Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 84 (1966)

Heft: 48

Artikel: Die vollständige Bestimmung des Dehnungszustandes auf Oberflächen durch photoelastische Streifenschichten

Autor: Mönch, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-69034

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Die vollständige Bestimmung des Dehnungszustandes auf Oberflächen durch photoelastische Streifenschichten

DK 620.171.5

Von Prof. Dr. **E. Mönch**, München

1. Die Dehnungsmessung mit einer gleichmässigen Oberflächenschicht

Bei der Dehnungsmessung mit dem bekannten spannungsoptischen Oberflächenschicht-Verfahren wird eine photoelastische Schicht auf die Oberfläche des zu untersuchenden Körpers geklebt. Die Dehnungen, die dann bei mechanischer Beanspruchung des Körpers in seiner Oberfläche entstehen, übertragen sich auch auf die Schicht und machen sie doppeltbrechend. Die Unterseite der Schicht muss lichtreflektierend sein. Dann kann man mit Hilfe eines sogenannten Reflexionspolariskops den Doppelbrechungseffekt in der Schicht und damit den mit ihm ursächlich verbundenen Dehnungszustand in der Oberfläche messen, indem man polarisiertes Licht auf die Schicht fallen lässt und das reflektierte Licht analysiert.

Wir wollen in folgendem annehmen, dass die zu vermessende Oberfläche eben sei und dass sich die in ihr auftretenden Dehnungen unverändert über die ganze Dicke der aufgeklebten Schicht übertragen. Dies trifft angenähert zu, wenn der Dehnungszustand örtlich nicht stark veränderlich und die Messstelle genügend weit von den Rändern der aufgeklebten Schicht entfernt ist. Bei senkrecht zur Oberfläche gerichtetem Lichtweg ist in diesem Fall die relative Phasendifferenz δ in Lichtwellenlängen (Isochromatenordnung):

$$\delta = K(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)\,, \tag{1}$$

wobei ε_1 und ε_2 die Hauptdehnungen sind. Die Konstante K ist

$$K = \frac{2\,E\,d}{S\,(1+\nu)}\,, \tag{2}$$

wobei d die Dicke, E den Elastizitätsmodul, und ν die Poissonsche Querkontraktionszahl der Schicht bedeuten. S ist die spannungsoptische Konstante des Schichtmaterials, welche durch die spannungsoptische Grundgleichung für einfache Durchleuchtung

$$\delta = \frac{d}{S}\,(\sigma_1 - \sigma_2)\,, \tag{3}$$

mit σ_1 und σ_2 als Hauptspannungen, festgelegt ist.

Somit kann man durch Messung der *Isochromaten*ordnung, z. B. durch Abzählen der Ordnungen in einem Isochromatenbild, für jede Stelle des Dehnungsfeldes der Oberfläche die Hauptdehnungsdifferenz $\varepsilon_1 - \varepsilon_2$ bestimmen.

Zusätzlich kann man auch noch den Neigungswinkel α der Hauptdehnungsrichtungen zu einer vorgegebenen Bezugsrichtung ermitteln, wenn man in der aus der ebenen Spannungsoptik bekannten Weise noch die *Isoklinen* auswertet.

2. Der Grundgedanke einer «Zweistreifenschicht»

In der eben getroffenen Feststellung drückt sich die bekannte Schwäche der einfachen Methoden der Spannungsoptik aus, dass man mit ihnen nur *Differenzen* von Spannungen oder Dehnungen, nicht aber diese selbst bestimmen kann. Der Informationsinhalt der Isochromatenaufnahme einer *gleichmässigen* Oberflächenschicht ist aus diesem Grunde, auch wenn zusätzlich Isoklinenaufnahmen gemacht werden, unbefriedigend. Für die meisten technischen Anwendungen ist die «vollständige Auswertung», d. h. die Bestimmung von ε_1 und ε_2 einzeln, erwünscht.

Nun kann man zwar eine Oberflächenschicht bekanntlich mit Hilfe der Methode der *schiefen Durchstrahlung* vollständig auswerten. Doch ist dieses Verfahren sehr schwer mit der erforderlichen Genauigkeit durchzuführen. Praktisch gelingen die Messungen nur, wenn sie punktweise mit einem besonderen Instrument durchgeführt werden. Damit werden sie umständlich und zeitraubend. In manchen Fällen ist es aber geradezu unerlässlich, dass die Messungen in kurzer Zeit erledigt werden können, vor allem dann, wenn der zu messende Dehnungszustand nicht stationär ist, z. B. bei Plastizitätsversuchen. Man wünscht sich also ein Verfahren, bei dem in kurzer Zeit photographische Aufnahmen solcher Art gemacht werden, dass sie hernach alle notwendigen Daten für die vollständige Auswertung des gesamten Dehnungsfeldes enthalten.

Der Suche nach einem solchen Verfahren entsprang die Idee der «Zweistreifenschicht», Bild 1 und 2. Die aufzuklebende Schicht besteht jetzt aus zweierlei sich in regelmässiger Folge abwechselnden Streifen. Ihre Wirkungsweise sei zunächst vereinfacht qualitativ erläutert:

Von der Streifenschicht werden, unter Beanspruchung, mit Farbfilm in weissem Licht folgende Aufnahmen gemacht: ein Isochromatenbild in zirkular polarisiertem Licht und, wie in der ebenen Spannungsoptik üblich, ein Satz von Isoklinenbildern in eben polarisiertem Licht bei verschiedenen Orientierungen der Polarisationsebene.

Für die «unteren Streifen» (siehe Bild 2) findet die Reflexion ganz unten statt. Sie verhalten sich hinsichtlich des optischen Effekts angenähert wie eine isotrope Schicht. Daher liefert die in ihr durch die Aufnahme festgehaltene Phasendifferenz (Isochromatenordnung) δ_u im wesentlichen die Hauptdehnungsdifferenz $\varepsilon_1 - \varepsilon_2$, während durch die Isoklinen angenähert die Neigung der Hauptrichtungen, z. B. ihr Winkel α gegen die Streifenrichtung (Bild 1), festgestellt werden kann.

Die «oberen Streifen» (s. Bild 2) dagegen verhalten sich stark anisotrop. Infolge der eingebetteten Spiegelschicht wird nur der obere Teil des Streifens optisch wirksam. In ihm entsteht ein angenähert einaxiger Spannungszustand. Daher wird durch die Phasendifferenz δ_0 fast nur die Dehnung ε_l in Streifenrichtung angezeigt.

Durch die 3 Messungen von $\varepsilon_1 - \varepsilon_2$, ε_l und α ist aber der Dehnungszustand vollständig bestimmt.

Die Bestimmung der Phasenverschiebungen δ_u und δ_0 erfolgt durch Farbvergleich der Farbaufnahmen mit der Aufnahme eines Eichversuchs. Dieses sonst in der Spannungsoptik heute kaum mehr verwendete Verfahren ist hier ausschlaggebend für den Erfolg. Denn einerseits kann man beim Oberflächenschichtverfahren im allgemeinen nicht mit hohen Isochromatenordnungen rechnen, so dass die Auswertung von Schwarzweiss-Isochromatenbildern, die in monochromatischem Licht aufgenommen sind, zu ungenaue δ-Werte liefern würden. Anderseits würde aber auch eine hohe Ordnungszahl wenig nützen, da, wie die Erfahrung zeigte, es praktisch unmöglich ist, im Schwarzweiss-Isochromatenbild einer Streifenschicht nachträglich die Ordnungszahlen festzustellen.

Die eben erläuterte Wirkungsweise der Zweistreifenschicht trifft nur näherungsweise zu. Für die Aufstellung quantitativer Auswertungsformeln müssen wir in folgendem die Vorgänge in einem aufgeklebten Streifen näher betrachten.

3. Der optische Effekt in einem langen Streifen auf gleichmässigem Dehnungsfeld

Ein Streifen von rechteckigem Querschnitt (Bild 3), der als «unendlich lang» betrachtet werde, sei auf einen hernach durch die Hauptdehnungen ε_1 und ε_2 gleichmässig gedehnten Untergrund unter dem Winkel α, ähnlich wie in Bild 1, aufgeklebt. Die Dehnungen ε_l und ε_q, die in Streifenrichtung bzw. quer zu ihr im Untergrund und daher auch auf der Unterseite des Streifens vorhanden sind, sowie die zugehörige Winkelverzerrung (Schiebung) γ, können aus dem Mohrschen Verzerrungskreis (Bild 4a) abgelesen werden.

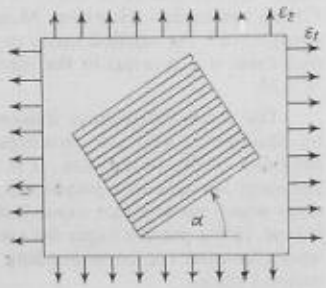

Bild 1. Zweistreifenschicht, auf eine Oberfläche aufgeklebt, die einem gleichmässigen Dehnungszustand ε_1, ε_2 unterworfen wird

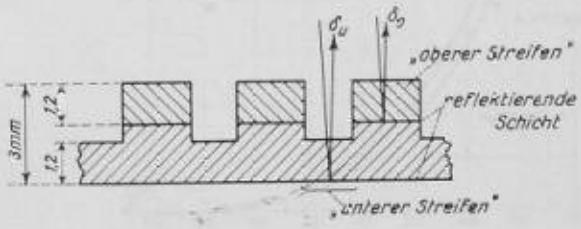

Bild 2. Profil einer photoelastischen Zweistreifenschicht. Lichtwege bei der Messung der Phasenverschiebungen δ_0 und δ_u, schematisch

Von diesen Verzerrungen wird nur ε_l über die volle Höhe des Streifens gleichmässig übertragen, da er als unendlich lang betrachtet wird.

Die Vorgänge in Querrichtung erläutert Bild 3. Wäre der Streifen nur ε_l unterworfen, sonst aber frei, so würde er eine Querkontraktion $\nu\varepsilon_l$ erfahren. Da er aber aufgeklebt ist, wird auf seiner Unterseite die Querdehnung ε_q erzwungen, die nach oben abnimmt. Das Gesetz dieser Abnahme ist zwar unbekannt, doch kann, weil alle Vorgänge im Streifen elastisch sind, die Querdehnung an jeder Stelle des Querschnitts als eine Überlagerung von $-\nu\varepsilon_l$ und einem Anteil, der $(\varepsilon_q + \nu\varepsilon_l)$ proportional ist, angesetzt werden. Für die *mittlere* Querdehnung ε_q' in Streifenmitte, die hernach in das photoelastische Gesetz eingehen wird, kann daher geschrieben werden:

$$\varepsilon_q' = -\nu\,\varepsilon_l + A\,(\varepsilon_q + \nu\,\varepsilon_l)\,. \tag{4}$$

Auch die Schiebung γ nimmt nach oben zu ab, so dass entsprechend für die mittlere Schiebung γ' in Streifenmitte gilt:

$$\gamma' = B\,\gamma\,. \tag{5}$$

A und B sind Konstanten.

Gln. (4) und (5) gelten nicht nur für den Querschnitt nach Bild 3, sondern, mit entsprechenden Konstanten A und B, auch für jeden irgendwie geformten Streifen, wenn er nur elastisch ist. Hievon werden wir bei der Behandlung der Zweistreifenschicht Gebrauch machen.

Der optische Effekt ist allgemein proportional der Hauptdehnungsdifferenz (Gl. (1)). Für die relative Phasenverschiebung (Isochromatenordnung) δ, die in der Mitte des Streifens beobachtet wird, kann daher *näherungsweise* geschrieben werden:

$$\delta = K\,(\varepsilon_1' - \varepsilon_2')\,, \tag{6}$$

wobei ε_1' und ε_2' die Hauptdehnungen sind, die sich durch Konstruktion eines Verzerrungskreises aus ε_l, sowie ε_q' und γ' nach den Gln. (4) und (5), ergeben (vgl. die Bilder 4b und c, in denen diese Konstruktion für die oberen und unteren Streifen einer Zweistreifenschicht durchgeführt ist). Daher wird:

$$\delta = K\sqrt{(\varepsilon_l - \varepsilon_q')^2 + \gamma'^2}\,, \tag{7}$$

und mit Benützung von Gl. (4) und (5):

$$\delta = K\sqrt{[(1 + \nu - \nu A)\varepsilon_l - A\,\varepsilon_q]^2 + B^2\,\gamma^2}\,. \tag{8}$$

Es ist zu beachten, dass die Gln. (6) bis (8) nur eine Näherung darstellen. Sie wären exakt richtig, wenn sich die auf der Unterseite des Streifens vorhandenen Verzerrungen $(\varepsilon_l - \varepsilon_q)$ und γ über die Höhe des Streifens hinweg nach dem gleichen Gesetz ändern würden, so dass die Konfiguration des Verzerrungskreises in jeder Höhe (abgesehen von seinem Koordinatenursprung) derjenigen am Fuss des Streifens ähnlich wäre und so der Winkel α (Bild 4a) konstant erhalten bliebe. Dann gälte die durch Gl. (7) ausgedrückte Beziehung zwischen dem optischen Effekt δ (der einen Mittelwert darstellt) und den unter der Wurzel quadriert stehenden Mittelwerten exakt. Dass aber ein solcher Zusammenhang niemals allgemein, für beliebige ε_l und ε_q, erfüllt sein kann, ersieht man aus dem Aufbau von Gl. (8). In Wirklichkeit ist α nicht konstant, d. h. die Hauptdehnungsrichtungen rotieren über die Streifenhöhe, und der optische Effekt ist in sehr komplizierter Weise von dieser Rotation abhängig.

4. Die vollständige Auswertung mit einer Zweistreifenschicht

Eine optische Auswertung unter Berücksichtigung der erwähnten Rotation der Hauptrichtungen über die Streifenhöhe ist für die vorliegende Anwendung indiskutabel. Man kann aber den Querschnitt des Streifens so dimensionieren, dass der Fehler, der begangen wird, wenn man die Rotation unberücksichtigt lässt, möglichst klein ist. Auf Grund solcher Erwägungen sind die Abmessungen der Zweistreifenschicht des Bildes 2 festgelegt worden. Die reflektierende Schicht für die oberen Streifen wurde etwas über das Niveau der unteren Schicht hochgezogen. Dadurch spielt sich der grösste Teil der Rotation unterhalb der Spiegelschicht ab und der zu messende optische Effekt wird davon wenig beeinflusst. Die Konstante A für die obere Schicht ist sogar nahezu gleich null. In der unteren Schicht ist sowieso keine starke Änderung des Dehnungszustandes über die Schichthöhe hinweg vorhanden; die Konstanten A und B für die untere Schicht sind daher von 1 nicht sehr verschieden. Infolgedessen ist der Winkel α_u' in dem unteren Streifen (Bild 4c), der hernach in die Messung eingehen wird, nicht sehr verschieden vom Winkel α im Untergrund.

Im übrigen treten aber die Fehler, die bei den Messungen der Phasenverschiebungen δ durch Nichtbeachtung der Rotation der Dehnungsrichtung entstehen können, gar nicht in der vollen Höhe auf, weil die Schicht, wie wir sehen werden, mit Hilfe eines bekannten Spannungszustandes geeicht wird. Bei der Eichung werden daher nicht genau die Konstanten A und B, die in Gl. (8) auftreten, gemessen, sondern solche, in die der Einfluss der Rotation automatisch bis zu einem gewissen Grade schon eingeht.

Wir wenden nun Gl. (8) für die zweierlei Streifen der Zweistreifenschicht an und versehen die sich auf die oberen bzw. unteren Streifen beziehenden Terme entsprechend mit den Indizes «o» (oben) und «u» (unten).

Für die Schicht des Bildes 2 ergaben sich, bei der Poisson-Zahl $\nu = 0{,}38$ für das Schichtmaterial [Araldit B[1])], die Konstanten:

$$A_o = 0{,}04\,, \qquad A_u = 1{,}14\,,$$
$$B_o = 0{,}14\,, \qquad B_u = 1{,}23\,.$$

[1]) Hersteller Ciba AG, Basel

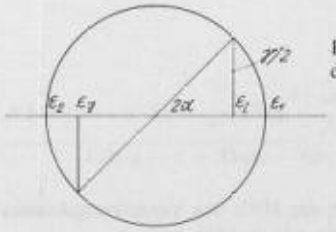

Bild 4a. Verzerrungskreis für den Untergrund

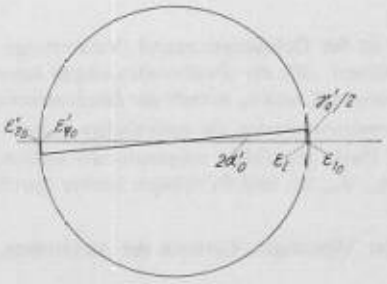

Bild 4b. Verzerrungskreis für einen oberen Streifen

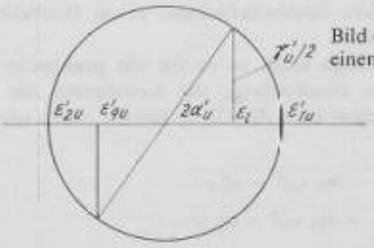

Bild 4c. Verzerrungskreis für einen unteren Streifen

Bilder 4a bis 4c. Mohrsche Verzerrungskreise bei der Messung eines gegebenen Dehnungszustandes mit den Hauptdehnungen ε_1 und ε_2. Neigung α des Streifens gegen ε_1. — Die Kreise der Bilder 4a und c entsprechen einer Schicht nach Bild 2 mit den Konstanten: $A_o = 0{,}04$, $B_o = 0{,}14$, $A_u = 1{,}14$, $B_u = 1{,}23$, $\nu = 0{,}38$

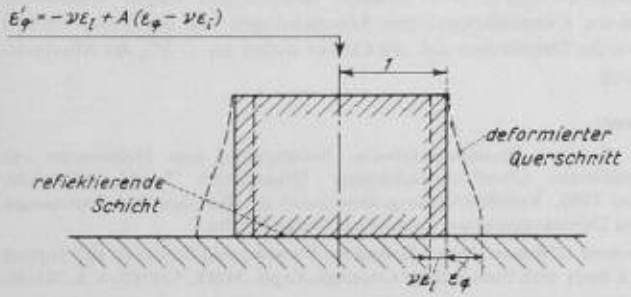

Bild 3. Zur Erklärung der effektiven Querdehnung ε_q' in der Mitte eines Streifens bei den Dehnungen ε_l und ε_q im Untergrund

Mit diesen Werten sind in den Bildern 4a und b die Mohrschen Kreise für die effektiven Dehnungen in den Streifen nach Gl. (8) gezeichnet. Man erkennt, dass, wie schon in Abschn. 2 erklärt wurde, in erster Annäherung der obere Streifen den einaxigen Dehnungszustand unter ε_l, der untere den Zustand des Untergrundes wiedergibt.

Zur Aufstellung der Endformeln für die Auswertung denken wir uns Gl. (4) für die obere und untere Schicht angeschrieben, wobei wir die Terme der oberen bzw. unteren Streifen wieder mit den entsprechenden Indizes versehen.

Dann eliminieren wir ε_q und können ε_l auf die Form bringen:

$$\varepsilon_l = \frac{A_u\,(\varepsilon_l - \varepsilon'_{q0}) - A_0\,(\varepsilon_l - \varepsilon'_{qu})}{A_u\,(1 + \nu - \nu\,A_0) - A_0\,(1 + \nu - \nu\,A_u)} \tag{9}$$

Die Terme $(\varepsilon_l - \varepsilon'_q)$ können wir auf Grund der Verzerrungskreise (Bild 4b und c) und unter Beachtung von Gl. (6) umformen:

$$\varepsilon_l - \varepsilon'_q = (\varepsilon'_1 - \varepsilon'_2)\cos 2\,\alpha' = \frac{\delta}{K}\cos 2\,\alpha', \tag{10}$$

ferner gilt wegen Gl. (5) und auf Grund der Verzerrungskreise:

$$\frac{\sin 2\,\alpha'_0}{\sin 2\,\alpha'_u} = \frac{B_0\,\gamma}{(\varepsilon'_1 - \varepsilon'_2)_0}\;\frac{(\varepsilon'_1 - \varepsilon'_2)_u}{B_u\,\gamma}, \tag{11}$$

so dass, mit Benützung von Gl. (6), α'_0 durch α'_u ausgedrückt werden kann:

$$\cos 2\,\alpha'_0 = \sqrt{1 - \left(\frac{B_0}{B_u}\,\frac{\delta_u}{\delta_0}\right)^2 \sin^2 2\,\alpha'_u}\,. \tag{12}$$

Gln. (12) und (10), in Gl. (9) eingesetzt, ergeben die Endformel für ε_l:

$$\varepsilon_l = \frac{1}{K}\;\frac{A_u\,\delta_0\sqrt{1 - \left(\frac{B_0}{B_u}\,\frac{\delta_u}{\delta_0}\right)^2 \sin^2 2\,\alpha'_u} - A_0\,\delta_u\cos 2\,\alpha'_u}{A_u\,(1 + \nu - \nu\,A_0) - A_0\,(1 + \nu - \nu\,A_u)}. \tag{13}$$

Auf ähnliche Weise berechnet sich:

$$\varepsilon_q = \frac{1}{K}\times \tag{14}$$

$$\times\;\frac{(1 + \nu - \nu\,A_u)\,\delta_0\sqrt{1 - \left(\frac{B_0}{B_u}\,\frac{\delta_u}{\delta_0}\right)^2 \sin^2 2\,\alpha'_u} - (1 + \nu - \nu\,A_0)\,\delta_u\cos 2\,\alpha'_u}{A_u\,(1 + \nu - \nu\,A_0) - A_0\,(1 + \nu - \nu\,A_u)}$$

Die Schiebung γ ergibt sich mit Hilfe des Verzerrungskreises Bild 4c und unter Beachtung der Gln. (5) und (6) zu:

$$\gamma = \frac{1}{K}\,\frac{\delta_u}{B_u}\sin 2\,\alpha'_u\,. \tag{15}$$

Durch die Werte ε_l, ε_q und γ ist der Dehnungszustand (Verzerrungskreis Bild 4a) vollständig bestimmt. *Mit der Zweistreifenschicht kann also, wenn die Phasenverschiebungen δ_0 und δ_u mittels der Isochromaten und α'_u mittels der Isoklinen gemessen wurden, die vollständige Auswertung der Dehnungen an jedem Punkt des Feldes vorgenommen werden.*

Die 6 Konstanten K, ν, A_0, A_u, B_0, und B_u müssen vorher durch Eichung bestimmt werden.

5. Praktische Durchführung der Messungen, Grenzen der Anwendung, Genauigkeit

Versuche mit dem Verfahren werden in der demnächst im Druck erscheinenden Münchener Dissertation *Galster* [1] behandelt[2]). In ihr werden auch noch andere Streifenschichten, sowie Herstellungsverfahren für sie angegeben.

Wie ferner dort gezeigt wird, ist es für die praktische Durchführung des Verfahrens zweckmässig, die Konstanten der Schicht anders zu definieren, indem man die Gl. 8, für die obere und untere Schicht schreibt:

$$\delta_0 = C_0\sqrt{(\varepsilon_l - m_0\,\varepsilon_q)^2 + n_0^2\,\gamma^2}\,, \tag{16a}$$

$$\delta_u = C_u\sqrt{(\varepsilon_l - m_u\,\varepsilon_q)^2 + n_u^2\,\gamma^2}\,. \tag{16b}$$

Dabei entstehen aus den 6 Konstanten K, ν, A_0, A_u, B_0 und B_u der Streifenschicht die neuen Konstanten:

$$C_0 = K\,(1 + \nu - \nu\,A_0)\,, \tag{17a}$$

$$C_u = K\,(1 + \nu - \nu\,A_u)\,, \tag{17b}$$

$$m_0 = \frac{A_0}{1 + \nu - \nu\,A_0}\,, \tag{18a}$$

$$m_u = \frac{A_u}{1 + \nu - \nu\,A_u}\,, \tag{18b}$$

$$n_0 = \frac{B_0}{1 + \nu - \nu\,A_0}\,, \tag{19a}$$

$$n_u = \frac{B_u}{1 + \nu - \nu\,A_u}\,. \tag{19b}$$

und die Gln. (13) bis (15) für die Auswertung nehmen die Form an:

$$\varepsilon_l = \frac{1}{m_u - m_0}\times \tag{20}$$

$$\times\left[m_u\,\frac{\delta_0}{C_0}\sqrt{1 - \left(\frac{n_0}{n_u}\,\frac{\delta_u}{\delta_0}\,\frac{C_0}{C_u}\right)^2 \sin^2 2\,\alpha'_u} - m_0\,\frac{\delta_u}{C_u}\cos 2\,\alpha'_u\right],$$

$$\varepsilon_q = \frac{1}{m_u - m_0}\times \tag{21}$$

$$\times\left[\frac{\delta_0}{C_0}\sqrt{1 - \left(\frac{n_0}{n_u}\,\frac{\delta_u}{\delta_0}\,\frac{C_0}{C_u}\right)^2 \sin^2 2\,\alpha'_u} - \frac{\delta_u}{C_u}\cos 2\,\alpha'_u\right],$$

$$\gamma = \frac{\delta_u}{n_u\,C_u}\sin 2\alpha'_u\,. \tag{22}$$

Auf diese Weise wird die gesonderte Messung der dehnungsoptischen Konstanten K und der Poisson-Zahl ν umgangen. Man misst vielmehr die Konstanten C_0, C_u, m_0, m_u, n_0 und n_u unmittelbar photoelastisch an einem bekannten Dehnungszustand. Es genügt hierfür ein auf einachsigen Zug beanspruchter Stab, auf den Proben der Streifenschicht unter 0 und 90° zur Zugrichtung, sowie mindestens noch unter einem dazwischen liegenden Winkel, aufgeklebt sind. Die jeweiligen Isochromatenordnungen δ_0 und δ_u werden gemessen und daraus die 6 Konstanten mittels der Gln. (16) bestimmt.

Die Messung von m_0, m_u, n_0 und n_u muss für eine und dieselbe Profilform der Streifenschicht nur einmal vorgenommen werden. Denn diese Konstanten hängen nur von der Form der Schicht und ihrer Poisson-Zahl ν ab, welche aber für denselben Kunststofftyp kaum veränderlich ist. Wurde nur die Fabrikationscharge des Schichtmaterials gewechselt, so sind nur die Konstanten C_0 und C_u, in die allein die photoelastischen Eigenschaften des Materials eingehen, (oder auch nur eine von ihnen) durch einen einfachen Eichversuch neu zu bestimmen.

Die Anwendung des Verfahrens ist auf Dehnungszustände beschränkt, die in *ebenen* Oberflächen auftreten und keine grossen örtlichen Unterschiede aufweisen. Bei örtlich stark veränderlichen Dehnungen treten die bekannten Fehlerquellen auf, die dem Oberflächenschichtverfahren allgemein anhaften.

Eine andere Einschränkung des Anwendungsbereichs liegt darin, dass die benützte Methode des Farbvergleichs der Isochromaten (s. Abschn. 2) nur innerhalb eines kleinen Bereiches der Phasendifferenz gut arbeitet, am besten etwa zwischen der 2. und 3. Isochromatenordnung. Es können also nur solche Dehnungszustände gut analysiert werden, die Isochromaten etwa zwischen der 1. und 4. Ordnung hervorrufen.

Kontrollversuche an rechnerisch erfassbaren Dehnungszuständen, die von *Galster* [1] durchgeführt wurden, ergaben eine recht befriedigende Genauigkeit. Allerdings ist diese stark richtungsabhängig. Ungünstig ist eine Orientierung der Streifen um 45° zu den Hauptdehnungsrichtungen. Von solchen ungünstigen Lagen abgesehen, wiesen die Kontrollmessungen Abweichungen von den theoretischen Werten der Dehnungen auf, die kleiner waren als ± 5% der Maximaldehnung.

[2]) Nach Fertigstellung der Dissertation Galster erschien die Arbeit von *O'Regan* [2], in der ebenfalls Streifenschichten, jedoch nur zur Dehnungsmessung in einer Richtung, verwendet werden.

Literatur:

[1] *D. Galster:* Spannungsoptische Bestimmung von Dehnungen mit profilierten Oberflächenschichten. Dissertation T. H. München, Juni 1965. Veröffentlichung demnächst in: Beiträge zur Spannungs- und Dehnungsanalyse, Akademie-Verlag, Berlin.

[2] *Richard O'Regan:* New Method for Determining Strain on the Surface of a Body with Photoelastic Coatings. Exptl. Mech. 5 (1965) 8. S. 241/46.

Adresse des Verfassers: Prof. Dr.-Ing. *Ernst Mönch*, Techn. Hochschule München, 8 München 2, Arcisstrasse 21.