

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Theoretische Untersuchungen</b>	<b>3</b>
2.1	Dreidimensionaler Spannungszustand . . . . .	3
2.1.1	Spannungszustand im Kontinuum . . . . .	3
2.1.2	Verformungen und Verzerrungen . . . . .	8
2.1.3	Verallgemeinertes HOOKSCHES-Gesetz . . . . .	10
2.1.4	Eindeutigkeit der Lösungen für Randwertprobleme für die HNDT . . . . .	11
2.1.5	Konsequenzen aus dem Eindeutigkeitsbeweis für die HNDT . . . . .	14
2.2	Analytische Lösung für sphärischen Einschluß unter Zugbelastung im unendlichen Körper . . . . .	18
2.3	Dimensionsanalyse . . . . .	19
2.3.1	Dimensionshomogene Funktionen . . . . .	20
2.3.2	Fundamentalsystem dimensionsloser Potenzprodukte . . . . .	20
2.3.3	Fundamentale Eigenschaften von dimensionshomogenen Funktionen . . . . .	21
2.3.4	Das $\pi$ -Theorem . . . . .	21
2.3.5	Beispiele . . . . .	22
2.3.6	Anwendung der Dimensionsanalyse auf Proben mit kugelförmigen Einschlüssen . . . . .	24
2.3.7	Anwendung des $\pi$ -Theorems . . . . .	25
<b>3</b>	<b>Finite-Elemente-Methode</b>	<b>27</b>
3.1	Diskretisierungsfehler . . . . .	27
3.2	Konvergenzkriterien . . . . .	28
3.3	Notwendigkeit der Konvergenzbetrachtung . . . . .	29
3.4	Modellierung der Probe . . . . .	29
3.5	FEM-Berechnungen der Verformungen und Spannungen mit ANSYS . . . . .	30
3.6	Konvergenzbetrachtung . . . . .	33
3.7	Vergleich der berechneten Spannungsverläufe mit der analytischen Lösung . . . . .	36
<b>4</b>	<b>Festlegung der Oberflächenmerkmale <math>M^*</math></b>	<b>39</b>
<b>5</b>	<b>Herleitung eines funktionalen Zusammenhangs</b>	<b>40</b>
5.1	Variation der unabhängigen Variablen $\frac{\sigma}{E}$ . . . . .	40

5.2	Variation der unabhängigen Variablen $\frac{E}{G}$ . . . . .	42
5.3	Variation der unabhängigen Variablen $\frac{r}{h}$ und $\frac{s}{h}$ . . . . .	44
5.4	Bestimmung der Funktionen $f_{x_2}$ und $f_{w_2}$ . . . . .	50
5.5	Angabe des funktionalen Zusammenhangs . . . . .	52
5.6	Iterationsverfahren für die Bestimmung von $\frac{r}{h}$ und $\frac{s}{h}$ aus $x_{exp}$ und $w_{exp}$ . . . . .	53
<b>6</b>	<b>Verifikation der theoretischen Ableitungen im Experiment</b> . . . . .	<b>56</b>
6.1	Holografische Interferometrie . . . . .	56
6.1.1	Holografie . . . . .	56
6.1.2	Verfahren der Holografischen Interferometrie . . . . .	57
6.1.3	Auswertung von Interferenzmustern . . . . .	58
6.1.4	Belastungsarten . . . . .	59
6.1.5	Rechtfertigung für den Einsatz der holografischen Interferometrie . . . . .	59
6.1.6	Aufzeichnungsverfahren . . . . .	59
6.1.7	Auswertung mit der Phasenschiebemethode . . . . .	60
6.1.8	Verwendeter holografischer Aufbau . . . . .	60
6.1.9	Geometrie des verwendeten holografischen Aufbaus . . . . .	61
6.2	Entwicklung einer Belastungseinrichtung . . . . .	63
6.2.1	Notwendigkeit für die Konstruktion einer spezifischen Zugmaschine . . . . .	63
6.2.2	Problem: Größenverhältnis der Verschiebung in Zugrichtung zu der Verschiebung normal zur Zugrichtung . . . . .	63
6.2.3	Problem: Eine Zugmaschine liefert nicht nur eine reine Zugbeanspruchung . . . . .	64
6.2.4	Konstruktion einer Zugmaschine . . . . .	66
6.2.5	Erfassung der Probenbelastung . . . . .	67
6.3	Probenpräparation . . . . .	69
6.3.1	Vorüberlegung und Werkstoffauswahl . . . . .	69
6.3.2	Fertigung der Proben . . . . .	70
6.4	Auswertung der Interferenzmuster . . . . .	71
6.4.1	Aufnahme der 4 phasengeschobenen Interferenzmuster . . . . .	71
6.4.2	Berechnung der verstetigten relativen Phasenverteilung . . . . .	72
6.4.3	Numerische Elimination von Störkräften . . . . .	73
6.4.4	Bestimmung der Oberflächenmerkmale . . . . .	75

## VII

6.4.5	Transformation der Pixelkoordinaten in das angepaßte Koordinatensystem . . . . .	77
6.5	Auswertung der Versuchsergebnisse . . . . .	78
6.5.1	Untersuchte Proben . . . . .	78
6.5.2	Bestimmung der Merkmale $x_{exp}$ und $w_{exp}$ aus dem Experiment . . . . .	78
6.6	Fehlerabschätzung . . . . .	80
6.6.1	Fehler in der Bestimmung des Empfindlichkeitsvektors $\vec{e}$ . . . . .	81
6.6.2	Fehler in der Bestimmung der Höhe eines Pixels . . . . .	82
6.6.3	Fehler in der Bestimmung der Probenbelastung $\varepsilon$ . . . . .	82
6.6.4	Fehler in der Bestimmung der Normalverschiebung $w_i$ . . . . .	83
6.6.5	Fehler in der Bestimmung des Merkmals $w_{ez}$ . . . . .	84
6.6.6	Fehler in der Bestimmung des Merkmals $x_{ex}$ . . . . .	86
6.6.7	Ermittlung der Fehlerparameter . . . . .	87
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>90</b>