

Der Doppler-Effekt

1. Einleitung

Zu der Wahl meines Themas hat mich vor allem bewegt, dass man permanent mit dem *Doppler-Effekt* konfrontiert wird, sich aber über die Zusammenhänge keine weiteren Gedanken gemacht hat. Also die eigentliche Nähe zur Realität war der ausschlaggebende Punkt.

Zusätzlich zu meiner Entscheidung kommt noch die Tatsache, dass letztes Jahr viele interessante Themen mit den Facharbeiten in meinem damaligen Physik-Leistungskurs schon behandelt wurden. Kurzzeitig kam ich zu der Überlegung mein Thema aus der letzten Facharbeit, *Aspekte der Raumakustik*, wieder aufzugreifen, verwarf diese Idee aber recht schnell wieder, da es mir interessanter schien mich an einem neuen Aspekt im Gebiet der Schwingungen und Wellen zu versuchen.

Wie schon eingangs erwähnt landete ich somit beim *Doppler-Effekt*, da dieses Thema im letzten Jahr nicht behandelt wurde und für mich dadurch etwas Neues darstellte.

Außerdem spielt der Doppler-Effekt auch in der heutigen Zeit auch noch eine große Rolle in anderen Gebieten, wie zum Beispiel in der Astronomie oder der Medizin.

Da diese Arbeit nicht den Umfang erreichen soll wie eine normale Facharbeit, werde ich mich hauptsächlich auf den *akustischen Doppler-Effekt* beschränken und die anderen Erscheinungen der Vollständigkeit halber kurz ansprechen und versuchen diese mit ein paar Worten zu erklären.

2. Der Doppler-Effekt

2.1 Grundsätzliches zum Doppler-Effekt

Christian A. Doppler wies schon früh auf die Erscheinung hin, welche auftritt wenn ein Wellensender sich relativ zu einem Empfänger bewegt. Die wahrgenommene beziehungsweise empfangene Frequenz ist je nach Bewegungsrichtung höher oder niedriger als die ausgesendete ursprüngliche Frequenz.

Bewegt sich der Wellensender auf den Empfänger zu, registriert dieser eine höhere Frequenz. Bewegt sich der Sender jedoch vom Empfänger weg, nimmt diese eine niedrigere Frequenz wahr.

Dieser Effekt wird nach dem Entdecker *Doppler-Effekt* genannt. Den *akustischen Doppler-Effekt*, welcher nur bei an einem Medium gebundenen Wellen auftritt, hat wahrscheinlich jeder schon einmal im Alltag erfahren. Wenn beispielsweise ein Auto (Hupe oder Sirene unterstützt den Effekt zusätzlich) schnell an einer Person vorbeifährt, nimmt diese einen höheren Ton wahr als das Auto tatsächlich aussendet. Ist das Auto dann an der Person vorbeigefahren hört diese einen tieferen Ton als ursprünglich ausgesendet. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass sich das Auto nicht schneller als die Welle bewegt. Sprich nicht schneller ist als die Schallwelle selber.

Dann spricht man in der Akustik von der *Überschallgeschwindigkeit* in Verbindung mit dem *Überschallknall*. Dazu jedoch im Verlauf der Arbeit mehr.

Da eine Untersuchung des *optischen Doppler-Effektes*, der im Gegensatz zum optischen Doppler-Effekt nur bei nicht Medien gebundenen Wellen (also bei zum Beispiel elektromagnetischen Wellen) auftritt, den Rahmen der Arbeit sprengen würde, werde ich diesem im Verlauf der Arbeit nicht mehr behandeln und mich in allen Punkten auf den akustischen Doppler-Effekt beschränken.

2.2 Berechnung der Frequenzverschiebung

Auf Grund des knappen Rahmens entfällt eine ausführliche Herleitung und ich beschränke mich hierbei wiederum nur auf den akustischen Doppler-Effekt, sprich auf die an Medien gebundenen Wellen.

2.2.1 Wellensender befindet sich in Ruhe - Empfänger in Bewegung

Befindet sich der Sender in Ruhe und der Empfänger bewegt sich auf den Sender zu, dann ergibt sich folgende Formel für die Berechnung der wahr genommenen Frequenz:

$$f_E = f \left(1 + \frac{v_E}{c}\right)$$

Bewegt sich der Empfänger vom Sender weg gilt, also mit einer Geschwindigkeit - v_E , im Grunde dieselbe Formel, es ändert sich nur das Vorzeichen in der Klammer.

$$f_E = f \left(1 - \frac{v_E}{c}\right)$$

Bei genauerer Betrachtung der Formeln kann man erkennen, dass im ersten Fall die Frequenz erhöht wird und sich im zweiten Fall verringert.

2.2.2 Wellensender in Bewegung - Empfänger in Ruhe

Hier ergibt sich nach ausführlicher Herleitung für die empfangende Frequenz die Formel, wenn sich der Sender in Richtung des Empfängers bewegt:

$$f_e = f \cdot \frac{1}{1 + \frac{v_S}{c}}$$

Bei einer negativen Geschwindigkeit - v_S , also bei einer Bewegung des Senders vom Empfänger weg, erhält man somit:

$$f_e = f \cdot \frac{1}{1 - \frac{v_S}{c}}$$

2.2.3 Wellensender in Bewegung – Empfänger in Bewegung

Befinden sich jedoch beide Komponenten in Bewegung und bewegen sich aufeinander zu, ergibt sich folgende Formel für die Änderung der Frequenz:

$$f_E = f \cdot \frac{c + v_E}{c - v_S}$$

Oder für die Entfernung von einander, mit den Geschwindigkeiten $-v_E$ und $-v_S$:

$$f_E = f \cdot \frac{c - v_E}{c + v_S}$$

2.4 Überschallgeschwindigkeit und die Machzahl

Verwendet man die Formel für einen bewegten Sender und einen ruhenden Empfänger:

$$f_e = f \cdot \frac{1}{1 - \frac{v_S}{c}}$$

dann ergibt sich, wie schon angedeutet, im Bruch eine nicht lösbare Division durch Null, wenn die Geschwindigkeit des Senders gleich der Schallgeschwindigkeit ist.

In der Realität kommt dieser Fall jedoch vor: zum Beispiel bei Überschallflugzeugen.

Fliegen diese mit einer hohen Geschwindigkeit, jedoch kleiner als die Schallgeschwindigkeit, entsteht der ganz normale Doppler-Effekt. Fliegt das Flugzeug jedoch so schnell wie der Schall, baut sich in dem Punkt die so genannte *Kopfwelle* auf. Sie entsteht in dem Punkt, in dem sich das Flugzeug gerade befindet durch das Überlagern der von Flugzeug abgegebenen Wellenberge und wird beim Übergang in die Überschallgeschwindigkeit als explosionsartiger Knall wahrgenommen.

Fliegt das Flugzeug nun schneller als der Schall, hört die Person erst etwas, wenn die Schallquelle sie passiert hat, und sie somit in die kegemantelförmige Verdichtungszone (*Machsche Kopfwelle*) eindringt. Dann hört er den so genannten *Überschallknall*.

Für den Öffnungswinkel des *Mach-Kegels* (der Kegelmantel, der beim Überschallflug entsteht und auf dem sich alle Amplituden addieren) gilt:

$$\sin \alpha = \frac{c}{v} = \frac{1}{M} \quad | \text{ M = Machzahl}$$

3. Praktische Überprüfung des akustischen Doppler-Effektes

3.1 Versuchsaufbau und Durchführung

Ich habe versucht mit Hilfe eines Autos und dessen Autohupe die alltägliche Situation eines vorbeifahrenden Autos aufzunehmen und mit Hilfe dieser Aufnahmen die Frequenzänderungen nachzuweisen.

Gemessen wurde mit Hilfe eines Laptops und als Bearbeitungsprogramm der Sounddateien wurde WavePurity der Firma difitec verwendet.

Der Sender war natürlich das sich bewegende, auf den Empfänger (Laptop beziehungsweise Mikrofon) zufahrende Auto und der Empfänger

Als Basis dienten mir Aufnahmen mit zwei verschiedenen Geschwindigkeiten. Die erste Messung fand mit einer Geschwindigkeit von 20 km/h und die zweite mit 35 km/h statt.

3.2 Auswertung

Da schon bei der Aufnahme sehr viele Nebengeräusche, unter anderem Wind und sonstige typische Umweltgeräusche, vorhanden waren und die Hupe keinen klaren Ton erzeugt (viele Oberschwingungen), ist es nicht leicht gewesen die Frequenzänderungen effizient nachzuweisen.

Der Effekt an sich ist natürlich deutlich geworden. Jedoch sind genaue Messwerte nur sehr schwer herauszufiltern.

Wie auf den Abbildungen 2-5 zu erkennen ist, verschiebt sich die Frequenz eindeutig beim Heranfahren deutlich nach oben. In dem Beispiel, welches ich gewählt habe, um ca. 10 Hertz bei 20 km/h und 20 Hertz bei 35 km/h.

3.3 Fazit

Der Doppler-Effekt kann also schon mit Hilfe eines „einfachen“ Experimentes deutlich nachgewiesen werden.

Die Frequenz wird beim Anfahren deutlich höher. Leider habe ich nicht das Wegfahren untersuchen können, aber ich denke, dass der Doppler-Effekt hier auch ausreichend deutlich veranschaulicht wurde.

4. Fazit

Ich hoffe, dass ich mit dieser Arbeit die grundsätzlichen Informationen über den Doppler-Effekt verständlich dar gelegt habe.

Interessant fand ich die Tatsache, dass man mit Hilfe des Doppler-Effektes auch den Überschallknall und die Vorgänge beim Übergang in die Überschallgeschwindigkeit erklären kann. Außerdem wurde ich anfangs stutzig, dass in Verbindung mit dem Doppler-Effekt auch das Wort „Mach“ gefallen ist.

Auch fasziniert an dem gesamten Thema hat mich, dass man mit Hilfe einfachster Mittel den Doppler-Effekt nachweisen und auswerten kann.

Alles in Allem denke ich war diese Arbeit eine gelungene Abwechslung und eine recht gute Möglichkeit das Thema „Schwingungen und Wellen“ weiter zu vertiefen.

5. Anhang

5.1 Der Mensch dahinter - Christian Andreas Doppler (1803-1853)

Christian Andreas Doppler, ursprünglich geboren am 29. November 1803 in Salzburg, ist nachdem er die Volksschule in Salzburg und die Hauptschule in Linz besucht hat seine Ausbildung am Polytechnischen Institut in Wien fortgesetzt und dort an den Vorlesungen Mathematik, Mechanik und Physik teilgenommen. Nach einem ausgezeichneten Abschluss holte er an einer Privatschule in Salzburg die Gymnasialstudien nach. Nebenbei lerne er noch die Sprachen Englisch, Italienisch und Französisch. Außerdem eignete er sich zusätzlich

Buchhaltung, kaufmännische Rechnungsgeschäfte und die philosophischen Studien an. Unter diesen Voraussetzungen trat er dann 1829 eine Assistenzstelle am Polytechnischen Institut in Salzburg an.

Dort veröffentlichte er dann auch seine ersten wissenschaftlichen Arbeiten. Nach einiger Zeit ohne Anstellung und keinem vergleichbaren Angebot, nahm Doppler dann 1835 eine Stelle an der ständischen Realschule in Prag an. Bereits ein Jahr später heiratete er seine Frau und ein weiteres Jahr später erhielt er dann eine Stelle als Professor der höheren Mathematik und praktischen Geometrie am dortigen Technischen Institut. Diese Zeit stellte für Doppler die größte Schaffungsphase wissenschaftlicher Abhandlungen dar. Er veröffentlichte ca. 50 Arbeiten, wobei die berühmteste Arbeit "Über das farbige Licht der Doppelsterne und einiger anderer Gestirne des Himmels" war. Jedoch gab es neben viel Lob auch einige heftige Kritiken gegen Dopplers Theorien. 1847 verließ er Prag und wurde, nach einem kurzen Zwischenstopp in Schemnitz, 1848 Professor der praktischen Geometrie am Polytechnischen Institut in Wien.

Den Höhepunkt seiner Karriere hatte er 1850 als er zum Direktor des neu gegründeten Physikalischen Instituts der Kaiserlichen Universität Wien ernannt wurde.



Abb. 1
Christian A. Doppler

Eine schwere Lungenerkrankung, die ihre Wurzeln angeblich schon in der Kindheit Dopplers durch die Arbeit Steinmetzbetrieb seines Vaters hatte, brachte Doppler am 17. März 1853 in Venedig nach einem langen Krankenhausaufenthalts den Tod.

Aber auch nach seinem Tod wurden seine Arbeit und sein Engagement durch Auszeichnungen und durch die Gründung des Christian-Doppler-Fonds und des Christian-Doppler-Institutes gewürdigt.

5.2 Furieanalyse – Screenshots

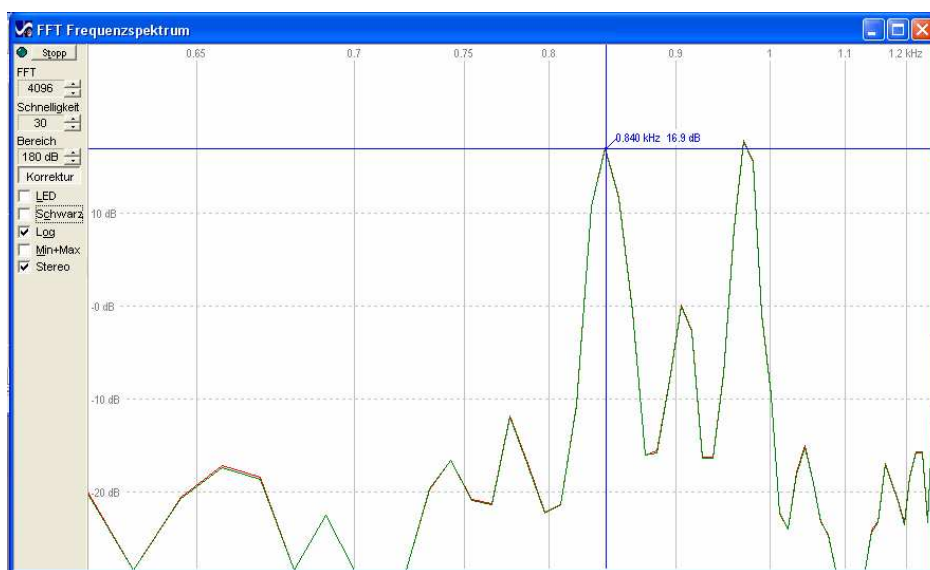


Abb. 2 – Messung bei 20 km/h (Anfang)

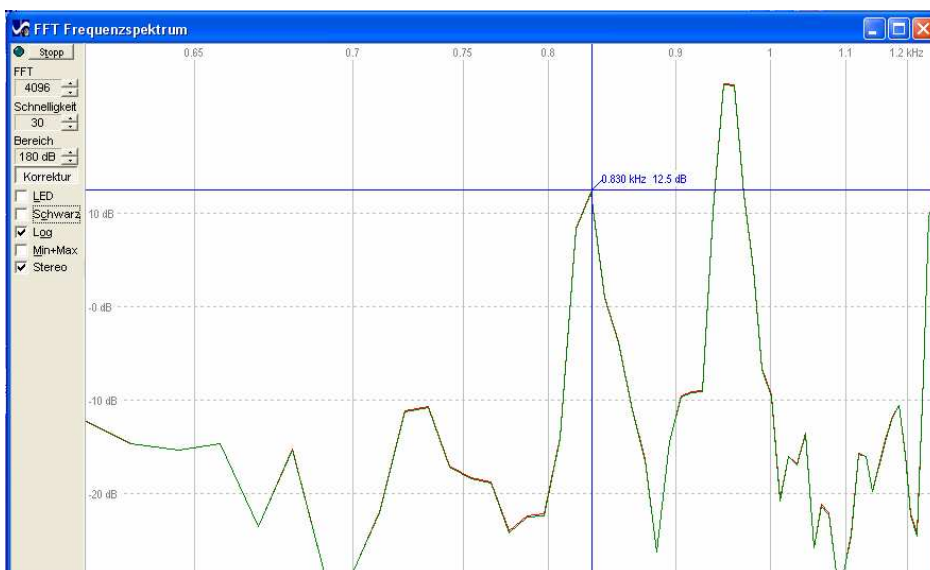


Abb. 3– Messung bei 20 km/h (auf Höhe des Mikrofons)

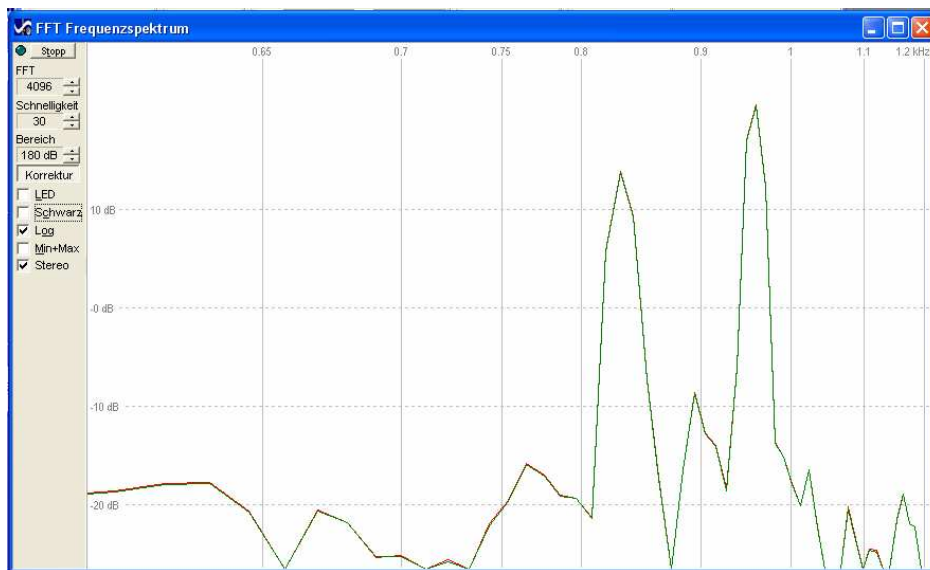


Abb. 4 – Messung bei 35 km/h (Anfang)

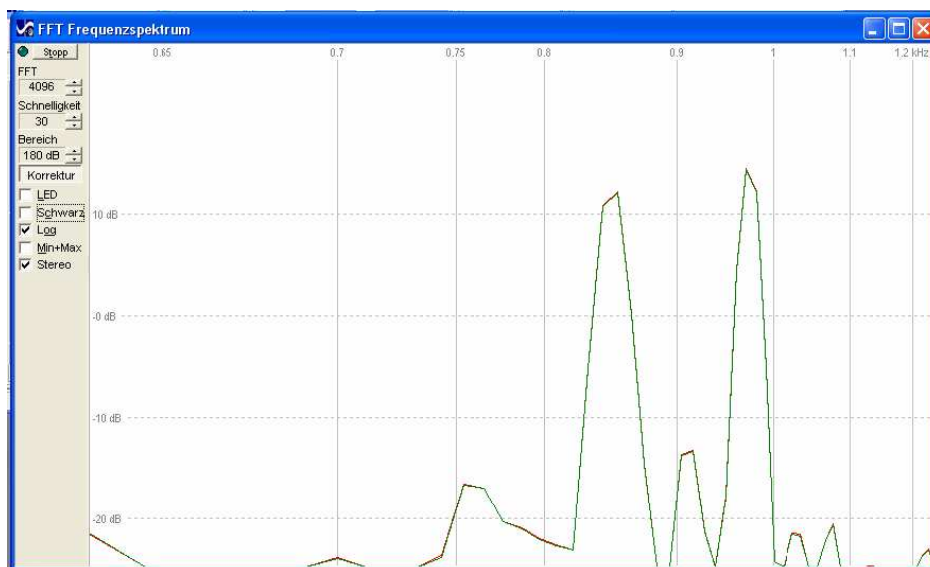


Abb. 5 – Messung bei 35 km/h (auf Höhe des Mikrofons)

6. Quellenverzeichnis

Quelle 1:

Lexikon der Physik, Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag 1998-2000

Quelle 2:

Brockhaus Naturwissenschaft und Technik. Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG,
Mannheim und Spektrum Akademischer Verlag GmbH, Heidelberg, 2003

Quelle 3:

Brockhaus - Die Enzyklopädie: in 24 Bänden., neu bearbeitete Auflage. Leipzig,
Mannheim: F.A. Brockhaus 1996-99

Quelle 4:

Doppler, C. (Projektleitung: Eden, A.); Leben und Werk; Der Dopplereffekt; Salzburg,
1988, Schriftenreihe des Landespressebüros

Quelle 5:

<http://www.christian-doppler.com/>