

Technische Universität München  
Fachgebiet Verteilte Messsysteme

# Segmentierung von Oberflächen mittels variabler Beleuchtung

Christoph Lindner

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für  
Elektrotechnik und Informationstechnik  
der Technischen Universität München  
zur Erlangung des akademischen Grades eines

**Doktor-Ingenieurs**

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Diepold  
Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Fernando Puente León  
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Georg Färber

Die Dissertation wurde am 11.09.2008 bei der  
Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für  
Elektrotechnik und Informationstechnik am 17.03.2009 angenommen.



Berichte über Verteilte Messsysteme

Band 6

**Christoph Lindner**

**Segmentierung von Oberflächen  
mittels variabler Beleuchtung**

Shaker Verlag  
Aachen 2009

**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., 2009

Copyright Shaker Verlag 2009

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-8437-4

ISSN 1864-6379

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>1</b>
<b>1 Einführung</b>	<b>3</b>
1.1 Motivation und Zielsetzung . . . . .	4
1.2 Gliederung der Dissertation . . . . .	5
<b>2 Stand der Technik</b>	<b>7</b>
2.1 Verwendung variabler Beleuchtungsrichtung . . . . .	7
2.2 Oberflächensegmentierung mit variabler Beleuchtung . . . . .	9
2.3 Oberflächensegmentierung mit Hilfe von 3d- oder Tiefeninformation . . . . .	11
<b>3 Grundlagen</b>	<b>13</b>
3.1 Versuchsanordnung . . . . .	13
3.2 Detektion und Klassifikation in der Bildverarbeitung . . . . .	15
3.3 Segmentierung von Bildern . . . . .	17
3.3.1 Kantenorientierte Segmentierung . . . . .	19
3.3.2 Globale Segmentierung . . . . .	20
3.3.3 Regionenorientierte Segmentierung . . . . .	21
3.3.4 Komplexe Segmentierungsverfahren . . . . .	22
3.3.5 Zusammenhang zwischen Segmentierung, Klassifikation und Detektion . . . . .	25
3.4 Oberflächensegmentierung . . . . .	25
3.5 Radiometrische Definitionen . . . . .	28
3.6 Bidirektionale Reflektanzverteilungsfunktion . . . . .	31
3.7 Oberflächenmodellierung . . . . .	33
3.8 Reflexionsmodelle . . . . .	36
3.8.1 Lambert'sche Reflexion . . . . .	37
3.8.2 Torrance-Sparrow-Modell . . . . .	40
3.8.3 Hybride Reflexionsmodelle . . . . .	41
3.9 Bewertung der Segmentierungsergebnisse . . . . .	42

<b>4</b>	<b>Aufnahme von Beleuchtungsserien</b>	<b>47</b>
4.1	Bildgewinnung . . . . .	47
4.2	Interpretation der Informationen in Beleuchtungsserien . .	48
4.3	Abtastung des Beleuchtungsraums . . . . .	52
4.4	Beleuchtungsmuster . . . . .	56
<b>5</b>	<b>Merkmalsextraktion</b>	<b>59</b>
5.1	Bild einer diffus beleuchteten Oberfläche . . . . .	59
5.2	Lokale Richtung . . . . .	60
5.3	Schätzung der Reflexionseigenschaften . . . . .	63
5.3.1	Modellbasierter Ansatz . . . . .	63
5.3.2	Heuristischer Ansatz . . . . .	65
5.3.3	Vergleich der Methoden . . . . .	65
5.4	Strukturbedingte Merkmale . . . . .	66
5.5	Merkmale aus der Statistik zweiter Ordnung . . . . .	70
5.5.1	Die Cooccurrence-Matrix . . . . .	71
5.5.2	Erweiterung auf Beleuchtungsserien . . . . .	73
5.5.3	3d-Cooccurrence-Methode zur Oberflächensegmentierung . . . . .	74
5.5.4	Unterschiede zwischen einer 2d- und einer 3d-Cooccurrence-Analyse . . . . .	75
5.6	Kanten . . . . .	79
5.7	Eigenschaften von Merkmalen . . . . .	80
<b>6</b>	<b>Segmentierung</b>	<b>83</b>
6.1	Der K-Means-Algorithmus . . . . .	83
6.2	Der Split-and-Merge-Algorithmus . . . . .	86
<b>7</b>	<b>Segmentierungsergebnisse</b>	<b>89</b>
7.1	Testobjekt Pyramide . . . . .	89
7.2	Segmentierung von Spuren im Boden einer Patronenhülse .	106
7.3	Segmentierung von lackiertem Holz . . . . .	118
7.4	Segmentierung kraterförmiger Lackdefekte auf Holz . . . .	124
7.5	Segmentierung von Riefen unterschiedlicher Orientierung .	132
7.6	Segmentierung kugelgestrahlter Oberflächen . . . . .	137
7.7	Segmentierung von Abnutzungserscheinungen auf Wendeschneidplatten . . . . .	140

<b>8 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>147</b>
<b>A Beleuchtungsserien</b>	<b>149</b>
A.1 Pyramide . . . . .	150
A.2 Patronenhülse . . . . .	154
A.3 Holz mit lackierten und nicht lackierten Regionen . . . . .	158
A.4 Kugelgestrahlte Oberfläche . . . . .	161
A.5 Wendeschneidplatte . . . . .	165
<b>Literatur</b>	<b>167</b>