

# Mikrointerferometrie mit Lichtquellen unterschiedlicher spektraler Eigenschaften

Von der Fakultät für Maschinenbau  
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig

zur Erlangung der Würde

eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigte Dissertation

von: Dipl.-Ing. Gábor Molnár

aus: Komárom (Ungarn)

eingereicht am: 18.06.2007

mündliche Prüfung am: 24.08.2007

Referenten: Prof. Dr.-Ing. Rainer Tutsch

Prof. a.D. Dr. Hartmut Neuhäuser



Schriftenreihe des Instituts für Produktionsmesstechnik

Band 4

**Gábor Molnár**

**Mikrointerferometrie mit Lichtquellen  
unterschiedlicher spektraler Eigenschaften**

Shaker Verlag  
Aachen 2008

**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.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2007

Copyright Shaker Verlag 2008

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-7291-3

ISSN 1862-4456

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)

# Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Produktionsmesstechnik (IPROM) der Technischen Universität Braunschweig.

Am Anfang möchte ich mich recht herzlich bei allen Personen bedanken, die mich unterstützt haben, diese Arbeit fertig zu stellen. Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Rainer Tutsch, dem Leiter des Institutes, für sein Vertrauen, das er in mich und in meine Arbeit setzte und von dem ich nicht nur im fachlichen, sondern auch im persönlichen Bereich sehr viel gelernt habe. Seine freundliche Persönlichkeit, seine Hilfsbereitschaft und sein Interesse an meinen Ideen und Aktivitäten haben mich stark motiviert. Weiterhin möchte ich mich sehr für die materielle Unterstützung bedanken, mit der er meine Arbeiten förderte.

Bei Herrn Professor Hartmut Neuhäuser möchte ich mich bedanken, dass er bereit war, die Referate zu übernehmen, sowie bei Herrn Professor Reinhold Ritter für die Übernahme des Vorsitzes in der Promotionskommission.

Für das gute Betriebsklima und für die freundschaftliche Zusammenarbeit und Hilfe danke ich allen IPROM-lern: Marcus Petz, Michael Berndt, Christian Herbst, Hendrik Fischer, Radu Doloca, Thomas Bunkus, Dorothea Koch, Brigitta Stolze und Marc Fischer. Besonders Herrn Leobaldo Casarotto für „alles“, Frau Renate Metje für das Korrekturlesen (und Schreiben) und Frau Anikó Vörös für die Hilfe bei den Zeichnungen. Ich danke auch Herrn Andrezejewsky; nicht nur für die mechanischen Komponenten meines Messaufbaus, sondern auch für die spannenden fachlichen (über Feinmechanik und Opel) und persönlichen Diskussionen, die überwiegend bei einem Espresso geführt wurden.

Einen besonderen Dank möchte ich meinen Eltern aussprechen, die meine Ambitionen immer unterstützt haben.

Zu guter Letzt möchte ich mich auch bei den Personen bedanken, ohne die diese Dissertation nicht hätte entstehen können.

*Danke:*

- für die fachliche Motivation und Unterstützung: an *Strubi*
- für die mentale Motivation und Unterstützung und für die Geduld: an *Anna, Gabor* und *Zita*♥

Braunschweig, den 16. Juni 2007

*Mark Gals*

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Geometrieerfassung auf der mikroskopischen Skala</b>	<b>3</b>
2.1	Konventionelle 2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> D und 3D-Messtechnik . . . . .	4
2.1.1	Optische Koordinatenmessgeräte . . . . .	4
2.1.2	Lasertriangulationssensor . . . . .	4
2.1.3	Strukturierte Beleuchtung . . . . .	7
2.1.4	Color-coded light-stripe triangulation . . . . .	8
2.1.5	Nahbereichsphotogrammetrie . . . . .	9
2.1.6	Multisensorkoordinatenmessgeräte . . . . .	11
2.2	Oberflächenmesstechnik . . . . .	13
2.2.1	Tastschnittgeräte . . . . .	14
2.2.2	Optische Oberflächenmessgeräte . . . . .	16
2.2.3	Nahfeldmessgeräte . . . . .	35
2.2.4	Schichtdickenmessung . . . . .	37
<b>3</b>	<b>Analyse der vorhandenen Techniken, Zielsetzung, Lösungsansätze</b>	<b>49</b>
3.1	Analyse der vorhandenen bekannten Techniken . . . . .	49
3.2	Neue Lösungsansätze . . . . .	51
<b>4</b>	<b>Mikrointerferometer mit Lichtquellen unterschiedlicher Kohärenzeigenschaften</b>	<b>55</b>
4.1	Theoretische Grundlagen . . . . .	56
4.1.1	Signalentstehung . . . . .	56
4.1.2	Signalauswertung . . . . .	65
4.1.3	Messunsicherheit . . . . .	74
4.2	Stand der Technik . . . . .	76
4.2.1	Standard Methoden . . . . .	76
4.2.2	Modifizierte und erweiterte Systeme . . . . .	77
4.3	Eigene Arbeiten . . . . .	81

4.3.1	Steuerungssoftware für die Synchronisierung des Scanprozesses und der Signalaufnahmen . . . . .	82
4.3.2	Specklefreies Laserbeleuchtungsmodul für Mikroskope mit mehreren Laserquellen . . . . .	88
4.3.3	Mikrointerferometer mit s/w Kamera . . . . .	89
4.3.4	Mikrointerferometer mit 3CCD Farbkamera . . . . .	94
<b>5</b>	<b>Mikrointerferometer mit kontrolliertem Spektralscan</b>	<b>101</b>
5.1	Theoretische Grundlagen . . . . .	102
5.1.1	Physikalische und Technische Aspekte . . . . .	103
5.1.2	Systemaufbau . . . . .	105
5.2	Ergebnisse . . . . .	107
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung, Ausblick</b>	<b>113</b>