

Beiträge Kirchhoffs zur Akustik

Christine Lauk¹, Prof. Dr.-Ing. Schew-Ram Mehra²

¹ Lehrstuhl für Bauphysik, Universität Stuttgart, 70569 Stuttgart, Deutschland, Email: c.lauk@web.de

² Lehrstuhl für Bauphysik, Universität Stuttgart, 70569 Stuttgart, Deutschland, Email: mehra@lbp.uni-stuttgart.de

Einleitung

Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) zählt zu den bedeutendsten deutschen Physikern des 19. Jahrhunderts. Während seines kurzen Lebens beschäftigte er sich mit verschiedenen Bereichen der Naturwissenschaft. Seine Werke sind bis heute für die Natur- und Ingenieurwissenschaften von hoher Bedeutung.

Lebenslauf

Gustav Robert Kirchhoff wurde am 12. Mai 1824 geboren. Sein Lebenslauf wird in [1] wie folgt beschrieben:

- 1842 Abitur am Kneiphofischen Gymnasium in Königsberg mit sehr großem Erfolg. Im selben Jahr Immatrikulation an der Universität seiner Heimatstadt. Er war vom Physiker F. E. Neumann beeindruckt und konzentrierte sich daher auf die Physik
- 1845 Erste wissenschaftliche Arbeit „Über den Durchgang des elektrischen Stroms durch eine Ebene, besonders durch eine kreisförmige“, welche ihm auch als Dissertation diente
- 1846 Promotion
- 1848 Habilitation mit der Arbeit „Einige neue Schlussfolgerungen aus dem Ohmschen Gesetz, besonders über die Reflexion und Refraktion des elektrischen Stromes“ in Berlin
- 1850 Berufung als außerordentlicher Professor für Experimentalphysik nach Breslau
- 1854 Berufung nach Heidelberg durch den Einsatz von R. W. Bunsen (1811-1899), den er in Breslau kennen lernte
- 1856 Verlobung mit der 18-jährigen Tochter Clara seines ehemaligen Mathematikprofessors Richelot
- 1857 Heirat mit Clara
- 1857 - 1863 Veröffentlichung zahlreicher Arbeiten über die Wärmestrahlung und Spektralanalyse
- 1860 Entdeckung der Alkalimetalle Caesium und Rubidium gemeinsam mit Bunsen
- 1862 Veröffentlichung „Über das Verhältnis zwischen dem Emissions- und des Absorptionsvermögens der Körper für Wärme und Licht“, Definition des „idealen schwarzen Körpers“
- 1868 schmerzhaftes Fußverletzung, weshalb er jahrelang an Krücken gehen musste, im selben Jahr erkrankt seine Frau, im darauf folgenden Jahr stirbt sie und lässt ihn mit zwei Söhnen und zwei Töchtern zurück

- 1872 Heirat mit Luise Brömmel, einer medizinischen Oberschwester, die ihn bis zu seinem Tod umsorgt
- 1874 Berufung an der Berliner Akademie, wo er sich ganz der Forschung widmen kann
- 1876 Veröffentlichung eines Bandes über Mechanik aus der Reihe „Vorlesungen über mathematische Physik“
- 1886 Aufgabe seiner Vorlesungen aus gesundheitlichen Gründen

Am 17. Oktober 1887 wird Kirchhoff in Berlin von seinem Leiden erlöst.

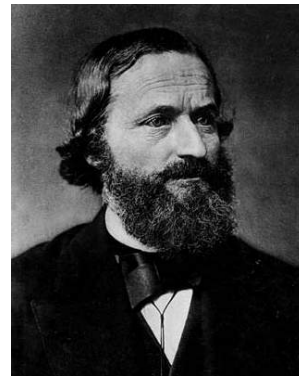


Abbildung 1: Porträt von Gustav Robert Kirchhoff [2]

Kirchhoffs Arbeiten in der Naturwissenschaft

Kirchhoffsche Gesetze in der Elektrotechnik

Das erste Kirchhoffsche Gesetz – die Knotenregel – bezieht sich auf einen Punkt eines Netzwerkes, an dem mindestens drei Leitungen zusammengeführt werden. Sie besagt, dass die Summe aller zufließender Ströme I_{zu} der Summe aller abfließenden Ströme I_{ab} entspricht [3].

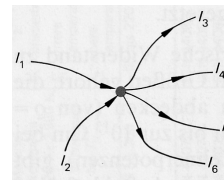


Abbildung 2: Schaubild zur Erläuterung der Knotenregel, nach [3]

Das zweite Kirchhoffsche Gesetz – die Maschenregel – bezieht sich auf geschlossene Leiterschleifen eines Netzwerkes, auch Maschen genannt. Sie besagt, dass in einer Masche die Summe der Spannungen U_0 aller Stromquellen gleich der Summe der Spannungsabfälle U an den Widerständen ist [3].

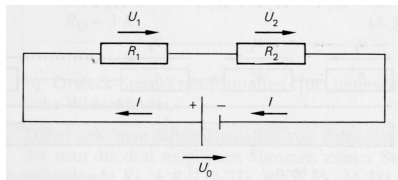


Abbildung 3: Schaubild zur Erläuterung der Maschenregel, nach [3]

Spektralanalyse und Kirchhoffsche Strahlungsgesetze

Ab 1857 entwickelte Kirchhoff als Physiker in Zusammenarbeit mit Bunsen als Chemiker die Spektralanalyse [1]. Im Anschluss untersuchte Kirchhoff die Zusammensetzung der Sonne und konnte dabei zwölf Elemente als Bestandteile der Sonne identifizieren. 1860 veröffentlichte er seine Arbeit über Absorption und Emission von Wärme, zwei Jahre später definierte er den idealen schwarzen Körper, an dessen Oberfläche Strahlung vollständig absorbiert wird.

Kirchhoffsche Plattentheorie

1850 entwickelte Kirchhoff seine Plattentheorie [4] in Anlehnung an die Balkentheorie von Bernoulli. Die Kirchhoffsche Plattengleichung in Abhängigkeit von der Plattensteifigkeit B , der Plattenauslenkung w in z -Richtung, der flächenbezogenen Masse m der Platte und der Zeit t .

$$B \Delta \Delta w(x, y, t) + m \frac{\partial^2 w(x, y, t)}{\partial t^2} = 0 \quad (1)$$

Theorie zu Chladnischen Klangfiguren

Aus seiner Plattentheorie entwickelte Kirchhoff im Jahre 1850 auch eine Anwendung auf die Chladnischen Klangfiguren, die bereits 1787 zum ersten Mal von Friedrich Chladni beschrieben wurde [5].

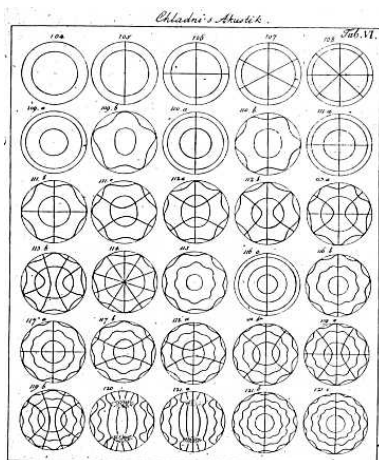


Abbildung 4: Chladnische Klangfiguren auf runden Platten, nach [5]

Vor Kirchhoff bemühten sich viele Wissenschaftler vergeblich um eine mathematische Beschreibung des Phänomens.

Gedanken und Formeln zu Wellenproblemen

Kirchhoff beschäftigte sich in seinen späten Jahren mit Lösungsansätzen für Wellengleichungen. In den Jahren 1882/83 präsentierte er daraus resultierende mathematische Formeln. Er verwendete sie zur Vorhersage von elektromagnetischen Phänomenen, wie Beugung und Brechung von Licht. Sie können jedoch auch auf anderen Gebieten, wie zum Beispiel der Aeroakustik angewendet werden.

Das Kirchhoffsche Beugungsintegral

Das Kirchhoffsche Beugungsintegral lässt sich aus dem Greenschen Satz der Vektoranalysis ableiten. Damit wird der Schalldruck $p(P)$ an einem beliebigen Punkt P eines Gebiets, im Abstand r zur Fläche S (Schirm), errechnet. Gemäß [6] lautet es:

$$p(P) = \frac{1}{4\pi} \iint_S \left[p_S \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{e^{-jkr}}{r} \right) - \frac{e^{-jkr}}{r} \frac{\partial p_S}{\partial n} \right] dS \quad [\text{Pa}] \quad (2)$$

Voraussetzung ist, dass der Schalldruck p_S auf dem Schirm und die nach innen weisende Normale n der Fläche am Punkt P bekannt sind. Außerdem werden dabei harmonische Schallwellen mit der Wellenzahl k vorausgesetzt.

Die Formel des Kirchhoffschen Beugungsintegrals gilt als mathematischer Ausdruck des Huyghensschen Prinzips. Arbeiten zur Beugung sind im Zusammenhang mit Augustin Jean Fresnel (1788 – 1827) auch in der Optik zu finden und dort unter dem Namen Fresnel-Kirchhoff Formel bekannt.

Literatur

- [1] Danzer, K.: R. W. Bunsen und G. R. Kirchhoff. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig (1972)
- [2] Gustav Robert Kirchhoff: http://de.wikipedia.org/wiki/Gustav_Robert_Kirchhoff
- [3] Hering, E.: Physik für Ingenieure. Springer-Verlag, Berlin (1997)
- [4] Mehra, S.-R.: Berechnung der Luftschalldämmung von einschaligen Trennbauteilen endlicher Abmessungen. Dissertation, Universität Stuttgart (1995)
- [5] Chladnische Klangfiguren: <http://members.aol.com/woinem6/html/chladni.htm>
- [6] Kuttruff, H.: Akustik – Eine Einführung. Hirzel Verlag, Stuttgart (2004)