

M. Eng. Lianxiang Yang, Kassel

**Grundlagen und
Anwendungen
der Phasenschiebe-
Shearografie zur
zerstörungsfreien
Werkstoffprüfung,
Dehnungsmessung und
Schwingungsanalyse**

Reihe **8**: Meß-, Steuerungs-
und Regelungstechnik Nr. **682**

Bezeichnungen	VIII - XI
1 Einleitung und Problemstellung	1
1.1 Einleitung	1
1.2 Stand der shearografischen Meß- und Prüftechnik	2
1.3 Konkrete Aufgabenstellung	4
2 Meßprinzip der Shearografie	6
2.1 Aufbau des Verfahrens	6
2.2 Erzeugung eines Shearogramms.	7
2.3 Interpretation des Shearogramms	11
2.4 Eigenschaften der Shearografie	15
3 Phasenschiebe-Shearografie	17
3.1 Grundlagen der Phasenschiebe-Technik	17
3.2 Aufbau der Phasenschiebe-Shearografie	19
3.3 Berechnung der relativen Phasenänderung Δ im Shearogramm.	21
4 Auswertung des Shearogramms	27
4.1 Filterverfahren für Phasenbilder	27
4.2 Phasenfaltungungsverfahren (Beseitigung der 2π Sprünge)	35
4.3 Bestimmung der absoluten Streifenordnung unabhängig von Randbedingungen . .	40
4.3.1 Allgemeine Methoden zur Bestimmung der absoluten Streifenordnung unabhängig von Randbedingungen	40
4.3.1.1 Zwei-Wellenlängen Methode.	40
4.3.1.2 Trägerstreifen-Methode	42
4.3.2 Bestimmung der absoluten Streifenordnung durch Ermittlung der nullten Ordnung.	45

5 Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung	49
5.1 Prinzip der shearografischen Werkstoffprüfung	49
5.2 Phasenschiebe-Shearografie zur zerstörungsfreien Werkstoffprüfung	53
5.3 Realisierung des Aufbaus zur zerstörungsfreien Prüfung.	56
5.4 Anwendungsfälle	63
5.4.1 Untersuchungen an GFK- und CFK-Bauteilen	63
5.4.2 Prüfung von Honigwaben-Strukturen	64
5.4.3 Untersuchung von Verbundwerkstoffen	67
6 Dehnungsmessung	69
6.1 Ermittlung der Biege- und Scherdehnungen von dünnen Platten.	69
6.2 Vollständige Bestimmung des 2D-Verzerrungstensors	78
6.2.1 Stand der shearografischen Dehnungsmessung	79
6.2.2 Reine in-plane Dehnungsmessung mit zwei Beleuchtungsstrahlen	81
6.2.3 Vollständige Ermittlung des 2D-Verzerrungstensors	88
6.2.3.1 Prinzip und Aufbau für die direkte Messung von $\partial u/\partial x$, $\partial u/\partial y$, $\partial v/\partial x$, $\partial v/\partial y$ und $\partial w/\partial x$, $\partial w/\partial y$ mit einer einmaligen äußeren Belastung.	88
6.2.3.2 Realisierung des Aufbaus	94
6.2.3.3 Ablauf des Programmes zur Dehnungsmessung	95
6.2.3.4 Anwendung der shearografischen Dehnungsmessung	99
7 Schwingungsanalyse mit Dauerstrichlasern	107
7.1 Allgemeines	107
7.2 Echtzeit-Beobachtung der Schwingung mit Dauerstrichbeleuchtung.	109
7.2.1 Echtzeit-Subtraktion mit festem Referenzbild	109
7.2.2 Echtzeit-Subtraktion mit erneuertem Referenzbild	113
7.3 Schwingungsmessung mit stroboskopischer Beleuchtung	122
7.3.1 Prinzip der Phasenschiebe-Shearografie mit stroboskopischer Beleuchtung.	122
7.3.2 Realisierung des Aufbaus zur Schwingungsmessung mit stroboskopischer Beleuchtung.	125
7.3.3 Bestimmung der Schwingungsform und der dynamischen Biege- und Scherdehnungen aus dem Shearogramm	128

8 Analyse der Abweichungen	136
8.1 Sheargröße	136
8.2 Sensitivitätsvektor	139
8.3 Phasenschiebung	147
8.4 Starrkörperbewegung, Specklegröße bzw. Blendengröße	150
9 Zusammenfassung und Ausblick	152
9.1 Zusammenfassung	152
9.2 Ausblick	154
10 Literaturverzeichnis	155