

Dipl.-Ing. Michael Schuth, Staufenberg

**Aufbau und Anwendung
der Shearografie als
praxisgerechtes, optisches
Prüf- und Meßverfahren
zur Dehnungsanalyse,
Qualitätssicherung
und Bauteiloptimierung**

Reihe **8**: Meß-, Steuerungs-
und Regelungstechnik

Nr. **539**

Nomenklatur.....	VII
Zusammenfassung	X
1. Einleitung.....	1
1.1 Allgemeines zu flächendeckenden Prüf- und Meßverfahren.....	1
1.2 Stand der shearografischen Prüf- und Meßtechnik	2
1.3 Begründung und Abgrenzung der Aufgabenstellung	3
1.4 Leitfaden zu dieser Arbeit.....	4
2. Grundlagen der interferometrischen Meßtechnik	5
3. Grundlagen zur Speckle-Meßtechnik	7
4. Aufbau und Anwendung der Shearografie	9
4.1 Grundlagen zum optischen Aufbau der Shearografie	11
4.2 Zusammenhang zwischen Bauteilmechanik und Optik in der Shearografie	15
4.3 Aufbau und Wirkungsweise verschiedener Shearelemente.....	21
4.4 Konventionelle Methode der Shearografie.....	25
4.4.1 Aufnahme von Shearogrammen	25
4.4.2 Rekonstruktion von Shearogrammen.....	26
4.5 Rechnergestützte Aufnahme und Auswertung von Shearogrammen	29
4.5.1 Grundlagen der rechnergestützten Interferogrammauswertung.....	29
4.5.2 Digitale Bildverarbeitung von Interferenzbildern	31
4.5.3 Kombinierte Phasenschiebe- und Shearvorrichtung	33
4.5.4 Bedeutung von Beleuchtungs- und Beobachtungsrichtung für die Shearogrammauswertung.....	37
4.6 Ermittlung von out-of-plane Neigungen mit Hilfe der Shearografie	39
4.6.1 Out-of-plane Verformungs- und Neigungsmessung einer Kreisplatte	40
4.6.2 Out-of-plane Verformungs- und Neigungsmessung einer Rechteckplatte	45
4.6.3 Real-Time Shearografie	49

4.6.4	Anwendung der Shearografie in der Qualitätssicherung und Bauteiloptimierung	51
4.7	Ermittlung von in-plane Dehnungen mit Hilfe der Shearografie.....	55
4.7.1	Einfluß des Sensitivitätsvektors	55
4.7.2	Untersuchung am Beispiel eines gekröpften Zugstabs.....	63
4.7.2.1	Theoretische Betrachtung des gekröpften Zugstabs.....	65
4.7.2.2	Ermittlung der Verschiebungen u und v am gekröpften Zugstab	70
4.7.2.3	Ermittlung der Dehnungen ϵ_{xx} und ϵ_{yy} des gekröpften Zugstabs bei senkrechter Beobachtung und seitlicher Beleuchtung.....	73
4.7.2.4	Ermittlung der Dehnung ϵ_{xx} des gekröpften Zugstabs bei Beobachtung und Beleuchtung unter spitzem Winkel zur Objektoberfläche	76
4.7.3	Untersuchung eines Winkels mit Blick auf eine Bauteiloptimierung	79
4.7.4	Aufbau und Verfahren zur reinen in-plane Dehnungsmessung.....	82
4.7.4.1	Ermittlung der reinen in-plane Dehnung an verschiedenen Modellen.....	85
4.7.4.2	Reine in-plane Dehnungsmessung am gekröpften Zugstab.....	86
4.7.4.3	Reine in-plane Dehnungsmessung am Zugstab mit Bohrung.....	93
4.7.4.4	Reine in-plane Dehnungsmessung am Zugstab mit Kerbe.....	106
4.7.4.5	In-plane Dehnungsmessung eines Rechteckkragbalkens.....	110
4.7.4.6	In-plane Dehnungsmessung eines Kragbalkens mit gleicher Festigkeit	113
4.7.4.7	In-plane Dehnungsmessung einer diametral belasteten Kreisscheibe.....	116
4.8	Out-of-plane Neigungsmessung in verschiedenen Shearrichtungen.....	127
4.9	Gesamtübersicht der shearografischen Meßgrößen	129
5.	Fehlerbetrachtung.....	130
5.1	Behandlung der shearografischen Grundgleichung	133
5.2	Analyse des in-plane Versuchsaufbaus mit Hilfe der Methode nach Taguchi	140
5.3	Statistische Auswertung der in-plane Dehnungsmessung am gekröpften Zugstab.....	143
6.	Meßbereich der Shearografie	144
7.	Schlußfolgerung und Ausblick.....	150
8.	Anhang.....	153
9.	Schriftumsverzeichnis (Literaturverzeichnis, Vorveröffentlichungen).....	169