

Über die Lichtstreuung in gedehntem Kautschuk

Autor(en): **Schwarzenbach, H.A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Helvetica Physica Acta**

Band (Jahr): **12 (1939)**

Heft III

PDF erstellt am: **16.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-110940>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Über die Lichtstreuung in gedehntem Kautschuk

von H. A. Schwarzenbach.

(20. IV. 39.)

1. Reiner Kautschuk bekommt bei einseitiger Dehnung bekanntlich¹⁾ einen Glanz, das heisst, das ihn beleuchtende Licht wird unter verschiedenen Winkeln zur Dehnungsrichtung merklich verschieden stark gestreut. Es wurde daher, sowie im Anschluss an eine frühere Arbeit²⁾, die Zerstreuung von sichtbarem Licht durch gedehnten Kautschuk zum Gegenstand einer Untersuchung gemacht, deren erste Ergebnisse hier kurz mitgeteilt werden sollen.

Die dabei verwendete experimentelle Anordnung war die folgende. Aus dem Lichte eines Kohlebogens wurde mit Linsen und Blenden ein praktisch paralleler eng begrenzter Lichtstrahl hergestellt, dessen Richtung hier als die X-Achse eines rechtwinkligen Koordinatensystems bezeichnet werden möge. Die bandförmige Kautschukprobe wurde jeweilen so in den Weg dieses Lichtstrahls gestellt, dass sie von ihm senkrecht zu ihrer Oberfläche durchstrahlt wurde. Sie lag also in der YZ-Ebene des angenommenen Koordinatensystems und mittels einer Dehnovorrichtung konnte sie in der Z-Richtung gedehnt werden. In passendem Abstände hinter der Probe war ein ebener transparenter Papierschirm ebenfalls senkrecht zur Richtung des Lichtstrahls aufgestellt. Auf diesem konnte die Verteilung des Streulichts um den von dem ungestreut durchgehenden Licht erzeugten hellen Fleck von Auge beobachtet und mit einer Kamera photographiert werden.

Untersucht wurden möglichst reine und füllstofffreie Proben, insbesondere Filme aus reinem Latex unvulkanisiert und schwach vulkanisiert, sowie Bänder aus käuflicher „Patentgummi-Platte“ und aus Paragummi.

¹⁾ Vgl. H. FEUCHTER, Kolloidchem. Beih. **21**, S. 171, 1925.

²⁾ H. A. SCHWARZENBACH, Helv. Phys. Acta **9**, S. 301, 1936.

2. Wird eine ungedehnte, also isotrope Kautschukmembran in der angegebenen Weise durchstrahlt, so entsteht auf dem Schirm naturgemäss ein genau kreissymmetrischer Halo, dessen Ausdehnung nur von der Trübheit der Probe abhängt. Wird die Membran dann in steigendem Masse gedehnt, so verbreitert sich der Halo in der zur Dehnungsrichtung (Z) senkrecht liegenden Ebene (XY), um schliesslich bei grossen Dehnungsgraden in eine Figur von der Art der in Fig. 1 wiedergegebenen Aufnahme überzugehen. Das Streulicht kann alsdann in der zur Dehnungsrichtung senkrecht stehenden Ebene (XY) rund um die Probe herum nachgewiesen werden.

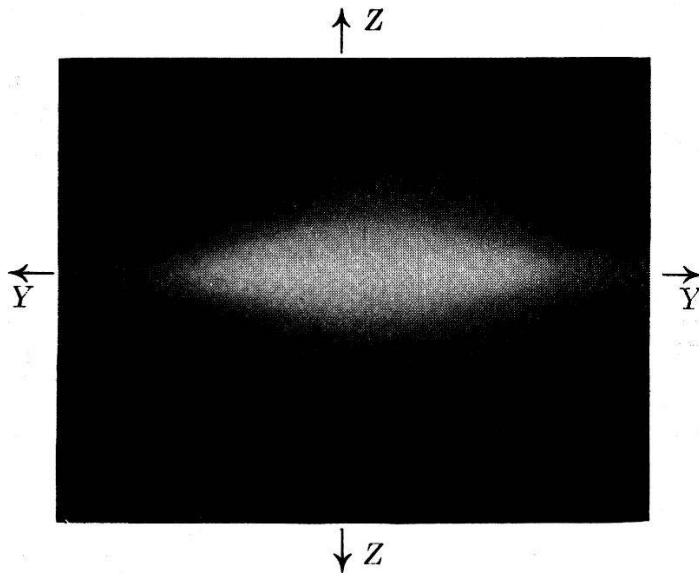


Fig. 1.

Diese Erscheinung erklärt sich im wesentlichen als ein Oberflächeneffekt, denn bei Proben aus reinem, also nicht mit Füllstoffen versetztem Kautschuk überwiegt die Lichtstreuung an der stets rauhen Oberfläche bei weitem diejenige im Innern. Bei der Dehnung werden die Unebenheiten der Oberfläche im gleichen Masse wie die Probe selbst in die Länge gezogen, so dass die Oberfläche eine gerichtet rauhe, das heisst faserige Struktur erhält. An dieser wird das Licht durch Brechung, Reflexion und Beugung in die Ebene senkrecht zur Faserrichtung zerstreut.

Der von Auge ohne weiteres zu beobachtende Glanz gedehnten Kautschuks ist somit im wesentlichen mit diesem Oberflächeneffekt identisch.

3. Um nun die Lichtstreuung im Innern des Kautschuks zu untersuchen, wurde der Oberflächeneffekt durch Einbetten der Probe in eine Flüssigkeit mit gleichem Brechungsexponenten

($n = 1,52$ bis $1,53$) eliminiert. Dadurch wird erwartungsgemäss die Menge des gestreuten Lichts stark herabgesetzt, die Proben werden fast ganz klar-durchsichtig. Das noch verbleibende Streulicht ist bei ungedehnter Probe wiederum genau kreissymmetrisch. Bei Dehnung jedoch bildet es auf dem Schirm die durch die Aufnahmen der Fig. 2 wiedergegebene typische Figur.

Die gleiche Figur entsteht auch, wenn die Oberflächenstreuung nicht durch Einbetten, sondern durch Pressen der Probe zwischen zwei planparallelen Glasplatten eliminiert wird.

Die Streulichtfigur besteht erstens aus einem mittleren Streifen, entsprechend einer Lichtstreuung in der zur Dehnungsrichtung (Z) senkrechten Ebene (XY), und zweitens aus zwei „gekreuzten“ Streifen, welchen eine Lichtstreuung in zwei sich in der Verlängerung des Primärstrahls (X) schneidenden Ebenen entspricht. Der Winkel α zwischen diesen beiden gekreuzten Streifen ändert sich mit wachsendem Dehnungsgrade in dem Sinne, dass er von grossen Werten bei kleiner Dehnung (z. B. 60° bei 120% Dehnung) asymptotisch gegen Null geht, während gleichzeitig die Streifen schärfer werden. Ferner erscheinen die Streifen, im Gegensatz zu dem in Abschnitt 2 beschriebenen Effekt, erst bei einem bestimmten minimalen Dehnungsgrad von 100 bis 200%.

Bei manchen Proben sind die beiden gekreuzten Streifen schwach gekrümmt. Insbesondere erscheinen sie bei sehr dünnen Membranen als aus den vier Ästen zweier hyperbelähnlicher Kurven gebildet.

Wird die Probe mit polarisiertem Licht durchstrahlt, so zeigt sich, dass die Helligkeit des Streulichts stark von der Schwingungsrichtung abhängt, und zwar für den mittleren anders als für die beiden äusseren Streifen. Das deutet darauf hin, dass der mittlere Streifen einerseits und die beiden äusseren andererseits verschiedene streuende Systeme zur Ursache haben. Hierfür spricht weiterhin auch der Umstand, dass bei Durchleuchtung mit weissem Licht der mittlere Streifen oftmals eine etwas andere Farbnuance aufweist als die äusseren. Im ganzen jedoch ist die gefundene Lichtstreuung, von derartigen kleinen Farbunterschieden abgesehen, von der Wellenlänge des Lichts unabhängig, woraus hervorgeht, dass die Streuung durch Gebilde verursacht wird, deren Ausdehnung die Wellenlängen des sichtbaren Lichts wesentlich übersteigt.

Aus dem Vorhandensein der drei Streifen in der Streulichtfigur ist zu schliessen, dass im gedehnten Kautschuk drei entsprechende

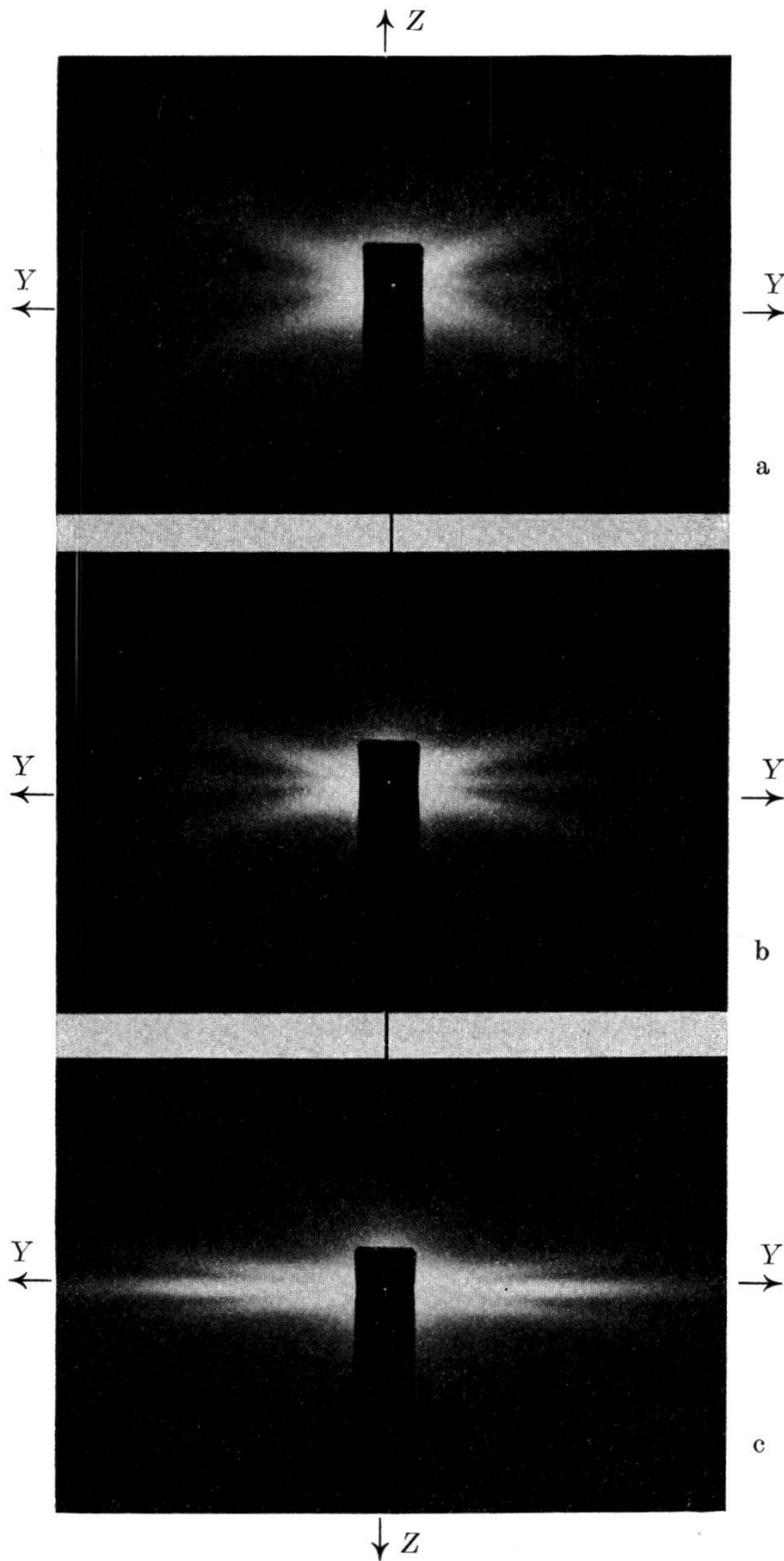


Fig. 2.

Material: Latex, schwach vulkanisiert. Dicke ungedehnt 0,3 mm. Die allzu helle Mitte ist durch einen Streifen schwarzen Papiers abgeblendet.

- a. 180% Dehnung, $\alpha \approx 40^\circ$. b. 270% Dehnung, $\alpha \approx 29^\circ$.
c. 460% Dehnung, $\alpha \approx 15^\circ$.

ausgezeichnete Richtungen vorhanden sein müssen, welche auf den Richtungen dieser Streifen senkrecht stehen¹⁾. Dem mittleren Streifen entspricht so die Dehnungsrichtung selbst (Faserstruktur), während den beiden gekreuzten Streifen zwei zu ihnen senkrecht stehende gekreuzte Vorzugsrichtungen entsprechen. Diese Richtungen müssen dadurch gekennzeichnet sein, dass der Brechungs-exponent in ihrer Längsrichtung praktisch keinen, senkrecht zu ihnen aber maximalen Änderungen unterworfen ist.

4. Die Kautschukproben sind daher im Polarisationsmikroskop betrachtet worden. Dabei hat sich bereits bei mässiger Vergrösserung nicht nur die mit der Dehnungsrichtung zusammenfallende Vorzugsrichtung auffinden lassen, sondern bei geeigneten Stellungen von Polarisator und Analysator sind auch zwei weitere sich überkreuzende Richtungen sichtbar geworden. Der Anblick, der sich dabei im Mikroskop bietet, ist zwar sehr wechselnd, immer aber von der Art eines rhombischen Netzes oder Mosaiks. In Fig. 3 sind

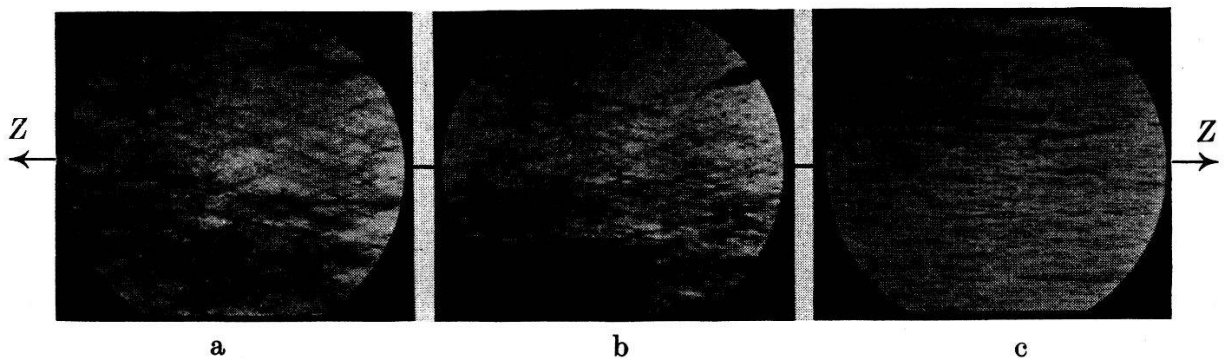


Fig. 3.

Gleiche Probe wie in Fig. 2.

- a. 180% Dehnung, $\gamma = 42^\circ$.
- b. 270% Dehnung, $\gamma = 28^\circ$.
- c. 460% Dehnung, $\gamma = 13^\circ$.

Durchmesser des Gesichtsfeldes 2,8 mm.

drei Mikroaufnahmen davon wiedergegeben, welche den drei Streulichtbildern der Fig. 2 entsprechen. Der Winkel γ zwischen den beiden Richtungen des Netzes und der Winkel α in der Streulichtfigur unterscheiden sich nur um wenige Grade, und beide weisen

¹⁾ Als einfaches Modell zur Erzeugung einer derartigen streifenförmigen Lichtstreuung möge erwähnt werden: eine Glasplatte, auf deren Oberfläche eine grosse Zahl paralleler Striche eingekratzt ist, oder auf welcher mit einem Lappen eine Spur von Fett in einer Richtung verstrichen ist.

den gleichen Gang mit dem Dehnungsgrad auf, was als Beweis für den ursächlichen Zusammenhang zwischen der aufgefundenen Netzstruktur und der Lichtstreuung angesehen wird. Die Grössenordnung der rhombischen Gebilde beträgt, wenigstens bei den untersuchten Proben von einigen Zehntelmillimeter Dicke, 0,01 bis 0,1 mm.

Bei 300- bis 500-facher Vergrösserung ist jedoch an vielen Proben beobachtet worden, dass die eben erwähnte grobe noch von einer viel feineren Struktur unterbaut ist. Man hat dazu den Polarisator so einzustellen, dass der elektrische Vektor parallel zur Dehnungsrichtung der Probe steht, und sieht dann bei beliebiger Analysatorstellung ein Gewimmel von farblosen stäbchen- oder fadenförmigen Gebilden, welche zwar dicht ineinander verflochten, aber gleichzeitig alle in den beiden ausgezeichneten Richtungen orientiert sind.

Die mikroskopische Beobachtung gibt natürlich nur über die Verhältnisse in der Bildebene des Mikroskops Aufschluss, also in Ebenen, die zur planen Oberfläche der Kautschukbänder parallel liegen. Aus Symmetriegründen ist aber anzunehmen, dass sich in jeder anderen parallel zur Dehnungsrichtung (Z) gelegenen Ebene das gleiche Strukturbild zeigen würde, sofern nur die Probe hinreichende Dicke besitzt. Die Struktur muss bezüglich der Dehnungsrichtung eine statistische Rotationssymmetrie besitzen. Dafür spricht auch die Tatsache, dass die Streulichtfigur bei einer Drehung der Probe um die Dehnungsrichtung (Z), also bei schräger Durchleuchtung, keine merkliche Veränderung erfährt. Bei sehr dünnen Proben dagegen, bei welchen die Dicke mit der Ausdehnung der Strukturelemente vergleichbar wird, ist eine Störung der statistischen Rotationssymmetrie zu erwarten. Andeutungen dafür sind in den Streulichtuntersuchungen erhalten worden.

Der Unschärfe der Streulichtstreifen entsprechen im Mikroskop beobachtbare Unregelmässigkeiten im Strukturbild. Bei gleichen Proben sind der Streulichteffect und die Struktur, also genauer die Winkel α und γ mit der Dehnung reversibel und reproduzierbar. Ausnahmen davon wurden nur bei gewissen Proben infolge einer beide Erscheinungen betreffenden Hysterese beobachtet. Schliesslich wurde festgestellt, dass durch Erwärmung sowohl das rhombische Strukturbild als auch gleichzeitig der Streulichteffect zum Verschwinden gebracht werden kann.

Wenn im vorstehenden der Ausdruck „Struktur“ gebraucht worden ist, so ist das mit dem nötigen Vorbehalt geschehen. Denn inwieweit die aufgefundenen Gebilde als Struktur im eigentlichen

Sinne aufzufassen sind, und ob sie die heutigen Vorstellungen vom Aufbau des gedehnten Kautschuks zu vervollständigen vermögen, bleibt noch abzuklären.

Dem Direktor des Instituts, Herrn Prof. Dr. EDGAR MEYER, möchte ich auch an dieser Stelle für die freundliche Überlassung der nötigen Hilfsmittel meinen herzlichen Dank aussprechen.

Zürich, Physikalisches Institut der Universität.
