CARL VON OSSIETZKY universität OLDENBURG

Weißlichterzeugung

- Supercontinnum generation in photonic crystal fibers -

Jens Brauer
Physik (Master)

14. Februar 2012

Gliederung

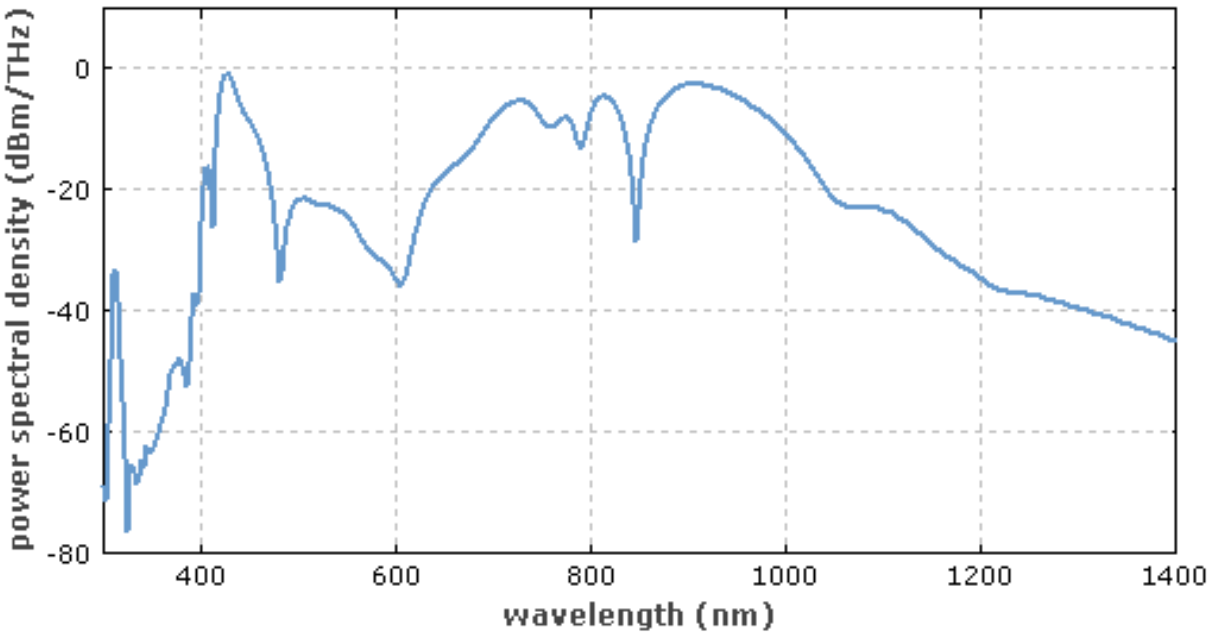
- Generierung eines Superkontinuums
  - Selbstphasenmodulation
  - Ramanstreuung
  - Solitonenspaltung
  - Vierwellenmischung

- Photonische Kristallfasern
- Pulsdauer messen – Autokorrelator

- Versuchsaufbau
- Abhängigkeit Superkontinuum - Pulsdauer
- Abhängigkeit Superkontinuum - Leistung

- Fazit

Weißlicht - Superkontinuum



(aus /1/)

- Weite Anwendungsbereiche in wissenschaftlichen Untersuchungen:
  - Spektroskopie (Licht mit breitem Spektrum vorteilhaft)
  - Konfokale Fluoreszenz Mikroskopie
  - Optische Kohärenztomografie (OCT) - Weißlichtinterferometrie

Selbstphasenmodulation (SPM)

- Nebeneffekt des Kerr-Effekts:
  - $n(t) = n_0 + n_2\, I(t)$

- Dadurch ist auch der Wellenvektor zeitabhängig

$$k(t) = \frac{\omega_0}{c} \cdot n(t)$$

- Es kommt zur Einführung einer Phase:

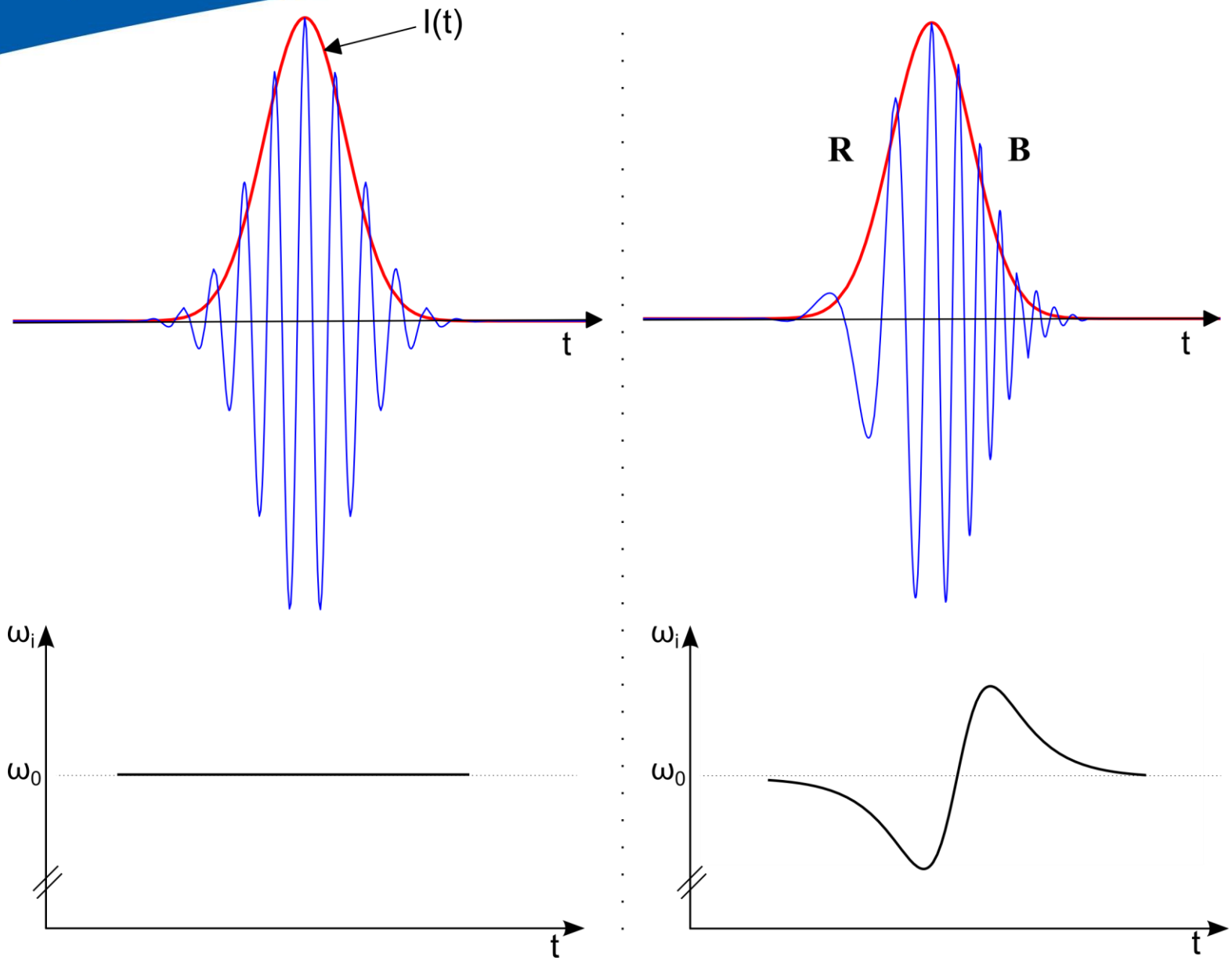
$$\phi = \omega_0 t - k(t)\, z = \omega_0 \left(t - \frac{n_0}{c} - n_2 \frac{I(t) z}{c} \right)$$

- Vergrößerung der spektralen Bandbreite:

$$\Delta\omega = \omega(t) - \omega_0 = \frac{\partial\Phi(\mathrm{z},\mathrm{t})}{\partial t} - \omega_0 = -\frac{\omega_0 n_2 z}{c} \cdot \frac{\partial I(t)}{\partial t}$$

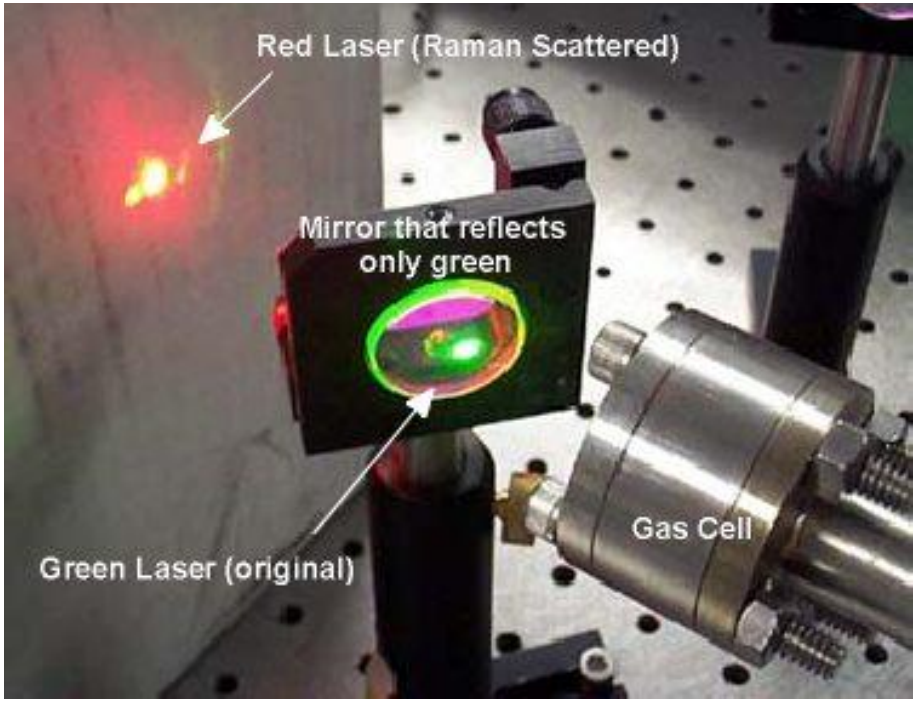
- Beispiel Gauß-Puls:

$$\Delta\omega(z,t) \propto t \cdot \exp(-t^2)$$


I(t)
t
R
B
t
ω_i
ω_0
t
ω_i
ω_0
t

Ramanstreuung

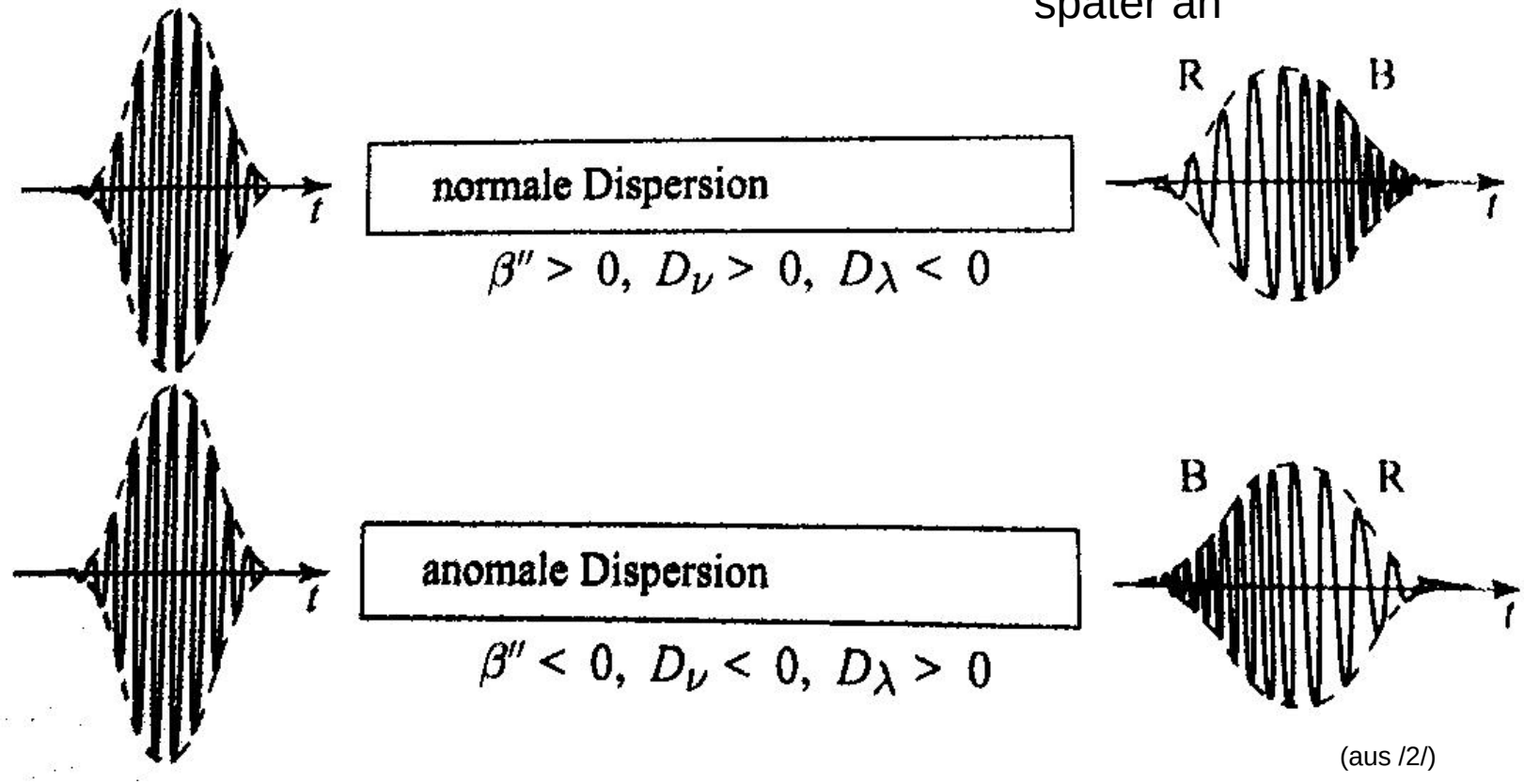
- Streuung an Molekülen oder optischen Phononen
- Absorption => Anti-Stokes
- Anregung => Stokes
- Stimulierte Ramanstreuung in nichtlinearem Medium:
  - Niederfrequente Teil des Spektrums auf Kosten des höherfrequenten Teils verstärkt



(aus /3/)

GVD (Group Velocity Dispersion)

Komponenten mit kleineren Wellenlängen (B) kommen später an

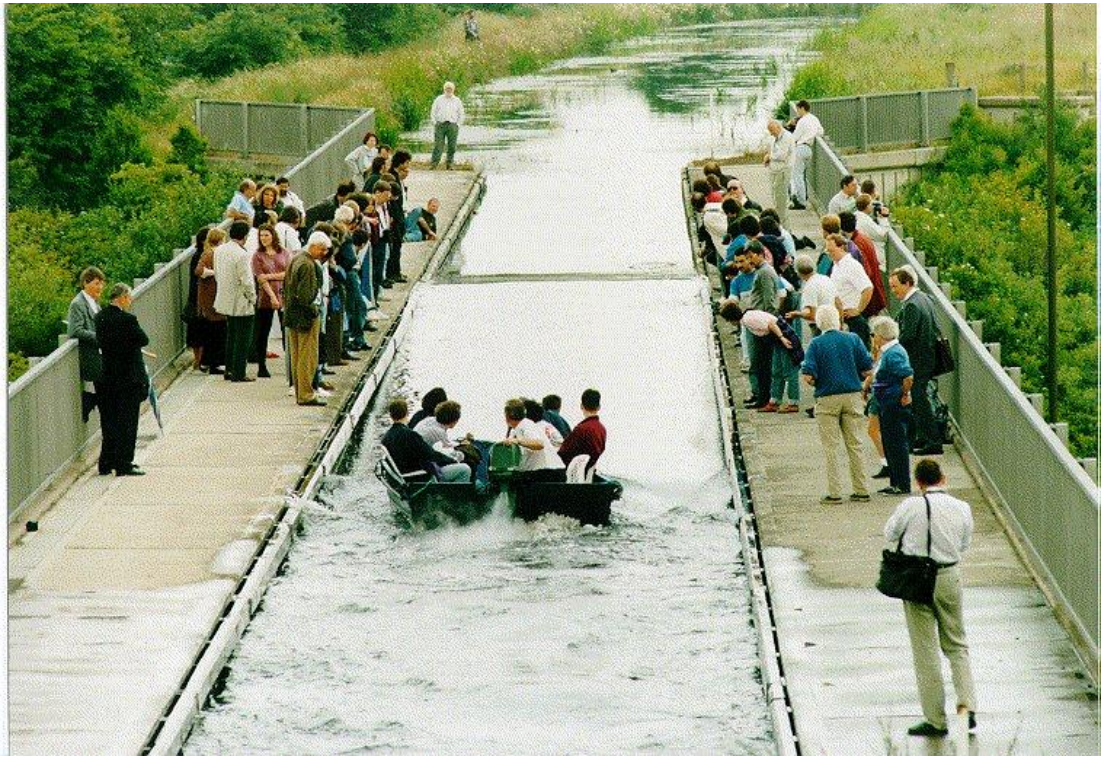


(aus /2/)

$$GDD = GVD \cdot L = \frac{\lambda^3 L}{2\pi c^2} \cdot \left(\frac{d^2 n}{d\lambda^2}\right) = \frac{L}{2\pi} D_\nu$$

Solitonenspaltung

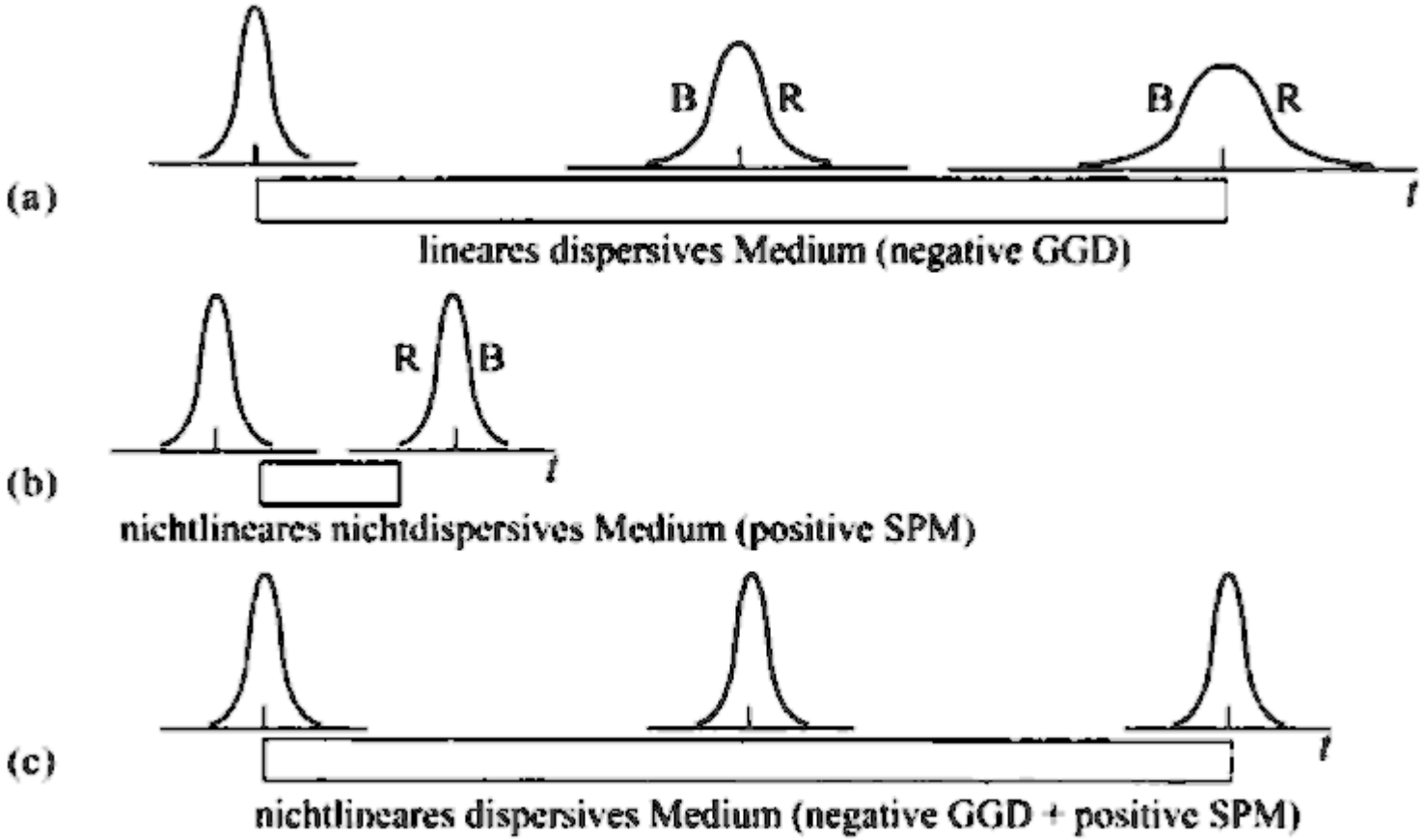
- Soliton = Welle die ihre Form nicht ändert
- Als Wasserwelle erstmals 1834 von John Scott Russel entdeckt



(aus /4/)

- Optik: Wellenpaket, welches sich ohne Änderung seiner Form ausbreiten kann
- Soliton: Effekte der SPM und der GVD kompensieren sich
- Entstehen z.B. in einer Faser mit großem Wellenbereich anormaler Dispersion
- Dann: Up-Chirp durch SPM und Down-Chirp durch Dispersion

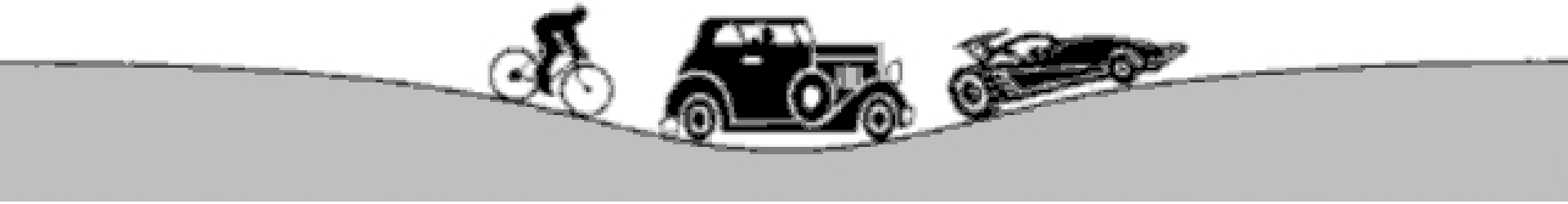
Solitonentstehung



(aus /2/)

Analogon

- Schwerer Wagen = intensiver Teil des Pulses



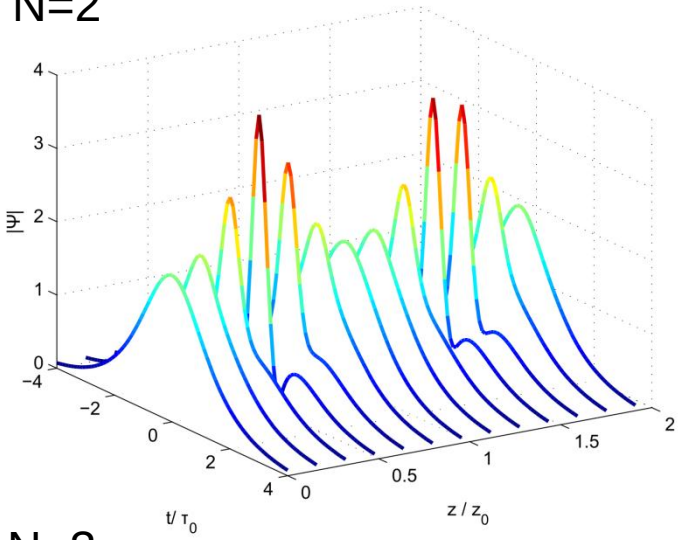
(aus /2/)

- N-Soliton: N Solitonen die sich in einer Gruppe bewegen
  - Pulsform ändert sich periodisch
  - $N = \sqrt{\frac{\gamma(\lambda)\tau_p^2 P_0}{GVD(\lambda)}}$

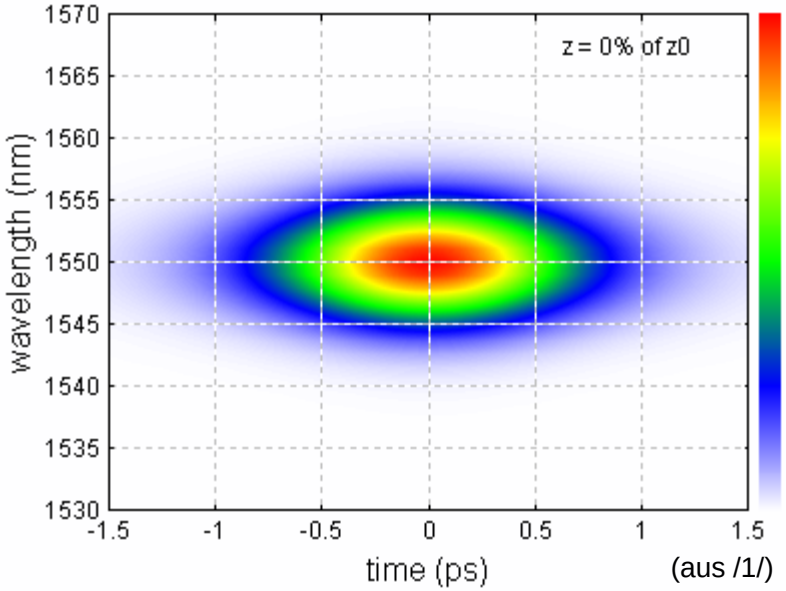
- Spaltung in N fundamentale Solitonen

- Spaltung initiiert durch
  - Induzierte Ramanstreuung (Rotverschiebung)
  - Dispersion höherer Ordnung (Blauverschiebung)

N=2

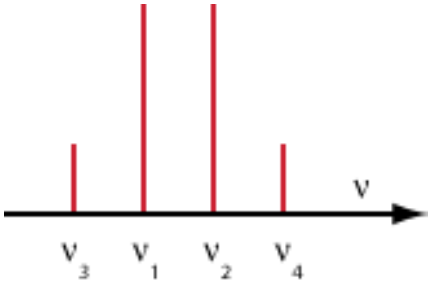


N=3



(aus /1/)

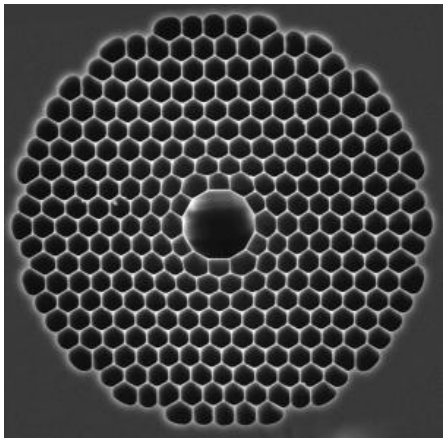
Vierwellen-Mischung



(aus /1/)

- Ausbreitung von 2 unterschiedlichen Frequenzkomponenten in der Faser
- zwei neue Frequenzen können erzeugt werden
- $\nu_3 = 2\nu_1 - \nu_2$, $\nu_4 = 2\nu_2 - \nu_1$
- Bsp: Solitonen wechselwirken mit dispersiven Wellen
- Neue Wellenlängen durch Vierwellenmischen
- Tritt besonders bei „langen“ Pump-Pulsen auf (ns)

Photonische Kristallfasern (PCF)

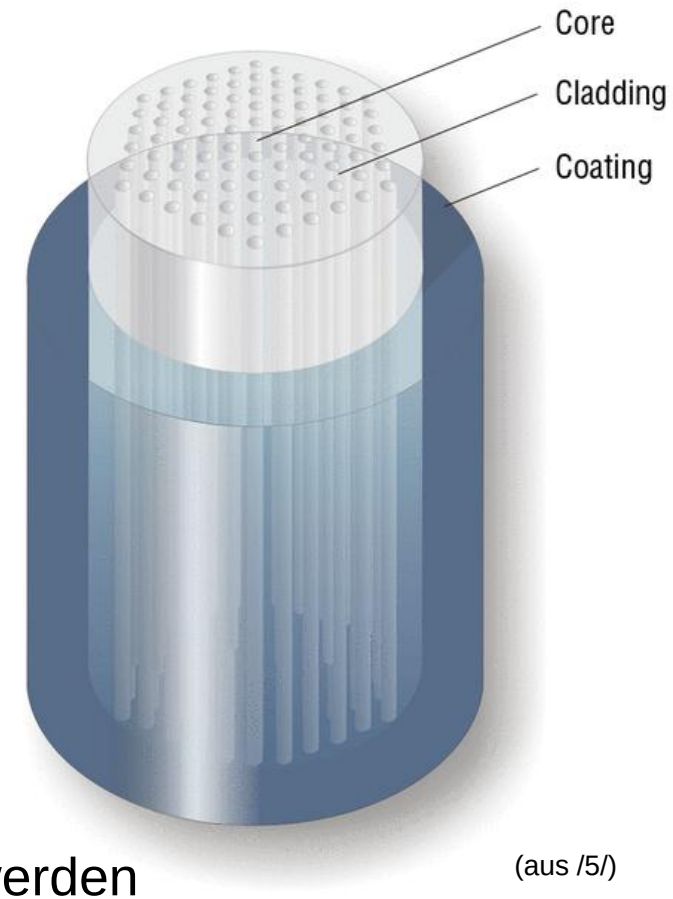


(aus /5/)

- Zwei Kategorien
  - *Indexgeführte Fasern* (mit massivem Kern)
  - *Photonische Bandlücken-Fasern* (periodisch mikrostrukturierte Struktur und Kern mit niedrigem Brechungsindex, z.B. Hohlkern)

- Bestimmte Eigenschaften im Vergleich zu normalen Fasern
  - Außergewöhnlich hohe Nichtlinearität
  - Optimierte Dispersionseigenschaften (Dispersion lässt sich „einstellen“ durch Anordnung der Hohlräume)

Indexgeführte Fasern



(aus /5/)

- Lichtübertragung durch Totalreflexion

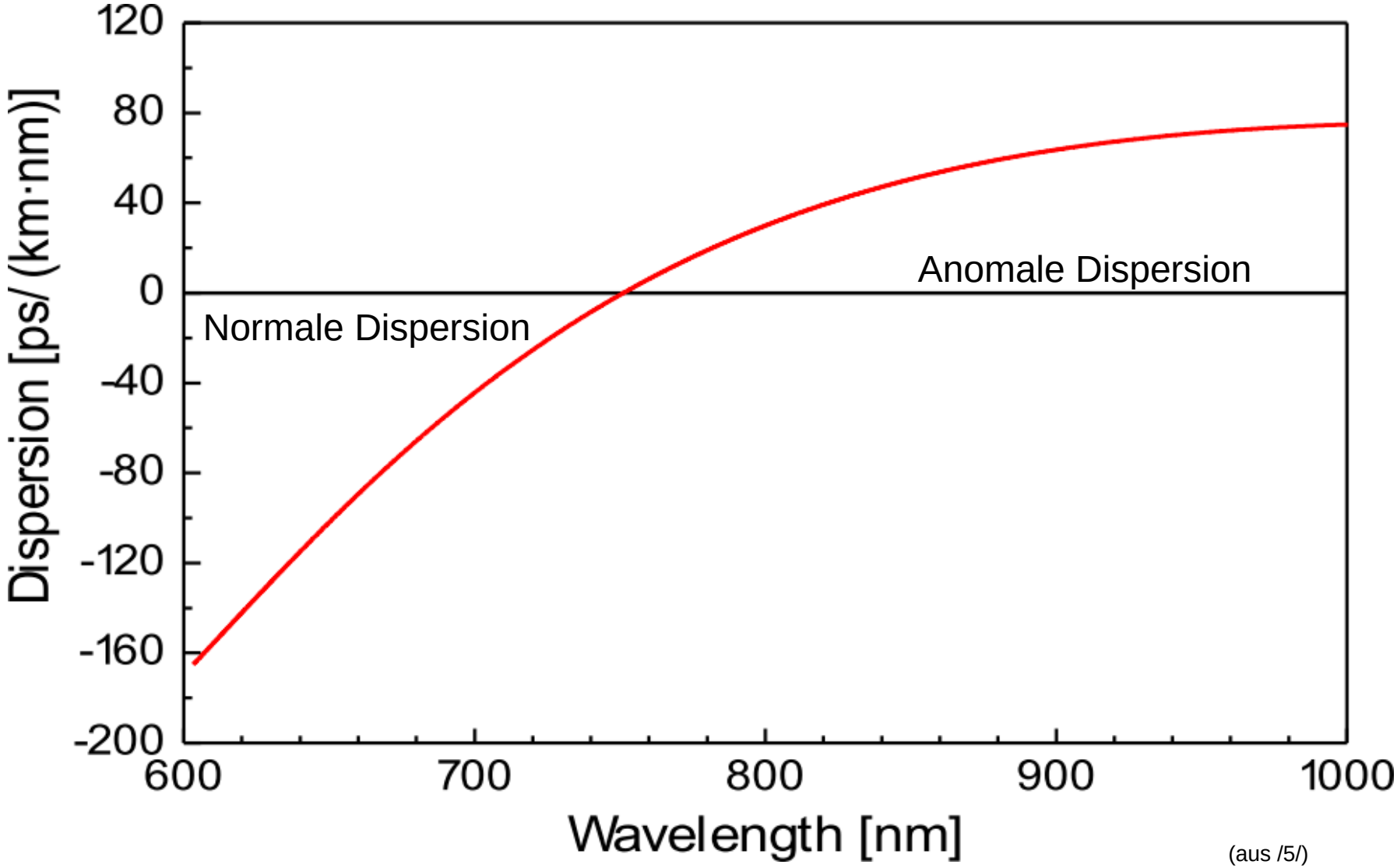
- Luftgefüllte Bereiche senken den Brechungsindex

  => Stufenindex-Faser

- Bestehen aus undotiertem Quarzglas
  - Sehr geringe Verluste
  - Kann bei hohen Leistungen eingesetzt werden

- Flexibilität im Design -> extrem nichtlineare Fasern möglich

Dispersion der verwendeten Faser

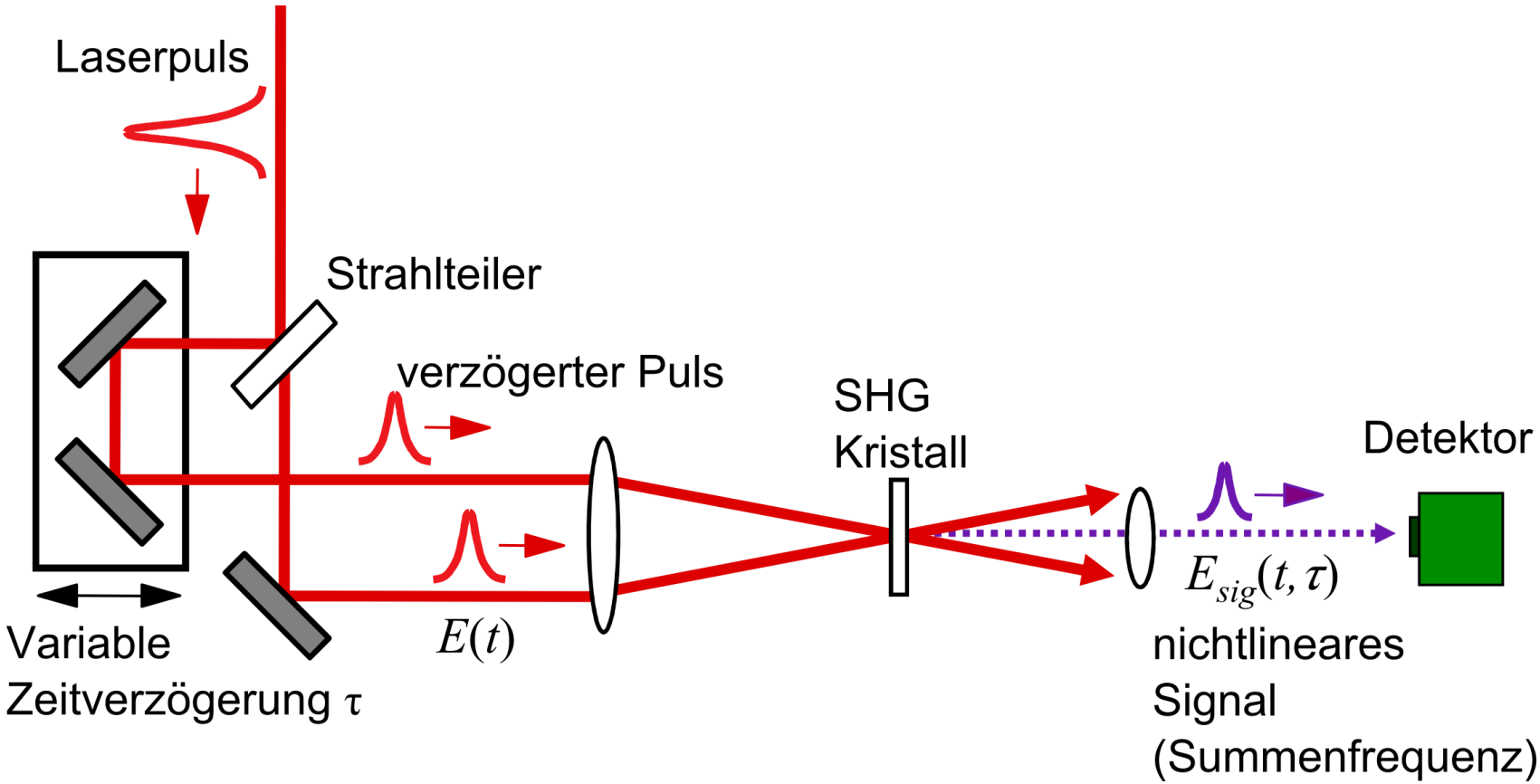


(aus /5/)

Autokorrelator

- Pulsdauer messen
- Elektronische Geräte im Allgemeinen zu langsam
- Optische Messung der Pulsdauer durch Puls selbst
- Unterschied:
  - Intensitäts-Autokorrelator
  - Interferometer-Autokorrelator
  - Feld - Autokorrelator

Intensitätsautokorrelator



(aus /7/)

- Mit $E(t)$ dem elektrischen Feld zur Zeit t gilt:

$$E_{SHG} \propto [E(t) + E(t+\tau)]^2$$
$$= |E(t)|^2 + |E(t+\tau)|^2 + 2E(t)E(t+\tau)$$

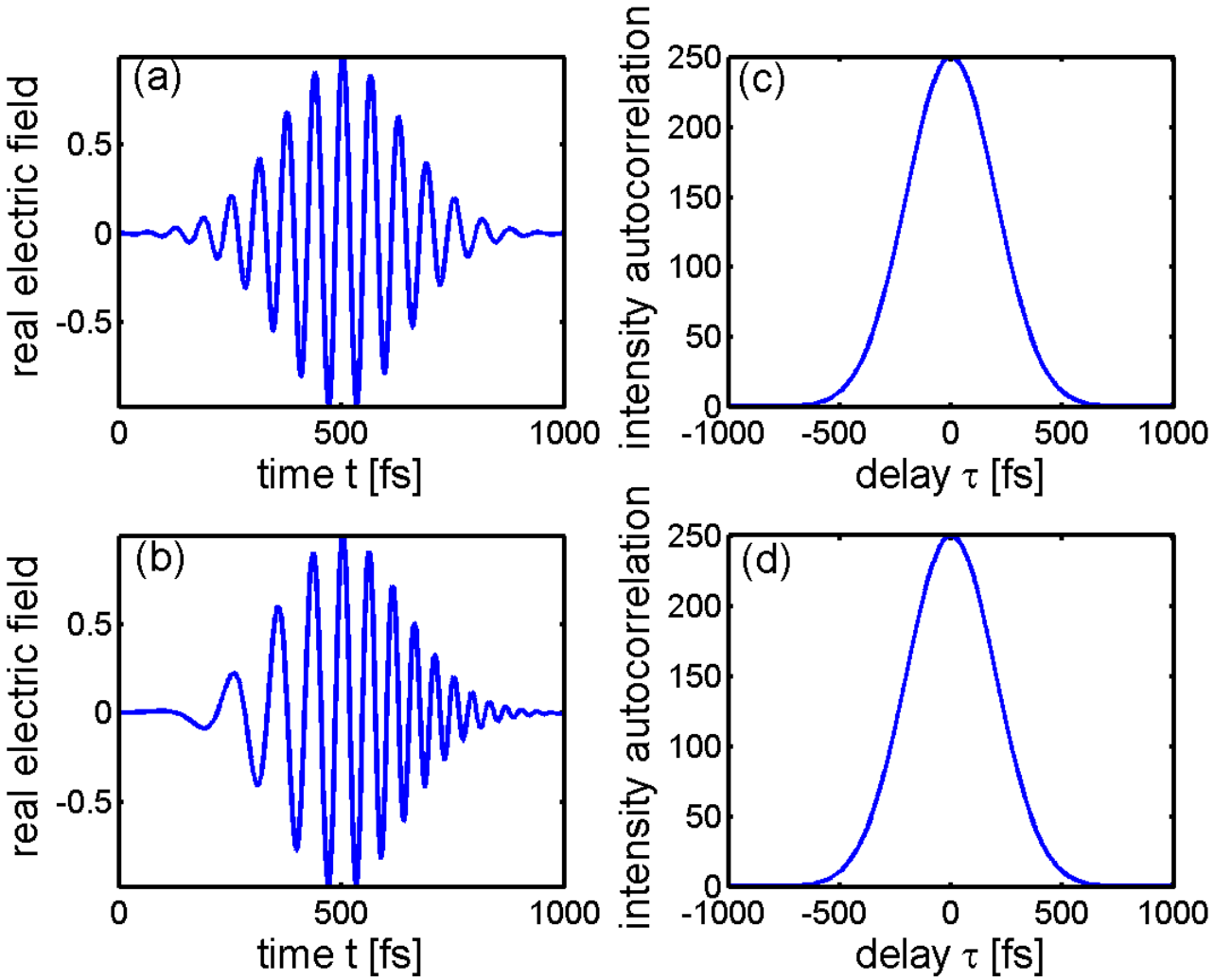
- Durch nicht-kollinearen Aufbau bleibt nur das Signal auf der optischen Achse übrig: $(2E(t)E(t+\tau))$

- Detektor misst integriertes Signal

$$I_{AC}(\tau) \propto \int |E(t) \cdot E(t+\tau)|^2 \; dt = \int I(t)I(t+\tau)\, dt$$

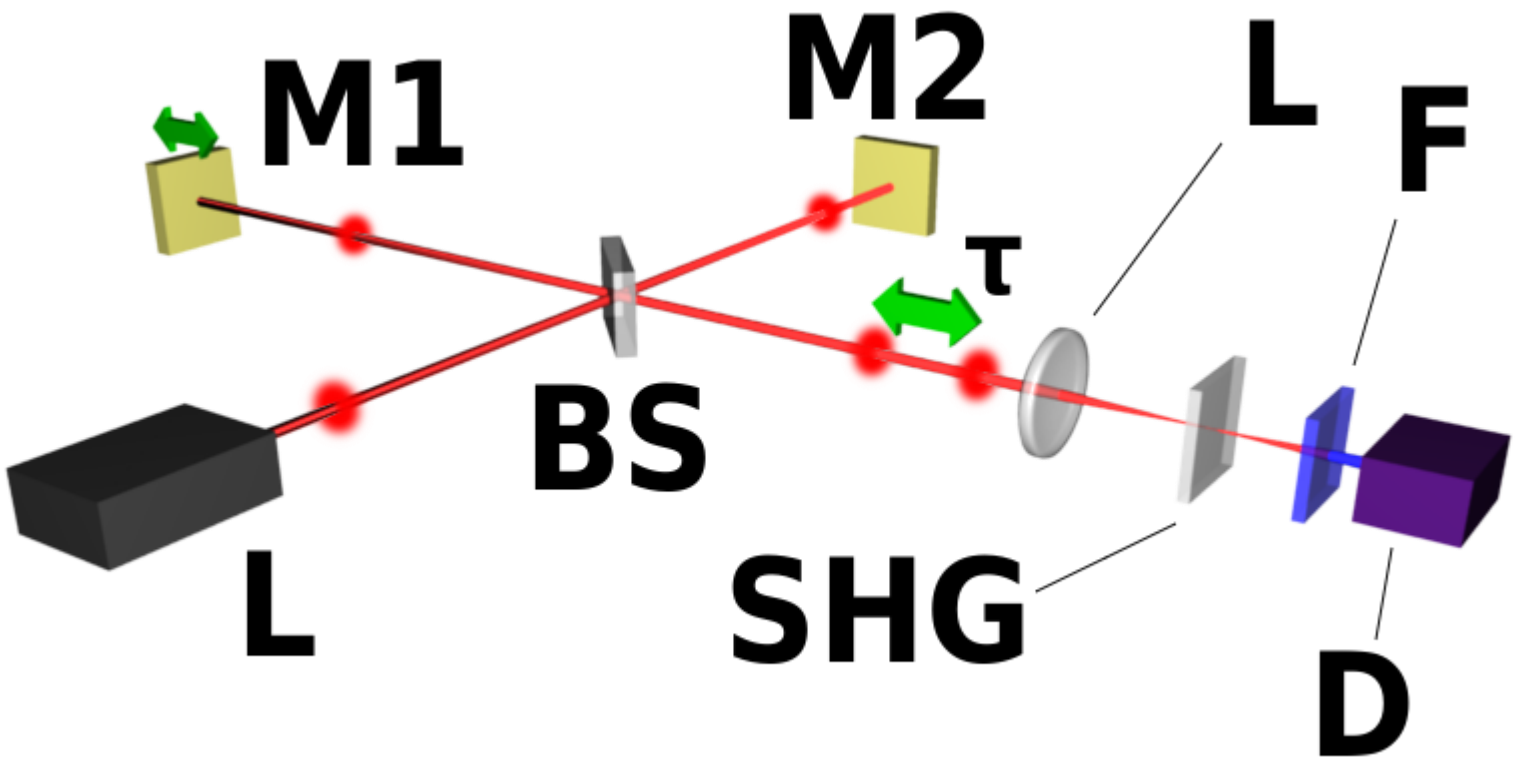
- Bei bekannter Pulsform lässt sich Pulsdauer bestimmen
- Nachteil: Keine Information über spektrale Phase

Beispiel – Intensitäts-Autokorrelation



(aus /6/)

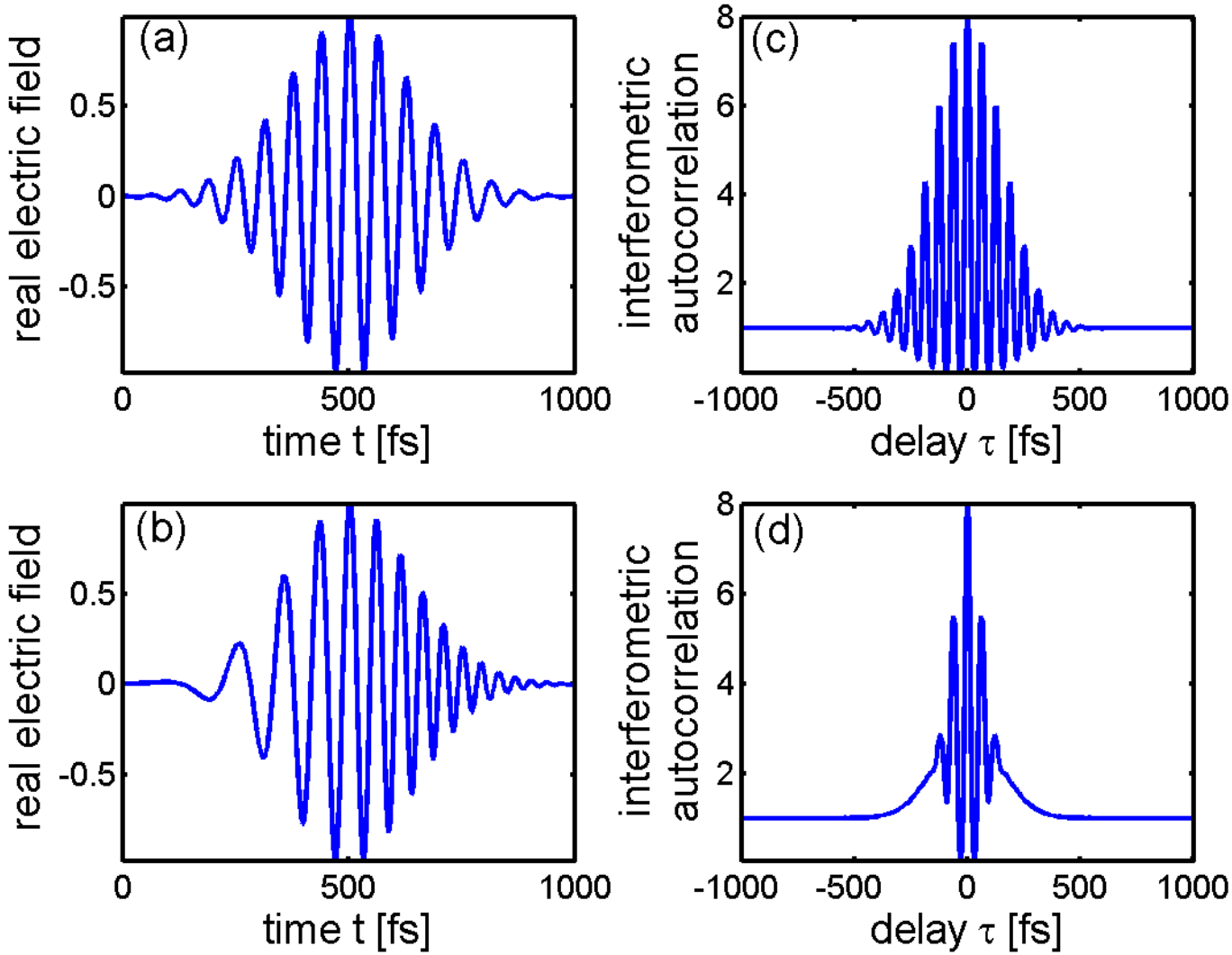
Interferometrie-Autokorrelation



(aus /6/)

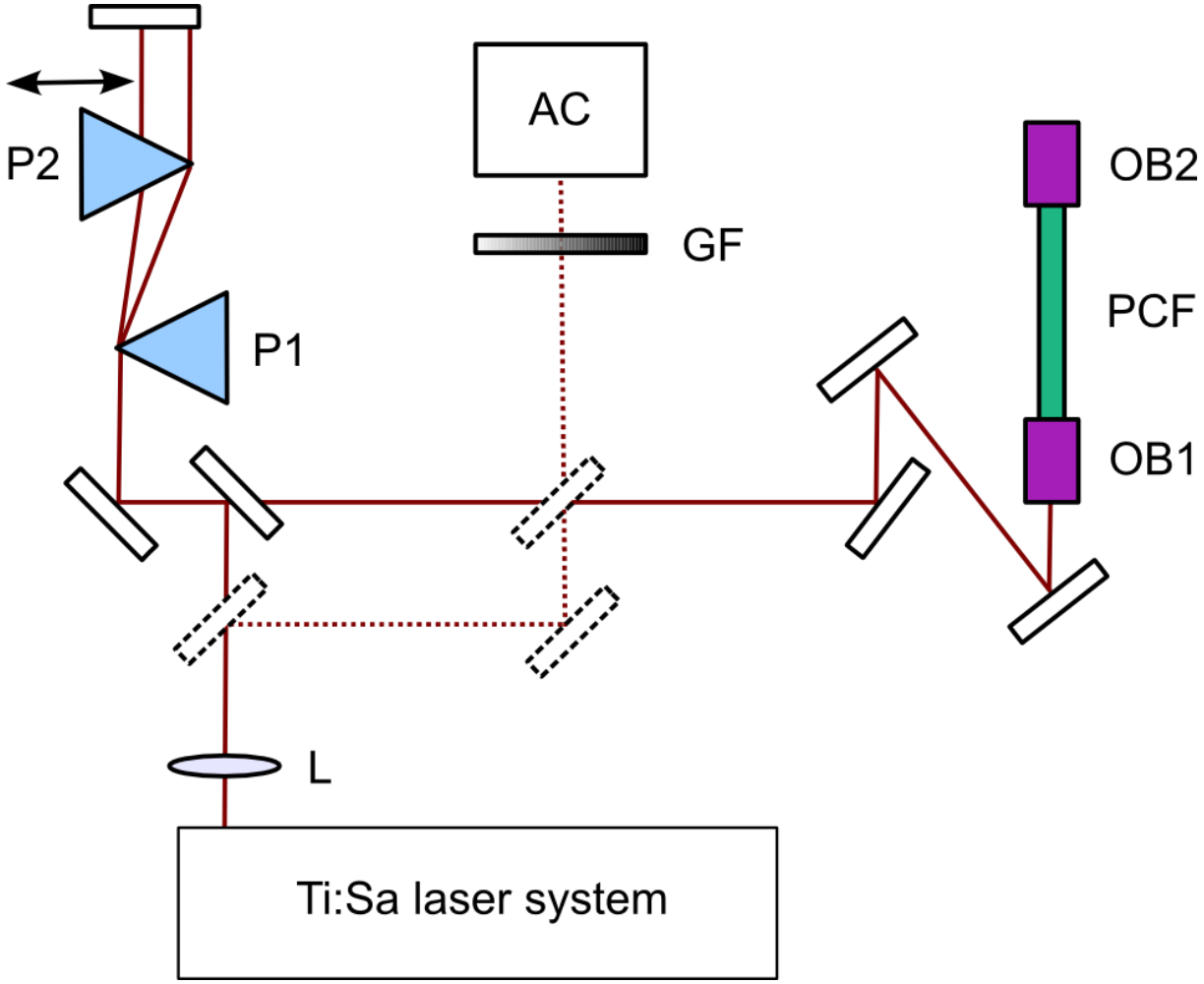
$$I_{AC}(\tau) = \int \left| \left(E(t) + E(t+\tau) \right)^2 \right|^2$$

Beispiel – Interferometer-Autokorrelation



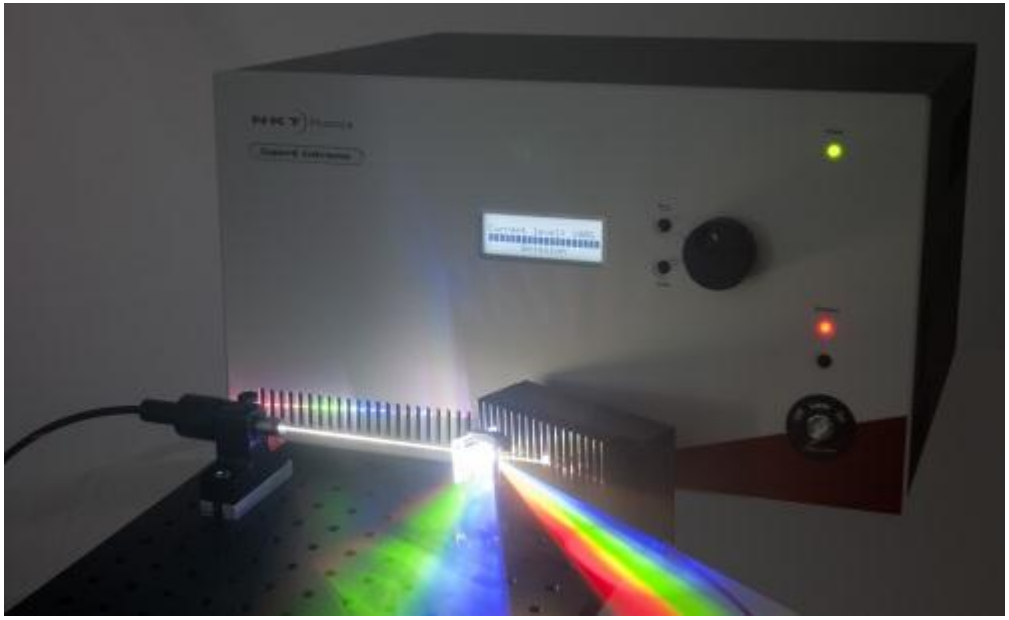
(aus /6/)

Versuchsaufbau



P1, P2 : Prism, AC:Autocorrelator, OB1,OB2: microscope objective, L:lens

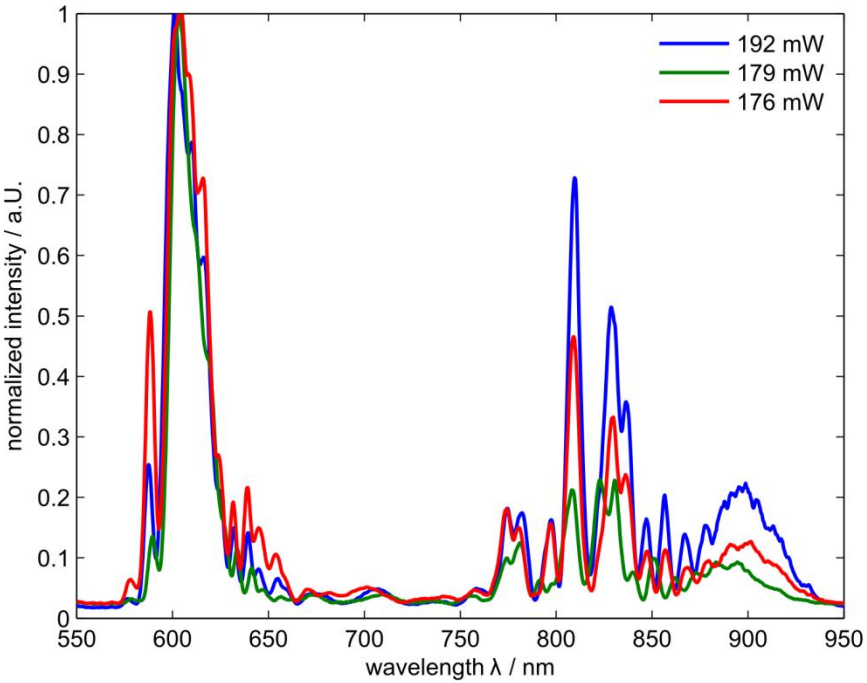
Superkontinuum

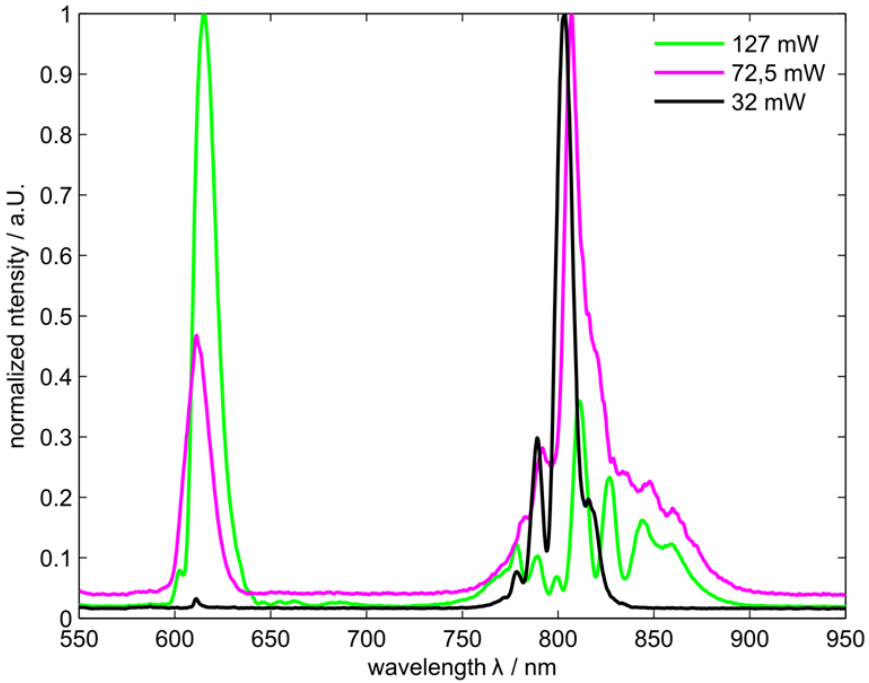


(aus /1/)

(aus /8/)

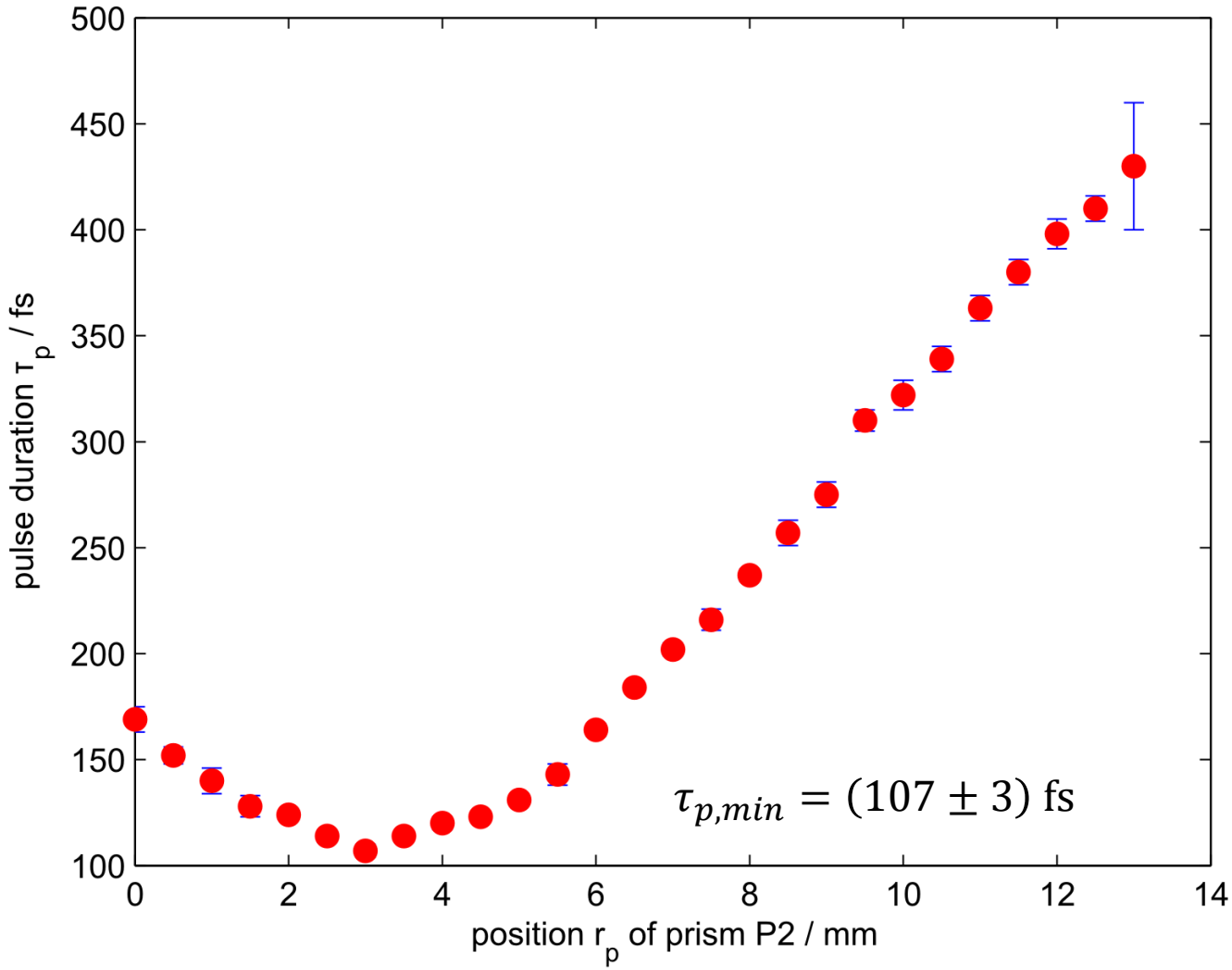
Abhängigkeit Spektrum - Leistung



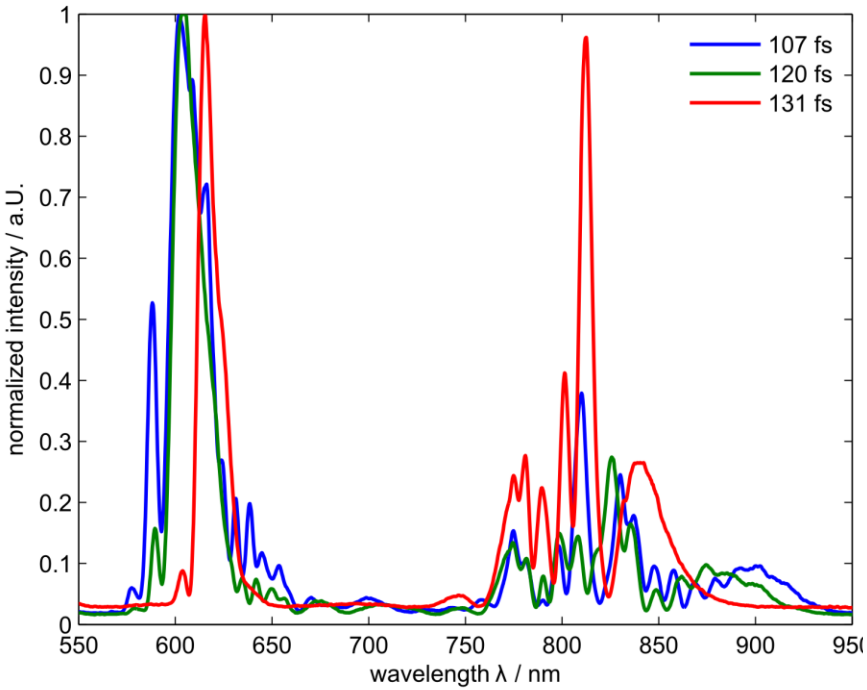


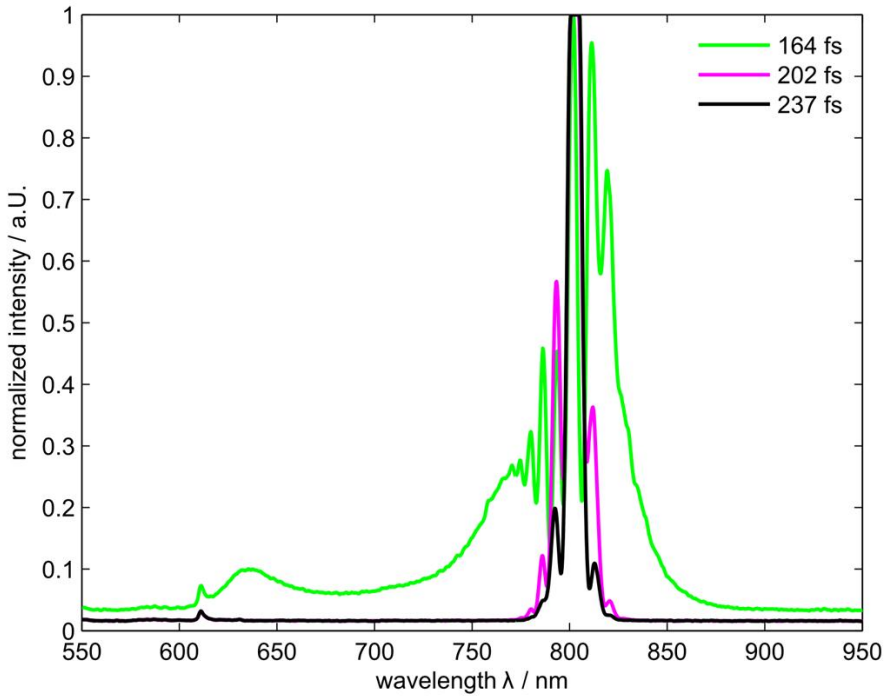
- Nichtlineare Effekte abhängig von Leistung (Kerr-Effekt)
- Spektrum breiter je höher die Leistung

Abhängigkeit Pulsdauer – Ort P2



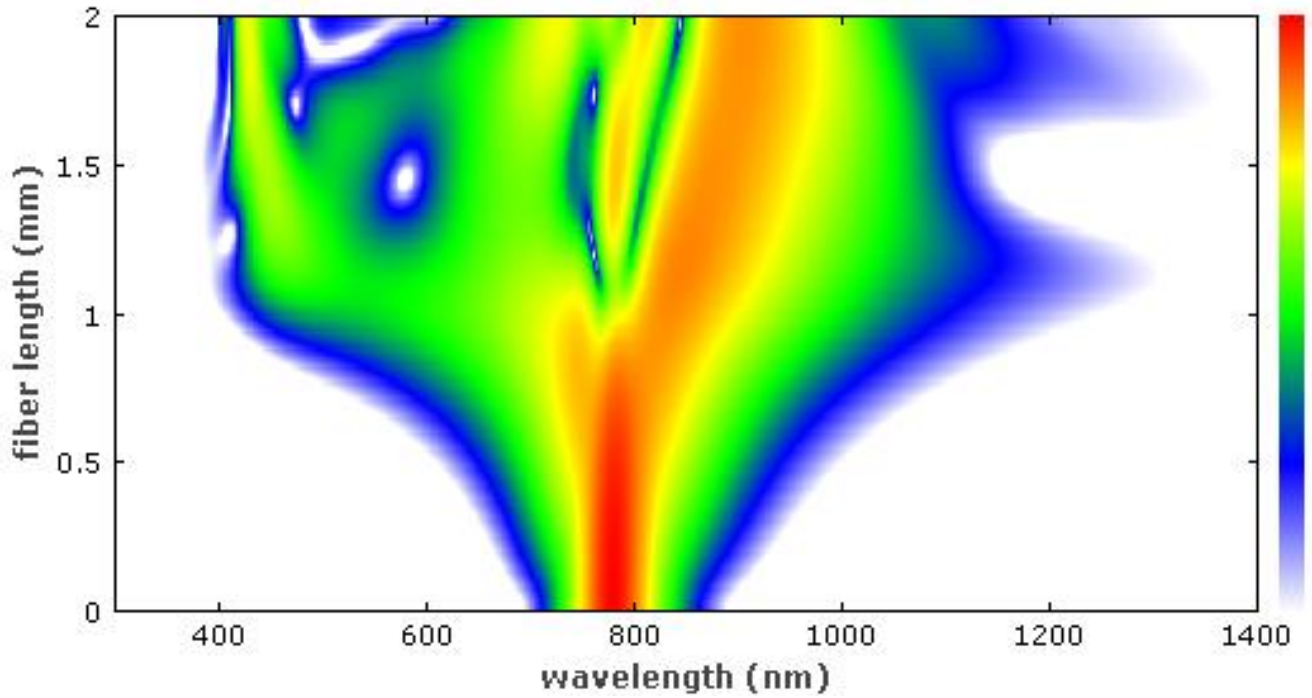
Abhängigkeit Spektrum - Pulsdauer





- Solitonenspaltung durch Dispersion höherer Ordnung nur für „kurze“ Pulse
- Spektrum breiter je kleiner die Pulsdauer

Spektrale Verbreiterung entlang der Faser



(aus /1/ - RP Photonics)

- Ab 1 mm wird spektrale Verbreiterung weniger, da Leistung abnimmt

Fazit

- Superkontinuum lässt sich heutzutage mit einfachen Mittel erzeugen
- Justierung sehr schwer, zeitaufwendig
- Theoretisch erwartete Effekte konnten mit den Messungen bestätigt werden

Quellen:

- /1/ Paschotta, R., *Supercontinuum generation*, http://www.rp-photonics.com/supercontinuum_generation.html

- /2/ Saleh, B. und Teich,M.V., Grundlagen der Photonik, Wiley-VCH, 2008

- /3/ *Stimulated Raman Scattering*, http://www.esrl.noaa.gov/psd/outreach/education/science/raman/

- /4/ *Spintronik mit Solitonen*,
- http://www.weltderphysik.de/gebiet/technik/spintronik/solitonen/

- */5/ Technische Erläuterungen zur Faseroptik*, Newport: http://www.newport.com/store/gencontent.aspx?id=978863&lang=1031&print=1

- /6/ *Optical autocorrelation*, http://en.wikipedia.org/wiki/Optical_autocorrelation

- /7/ Eichler, J., *Laser – Bauformen, Strahlführung, Anwendungen* , Springer Verlag, 2010

- /8/ Bohn, T., *Aufbau und Charakterisierung einer Ultrakurzpuls-Weißlichtquelle zur Spektroskopie von Metall-Nanopartikeln*, Diplomarbeit, Uni Oldenburg, 2009