Hohlfaser und Mikrokanal basierter Gassensor

Alberto Rodrigues, Volker Lange, Dietrich Kühlke

Inhalt

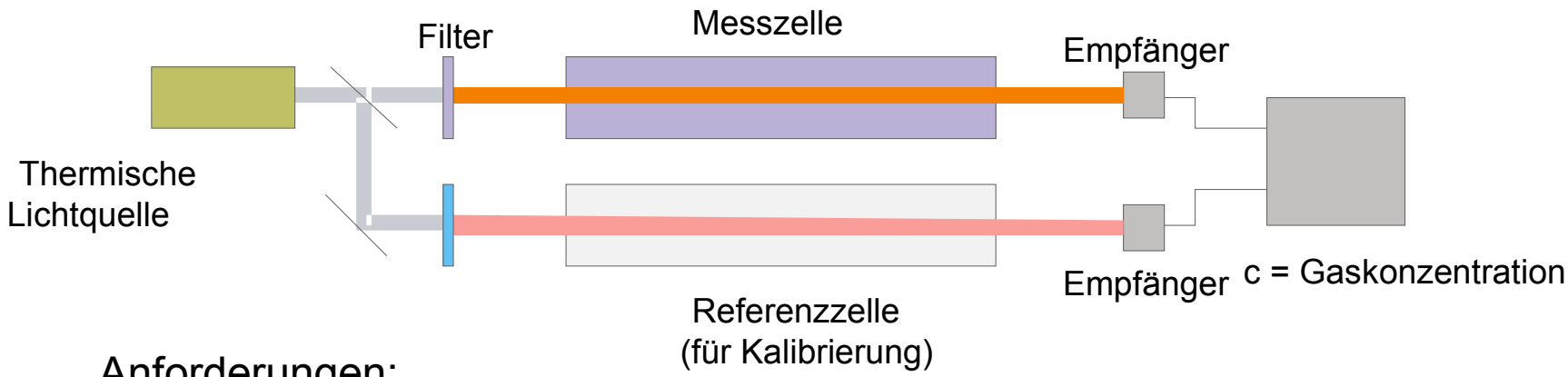
- Prinzip der Atomabsorptionsspektroskopie
- Ziel der Projektverlängerung
- Eignung von Hohlfaser
- Eignung von Mikrokanalstruktur
- Auswertealgorithmus
- Zusammenfassung
- Weiterführende Aufgabenstellungen

Prinzip der Absorptionsspektroskopie

Messung der Absorption durch Spektrallinien des Gases – Beispiel Zweistrahl-Methode

Spektraler Transmissionsgrad

$$T(\lambda, c) = \frac{I}{I_0} = e^{(-k(\lambda, c) c L)}$$



Anforderungen:
- größere Absorptionsstrecke L → erhöhte Nachweisempfindlichkeit
- Vermeiden der zusätzlichen Referenzzelle

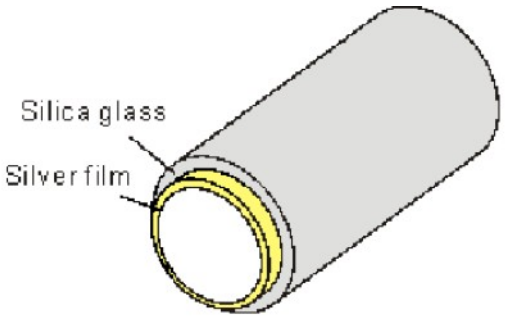
Ziel des verlängerten Projektes

- Entwicklung eines kompakten hohlfaserbasierten CO_2-Sensors bzw. Sensoren für andere Gase auf der Grundlage der Ergebnisse des fertigen hohlfaserbasierten O_2-Sensors
- Prinzipielle Eignung einer selbst entwickelten Mikrokanal-Wellenleiterstruktur
- Verallgemeinerung des Auswertealgorithmus auf beliebige Gase in der HITRAN-Datenbank [4] für VCSEL-Laser basierte Sensors

Hohlfaser Eignung Eigenschaften

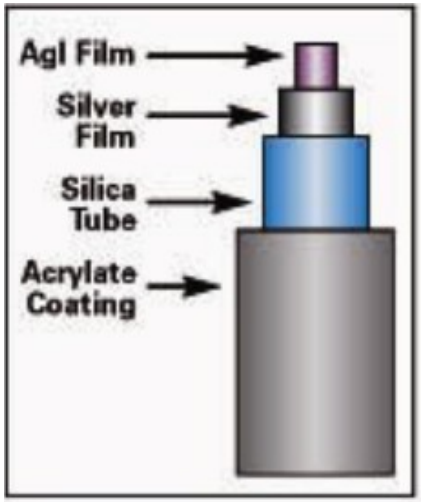
VSS Modell

Durchmesser (innen / außen):
320/450, 530/700, 700/850 µm



HWEA Modell

Durchmesser (innen / außen):
300/750, 500/850, 750/1200, 1000/1600 µm



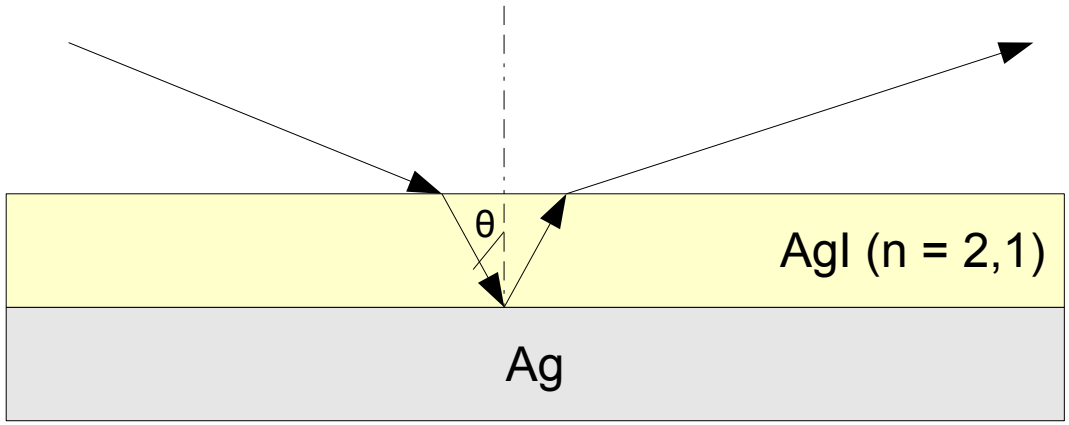
Aufgaben: - Vergleich der Verluste beider Hohlfaser
- Verluste für verschiedene Krümmungen

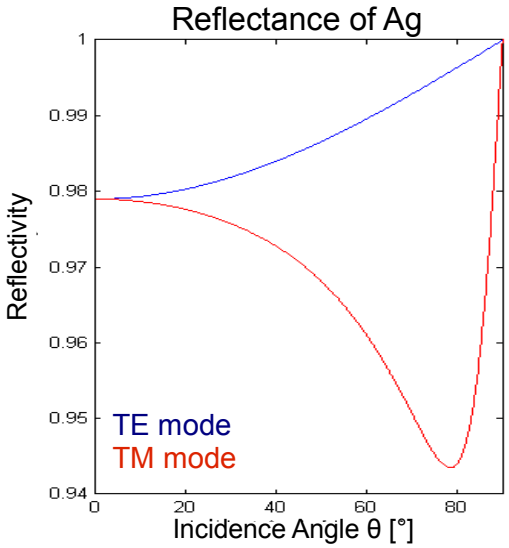
Minimaler Biegeradius der VSS Modell Hohlfaser mit 700 µm Außendurchmesser: 8 cm

Hohlfaser Eignung
Dämpfung der geraden Hohlfaser

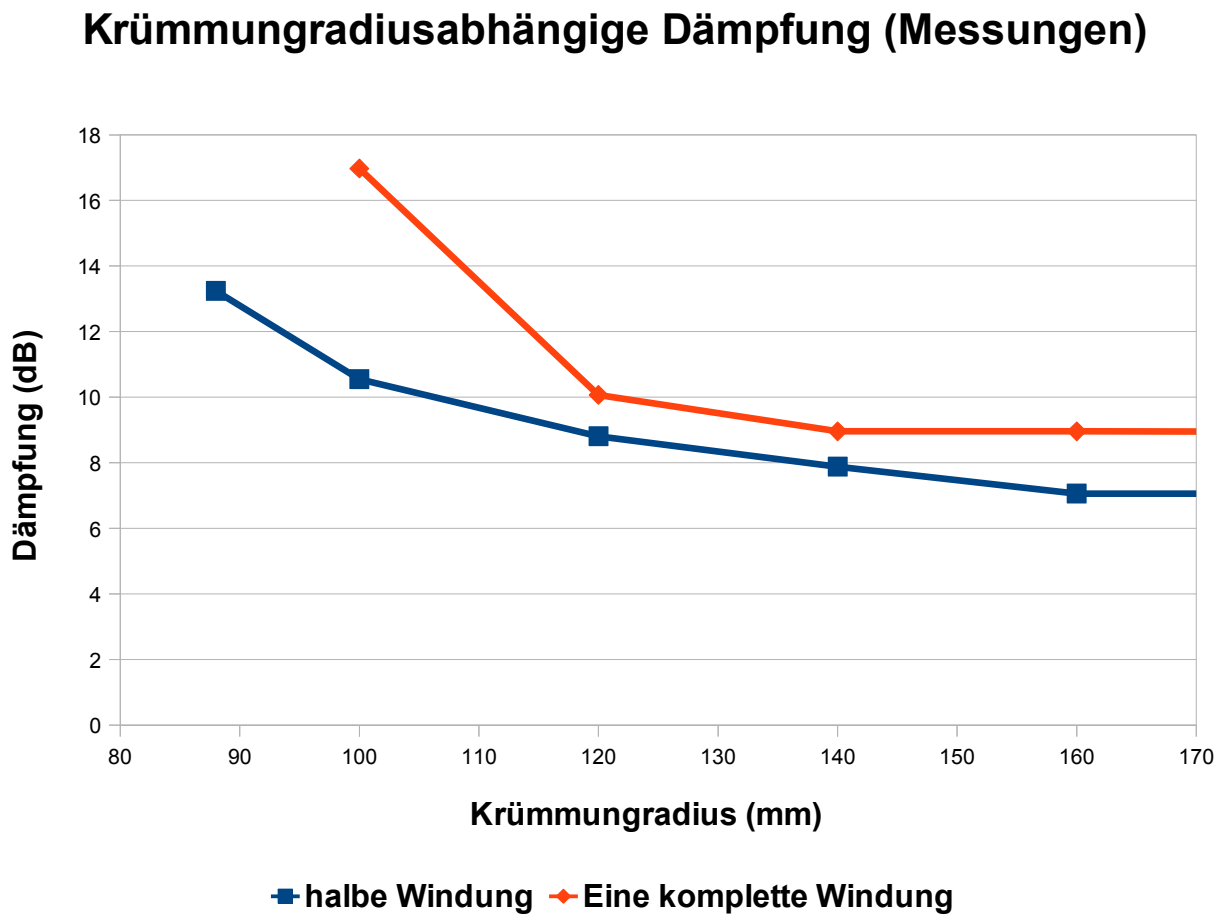
Wellenleiter	Messung	Simulation (halbwinkel 5,7°)	Reflekt. Schicht
VSS 530/850 (2m) Probe 1	2,25 dB (1,26 dB/m)	4,27 dB (2,14 dB/m)	Ag
VSS 530/850 (2m) Probe 2	2,76 dB (1,38 dB/m)	4,27 dB (2,14 dB/m)	Ag
HWEA 500/850 (3m)	9,90 dB (3,30 dB/m)	10,57 dB (3,52 dB/m) *	AgI / Ag

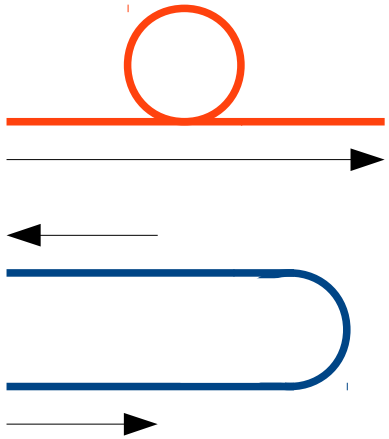
* AgI Dicke in Simulation = 250 nm



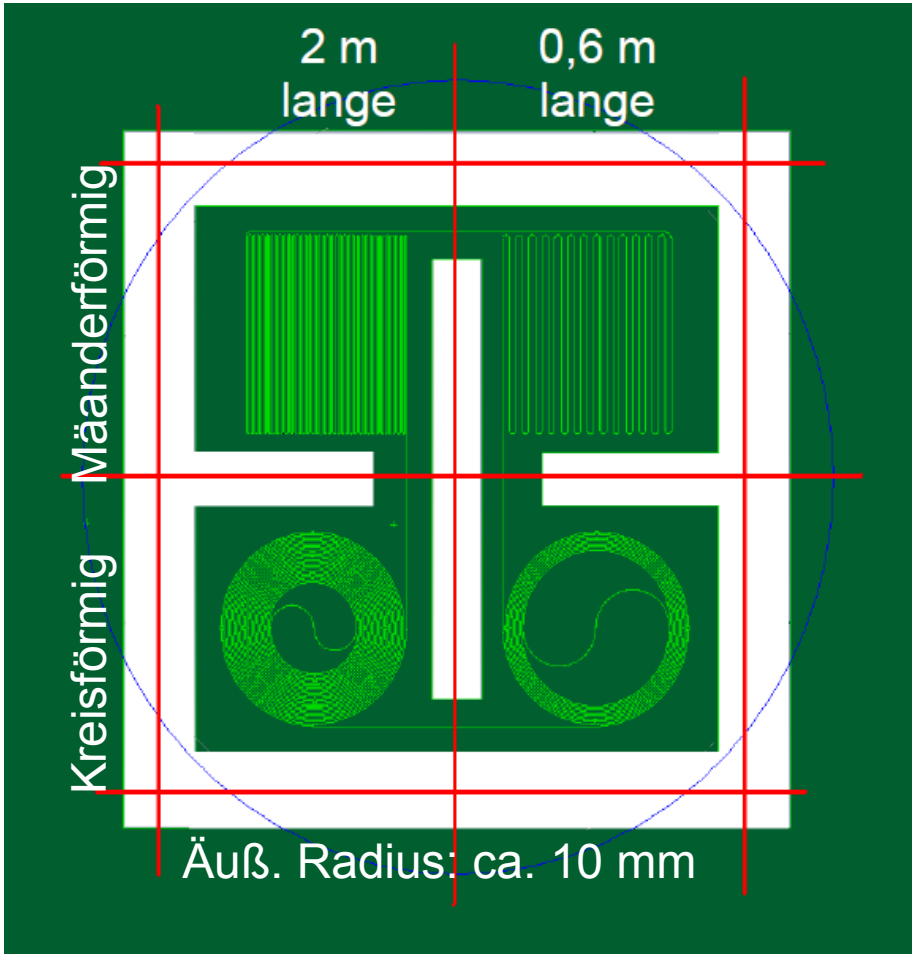


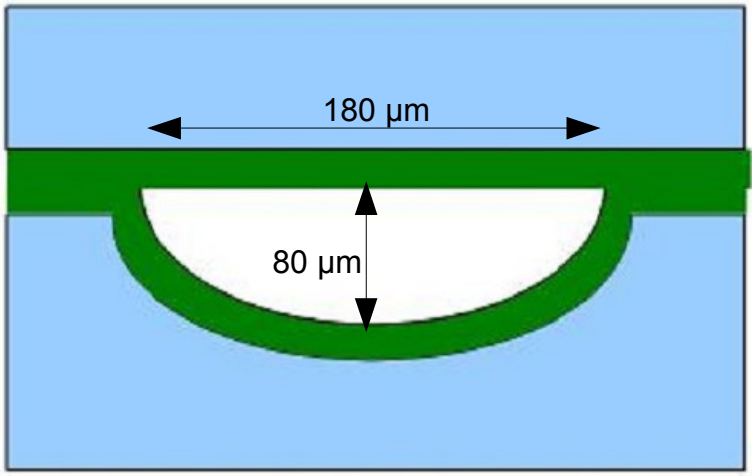
Hohlfaser Eignung
Dämpfung der gekrümmten Faser





Mikrokanal Eignung
1. Struktur





Mikrokanal Querschnitt

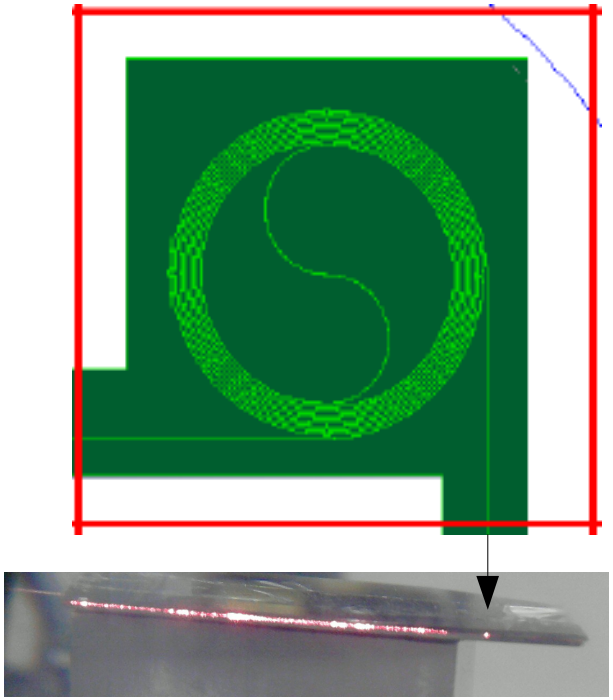
Glas

Gold

Mikrokanal Eignung
Charakterisierung der 1. Struktur

- ca. 35 dB Dämpfung bei 633 nm Wellenlänge durch den 2 m langen kreisförmigen Mikrokanal
- Kreisförmige Mikrokanäle zeigen weniger Verluste als mäanderförmige Mikrokanäle
- Helle Bereiche: Lichtaustritt durch nicht richtig bedeckten Wafer

  Heller Punkt: Kanalausgang (geführtes Licht)
- Verluste sind noch zu hoch

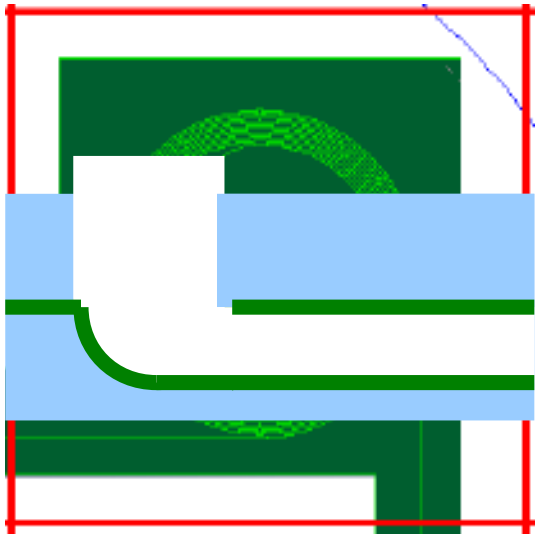


Mikrokanal Eignung
Optimierung der Geometrie

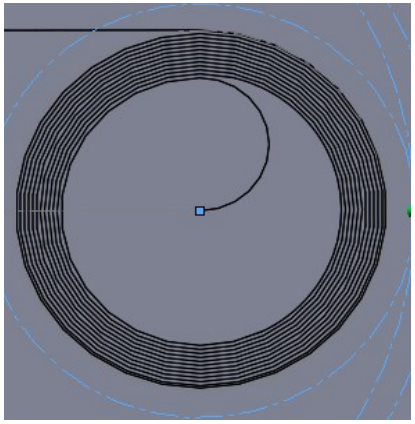
- Optimierung der Parameter:
  - Geometrie
  - Kanaltiefe

Simulation in Zemax der Dämpfung:

Beide:
- Kanaltiefe: 225 µm
- Äußerer Radius: 18,8 mm

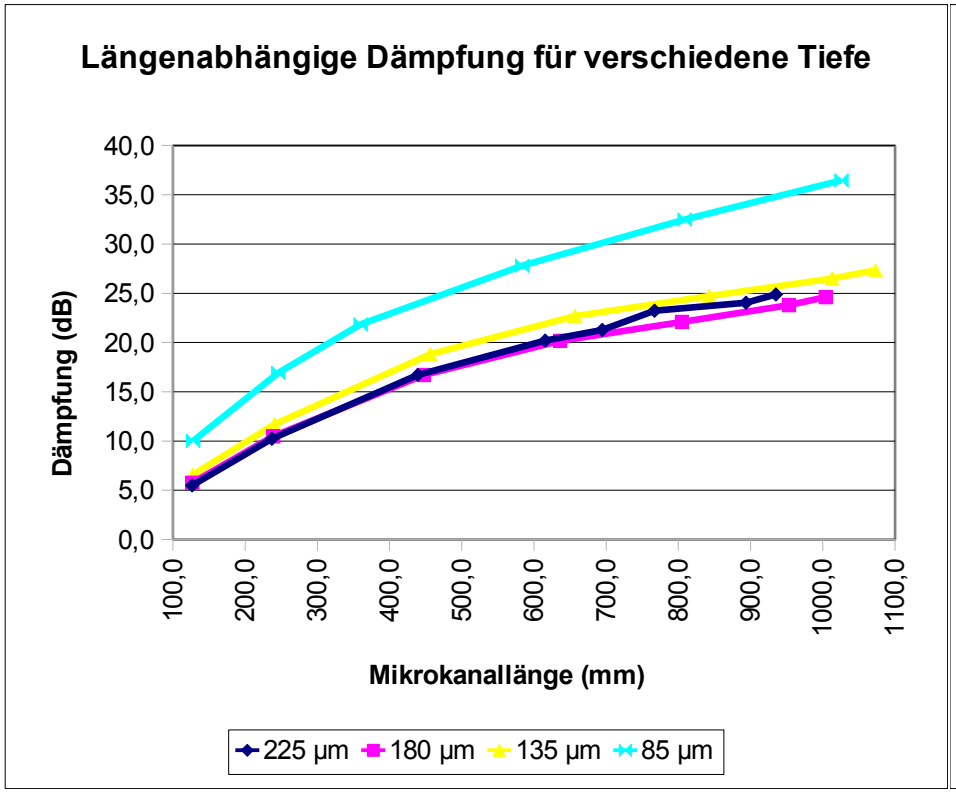


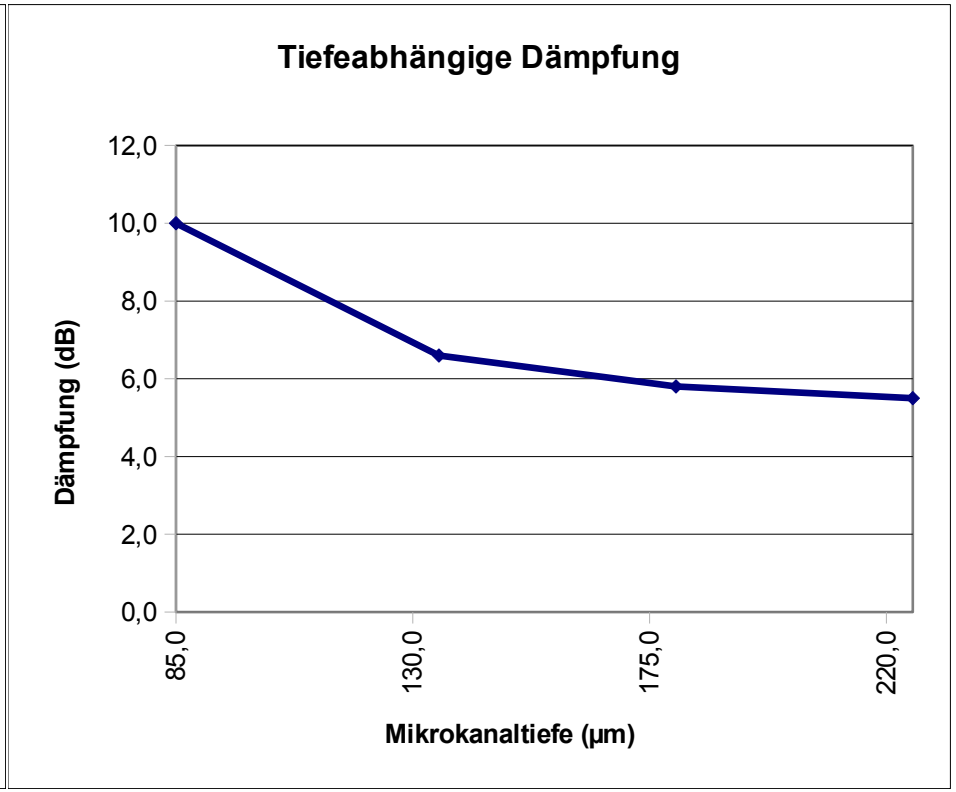
Länge: 925 mm
Dämpfung: 41,4 dB
(44,7 dB/m)



Länge: 935 mm
Dämpfung: 24,9 dB
(26,6 dB/m)

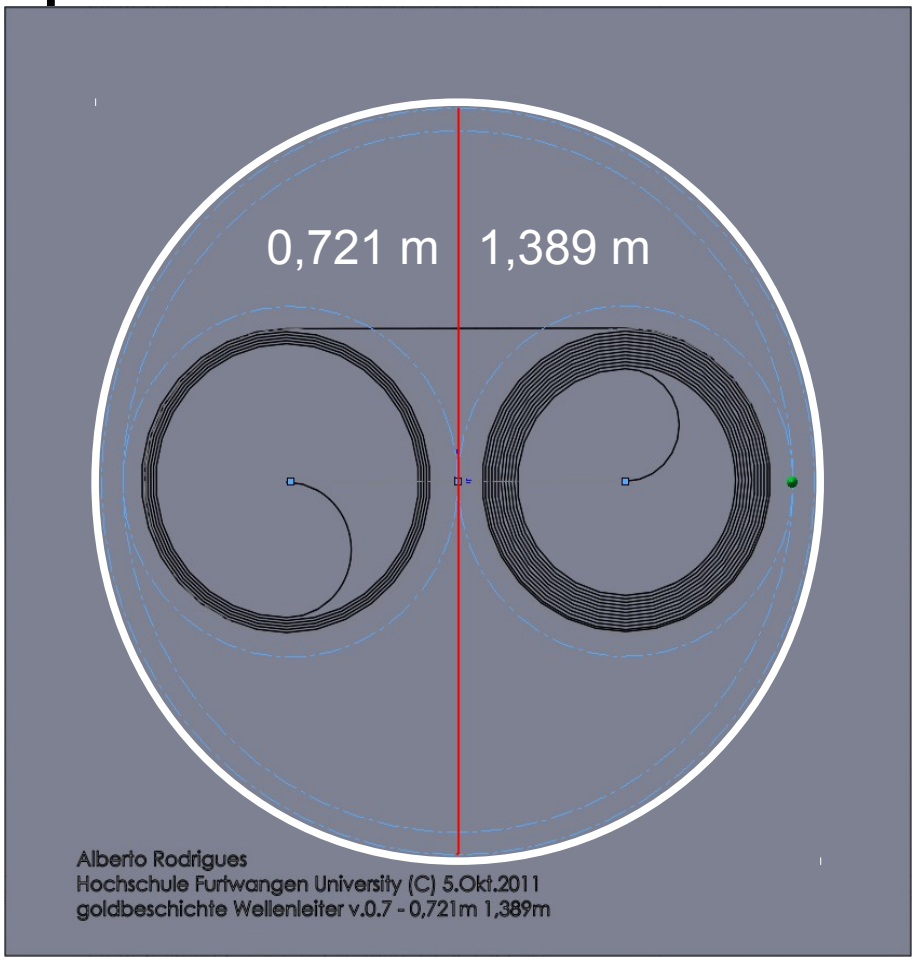
Mikrokanal Eignung
Optimierung der Mikrokanaltiefe

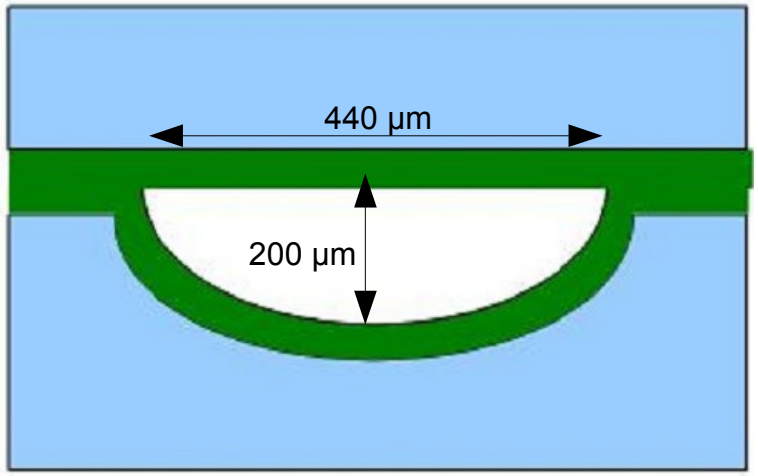




Simulationen mit Software Zemax

Mikrokanal Eignung optimierte Struktur

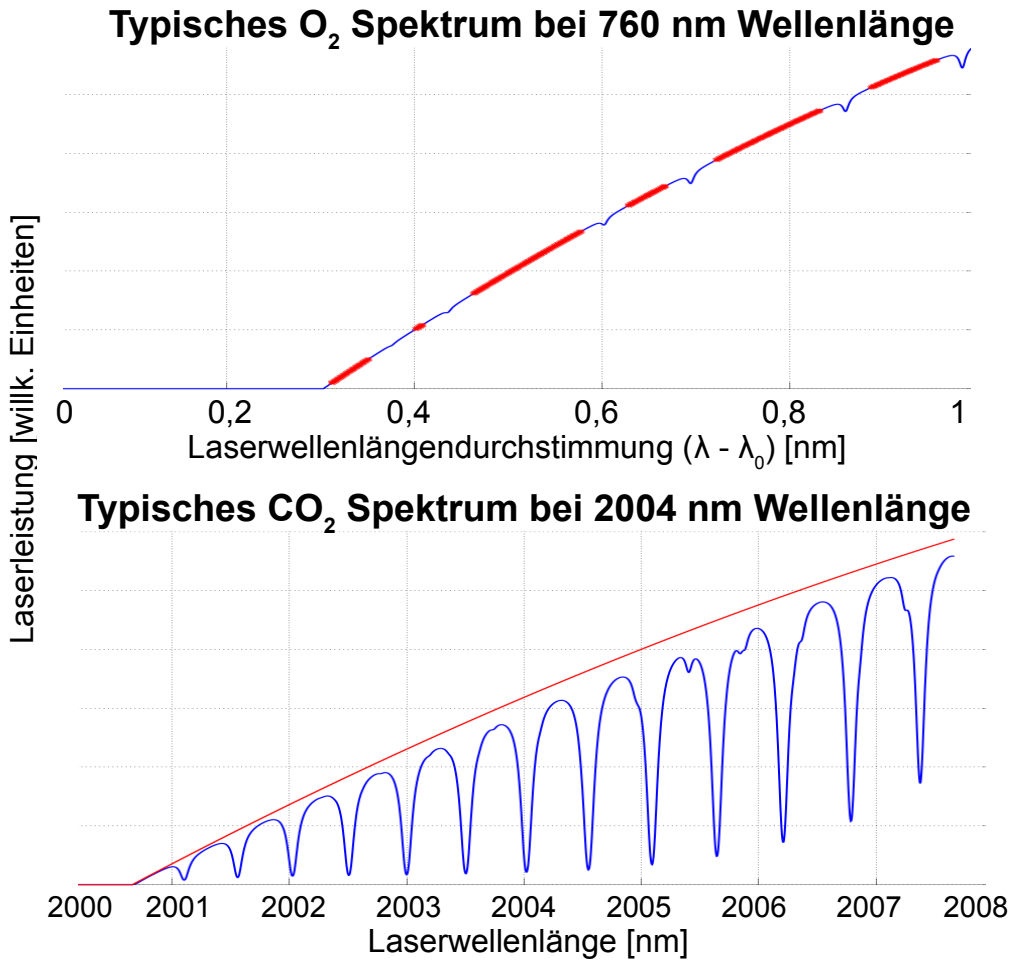




Mikrokanal Querschnitt

Glas | Gold

Auswertealgorithmus
Version für O_2-Sensor und verallg. Version



- Version für O_2-Sensor
  - Prinzip: Basiskurve bestimmt aus interpolierten Zwischenstücken
  - Forderungen: keine Überlappung der Linien
- Verallgemeinerte Version
  - verbesserte grafische Benutzeroberfläche
  - verbesserter Algorithmus für Erkennung der Linienstelle auch bei überlappenden Linien
  - Bessere Bestimmung der Konzentration durch neue Anpassungsmethode

Zusammenfassung

- Hohlfaser: gut geeignet für Gassensorik
  - Keine Fluktuationen des spektralen Transmissionsgrads
  - Kurze Befüllzeit
  - Höhere Dämpfung begrenzt die Wellenleiterlänge auf einige Meter
- Mikrokanal-Wellenleiter
  - Ermöglicht einen sehr kompakten Aufbau
  - Prinzipiell geeignet als Wellenleiter
  - Höhere Dämpfung begrenzt die Wellenleiterlänge auf einige Meter
- Auswertealgorithmus
  - Algorithmus entwickelt in MATLAB™
  - Verallgemeinert für alle Gase in der HITRAN-Datenbank [4] für Sensoren basiert auf Rampen gesteuerten VCSEL-Laser

Weiterführende Aufgabenstellungen

- Hohlfaser
  - Aufbau eines Prototyps für CO_2
  - Charakterisierung des Sensorsystems
- Mikrokanal-Wellenleiter
  - Herstellung der optimierten Struktur
  - Charakterisierung der optimierten Struktur
  - Aufbau eines kompletten Sensorprototyps
- Auswertealgorithmus
  - Entwicklung und Charakterisierung des Algorithmus

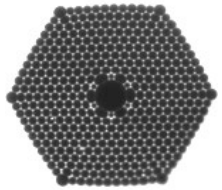
Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

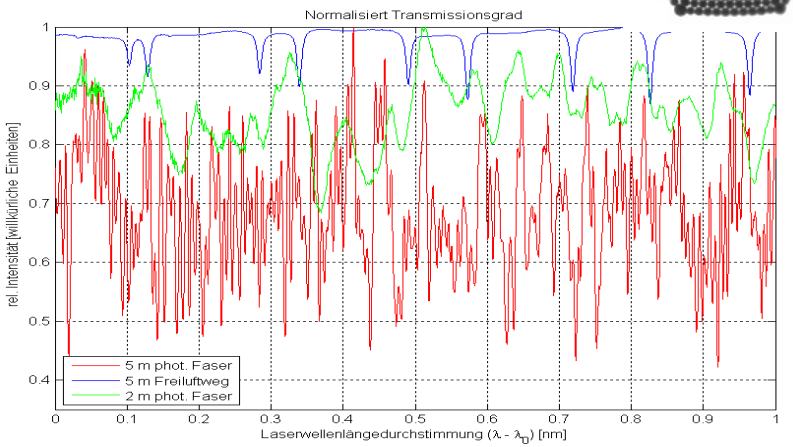
Alberto Rodrigues, Volker Lange, Dietrich Kühlke

Literaturnachweis:

[1] ZAFH – PHOTONn PHOTONische Verfahren in neuen Dimensionen, Forschungsbericht 2008
[2] ZAFH – PHOTONn PHOTONische Verfahren in neuen Dimensionen, Forschungsbericht 2009
[3] ZAFH – PHOTONn PHOTONische Verfahren in neuen Dimensionen, Forschungsbericht 2010
[4] Rothman, L.S. et al, “The HITRAN 2004 molecular spectroscopic database”, Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer 96, 139-204 (2005)
[5] Polymicro Technologies, LLC, “The Book on the technologies of Polymicro” and product catalogue, 2005.
[6] Hollow glass fibres for infrared lasers, http://do-ko.jp/specs.html, accessed on February 2009.
[7] R.W. Tjerkstra, “Isotropic etching of silicon in fluoride containing solutions as a tool for micromachining”, Doctoral Thesis, Universiteit Twente, 23rd of September, 1999.
[8] V. Schewtschenko, Bachelor Thesis, Hochschule Furtwangen, 2009

Photonische Bandgap-Fasern



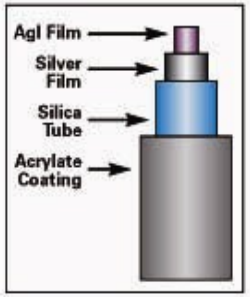


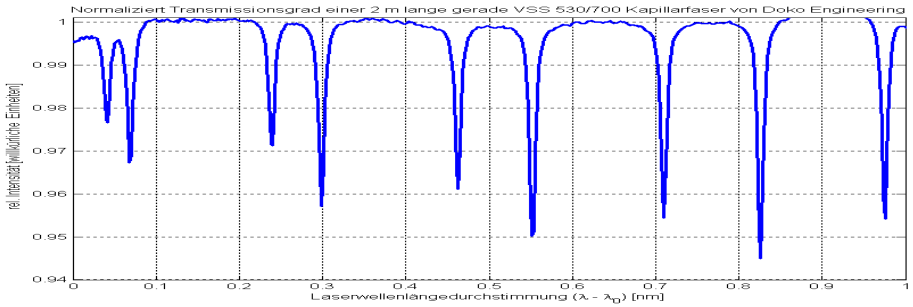
Spektraler Transmissionsgrad für 2m und 5m PBF-Länge, sowie zum Vergleich der Transmissionsgrad eines 5m Luftwegs mit Sauerstoffabsorptionslinien.

=> PBF sind nur eingeschränkt geeignet :

- Fluktuationen des spektralen Transmissionsgrads
- 20% O_2-Konzentration in Luft nicht nachweisbar bei 5 m Faserlänge
- Relativ lange Befüllzeit

Kapillarfaser





Spektraler Transmissionsgrad einer 2 m Kapillarfaser mit Sauerstoffabsorptionslinien.

=> Kapillarfasern sind gut geeignet für Gassensorik:

- Keine Fluktuationen des spektralen Transmissionsgrads
- kurze Befüllzeit
- höhere Dämpfung im Vergleich zur PBF begrenzt die Wellenleiterlänge auf einige Meter