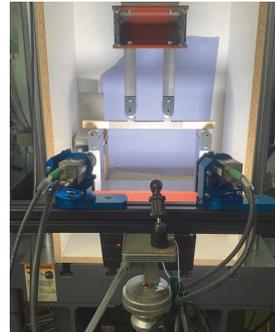


Analyse der Verschiebung der neutralen Faser bei Holzproben durch optische Dehnungsmessung mit DIC

Losch, M.; Lohrengel, A.

Die Digitale Bildkorrelation (DIC) stellt eine fortschrittliche Messtechnik dar, die in der Versuchsdurchführung vielfältige Anwendungen findet. Im Vergleich zu herkömmlichen Methoden bietet die Digitale Bildkorrelation berührungslose Messungen, flexible Anpassungsmöglichkeiten und Vollflächenergebnisse.



Digital Image Correlation (DIC) is an advanced measurement technique that has a wide range of applications in testing. Compared to conventional methods, digital image correlation offers non-contact measurements, flexible adjustment options and full-field results.

Vorteile der digitalen Bildkorrelation

Die Digitale Bildkorrelation (DIC – Digital Image Correlation) stellt eine optische und berührungslose Messtechnik dar, die in der experimentellen Festkörpermechanik zur präzisen Analyse von Formen (Kontur), Verformungen und Dehnungen bei Materialprüfungen Verwendung findet. Dieses Verfahren ermöglicht darüber hinaus die exakte Bestimmung kinematischer Größen von diskreten Punkten, einschließlich Rotationen, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen. Im Vergleich zu anderen Messtechniken, wie beispielsweise Dehnungsmessstreifen, bietet das DIC eine Reihe von Vorteilen. Das System der Digitalen Bildkorrelation erfordert keine mechanische Verbindung zur Oberfläche des Prüfobjektes, sodass die Messungen berührungslos stattfinden. Dies führt zu einer gesteigerten Anwendungsflexibilität, da der Messbereich in seinen Abmessungen variabel gewählt werden kann. Im Gegensatz dazu unterliegt der Messbereich bei Dehnungsmessstreifen den Einschränkungen der Messgitterlänge und –breite. Die Beschränkungen dieser festen Messparameter entfallen im Kontext des DIC, was die Betrachtung und Auswertung von umfassenderen Bereichen ermöglicht. Die Messungen des DIC erstrecken sich über die gesamte optisch sichtbare Fläche, was zu umfassenden Messergebnissen führt. Das System ist vielseitig einsetzbar. Die Kameras erfassen Bereiche von wenigen Quadratmillimetern bis hin zu Quadratmetern. Diese Erfassungsfähigkeit bleibt unter dynamischen Bedingungen erhalten, wobei die Messfrequenzen im Bereich von Hertz bis Megahertz variieren können. Dies erlaubt die Generierung präziser Messergebnisse, selbst unter dynamischen Bedingungen, was die Anwendbarkeit der Digitalen Bildkorrelation auf ein breites Spektrum von Anwendungen ausdehnt. Die Messungen erfolgen mit einer Auflösung im Sub-Pixel-

Bereich, wodurch die präzise Erfassung von Mikrodehnungen sowohl innerhalb der Ebene (parallel zu einer gegebenen Oberfläche) als auch außerhalb der Ebene (senkrecht zu einer gegebenen Oberfläche) realisiert werden können. /1/

Messprinzip

Das Messprinzip des Digitalen Bildkorrelations-Algorithmus basiert auf der Korrelation von Punkten auf der Oberfläche, die eine Verschiebung erfahren. Diese Anordnung wird als Speckle-Muster oder Grautonmuster bezeichnet, welches aus zufällig angeordneten Sprenkeln unterschiedlicher Größen und Formen besteht, siehe Abbildung 1. Es ist von Bedeutung, dass die Dimensionen der Speckles angemessen gewählt werden, weder zu groß noch zu klein. Die Realisierung des Speckle-Musters kann durch verschiedene Methoden erfolgen, darunter das Auftragen von Farbe mittels Airbrush oder Sprühdosen, sowie die Verwendung spezieller Walzen. Alternativ bieten sich Wasserschiebe- oder Tattoo-Folien an, die durch einen handelsüblichen Drucker unter Verwendung einer entsprechenden Vorlage bedruckt werden können. Nachfolgend werden die Folien gemäß den Herstellervorgaben auf das zu untersuchende Objekt appliziert. Das Speckle-Muster passt sich der Ausdehnung des Objekts an, wobei keinerlei mechanische Spannungen in dieses induziert werden.

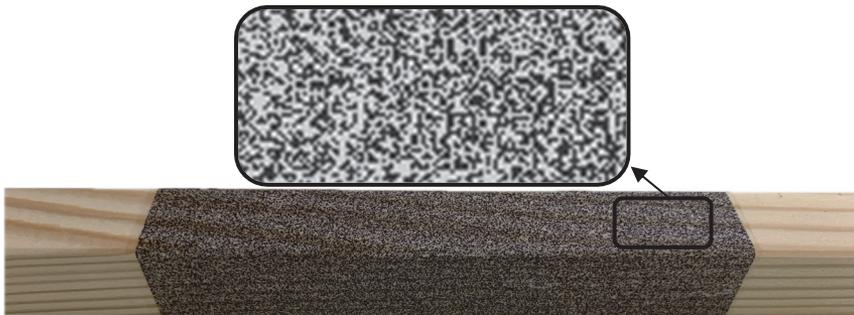


Abbildung 1: Speckle-Muster mit Tattoo-Folie auf einer Holzprobe

Die Kameras erfassen das stochastische Speckle-Muster auf einer Pixel-Ebene und digitalisieren es in diskrete Grauwertintensitäten. Durch die Definition lokaler Pixelgruppen, die als Fenster oder Facetten bezeichnet werden, kann ein charakteristisches Mustermerkmal, vergleichbar mit einem Fingerabdruck, im Referenzbild identifiziert werden. Jedes der identifizierten Mustermerkmale im Referenzbild wird systematisch in sämtlichen nachfolgenden Bildern der Messreihe gesucht. Bei erfolgreicher Lokalisierung erfolgt eine kontinuierliche Verfolgung des identifizierten Merkmals in den nachfolgenden Bildern. Eine Veränderung in der Form des vorab identifizierten Merkmals erfolgt durch eine genaue Korrelationsauswertung, vorausgesetzt, dass derartige Veränderungen vorhanden sind. Dieser Prozess ermöglicht eine fortlaufende Erfassung und detaillierte Analyse

dynamischer Veränderungen in den Formen der Mustermerkmale über die zeitliche Abfolge der Messaufnahmen hinweg. /1/

Messaufbau

Das am Institut verwendete DIC-System Q 400 stammt von Dantec Dynamics und umfasst zwei Kameras mit einer Auflösung von 2.3 Megapixeln, die an einem flexibel einstellbaren Stativ befestigt sind. Zur Gewährleistung optimaler Lichtverhältnisse werden die zu prüfenden Objekte mithilfe einer LED-Leuchte beleuchtet, deren Farbtemperatur und Lichtleistung individuell anpassbar sind. Dieser Aufbau, siehe Abbildung 2, ermöglicht eine präzise Erfassung hochauflösender Bilddaten unter kontrollierten Beleuchtungsbedingungen und trägt zur Gewährleistung reproduzierbarer Messergebnisse bei.



Abbildung 2: DIC Messaufbau mit Kameras, Stativ und LED-Beleuchtung

Eine Anlogschnittstelle fungiert als gezielter Auslösemechanismus für die Digitale Bildkorrelation bei vordefinierten Ereignissen. Über diese Schnittstelle können sämtliche auf das Prüfobjekt einwirkende physikalischen Größen in der Software des DIC erfasst werden. Hierzu erfolgt die Umwandlung dieser Größen vom eigentlichen Prüfaufbau in ein analoges Signal, welches über die Schnittstelle eingespeist wird. Diese Vorgehensweise ermöglicht nicht nur die Zuordnung der physikalischen Größen zu den einzelnen DIC-Aufnahmen, sondern gestattet auch die Verwendung als Triggersignal für die Implementierung einer Aufnahme-prozedur. Diese Prozedur dient nicht nur dem Initiieren und Abschließen der Aufnahmen, sondern regelt auch den Zeitpunkt sowie die Anzahl der zu speichernden Bilder. Dieser integrierte Ansatz erlaubt somit eine präzise Synchronisation von

physikalischen Ereignissen mit den Aufnahmen und fördert eine umfassende Kontrolle über den DIC-Messprozess.

Die Kalibrierung der Kameras vor dem Versuchsdurchlauf erfolgt mittels einer Kalibrierplatte. Hierbei werden die Perspektiven jeder einzelnen Kamera auf ein Objekt erfasst, wobei die internen Parameter Orientierung, Skalierung und die Umrechnung von Pixeln in ein Koordinatensystem mit physikalischen Entfernungseinheiten einschließen. Zusätzlich werden die Perspektiven einer Kamera im Verhältnis zur anderen Kamera erfasst, wodurch die externen Parameter definiert werden. Diese Kalibrierung stellt sicher, dass die Kameras präzise und korrekt die räumlichen Informationen des Objekts während des Versuchsdurchlaufs aufnehmen können. /1/

Optische Dehnungsmessung am Beispiel von Holzproben

Die Verschiebung der neutralen Faser ist ein wichtiger Parameter für die Charakterisierung des Verhaltens von Holzproben unter Biegebelastung und trägt zur umfassenden Analyse der mechanischen Eigenschaften des Materials bei.

Die Untersuchung von Holzproben mittels 4-Punkt-Biegung zielt darauf ab, die Verschiebung der neutralen Faser während der Belastung zu bestimmen. Für diesen Zweck werden Holzproben aus Fichte mit einem Querschnitt von 20 x 20 mm und einer Länge von 360 mm geprüft. Das Verfahren der 4-Punkt-Biegung beinhaltet das Anwenden einer Last an zwei Punkten entlang der oberen Oberfläche der Probe und das Aufliegen von zwei Stützpunkten an der Unterseite. Dieser Aufbau erzeugt eine definierte Biegespannung in der Probe und ermöglicht die Beobachtung der Verschiebung der neutralen Faser.

In Abbildung 3 sind die mit dem DIC-System ermittelten Dehnungen [%] in X-Richtung zu verschiedenen Belastungszeitpunkten dargestellt. Zur Visualisierung der neutralen Faser wird die Skala am oberen Ende auf 0 % eingestellt. Dies ermöglicht eine klare Abgrenzung der neutralen Faser und erleichtert die visuelle Verschiebung während der Belastungsphasen. Die Ermittlung der Position der 0 % Dehnung entlang von Pfaden im Biegebereich während des Versuchs ergibt eine durchschnittliche Verschiebung der neutralen Faser um 2,13 mm in Richtung der Zugzone (Abbildung 4). Weiterhin lässt sich beobachten, dass sich die neutrale Faser zu verschieben beginnt, wenn die Proportionalitätsgrenze überschritten wird, hier 1.197 N.

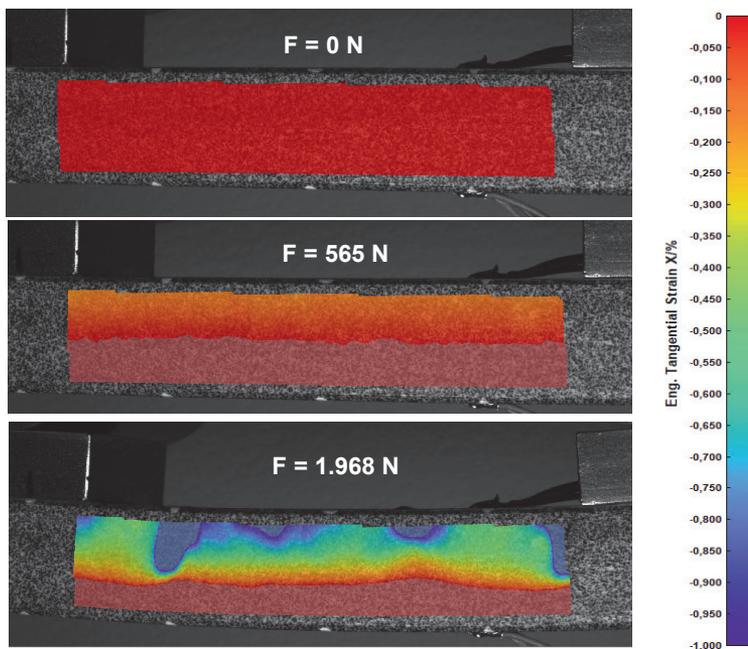


Abbildung 3: Dehnungen [%] in X-Richtung bei einer Holzprobe unter Biegebelastung

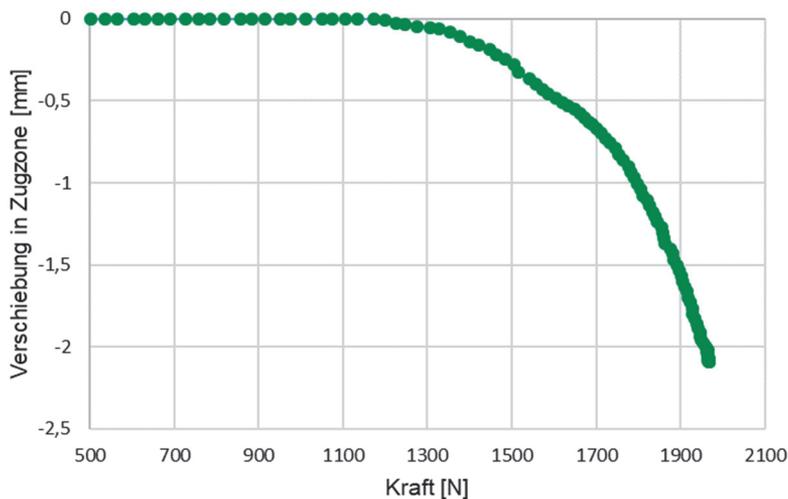


Abbildung 4: Belastungsabhängige Verschiebung der neutralen Faser in Richtung der Zugzone

Zusammenfassung

Die Digitale Bildkorrelation (DIC) ist ein leistungsstarkes Werkzeug zur Analyse von Dehnungen und Verformungen in Materialprüfungen. Sie ermöglicht nicht nur die genaue Bestimmung von kinematischen Größen, sondern bietet auch berührungslose Messungen und hohe Flexibilität in der Anwendung.

Der Messtechnikaufbau umfasst zwei Kameras, eine flexible Anlogschnittstelle und eine sorgfältige Kalibrierung vor dem Versuchsdurchlauf. Die Fähigkeit, die Verschiebung der neutralen Faser während einer 4-Punkt-Biegung an Holzproben mit einer Auflösung im Sub-Pixel-Bereich zu bestimmen, ermöglicht Einblicke in das mechanische Verhalten des Holzes unter Belastung. Die ermittelte durchschnittliche Verschiebung der neutralen Faser um 2,13 mm in Richtung der Zugzone zeigt einen wichtigen Parameter für die Charakterisierung des mechanischen Verhaltens von Holzmaterialien.

Literatur

- /1/ Dantec Dynamics: DIC Basic User Training Course 1.0: 1. Introduction to Digital Image Correlation (DIC).