



LASER - Kristalle und Keramiken

Karin Schulze Tertilt

Christine Rex

Antje Grill

Inhalt

- **Was ist ein Laser?**
 - » Definition
 - » Aufbau
 - » Vergleich mit anderen Lichtquellen
- **Theorie des Lasers**
- **Festkörperlaser**
 - » Nd:YAG
 - » Verfahren zur Kristallzüchtung
- **Optokeramiken**
- **Anwendungen von Lasern**
- **Quellenangabe**

Was ist ein Laser?

Definition:

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

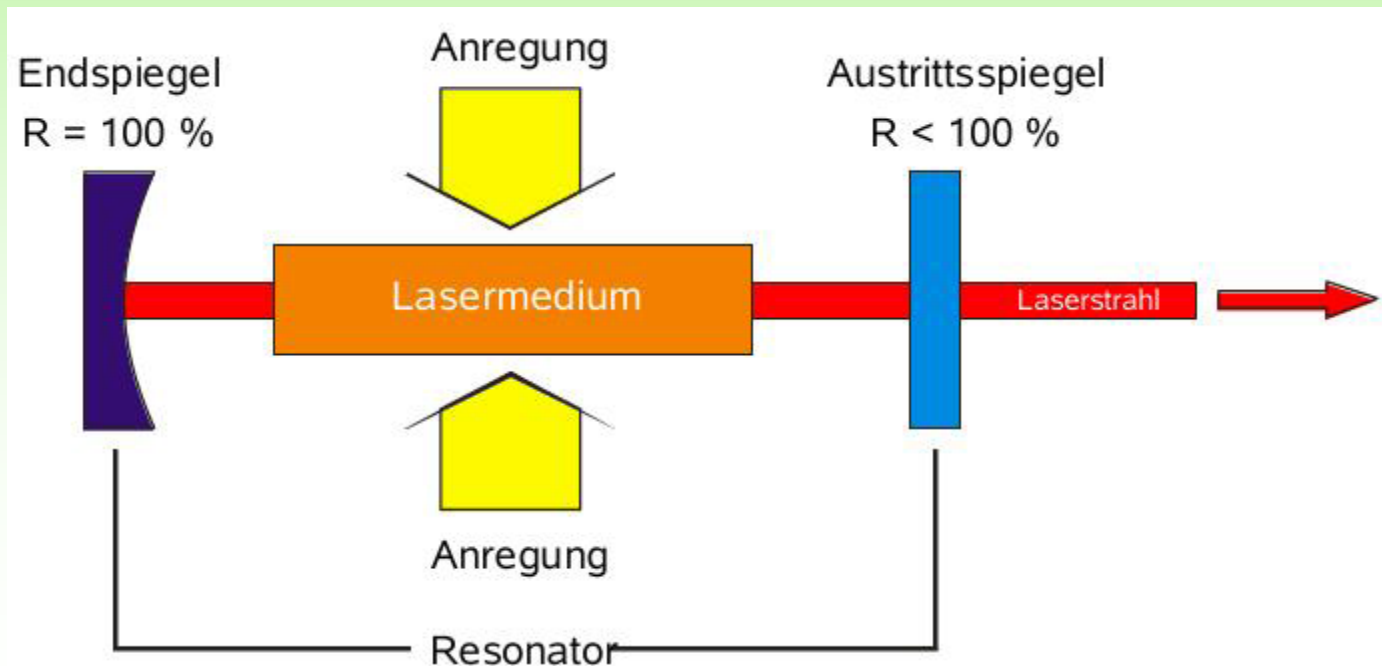
(Lichtverstärkung durch stimulierte Strahlungsemission)

⇒ Nicht nur Lichtverstärkung sondern auch Lichtsender

Was ist ein Laser?

Aufbau:

- lichtverstärkendes Medium
- ein aus Spiegelgebildeter Resonator
- externe Energiequelle (Pumpquelle)



Vergleich mit anderen Lichtquellen

Laser:

stark gebündelter, gerichteter Strahl → räumliche Kohärenz
monochromatisch → zeitliche Kohärenz

monochromatisches Licht:

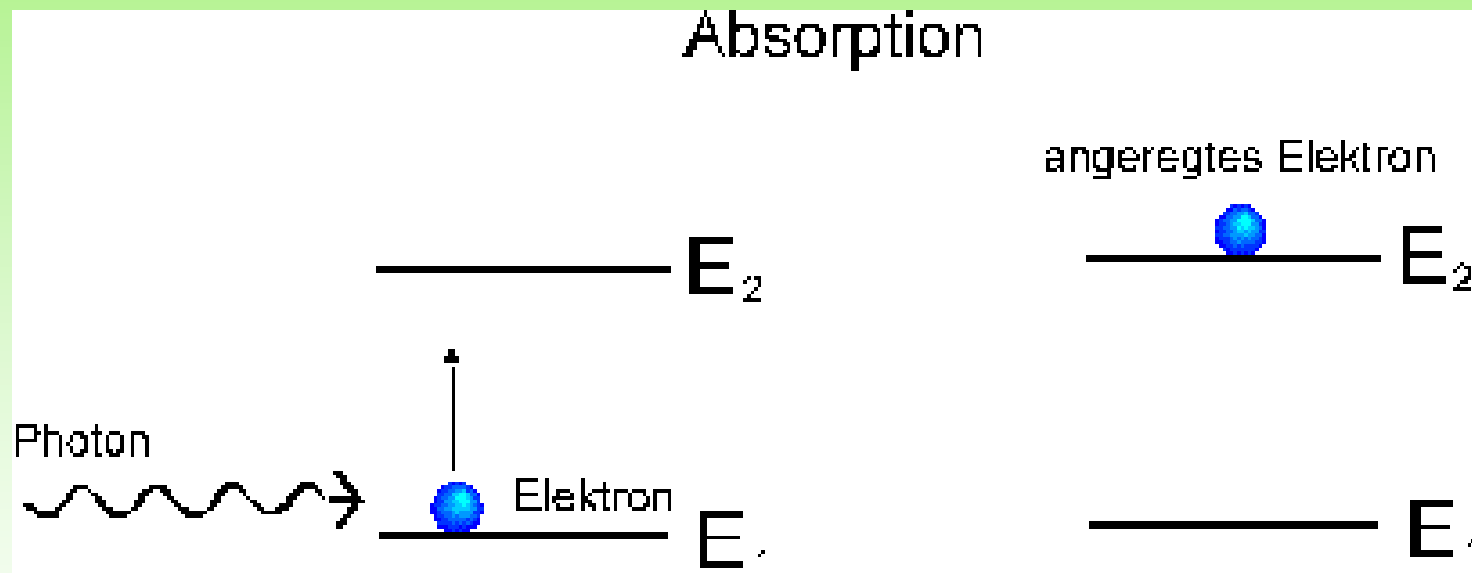
zeitliche Kohärenz, ohne räumliche Kohärenz

dagegen Glühlampe:

weder zeitliche noch räumliche Kohärenz

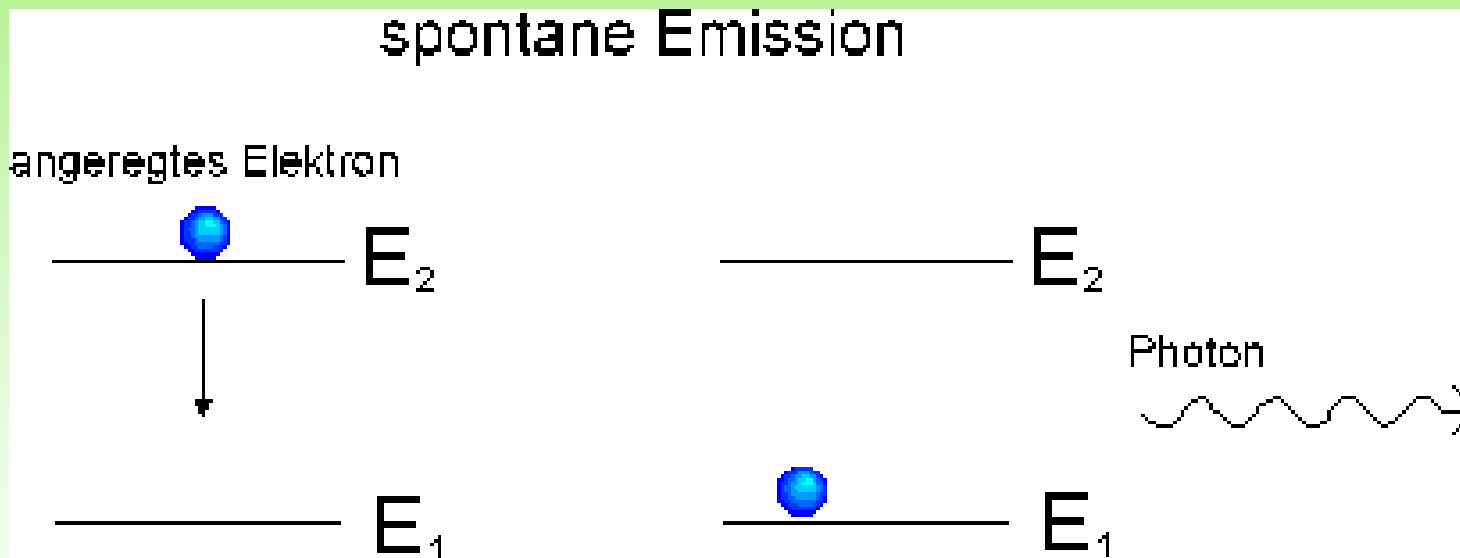
Theorie des Lasers

1. Absorption:



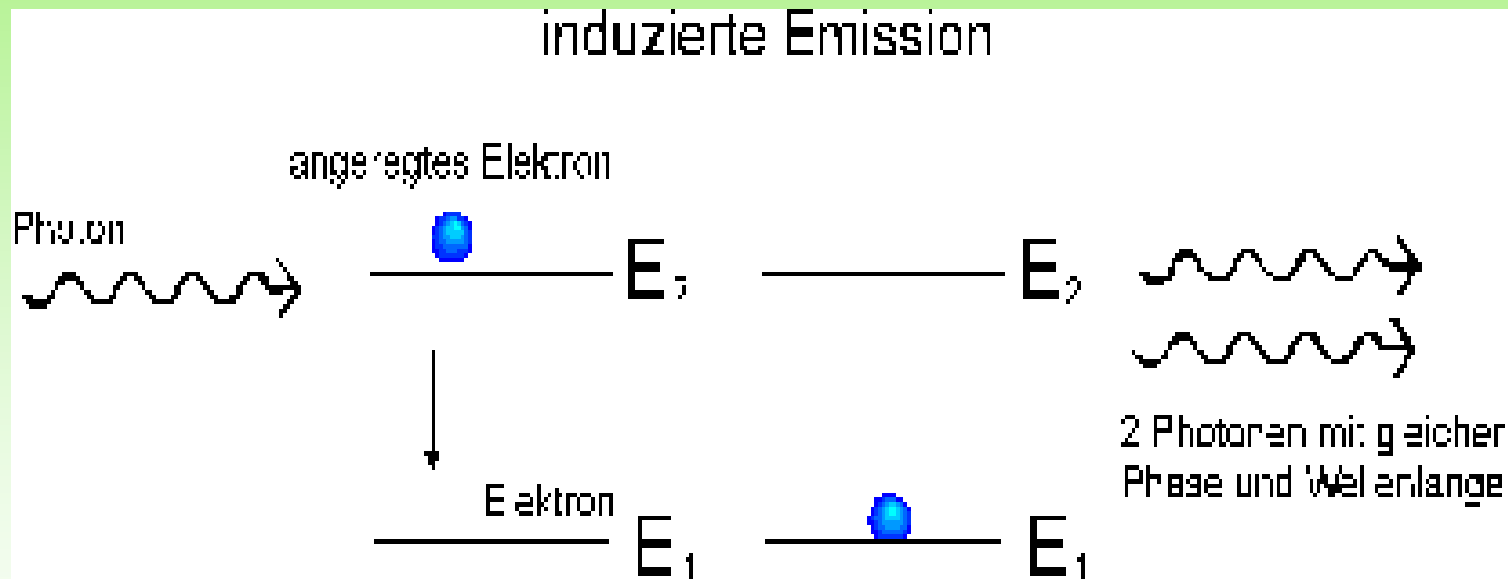
Theorie des Lasers

2. spontane Emission:



Theorie des Lasers

3. Induzierte Emission:



Theorie des Lasers

Besetzungsinversion:

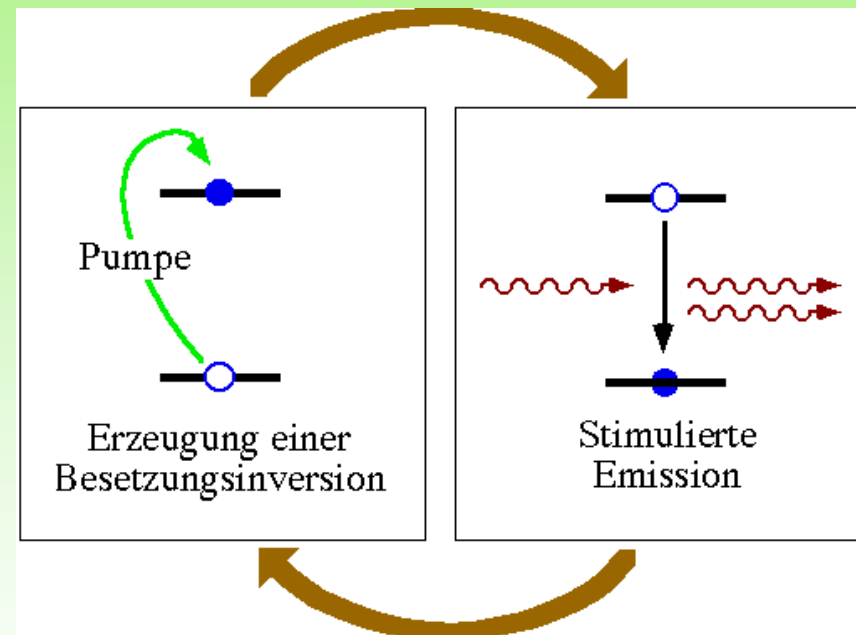
- Wird erreicht, wenn mehr Elektronen in einem energetisch höheren Zustand vorliegen als in einem niedrigeren Zustand
⇒ Problem, da das niedrigere Energieniveau im thermodynamischem Gleichgewicht eher besetzt wird (Boltzmann-Statistik!)

Lösung bei Lasern: durch sog. „pumpen“.

Theorie des Lasers

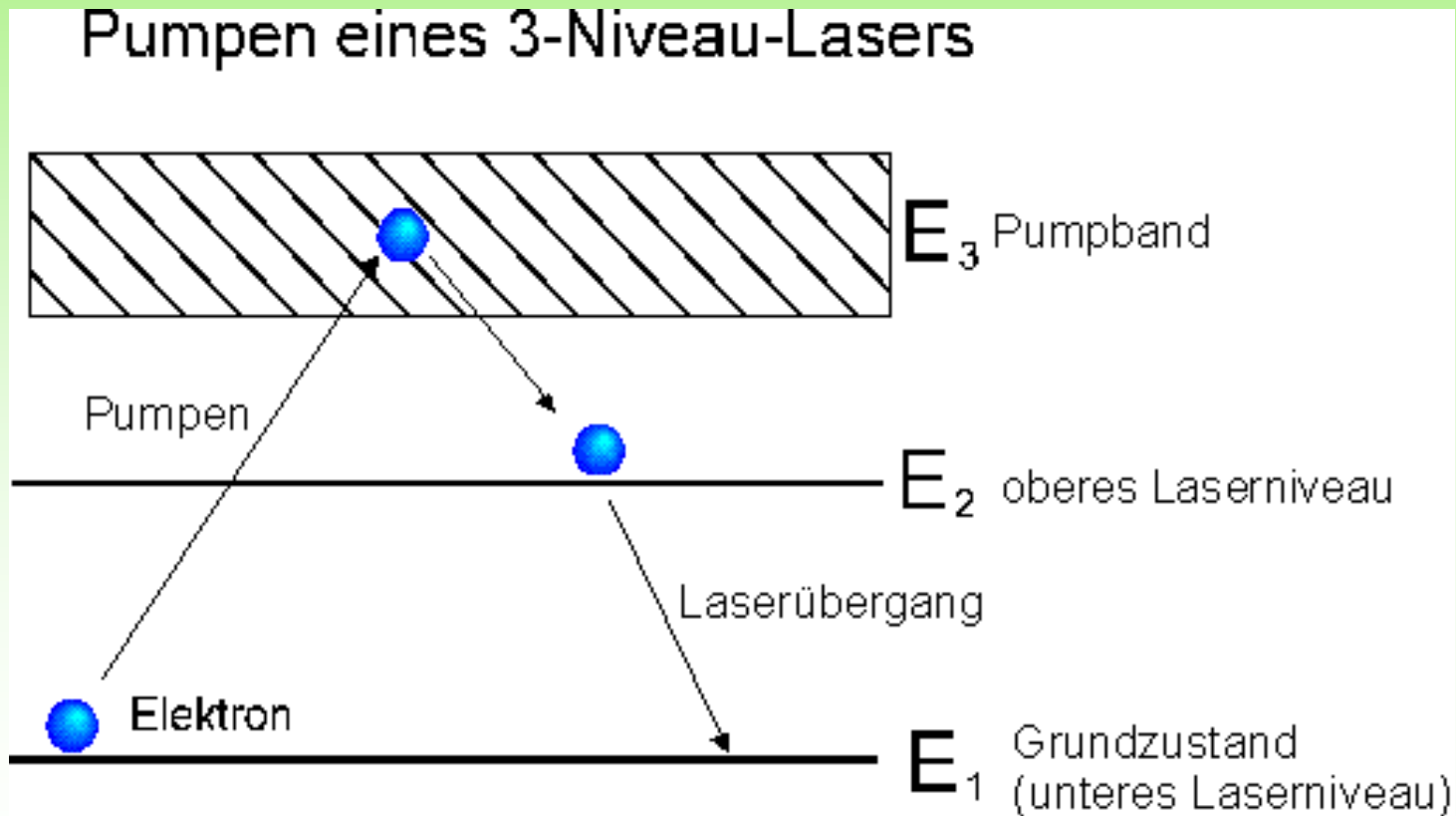
Funktionsweise:

- In einem zyklischen Prozess absorbieren Atome im Verstärkungsmedium die Energie der Pumpquelle und geben sie in Form von Photonen wieder ab.
- Jedes neue Photon ist bzgl. Phase, Wellenlänge und Richtung identisch mit den schon vorhandenen, sodass sich schnell ein starker und gerichteter Lichtstrahl aufbauen kann.



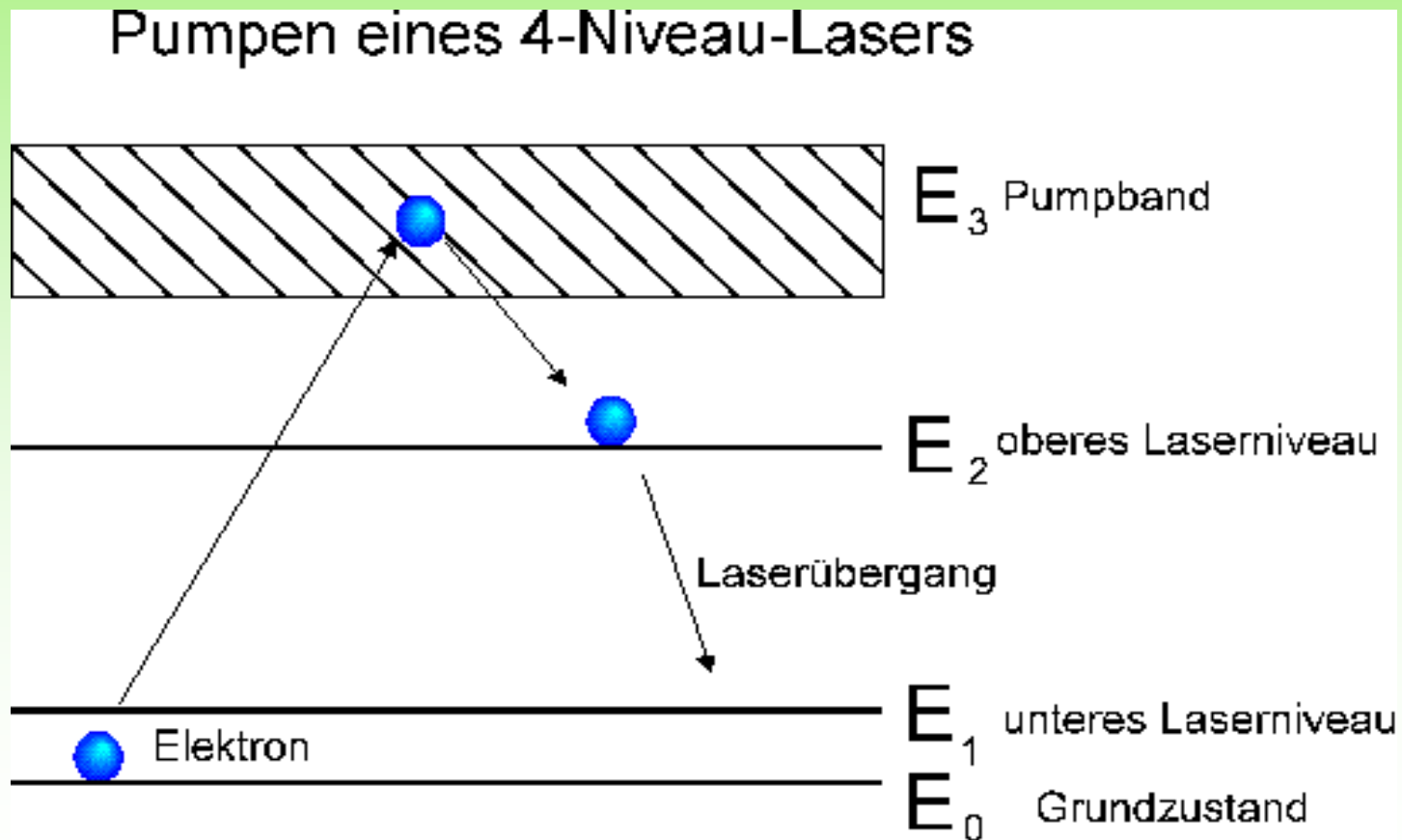
Theorie des Lasers

3-Niveau-Laser:

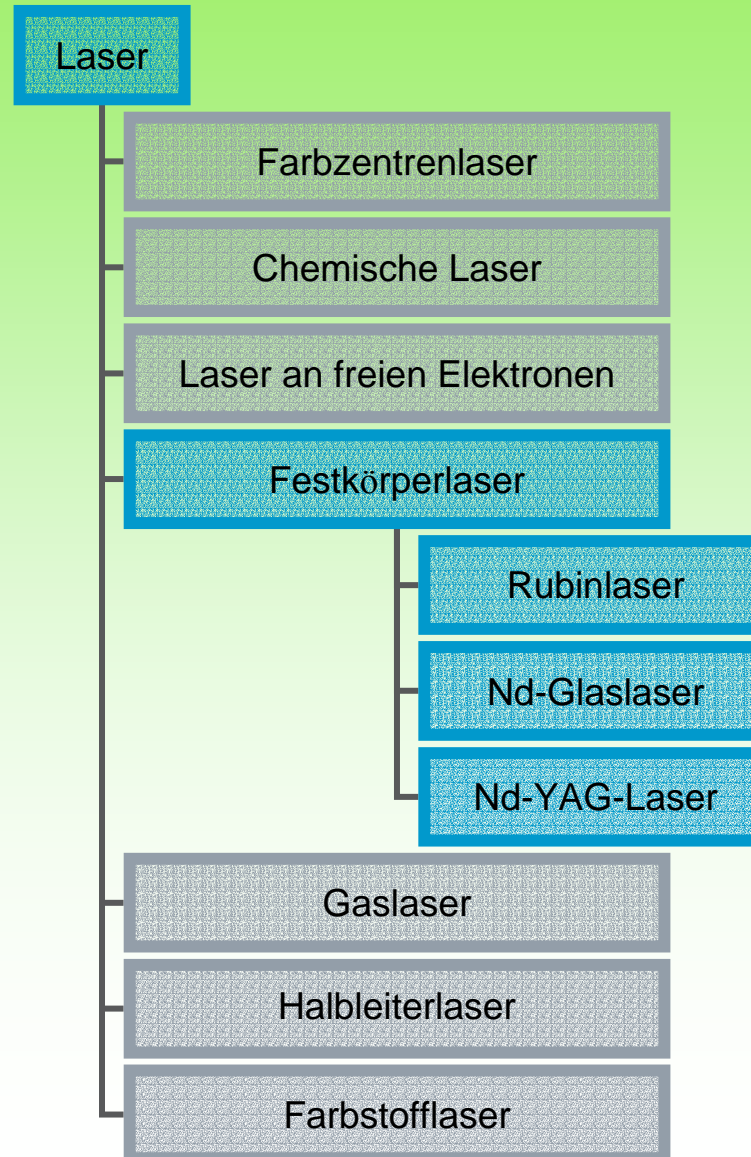


Theorie des Lasers

4-Niveau-Laser:



Übersicht verschiedener Lasertypen



Festkörperlaser

Nd:YAG-Laser

Wirtskristall: Yttrium-Aluminium-Granat: $Y_3Al_5O_{12}$

- farblos, isotrop, kubisch
- geeignete mechanische und thermische Eigenschaften
- gute Wärmeleitfähigkeit $W/m \cdot K$
- Dotierung in der Schmelze mit Nd_2O_3
- ca. 1 % der Y^{3+} -Ionen werden durch Nd^{3+} ersetzt

Festkörperlaser

Nd:YAG-Laser

- Nd³⁺-Ionen bilden das eigentliche Lasermedium
- sehr gut nutzbares 4-Niveau-System
- Länge bis zu 150 mm
- Durchmesser bis zu 10 mm
- emittiert IR-A Strahlung der Wellenlänge 1064 nm
- Laserstrahlung lässt sich über Glasfasern leiten (Kommunikation)



Festkörperlaser

Nd:YAG-Laser

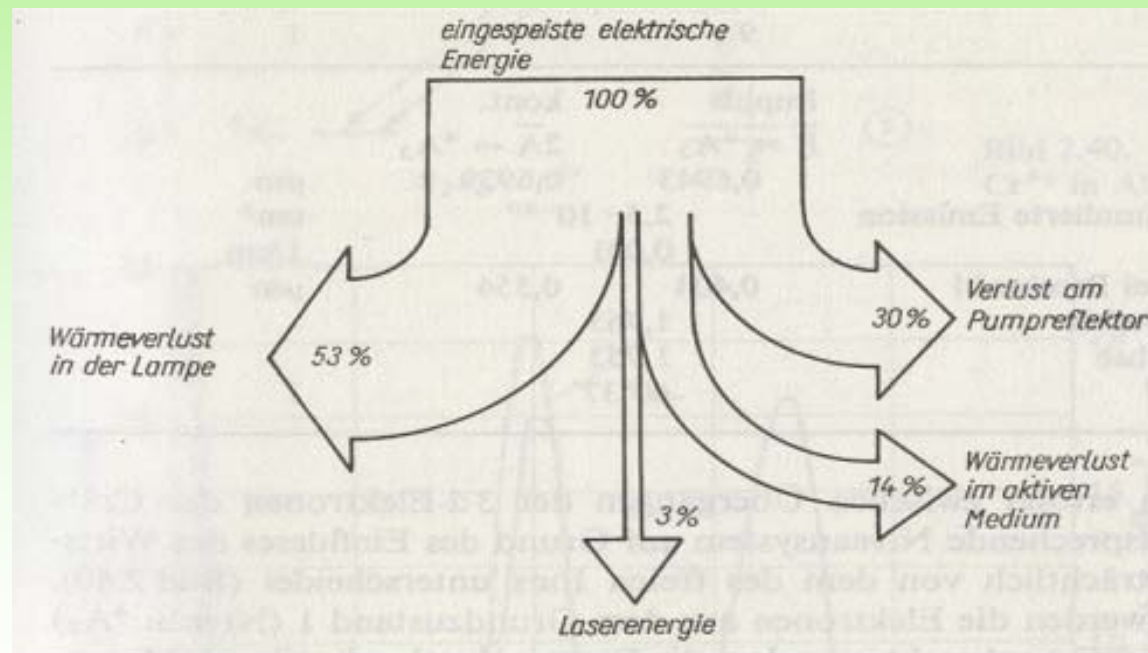
- Optisch gepumpt
- notwendige Energie wird von außen durch Licht zugeführt
- früher: Blitzentladungslampen
- heute: Laserdioden (AlInGaN)

Festkörperlaser

Nd:YAG-Laser

Energiebilanz

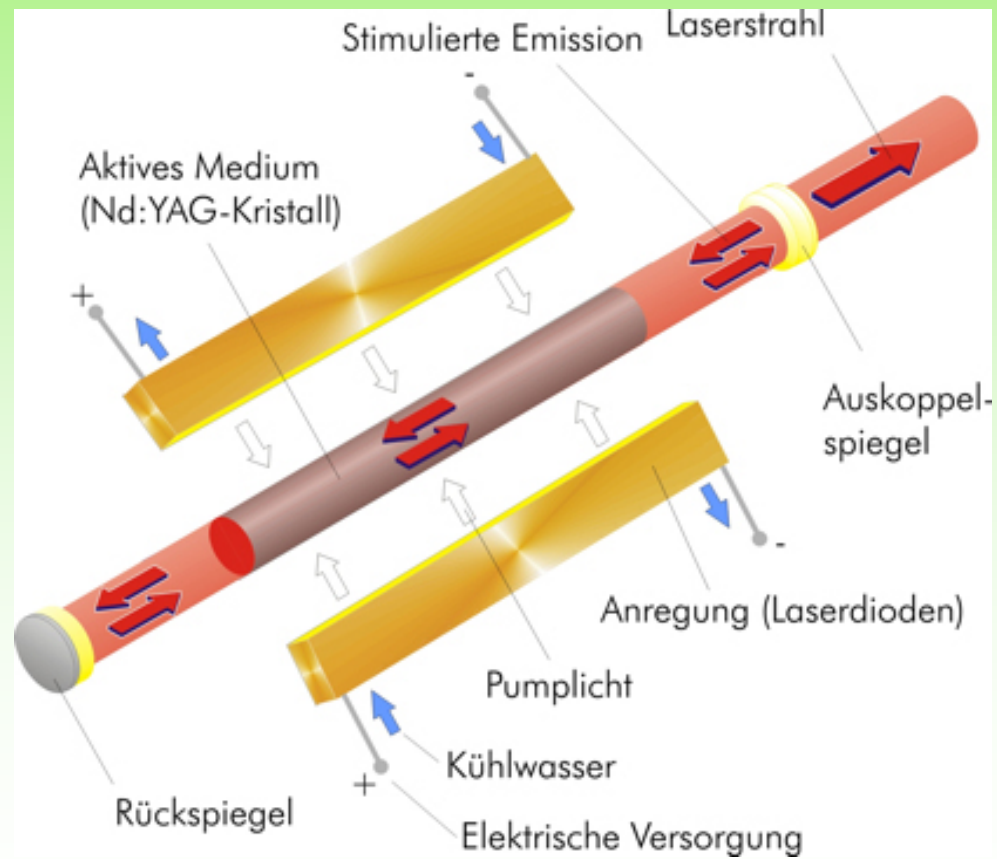
- Laser-Dioden: Wirkungsgrad von bis zu 50 - 80%



Relative Energiebilanz einer Pumplichtanordnung mit einer Kr-Bogenlampe zum Pumpen eines cw-Nd:YAG-Lasers

Festkörperlaser

Nd:YAG-Laser



Verfahren zur Kristallzucht

- Durch systematische Zucht lassen sich sauber strukturierte Kristalle bilden
- Es lassen sich Kristalle züchten, die in der Natur nicht vorkommen
- Entstehung von Kristallen hängt u.a. ab von
 - Prozesstemperatur
 - Keimbasis
- Die Züchtung von Kristallen kann aus Schmelzen, Lösungen und aus der Gasphase erfolgen
- Verfahren richtet sich nach den Anforderungen des Produktes

Verfahren zur Kristallzucht

Unterteilung:

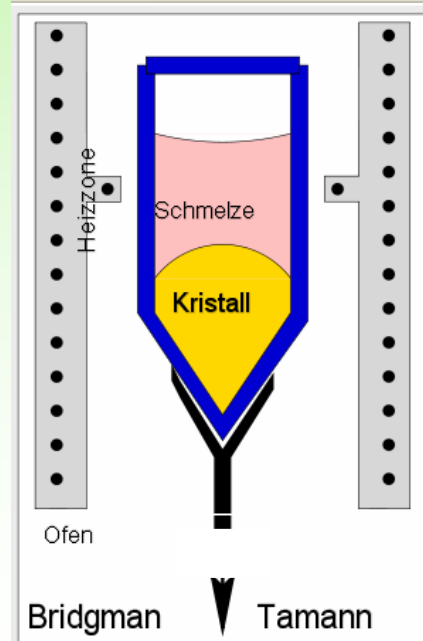
- einfache gerichtete Erstarrung (Bridgman-, Czochralski-Verfahren)
- Erstarrung aus einem konstanten Schmelzvolumen
→ Tiegel- oder tiegelfreie Methoden
(Zonenschmelz-Verfahren)
- sonstige (Verneuil-Verfahren)

Bridgman-Verfahren

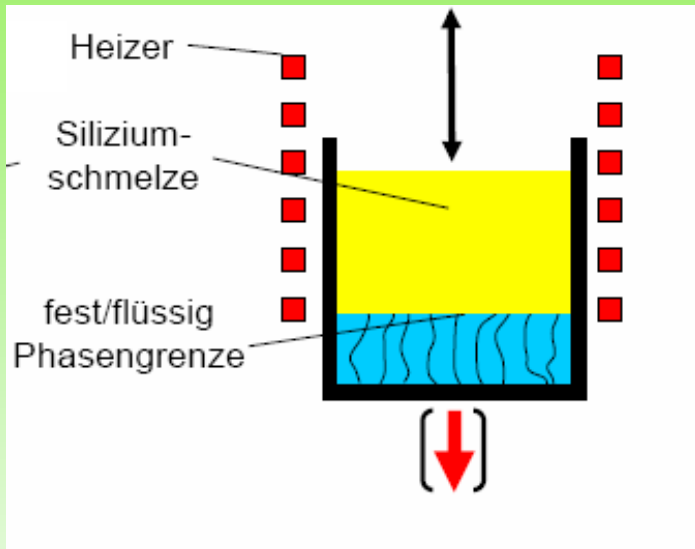
➤ Man unterscheidet zwei Verfahren:

Vertical Gradient Freeze (VGF)

Horizontal Verfahren (HB)



Bridgman-Verfahren (VGF)



- gerichtete Erstarrung im vertikalen Tiegel, Rohr oder Ampulle
- Tiegel wird im Temp.gradienten im Ofen abgesenkt

- mit Unterschreitung der Schmelztemperatur setzt die Kristallisation ein
- Kristallisationsgeschwindigkeit ist abhängig von der Absenkgeschwindigkeit des Tiegels

Wachstumsrate:

1-2 cm/h

Czochralski-Verfahren

- 1916 von Jan Czochralski durch ein Versehen entdeckt
- 1950 kam das Verfahren im großen Maßstab praktisch zum Einsatz
- In der Lasertechnik am häufigsten verwendetes Verfahren zur Züchtung von Einkristallen



- **Kristallgröße:**
30 cm Durchmesser, bis zu 2 m Länge
- **Wachstumsrate:**
5-10 cm/h

Czochralski-Verfahren



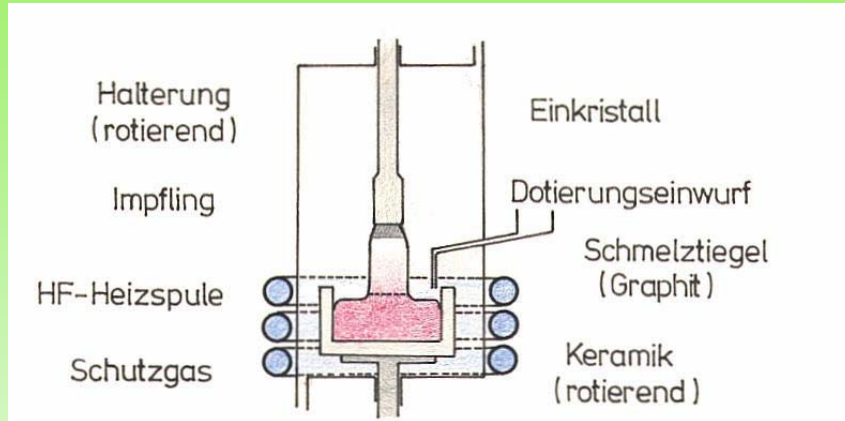
Si-Einkristall zur Waferherstellung



**Einkristalle die Verwendung als aktives
Medium in Laser finden**

$\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Cr}$, $\text{YVO}_4:\text{Nd}$, $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Yb}$, $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}$

Czochralski-Verfahren Ablauf der Züchtung



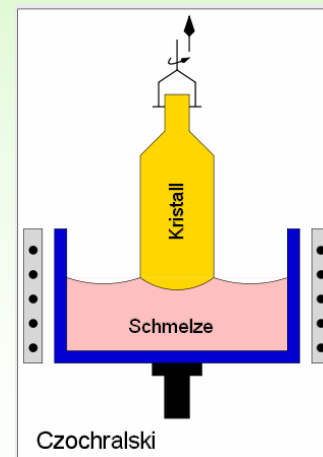
➤ in einem Tiegel befindet sich eine Schmelze des gewünschten Materials

- ein dünner Einkristall von wenigen Millimetern wird an einer gekühlten Ziehstange befestigt
- der Keim wird in Kontakt mit der Schmelze gebracht
- am Impfkristall wächst kontinuierlich Material an
- Temperatur und Ziehgeschwindigkeit bestimmen den Durchmesser des Kristalls

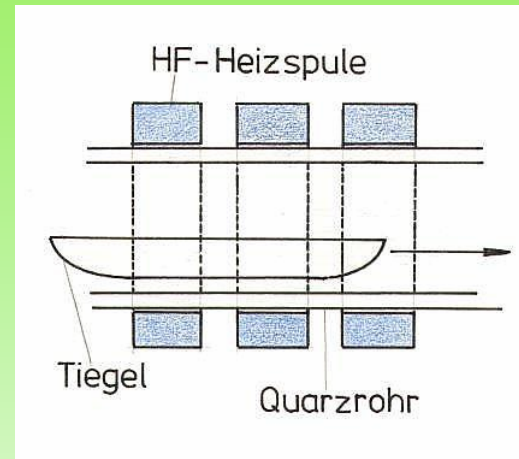
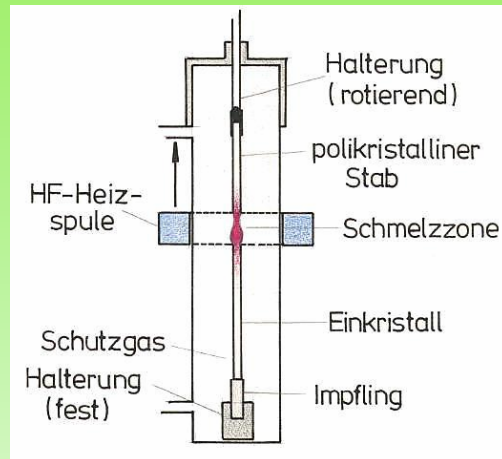
Czochralski-Verfahren

Ablauf der Züchtung

- die Dotierung erfolgt durch Zugabe von Fremdstoffe zur Schmelze
 - durch Rotation des Tiegels und der Ziehstange wird ein gleichmäßiges Durchmischen erreicht
- Vermeidung von Konzentrationsunterschieden in der Schmelze



Zonenschmelz-Verfahren



- nur eine schmale Zone des Materials wird mittels Induktionsheizung geschmolzen
- Rotation des Stabs bewirkt gleichmäßiges Schmelzen
- Schmelzzone wird mit einem Einkristall verbunden und wächst an ihm an
- Schmelzzone wird durch den Stab bewegt: hinter der Schmelze liegt Material als Einkristall vor
- Verunreinigungen bleiben in der Schmelze

Zonenschmelz-Verfahren

- mehrmaliges Anwenden des Verfahrens verbessert die Reinheit
- Dotierung erfolgt mit gasförmigen Stoffen, die der Schmelze beigemischt werden
- **Kristallgröße:**
20 cm Durchmesser, 1 m Länge
- **Wachstumsrate:**
5-20 cm/h

Verneuil-Verfahren

- 1890 vom Chemiker VERNEUIL entwickelt
- auch tiegelfreies Flammenschmelzverfahren genannt
- für Substanzen mit sehr hohem Schmelzpunkt geeignet
- Temperaturen bis 2200°C möglich

- **Kristallgröße:**

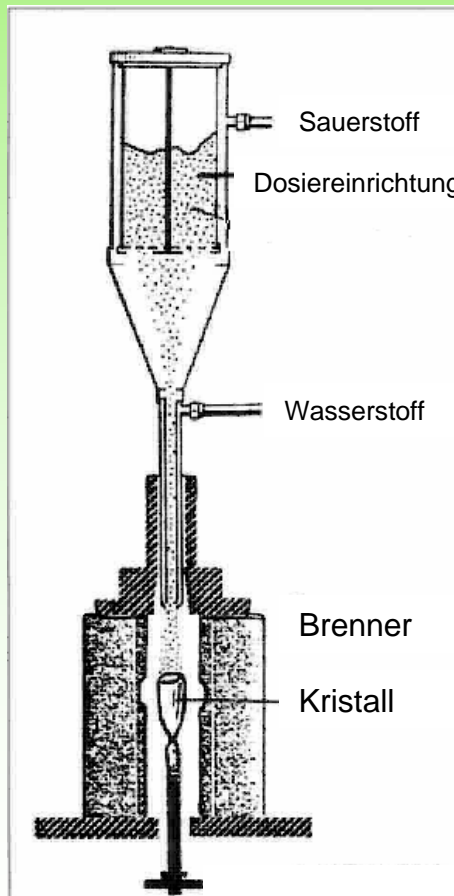
2-5 cm

- **Wachstumsrate:**

5-20 cm/h



Verneuil-Verfahren

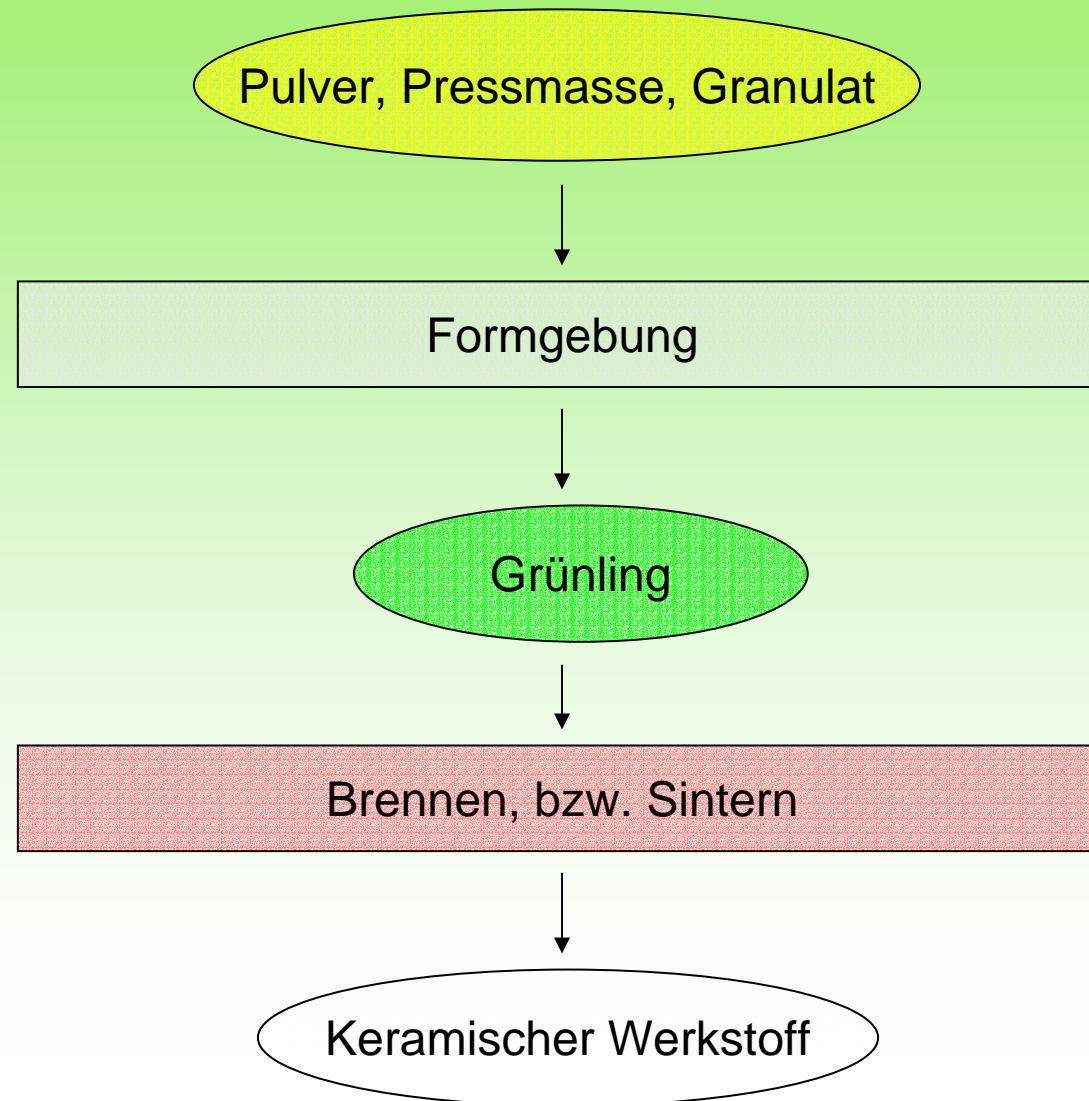


- hochreines pulverförmiges Ausgangsmaterial
- mittels Brenner in Schmelze überführt
- Schmelze wächst am Keimling an
- Schicht für Schicht Aufbau des Kristalls

Probleme der Kristallzuchtverfahren

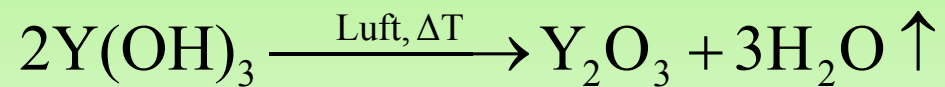
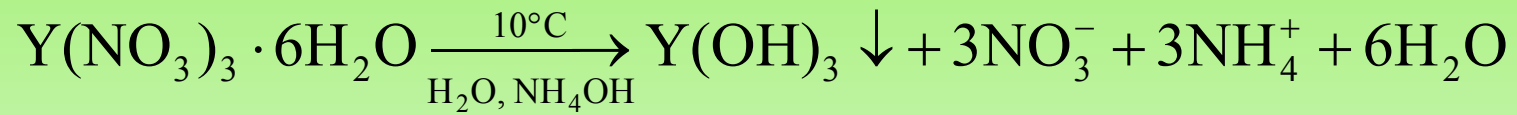
- **Konzentrationsgradient der Dotierungen über die Kristalllänge**
- **Nur relativ geringe Dotierungsgrade realisierbar**

Herstellung von Keramiken

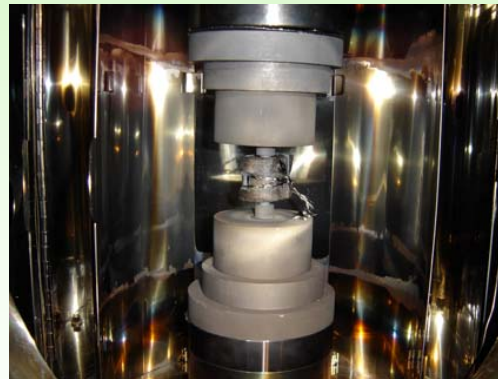


Herstellung transparenter Keramiken

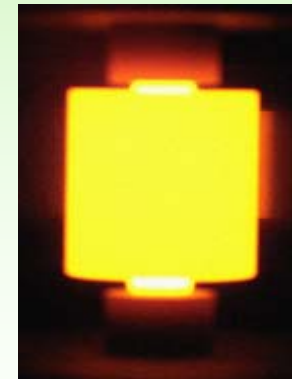
Beispiel Y_2O_3 -Keramik



Natürliches Sintern



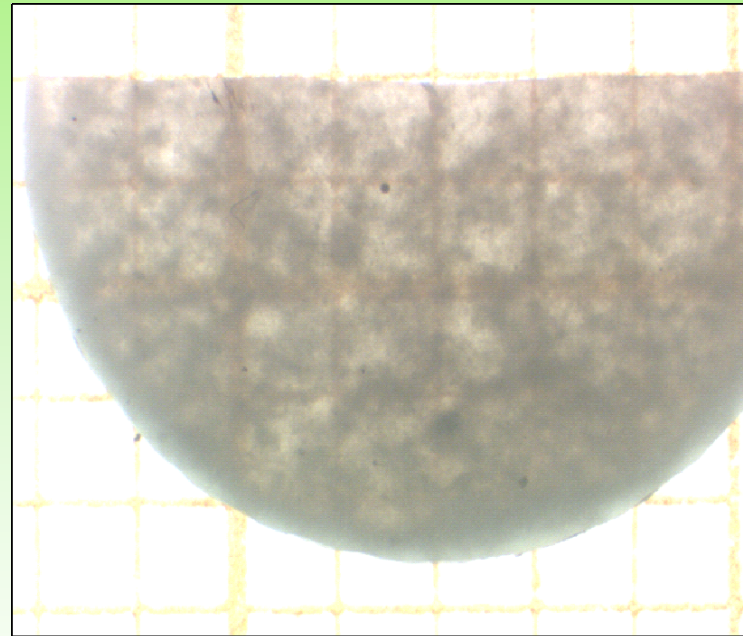
SPS-Anlage



Herstellung transparenter Keramiken

Beispiel Y_2O_3 -Keramik

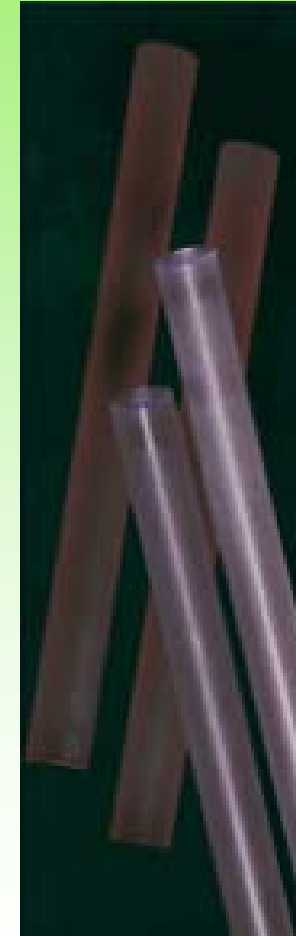
- Natürliches Sintern:
Dichte bis zu 83%
- SPS:
Dichte bis zu 95%



Transparente Keramik nach Sintern in der SPS-Anlage: Y_2O_3 dotiert mit Nd

Keramisches YAG

- hoher Druck und hohe Temperaturen: Herstellung von polykristallinem Nd:YAG
- Polykristallin wie andere keramischen Werkstoffe



Keramisches YAG

Vorteile gegenüber einkristallinen YAG

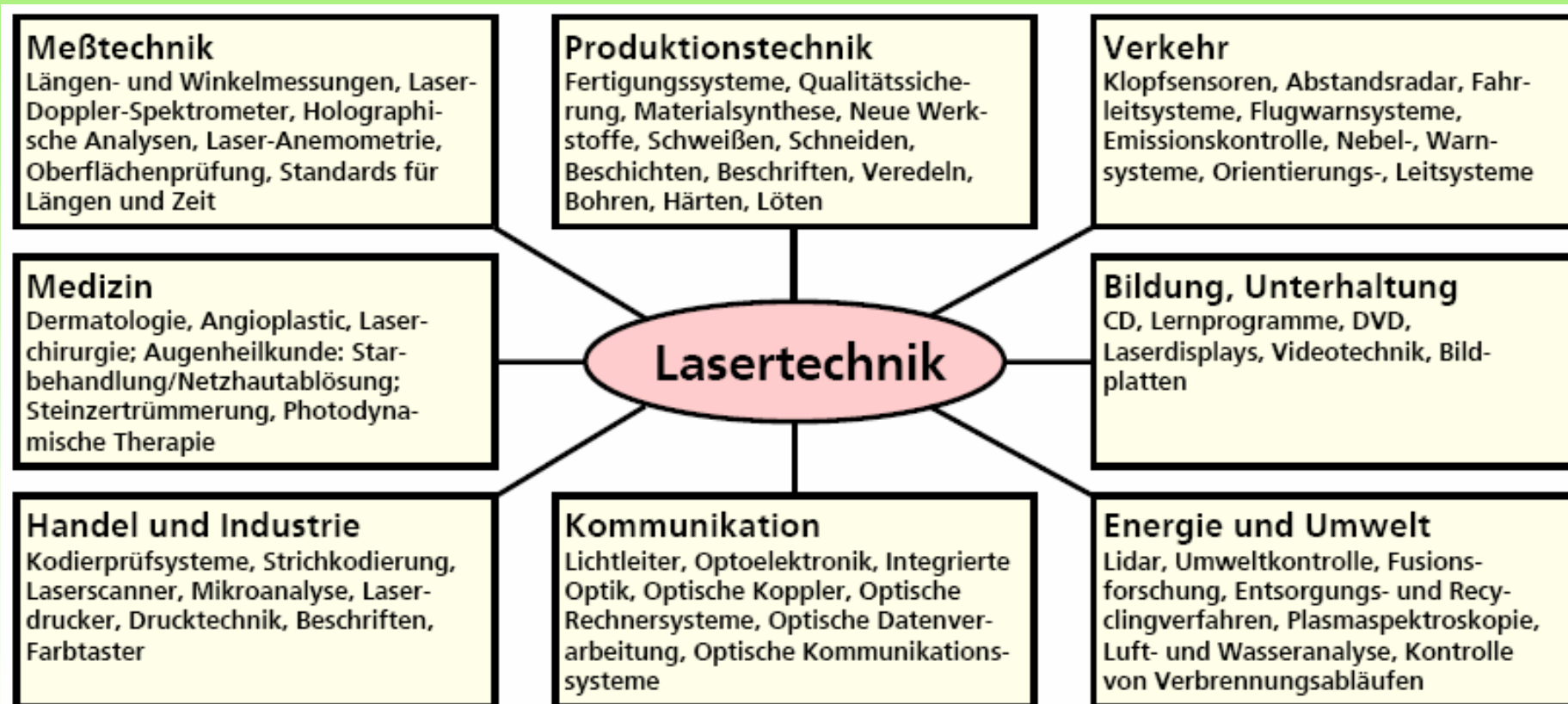
- Formgebung durch Pressen
- Weniger Arbeits- und Zeitaufwand
- Einbau verschiedener Dotierkonzentrationen möglich
- Höhere Dotierungsmöglichkeit
- bruchfester

Keramisches YAG

Vergleich gegenüber einkristallinen YAG

	Nd:YAG-Einkristall	Nd:YAG-Polykristall, keramisch
Nd-Konzentration	0,2% - 1,4%	0,2% - 9%
Bruchzähigkeit	1,61 MPa m ^{1/2}	2,18 MPa m ^{1/2}
Knoop-Härte	1376 kp/mm ²	1504 kp/mm ²
Max. Stabgröße	250 mm x 12,5 mm	400 mm x 12,5 mm

Anwendung von Lasern



Quellenangaben

- Laser (Bauformen, Strahlführung, Anwendung); Jürgen Eichler, Hans-Joachim Eichler
- Physik von Maser und Laser; Albrecht Winnacker
- Lasertechnik - Eine Einführung; Witlof Brunner, Klaus Junge
- <http://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/K%FCnstliche%20Kristalle>
- http://www.ii-vi.de/site/pages_de_de/newsletter/ausgabe_7/keramiken.php
- http://hvg-dgg.com/uploads/media/Fa704b_Clasen.pdf
- www.chemie.uni-marburg.de/~petz/AFPWS5%236/TranspKer.ppt

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

