

Der Laser: Grundlagen und neue Anwendungen

Markus W. Sigrist, ETH Zürich

sigrism@phys.ethz.ch

Homepage: www.lss.ethz.ch

Inhalt

- **Laser**
 - Grundlagen
 - Laseraufbau
 - Lasertypen
 - Lasereigenschaften
- **Gestern**
 - Wie kam es zum Laser ?
 - Beispiele von Laserentwicklungen
- **Anwendungen**
 - Wo werden überall Laser eingesetzt ?
 - Weltweiter Lasermarkt
 - Beispiele
- **Zusammenfassung und Ausblick**

Inhalt

- **Laser**
 - Grundlagen
 - Laseraufbau
 - Lasertypen
 - Lasereigenschaften
- Gestern
 - Wie kam es zum Laser ?
 - Beispiele von Laserentwicklungen
- Anwendungen
 - Wo werden überall Laser eingesetzt ?
 - Weltweiter Lasermarkt
 - Beispiele
- Zusammenfassung und Ausblick

Laser

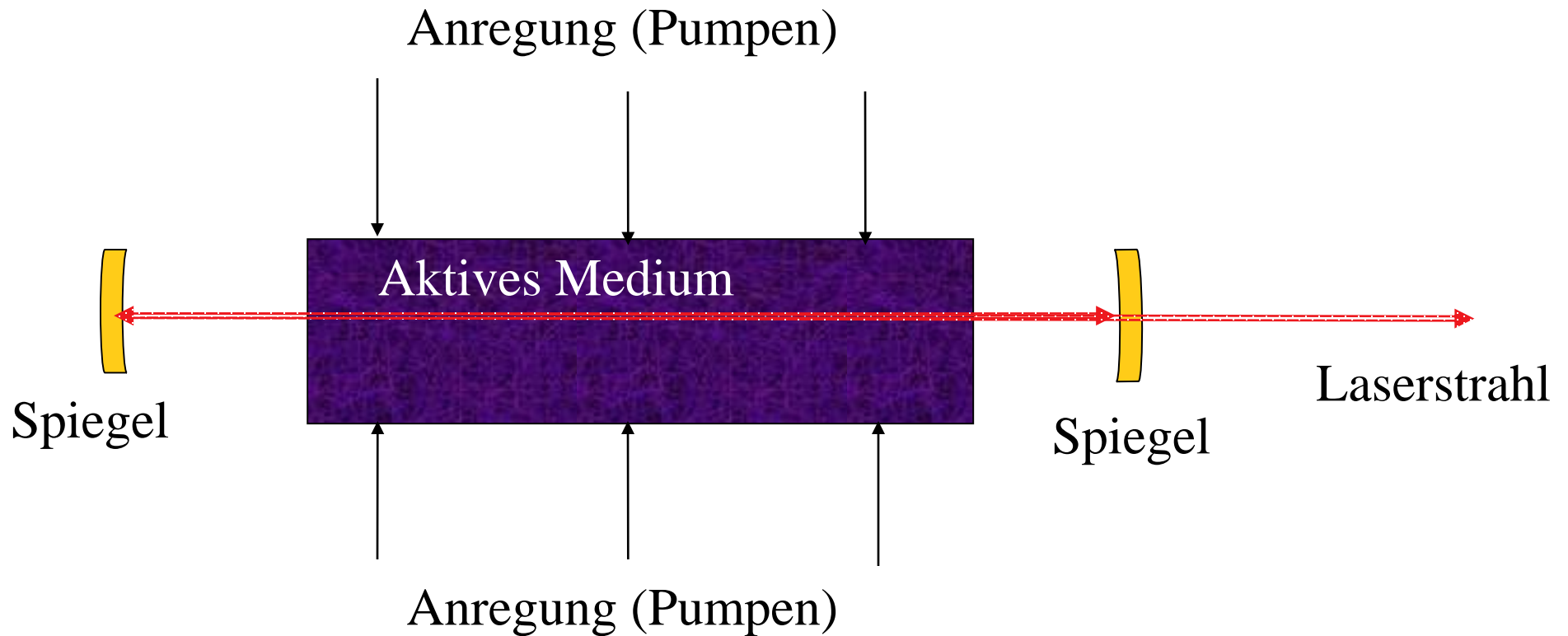
L A S E R (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation = Lichtverstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung).

LASER erstmals erwähnt im Laborjournal von G. Gould am **13. Nov. 1957**

Laser besteht aus 3 Elementen:

- **Aktives Medium** (Gas oder Flüssigkeit oder Festkörper oder Halbleiter) zwecks Verstärkung
- **"Pumpe"**: elektrische Entladung, Ladungsträgerinjektion oder optisches Pumpen mit Blitzlampen oder anderem Laser
- **Resonator**: aus 2 reflektierenden Spiegeln zwecks Rückkopplung

Laseraufbau



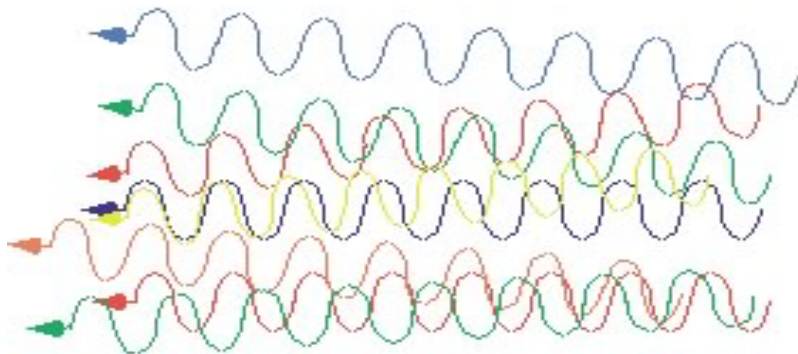
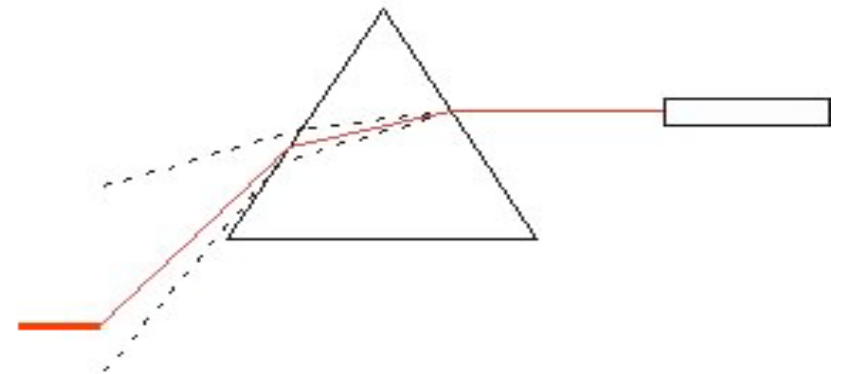
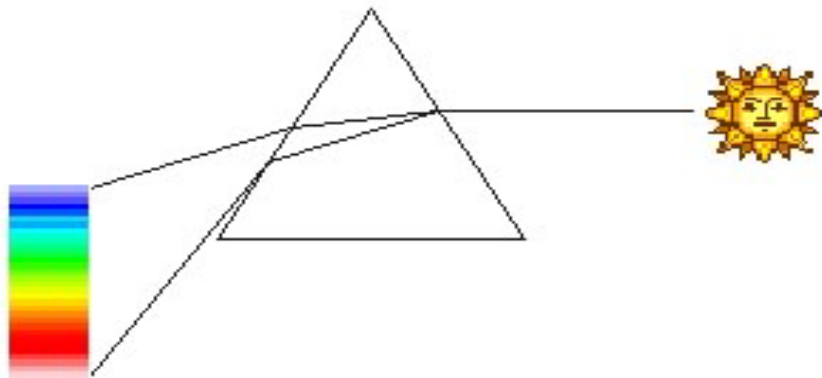
Lasertypen

- **Gaslaser:** Helium-Neon Laser, Argonionenlaser (Ar^+), CO_2 -Laser, Excimerlaser, ...
- **Farbstofflaser:** Farbstoffe gelöst in Alkohol, Wasser, ...
- **Halbleiterlaser:** Diodenlaser (häufigste Laser), ...
- **Festkörperlaser:** Rubinlaser, Nd:YAG-Laser, Ti:Saphir, ...

Das Besondere am Laserlicht

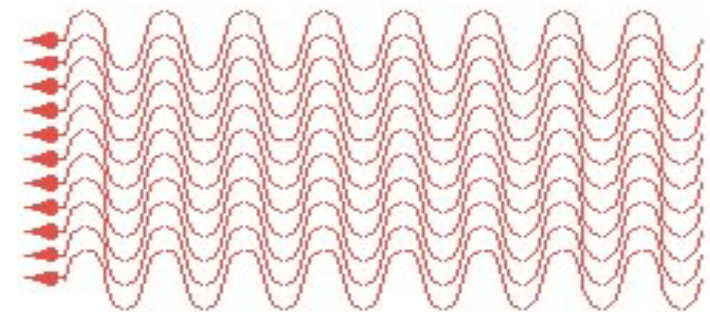
- Einfarbig und gebündelt (kohärent)
- Grosser Wellenlängenbereich möglich (nicht nur sichtbar)
- Intensive Lichtquelle (im Brennpunkt einer Linse bis über 1 Mio. mal intensiver als Sonnenlicht, kurzzeitig noch viel mehr !)
- Kontinuierlicher Betrieb oder ultrakurze Laserpulse
- Winzige Laserdioden und riesige Lasersysteme
-

Vergleich Licht mit Laserstrahlung



LAMPEN, etc.

viele versch. Wellenlängen



LASER

"reines" Licht

nur eine einzige Wellenlänge

kohärent

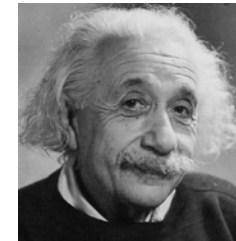
Inhalt

- Laser
 - Grundlagen
 - Laseraufbau
 - Lasertypen
 - Lasereigenschaften
- **Gestern**
 - Wie kam es zum Laser ?
 - Beispiele von Laserentwicklungen
- Anwendungen
 - Wo werden überall Laser eingesetzt ?
 - Weltweiter Lasermarkt
 - Beispiele
- Zusammenfassung und Ausblick

Wie kam es zum Laser ?

Laser entstand **NICHT** aus Verbesserung von Blitzlampen o.ä. sondern aus **Grundlagenforschung** zur Strahlungsemission, technologischen Fortschritten und interdisziplinären Ansätzen

1917 Albert Einstein: Zur Quantenmechanik der Strahlung, spontane und **stimulierte Emission**

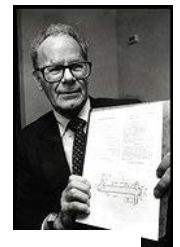


1951 Charles Townes et al.: erster **MASER** mit Ammoniak



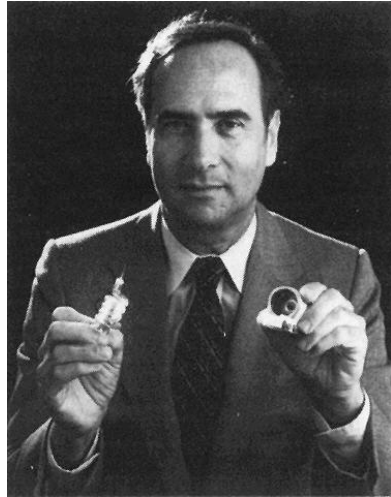
1954 N.G. Basov and A.M. Prokhorov: Vorschläge für Mikrowellen-Oszillator basierend auf **stimulierter Emission**

1959 Gordon Gould reicht viele US-Patente im Bereiche der LASER ein



1964 Physiknobelpreis für Laser an **Townes, Basov und Prokhorov**

Juni 1960: Theodor Maiman stellt ersten funktionierenden LASER vor, Blitzlampengepumpter gepulster Rubinlaser



Laser: am Anfang eine Lösung, die nach einem Problem sucht !

Heute: Laserpatente an 3. Stelle im 20. Jh., (nach Maschinen und Computer)

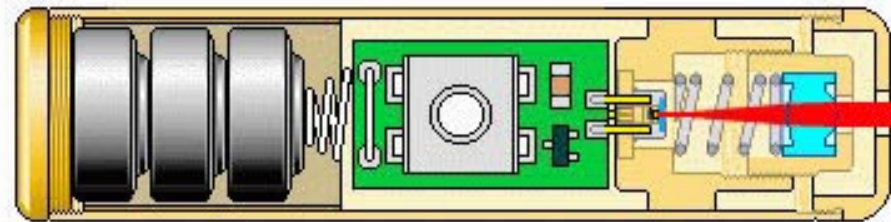
Beispiel für Entwicklungen mit unvorhersehbaren Sprüngen

Laser sind heute in viele Alltagsprodukte integriert. Ohne Laser keine Kommunikation (Telefone, Internet), keine Computer, keine Bancomaten etc.

James Bond: Goldfinger (1964)



Laserentwicklung: Laserpointer



Battery LD Driver LD Module

Typical Red Laser Pointer

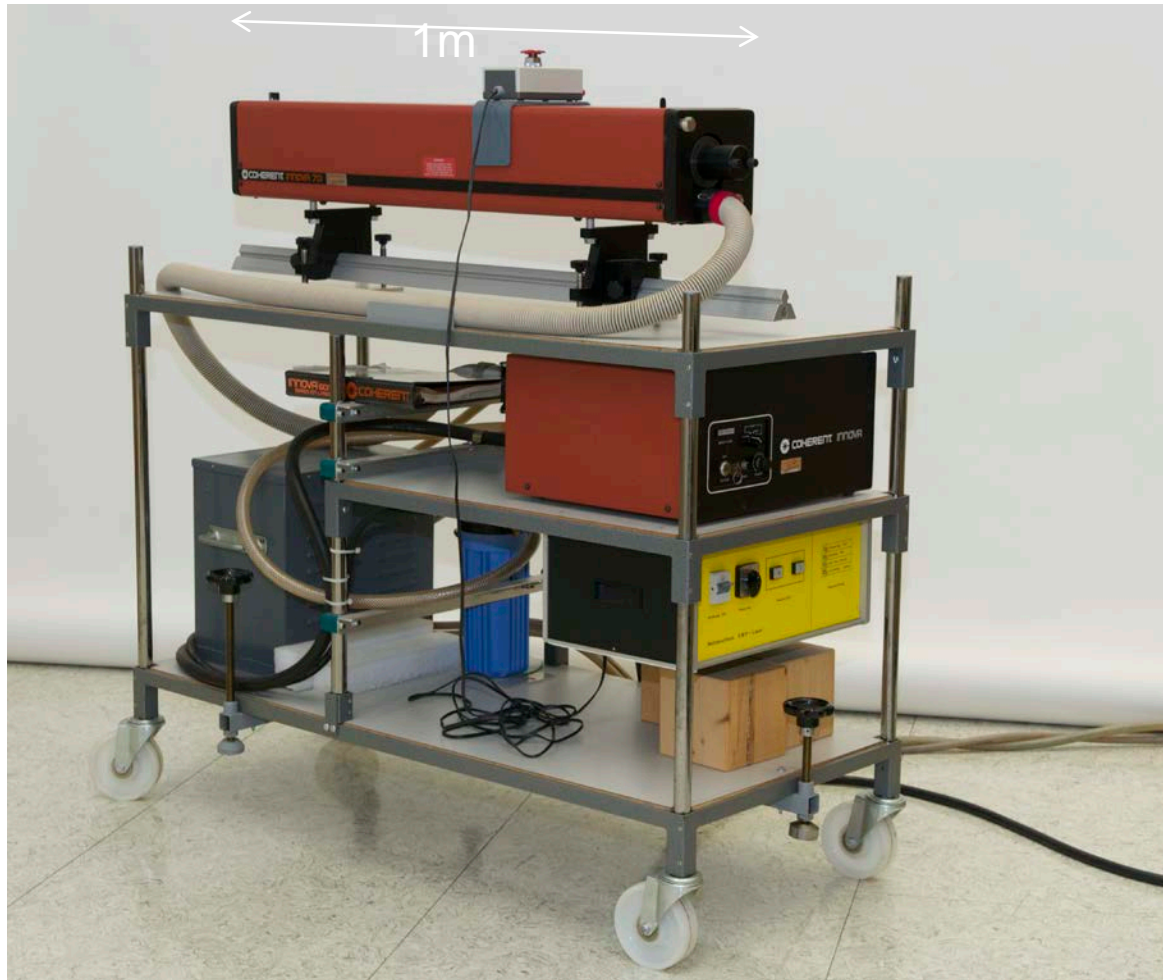


Battery

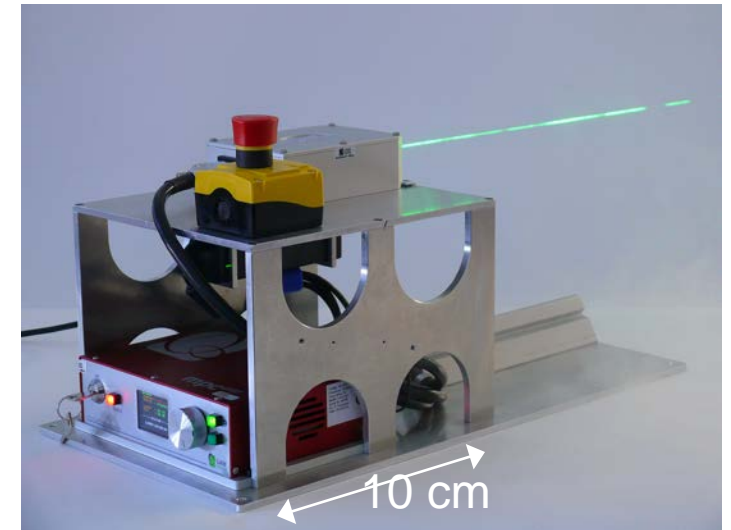
Pump LD Driver DPSS Laser Module

Typical Green Laser Pointer

Laserentwicklung: Vergleich Ar⁺-Laser ↔ Nd:YAG – Laser

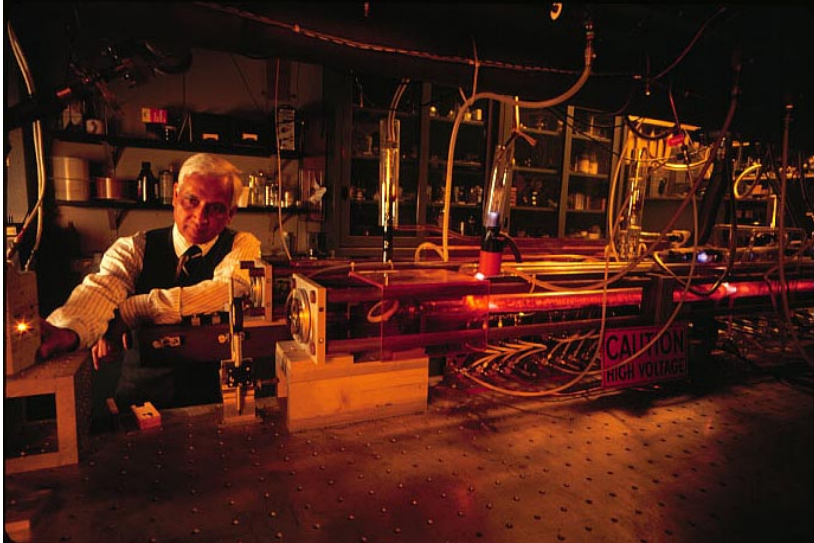


Ar⁺-Laser (514.5 nm, 3 W)

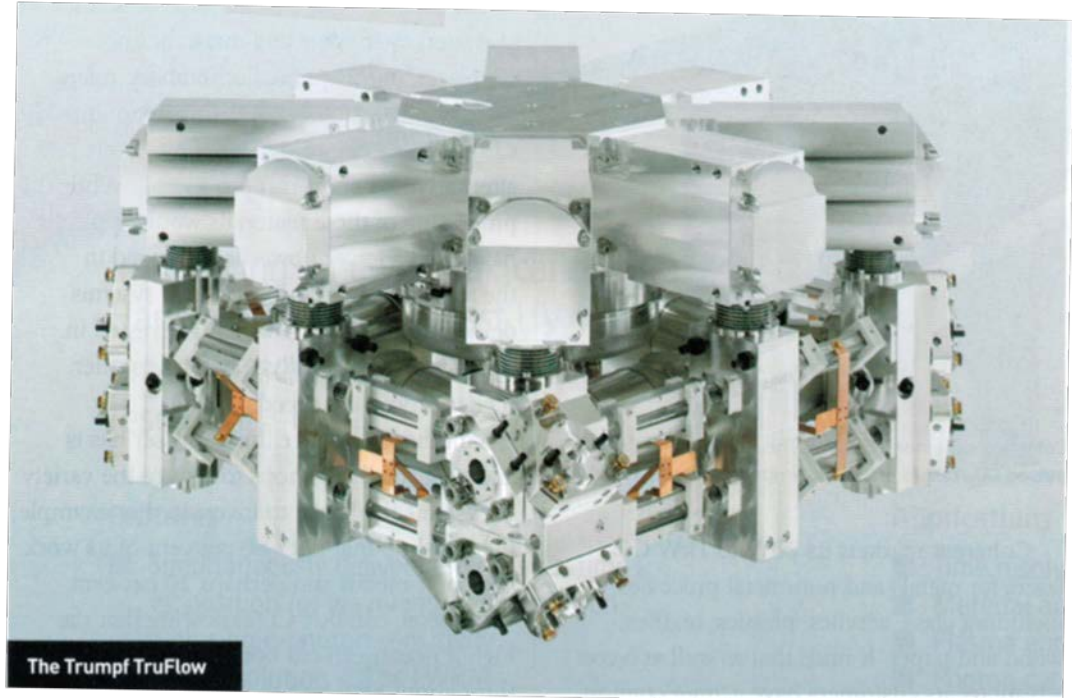


Diodengepumpter frequenzverdoppelter Nd:YAG Laser (532 nm, 2 W)

CO₂-Laser um 1964 und 2010



Kumar Patel: Erster
CO₂-Laser 1964
einige Watt



≤ 20 kW CO₂-Laser von Trumpf
für Schneiden und Schweißen
bis 40 mm Stahl

Inhalt

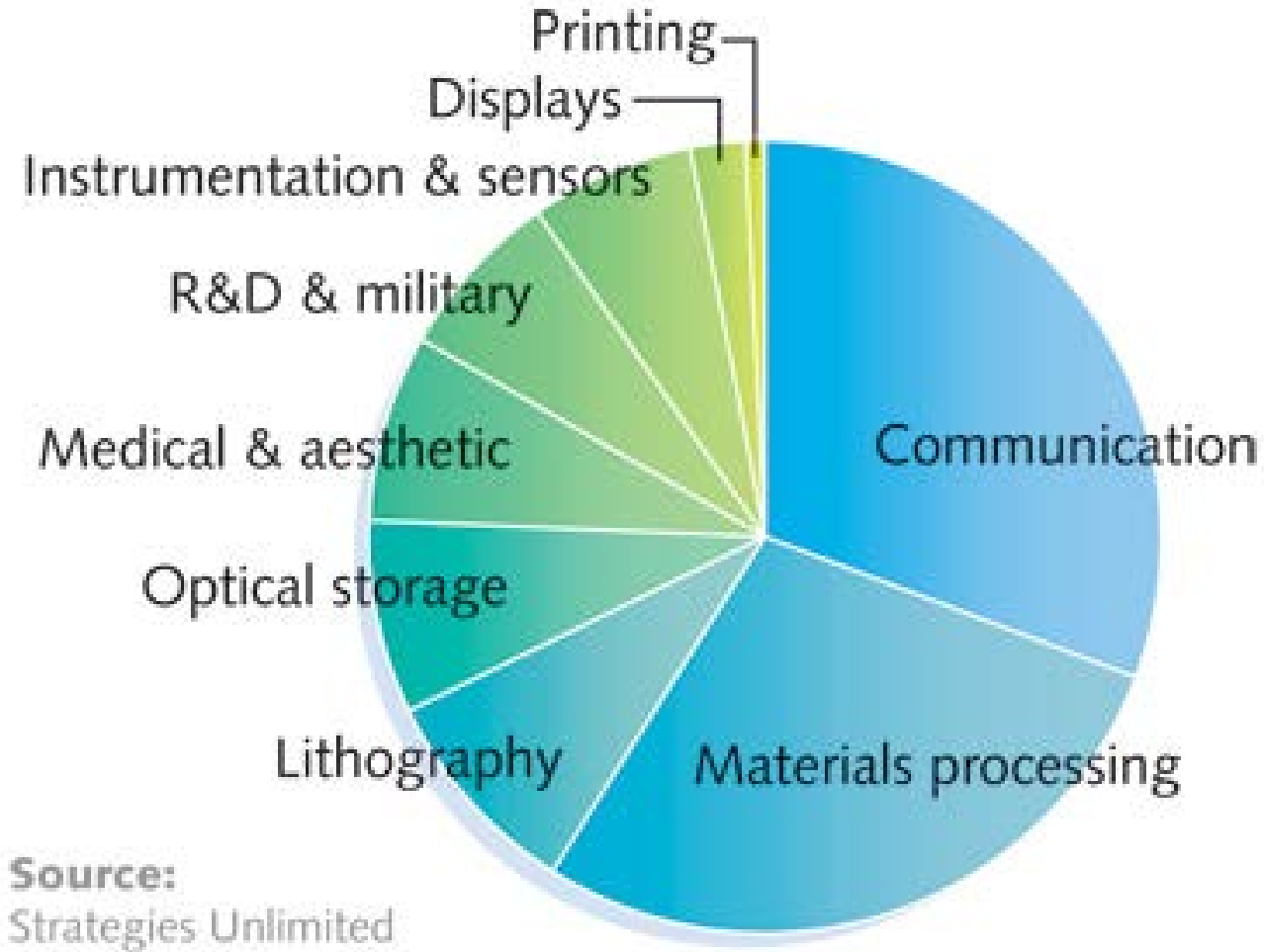
- Laser
 - Grundlagen
 - Laseraufbau
 - Lasertypen
 - Lasereigenschaften
- Gestern
 - Wie kam es zum Laser ?
 - Beispiele von Laserentwicklungen
- **Anwendungen**
 - Wo werden überall Laser eingesetzt ?
 - Weltweiter Lasermarkt
 - Beispiele
- Zusammenfassung und Ausblick

Wo werden heute überall Laser eingesetzt ?

- Laserpointer
- Laserscanner
- Laserdrucker
- Kommunikation
- CD/DVD player
- Materialbearbeitung
- Entfernungs- und Geschwindigkeitsmessung
- Baugewerbe
- Medizin
-
- Forschung

Weltweiter Lasermarkt 2013

Total: 8.8 Milliarden US Dollars



Quelle: Laser Focus World, Jan 2014

Materialbearbeitung: Laserschneiden



Bystronic Laser, Niederönz



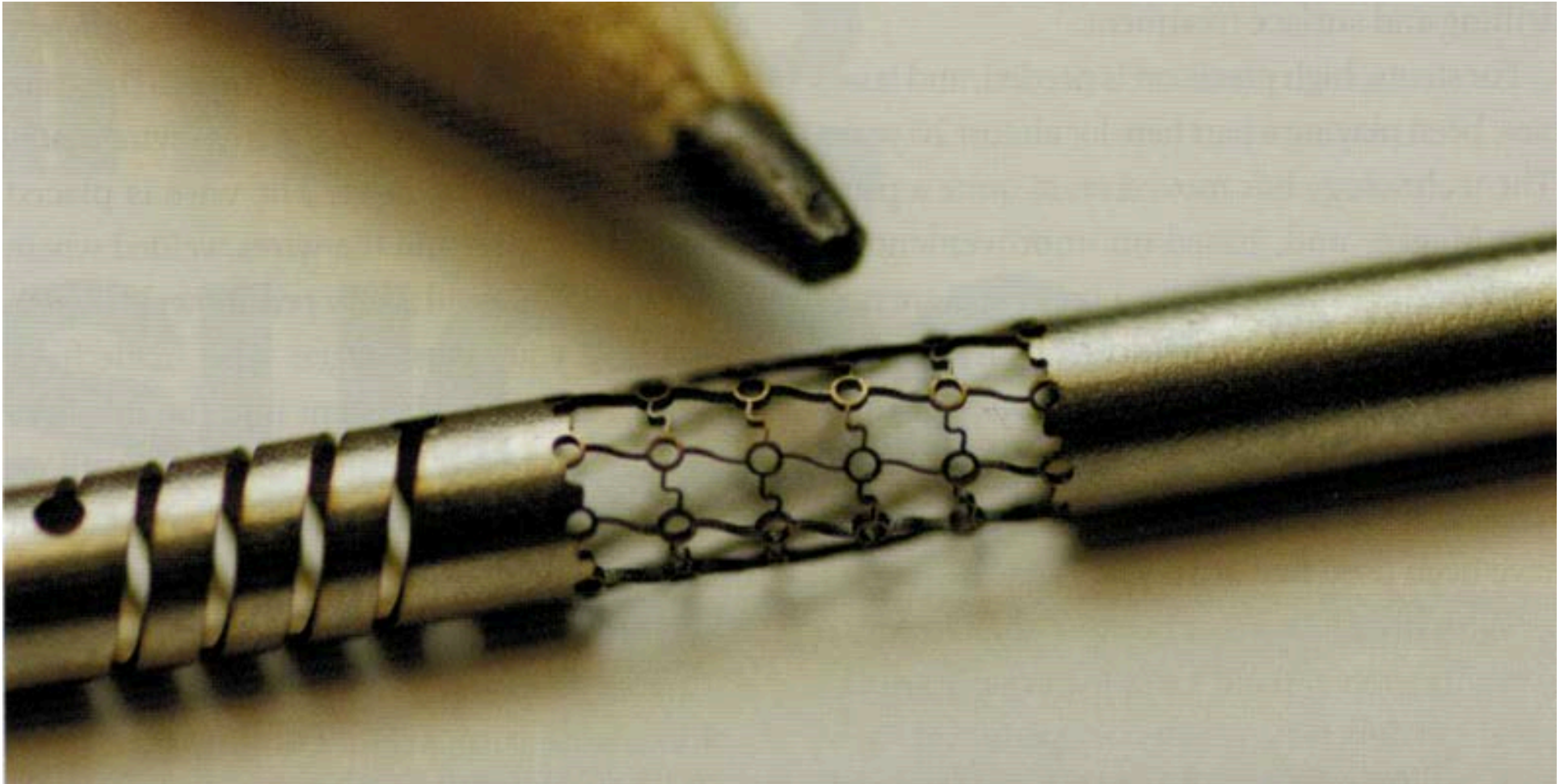
Bystronic Laser



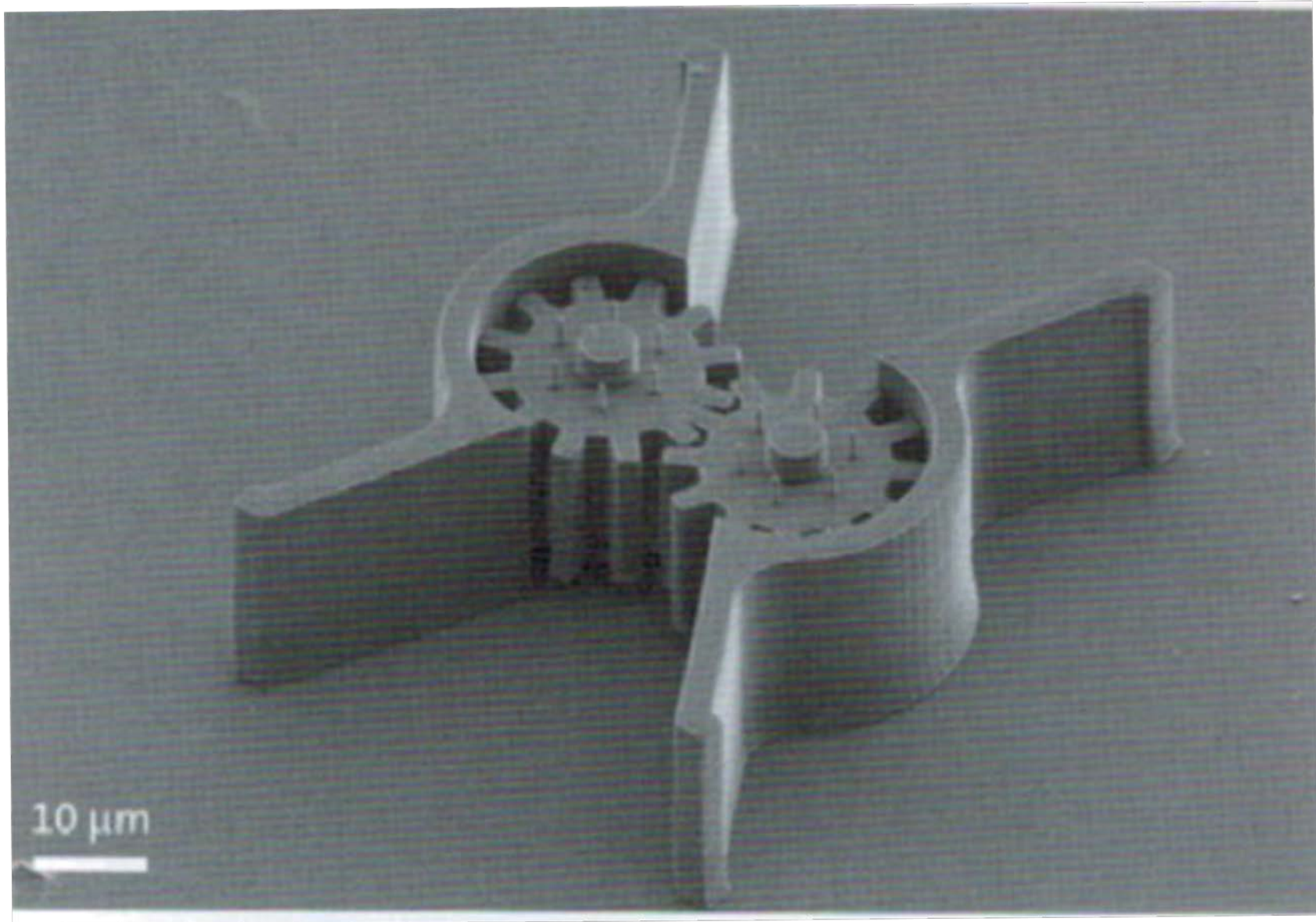
Nichtmetallische Bauteile
Geiser, Roggwil



Mikromaterialbearbeitung: Produktion von stents



Laserlithografie: Mikromechanische Zahnräder



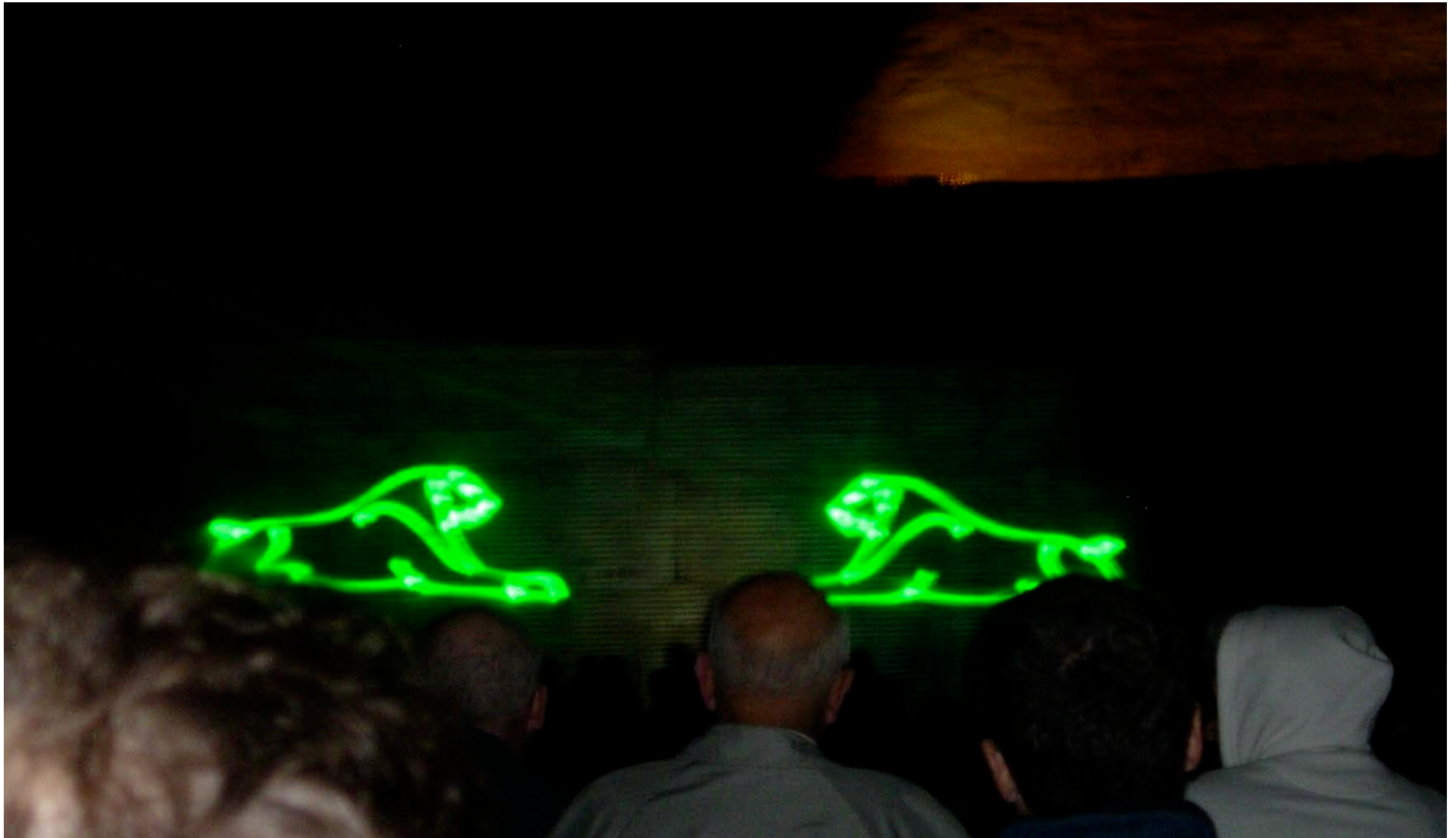
3D Laser-Drucker: Laser-additive manufacturing (LAM)



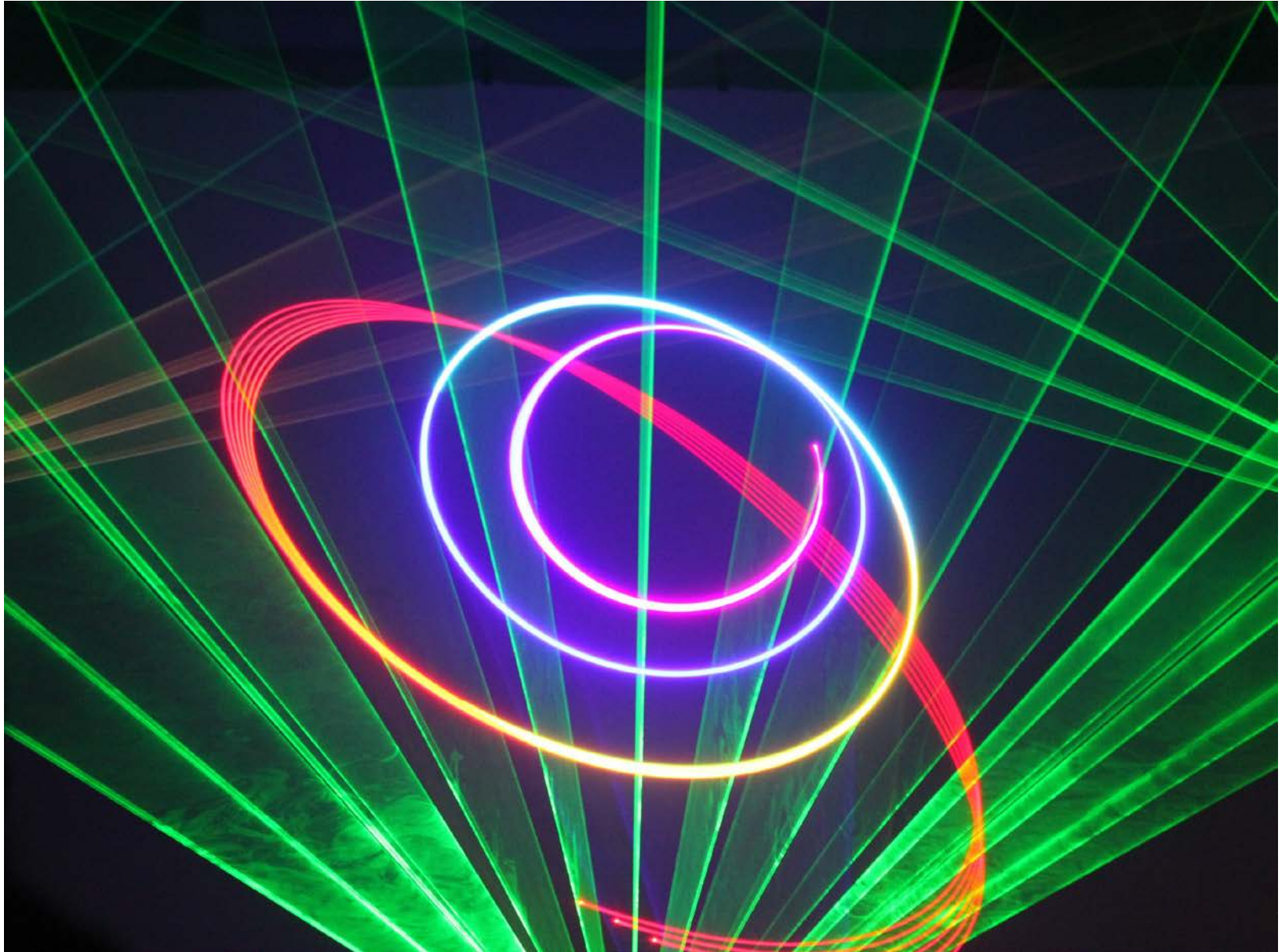
Renshaw UK

Zahnimplantate auf Kobalt-Chrom-Basis: 200-400 W Yt-Faserlaser
70 μm Strahldurchmesser, 25 x 25 x 30 cm Pulverbett
20-100 μm Schichten, bis 20 cm^3 grosse Komponenten in 1 h.

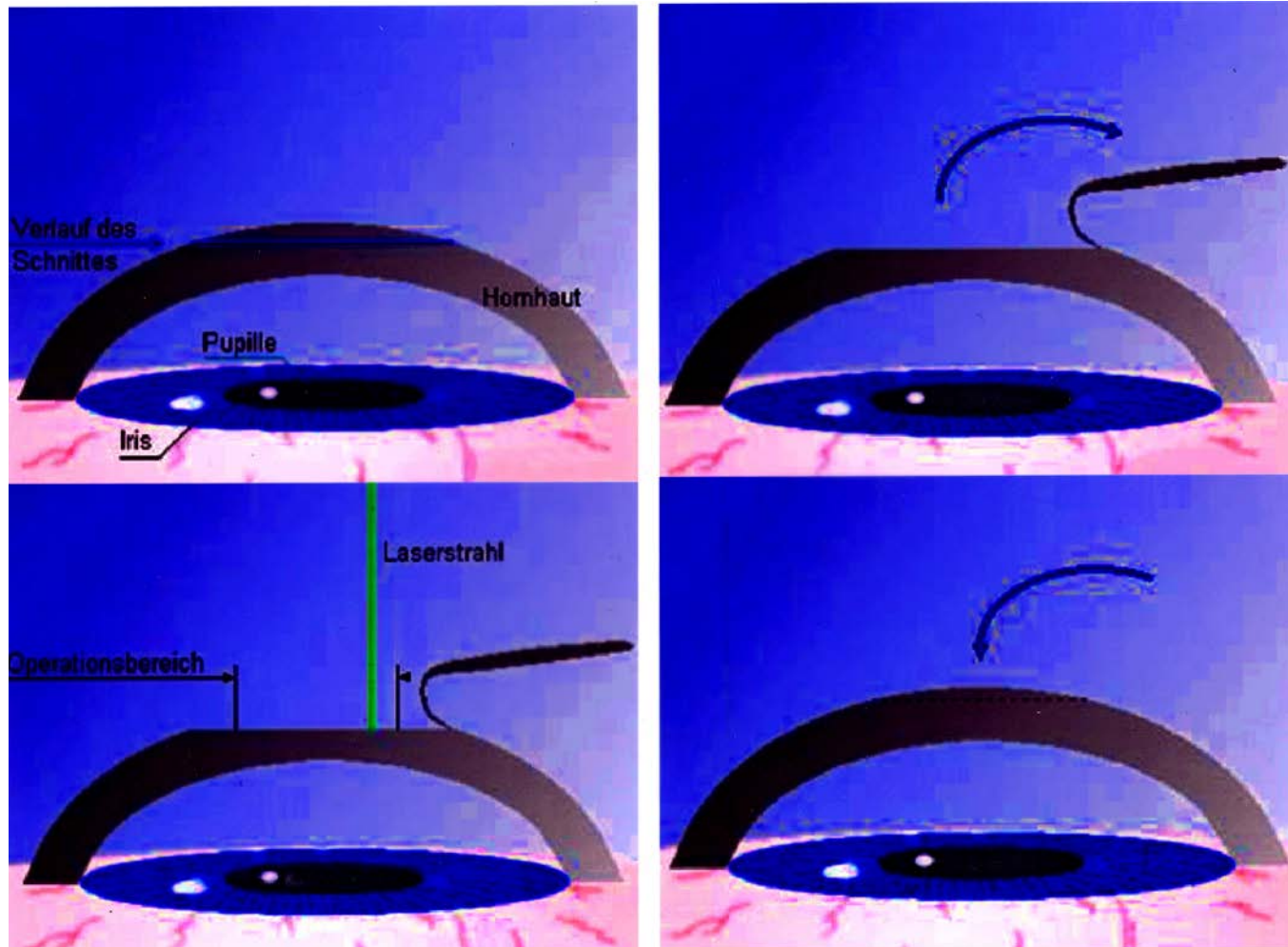
Lasershow: Projektionen bei Pyramiden in Gizeh



Lasershows

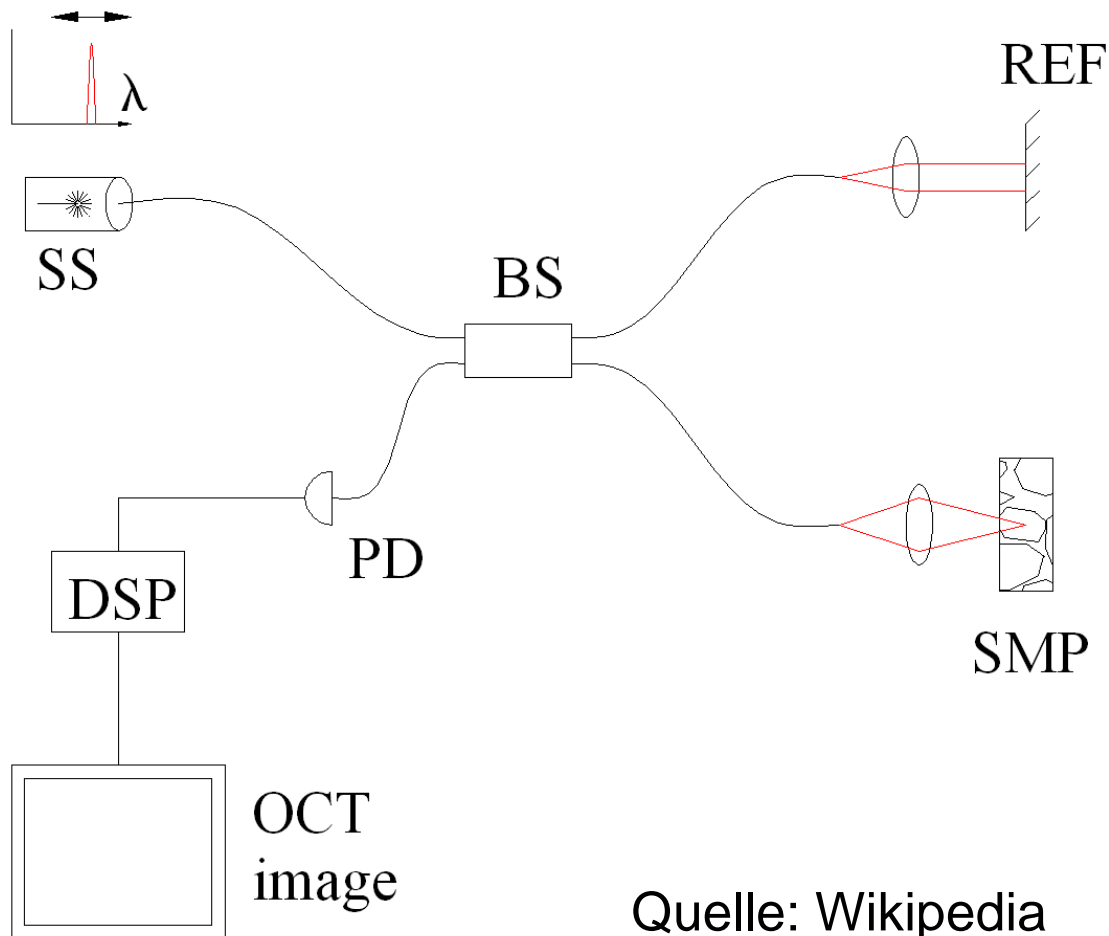


Laser in der Medizin: Korrektur der Fehlsichtigkeit (LASIK)



Korrekturen: Weitsichtigkeit bis ca. 5 Dioptrien, Kurzsichtigkeit bis 12 Dioptrien

Optische Kohärenztomographie (OCT)



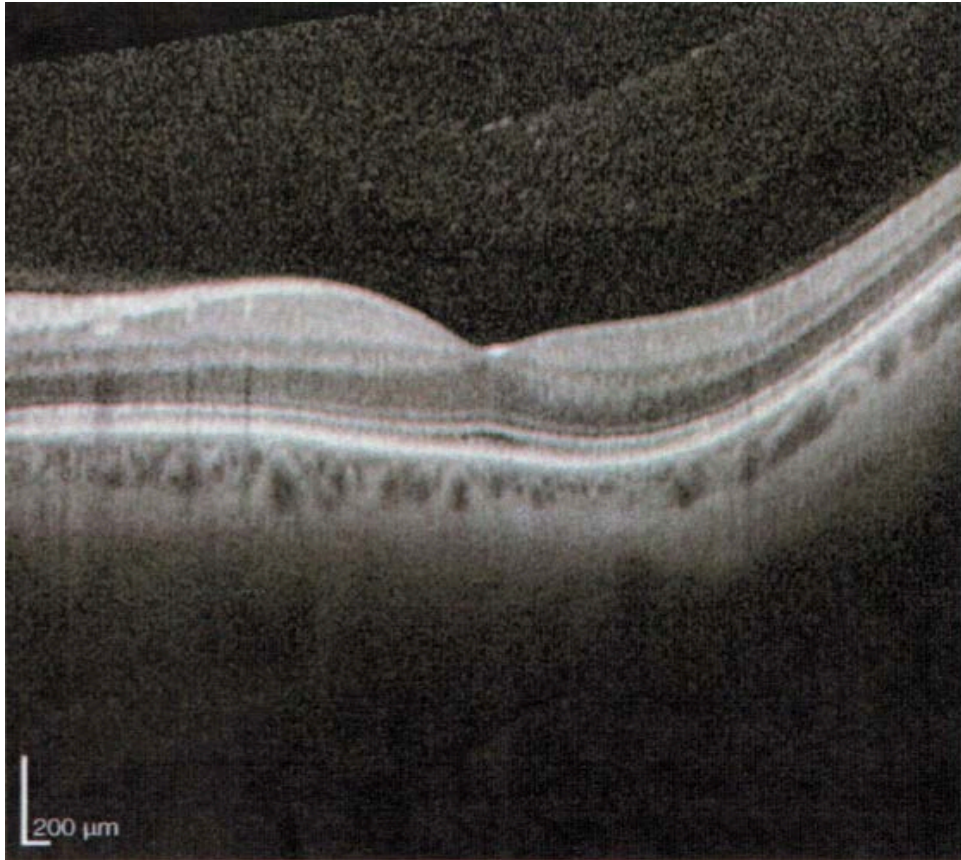
Quelle: Wikipedia

OCT: funktioniert ähnlich wie Ultraschall, aber mit Lichtwellen statt Schall
Messung der Licht-Reflexion vom Gewebe

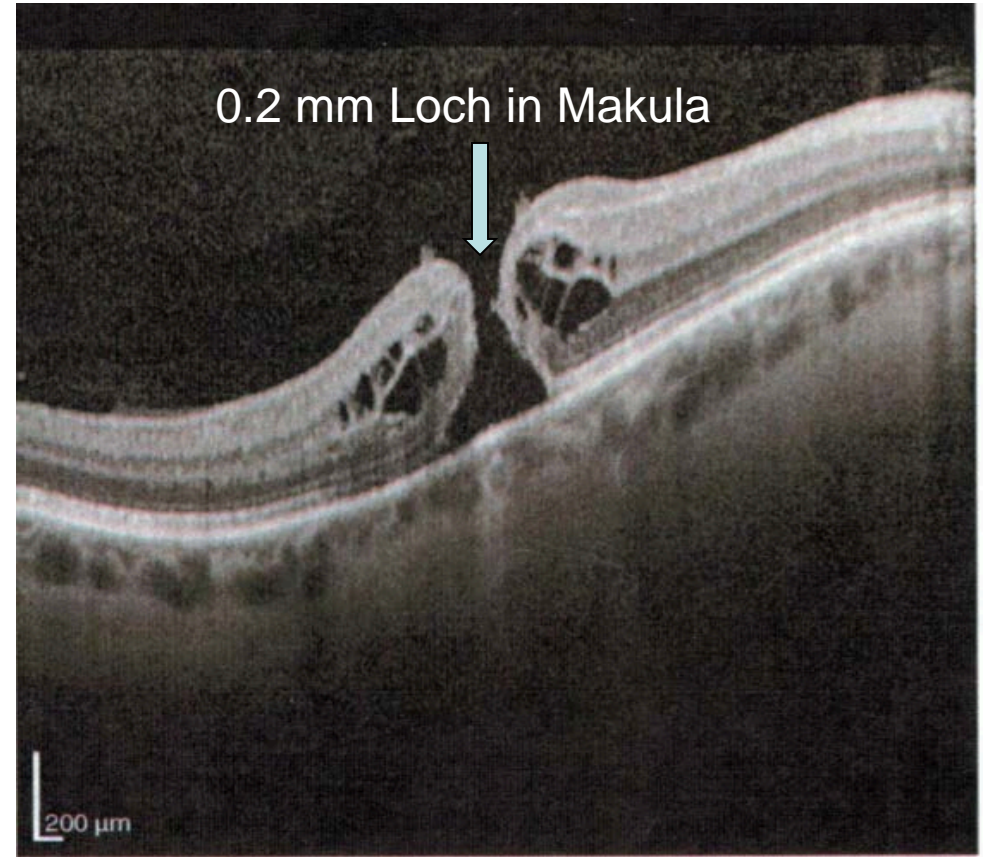
Lichtquelle mit tiefer Kohärenz (u.a. LED, Dioden-Laser, ultrakurze Laserpulse)

Wichtige Anwendung in **Ophtalmologie:**
3D Netzhautabbildungen
Auflösung μm ,
Gewebetiefe: 1-2 mm

OCT der Makula



Linkes Auge



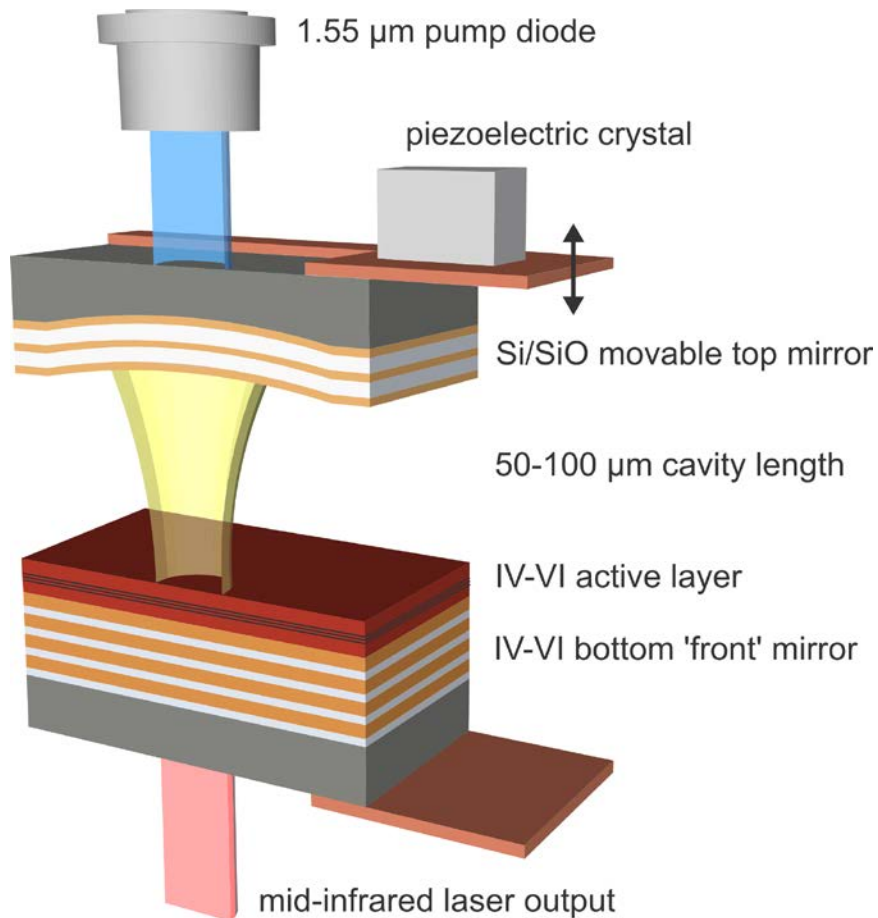
Rechtes Auge (vor Operation)

OCT des rechten Auges nach der Operation



2 Beispiele aus unserem Labor

1. Gasanalyse mit neuem Laser: Dioden-gepumpter Bleisalz VECSEL (Vertical Extended Cavity Surface Emitting Laser)

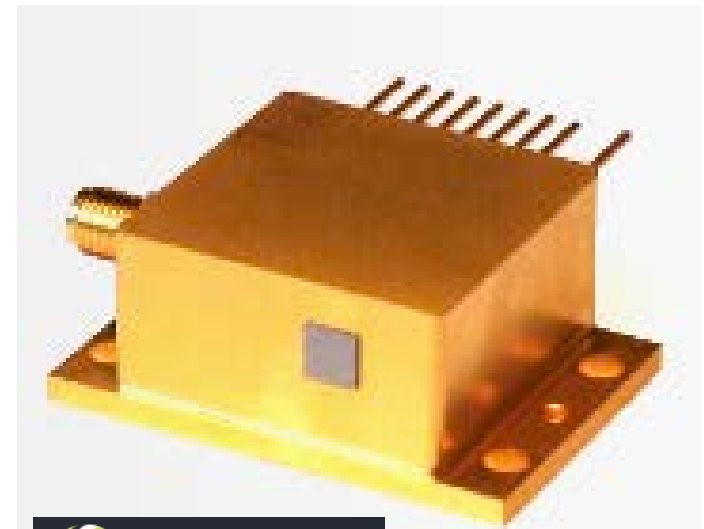


$$\lambda \approx 3.4 \mu\text{m}$$

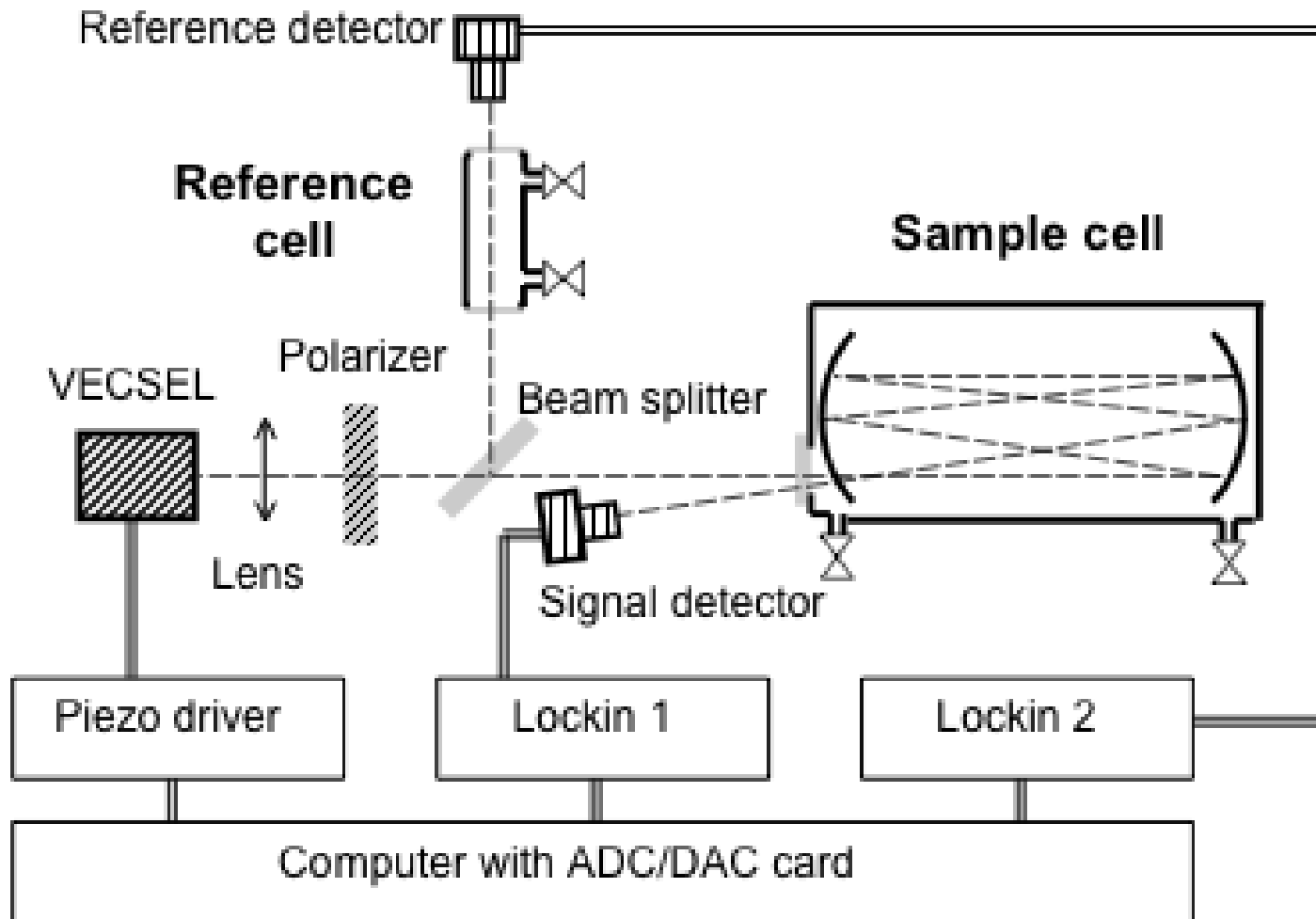
Durchstimmbereich: $> 150 \text{ cm}^{-1}$

Pulsspitzenleistung: 10 mW_p

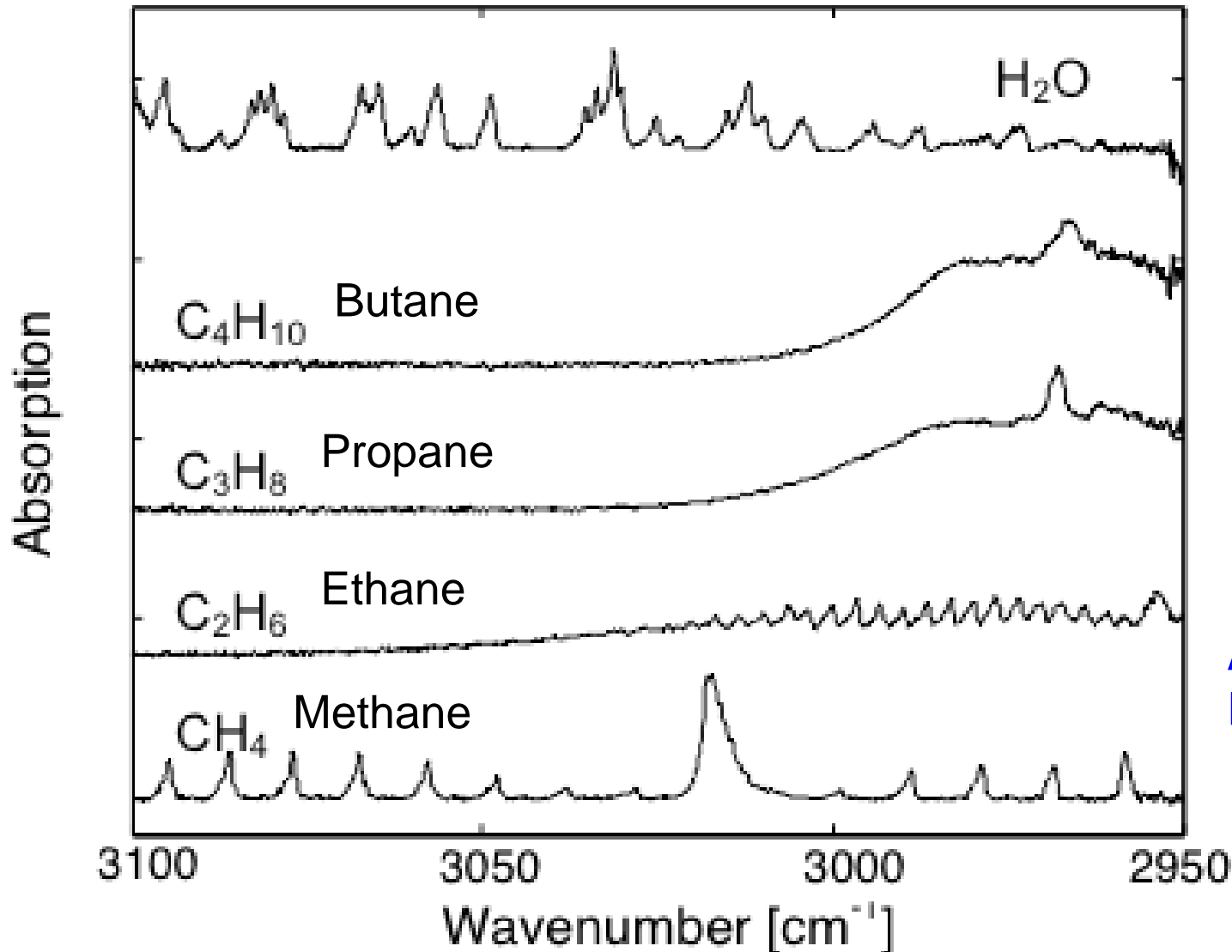
Duty cycle: 0.5%



Experimenteller Aufbau mit VECSEL, Proben- u Referenzzelle



Gemessene Referenzspektren von $C_1 - C_4$ Alkanen

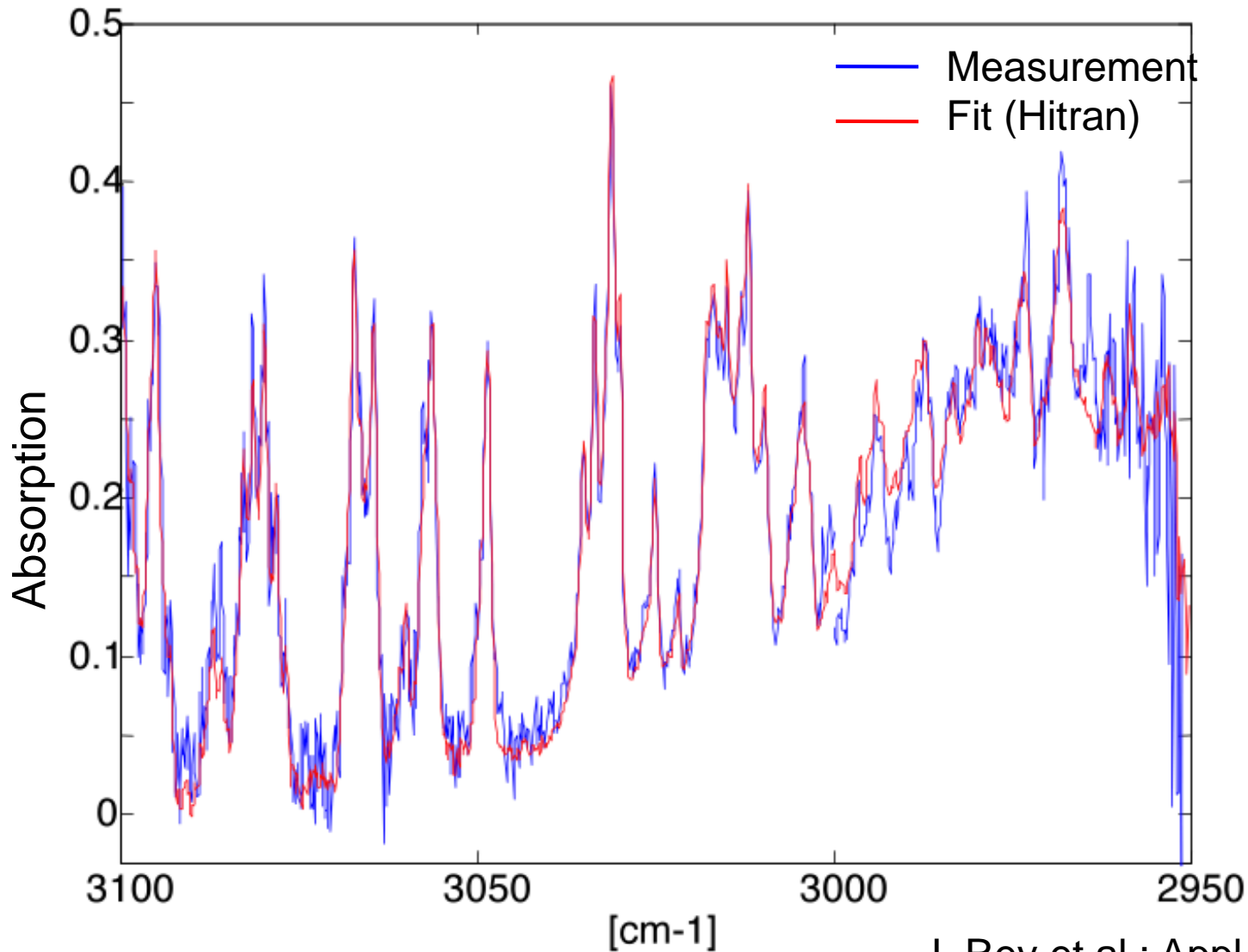


Einzelne Gase in N_2 bei 1 bar, gemittelt über 100 scans

Totale Messzeit: 200 s

Abstimmung durch Piezospaltung

Spektrum einer Mischung von C_1 - C_3 Alkanen und Wasserdampf



23 ppm Methan
24 ppm Aethan
20 ppm Propan
1.7 %vv H₂O dampf
Puffergas: N₂ bei 1bar

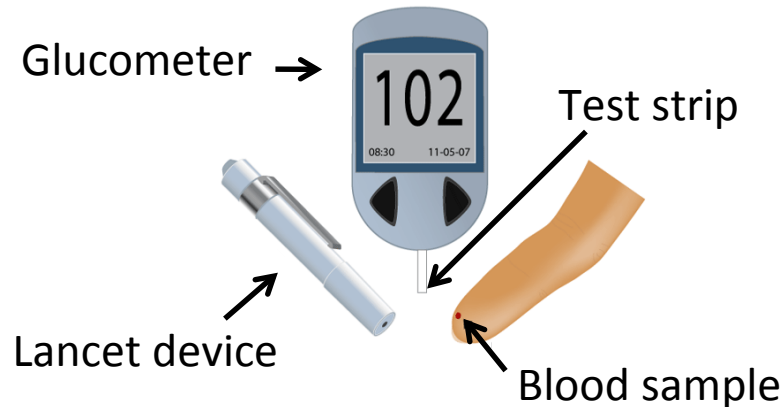
Messzeit: 10 x 2 sec

**Nachweisgrenze:
0.6 ppm**

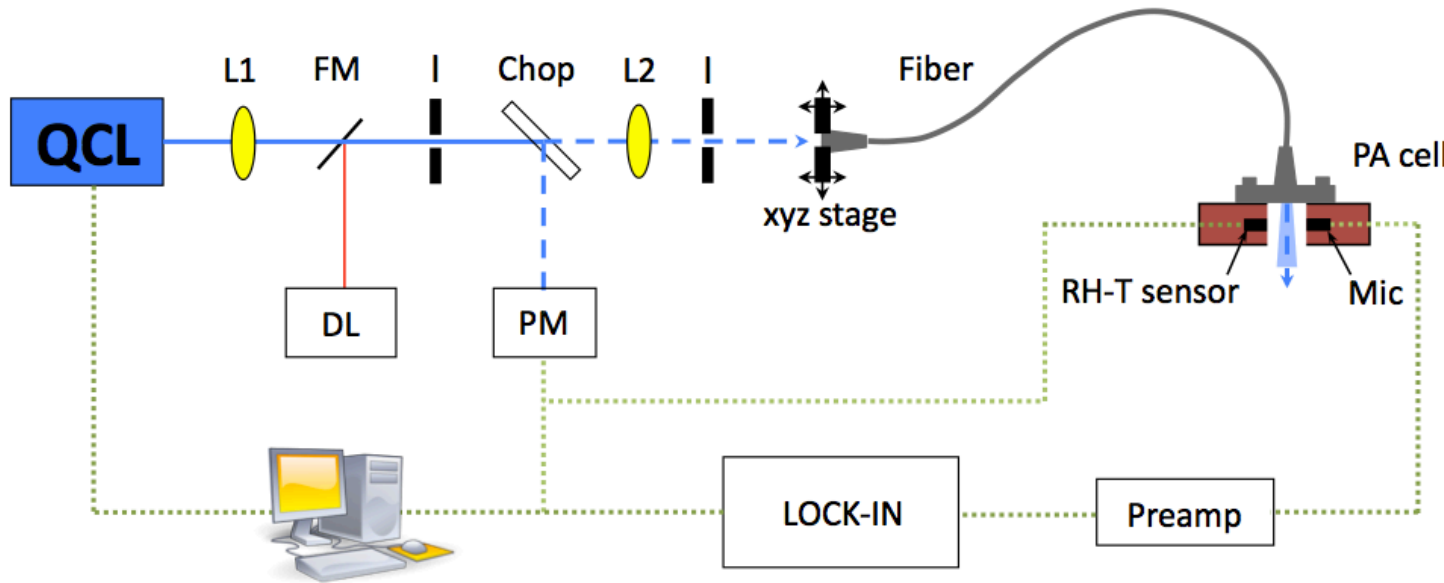
J. Rey et al.: Appl. Phys. B (2014), im Druck
Dank: KTI

2. Nicht-invasiver Glukosenachweis

- Patienten müssen Blutzuckerspiegel täglich mehrere Male messen
- Blutzucker eines gesunden Menschen: 65 – 120 mg/dl
- Übliche Blutzucker-Messgeräte sind invasiv

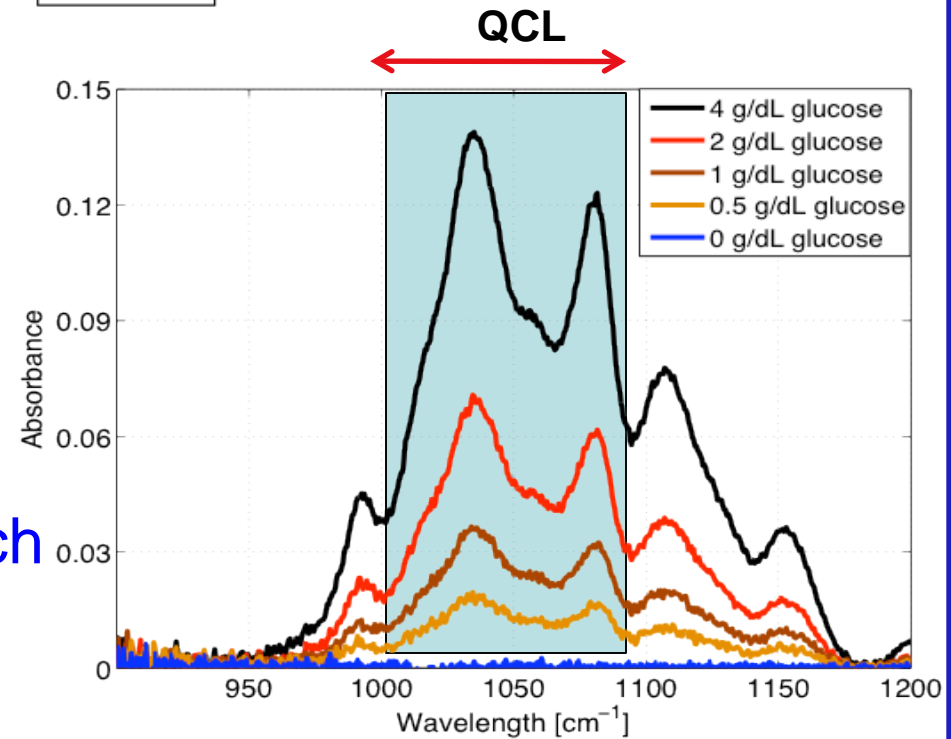


- **Ziel:** Entwicklung eines nicht-invasiven Glukosesensors mit einem Laser und photoakustischem Nachweis. Messung des Glukosegehaltes der interzellulären Flüssigkeit durch die Haut



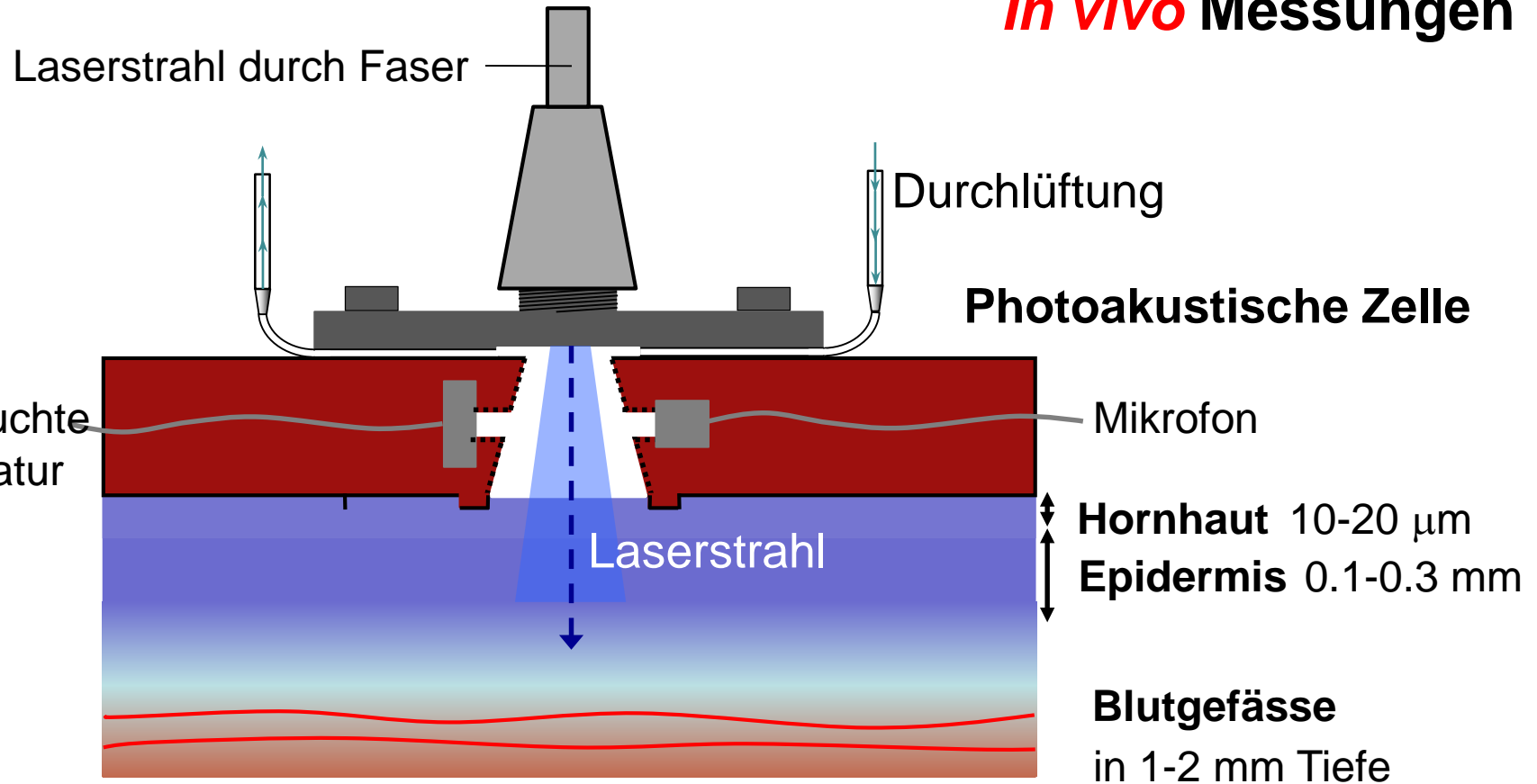
Versuchsaufbau
Mit Quanten-
kaskadenlaser
(QCL) und Faser-
gekoppelter
photoakustischer
Messzelle

Glukose Spektrum
und QCL Abstimmbereich



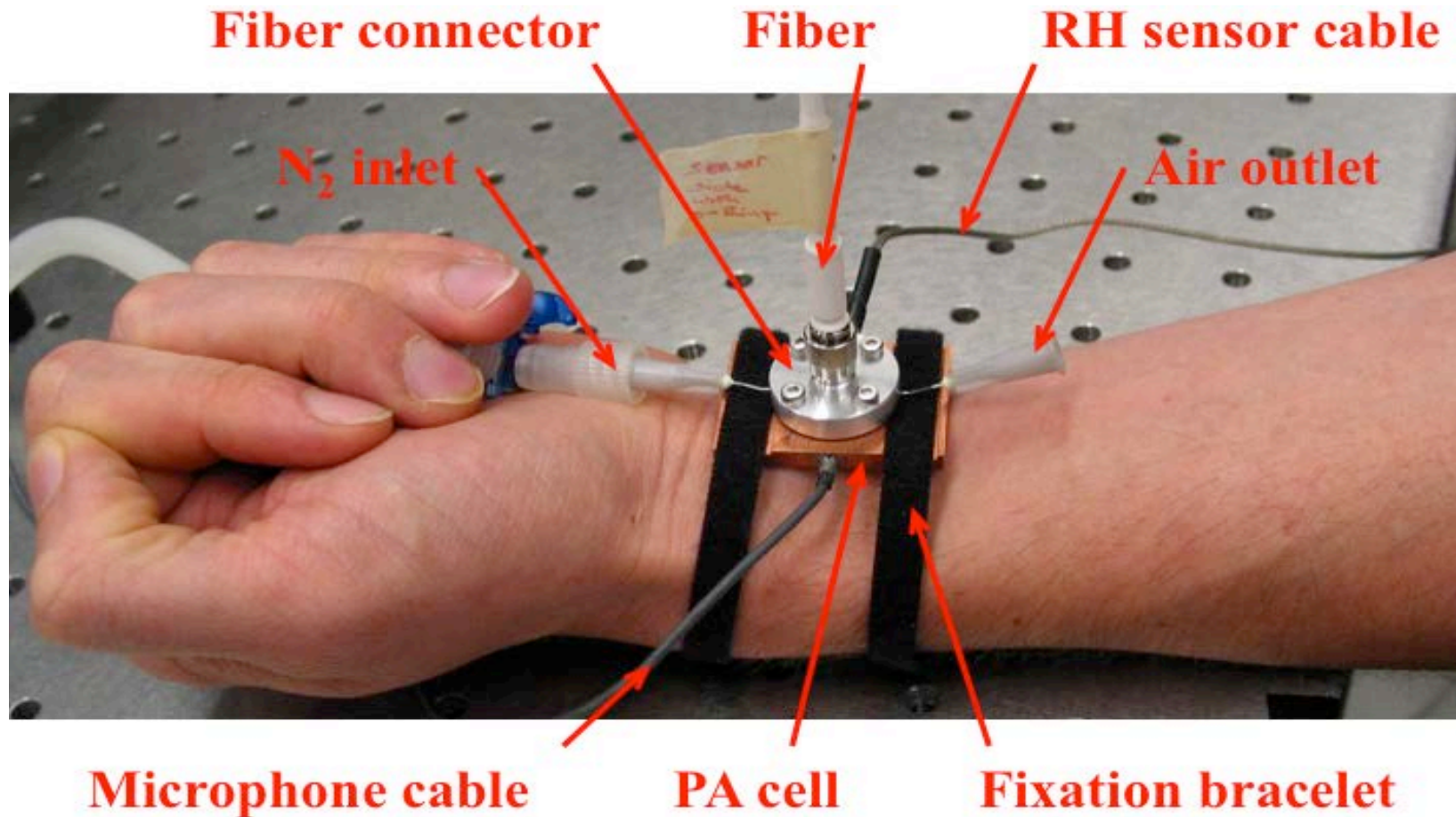
Glukosenachweis in der Haut

In vivo Messungen



Glukose diffundiert aus den Blutgefäßen in die interzelluläre Flüssigkeit

In vivo Messungen am Vorderarm

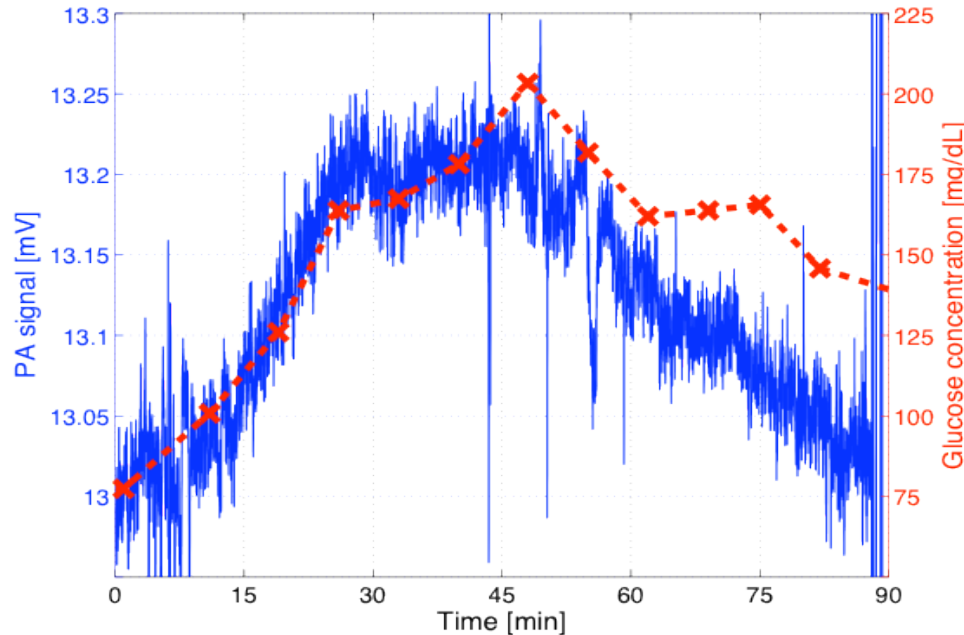


J. Kottmann, U. Grob, J. Rey, M.W. Sigrist: *Sensors* **13**, 535 (2013) ; Dank: Glucometrix, ETH Zürich

In vivo Glukose Messungen

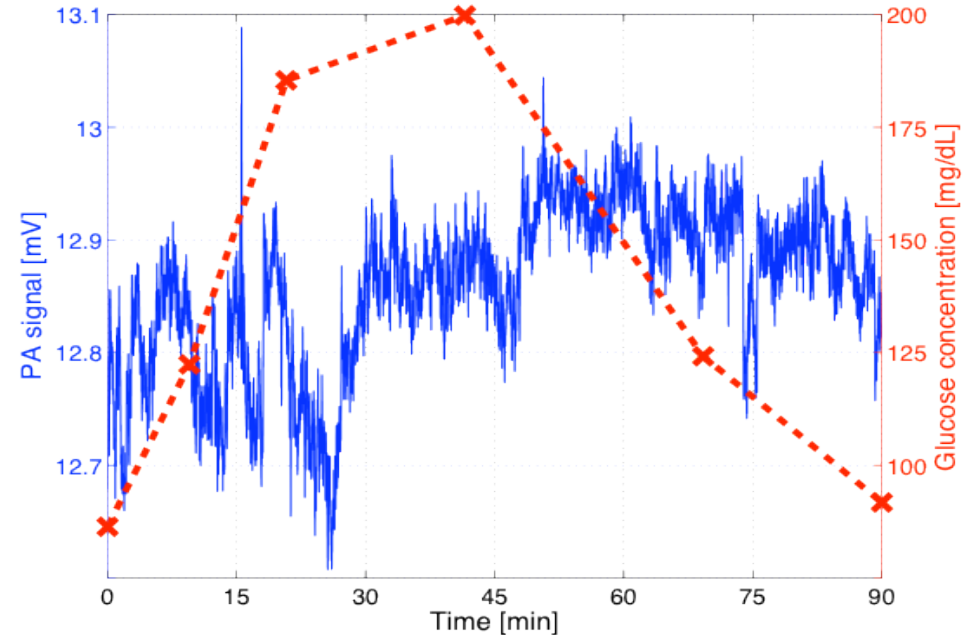
Oral glucose tolerance test

Messung 1



—— PA Signal - - - - - Invasiv

Messung 2



—— PA Signal - - - - - Invasiv

Korrigiert für Änderungen der rel. Feuchte und Temperatur, empfindlich auf Armbewegungen

Qualitative Korrelation
zwischen **invasiver** und **nicht-**
invasiver Glukose Messung

Nicht immer klare Korrelation
zwischen **invasiver** und **nicht-**
invasiver Messung

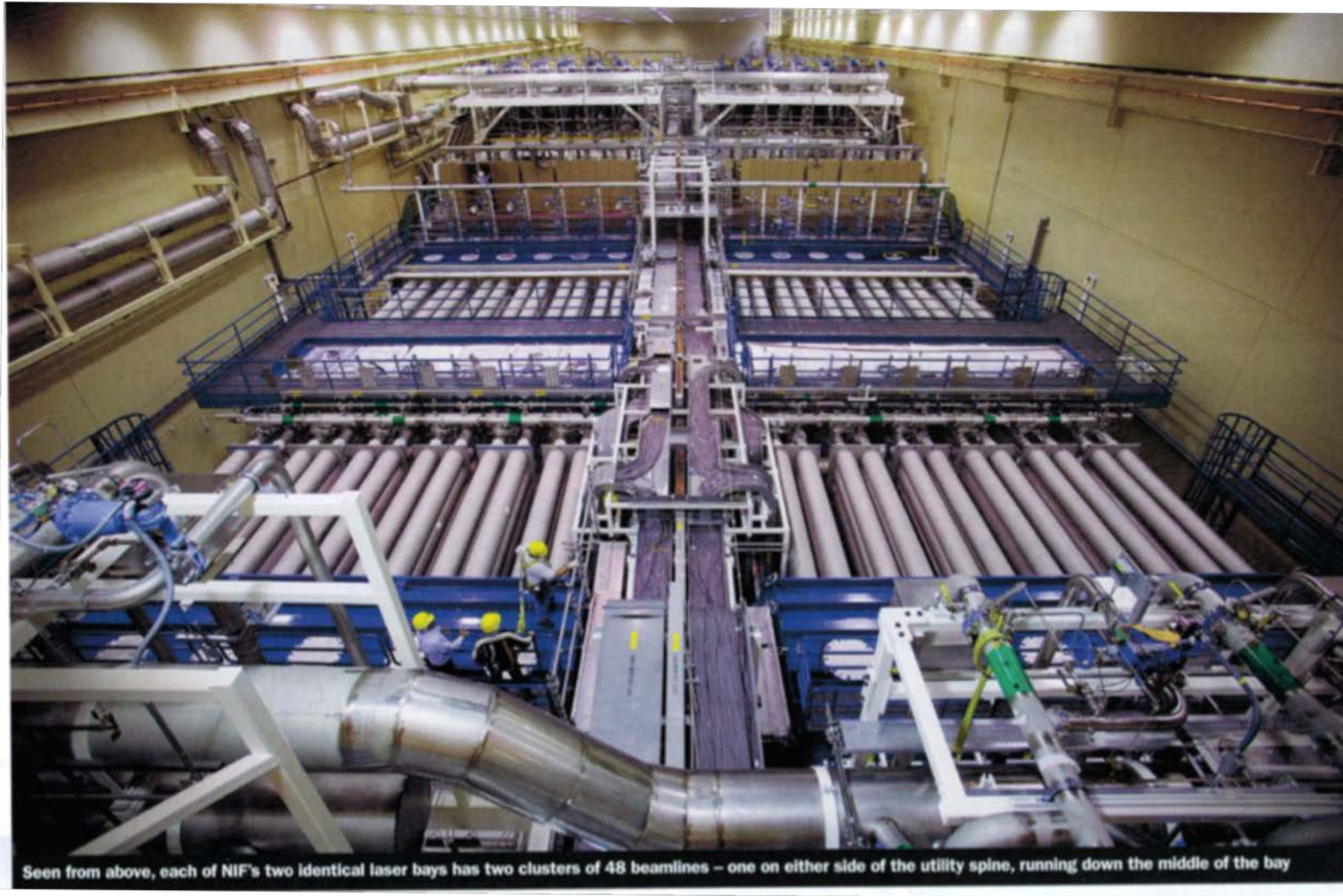
Zusammenfassung

- **Laser:** Grundlagen, Aufbau, Typen, Eigenschaften
- **Gestern:** Geschichte, Laserentwicklungen
- **Beispiele von heutigen und neuen Laseranwendungen**
 - Materialbearbeitung
 - Lasershows
 - Medizin: Augen, OCT
 - Aus unserer Forschung
 - Multi-komponenten Gasnachweis mit neuartigem Laser
 - Nicht-invasiver Glukosenachweis

Ausblick

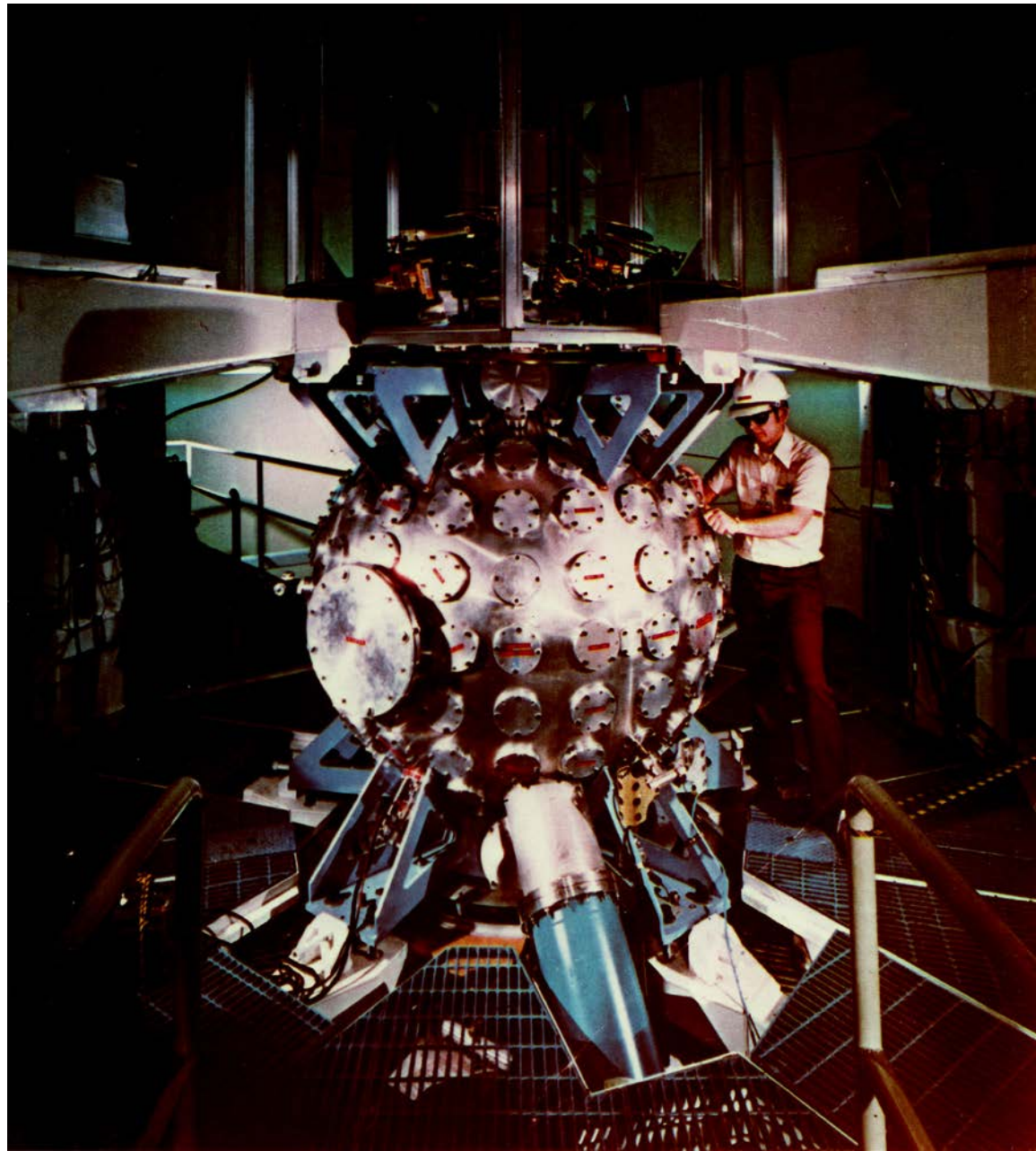
- Laser werden kleiner, kompakter, effizienter und billiger
- Neue Lasertypen ?
- Integration in Systeme: z.B. Laserprojektoren, auch in smartphones
- Extremes UV (13.5 nm): immer kleiner. UV-Lithographie
- Optische Computer (Kreuzungen, keine Wärmeproduktion)
- Militär: Laser spüren Landminen auf und zerstören sie
- Energieproduktion: Kernfusion von Wasserstoff und Deuterium
- Laser in der Landwirtschaft ?
- Laser in der Medizin: Atemluftdiagnostik
“Point-of-care” Anwendungen
-

„National Ignition Facility“ (Livermore, USA)



192 Laserstrahlen: Leistung: Petawatt (10^{15} Watt), Pulse: ns (10^{-9} sec)

Laser Fusion: Reaktions kammer



“Curiosity”- Roboter auf dem Mars enthält 3 Laser



The End

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit