**Zeitschrift:** Helvetica Physica Acta

**Band:** 21 (1948)

**Heft:** III-IV

**Artikel:** Über die Lichtstreuung an durch Ultraschall ausgerichteten kolloidalen Teilchen

**Autor:** Bömmel, Hans

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-111911

**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:** 11.07.2025

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

# Über die Lichtstreuung an durch Ultraschall ausgerichteten kolloidalen Teilchen

von **Hans Bömmel.**

(3. VI. 1948.)

## 1.

Bekanntlich werden Lösungen scheibchen- oder stäbchenförmiger kolloidaler Teilchen in einem Ultraschallfeld derart orientiert, dass ihre grössten Flächen resp. ihre Längsachsen parallel zu den Schallwellenflächen stehen[1][2]. Voraussetzung für diese Orientierung ist, dass die Dimensionen der Teilchen klein gegen die Schallwellenlänge sind, und dass ihre Dichte grösser als diejenige des umgebenden Lösungsmittels ist. Eine Lösung solcher Partikel, die von Ultraschall durchstrahlt wird, muss daher in mancher Hinsicht „kristalline" Eigenschaften annehmen.

In einer früheren Mitteilung[3]) wurde bereits auf einige optische Erscheinungen beim Durchgang von Ultraschallwellen durch eine kolloidale $WO_3$-Lösung hingewiesen. Die im Verlauf der damaligen Versuche gemachte Beobachtung, dass sich beim Durchgang eines Lichtbündels durch eine solche Lösung die Intensität des nach den Seiten gestreuten Lichtes stark ändert, wenn man die Lösung gleichzeitig mit Ultraschall durchstrahlt, wird in der vorliegenden Arbeit näher untersucht.

## 2.

Das allgemeine Schema der ursprünglich verwendeten Anordnung zeigt Fig. 1. Das Licht einer Osram-Punktlampe $L$ wurde mit dem Kondensor $K$ auf die Lochblende $B_1$ (ø = 2 mm) konzentriert. Das von dieser ausgehende Licht wurde mit der Linse $l$ (ø = 3 cm, $f$ = 11,9 cm) parallel gemacht und fiel durch eine zweite Blende $B_2$ in das Messgefäss. Letzteres bestand aus einem mit Boden versehenen Glasrohr $G$ von 10,5 cm Höhe und 5,2 cm Durchmesser, an das in der Mitte ein Stutzen $S$ von 3 cm Durchmesser ange-

[1]) L. V. King, Proc. Roy. Soc. London (A) **153**, 1, 17 (1935).
[2]) R. Pohlmann, Zs. Phys. **107**, 497 (1937).
[3]) H. Bömmel et S. Nikitine, H.P.A. **18**, 234 (1945).

schmolzen war, auf welchen das Fenster $F$ aufgekittet wurde. In die Mitte dieses mit Wasser gefüllten Glasgefässes tauchte ein Cellophanrohr $C$ von 0,002 cm Wandstärke, 6 cm Höhe und 2 cm Durchmesser. Am oberen Ende dieses Rohres war ein Messingring eingeklebt, an welchem dasselbe aufgehängt werden konnte, ein eingeklebter Messingzylinder bildete den Boden, der gleichzeitig durch sein Gewicht dafür sorgte, dass die Cellophanwand immer gut gespannt blieb. In dieses Cellophangefäss wurde die zu untersuchende Lösung eingefüllt.

In $G$ befand sich ausserdem der als Ultraschallquelle dienende runde Piezoquarz $Q$ von 2 cm Durchmesser, der so angeordnet war,

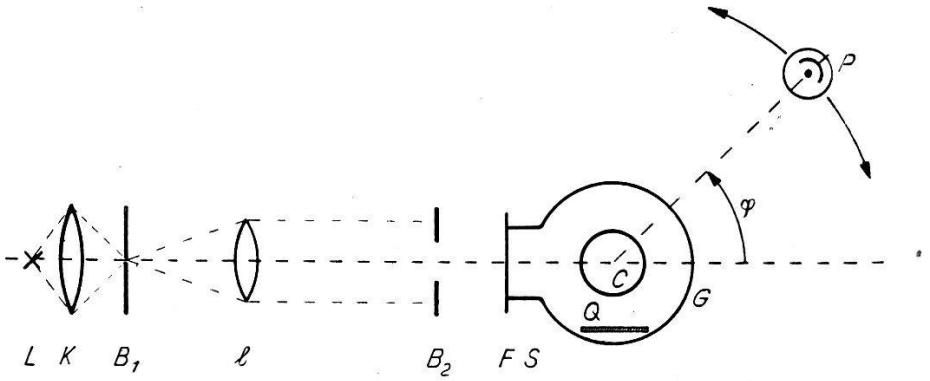


Fig. 1.

dass der von ihm ausgehende Schallstrahl das Cellophanrohr senkrecht zum Lichtstrahl durchsetzte. Der Quarz besass eine Eigenfrequenz von 4,5 MHz und war in einer gegen das Wasser isolierten Halterung befestigt. Zu seiner Erregung diente ein kleiner Hochfrequenzgenerator, der bis zu ca. 150 V Hochfrequenzspannung lieferte, und an den der Quarz über zwei kleine Drehkondensatoren variabel angekoppelt war.

Der in $G$ erzeugte Ultraschallstrahl konnte das Cellophanrohr praktisch ungehindert durchsetzen, da dessen Wandstärke klein gegen die Schallwellenlänge (ca. 0,33 mm) war.

Das ganze Messgefäss stand auf dem Tisch eines Spektrometers. An Stelle des Fernrohres war an den drehbaren Arm des letzteren eine Photozelle $P$ befestigt, mit der die Intensität des in $C$ nach allen Seiten gestreuten Lichtes gemessen wurde. Als Photozelle wurde eine Philips-Zelle 3520 mit Elektronenvervielfachung verwendet, die direkt an ein Galvanometer angeschlossen wurde, da ihre Empfindlichkeit gross genug war, um auf Nachverstärkung verzichten zu können. Zur völligen elektrischen und optischen Abschirmung war die Photozelle in ein Messinggehäuse eingebaut, das nur gegenüber der Eintrittsöffnung eine verschliessbare Blende be-

sass. Der Abstand zwischen dem Mittelpunkt von $C$ und der Eintrittsöffnung von $P$ betrug 15 cm, der Durchmesser der Eintrittsblende 0,6 cm, so dass der aufgefangene Streulichtkegel einen Öffnungswinkel von etwa 2°20′ besass.

## 3.

Mit der beschriebenen Anordnung wurde die Intensität des Streulichtes mit und ohne Einwirkung von Ultraschall in einer uns zur Verfügung gestellten, als „$WO_3$ Sol“ [1]) bezeichneten wässerigen kolloidalen Lösung als Funktion des Streuwinkels gemessen. Die Partikel dieser Lösung sollten nach Angabe des Herstellers ungefähr scheibchenförmige Kriställchen von ca. 1 $\mu$ Durchmesser sein.

Tab. 1 zeigt das Ergebnis einer solchen Messung, in Fig. 2 ist es in Polarkoordinaten graphisch dargestellt. Als Radiusvektor ist der Galvanometerausschlag, d. h. die Lichtintensität in willkürlichen

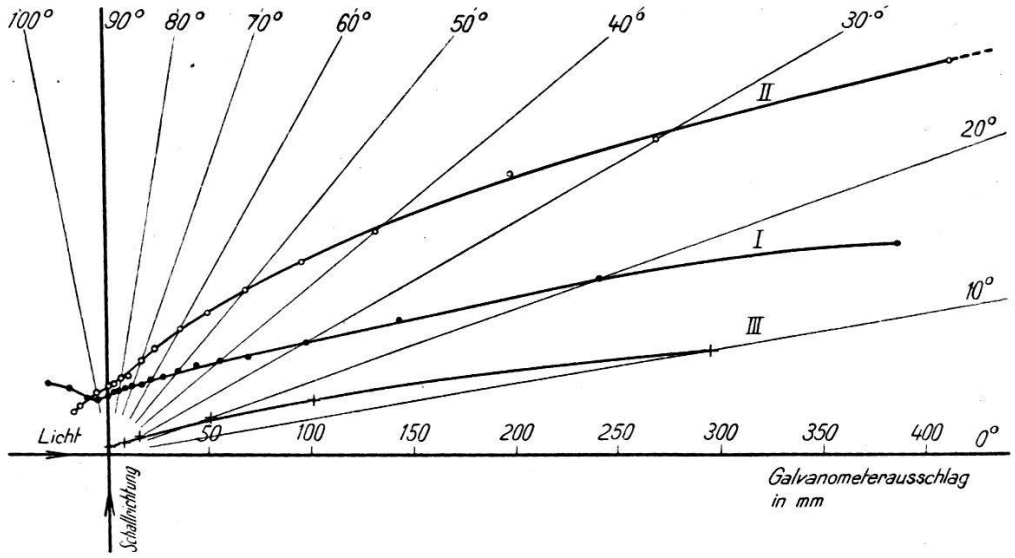


Fig. 2.

Einheiten aufgetragen. Die Werte bei kleinen Winkeln wurden in der Figur weggelassen, da sonst der Maßstab zu klein geworden wäre. Kurve I entspricht der Lichtstreuung in der ungestörten Lösung, Kurve II derjenigen nach Einschalten des Ultraschallfeldes. Kurve III gibt eine Messung, bei der sich sowohl in $G$ als auch in $C$ reines Wasser befand, zeigt also die Streuung der ganzen Anordnung an sich.

---

[1]) Vgl. Abschnitt 5. Die Lösung wurde uns von Herrn Prof. Dr. PALLMANN, Direktor des Institutes für Agrikulturchemie an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, zur Verfügung gestellt, wofür ihm an dieser Stelle bestens gedankt sei.

Die Lösung besass eine Konzentration[1]) von $3{,}5 \cdot 10^{-4}$ g/cm³, nachdem durch Vorversuche festgestellt worden war, dass etwa bei dieser Konzentration der Unterschied in der Streuung zwischen ungestörter und bestrahlter Lösung, d. h. die „Empfindlichkeit", am grössten war.

**Tabelle 1.**

| Streuwinkel $\varphi^0$ | Galvanometerausschlag in mm in $C$: Lösung ohne Ultraschall | Lösung mit Ultraschall | Reines Wasser ohne oder mit Ultraschall |
|---|---|---|---|
| 10 | | | 300 |
| 15 | 400 | | 105 |
| 20 | 256 | 720 | 54 |
| 25 | 158 | 456 | |
| 30 | 112 | 311 | 18 |
| 35 | 84 | 242 | |
| 40 | 72 | 172 | 10 |
| 45 | 62 | 135 | |
| 50 | 54 | 106 | 8 |
| 55 | 47 | 86 | |
| 60 | 42 | 72 | 5 |
| 65 | 38 | 56 | |
| 70 | 36 | 49 | 4 |
| 75 | 34 | 40 | |
| 80 | 32 | 38 | 4 |
| 85 | 31 | 35 | |
| 90 | 29 | 34 | 4 |
| 100 | 28 | 31 | |
| 110 | 30 | 29 | |
| 120 | 38 | 28 | |
| 130 | 46 | 27 | |

Der Durchmesser der Blende $B_2$ und damit auch derjenige des Lichtbündels betrug 0,9 cm.

Dass der Durchmesser des Lichtbündels kleiner gewählt wurde als derjenige von $C$, hat seinen Grund darin, dass sonst an den Stellen, an denen das Licht die Cellophanwand streifend durchsetzte, störende Reflexe und Streuerscheinungen auftraten.

Die Hochfrequenzspannung am Quarz betrug 100 Volt.

[1]) Die Konzentration der Lösung war freundlicherweise im Institut von Herrn Prof. Pallmann bestimmt worden. Ihre Messung erfolgte durch Eindampfen eines bekannten Volumens der Lösung und Wägung des Rückstandes.

4.

Zur Erzielung einer möglichst gleichförmigen Orientierung der Partikel ist natürlich eine gute Homogenität des Schallfeldes erwünscht. Eine solche lässt sich nur mit Straubelquarzen und auch dann nur angenähert erreichen. Der von uns verwendete runde Quarz zeigte eine, bei gewöhnlichen Quarzscheiben übliche, ziemlich komplizierte Schwingungsform, und daher war von vorneherein keine gleichförmige Orientierung der Partikel zu erwarten.

Die Inhomogenität des Schallfeldes liess sich übrigens direkt visuell beobachten. Das Gebiet, in dem die Teilchen orientiert sind, d. h. das Schallfeld, hebt sich, je nach der Beobachtungsrichtung, hell vom dunkleren Hintergrund ab oder umgekehrt.

Die oben beschriebene Anordnung weist überdies den Mangel auf, dass die von $Q$ ausgehenden Schallstrahlen infolge der Krümmung der Wand von $G$ an dieser wie an einem Konkavspiegel reflektiert werden. Dadurch wird die ohnehin komplizierte Struktur des Schallfeldes noch weiter gestört.

Um diese durch die Reflexion des Schalles bewirkte Störung zu eliminieren, wurde die Versuchsanordnung in folgender Weise abgeändert. Man setzte der „$WO_3$"-Lösung im Cellophangefäss eine bestimmte Menge wässeriger Agar-Agar-Lösung zu. Dieser Zusatz bewirkte nach kurzer Zeit eine Verfestigung der Flüssigkeit in $C$ und damit ein „*Einfrieren*" der orientierten Partikel. Bei Verwendung einer durch Filtrieren gereinigten Agar-Agar-Lösung und durch geeignete Wahl ihrer Konzentration konnte erreicht werden, dass die Streuung des Systems ohne Ultraschall nur relativ wenig zunahm. Daher war es jetzt möglich, das Schallfeld „einfrieren" zu lassen, während sich an der dem Quarz gegenüberliegenden Wandfläche von $G$ ein *schallabsorbierendes* Medium (eine Schicht Glaswolle) befand. Nach dem „Einfrieren" konnte sowohl der Absorber als auch der Piezoquarz aus $G$ entfernt werden, wodurch es nunmehr möglich wurde, die Streuintensität im Winkelbereich zwischen etwa $-130^0$ und $+130^0$ zu messen.

Im einzelnen wurde zum „Einfrieren" der orientierten Teilchen folgendermassen verfahren: Durch Auflösen in kochendem Wasser wurde eine etwa einhalbprozentige Agar-Agar-Lösung hergestellt, dieselbe noch heiss filtriert und auf ca. $35^0$ C abgekühlt. Der Cellophantrog wurde zur Hälfte mit $7 \cdot 10^{-4}$ g/cm$^3$-prozentiger „$WO_3$"-Lösung gefüllt, das Schallfeld eingeschaltet und danach unter Umrühren etwa das gleiche Volumen von $35^0$ warmer Agar-Agar-Lösung zugesetzt. Nach etwa 20—30 sec war die so hergestellte Mischung soweit abgekühlt, dass sie fest wurde. Die durch den

Schall bewirkte Orientierung der Partikel blieb bei den so hergestellten Mischungen während ca. 6—7 Stunden praktisch unverändert. Durch Verwendung konzentrierterer Agar-Agar-Lösung konnte die Haltbarkeit zwar auf mehrere Tage erhöht werden, doch war dann die Streuung des Lösungsmittels grösser.

Solche fixierten Schallfelder dürften sich eventuell auch zu Modellversuchen oder Demonstrationsversuchen eignen, da sie relativ einfach herzustellen und bei geeigneter Beleuchtung bequem von allen Seiten beobachtbar sind. Fig. 3 zeigt die Aufnahme eines

Schallrichtung →

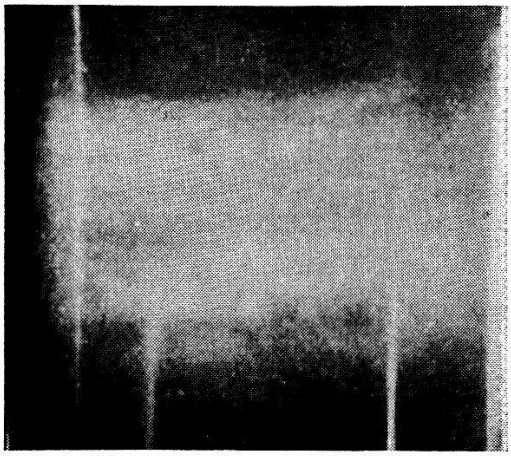

Fig. 3.
Die 3 vertikalen Striche sind Reflexe, die durch die zum Photographieren verwendete Beleuchtung entstanden sind.

fixierten Schallstrahles im Cellophanrohr, wobei dieses so gedreht worden war, dass die Richtung des Schallstrahles mit derjenigen des Lichtbündels einen Winkel von 45° bildete, während die Aufnahme unter 90° gegen das Lichtbündel erfolgte. Die Erscheinung ist jedoch bei visueller Beobachtung viel deutlicher als es die Aufnahme erkennen lässt.

Tab. 2 und Fig. 4 zeigen das Ergebnis einer an derart fixierten Partikeln ausgeführten Streulichtmessung. Kurve I entspricht der Streuung an *ohne* Einwirkung von Ultraschall fixierten Partikeln, Kurve II derjenigen *nach* Einwirkung von Ultraschall. Kurve III stellt wieder die Streuung des reinen Lösungsmittels ($^1/_4$-prozentiger Agar-Agar-Lösung) plus der übrigen Teile des Messgefässes dar.

Analog ausgeführte Versuche, bei denen in den Weg des Lichtstrahles ein blaues Glas eingeschaltet war, ergaben ebenfalls einen qualitativ ganz ähnlichen Kurvenverlauf.

Jede der Kurven stellt den Mittelwert aus zwei Messreihen dar. Der maximale prozentuale Fehler jedes Messpunktes beträgt etwa $\pm$ 2%.

**Tabelle 2.**

| Streuwinkel $\varphi^0$ | Galvanometerausschlag in mm in $C$: Lösung ohne Ultraschall | Lösung mit Ultraschall | Reine Agar-Agar-Lösung ohne oder mit Ultraschall |
|---|---|---|---|
| 10 | | | 350 |
| 15 | 423 | | 133 |
| 20 | 271 | 724 | 70 |
| 25 | 176 | 466 | |
| 30 | 130 | 348 | 28 |
| 35 | 106 | 271 | |
| 40 | 94 | 210 | 18 |
| 45 | 80 | 168 | |
| 50 | 68 | 130 | 12 |
| 55 | 60 | 104 | |
| 60 | 55 | 81 | 10 |
| 65 | 52 | 66 | |
| 70 | 48 | 58 | 10 |
| 75 | 46 | 53 | |
| 80 | 44 | 47 | 9 |
| 85 | 42 | 43 | |
| 90 | 40 | 42 | 9 |
| 100 | 40 | 40 | |
| 110 | 42 | 38 | |
| 120 | 47 | 38 | |
| 130 | 55 | 39 | |
| − 15 | 431 | | |
| − 20 | 276 | 733 | |
| − 25 | 180 | 471 | |
| − 30 | 135 | 355 | |
| − 35 | 109 | 277 | |
| − 40 | 98 | 215 | |
| − 45 | 84 | 173 | |
| − 50 | 70 | 135 | |
| − 55 | 65 | 108 | |
| − 60 | 58 | 86 | |
| − 65 | 55 | 69 | |
| − 70 | 50 | 63 | |
| − 75 | 47 | 56 | |
| − 80 | 46 | 50 | |
| − 85 | 44 | 46 | |
| − 90 | 41 | 42 | |
| −100 | 39 | 40 | |
| −110 | 43 | 39 | |
| −120 | 49 | 40 | |
| −130 | 58 | 42 | |

5.

Zu den Figg. 2 und 4 lässt sich folgendes sagen. Erstens zeigt der Vergleich der Kurven I und II in beiden Figuren die grosse „Empfindlichkeit" einer solchen Anordnung gegenüber der Einwirkung von Ultraschall, besonders bei kleinen Streuwinkeln. Diese Tatsache liesse sich unter Umständen zum Nachweis sehr geringer Schallintensitäten verwenden, da, wie auch schon POHLMANN[1]) zeigte, bereits sehr kleine Schallintensitäten eine beträchtliche Richtwirkung auf kolloidale Teilchen ergeben.

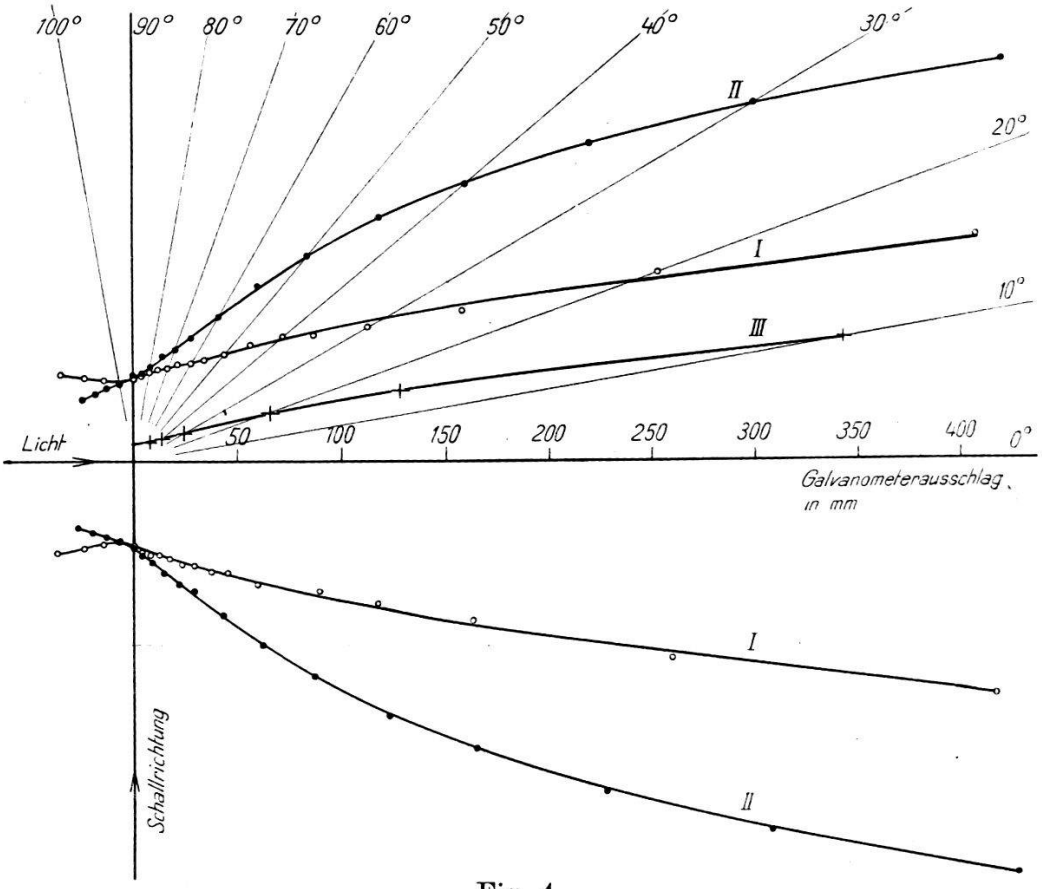


Fig. 4.

Zweitens ist die Tatsache interessant, dass die Schnittpunkte der Kurven mit und ohne Ultraschall jeweils bei etwa 90° liegen. Die Erklärung hierfür könnte nur eine quantitative Berechnung der ganzen Streuvorgänge liefern, die sich aber aus den unten erwähnten Gründen nicht durchführen lässt.

Drittens fällt schliesslich auf, dass die Kurven I und II innerhalb der angegebenen Fehlergrenze keine eindeutigen Anzeichen von Nebenmaxima des Streulichtes zeigen. Solche Nebenmaxima wären

[1]) R. POHLMANN: loc. cit.

bei der Lichtstreuung in einer monodispersen Lösung von Teilchen, deren Durchmesser grösser als die Lichtwellenlänge oder vergleichbar mit derselben ist, unbedingt zu erwarten[1]). Auf Grund des beobachteten Kurvenverlaufes musste daher vermutet werden, dass die Teilchen unserer Lösung entweder klein gegen die Lichtwellenlänge waren, was sehr unwahrscheinlich ist, oder aber dass die Lösung Teilchen verschiedener Grösse enthielt.

Zur Abklärung dieser Frage wurden einige elektronenmikroskopische Aufnahmen der Partikel gemacht[2]). Wie Fig. 5 zeigt, enthielt

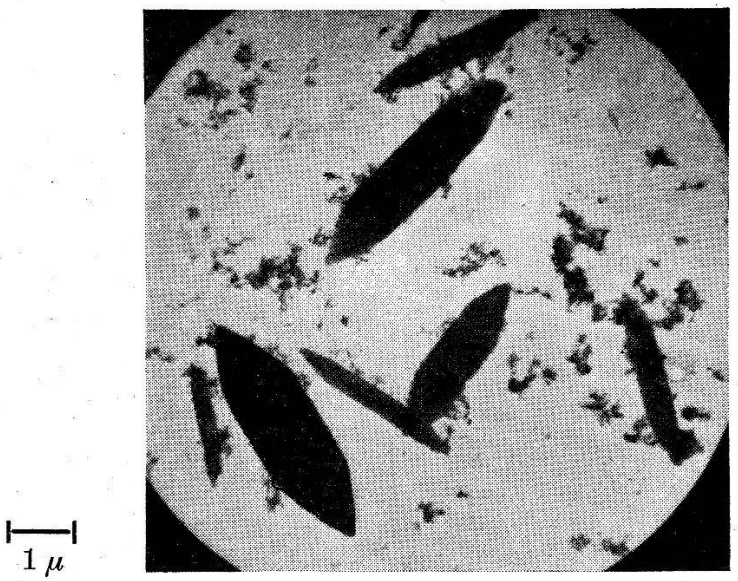


Fig. 5.

die Lösung Teilchen *verschiedener* Grösse und Form. Die zunächst naheliegende Vermutung, dass es sich bei den schmalen Teilchen um „hochkant" stehende der gleichen Form wie die „flach" liegenden handle, wird dadurch widerlegt, dass die ersteren durchsichtiger erscheinen als die letzteren.

Um sicher zu sein, dass es sich nicht etwa um ein Gemisch verschiedener Substanzen handelte, und zur möglichst eindeutigen Feststellung der chemischen Natur der Teilchen wurde noch eine Röntgenaufnahme derselben gemacht[3]). Das erhaltene Röntgen-

[1]) Vgl. z. B.: M. Born, Optik, Verlag J. Springer, Berlin 1933.

[2]) Der Verfasser möchte an dieser Stelle der Firma Trüb, Täuber & Co., Zürich, ganz besonders aber ihrem Oberingenieur, Herrn G. Induni, für die Zurverfügungstellung des Elektronenmikroskopes und die Ausführung der Aufnahmen bestens danken.

[3]) Die Aufnahme wurde von Herrn Prof. Dr. E. Brandenberger im Mineralogischen Institut der Eidgenössischen Technischen Hochschule ausgeführt. Für seine freundliche Hilfsbereitschaft sei ihm an dieser Stelle herzlich gedankt.

*

diagramm stimmte weder mit demjenigen von $WO_3$ noch mit dem von $WO_2$ überein, zeigte aber vollkommene Identität mit einem von A. M. MORLEY[1]) beschriebenen Präparat „Standard tungstic acid, type A", „vermutlich $H_2WO_4H_2O$". Es dürfte sich daher bei unseren Teilchen wohl um eine chemisch einheitliche Substanz handeln, wobei aber die einzelnen Kriställchen in verschiedenen Wachstumsstadien und -formen vorliegen.

## 6.

Die Tatsache, dass unsere Lösung Teilchen verschiedener Grösse und Form enthielt, dürfte wohl die Erklärung für das Fehlen von Nebenmaxima in den Streukurven liefern. Der Unterschied der Kurven mit und ohne Ultraschalleinwirkung lässt sich qualitativ verstehen, wenn man sich vergegenwärtigt, dass die Teilchen durch den Schall in der in *1.* erwähnten Weise orientiert werden. Durch diese Orientierung werden ja die grössten Partikelflächen resp. Längsachsen parallel zur Lichteinfallsrichtung eingestellt, wodurch sich eine verminderte Reflexion und Streuung nach hinten ergibt. Eine quantitative Behandlung der Frage dürfte praktisch unmöglich sein, da bekanntlich schon die Berechnung der Lichtstreuung an nichtkugelförmigen Teilchen einheitlicher Grösse ausserordentliche Schwierigkeiten bereitet.

Der Verfasser möchte zum Schluss Herrn Prof. Dr. EDGAR MEYER für die Überlassung der Institutsmittel sowie für viele wertvolle Ratschläge seinen herzlichsten Dank aussprechen.

Physikalisches Institut der Universität Zürich.

---

[1]) A. M. MORLEY, J. Chem. Soc. London, 1987 (1930).