



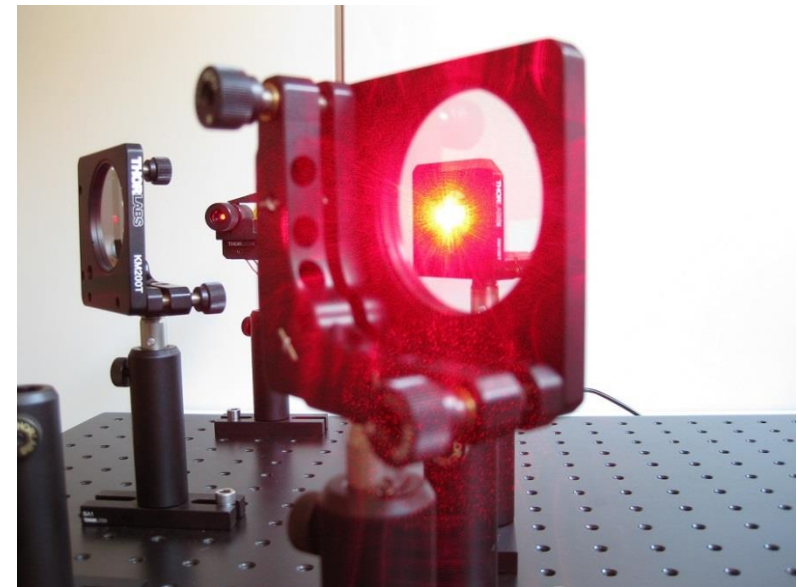
INTERNATIONAL
YEAR OF LIGHT
2015

Moderne Schulexperimente mit Licht

Antje Bergmann

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Theoretische Festkörperphysik

antje.bergmann@kit.edu
<http://psi.physik.kit.edu>



PSI: Physik



Schülerlabor Initiative

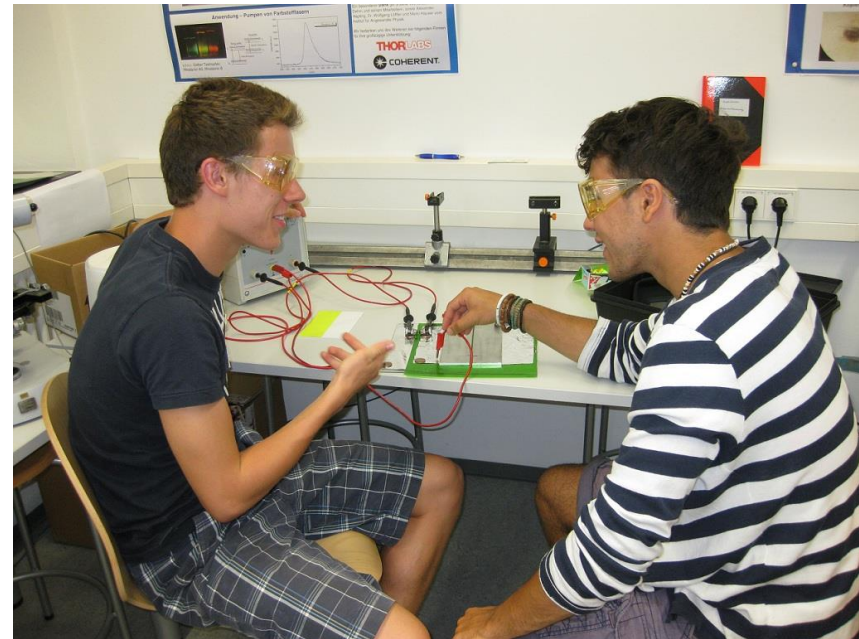
- 1. Die Physik-Schülerlabor-Initiative (PSI) am KIT**
- 2. Hands-on Experimente**
 - 2.1 Stickstofflaser aus dem Baumarkt**
 - 2.2 Datenübertragung mit LEDs**
 - 2.3 3D Kino – selbstgemachte 3D Projektionen**
 - 2.4 Festkörperlaser – grüner Laserpointer selbst gebaut**
- 3. Do it yourself – Quellen und Material**

1. Die Physik-Schülerlabor-Initiative (PSI) am KIT
- eine kurze Einführung



Warum betreiben wir ein Schülerlabor?

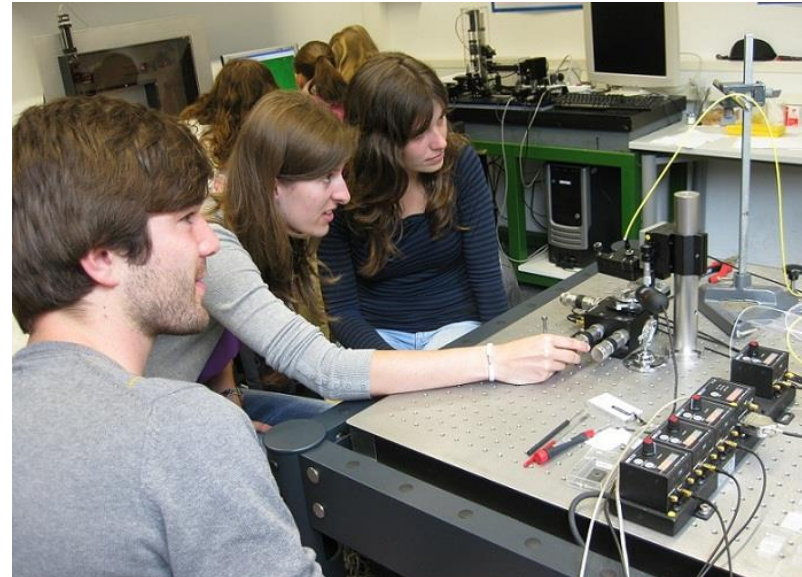
- Wir haben was Schulen nicht haben (Know-how, Equipment) → Experimente in Richtung Wissenschaft, weniger Grundlagenphysik
- Begegnung mit Studenten/Universität/Physikern
- Vorstellung von Physik: ernst, schwierig, trocken ...
→ Schülerlabor soll Ängste nehmen
→ Physik macht Spaß!
- Unterstützung und Förderung von Interessierten/
Begabten



*Steffen und Moritz im Labor -
Kooperation mit dem Hector-Seminar*

Besucher und Angebote

- Oberstufenschüler
- Gruppenbesuche, Kooperationsprojekte, Praktikanten, auch: Öffentlichkeitsarbeit
- Spezielle Workshops, z.B.
 - 2015: "Natur des Lichts"
 - 2016: "Kriminal- und Spionagetechnik"

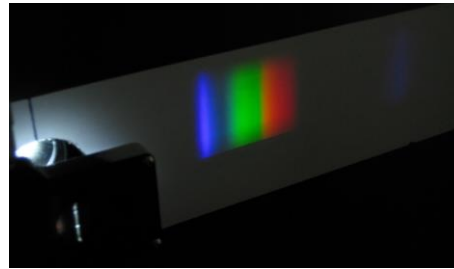


Studentinnen mit Betreuer am Rasterkraftmikroskop

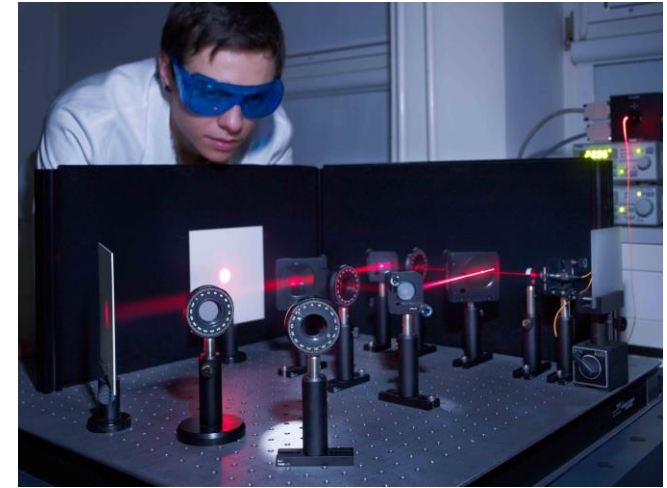
Einige Experimente:



Optische Pinzette



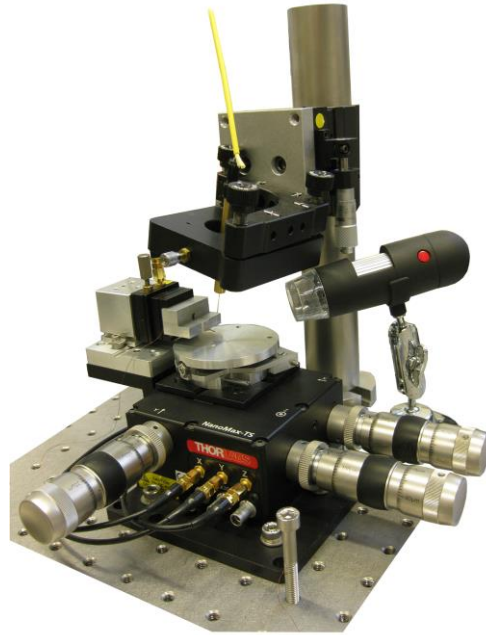
Optische Spektroskopie



Quantenphysik- Analogieexperimente



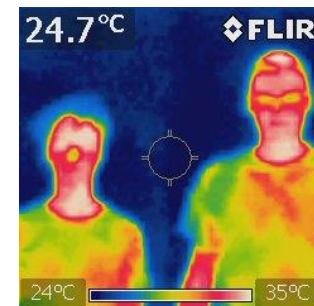
3D Kinotechnik



Rasterkraftmikroskopie



Holographie



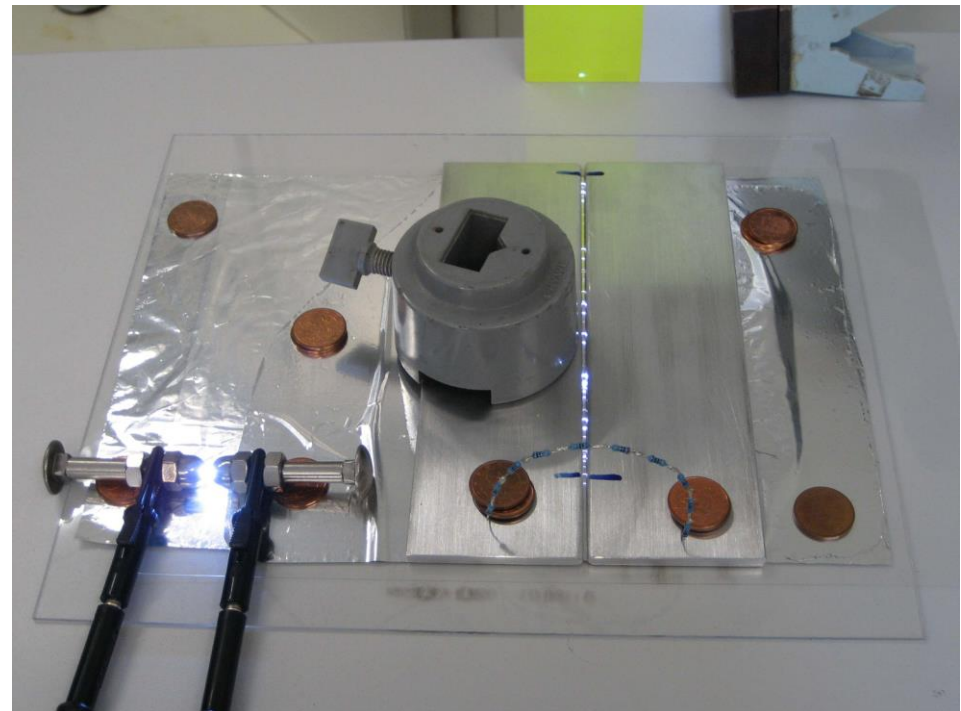
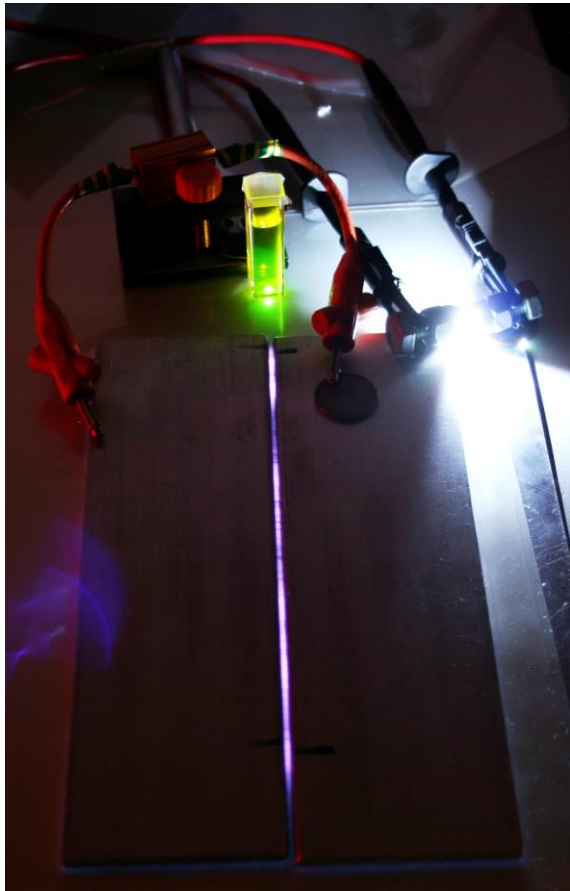
Infrarottechnik

2. Hands-on Experimente

2.1 Stickstofflaser aus dem Baumarkt



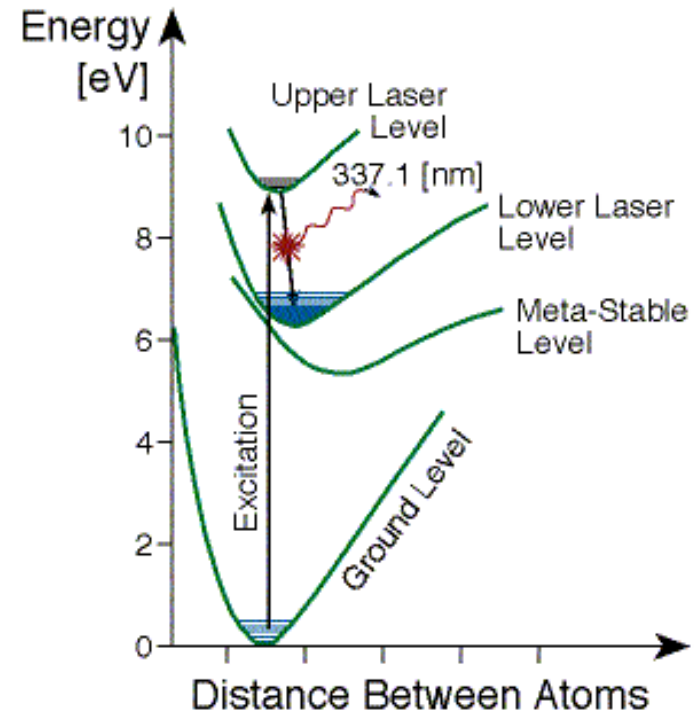
Big Scary Laser
Do not look into beam
with remaining eye



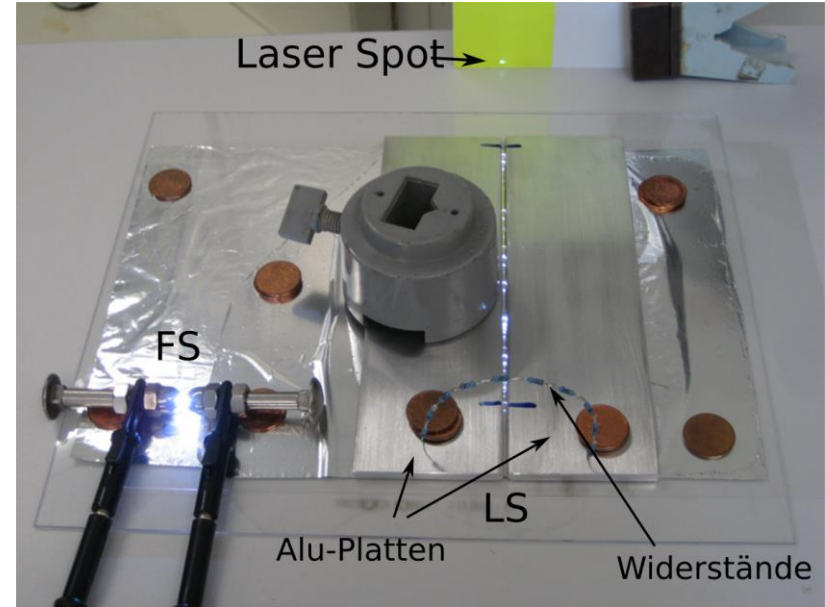
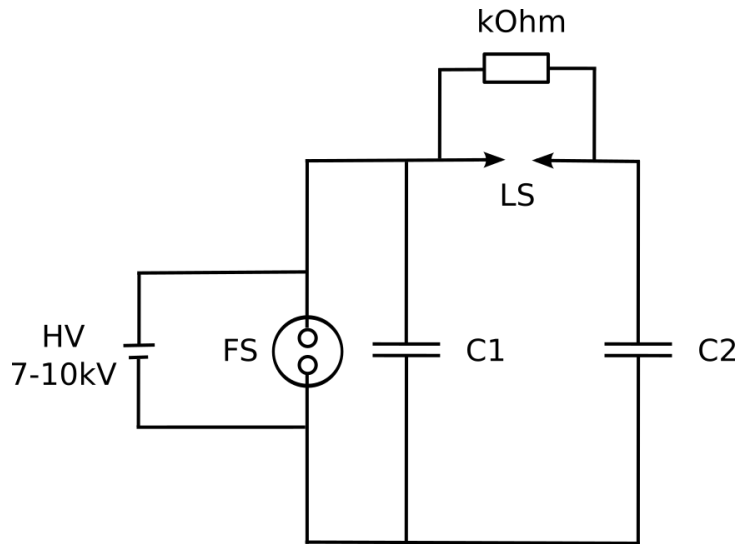
Laseraktivität von Stickstoff

- Aktives Lasermedium: Luft (78% Stickstoff)
- Anregung der Elektronen vom Grundzustand ins obere Laserniveau
- stimulierte Emission ins untere Laserniveau, Photon mit 337.1 nm wird emittiert (UV!)
- Stickstofflaser erreicht Laseraktivität ohne Resonator aufgrund hoher Verstärkung
→ **Superradianz**

Alternativer Name: „Superstrahler“



Blümlein Schaltung



FS: Funkenstrecke

HV: Hochspannung: DC, 7-10kV

LS: Laserstrecke

C1, C2: Kondensatoren

kOhm: Widerstand

- Schrauben ≈ 1€
- Netzgerät (7-10kV)
- Alu-Platten ≈ 2-3€
- Alu-Folie ≈ 1€
- Widerstände ≈ 1€

Sicherheitsaspekte

- Nicht sichtbares UV Licht (337 nm), kurze Pulse (4 – 5 ns) → hohe Pulsleistung (≈10 kW!)

→ Schutzbrille oder Glas-/Kunststoffabdeckung verwenden

- Hochspannung

→ Strombegrenzung

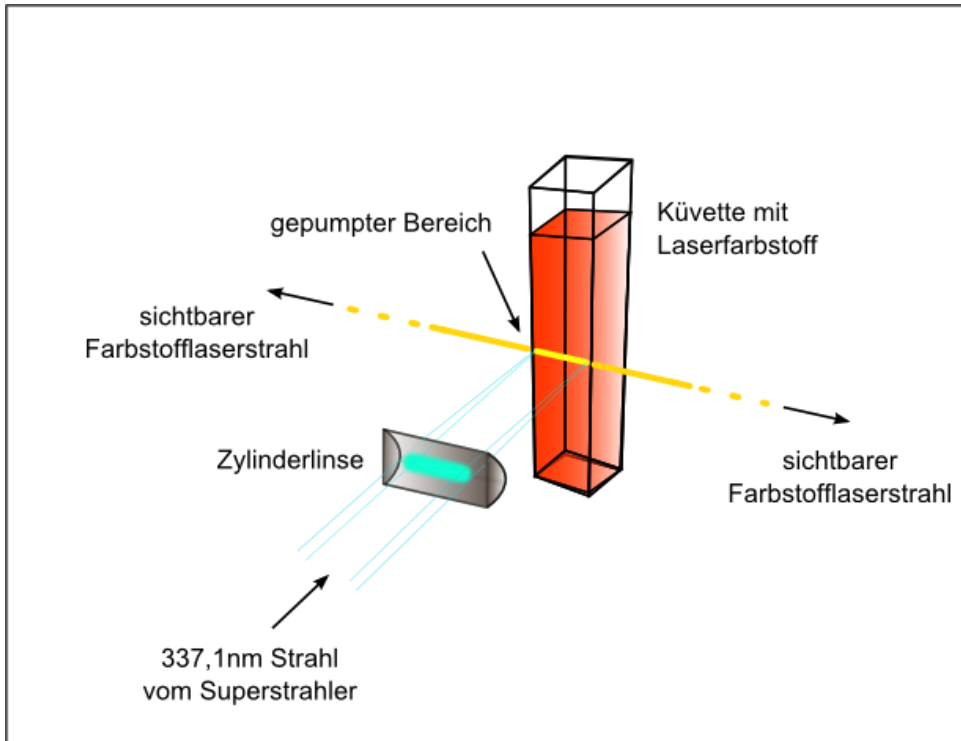
- Funkenstrecke sendet HF Radiosignale

- Ozonentwicklung

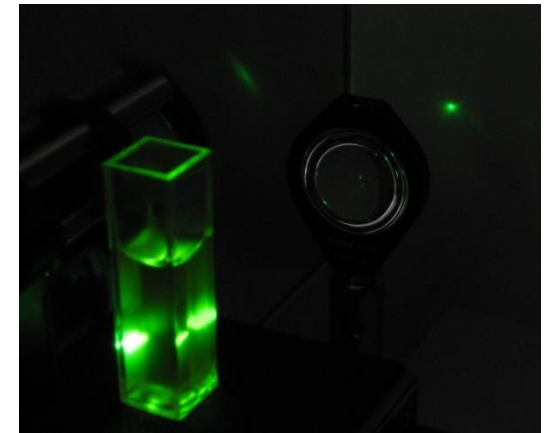
→ ab und an Fenster öffnen



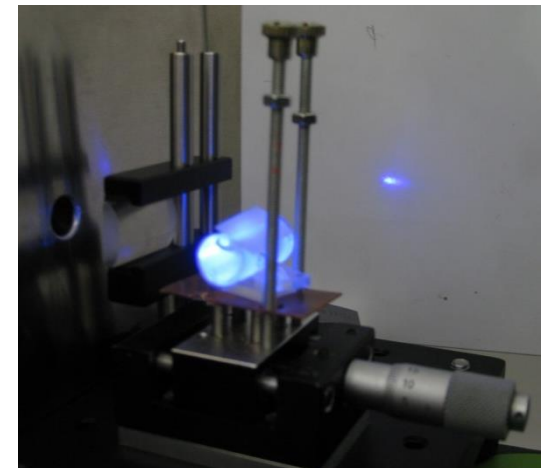
Zusätzliche Experimente: Der einfachste Farbstofflaser der Welt!



Pumpen von Farbstoffen mit dem Stickstofflaser



Farbstoff: Fluoreszin

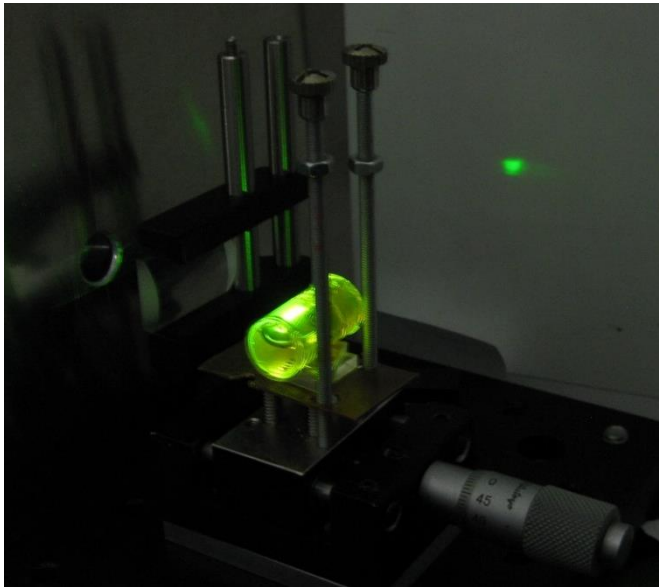


Farbstoff: Coumarin

Zusätzliche Experimente: Der einfachste Farbstofflaser der Welt!

Der einfachste Farbstoff...

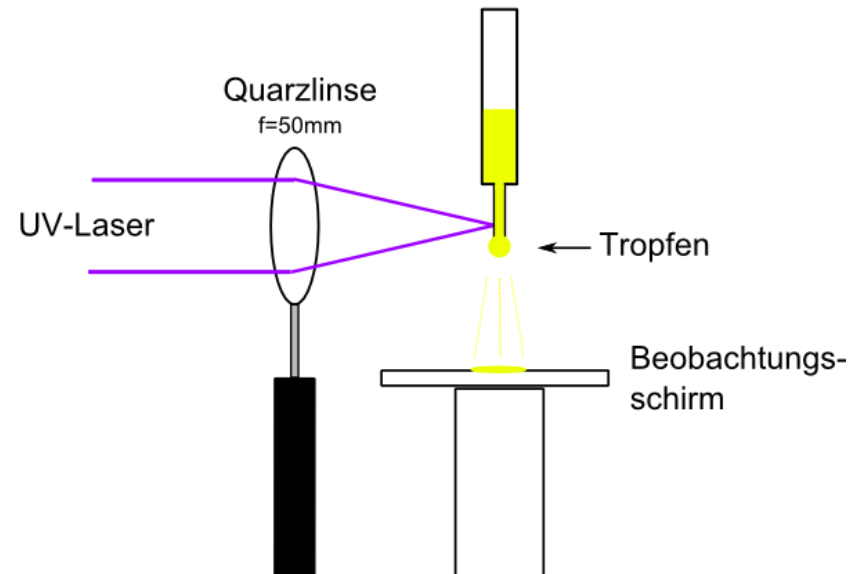
Gelber Textmarker!



Ein noch einfacherer Aufbau...

N₂-Laser-Strahl auf Pipette mit Tropfen fokussieren

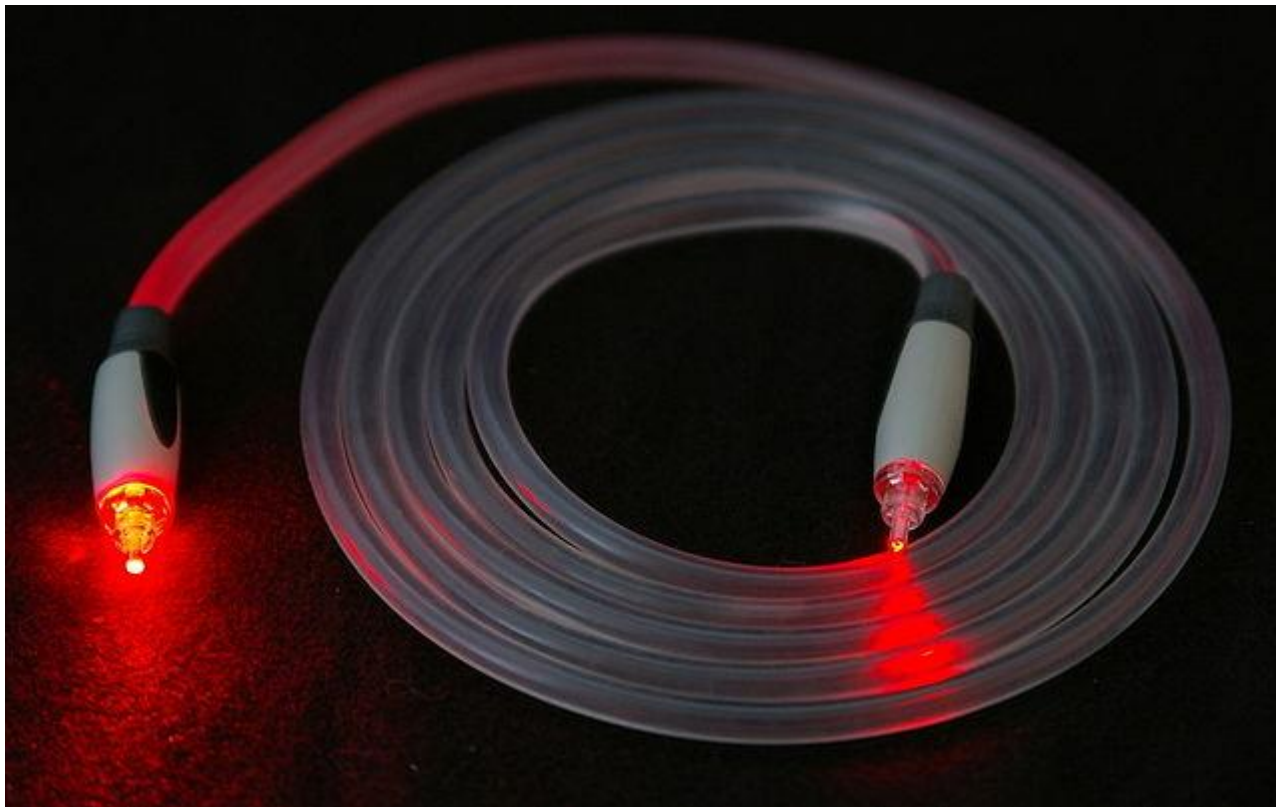
Pipette mit Laserfarbstoff



Erfahrungen mit dem Stickstofflaser

- eines der beliebtesten Experimente
- erstaunlich einfach: Schüler bauen ihren eigenen Laser
- Zeit für Versuch: ca. 30 – 45 min, je nach Grad der Hilfe des Betreuers
- funktioniert sehr zuverlässig
- sehr motivierend

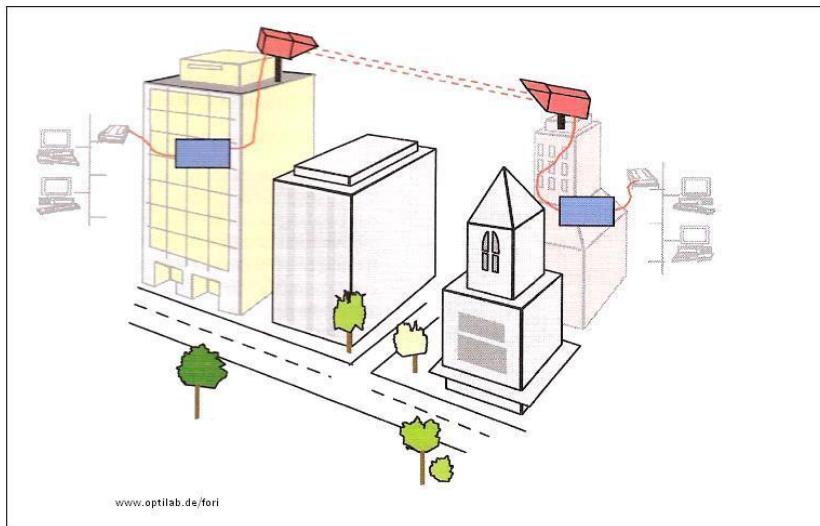
2. Hands-on Experimente
2.2 Datenübertragung mit LEDs



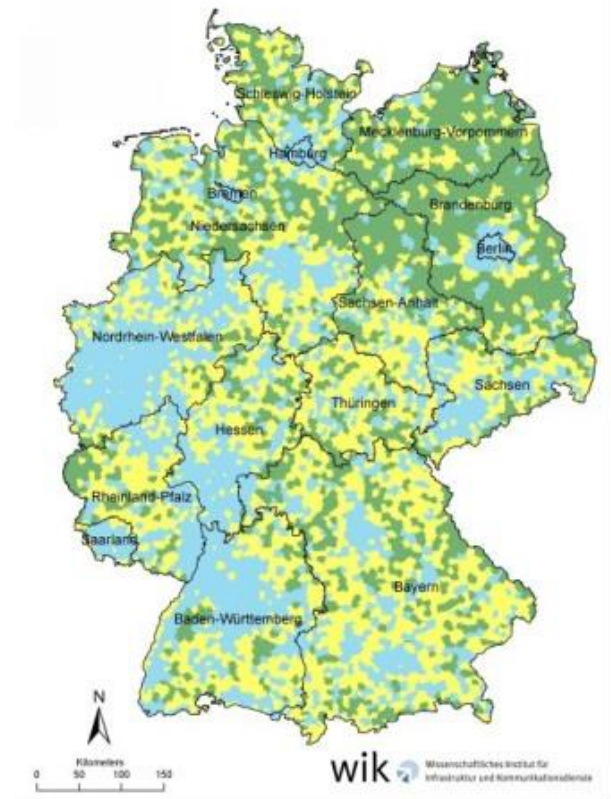
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Fiber_optic_illuminated.jpg

Bedeutung der optischen Datenübertragung

- Glasfasertechnik: wichtigste Technologie in der Breitband-Telekommunikation
- Auch in Unterhaltungselektronik (z.B. Toslink)
- Interessante Signalumwandlungen (Spannung, Licht...)
- Übertragung ohne Faser: Optische Freiraumübertragung mit Lasern ("Optischer Richtfunk")



Konzentration der deutschen Teilnehmer in der Fläche



Teilnehmerdichte je km²

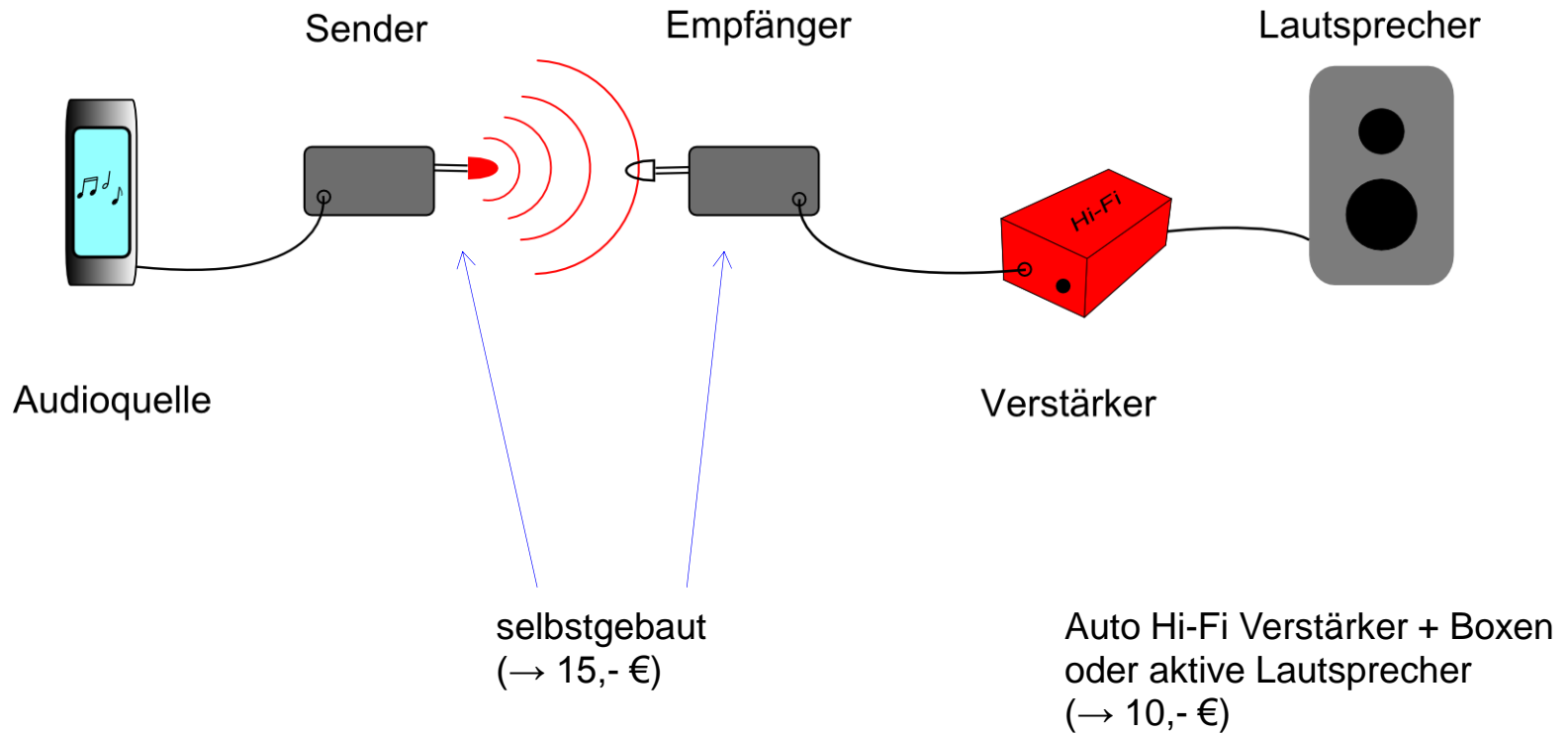
≥ 80: 80% der Teilnehmer, Fläche 1/3

32 ≤ x < 80: 15% der Teilnehmer, Fläche 1/3

≤ 32: 5% der Teilnehmer, Fläche 1/3

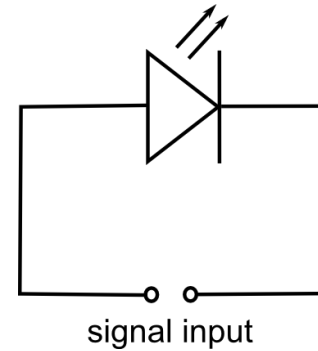
Grundlegendes Funktionsprinzip

Intensitätsmodulation:



LED Sender

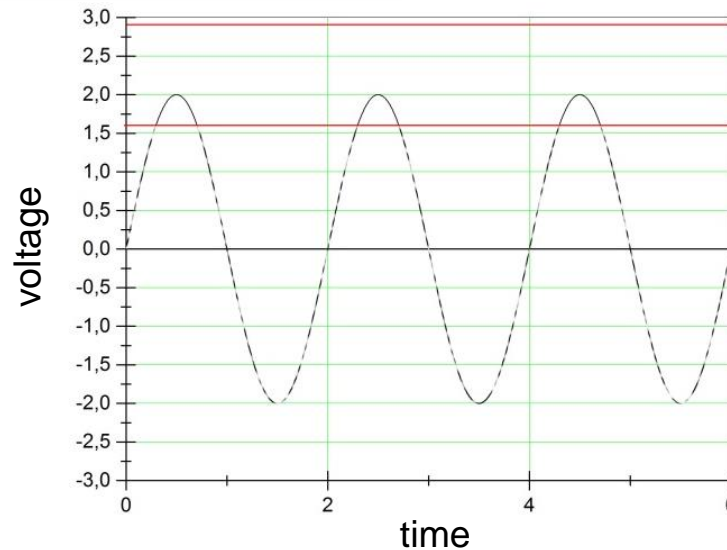
Die einfachste Idee könnte sein:



Problem:

Spannungsausgang von mp3-Playern: ca. -0.5 V bis $+0.5\text{ V}$ AC Signal
→ LED Arbeitsbereich bei positiven Spannungen...

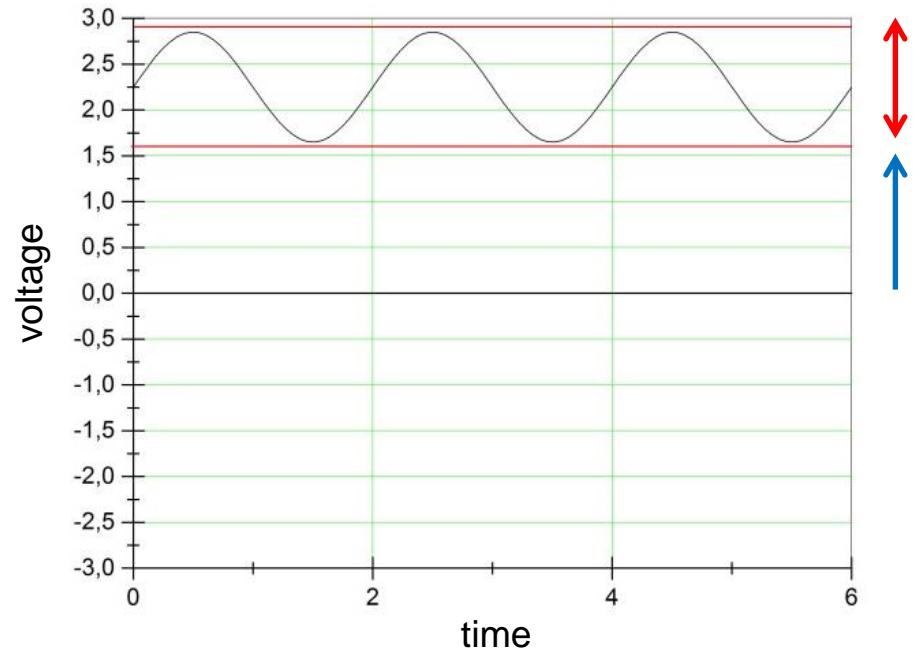
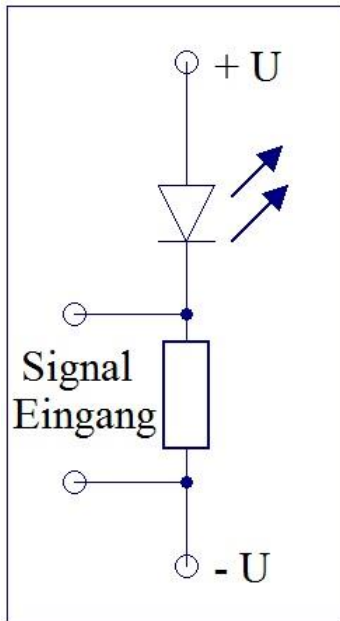
→ LED geht an und aus:



LED Sender

Lösung: Zusätzlicher Widerstand R und externe Spannung U hebt Signal in positiven Bereich

- DC Spannung: Signalanhebung
- AC Spannung: Signalamplitude

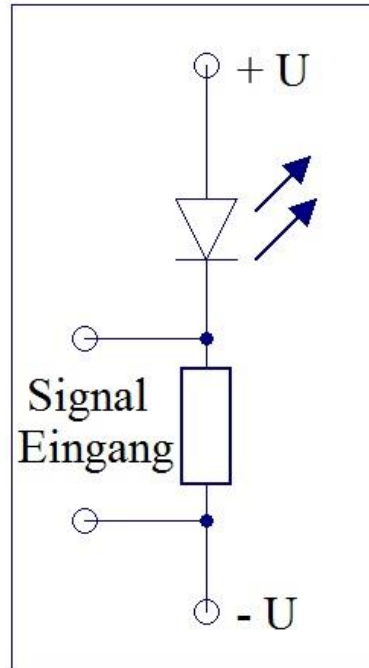


$R = 470 \Omega$
 $U = 3V$

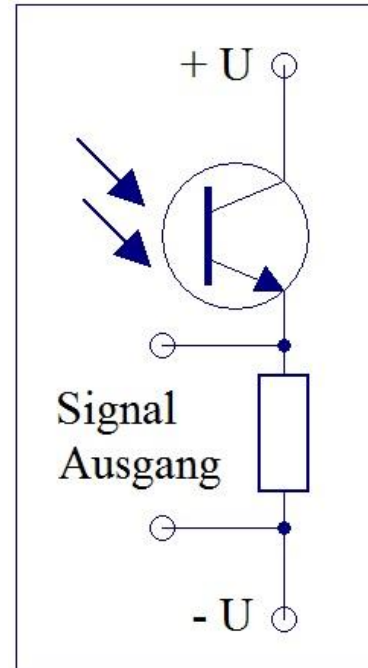
Sender und Empfänger

Analog für Empfänger:

LED Sender



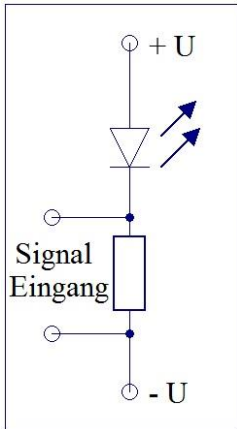
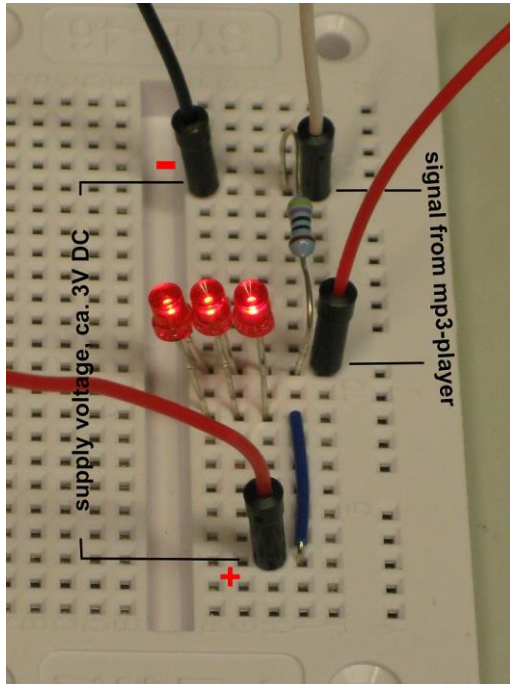
Empfänger mit Phototransistor



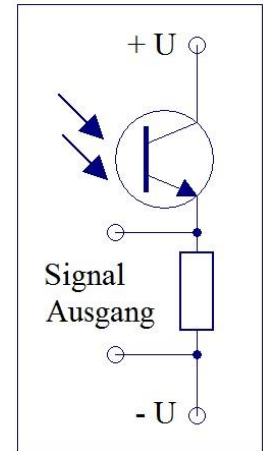
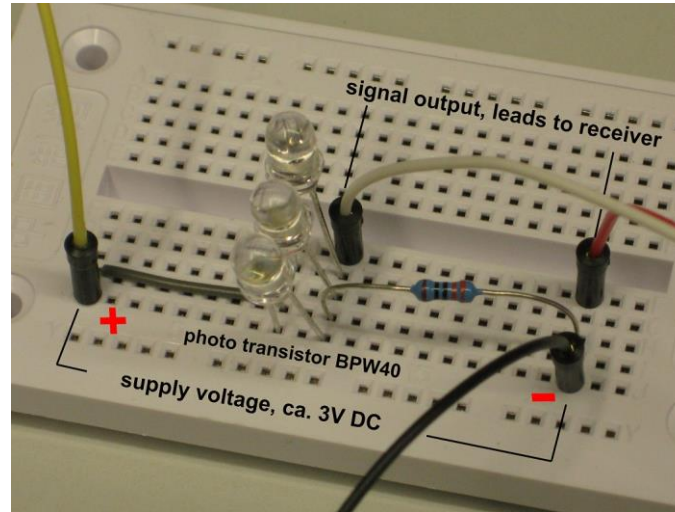
$R = 470 \Omega$
 $U = 3V$

Sender und Empfänger

LED Sender



Empfänger mit Phototransistoren



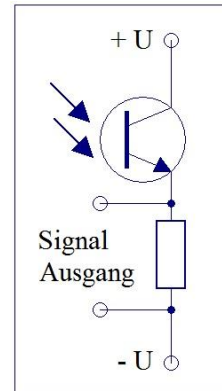
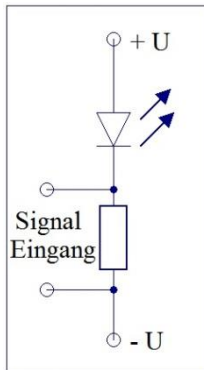
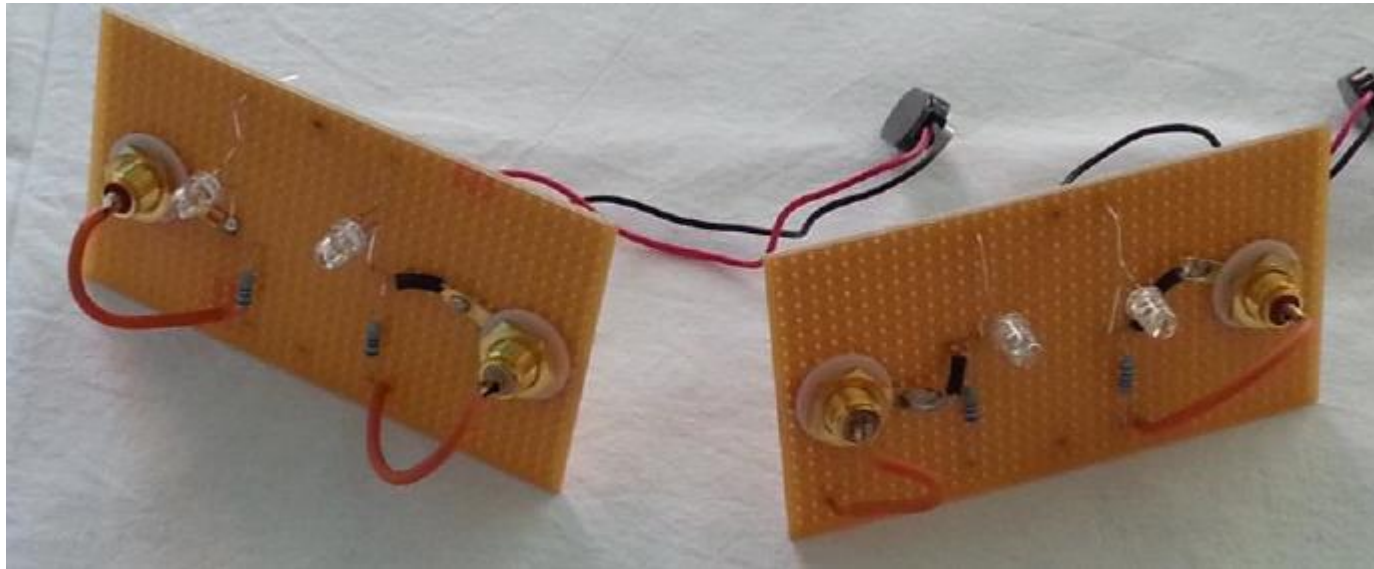
Noch besser:
Mehrere LEDs und Phototransistoren parallel geschaltet

Sender und Empfänger

2 Sender und Empfänger: übertrage Stereo-Musik!

Sender für Stereosignal

Empfänger für Stereosignal



Gebaut von Pascal Sachweh und Lukas Niekamp (Schüler Hector-Seminar 2014)

LED: z.B. TLHK 5800

Phototransistor: z.B. BPW 40

Hier: Cinch-Stecker und -Buchsen für bessere Kompatibilität mit Hifi-Equipment

Erfahrungen mit dem Datenübertragungsexperiment

- sehr motivierend – Musik...
- Vorwissen variiert stark
- Es können zusätzliche Experimente mit Fasern gemacht werden
- Nächster Schritt: Übertragung mit Lasern (Optischer Richtfunk)

2. Hands-on Experimente

2.3 3D Kino – selbstgemachte 3D Projektionen

Erste stereoskopische Bilder: 1838 (C. Wheatstone)

3D Kino 1950er



www.moviepilot.de

3D Kino 2009



<http://en.wikipedia.org/wiki/File:Avatar-Teaser-Poster.jpg>

Wie funktioniert 3D Kino?

Zwei leicht versetzte Bilder gleichzeitig, ein Auge – ein Bild

Farbfilter
(passiv)

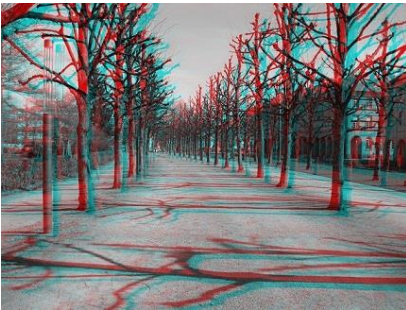
Shutter Brille
(aktiv)

Polarisation
(passiv)

Anaglyphenmethode (seit 1853)

XpanD 3D

- linear (IMAX, 1980er)
- **zirkular (realD)**



Normale Leinwand

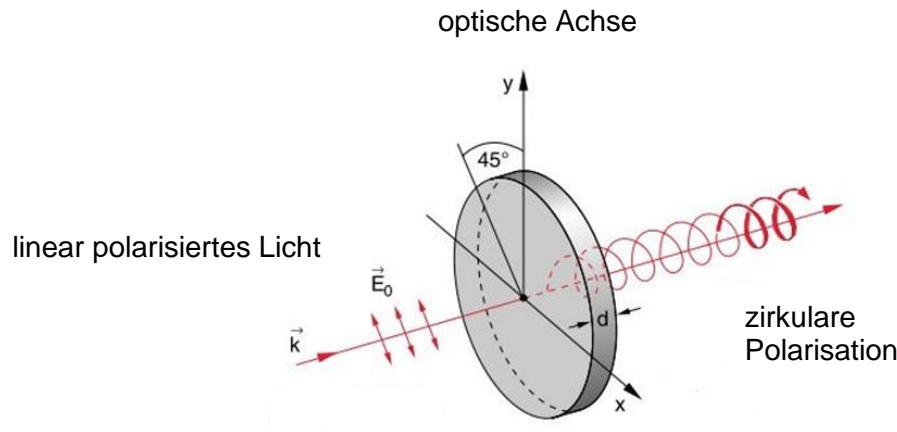
Normale Leinwand

Polarisationserhaltende
Leinwand (silberbeschichtet)

3D ohne Brille möglich (TV) – noch nicht sehr ausgefeilt

Erzeugung von zirkularer Polarisation:

Linearpolarisator + $\lambda/4$ -Plättchen (schnelle Achse im 45° -Winkel zu Polarisationsrichtung des Lichts)



$\lambda/4$ - Plättchen:

doppelbrechendes Material \rightarrow verschiedene Ausbreitungsgeschwindigkeiten für zwei orthogonale Achsen (\rightarrow für zwei senkrecht zueinander polarisierte Strahlen)

Linear polarisierte Welle

$\xrightarrow{\lambda/4 \text{ - Plättchen}}$

Zirkulare Polarisation für

$$\vec{E}(z, t) = \vec{E}_0(z, t) \cdot e^{i(\omega t - \vec{k}z)} \quad \text{mit}$$

$$\vec{E}_0 = \vec{E}_{0x} + \vec{E}_{0y}$$

$$\vec{E}_{0x} \perp \vec{E}_{0y}$$

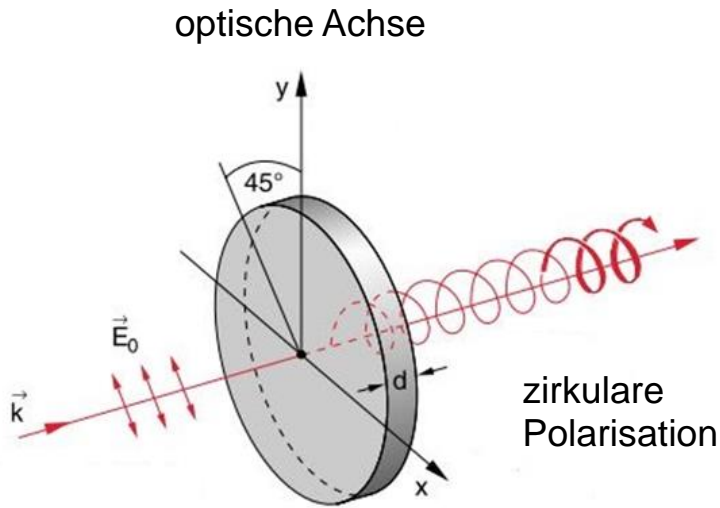
1. $|\vec{E}_{0x}| = |\vec{E}_{0y}|$ (45°- Winkel zwischen Polarisator und $\lambda/4$ - Plättchen) und

2. Phasenverschiebung $\delta = \pi/2$ für Plättchendicke $d = \lambda/4$

\rightarrow elektrischer Feldvektor beschreibt kreisförmigen Pfad nach Austritt aus $\lambda/4$ - Plättchen

Kinobrille: zirkulare Polarisation

linear polarisiertes Licht auf $\lambda/4$ - Plättchen:



linear polarisiertes Licht

Kinobrille:

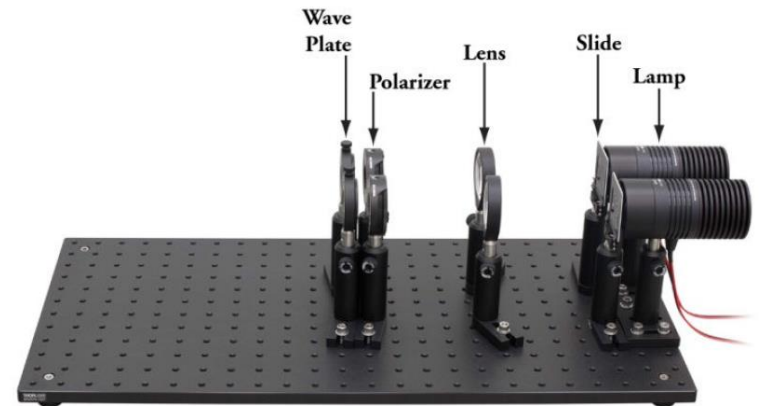
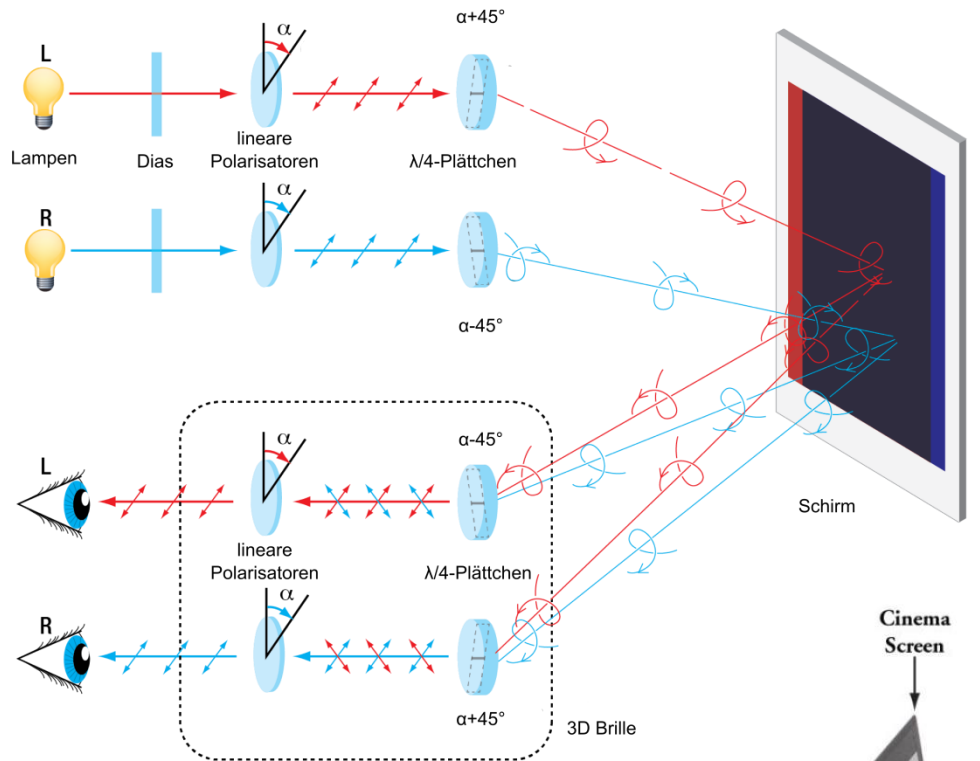
linearer Polarisator + $\lambda/4$ -Plättchen verklebt



linkes/rechtes Glas

→ links/rechts zirkular polarisiertes Licht

Komplettes realD 3D system



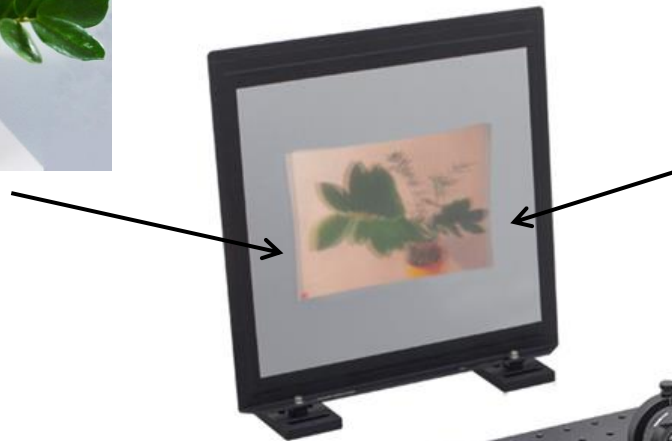
Unser 3D Aufbau



Linkes Bild



Rechtes Bild



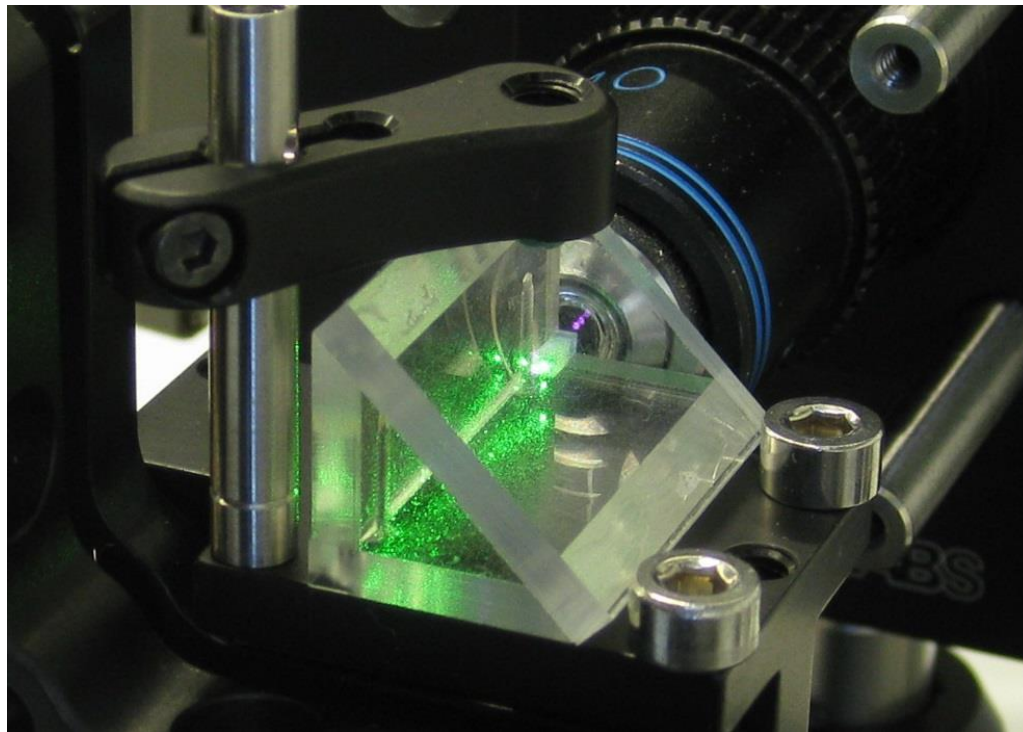
Bilder frei zum Download bei
discovery.thorlabs.com

Erfahrungen mit dem 3D Experiment

- “Kurzversion” in 20-25 Minuten machbar (nur realD Technik), ausführlichere Experimente inkl. Linearem Polarisationsverfahren + Anaglyphentechnik in 90 Minuten
- Vorkenntnisse zur Polarisation meist vorhanden
- Enthält viel grundlegende Wellen- und Strahlenoptik (optische Abbildung, Polarisation)
- interdisziplinär (Physik + physiologische Aspekte – 3D Wahrnehmung)

2. Hands-on Experimente

2.4 Festkörperlaser – grüner Laserpointer selbst gebaut



Diodengepumpte Festkörperlaser (DPSS – Laser) – nur für Wissenschaft oder auch Unterricht?

- höhere „Qualität“ als Laserdiode
- Theoretischer Hintergrund eher anspruchsvoll (Frequenzverdopplung...)
- Meist höhere Laserklassen

Aber:

- Typische bekannte grüne Laserpointer sind DPSS-Laser
- Billige Modelle sehr gefährlich wegen ungefiltertem IR-Laserlicht
- Funktionsprinzip kann didaktisch reduziert werden auf wesentliche Aspekte

Billige Laserpointer können zu leicht erworben werden und sind gefährlicher als man denkt

***Diodengepumpte Festkörperlaser (DPSS – Laser) –
nur für Wissenschaft oder auch Unterricht?***



Image: <http://www.laserpointersafety.com/>

Visual effect hazards, and hazard distances, of a 5 milliwatt green laser pointer

Inset photos were taken in an FAA flight simulator. They show what a pilot sees on landing approach, during a 5 mW laser illumination. The closer the aircraft is to the laser, the more difficult it is to see out the windscreen.

To calculate hazard distances for more powerful lasers, multiply the hazard distance by the square root of the power increase. For example, a 125 mW laser pointer is 25 times more powerful than the 5 mW laser shown here. The square root of 25 is 5. Therefore, the maximum Glare/Disruption Hazard Distance for a 125 mW laser is 5 x 1,200 ft, or 6,000 ft (over 1 mile). The maximum Distraction Hazard Distance is 5 x 11,700 ft, or 58,500 ft (11 miles).

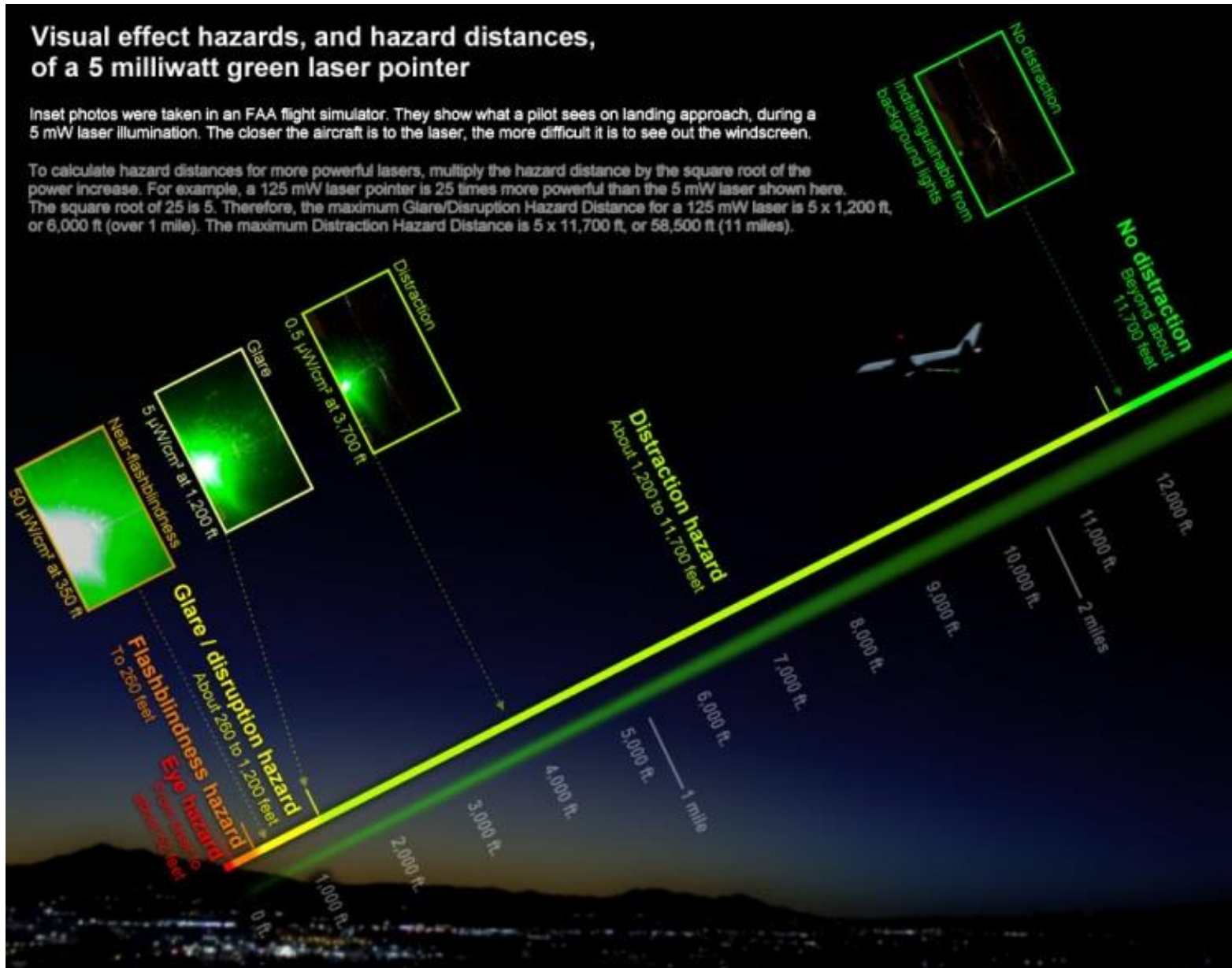


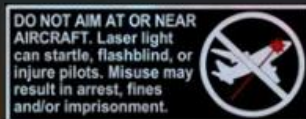
Image: <http://www.laserpointersafety.com/>

About 10 times a night, U.S. pilots report seeing or being illuminated by laser beams. The primary hazard is temporary interference with vision – distraction, glare, flashblindness – during critical phases of flight such as takeoff and landing.

Some ways to help reduce the number and severity of laser pointer/aircraft incidents

Laser labeling

- ▶ Manufacturers voluntarily add **aircraft safety labels**
- ▶ Government can write new laws **mandating labels**



User education

- ▶ Educating users via **laser sellers' websites, manuals**
- ▶ **Media coverage** of hazards, prohibitions

Pilot training & glasses

Pilots are the last line of defense

- ▶ **Provide information** on safely reacting to laser illuminations
- ▶ **Mandatory simulator training** with safe bright light
- ▶ Cockpit-certified **laser blocking glasses** for 1st responder pilots
(Note: Anti-laser glasses are **NOT** recommended for routine use)

Arrests & prosecution

- ▶ **Fines and jail** for anyone intentionally aiming at aircraft
- ▶ **News reports** of arrests & prosecutions let users know the hazard is serious

If the above does not work, **new laws & restrictions** may be necessary

Limited restrictions

- ▶ **Import restrictions** to try to keep out illegal lasers
- ▶ **At locations** where misuse is high (beach resorts)
- ▶ **By age** (no public possession by youth, teens)

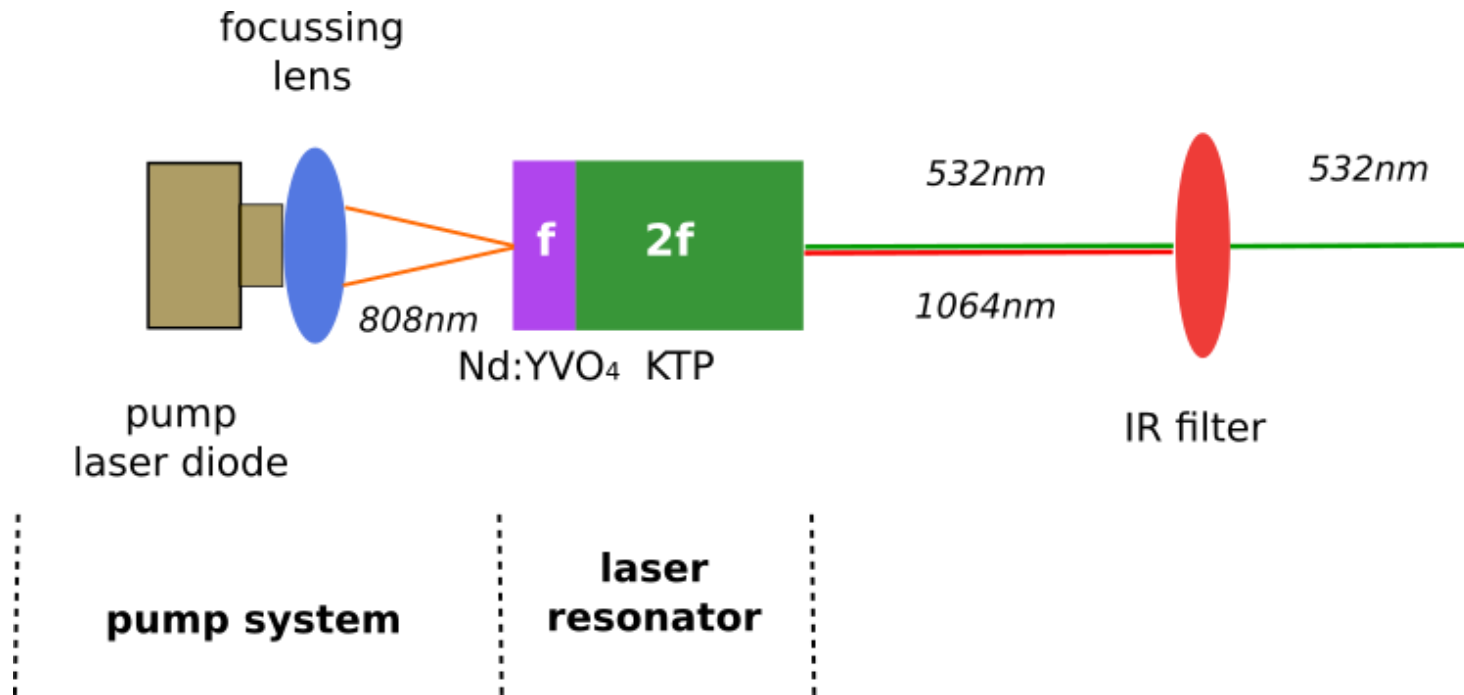
General restrictions or ban

- ▶ Nationwide - consider **restricting sale and/or possession** of consumer handheld lasers above a specified power level
 - ▶ **Exemptions/licenses** for legitimate use
- Note: Restrictions may not be effective. Australia banned pointers over 1 milliwatt in 2008, yet aircraft incidents rose 27% from 2008 to 2011. A 2013 scientific study concluded that the ban "may have detrimentally affected laser pointer safety within Australia without overtly impacting availability."

Image: <http://blog.laserto.com/wp-content/uploads/2011/04/laser-pointer27.jpg>



Grüne Laserpointer – Funktionsweise und Aufbau



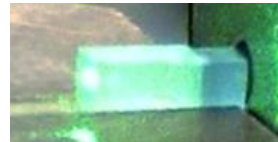
- 808nm Laserdiode pumpt Nd:YVO₄ Laserkristall → erzeugt **1064nm IR Laserlicht**
- nichtlinearer KTP-Kristall verdoppelt Frequenz („second harmonic generation“) → **532nm Laserlicht**
- sowohl IR als auch grünes Laserlicht werden emittiert! → **Filter für unsichtbares IR-Licht nötig**

Selbstgebauter DPSS-Laser – was man braucht

- 808nm Laserdiode (200mW)
+ geeigneter Laserdiodentreiber
(ca. 35,- €)



- Hybridkristall (KTP + Nd:YVO₄)
z.B. Roithner Crystal-808-532
(zwischen 30,- und 70,- €)



- Linse ($f \approx 6\text{mm}$)
(zwischen 10,- und 20,- €)

- IR-Filter
z.B. Thorlabs FGB39
(ca. 25,- €)



Kristalle und Komponenten:
„Roithner Lasertechnik“ (Österreich)

Kristalle auch „Casix“ (China)

Eigenbau-DPSS-Laser mit Hybrid-Kristall

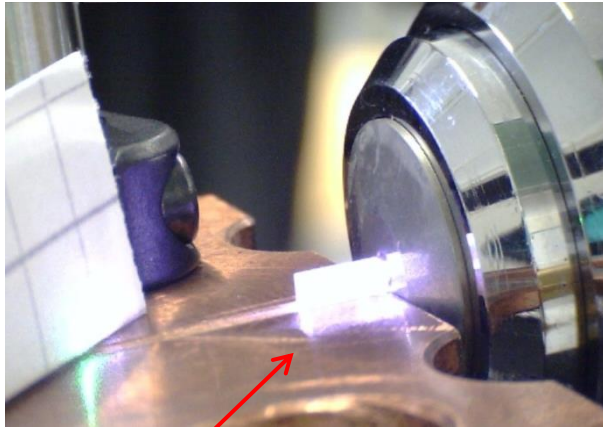


Photo gemacht ohne IR Filter
(USB Kamera Nah-IR empfindlich!)

Kristall emittiert IR Licht

Grüner Strahl ist kollimiert → Gauß-Strahl
(keine zusätzl. Linse nötig!)

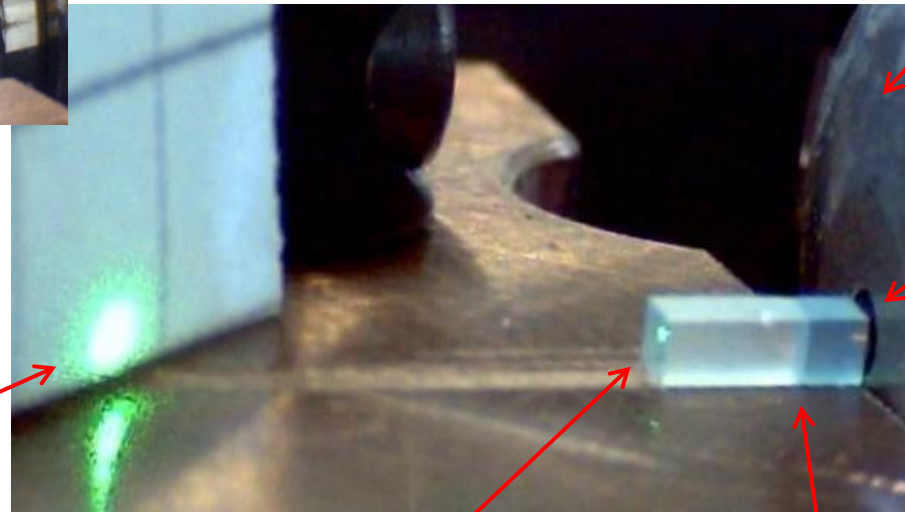


Photo gemacht mit IR Filter

Ausgang des Mikroskop-Objektivs
(statt einfacher Linse)

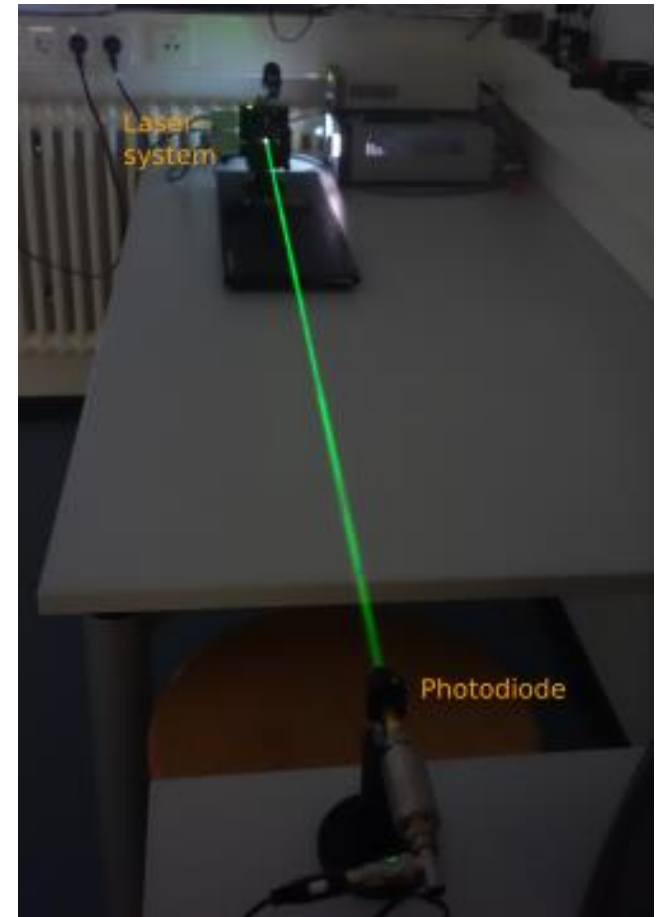
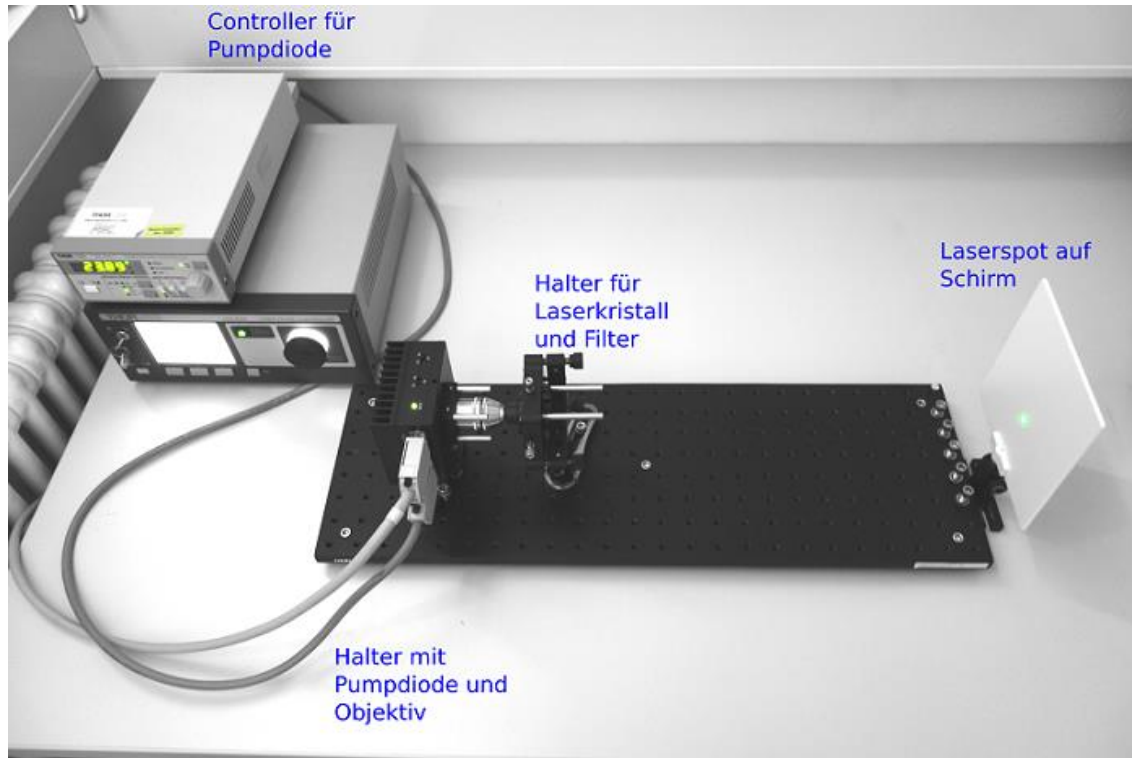
Pumpstrahlung (808nm) tritt hier aus und in den Kristall ein

Laserstrahl tritt hier aus Kristall aus (grüner Spot)

Hybridkristall (Roithner)
links: KTP
rechts: Nd:YVO₄

Unser Aufbau im Schülerlabor

z.B. Datenübertragung mit Laser



...für fortgeschrittenere Experimente
(aufwendiger Laserdiodentreiber + Temperaturcontroller
nicht zwingend nötig)

3. Do it yourself – Quellen und Material

- Handouts (Stickstoff-Laser, Datenübertragung, 3D)
- <http://psi.physik.kit.edu>
- 3D: Physik in der Schule, Heft 6/64, September 2015
- antje.bergmann@kit.edu

Dank an all die motivierten Studenten:

- 3D: Andreas Hasenohr
- Datenübertragung: Kamil Piecha, David Alexy
- Stickstoff-Laser: Stephanie Jansen
- DPSS Laser: Dominik Setzler, Sandra Kircher

Für die Unterstützung danken wir: