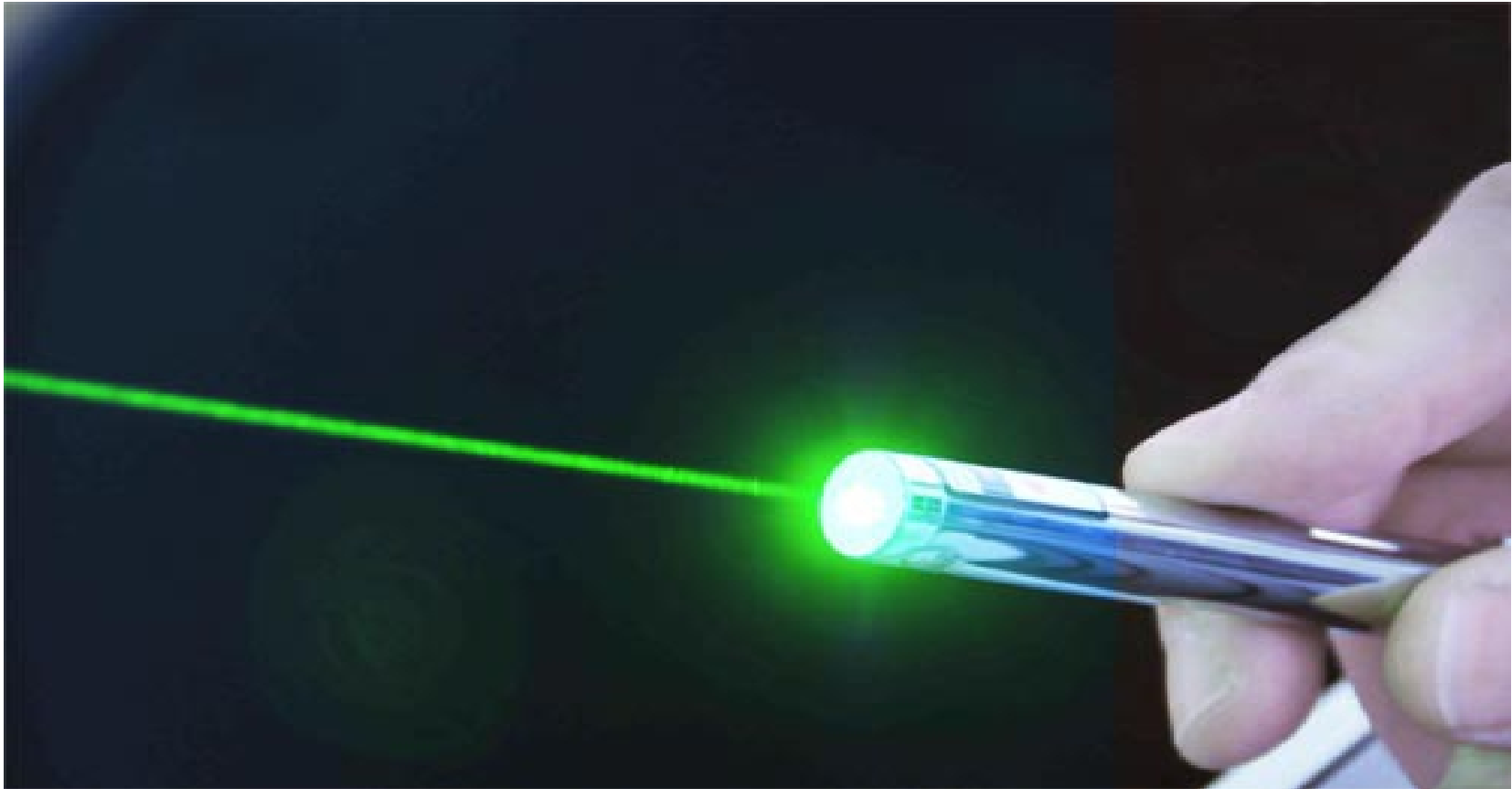


Neodym-Laser

Björn Gillich

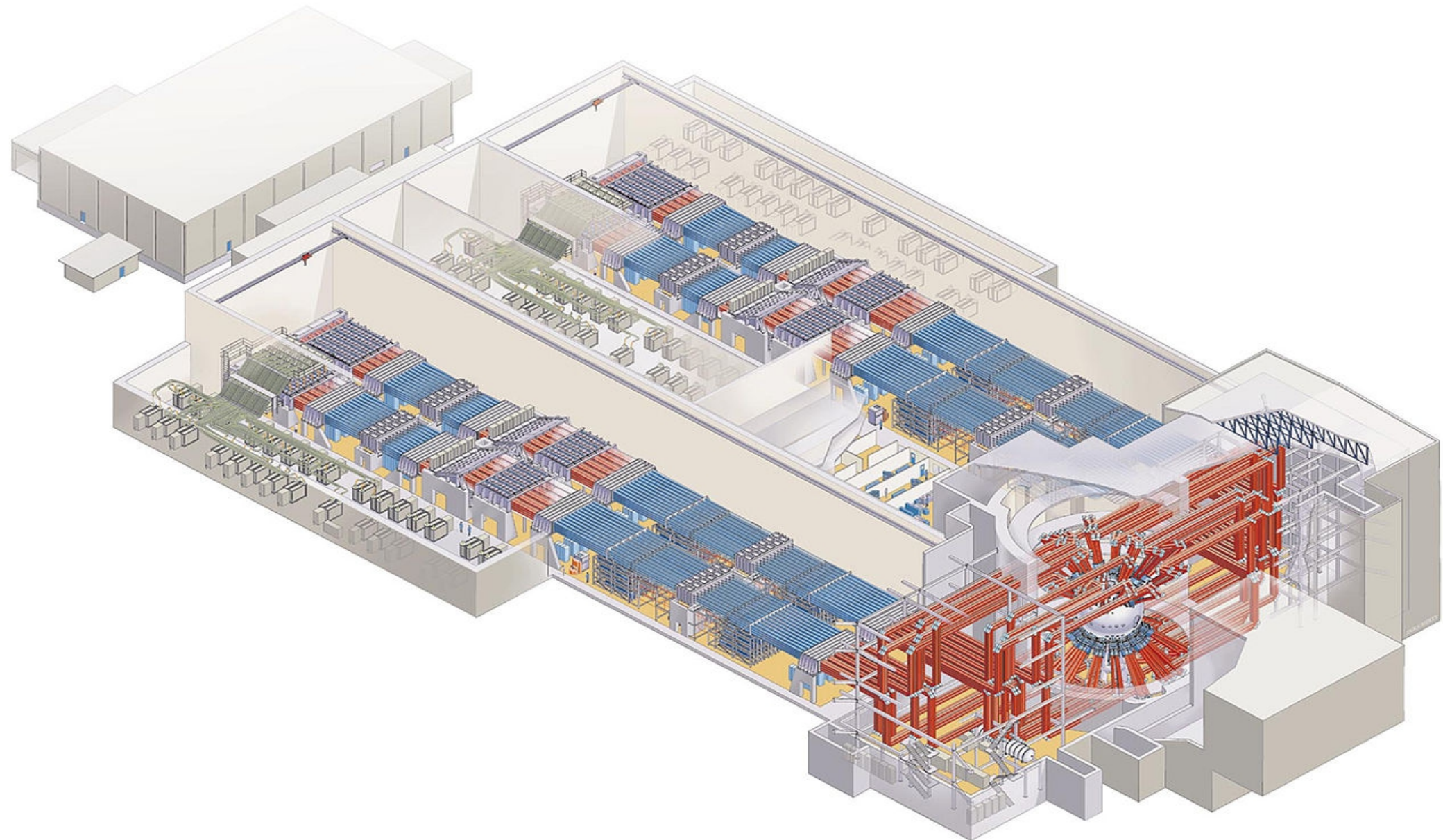


National Ignition Facility

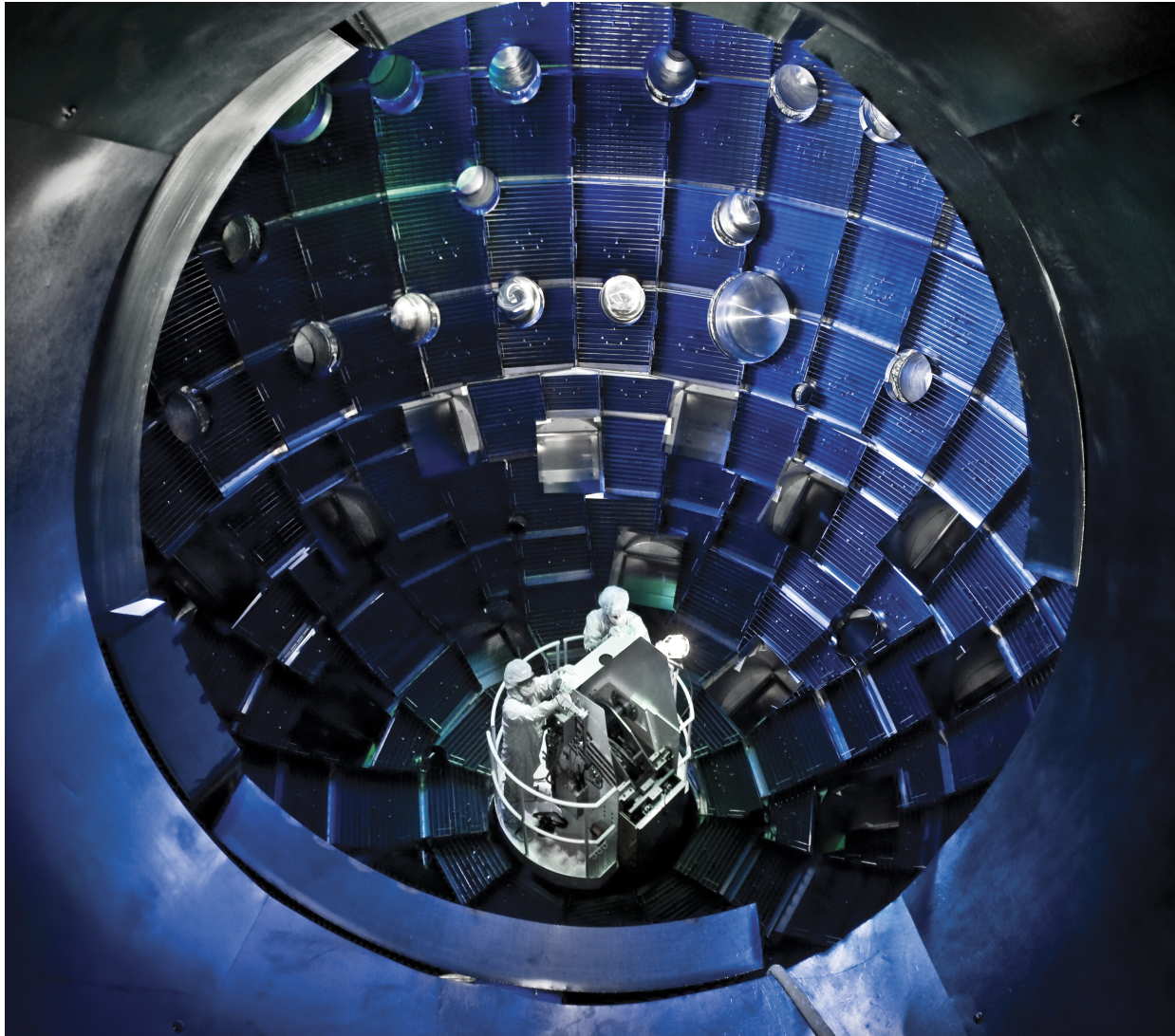
National Ignition Facility

- stärkste Laser der Welt zur Erforschung von Kernfusion
- Neodym-Glas-Laser
- Fokussierte Energien im 1 - 2 MJ Bereich
- Fertigstellung: Mai 2009

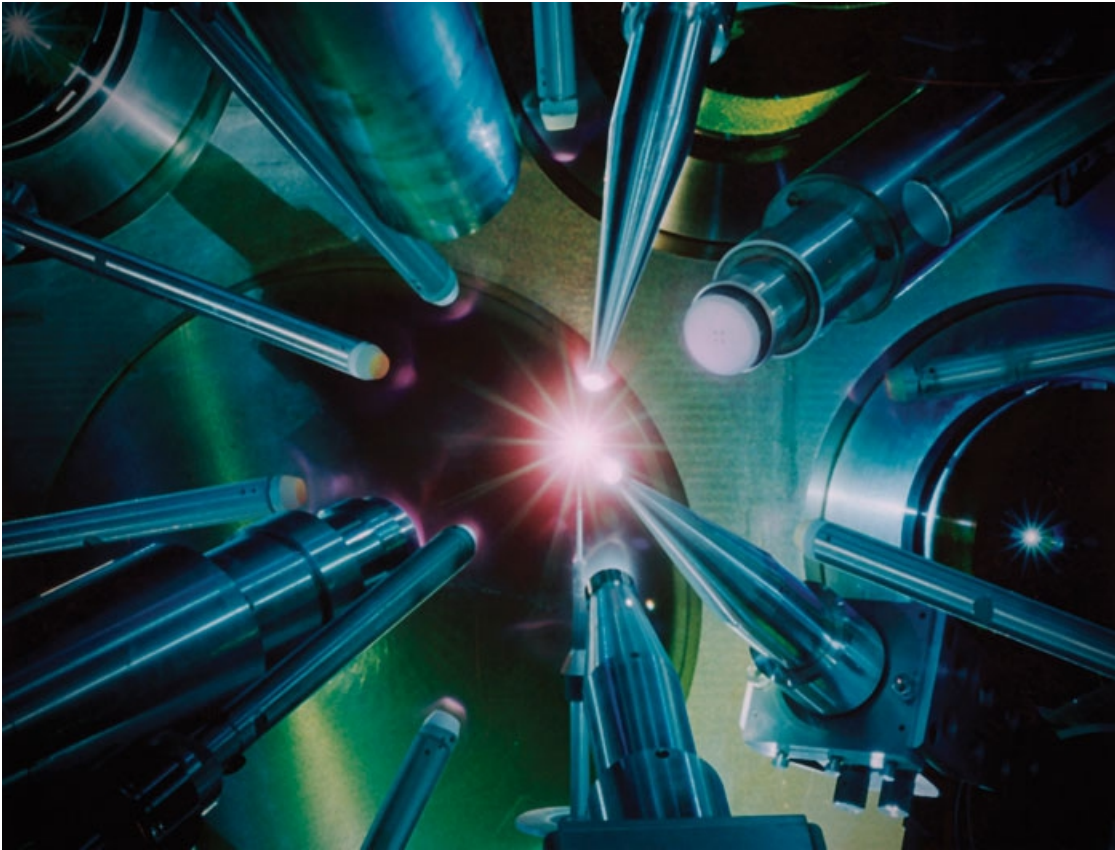
National Ignition Facility



National Ignition Facility



National Ignition Facility



National Ignition Facility



Gliederung

- Kurzwiederholung: Laser
 - 3-Niveau-Laser und 4-Niveau-Laser
- Neodym als Lasermedium
- Wirtsmaterialien
 - YAG, YVO, YLF, Glas
- Aufbau von Lasern und Pumpmöglichkeiten
- Güteschaltung

Kurzwiederholung: Laser

3-Niveau-Laser

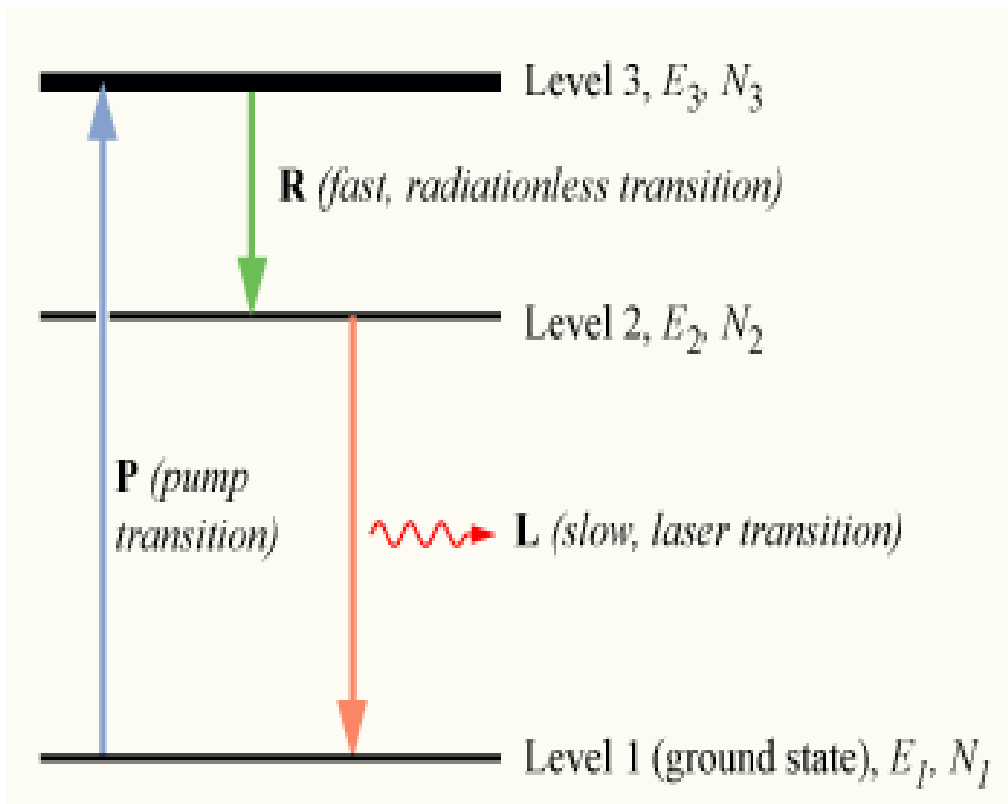


Abb.1 3-Niveau-Laser

4-Niveau-Laser

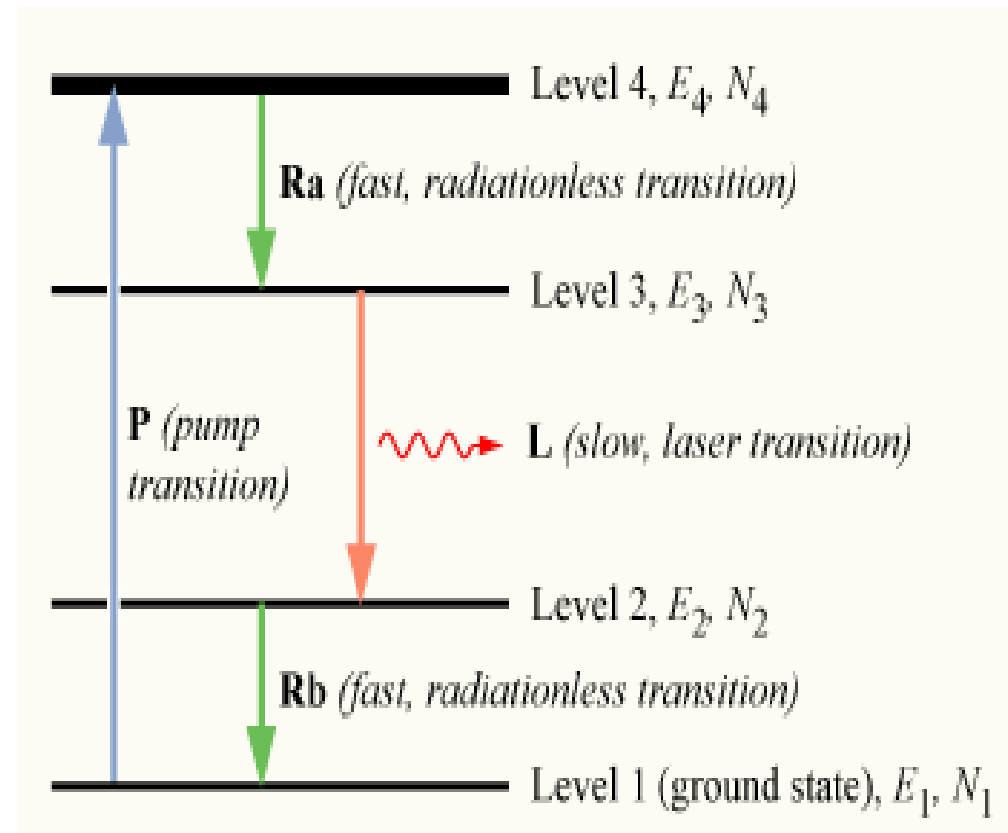


Abb.2 4-Niveau-Laser

Lasermaterial Neodym-Ionen

1																	2														
H																	He														
3	4													5	6	7	8	9	10												
Li	Be													B	C	N	O	F	Ne												
11	12													13	14	15	16	17	18												
Na	Mg													Al	Si	P	S	Cl	Ar												
19	20	21													22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36		
K	Ca	Sc													Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
37	38	39													40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54		
Rb	Sr	Y													Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Fl	Uup	Lv	Uus	Uuo

Neodym

Abb.3 Periodensystem

Lasermaterial Neodym-Ionen

Elektronenkonfiguration von Nd: $[\text{Xe}] 4f^3 6s^2$

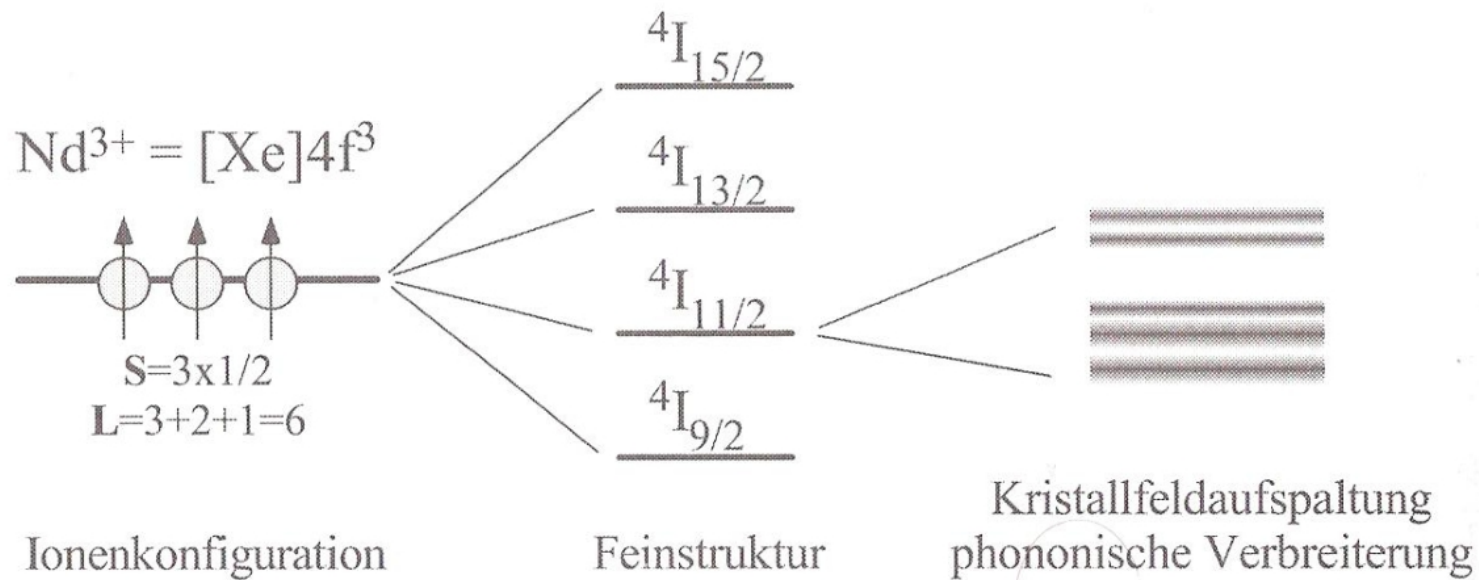


Abb.4 Energieniveaus Nd^{3+} Ionen im Festkörper

Lasermaterial Neodym-Ionen

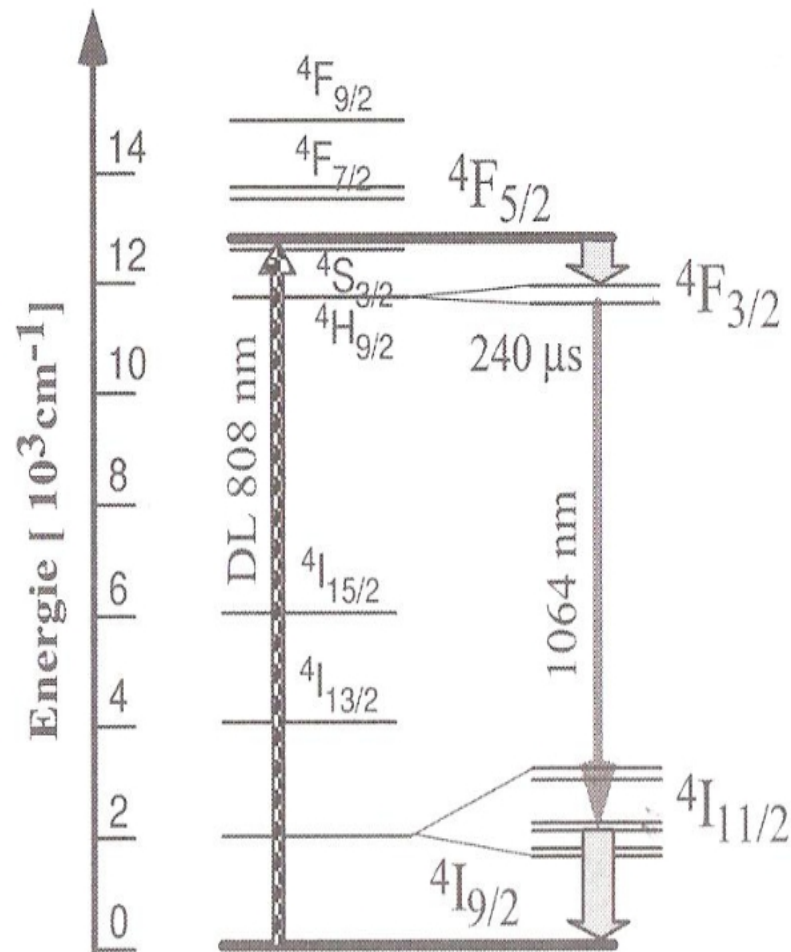


Abb.5 Energieniveauschema von Nd:YAG

Warum Neodym?

- Wirtsmaterialien können leicht mit Neodym dotiert werden
- Neodym kann in vielen Wirtsgittern als Lasermedium verwendet werden

Lasermaterial Neodym-Ionen

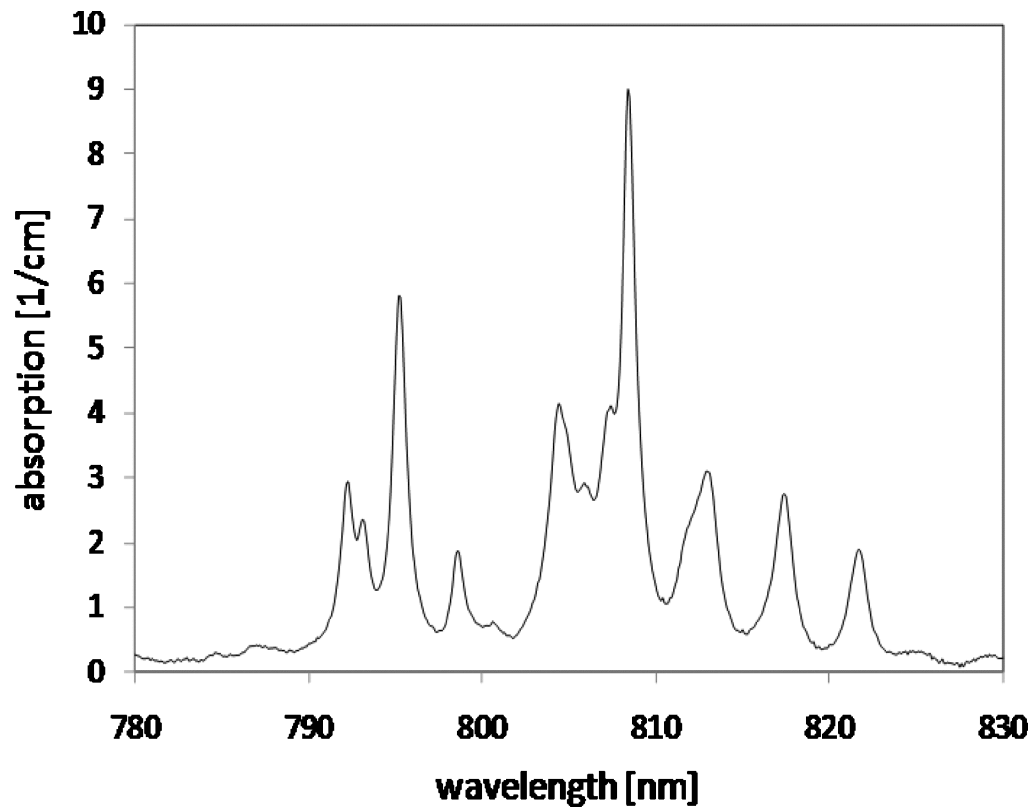


Abb.6 Absorptionsspektrum Nd:YAG

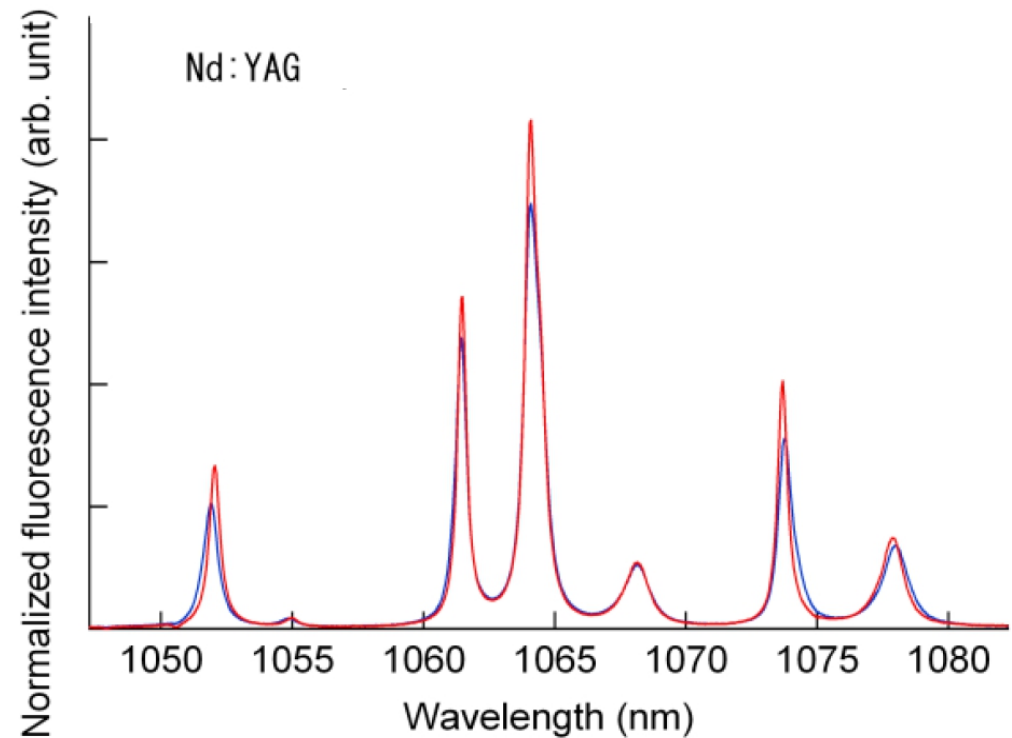


Abb.7 Emissionsspektrum Nd:YAG

Wirtsmaterialien

- müssen eine hohe optische Qualität besitzen
- hohe Wärmeleitfähigkeit ist wichtig
- Fremdion können leicht eingebaut werden, wenn sie ein chemisch ähnliches Element ersetzen
- Neodym-Ionen werden mit einer Konzentration von wenigen Prozenten eingebaut

Wirtsmaterialien

Wirt		Formel	Wärmeleitf.	$\partial n / \partial T$
			$\text{W cm}^{-1} \text{K}^{-1}$	10^{-6}K^{-1}
Granat	YAG	$\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$	0,13	7,3
Vanadat	YVO	YVO_4	0,05	3,0 (o) 8,5 (e)
Fluorid	YLF	LiYF_4	0,06	-0,67 (o) -2,30 (e)
Glas		SiO_2	0,01 typ.	3-6

Tab. 1 Ausgewählte Wirtsmaterialien

Wirtsmaterial: YAG

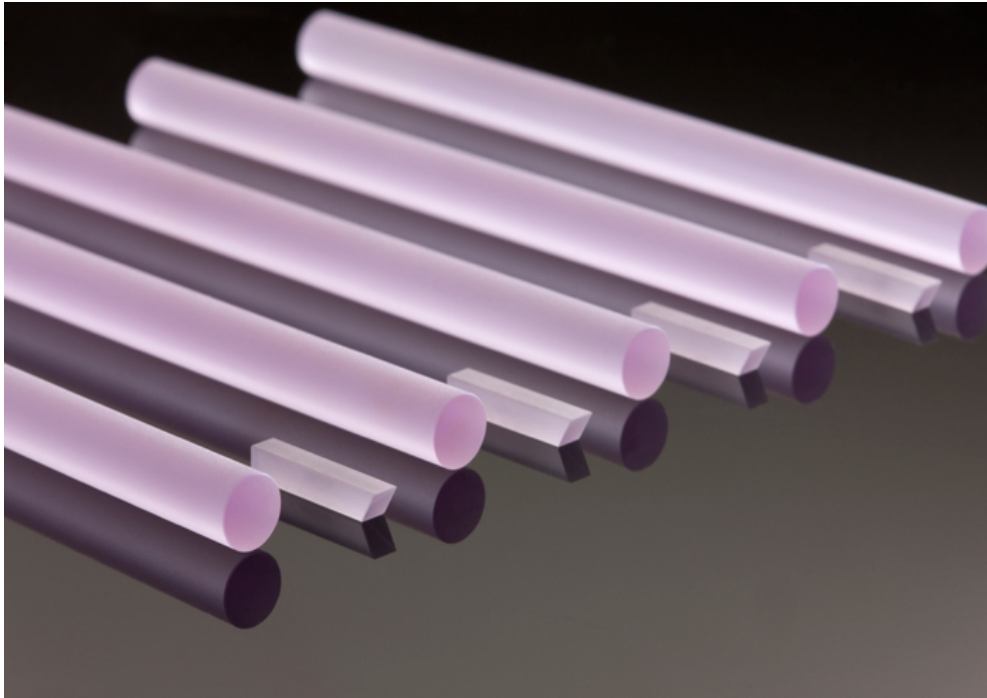


Abb.8 Nd:YAG Stäbe

- YAG ist ein $Y_3Al_5O_{12}$ Kristall
- Nd:YAG is der Allrounder der Nd Laser
- Nd Konzentration liegt bei maximal 2 %

Wirtsmaterial: YAG

Anwendungen:

- Schweißen
- Gravieren
- Bohren
- Medizin
- Pumpen von Lasern
- Strukturanalyse

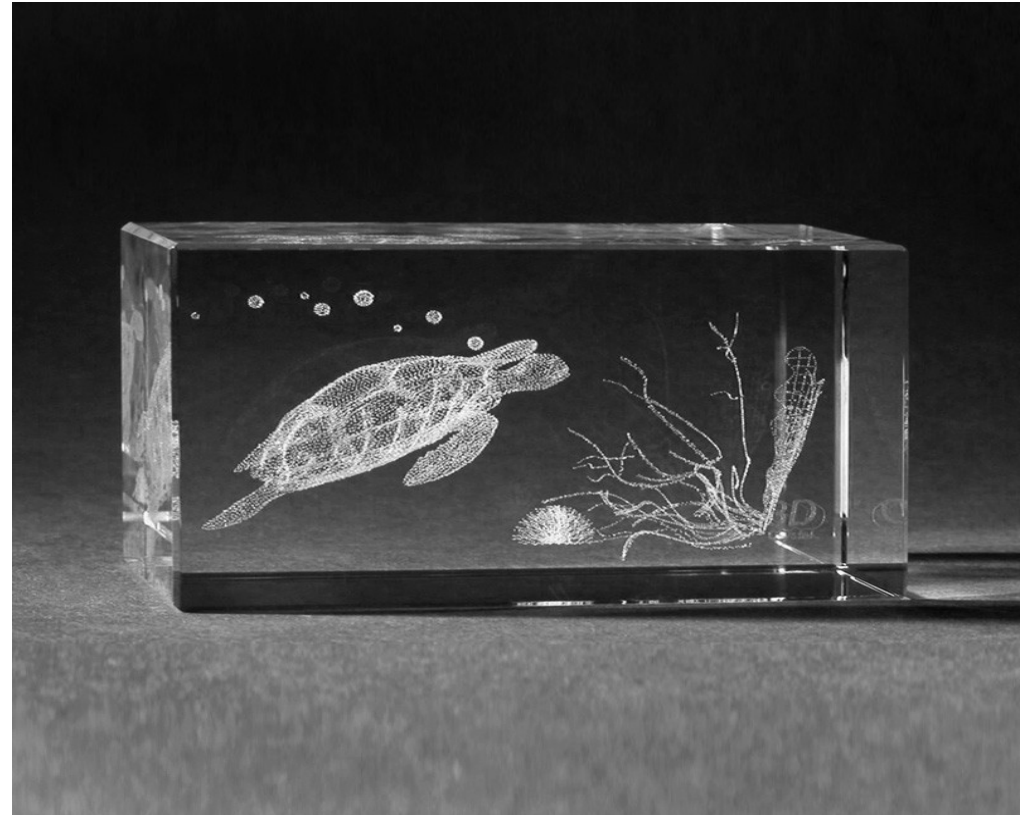


Abb. 9 Gravierter Glasquader

Wirtsmaterial: YVO

YVO ist ein YVO_4 Kristall

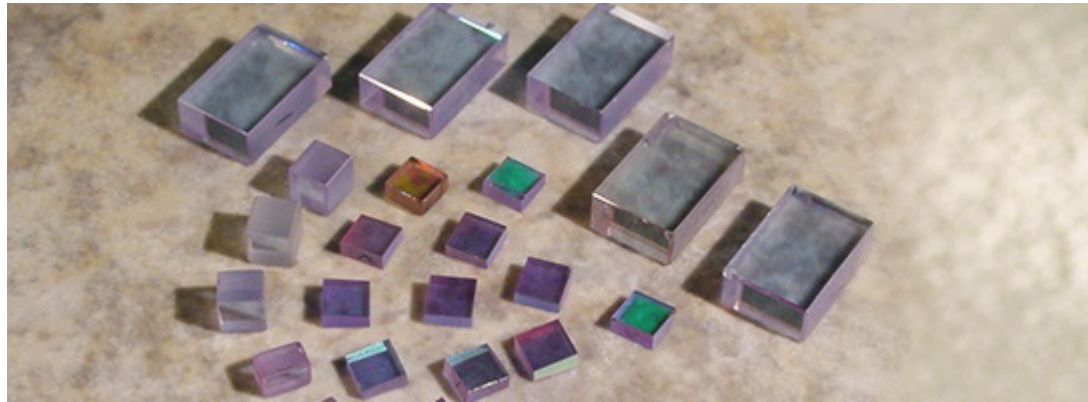


Abb.10 Nd:YVO Kristalle

Nd:YVO besitzt eine breitbandige Absorption bei 808 nm

- Absorptionsquerschnitt etwa 5fach höher im Vergleich zu YAG
- unempfindlich gegenüber Schwankungen in der Wellenlänge der Pumpdiode

Wirtsmaterial: YVO

Absorptionsspektrum von YVO und YAG

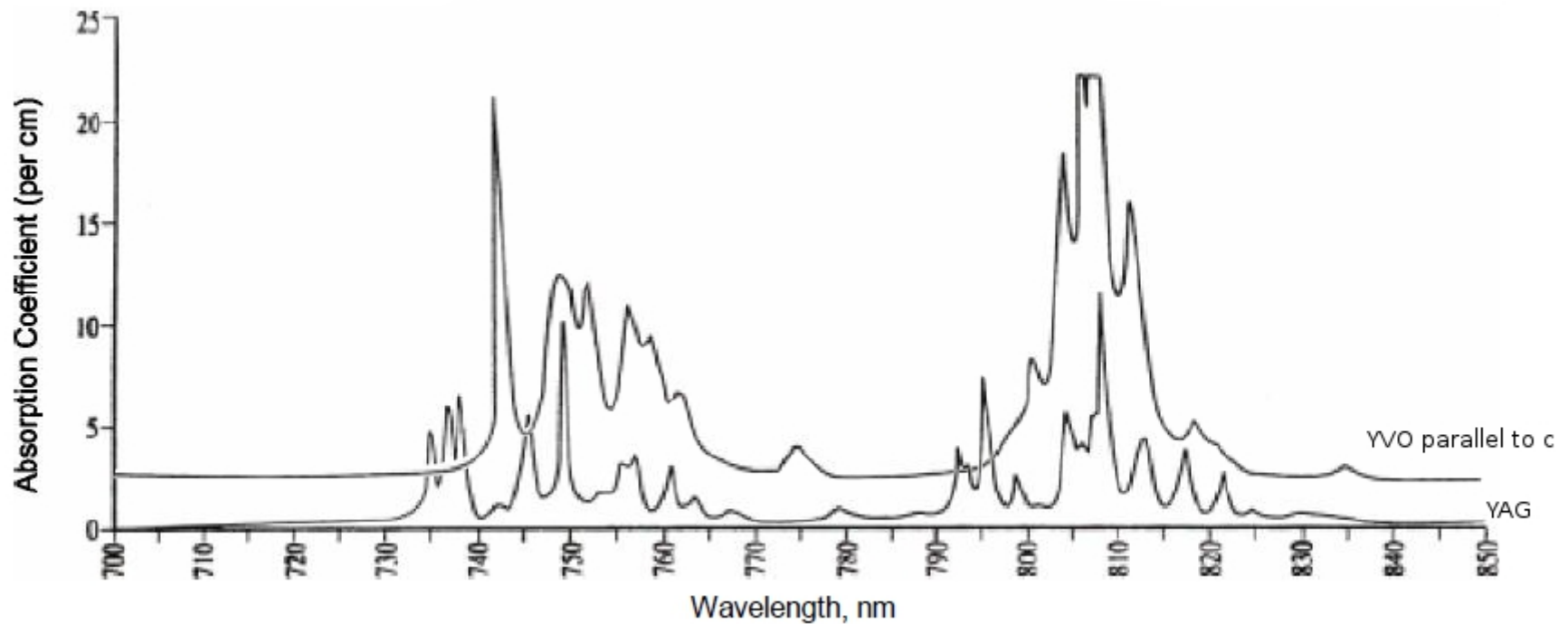


Abb. 11 Absorptionsspektrum von YVO(1%) und YAG(1,2%)

Wirtsmaterial: YVO (Anwendung)

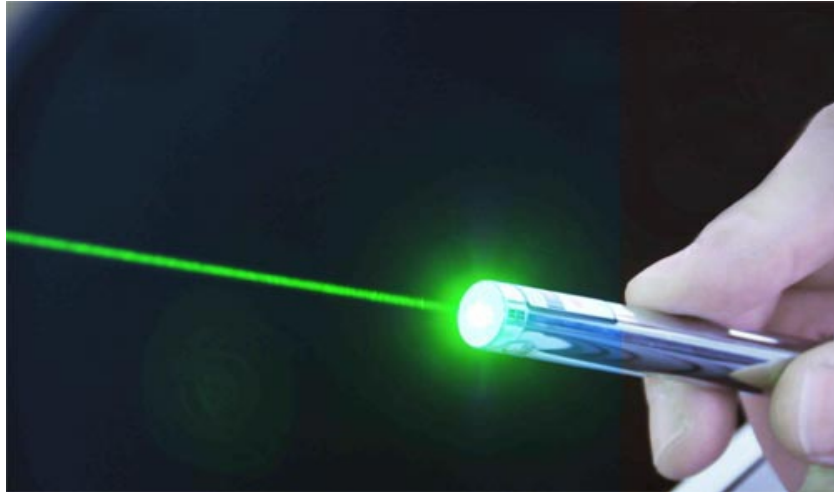


Abb.12 Laserpointer

Laserpointer:

durch den hohen Absorptionsquerschnitt können kleine Bauteile verwendet werden



Abb.13 Lightshow

Lightshow:

Mit Frequenzverdoppelung (532nm) und Frequenzverdreifachung (355nm) bekommt man grünes bzw. blaues Licht

Wirtsmaterial: YLF

YLF ist ein LiYF_4 Kristall

- emittiert 1047 nm, 1053 nm, 1313 nm und 1321 nm:
- polarisationserhaltender Kristall
- weil dn/dT klein ist, sind thermische Linseneffekte geringer ausgeprägt

Durch hohe Pulsenergie werden sie als Pumplaser für Ti:Saphir Laser eingesetzt

Wirtsmaterial: Glas (SiO_2)

Wichtige Unterschiede:

- der Neodymanteil ist deutlich höher
- größere Abmessungen des Lasermaterials
 - es kann mehr Energie gespeichert werden
- Wärmeleitfähigkeit ist sehr gering
- wegen der amorphen Struktur ist die Linienbreite 50 mal größer
 - die Pulslänge kann auf wenige ps reduziert werden

Wirtsmaterial: Glas (SiO_2)

Typischer Aufbau eines Nd:Glaslasers

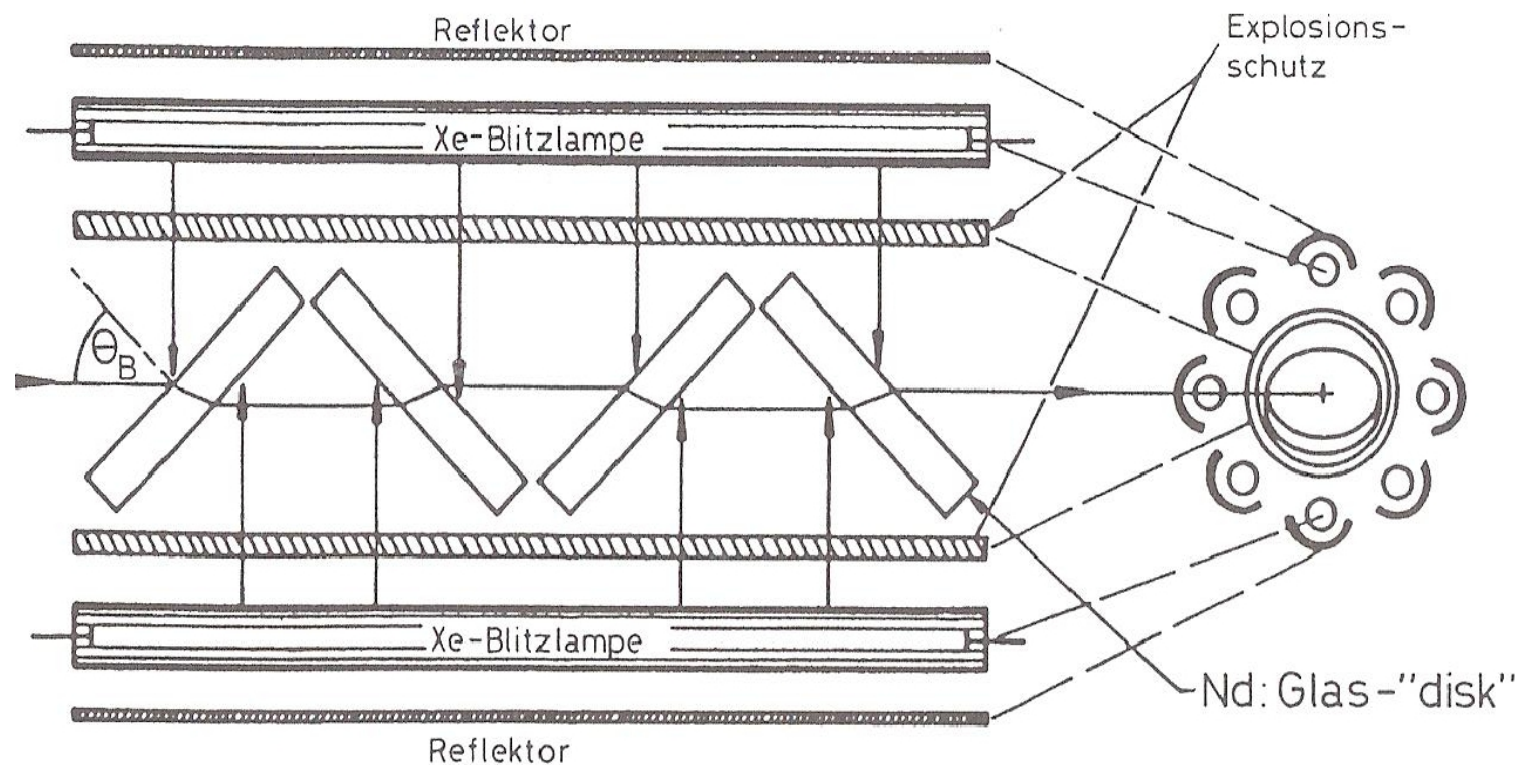


Abb.14 Aufbau eines Nd:Glaslasers

Bauweisen und Pumpverfahren

Pumpverfahren



Blitzlampengepumpt

- es wird mit weißem Licht
gepumpt

Lasergepumpt

- es wird eine bestimmte
Wellenlänge gepumpt

Pumpen mit Blitzlampen

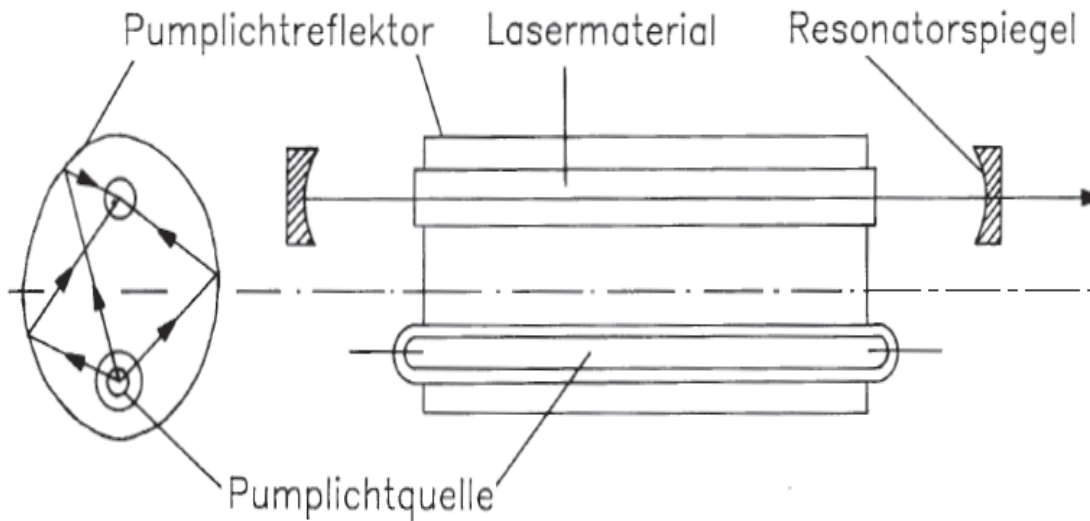


Abb.15 Aufbau eines Blitzlampen gepumpten Lasers

- Hochdruck-Xe-Lampe
- Wirkungsgrad ist gering

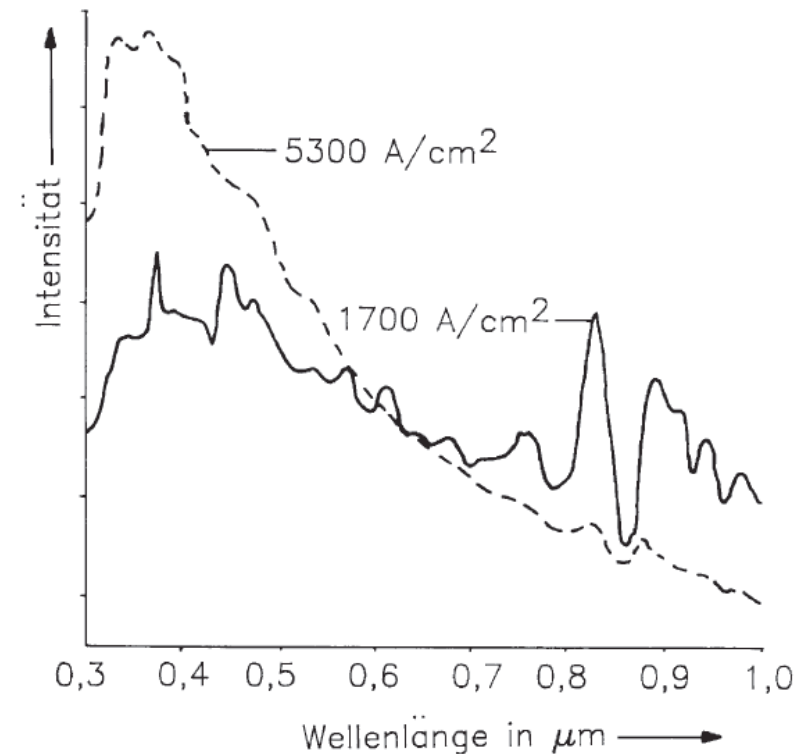
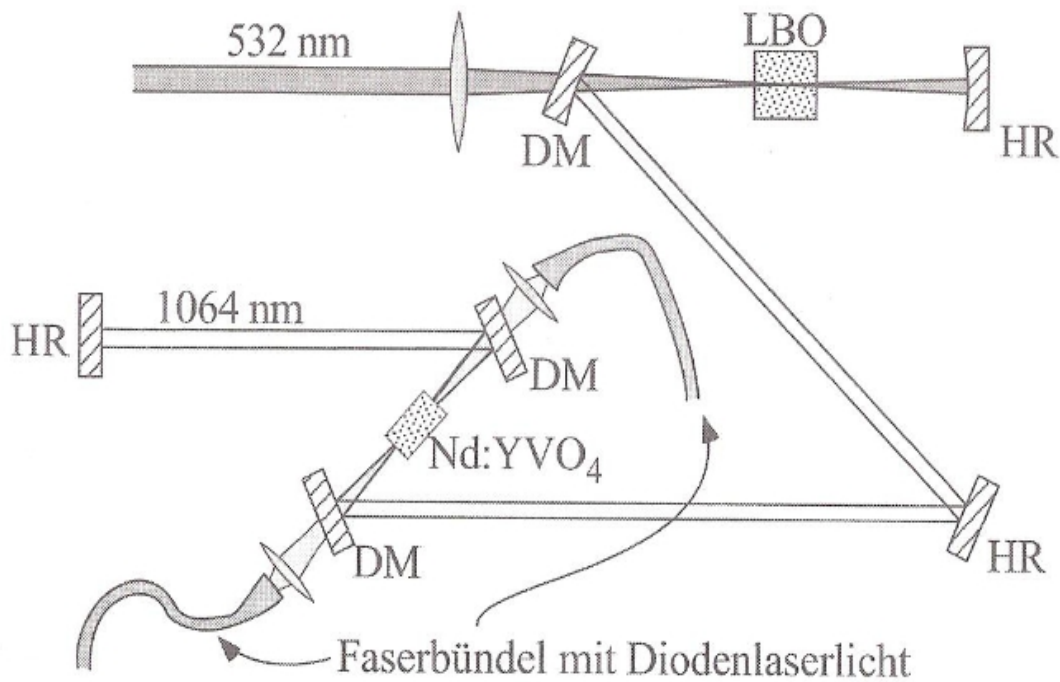


Abb.16 Emissionsspektrum einer Xe-Lampe

Pumpen mit Diodenlaser



- 808 nm Diodenlaser
- Wirkungsgrad ist hoch

Abb.17 Z-Aufbau eines Diodengepumpten Lasers

Güteschaltung

- Erzeugung von kurzen Lichtimpulsen mit stark erhöhter Intensität
- Lichtpulse von wenigen Nanosekunden sind möglich

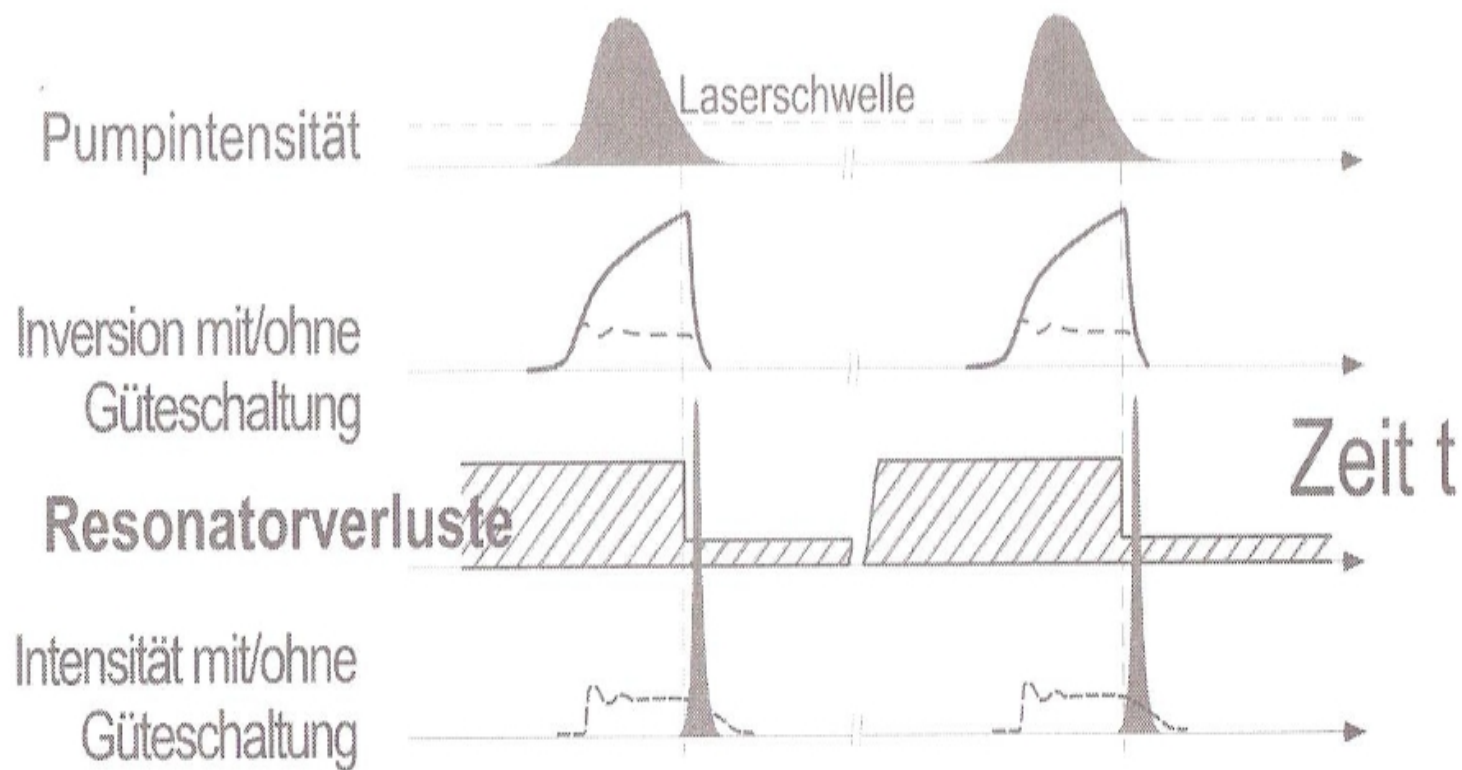


Abb. 18 Laseroszillation mit und ohne Güteschaltung

Güteschaltung

Man unterscheidet zwischen aktiver und passiver Güteschaltung

aktive Güteschaltung:

- Pockels-Zelle
- Akustooptischer Modulator
- Rotierendes Prisma

passive Güteschaltung:

meist sättigbare Absorber der die Wellenlänge des Lasers absorbiert

Güteschaltung

- Resonatorverluste maximal
- Inversion steigt an

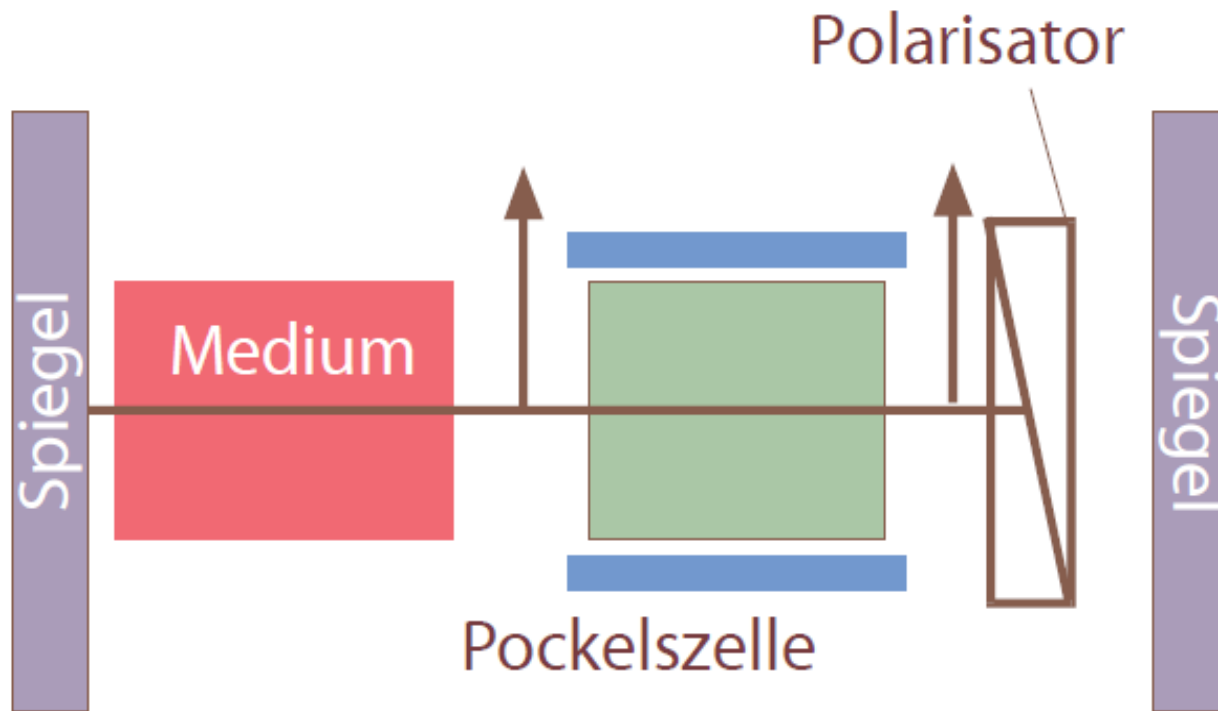


Abb.19 Güteschaltung (Verlust ist maximal)

Güteschaltung

- Resonatorverluste werden minimiert
- Laserpuls wird emittiert

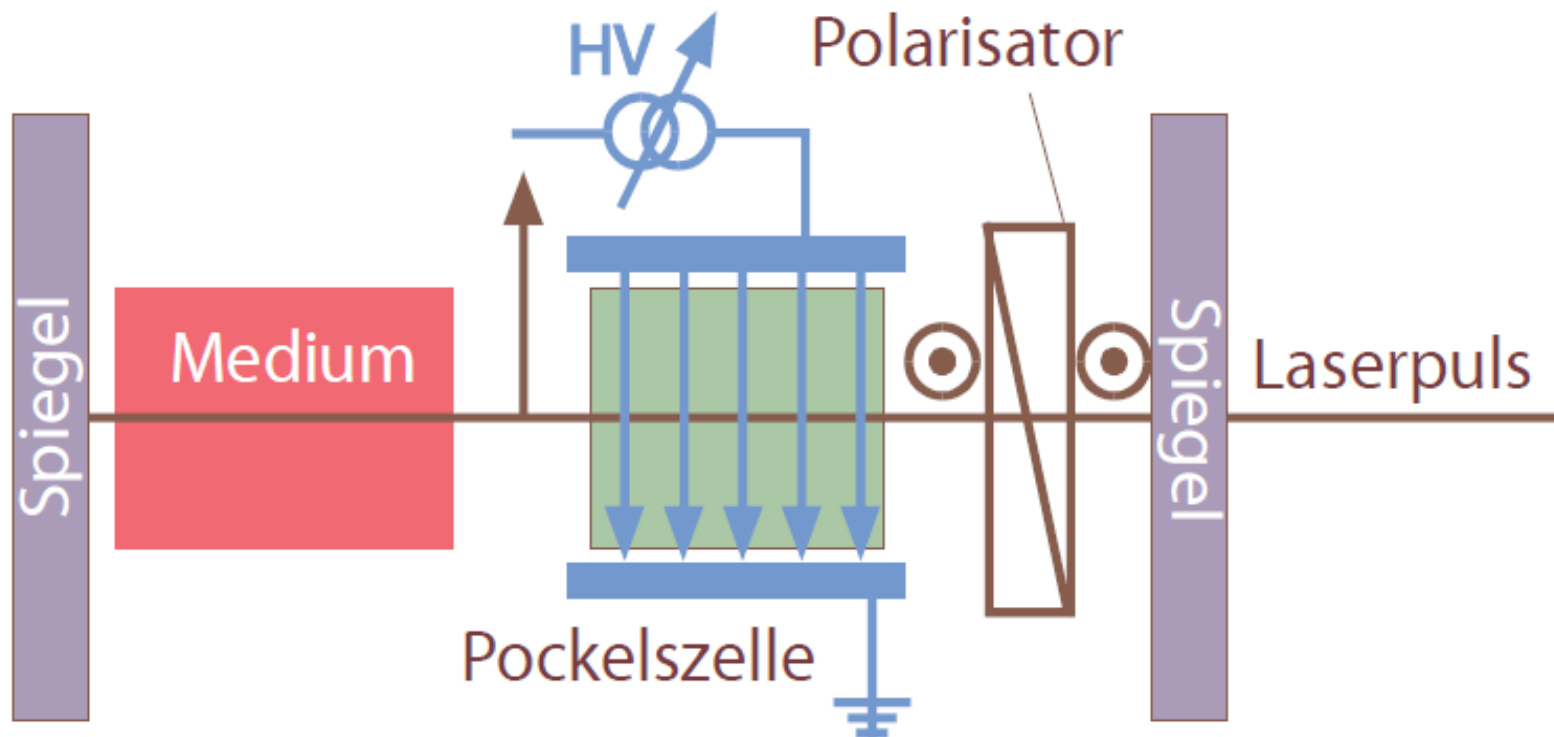


Abb.20 Güteschaltung (Verlust ist minimal)

Zusammenfassung

- Neodymlaser sind 4-Niveau-Laser
- Kristalle und Glas können leicht mit Neodym als Fremdion dotiert werden
- als gängige Wirtsmedien zählen: YAG, YVO, YLF und Glas
- Pumpverfahren: Blitzlichtpumpen und Laserpumpen
- Eine Güteschaltung dient zur Erzeugung von Laserpulsen

Quellen

Literatur:

Dieter Meschede: Optik, Licht und *Laser*, ISBN 978-3-7351-0143-2

Fritz Kurt Kneubühl, Markus Werner Sigrist: *Laser*, ISBN 978-3-7351-0145-6

Marc Eichhorn: *Laserphysik*, ISBN 978-3-642-32647-9

J. Eichler, H.J. Eichler: *Laser Bauformen, Strahlführung, Anwendung*, ISBN 3-540-00376-2

Andere Quellen:

<https://lasers.lnl.gov/> (11.05.2015)

<http://www.wikipedia.org/> (01-12.05.2015)

Quellen

Quellen der Abbildungen:

<http://www.northropgrumman.com/BusinessVentures/SYNOPTICS/Products/LaserCrystals/Pages/NdYV04.aspx> (10.05.2015)

http://www.scientificmaterials.com/products/nd-yag_yttrium_aluminum_garnet.php (10.05.2015)

http://3.bp.blogspot.com/-3PoEpDQlavc/T5VhV5WTFzI/AAAAAAAAAZc/ITae6ni_uCw/s1600/IMG_1069.jpg (10.05.2015)

<http://shop.laser-gruener.de/3d-crystal/tiere-menschen?limit=all> (10.05.2015)

http://www.bundespolizei.de/DE/06Die-Bundespolizei/Aufgaben-Verwendungen/Luftsicherheit/laserpointer_anmod.html (10.05.2015)

Yoichi Sato and Takunori Taira: *Variation of the stimulated emission cross section in Nd:YAG caused by the structural changes of Russell-Saunders manifolds*

<http://opticalengineering.spiedigitallibrary.org/article.aspx?articleid=1096437> (13.05.2015)

Rolf Neuendorf: Grundlagen der Laser-Operation, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg