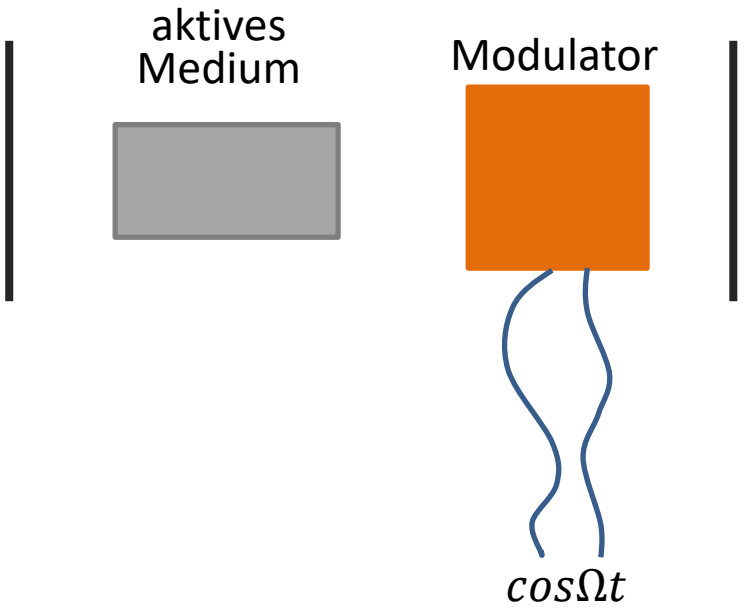


Summe der Felder

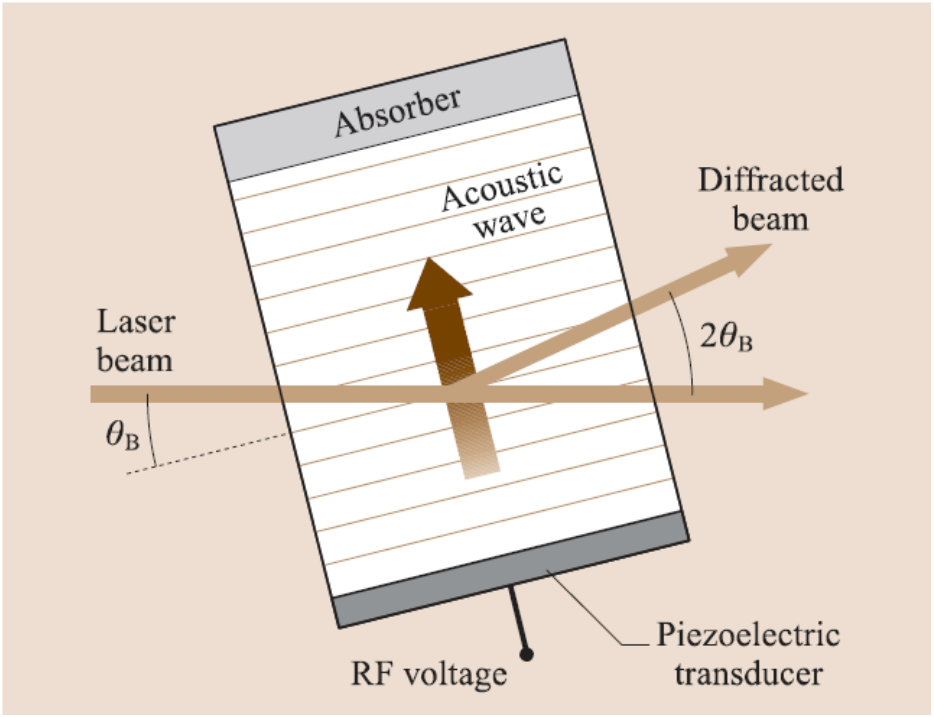


Aktive Modenkopplung

Prinzipschema



Akusto-optischer Modulator (AOM)



Quelle: Springer Handbook of Lasers

Aktive Modenkopplung

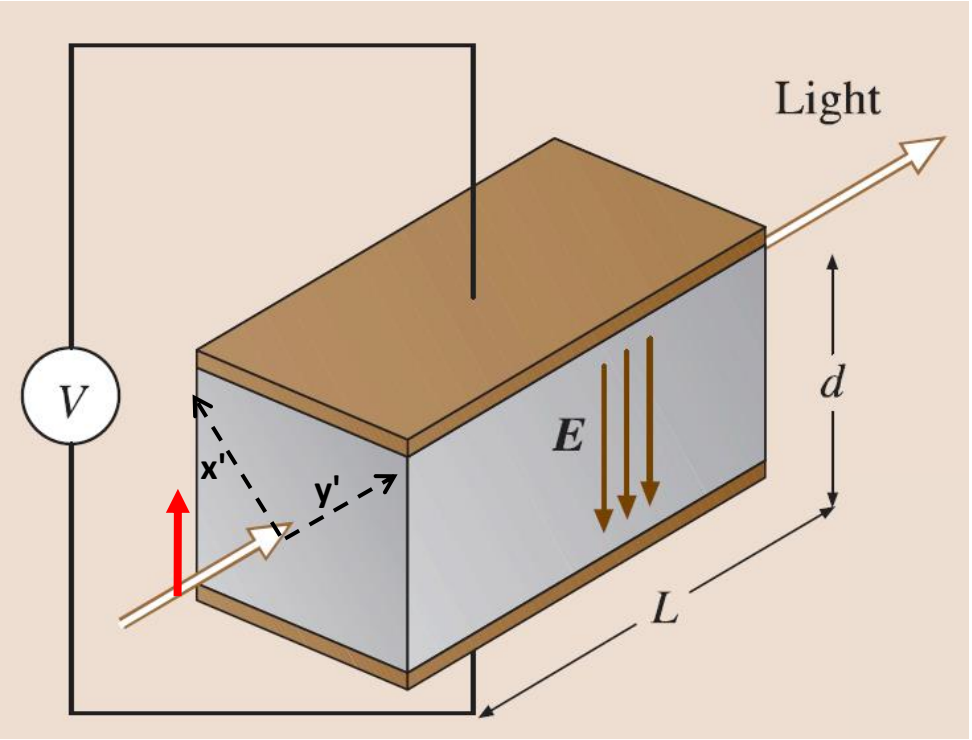
Pockelseffekt

$$n(E) = n - \frac{1}{2} k_{\text{Pockels}} n^3 E$$

$$n_{x'} \approx n_x - \tfrac{1}{2} n_x^3 k_{x\,\text{Pockels}} E$$

$$n_{y'} \approx n_y - \tfrac{1}{2} n_y^3 k_{y\,\text{Pockels}} E$$

Elektro-optischer Modulator (Pockelszelle)



Quelle: Springer Handbook of Lasers

Übungsaufgaben

Zeigen Sie, dass die Repetitionsrate ν_R eines modengekoppelten Lasers durch $\nu_R = \frac{c}{2L}$ gegeben ist. c ist hierbei die Lichtgeschwindigkeit und L die Länge des Resonators. Hinweis: Überlegen Sie sich, nach welcher Zeitdauer zwei direkt benachbarte Moden das erste Mal wieder in Phase sind. Genau diese Bedingung bestimmt den Zeitabstand zwischen zwei Pulsen.