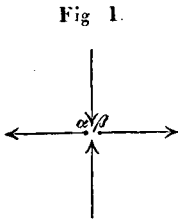


VIII. Einige Betrachtungen über Flüssigkeitsströmungen; von F. E. Melde.

Im Jahre 1826 haben Sömmering und Chladni gemeinschaftlich interessante Untersuchungen angestellt über die Strömungen in einer Flüssigkeit beim Eintauchen eines transversal schwingenden Körpers, deren Resultate veröffentlicht sind in dem »Archiv von Kastner Bd. VIII. S. 91.« Taucht man nämlich das Ende eines *dünnen* Stabes in Wasser, welches auf der Oberfläche mit etwas Lycopodium bestreut ist, so zeigen sich Strömungen und zwischen je



zweien derselben eine Wirbelbewegung wie die Fig. 1 versinnlicht. Wenn der Stab zwischen den Gränzen α und β schwingt, so erkennt man zwei Ströme, welche mit dieser Schwingungsrichtung zusammenfallen, und zwei andere, welche coincidiren mit einer senkrecht durch die

Mitte dieser Schwingungsrichtung gelegten Linie. Der Kürze halber möchte ich die beiden ersten Ströme *Parallelströme* die beiden letzten *Transversalströme* nennen. Bei dem dünnen Stabe sind also die beiden Parallelströme nach *aussen* die beiden Transversalströme nach *innen* gerichtet. Wählt man dagegen einen dickeren Stab, so kehrt sich die Richtung der beiderseitigen Ströme um. Die Transversalströme gehen nach *aussen*, die Parallelströme nach *innen*. Es ist hierbei jedoch nicht nöthig, daß der Stab seiner ganzen Länge nach dünn, beziehungsweise dick sey, sondern es kommt bloß darauf an, daß das eingetauchte Ende von der betreffenden Beschaffenheit sey, so daß man erstere Erscheinung auch mit einem dicken Stabe erhält, an dessen untern Ende eine Spitze, wie etwa eine Stecknadel, in der Richtung seiner Länge befestigt, und ebenso letztere mit einem dünnen Stabe, dessen Ende auf irgend eine Weise verdickt ist. Als schwingende Körper wurden bei

dieser Untersuchung cylindrische Stäbe und Stimmgabeln benutzt. Namentlich war hierbei noch interessant die Erscheinung, welche sich darbot beim Eintauchen der beiden Zinken einer Stimmgabel, wo die an *jedem* Ende entstehenden vier Ströme sich in gewisser Weise combiniren, um ein gemeinschaftliches neues Stromsystem zu bilden.

Ich habe nun diese Erscheinungen weiter verfolgt zunächst bei glockenförmigen Gefäßen, sowie bei elliptischen Cylinderflächen. Gießt man nämlich in ein solches Gefäß Wasser, bestreut dieses oben mit etwas Lycopodium, und bringt es mittelst des Klangstäbchens zum Tönen, so wird man sehen wie die primären Stosswellen in ihrer Zusammenwirkung Ströme erzeugen, die sich in der Bewegung des Lycopodiums auf das Schönste verfolgen lassen. Man wird sofort die Analogie dieser Erscheinungen mit den obigen erkennen und folgendes Gesetz bestätigt finden:

„Es entstehen zweierlei Strömungen: die einen sind von der Mitte der Flüssigkeitsoberfläche nach der Wand des Gefäßes gerichtet, und zwar nach den Schwingungsmaximis hin; die andern sind entgegengesetzt gerichtet: nämlich von den Schwingungsminimis nach der Mitte hin; weiterhin erkennt man zwischen je zweien benachbarten Strömen verschiedener Art eine Wirbelbewegung.

Giebt das Gefäß den tiefsten Ton, so bilden sich acht Ströme; vier der einen Art sind nach den vier Schwingungsmaximis gerichtet, vier der andern von den Schwingungsknoten aus nach innen zu.

Sollen jedoch die Ströme sich regelmäÙig ausbilden, so darf der Ton nicht zu stark seyn, da sonst oft sich eine große Anzahl von Strömungen bildet, die nicht eine ähnliche GesetzmäÙigkeit erkennen läÙt. Man kann jedoch, wenn der Ton zu stark seyn sollte, ihn dadurch schwächer (wenn freilich, jedoch unbeschadet der ganzen Erscheinung, auch höher) machen, wenn man nach und nach Flüssigkeit ausgieÙt, bis man die möglichst beste Wasserhöhe erreicht hat.

Dies sind die Erscheinungen, welche sich darbieten,

wenn die Gefäßwand von innen mit Flüssigkeit umgeben wird. Man kann jedoch dieselbe auch mit Leichtigkeit von außen mit Flüssigkeit umgeben und wird auch bei der äußern das obige Gesetz bestätigt finden. Am besten eignen sich zu diesem Versuche zwei Blechcylinder, von denen der eine enger ist als der andere, um in diesen gestellt werden zu können und so die innere und äußere Umgebung mit Wasser zu gestatten. Außerdem muß der engere Cylinder etwas höher seyn, um bequem das Klangstäbchen zu befestigen und über dem äußern weitem Cylinder wegstreichen zu können.

Wir sehen aus diesem letzten Experimente, daß die innere und äußere Flüssigkeit *dieselben* Erscheinungen darbietet: Ist nach einem Punkte der innern Gefäßwand ein Strom gerichtet, so ist auch nach *demselben* Punkte der äußern Wand ein Strom gerichtet und umgekehrt: geht von einem Punkte der innern Gefäßwand ein Strom ab, so geht auch außen von demselben Punkte ein Strom ab.

Es leuchtet nun weiterhin ein, daß wir in der Beobachtung der Stromrichtungen ein neues Mittel besitzen, um die Lage der Knotenlinien bei einem schwingenden Gefäße zu finden, da sich das obige Gesetz auch so ausdrücken läßt:

„Ist ein Strom nach einem Punkte der Gefäßwand hin gerichtet, so ist der betreffende Punkt ein Schwingungsmaximum; läuft der Strom von einem Punkte der Gefäßwand weg, so ist dieser Punkt ein Schwingungsknoten.“

Man hat also in dem *Gleichgerichtetseyn* der Ströme in der inneren und äußeren Flüssigkeit einen neuen Beweis dafür, daß die Schwingungsknoten der inneren und äußeren Fläche an *derselben* Stelle liegen. Da nun schon die primären Stosswellen an der inneren und äußeren Fläche dieselben Erscheinungen darbieten für einen und denselben Punkt der Gefäßwand, und da man diese primären Stosswellen schon früher an der inneren und äußeren Wand beobachtete, so hätte dieser Umstand schon längst die An-

sicht verdrängen können, daß nämlich die äußeren Knoten in der Mitte zwischen den inneren lägen.

Die primären Stosswellen bieten an und für sich schon ein Mittel, um die Lage der Knotenlinien zu erkennen; jedoch ist dieses Mittel lange nicht so bequem und sicher wie die Beobachtung der Ströme. Denn was namentlich diese letztere Methode anlangt und auszeichnet, ist noch folgender Umstand. Ueberstreut man die Oberfläche der Flüssigkeit, welche sich im Gefäß befindet mit *Lycopodium* und sorgt dafür, daß dieses durch Umrühren der Flüssigkeit sich gehörig befeuchtet, so wird es sich bei einem zeitlangen Stehenlassen des Gefäßes an die Wand als ein dünner Brei gleichmäßig anhängen. Bringt man hierauf das Gefäß zum Tönen, so werden sich die Ströme nicht nur in der regelmässigsten Weise erzeugen, sondern das *Lycopodium* wird auch an den Stellen der Schwingungsknoten liegen bleiben, während es an allen übrigen Stellen weggeführt wird. Ja diese *Lycopodium*häufchen an den Schwingungsknoten bleiben noch eine Zeit lang haften, wenn auch das Gefäß schon aufgehört zu schwingen, so daß man in aller Eile die Knotenpunkte für weitere Betrachtungen an dem Gefäße auf irgend eine Weise bezeichnen kann.

Ich habe diese Methode der Bestimmung der Knotenlinien besonders vortheilhaft angewandt bei einer Untersuchung über die Schwingungen *elliptischer* Cylinderflächen. Da man diese Gefäße nicht wohl leicht aus Glas angefertigt erhält, so habe ich Blechgefäße benutzt. Alle Methoden aber, welche ich anwandte, um die Knotenpunkte zu finden, versagten ihre Dienste, auch selbst die, welche ich bei einer früheren Untersuchung (diese Ann. Bd. 109, S. 43) benutzte, weil der feuchte Sand sich nicht bewegt auf diesen Blechgefäßen, und nur die Methode der Strombeobachtung war in dieser Weise ein leichtes und zugleich sicheres Mittel.

Ein schwingendes Gefäß erzeugt also, wenn es beiderseits mit Flüssigkeit umgeben ist, ein Stromsystem, in welchem sich zweierlei gerichtete Ströme unterscheiden lassen.

Man kann durch eine Veränderung, die man an dem klingenden Gefäße anbringt, bewirken, daß sich die Stromrichtungen umkehren. Wenn man nämlich an den Stellen, wo Schwingungsmaxima entstehen, Stecknadeln längs der Seitenkante des Cylinders befestigt, so, daß die Spitze über den Rand hervorragte, so wird jede dieser Spitzen in der Flüssigkeit Ströme erregen, es werden aber nun an den Stellen der Schwingungsmaxima die Ströme nicht nach der Gefäßwand, sondern gerade von dieser weggerichtet seyn. Es ist dieser Versuch im wesentlichen kein anderer als der Eingangs erwähnte; nur hat man hier mit Leichtigkeit ein Mittel, um ein ganzes System von *dünnen* Stäben gleichzeitig in Schwingung zu versetzen und so complicirtere Stromsysteme zu erhalten.

Eben so leicht wird man derartige Stromsysteme bei ebenen Klangscheiben erzeugen können, wenn man senkrecht zur Fläche ziemlich lange Nadeln befestigt, und nun eine Vorrichtung macht, daß die Spitzen dieser Nadeln beim Schwingen der Scheibe ins Wasser ragen. Es versteht sich von selbst, daß hierbei die Nadeln am vortheilhaftesten an den Schwingungsmaximis befestigt werden.

Mit diesen Strömungen hängt eine andere Erscheinung zusammen, welche ich beobachtete. Bringt man nämlich in einem Blechgefäße zwei Löcher an, beide gleich hoch über dem Boden, jedoch so, daß das eine an die Stelle eines Schwingungsmaximums, das andere an die eines Schwingungsknotens beim Tönen des Gefäßes zu liegen kommt, so überzeugt man sich von folgendem: Wird das Gefäß bis über die Löcher hin mit Wasser gefüllt, so fließt dieses, wenn das Gefäß nicht tönt, in ganz gleichen Strahlen aus; sobald aber das Gefäß Schwingungen macht, strömt aus dem Maximumsloch das Wasser mit größerer Kraft aus, während der Strahl aus dem anderen Loche nun selbst mit geringerer Stärke ausströmt als bei ruhendem Gefäße. Ist die Höhe der über den Löchern befindlichen Wassersäule gering, so tritt der Unterschied in der Stärke des Ausflusses sehr hervor. Man kann nämlich die Höhe so gering

machen über den Löchern, daß aus diesen das Wasser nicht in einem Strahle ausströmt, sondern eben nur an der äußern Wand herunterfließt. Bringt man jetzt das Gefäß zum Tönen, so wird aus dem einen Loche nun ein starker Strahl ausfließen, während das Wasser aus dem anderen Loche fast ganz aufhört zu fließen.

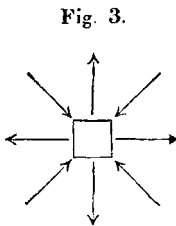
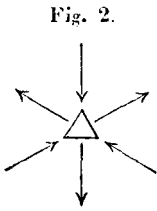
Diese Thatsache findet ihre Erklärung in der Beobachtung der Ströme. Nach den Stellen des Schwingungsmaximums nämlich sind die Ströme gerichtet, welche das Wasser nach der Wand führen, um da aufzuhäufen. Befindet sich also an dieser Stelle ein Loch, so wird das Wasser aus diesem mit erhöhter Kraft ausgetrieben werden; ist kein Loch vorhanden, so wird das Wasser an den betreffenden Wandstellen in die Höhe steigen, wie man sehr deutlich erkennen kann. Zwei solcher benachbarten Maximumsströme erzeugen nun in der Mitte zwischen sich einen Minimumsstrom, welcher also umgekehrt die Wassermasse von der Wand wegführt; das Wasser erhält also an diesen Stellen eine umgekehrte Bewegung und der Druck auf die Gefäßwand wird geringer.

Die eigenthümlichen Strömungen, von denen bis jetzt die Rede war, treten jedoch nicht bloß auf, wenn ein *klin- gender* Körper in eine Flüssigkeit getaucht wird, sondern man begegnet ihnen bei vielen Gelegenheiten, deren ich hier noch eine erwähnen will. Macht man nämlich in den Boden eines kleinen Blechgefäßes Oeffnungen verschiedener Art und setzt das Gefäß auf Wasser, so wird dieses von unten nach oben durch die Bodenöffnung eintreten. Ueberstreut man die eindringende Flüssigkeit mit *Lycopodium*, so wird man sofort erkennen, wie beim weiteren Eindringen die Oberfläche des Wassers im Blechgefäße deutliche Strömungen zeigt.

Ist die Bodenöffnung kreisförmig, etwa 2^{mm} im Durchmesser, so wird man meistens dieselbe Erscheinung wahrnehmen, wie sie in der Fig. 1 S. 633 gezeichnet ist. Oft treten die Ströme jedoch nicht so regelmäsig auf, und werden zahlreicher. Ist die Bodenöffnung ein kleines Rechteck,

dessen lange Seite etwa $\approx 8^{\text{mm}}$, die schmale $\approx 2^{\text{mm}}$, so werden die Ströme eine ganz bestimmte Gesetzmäßigkeit erkennen lassen. Denkt man nämlich die Längsrichtung des Rechtecks zusammenfallend mit der Richtung $\alpha\beta$ Fig. 1, so findet die umgekehrte Erscheinung statt, als die, welche dort gezeichnet ist, indem die Ströme, welche mit der Längsrichtung zusammenfallen, nach innen, die hierzu senkrechten nach außen gerichtet sind.

Ist die Bodenöffnung ein kleines gleichseitiges Dreieck, dessen Seite $\approx 4^{\text{mm}}$, so tritt die in Fig. 2 gezeichnete Erscheinung ein. Es zeigen sich sechs Ströme: Drei sind nach den Ecken gerichtet, senkrecht zur Mitte der gegenüberliegenden Seiten; drei laufen von der Mitte der Seiten aus senkrecht zu diesen hinweg.



Ist die Bodenöffnung ein Quadrat, so erhält man eine achththeilige Stromfigur; nämlich vier Ströme nach den Ecken hin und vier von der Mitte der Seiten nach außen Fig. 3.

Ich begnüge mich damit, die Erscheinungen angeführt zu haben, welche stattfinden bei diesen vier verschiedenen Bodenöffnungen. Man wird derartige Versuche sehr ausdehnen können und vielleicht noch manche gesetzmäßige Beziehung finden zwischen der Stromfigur und der Gestalt der Bodenöffnung.

Marburg, den 7. Febr. 1860.