



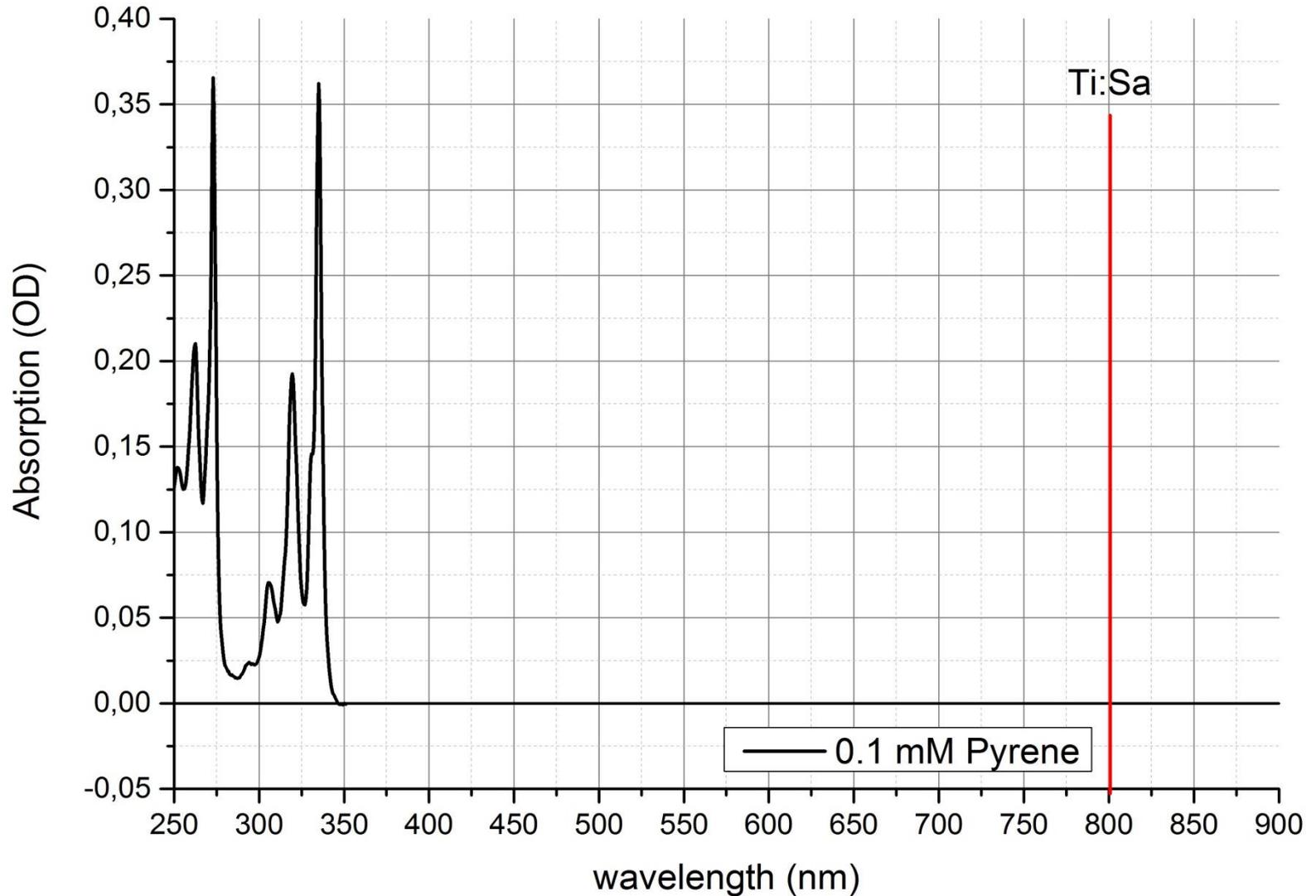
# Frequenzwandlung bei kurzen Lichtimpulsen

Jonathan Reschauer

Laserphysikseminar  
BMO, SS 2015

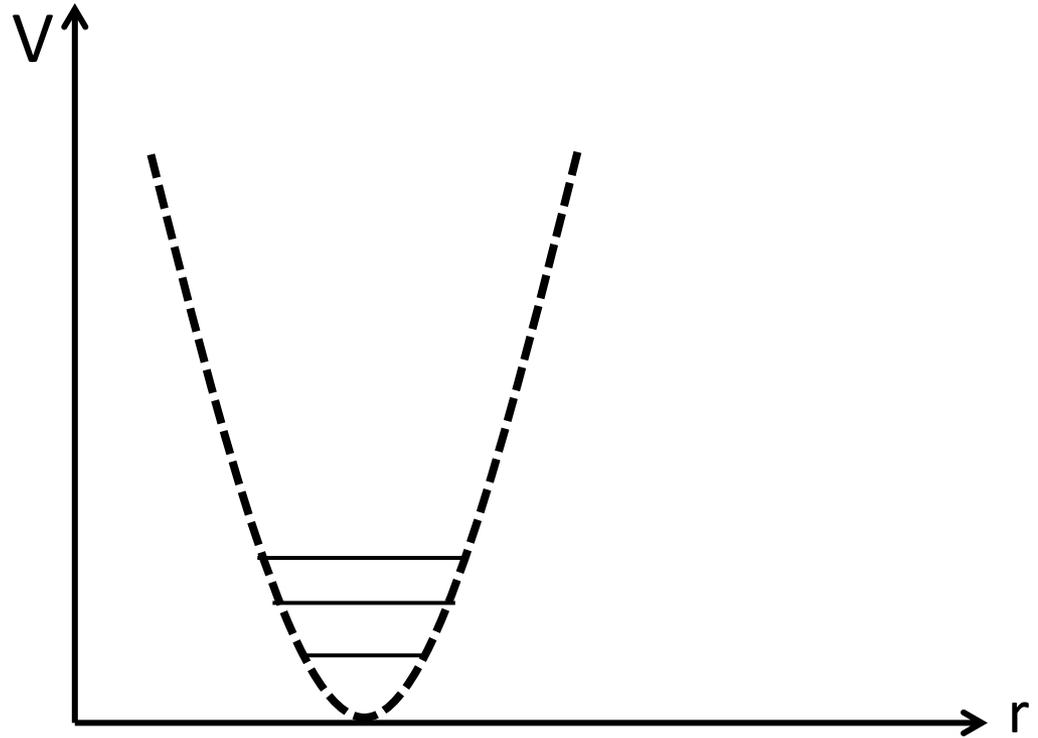
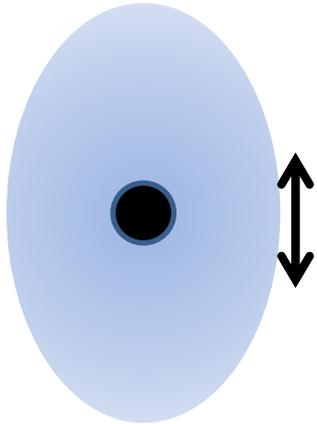
(Superfluoreszenzring)

# Frequenzwandlung: In der Spektroskopie



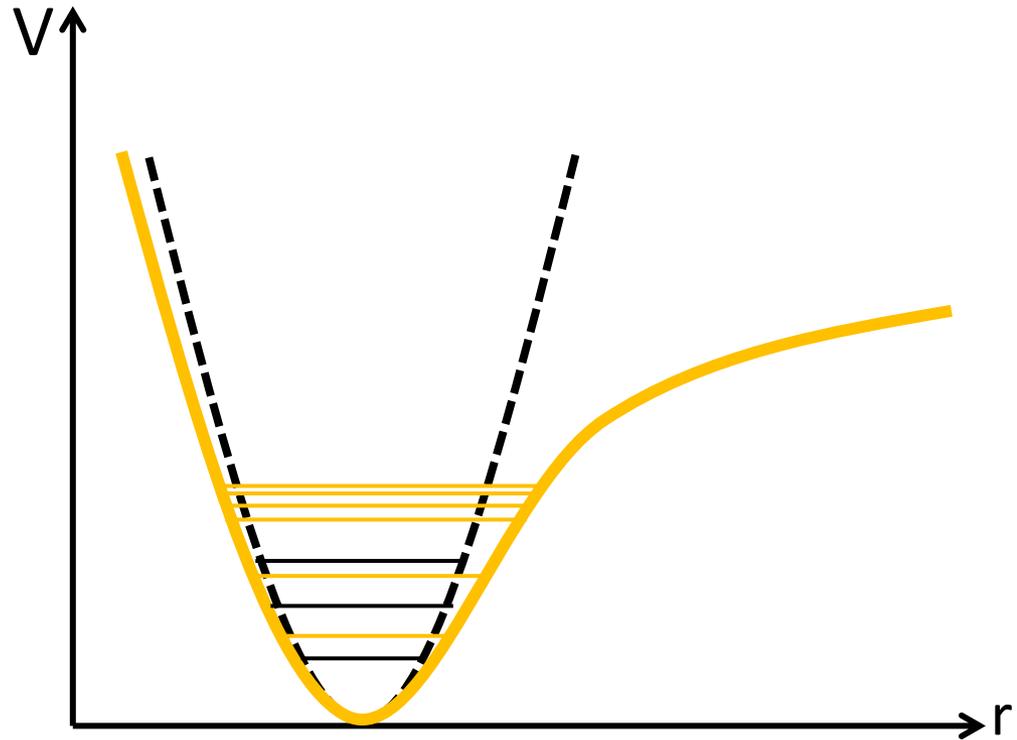
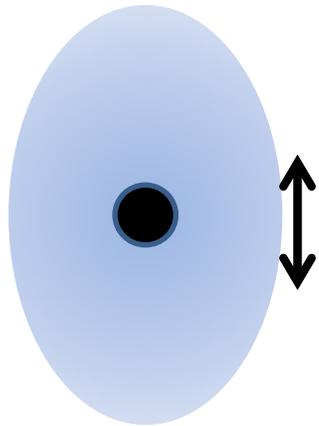
# Nichtlineare Effekte

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

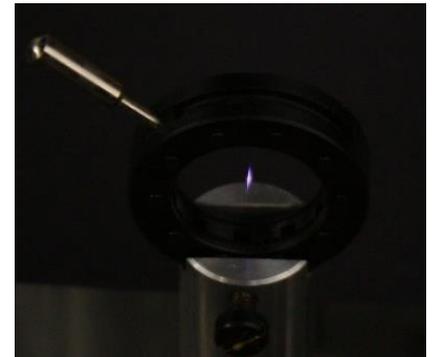


# Nichtlineare Effekte

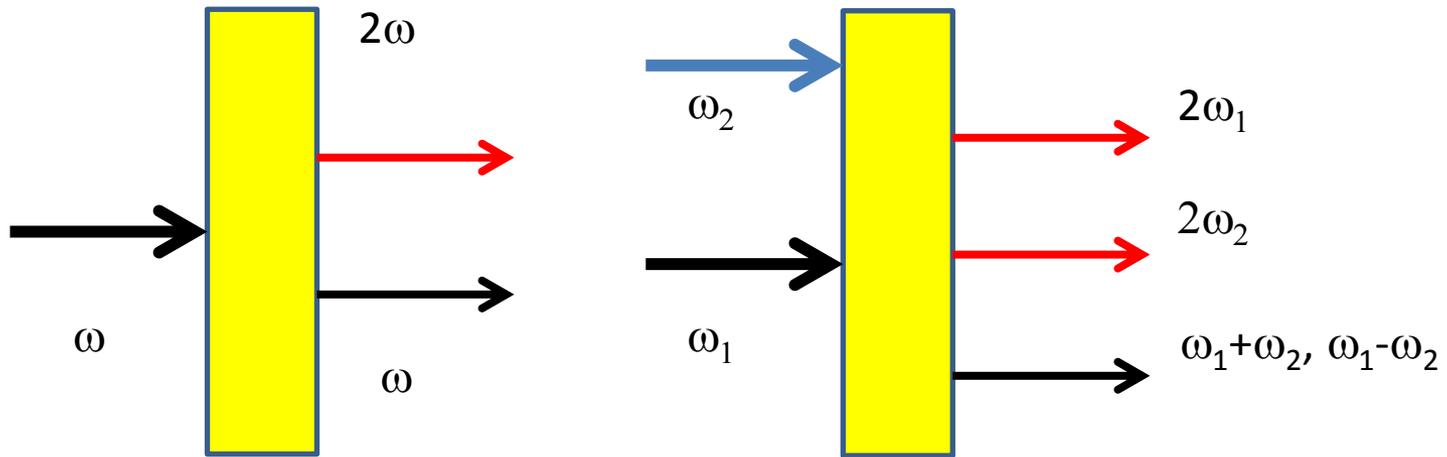
- $\vec{P}(t) = \epsilon_0 \chi \vec{E}$



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



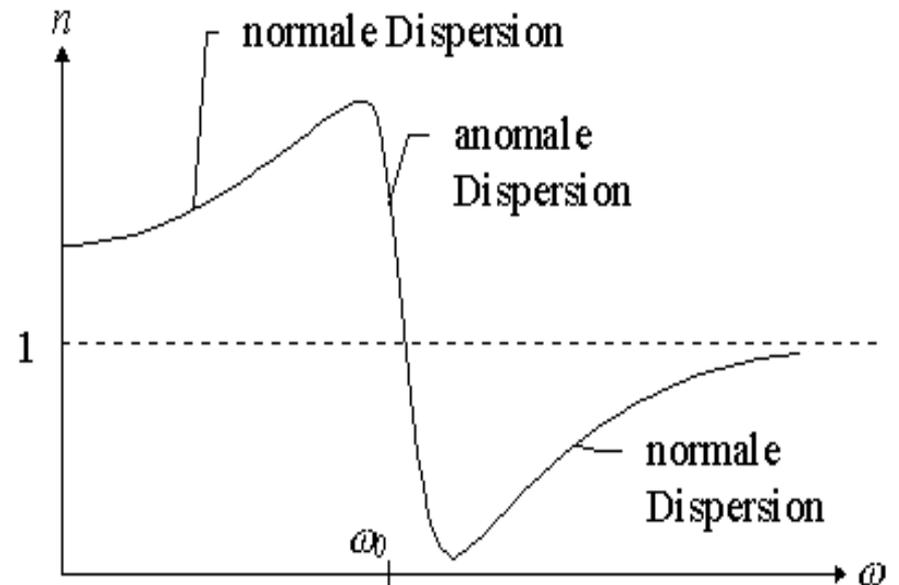
# Oszillierender $2\omega$ -Term: $2\omega$ -Lichterzeugung



# Dispersion: Doppelbrechende Medien

- Ohne Doppelbrechung:

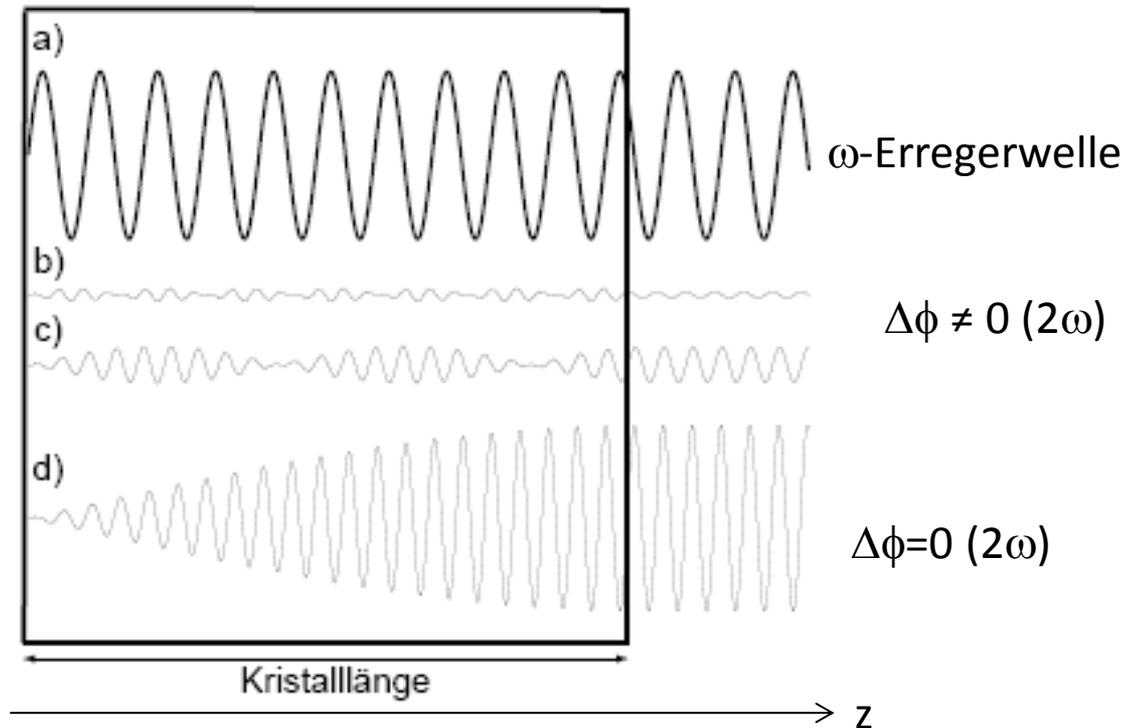
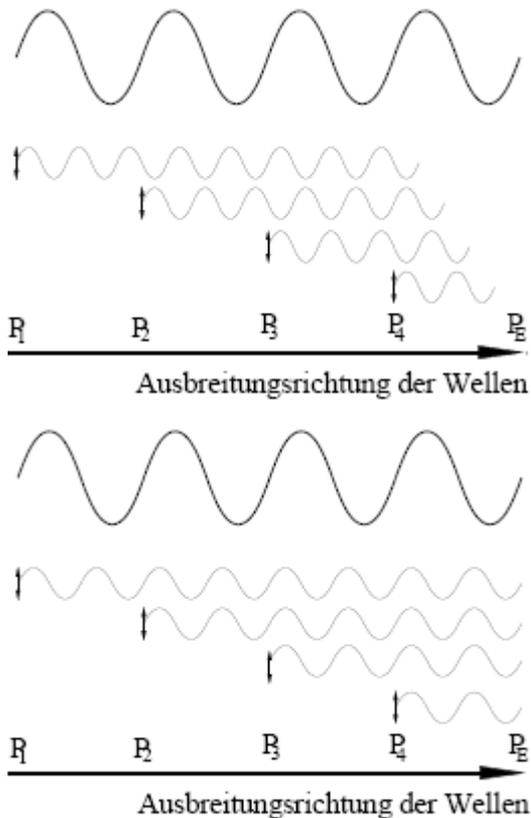
- $n(\omega) \neq n(2\omega)$



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

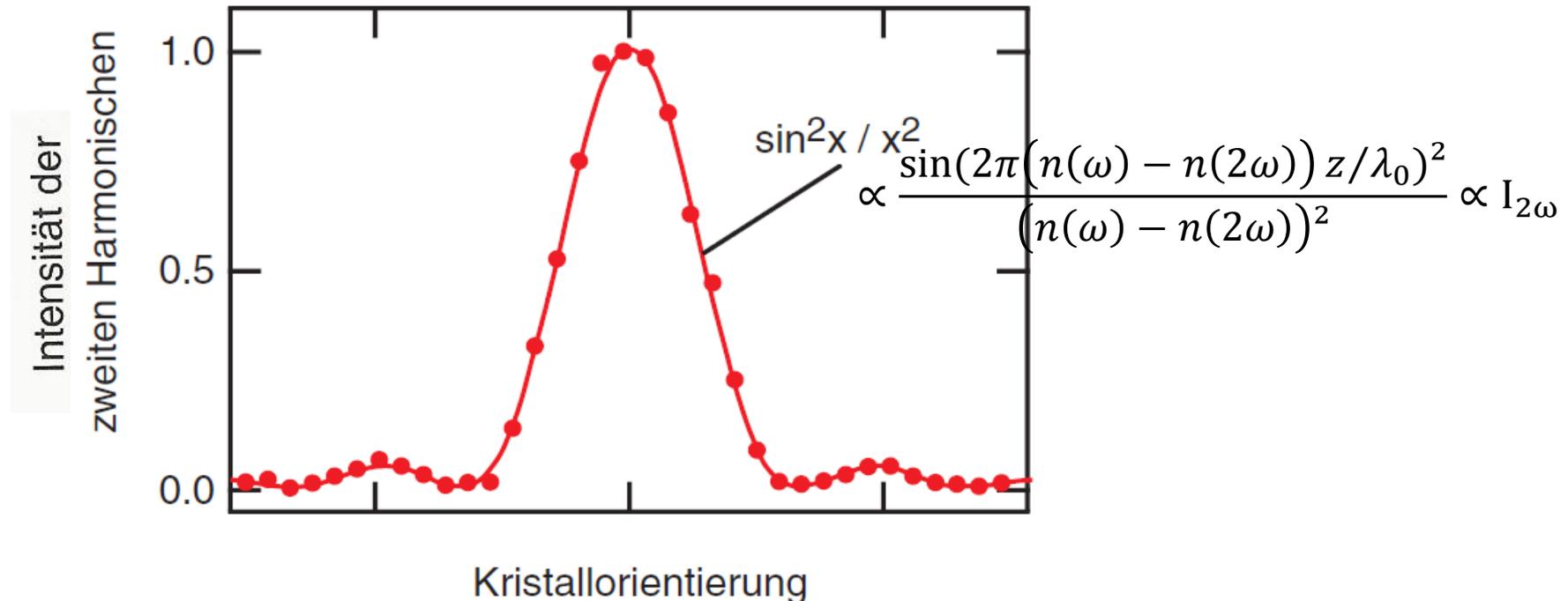
# Phase matching

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



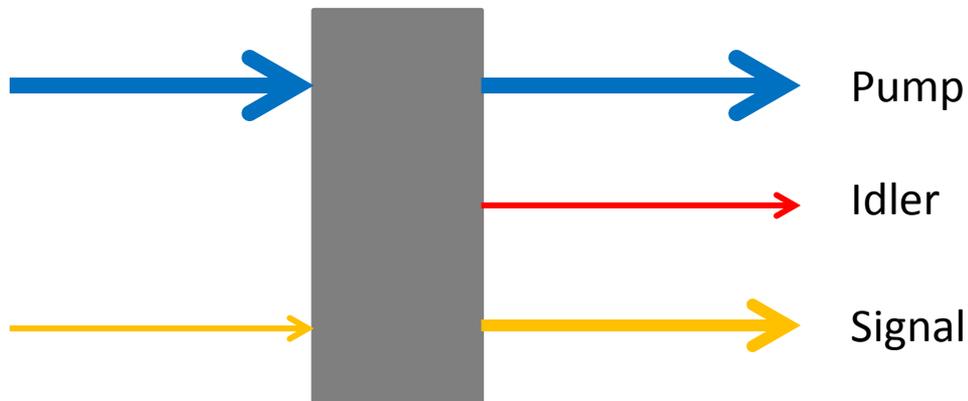
# Konversionseffizienz

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



# Optisch-Parametrischer Prozess

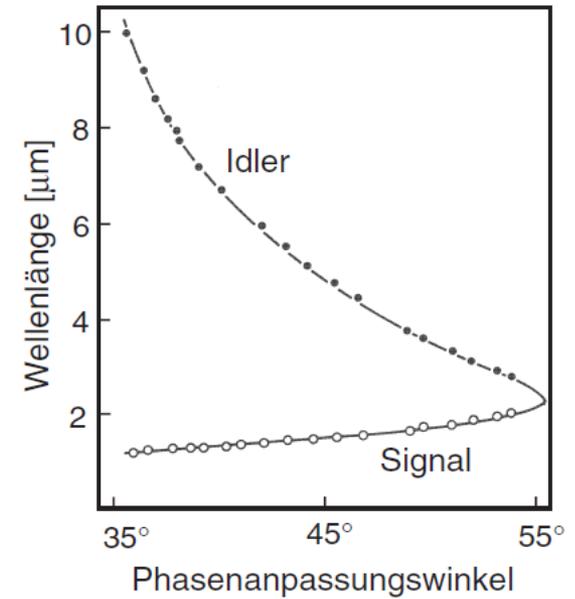
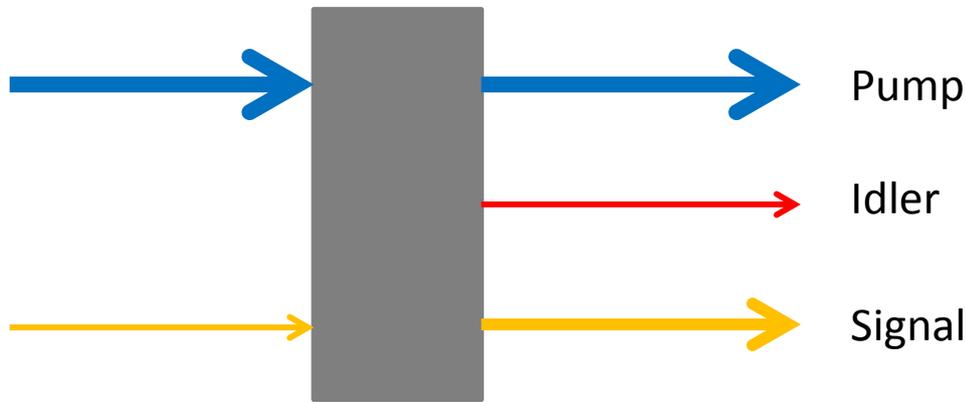
- Photon „zerfällt“:  $\omega_p = \omega_s + \omega_i$



# Optisch-Parametrischer Prozess

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

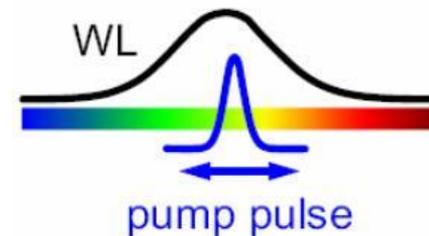
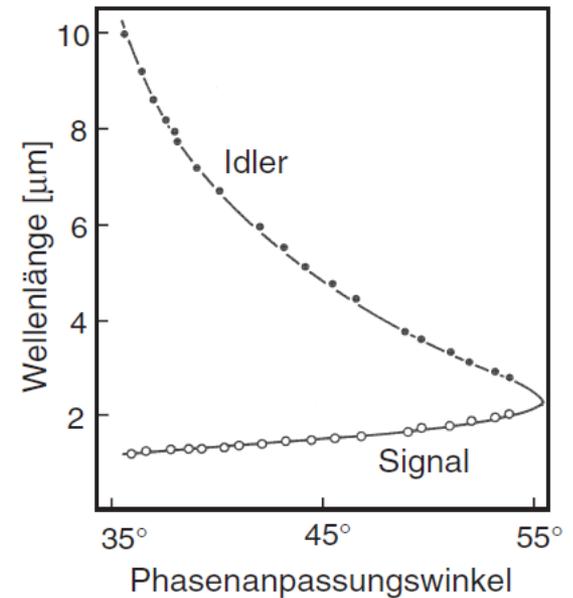
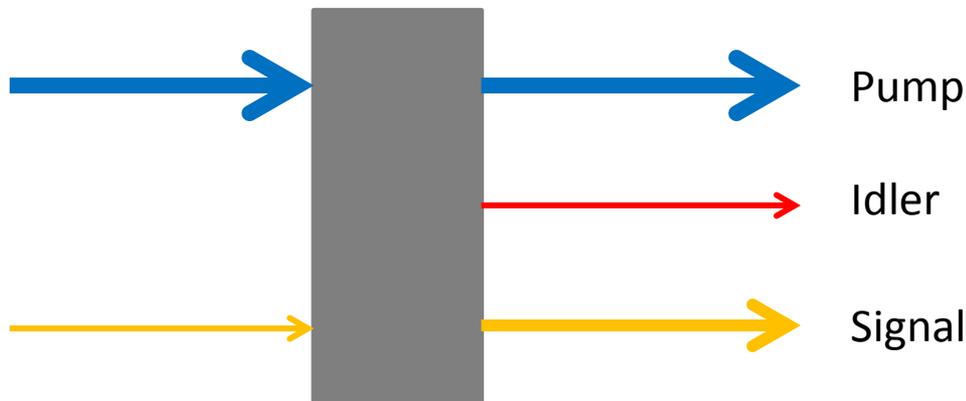
$\omega_{\text{signal}}, \omega_{\text{idler}}$  variabel



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

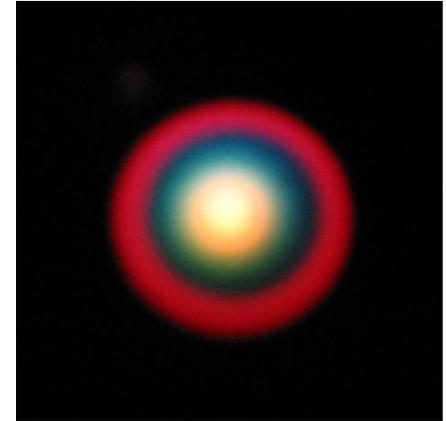
$$\rightarrow n = n_0 + n_2 I$$

# $\chi_3$ -Phänomene

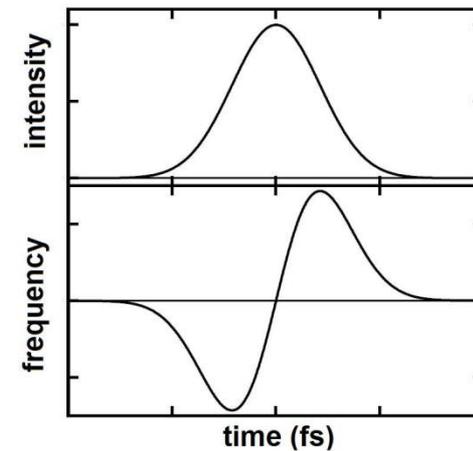
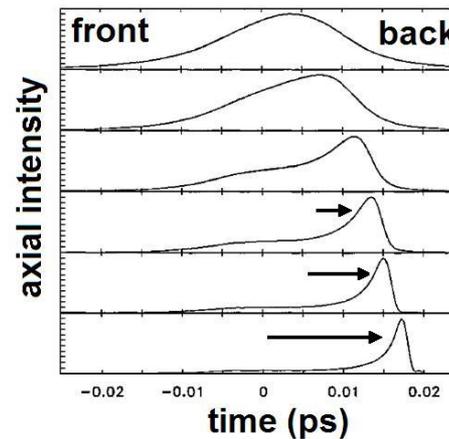
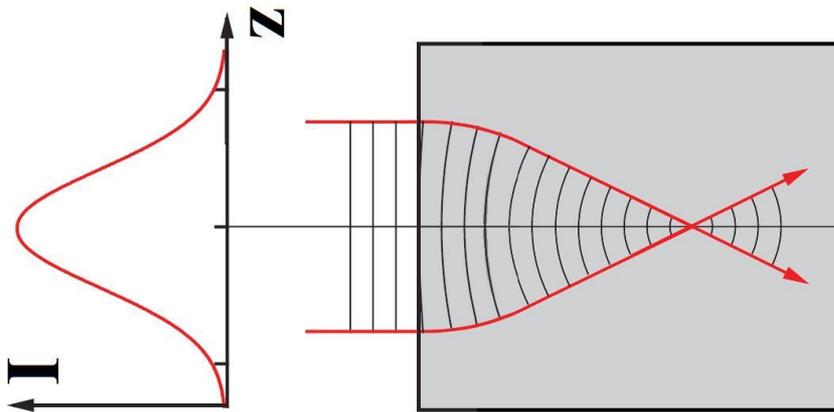
$$n = n_0 + n_2 I(t, z)$$

Induziert:

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



Weißlicht



# $\chi_3$ -Anwendungen

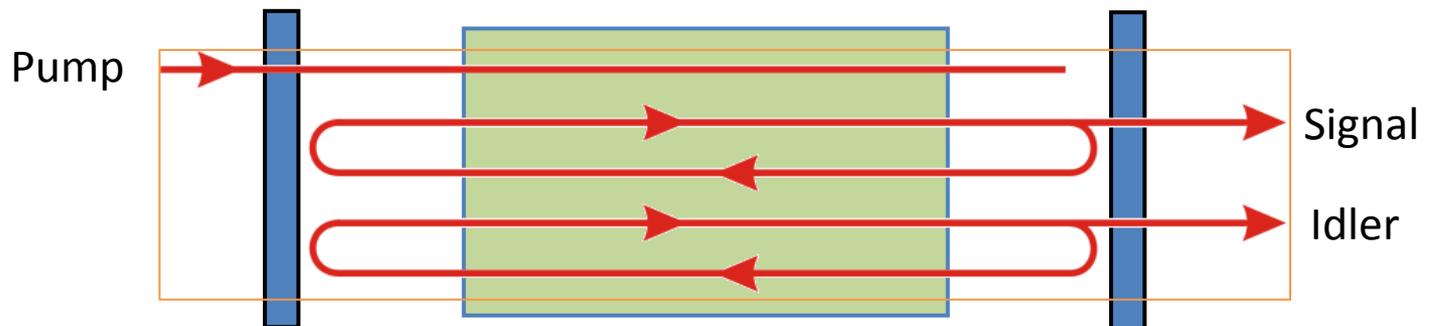
- **Superkontinuumslicht:** Breitbandige Lichtpulse
- fs-Pulse ( $E > 1 \mu\text{J}$ ) in transparentes Material fokussiert:  $\text{CaF}_2$ , Saphir
- Selbstfokussierung, Selbstphasenmodulation:  
→ Kontinuierliches Spektrum:
  - **Saphir:** 450 – 1800 nm,  **$\text{CaF}_2$ :** 320 – 1800 nm
- Unterschiedliche Prozesse abhängig von Pulsdauer, Spitzenintensität, Wellenlänge

# Weißlichterzeugung (Saphir/ $\text{CaF}_2$ )

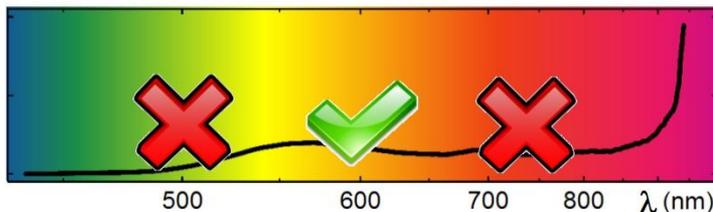
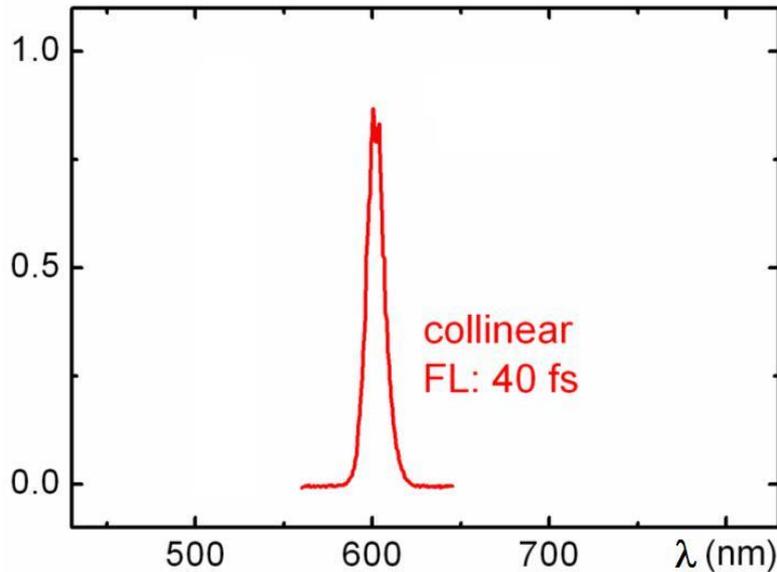
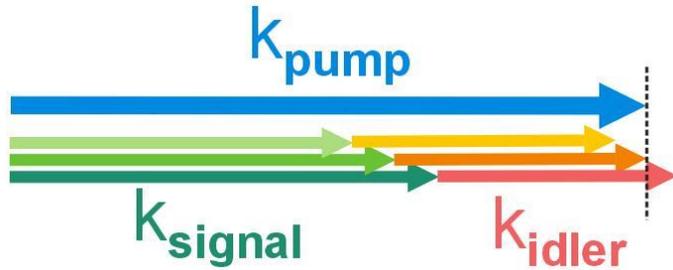
- Selbstfokussierung erzeugt Interaktionsstrecke:  
Single-Filament
- Betrieb: Zwischen Selbstfokussierungs- und Zerstörungsschwelle
- Je nach Substrat: Höhere Schwellen → mehr Energie

# $\chi_2$ -Anwendungen

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

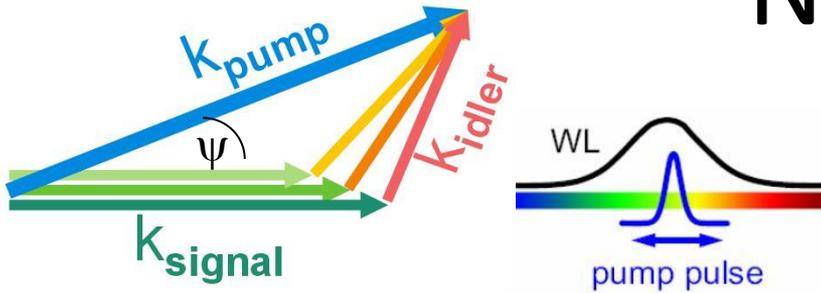


# OPA

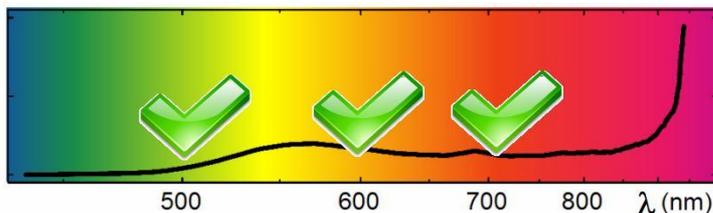
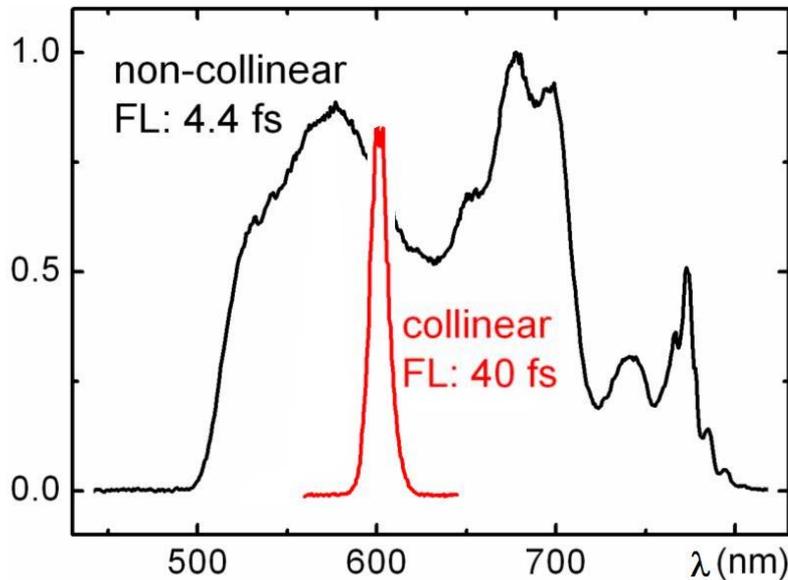


- Pump propagiert begleitet von Signal
- $k_p = k_s + k_i$
- $v_{\text{ph}}$ ,  $k$  durch Drehen anpassbar
- Keine Anpassung von  $v_{\text{gr}}$
- Einfache Justage
- Funktioniert nicht im ganzen Spektralbereich
  - Konv. Effizienz  $\searrow$
  - Zeitl. Überlapp  $\downarrow$

# NOPA

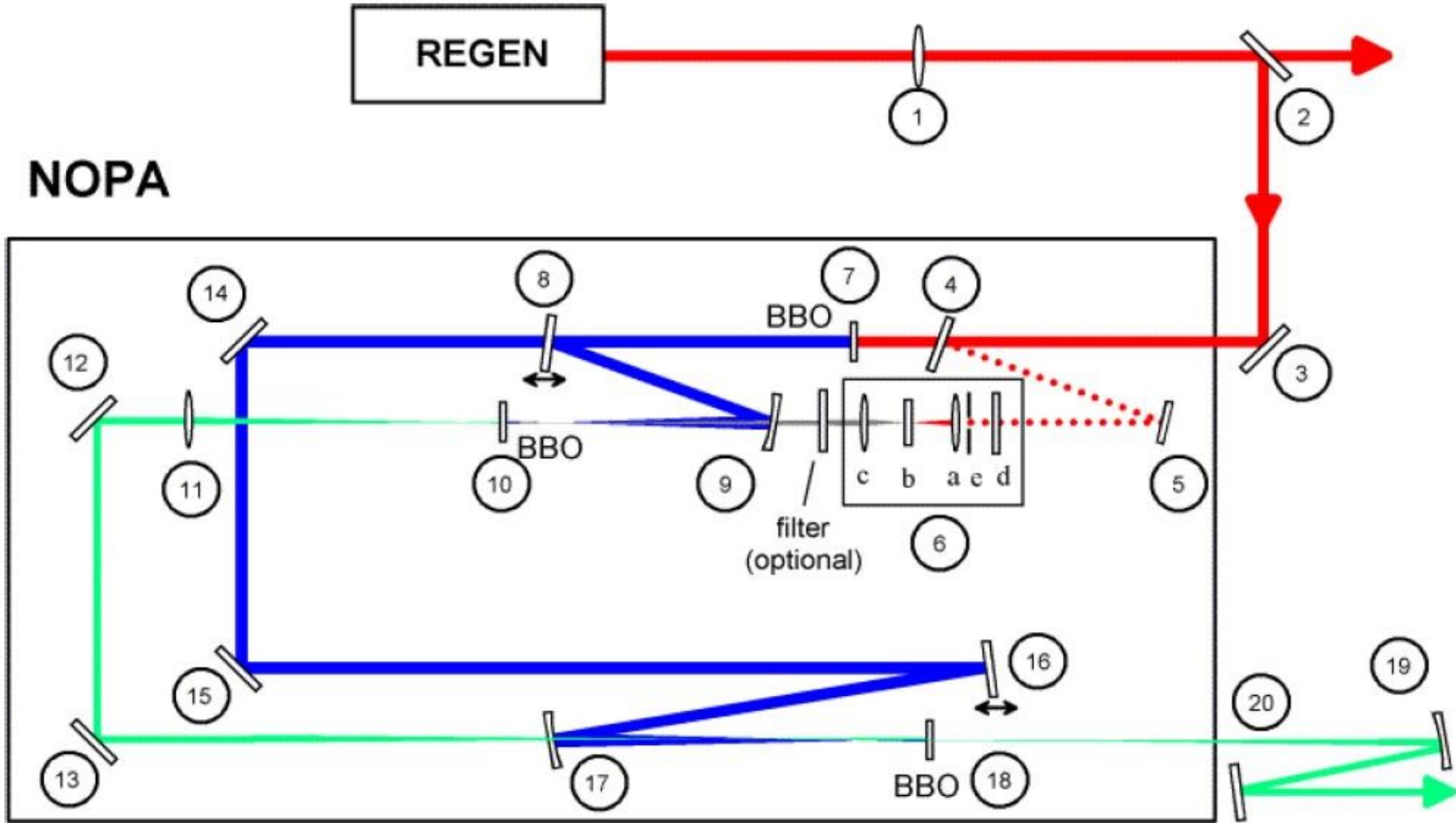


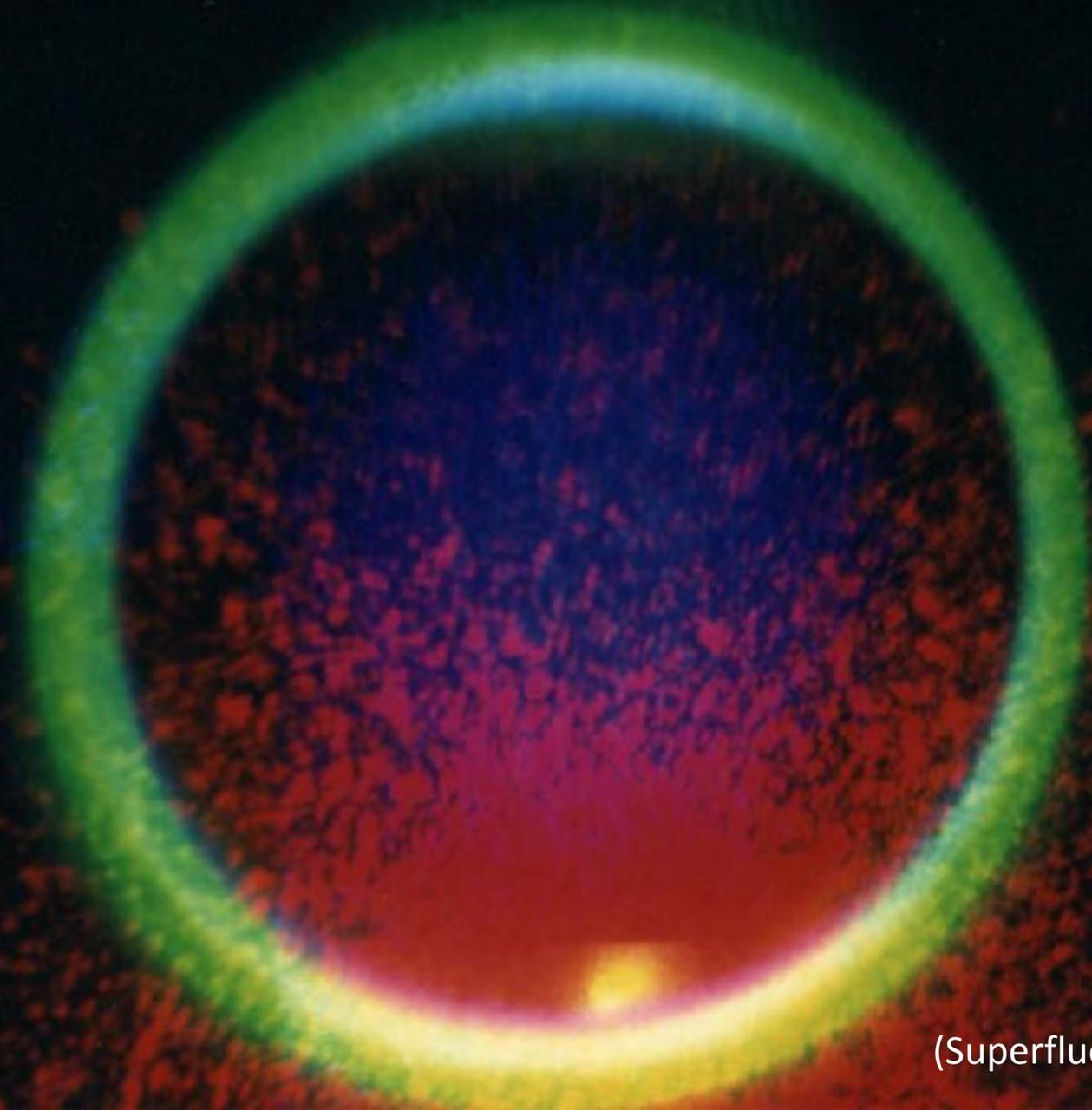
- $\Omega = \psi \cdot \left(1 + \frac{\lambda_i}{\lambda_s}\right)$
- $v_{gr,idler} \cdot \cos(\Omega) = v_{gr,signal}$



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

# Beispiel: NOPA: 2 stages





(Superfluoreszenzring)

# Zusammenfassung

- Frequenzwandlung durch nichtlineare Prozesse
- $\chi_2$ : Opt. Param. Verstärkung, Frequenzverdopplung
- $\chi_3$ :  $3\omega$ -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](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](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