

Schallgeschwindigkeitsmessung mit einem Digitalzähler

(A. Reichert)

1. Einleitung

Die Schallgeschwindigkeit in Luft und anderen Materialien ist eine wichtige Größe in der Physik. Aber auch im alltäglichen spielt sie eine große Rolle. So benutzt man sie, um die Entfernung eines Gewitters näherungsweise zu ermitteln. Man misst lediglich die Zeit in Sekunden zwischen dem Blitz und dem Donner. Teilt man das Ergebnis durch drei, so weiß man, wie viele Kilometer das Gewitter noch ungefähr entfernt ist. Folgen Blitz und Donner unmittelbar aufeinander, so befindet sich das Gewitter direkt über einem. Dass Schall und Licht sehr unterschiedliche Geschwindigkeiten haben, beobachtet man auch bei Flugzeugen. Man hört sie aus einer bestimmten Richtung, z.B. aus Westen auf einen zukommen. Schaut man aber zum Himmel, so sieht man das Flugzeug bereits über sich, oder sogar schon in östlicher Richtung davon fliegen. In der Zeit, in der der Schall vom Flugzeug zum Ohr dringt, hat es sich bereits merklich weiter bewegt, da Passagiermaschinen in aller Regel mit ca. 70% der Schallgeschwindigkeit fliegen. Das Licht braucht dagegen wegen der sehr viel höheren Geschwindigkeit nur Bruchteile von Sekunden, um unser Auge zu erreichen. Wäre die Schallgeschwindigkeit unendlich groß, so könnten wir mit unserem Gehör keine Gegenstände orten. Denn die geringen Laufzeitunterschiede zum linken bzw. rechten Ohr nutzt der Gehörsinn, um die Richtung zu erkennen, aus der der Schall kam. Dass die Schallgeschwindigkeit in verschiedenen Materialien unterschiedlich ist, wird mir immer wieder unfreiwillig demonstriert. Wir wohnen ca. 350 m von einem Steinbruch entfernt. Bei einer Sprengung spürt man zunächst eine leichte Bodenwelle und dann mit einer Verzögerung erst den Knall. Im Boden pflanzt sich der Schall schneller fort als in Luft. Landvermesser nutzen die Schallgeschwindigkeit, um die mittlere Temperatur der umgebenden Luft zu bestimmen. Die Schallgeschwindigkeit und damit die Laufzeit eines Schallsignals für eine bestimmte Strecke hängen von der Temperatur der Luft ab.

In Schulbüchern werden zwei Möglichkeiten beschreiben, die Schallgeschwindigkeit zu messen.

- 1) Man bestimmt für einen Ton bekannter Frequenz die Wellenlänge mit einer stehenden Welle und errechnet über die Grundgleichung der Wellenlehre $c = \lambda \cdot f$ die Schallgeschwindigkeit.
- 2) Man misst die Laufzeit eines Schallsignals für eine bestimmte Strecke mit zwei Mikrofonen und einer elektronischen Uhr und errechnet mit der Definitionsgleichung für die Geschwindigkeit $v = s/t$ die Schallgeschwindigkeit.

Die zweite Vorgehensweise erlaubt es, die wichtige Grundgleichung der Wellenlehre anschließend zu bestätigen, in dem man wie in 1) beschrieben die Wellenlänge und mit einem Mikrofon und einem Oszillographen die Frequenz ermittelt. Daraus errechnet man die Geschwindigkeit und vergleicht sie mit der nach 2) gemessenen. Leider können moderne Digitalzähler nicht mehr direkt über Mikrofone angesteuert werden. Sie benötigen an ihrem Eingang TTL-kompatible Signale, um eindeutig schalten zu können. Daher müssen die empfangenen Signale entsprechend aufbereitet werden. Das gelingt mit der vorgestellten Schaltung.

2. Funktion der Schaltung

Abb.1 zeigt den Aufbau der Schaltung. Sie gliedert sich in zwei Teile:

- 1) das Empfangsteil für das Schallsignal und
- 2) ein Monoflop, das TTL-kompatible Signale erzeugt.

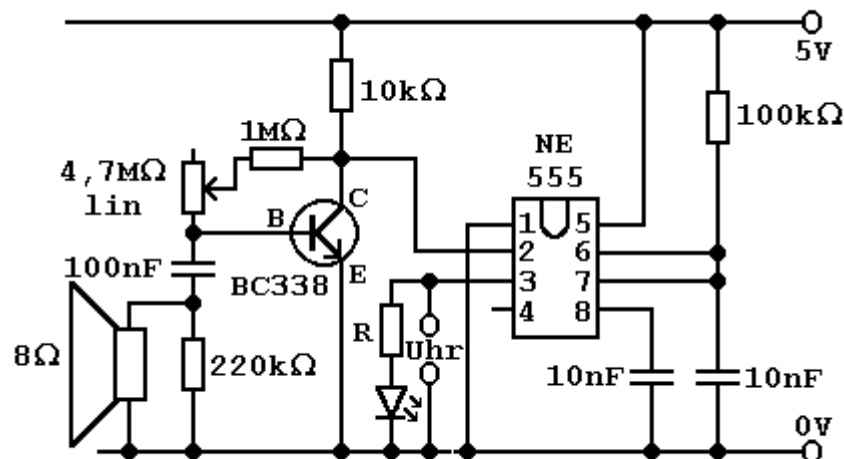


Abb.1: Schaltplan

Das Schallempfangsteil besteht aus einem kleinen Lautsprecher, der als Mikrofon dient, und einem einfachen Transistorverstärker. Der Verstärker ist erforderlich, um eine genügend große Empfindlichkeit zu erreichen. Sie kann über das Potentiometer in einem relativ weiten Bereich variiert werden. Der Kollektor des Transistors steuert den Eingang eines Zeitgeber-IC's NE555 an, das als Monoflop geschaltet ist. Mit den angegebenen Werten $R = 100 \text{ k}\Omega$ und $C = 10 \text{ nF}$ springt sein Ausgang nach dem Eintreffen eines Signals für ca.

$$T = R \cdot C = 1 \text{ ms}$$

von L- auf H-Niveau. Diese Zeit reicht aus, um einen angeschlossenen Digitalzähler ein- bzw. auszuschalten und die LED kurz zum Leuchten zu bringen. Sie dient als Kontrolllämpchen.

Ihr Vorwiderstand R muss bei einer normalen LED 220 Ω , bei einer Low-Current-LED 2,2 k Ω betragen.

3. Aufbau und Betrieb der Schaltung

Die benötigten Bauteile für eine Schallschranke entnehmen Sie der folgenden Tabelle. Zur Messung der Schallgeschwindigkeit benötigen Sie zwei dieser Schaltungen.

Widerstände:		
1	220 Ω bzw. 2,2 k Ω	0,25 W
1	10 k Ω	0,25 W
1	100 k Ω	0,25 W
1	220 k Ω	0,25 W
1	1 M Ω	0,25 W
Potentiometer		
1	4,7 M Ω lin	
Kondensatoren		
2	10 nF	
1	100 nF	
Transistoren/IC's		
1	BC 338/40	
1	Timer NE555 8/DIL	
weiteres Zubehör:		
1	LED, rot, 3 mm mit Fassung	
1	Lochrasterplatine mit Lötstreifen 5x9 cm, RM 2,54 mm	
1	Miniaturlautsprecher 8W/0,1 W; 40x40 mm	
1	Kunststoffgehäuse, 120x59x36 mm	
1	Buchse, gelb, für 4 mm Stecker	
1	Buchse, rot, für 4 mm Stecker	
1	Buchse, schwarz, für 4 mm Stecker	
1	Drehknopf, Typ 12/6	
1	IC-Fassung, 8polig DIL	
4	Schrauben mit Mutter, 3x15 mm	
etwas	Schaltlitze, Lötzinn	

Tabelle 1: Benötigte Bauteile

Die einzelnen Bauteile verlötet man nach Abb.2 auf einer Lochrasterplatine mit Leiterbahnen und baut sie anschließend mit dem Lautsprecher, dem Poti und der LED in ein kleines Gehäuse ein. Beachten Sie, dass an den mit roten Pfeilen gekennzeichneten Stellen die Leiterbahnen unterbrochen werden müssen. Das gelingt am einfachsten mit einem scharfen Teppichmesser.

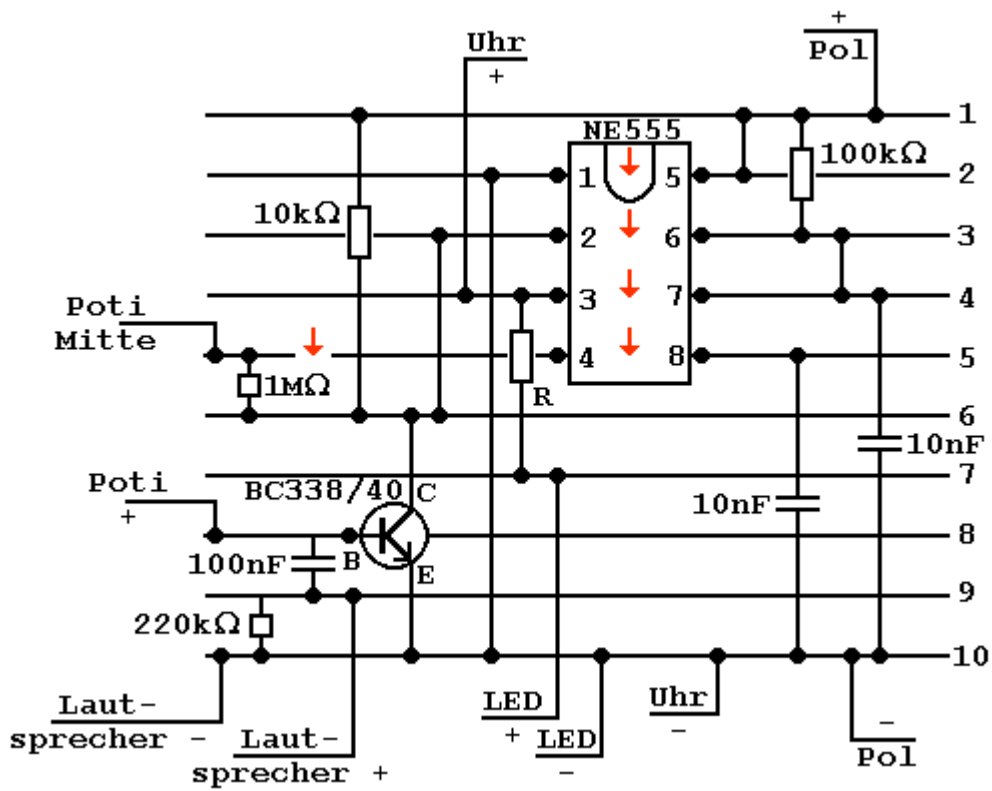


Abb.2: Verschaltung auf einer Lochrasterplatine

Die Vorderansicht des Gehäuses zeigt Abb.3.



Abb.3: Fertige Schallschranke

Die kleinen 3 mm Bohrungen im oberen Teil sind die Schalllöcher für den Lautsprecher. Er wird mit vier 3 mm Schrauben am Gehäuse befestigt. Für das Potentiometer benötigt man eine 10 mm Bohrung. Rechts neben dem Drehknopf des Potentiometers befindet sich die LED. Ihre Fassung passt in eine 6 mm Bohrung. Über die schwarze und rote Buchse wird die benötigte Betriebsspannung $U_B = 5 \text{ V}$ eingespeist. Sie kann dem 5V/1A-Ausgang des Digitalzählers von Phywe oder einem stabilisierten Netzgerät entnommen werden. Das positive Steuersignal für den Zähler liegt an der gelben Buchse, das negative an der gemeinsamen schwarzen Minusbuchse. Für die Buchsen braucht man jeweils 8 mm Bohrungen. Die Teile lassen sich je nach Gehäusegröße auch anders anordnen. Die Schaltung wird wie eine Gabellichtschranke betrieben. Am Digitalzähler wählt man die Betriebsart „Time“ mit den beiden ansteigenden TTL-Flanken. Zur Schallgeschwindigkeitsmessung benötigt man zwei dieser Schallschranken, eine, um die Uhr zu starten, und eine, um sie zu stoppen. Statt eines Digitalzählers kann man auch ein Messwerterfassungssystem, z.B. Cassy von Leybold benutzen, das mit einem Computer verbunden wird. Vor dem eigentlichen Versuch stellt man die Empfindlichkeit der akustischen Schalter ein. Dazu dreht man die Schaltung über das Potentiometer so weit auf, dass die LED gerade dauerhaft aufleuchtet. Am Ausgang des Monoflop liegt dann ständig ein H-Signal an. Dreht man das Potentiometer so weit zurück, dass die LED wieder erlischt, so ist die Schaltung betriebsbereit. Je weiter man das Poti zurückregelt, umso unempfindlicher wird sie. Die besten Ergebnisse erzielt man im oberen Bereich der Empfindlichkeit.

Versuch:

Durchführung:

Man stellt beide Relais in verschiedenen Abständen auf. Als Schallquelle dienen zwei Holzklötze, die man vor dem Startrelais gegeneinander schlägt. Aber auch ein kräftiges Händeklatschen reicht aus. Den genauen Versuchsaufbau entnehmen Sie Abb.4. Auf zwei mögliche Fehlerquellen möchte ich dabei hinweisen. Ist das erzeugte Signal nicht laut genug, so wird die gemessene Zeit entweder zu groß oder zu klein. Dann wird das Stoppsignal nicht mehr vom Schall des erzeugten Knalls ausgelöst, sondern durch eine Störquelle aus der Umgebung. Außerdem sollte man darauf achten, dass der Knall auf einer Linie erzeugt wird, die durch die beiden Relais gebildet wird und zwar vor dem Startrelais. Anderenfalls entspricht die Entfernung der beiden Mikrofone nicht unbedingt der Laufstrecke des Schalls vom ersten zum zweiten Mikrofon. Würde man z.B. den Knall zwischen den beiden Mikrofonen erzeugen, so würden beide gleichzeitig auslösen, da der Schall das Start- und Stopprelais zur gleichen Zeit erreichen würde.

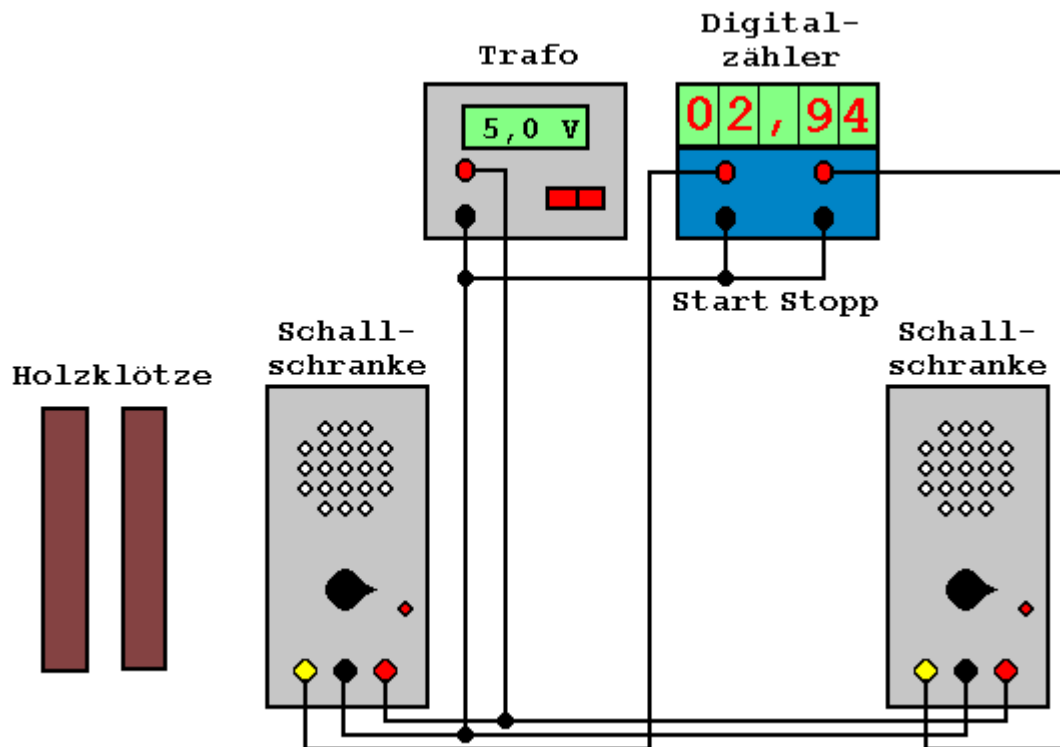


Abb.4: Versuchsaufbau

Ergebnisse:

Bei einer Versuchsreihe mit verschiedenen Abständen s erhält man als Mittelwert für die Zeit t aus jeweils fünf Messungen folgende Messtabelle:

s [m]	t [ms]
0,2	0,56
0,3	0,89
0,4	1,13
0,5	1,51
0,6	1,74
0,7	2,01
0,8	2,38
0,9	2,61
1,0	2,92

Tabelle 2:
Messergebnisse

Auswertung:

Die Tabelle wertet man am besten mit Excel aus. Dabei erhält man das Diagramm in Abb.5. Aus der Kurve liest man ab, dass die Schallgeschwindigkeit c

$$c = 0,3412 \text{ m/ms}$$

$$= 341,2 \text{ m/s}$$

beträgt, in guter Übereinstimmung mit dem in der Literatur angegebenen Wert.

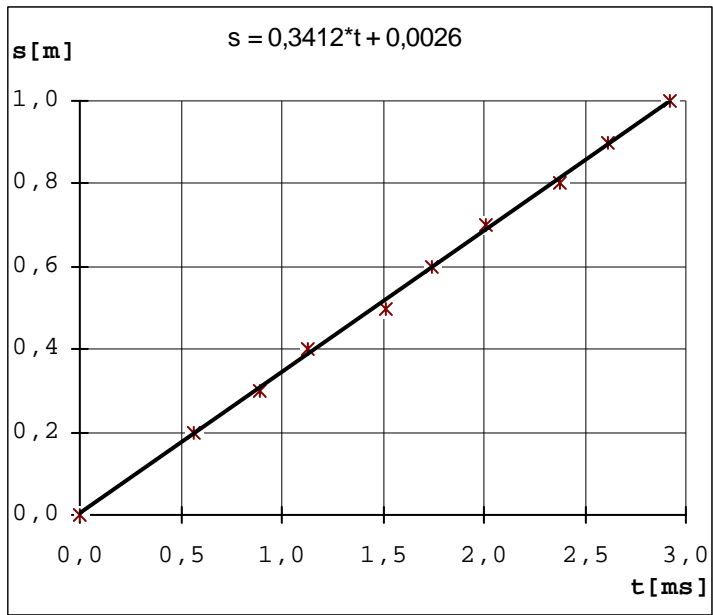


Abb.5: Messkurve