

Doppler-Effekt im Physikpraktikum für Mediziner

Florian Aigner, Georgi Rangelov; Physikalische Praktika, LMU München

Rahmenbedingungen & Umsetzung

Rahmenbedingungen

- Zeitliche und inhaltliche Vorgaben aufgrund des Physiologie-Praktikums
- 3. Semester: Optik & Elektrizitätslehre, zusätzlich Sonographie
- 4. Semester: Mechanik & Wärmelehre, zusätzlich Röntgenstrahlung
- Streichung eines Praktikumsversuchs nicht möglich aufgrund der thematischen Vorgaben der Physiologie
- Zusätzlicher Praktikumsversuch nicht möglich aufgrund zeitlicher Vorgaben (max. 10 Versuche)

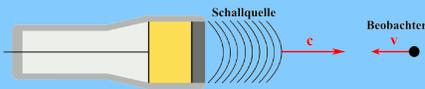
Umsetzung

- Einbettung der Doppler-Sonographie in zwei bestehende Praktikumsversuche
- Sonographieversuch (SON) prädestiniert
- Flüssigkeitsversuch (FLU) ermöglicht Überprüfung der Kontinuitätsgleichung durch Bestimmung der Fließgeschwindigkeiten in verschiedenen dicken Röhren
- Testlauf im Physikpraktikum für Zahnmediziner (da weniger Studenten, ansonsten ähnlich)

Doppler-Effekt

Frequenzverschiebung aufgrund von bewegter Schallquelle bzw. Beobachter
Alltagsbeispiel: Vorbeifahrender Krankenwagen mit Martinshorn
Beim Annähern ist die Tonhöhe (Frequenz) höher als beim Entfernen

Allgemein: $c = \lambda \cdot f_0$

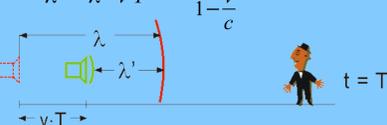


1. Fall: Bewegter Beobachter (auf Schallquelle zu): $v_{rel} = c + v \Rightarrow f' = \frac{v_{rel}}{\lambda} = \frac{c+v}{\lambda} = f_0 \left(1 + \frac{v}{c}\right)$

Allgemein: $f' = f_0 \left(1 + \frac{v}{c} \cos \alpha\right)$

2. Fall: Bewegte Schallquelle (auf Beobachter zu): $\lambda' = \lambda - v \cdot T \Rightarrow f' = \frac{c}{\lambda'} = \frac{c}{\lambda - v \cdot T} = f_0 \frac{1}{1 - \frac{v}{c}}$

Allgemein: $f' = f_0 \frac{1}{1 - \frac{v}{c} \cos \beta}$



Doppler-Sonographie in der Medizin

Die Doppler-Sonographie findet in der medizinischen Diagnostik Anwendung bei der Untersuchung von Bewegungsabläufen und bewegten Strukturen wie z.B. kardiologische Diagnostik, arterielle und venöse Gefäßdiagnostik, Hirndurchblutung und postoperative Gefäßkontrolle.

Funktionsprinzip:

- 1.) Ultraschall-Sonde sendet Impuls aus
- 2.) Impuls wird an strömender Flüssigkeit reflektiert
- 3.) Sonde misst die Frequenzverschiebung des Impulses

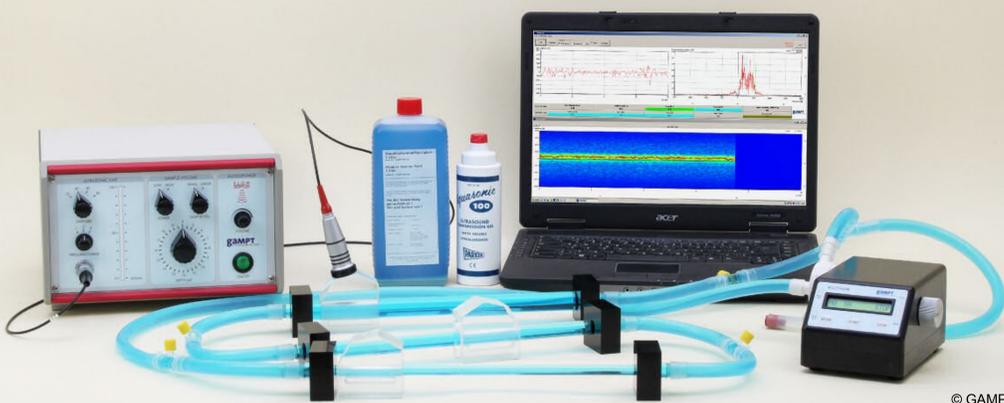
Formeln:

- 1.) $f' = f_0 \left(1 + \frac{v}{c} \cos \alpha\right)$ Einsetzen von 1.) und Näherung mittels Taylor-Entwicklung
- 2.) $f'' = f' \frac{1}{1 - \frac{v}{c} \cos \beta} \approx f_0 + f_0 \frac{v}{c} (\cos \alpha + \cos \beta)$
- 3.) $\Delta f = f'' - f_0 = f_0 \frac{v}{c} (\cos \alpha + \cos \beta)$

Praktikumsversuch FLÜSSIGKEITEN:

Überprüfung der Kontinuitätsgleichung mittels Doppler-Sonographie

Aufbau:



Messvorgang:

- 1.) Durchmischen der Flüssigkeit mit Hilfe der Pumpe
- 2.) Anbringen der Dopplerprismen an die Strömungsröhre mittels Ultraschallgel
- 3.) Mit Ultraschall-Sonde, Messgerät FlowDop und Software FlowView an allen drei Röhren die Frequenzverschiebung für einen festen Prismenwinkel bestimmen

Auswertung:

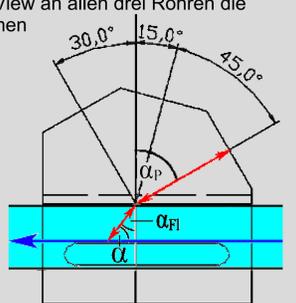
- 1.) Berechnung des Dopplerwinkels mit dem Snelliusschen Brechungsgesetz:

$$\alpha = 90^\circ - \arcsin \left(\sin \alpha_p \frac{c_{Fl}}{c_p} \right)$$

- 2.) Bestimmung der Fließgeschwindigkeit aus der gemessenen Frequenzverschiebung:

$$\Delta f = 2 f_0 \frac{v}{c_{Fl}} \cos \alpha \Leftrightarrow v = \frac{\Delta f c_{Fl}}{2 f_0 \cos \alpha}$$

- 3.) Überprüfung der Kontinuitätsgleichung: $I_V = A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 = A_3 \cdot v_3 = konst.$



Praktikumsversuch SONOGRAPHIE:

Ultraschall-Doppler-Effekt

Aufbau:

Siehe oben, allerdings nur ein Strömungsröhr anstelle von drei Strömungsröhren

Messvorgang:

Siehe oben, allerdings Bestimmung der Frequenzverschiebung an allen drei Prismenwinkeln

Auswertung:

- Bestimmung aller drei Dopplerwinkel (s.o.)
- Bestimmung der Fließgeschwindigkeiten anhand der Messwerte (s.o.)
- Vergleich der Fließgeschwindigkeiten
⇒ Snelliussches Brechungsgesetz kann damit bestätigt werden!

Gefäßdiagnostik mit Ultraschall

Aufbau:



Messvorgang:

Frequenzverschiebung mit fortlaufender Zeit bestimmen:

- an normaler Stelle
- an Stenose
- bei pulsatilem Fluss

Auswertung:

- Vergleich des Flusses an einer normalen Stelle und an der Stenose
- Bestimmung der „Herzfrequenz“ aus dem pulsatilem Fluss

Evaluation

- 56 Teilnehmer im Physikpraktikum für Zahnmediziner
- Anonyme Umfrage, welche die Studierenden zu Hause ausfüllen konnten
- Fragen zu:
 - den physikalischen Grundlagen
 - den technischen Grundlagen
 - der Durchführung und Auswertung
 - dem zeitlichen Umfang
 - der physikalischen und medizinischen Relevanz
- Rücklauf der Umfrage:
 - 30 Fragebögen (≈53,6 %) bei FLU
 - 34 Fragebögen (≈60,7 %) bei SON

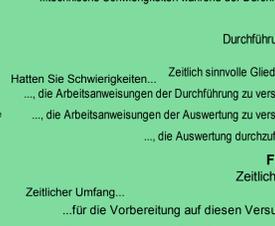
FLU & SON

Physikalische Grundlagen



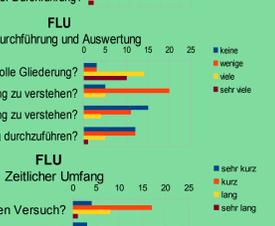
FLU

Technische Grundlagen



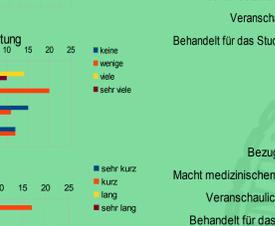
FLU

Durchführung und Auswertung



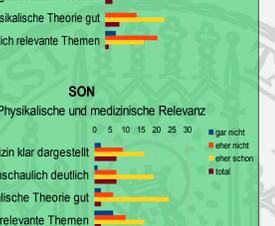
FLU

Zeitlicher Umfang



FLU

Physikalische und medizinische Relevanz



Literatur:
[1] GAMPT - www.gampt.de
[2] Demtröder, W.: Experimentalphysik 1 - Mechanik und Wärmelehre. 5. Auflage. Berlin [u.a.]: Springer Verlag, 2008