

Please attribute Creative Commons with a link to creativecommons.org

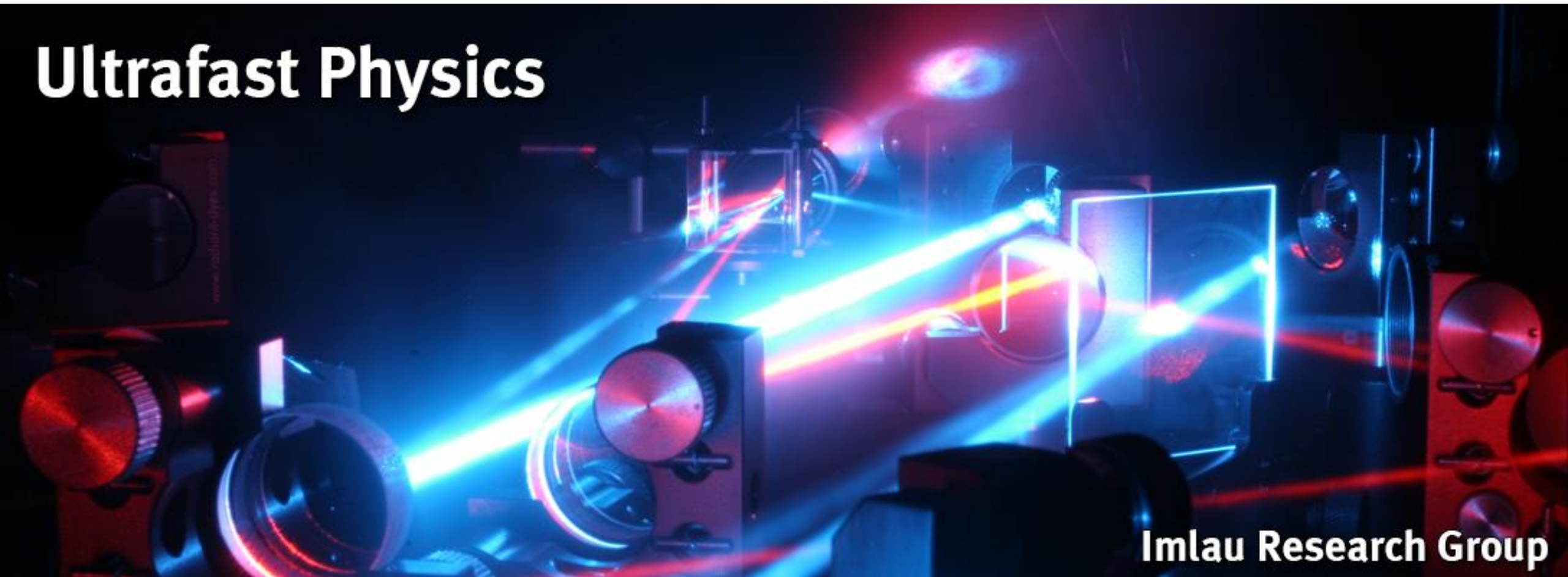


Except wher otherwise noted, **this presentation of Mirco Imlau is licensed** under

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Creative Commons and the double C in a circle are registered trademarks of Creative Commons in the United States and other countries. Third party marks and brands are the property of their respective holders.

Ultrafast Physics



Imlau Research Group

Mirco Imlau

Was bedeutet ULTRA ?



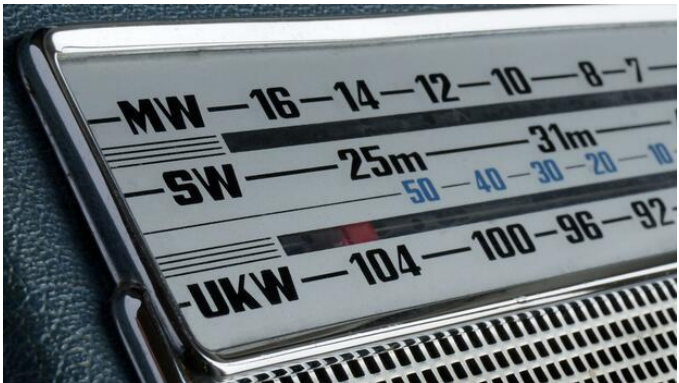
Das **Ultra Music Festival (UMF)** ist ein dreitägiges Open-Air-Musikfestival im Bereich der elektronischen Tanzmusik in Downtown Miami.



Die **Ultra-Bewegung** bezeichnet ursprünglich eine besondere Organisationsform für fanatische Anhänger eines Fußballvereins.

Was bedeutet Ultrakurz?

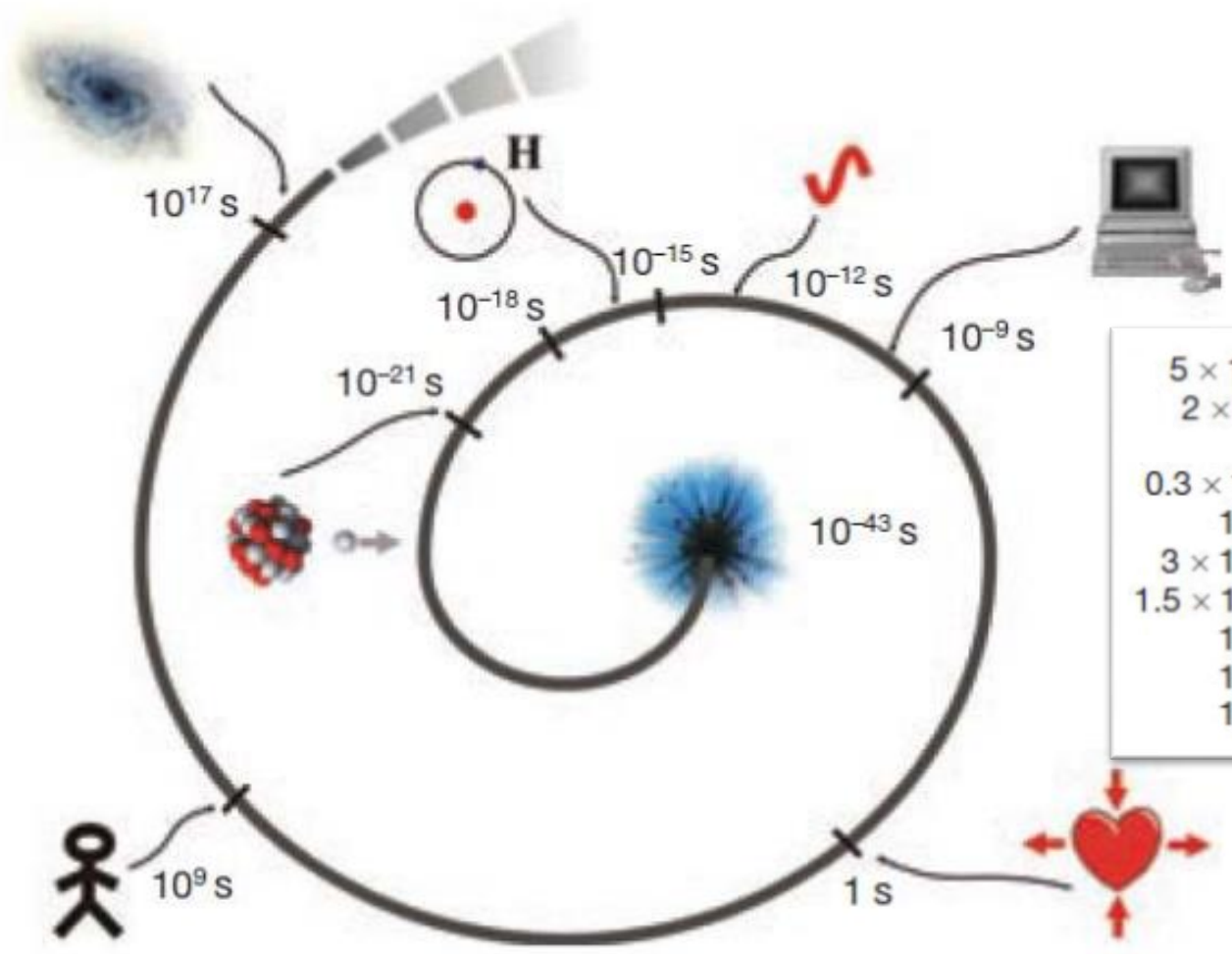
Als **Ultrakurzwellen (UKW)** bezeichnet man elektromagnetische Wellen in einem Frequenzbereich von 30 MHz bis 300 MHz, entsprechend Wellenlängen zwischen zehn Metern und einem Meter. Sie werden entsprechend auch als **Meterwellen** bezeichnet und liegen zwischen den Kurzwellen (die länger sind als Ultrakurzwellen) und den Dezimeterwellen (die kürzer sind).



Unter Ultrakurzpulslaser fallen die **Pikosekundenlaser** und die **Femtosekundenlaser**. Es handelt sich in der Regel um **modengekoppelte Laser**. In der Forschung wurden bereits auch **Attosekundenlaser** (1.000 Attosekunden = 1 Femtosekunde) entwickelt. Diese zählen nach derzeitigem Sprachgebrauch ebenfalls zu den Ultrakurzpulslasern.



Wie kurz ist Ultrakurz ?

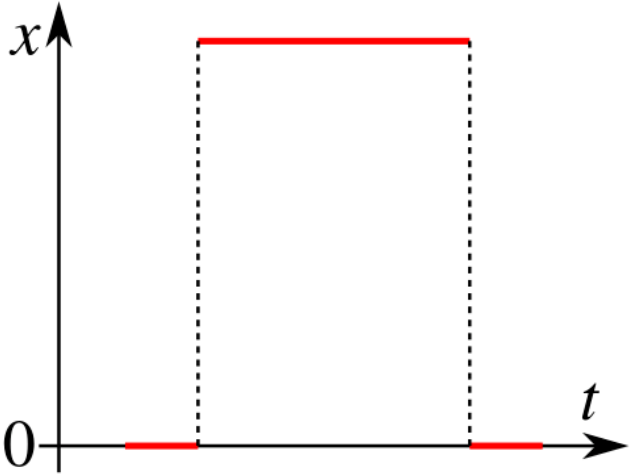


5×10^{17} s	Estimated age of universe	14 billion years
2×10^9 s	Average human lifetime	70 years
1 s	Length of a heartbeat	1 second
0.3×10^{-9} s	Current computer clock frequency	0.3 nanosecond
10^{-12} s	Length of a typical THz pulse	1 picosecond
3×10^{-15} s	Cycle length of laser	3 femtoseconds
1.5×10^{-16} s	Electron circles proton in Hydrogen atom	0.15 femtosecond
10^{-18} s	Next horizon for controllable laser pulses?	1 attosecond
10^{-21} s	Strong nuclear reactions	1 zeptosecond
10^{-43} s	Birth flash of the Big Bang	Planck time

Was ist ein Puls?

„Der Begriff **Puls** bezeichnet in der Elektrotechnik ein sich periodisch wiederholendes impuls- oder stoßartiges Ereignis. Er ist mit dem Begriff **Impulsfolge** gleichbedeutend.“
Quelle: Wikipedia

Unipolarer Rechteckimpuls



Typische Anwendungen



Geschwindigkeitsmessung

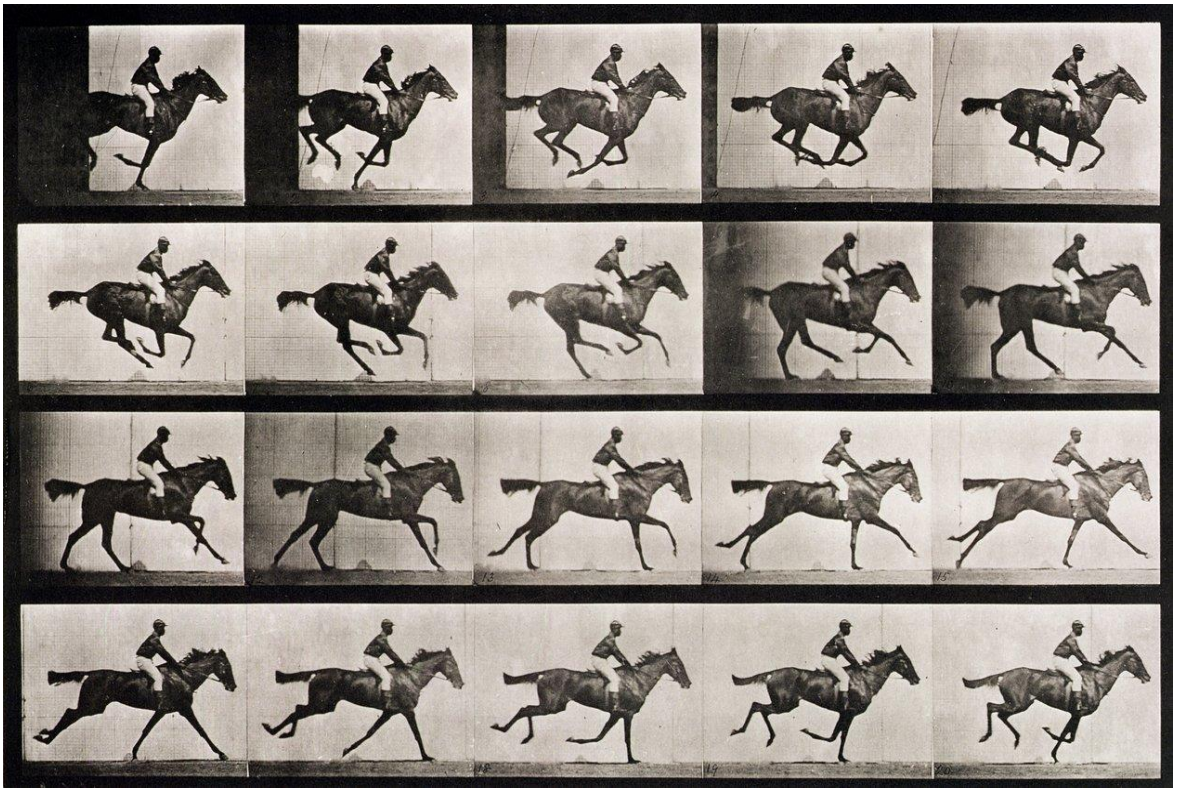


Aufnahmen dynamischer Prozesse

Wissenschaftlich/gesellschaftlich relevant!

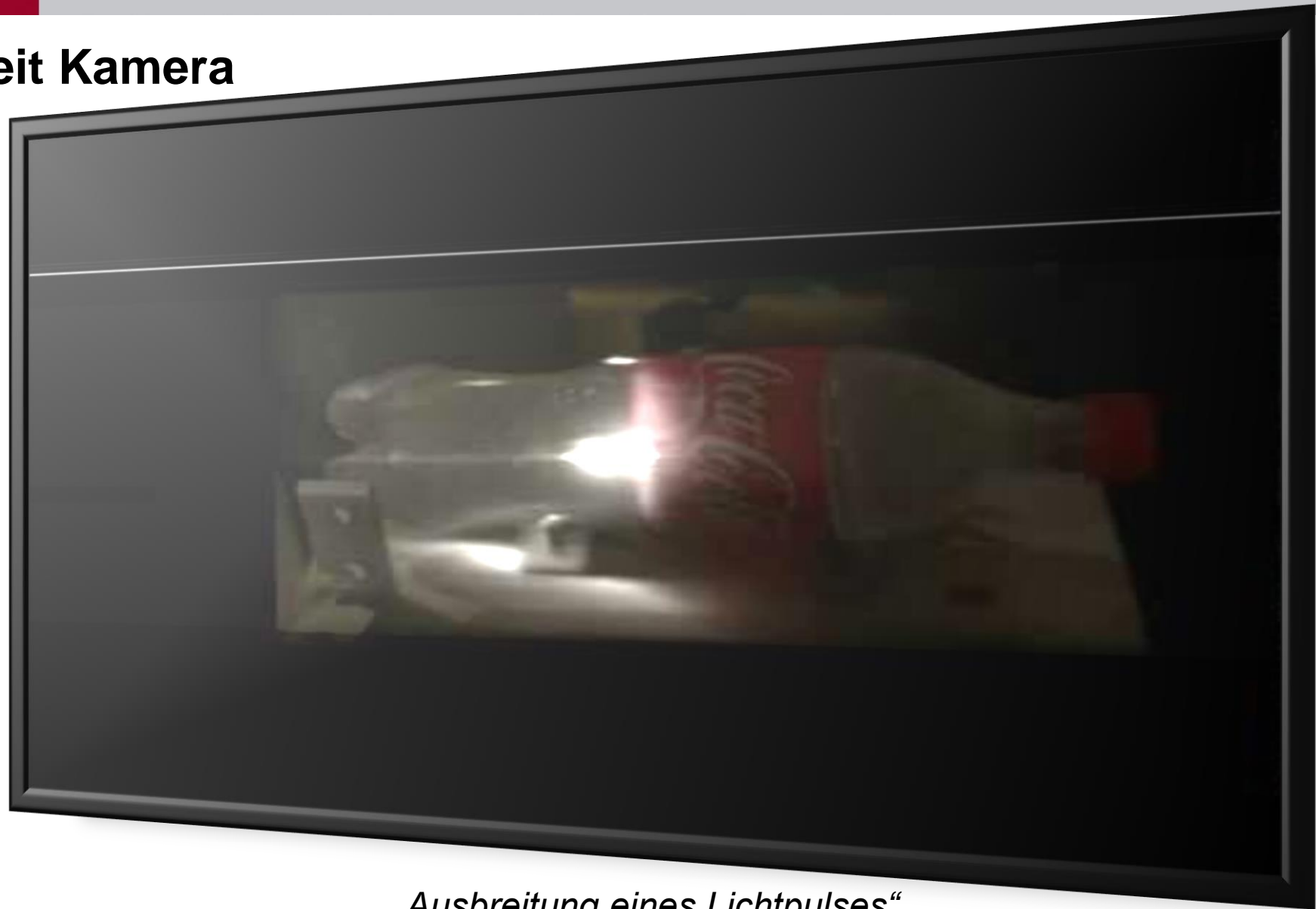


„Wie schafft es die Katze immer auf allen Vieren zu landen?“



„Gibt es im Galopp eine Phase, bei der das Pferd alle vier Hufe in der Luft hat?“

Ultrakurzzeit Kamera



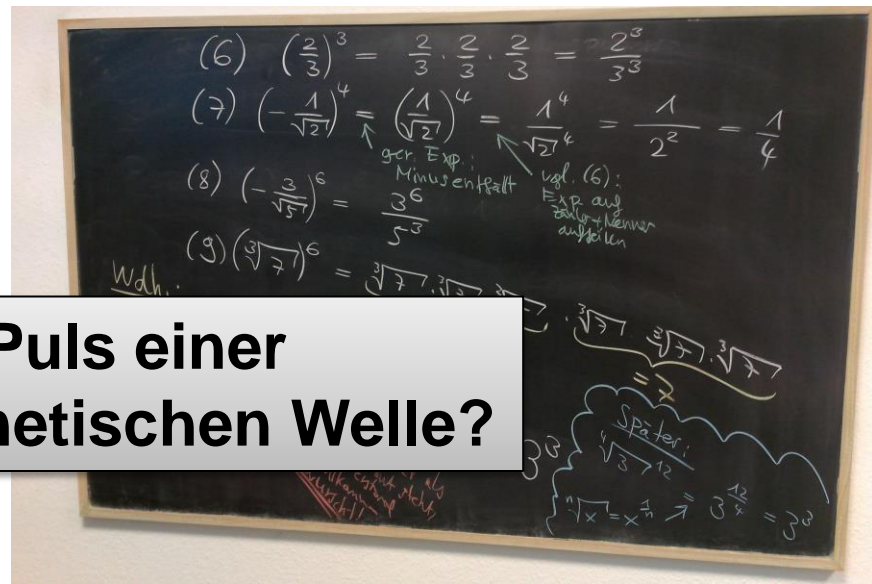
„Ausbreitung eines Lichtpulses“

Was ist ein Puls?

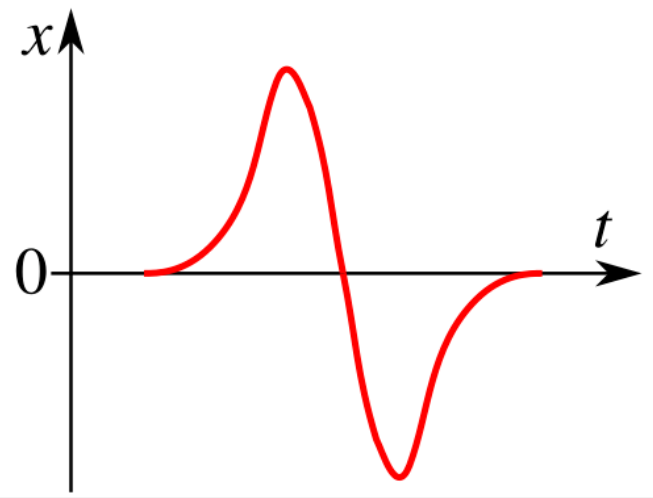
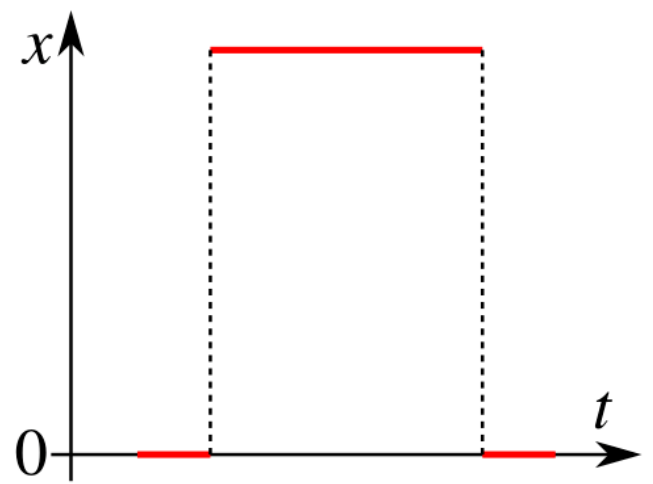
„Der Begriff **Puls** bezeichnet in der Elektrotechnik ein sich periodisch wiederholendes impuls- oder stoßartiges Ereignis. Er ist mit dem Begriff **Impulsfolge** gleichbedeutend.“
 Quelle: Wikipedia



Was ist ein Puls einer elektromagnetischen Welle?

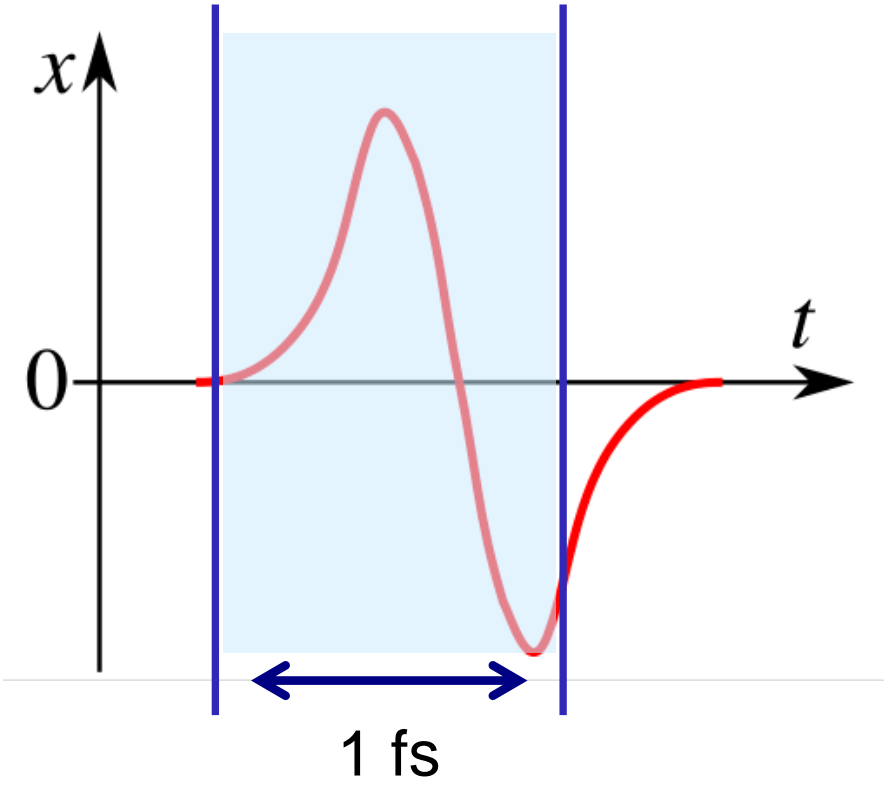


Unipolarer Rechteckimpuls

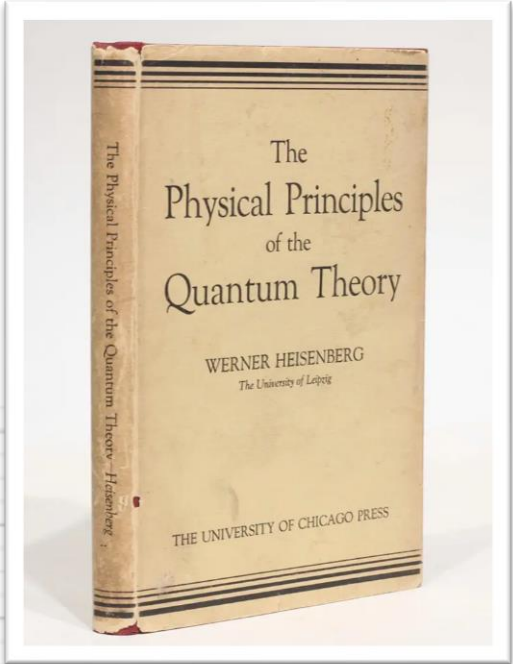
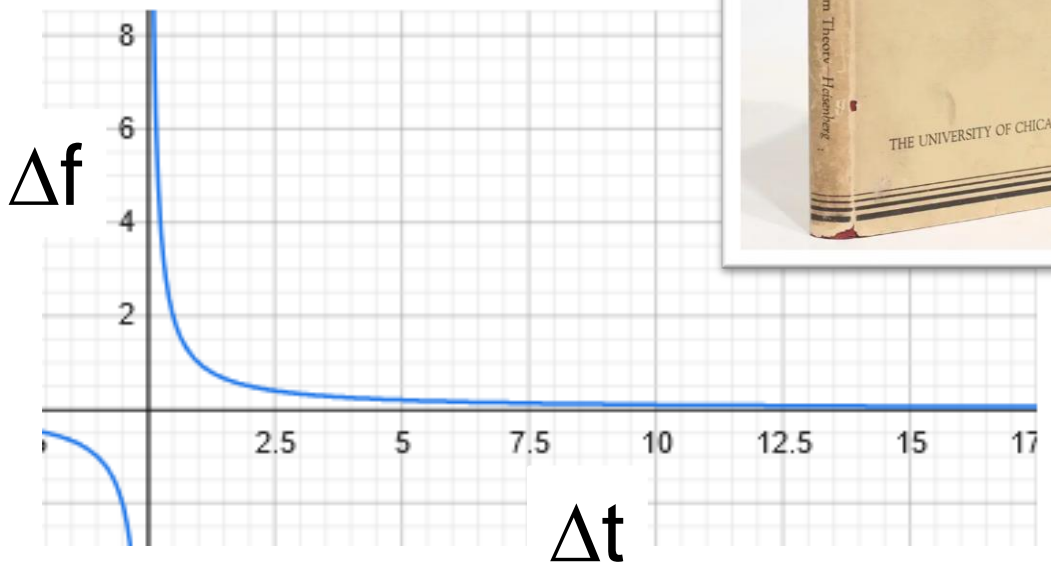


Bipolarer Wechselimpuls

Wie genau kann die Frequenz bestimmt werden?



$$\Delta f \cdot \Delta t = \text{const}$$



Wie groß ist die Frequenz- bzw. Wellenlängenverbreiterung?

$$\Delta f \cdot \Delta t = \text{const}$$

Δt	$\Delta \tilde{\nu}$ (1/cm)	$\Delta \lambda$ (nm) 200 nm	$\Delta \lambda$ (nm) 500 nm	$\Delta \lambda$ (nm) 1 μm	$\Delta \lambda$ (nm) 10 μm
1 μs	$5.31 \cdot 10^{-6}$	$2.1 \cdot 10^{-8}$	$1.33 \cdot 10^{-7}$	$5.31 \cdot 10^{-7}$	$5.31 \cdot 10^{-5}$
1 ns	0.00531	$2.1 \cdot 10^{-5}$	$1.33 \cdot 10^{-4}$	$5.31 \cdot 10^{-4}$	0.0531
1 ps	5.31	0.021	0.133	0.531	53.1
10 fs	531	2.1	13.3	53.1	5310
1 fs	5310	21	133	531	53100

Wie groß ist die Frequenz- bzw. Wellenlängenverbreiterung?

$$\Delta f \cdot \Delta t = \text{const}$$

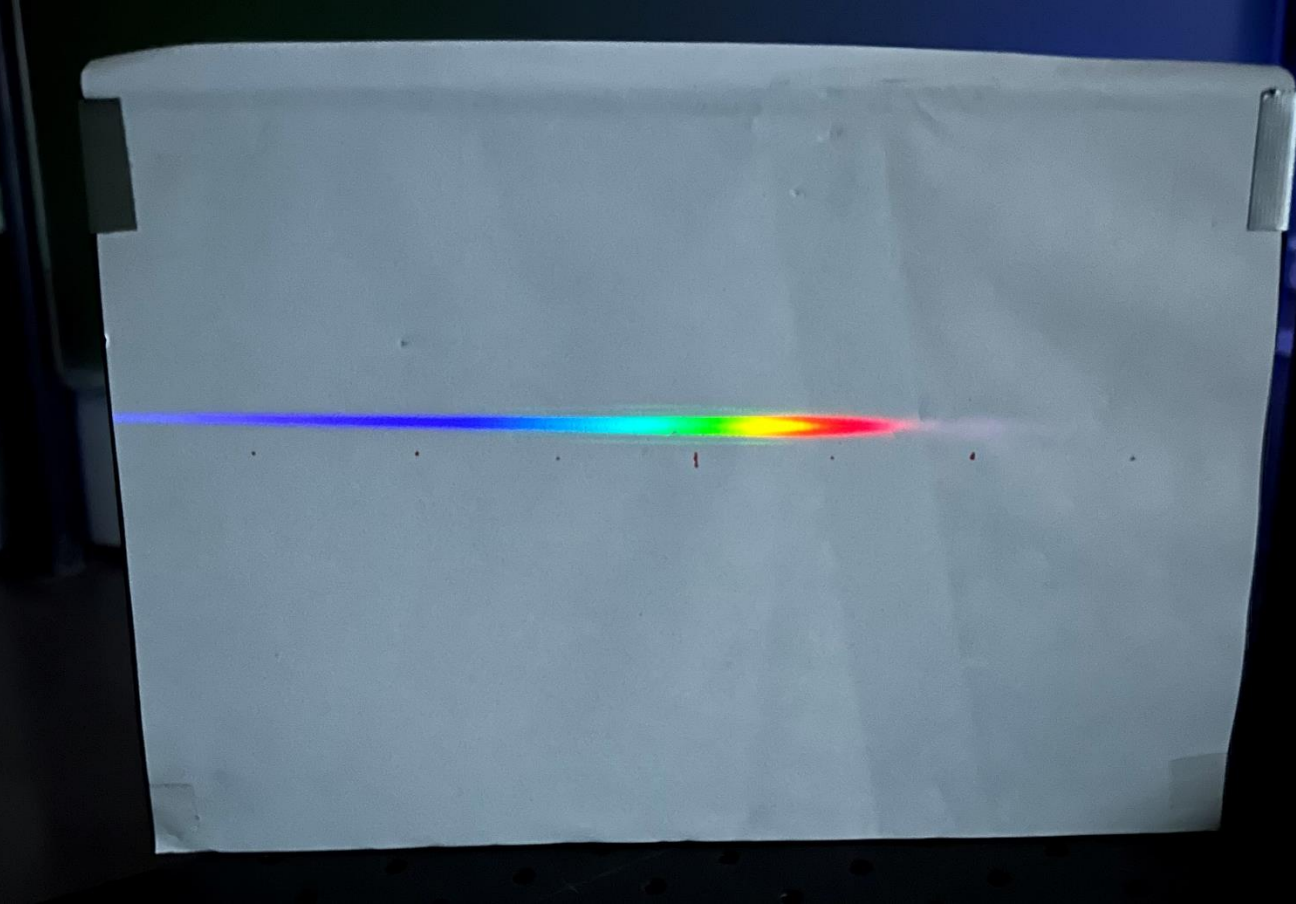
Δt	$\Delta\tilde{\nu}$ (1/cm)	$\Delta\lambda$ (nm) 200 nm	$\Delta\lambda$ (nm) 500 nm	$\Delta\lambda$ (nm) 1 μm	$\Delta\lambda$ (nm) 10 μm
1 μs	$5.31 \cdot 10^{-6}$	$2.1 \cdot 10^{-8}$	$1.33 \cdot 10^{-7}$	$5.31 \cdot 10^{-7}$	$5.31 \cdot 10^{-5}$
1 ns	0.00531	$2.1 \cdot 10^{-5}$	$1.33 \cdot 10^{-4}$	$5.31 \cdot 10^{-4}$	0.0531
1 ps	5.31	0.021	0.133	0.531	53.1
10 fs	531	2.1	13.3	53.1	5310
1 fs	5310	21	133	531	53100

Ein fs-Laserpuls ist nicht monochromatisch

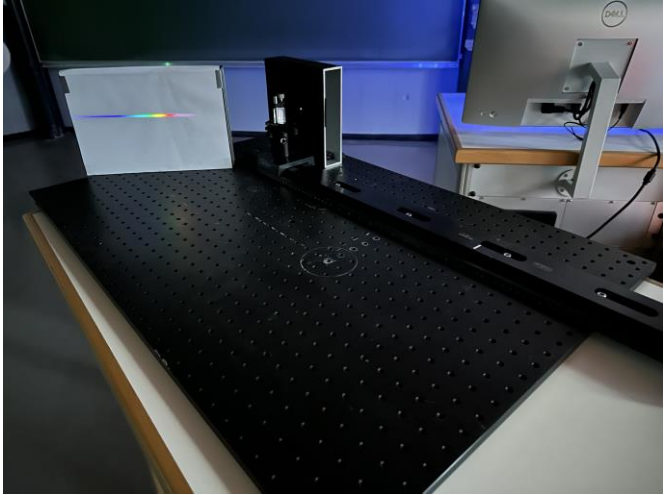
Ein fs-Laserpuls ist nicht monochromatisch



Ein fs-Laserpuls ist nicht monochromatisch

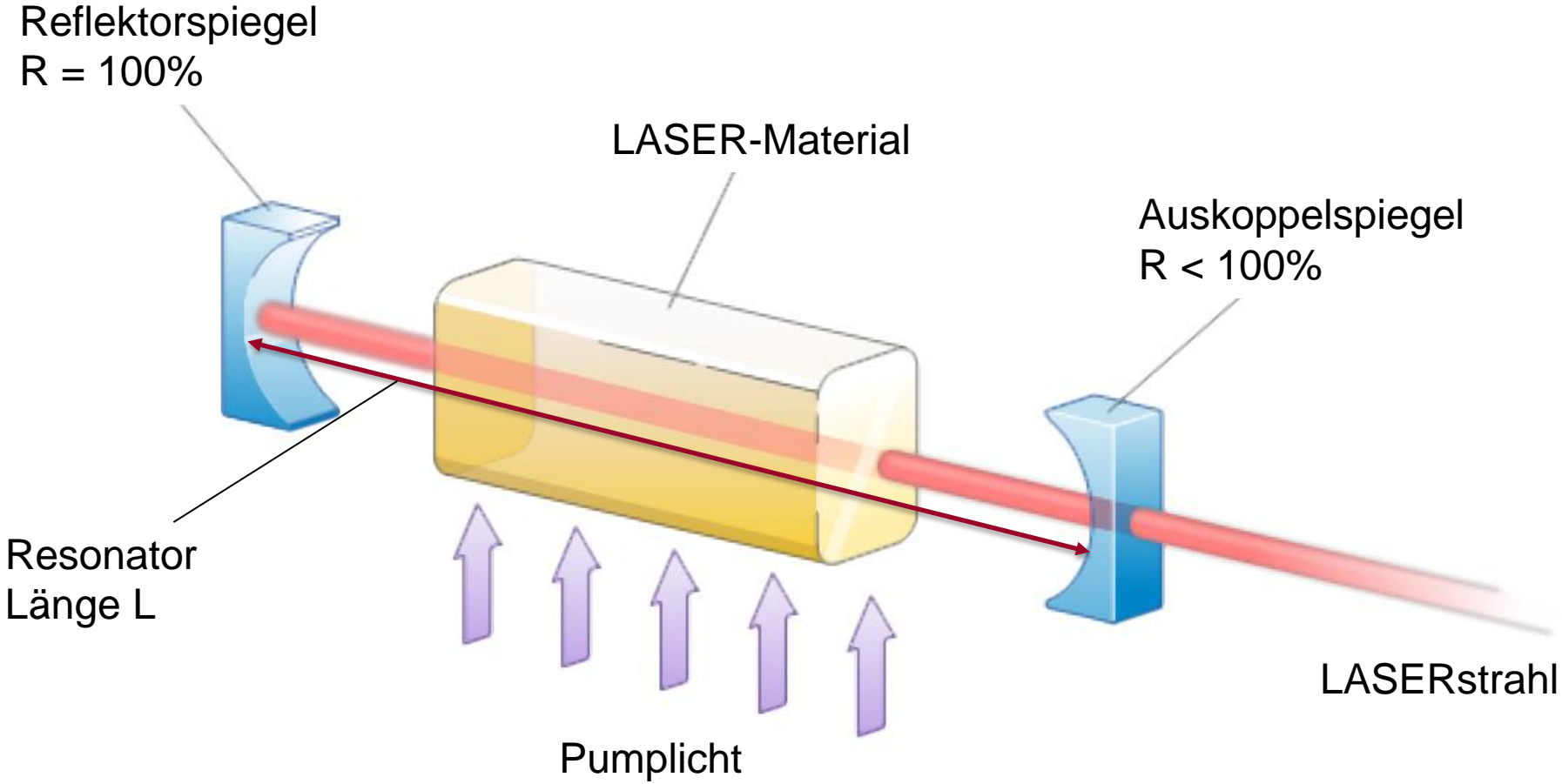


To be or not to be a LASER?



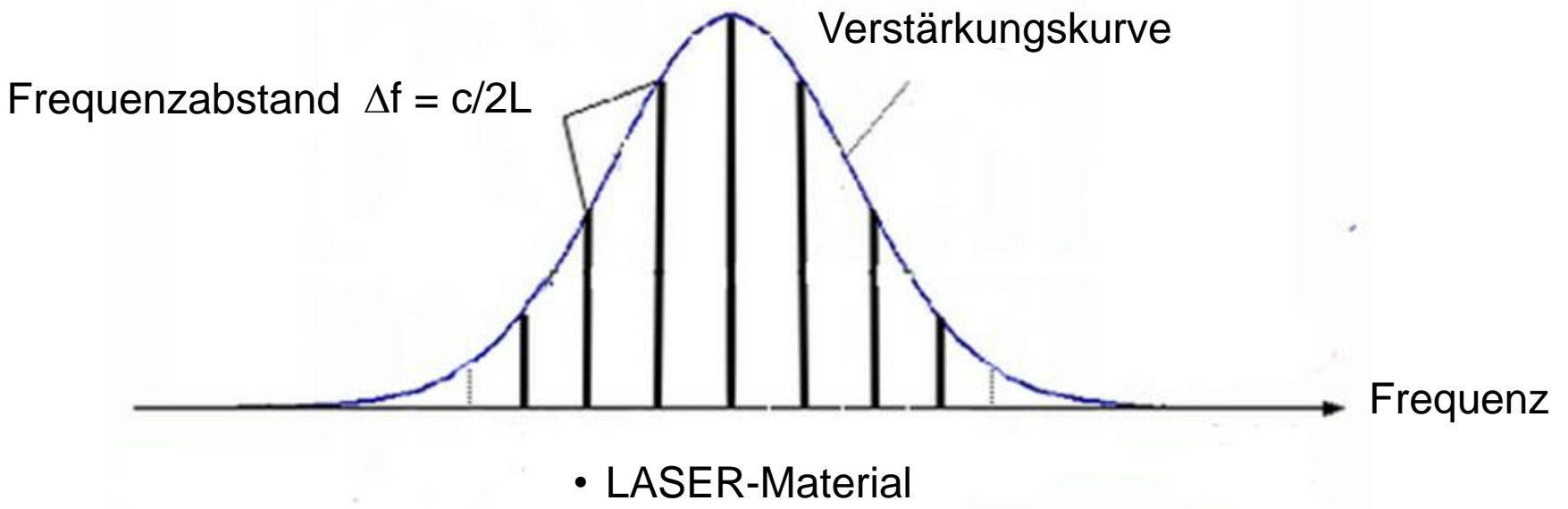
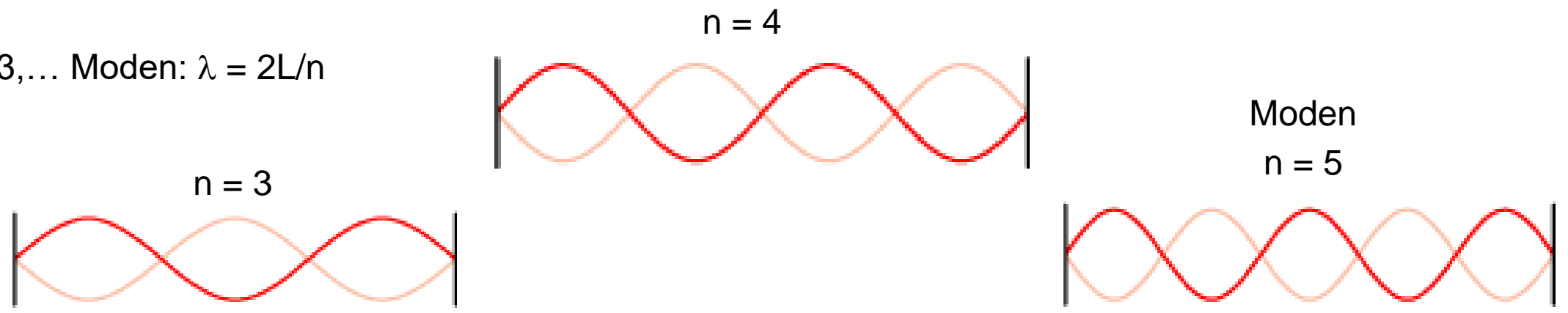
Wie werden fs-Laserpulse erzeugt?

⇒ LASER mit vielen Wellenlängen!



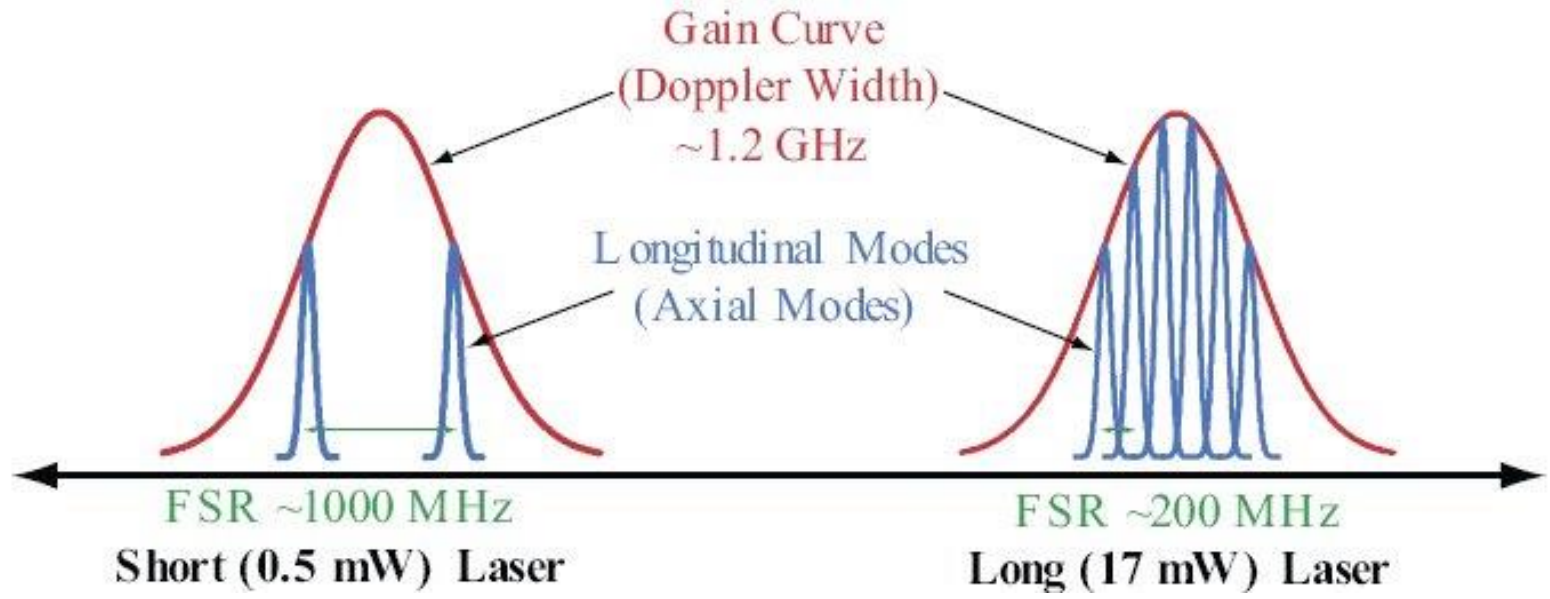
typisch: „1“ Wellenlänge; mehrere Moden

• $n = 1, 2, 3, \dots$ Moden: $\lambda = 2L/n$

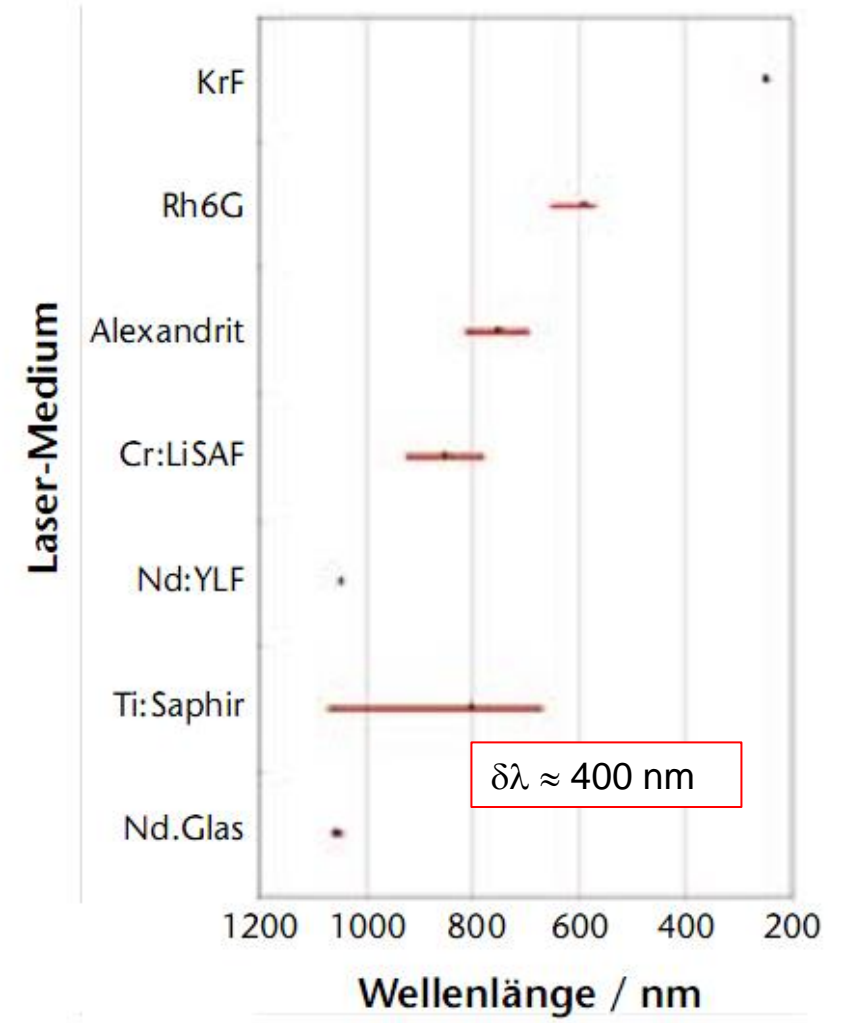


Fs-LASER: Mehrere Wellenlängen, mehr Moden...

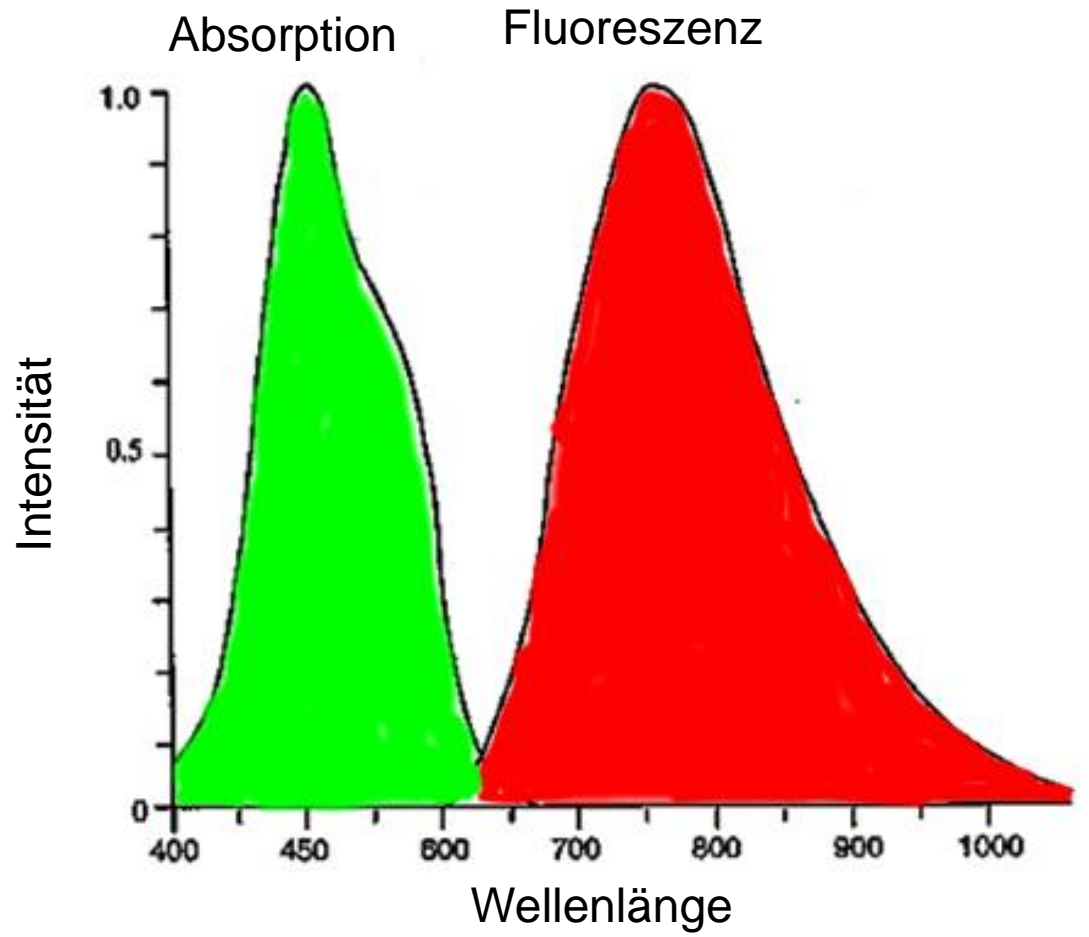
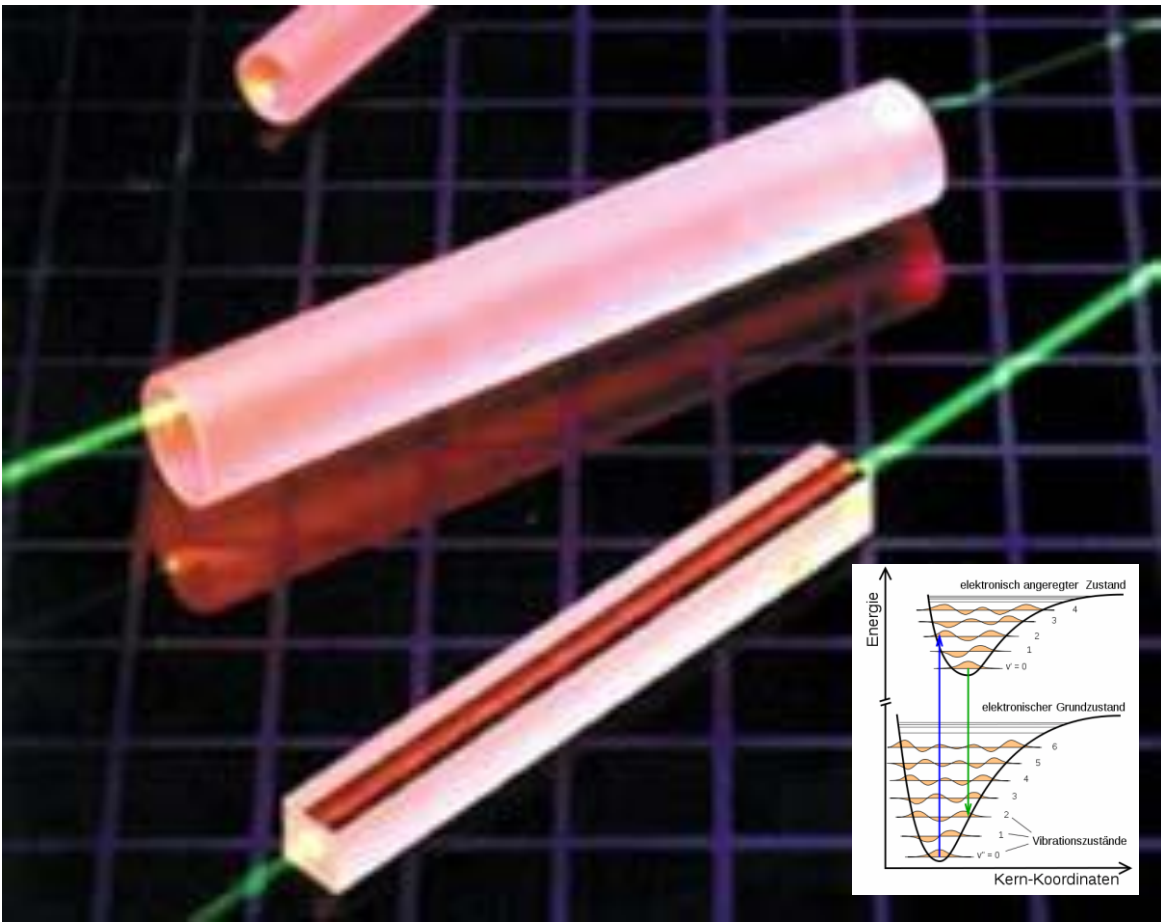
(1) ... durch längere Resonatoren
 Frequenzabstand $\Delta f = c/2L$



(2) ...durch breitere Verstärkungskurve

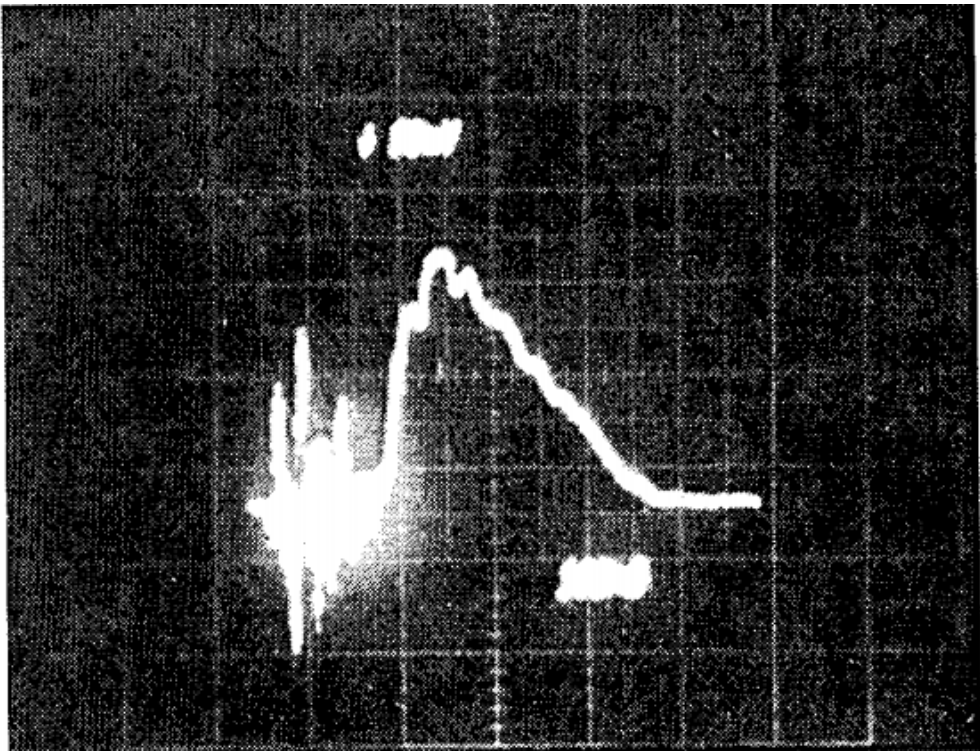


Ti-Al₂O₃ Laserkristall

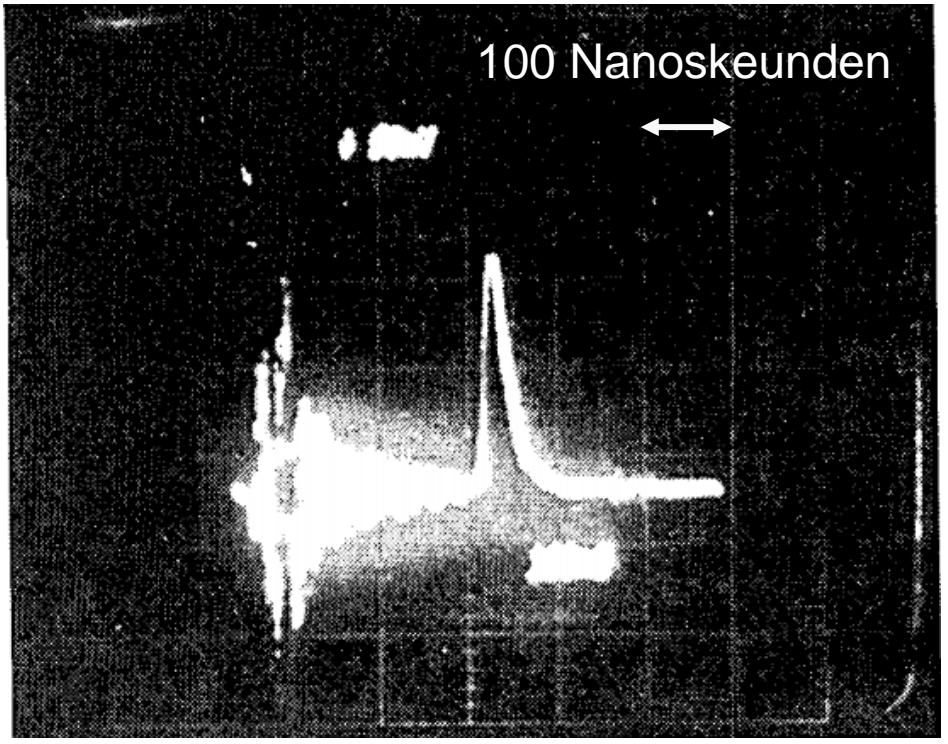


Ti_{Al}³⁺ Substitutionsdefekt

First reports: 1986



grüner Pumpuls



roter Laserpuls

Modenkopplung

Animation

Resonatorlänge

Auskopplung

Anzeige

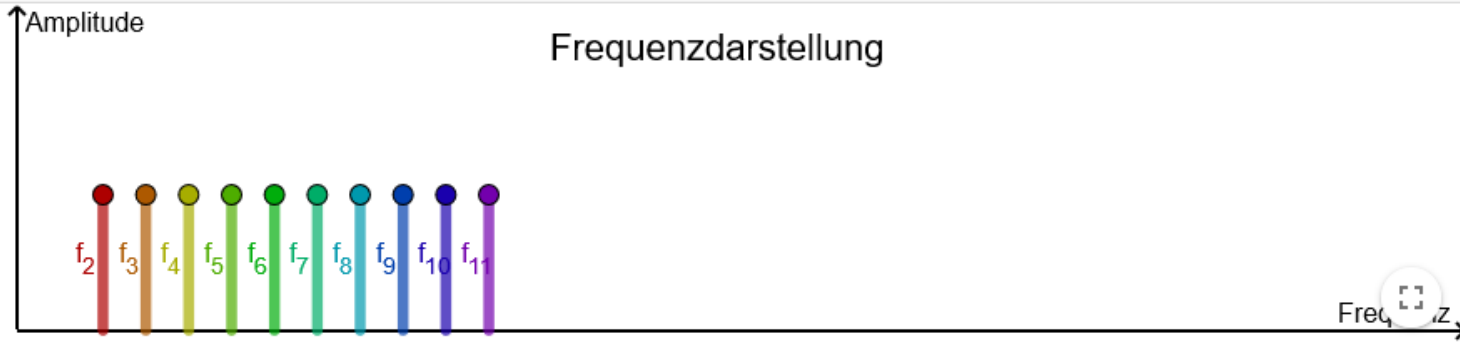
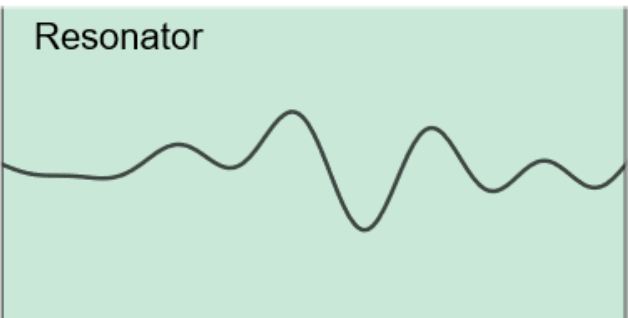
- Einzelne Moden
- Überlagerung
- Frequenzdarstellung

Modeneinstellungen

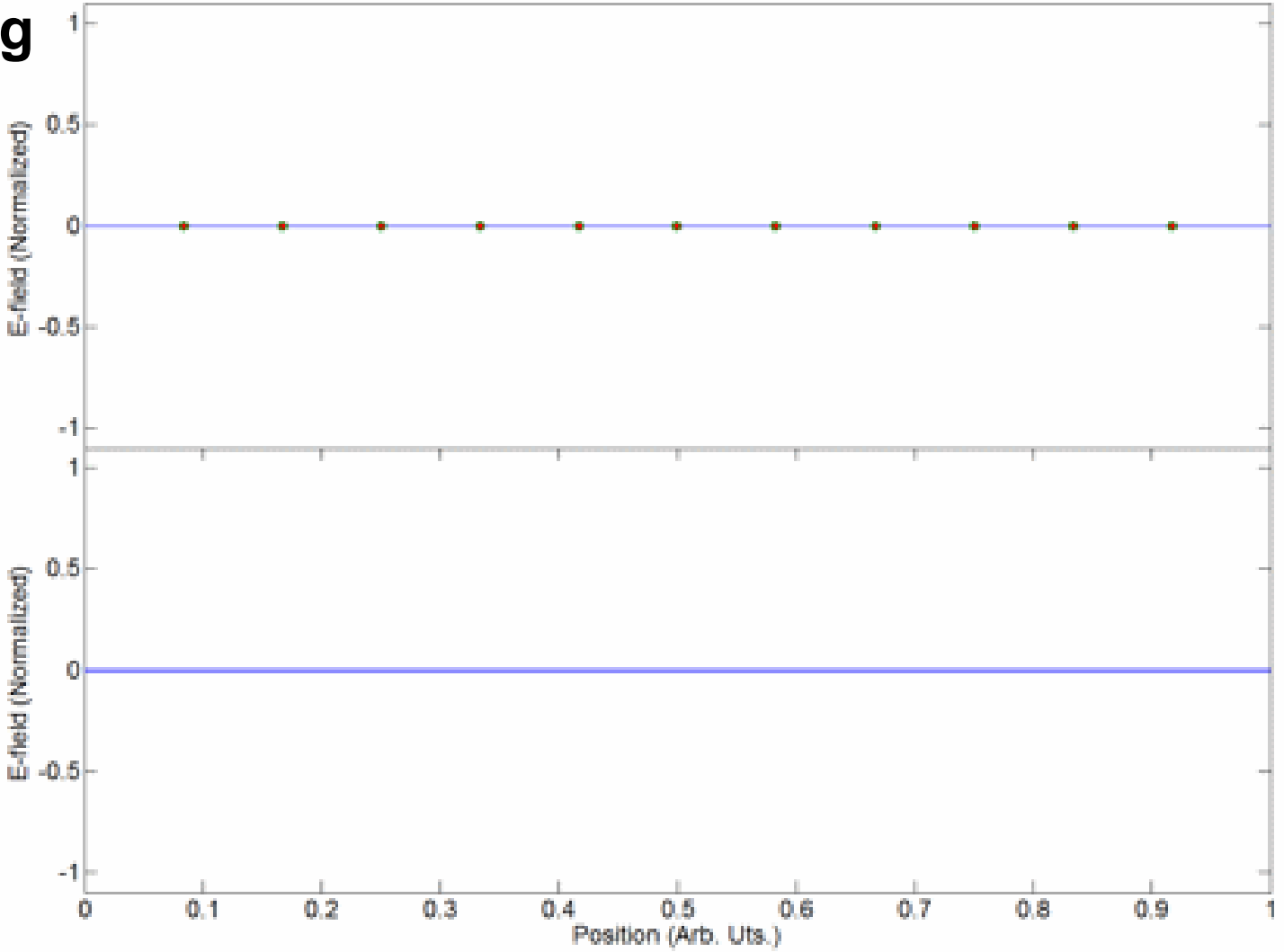
$n_{\min} = 2$

$n_{\max} = 11$

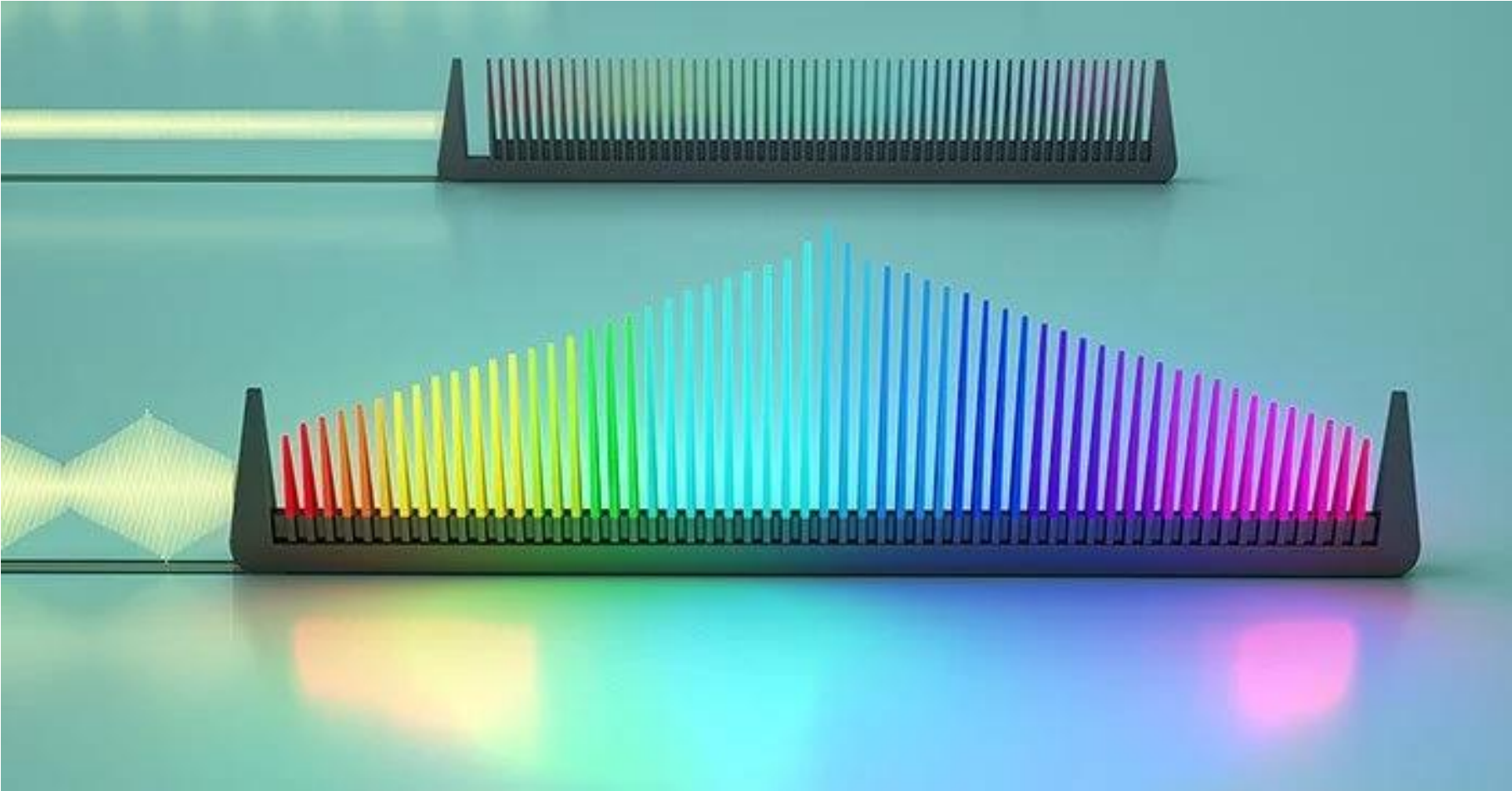
Modenkopplung



Modenkopplung

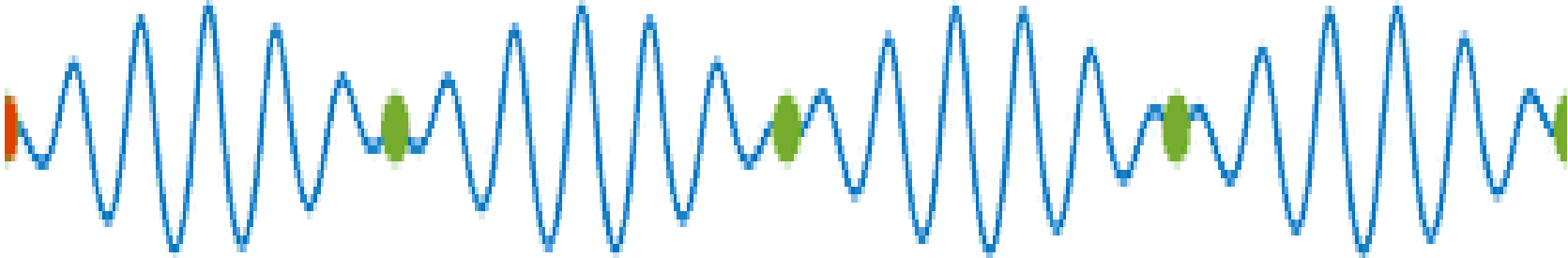


Fs-Laser - Frequenzkamm



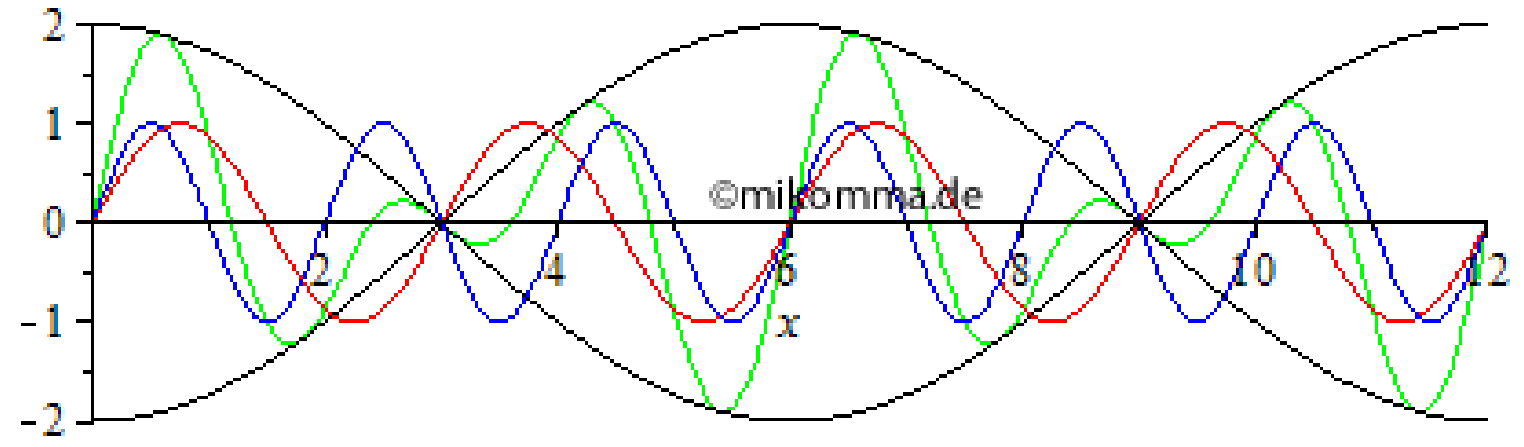
Nobelpreis für Physik 2005

Auswirkungen auf die Pulspropagation

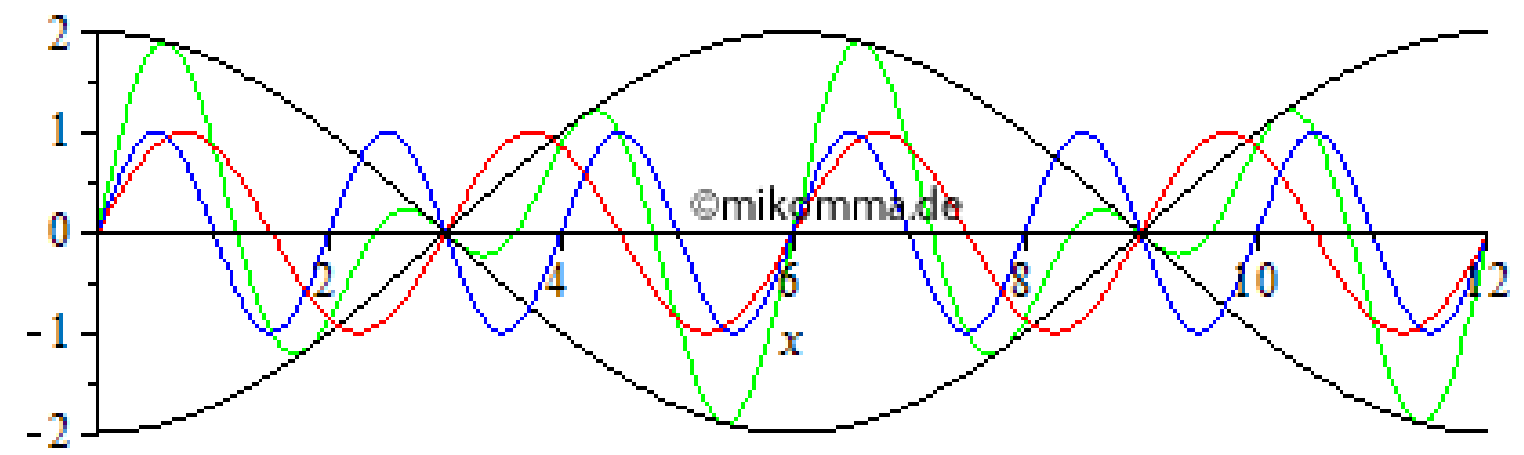


- Phasengeschwindigkeit
- Gruppengeschwindigkeit

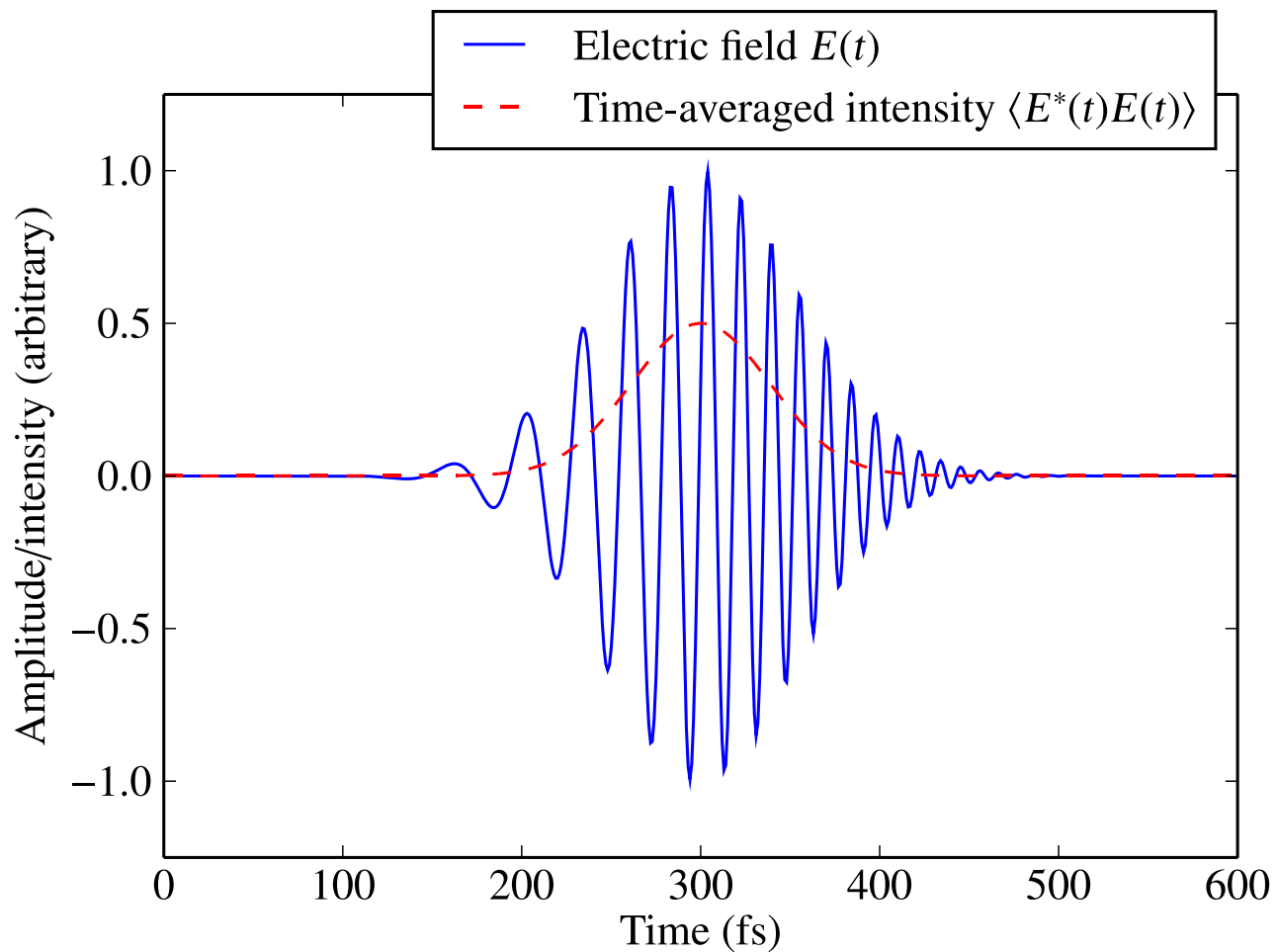
... mehrere Wellenlängen



... mehrere Wellenlängen

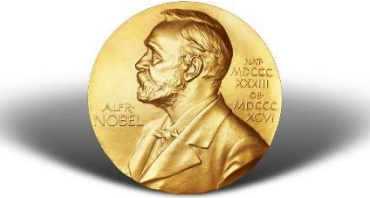
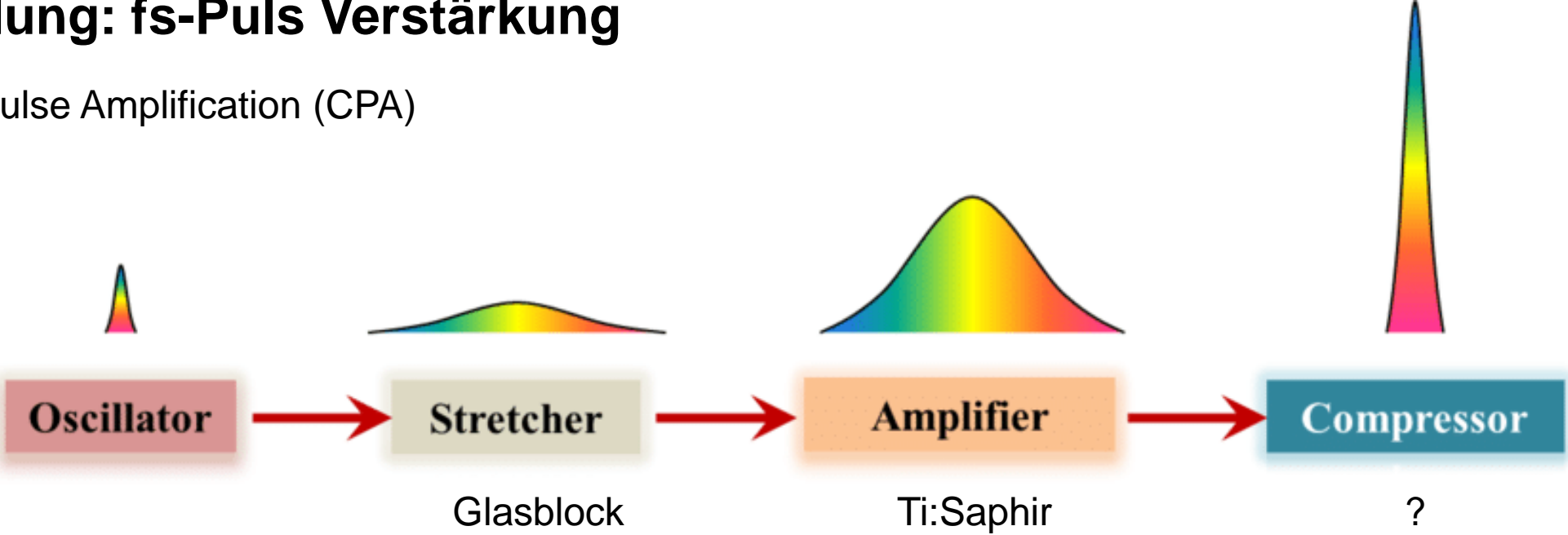


„Chirp“ im Puls

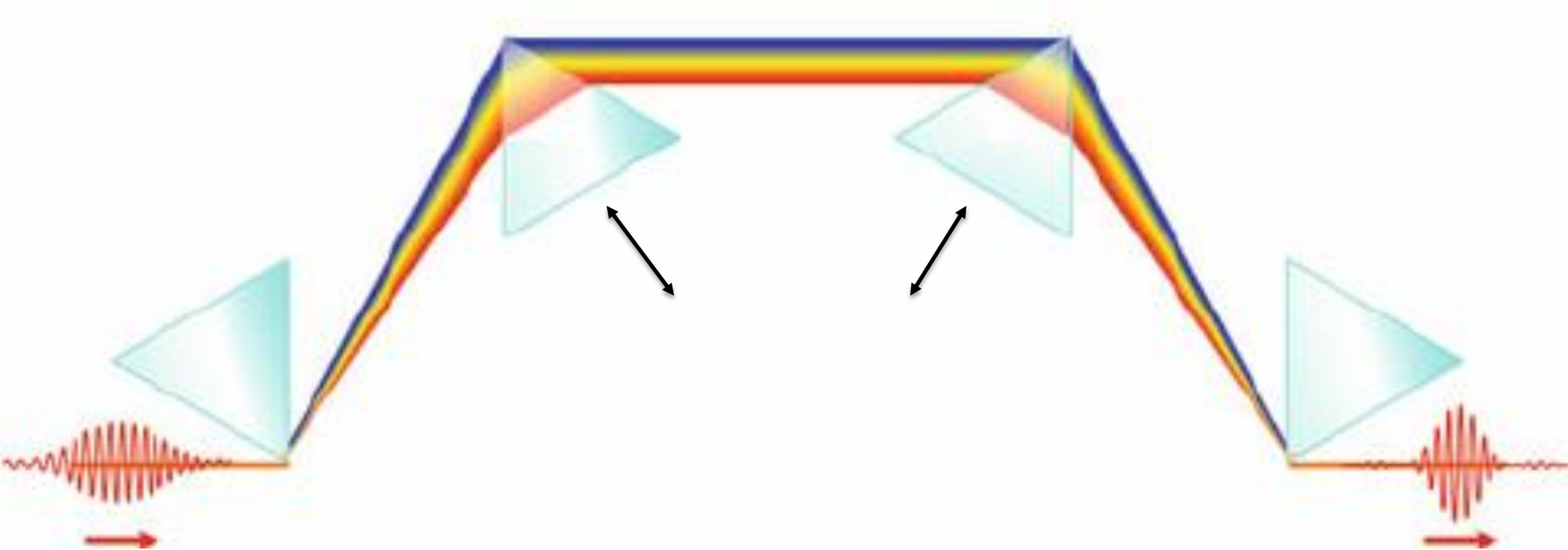


Anwendung: fs-Puls Verstärkung

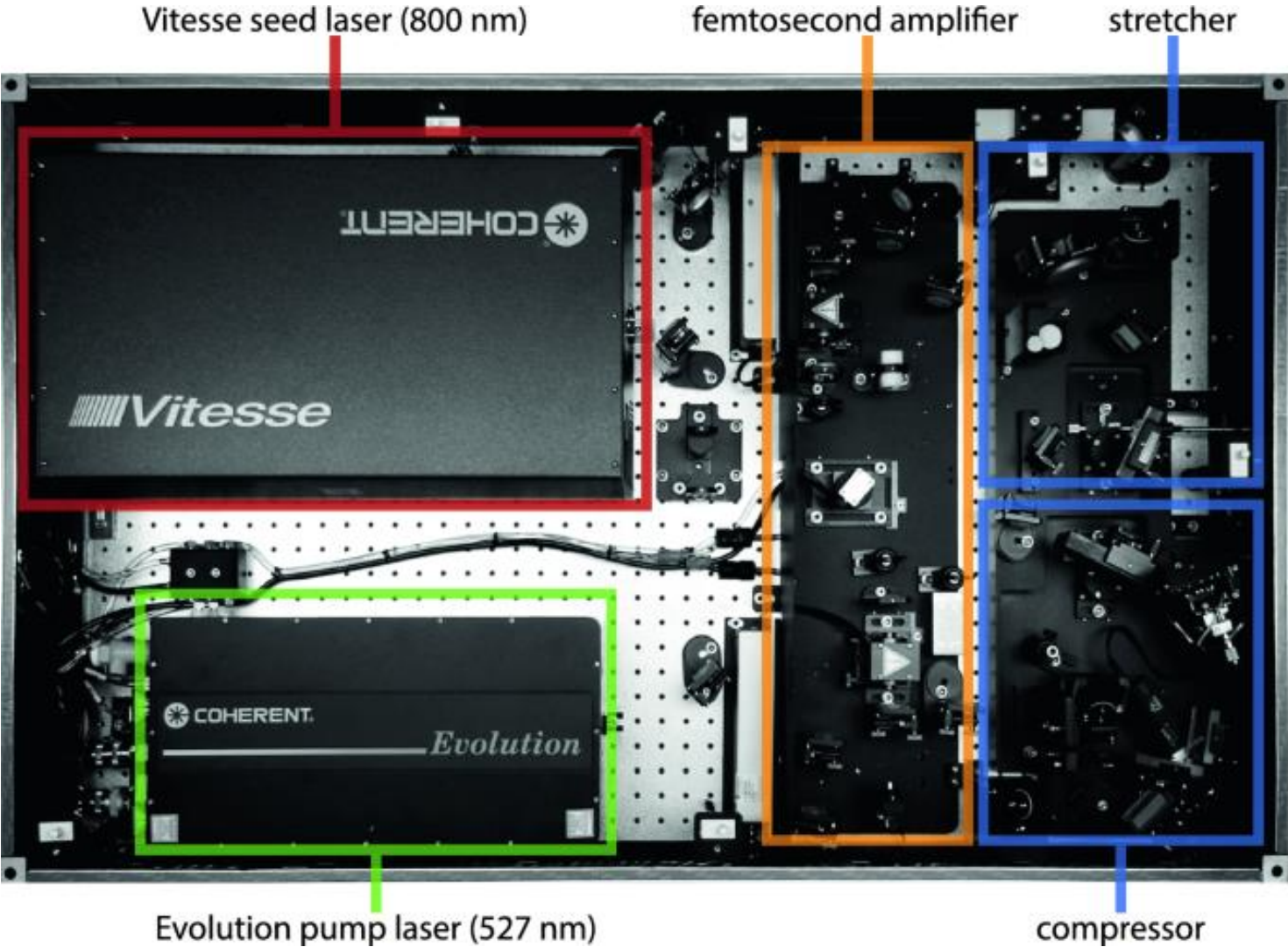
Chirped Pulse Amplification (CPA)



Prismenkompressor



One-Box-fs-Amplifier



Zusammenfassung

- Ultrakurzer Laserpuls: 1 ps 1 as
- fs-Laserpuls:
 - gerichtet
 - nicht monochromatisch, weiß
 - kohärent
 - Dispergieren im Medium
- fs-Laser
 - Lasermaterial mit breiter Verstärkungskurve
 - Modenkopplung
- Anwendungen:
 - Frequenzmessung
 - Kamera für sehr schnelle Prozesse
 - Präzise Materialbearbeitung

