



Charakterisierung der optischen Dämpfung in passiven und aktiven polymeroptischen Fasern

J. Thiem*, F. Jakobs***, J. Kielhorn***, N. Tinne**, D. Kracht**, J. Neumann**, D. Ristau**

*Institut für Quantenoptik, Leibniz Universität Hannover; **Laser Zentrum Hannover e.V.; ***Institut für Hochfrequenztechnik, Technische Universität Braunschweig
thiem@iqo.uni-hannover.de

Motivation:

Polymeroptische Fasern (POF) aus Polymethylmethacrylat (PMMA) besitzen im Vergleich zu Glasfasern unter anderem Vorteile in ihren mechanischen Eigenschaften und Produktionskosten. Sie haben allerdings den Nachteil einer erhöhten optischen Dämpfung, welche aus dem Fasermaterial resultiert. Die wichtigsten materialabhängigen Verlustkanäle sind Vibrationsübergänge der Kohlenstoffbindungen, Elektronenabsorption und Rayleigh-Streuung in der Faser. Bei aktiven POF ist zusätzlich die Absorption und Emission des Dotanden von Bedeutung und muss auf das Wirtsmaterial angepasst werden. Diese Erkenntnisse über die Absorptionsmechanismen helfen beim Design zukünftiger laseraktiver Polymerfasern.

Materialdämpfung PMMA:

Intrinsische Dämpfung hauptsächlich durch 3 Mechanismen:

- Elektronenabsorption [6]: Urbachs Regel $A_e = \alpha \exp\left(\frac{B}{\lambda}\right)$ für PMMA gilt $\alpha = 1,58 \cdot 10^{-12}$ und $B = 1,15 \cdot 10^4$
- Näherung der Rayleigh-Streuung mit Materialkonstanten für PMMA [1]: $A_R(\text{PMMA}) = 13 \cdot \left(\frac{633}{\lambda[\text{nm}]}\right)^4$
- Molekülschwingungen [6]:
Wellenzahl ν der höheren Harmonischen $u(=1,2,3\dots)$
 $\nu = \frac{\nu_f u - \nu_f \chi_e u(u+1)}{1 - 2\chi_e}$ mit Fundamentalschwingung ν_f ,
Anharmonizitätskonstante χ_e
- Intensität der Harmonischen: $E_\nu = \frac{f_\nu(\chi_e)}{f(\chi_e)} E_1$ für $(\nu \geq 2)$
mit $f_\nu(\chi_e) = \frac{\Gamma(\chi_e - 1)}{\nu(\chi_e^{1-2\nu-1})\Gamma(\chi_e^{1-\nu-1})\Gamma(\nu+1)}$ und der
Intensität der Fundamentale E_1
- Linienbreite der Schwingungen lässt sich nicht direkt abschätzen und muss durch Messungen bestimmt werden.

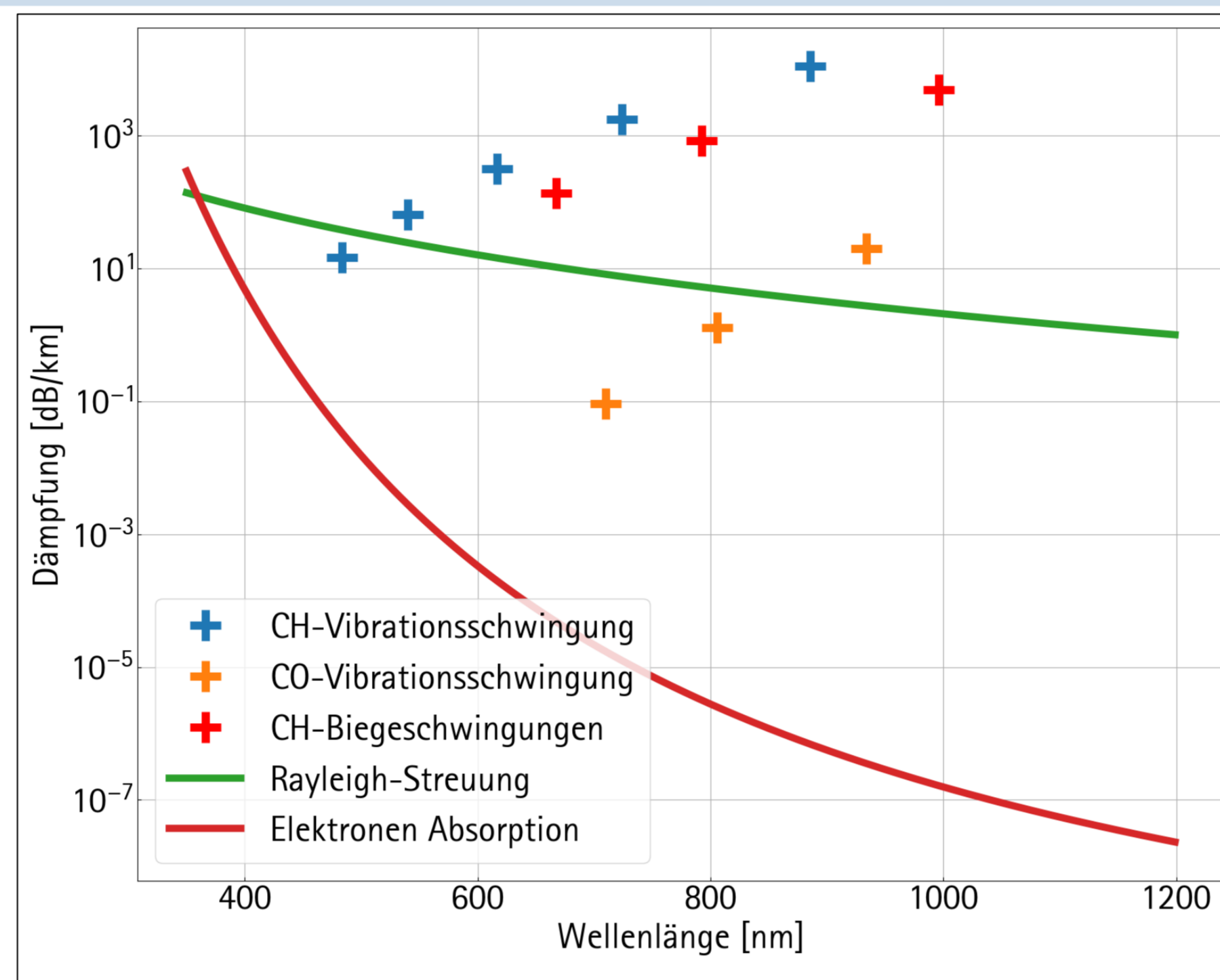


Abbildung 1: Theoretische Betrachtung der unterschiedlichen Dämpfungsmechanismen in PMMA im Bereich 350 nm - 1200 nm [1,6].

Organische Dotanden:

Im Bereich der Polymerfaserlaser werden unterschiedliche Dotanden verwendet. Aufgrund ihrer guten Löslichkeit im Wirtsmaterial stellen Farbstoffe dabei eine wichtige Klasse dar. Ein Beispiel für einen solchen Farbstoff ist Rhodamin B. Die optischen Wirkungsquerschnitte σ_{abs} und σ_{em} hierzu sind in Abbildung 2 gezeigt.

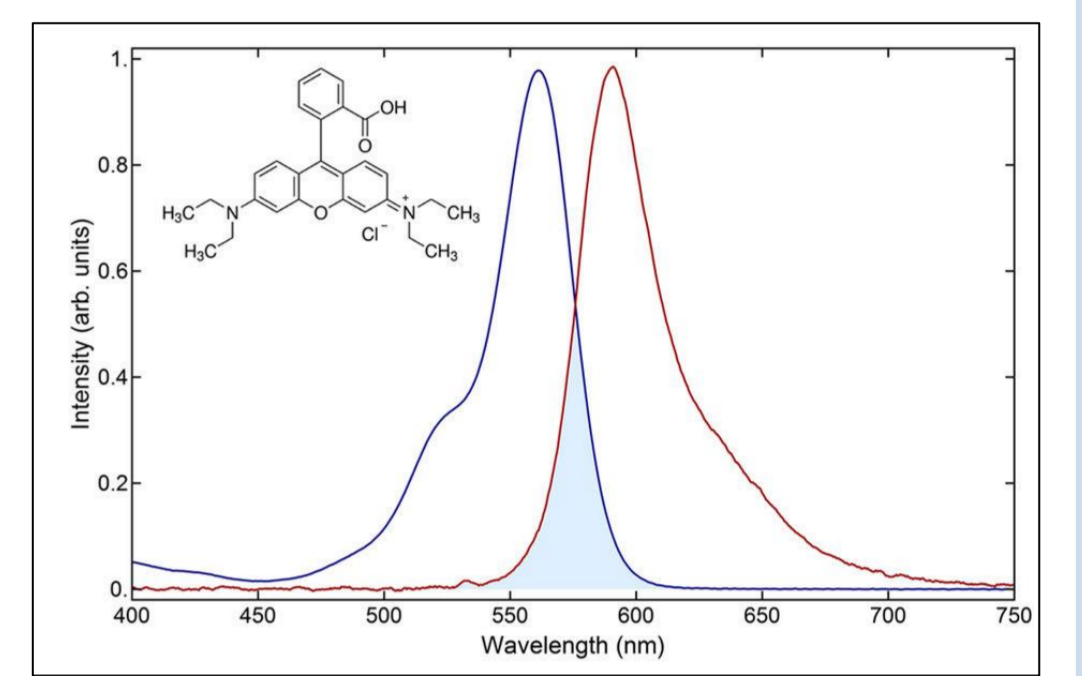
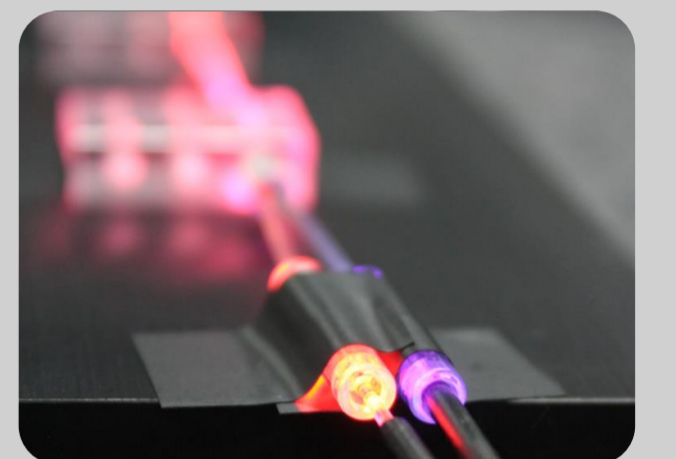
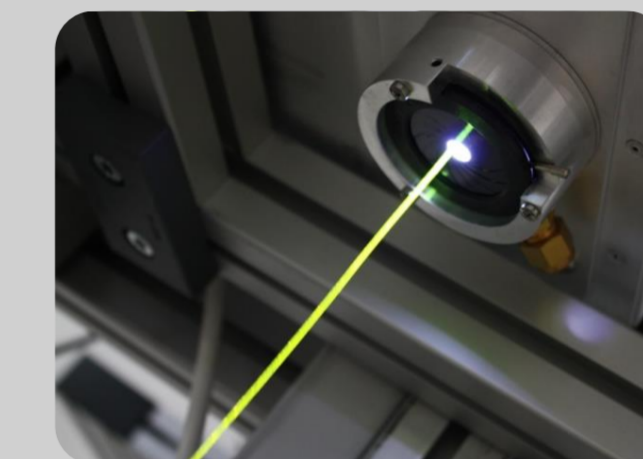


Abbildung 2: Absorption und Emissionsquerschnitt (blau/rot) von Rhodamin B [3].

Für den Einsatz in Faserlasern ist es von Bedeutung, dass Pump- und Seedwellenlänge im Bereich eines der Dämpfungsminima des Wirtsmaterials liegen.



Charakterisierung der optischen Verluste in PMMA-POF:

Monochromatische Anregung (Rückschneidverfahren)

- Superkontinuum-Laserquelle: 450 nm - 2400 nm
- Czerny-Turner Monochromator

Variante 1: Leistungsdetektion über Integrationskugel, dabei Messung des gesamten Spektrums.

Vorteil:

- Schnelle Messungen über weiten spektralen Bereich (in diesem Fall: 450nm - 850nm)
- Durch die Integrationskugel wird der Einfluss der Streuung an der Faserendfläche minimiert.

Nachteil:

- Keine Möglichkeit zu Unterscheidung zwischen Anregungswellenlänge und Emission (vgl. Abb. 4 Emissionsspektrum der Rhodamin B dotierten Faser bei Anregung mit 550 nm). Aus diesem Grund Messung mit Spektrometer zwischen 450 nm und 620 nm.

Variante 2: Wellenlängenselektive Leistungsdetektion mit Spektrometer

Vorteil:

- Unterscheidung zwischen Transmission und Emission möglich

Nachteil:

- Höherer Zeitaufwand
- Streuung an den Faserendflächen durch fehlerhafte Politur kann das Ergebnis verfälschen

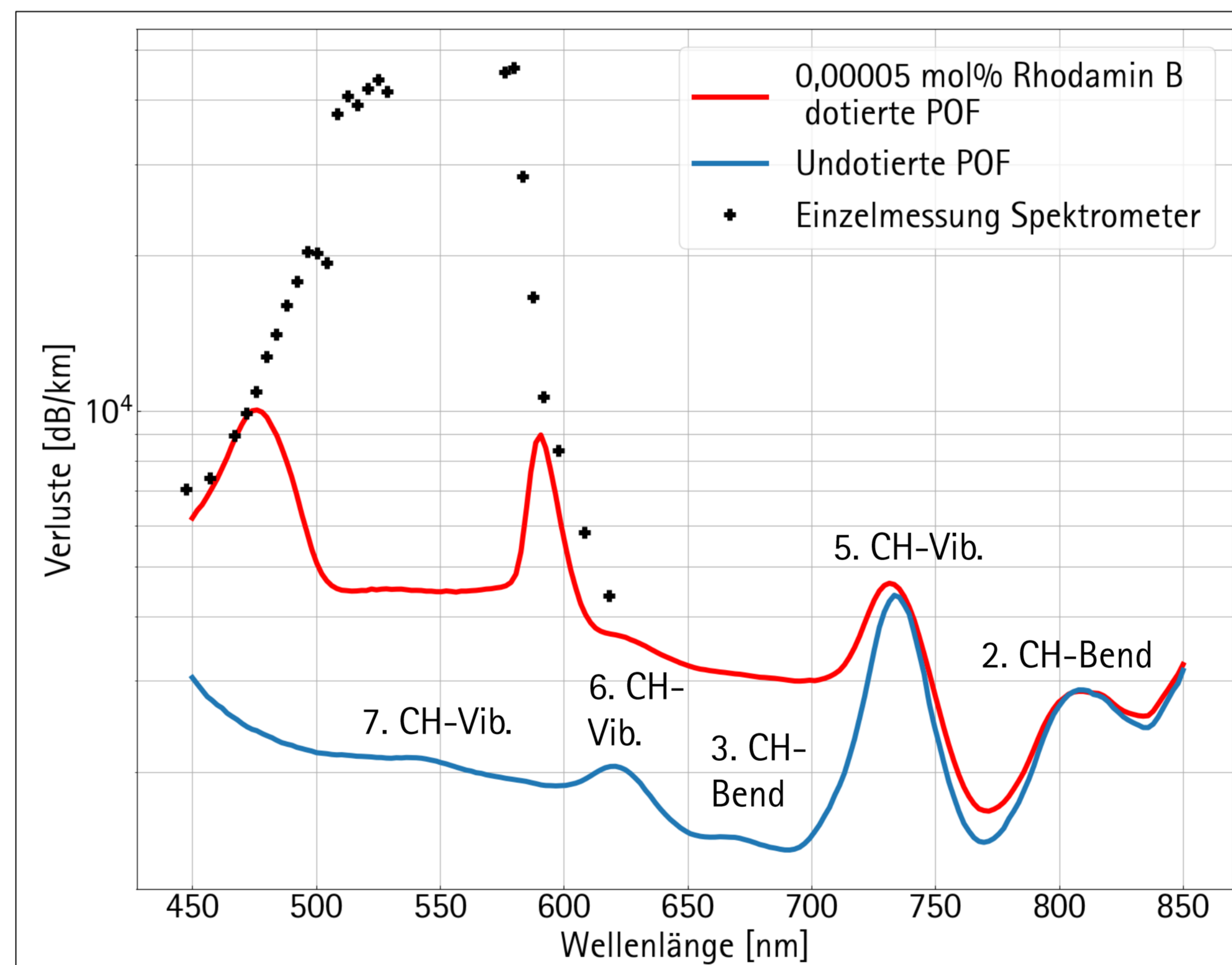


Abbildung 3: Dämpfung gemessen an dotierter und undotierter POF. Die rote/blau Linie zeigt die Auswertung kontinuierlicher Messungen mit einer Integrationskugel. Die schwarzen Markierungen zeigen das Ergebnis der Einzelmessungen mit einem Faserspektrometer.

- Gute Übereinstimmung der Spektren oberhalb ~730 nm, das heißt außerhalb der optischen Wirkungsquerschnitte des Farbstoffs
- Hohe Dämpfung im Emissionsbereich durch:
 - Überlapp von Absorptions-/Emissionsquerschnitt
 - Ungerichtete Fluoreszenz wird nur teilweise in Faser geführt

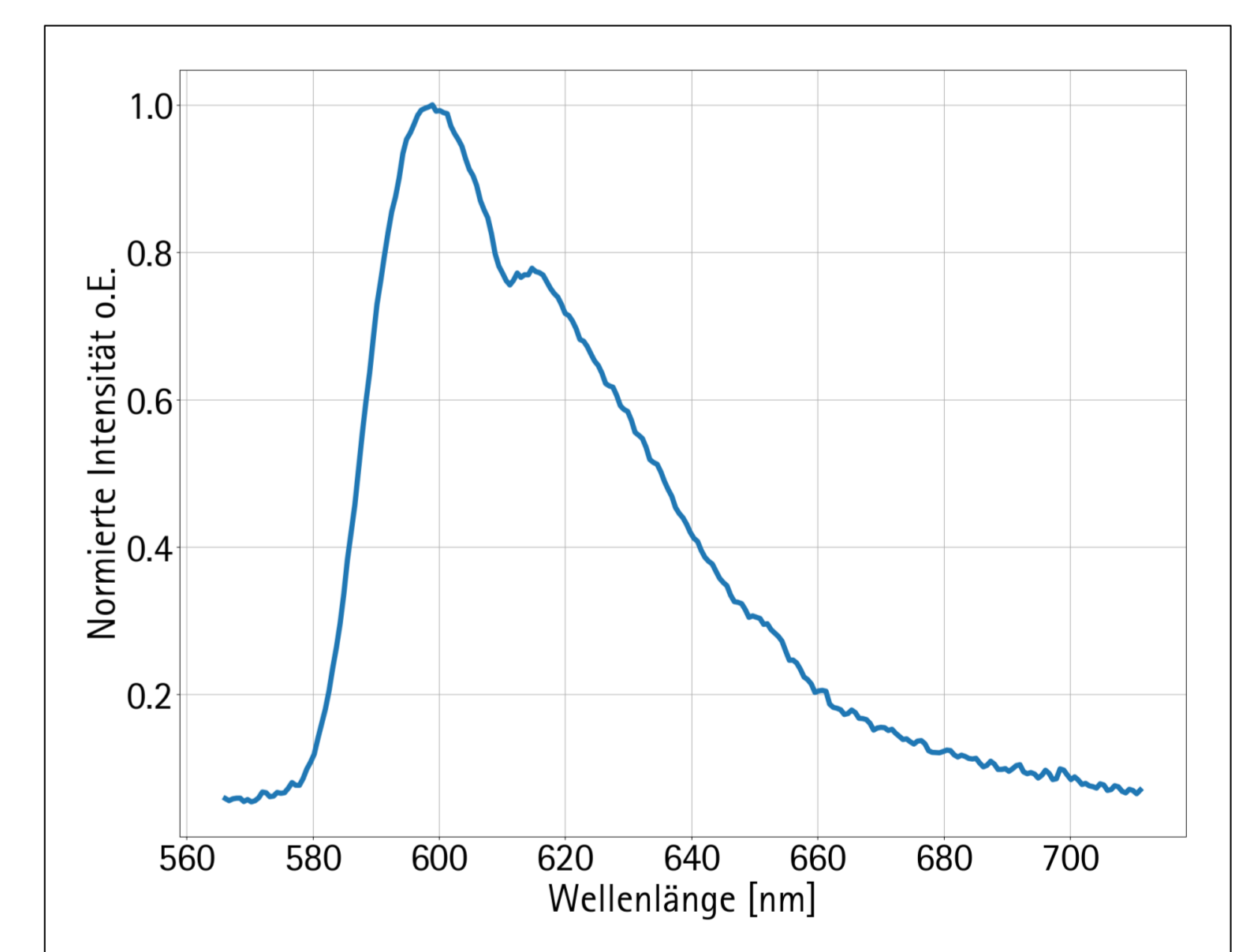


Abbildung 4: Gemessene Emission der mit Rhodamin B dotierten Faser bei Anregung mit 550 nm.

Ausblick:

- Weiteres Ziel ist die Herstellung von Singlemode (SM) Fasern. Dabei Abgrenzung gegen Multimode (MM) Fasern mit Faserparameter V.

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot r_{\text{Kern}} \cdot \sqrt{n_{\text{Kern}}^2 - n_{\text{Mantel}}^2} \quad [4]$$

- Die notwendige Indexdifferenz kann dabei durch Kodotierung mit bspw. Polymeren aber auch durch Farbstoffdotierung erreicht werden. Bei SM Fasern aus undotiertem PMMA-Mantel und mit Rhodamin B dotiertem Kern sind mögliche Kerndurchmesser durch Brechwertänderung bei Dotierung vorgegeben (Abb. 5).

$$n_{\text{neu}} = n_{\text{alt}} + \frac{2\pi N}{3n_0} \cdot a_{zz}^* \quad [5]$$

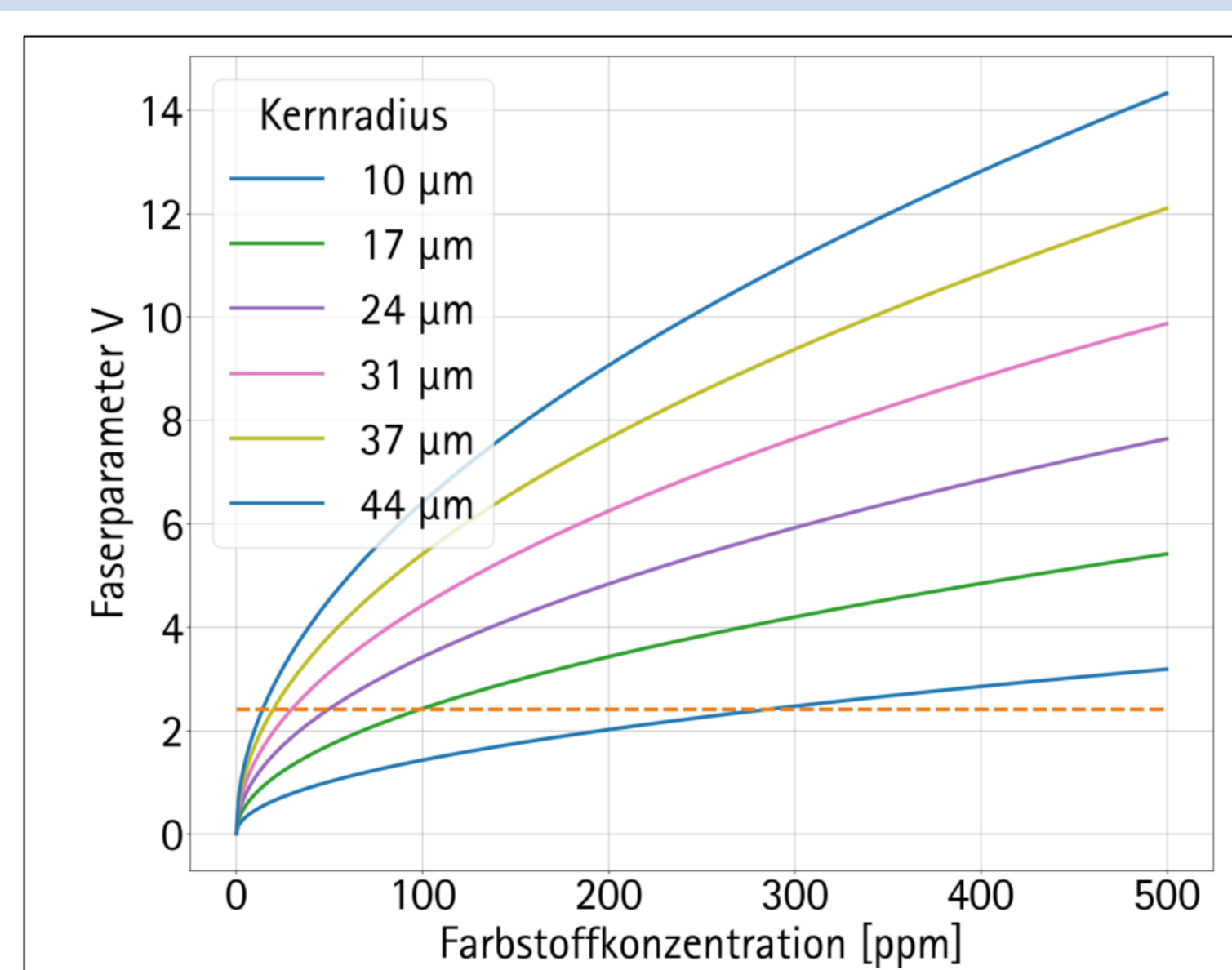


Abbildung 5: Faserparameter V in Abhängigkeit von der Farbstoffkonzentration des Kerns. SM für $V < 2,405$ (orange).

Danksagung:

Das Verbundprojekt LaPOF (Teilprojekt DEHERA) wird mit Mitteln des europäischen Fonds für regionale Entwicklung gefördert (Fördernummer ZW 6-85003502).

Referenzen:

- [1] J. Zubia and J. Arrue (2001), Plastic Optical Fibers: An Introduction to their Technological Process and Applications, Optical Fiber Technology 7, 101-140
- [2] W. Groh (1988), Overtone absorption in macromolecules for polymer optical fibers, Makromol. Chem. 189, 2861-2874
- [3] N. Tomazio et. al. (2017), Low threshold Rhodamine-doped whispering gallery mode microlasers fabricated by direct laser writing, Scientific Reports 7, 8559 (2017)
- [4] O. Ziemann et. al. (2007), POF-Handbuch, Springer
- [5] M. Kuzyk (2007), Polymer Fiber Optics, CRC Press Taylor & Francis Group
- [6] Y. Koike (2015), Fundamentals of Plastic Optical Fibers, Wiley-VCH Verlag