



Die Welt des Hörens

Als Jäger und Krieger hören wir etwas. Wir können das Geräusch erkennen (oder nicht) und damit signalisiert es uns Gefahr oder nicht. Wir können das Geräusch auch orten (3D) und dann schnell dahinschauen, wo es herkommt. Ab jetzt übernimmt das visuelle System die Herrschaft.

Dieses Zusammenspiel ist schon erstaunlich genug. Es beweist aber vor allem auch, daß die Raumvorstellung (3D), die wir im Gehirn haben, von beiden Sensorsystemen benutzt wird. Sie ist existent unabhängig von der Art des empfangenen und verarbeiteten Signals.

Die beiden Sensorsysteme unterscheiden sich aber in einem Punkt grundsätzlich. Das visuelle System ist überwiegend räumlich. Die Zeit wird nur indirekt wahrgenommen durch eine eventuelle Bewegung. Das auditive System ist essentiell ein zeitliches System. Ohne die serielle Ausstrahlung des Signals in der Zeit, gibt es nichts zu hören. Der Raum spielt hier eine eher untergeordnete Rolle. Gleichwohl ist das Orten eines akustischen Signals eine wichtige Funktion. Wir schildern diese Fähigkeit einmal kurz vorab. Sie ist zwar auch sehr komplex, aber bei weitem einfacher zu verstehen, als das Hören und Erkennen von Geräuschen (Tönen, Sprache, Musik).

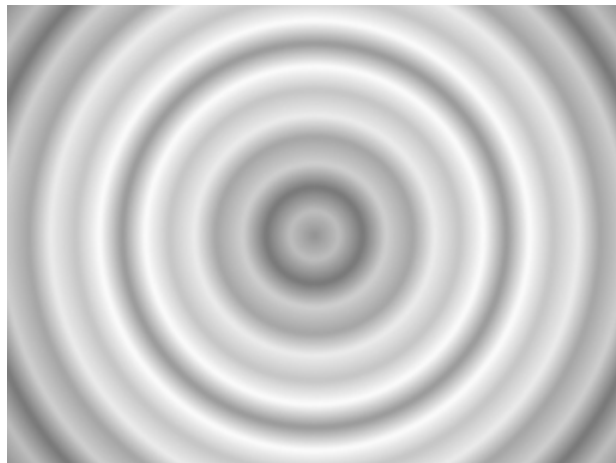
Erst eine Rekapitulation was Schall eigentlich ist. Im Gegensatz zu Licht (sh. die Ausführungen beim visuellen System) verstehen wir Schall ziemlich gut. Er benötigt ein Ausbreitungs"material" – in den meisten Alltagsfällen ist das für uns die Luft. Durch eine mechanische Anregung, z. B. ein Händeklatschen oder einen Blitz wird eine Druckveränderung der Luft durch Verdrängung erzeugt. Diese Druckveränderung pflanzt sich aus naheliegenden Gründen kugelförmig aus. Das sieht man nicht, weil eine etwas stärkere Dichte der Luft das Durchschauen nicht stört. Würde man aber den stärkeren Druck dunkler denken, so sähe man das etwa so:

Wie Ihnen sicher bekannt ist, breitet sich der Schall in der Luft mit etwa 343 m /sec aus (bei 20 Grad Celsius und 1013 hPa Druck). Das ist schnell, aber dennoch für unser Gehirn und Zeitempfinden erkennbar. Der Hammer eines weit entfernten Handwerkers ist schon lange auf dem Nagel, bevor wir den Schlag hören.

Nun hat die Evolution gedacht, daß es recht nützlich sein könnte, diese Druckwellen mit einem Sensor zu erkennen und hat das Trommelfell erfunden, das auf den Druck reagiert und ein entsprechendes Signal an das Gehirn sendet.

(Man verzeihe übrigens die Ausdrucksweise, die Evolution habe gedacht oder erfunden. Natürlich ist die Evolution kein Ingenieur, sie macht das bekannterweise anders, nämlich durch „Versuch und Irrtum“ und ohne ein Projektziel zu haben. Im Ergebnis sieht das aber meistens so aus, als ob da ein Vordenker am Werk war.)

Gehirn und Trommelfell mit den dazugehörenden Nerven haben auch noch zusammen die Eigenschaft entwickelt, die Druckschwankungen bezüglich ihrer Aufeinanderfolge zu erkennen. Kommen Sie schnell aufeinander, wird das als hoher Ton empfunden und umgekehrt. Die Schnelligkeit der Aufeinanderfolge wird als Frequenz bezeichnet. Analog zum Licht (sh. beim visuellen System) haben wir Menschen einen Bereich, den wir mit dem Sinnesorgan „Ohr“ aufnehmen können. Er liegt bei etwa 40 bis 15000 Schwingungen pro Sekunde. Die Einheit dafür ist Hertz (Hz). Darunter nennt man es Infraschall und darüber Ultraschall, ebenfalls ganz analog zum Licht. Die Analogie ist nicht ganz perfekt, weil unser Gehirn innerhalb des Hörbereichs keine Einteilung vorgenommen hat, wie es beim Licht die Farben sind. Das hat die Evolution wohl nicht für nötig erachtet. Interessant ist auch in Erinnerung zu rufen, daß Tiere ganz andere Hörbereiche



haben können (denken Sie an die Analogie beim Sehen mit dem Ultraviolett z.B. bei Bienen). Hund und Katze hören noch Töne bis 50.000 Hz, Rekordhalter sind Fledermaus und Delphin mit 200.000 Hz. Die Fledermäuse nutzen diesen Hörbereich auch noch zum radarartigen orientieren. Das ist eine Eigenschaft, die wir – äußerst rudimentär – grundsätzlich auch entwickeln können. Das können Sie ausprobieren durch Schließen der Augen und Zungeschnalzen. Hört sich in einem Raum anders an als im Freien.

Eine für uns ganz wichtige Eigenschaft des auditiven Systems kommt hier zutage. Was ist der Unterschied des Geräuschs im Raum oder im Freien? Das Geräusch ist an der Quelle völlig gleich. Wir hören aber einen Unterschied. Die kugelförmige Ausbreitung wird an den Wänden gestoppt. Ein Teil bringt die Wand in Schwingung (nur ein bißchen), ein anderer Teil wird zurückgeworfen (reflektiert) und überlagert sich mit der ursprünglichen Welle. So entsteht ein für jede Raumsituation charakteristisches, von der Quelle etwas abweichendes Signal. (Bis zur Perfektion wird das ausgenutzt bei der Konstruktion von Konzert- und Opernsälen).

Und jetzt kommt auch noch etwas anderes ins Spiel: Wie beim visuellen System hat uns auch hier die Natur mit zwei gleichartigen Sensoren ausgestattet, die in gewissem Abstand voneinander platziert sind. Diese Sensoren haben eine äußere Umbauung, Ohr genannt, die nicht nur hübsch sein kann, sondern auch sehr nützlich ist.



Abgesehen von der Ästhetik ist die Ohrmuschel eine recht eigenartige Konstruktion, wie sie eigentlich nur die Evolution hervorbringen kann. Hätten das Ingenieure gemacht, sähe sie bestimmt anders aus. (Ob sie dann auch so gut ihren Zweck erfüllen würde, ist noch die Frage.)

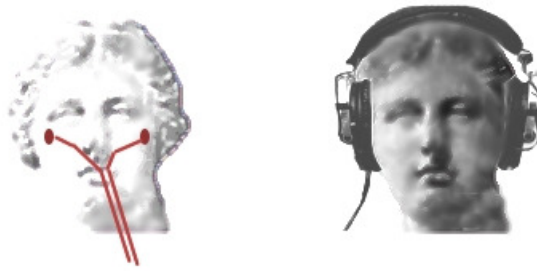
Je nach Richtung des Schalls wird das Signal an der Ohrmuschel anders reflektiert und zum Trommelfell geleitet. Das Geräusch, das ohnehin schon durch äußere Gegebenheiten verändert wurde, wird dadurch noch einmal variiert.

Und da das andere Ohr auf der gegenüberliegenden Seite liegt, ist dessen Signal noch einmal unterschiedlich. Wir fassen zusammen: Je nach äußerer Situation und je nach Lage des Signals zum Kopf erhält das Trommelfell von der ursprünglichen Quelle abweichende Informationen. Mehr ist das aber noch nicht.

Jetzt kommt unser unglaublich fähiges Gehirn ins Spiel. Vom Babyalter an arbeitet es unablässig daran, diese Unterschiede zu interpretieren, mit Erfahrungen abzugleichen und sich das alles auch noch zu merken. Wie das genau geht, wissen wir trotz intensiver neurologischer Forschung nicht. Das Ergebnis ist aber überwältigend. Wir können Geräusche erkennen und sie in unsere (visuelle) Vorstellung vom Raum einordnen. Wir können Ihre Entfernung und Richtung einschätzen und das alles ohne Begriffe und Worte. Das alles ist eine unglaubliche Fähigkeit, die man erst richtig bewundern lernt, wenn man sich überlegt, was ein Computer können müßte, um das zu erreichen.

Der Vollständigkeit halber sei noch darauf hingewiesen, daß nicht das Gehirn die Ohrmuschel konstruiert hat, sondern es die Eigenschaften der Ohrmuschel intensiv nutzt. Ein mehr als eigenartiges und undurchschaubares Zusammenspiel von körperlicher und neuronaler Entwicklung.

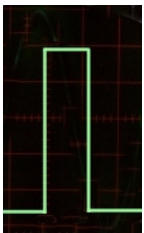
Sehr eindrucksvoll ist die Raumorientierung der Geräusche bei der sogenannten Kunstkopfstereophonie. Hierbei versucht man nicht, etwas zu berechnen, sondern macht einfach die Natur nach:



Man nehme einen Kof mit Ohren aus Plastik, pflanze an der Stelle der Trommelfelle Mikrofone ein und nehme dann einfach Geräusche, Stimmen oder Musik auf. Das Ergebnis ist verblüffend. Wenn Sie die Möglichkeit haben, probieren Sie es aus. Der einzige Nachteil ist, daß man die Aufzeichnung nur mit Kopfhörern wirklich erfahren kann. Mit Lautsprechern würden die Signale wegen des Raums zusätzlich verändert werden und der Effekt größtenteils wieder aufgehoben.

Wir benutzen im Folgenden eine grafische Darstellung von Schall: Auf der x-Achse ist die Zeit aufgetragen, die y-Achse zeigt die Stärke des Schallereignisses:

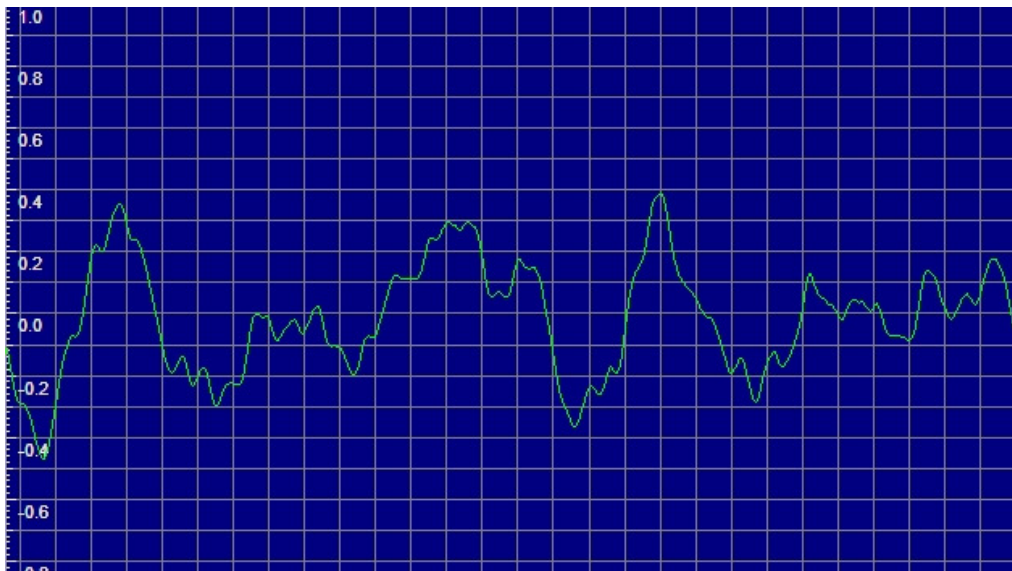
Schall und Klang



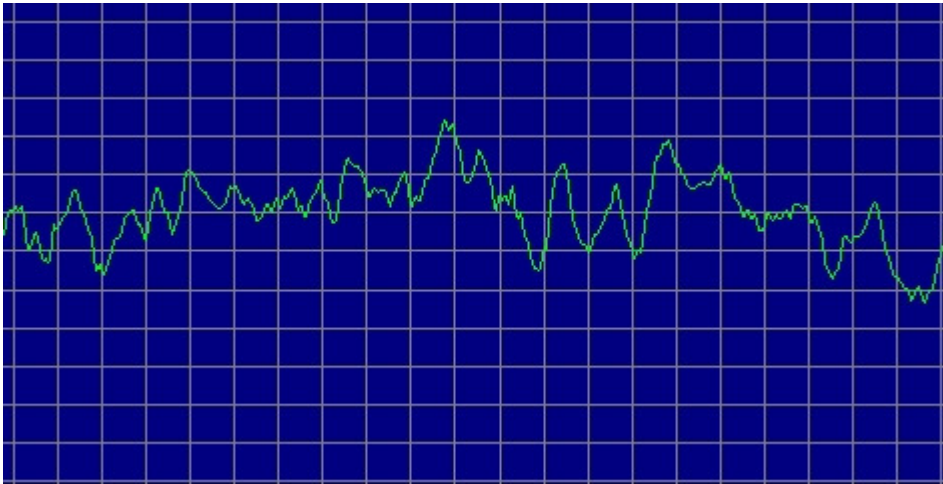
Dies wäre dann ein kurzer Knall. Auf diese Weise läßt sich jedes Geräusch visuell darstellen. Das wird zum Beispiel bei Software benutzt, mit der man mp3-Files herstellt, egal ob für Musik, Sprache und Geräusche.

Mit so einer Software kann man alle möglichen Effekte hinzufügen, z.B. Nachhall, um einen großen Raum zu simulieren. Diese Effekte kann man deswegen erzeugen, weil man mittlerweile weiß, wie eine Schallwelle aussehen muß, um entsprechend

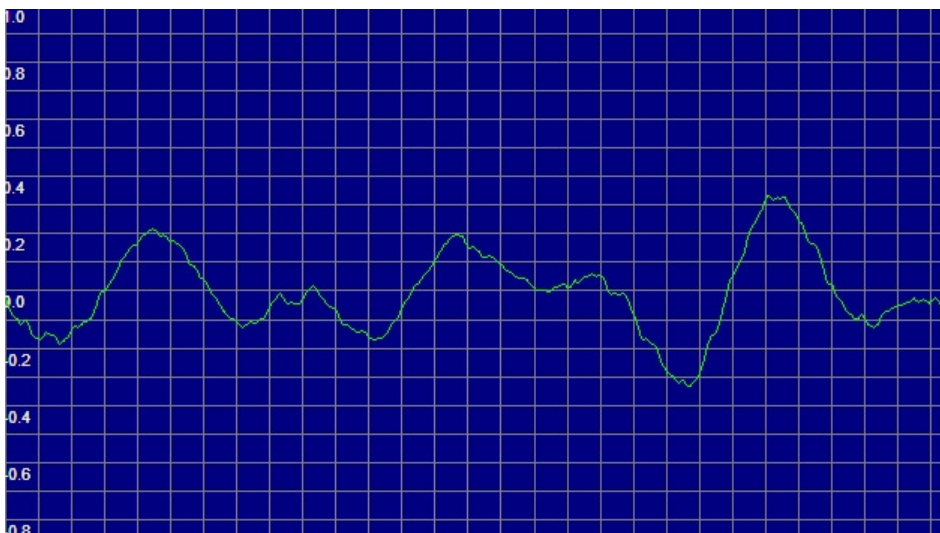
zu klingen. Sehen Sie sich folgende Beispiele an.



Bringt man dieses Wellenmuster zum Lautsprecher, hören Sie ein wunderschönes klassisches Orchester. Oder dieses:



Sie werden es kaum erraten: Das ist das romantischste Meeresrauschen. Oder das:



So klingt das gesprochene Wort „Reaktion“.

In aller Deutlichkeit: Mehr Inhalt (Information) als die im Diagramm gezeigten Druckschwankungen kommt am Trommelfell nicht an. Alles andere muß unser Gehirn ganz alleine machen.

Wir haben auch hier keine Ahnung, wie das Gehirn das wirklich macht. Es hat offensichtlich eine riesige Zahl von Mustern gespeichert und kann diese blitzschnell vergleichen und ebenfalls blitzschnell die richtigen Schlüsse ziehen: Kenne ich das, womit stimmt es überein und was ist darin alles enthalten.

Dieses Letztere ist ebenfalls äußerst wunderbar: In einem Gemisch von Geräuschen können wir einzelne Elemente „herausfiltern“ und zuordnen. Zum Beispiel, welche Instrumente im Orchester spielen oder ob im Verkehrslärm auch noch ein Vogel zwitschert.

Die beiden Schlüsselfunktionen sind wohl Filtern und Mustererkennung. Man hat technisch viel Erfahrung im Filtern von akustischen Signalen. Zugrunde liegt zum Beispiel ein höchst komplexes, mathematisches Verfahren, die sogenannte Fourier-Analyse, die mit Hilfe ebenfalls komplexer Elektronik realisiert wird. Kaum denkbar, daß die Evolution auf ein theoretisches, mathematisches Verfahren zurückgreift und quasi einen Computer gebaut hat, der es umsetzt.

**Das
akustische
Gedächtnis**

Aber es funktioniert im Gehirn. Und das auch noch außerordentlich präzise und blitzschnell. Mathematisch-technisch gesehen, entsteht ein Gesamtgeräusch aus der Addition einzelner Komponenten. Sind diese zum Beispiel gerade gegenläufig, können sie sich auch auslöschen. Man

nennt diesen Effekt in der Akustik und auch in der Optik Interferenz. Was wir damit sagen wollen: Es ist alles andere als trivial, aus der Summe die einzelnen Komponenten zu ermitteln. Genau genommen, geht das gar nicht perfekt. Bei der Interferenz ist da einfach ein Stück gar nichts. Es ist nicht zu entscheiden, ob da einfach nichts war oder verschiedene Signale sich zu Null addiert haben.

Man (und hier unser Gehirn) kann das nur lösen, in dem man Schätzungen macht und künstlich Wahrscheinliches ergänzt um zu einem, wenn auch unsicheren Ergebnis zu kommen. Und seien Sie versichert: Unser Gehirn muß das laufend tun. Wir merken bewußt davon gar nichts. Höchstens, daß es sich manchmal getäuscht hat.

Die Menge an Mustern, die sich unser Gehirn – auf welche Weise auch immer – gemerkt hat, ist aberwitzig. Es kommt aber noch komplizierter:

Kennen Sie „O sole mio“, zum Beispiel gesungen von Pavarotti? Und kennen Sie „It’s now or never“, vor langer Zeit sehr erfolgreich veröffentlicht von Elvis Presley?

Sie werden sicher sehr schnell bemerken, daß es sich um das gleiche Lied handelt. Die Unterschiede sind aber enorm, wenn man das akustische Signal betrachtet:

- O Die Stimmen von Elvis und Pavarotti sind doch recht unterschiedlich.
- O Beim Einen spielt ein klassisches Orchester, beim Anderen die Band mit Gitarre, Baß und Schlagzeug.
- O Der Rhythmus ist völlig verschieden (bei Elvis der südamerikanische Beguine).
- O Die Tonhöhe und damit die Frequenzen sind unterschiedlich.
- O Der Text ist ein völlig anderer (was sich sehr auf das Signal auswirkt)

Sähe man sich beide Stücke mit Hilfe der obigen Diagramme an, würde man optisch keine Ähnlichkeiten entdecken. Und doch: Das Gehirn erkennt „O Sole mio“ fast augenblicklich.

Wie, zum Teufel, macht es das? Wie, zum Teufel, erkennt es die Stimme eines Menschen wieder, egal, was er gerade sagt oder singt (denn das Signal hängt sehr wohl davon ab, was er gerade äußert).

Ganz offensichtlich hat es eine Methode entwickelt, das Essentielle eines Geräusches zu erkennen und zu speichern, völlig unabhängig von den gerade ausgeführten Schallabsonderungen.

Wir wissen es nicht und sind weit davon entfernt, es zu wissen. Eine Maschine bauen, die das nur annähernd leistet, liegt unerreichbar in weiter Ferne, trotz kleiner Teilerfolge, wie der Melodienerkennung.

Es bleibt nur zu staunen über diesen Apparat und seine Leistungen.

Man kann übrigens die Fähigkeit, akustische Muster zu erkennen gut trainieren, wie wir zum Beispiel in unserer Übung „Tonpaare“ zeigen, einem Memoryspiel mit Vogelstimmen, Melodien und Harmonien.

Wie schon erwähnt, arbeitet unser Gehirn unaufhörlich und ständig im unbewußten (ratiomorphen) Teil an der Verbesserung der Mustererkennung und Filterung. Es bezieht dabei alle anderen Sinne und Systeme mit ein, um zu sichereren Ergebnissen zu kommen. Das hört natürlich nicht nach der Kindheit auf. Es ist ein völlig altersunabhängiger und nicht bewußt kontrollierbarer Prozeß.

**Was man
alles falsch
machen
kann.**

Ein Appell

Und er ist anstrengend. Unser Gehirn verbraucht dabei sehr viel Energie. Wir wissen, auch wenn wir nicht genau wissen, warum, daß das Gehirn viele Ruhepausen benötigt. In diesen Pausen wird wohl aufgeräumt, weggeworfen und die Speicherung gesichert. Wir reden nicht von Schlaf, sondern von Pausen im Wachbewußtsein, in denen das Gehirn nur wenig Neues erfährt und so den Verarbeitungsprozeß minimieren kann.

Und da fallen mir junge Leute, Leute, die jung sein wollen und Leute, die der jeweiligen Mode

folgen müssen, unmittelbar ein. Sie sind gekennzeichnet durch einen abwesenden Gesichtsausdruck, häufig joggend und durch Knöpfe im Ohr, die über einen Draht mit einer kleinen, geheimnisvollen Gerätschaft verbunden, vulgo MP3-Player, verbunden sind.

Sie befinden sich in einem äußeren Raum, den sie aber nur visuell und taktil wahrnehmen. Der akustische Raum ist ein ganz anderer: Ein Konzertsaal, ein Studio oder was auch immer.

Das arme Gehirn! Es versucht ständig, die differierenden Eindrücke in Einklang zu bringen. Der Saal mit Musik mit der freien Natur. Es funktioniert nicht, möchte man meinen. Da kennen Sie das Gehirn aber schlecht. Lassen Sie ihm Zeit und es wird eine Lösung finden. Das schafft es immer. Nur ist diese Lösung weit entfernt von der Wirklichkeit und wird über kurz oder lang zu eklatanten, unbewußten Fehlschlüssen führen. Das ist an sich schon eine Gefahr.

Daß sich diese Menschen aber auch abkapseln und gar nichts mehr von der Natur und dem Umfeld mitbekommen, ist an sich schon ein trauriges Erscheinungsbild. Gefährlich ist es aber auch noch, z.B. im Straßenverkehr. Ich habe so manchen Beinaheunfall gesehen, weil der Radler einfach nicht gehört hat, daß da auch noch etwas Anderes als er selbst ist.

Persönlich höre ich sehr gerne Musik, aber bewußt und vor allem nicht dauernd. Bei zu langer Berieselung habe ich das Gefühl, daß mein Gehirn sich nicht wohlfühlt. Über den emotionalen Aspekt der Musik wurde hier noch gar nicht berichtet. Der ist sehr bedeutsam, aber auch hier ist die Dauerbelastung durch Dauereuphorie sehr bedenklich und wahrscheinlich ebenfalls gefährlich. Es wird oft gesagt, daß die Lautstärke der Musik dem Hören physisch schade. Das ist sicher richtig und relevant. Ich denke aber, daß die dauernde Erregung des Gehirns und der dauernde Verarbeitungsdruck noch viel gefährlicher sind.

Also, lassen Sie diese dumme Mode: Hören Sie mit Genuß Musik und gehen – ohne Musik – mit Genuß in der Natur spazieren oder joggen Sie auch meinetwegen. Aber jedes zu seiner Zeit.

Dieser Appell wird niemanden beeindrucken. Erst muß die Mode wieder eine andere sein. Aber auch das kann man erwarten, daß nämlich die Knöpfe im Ohr gar nicht mehr chic oder in sind.