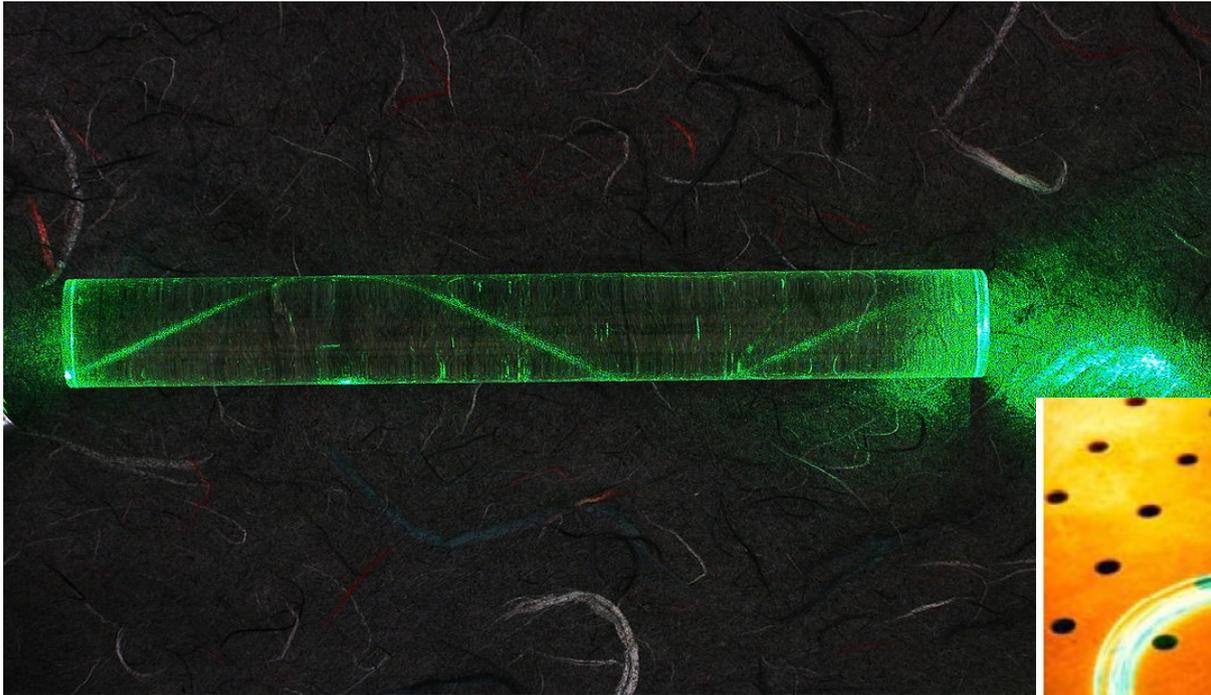
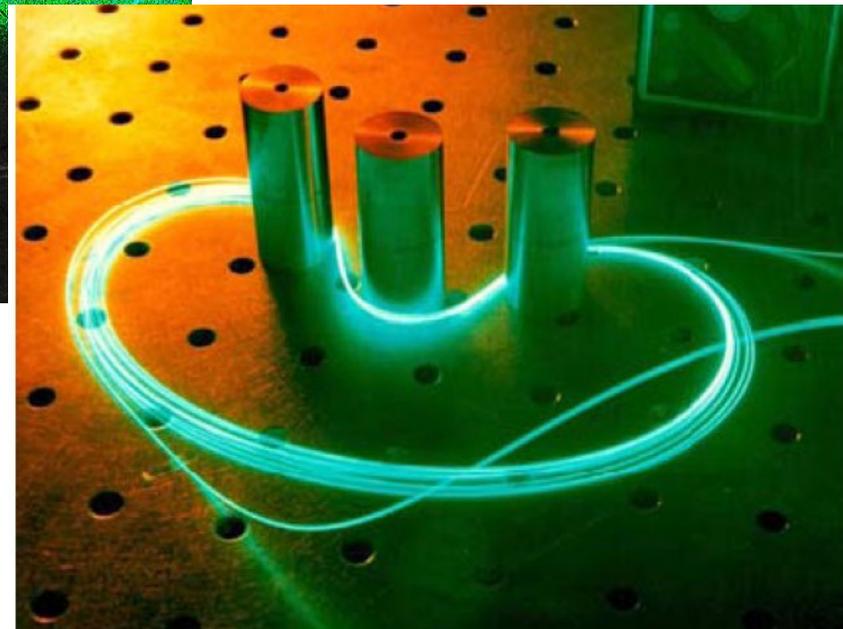


Faserlaser und FDML

Vortrag von Nina Wenke



(http://en.wikipedia.org/wiki/Optical_fiber; 29.05.15)



([2])

Warum eigentlich
Faserlaser?

Kompakter
Aufbau

Gute
Wärmeleitung

Pulsformung
über
Eigenschaften
der Faser

Gliederung

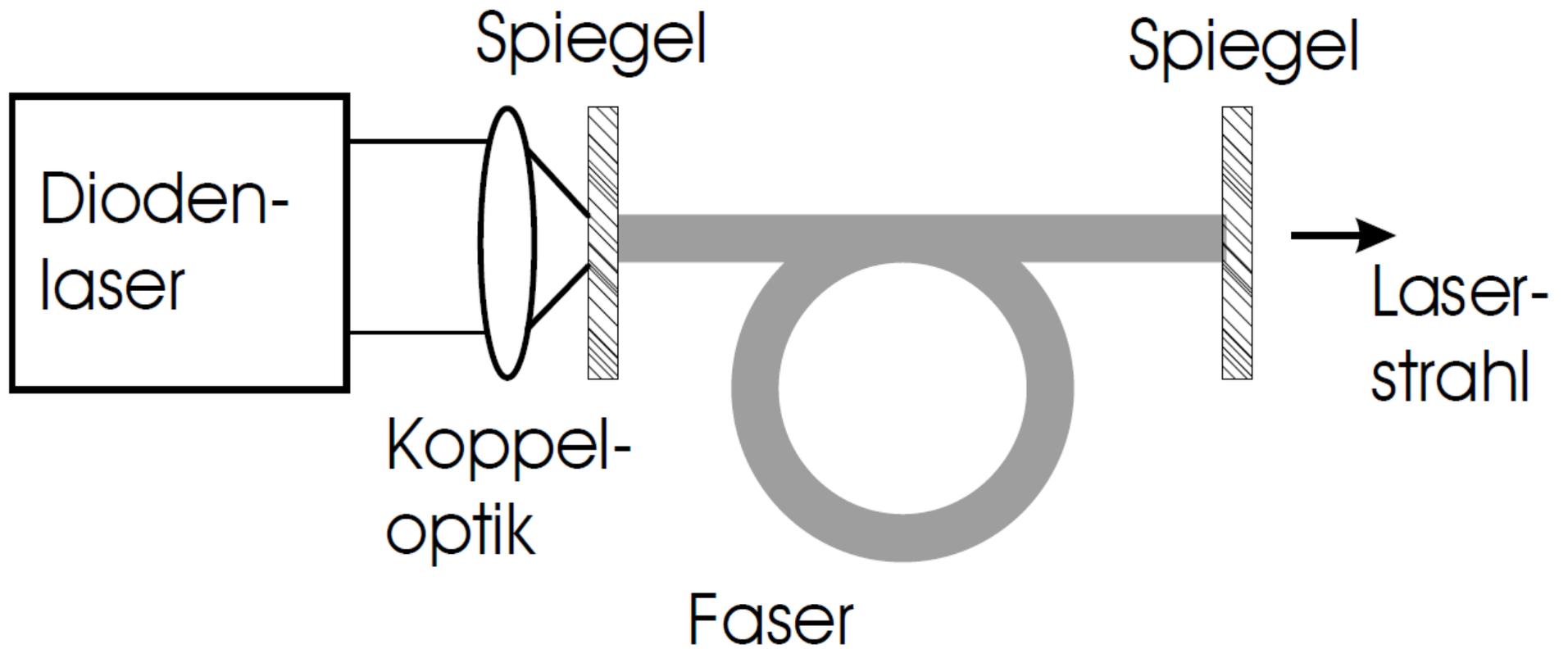
I. Faserlaser

- 1. Aufbau**
- 2. Diodenlaser**
- 3. Koppeloptik**
- 4. Faser**
- 5. Faser- Bragg-Gitter**

II. FDML

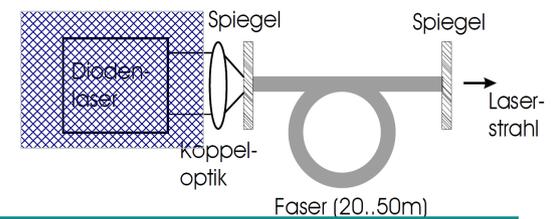
1. Allgemeines
2. Grundlagen
3. FDML-Prinzip
4. FDML-Laser
5. Ausblick: OCT

1. Prinzipieller Aufbau

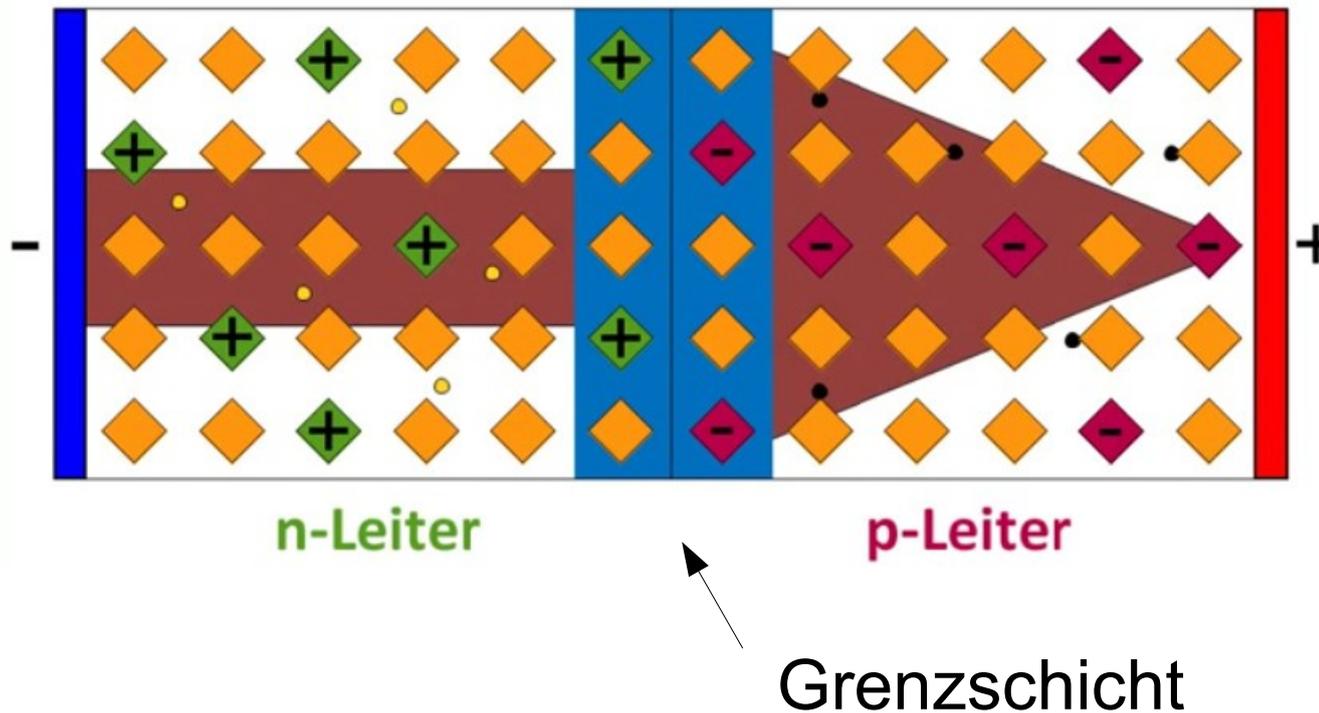


(12)

2. Diodenlaser

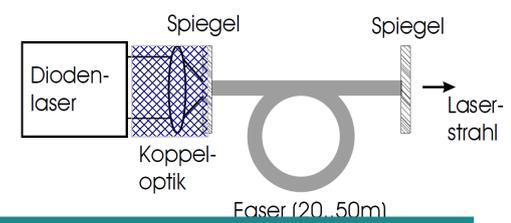


- Wellenlängen zwischen 400-1000 nm
- Halbleiterdiode als Lasermedium



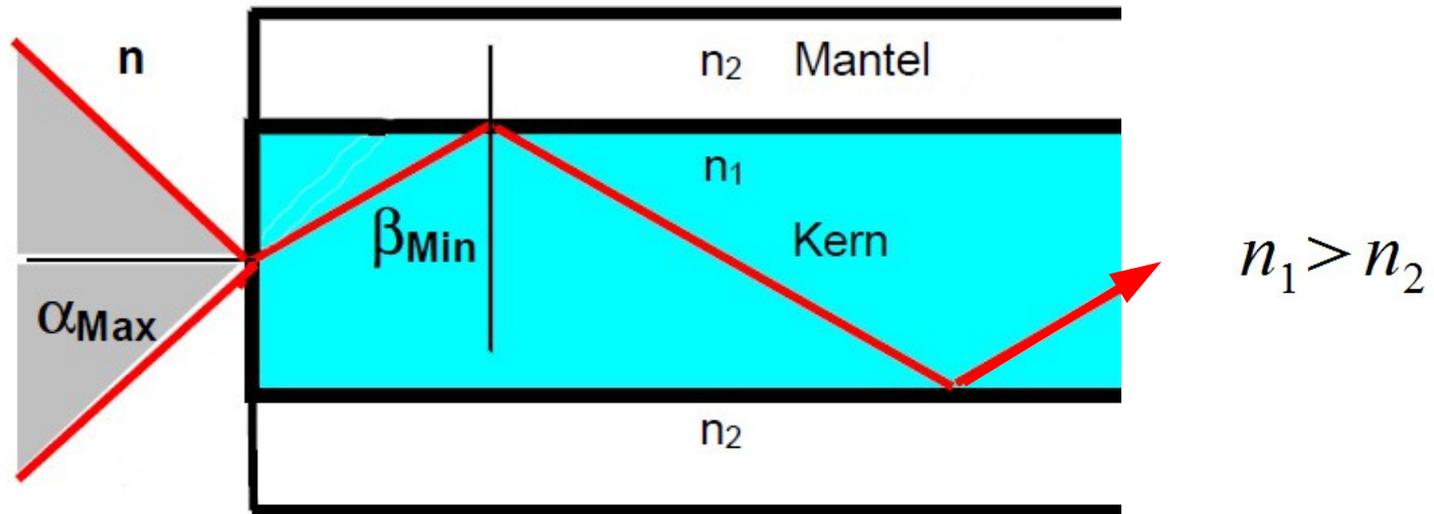
(<https://www.youtube.com/watch?v=Z8RUAqEhgZA>; 29.05.15)

3. Koppeloptik



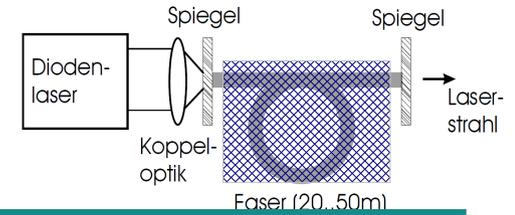
→ Numerische Apertur: maximaler Winkelbereich, der von der Faser aufgenommen werden kann

$$NA = n * \sin(\alpha_{max}) = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

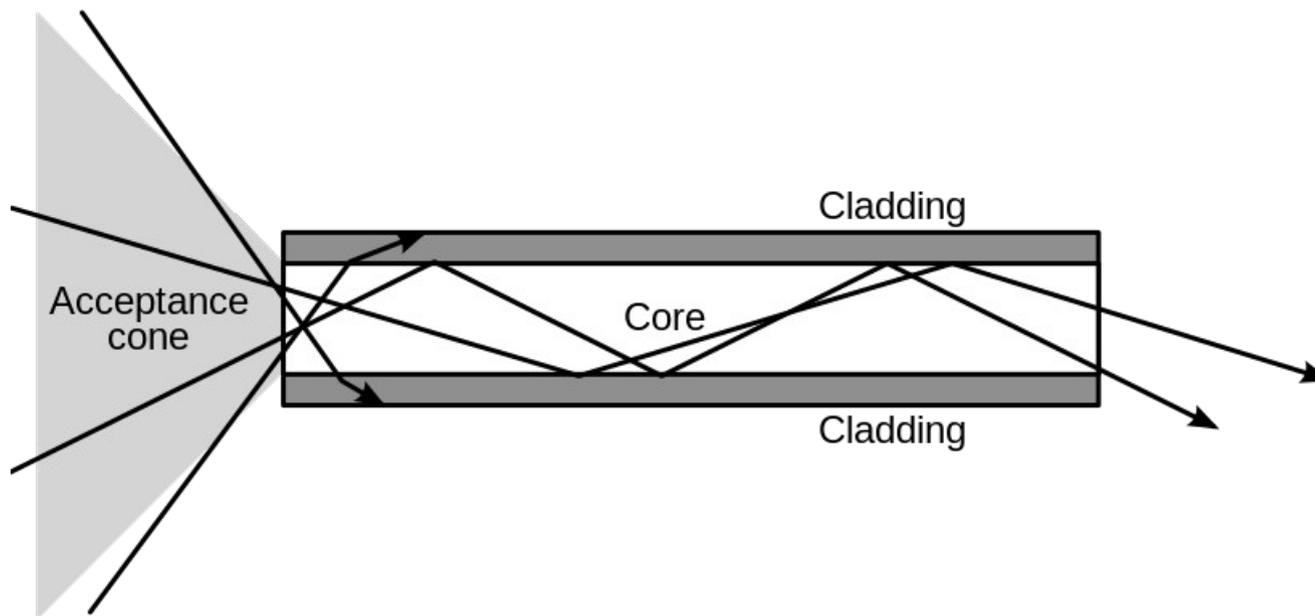


([13])

4. Faser

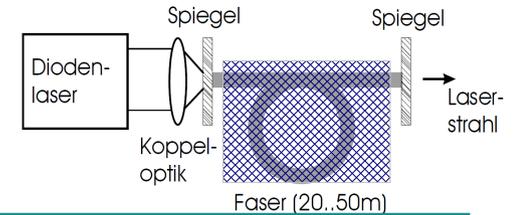


→ 3 Bestandteile: Kern (core), Mantel (cladding), Ummantelung (coating)

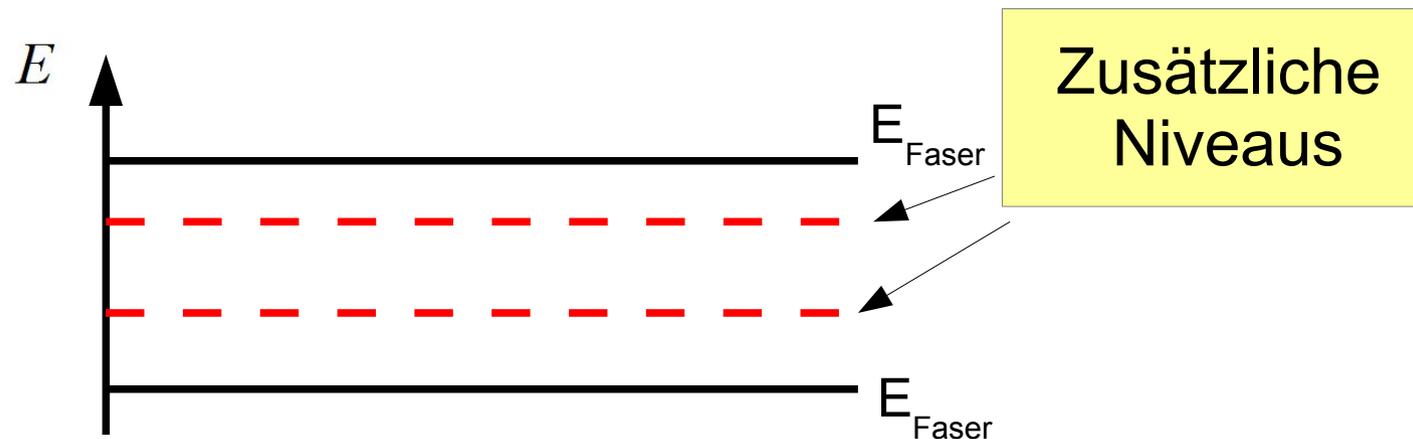


(<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/e/e4/Optical-fibre.png>; 29.05.15)

Dotierung



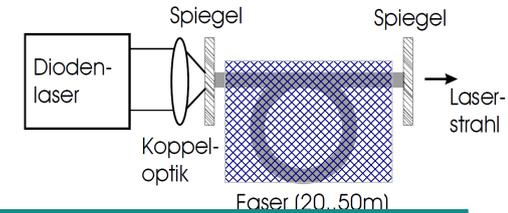
= Einbringen von Fremdatomen (z.B. Seltenerd-Ionen),
wodurch die Eigenschaften des Ausgangsmaterials gezielt
verändert werden



(nach:http://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/mw2_ge/kap_5/illustr/dotieren2.gif; 30.05.15)

→ geringere Anforderung an die Pumplichtquelle

Strahlqualität



→ Fasern werden so konstruiert, dass sich nur die transversale Grundmode ausbreiten kann (Dispersion)

→ Kriterium dafür ist V-Parameter:

$$V_{SI} = 2\pi \frac{r_{co}}{\lambda} \sqrt{n_{co}^2 - n_c^2} = 2\pi \frac{r_{co}}{\lambda} NA$$

mit $NA \dots$ numerische Apertur der Faser

$$V_{SI} < 2,405 \text{ single-mode Faser}$$

$$V_{SI} > 2,405 \text{ multi-mode Faser}$$

([2])

Kleiner Kernradius

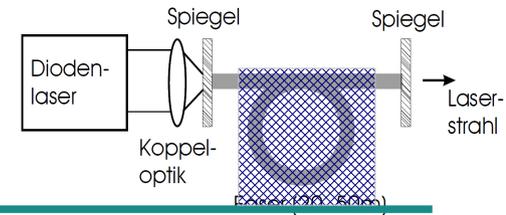
→ Einkopplung nur für Pumplichtquellen mit hoher Strahlqualität möglich

→ geringe Leistungen



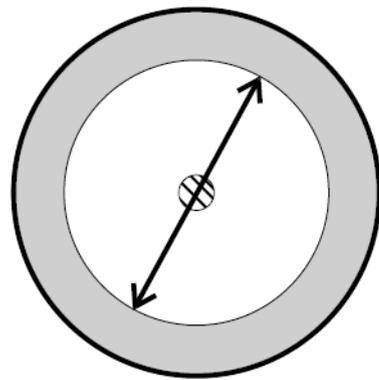
Konzept der Doppelkernfaser

Doppelkernfaser

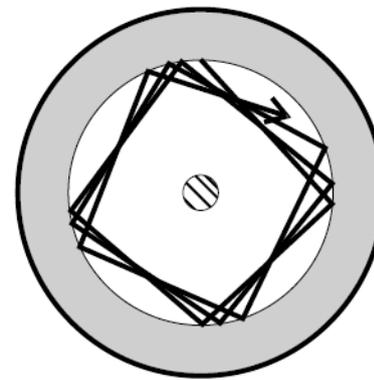


→ zusätzlich: Pumpkern

→ Problem: Helixstrahlen



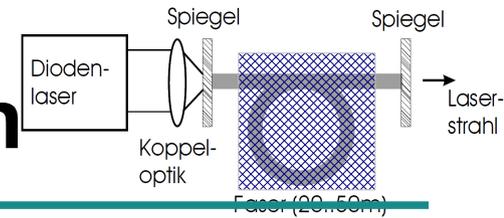
Meridionalstrahl



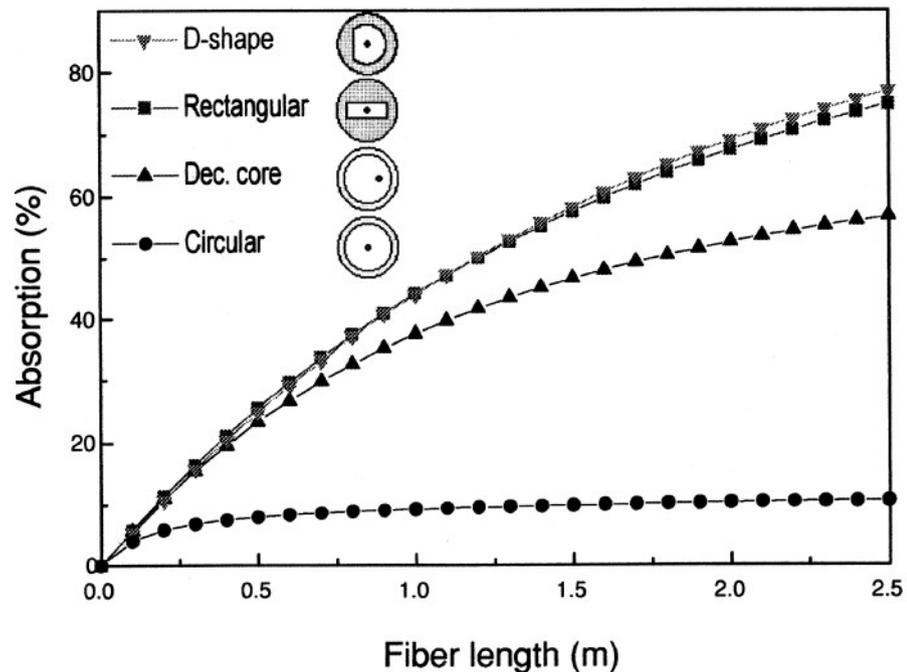
Helixstrahl

([2])

Spezielle Querschnittsformen



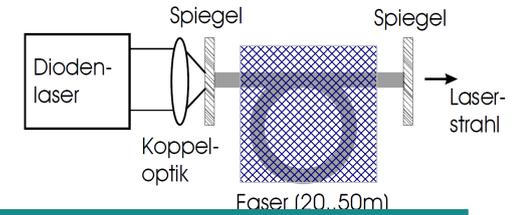
→ Aufbrechen der Symmetrie der Faserkonstruktion



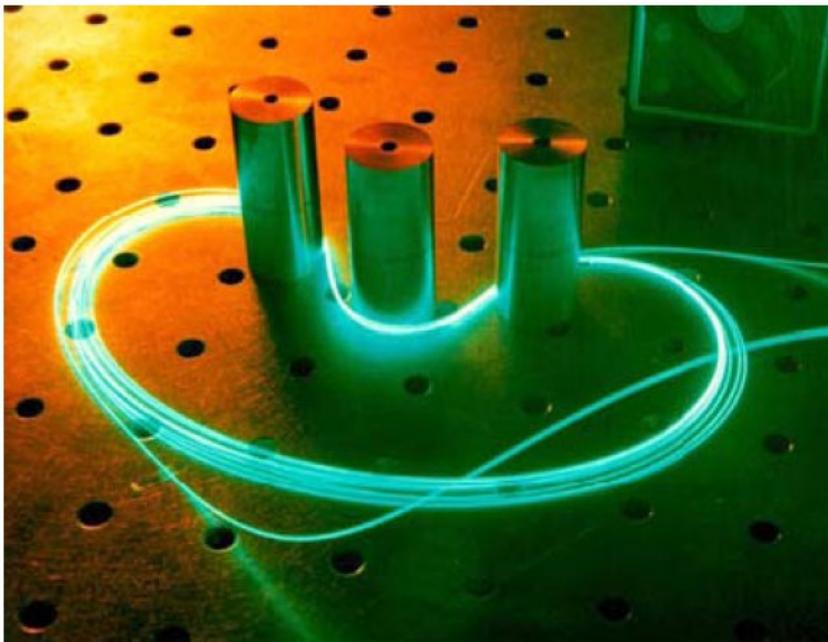
([2])

→ Nachteil: hohe Kosten für die speziell anzufertigenden Fasern

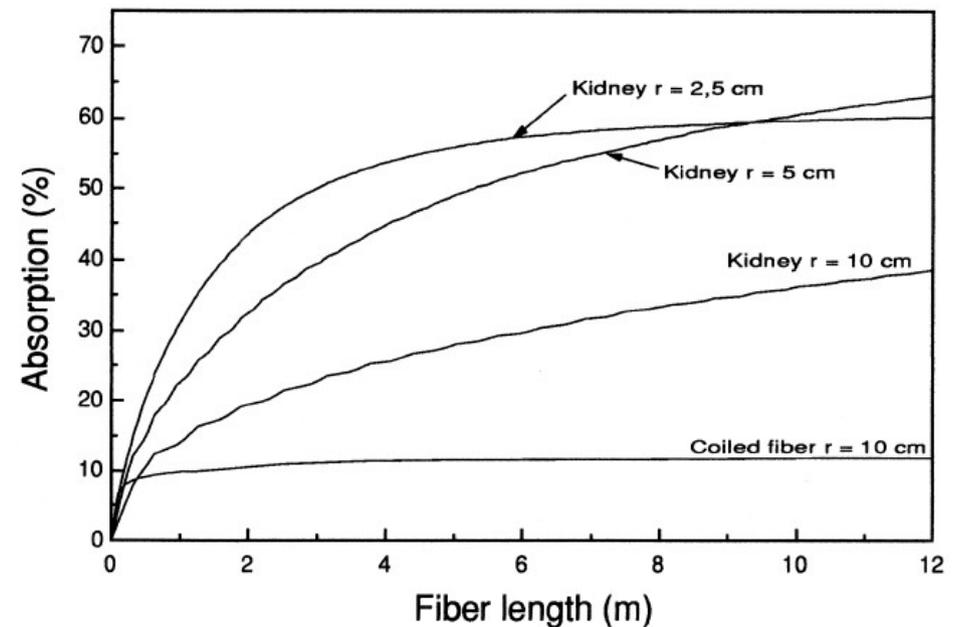
Krümmung der Faser



→ Wechselwirkung der Strahlung des Pumplichts mit dem Laserkern wird erreicht



([2])



([2])

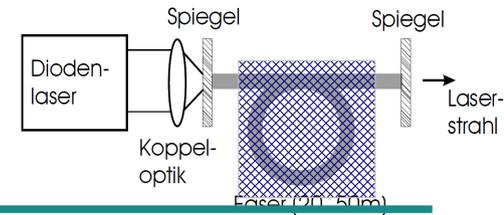
Leistungsbegrenzung

- Grenzen der Leistung bei ca. 100 W
- nichtlineare Effekte (z.B. Selbstfokussierung)
- Zerstörung der Faserendflächen 



Neue Konzepte: LMA- und PC-Fasern

Neue Konzepte

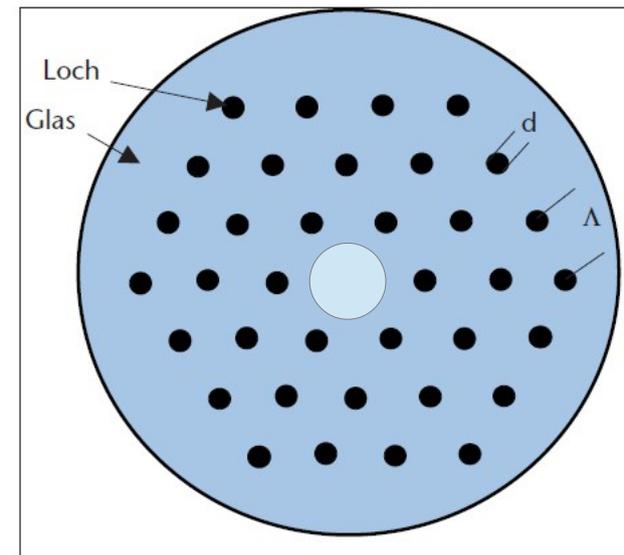


Large – Mode – Area Fasern

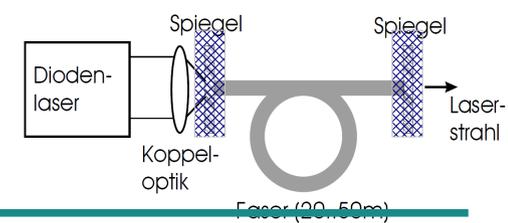
- größerer Kerndurchmesser zur Verringerung der Leistungsdichte
- Krümmung führt zu hohen Verlusten bei hohen Moden

Photonic-Crystal-Fibers

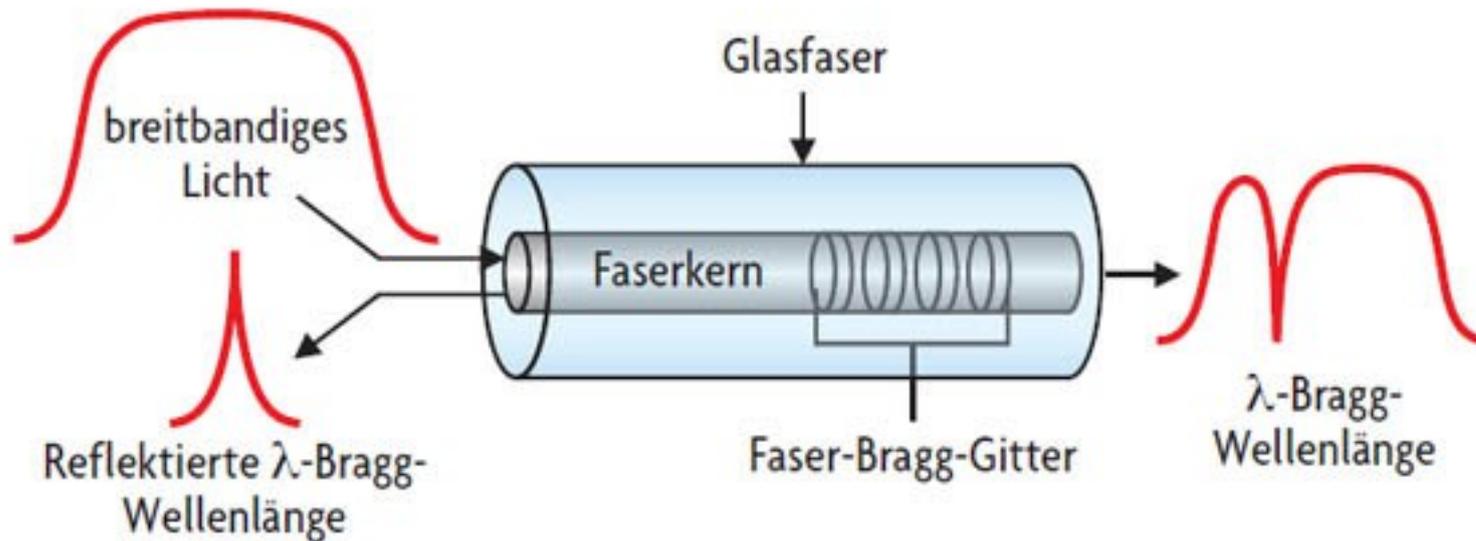
- Geringerer mittlerer Brechungsindex aufgrund von Luftlöchern im Mantel



5. Faser-Bragg-Gitter

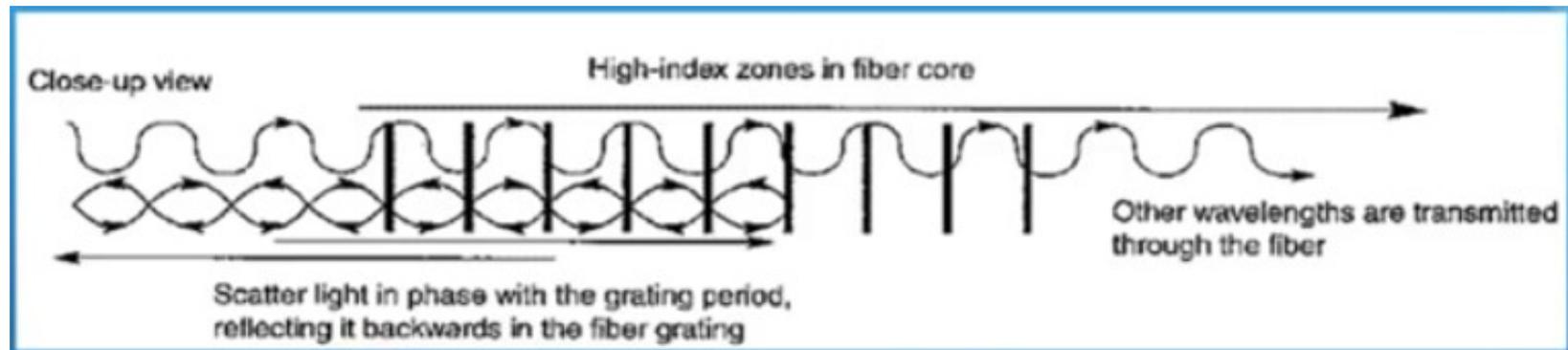
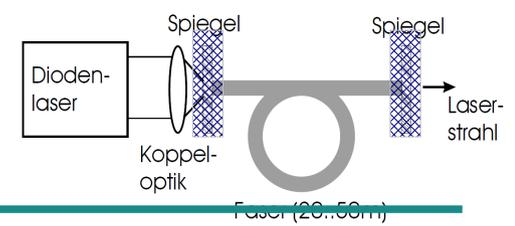


= in den Kern einer Standard-Singlemode-Faser eingeschriebene Mikrostruktur



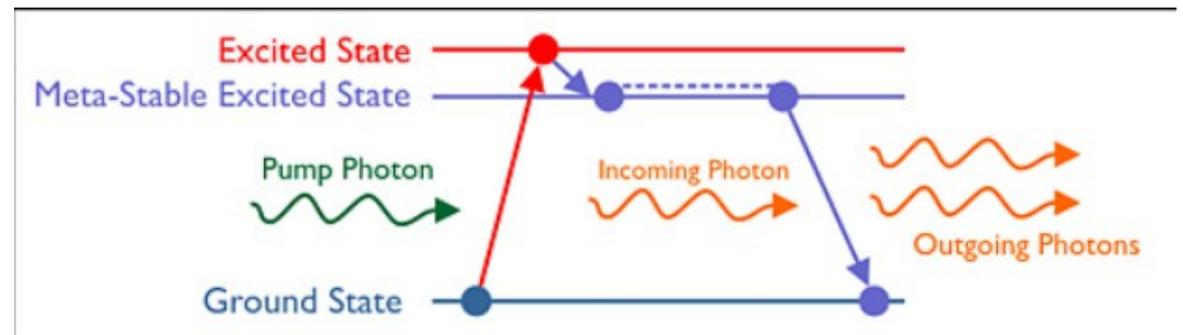
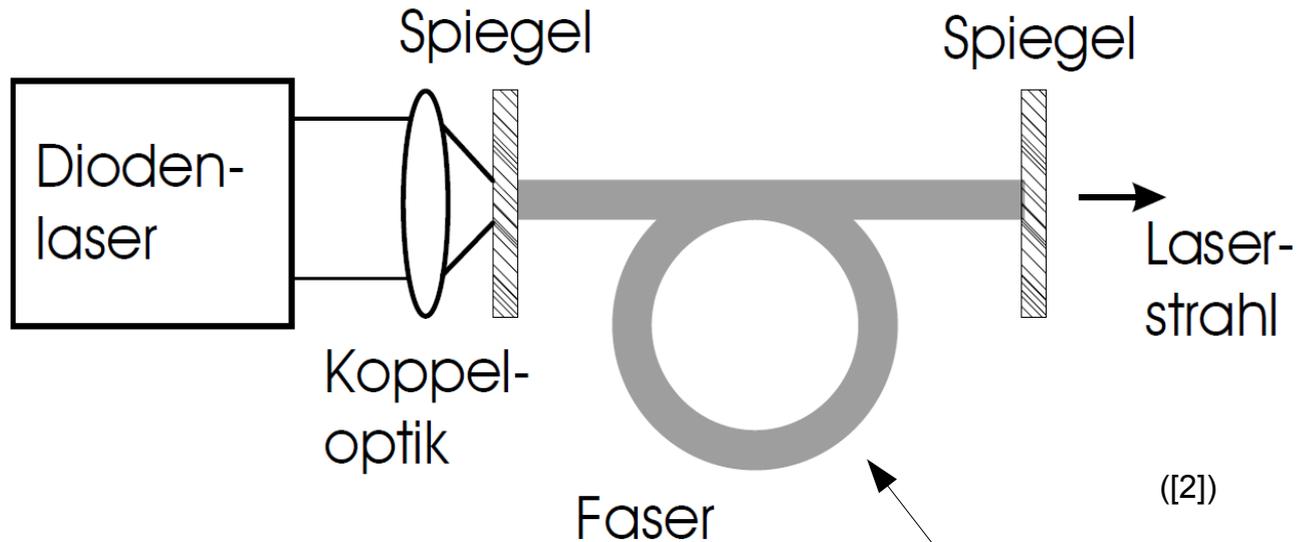
(http://www.elektroniknet.de/uploads/media_uploads/images/1301048997-39-fbg-sensor.jpg, 10.06.15)

5. Faser-Bragg-Gitter



(<https://www.youtube.com/watch?v=apr-XUtjmBY>, 14.06.15)

6. Zusammenfassung – Funktionsweise eines Faserlasers



(<http://www.orc.soton.ac.uk/61.html>, 10.06.15)

II. FDML - Fourier Domain Mode Locking

1. Allgemeines

2. Grundlagen

→ Modenkopplung

→ Sweep

→ Fabry-Pérot-Interferometer/Filter

3. FDML-Prinzip

4. Aufbau und Funktionsweise eines FDML-Lasers

5. Ausblick: OCT

1. Allgemeines

- entwickelt von Robert Huber (Paper von 2006)
- Gegensatz zu 'normalen' modengekoppelten Lasern
- Produktion einer Sequenz von optischen Sweeps
- Anwendung: OCT



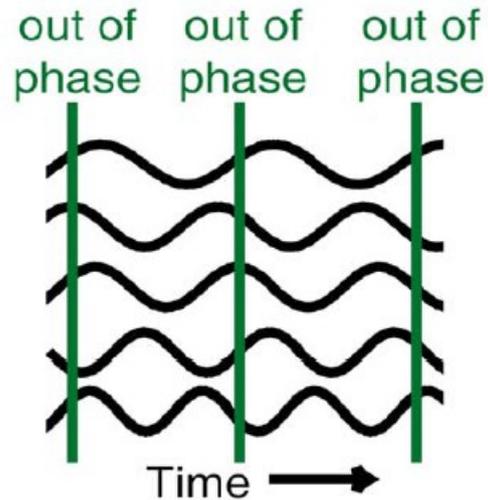
(<http://www.bmo.physik.uni-muenchen.de/~z19/FDML/HomemadeFDML.png>; 16.06.15)

→ Warum?

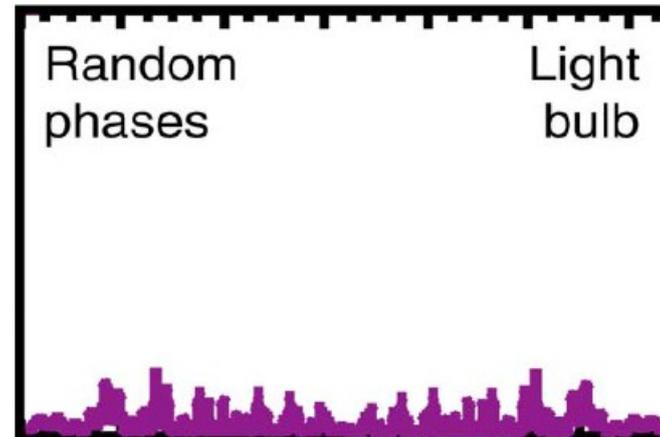
- schnelle Frequenzabstimmung (Messung dauert ca 4s)
- sehr gute Auflösung

2. Grundlagen-Modenkopplung

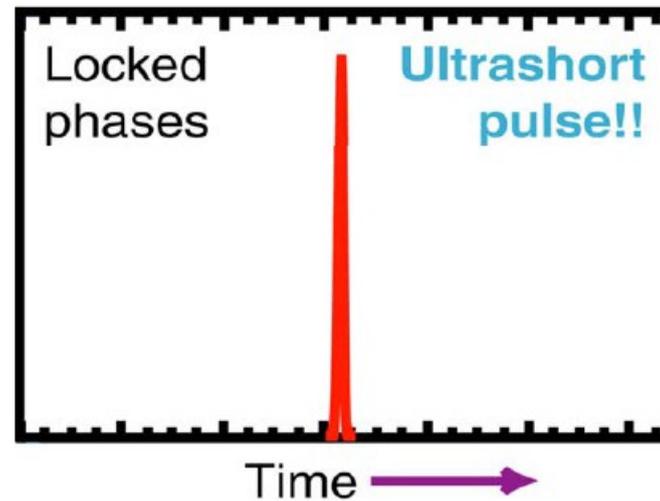
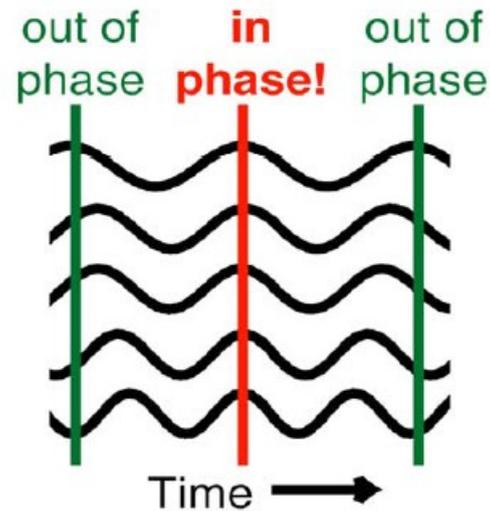
Random
phases
of all
laser
modes



Irradiance vs. time



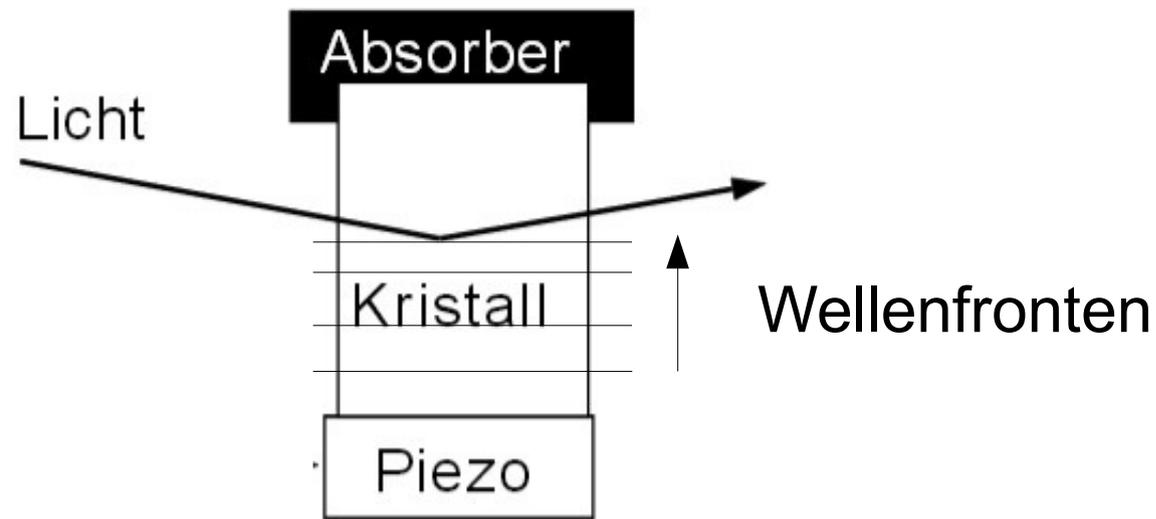
Locked
phases
of all
laser
modes



([12])

Aktive Modenkopplung

- basiert auf aktiver, periodischer Modulierung der im Resonator stattfindenden Verluste bzw. der Umlaufzeit
- z.B. AMO: Prinzip ähnlich zur Reflexion am bewegten Spiegel



([11])

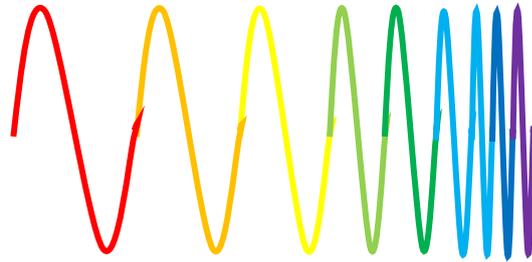
Passive Modenkopplung

- „sättigbarer Absorber“: nur Intensitätsspitzen werden durchgelassen
- z.B. Kerr-Lense-Modenkopplung

Modenkopplung im Frequenzraum

	<i>Frequenzraum</i>	<i>Zeitraum</i>
<i>Kopplung</i>	Frequenzen zu bestimmten <u>Zeiten</u> gekoppelt	Moden sind phasengekoppelt (<u>orts</u> gekoppelt)
<i>Resultat</i>	Sweeps	Kurze Pulse

2. Grundlagen - Sweep

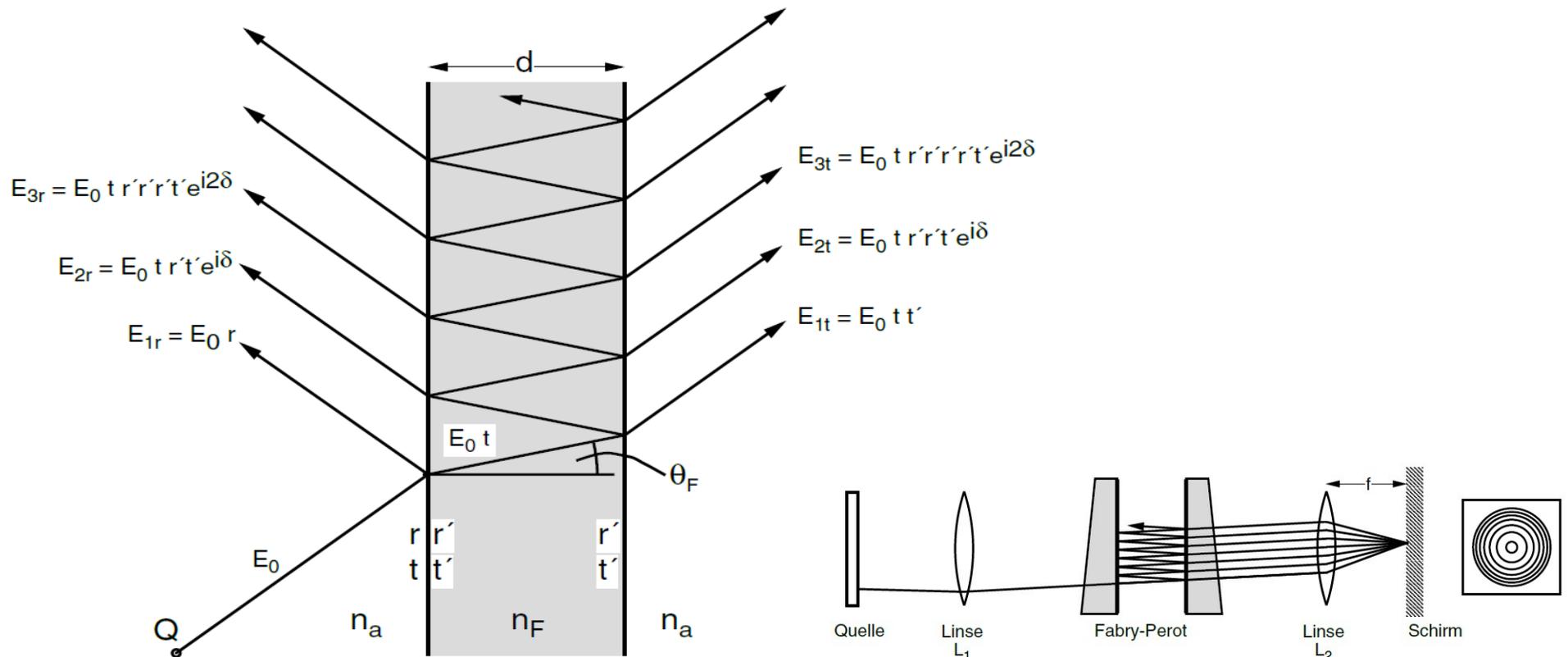


([6])

- Licht läuft durch transparentes Medium
→ Ausbreitungsgeschwindigkeit ändert sich
- => Puls, in dem viele Spektralanteile laufen,
wird verbreitert

2. Grundlagen- Fabry-Pérot Interferometer

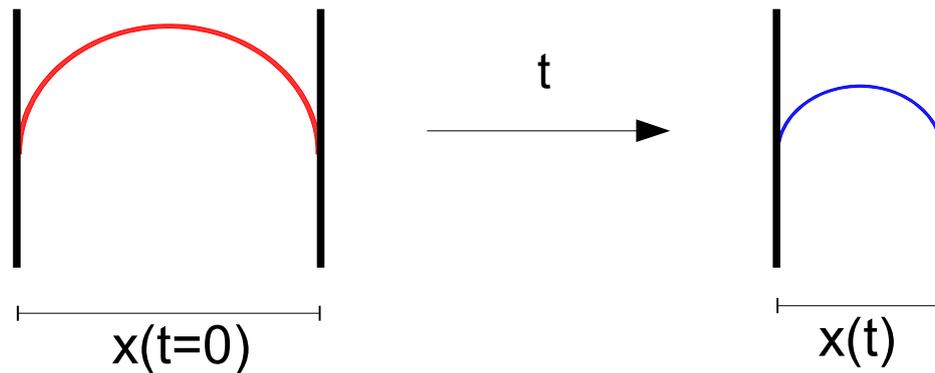
→ Transmission u.a. abhängig von der Wellenlänge und dem Abstand d der Platten



([16])

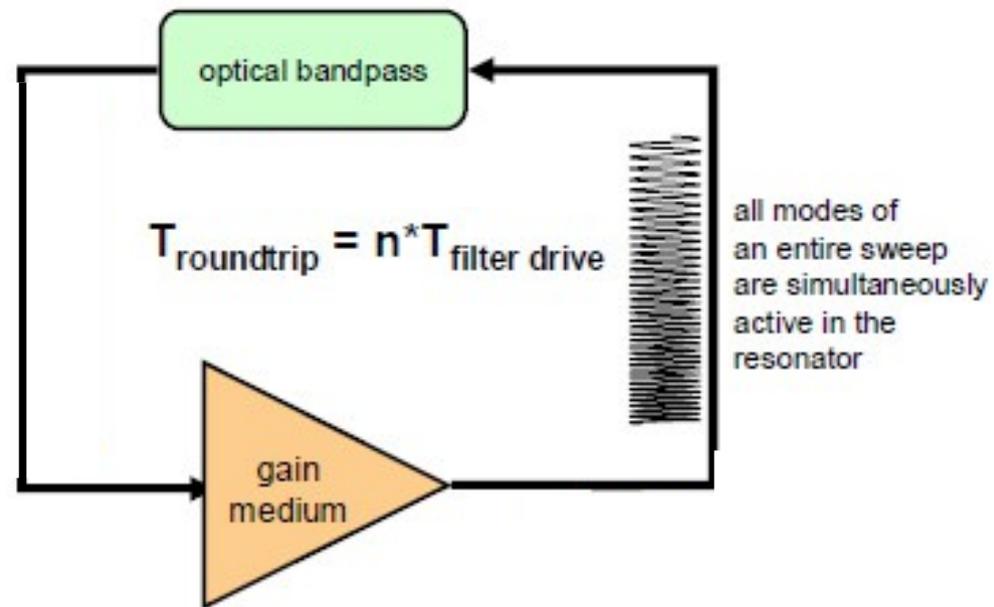
2. Grundlagen- Fabry-Pérot Filter

- wieder planparallele Platten
- nur bestimmte Wellenlänge passt rein

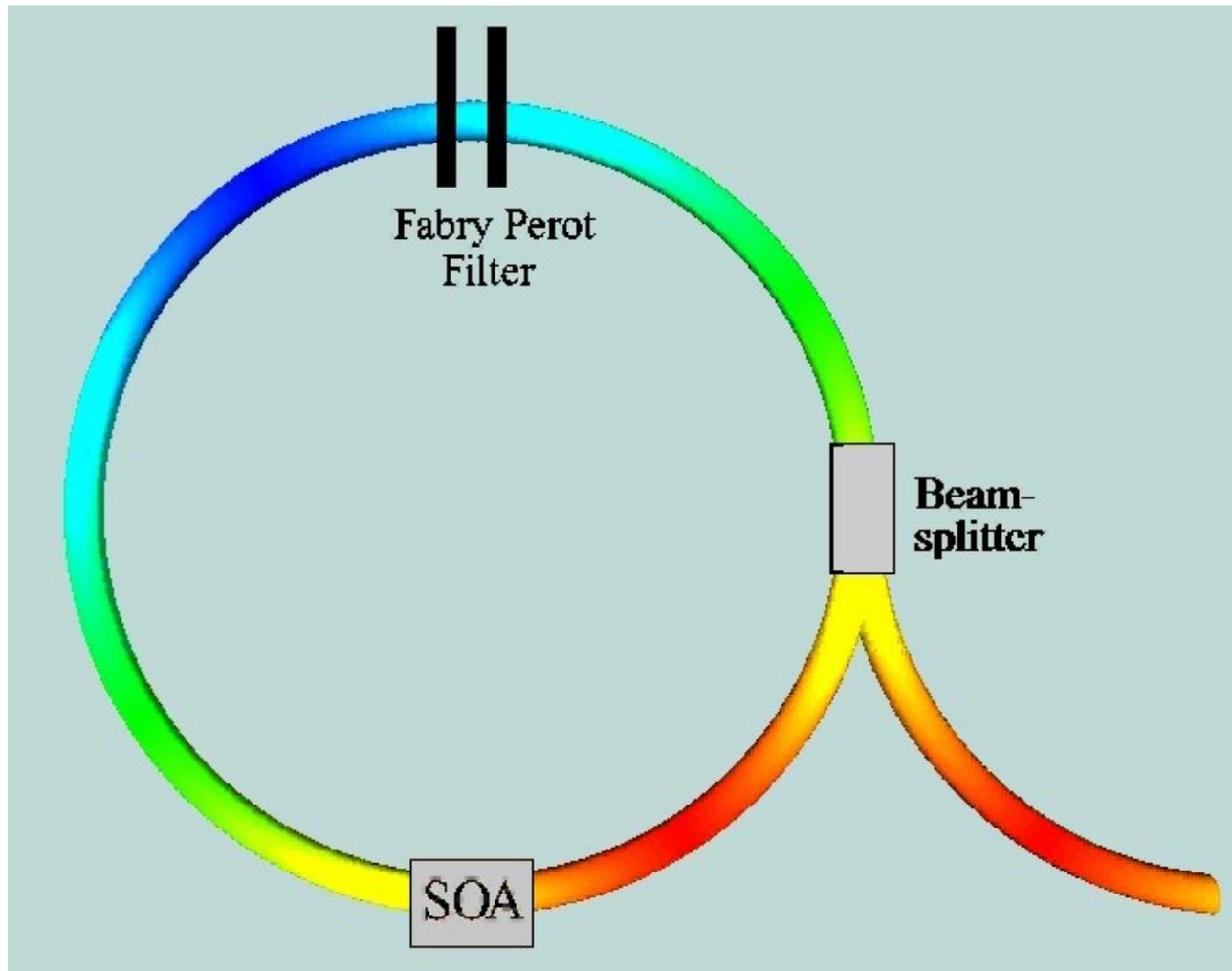


- abstimmbar: zu verschiedenen Zeiten passen verschiedene Wellenlängen rein

3. FDML - Prinzip

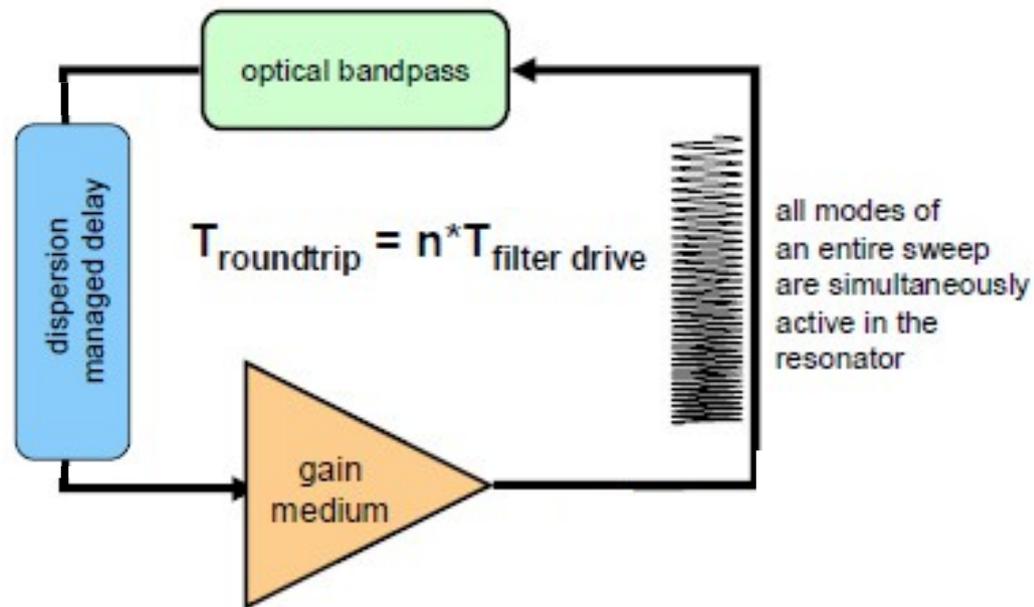


(nach [4])



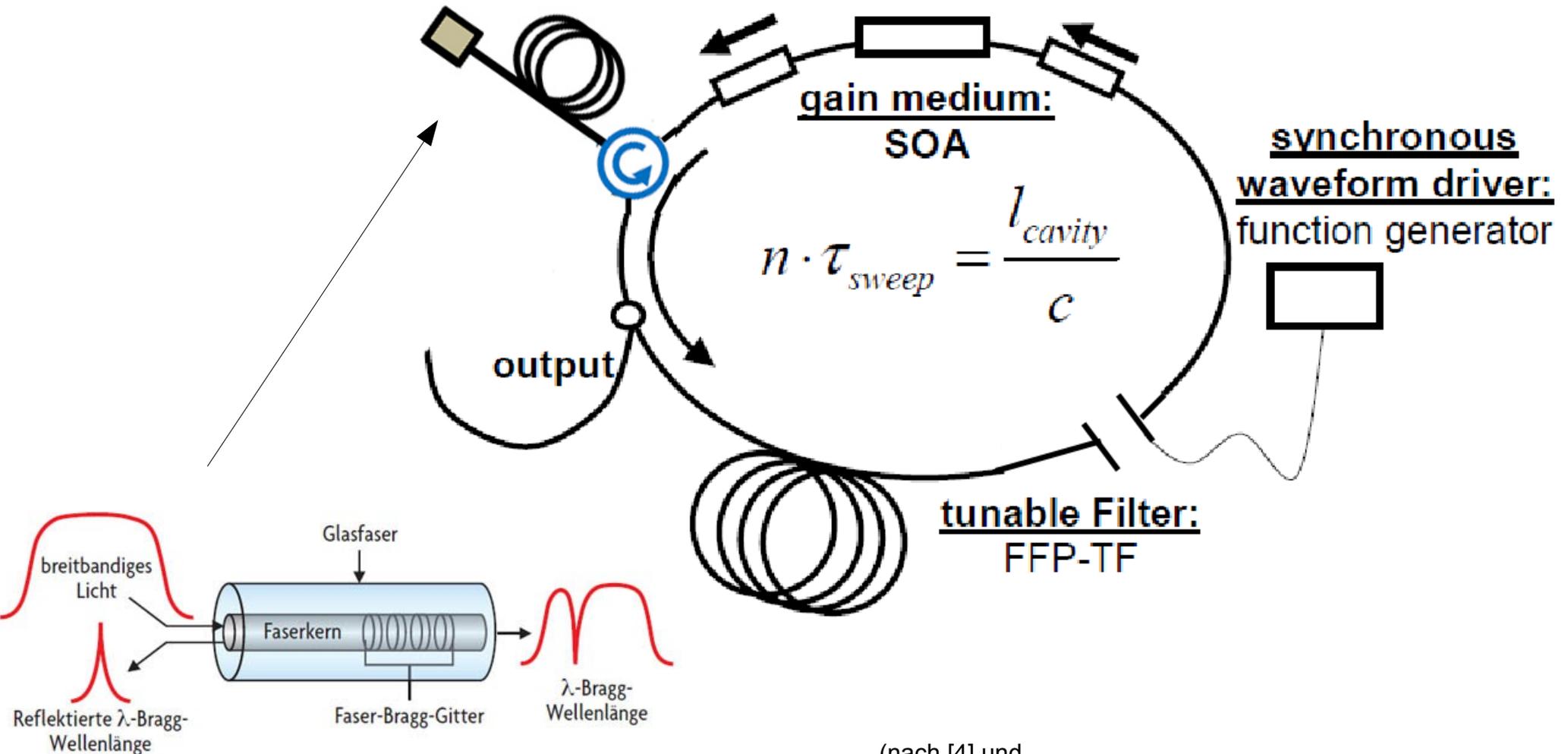
(Copyright Laura Kranendonk)

3. FDML - Prinzip



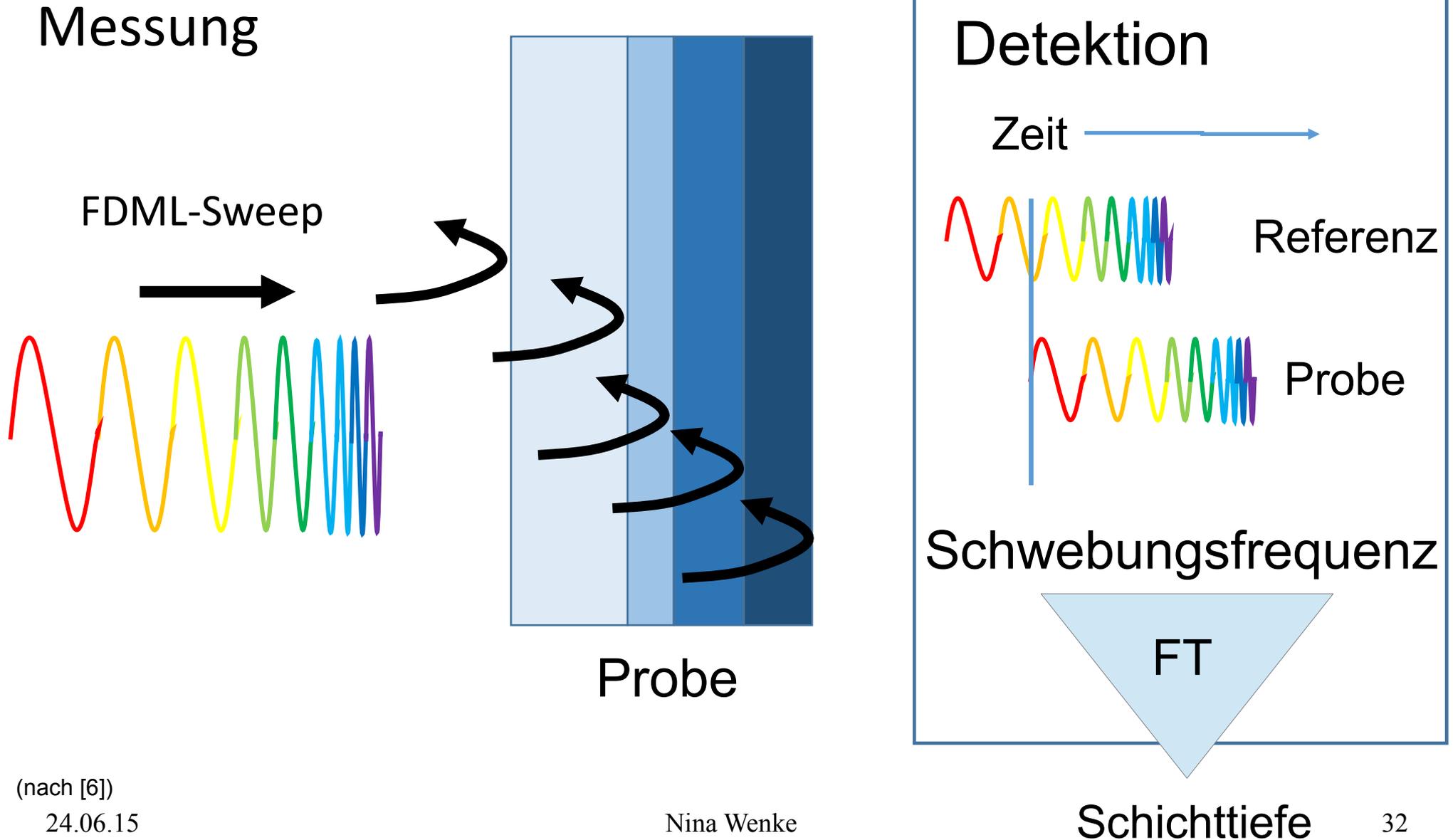
(nach [4])

4. Aufbau eines FDML-Lasers



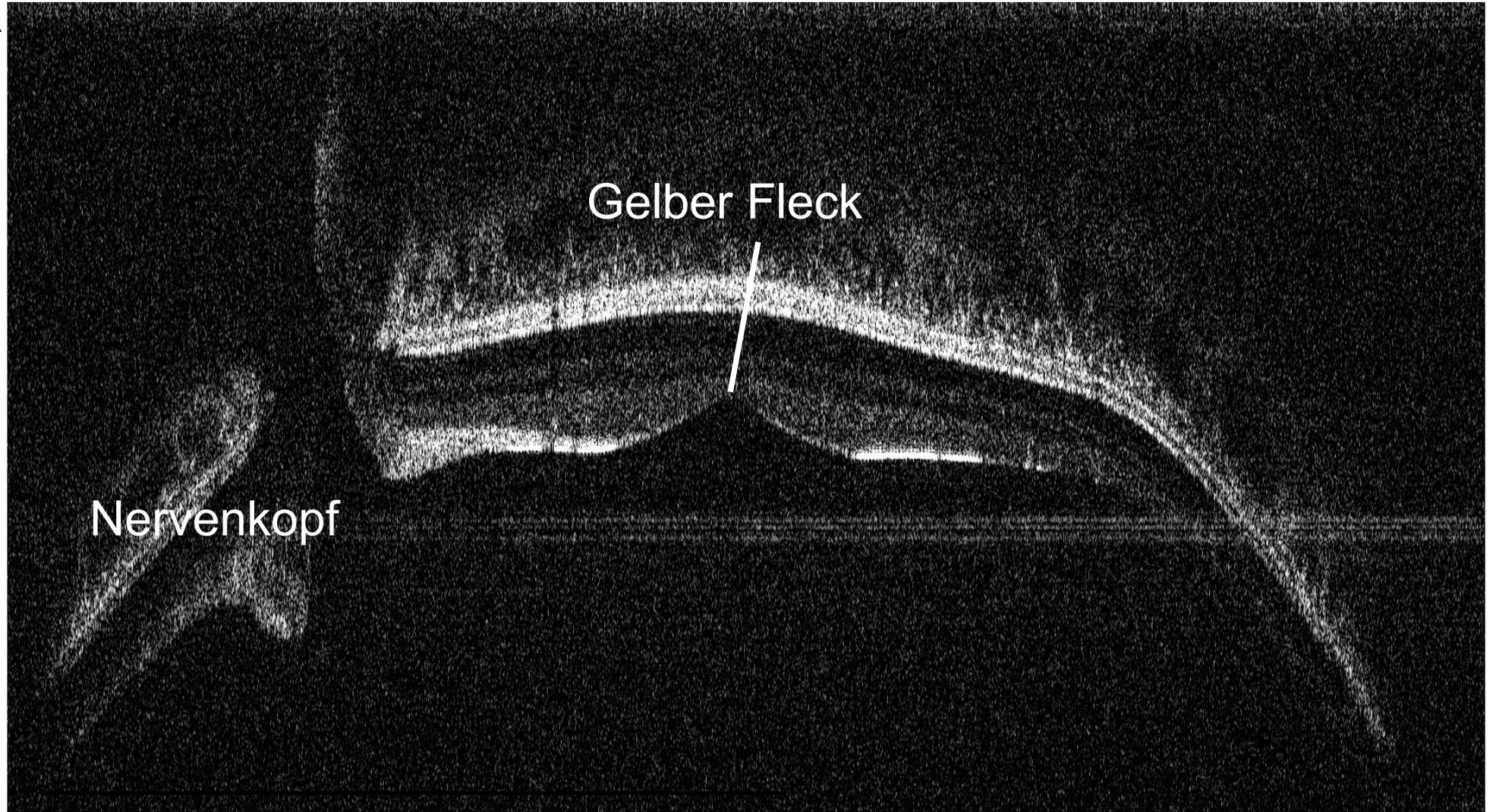
(nach [4] und [http://imagebank.osa.org/getImage.xqy?img=M3cubGFyZ2Uzb2UtMjAtOS05ODE5LWcwMDM](http://imagebank.osa.org/getImage.xqy?img=M3cubGFyZ2Uzb2UtMjAtOS05ODE5LWcwMDM;); 17.06.15)

5. Ausblick: OCT (Optische Kohärenztomographie)



OCT-Aufnahme: Netzhaut (2D)

Schichttiefe



Nervenkopf

Gelber Fleck

(nach [6])

24.06.15

33

Scanwinkel

Quellen

- [1]** Biedermann B.: Fourierdomänen modengekoppelte Laser: Aufklärung der Funktionsweise und Erschließung neuer Anwendungsbereiche, 2010, http://edoc.ub.uni-muenchen.de/12226/1/Biedermann_Benjamin.pdf
- [2]** Friedrich-Schiller-Universität Jena, Faserlaser, Skript, http://www.personal.uni-jena.de/~p3dosv/pdf/Faserlaser_Script.pdf
- [3]** Friedrich-Schiller-Universität Jena, Faserlaser, Folien, http://www.personal.uni-jena.de/~p3dosv/pdf/Faserlaser_Folien.pdf
- [4]** Huber, R./ Wojtkowski, M./ Fujimoto, J.G.: Fourier Domain Mode Locking (FDML): A new laser operating regime and applications for optical coherence tomography, OSA, 2006, https://www.osapublishing.org/view_article.cfm?gotourl=https%3A%2F%2Fwww.osapublishing.org%2FDirectPDFAccess%2F35A2F0ED-9307-E225-1A0F713EF27218DB_89307%2Foe-14-8-3225.pdf%3Fda%3D1%26id%3D89307%26seq%3D0%26mobile%3Dno&org=
- [5]** Kufner, C.: Axiale Aberrationen in der retinalen optischen Kohärenztomographie, Masterarbeit, 2014
- [6]** Kufner, C.: Wie lässt sich die echte Augenform bei der optischen Kohärenztomographie ermitteln?, interner Seminarvortrag, 2014
- [7]** Scheife H.: Praseodym-, Ytterbium-dotierter Upconversion-Faserlaser im roten Spektralbereich, Diplomarbeit, 1997, https://hp.physnet.uni-hamburg.de/hscheife/downloads/scheife_dipl.pdf

Quellen

- [8] Scheife H.: Praseodym-, Ytterbium-dotierter Upconversion-Faserlaser im roten Spektralbereich, Diplomarbeit, 1997, https://hp.physnet.uni-hamburg.de/hscheife/downloads/scheife_dipl.pdf
- [9] Schlauch T.: Aufbau und Optimierung eines kompakten und leistungsfähigen Fs-Diodenlasersystems, Dissertation, 2011, <http://www-brs.ub.ruhr-uni-bochum.de/netahtml/HSS/Diss/SchlauchTobias/diss.pdf>
- [10] Stumpf, M.: Pulsformierung in modengekoppelten Faseroszillatoren, Diplomarbeit, 2005, <http://www.db-thueringen.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-11514/stumpf.pdf>
- [11] Universität Heidelberg, Olk P./Störzer M., Akustooptischer Modulator, 2001, <http://www.kip.uni-heidelberg.de/matterwaveoptics/teaching/archive/protocols/aom.pdf>
- [12] Universität Kaiserslautern, Modenkopplung 2, Vorlesung vom 11.12.09, WS 09/10, http://www.physik.uni-kl.de/fileadmin/beigang/Vorlesungen/WS_09_10/Vorlesung_11_11_12_09_Modenkopplung_2.pdf
- [13] Volpin AG, Jenny R., Grundlagen zur Faseroptik- Eine Einführung für Einsteiger, <http://www.volpi.ch/download/htm/1192/de/Faseroptik-de.pdf>
- [14] Zellmer H./Nolte S./Tünnermann A., Faserlaser, Physik Journal 4, Nr.6, Wiley-vch, 2005, www.pro-physik.de/details/articlePdf/1106583/issue.html
- [15] Zellmer H., Der Faserlaser – Strahlquelle für viele Anwendungen, LTJ März 2006 Nr. 2, Wiley-vch, http://www.wiley-vch.de/berlin/journals/ltj/06-02/LTJ0602_52_55.pdf
- [16] Zinth, W./Zinth, U.: Optik: Lichtstrahlen-Wellen-Photonen, 3. Auflage, Oldenbourg

Quellen

<http://www.orc.soton.ac.uk/61.html>, 31.05.15

<http://flexikon.doccheck.com/de/Diodenlaser>, 31.05.15

<http://www.spektrum.de/lexikon/physik/diodenlaser/3113>, 31.05.15

<http://www.hbm.com/de/menu/tipps-tricks/experimentelle-spannungsanalyse/was-ist-ein-faser-bragg-gitter/> , 31.05.15

<https://www.youtube.com/watch?v=Z8RUAqEhgZA>, 31.05.15

<https://www.youtube.com/watch?v=apr-XUtjmBY>, 31.05.15

<http://de.wikipedia.org/wiki/Dotierung>, 14.06.15

http://www.spektrum.de/lexikon/optik/mode-locking/2097&_druck=1, 14.06.15

<http://www.spektrum.de/lexikon/optik/chirping/522>, 14.06.15

<http://www.bmo.physik.uni-muenchen.de/forschung/projekt.php?id=193>, 14.06.15

Fragen?



(<http://einfachlatrate.de/wp-content/uploads/2012/05/fragen-kontakt.jpg>,
14.06.2015)