

Lyd

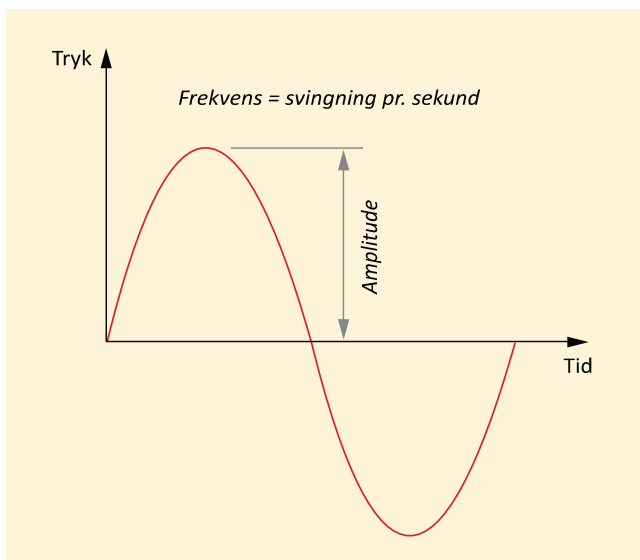
Af Arne Kiilerich

Det rene pip

Når jeg vågner om morgenen og åbner mit vindue, er det til den blandede fornøjelse af både motorstøj og fuglesang. Blandt fuglestemmerne er jeg i stand til at udskille bogfinkens karakteristiske »det, det, det kan jeg si' li' så tit det ska' vær'«. Jeg kan også høre forskel på en motorcykel og en personbil. Men ak! I virkeligheden hører jeg kun én samtidig lyd. De nuancer jeg synes at opfange, må tilskrives min hjernes rekonstruktion og fortolkning.

Hvad er lyd?

Lyd er trykvariationer. Det menneskelige øre er indrettet til bedst at opfatte trykvariationer i atmosfærisk luft. Så lyd har altså en naturlig, fysisk forklaring. Og forklaringen har noget med disse trykvariationer at gøre – i et tidsperspektiv. Spørger man: – Hvor høj er lyden? må man bevæge sig ind i to slags svar. ”Høj” kan nemlig betyde både lydstyrke og tonehøjde. Taler vi fysik og vil beskrive lydstyrke, taler vi om amplitude. Taler vi om tonehøjde er det begrebet frekvens vi skal have fat i. Lyd måles/afbildes altså i frekvens og amplitude.



En ”ren” tone som vi i praksis aldrig hører.
 Illu: Niels Grove Sørensen

Frekvens måles i hertz [Hz]. Man kan også kalde det svingninger pr. sekund, og vi taler om bølgelængden.

Amplituden er størrelsen på udsvinget (bølgelhøjden) og fortæller noget om lydtrykkets størrelse.

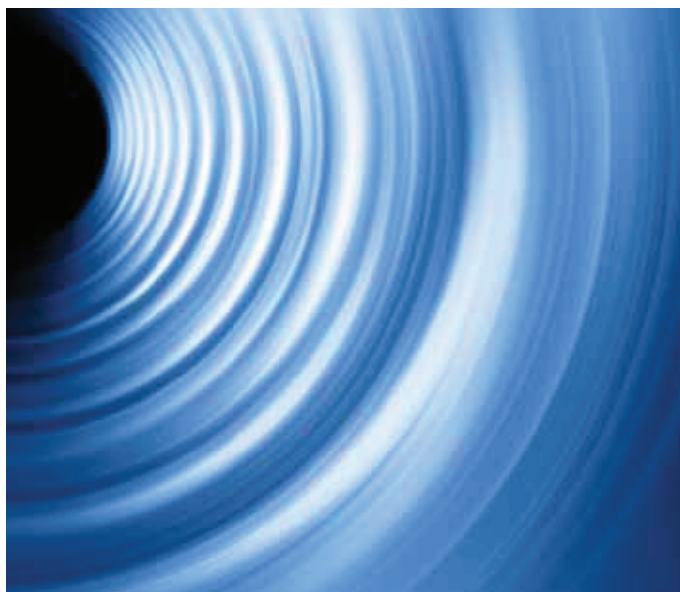
Lyd kan måles på flere forskellige måder. De fleste kender nok måleenheden decibel [dB] for lydtrykniveau, men man måler også intensitet, lydtryk, lydeffektniveau, lydhastighed, lydenegativitet, osv. Der er desuden måleenheder for (subjektiv) hørestyrke [Phon] og lydindtryk [Son]. Det hele er lidt kompliceret fordi øret ikke opfatter lyden lineært i forhold til det afgivne lydtryk. Det menneskelige øre er designet til at opfange trykbølger. Disse trykbølger udbredes i luft og vi

sagen kort



Når man kikker nærmere på den måde mennesket er indrettet, kan man ikke blive andet end begejstret. Tag fx vores sanser. Det er et fascinerende studium at dykke ned i deres funktion. Følg med her i et studium af en af vore sanser; en sans uden hvilken vores liv ville være en hel del fattigere ...

Øjet har fået en fortjent stor plads i evolutionsdebatten. Men øret er mindst ligeså interessant i den sammenhæng. Ørets mekanik ser ud som om det er designet af Storm P. – OG alligevel virker det. Det måske mest fascinerende ved høresansen er vi med den har evnen til at skelne imellem forskellige frekvenser. Denne evne har været genstand for videnskabelig forskning i mere end 100 år uden at mysterierne er endeligt afklaret. Men jo klogere vi bliver, desto mindre fornuftig lyder forklaringen med tilfældighedernes spil på evolutionsrouletten. Vores evne til at skelne imellem forskellige instrumenter som spiller den samme grundtone, er endnu mere fascinerende. Ikke mindst når man tænker på at det hele vælter ind ad øregangen samtidigt. Alle lyde smelter momentant sammen til kun ét samlet tryk på trommehinden, og disse lyde kan kun skelnes fra hinanden ved en gigantisk datakraft som må tilskrives en programmering i hjernen. Og hvor er det lige den programmering kommer fra? Uanset hvad, er den nødvendig for at få fuldt udbytte af musik. Men er musikken givet os af den blinde evolution? Og øret med al sin fascinerende kompleksitet? Denne artikel leverer en del tekniske data vedr. øret og hørelsen. Læseren kan plukke i teksten efter forgodtbefindende, men anbefales at gøre det med ét spørgsmål i baghovedet: – Er dette et værk af en genial designer, eller er det produktet af millioner af års blind evolutionær famlen? Det behøver man ikke være professor i kernefysik for at kunne give et bud på. Det kan enhver – med de rette informationer – være med til at bedømme.



Lyd der udbreder sig som kugleskaller af trykvariationer.
 Foto: Dreamstime

opfatter dem som lyd i frekvensområdet mellem 50 Hz og 20.000 Hz.

Altså lyd i området fra 50 svingninger pr. sekund til 20 000 svingninger pr. sekund. Har du været udsat for en høreprøve, har du oplevet toner der ligger i dette frekvensområde. Vi kan opfatte toner helt ned til 20 Hz. Dog ikke direkte. Disse toner skabes som en illusion i hjernen på baggrund af hørbare overtoner (mere om dette herunder).

Hørelsen er mest følsom i frekvensområdet 1000 Hz til 4000 Hz. Forstærkere har gerne en "loudnesfunktion" som løfter baslydene ved lav lydstyrke for at kompensere for ørets ringe følsomhed over for lave frekvenser ved lille lydeffekt. Lydtryk er forskellen imellem øjeblikkeligt tryk og statisk (vedvarende) tryk og hørbart for os ned til 20 mikroNewton/m² (1[N] ~ 100 gram), og vi kan skelne frekvensændringer ned til ½ - 1 Hz. Desuden kan forsinkelse af lyden på brøkdele af et millisekund fra det ene øre til det andet sætte os i stand til at retningsbestemme lyden.

Ørets arkitektur

Vi skelner imellem det ydre øre (en tragt), mellemøret og det indre øre. Det ydre øre og mellemøret er adskilt af en membran – trommehinden med en diameter på ca. 9 mm og en tykkelse på ca. 0,1 mm. Fordi det statiske lufttryk varierer (pga. højde, klima m.v.) er det nødvendigt med en indretning som automatisk kalibreres. Det eustachiske rør som forbinder næsehulen med mellemørets hulrum, sørger for at det statiske tryk (stort set) er ens på begge sider af mellemøret, uanset om vi befinder os ved jordoverfladen eller på toppen af Mt. Everest. Er man godt forkølet, og det eustachiske rør derfor er tilstoppet, kan man få stærke øresmerter på en flyvetur.

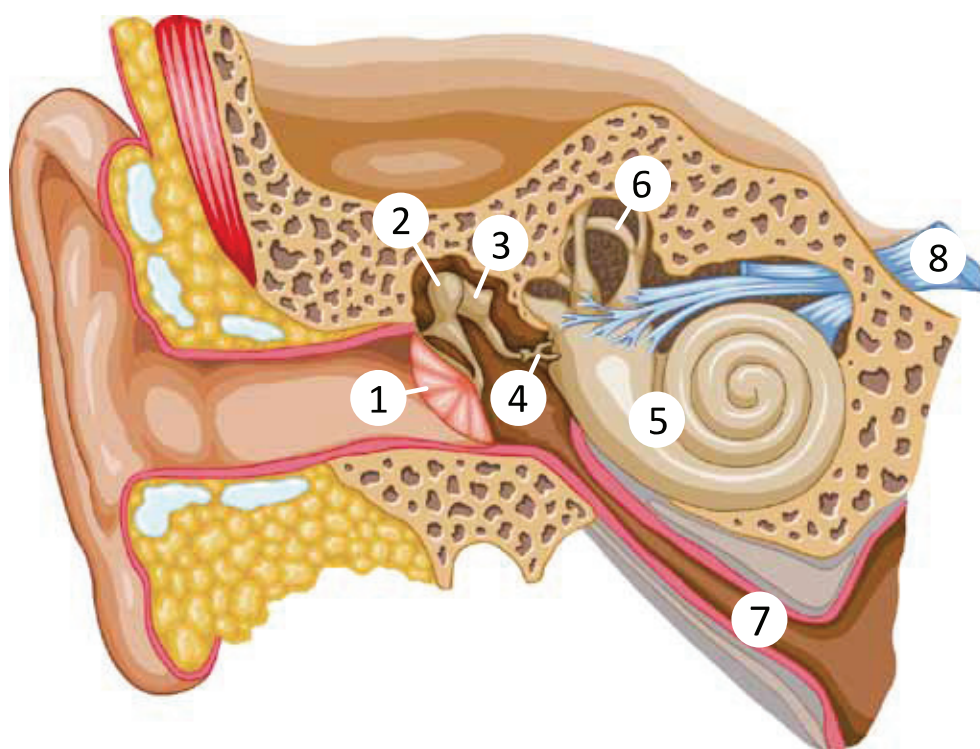
En højdemåler i en flyver har ikke denne luksusindretning. Hvis højdemåleren er indstillet i forhold til lufttrykket ved afgang, er det ikke givet at den angiver den korrekte højde ved destinationen. Mindre fly er forulykket i usigtbart vejr fordi højdemåleren har løjet om højden.

Hvordan høre?

For at trykvariationerne skal kunne videreføres i et bredspektret lydbillede til det indre øre, skal de reguleres til udsving som hverken er for kraftige eller for svage til ørets indre receptorer. I *mellemøret* findes en mekanisk forbindelse til det indre øre som blandt andet er med til at sørge for denne regulering. Den består af legemets tre mindste knogler: Hammeren, ambolten og stigbøjlen. Stigbøjlen er kun 3 mm lang og vejer 3 mg. De tre knogler udgør tilsammen et vægtstangssystem som reguleres af små muskler. På den måde kan lydtrykket afpasses til det indre øre. Vægtstangsvirkningen og arealforskellen imellem trommehinden og det ovale vindue bevirker at trykket på det indre øre kan forstærkes 15 gange. Forplantningen af lyden til det indre øre kan også begrænses ved udvekslingen i de små knogler. Alene forventningen om en høj lyd kan ændre gearingen i systemet, således at det indre øre bliver mindre udsat. Hammerens fiksering på trommehinden er desuden med til at dæmpe trommehindens svingninger, for den har en tendens til at løbe løbsk ved frekvenser over 3000 Hz.

Vandreknogler

Krybdyr har en fast mekanisk forbindelse imellem det indre og det ydre øre og mangler således to knogler i øret – set i forhold til pattedyr. Til gengæld har pattedyr kun én knogle i underkæben hvor krybdyr har flere knogler. Ifølge darwinistisk litteratur (dvs. næsten al speciallitteratur) er der i tidsrummet omkring Juratiden (og tidligere) sket det at dele af krybdyrets kæbe er vandret længere og længere tilbage. Derved er de havnet i øret hvor de delvist har fortrængt den eksisterende knogle. Samtidig er de på forunderlig vis blevet omformet til denne mekaniske og avancerede ophængte tredeling i mellemøret som ses på næste illustration. De beslutomme knogler i underkæben har endog krydset kæbeleddet uden at krybdyret har fået dem galt i halsen.



1. Øregang
2. Hammeren
3. Ambolten
4. Stigbøjlen
5. Balanceorganet
6. Sneglen
7. Det eustachiske rør
8. Hørenerven

Illu: Niels Grove Sørensen

Den nye mekanisme er en særdeles kompleks indretning med en meget speciel geometri på alle tre knogler, med muskelophæng, med nerveforbindelser og software i hjernen. Mon ikke denne indretning ville have været genstand for den naturlige udvælgelses kassation millioner af gange inden den fandt sin plads i stedet for den velfungerende faste forbindelse! Hele scenariet kan vel sammenlignes med en drivaksel som spontant er blevet til et trinløst automatgear i bilfabrikkens samlebåndproduktion: Industrirobotterne er pludselig uden at være omprogrammeret af en intelligens (her: bilingeniøren) begyndt at forsyne den gammelkendte Ford T med autogear. Nå ja, og så er industrirobotterne også opstået af sig selv – ud af det rene ingenting – hvilket omskrives med metaforer som “et evolutionært forløb”, “et selektionspres” eller ved “selviske geners” viljesagt.

Godt og gammelt

På darwinistiske hjemmesider kan man finde forskellige illustrationer af hvordan man forestiller sig knoglernes bevægelser igennem millioner af år i forskellige uddøde krybdyr. De fleste af – om ikke alle – disse skemaer må siges at være falsificeret af fund i dette århundrede som har vist at pattedyrene har levet samtidigt med krybdyrene i Juratiden. I et fund fra Kina af en lille mus, *Hadrocodium*, (dateret til 195 millioner år, dvs. tidlig Jura) er øreknoglerne helt separeret, hvilket er et tydeligt kendetegn for et moderne pattedyrs øre. Det fuldt udviklede pattedyr-øre rykker med nye fund længere og længere tilbage i tiden. Den mest nærliggende forklaring på dette er at pattedyr

aldrig har været krybdyr!

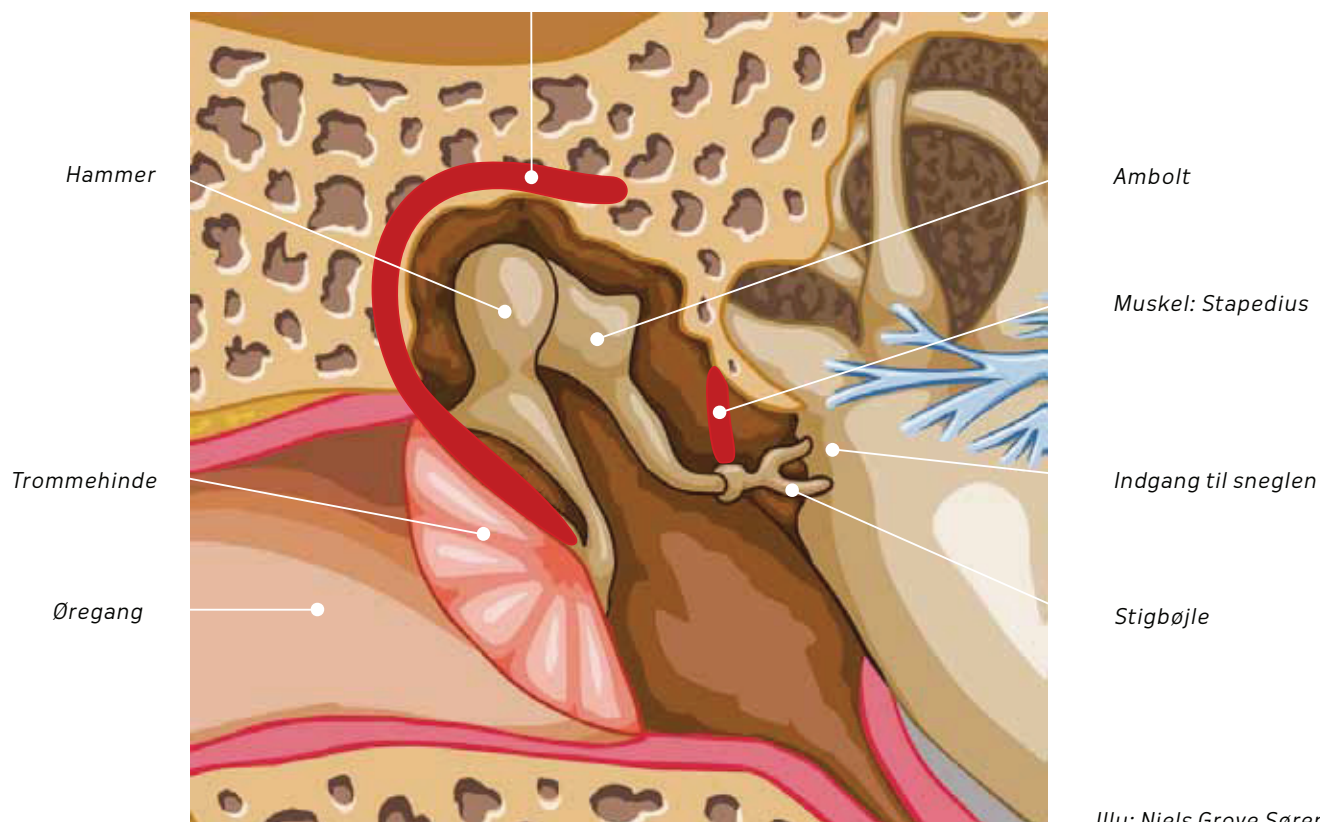
Et andet drilagtigt spørgsmål er følgende: Hvorfor er moderne krybdyr stadig udstyret med det primitive øre med den stive forbindelse? Selv efter hundreder af millioner års formodet forbedring af det frekvensbegrænsede gamle øre?

Det indre øre

Det indre øre ligger godt beskyttet bag tindingebenet der består af tæt knoglevæv. Det snegleformede hulrum “Cochlea” er snoet 2 5/8 omgange og har et volumen på ca. 100 mm³. Sneglen er væskefyldt. Den er i hele længden opdelt af en benkam og en membran (basilar-membranen) der deler sneglen i to dele. Sneglen har på den ene side af basilar-membranen er tynd membran (det runde vindue) som tjener til trykkudligning, og er på den anden side dækket af stigbøjls fodplade (det ovale vindue). “Det cortiske Organ” er placeret på langs igennem sneglen på basilar-membranen. Ca. 16.000 hårceller er anbragt i 4 rækker langs basilar-membranen. Fra hårcellerne føres nervetråde til hørenerven (25-30.000 nervetråde). En membranforskydning i sneglen bøjer hårcellerne ved lyd påvirkning hvilket udløser elektriske impulser i de seriekoblede nerver.

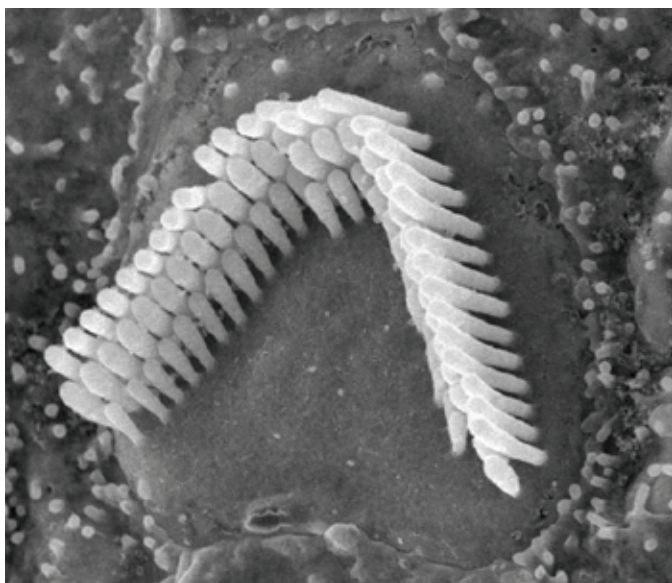
Omsætningen til elektricitet i nervecellerne er drevet af natrium/kalium-pumpen. Kort fortalt kan bevægelsen fra hårcellerne ændre lokale koncentrationerne af Na⁺/K⁺-ioner kortvarigt, men så meget at der opstår en spændingsimpuls på ca. 100 mV i ét millisekund.

Muskel: Tensor Tympani



Illu: Niels Grove Sørensen

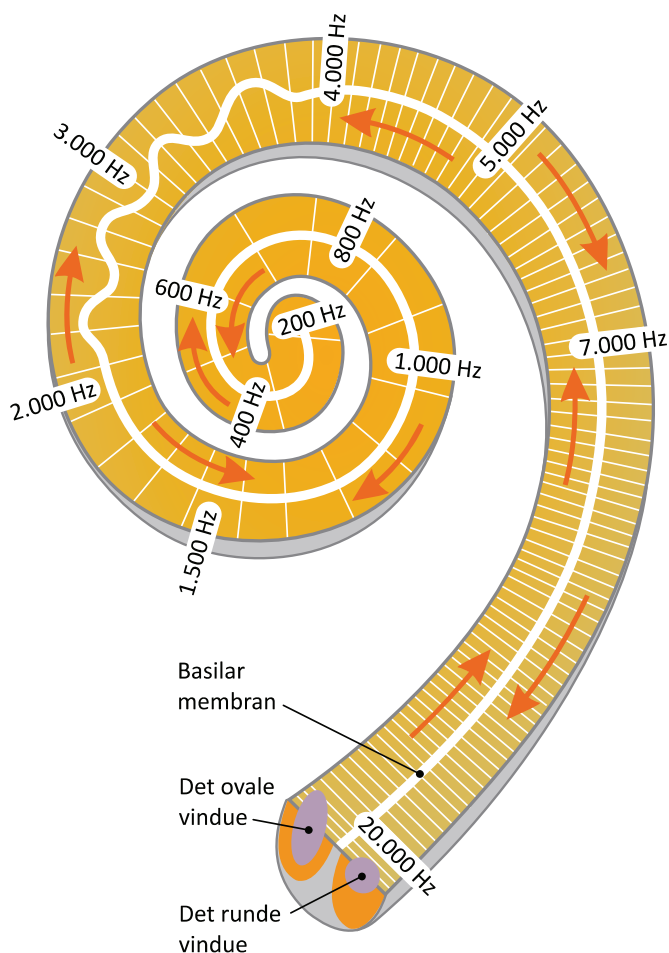
Hårceller som sidder placeret på en membran i sneglen.
Foto: Dreamstime



Lyd-separation

Det har i tidligere forskning forekommet problematisk at én nervetråd højst kan transmittere et signal på maksimalt ca. 500 Hz. Man mener at øret løser problemet med en kobling af flere nervetråde, således at de høje toner også opfattes i hjernens hørecentre. Hvis ikke, vil det være uhyre vanskeligt at redegøre for hørelsens frekvens-selektivitet.

Så tidligt som i 1920'erne startede G. Von Békésy en systematisk undersøgelse af basilarmembranens bevægelse igennem sneglen. Ved at tegne en "indhylningskurve" hen over basilarmembranens maksimale udsving viste der sig et maksimum for



Længdesnit i sneglen (stiliseret illustration) som viser at basilarmembranen svinger voldsomt ud ved 2 – 4 KHz. Illu.: Niels Grove Sørensen

lave frekvenser længst fremme i sneglen og et maksimum for høje frekvenser i begyndelsen af sneglen tættest mod det ovale vindue (se illustration). Dette betyder at en skelnen imellem forskellige frekvenser allerede opstår i den mekaniske del af øret. Men, da svingningsamplituderne er forsvindende små, og indhylningskurvens maksimum er meget bredt, kan dette alene ikke forklare en skelnen imellem frekvensændringer på få hertz, og slet ikke under påvirkning af et mylder af forskellige toner og overtoner.

Lydnervener?

Indtil videre er den generelle opfattelse at nerverne sender et elektrisk signal til hjernen, men der er nye teorier fremme som handler om at nervesignaler i stedet er lydbølger – uagtet at man kan måle det elektriske potential¹. Hvis nervesignaler er lydbølger, skal de medicinske lærebøger omskrives og dette vil formentlig påvirke vores forståelse af ørets forbindelse til hjernen.

Når lyden når hjernen, bliver det først rigtigt kompliceret. Så længe hjernen skal forholde sig til eksempelvis lyden fra kun ét instrument, kan det lyde enkelt. Men når flere forskellige lydkilder smelter sammen i ét lydtryk, skal der et gigantisk computerarbejde til for at holde lydene adskilt. At vi overhovedet kan kende forskel på samme tone spillet af forskellige instrumenter, skyldes blandingen af overtoner som kan variere i styrke. Vi skelner med lethed forskellige personers stemmer fra hinanden uagtet deres grundtone ligger på samme frekvens.

Hvad si'r du?

En mandstemmes grundtone ligger på ca. 100 Hz. En telefon transmitterer ikke toner under 400 Hz. De fleste mobilere ikke under 800 Hz. Alligevel lyder det i telefonen ikke som om manden i den anden ende synger falset. Vores hjerner genskaber grundtonen ved hjælp af overtonerne selvom den ikke høres. Forsøg har vist at en drastisk beskæring af basgenivelsen ikke forringer taleforståeligheden meget. Fjernes alle toner under 1000 Hz, forringes forståeligheden kun med ca. 15 %. Fjernes toner over 1000 Hz, forringes forståeligheden derimod med ca. 60 %.

ORDforklaring

infinitesimal – begrebet bruges til at beskrive en genstand der er så lille at den hverken kan ses eller måles

Kun én lyd

Der kan forekomme et utal af lydkilder, men alle smelter sammen til ét lydtryk foran trommehinden. Lyden fra et helt symfoniorkester kan afspilles fra en rille i en vinylplade – men pickuppen kan kun befinde sig ét sted ad gangen. Højttalermembranen kan kun befinde sig ét sted ad gangen, og trommehinden kan kun befinde sig ét sted ad gangen. Til hver *infinitesimal tidsenhed* (tidskvant om du vil – lad os bare kalde det for "et øjeblik") hører der således kun ét lufttryk, én position på hammeren, ambolten og stigbøjlen osv. Den lydblanding

der opstår over nogle millisekunder, skal afkodes af hjernen så den får genskabt et nuanceret lydbillede.

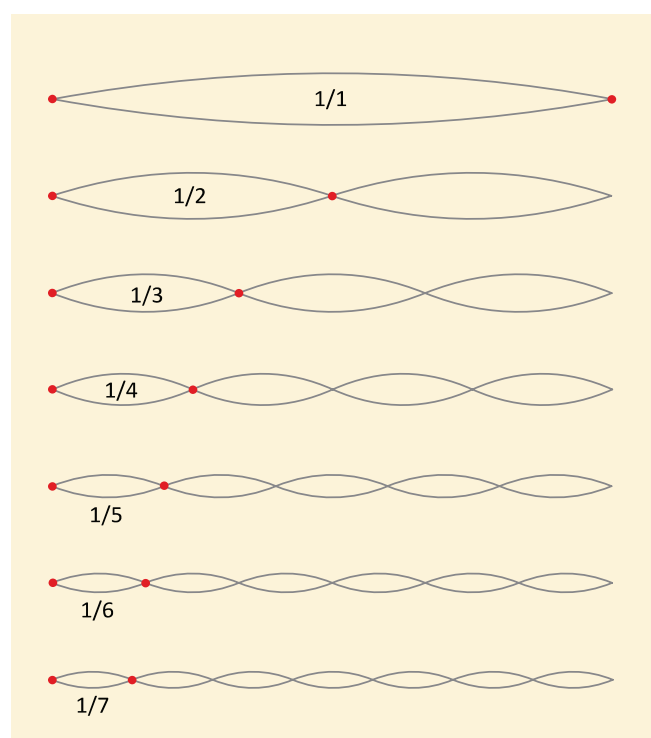
Man kan sammenligne fænomenet med transmission af mange telefonsamtaler i samme telefonledning. Fra fastnet-telefoner går der ikke separate ledninger fra telefon til telefon. Der er langt færre ledninger. Samtalerne transmitteres på en bæreølge af en høj frekvens som i modtagercentralen udskilles og afkodes til den oprindelige frekvens. I ét lyslederkabel kan man på den måde transmittre op til 11 millioner samtaler – samtidigt – altså på bæreølger af forskellig frekvens. Samtalerne kodes og afkodes, moduleres og demoduleres til og fra bæreølgen som har en fast frekvens. Darwinistisk propaganda transmitteres fx på en ca. 200-800 kHz bæreølge – nemlig i form af et tv-signal.

Tone over tone

De forskellige lyde som høresansen skal forstå, modtages “oven i hinanden”, og de er ikke opdelt på forud definerede og faste bæreølger. Lyden kommer heller ikke frem til vores hjerner med et skilt som fortæller at “dette er en grundtone” og “dette er en overtone”. Dog er der en matematisk sammenhæng imellem grundtone og overtoner:

En ren tone kan beskrives som en sinuskurve (der grafisk er fremstillet ved illustration 1). I praksis knytter der sig altid en række overtoner til grundtonen. Overtonerne optræder med matematisk præcision som såkaldt harmonisk forvrængning af kurveformen med periodelængden L , og kan udtrykkes som summen af en række cosinus- og sinusled. En såkaldt Fourier-række:

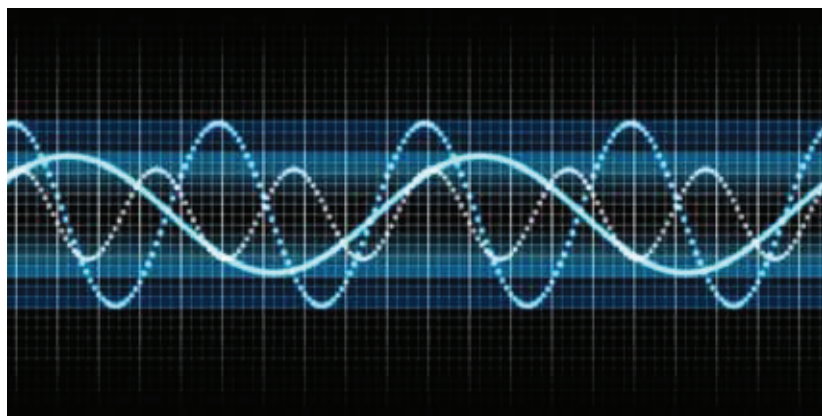
$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \cos \frac{n\pi x}{L} + b_n \sin \frac{n\pi x}{L} \right)$$



Rækker af overtoner 1/1, 1/2, 1/3, 1/4 osv.

Illu: Niels Grove Sørensen

Grundtonen er bestemt af koefficienterne a_1 og b_1 . De resterende (teoretisk uendelige) led er alle overtoner. Dvs. at hvis man kan finde og sortere overtonerne, kan grundtonen findes ad matematisk vej. Dette hjælper til at forstå at den manglende stemme i telefonen kan rekonstrueres. Det forklarer blot ikke hvordan hjernen finder de forskellige overtoner i det blandede lydbillede.



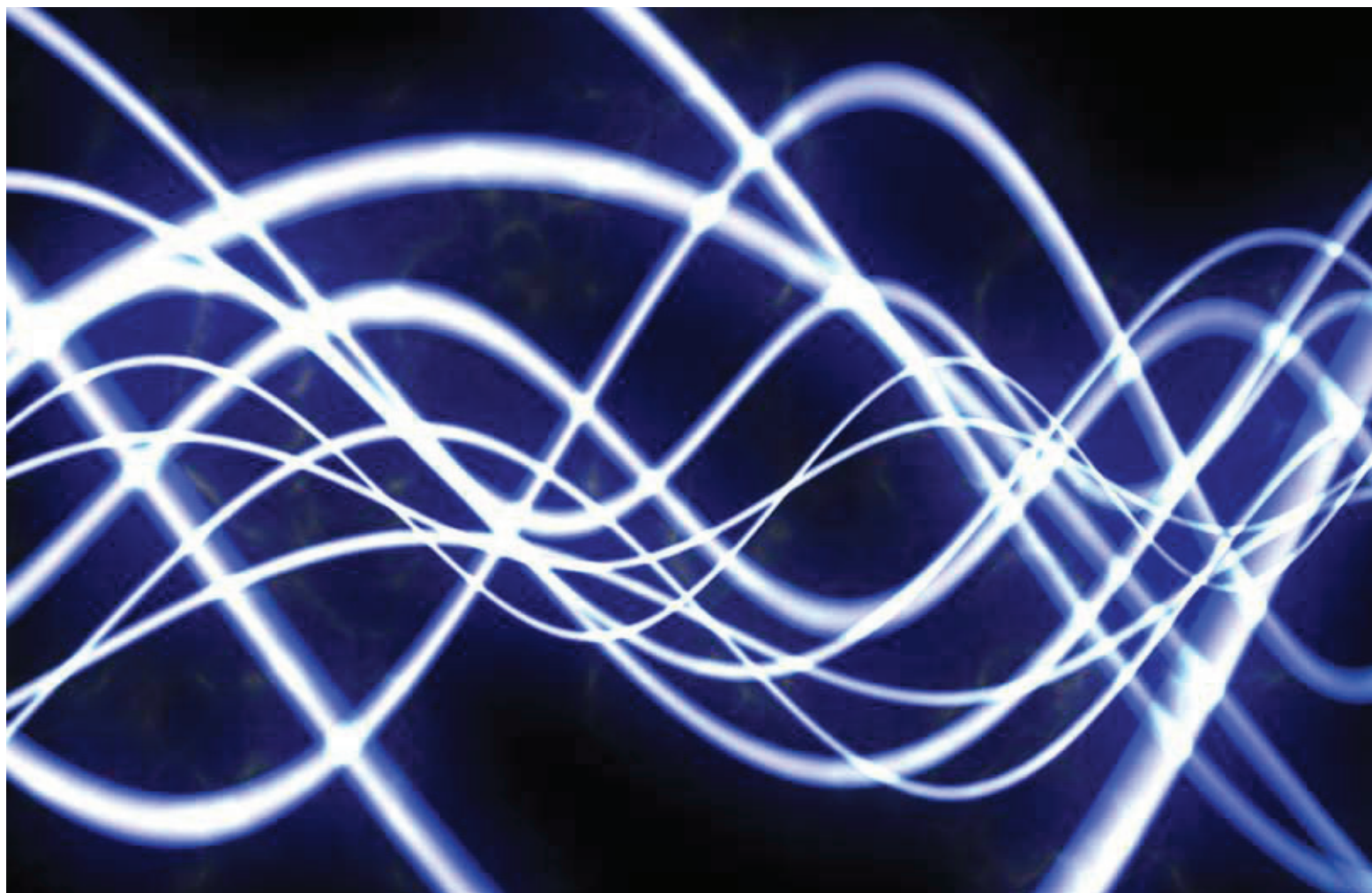
Grundtone med 2 overtoner inden for samme tidsinterval

Foto: Dreamstime

Den der har øre ...

En dygtig musiker vil kunne skrive noderne til de forskellige instrumenter i et kammerorkester eller et rockorkester ved blot at lytte til musikken, selvom instrumenterne spiller samtidigt, men der er endnu ikke et computerprogram på markedet der kan gøre noget tilsvarende. Naturligvis kender musikeren på forhånd de enkelte instrumenters lyde. Ellers ville opgaven være umulig. En kok kan på analog vis smage sig frem til de forskellige ingredienser i en færdig ret. I et lydstudie blandes instrumenterne til én lyd i mikserpulten. Når musikken er blandet, er der ingen vej tilbage. Mikseren kan ikke sættes i bakgear. Et nyt forsøg (re-mix) kan kun foretages på baggrund af de oprindelige lydspor som naturligvis også er gemt.

En stor del af hjernens computerarbejde består i at adskillelse af mixede lydbilleder. Dette sker ved et utal af matematiske analyser på elektronstrømmen i hørenerverne. Det hele ville formentlig være nemmere at forstå hvis vi kunne få en udskrift af hjernens software. En software som af evolutionister påstås at være udviklet igennem millioner eller milliarder af år. En sådan gradvis udvikling er normalt ikke en fordel for et computerprogram. Mange store administrative software-systemer lider af lapperier i form af talløse tillægsmoduler til en kode som ville være bedst tjent med at blive fuldstændigt omprogrammeret – hvilket desværre ofte bliver for bekosteligt. Da vi ikke har kortlagt hjernens algoritmer, bliver ideer om programmerings udvikling rent gætværk, men umiddelbart forekommer det at være et system der er for komplekst til en udviklingshistorie baseret på små gradvise lapperier. Man må uundgåeligt stille sig selv spørgsmålet om ikke det hele er genemtænkt fra begyndelsen som et samlet system af mekanik, kemi og databehandling. Det virker – efterhånden som vores viden forøges fra dag til dag – som den mest fornuftige forklaring!



Grundtone og overtoner i en "skøn sammenblanding" som et mere realistisk billede af det som bombarderer trommehinden.
Foto: Dreamstime

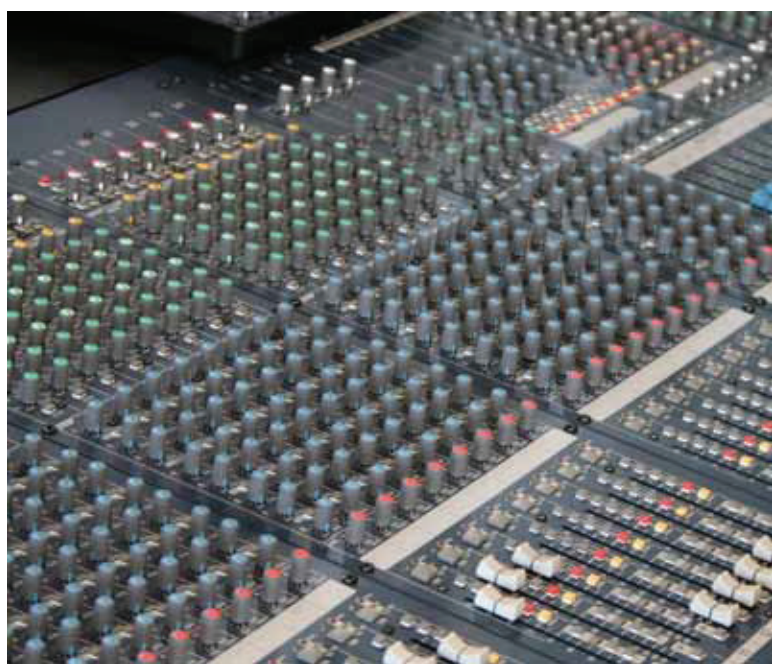
Sød musik

Jeg kan identificere fuglestemmen om morgenen midt i et virvar af lyde som på samme tid finder vej til mine trommehinder. Hørelsen kan ved en gigantisk datakraft finde en nål i en høstak. Vel at mærke ved at sortere alle strå efter længde og tykkelse (frekvens og amplitude) – på trods af at det hele kommer ind i én sammenhængende komprimeret høballe. Det hele kan kun lade sig gøre hvis "nålen" på forhånd er et kendt objekt – og øret er færdigudviklet. For ideen om hørelsens spontane tilblivelse ved den blinde evolutions famlen tegner der sig et noget andet billede. For dette scenario gælder at den forventede hørelse end ikke véd hvad den leder efter, og skal uden en ordreseddel opfinde sit eget formål.

Hørelsen er mere end formålstjenlig. Ikke blot til at finde føde eller undgå at blive ædt. Den giver os adgang til en fantastisk verden af musik som må siges at være et luksusfænomen i forhold til den rene "survival". Glæden ved musik er formentlig ikke opstået ved at vi har rendt rundt og slået hinanden oven i hovedet med køller. Den er givet os som en gave til forstå en skønhed som rækker ud over den nøgne eksistens, og som er særdeles vanskelig at forklare på basis af en rent materiel evolutionistisk filosofi. ■

Note

1. http://membranes.nbi.dk/press/2008_IllustreretVidenskab_B.pdf



Mixerpult. Foto: Dreamstime