

Fortpflanzungsgeschwindigkeit und Absorption scherender Deformationen in Olivenöl und Glyzerin.

Von R. Reiger und P. Lampe.

Aus dem physikalischen Institut der Universität Erlangen.

Eingegangen am 10. April 1909.

Im folgenden sollen einige Resultate mitgeteilt werden, die wir bei Bestimmung von Fortpflanzungsgeschwindigkeit und Absorption nach den von dem einen von uns in 6., 7., 8. angegebenen Methoden¹⁾ erhalten haben. Eine genauere Beschreibung der Versuchsanordnung soll später gegeben werden.

9. Was die Genauigkeit der im folgenden mitgeteilten Versuche anlangt, so möge schon hier mitgeteilt werden, daß für den Absorptionskoeffizienten sich bei geeigneten Versuchsbedingungen genaue Werte erreichen lassen, wenigstens in allen Fällen, in denen der Absorptionskoeffizient einen kleinen Wert hat.

Dagegen können die beiden Methoden zur Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit vorderhand nur dazu dienen, die Größenordnung dieser Größe zu bestimmen. Bei der Bestimmung aus dem Minimum bei der Dämpfung nach 7 macht sich störend bemerkbar, daß dieses wegen der starken Absorption nicht scharf ausgeprägt ist. Aus der starken Absorption erklärt sich auch, daß das Minimum um so flacher wird, je größer λ ist. Es konnten daher nur für rasche Schwingungen bei Olivenöl und Glyzerin die Versuche ausgeführt werden. Dies bedingt aber eine Ungenauigkeit in der Bestimmung des log. Dekrements. Eine Störung kann auch noch eintreten durch geringe Verunreinigungen der Oberfläche, die eine Vermehrung der Dämpfung

¹⁾ Vgl. die vorbergehende Arbeit. Zur leichteren Bezugnahme wird die Numerierung der Abschnitte in dieser Arbeit fortgesetzt.

bewirken. Dies ist besonders stark bei Glycerin-Wassergemischen der Fall.

Die Ungenauigkeiten der direkten Methode liegen darin, daß hier kleine Zeitdifferenzen direkt zu messen sind, und keine Möglichkeit besteht, durch Vergrößerung der beobachteten Zeitintervalle die Genauigkeit zu steigern. Als Zeitpunkte zur Registrierung wurden die Umkehrpunkte aus dem maximalen Ausschlag benutzt, da für den dünnen Faden stets kleine Nullpunktverschiebungen vorhanden waren. In die Messungen tritt außerdem noch ein subjektiver Fehler ein, der in der Beurteilung des Umkehrpunktes durch zwei verschiedene Beobachter liegt. Wir suchten diese Fehler zu eliminieren, indem für die Bestimmung einer Zeitdifferenz stets vier aufeinanderfolgende Beobachtungen durchgeführt wurden. Zunächst wurde die Zeitdifferenz zwischen den Umkehrpunkten von A und B bei zwei aufeinanderfolgenden Ausschlägen nach beiden Seiten bestimmt und dann dieselben Beobachtungen ausgeführt mit dem Unterschied, daß die Beobachter von A und B ihre Rolle tauschten. Dadurch fällt der subjektive Fehler heraus, wenn man annimmt, daß dieser für jeden Beobachter konstant bleibt. Durch die Beobachtung der Zeitdifferenzen bei Ausschlägen nach entgegengesetzter Richtung werden die Einflüsse von event. Nullpunktverschiebungen eliminiert. Praktischer Wert wurde nur den Messungen von v beigemessen, die sich als Mittelwerte aus einer größeren Reihe von Beobachtungen bei verschiedenen Abständen ergeben, wobei die Zeitdifferenzen für jeden Abstand durch eine größere Reihe von Beobachtungen in der oben angegebenen Weise bestimmt wurden. Von den so gewonnenen Werten läßt sich annehmen, daß sie die Größenordnung der Geschwindigkeit geben.

10. Eine Vorbedingung für die in 6 und 8 gegebenen Methoden zur Bestimmung von v und β ist, daß die Direktionskraft des Fadens, an dem der Metallstreifen B aufgehängt ist, hinreichend klein ist, da nur dann die Bewegung des Streifens an Stelle der Bewegung der Flüssigkeit gesetzt werden kann. Dies ist der Fall, wenn eine Verringerung der Direktionskraft des Fadens auf die Resultate der Messung keinen Einfluß hat. Der im folgenden mitgeteilte Versuch bezieht sich auf ein Glycerin-Wassergemisch.

| Faden | Direktionskraft $\text{cm}^2\text{gsec}^{-2}$ | Fortpflanzungsgeschwindigkeit (cmsec^{-1}) |
|---------|--|--|
| Messing | 38,7 | 1,31 |
| Cocon | 0,534 | 1,39 |
| Quarz | 0,0549 | 1,32 |

Die Übereinstimmung kann als eine genügende angesehen werden.

Die Unabhängigkeit vom Material des Streifens und vom Trägheitsmoment zeigt eine andere Messungsreihe:

| Streifen | Trägheitsmoment (cm^2g) | Fortpflanzungsgeschwindigkeit |
|-----------|--|-------------------------------|
| Messing | 167,7 | 0,985 |
| Aluminium | 83,3 | 0,978 |

Für den Absorptionskoeffizienten ergab sich dieselbe Unabhängigkeit.

11. In einigen Fällen wurden ungedämpfte Erregerschwingungen verwandt. Über die Methode, solche Schwingungen zu erhalten, soll später berichtet werden. Da es jedoch stets sehr schwierig war, die Amplitude der oberen Platte auf längere Zeit vollkommen konstant zu halten, so wurden bei den meisten Versuchen schwach gedämpfte Schwingungen verwandt. Um die Abhängigkeit von der Dämpfung zu bestimmen, wurde das Gefäß über die Platte *A* mit Flüssigkeit gefüllt und der Platte *A* eine Platte *A'* genähert, die eine Vermehrung der Dämpfung bewirkte. Die folgende Tabelle enthält verschiedene Werte von α_I / α_{II} , wobei α_I die Amplitude von *A* und α_{II} die von *B* ist.

Logarithmisches Dekrement bestimmt
aus Abnahme der Amplitude

| von <i>A</i> | von <i>B</i> | $\frac{\alpha_I}{\alpha_{II}}$ |
|--------------|--------------|--------------------------------|
| 0,00385 | 0,00385 | 5,08 |
| 0,01418 | 0,01398 | 5,11 |
| 0,02565 | 0,02570 | 5,09 |

Der Wert des Absorptionskoeffizienten wird durch Dämpfung der erregenden Platte nicht geändert. Dasselbe gilt auch für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit.

12. Um zu prüfen, ob ein wesentlicher Einfluß der Wände des Gefäßes vorhanden ist, wurde der Einfluß des Durchmessers des Gefäßes in der folgenden Weise geprüft:

Zu den Versuchen diente eine Platte *A* von 12 cm Durchmesser. Der Durchmesser des Gefäßes war 24 cm. Ohne die

Stellung des Gehänges von *A* und *B* zu ändern, konnte von oben ein Glaszylinder von 16 cm Durchmesser abwechselnd eingeführt und herausgenommen werden, so daß der Abstand des Plattenrandes von der Gefäßwand abwechselnd 2 cm und 6 cm betrug. Die Ergebnisse der Versuche, die bei abwechselnder Einführung und Herausnahme des Glaszylinders durchgeführt wurden, ergaben für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit:

| | | | | | Mittel |
|---------------|------|------|------|------|--------|
| weites Gefäß: | 0,75 | 0,72 | 0,72 | 0,73 | 0,73 |
| enges Gefäß: | 0,77 | 0,76 | 0,74 | 0,75 | 0,755, |

für den Absorptionskoeffizienten:

| | | | | Mittel |
|---------------|-------|-------|-------|--------|
| weites Gefäß: | 0,733 | 0,729 | 0,729 | 0,730 |
| enges Gefäß: | 0,730 | 0,718 | 0,726 | 0,725. |

Man sieht, die Werte des Absorptionskoeffizienten sind im engen Gefäß etwas kleiner (0,7%), die der Fortpflanzungsgeschwindigkeit etwas größer (3,3%). Es hängt dies vielleicht mit einer Streuung der Energie im ersten Falle zusammen. Jedenfalls hat die Weite des Gefäßes keinen beträchtlichen Einfluß. Man kann annehmen, daß die Bedingung der ebenen Welle bei dem engen Gefäß jedenfalls angenähert erfüllt ist.

13. Eine Abhängigkeit von β vom Abstand von der erregenden Platte ergab sich nicht. In unmittelbarer Nähe der Platte wurden allerdings stets etwas zu hohe Werte gefunden. Es hängt dies wohl mit Störungen zusammen, die durch Bildung stehender Wellen bedingt sind. Sieht man von diesen Störungen in unmittelbarer Nähe der Platte ab, so ist β als vollkommen konstant anzusehen. Dies zeigt die folgende Tabelle, die sich auf Olivenöl bezieht:

| Versuch | Sk.-Teile | $\frac{\alpha I}{\alpha II}$ | $x_2 - x_1$ in cm | β_{12} | $x_4 - x_1$ | β_{14} |
|---------|-----------|------------------------------|----------------------|--------------|-------------|--------------|
| 1. | 290,25 | 3,093 | — | — | — | — |
| 2. | 278,8 | 4,256 | 0,573 | 0,545 | | |
| 3. | 257,1 | 7,578 | 1,085 | 0,538 | | |
| 4. | 237,6 | 12,86 | 0,975 | 0,542 | 2,633 | 0,5412 |
| 5. | 217,6 | 22,04 | 1,000 | 0,539 | 3,060 | 0,5398 |
| 6. | 198,05 | 37,45 | 0,978 | 0,542 | 2,953 | 0,5411 |

Man sieht aus den unter β_{12} angegebenen Werten, die aus je zwei aufeinanderfolgenden Werten berechnet sind, daß β

konstant ist. Größere Genauigkeit ist allerdings nur für größere Abstände zu erzielen. Dies zeigen die unter β_{14} gegebenen Werte, bei denen je zwei Werte ausgelassen sind. Die Abweichungen betragen in diesem Falle 0,26%, während sie für die β_{12} 1,3% betragen. Ließe sich aus β allein der Reibungskoeffizient bestimmen (vgl. 15), so wäre die Methode für zähe Flüssigkeiten hinreichend genau.

Für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit läßt sich nach den bisherigen Versuchen noch nicht angeben, ob event. eine kleine Abhängigkeit vom Abstand vorhanden ist, da die Abweichungen zwischen den einzelnen Versuchsreihen hier zu groß sind, um einen definitiven Entscheid zu geben. Praktischen Wert haben hier, wie schon erwähnt, nur die Mittelwerte aus einer größeren Reihe von Beobachtungen. Die meisten Versuche ergaben in geringem Abstand von der Platte höhere Werte und in einem mittleren Bereich konstante Werte. In großer Entfernung wurden mitunter etwas niederere Werte gefunden. Es sind jedoch im letzten Falle die Umkehrpunkte wegen der geringen Größe der Amplitude von B nur sehr ungenau zu bestimmen, die beobachteten Zeitdifferenzen werden dabei leicht zu groß und damit v zu klein.

Die Bestimmungen von v und β erfolgten im folgenden fast durchweg in dem mittleren Bereiche.

14. Im folgenden sind die Versuchsreihen mit Olivenöl mitgeteilt, wobei β nach 8 und v nach 6 bestimmt ist. Leider sind die Beobachtungen bei etwas verschiedenen Temperaturen durchgeführt, doch läßt sich aus den mitgeteilten Versuchen der Gang der ganzen Erscheinungen deutlich erkennen.

| | | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Temperatur | 18,5° | 19° | 19,2° | 18,9° | 18,5° | 16,6° |
| Schwingungsdauer $\left(\frac{\tau}{2}\right)$ | 14,985 | 10,887 | 5,528 | 2,907 | 1,830 | 0,932 |
| Absorptionskoeffizient β | 0,5572 | 0,5807 | 0,6788 | 0,8658 | 1,0850 | 1,3734 |
| Temperatur | 16,7 | 17,6 | 19,0 | 17,8 | 19,2 | 18,0 |
| Schwingungsdauer $\left(\frac{\tau}{2}\right)$ | 14,33 | 10,33 | 5,240 | 2,801 | 1,841 | 0,931 |
| Fortpflanzungsgeschw. (v) | 1,04 | 1,08 | 1,18 | 1,61 | 1,98 | 2,72. |

Die Tabellen zeigen, daß β und v in dem beobachteten Intervalle mit abnehmender Schwingungsdauer stark zunehmen, während sie für große Schwingungsdauern ziemlich konstant sind.

Es wurde außerdem noch η/ρ bestimmt durch Strömen durch Kapillaren und zwar durch Vergleich mit Wasser. Es ergab sich, daß in dem Intervall von 10° bis 20° die nach der Interpolationsformel

$$\frac{\eta}{\rho} = 1,0869 + 0,05278 (15 - \vartheta) \quad (13)$$

berechneten Werte mit den beobachteten Werten übereinstimmen. Die Abweichungen betragen im Maximum $0,15\%$.

15. Zur Prüfung der Theorie sind die nach Formel (8) aus v und β berechneten Werte von η/ρ den aus Formel (13) sich ergebenden, d. h. beim Strömen durch Kapillaren beobachteten Werten gegenübergestellt.

| | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Schwingungsdauer | 14,33 | 10,33 | 5,250 | 2,801 | 1,841 | 0,931 |
| $\frac{\eta}{\rho}$ beobachtet | 0,9972 | 0,9497 | 0,8758 | 0,9391 | 0,8652 | 0,9286 |
| $\frac{\eta}{\rho}$ berechnet aus v | 2,467 | 1,918 | 1,163 | 1,156 | 1,149 | 1,099 |
| Schwingungsdauer | 14,985 | 10,887 | 5,528 | 2,907 | 1,83 | 0,932 |
| $\frac{\eta}{\rho}$ beobachtet | 0,9022 | 0,8758 | 0,8652 | 0,9074 | 0,9022 | 1,0024 |
| $\frac{\eta}{\rho}$ berechnet aus β | 0,3376 | 0,4279 | 0,6167 | 0,7208 | 0,7291 | 0,8935. |

Man sieht, daß die beobachteten und berechneten Werte nicht übereinstimmen. Es ergeben die aus v berechneten Werte einen mit τ wachsenden, die aus β berechneten Werte einen mit wachsenden τ abnehmenden Wert von η/ρ .

Berechnet man nach (9) die Werte von N/ρ , so ergibt sich:

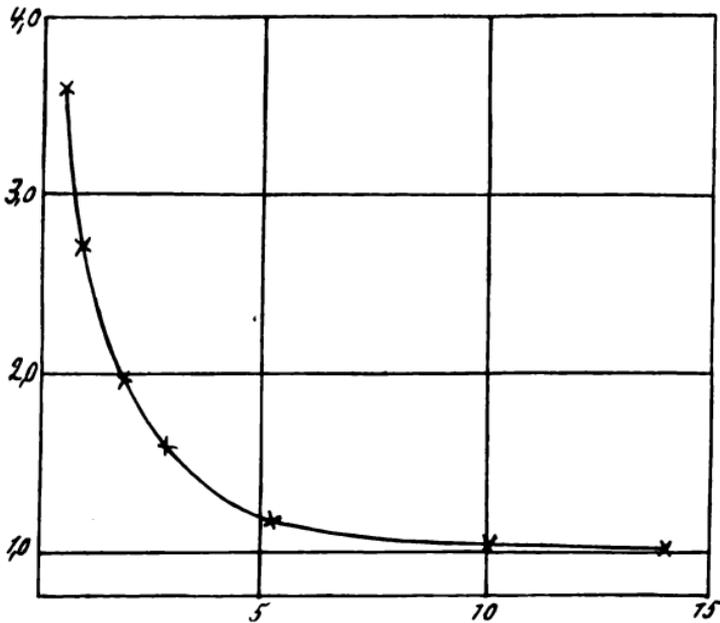
| | | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|----------|
| Schwingungsdauer | 14,33 | 10,33 | 5,25 | 2,801 | 1,841 | 0,931 |
| $\frac{N}{\rho}$ aus v berechnet | -0,211 | -0,379 | -1,821 | -5,043 | -5,141 | -18,78 |
| Schwingungsdauer | 14,985 | 10,887 | 5,528 | 2,907 | 1,830 | 0,932 |
| $\frac{N}{\rho}$ aus β berechnet | -0,165 | -0,324 | -1,425 | -4,223 | -7,215 | -29,326. |

Daß für N/ρ ein negativer Wert sich ergibt, mag zunächst befremdend erscheinen, es soll darauf später eingegangen werden. Die Werte N/ρ sind nicht konstant, ändern sich aber diesmal nach demselben Sinn.

Eine Prüfung der Beziehung (3) resp. (5)

$$\frac{\eta}{\rho} = \frac{v}{2\beta}$$

läßt sich streng genommen nach den Beobachtungen überhaupt nicht durchführen, da β und ν unter verschiedenen Bedingungen (Temperatur und Schwingungsdauer) bestimmt sind. Da jedoch die Schwingungsdauern nahezu dieselben sind und außerdem die Temperaturen nicht sehr stark voneinander abweichen, so kann nach der oben mitgeteilten Tabelle eine Kurve (s. d. Fig.; es sind als Ordinaten die Werte von ν , als Abszissen die von $\tau/2$ angetragen) gezeichnet werden, die die Beziehung zwischen ν und τ hinreichend genau gibt, um die Werte von ν zu korrigieren. Die Korrekturen betragen maximal ca. 2,5%.



Bilden wir die Werte $\nu/2\beta$, so haben wir zu berücksichtigen, daß ν und β bei verschiedenen Temperaturen bestimmt sind. Mit wachsender Temperatur nimmt ν ab, ebenso $1/\beta$. Die Abhängigkeit von $\nu/2\beta$ von der Temperatur muß daher groß sein, wie dies ja für η/q in der Tat der Fall ist. Um der Temperatur Rechnung zu tragen, vergleichen wir $\nu/2\beta$ mit dem arithmetischen Mittel der Werte η/q , die sich für die Temperaturen ergeben, bei denen ν und β bestimmt sind.

| | | | | | | |
|----------------------|--------|--------|-------|-------|------|-------|
| Schwingungsdauer | 14,985 | 10,887 | 5,528 | 2,907 | 1,83 | 0,932 |
| $\frac{\nu}{2\beta}$ | 0,93 | 0,92 | 0,85 | 0,91 | 0,91 | 0,99 |
| $\frac{\eta}{q}$ | 0,95 | 0,91 | 0,87 | 0,92 | 0,88 | 0,97. |

Die Abweichungen liegen unter 3,5% und wären wahrscheinlich noch geringer, wenn alle Versuche bei derselben Temperatur durchgeführt wären.

Die Beziehung

$$\frac{\eta}{\rho} = \frac{v}{2\beta},$$

die von beiden Theorien gefordert wird, ist also als erfüllt anzusehen. Dagegen ist weder die Formel (4) noch (6) erfüllt. In diese Formeln tritt die Schwingungsdauer ein.

Fortpflanzungsgeschwindigkeit und Absorptionskoeffizient hängen also in anderer Weise von der Schwingungsdauer ab, als durch die Differentialgleichungen (1) und (2) verlangt wird.

Zu den negativen Werten von N/ρ bilden eine Analogie die negativen Werte der Dielektrizitätskonstante in der Metalloptik, die sich aus den (5a) und (6a) entsprechenden Beziehungen ergeben würden. Der Grund dafür ist im letzteren Falle in der Dispersion zu suchen.

Man könnte daher annehmen, daß man es in unserem Falle mit einer elastischen Dispersion im Sinne von 5 zu tun hat. Ob dies tatsächlich der Fall ist, sollen weitere Versuche zeigen.

16. Im folgenden sind einige nach der Resonanzmethode (7) bestimmte Werte der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten für verschiedene Schwingungsdauern gegeben. Die in Klammern beigefügten Werte sind aus der Kurve entnommen, entsprechen also den Werten, die sich nach der direkten Methode ergeben.

| | | | |
|----------|--------|--------|---------|
| $\tau/2$ | 1,362 | 1,798 | 2,689 |
| v | 2,07 | 1,85 | 1,54 |
| | (2,27) | (1,98) | (1,64). |

Man sieht, daß die durch Resonanz ermittelten Werte durchwegs niedriger sind und zwar um 6 bis 9%.

Für größere Schwingungsdauern war die Bestimmung von v aus den in 9. angegebenen Gründen ungenau. Es wurde daher darauf verzichtet, die Messungen weiter auszudehnen.

17. Wir haben noch eine Reihe von Versuchen für eine Mischung von Wasser und Glyzerin durchgeführt. Da Glyzerin zu den Flüssigkeiten gehört, die keine Doppelbrechung zeigen,

so schien uns dies nach den bei Olivenöl erhaltenen Resultaten von besonderem Interesse. Für die Größe η/ρ ergab sich durch Strömung durch Kapillaren

$$\eta/\rho = 0,4032 + 0,01941 (15 - \vartheta). \quad (14)$$

Die Messungen ergaben für Glyzerin im wesentlichen analoge Resultate wie für Olivenöl, spez. ist die Beziehung

$$\eta/\rho = v/2\beta$$

erfüllt, während die aus v und β nach (8) berechneten Werte von η/ρ mit den nach (14) bestimmten Werten nicht übereinstimmen, ebenso ergeben sich für N/ρ meist negative Werte, die jedoch beträchtliche Schwankungen zeigen. Der Grund dafür ist in der starken Absorption der untersuchten Glyzerinlösung¹⁾ zu suchen und der dadurch bedingten Ungenauigkeit in den Messungen, die auf einen kleinen Bereich beschränkt sind, und für die daher die früher erwähnte Abhängigkeit von v und β vom Abstand sich störend bemerkbar macht. Die Abweichungen zwischen den direkt und durch Resonanz bestimmten Werten sind wie bei Olivenöl vorhanden, wie die folgende Tabelle zeigt:

| | | | | | | | |
|-------------------|-----------|-------|-------|-------------------|-------|-------|-------|
| Temperatur | . 16,8 | 16,0 | 17,0 | | 17,6 | 18,4 | 17,8 |
| Schwingungs- | | | | | | | |
| dauer $\tau/2$ | . . 1,364 | 1,798 | 2,689 | | 1,362 | 1,793 | 2,684 |
| Fortpflanzungs- | | | | Fortpflanzungs- | | | |
| geschwindigk. | 1,52 | 1,28 | 0,89 | geschwindigk. | 1,26 | 1,12 | 0,98 |
| (direkte Methode) | | | | (Resonanzmethode) | | | |

Auf die Mitteilung weiterer Versuchsreihen soll zunächst verzichtet werden, da weitere Versuche in dieser Richtung angestellt werden.

¹⁾ Vgl. auch 9.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der Physikalisch-Medizinischen Sozietät zu Erlangen](#)

Jahr/Year: 1908

Band/Volume: [40](#)

Autor(en)/Author(s): Reiger Rudolf, Lampe Paul

Artikel/Article: [Fortpflanzungsgeschwindigkeit und Absorption scherender Deformationen in Olivenöl und Glycerin. 167-175](#)