

# Querlastempfindlichkeit von Faser-Bragg-Gitter-Sensoren

A. Heßke, M. R. Rößner und A. W. Koch

Technische Universität München, Lehrstuhl für Messsystem- und Sensorteknik

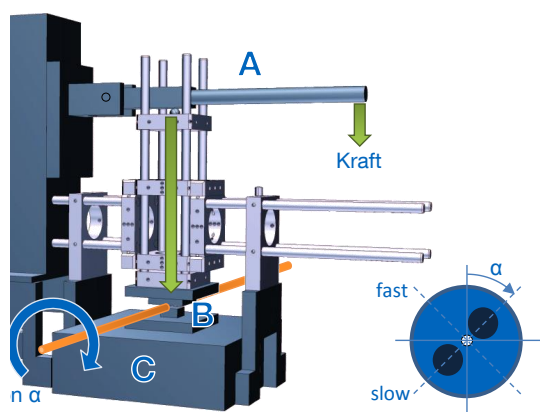
mailto:a.hesske@tum.de

Faser-Bragg-Gitter eignen sich, um Längsdehnungen zu bestimmen. In dieser Arbeit wird allerdings der Ansatz verfolgt, Lasten quer zur Faserrichtung zu ermitteln. Durch Versuche zeigte sich, dass Gitter in unterschiedlichen Fasertypen tendenziell gleiche, jedoch leicht voneinander abweichende Empfindlichkeiten haben.

## 1 Motivation

Faser-Bragg-Gitter-Sensoren (FBG) sind geeignet, Dehnungen und Temperaturen zu erfassen. In der Regel werden FBGs ähnlich wie elektrische Dehnungsmessstreifen verwendet. Longitudinale Dehnungen und Temperatureinflüsse an der Stelle des FBGs können über die Änderung der spektralen Antwort des Gitters erfasst werden. Ein weniger verbreiteter Ansatz, FBG-Sensoren zu verwenden, ist es, die Dehnungen senkrecht zur Faserrichtung zu messen. Durch die Querbelastung eines FBGs wird Doppelbrechung in die Glasfaser induziert. Mit steigender Querlast wird der charakteristische Einzelpeak des FBG-Sensors zunehmend zu einem Doppelpeak. In FBGs in polarisationserhaltenden Glasfasern (PM-FBG) ist dieser Doppelpeak dauerhaft zu sehen. Über gezielte Querlast auf diese FBGs kann der Doppelpeakeffekt aufgehoben oder auch verstärkt werden.

## 2 Experimenteller Aufbau



**Abbildung 1** Experimenteller Aufbau als CAD-Simulation zur Einbringung von Querkräften unter gezielten Faserrotationswinkeln  $\alpha$ . A: Kugelgelagerter Hebelarm, B: FBG-Druckzone mit zwei parallelen Spiegeln, C: Kraftmessdose zur dreidimensionalen Kräfteffassung.

Um gezielt verschiedene Kräfte auf ein FBG in einer Glasfaser zu geben, wurde ein Querbelastungsaufbau mit einem Hebelarm konstruiert (Abb. 1).

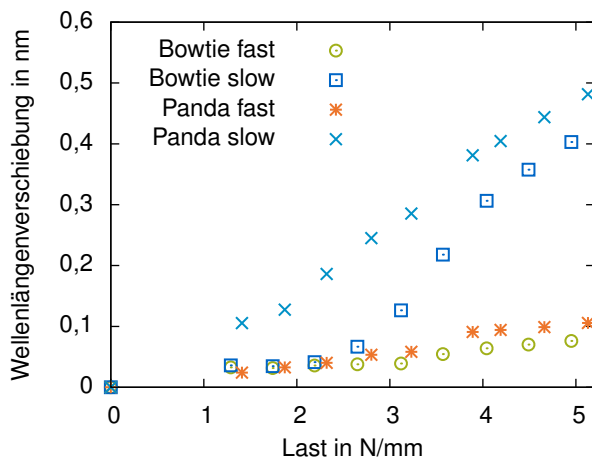
Über diesen Arm kann eine beliebige Kraft bis etwa 25 N angebracht werden, was an der Faser einer Kraft von circa 100 N entspricht. Über eine gleitend gelagerte Verschiebeeinheit wird die angelegte Kraft auf ein paralleles Spiegelpaar übertragen, zwischen dem sich die zu belastende Glasfaser befindet. Der kleinste Spiegel misst 12,5 mm und legt damit die belastete Länge fest. Über einen Servostellmotor kann die Glasfaser zusätzlich im entlasteten Zustand um ihre eigene Achse gedreht werden. Zur Kontrolle über die Rotationslage der Faser dient ein Mikroskopaufbau am Faserende.

## 3 Einfluss von transversaler Last auf Single-Mode-FBGs und doppelbrechende FBGs

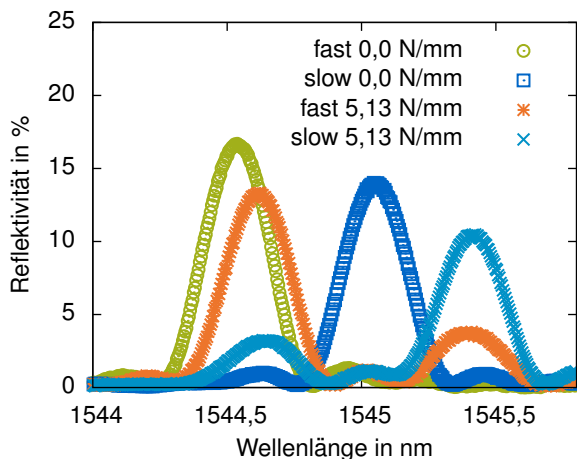
Es ist bekannt, dass eine Abhängigkeit des Reflexionsspektrums eines FBGs durch einwirkende Querkräfte besteht [1]. In eigenen theoretischen Arbeiten konnten wir bereits diesen Effekt diskutieren [2] und ansatzweise experimentell nachweisen [3]. Durch den Einfluss einer Längskraft in Faserrichtung kann ein FBG gedehnt werden, und die resultierende Braggwellenlänge  $\lambda_B$  verschiebt sich gemäß dem Produkt aus effektivem Brechungsindex  $n_{eff}$  und Modulationslänge  $\Lambda$ :  $\lambda_B = 2 \cdot n_{eff} \cdot \Lambda$ . Bei Querlasten wird vorwiegend auf den Brechungsindex Einfluss genommen. Dabei wird der belastete Teil doppelbrechend. Dementsprechend entwickelt sich ein Doppelpeak im Spektrum, der der Querlast folgt. Man spricht vom Peak der schnellen und langsamen Achse. Bei polarisationserhaltenden FBGs ist durch zwei Stresszonen bereits ein Doppelbrechungseffekt intrinsisch hervorgerufen. Durch zusätzliche Belastung von außen wird dieser Doppelbrechungseffekt verändert. Bei unseren Experimenten zeigte sich, dass durch Belastung parallel zu den Stresszonen ( $\alpha = 0^\circ$ ) der Peak der schnellen Achse zu höheren Wellenlängen strebt, wobei der Peak der langsamen Achse seine Lage im Spektrum nur geringfügig ändert. Der Doppelbrechungseffekt kann somit aufgehoben werden. Belastet man dagegen senkrecht ( $\alpha = 90^\circ$ ), bleibt der Peak der schnellen Achse annähernd in Ruhe und der langsame Brechungsindex wird erhöht. Der Doppelbrechungseffekt wird verstärkt (s. Tab. 1).

FBG	Peakpos. nm	Kraft-richt.	fast-Empf. nm/(N/mm)	slow-Empf. nm/(N/mm)
SM	1448,225	0°	-0,0027	0,0467
		90°	-0,0010	0,0468
BT 1-1	1549,961 1550,413	0°	0,0839	0,0544
		90°	0,0184	0,1532
BT 1-2	1549,940 1550,370	0°	0,0479	0,0280
		90°	0,0079	0,0583
BT 2-1	1539,965 1541,615	0°	0,0791	0,0332
		90°	0,0213	0,1632
Pan 1-1	1544,536 1546,802	0°	0,0437	0,0352
		90°	0,0224	0,1005

**Tabelle 1** Verschiedene FBG-Typen mit ihren transversalen Kraftempfindlichkeiten in Abhängigkeit von  $\alpha$ .



**Abbildung 2** Änderung von  $\lambda_B$  in Abhängigkeit der Querlast an einer Bowtie- und einer Panda-Faser.



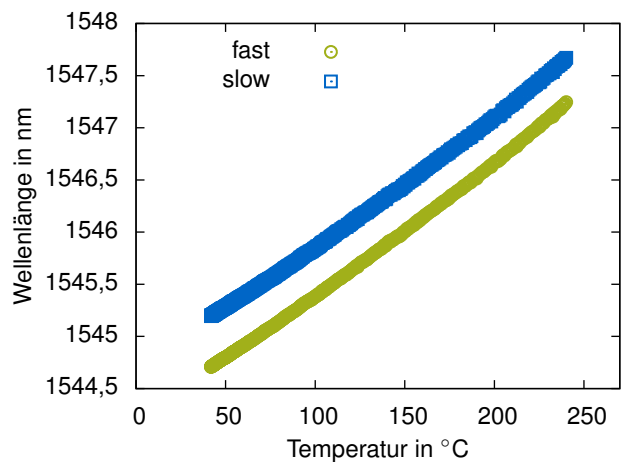
**Abbildung 3** Die beiden unbelasteten, polarisationsaufgelösten Reflexionsspektren eines Panda-FBGs im unbelasteten Zustand und mit 5,13 N/mm unter einem Winkel von 60° belastet.

Es hat sich ebenfalls ergeben, dass die verwendeten Bowtie-FBGs (BT) anfangs weniger sensibel auf Querlasten reagieren als FBGs in Panda-Fasern (Pan). Erst bei Kräften größer 2 N/mm beginnen die Bowtie-FBGs verstärkt ihre Spektren zu ändern (s. Abb. 2). Bei Winkeln, die nicht auf eine der Hauptachsen fallen, konnten wir Wellenlängenverschie-

bungen beider Achsen ermitteln. Zusätzlich zeigte sich bei polarisationsgetrennter Aufnahme der Spektren ein deutlicher Modenkopplungseffekt (Intensitätsübertrag, s. Abb. 3).

#### 4 Temperatureinfluss auf doppelbrechende FBGs

Der Einsatz von doppelbrechenden FBGs bietet bei Temperatureinflüssen eine Kompensationsmöglichkeit. Durch das Abfahren von Temperaturprofilen konnten unterschiedliche Empfindlichkeiten des Peaks der schnellen (11,1 pm/°C) und dem Peak der langsamen (10,7 pm/°C) Polarisationsachse eines Panda-FBGs ermittelt werden. Diese sind auf das Herstellungsverfahren zurückzuführen.



**Abbildung 4** Temperaturabhängigkeit eines Panda-FBGs.

#### 5 Ergebnisse

Es konnte eine Querlastabhängigkeit von FBGs in verschiedenen Glasfasertypen nachgewiesen werden. Die Querlastempfindlichkeit der verwendeten doppelbrechenden Fasern liegt im selben Größenbereich. Sie unterscheidet sich jedoch bei verschiedenen Fasertypen. Ebenso konnte eine Temperaturkompensationsmöglichkeit aufgezeigt werden.

#### Literatur

- [1] C. Lawrence, D. Nelson, and E. Udd, "Measurement of transverse strains with fiber bragg gratings," SPIE 3042, p. 218 (1997).
- [2] M. S. Müller, T. C. Buck, H. J. El-Khozondar, and A. W. Koch, "Shear-Strain Influence on Fiber Bragg Grating Measurement Systems," Journal of Lightwave Technology, 27 (23), pp. 5223–5229 (2009).
- [3] A. Heßke, M. S. Müller, T. C. Buck, F. Jülich, J. Roths, and A. W. Koch, "Preliminary results of an experimental verification of shear strain influence on fibre Bragg grating reflection spectra," Proc. SPIE 8173 (2011).

Dank gilt der DFG, der TUM GS sowie der HAW München.