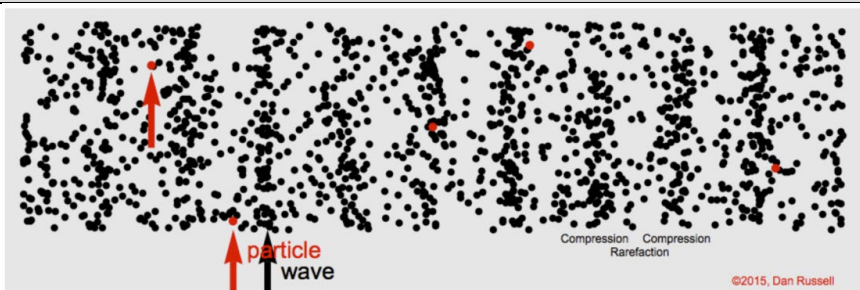




Vi er ankommet, står i den store hal med B&O's nye og historiske modeller, og rekapitulerer manuskriptet. På min højre og venstre side er det de to aktører fra B&O, Peter Mølgaard Larsen og Jakob Dyreby. Overfor er det David Binzer, der er fotograf og instruerer ved selve optagelserne og efterpå klipper filmen. Bag David er det henh. Anton Dante og Nicoline Hammer Johnsen, der er filmens værter. På gulvet anes Preben Hjorth, der er fast fotograf på vores film.

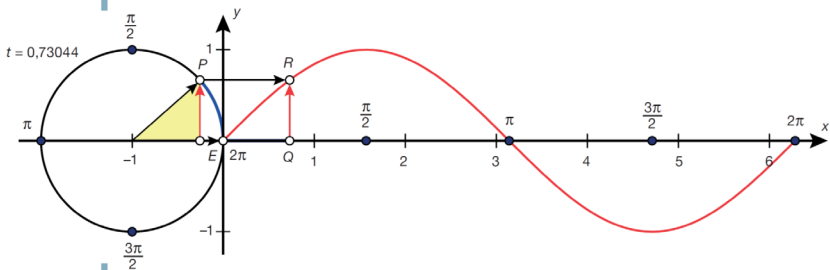


Omgivet af B&O's mest avancerede højtalere demonstrerer Jakob princippet i de første højtalere, kendt fra logoet for HMV (hunden mangler!). Højtaleren var en tragt, som en megafon. Grammofofonen, der skulle trækkes op, fungerede. Men lyden kunne trænge til noget noise-cancelling.



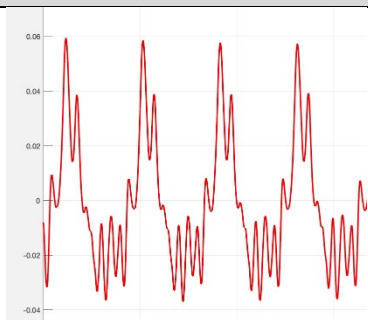
Sound is a longitudinal wave. Red dots and arrows illustrate individual particle motion. The black arrow illustrates the motion of a wave as the compression of particles moves through the medium. Image used with permission – copyright: Dan Russell, Grad. Prog. Acoustics, Penn State.

Når vi modellerer lyd med sinusvæbninger, og animerer grafen for denne, kunne det se ud som om luften bevæger sig fremad med bølgen. Men det er en optisk illusion. På animationen, man kan finde her, kan man se, hvordan luftmolekylerne bevæger sig frem og tilbage, og derved fremkalder bølgen. <https://dosits.org/decision-makers/tutorials/science/what-is-sound/>



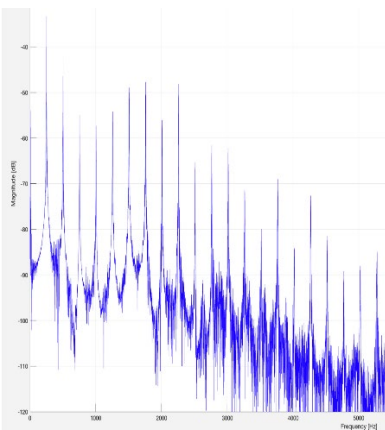
Eleverne møder i gymnasiet på B-niveau sinus og cosinus **som værktøjer til at beregne ukendte stykker i trekanter**. Der er umiddelbart langt fra en trekant til en harmonisk svingning – og vi gennemfører også først denne sammenkobling i undervisningsmaterialerne. Eleverne lærer dog på A-niveau det, som demonstreres på illustrationen: at når P bevæger sig rundt på cirklen, og vinklen i centrum derved vokser, så genererer det tilsvarende punkt R en sinuskurve!

Jakob er aktiv musiker, og han behersker en række instrumenter. Ved hjælp af sin bratsch viser han, hvordan en bestemt tone fremtræder grafisk. Udsvingets størrelse er her afsat op af y-aksen og tiden ud af x-aksen.



"Det ligner godt nok ikke en sinus-svingning", er Antons kommentar. Men **det er en sum af mange sinussvingninger, hørende til hver sin overtone-frekvens**, forklarer Jakob.

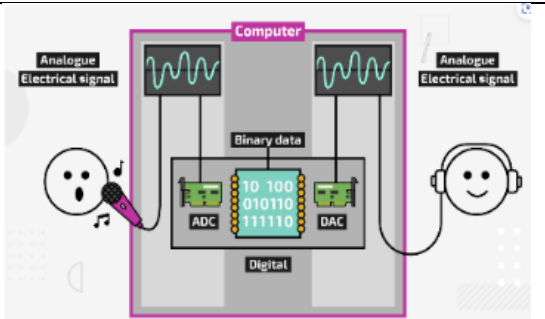
Ved hjælp af en smart matematisk metode kan dette billede af udsvingenes **størrelse** oversættes til et billede af de mange **frekvenser**, som et sådant strøg med buen på en streng fremkalder. Det er frekvensen ud af x-aksen.



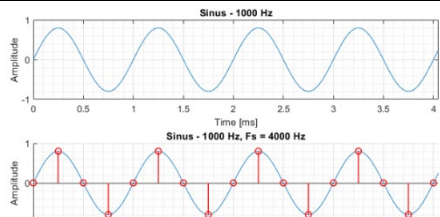
Nicoline og Anton spottede, som læserne nok også gør, at **frekvenserne kommer med faste intervaller**.

Jakob demonstrerede samme tone på en melodica, og måske kan man ane, at denne har mange flere overtoner.

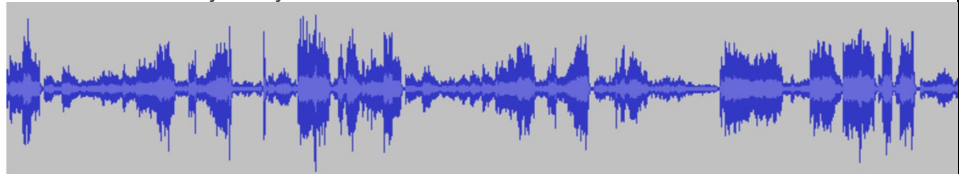
En computer oversætter den tekst, du skriver, til tal, og tallene skrives i totalsystemet. De binære tal er som skabt til computere – er der åbent for den elektriske strøm, svarer det til 1 og er der lukket svarer det til 0. Et binært tal med 4 decimaler kan fx være: 0,0110. Der er to muligheder på hver plads, så i alt er der 16 forskellige tal mellem 0 og 1, som har 4 decimaler. Og der er 32 forskellige tal med 5 decimaler. Men hvordan oversætter man lydsvingninger til en række tal?



Den oplagte ide i **oversættelsen fra analog til digital** er simpelthen at måle hvor stort udsvinget er "til mange tidspunkter". Men hvor mange målinger skal man foretage for så nogenlunde at kunne genskabe signalet? Er det, vi har illustreret her til højre, godt nok? Det er det faktisk, selv om man kunne synes det er få målinger.



Men hvad så med dette grafiske billede fra en koncert med en af Haydn's symfonier:

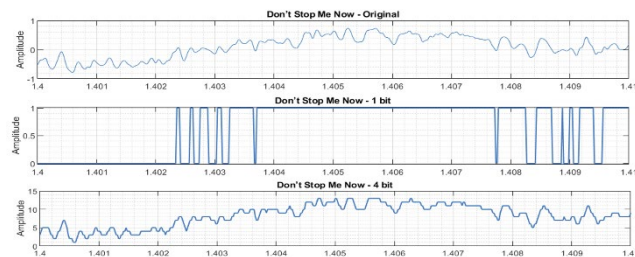
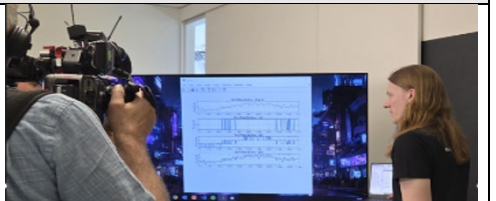


Lydbølger fra en indspilning af Haydn's symfoni nr. 61 i D-dur. Af Sigmundq. CC BY SA 3.0

Kan man udtale sig om, hvor mange målinger, der her skal foretages? Ja, det har matematikken et svar på, Peter berører det i filmen, og vi går dybere ind i det i undervisningsmaterialerne: Skal signalet kunne genskabes præcist, så skal **samplefrekvensen** være mindst det dobbelte af den højeste frekvens, der forekommer i koncerten!

Den omtalte frekvens hedder Nyquist-frekvensen, opkaldt efter den svenske matematiker, der beviste dette for 100 år siden.

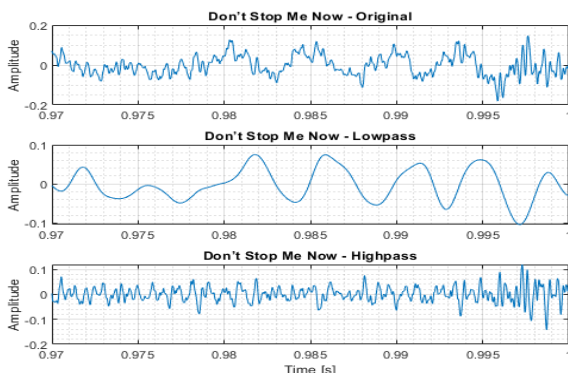
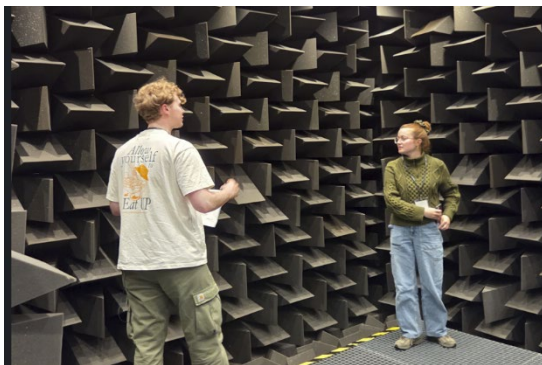
Forudsætningen for at kunne genskabe signalet 100% korrekt er dog, at vores målinger af udsvingene er 100% præcise. Men det kan de i praksis aldrig være. Peter forklarer det her vha. den illustration, der er gengivet nedenfor.



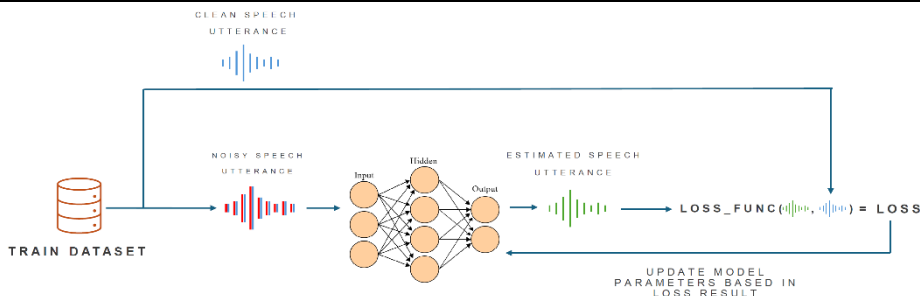
Præcisionen i målingen af udsvingene kaldes for **bitdybden**. Vi illustrerer i filmen begreberne og metoderne med små bidder af kendt musik. Her ser vi, at en sampling med bitdybde 4 allerede giver et signal, der ligner originalen rimelig godt. Bitdybde 4 betyder, at der lægges 16 målelinjer ind

mellem 0 og 1, og ved hver aflæsning vælges den nærmeste linje. En CD produceres med en bitdybde på 16, hvilket betyder, at der lægges over 60.000 målelinjer ind.

I B&O's laboratorier, som fx her i det såkaldte lyddøde rum, eksperimenteres med at fjerne al uønsket støj. Målinger herfra er et uundværligt supplement til de matematiske beregninger, når man skal finjustere de digitale filtre i højttalerne i fx deres in-ear høretelefoner.



I filmen demonstrerer Peter, hvad et **digitalt filter** er, og hvordan det virker. Der arbejdes med to typer, som vi ser grafisk illustreret her, og som vi kommer til at opleve lydmæssigt i filmen: Et lowpass, der slipper alle de dybere toner igennem, og tilsvarende et Highpass. Et moderne digitalt filter er grundlæggende en matematisk funktion, hvor filtreringen sker ved at skruer på en række parametre.



B&O har naturligvis inddraget **Machine-Learning** i arbejdet med at udvikle højttaler-teknologien – ikke mindst indenfor det felt, der hedder støjreduktion – noise-cancelling. Fortællingen herom bliver en af flere virksomhedscases i den sidste film i serien, som netop handler om Machine-learning. Hjernen i B&O's version er et neuralt netværk, der trænes - ikke på materialer fra nettet, men – på et stort datamateriale, som virksomheden selv indsamler fra alle mulige virkelige eksempler på støjforurening. Denne film optog vi også materiale til ved besøget hos B&O.