

# Aufbau eines Faserbasierten Laserresonators mit zwei Fabry-Pérot Kavitäten und einer gemeinsamen aktiven Zone für Sensorikanwendungen

Hubert Krause\*, Julian Sonksen\*, Mahmoud Ahmad\*, Volker Viereck\*, Osamu Mikami\*\*, Hartmut Hillmer\*

\*INA, Technische Elektronik, Fachbereich Elektrotechnik, Universität Kassel

\*\*Tokai University, Hiratsuka-Shi Kanagawa, Japan

mailto:hubert.krause@ina.uni-kassel.de

Der hier beschriebene Aufbau ist ein Modell für ein robustes und gleichzeitig hoch empfindliches Spektroskop. Dieses besteht aus einem Faserkoppler, einem speziell präparierten Halbleiterlaser und zwei Faser-Bragg-Gittern. Es konnte experimentell gezeigt werden, dass dieses System in der Lage ist, zweimodig bei den Wellenlängen der Faser-Bragg-Gitter Laserlicht zu emittieren.

## 1 Einleitung

Moderne industrielle Verfahren erfordern die hochpräzise Messung der beteiligten Prozessparameter, um konstant hohe Qualitäten des Produktes zu gewährleisten. Robuste und flexible Sensorik ist der Schlüssel zu dieser Qualität.

### 1.1 Hochsensitive optische Spektroskopie

Die optische Spektroskopie bietet die geforderte Flexibilität und Robustheit bei dafür angepassten Aufbauten. Ihre Empfindlichkeit kann unter anderem mit Hilfe von Multireflexions-Zellen [1], Cavity-Ringdown-Spectroscopy [2] und Intra-Cavity-Absorption-Spectroscopy (ICAS) [3], welche zu den sensitivsten Methoden gehört, erhöht werden.

### 1.2 ICAS

Abbildung 1 zeigt eine schematische Skizze des ICAS Prinzips. Dabei wird ein Absorptionsspektrum innerhalb der Resonatorhöhle eines Lasers aufgenommen. Die Resonatorspiegel umschließen die aktive Zone und den Detektionsraum, in den das zu untersuchende Gas eingebracht wird.

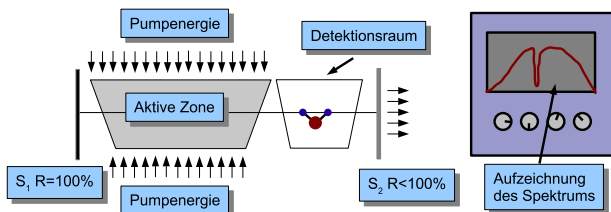


Abbildung 1 Schematische Skizze der ICAS.

Die Vielfachreflexion innerhalb des Resonators, kombiniert mit dem verstärkenden aktiven Material, resultiert in einer Sensitivitätserhöhung im Vergleich zu passiven Multireflexions-Zellen. Die größte Auswirkung auf die Empfindlichkeit hat der Effekt der Modenkonzurrenz bei einem mehrmodigen Laser. Wird im Spektralbereich einer Mode absorbiert, verliert diese Mode überproportional stark an Intensität zugunsten der nicht benachteiligten Moden.

## 2 Messaufbau

Wir verwenden einen faserbasierten Aufbau, um hochempfindliche ICAS robust und flexibel durchführen zu können. Die Auslegung des Messaufbaus für nur zwei Lasermoden vereinfacht die Auswertung. Abbildung 2 zeigt den verwendeten Aufbau.

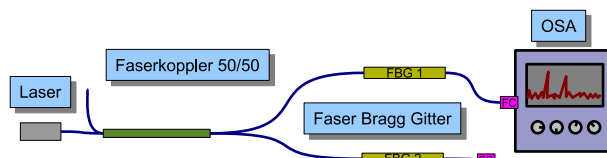


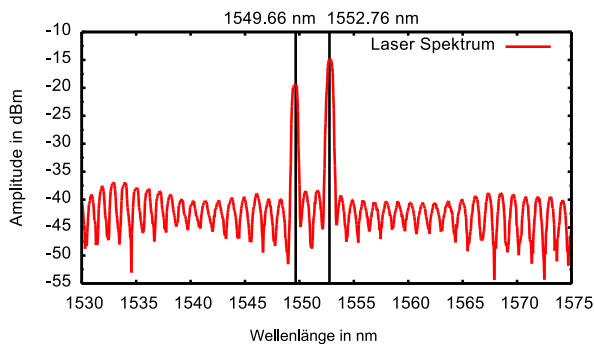
Abbildung 2 Schematische Skizze des Aufbaus eines zweimodig oszillierenden Lasers.

Es wird ein einseitig antireflexvergüteter Laser (Abb. 2 links) über eine getaperte Faser und einen Faserkoppler an zwei unterschiedliche Reflektoren in Form von Faser-Bragg-Gittern (FBG) angekoppelt. Die FBG haben eine Reflektivität von 99% und eine Bandbreite von 700 pm. Das FBG 1 hat eine Zentralwellenlänge von 1549,3 nm, das FBG 2 eine von 1552,5 nm. Das resultierende Spektrum wird mit einem optischen Spektroanalysator (OSA) aufgenommen.

### 2.1 Messergebnisse

Abbildung 3 zeigt ein Spektrum des Lasers, gemessen bei einem Injektionsstrom von 88,3 mA. Bei der Resonatorlänge des Laseraufbaus von einigen Metern wäre ein sehr kleiner Modenabstand zu erwarten. Der Modenabstand beträgt jedoch ca. 1 nm, was einem Resonator der Länge des eingesetzten Halbleiterlasers entspricht. Die einseitige Antireflexvergütung des Lasers wirkt hier als parasitäre Kavität und bestimmt den Modenabstand.

Weiterhin ist die Laserleistung für einen Injektionsstrom von 88,3 mA mit -15 dBm sehr gering. Verantwortlich für die hohen Verluste ist vor allem der Faserkoppler, da mit jedem Durchgang 50% des Lichtes ausgekoppelt werden.

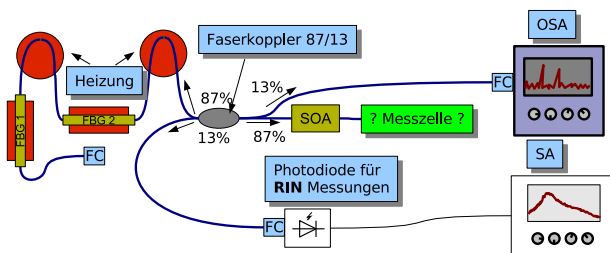


**Abbildung 3** Zweimodiges Laserspektrum bei den Zentralwellenlängen der FBG mit dem in Abb. 2 gezeigten Aufbau.

In Abb. 3 ist zu erkennen, dass der Laser auf den von den FBG vorgegebenen Wellenlängen oszilliert, womit das Ziel, einen Laserresonator mit zwei Fabry-Pérot Kavitäten und einer gemeinsamen aktiven Zone zu erstellen, erreicht werden konnte.

## 2.2 Verbesserter Messaufbau

Aus den im Abschnitt 2.1 gezeigten Erfahrungen wurde ein neuer Aufbau entwickelt, zu sehen in Abbildung 4. Die zwei identischen FBG sind hintereinander angeordnet und jeweils auf ein heizbares Metallwerkstück aufgeklebt. Durch Wärmezufuhr verändert sich der Brechungsindex der FBG und die Ausdehnung des Metallwerkstücks. In Summe ist eine Veränderung der Zentralwellenlänge um 2,25 nm möglich. Zwischen den FBG sowie zwischen FBG und Koppler sind zwei weitere Heizelemente eingebracht, die die Faserstrecke durch thermische Ausdehnung im Bereich einiger nm verändern.



**Abbildung 4** Schematische Skizze des verbesserten Aufbaus.

Die genannten Elemente sind an einen Faserkoppler im Verhältnis 87% zu 13% angeschlossen. Durch Verwendung unterschiedlicher Koppler kann die effektive Reflektivität der nachfolgenden FBG modifiziert werden. Im genannten Fall ergibt sich eine Reflektivität von ca. 75%. An den 13%-Armen sind als Messinstrumente ein OSA sowie eine schnelle Photodiode (18 GHz) mit einem elektronischen Spektralanalysator (ESA) angeschlossen. Letztere Bauteile dienen der Messung des relativen Intensitätsrauschens (RIN) des Lasers. Das RIN soll später als

alleiniges Messsignal zur Bestimmung des Modenverhaltens dienen [4].

Als aktives Medium dient ein halbleiterlaserbasierter optischer Verstärker (SOA), der mit einer Seite an dem Faserkoppler und mit der anderen an eine Messzelle angeschlossen ist. Die Messzelle hat die Aufgabe, das Licht in eine zu messende Probe einzukoppeln. Der Abschluss der Messzelle dient gleichzeitig als breitbandig reflektierendes Element.

## 2.3 Zu erwartende Vorteile des verbesserten Messaufbaus

Aus der Reihenschaltung der FBG ergeben sich geringere Verluste als bei dem am Anfang beschriebenen Aufbau. Die Güte des Resonators ist durch Austauschen des Kopplers variierbar. Es ist ein Abstimmen der Emissionswellenlängen möglich. Weiterhin ist durch die Versetzung des aktiven Materials in die Mitte des Resonators die Ankopplung einer Messzelle einfacher. Mit der Möglichkeit, die Resonatorlänge zu justieren, gibt es einen weiteren Parameter zur Optimierung des Resonators.

## 3 Zusammenfassung

Es wurden zwei Aufbauten gezeigt, die die Eigenschaften eines Fabry-Pérot Laserresonators mit zwei Kavitäten und einer aktiven Zone erfüllen. Bei der Entwicklung eines optimierten zweiten Entwurfes wurden die Messungen und Erfahrungen mit dem ersten Entwurf berücksichtigt. Das Ziel, einen zweimodig oszillierenden Laser für Sensorikanwendungen aufzubauen, konnte erreicht werden.

## Literatur

- [1] J. Ballard, K. Strong, J. J. Remedios, M. Page, and W. B. Johnston, "A coolable long path absorption cell for laboratory spectroscopic studies of gases," *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* **52**(5), 677–691 (1994).
- [2] A. O’Keefe and D. A. G. Deacon, "Cavity ring-down optical spectrometer for absorption measurements using pulsed laser sources," *Review of Scientific Instruments* **59**(12), 2544–2551 (1988).
- [3] V. M. Baev, T. Latz, and P. E. Toschek, "Laser intracavity absorption spectroscopy," *Applied Physics B: Lasers and Optics* **V69**(3), 171–202 (1999).
- [4] H. Krause, J. Sonksen, J. Baumann, U. Tropenz, W. Rehbein, V. Viereck, and H. Hillmer, "RIN-spectra of a two-mode lasing two-section DFB-laser for optical sensor application," in *Proceedings of the SPIE Photonics Europe Conference 6997, April 2008*, vol. 6997 (SPIE, 2008).