**Fysik i musikinstrumenter**

**Bølger og lyd (orgel)**

*Udbredelsesfart, bølgelængde og frekvens*

*Fysiske egenskaber ved lyd: interferens og stående bølger*

***4-5 undervisningstimer***

**Om undervisningsmaterialet:**

* Jeg har brugt øvelsesvejledningen på *arbejdsark 4* mange gange med forskellige optakter dertil. Det er ikke alle fysikC-hold, jeg bruger den på, så den er skrevet på som ekstra her.
* Herunder er min plan over et undervisningsforløb, jeg har ikke altid alt med men tilpasser det elevernes interesse og motivation løbende.
* I dette undervisningsforløb om musikinstrumenter, kan man skrue op og ned for sværhedsgraden, afhængig af elevernes interesse og motivation for det mere matematiske, uden de går glip af de overordnede principper.

|  |  |
| --- | --- |
| **Forudsætning** | Eleverne har lært om bølger, bølgelængde, udbredelsesfart, frekvens, bølgeformlen, interferens, lydbølger og lydens hastighed i luft. |
| **Fra frekvenser af lydbølger til musik, dvs. toner fra musikinstrumenter** | |  |  | | --- | --- | | Node | Frekvens (Hz) | | C | 261,63 | | D | 293,66 | | E | 329,63 | | F | 349,23 | | G | 392,00 | | A | 440,00 | | B | 493,88 | | C | 523,25 | | D | 587,33 | | E | 659,26 | | F | 698,46 |   Hvis eleverne allerede har lært om lys, så vi jeg minde dem om, at vi karakteriserer forskellige lysbølger med deres bølgelængde.  Når vi taler om toner, så er det frekvensen, vi omtaler. Kammertonen, A, er på 440 Hz.  Jeg vil vise dem tabellen over frekvenser og noder, der vises her til højre. På et klaver er tonerne typisk stemt mellem 27 Hz og 4200 Hz.  (<https://www.musikipedia.dk/frekvens>)  På et kirkeorgel kan tonespændet være helt fra 8 Hz til 12000 Hz. Det menneskelige øre kan høre fra 20 Hz til 20000 Hz.  Eleverne kan undersøge lydene i GeoGebra og indse, at en fordobling i frekvens svarer til samme tone, bare en oktav højere. Det kan også vises i et demonstrationsforsøg med frekvensgeneratoren. |
| **Stående bølger på et sjippetov/tynd lang fjeder** | **Demonstrationsforsøg:** Grundsvingningen illustreres med et sjippetov (det virker godt med en tynd lang fjeder) ved tavlen først, og vi får defineret, hvad vi forstår ved en *stående bølge* og får defineret, hvad vi forstår ved *knude* (K) og *bug* (B) af svingningen*.*      Herefter skal vi bestemme bølgelængden af grundsvingningen    Eleverne skal nu have udleveret et sjippetov (tyndlang fjeder) i grupper af 3, og skal prøve at genere stående bølger med kortere bølgelængder. De skal bruge **arbejdsark 1.** Her bliver begreberne grundtone, overtone, partialtoner indført. Sammenhængen mellem længden af snoren, og bølgelængden af partialtonen bliver også indført.  **Opsamling ved tavlen:** Et billede, der indeholder tekst, skærmbillede, linje/række, diagram  Automatisk genereret beskrivelseOpsummering af begreberne fra arbejdsarket ved at tegne de første tre partialtoner og opskrive sammenhængen mellem bølgelængde og snorlængden, L. |
| **Fra svingninger på sjippetov til guitarstrenge** | Ideen er nu, at eleverne skal koble deres viden fra sjippetovet til guitarstrengen.  Et billede, der indeholder musik, musikinstrument, guitar, strygeinstrument  Automatisk genereret beskrivelse  **Demonstrationsforsøg**: Når guitarstrengen sættes i svingninger, vil luften omkring strengen sættes i svingninger, som vi kan høre. Alle partialtonerne vil svinge samtidig på den samme streng, og den lydbølge, vi hører, er sammensat af alle partialtonerne. Vi slår en guitarstreng an og optager lyden med mikrofonen sat til LoggerPro. Da vi hører alle partialtoner samtidigt, så derfor skal vi bruge en metode til at opsplitte lyden i et frekvensspektrum, ligesom vi gjorde med et optisk gitter, da vi så på lys og opsplittede lyset i forskellige bølgelængder. Vi kan opsplitte lyden vha. FFT i LoggerPro.    Vi kan nu aflæse grundtonens frekvens og overtonernes frekvenser af spektret. LoggerPro-filen kan evt. deles med eleverne, så de får prøvet at aflæse frekvenser selv og udfylde dette skema ud fra målinger på frekvensspektret, samt at vi har målt længden af strengen. De kan beregne udbredelsesfarten fra bølgeformlen .   |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | | **Partialtone** | **Beregnet Bølgelængde**  **(m)** | **Målt frekvens**  **(Hz)** | **Tone** | **Udbredelses-fart**  **(m/s)** | | 1. partialtone | 1,3 | 200 | *Grundtonen* | *260* | | 2. partialtone | 0,65 | 400 | *En oktav over grundtonen* | *260* | | 3. partialtone | 0,433 | 600 |  | *260* | | 4. partialtone | 0,325 | 800 | *To oktaver over grundtonen* | *260* | | 5. partialtone | 0,26 | 1000 |  | 260 |   Ekstra, hvis der er tid og energi til det i klassen: De kan overveje: Bølgelængderne er helt de samme for alle strengene (de er lige lange), hvorfor få vi så forskellige toner, når de 6 løse strenge slås an? Hvis der er tid og energi til det, så kan de jo bestemme udbredelsesfarten på en anden streng også. |
| **Hvorfor lyder toner fra forskellige musikinstrumenter forskelligt?** | **Tavlegennemgang:** Hvorfor lyder forskellige musikinstrumenter forskelligt?  Introducér begrebet *klangfarve*.  Eleverne gøres opmærksom på, at instrumenter med en skarp lyd har store amplituder ved de høje frekvenser, mens de mere bløde lyde har store amplituder ved de lavere frekvenser.  **Demonstrationsforsøg:** Måle frekvensspektret for nogle få instrumenter samt stemmegaffel og/eller frekvensgeneratoren (giver en kedelige lyde, da der ikke dannes overtoner) og sammenligne med frekvensspektret fra guitaren, som vi målte på sidst.  **Lille eksperimentel undersøgelse i små grupper:** Eleverne bliver sendt ud for at optage lyde med mikrofonen og LoggerPro (evt. musikinstrumenter i fysiklokalet, sang eller de kan selv have medbragt musikinstrumenter til formålet). De skal fx optage frekvensspektre fra 2-3 musikinstrumenter, gemme frekvensspektrene, og bagefter præsentere dem for en anden gruppe - eller de kan postes i en fælleskanal i Teams (huske at nævne instrumentet), og vi kan se på dem i fællesskab sidst i timen. Det kan også være en lektie til gange efter, at de skal præsentere deres spektre.  **Lektien til timen efter**: Kan evt. være at præsentere frekvensspektrene, de målte i timen. Eller de kan forklare, hvorfor man får forskellige toner, når man presser ned på strengen på en guitar, inden man slår strengen an. |
| **Hverdagsfænomen: Når man puster i en flaske, kan man få en tone frem.** | Jeg vil gerne have, at eleverne udforsker dette fænomen i grupper af højst 3 elever. Jeg har lavet **arbejdsark 2** til dette formål, hvor de   1. først skal hælde forskellige mængder vand i reagensglas, og så prøve at forudsige om en lang luftsøjle giver den højeste eller dybeste tone, inden de tester det. 2. Herefter skal eleverne vælge et enkelt reagensglas, som de puster i og optager lyden med mikrofonen sat til LoggerPro på samme måde, som vi allerede har gjort tidligere. De skal måle partialtonernes frekvenser, der fremkommer på frekvensspektret og skrive dem ind i en tabel. Kan de se en sammenhæng mellem partialtonernes frekvens og grundtonens frekvens? 3. Et billede, der indeholder tekst, tegneserie, tegning, Børnekunst     Automatisk genereret beskrivelseHerefter skal de beregne den tilhørende bølgelængde ud fra lydhastigheden samt bølgeformlen. Ved at sammenligne længden af luftsøjlen og bølgelængden, skulle det gerne være tydeligt, at grundtonens bølgelængde er fire gange så lang som luftsøjlen. Måske kan de se mønsteret i resten af bølgelængderne til de forskellige partialtoner. 4. De skal nu indtegne de tre første partialsvingninger for reagensglasset. Vi kalder det et *halvåbent resonansrør*.   **Opsamling ved tavlen:** Kort opsummering af resultaterne i denne tabel på tavlen, hvor vi sammen får opskrevet partialtonernes relationen til . Vi får opsummeret, hvordan bølgelængden afhænger af længden af luftsøjlen, L. Vi får også indtegnet partialsvingningerne med knude i den lukkede ende og bug i den åbne ende.   |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | | **Partialtone** | **Frekvens (Hz)** | **Bølgelængde (m)** | **Relation til** | **Partialsving-ningerne** | | Grundtonen  1. partialtone |  |  |  |  | | Første overtone  2. partialtone |  |  |  |  | | Anden overtone  3. partialtone |  |  |  |  | | Tredje overtone  4. partialtone |  |  |  |  | | Fjerde overtone  5. partialtone |  |  |  |  | |
| **Åbne og lukkede resonansrør** | **Teoretisk opgave (Arbejdsark 3):**  Her skal eleverne tegne de første tre partialsvingninger først på en streng, der har knude i begge ender, derefter i det åbne resonansrør, der har bug i begge ender og til sidst i det halvåbne resonansrør, der har knude i den lukkede ende og bug i den åbne ende. Arket skulle gerne munde ud i, at eleverne udleder resonansbetingelsen for alle tre tilfælde.  **Opsamling ved tavlen eller individuelt, når eleverne bliver færdige med opgaven:**  Lav en forudsigelse ud fra den teoretiske opgave, om tonen fra et åbent resonansrør med en bestemt længde er lavere eller højere end fra et halvåbent resonansrør af samme længde.  **Eksperimentel opgave:** Tjek din forudsigelse med boomwhackers  **Opsamling ved tavlen:**  Det åbne resonansrør er en såkaldt halvbølgeresonator, og grundtonen er givet ved  Der kan altså være en halv bølge i røret ved grundtonen. Frekvensen af grundtonen er givet ved  Det halvåbne resonansrør er derimod en såkaldt kvartbølgeresonator, og grundtonen er givet ved  Der kan altså være en kvart bølge i røret ved grundtonen. Frekvensen af grundtonen er givet ved  Hermed er frekvensen af grundtonen for et åbent resonansrør dobbelt så høj som for et halvåbent resonansrør af samme længde og dermed giver de den samme tone blot en oktav til forskel. Se regneeksemplet herunder.    Hvis vi vil lave et åbent resonansrør, der kan give os kammertonen på Hz ved en lydhastighed på 340 , så skal vi bruge et resonansrør med længden    Det vil sige et rør på cirka 38,6 cm. Hvis vi lukker dette rør i den ene ende, så får vi frekvensen  Dette er også tonen A, men er blot en oktav under det A, vi fik fra det åbne resonansrør.  Dette kan demonstreres med boomwhackers.  Relatér det til kirkeorglet samt de frekvensspektre, de evt. fik målt på musikinstrumenter tidligere. Brug boomwhackers til at vise, at lyden afhænger af længden af resonansrøret, enten som optakt til forsøget herunder, eller som optakt til besøget i kirken.  De kan evt. også se denne video:  <https://www.youtube.com/watch?v=MICCl0ke058>  **Lille eksperimentel opgave, hvis der er tid:** Eleverne kan evt. måle frekvensspektre for boomwhackers i små grupper, og så teste om de ser de overtoner, de forventer, og om grundtonens frekvens passer med længden af røret, når de regner på det for åbne og for halvåbne |
| **Relation til orgelpiber** | Eleverne skal læse dette:  <https://da.wikipedia.org/wiki/Orgelpibe>  Hør de forskellige lyde på følgende hjemmeside: <https://www.die-orgelseite.de/pfeifenarten_e.htm> |
| **Orgel, meget gerne på besøg i en kirke og måle på orglet. Lidt om klangfarve. Opgaver** | **Ekskursion:** Et besøg hos en organist i den lokale kirke, hvor man kan få lov til at se orglet indefra. Herunder er billeder fra det store orgel i Domkirken i Aarhus. Eleverne kunne tydeligt se, at der var åbne og halvåbne orgelpiber, og organisten fortalte, at de stemmer piberne ved at ændre på højden af rørene (se det midterste billede). Jeg havde vores mikrofon med, så jeg kunne optage lyden fra orglet, og vi kunne tydeligt se resonansbetingelserne for både åbne og halvåbne resonansrør, vi kunne se at klangfarven var forskellig for forskellige typer piber. Vi hørte den allerdybeste tone og den allerhøjeste. Eleverne kan evt. selv have måleudstyr med. |
| **Ekstra: Grundtonens afhængighed af længden af resonansrøret for et halvåbent resonansrør.** | **Rapportøvelse: Arbejdsark 4 er en øvelsesvejledning**  Jeg lader oftest mine elever lave rapport over denne øvelse, specielt hvis det er en klasse med musik A.  **Oversigt over øvelsen:**   * Mål grundtonens frekvens, , for 5 reagensglas med forskellige længder luftsøjle. * Bestem sammenhængen mellem L og * Regressionsanalyse og tolkning af model (hældningskoefficient og skæring med y-aksen) * Giv en eksperimentel bestemmelse af lydens fart ud fra hældningen af modellen |