

Göteborgs universitet: Institutionen för lingvistik  
Fonetik, fonologi och grafonomi, distans

## Kompletterande text till avsnittet **Talakustik**

Nedanstående text utgör ett komplement till kurslitteraturen, men ersätter den inte.

### **Ljudvågen**

Ur akustisk synvinkel är ljud en serie förtätningar och förtunningar som fortplantas genom ett ljudmedium, oftast luft. Ljud är alltså en form, det har ingen fysisk substans.

Ljudvågor i luft bildas genom att partiklarna i ett materiellt medium rubbas ur sina positioner av en yttre kraft. Förflyttningen är inte permanent: ljudmediet har en viss elasticitet och vid ett läge vänder partiklarna och återvänder mot sin tidigare plats. Deras rörelseenergi (eller, annorlunda uttryckt, partiklarnas tröghet) får dem att passera utgångsläget, ty vid denna punkt i svängningsrörelsen är partikelns hastighet som störst, medan den är minst vid ytterlägena. Vid det andra ytterläget byter partiklarna rörelseriktning. När den åter passerar utgångsläget har den utfört en dubbel, eller fullständig, svängning, vilket även kallas en **period**. (Vanligtvis räknar man perioder från partikelns utgångsläge/neutraläge, men perioden kan räknas från en godtyckligt vald punkt i svängningscykeln.)

Den tid det tar för partikeln att göra en fullständig svängning kallas **periodtid**. Den har symbolen  $T$  och mäts i sekunder (s). (Av praktiska skäl anges  $T$  ofta i millisekunder (ms); i nedanstående formler anges dock periodtiden i sekunder.)

För att en kropp ska kunna frambringa svängningar krävs att den har både massa och fjädring/elasticitet; dvs att det först och främst ska finnas någon fysisk substans som kan svänga, och att ljudmediet ska göra ett visst motstånd mot svängningsrörelsen, (så att partikeln hejdas vid ett ytterläge och inte fortsätter evigt rakt framåt).

**Frekvens** är inom akustiken antalet svängningar per sekund. Standardmättet för frekvens är Hz (Hertz); 1 Hz = en svängning per sekund; 1000 Hz = 1 kHz; 1000000 Hz = 1 MHz.

Som ljud brukar räknas svängningar med frekvenserna **20-20 000 Hz**, dvs inom människans hörbarhetsområde. **Infraljud** kallas de ljud som har en frekvens lägre än 20 Hz. Gränsen för **ultraljud** brukar anges till mellan 20 000 och 10 000 000 000 (10 miljarder) Hz. (Ultraakustik kallas den gren inom akustiken som studerar dessa ljud. Exempel på ultraljud är tonen från en hundvisselpipa och de signaler en fladdermus skickar ut för att lokalisera sitt byte. Ultraljud används vid fosterdiagnostik. Vid materialprovning sänder man in ultraljud i godset; finns där sprickbildningar, reflekteras ljudet från dessa. Ljud med frekvenser över 10 miljarder Hz kallas hyperljud.)

20 Hz brukar anges som den undre gränsen för människans hörbarhetsområde. Uppfattningen av högre frekvenser avtar med åldern: barn kan höra frekvenser på upp till 20000 Hz, medan äldre personer oftast inte kan höra frekvenser över 12000-13000 Hz. I tal används frekvenser mellan 65 och 5000 Hz.

Vet man en svängnings periodtid kan man räkna ut frekvensen enligt följande formel:

$$f = \frac{1}{T}$$

där  $f$ =frekvensen och  $T$ =periodtiden. Om man vet frekvensen och vill ha reda på periodtiden kan man vända på formeln:

$$T = \frac{1}{f}$$

dvs periodtiden är omvänt proportionell mot frekvensen - ju högre frekvens, desto kortare periodtid.

En ljudvågs **våglängd** är avståndet i rummet mellan två närliggande punkter med likartat svängningstillstånd.

(Om en vågrörelse byter medium, är dess frekvens oförändrad, medan utbredningshastigheten och våglängden ändras.)

En svängnings omfattning och därmed dess styrka kan anges med termen **amplitud**. Termen anger utslaget från viloläget i ett visst ögonblick, likgiltigt vilket. Oftast menar man dock toppamplituden, dvs det maximala utsvinget. En svängnings amplitud brukar vara störst alldeles efter initieringen; pga energiförluster brukar dock amplituden dämpas efter hand.

## Beståndsdelarna i tonande ljud

Det finns två slag av tonande ljud: **sinustoner** och **sammansatta toner**, annorlunda uttryckt enkla respektive komplexa svängningar. En ton från en stämgauffel är ett exempel på en sinuston: en enkel svängning som bara har en frekvens. Sinustoner är mycket sällsynta i vår dagliga omgivning. Det vanligaste är att de toner vi hör är sammansatta av flera olika svängningar, var och en med sin frekvens. Komponenten med den lägsta frekvensen ger grundtonsmönstret för den komplexa svängningen. Eftersom dessa deltoner har olika frekvenser har de också olika periodtider. Emellertid sammanfaller deras periodtider så, att ett helt antal perioder av varje enskild delton avslutas på en tid exakt motsvarande vågens längsta periodtid. För att den sammansatta vågen ska vara periodisk måste alltså deltonernas periodtider - och därmed deras frekvenser - vara jämnt delbara med vågens längsta periodtid (1:2, 1:3, 1:4, 1:5 etc).

Deltonen med lägst frekvens kallas **grundton** och de övriga deltonerna kallas **övertoner**. Den femte deltonen i en svängning (i frekvens räknad nerifrån) är alltså den fjärde övertonen.

Ovanstående beskrivning grundar sig på ett betraktelsesätt: att sammansatta periodiska svängningar kan sönderdelas i ett antal enkla periodiska svängningar. Sinustoner är mycket sällsynta i naturen och en sammansatt våg bildas oftast i "sammansatt skick", dvs det sker inte en rent fysisk blandning av sinustoner. Att se komplexa toner som bestående av mindre komponenter är ett sätt att beskriva och förstå komplicerade klangliga förlopp. Den matematiska metod man använder för att extrahera sinustonerna ur tonande ljud kallas Fourier-analys, efter den franske fysikern J. J. B. Fourier (1768-1830).

Fourier-analysen liknar den analys vårt hörselsystem gör av hörda toner: om man hör deltoner med frekvenserna 200, 300, 400, 500 och 600 Hz, kommer hörselsystemet att "höra" en grundton på 100 Hz, även om den alltså inte finns fysiskt. Detta förhållande används bl.a. i telefonens talöverföring: telefonens tonomfång är 300-3000 Hz, medan stämläpparnas grundtonsfrekvens är i genomsnitt ca 100 Hz för män och ca 200 Hz för kvinnor. Dessa grundtonsfrekvenser är bortfiltrerade i telefonluren, men "återställs" av den mänskliga hörseln.

## Operiodiska ljud

Av naturliga skäl förekommer begreppet våglängd bara i fråga om **periodiska ljud**, dvs de där ljudvågen består av periodiskt återkommande mönster. Motsatsen är ett **operiodiskt ljud**, dvs en svängning utan regelbundet återkommande mönster.

Exempel på tonande ljud är toner från stämgaflar, flöjt och orgel, samt vokaliskt bildade språkljud (vokoider). Tonande ljud bildar harmoniska spektra: de har vibrationsenergi endast vid deltonernas frekvenser.

Det finns två slag av tonlösa ljud: buller och brusljud.

**Buller** kan också indelas/sönderdelas i ett antal sinustoner, men dessa ligger på oregelbundna avstånd från varandra. Buller har alltså oharmoniska spektra.

**Brusljud** kan beskrivas som ett oändligt antal deltoner som ligger oändligt tätt på frekvensskalan. De har alltså kontinuerliga spektra; vibrationsenergi finns vid varje frekvens. Exempel på brusljud är fett som fräser i en stekpanna och frikativor. Man skiljer på vitt brus och färgat brus. **Vitt brus** är ljud där svängningsenergin är jämnt fördelad över samtliga frekvenser i spektrum, dvs ljudet består av samtliga sinustoner inom hörbarhetsområdet. (Termen är analog med vitt ljus, som ju rymmer ljusenergi av alla frekvenser.) **Färgat brus** är ljud där svängningsenergin är

jämnt fördelad över samtliga frekvenser inom ett visst frekvensområde, dvs samtliga sinustoner inom en bandbredd. (En bandbredd är avståndet mellan två frekvenser.)

Det finns blandformer av tonande och tonlösa ljud, t.ex. en tonande frikativa som z och vokalerna (med frikativa inslag) Viby-i och Viby-y.

## Perceptoriska kontra akustiska beskrivningar av ljud

Perceptoriska egenskaper (dvs sådant vi kan höra ut när vi lyssnar på ljud) som tonhöjd, hörstyrka, klangfärg och upplevd tid orsakas av och svarar mot akustiska faktorer (här en grov översikt): **Tonhöjd** svarar mot frekvensen i enkla svängningar och grundtonsfrekvensen i sammansatta periodiska ljud. **Hörstyrka** (ljudstyrka) svarar (bl.a.) mot amplituden. **Klangfärg** (kvalitet) beror av energifördelningen på olika frekvenser. Den **upplevda tiden** svarar mot uppmätt (kronometrisk) tid.

Ändras de akustiska faktorerna så ändras också de perceptoriska. Olika faktorer interagerar och inverkar på varandra. T.ex. är tonhöjdsupplevelsen beroende av ett ljuds frekvens, spektrum och tid. Om man ändrar ett ljuds amplitud, spektrum eller duration inverkar detta på den upplevda tonhöjden, även om frekvensen är konstant.

## Övrigt

Tidsmässigt skiljer man mellan **transienta ljud** (av lat. transiens = övergående) - plötsliga och kortvariga ljud, som knallar och smällar - och **kontinuerliga ljud**, som har längre varaktighet.

Lågfrekventa ljud har långa våglängder och en stor spridning i utbredningsriktningen. Detta gör att lågfrekventa ljud har ganska lätt för att ta sig förbi hinder, t.ex. att gå igenom väggar eller gå runt hörn. Måttligt stora föremål i vägen utgör ett obetydligt hinder. Högfrekventa ljud är mer direktionella pga sin korta våglängd. De är alltså ganska lätta att skärma av.

Det är t.ex. svårare att uppfatta någons tal om denna har ryggen vänd emot en. De lägre frekvenserna i talsignalen är inte så betydelsefulla för taluppfattningen som de högre frekvenserna, som inte tar sig runt talarens kropp lika lätt.

Samma fenomen gör att man uppfattar sin egen röst som mörkare än vad den är för andra människor, ty de högre frekvenserna tar sig inte runt från munöppningen till öronen lika lätt som de lägre.

Man kan höra folk tala i ett angränsande rum men inte kunna höra vad de säger. På samma sätt som i exemplen ovan tränger bara de lågfrekventa delarna av talsignalen igenom väggar och dörrar etc. och vi kan därför inte tolka vad som sägs.

**Ljudhastigheten** beror på det materiella mediet och dess temperatur. I luft är ljudhastigheten 0 C och den ökar med 0,6 C för varje grad det blir varmare. Vid 20 C är den 343 m/sek. Ljud fortplantas alltså snabbare en varm sommardag än på en kall vinterdag. Ljudhastigheten är konstant så länge mediet och temperaturen är oförändrade. Ett svagt ljud går lika fort genom luften som ett starkt ljud, men det svaga ljudet kommer inte lika långt som det starka. (1)

## NOT

1. Skilj mellan ljudhastigheten - den hastighet varmed ljudvågen, som alltså är en form, förflyttar sig - och partikelhastigheten - den hastighet de svängande partiklarna har när de vibrerar. Ljudhastigheten är konstant under givna betingelser, medan partikelhastigheten varierar: den är liten i svängningens ytterlägen och större under färden mellan dessa.

## LITTERATURTIPS

Borden, Gloria J.& Harris, Katherine S. (1984): *Speech Science Primer Physiology, acoustics, and perception of speech* Baltimore:Williams & Wilkins

Denes, Peter B. & Pinson, Elliot N. (1993): *The speech chain The physics and biology of spoken language* New York: W. H. Freeman and Company (andra upplagan; svensk version av första upplagan 1975)

Denes, Peter B. & Pinson, Elliot N. (1975/1963): *Det talade språkets kommunikationskedja* (The Speech Chain. The Physics and Biology of Spoken Language; övers Maj Frisch) Stockholm: Wahlström & Widstrand

Elert, Claes-Christian (2000): *Allmän och svensk fonetik* Stockholm: Norstedts

Hadding, Kerstin & Petersson, Lennart (1970): *Experimentell fonetik* Lund: Gleerups

Lindblad, Per (1992): *Rösten* Lund: Studentlitteratur

Malmberg, Bertil (1967): *Lärobok i fonetik* Lund: Gleerups

O'Connor, J.D. (1983): *Phonetics* Harmondsworth (England): Penguin Books