

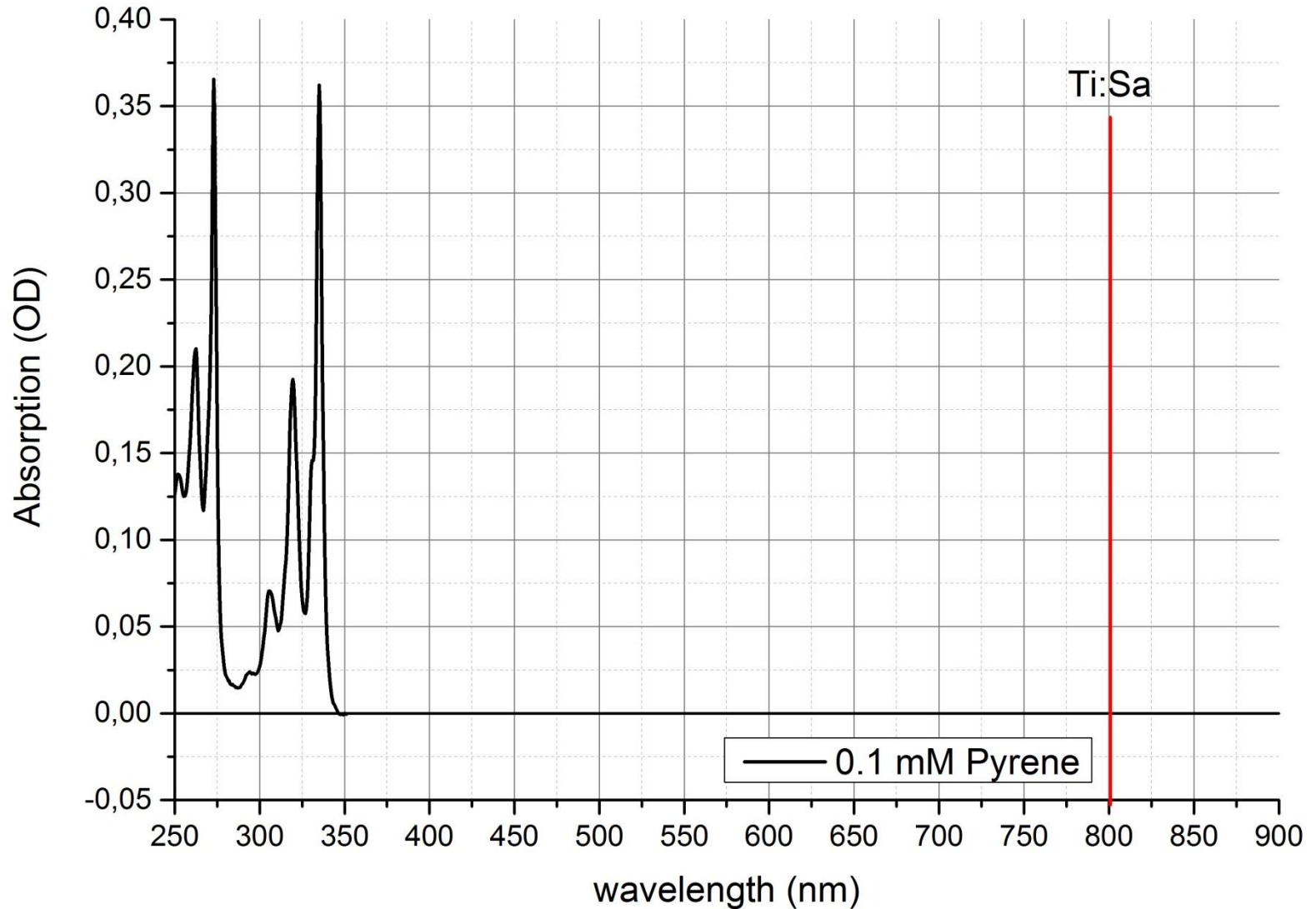
Frequenzwandlung bei kurzen Lichtimpulsen

Jonathan Reschauer

Laserphysikseminar
BMO, SS 2015

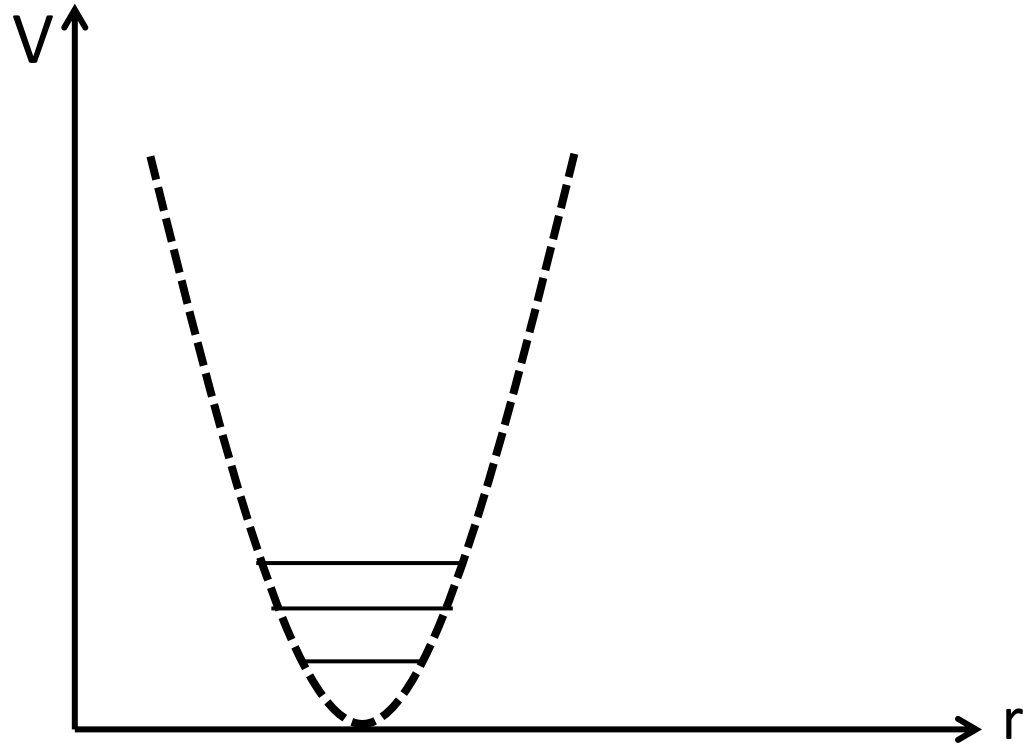
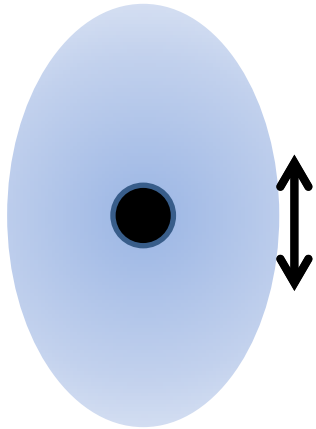
(Superfluoreszenzring)

Frequenzwandlung: In der Spektroskopie



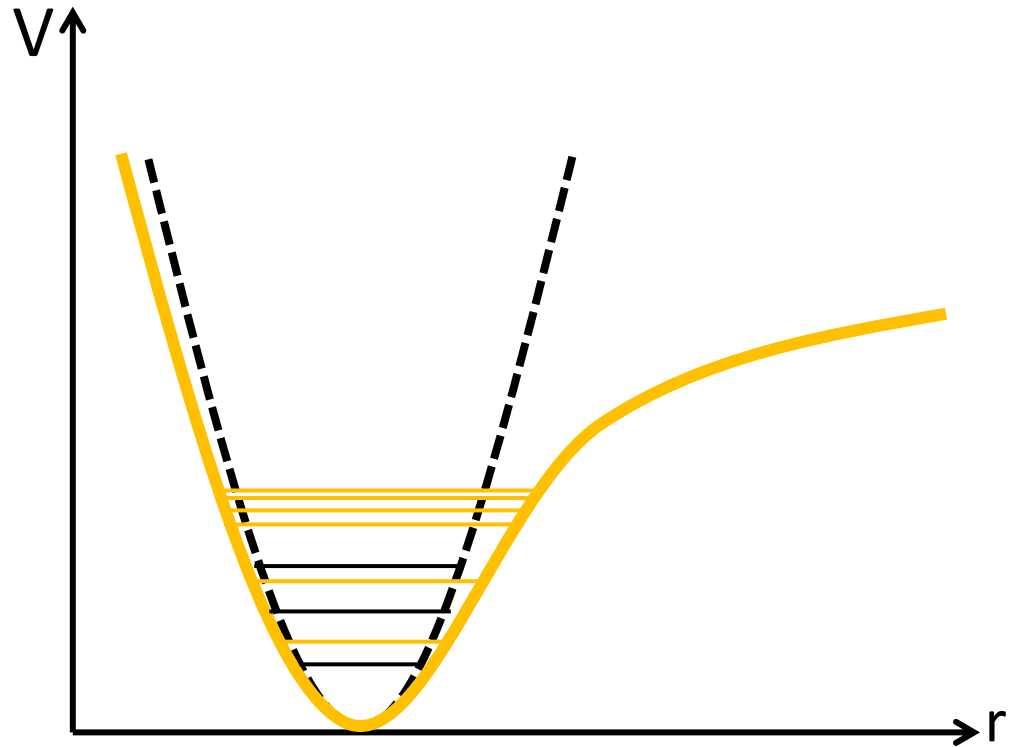
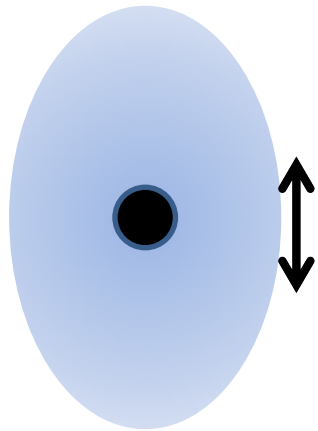
Nichtlineare Effekte

- $\vec{P}(t) = \epsilon_0 \chi \vec{E}$

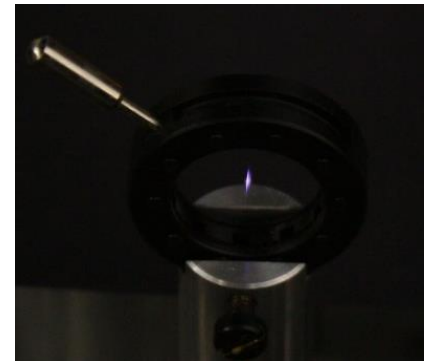


Nichtlineare Effekte

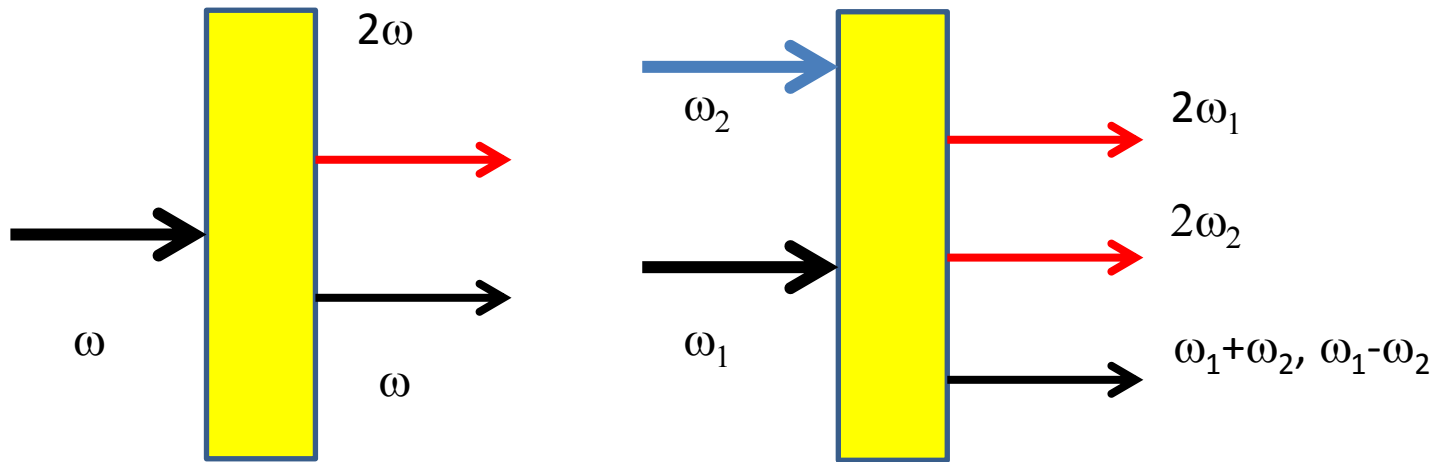
- $\vec{P}(t) = \epsilon_0 \chi \vec{E}$



- $P = P_{lin} + \epsilon_0 (\chi_2 E^2 + \chi_3 E^3 + \dots)$



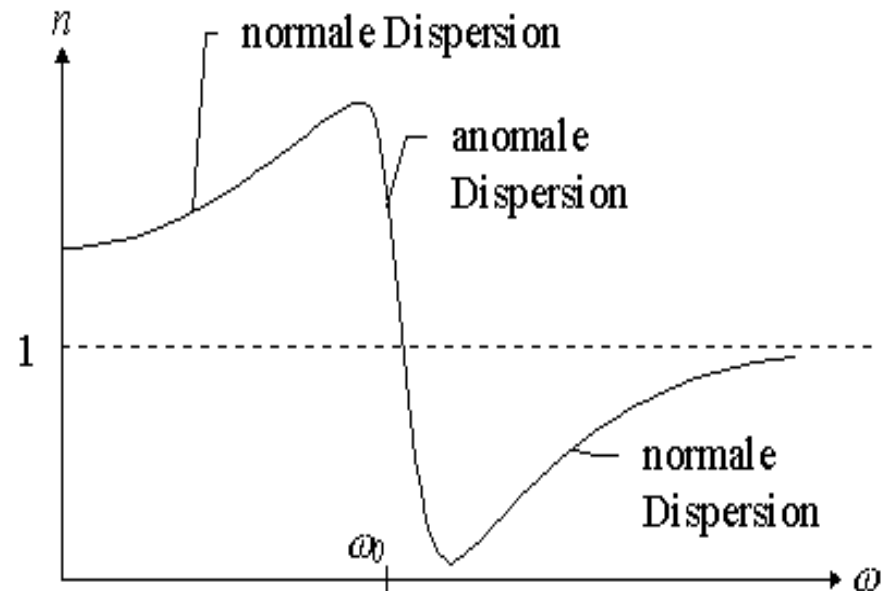
Oszillierender 2ω -Term: 2ω -Lichterzeugung



Dispersion: Doppelbrechende Medien

- Ohne Doppelbrechung:

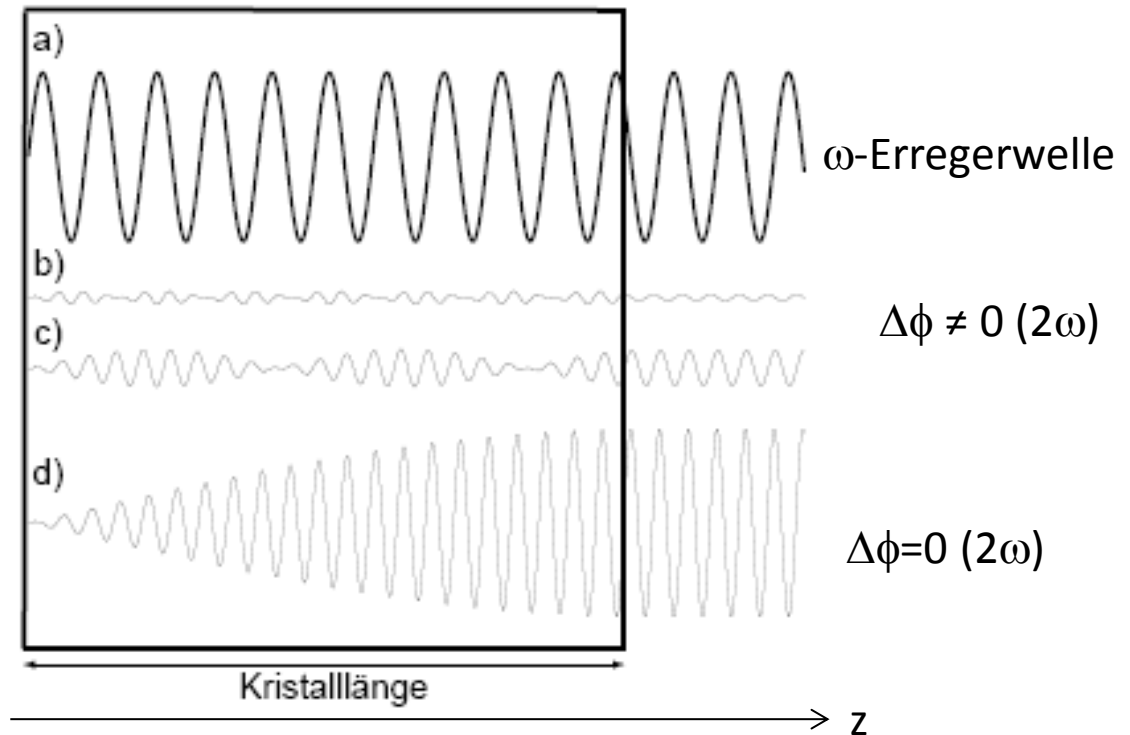
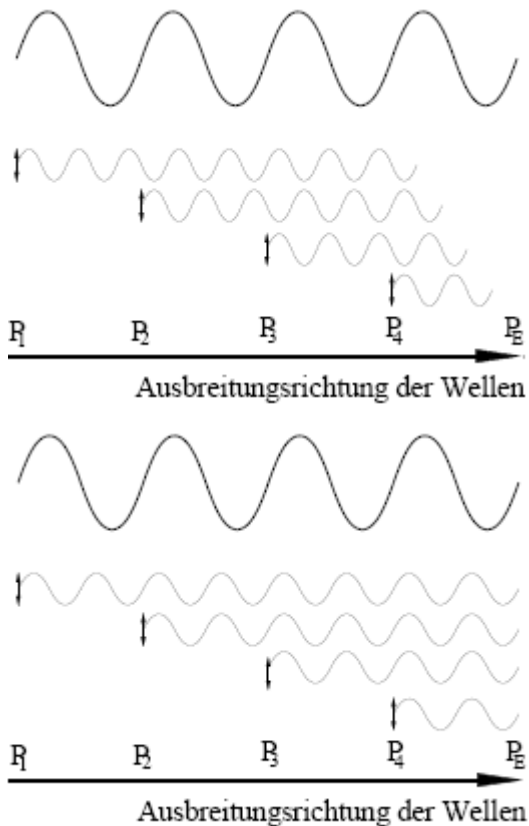
- $n(\omega) \neq n(2\omega)$



- Intensive Pulse bei 2ω : $n(\omega) = n(2\omega)$ nötig

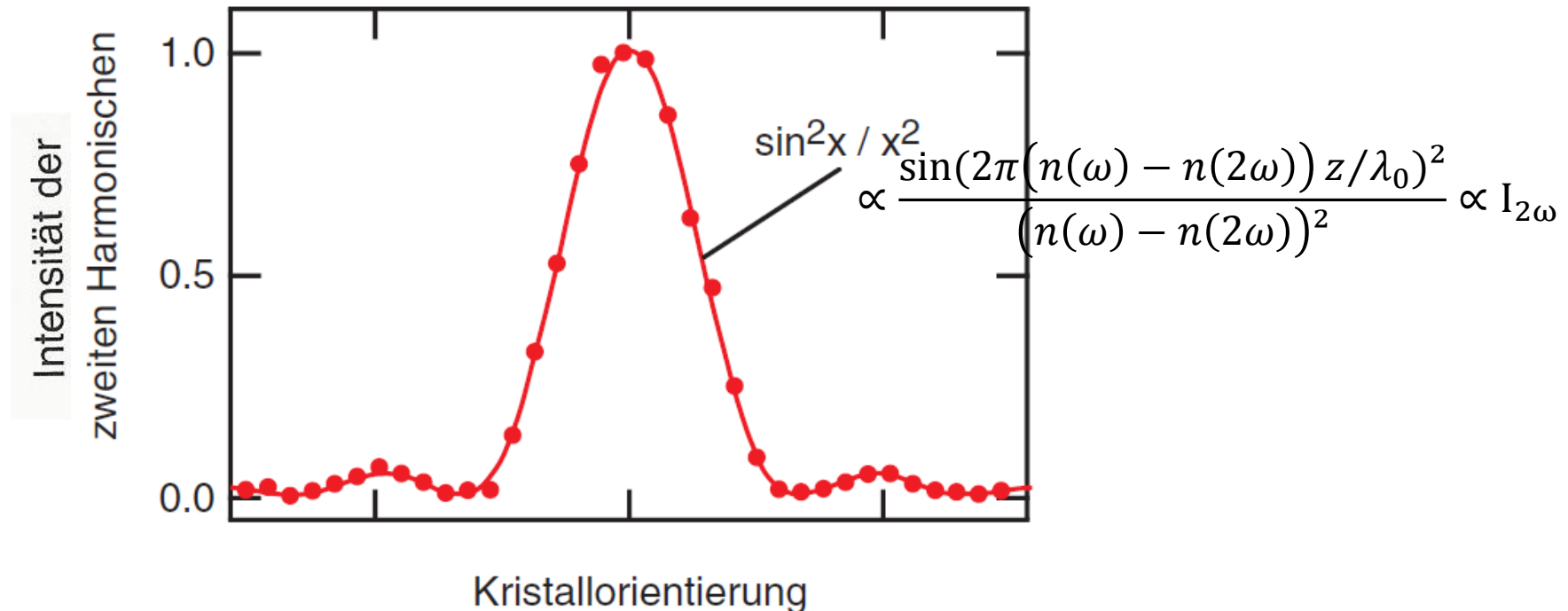
Phase matching

- Austretende Komponenten unterschiedlich stark wegen Interferenzen (v_{phase})



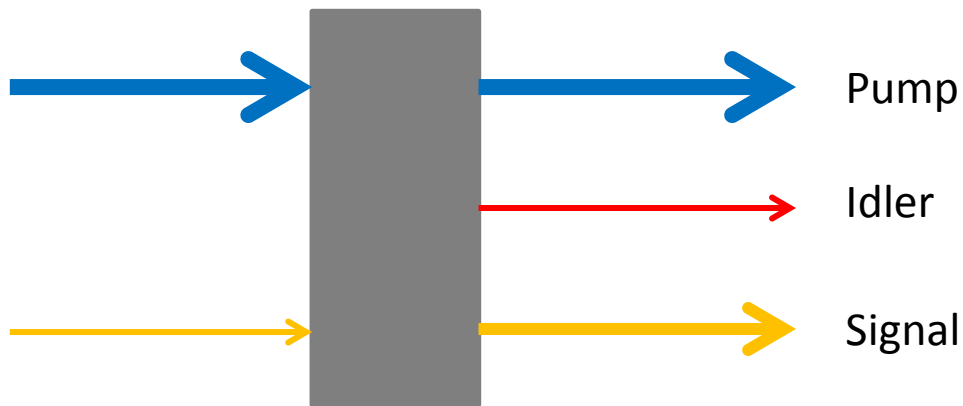
Konversionseffizienz

- ω -Puls a.o. und 2ω -Puls o. (oder v.v.)
- Einstellen der optischen Achse relativ zum Wellenvektor des Lichts (Kristall drehen)



Optisch-Parametrischer Prozess

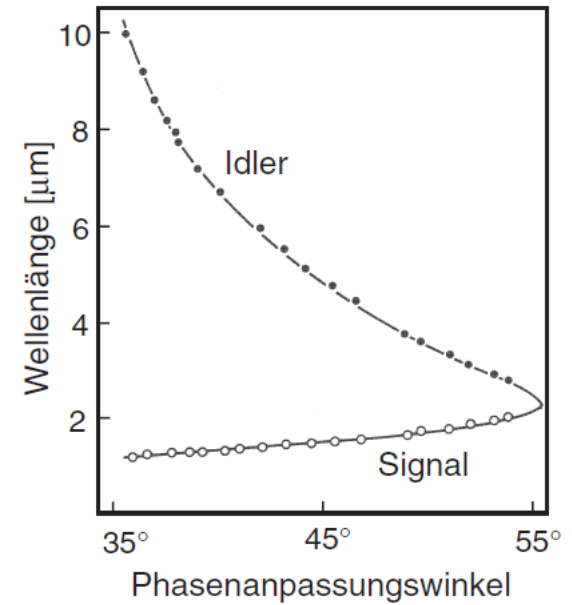
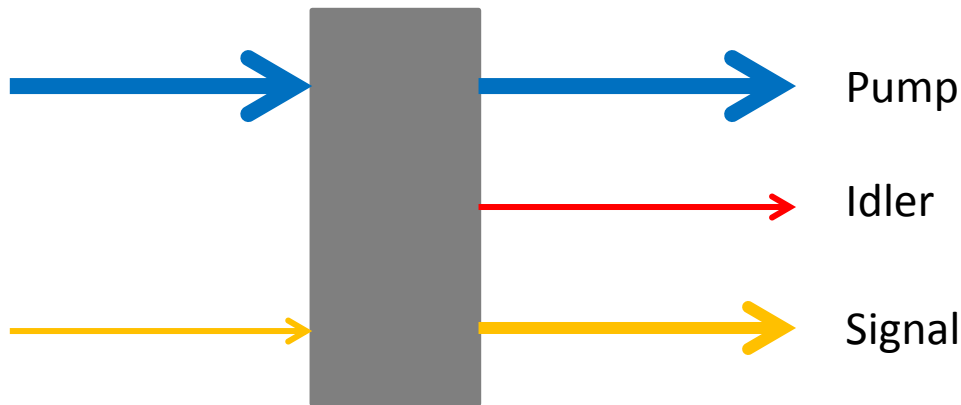
- Photon „zerfällt“: $\omega_p = \omega_s + \omega_i$



Optisch-Parametrischer Prozess

- Photon „zerfällt“: $\omega_p = \omega_s + \omega_i$
- Phasenanpassung:

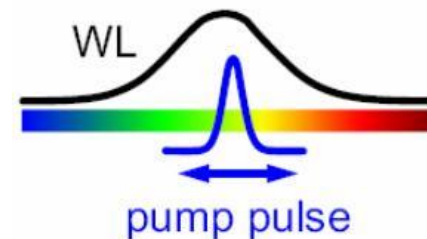
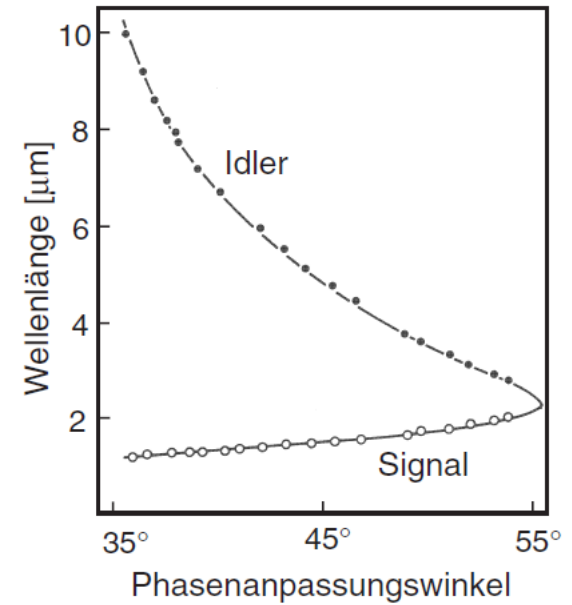
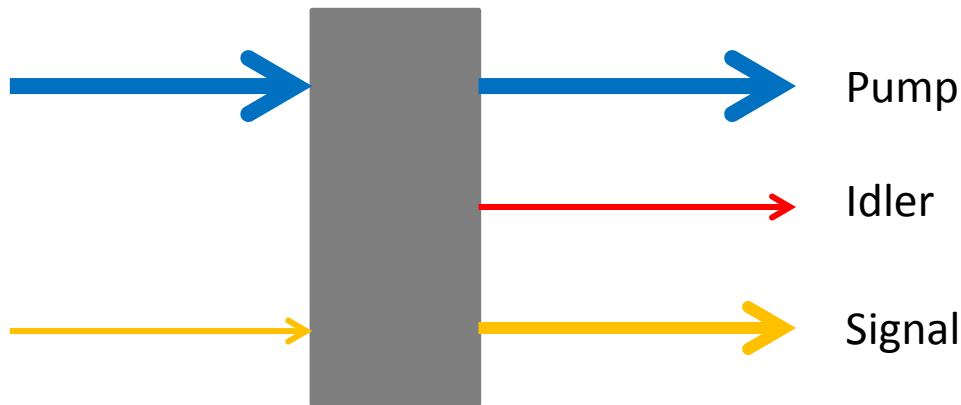
$\omega_{\text{signal}}, \omega_{\text{idler}}$ variabel



Optisch-Parametrischer Prozess

- Photon „zerfällt“: $\omega_p = \omega_s + \omega_i$
- Phasenanpassung:

$\omega_{\text{signal}}, \omega_{\text{idler}}$ variabel



Intensitätsabhängiger Brechungsindex

Brechungsindex wird Intensitätsabhängig:

$$P_{ges} = \epsilon_0 \{ \chi_1 E(\omega) + 3 \cdot \chi_3 |E(\omega)|^2 \cdot E(\omega) \}$$

$$\chi_{eff} = \chi_1 + 3\chi_3 \cdot |E(\omega)|^2$$

$$n^2 = 1 + \chi_{eff}$$

$$n^2 = 1 + \chi_1 + 3\chi_3 |E(\omega)|^2 = n_0^2 + 3\chi_3 |E(\omega)|^2$$

Reihenentwicklung: $n^2 \propto n_0^2 + 2n_0 n_2 I$

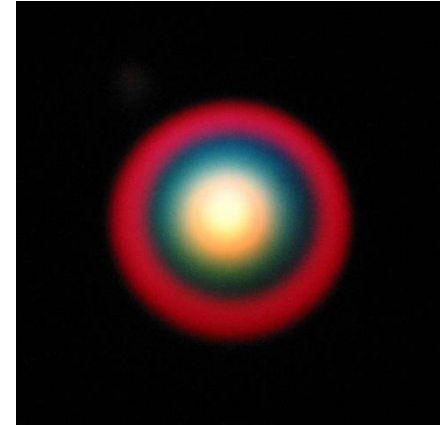
$$\rightarrow n = n_0 + n_2 I$$

χ_3 -Phänomene

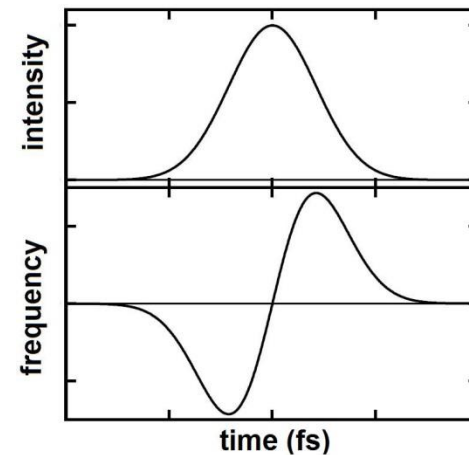
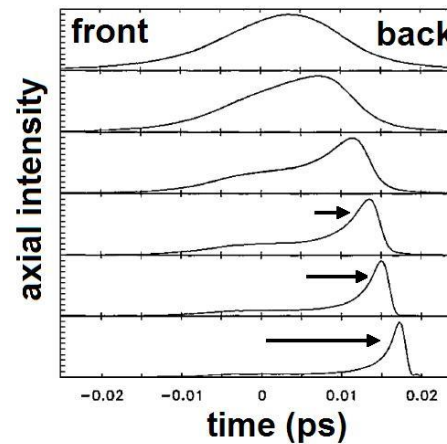
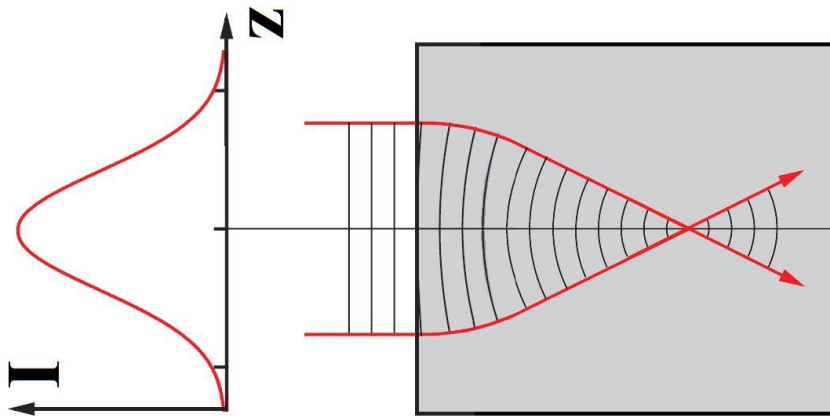
$$n = n_0 + n_2 I(t, z)$$

Induziert:

- Selbstfokussierung (räumlich)
- Self-steepening (zeitlich)
- Selbstphasenmodulation (Frequenz)



Weißlicht



χ_3 -Anwendungen

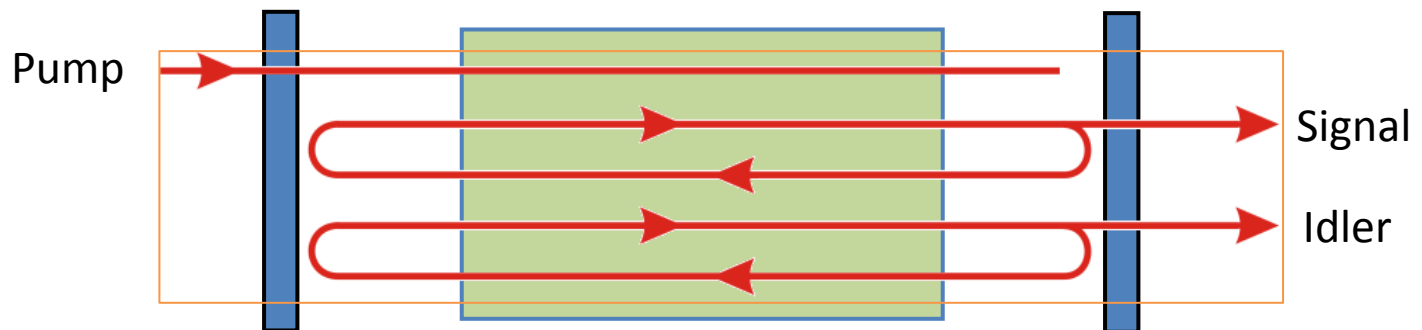
- **Superkontinuumslicht:** Breitbandige Lichtpulse
- fs-Pulse ($E > 1 \mu\text{J}$) in transparentes Material fokussiert: CaF_2 , Saphir
- Selbstfokussierung, Selbstphasenmodulation:
→ Kontinuierliches Spektrum:
 - **Saphir:** 450 – 1800 nm, **CaF_2 :** 320 – 1800 nm
- Unterschiedliche Prozesse abhängig von Pulsdauer, Spitzenintensität, Wellenlänge

Weißlichterzeugung (Saphir/ CaF_2)

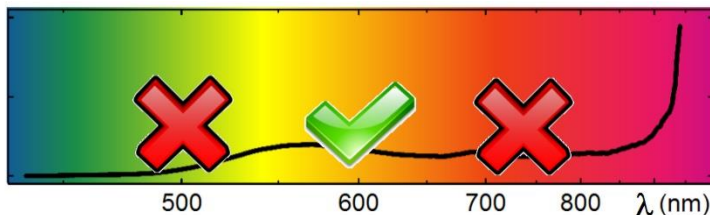
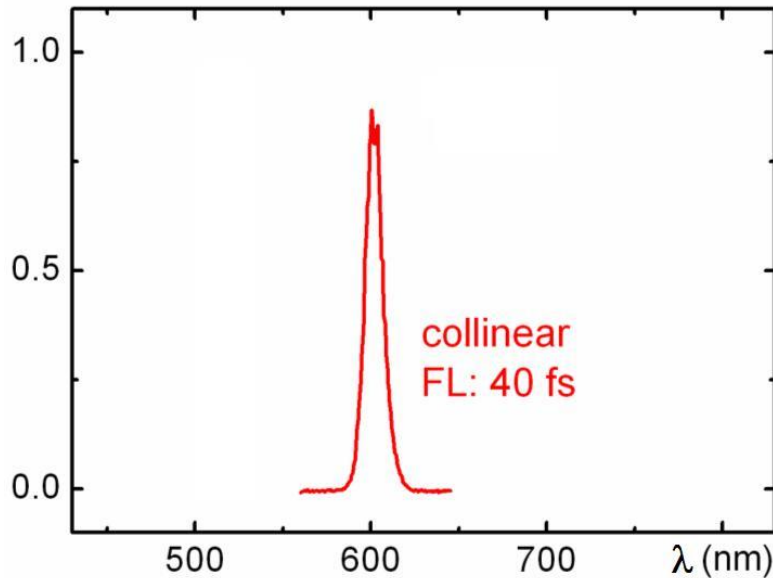
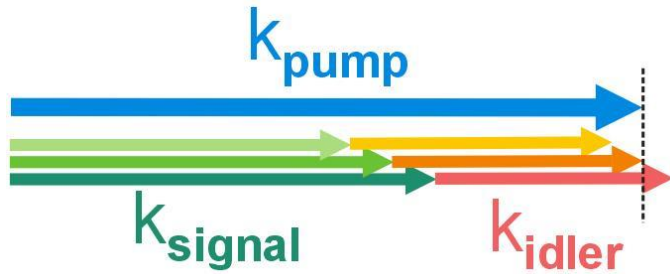
- Selbstfokussierung erzeugt Interaktionsstrecke:
Single-Filament
- Betrieb: Zwischen Selbstfokussierungs- und Zerstörungsschwelle
- Je nach Substrat: Höhere Schwellen → mehr Energie

χ_2 -Anwendungen

- Optisch Parametrischer Prozess: Erzeugung **abstimmbarer Lichtpulse**: Spektroskopie
- **OPO**: Optisch Parametrischer Oszillator:
Resonatorverstärkung (ähnlich Laser)

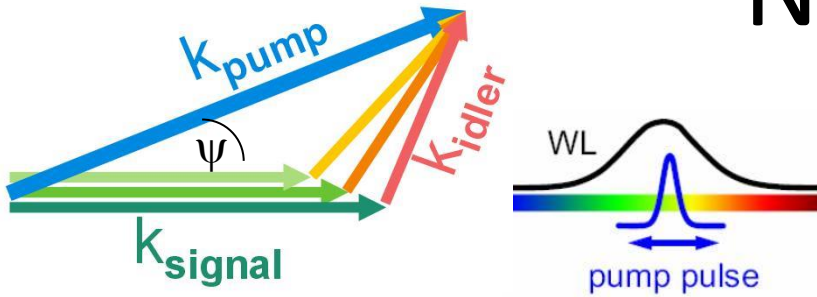


OPA

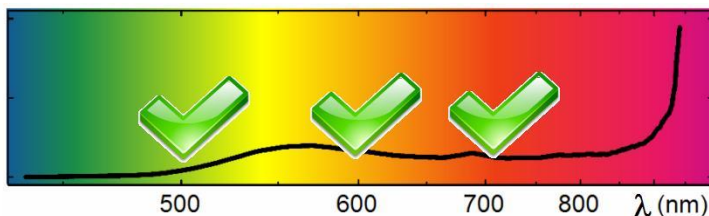
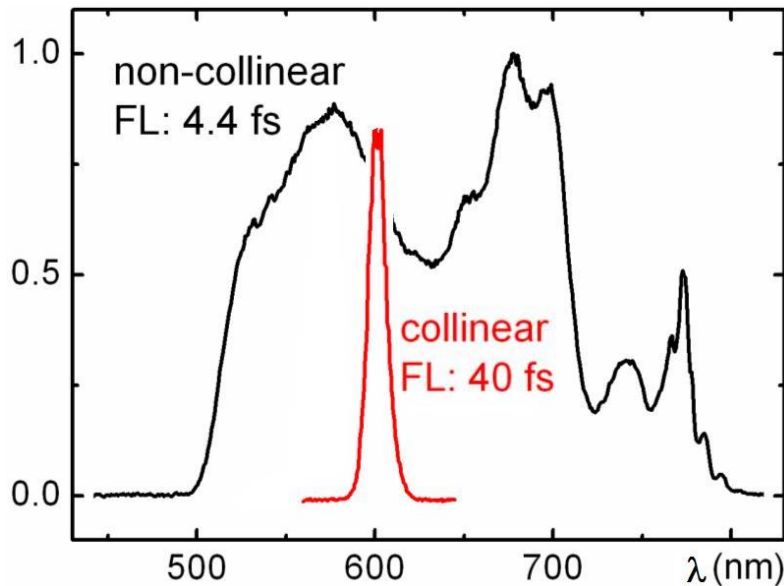


- Pump propagiert begleitet von Signal
- $k_p = k_s + k_i$
- v_{ph} , k durch Drehen anpassbar
- Keine Anpassung von v_{gr}
- Einfache Justage
- Funktioniert nicht im ganzen Spektralbereich
 - Konv. Effizienz \searrow
 - Zeitl. Überlapp \downarrow

NOPA

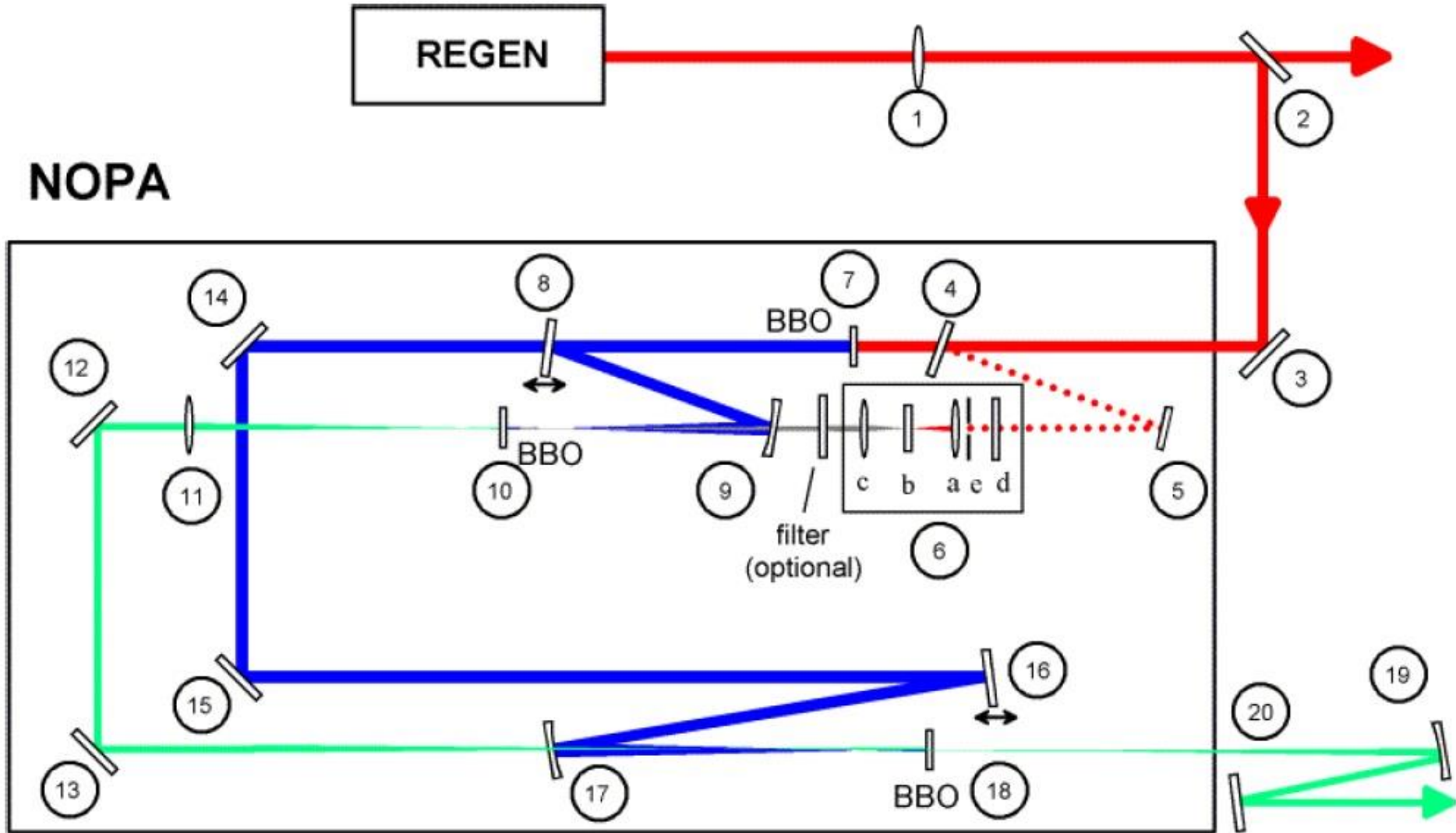


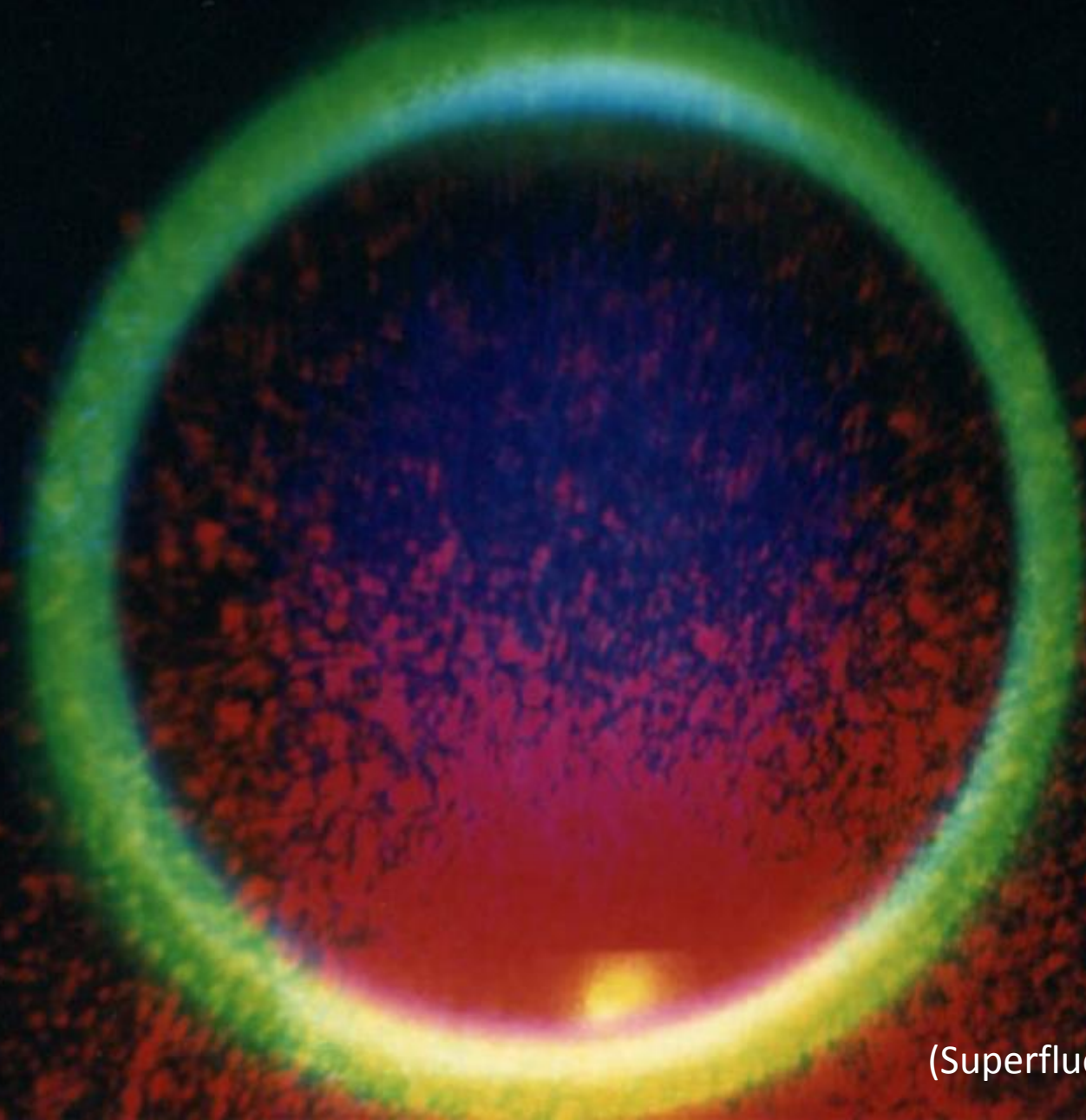
- $\Omega = \psi \cdot \left(1 + \frac{\lambda_i}{\lambda_s}\right)$
- $v_{gr,idler} \cdot \cos(\Omega) = v_{gr,signal}$



- Keine Pulsverlängerung!
- Pulse < 10 fs
- Breitband-Phasenanpassung in param. Prozess

Beispiel: NOPA: 2 stages





(Superfluoreszenzring)

Zusammenfassung

- Frequenzwandlung durch nichtlineare Prozesse
- χ_2 : Opt. Param. Verstärkung, Frequenzverdopplung
- χ_3 : 3ω -Licht, breitbandiges Spektrum („Weißlicht“)

Quellen

- W. Zinth, U. Zinth, Optik: Lichtstrahlen - Wellen – Photonen, Oldenbourg Verlag, 2013
- http://www.bmo.physik.uni-muenchen.de/~wwwriedle/projects/NOPA_overview/NOPA_overview.php
- E. Riedle, M. Beutter, S. Lochbrunner, J. Piel, S. Schenkl, S. Spörlein, W. Zinth, Generation of 10 to 50 fs pulses tunable through all of the visible and the NIR, *Appl. Phys. B* 71, 457 - 465 (2000)
- NOPA-Manual (E. Riedle, 2013)
- B. E. A. Saleh, M. C. Teich, Fundamentals of Photonics, 1991, John Wiley & Sons
- R. W. Boyd, Nonlinear Optics, 1992, Academic Press, Boston
- Rp-photonics.com (Photonic encyclopedia)
- http://www.wmi.badw.de/teaching/Lecturenotes/Physik3/Gross_Physik_III_Kap_8.pdf
- Alfano, R.; Shapiro, S. Phys. Rev. Lett. 1970, 24, 592. 38, 39
- Shimizu, F. Phys. Rev. Lett. 1967, 19, 1097. 38
- Fork, R.; Shank, C. App. Phys. Lett. 1981, 38, 671. 38
- Nagura, C.; Suda, A.; Kawano, H.; Obara, M.; Midorikawa, K. App. Opt. 2002, 41, 3735. 38
- Mourou, G.; Barty, C.; Perry, M. Phys. Today 1998, 51, 22. 38
- Bloembergen, N. Opt. Comm. 1973, 8, 285. 38
- Brodeur, A.; Chin, S. J. Opt. Soc. 1999, 16, 637. 38
- Brodeur, A.; Chin, S. Phys. Rev. Lett. 1998, 80, 4406. 38
- Reed, M. K.; Steiner-Shepard, M. K.; Armas, M. S.; Negus, D. K. J. Opt. Soc. Am. B 1995, 12, 2229. 38
- Satzger, H. Untersuchung initialer Schritte der Peptidfaltung mit Ultrakurzzeitspektroskopie, PhD thesis, Ludwig-Maximilians-Universität München, 2004. 38, 43, 44
- Huber, R.; Satzger, H.; Zinth, W. Opt. Commun. 2001, 194, 443. 38