

Habt ihr schon gewusst ... 106 Schallgeschwindigkeit und Wind

Die Schallgeschwindigkeit ist schon seit Jahrzehnten ein Thema im Anfangsunterricht der Physik ... im bisherigen G9 – in Klasse 8 ... und im neuen G8 wohl in Klasse 7.

Eine typische Schülerfrage lautet: Hängt die Schallgeschwindigkeit von der Windgeschwindigkeit ab? D.h. hängt die im Schulhof gemessene Schallgeschwindigkeit davon ab, ob man bei der Messung Rücken- oder Gegenwind hat.

Wenn man die Fachliteratur zu Rate zieht, findet man folgende Formel:

$$c = \sqrt{\frac{\gamma \cdot p}{\rho}} \quad \text{oder} \quad c = \sqrt{\frac{\gamma \cdot R \cdot T}{M}}$$

Formel A Formel B

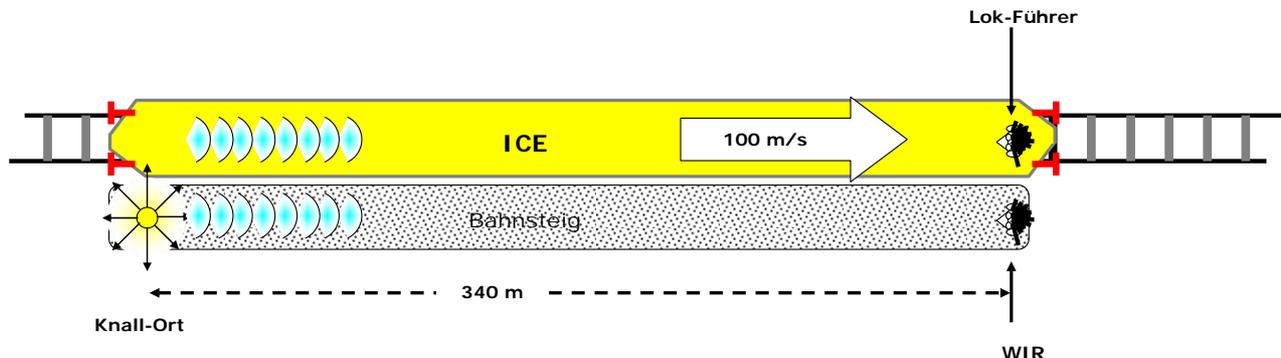
Formel A: Die Schallgeschwindigkeit wächst also mit zunehmendem Druck p , sinkt mit zunehmender Dichte ρ und steigt mit zunehmendem γ ($\gamma = C_p/C_v$... Adiabatenexponent ... bei zweiatomigen Molekülen wie die Luft ist der γ -Wert allerdings $\approx 1,4$).

Formel B: Die Schallgeschwindigkeit wächst mit der Temperatur und sinkt mit der molaren Masse M des Gases (=Masse von einem Mol des Gases ... bei Luft $M=29 \cdot 10^{-3}$ kg/mol); $R = N_A \cdot k$... 8,3 J/K/Mol
In diesen Formeln kommt die Windgeschwindigkeit nicht vor! Also könnte man daraus schließen, dass die Windgeschwindigkeit bei der Bestimmung der Schallgeschwindigkeit keine Rolle spielt! Wer könnte an einer Formel zweifeln, die in allen Universitätslehrbüchern steht?

UND die Experimente im Schulhof scheinen diese Vorhersage zu bestätigen.

Nun könnte man aber auf folgendes **Gedankenexperiment** kommen:

Wir stellen uns vor, dass ein ICE (340m lang) mit 100 m/s mit dem Ende an einem Bahnsteig vorbeifährt, an dem ein extrem lauter Knall erzeugt wird. Der Knall dringt durch das Fenster im letzten Wagon in den Zug ein und breitet sich dort auch in Längsrichtung des ICE nach vorne aus. Die Luft im ICE befindet sich im Bezugssystem ICE-Innen in Ruhe.



In diesem Bezugssystem ICE bewegt sich der Schall wie in ruhender Luft mit 340m/s ... und erreicht nach 1 Sekunde den Anfang des Zuges. Dort sitzt der Lokführer und verzieht also 1 Sekunde nach dem Knall schmerzverzerrt sein Gesicht, als ihn das Knallsignal trifft. Wir stehen zufällig 340 m von der „Knallquelle“ entfernt – also hören wir den Knall ebenfalls 1 Sekunde nach seiner Entstehung. Hätte der ICE keine Geschwindigkeit, dann würden wir direkt neben dem Lokführer am Bahnsteig stehen und würden zum gleichen Zeitpunkt am gleichen Ort zusammen mit dem Lokführer den Knall hören. Bei fahrendem ICE ist der Lokführer aber in dieser einen Sekunde (Schall-Laufzeit) mit dem ICE 100m weit gefahren ist.

Also im Bezugssystem ICE ergibt sich eine Schallgeschwindigkeit von 340m/s ... Im Bezugssystem „Bahnsteig“ ergibt sich für die Schallgeschwindigkeit in der still stehenden Luft außerhalb des ICE ebenfalls 340 m/s ... ABER wenn wir von unserem Bezugssystem Bahnsteig die Schallgeschwindigkeit im ICE-Inneren berechnen, haben wir eine Zeit von 1s und eine dazu gehörige Strecke von 440m – also eine Schallgeschwindigkeit im Wind mit 440m/s.

Was gilt nun ... die Uni-Formel ... oder die Folgerungen aus dem Gedankenexperiment?

Das wäre der Anstoß zu einer Teamarbeit ... allerdings nicht in Klasse 7!

Stellt man die oben gestellte Frage nach der „Windabhängigkeit“ der „Schallgeschwindigkeit“, bekommt man erstaunliche Ergebnisse:

- (a) Laien bestätigen häufig die „Windabhängigkeit“ der Schallgeschwindigkeit ...
- (b) Schülerinnen und Schüler sind der Meinung, dass die Schallgeschwindigkeit eine Konstante ist ...
- (c) Physikstudentinnen und Studenten sind der Meinung, dass die Schallgeschwindigkeit von Gasparametern abhängt – ABER unabhängig von der Windgeschwindigkeit ist.

Will man die verschiedenen Personen überzeugen, sind nach meinen Erfahrungen ganz unterschiedlichen Argumente „überzeugend“:

□ **Paket-Vorstellung**

Wenn wir einen Knall erzeugen, können wir uns diesen Knall in einem einfachen Modell als „Komprimierte Luft in einem Paket“ vorstellen ... und dieses Paket breitet sich im Medium fort ... UND wenn sich dieses Medium bewegt, muss man diese Bewegung zur Schallgeschwindigkeit addieren.

□ **Michelson-Versuch**

Wenn die Geschwindigkeit des Trägermediums – also der Luft – keinen Einfluss hätte, dann wäre der so genannte Michelson-Versuch zum Nachweis der Bewegung der Erde durch das Medium Äther sinnlos ... Die Suche der ganzen Physikgemeinde in der Vergangenheit unserer Wissenschaft beim Streit um das Vorhandensein des Äthers als Träger für das Licht spricht sehr stark dafür, dass sich die Schallgeschwindigkeit mit der Windgeschwindigkeit ändert.

□ **Lange Feder-Modell**

Wir stellen uns den Knall wie eine Doppelstörung auf einer langen Feder im Flur der Schule vor ... diese Doppelstörung läuft mit einer Ausbreitungsgeschwindigkeit dem Wellenträger entlang. Wenn man nun die ganze Feder in Richtung der Ausbreitung der Doppelstörung zusätzlich bewegt, addiert sich diese Geschwindigkeit ...

□ **Geräte-Realität ...**

Dass die Windgeschwindigkeit die Schallgeschwindigkeit beeinflusst, kann man daran sehen, dass es Geräte gibt, die damit die Windgeschwindigkeit messen! Solche Geräte heißen Ultraschall-Anemometer

→ http://www.ammonit.de/produkte/usa/pu_sol_d.html

ABER, wenn wir den vielen Argumenten VERTRAUEN, wie können wir den Widerspruch zu den „Uni-Formeln“ klären?

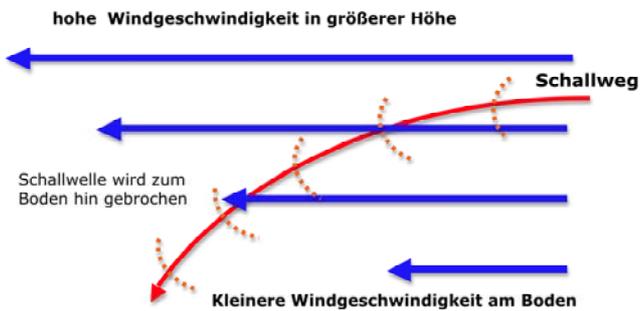
Die „Uni-Formeln“ sind im Prinzip Deduktionen aus der kinetischen Gastheorie UND das Wesentliche daran ist die Lokalität dieser Deduktion ... d.h. bei der Herleitung dieser Formeln spielen Argumente, die das Bezugssystem betreffen, keine Rolle. D.h. wenn man die Randbedingung „Wind“ oder „ICE-Bezugssystem“ in die Überlegungen überhaupt nicht einbezieht, darf man sich wohl kaum wundern, wenn man zu einer Formel gelangt, in der diese Randbedingungen nicht auftauchen.

Alltagsbezug

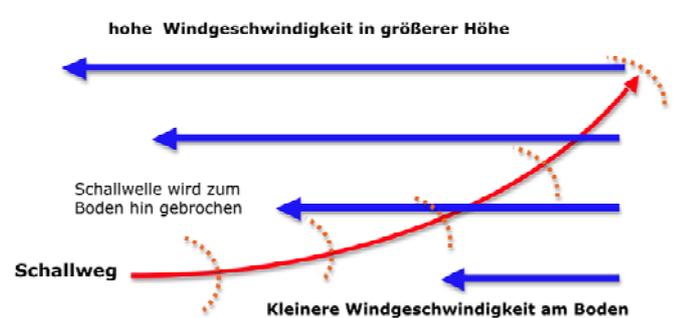
Der Einfluss der Windgeschwindigkeit auf die Schallgeschwindigkeit ist im Regelfall sehr gering, weil die Windgeschwindigkeit im Regelfall weit unterhalb von 340 m/s liegt.

Trotzdem hat man – z.B. am Strand, wo man vor allem in den Abendstunden regelmäßig eine starke Brise erleben kann - den Eindruck, dass es einen gewaltigen Unterschied macht, ob man mit Rückenwind oder mit Gegenwind spricht. Rufe sind mit dem Wind wesentlich weiter zu hören als bei Gegenwind. Woher kommt dieser Unterschied zwischen den Vorhersage, die man aus den Messwerten erschließen kann (20m/s Windgeschwindigkeit spielt bei einer Schallgeschwindigkeit von 340m/s kaum eine Rolle) UND den „Stranderfahrungen“?

Das Strandphänomen hat tatsächlich „indirekt“ etwas mit der Windgeschwindigkeit zu tun! „Indirekt“, weil die unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten in unterschiedlichen Höhen über dem Boden zu einer Schallbrechung führt, die diesen „Strandeffekt“ erzeugt. Der Wind ist weiter oben schneller als in Bodennähe. Mit Gegenwind wird der Schall daher nach oben gebrochen (man hört wenig), bei Rückenwind wird der Schall nach unten gebrochen (man hört viel).



Wenn ich mit dem Wind spreche, dann hört man mich relativ gut ...



Wenn ich gegen den Wind spreche, kann man mich kaum verstehen ...

→ http://www.phy.cuhk.edu.hk/phyworld/iq/sound_wind/sound_wind_e.html

"Why can a distant sound be heard easier when it travels with the wind? Why does it become weaker if it travels against the wind?"

Do you have such an experience? When you are standing against the wind, no matter how loud you shout, your distant friend cannot hear you at all, but you can hear him very well. Does wind scatter sound wave? Surprisingly, this phenomenon is related to refraction! Sound wave travels faster in the air when it is with the wind. Generally speaking, wind speed is lower near the ground because of the presence of blockages, and so it increases with height (Fig. 1). Therefore, when traveling with the wind, sound wave farther from the ground travels faster. Refraction is resulted from the difference in speed of sound in the upper and lower region, just like how sound wave travels in different mediums. Sound wave will be refracted towards the region with a lower speed of sound, thus sound wave will be refracted downwards when it travels with the wind, and hence it can be transmitted farther away.

In contrast, when sound wave travels against the wind, that is, when it travels in the opposite direction with the wind, the speed of sound will be reduced by the wind speed, resulting in a lower speed in the upper region. According to the principle mentioned above, sound wave will be refracted upwards, and hence it cannot easily reach a distant person (Fig. 2)."