

## «Sehen» mit den Ohren

**«Die Luft wird zwischen den Bäumen und dem Auto eingeklemmt» und ähnliche Antworten gaben Jugendliche zwischen 15 und 20 Jahren auf die Frage, wie das Tsch-tsch-Geräusch entsteht, wenn ein Auto durch eine Allee fährt. Nur wenige gaben die richtige Antwort: Das Geräusch entsteht durch Reflexion der Schallwellen an den Bäumen. Das Phänomen hat in der Praxis viele Anwendungen.**

Allen bekannt ist das Echo, das in den Bergen unsere Rufe zurückgibt. Der Schall braucht für Hin- und Rückweg zwischen Beobachter und einer 170 Meter entfernten Felswand rund eine Sekunde. Misst man die Zeitdauer bis zur Rückkehr eines kurzen Schallsignals, kann mit Hilfe der bekannten Schallgeschwindigkeit die Entfernung berechnet werden. Bei einer mittleren Stimmlage von 170 Hertz (170 Schwingungen pro Sekunde) legt der Schall in einer Schwingungsperiode 2 Meter zurück, seine Wellenlänge beträgt also 2 Meter.

Wegen Interferenzen wird die Zeitmessung selbst bei elektronischer Bestimmung etwa eine halbe Periode unscharf, dementsprechend auch die Längenmessung eine halbe Wellenlänge. Da die zu messende Entfernung die Hälfte des gesamten Schallweges beträgt, wird die Genauigkeit etwa ein Viertel einer Wellenlänge oder im oben erwähnten Fall 0,5 Meter, was für die Bestimmung der Distanz zur Felswand genügt. Sie reicht aber nicht für die Parkierhilfe beim Auto oder für das Distanzmessgerät des Baumeisters! Um eine Genauigkeit von 0,25 cm zu erreichen, darf die Wellenlänge nicht mehr als 1 cm betragen, was einer Frequenz von 34 kHz entspricht. Handelsübliche Geräte arbeiten deshalb mit Frequenzen von 30 bis 40 kHz. Sie berücksichtigen zudem die mit höherer Temperatur zunehmende Schallgeschwindigkeit, indem sie die Lufttemperatur messen.

### Keine Reflexion bei kleinen Objekten

Warum aber erzeugen die weit vor der Felswand liegenden Steinbrocken kein Echo? Betrachten wir ein Schiff auf hoher See, das durch eine Tsunamiwelle fährt. Ihre Wellenlänge beträgt 100 bis 500 Kilome-

ter. Trotz ihrer grossen Ausbreitungsgeschwindigkeit von rund 800 km/h braucht die Welle 8 bis 40 Minuten, um sich am Schiff vorbei zu bewegen. Das Schiff wird dadurch nur mit einer unmerklichen Geschwindigkeit von wenigen Millimetern pro Sekunde hin- und her- sowie auf- und abbewegt. Das Wort Tsunami bedeutet auf japanisch Welle im Hafen, weil Fischer auf hoher See nichts von der Welle bemerken und erst bei ihrer Rückkehr von den Zerstörungen im Hafen überrascht werden. Bei Wellenlängen, die wesentlich grösser sind als das Schiff, findet also praktisch keine Interaktion zwischen Welle und Schiff statt: Die Welle «sieht» das Schiff nicht, sie wird nicht reflektiert.

### Gute Reflexion bei grossen Objekten

Betrachten wir nun Wellen in einem See oder Fluss mit Wellenlängen von einigen Metern, die schräg auf ein 60 Meter langes Schiff zukommen (Bild). Diese Wellen haben während einer Periode keine Zeit, um das Schiff herum zu fliessen. Sie interagieren deshalb stark mit der Hülle des Schiffes und werden dabei reflektiert: Die Wellen «sehen» das Schiff. Eine detailliertere physikalische Analyse ergibt, dass bei jeder Art von Wellen die Interaktion deutlich wird, sobald die halbe Wellenlänge kleiner ist als die Grösse des Reflektors.

In der Mikroskopie ist dieses Phänomen als Abbesche Auflösungsgrenze bekannt. Für optische Mikroskope beträgt sie etwa 200 Nanometer (die Hälfte der Wellenlänge von blauem Licht). Zellen, Bakterien und Mitochondrien sind daher unter dem Lichtmikroskop sichtbar, Viren hingegen nicht – und Moleküle oder Atome schon gar nicht. Für letztere braucht es Wellenlängen um 0,1 Nanometer, also Röntgenstrahlung, wie sie beispielsweise für die Strukturaufklärung von Proteinen verwendet wird.

### Sieht die Parkierhilfe den Gartenzaun?

Eine Parkierhilfe mit einer Frequenz von 34 kHz (Wellenlänge 1 cm) «sieht» also einen Draht mit einem Durchmesser von 5 mm noch recht gut. Ein 4 cm dicker Pfosten eines Gartenzaunes stellt also kein Problem dar, falls er sich im Schallkegel einer der Sonden befindet. Das Drahtgitter zwischen den Pfosten dürfte aber je nach Drahtdicke und Maschenweite nicht mehr für alle Systeme detektierbar sein.



Satellitenbild der Themse mit Flussrichtung nach rechts unten bei der Queen Elizabeth II Bridge. Die Kielwasserwelle eines Pilotbootes (rechts unten) hat eine Wellenlänge von 3 bis 5 Metern und wird am Rumpf eines 60 Meter langen rot-grünen Schiffes reflektiert. Unterhalb des grünen Hecks sind Rhombus-förmige Überlagerungen (Interferenzen) kleinerer Wellen mit deren Reflexionen sichtbar.

Analoge Überlegungen zeigen, dass ein Sonar für das Auffinden von Fischen (Fischlupe) eine Wellenlänge von 1 bis 10 cm haben muss, was Frequenzen von etwa 15 bis 150 kHz entspricht (die Schallgeschwindigkeit in Wasser beträgt das 4,3-Fache derjenigen in Luft). Für Ultraschall-Bilder von Föten werden Wellenlängen um 0,6 Millimeter verwendet, was einer Frequenz von ca. 2500 kHz entspricht, um eine Bildauflösung von 0,3 Millimeter zu erreichen. Da längere Wellen tiefer eindringen als kürzere, kann der Arzt verschiedene Wellenlängen einstellen, um den besten Kompromiss zwischen Auflösung und Eindringtiefe zu finden.

### «Sehen» mit den Ohren

Das Eingang erwähnte Tsch-tsch-Geräusch ist an den Bäumen der Allee reflektierter Autolärm. Stämme mit Durchmessern von 50 cm reflektieren alle Frequenzen oberhalb von etwa 340 Hz, worunter sich vor allem die Laufgeräusche der Pneus befinden. Ein Kandelaber mit nur 10 cm Durchmesser reflek-

tiert ein helleres Geräusch mit Frequenzen oberhalb etwa 1700 Hz. Mit etwas Übung lassen sich im fahrenden Auto bei geöffnetem rechten Fenster Randpfosten, Kandelaber, Bäume, Büsche und Häuser an der Dauer und Tonlage der Echos unterscheiden. Blinde können ihre Ohren so weit trainieren, dass sie mit Hilfe kurzer Schnalzgeräusche Entfernung und Art von Gegenständen an der Zeitverzögerung und Tonlage der Echos erkennen können. In ruhiger Umgebung wird für sie so selbst Velofahren möglich.

Fritz Gassmann

### WEITERFÜHRENDE INFORMATIONEN

Filmreportagen über den blinden Daniel Kish (USA), der sich mit Hilfe der Echos seiner Zungen-Klicklaute orientieren und sogar Velo fahren kann: [www.youtube.com](http://www.youtube.com), Suchwort «Daniel Kish».