

# Inhalt der Vorlesung

---

## 1) Einführung

### Physik des Körpers

## 2) Biomechanik

## 3) Blutkreislauf

## 4) Ohr

## 5) Auge

### Diagnostische Methoden

## 6) Röntgendiagnostik

## 7) Nukleardiagnostik

## 8) Ultraschall

## 9) MRI

## 10) Bioelektrische Quellen

### Therapeutische Methoden

## 11) Ionisierende Strahlung

## 12) Laser

# 12) Laser in der Medizin

---

**12.1 Laser**

**12.2 Diagnostik**

**12.3 Therapie**

## Literatur:

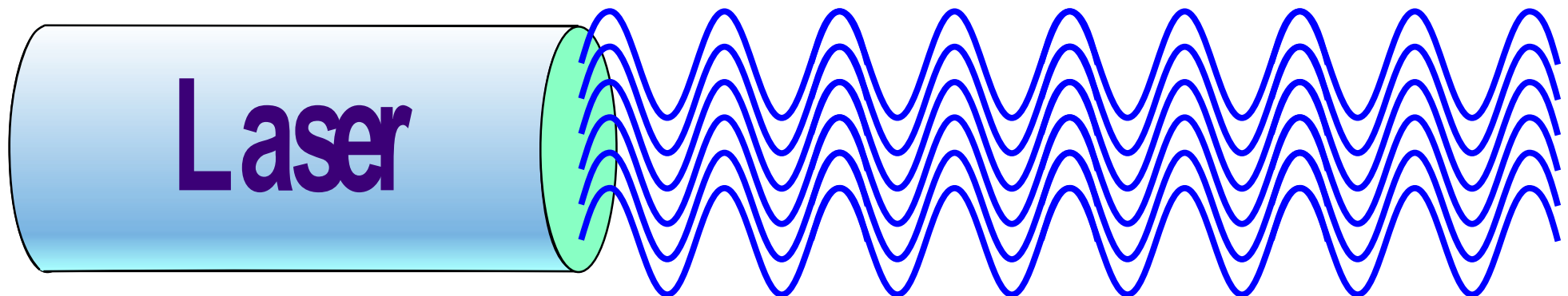
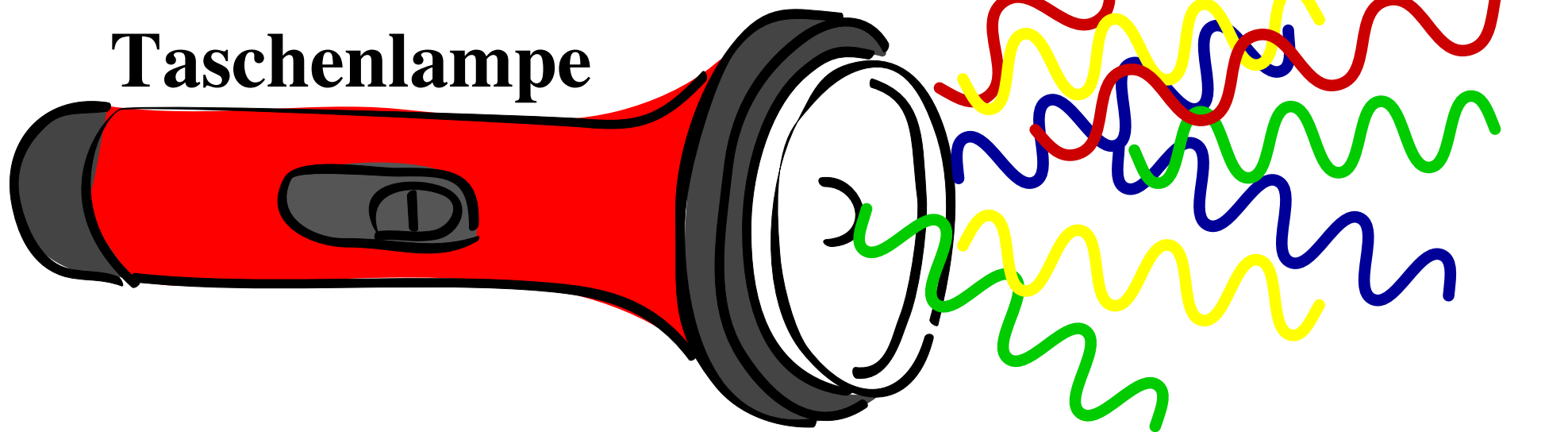
**A.E. Siegman: Lasers; University Science Books, Mill Valey**

**M.H. Niemz: Laser-Tissue Interactions, Springer**

**J. Bille, W. Schlegel (Hrsg.): Medizinische Physik Band 3, Springer**

# Laserlicht vs. “normales” Licht

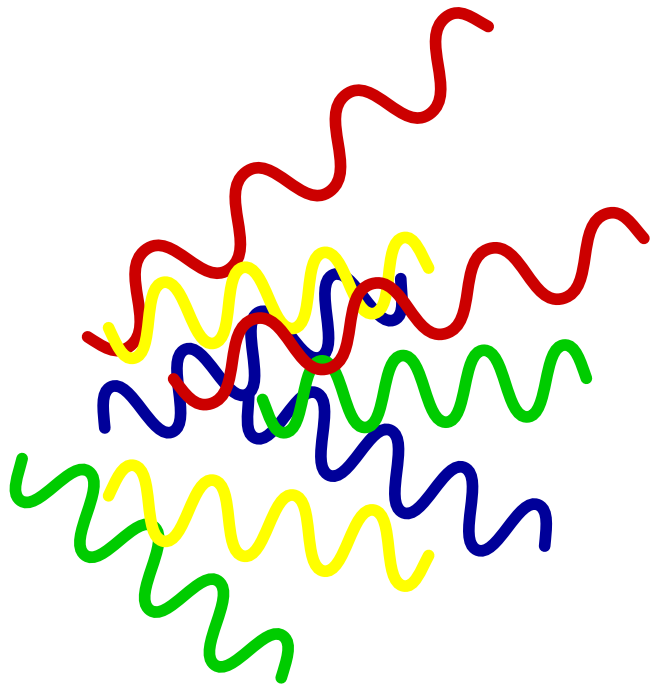
Weisses Licht enthält alle Farben (Wellenlängen)  
Alle Richtungen möglich



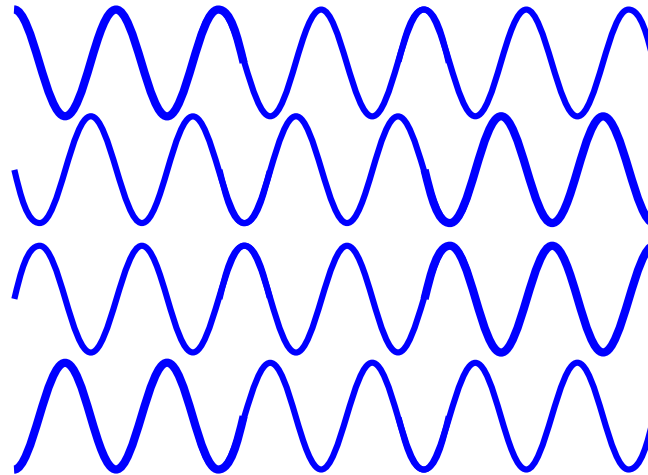
monochromatisch, gerichtet = “kohärent”

# Kohärentes Licht

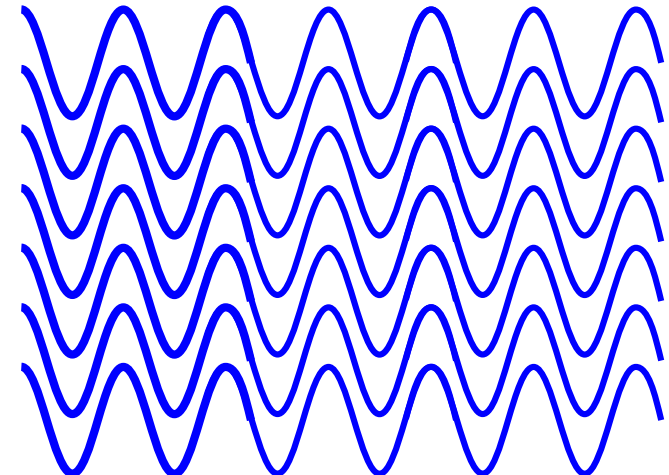
**weisses  
Licht**



**monochroma-  
tisches Licht**



**kohärentes  
Licht**



**L**ight

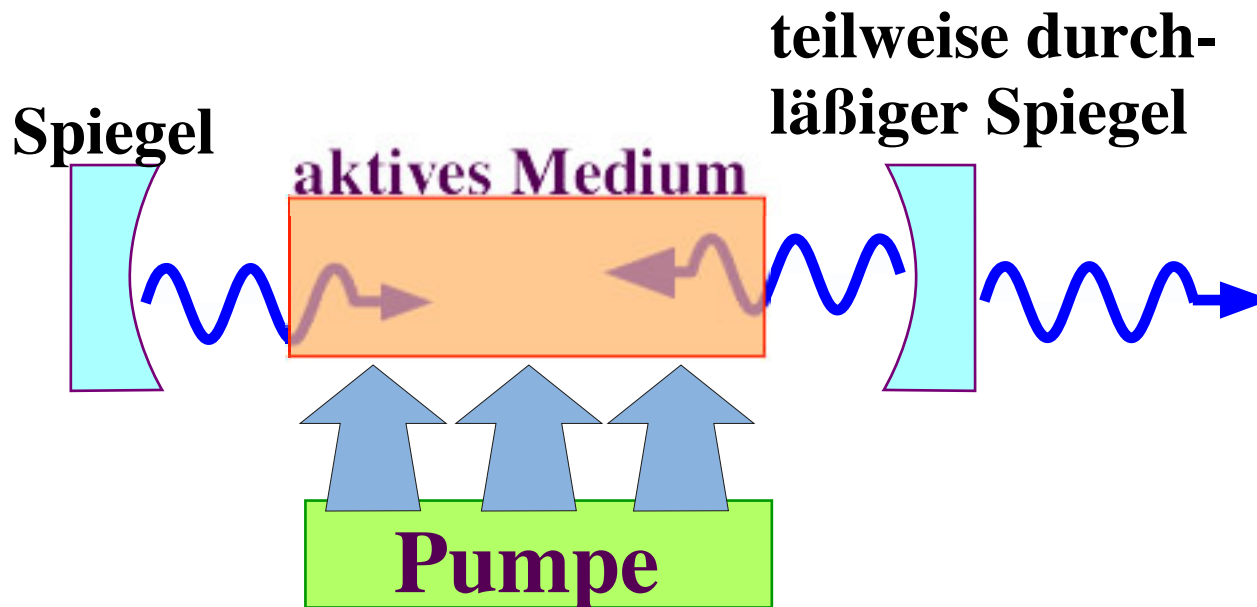
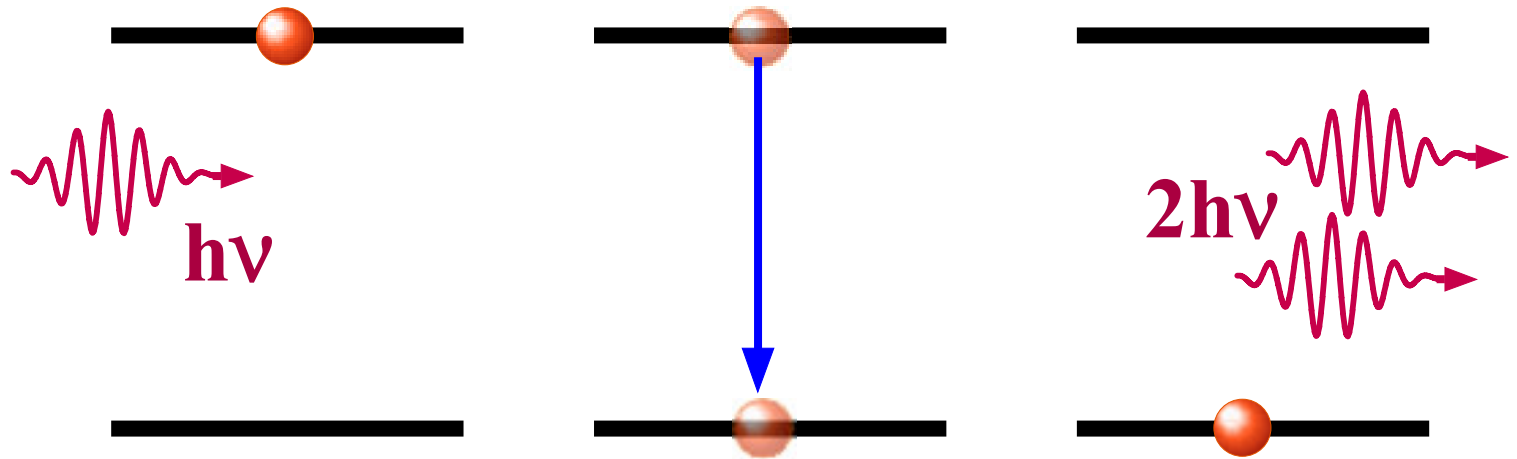
**A**mplification by

**S**timulated

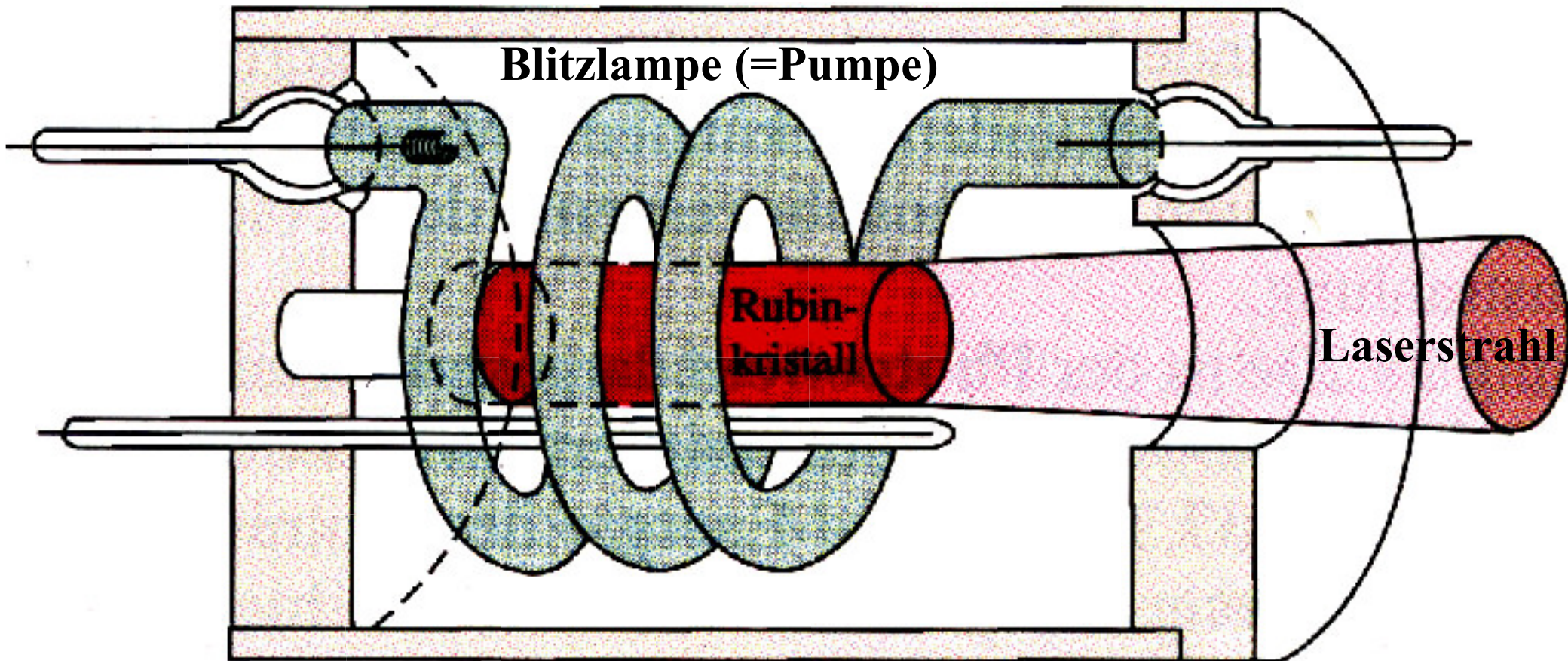
**E**mission of

**R**adiation

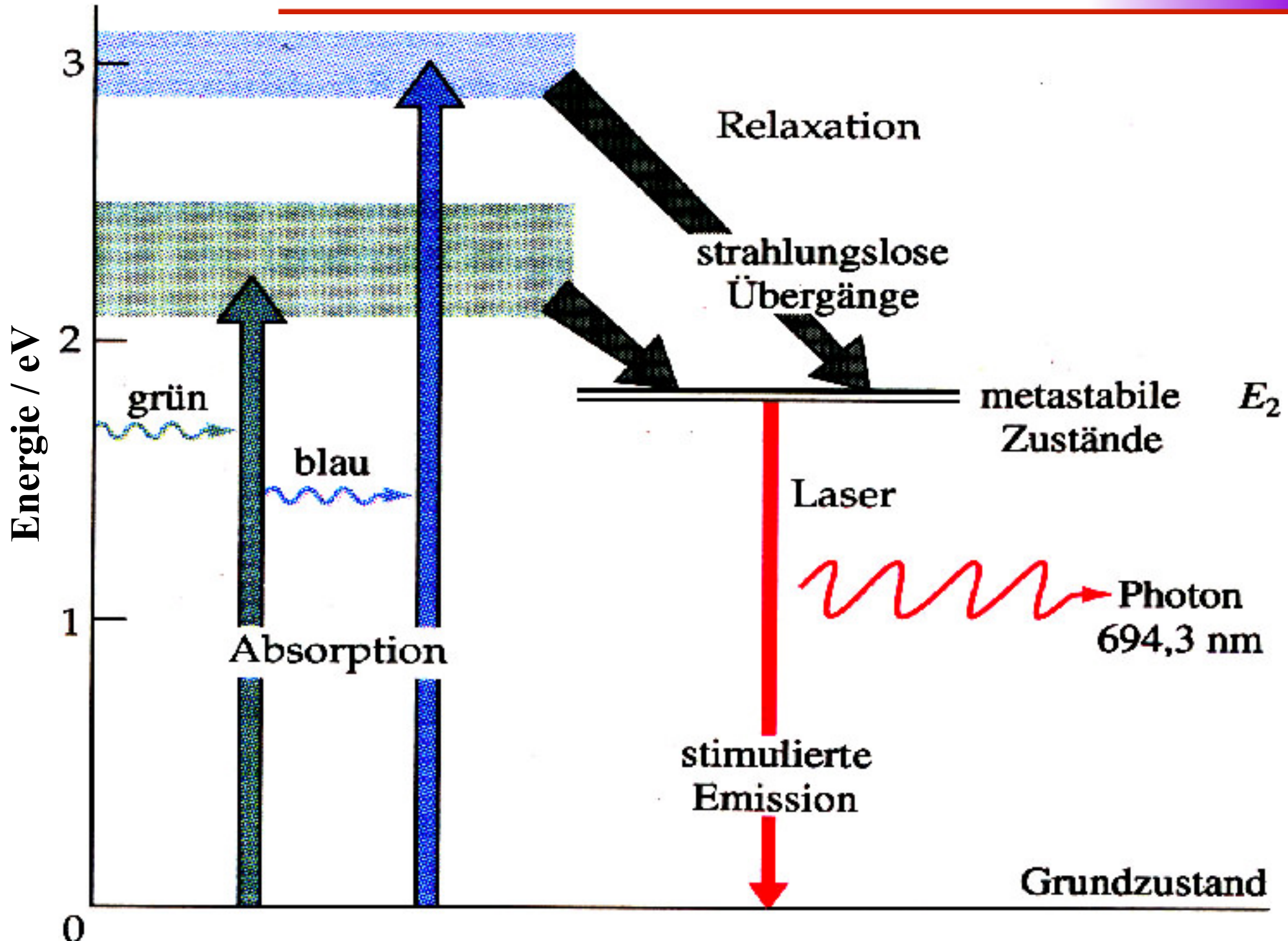
# Stimulierte Emission



# Rubinlaser

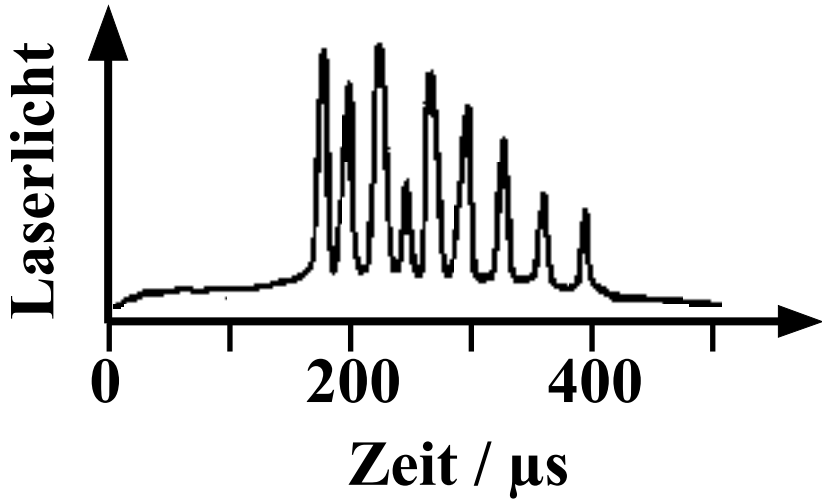
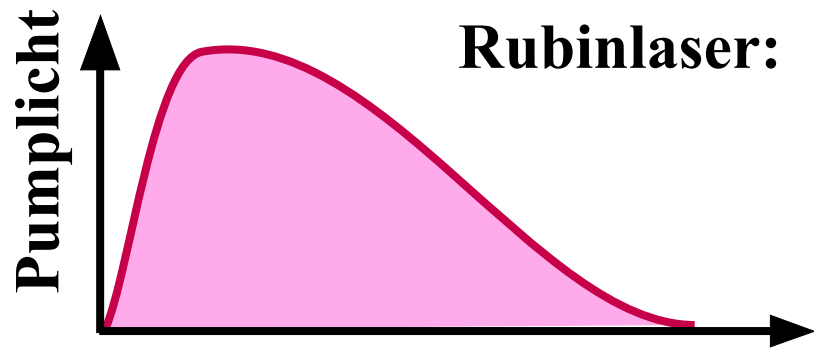


# Rubinlaser : Niveauschema



# Gepulste Laser

Rubinlaser:



Zeit /  $\mu$ s

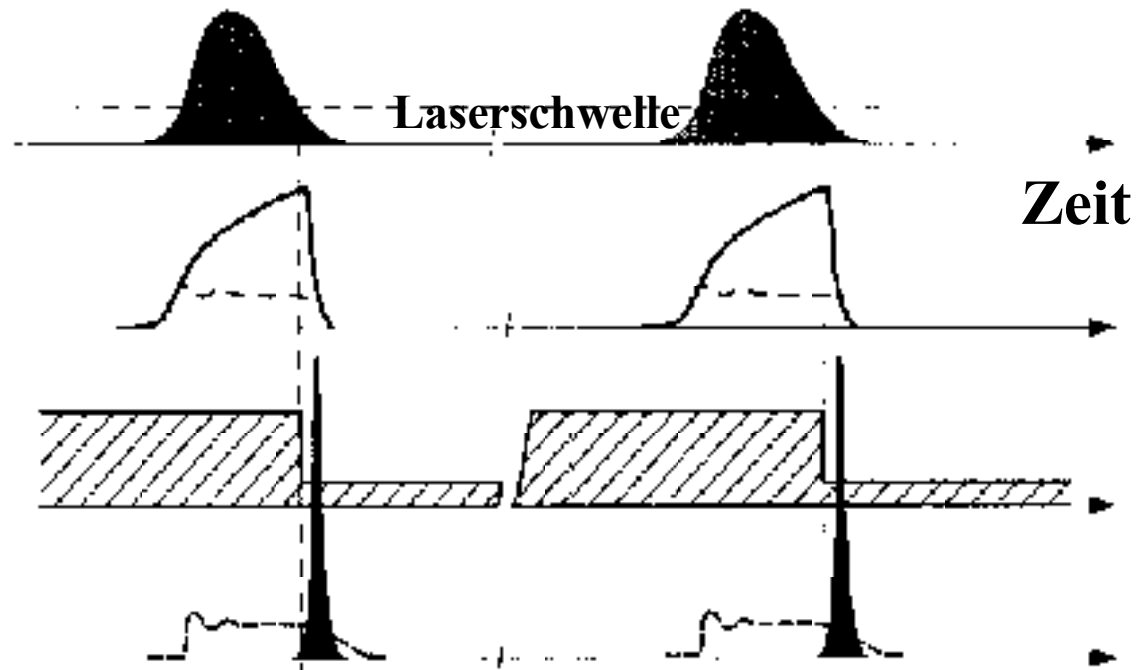
Pumpintensität

Inversion mit / ohne  
Güteschaltung

Resonatorverluste

Laserintensität mit /  
ohne Güteschaltung

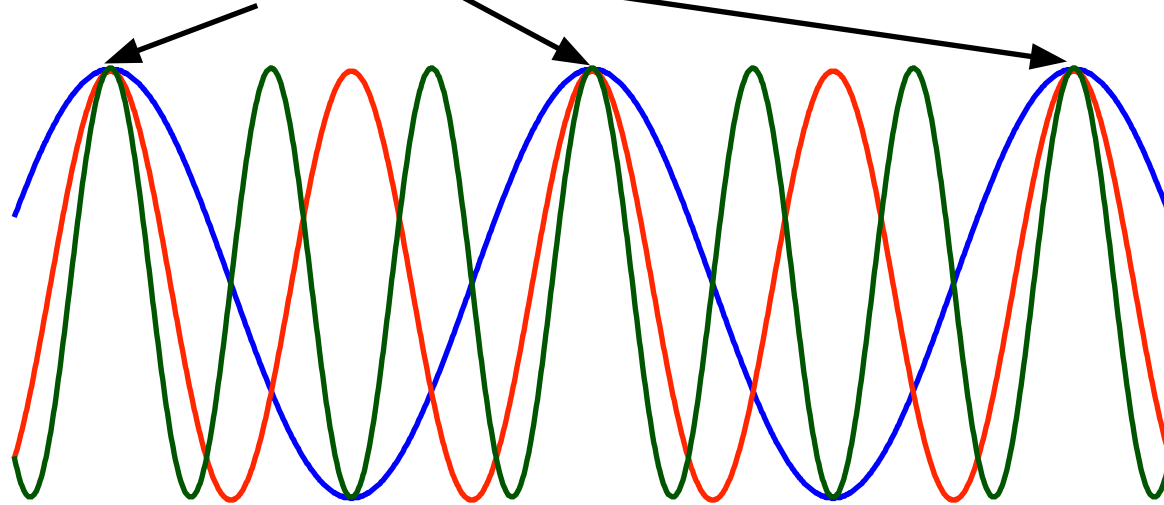
Güteschaltung:



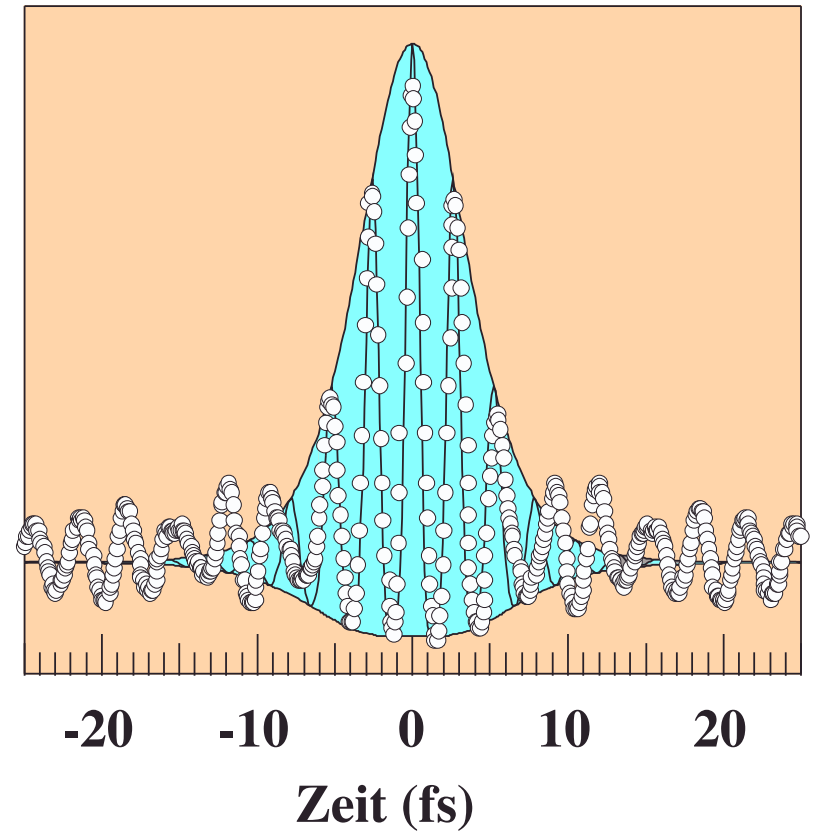
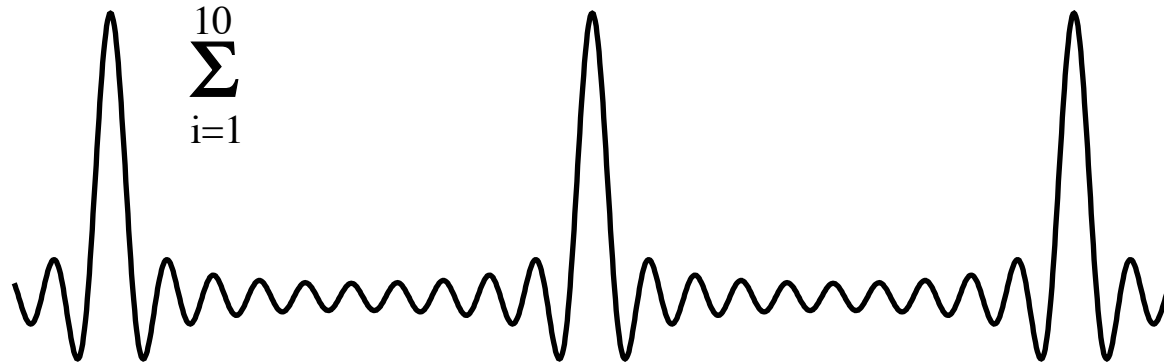


# Modenkopplung

in Phase



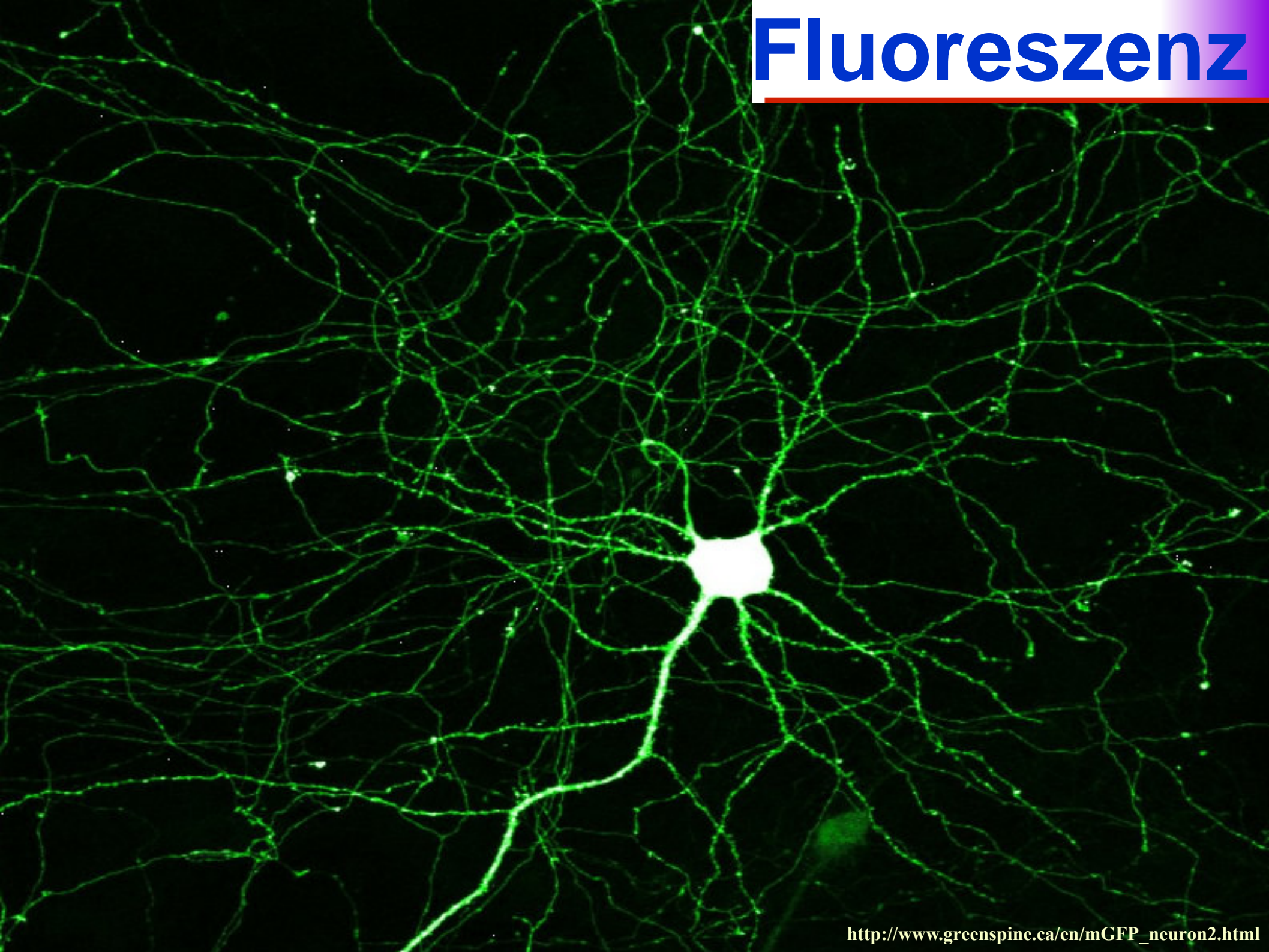
$$\sum_{i=1}^{10}$$



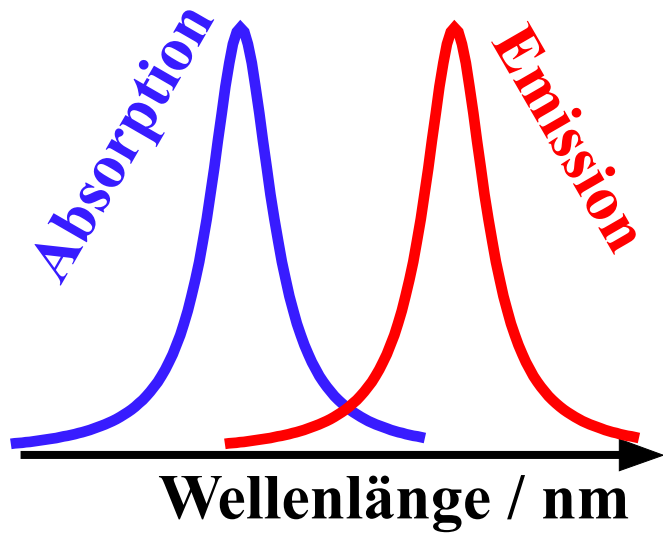
# Einsatz von Lasern

<b>Lasertyp</b>	<b>entwickelt</b>	<b>erster med. Einsatz</b>	<b>Erster Einsatz nur 1 Jahr nach der Entwicklung des Lasers !</b>
Rb-Laser	1960	1961 Ophthalmologie 1963 Dermatologie	
He-Ne-Laser	1961	1964 Biostimulanz	
CO <sub>2</sub> -Laser	1963	1965 Chirurgie	
Ar <sup>+</sup> -Laser	1964	1965 Ophthalmologie 1968 Onkologie 1975 Gastroenterologie 1979 Angioplastie	
Nd:YAG-Laser		1973 Endoskopie 1976 Urologie	
Nd:YAG-Laser (Güteschaltung)		1977 Ophthalmologie	
Excimer-Laser	1975	1983 Ophthalmologie	

# Fluoreszenz



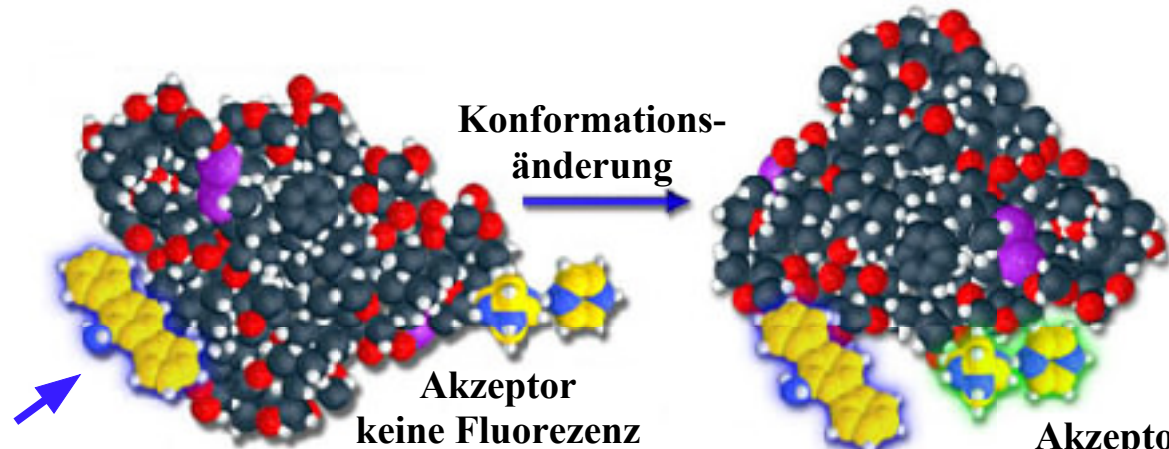
# Fluoreszenz-Transfer (FRET)



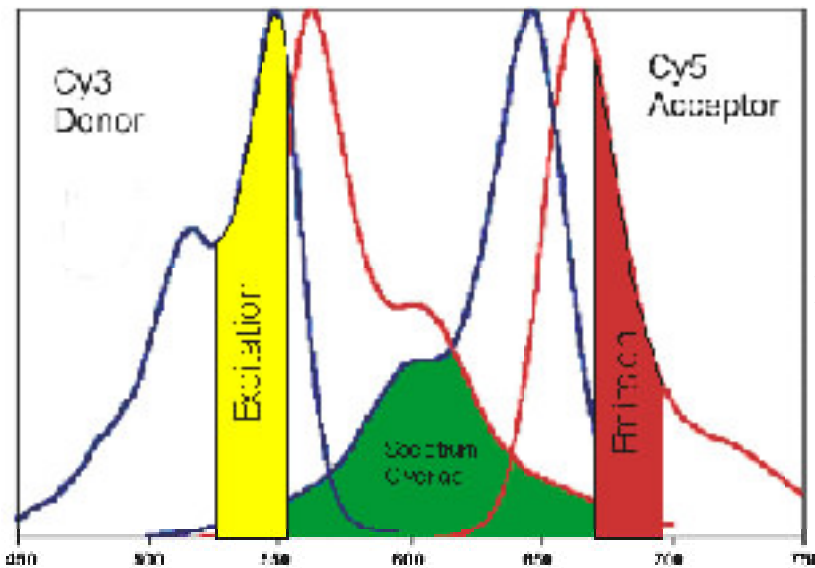
Protein markiert mit 2 Fluorophoren

12 nm Abstand

2 nm Abstand



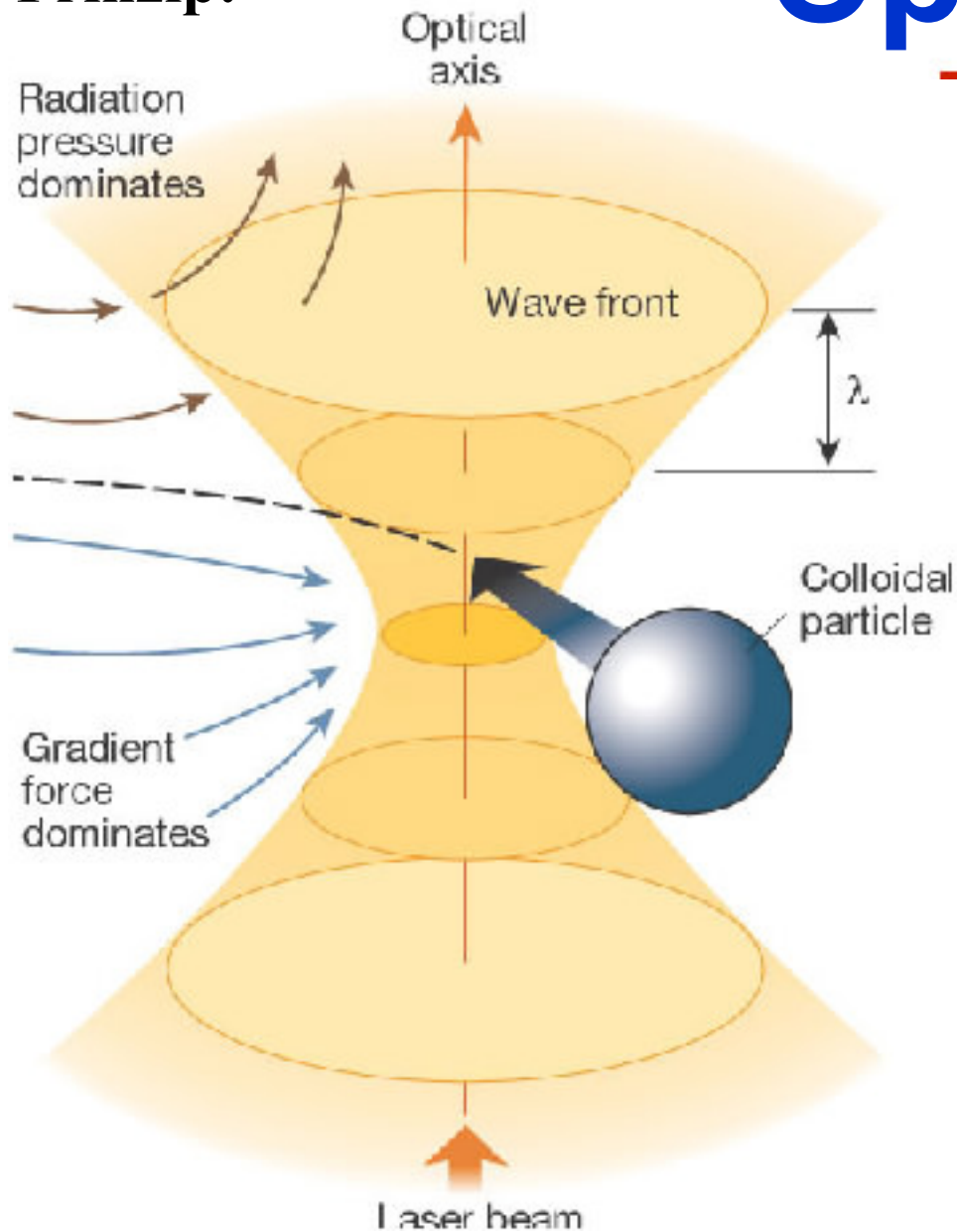
Donor / Akzeptor Paar



Wellenlänge / nm

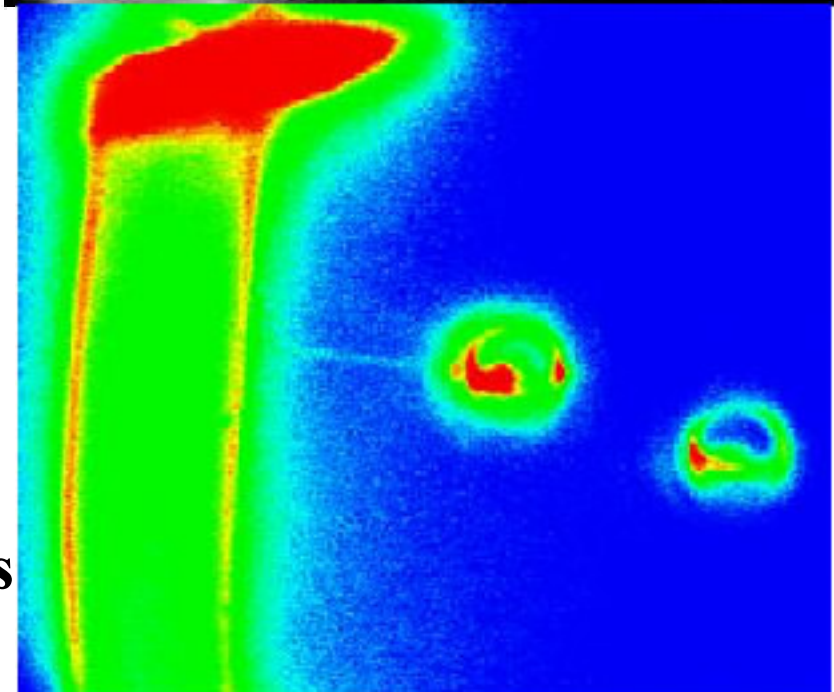
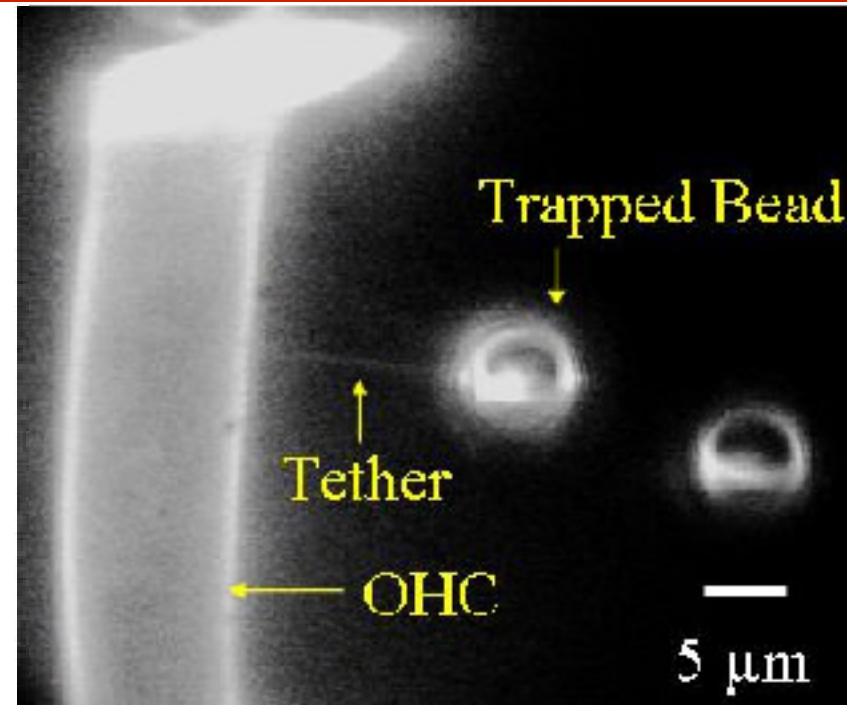
# Optische Pinzetten

Prinzip:

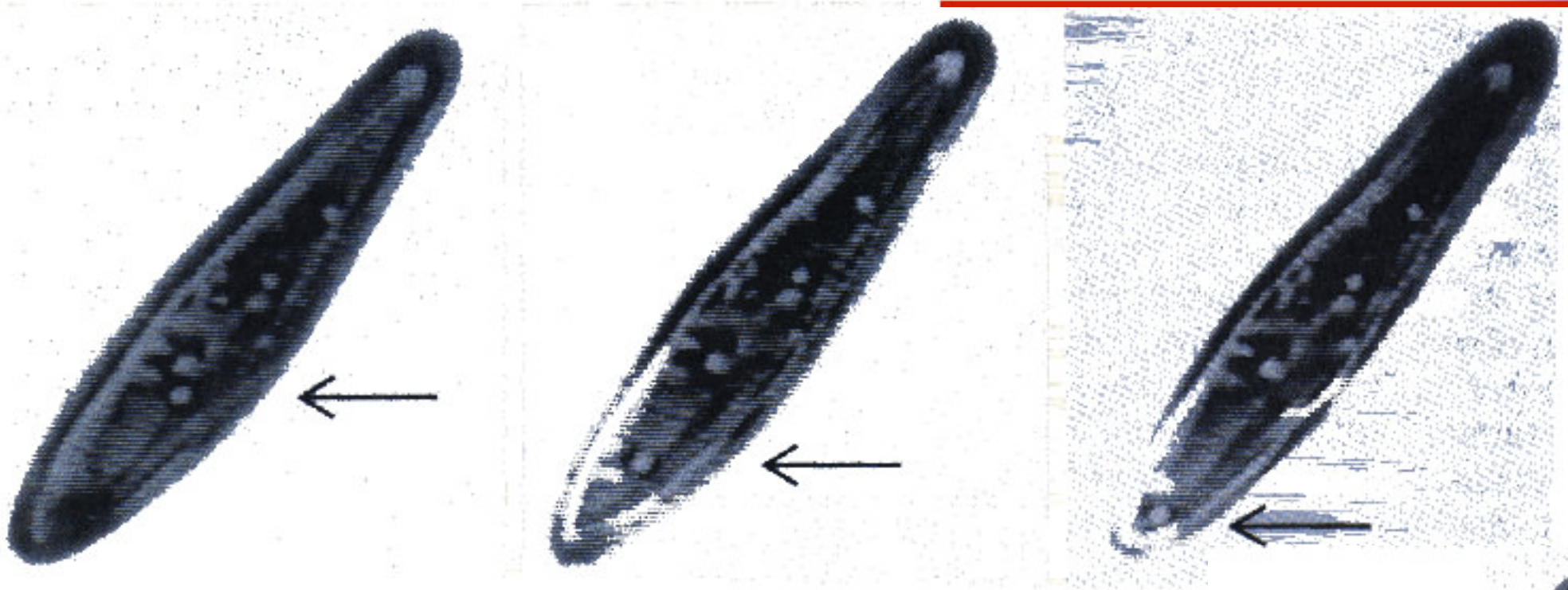


**Anwendung: Messung der Elastizität einer äußeren Haarzelle des Innenohrs**

[http://www.ruf.rice.edu/~amistry/BIOE577/Optical\\_Tweezers.htm](http://www.ruf.rice.edu/~amistry/BIOE577/Optical_Tweezers.htm)

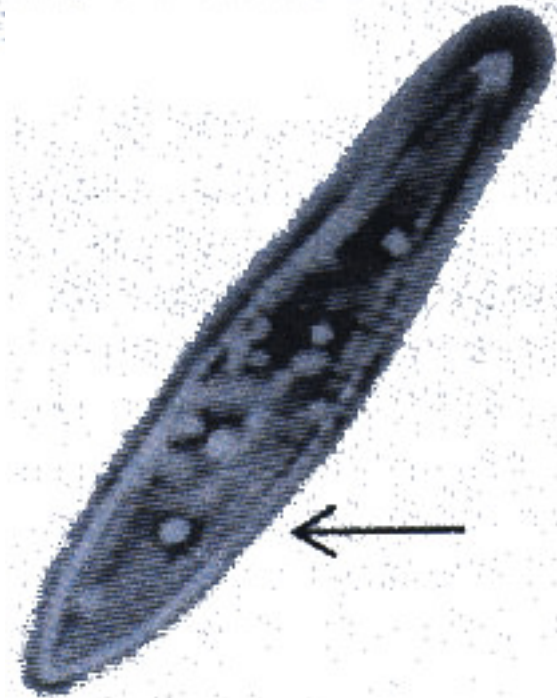


# Zellorganellen

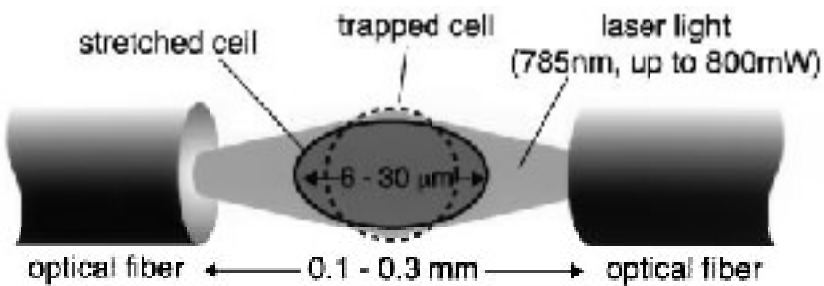


**Zellorganell wird mit Laserpinzette bewegt**

**Nach Ausschalten  
der Laserpinzette**

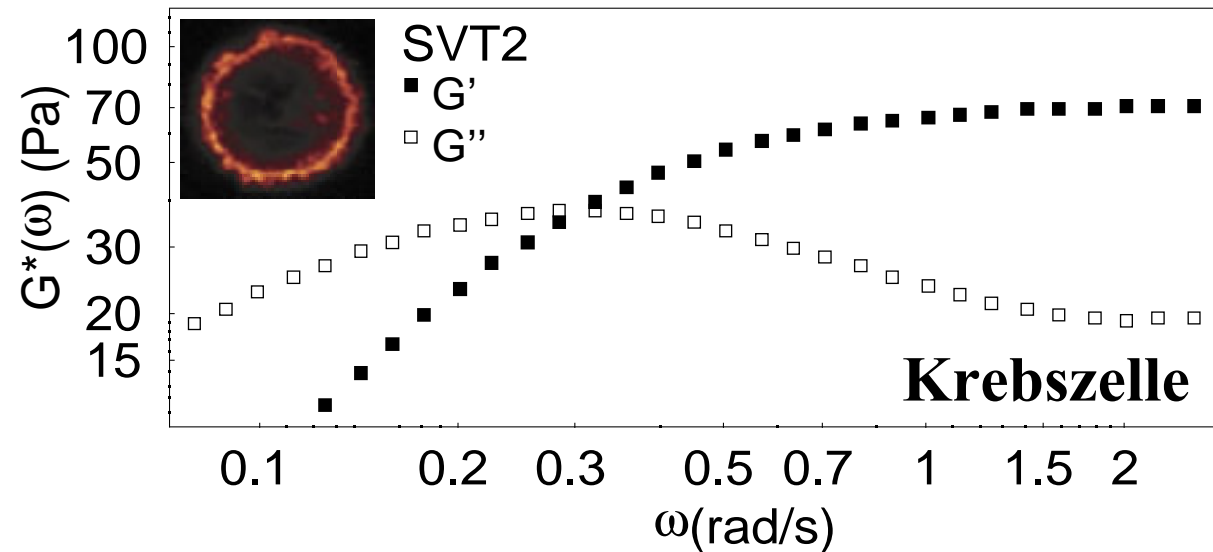
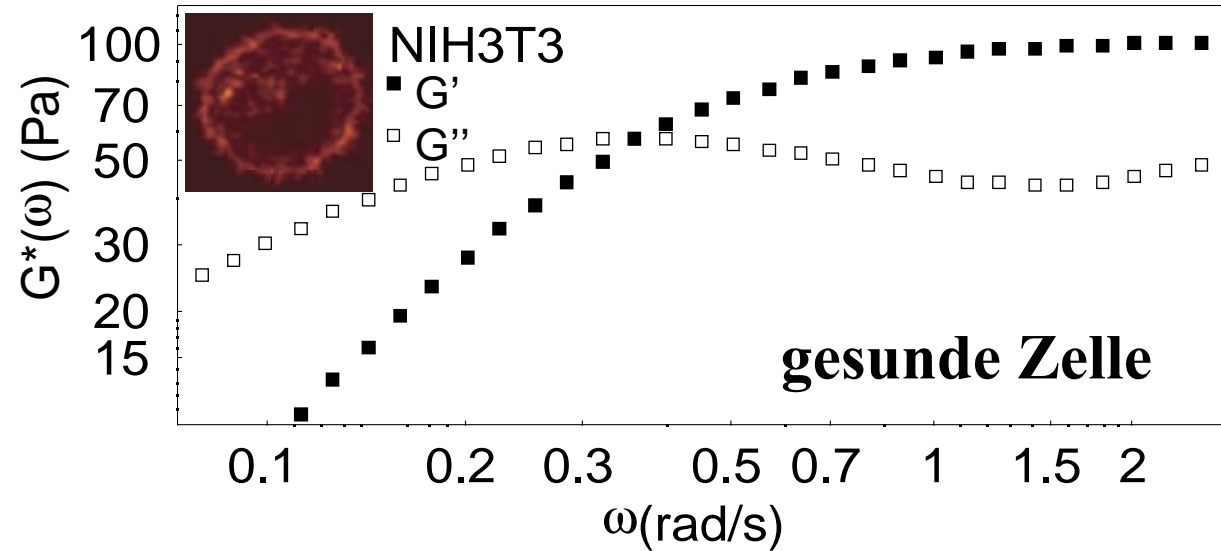


## Deformierbarkeit der Zelle

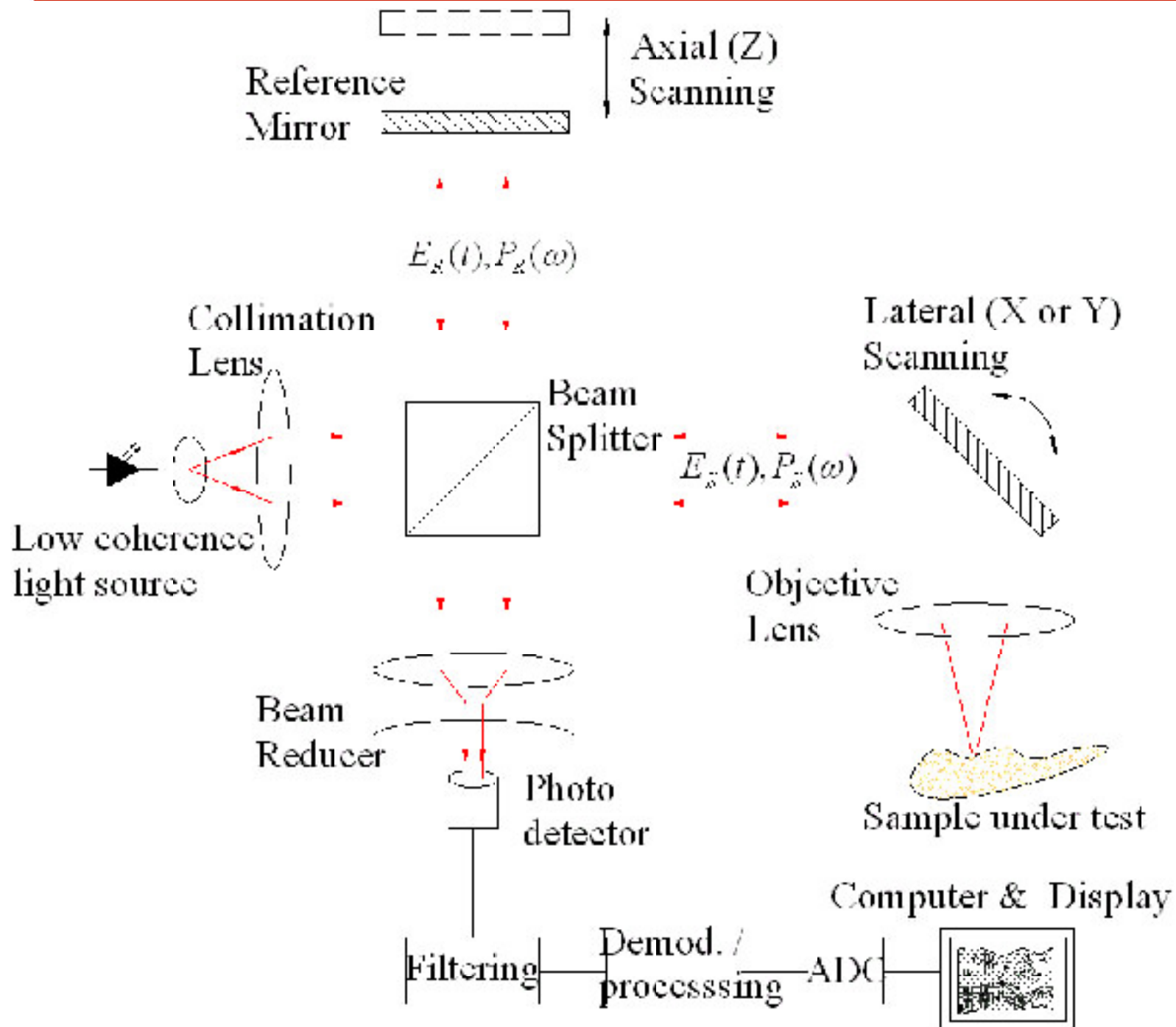


**Zellsekelett von Krebszellen ist reduziert**

## Schermodul G

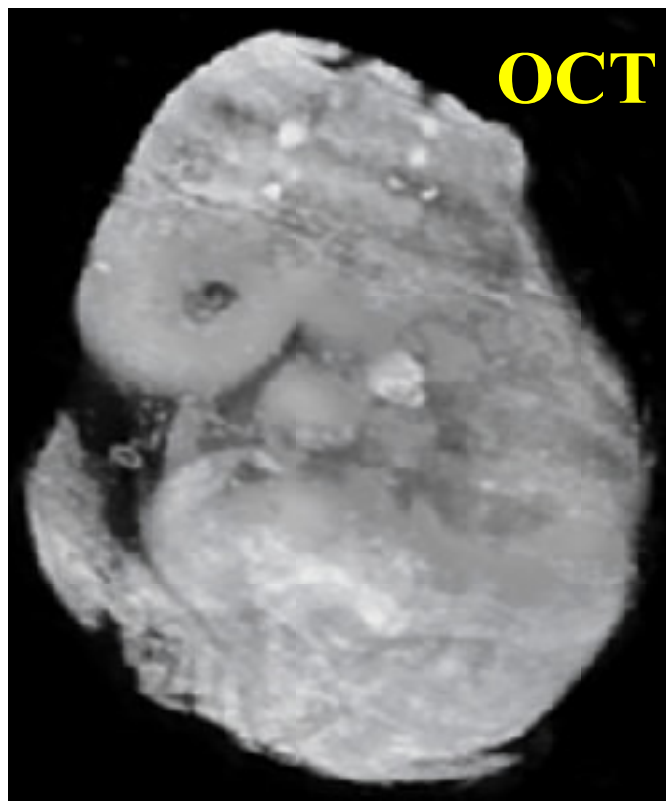


# Optische Kohärenz Tomographie



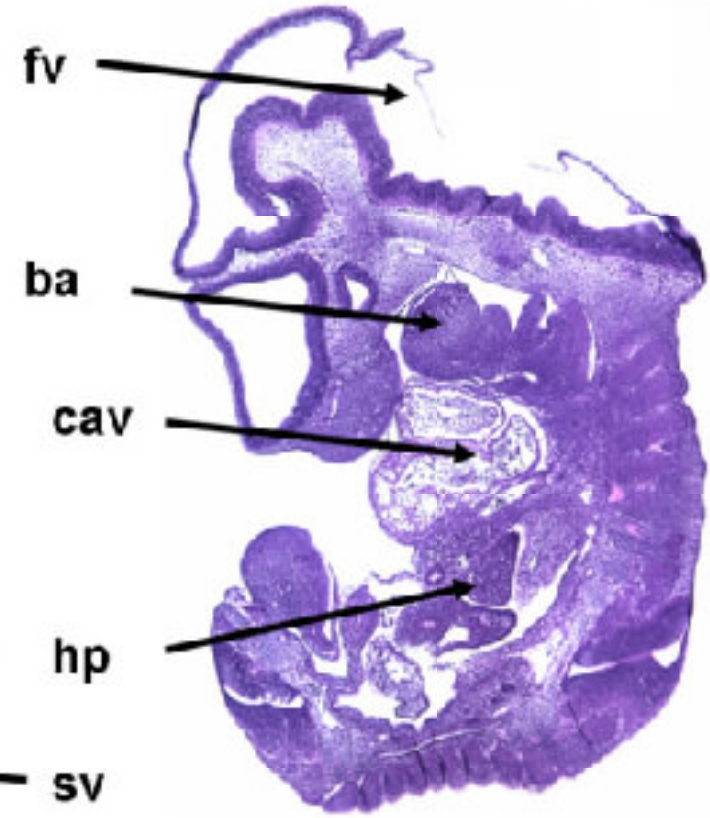
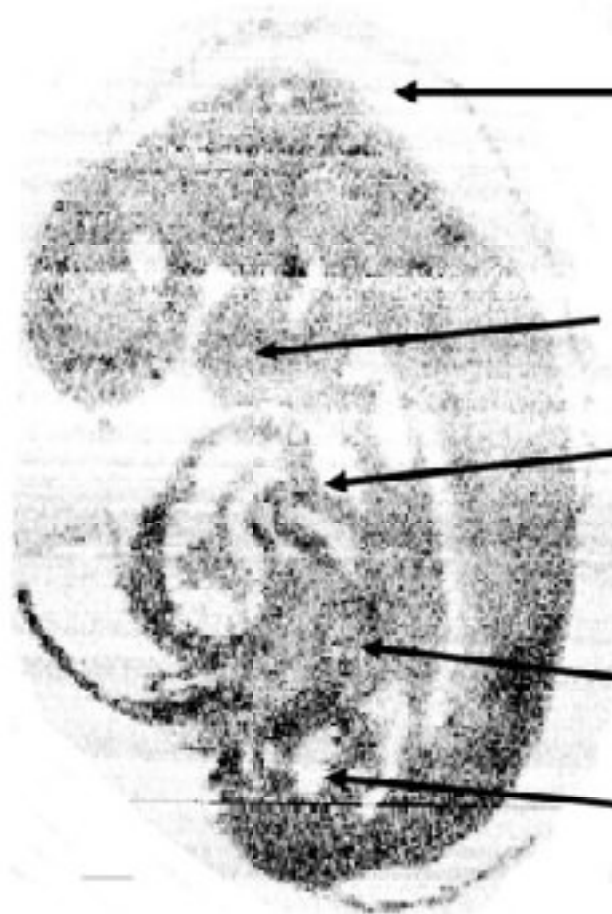


# OCT eines Mausembryos



OCT Schnittbild  
(gerechnet)

Histologisches  
Schnittbild

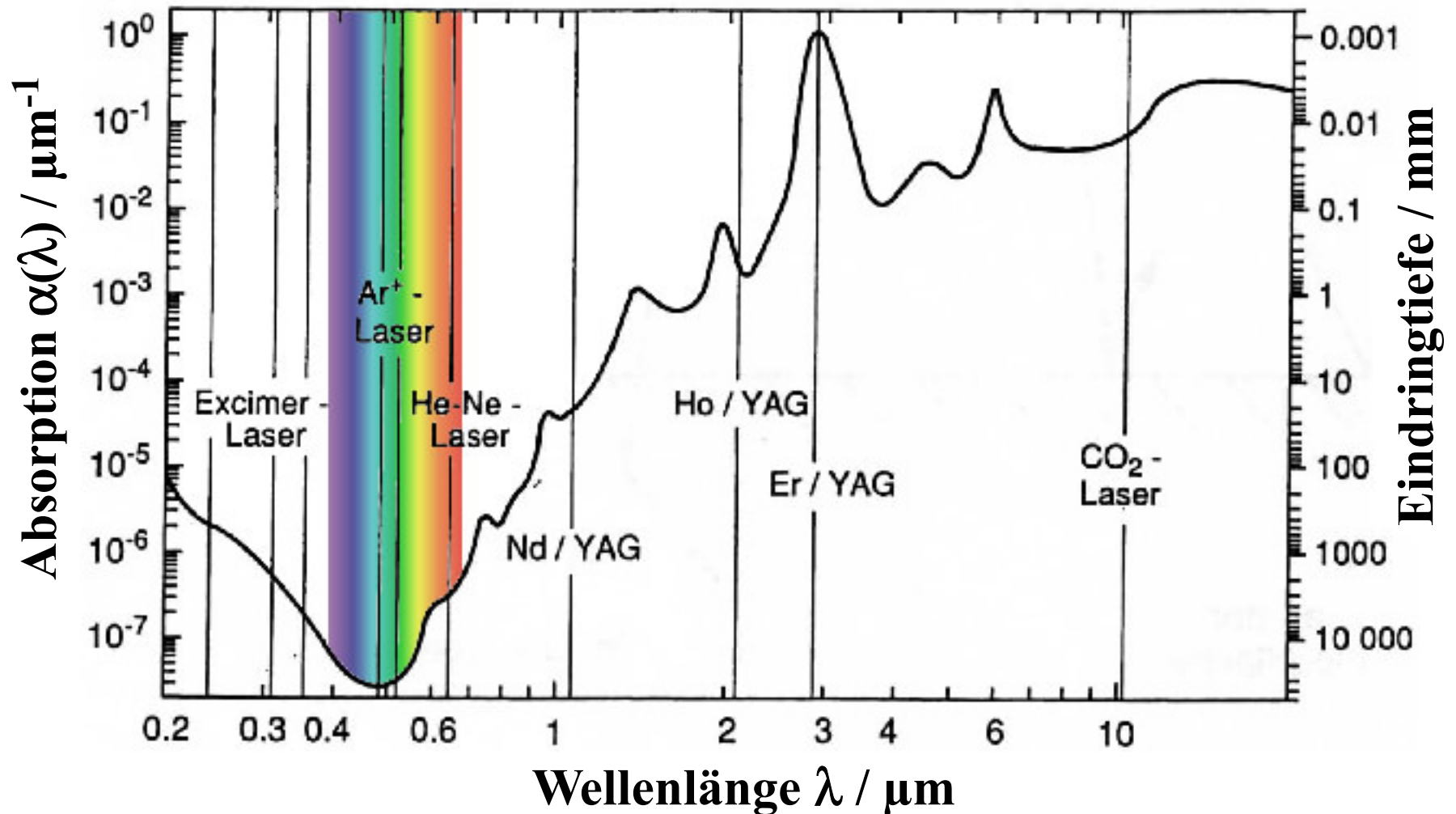


Foto

1 mm

# Wasserabsorption

Menschlicher Körper besteht zum größten Teil aus Wasser.  
=> Absorptionskoeffizient von Wasser am wichtigsten:

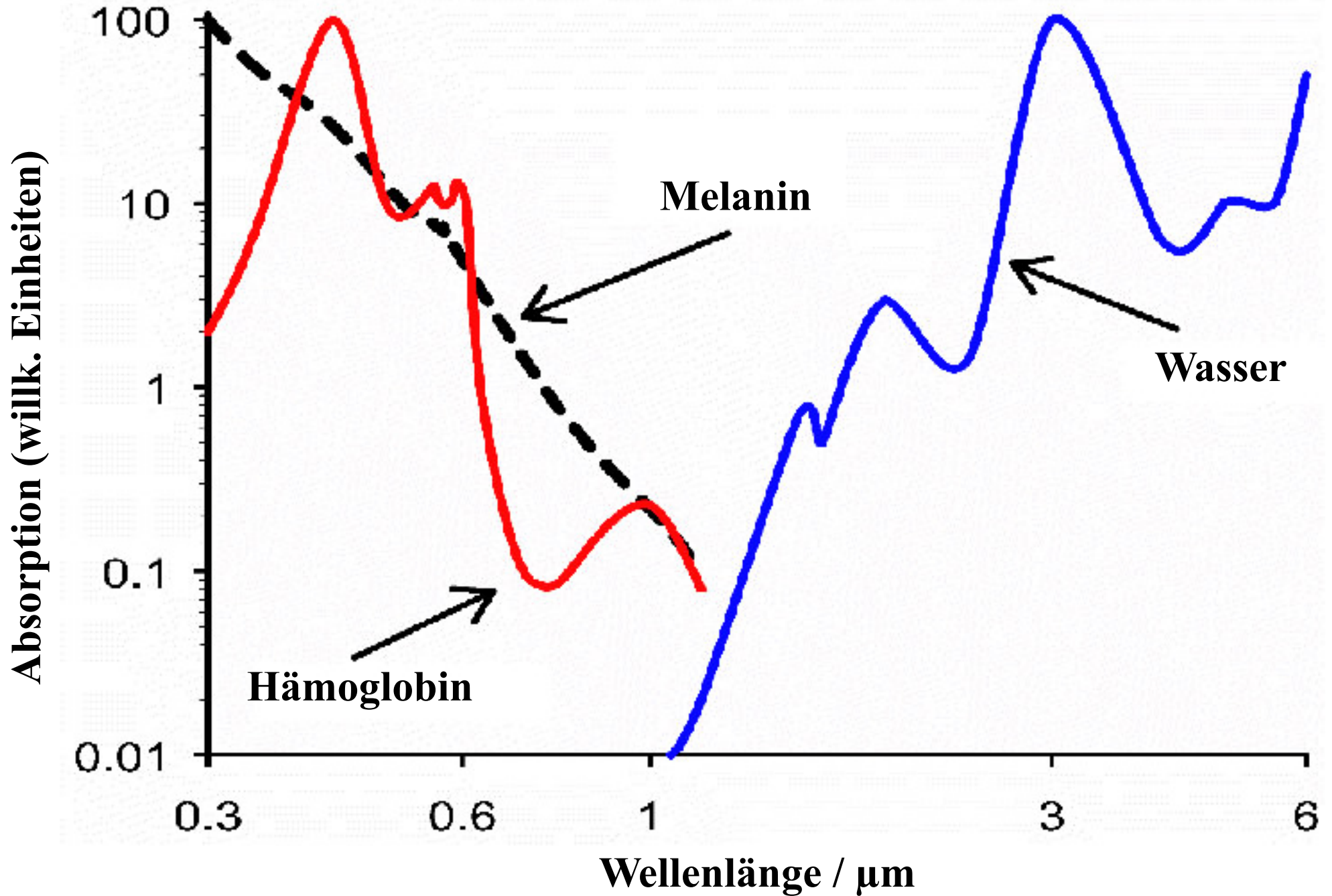


**Streuung spielt in Gewebe eine wichtige Rolle.  
Arten der Streuung und Abstrahlcharakteristik:**

# Streuung

<b>Verhältnis</b>	<b>Art der Streuung</b>	<b>Abstrahlcharakteristik</b>
$d < \lambda$	Rayleigh-Streuung	gleichmäßig, $(1 + \cos\theta)$ , wichtig im UV und blauen Spektralbereich, da Streuamplitude $\sim \lambda^{-4}$
$d \approx \lambda$	Mie-Streuung	in Vorwärts- und Rückwärtsrichtung
$d > \lambda$	Mie-Streuung	primär in Vorwärtsrichtung

# Absorption



## Relevante Prozesse:

- **Photochemie**

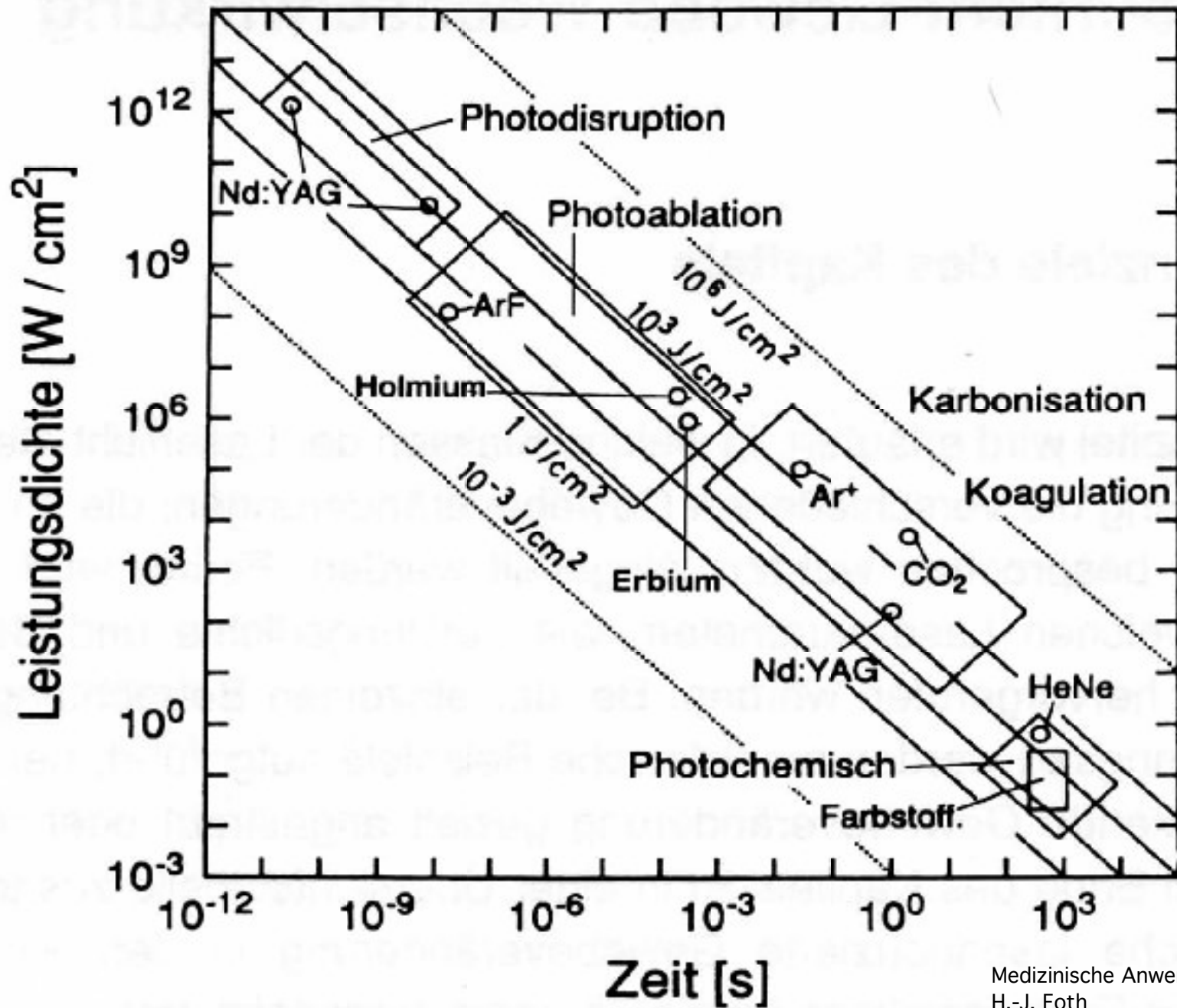
- **Photothermik**

- **Photomechanik**

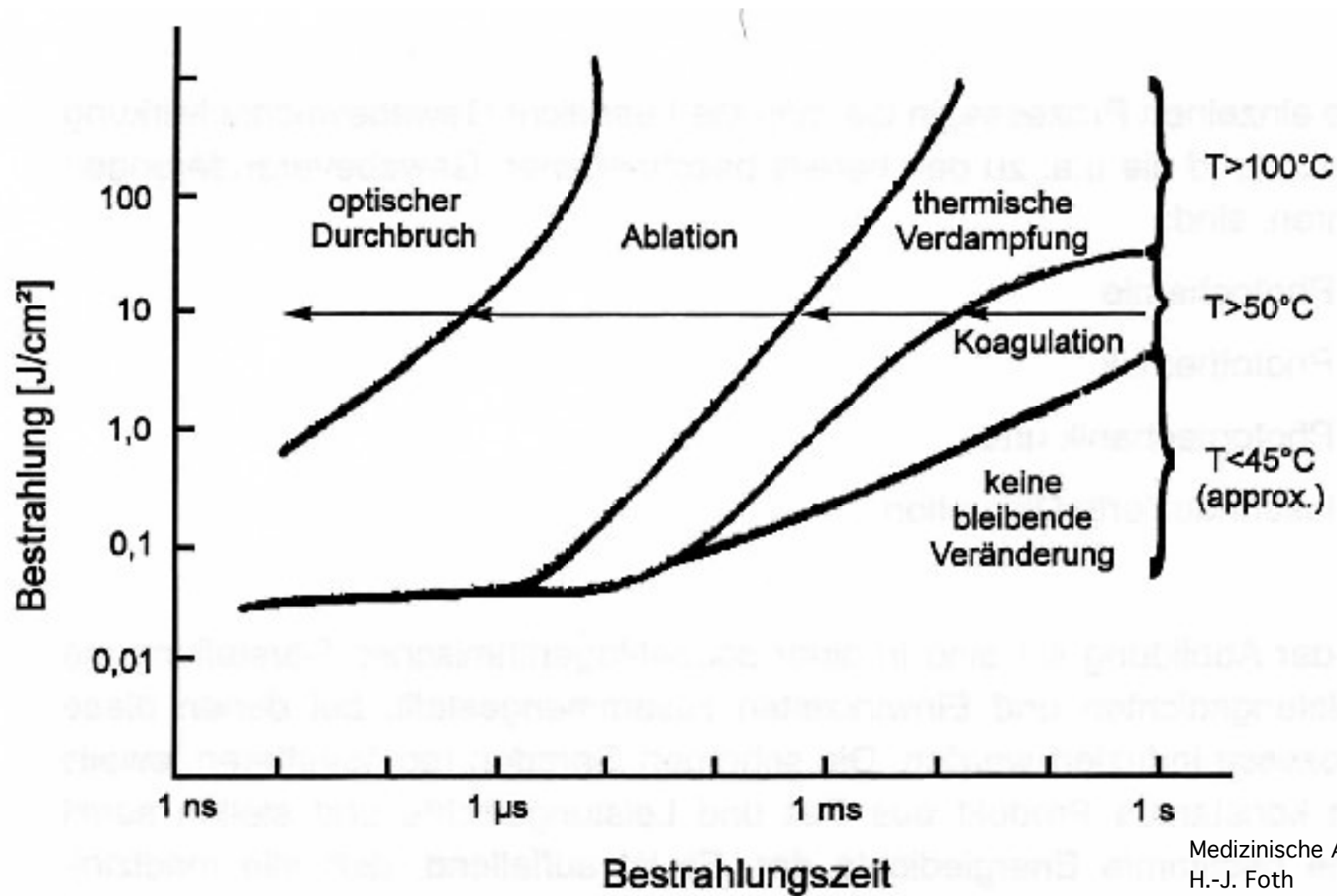
- **Laserinduzierte Photodisruption**

<b>WW-Art</b>	<b>Pulsdauer</b>	<b>Lasertyp</b>	<b>Effekt (Bsp.)</b>
Thermisch	cw oder $\mu\text{s}$	Ar, CO <sub>2</sub> , Kr	Koagulation (Netzhaut)
Photoablativ	ns	Excimer	Gewebeabtragung (Hornhaut)
Plasmainduz.	ps	Nd:YAG, Nd:YLF	Gewebezertrümmerung (Linse), Gewebeabtragung (Hornhaut)

# Wechselwirkungsbereiche



# Bereiche



# Gewebeveränderung durch Wärme

T [°C]	optische Änderung	biochem. & phys. Änderung
<37	keine	keine
40-45	keine	Enzymschädigung, Ödemausbildung, Membranauflockerung je nach der Einwirkzeit Zelltod
60-65	weißgraue Färbung, erhöhte Streuung	Proteindenaturierung, Beginn von Koagulation und Nekrose
80		Kollagen-denaturierung, Membrandefekte
90-100		Zellwasser verdampft, Austrocknung
> 150	schwarze Färbung, erhöhte Absorption	Karbonisierung
> 300	Rauch, Gasentwicklung	Verdampfen, Vergasen



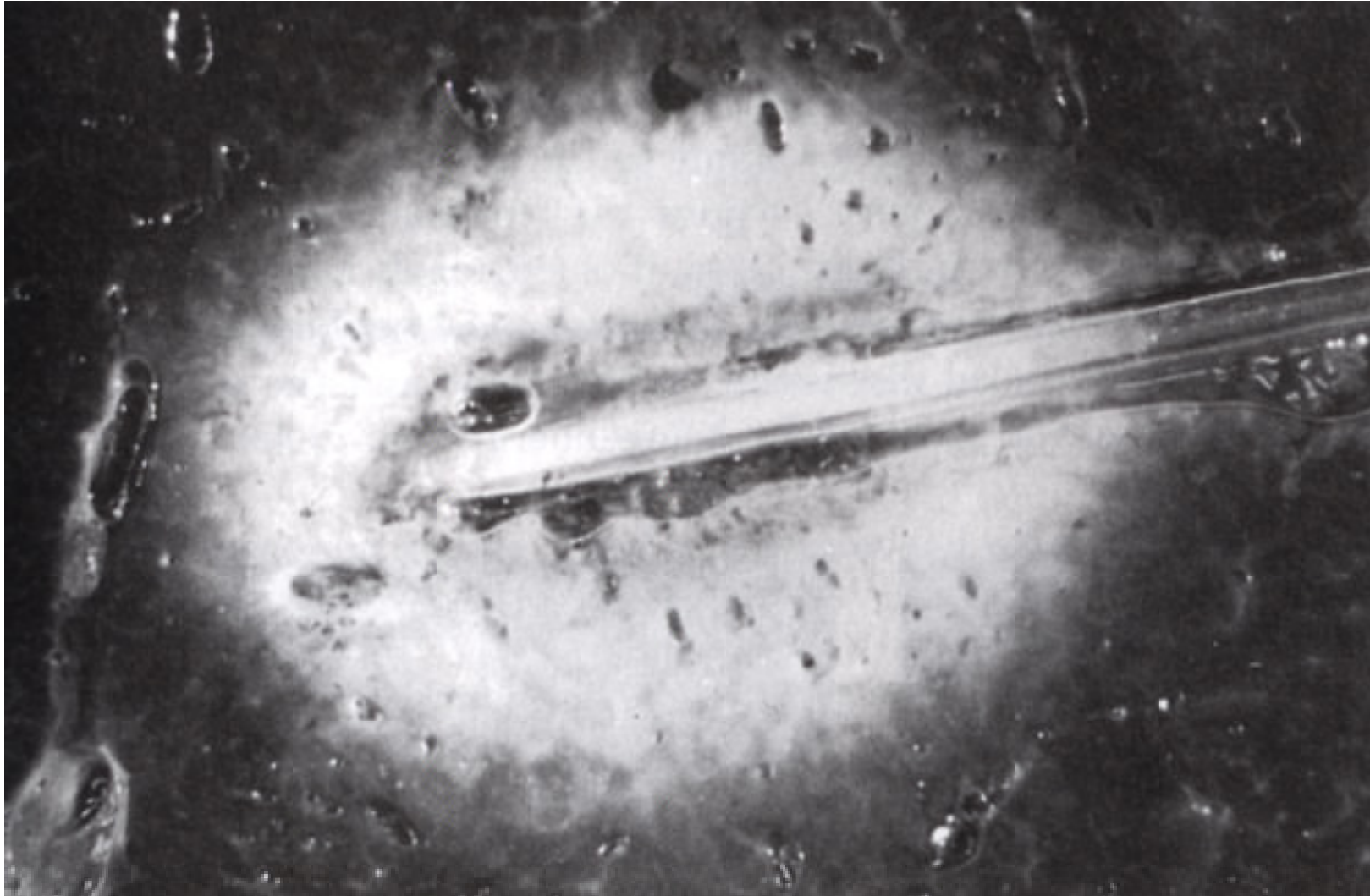
# Thermische Daten

## Thermisch relevante Daten einiger biologischer Stoffe:

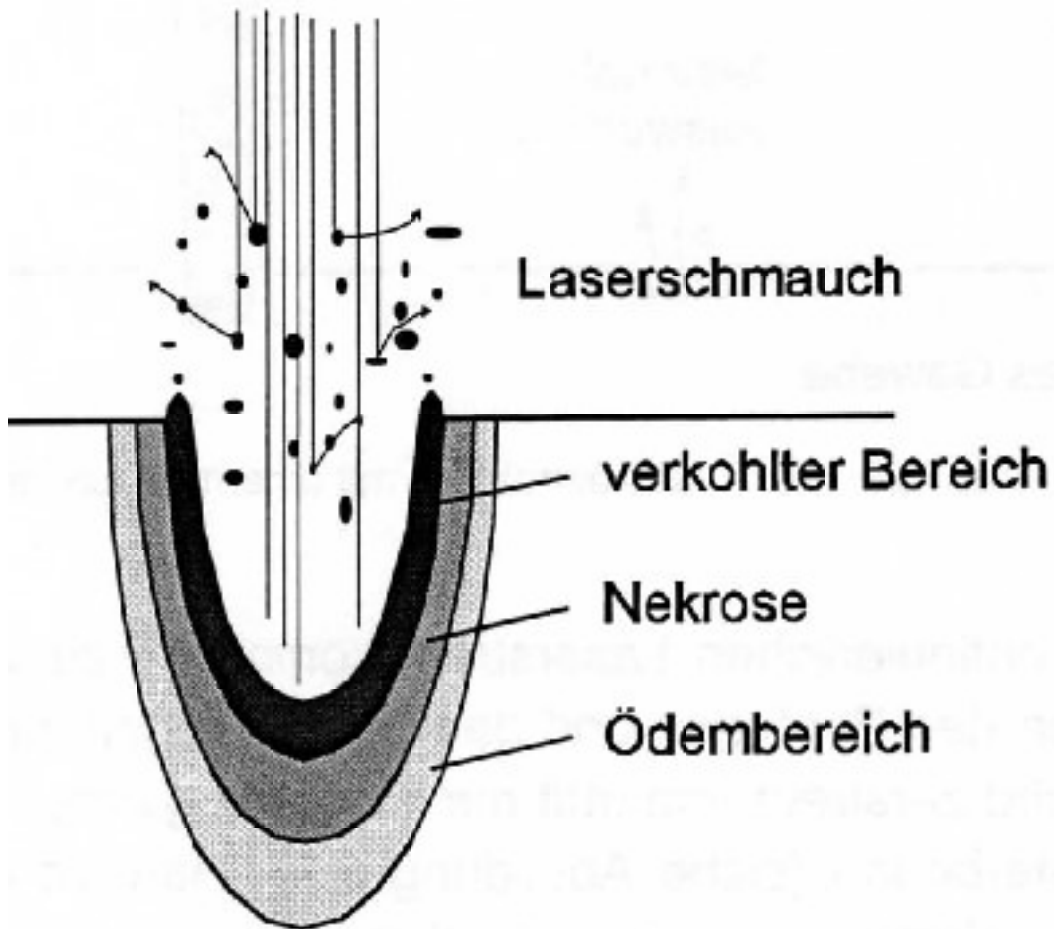
<b>Material</b>	<b>Dichte [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Wassergehalt [%]</b>	<b>c<sub>w</sub> [J/gK]</b>	<b>λ [W/mK]</b>
Wasser	1000	100	4.183	0.58
Blut	900	55	3.22	0.62
Fett	900		1.93	0.3
Knorpel	1225	60-70	3.06	0.36
Leber	1200	80	3.42	0.44
Aorta	1000	80	3.76	0.48
Kupfer	8933		0.383	384
Diamant	3510		0.502	33000

# Koagulation

**Lebergewebe nach Behandlung mit Nd:YAG Laser  
Laserleistung: 5.5 W, Dauer 10 Min.**



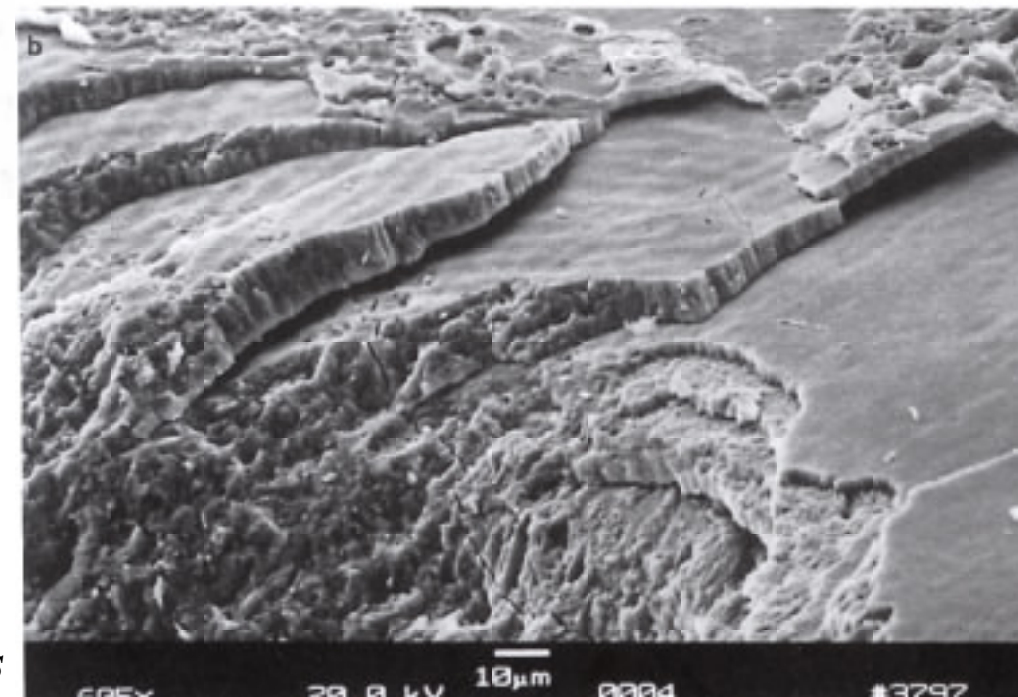
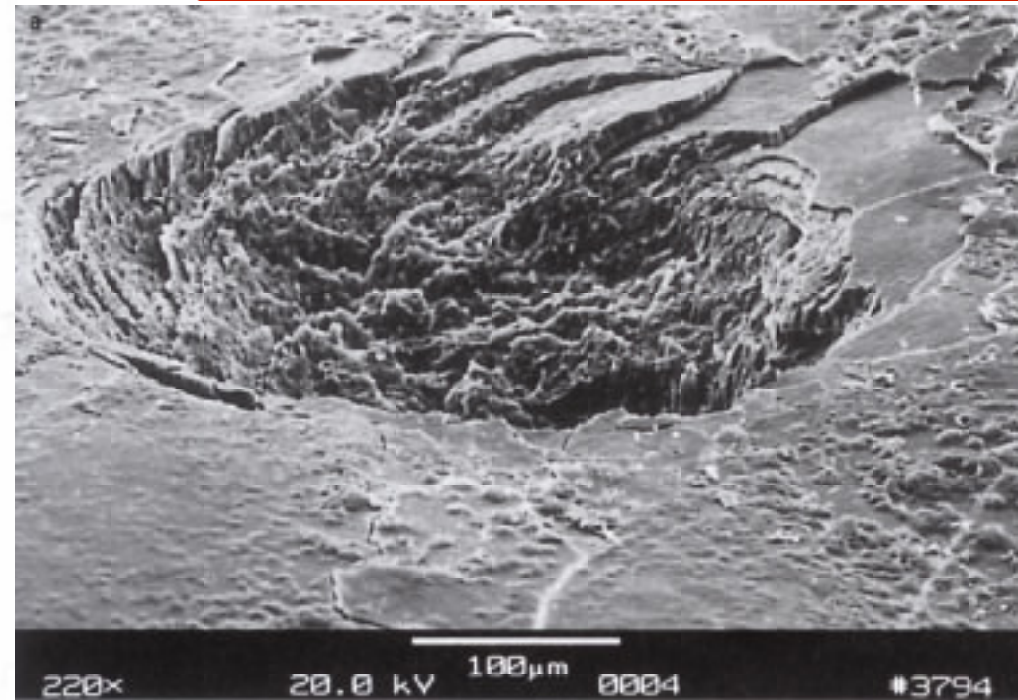
# Gewebeabtrag



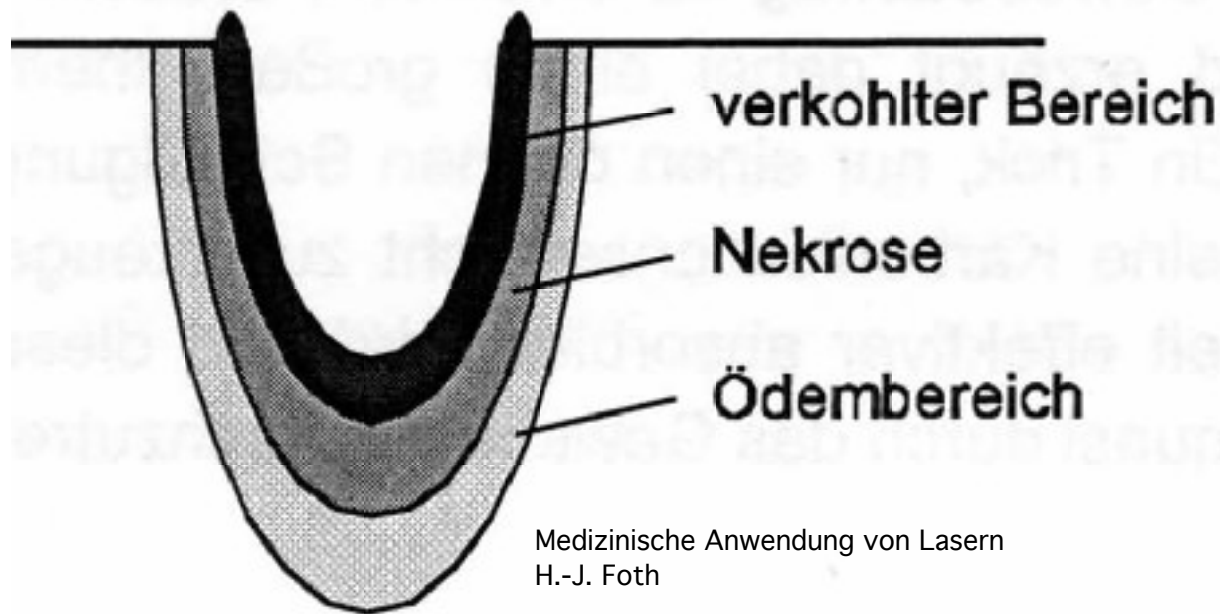
Medizinische Anwendung von Lasern  
H.-J. Foth

## Photoablation an einem Zahn 20 Pulse eines Er:YAG Lasers

*M.H. Niemz: Laser-Tissue Interactions*



# Laserkrater

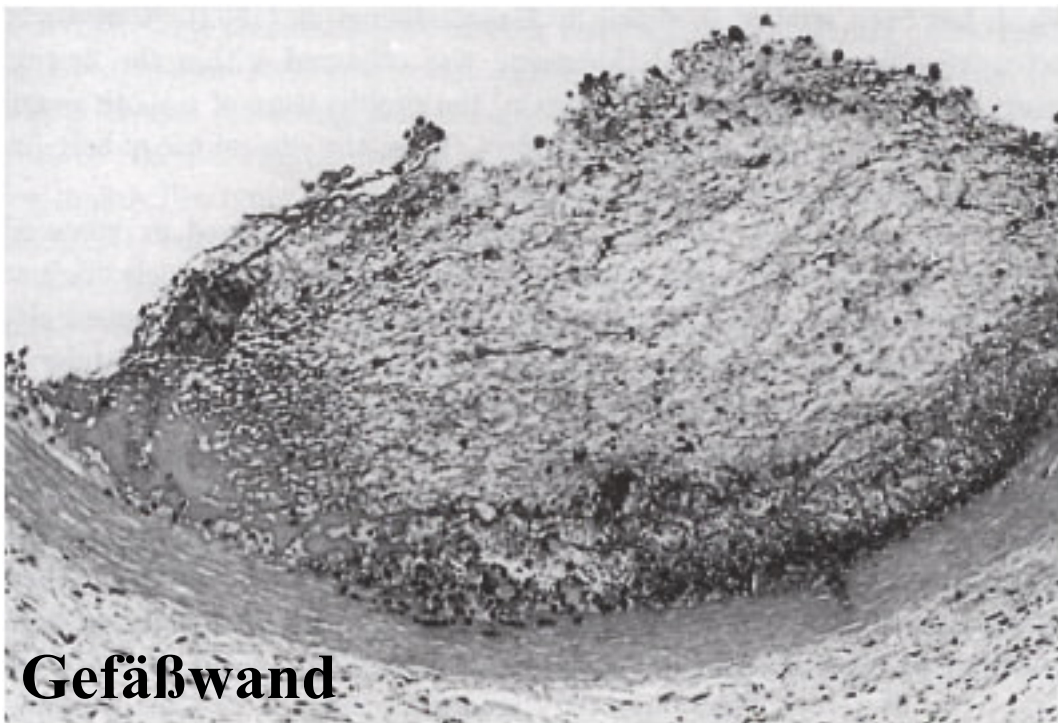


- Innenseite Krater:** Oft schwarze Kohlenstoffschicht (verbranntes, karbonisiertes Gewebe)  
=> starke Streuung, kein freier Blick darunter  
=> möglichst dünn halten; vermeiden
- Nekroseschicht:** Gewebe ist koaguliert (geschrumpft; einzelne Gewebestrukturen verbacken/verklebt)  
=> wird von Körper abgebaut  
Dicke kann gewählt werden (Wellenlänge, Pulslänge)
- Ödembereich:** Wasseransammlung im Gewebe  
=> kann sich erholen (dauert sehr lange wegen thermischer Schädigung der Versorgungsgefäße)

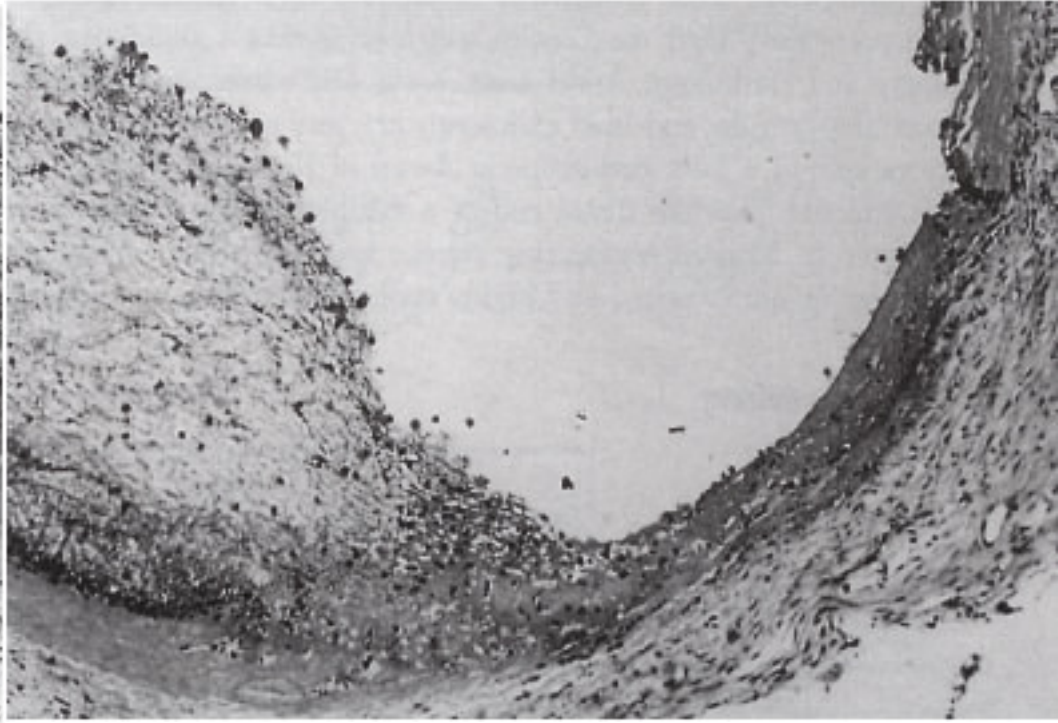
# Ablation von Plaque

Einführung des Laserstrahls ins Blutgefäß mit Glasfaser(n)

**Blutgefäß mit Plaque**



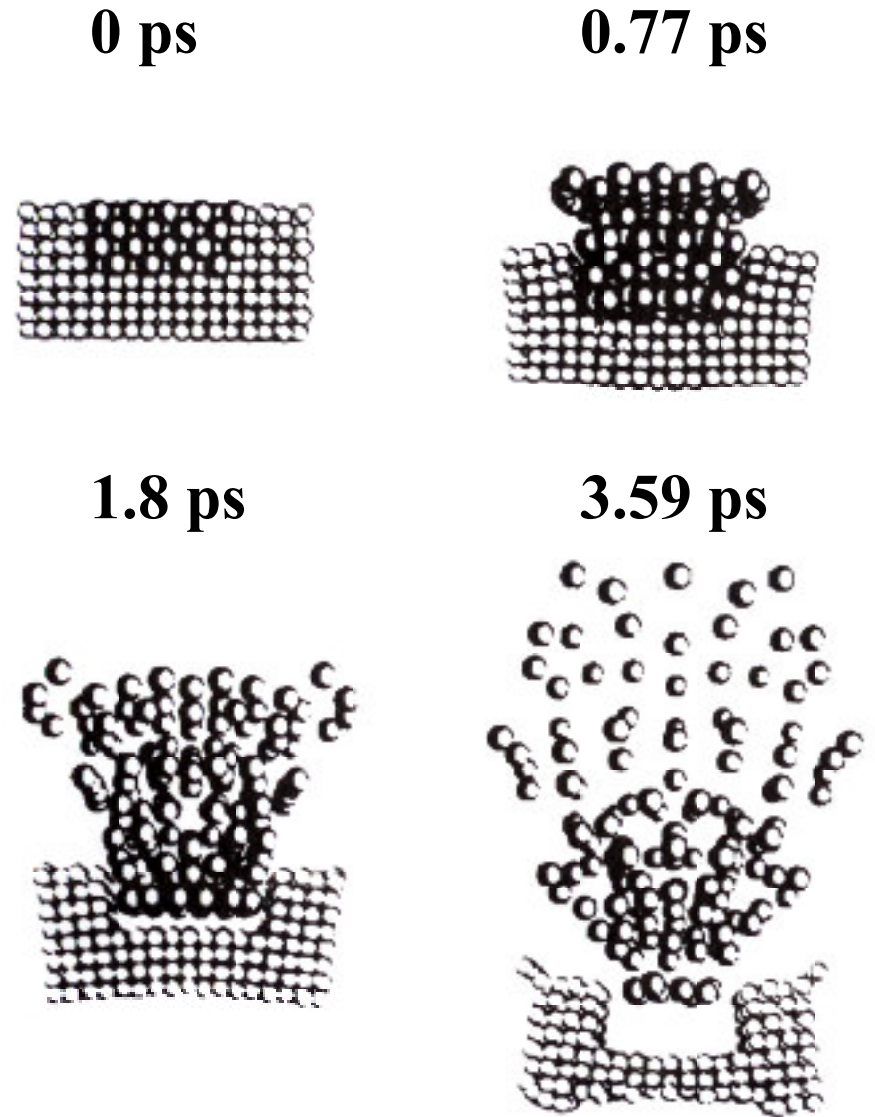
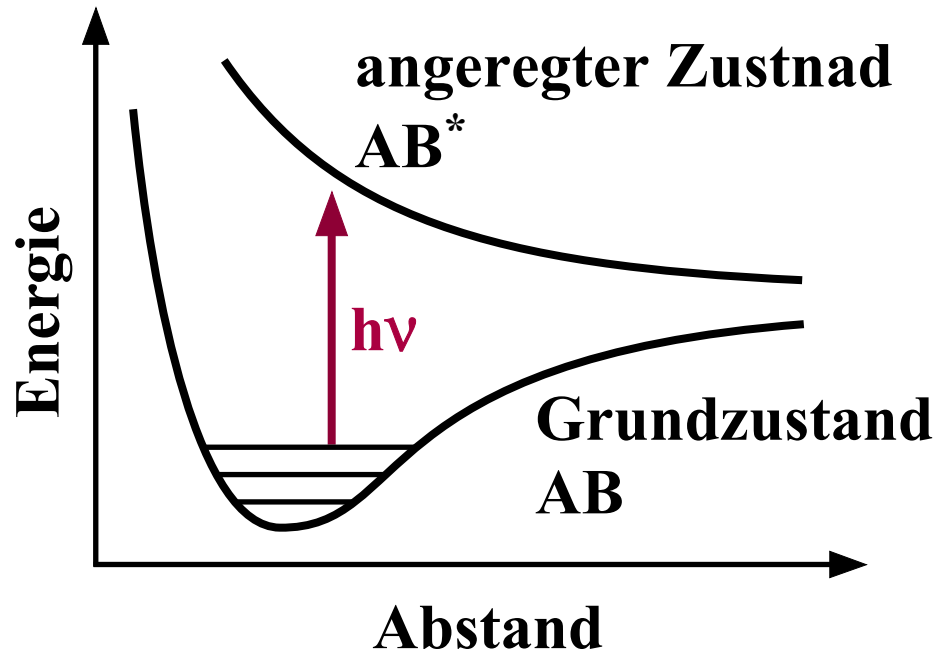
**Nach Ablation mit XeCl Laser**



**Gefäßwand**

**Pulslänge: 60 ns**  
**Repetitionsrate: 20 Hz**

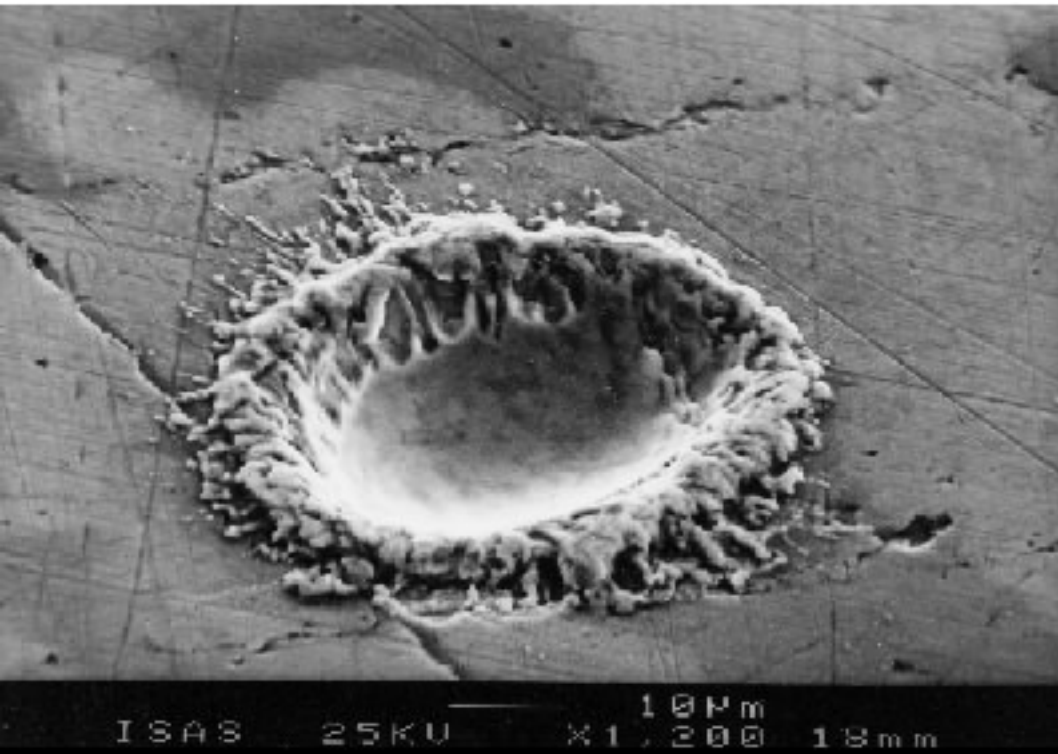
# Photoablation



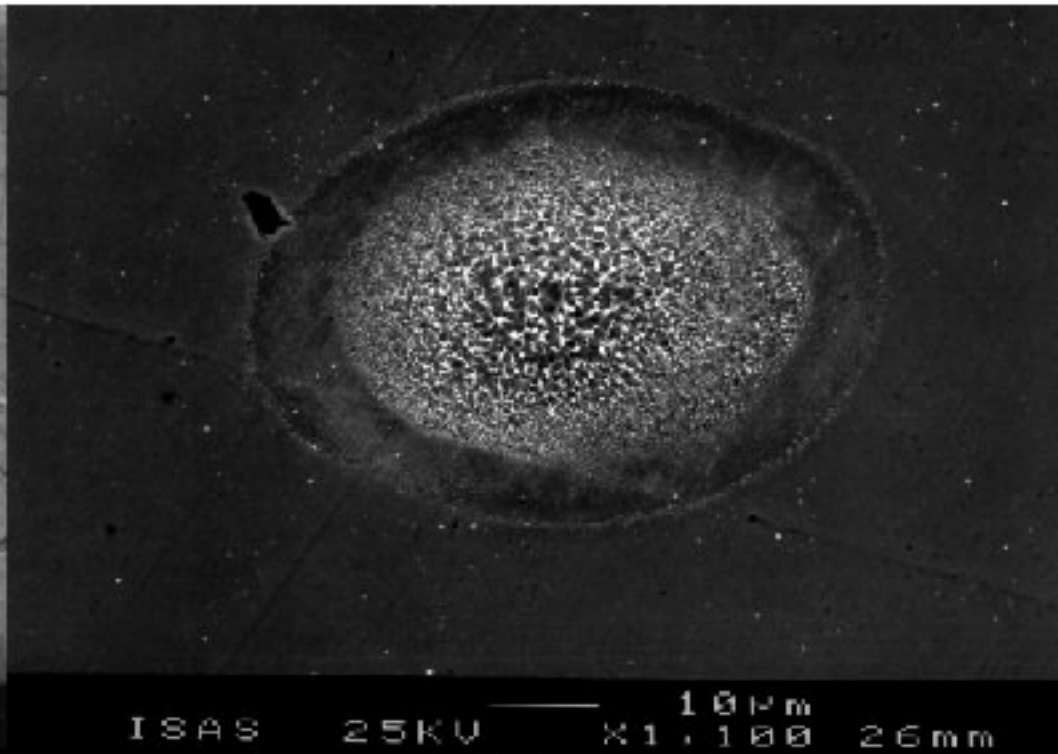
MD Simulation PMMA  
Garrison & Srinivasan (1985)

## Laserablation auf Cu

ns Puls



fs Puls

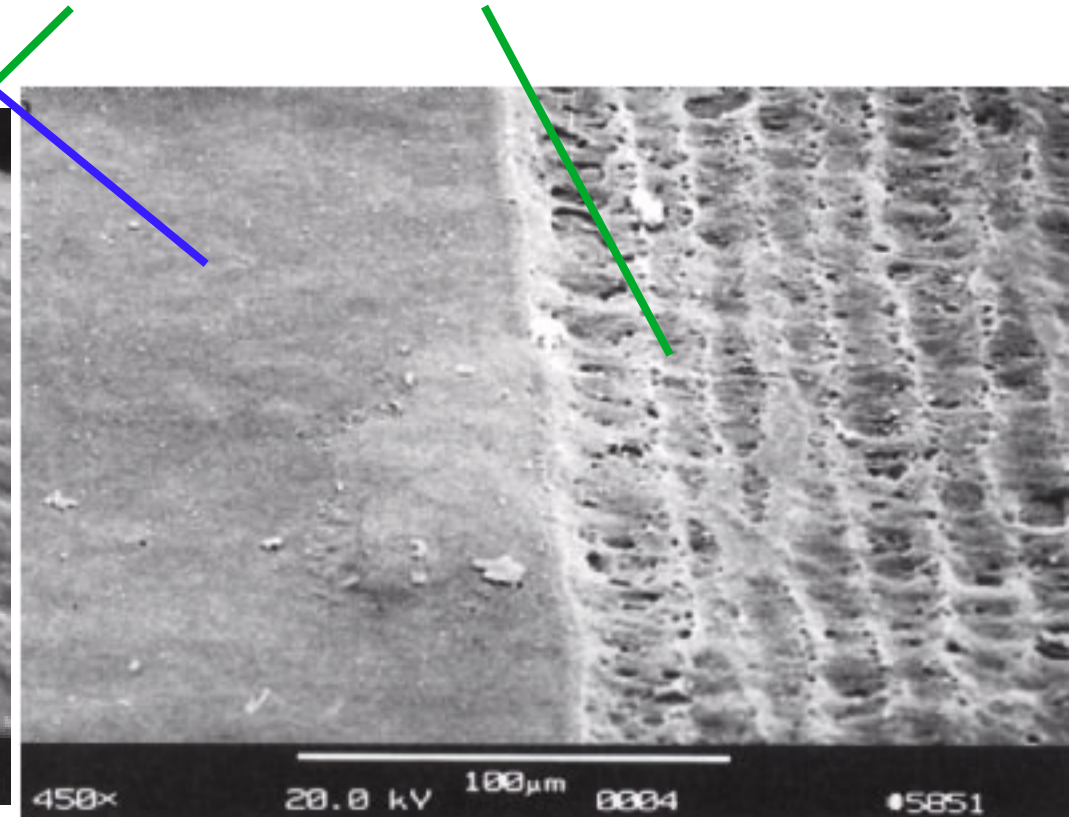
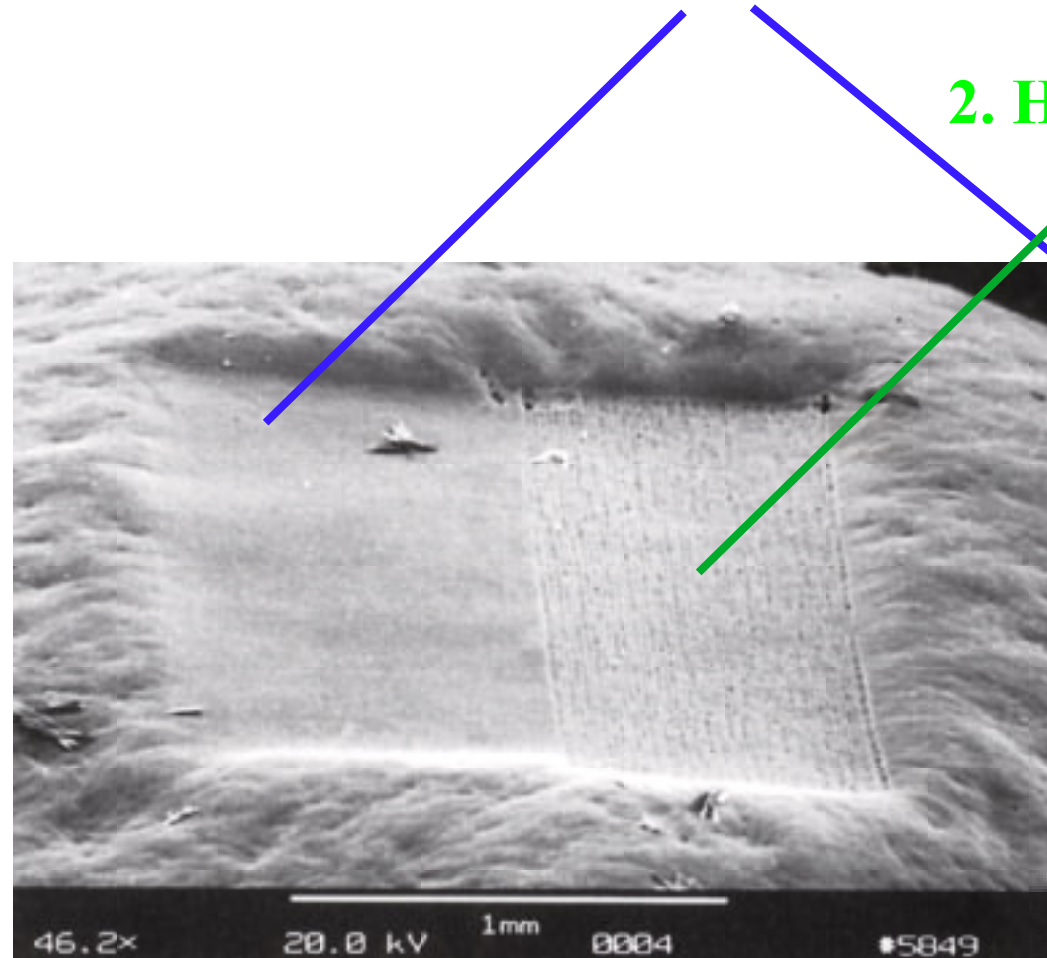


# Photoablation

## Photoablation Hornhaut

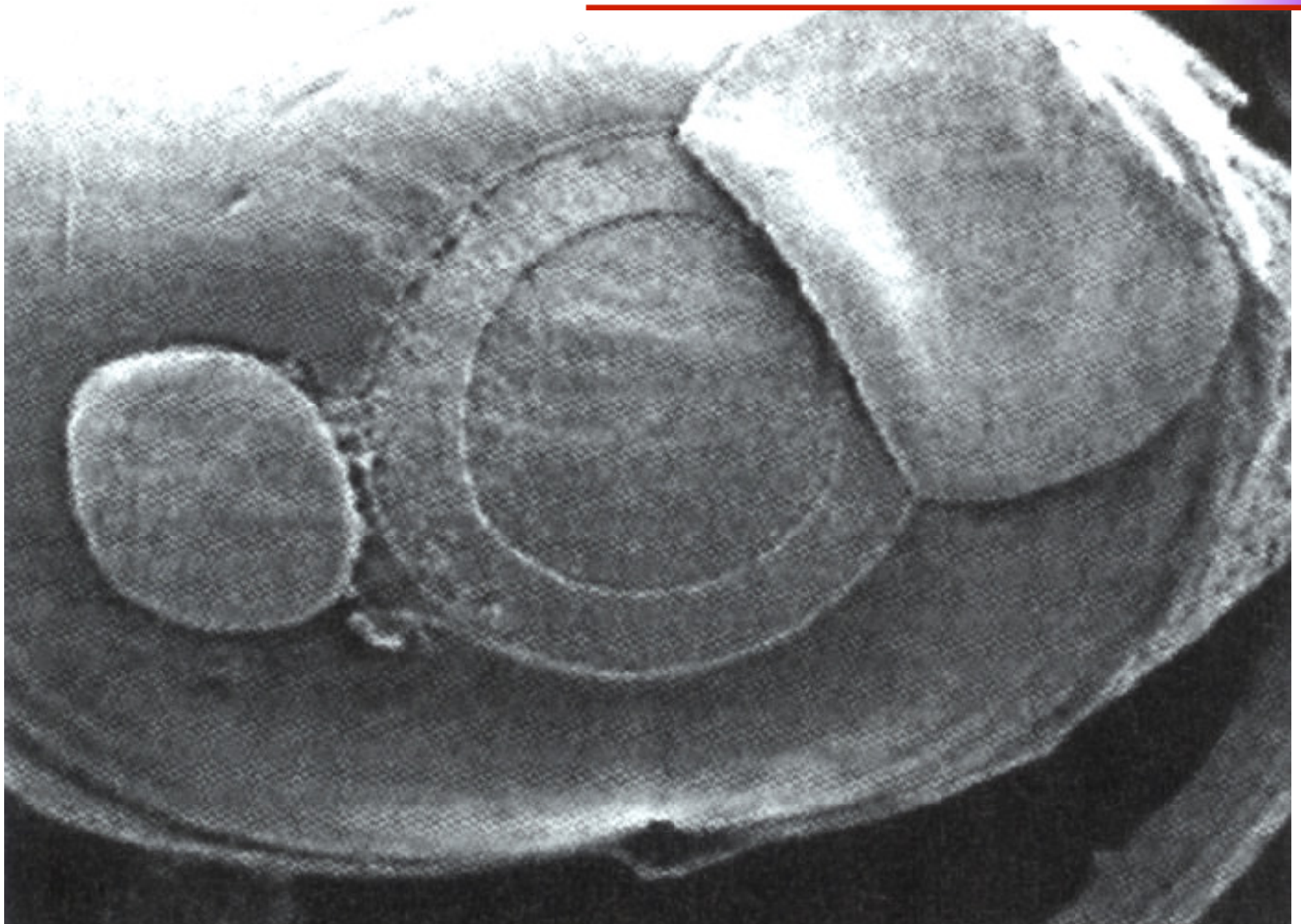
4. Harmonische von Nd:YLF (263 nm)

2. Harmonische von Nd:YLF (526 nm)





# Hornhaut Korrektur



5KV 10.0kV 1.00um 6622 970221

WW	WW-Dauer, Pulsdauer	typ. Laser	Anwendungsgebiete
photochemisch	cw, s	Farbstofflaser Ti:SA	PDT von Tumoren (Lunge, Haut, ...)
thermisch: Koagulation ( $T > 60^\circ$ )	ms	Nd:YAG  Ar, Kr-Ionen	Hämostase, Koagulation von Tumoren (LITT, Bsp. Neurochirurgie) Koagulation der Retina
Vaporisation ( $T > 100^\circ$ )	cw, ms-s	CO <sub>2</sub> -Laser	Resektion von Tumoren (Neurochirurgie, Gynäkologie)
Ablation (thermomechanisch)	μs-ms	Er:YAG, Ho:YAG, Er:YSGG, ...	Abtragung von Knochen und Weichteilgewebe (z.B. HNO)
photoablativ	ns ps	Excimerlaser (ArF, ...) 4./5. Harmonische Nd:YAG, Nd:YLF	Angioplastie, refraktive Hornhautch.
photodisruptiv/ plasmainduziert	ns, ps, fs	Nd:YAG, Nd:YLF, Ti:Sa (Farbstofflaser)	Kapsulotomie, Iridotomie, intrastomale Ablation (Ophthalmologie), Resektion von Tumoren (Neurochirurgie), Fragmentation von Gallen- und Nierensteinen (Lithotripsie)

# Verwendung von Lasern

## Einsatz der Licht-Gewebe-WW in der Therapie

Disziplin	Koagulation	Schneiden, Vaporisation	Ablation	Disruption
Chirurgie	X	X		
Gynäkologie	X	X		
Urologie	X			X
HNO-Heilkunde	X	X	X	
Ophthalmologie	X		X	X
Zahnmedizin	X	X	X	
Orthopädie	X		X	
Gastroskopie	X	X		
Dermatologie	X		X	X