Faseroptischer Gassensor

Alberto Rodrigues da Cruz Neto, Shervin Keshavarzi, Volker Lange, Dietrich Kühlke

Fakultät Computer & Electrical Engineering

Hochschule Furtwangen

Faseroptischer Gassensor

Einführung:

Gassensoren - vielfältige Aufgaben in der Prozess- und Qualitätskontrolle:

- Umwelttechnologie (Überwachung von Schadstoffemissionen)
- Automobilindustrie (Lambda-Sonde, Luftqualität im Fahrgastraum)
- Gebäudemanagement (Energiekosten für die Raumklimatisierung, „Wellnesssensoren“, Erkennung von Bränden im Frühstadium)
- Lebensmittelindustrie

Nachweis von Gasen:

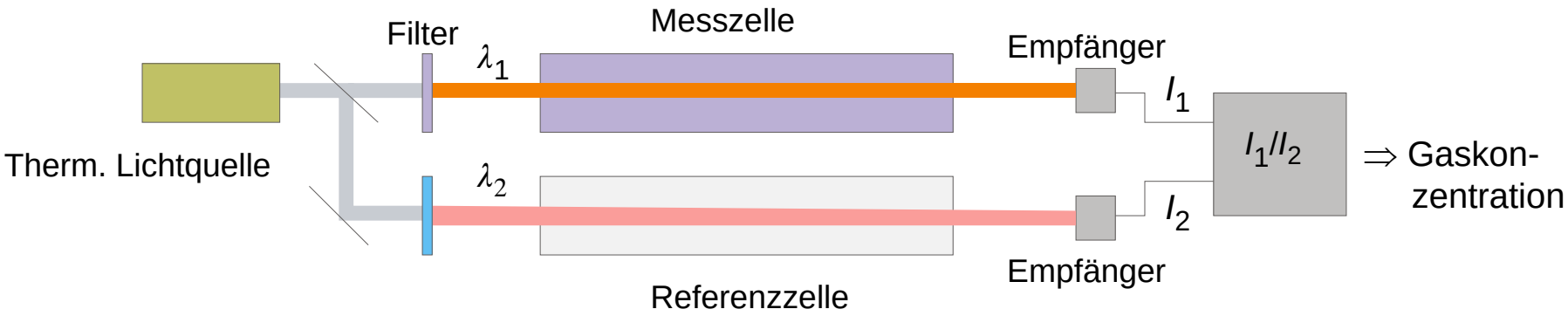
- Metalloxid-Sensoren
- auf Basis von Feldeffekttransistoren
- elektrochemische Gassensoren
- Pellistoren
- optische Gassensoren (hohe Selektivität!)

Faseroptischer Gassensor

Einführung – Prinzip optischer Gassensor:

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

Spektraler Transmissionsgrad $T(\lambda) = e^{-k(\lambda)L}$



Forderungen:

- Große Absorptionsstrecke L - Empfindlichkeit
- großer Absorptionskoeffizient $k(\lambda)$ der Spektrallinie (=> IR-Bereich bei molekularen Gasen)
- Vermeiden zusätzlichen Referenzarm
- kleines Absorptionsvolumen

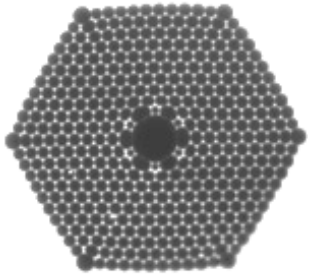
Faseroptischer Gassensor

Idee – Absorptionsweg ersetzen durch photonische Hohlfaser

Ziel: Aufbau eines Sauerstoff-Gassensors basierend auf Absorption in photonischen Bandgapfasern

- Prototyp eines kompakten Sauerstoffsensors bei einer Wellenlänge von 760 nm
- Nachweis geringer Sauerstoffkonzentrationen nahezu in Echtzeit
- Vermeiden zusätzlichen Referenzarm
- kleines Absorptionsvolumen

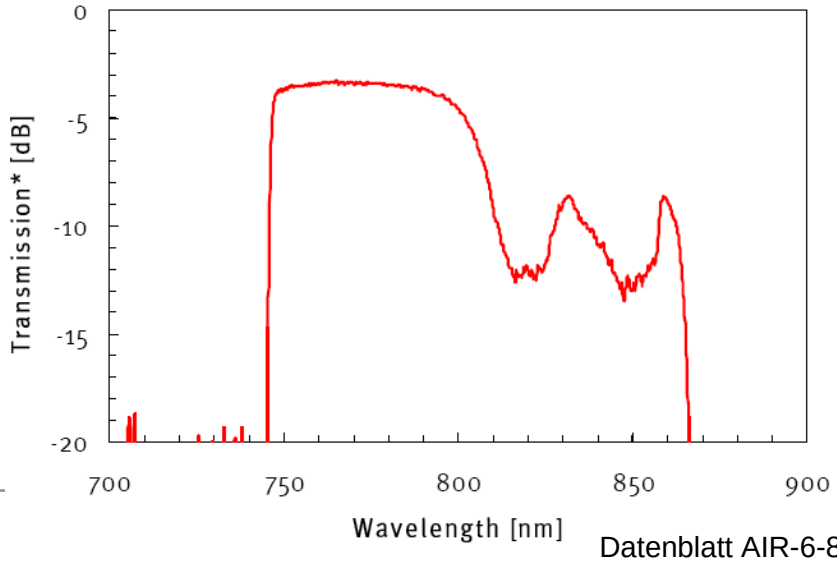
Querschnitt PBF AIR-6-800



Kerndurchmesser 6 µm

< 0,4 dB/m bei 760-800 nm

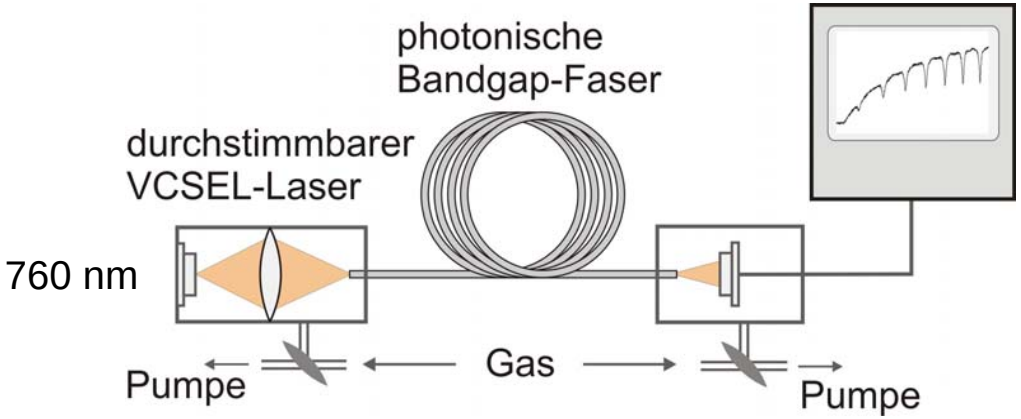
Typisches Transmissionsspektrum (2m-Faser):



Datenblatt AIR-6-800 von Crystal Fibre

Faseroptischer Gassensor

Konzept:



Vorteile:

- große Absorptionslängen bei kompaktem Aufbau
- geringes Absorptionsvolumen
- kein zusätzlicher Referenzarm erforderlich
  (Signal enthält Referenz und konzentrationsabhängige Absorptionslinien
- kleines Absorptionsvolumen

Faseroptischer Gassensor

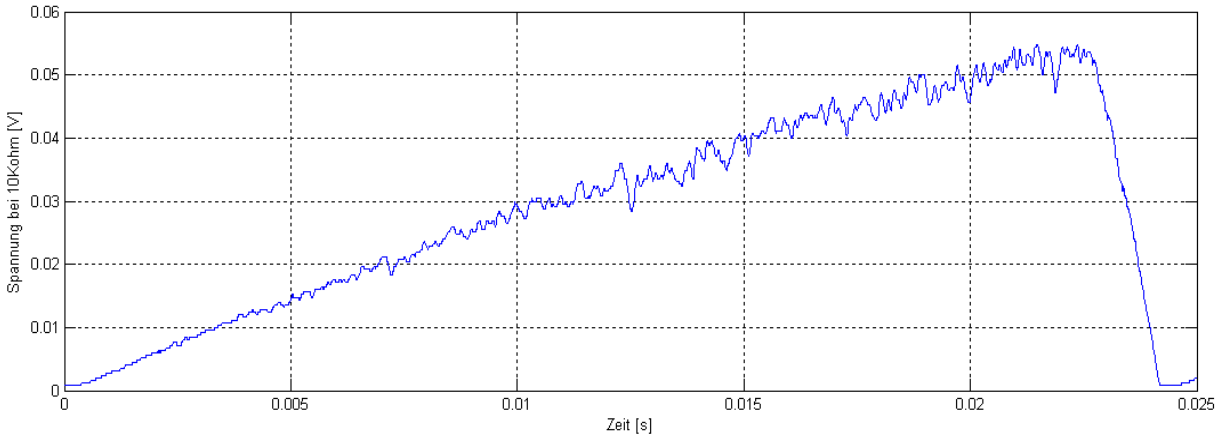
Aufgaben:

- Eignung photonischer Hohlfasern für die Gassensorik
  - Signal-Rauschverhältnis
  - Zeitkonstante (Füllverhalten)
  - Simulation
- Konstruktive Lösung für miniaturisierten Vakuumadapter
  - Integration Lichtquelle und Empfänger
  - keine aufwändige Vakuumtechnik,
  - Minimierung der Füll- und Evakuierungszeit der Faser
  - Vermeidung typischer Probleme solcher Fasern (Verschmutzung der Faserenden, Verschluss der Hohlräume durch Feuchtigkeitskondensation)
- Messwerterfassung zur Ermittlung der Gaskonzentration in Echtzeit

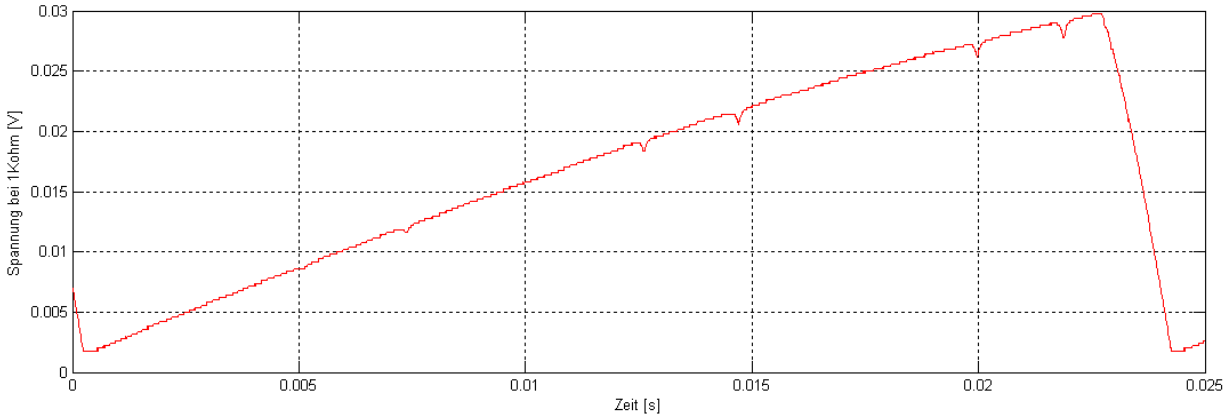
Faseroptischer Gassensor

Erste Ergebnisse - Transmissionsgrad:

5 m Bandgapfaser bei
Normaldruck,
VCSEL 763 nm,
Laserstrom 4 – 8 mA
Durchstimmbereich
762,4 nm – 763,6 nm



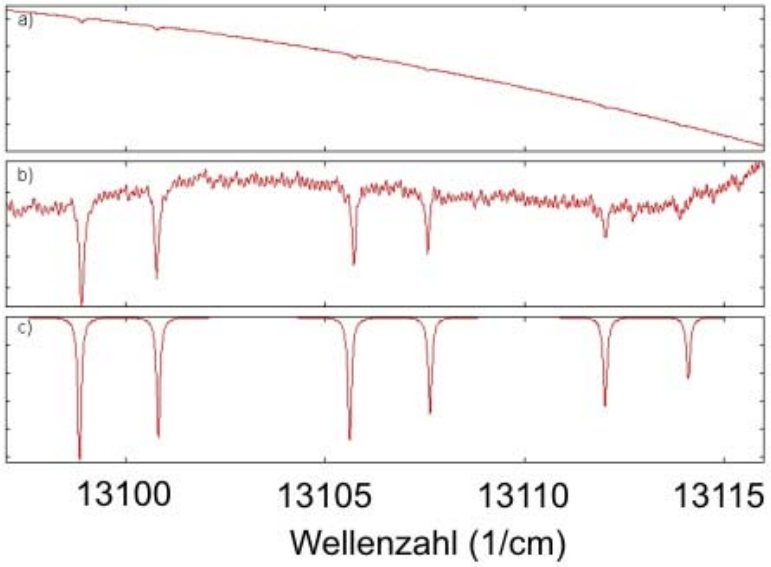
2,3 m Freiluftweg
Laserstrom 4 – 8 mA



Faseroptischer Gassensor

Erste Ergebnisse:

O_2-Spektrum in 2 m Luft frei laufend bei 760 nm:

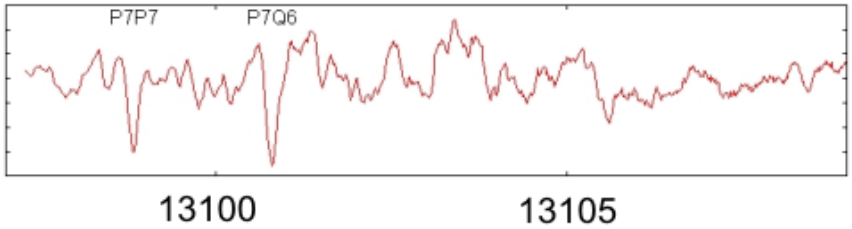


Laserleistung vs Strom

Differenzsignal

Vergleichsspektrum auf HITRAN-Basis

2 m Bandgapfaser (Umgebungsdruck):

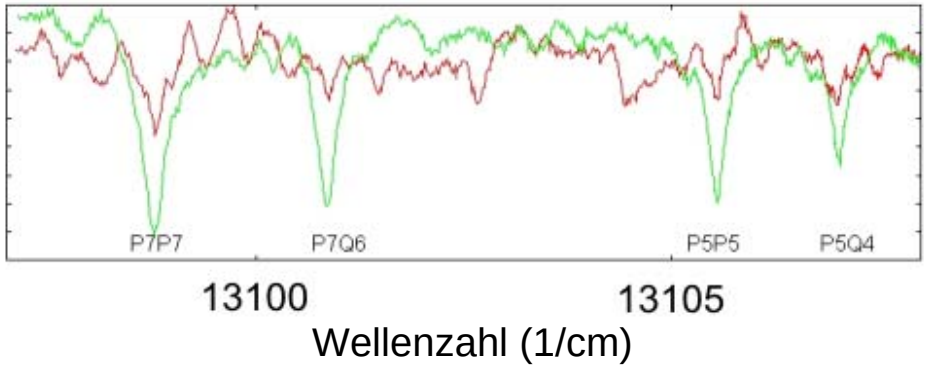


Differenzsignal („mechanisch“ gemittelt)

Faseroptischer Gassensor

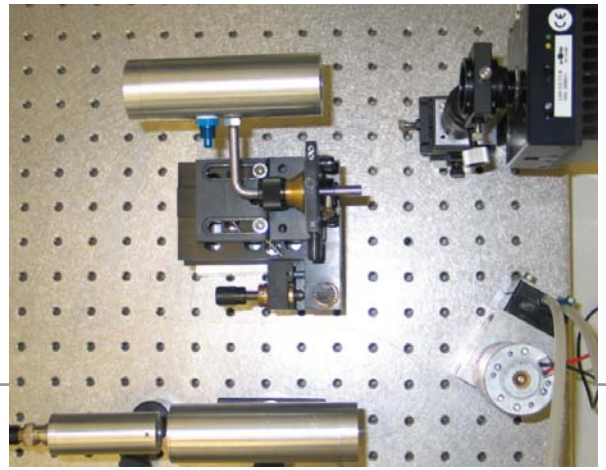
Erste Ergebnisse:

2 m Bandgapfaser gefüllt mit 4 bar:



Differenzsignal
rot: ca. 0,001 bar
grün: 4 bar

Vakuumadapter:



Faseroptischer Gassensor

Untersuchung Rauschursachen

- Ausschließen von Etalon-, und Interferenzeffekten
- Räumliche Stabilität des Laserfokus
- Einfluss der Polarisation der Laserstrahlung (zirkulare und lineare Polarisation mit unterschiedlichen Orientierungen)
- Einfluss der Einkopplung (Position des Laserspots auf der Eintrittsfläche der Faser)
- Bandbreite der Laserstrahlung
- Position und Lage der PCF

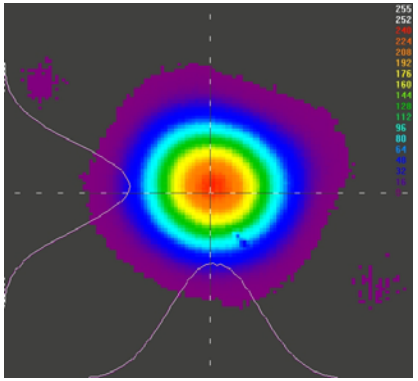
Ursache - statistische Variationen des spektralen Transmissionsgrads der Bandgapfaser

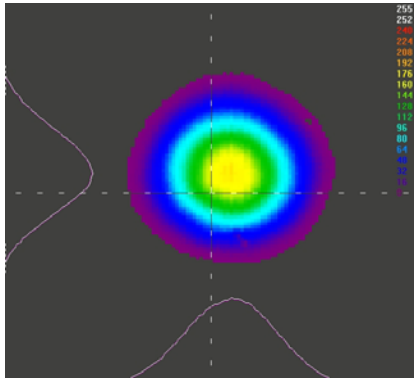
- stark abhängig von Faserposition (Krümmung, Lage, etc.)
- abhängig von der Einkopplung
- Spektrale Transmission ist reproduzierbar bei stabiler Faserposition

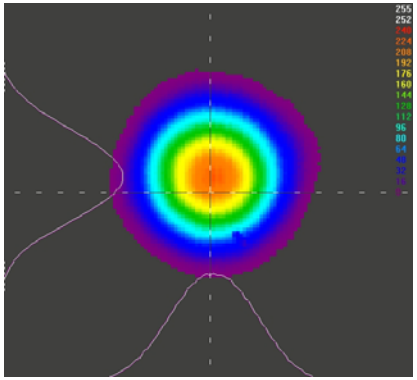
Faseroptischer Gassensor

Rauschursachen – Transmissionsverhalten der PCF

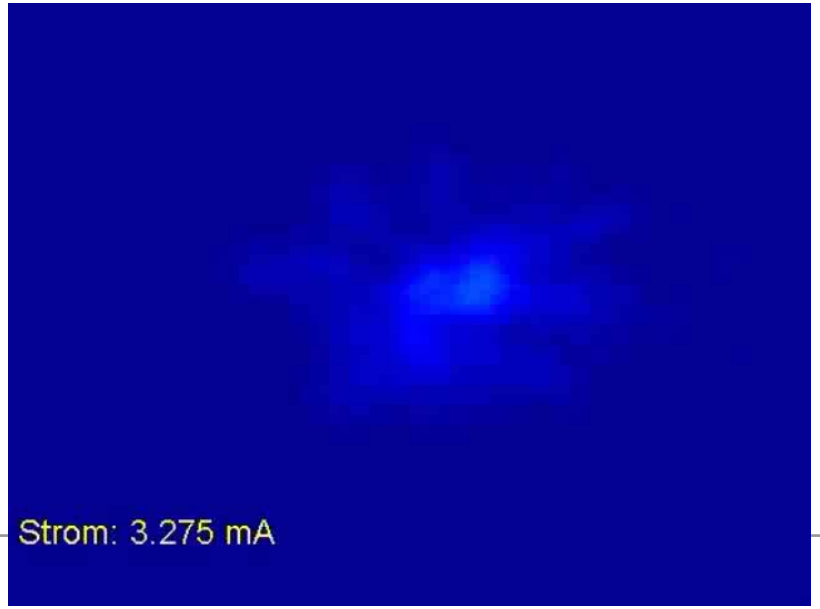
Fernfeld bei verschiedenen Laserströmen bzw. -wellenlängen







Nahfeld in Abhängigkeit vom Laserstrom / -wellenlänge



Faseroptischer Gassensor

Fazit - Rauschursachen

- keine saubere Einmoden-Transmission
- Modenspringen
- stark abhängig von Faserposition (Krümmung, Lage, etc.)
- Spektrale Transmission ist reproduzierbar bei stabiler Faserposition

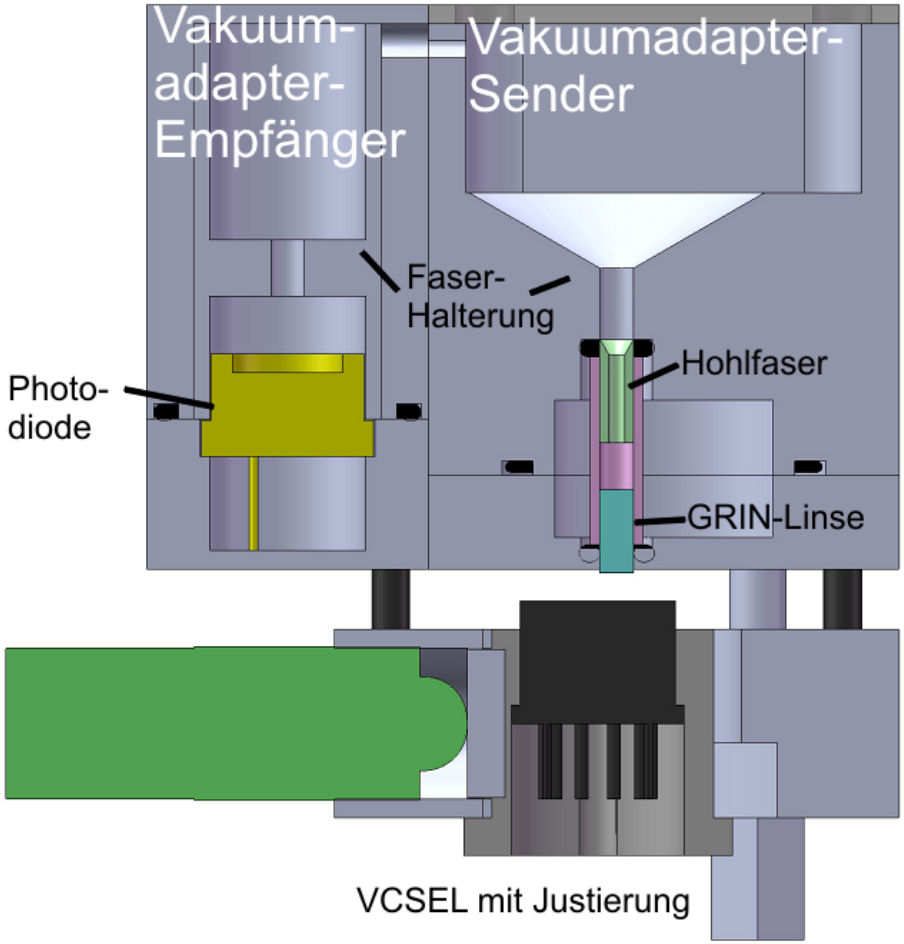
Eignung photonischer Bandgap-Fasern ???

Faseroptischer Gassensor

Vakuumadapter: Empfänger- und Detektoreinheit

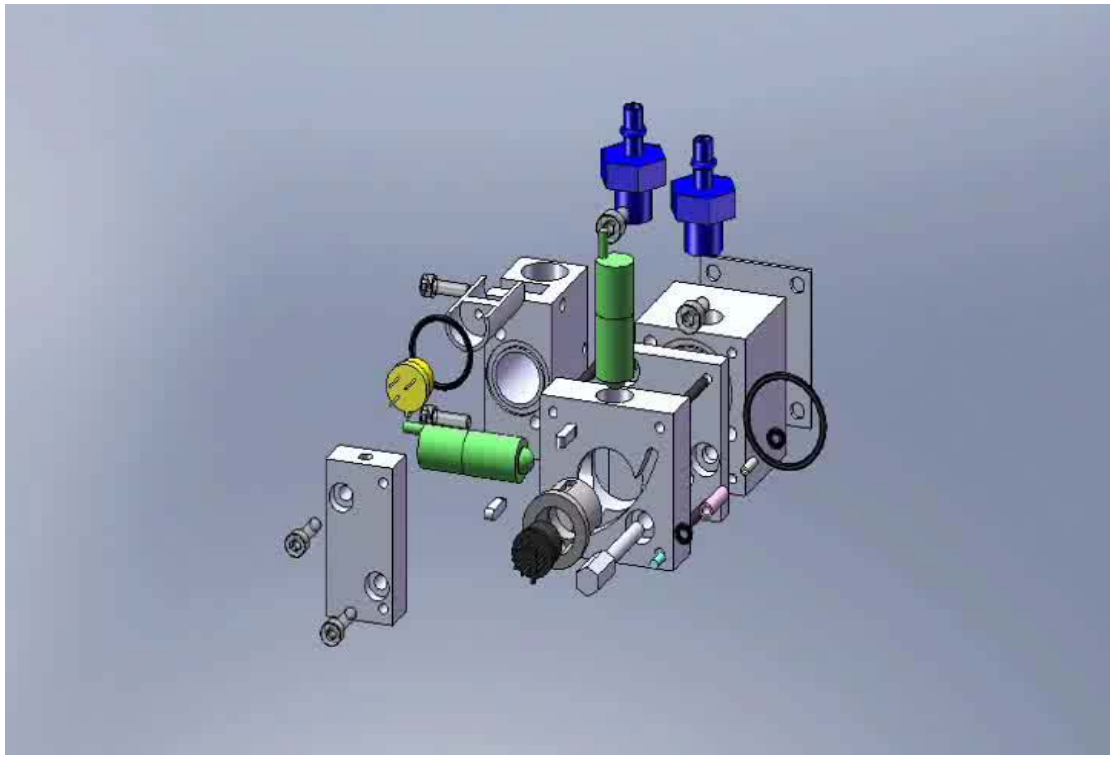
Aufnahme für Laserdiode und Hohlfaser

- Justierbar
- Miniaturisiert
- Evakuierung der Hohlfaser
- Analog Empfängereinheit



Faseroptischer Gassensor

Vakuumadapter und Detektoreinheit - Aufbau



Faseroptischer Gassensor

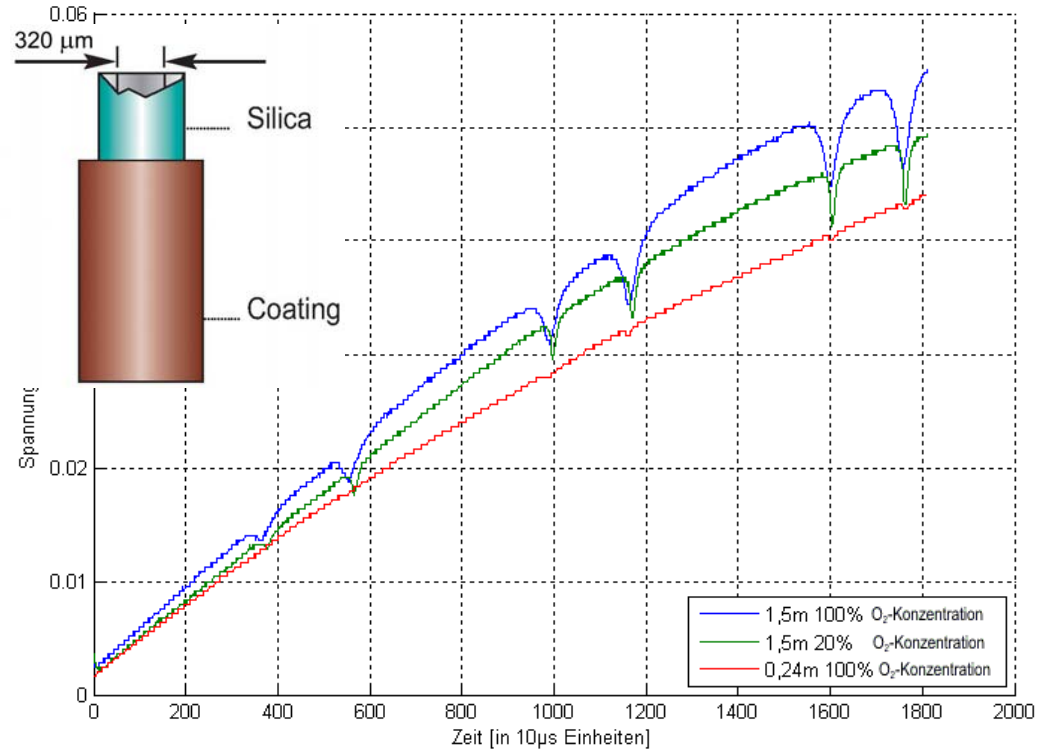
Ausblick

Umgehung der Rauschprobleme

- Differenzverfahren (spektrale Transmission von gefüllter und leerer PCF, Stabilität der Anordnung!

- Hohlfasern (Kapillarfasern)

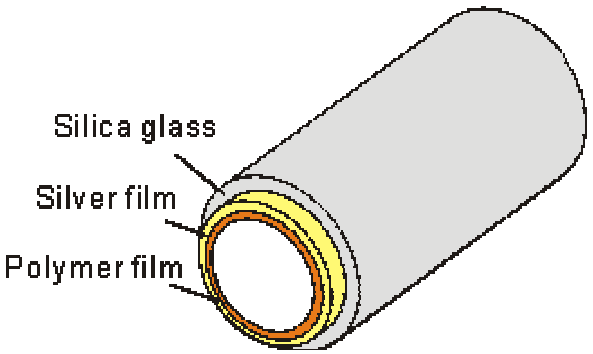
  erfolgreiche Vorversuche mit unbeschichteten Hohlfasern, Lichtleitung bei streifendem Einfall, jedoch hohe Verluste



TSG 320450
Polymicro Technologies

Faseroptischer Gassensor

Weitere Arbeiten



Durchm. (innen / außen):
320/450, 530/700, 700/850 µm
Doko Engineering LLC

Untersuchungen und Analyse des Sensoreffektes an Hohlfasern mit metallischer Innenbeschichtung

- Simulation des Transmissionsverhaltens von PCF‘s
- Fertigstellung und Test der Vakuumadapter
- Automatisierte Messwerterfassung und -auswertung
- Integration des Gesamtsystems, Performanceverifikation