

Abbildungsverzeichnis

1.1	Spannungs-Dehnungs-Diagramme bei a) stetigem b) unstetigem Übergang vom elastischen in den plastischen Verformungsbereich	3
1.2	Belastungen eines Gelenk-Arm-Systems	4
1.3	Wirkung von Belastungsgrößen auf ein elastisches Handhabungssystem für schwere Lasten	6
1.4	Übersicht der Teilprobleme für die Erfassung der dynamischen Biege- und Torsionsbelastung an Gelenk-Arm-Systemen von Schwerlasthandhabungssystemen	7
2.1	Definition des allgemeinen, räumlichen Spannungszustands im Werkstoff	10
2.2	Verformungen eines Trägers mit einem auf der Oberfläche aufgeklebten Faser-Bragg-Gitter-Dehnungssensor bei einer einachsigen Krafterwirkung	10
2.3	Zur Definition der Verformungen an der Oberfläche (ebene Darstellung)	12
2.4	Übersicht über die Brechungsindexänderung von Glas für verschiedene Dotierungen und Belichtungswellenlängen	14
2.5	Prinzip des Faser-Bragg-Gitters (FBG)	15
2.6	Simulationsergebnisse der Reflexionsspektren verschiedener Bragg-Gitter-Ausführungen nach der Transfermatrix-Methode	17
2.7	Simulierte Reflexionsspektren und Brechungsindexverläufe eines Standard- und eines gaußförmig apodisierten Bragg-Gitters nach der Transfermatrix-Methode	18
2.8	Schematische Darstellung des Aufbaus zur Herstellung faseroptischer Bragg-Gitter-Sensoren	20
2.9	Einfluss des Laserstrahlprofils auf das Reflexionsspektrum apodisierter FBG-Sensoren bei Verwendung einer Phasenmaske mit unzureichender Unterdrückung der nullten-Beugungsordnung	22
2.10	Einfluss des Faser-Maskenabstandes für diskrete Blendenweiten	23

2.11	Abhängigkeit der mechanischen Festigkeit der Glasfaser vom Entcoating-Verfahren	24
2.12	Maximale Zugkraft F_V von Klebstoffen für die Applikation von FBG-Dehnungssensoren bei statischer und dynamischer Belastung	25
2.13	Einfluss einer Temperaturänderung auf eine Faser-Bragg-Gitter-Messstelle an einer ebenen Fläche	26
2.14	Verlauf des Längenausdehnungskoeffizienten verschiedener Werkstoffe in Abhängigkeit von der Temperatur ϑ bezogen auf $\vartheta_{20} = 20^\circ C$	27
2.15	Temperaturabhängigkeit der Braggwellenlänge λ_B für einen "freien" und einen applizierten FBG-Dehnungssensor unter der Voraussetzung $\Delta l/l_0 = 0$	27
3.1	Prinzipieller Aufbau eines verteilten FBG-Sensors aus n Einzelsensoren in Reihenschaltung	29
3.2	Reflexionsspektrum eines verteilten FBG-Sensors aus 12 Einzelsensoren	30
3.3	Schematische Darstellung eines aperiodischen Bragg-Gitters mit beliebiger Brechungsindexmodulation	32
3.4	Struktogramm zur Simulation des Reflexions- und Transmissionsspektrums von Faser-Bragg-Gitter nach der Transfermatrix-Methode	36
3.5	Spektrale und interferometrische Auswertung von FBG-Sensoren	38
3.6	Aktive und passive Filterung zur Auswertung von FBG-Sensoren	39
4.1	Applikationsalternativen für Faser-Bragg-Gitter-Dehnungssensoren; links: Kastenbauweise, rechts: Stab- bzw. Fachwerkbauweise	56
4.2	Ablaufdiagramm zum Auffinden einer Optimaltopologie für die online-Erfassung der statischen und dynamischen Belastungsgrößen	57
4.3	Zur Definition der Durchbiegung $w_y(z)$ einer einseitig eingespannten Biegezugung	58
4.4	Berechnete Verläufe der dynamischen Biegelinie $w_y(z)$ (oben) und der dynamischen Dehnungen $\epsilon(z)$ (unten) der ersten drei Eigenmoden einer einseitig eingespannten Biegezugung	59
4.5	Vergleich zwischen einer a) äquidistanten und b) nichtäquidistanten geometrischen Anordnung von fünf Dehnungssensoren für die Belastungsrekonstruktion an einer einseitig eingespannten Blattfeder	61
4.6	Experimenteller Aufbau zum Überprüfen der Stützstellenwahl für die Belastungsapproximation	63
4.7	Rekonstruktion der ersten drei Dehnungsmoden einer einseitig eingespannten Blattfeder	64

4.8	Foto des Biege-Torsionsprüfstandes für die Belastungssimulation . . .	66
4.9	Skizze des Vierkantarms mit der Position der Faser-Bragg-Gitter-Dehnungssensoren für die Biege- und Torsionsbelastungserfassung . .	67
4.10	Dehnungssignale der vier Einzelsensoren zur Erfassung der Biege- und Torsionsbelastung eines Vierkantstabs bei stoßförmiger Anregung; a) reine Biegebelastung; b) reine Torsionsbelastung	68
4.11	Einfluss der Biegebelastung auf die Dehnungssignale zur Erfassung der Torsionsbelastung bei einer kombinierten Biege- und Torsionsbelastung; a) Dehnungssensor S_3 bei $x = b/2$; b) Dehnungssensor S_1 bei $x = -b/2$	70
4.12	Einfluss der Torsionsbelastung auf die Dehnungssignale zur Erfassung der Biegebelastung bei einer kombinierten Biege- und Torsionsbelastung; a) Dehnungssensor S_4 bei $y = h/2$; b) Dehnungssensor S_2 bei $y = -h/2$	71
4.13	Simulationsergebnisse des Dehnungsverlaufs und der Biegelinie der 1. Mode des Vierkantstabes; a) räumliche Darstellung; b) Seitenansicht .	73
4.14	Messergebnisse des Dehnungsverlaufs (oben) und der Biegelinie (unten), dargestellt durch Splineinterpolation	74
4.15	Simulationsergebnisse der ersten Biegemode des idealen Fachwerkarms; dargestellt ist die Verformung und die Dehnungsverteilung in Fehlfarben; a) räumliche Ansicht; b) Seitenansicht	76
4.16	Simulationsergebnisse der ersten Torsionsmode des idealen Fachwerkarms; dargestellt ist die Verformung und die Dehnungsverteilung in Fehlfarben; a) räumliche Ansicht; b) Seitenansicht	77
4.17	Schematischer Aufbau des Fachwerkarms mit der Position der Faser-Bragg-Gitter-Sensoren zur Erfassung der maximalen Verwölbung eines Stabsegmentes	78
4.18	a) Betrag und b) Winkel α des Dehnungsvektors der FBG-Sensoren S_5, S_6 und S_9, S_{10} bei reiner Biegebelastung des Fachwerkarms . . .	79
4.19	a) Betrag und b) Winkel α des Dehnungsvektors der FBG-Sensoren S_5, S_6 und S_9, S_{10} bei reiner Torsionsbelastung des Fachwerkarms . .	80
4.20	Ergebnisse der Fast-Fourier-Transformierten der Dehnungsmesswerte der Sensoren S_5, S_6 und S_9, S_{10} ; a) reine Biegebelastung; b) reine Torsionsbelastung des Fachwerkarms	81
4.21	Position der FBG-Dehnungssensoren zur Erfassung der Torsionsbelastung des Fachwerkarm	83
4.22	Vergleich der Amplituden der Dehnungssensoren; a) S_0 und S_1 (oben); b) S_0 und S_5 bei reiner Torsionsbelastung des Fachwerkarms	84

5.1	Blockschaltbild des faseroptischen Gesamtsystems für die dynamische Dehnungsmessung	86
5.2	Beispiel für ein faseroptisches Bragg-Gitter-Sensornetzwerk	87
5.3	Problemelemente und Lösungen für die <i>optische Signalverarbeitung</i> , die <i>optoelektronische</i> bzw. <i>elektrooptische Signalwandlung</i> und die <i>elektronische Auswertung</i>	88
5.4	Prinzipieller Aufbau eines verteilten FBG-Sensornetzwerks mit passiver Signalerfassung	89
5.5	Signalvorverarbeitung für einen spektral kodierten Faser-Bragg-Gitter-Sensor aus vier Einzelsensoren	91
5.6	Reflexionsspektren eines apodisierten, aperiodischen Faser-Bragg-Gitter-Filters für verschiedene Apodisationsfunktionen $f_A(z)$	93
5.7	Simulationsergebnisse der Spektren; a) Superlumineszenzdiode (ELED); b) Verteilter FBG-Sensor; c) FBG-Filter 1; d) FBG-Filter 2	94
5.8	Ausgangssignale der separierten Sensorsignale nach der Bandpassfilterung ohne Berücksichtigung der Zusatzdämpfungen; a) S_{FBG1} ; b) S_{FBG2} ; c) S_{FBG3} ; d) S_{FBG4}	95
5.9	Wellenlängensensor zur Erfassung der Schwerpunktverschiebung des FBG-Reflexionssignal; a) prinzipieller Aufbau; b) Prinzipieller Verlauf der spektralen Empfindlichkeit	96