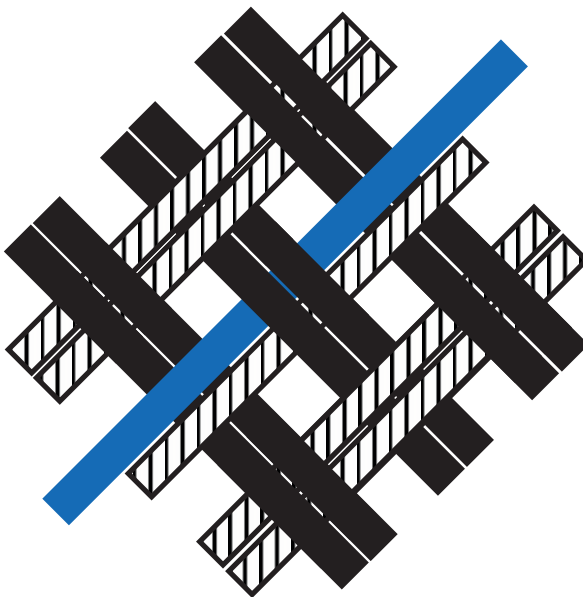

REPORTS ON MEASUREMENT AND SENSOR SYSTEMS

Faseroptische Sensorik zur Schadensdetektion in Kabelgeflechten

Moritz Anton Graf



Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik

Name der promotionsführenden Einrichtung

Faseroptische Sensorik zur Schadensdetektion in Kabelgeflechten

Titel der wissenschaftlichen Abhandlung

Moritz Anton Graf, M.Sc

Vorname und Name

Vollständiger Abdruck der von der promotionsführenden Einrichtung

Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik

der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades
eines Doktors : Doktor-Ingenieur
genehmigten Dissertation.

Vorsitzende/-r: Prof. Dr.-Ing Thomas Eibert

Prüfende/-r der Dissertation:

1. Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. Alexander W. Koch

2. Prof. Dr.-Ing. Klaus Drechsler

3. -

Die Dissertation wurde am 07.03.2019 bei der Technischen Universität München
eingereicht und durch die promotionsführende Einrichtung

Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik am 16.08.2019 angenommen.

Reports on Measurement and Sensor Systems

Moritz Anton Graf

**Faseroptische Sensorik zur Schadensdetektion
in Kabelgeflechten**

Shaker Verlag
Düren 2020

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: München, Techn. Univ., Diss., 2019

Copyright Shaker Verlag 2020

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-7126-9

ISSN 1617-6553

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Wissenschaftliches Umfeld	1
1.2	Aufgabenstellung	3
1.3	Aufbau der Arbeit und Begriffsklärung	3
2	Grundlagen	7
2.1	Faseroptische Wellenleiter	7
2.1.1	Transmission und Reflexion an Grenzflächen	7
2.1.2	Lichtleitung	10
2.1.3	Aufbau von Lichtwellenleitern	13
2.1.4	Dämpfungsphänomene	14
2.2	Faser-Bragg-Gitter	25
2.2.1	Reflektivität	27
2.2.2	Dehnungsempfindlichkeit	28
2.2.3	Temperatursensitivität	29
2.2.4	Verhalten unter Querbelastung	30
2.3	Optische Zeitbereichsreflektometrie	33
2.3.1	Aufbau	33
2.3.2	Funktionsweise	34
2.3.3	Totzonen	37
3	Messobjekt	41
3.1	Tagebau in Deutschland	41
3.1.1	Vorkommen und umweltpolitische Aspekte des Braunkohle- tagebaus	42
3.1.2	Umgebungsbedingungen des Braunkohletagebaus	45
3.1.3	Tage- und Erdbaumaschinen	48
3.2	Stromversorgungskabel des Tagebaus	55
3.2.1	Leiter	55
3.2.2	Isolator und Abschirmung	58
3.2.3	Mantel	59
3.2.4	Kabelgeflecht	59

3.3	Untersuchtes Stromversorgungskabel	62
3.4	Stand der Technik	65
3.4.1	Elektrische Schadensdetektionssysteme für Kabel	65
3.4.2	Faseroptische Schadensdetektionssysteme für Kabel	67
4	Experimentelle Anordnungen	73
4.1	Simulation von Kabelbeschädigungen	73
4.2	Geflechtsintegration von faseroptischer Sensorik	80
4.3	Schadensdetektion mittels faseroptischer Reflektoren	83
4.3.1	Herstellung der Sensoren	84
4.3.2	Kalibrierung und Evaluierung der Sensoren	88
4.3.3	Anordnung der Sensoren zur Schadensdetektion	91
4.4	Schadensdetektion mittels Faser-Bragg-Gitter	94
4.4.1	Herstellung der Sensoren	94
4.4.2	Evaluierung der Sensoren	96
4.4.3	Anordnung der Sensoren zur Schadensdetektion	97
4.5	Schadensdetektion mittels optischer Zeitbereichsreflektometrie	99
4.5.1	Dämpfungseinfluss der Faserondulation	100
4.5.2	Anordnung der Sensoren zur Schadensdetektion	103
4.5.3	Anordnung der Sensoren zur Evaluierung von Kabeldeformationen	105
4.5.4	Auswertung der Sensorsignale	109
5	Messergebnisse und Diskussion	113
5.1	Schadensdetektion mittels faseroptischer Reflektoren	113
5.1.1	Ergebnisse der Sensorkalibrierung und -evaluierung	113
5.1.2	Ergebnisse der Sensoren zur Schadensdetektion	120
5.2	Schadensdetektion mittels Faser-Bragg-Gitter	123
5.2.1	Ergebnisse der Sensorevaluierung	124
5.2.2	Ergebnisse der Sensoren zur Schadensdetektion	127
5.3	Schadensdetektion mittels optischer Zeitbereichsreflektometrie	133
5.3.1	Ergebnisse der Faserondulation	133
5.3.2	Ergebnisse der Sensoren zur Schadensdetektion	135
5.3.3	Ergebnisse der Evaluierung von Kabeldeformationen	138
5.4	Vergleich der Messverfahren	145
5.5	Auswirkung auf die Stromversorgung im Tagebau	148
6	Zusammenfassung und Ausblick	161
	Literaturverzeichnis	164

Symbolverzeichnis	186
Danksagung	189