



3 Vom Ohr zum Gehirn

Stellen Sie sich vor, Sie stehen an einem See, auf dem Boote fahren, wo Kinder ins Wasser springen und schwimmen. Stellen Sie sich nun weiter vor, Sie graben am Sandstrand zwei kleine Kanäle vom Seeufer ein paar Schritte landeinwärts, jeder eine Hand breit, so dass das Wasser vom Ufer in die Kanäle fließen kann. Stellen Sie sich jetzt noch zwei Nusschalen vor, die Sie mittels eines Streichholzes und kleiner weißer Papierschnipsel in zwei Segelboote verwandelt haben und die Sie am landeinwärtigen Ende der Kanäle zu Wasser bringen (vgl. Abb. 3-1).

Die vom See ans Ufer gelangenden Wellen werden nun durch die Kanäle zu den Schiffchen geleitet, die dadurch – je nachdem, was sich gerade auf dem See abspielt – auf und ab schaukeln. Wenn Sie sich jetzt noch vorstellen, dass Sie spaßeshalber einmal versuchen würden, aus dem Schaukeln der Schiffchen auf die Aktivitäten auf dem See zurückzuschließen, dann beginnt es Ihnen zu dämmern, was unsere Ohren zusammen mit der nachgeschalteten akustischen Informationsverarbeitung eigentlich leisten.

Der Vergleich hinkt allerdings in einer Hinsicht: Die an unsere Ohren gelangenden Wellen haben nur eine sehr kleine Auslenkung, weswegen unsere Ohren ungeheuer empfindlich sein müssen, um überhaupt etwas zu vernehmen. Dies lässt sich berechnen: Physikalisch stellt ein Schallereignis eine Form von Energietransport dar. Wenn nun ein Pfeifton irgendwo in der Landschaft entsteht, dann breitet er sich aus; seine Energie „verdünnt“ sich gewissermaßen mit der Entfernung, indem sie sich auf der Oberfläche einer immer größeren Kugel verteilt. Da die Kugelober-



Abb. 3-1 Gedankenexperiment (angeregt durch Bregman 1990, S. 5f) zur Funktion des Gehörs. Das Problem der akustischen Informationsverarbeitung lässt sich als Rückschluss von der Bewegung der Segel beider Schiffchen auf die Aktivitäten auf dem See verdeutlichen.

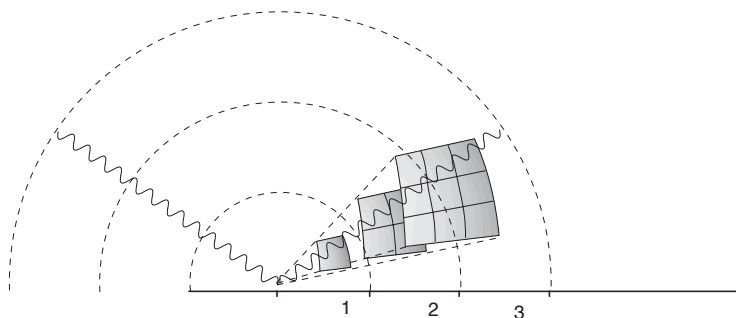


Abb. 3-2 Quadratischer Zusammenhang zwischen Entfernung und Energie. Der Ton breitet sich von einem Punkt in alle Richtungen gleichmäßig aus. In einem Meter Entfernung verteilt sich die Energie dann auf einen bestimmten Ausschnitt der Kugeloberfläche um den Ton herum. In zwei Metern Entfernung ist diese Oberfläche viermal so groß, in drei Metern Entfernung neunmal.

fläche mit dem Quadrat der Entfernung von der Schallquelle zunimmt, nimmt die Energie pro Fläche quadratisch ab. In zwei Metern Abstand von einer Schallquelle ist also die Energie, die auf unser Trommelfell trifft, nicht zwei-, sondern viermal geringer als in einem Meter Abstand (vgl. Abb. 3-2), in einem Abstand von zehn Metern bereits einhundertmal. Aus diesem einfachen Sachverhalt folgt, dass unsere Ohren sehr empfindlich sein müssen, wenn sie auch noch weiter entfernte Schallquellen orten und erkennen sollen. Genau dies ist auch der Fall.

Das Ohr könnte übrigens gar nicht besser sein: Es ist so empfindlich, dass es dann, wenn es noch ein kleines bisschen empfindlicher wäre, die Wärmebewegung der Luftteilchen und damit ein dauerndes Rauschen (das niemandem nutzen würde) an das Gehirn weiterleiten würde. Gleichzeitig kann es auch einen lauten Knall wahrnehmen. Es deckt dabei einen unglaublichen Bereich von eintreffender Energie ab, die von der Hörschwelle bis zur Schmerzgrenze um zwölf (!) Zehnerpotenzen variieren kann.

Mit der Empfindlichkeit des Gehörs hat man sich bereits vor mehr als 100 Jahren mit physikalischen Methoden beschäftigt. So schrieb der Psychologe Carl Stumpf:

„Boltzmann und Töpler haben nach der Entfernung, in welcher ein Pfeifton von 181 Schwingungen (fis) noch zu hören war, die Schwingungsweite eines Luftteilchens für den eben hörbaren Ton auf 0,0004 Millimeter (etwa 1/10 von der Wellenlänge des grünen Lichtes) und die mechanische Arbeit, welche dabei an das Ohr abgegeben wird, auf etwa 1/3 Billionen Kilogramm-meter berechnet. Diese erstaunliche Gehörsfeinheit wurde noch dazu, wie die Forscher ausdrücklich hervorheben, unter nicht völlig günstigen Umständen beobachtet“ (Stumpf 1883/1965, S. 384f).

In einer Anmerkung fügt er hinzu, dass die mittlere Auslenkung des Trommelfells beim Hören eines Tons mit weniger als einem tausendstel Millimeter berechnet wurde.

Die akustische Landschaft

Wir haben uns so daran gewöhnt, dass wir aus dem Gewirr der an unsere Ohren dringenden Schallwellen einzelne Töne und Geräusche in unterschiedlicher Richtung und Entfernung wahrnehmen, dass es einer Analogie wie der gerade geschilderten bedarf, um uns überhaupt erst einmal vor Augen zu führen, welche unglaublich komplizierte und zugleich wunderbare Leistung unser Gehörsinn darstellt. Wir baden beständig in einem Ozean aus Luft, der Schallwellen von den verschiedensten Quellen an unsere Ohren leitet.

Delphine und Dirigenten

Delphine baden in Ozeanen voller Salzwasser und haben ein überaus feines Gehör. Wasser leitet den Schall besser als Luft und erlaubt es den Tieren, wie man seit etwa 50 Jahren durch Beobachtungen und experimentelle Untersuchungen weiß, aus dem Schall, der an ihre Ohren dringt, den Raum um sie herum bis in Einzelheiten dreidimensional zu rekonstruieren. Da Wasser für Licht nicht besonders gut, für Schall jedoch sehr gut durchlässig ist, ist dies sehr sinnvoll (vgl. Au 1990). Es bedarf hierzu allerdings nicht nur guter Ohren, sondern vor allem einer sehr genauen Nachverarbeitung der eingehenden akustischen Information. Möglicherweise ist dies ein Grund dafür, dass Delphine und mit ihnen verwandte Meeressäuger über die größten Gehirne verfügen, die es überhaupt gibt (vgl. Abb. 3-3).

Weiterhin besitzen Delphine wie Fledermäuse die Fähigkeit zur Echolotung. Sie stoßen sehr kurze Klicks aus, deren Lautstärke und Frequenzspektrum sie den Umgebungsbedingungen anpassen können, um sich optimal zu orientieren (Moore 1988, Moore u. Pawloski 1990). Die Verarbeitung dieser Echolot-Signale ist recht verschieden vom normalen passiven Hören, weswegen manche Autoren zwei unterschiedliche Analysesysteme postulieren (Dubrovskiy 1990).

Ähnlich wie Delphine aus Schallwahrnehmung die Landschaft um sich herum rekonstruieren, erlernen erblindete Menschen im Laufe der Zeit, das Gehör, ihren einzigen verbleibenden Fernsinn, zu verwenden, um sich ein inneres Bild der Umgebung zu machen. Im Gegensatz zu normalsichtigen Menschen haben blinde Menschen gelernt, sich durch das Hören zu orientieren. Man kann sich dies leicht vorstellen, denn die meisten Menschen können beim Betreten eines Raums in völliger Dunkelheit durch die Echos ihrer Schritte etwas über dessen Größe aussagen

Abb. 3-3 Medianschnitt durch das Gehirn eines Menschen (links) und eines Killerwals (rechts), dargestellt im gleichen Maßstab.

