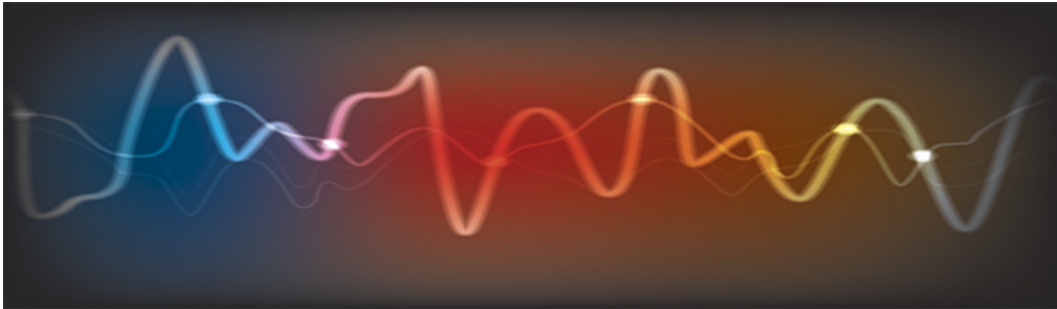


INGENIØRHØJSKOLEN AARHUS

DSB

E, IKT OG EP



---

## Miniprojekt Lektion 6

---

*Udarbejdet af:*

Simon Thrane Hansen

Lars Hjerrild

Kasper Lauge Madsen

201500150

201409555

201409873

*Underviser:*

Lars G. Johansen

24. marts 2016

# Indhold

|          |                                       |           |
|----------|---------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Indledning</b>                     | <b>2</b>  |
| <b>2</b> | <b>Analysebeskrivelse</b>             | <b>3</b>  |
| 2.0.1    | Fouriertransformationen . . . . .     | 3         |
| 2.0.2    | Aliasering . . . . .                  | 3         |
| 2.0.3    | Vinduesfunktioner og lækage . . . . . | 4         |
| 2.0.4    | Udglatning . . . . .                  | 5         |
| <b>3</b> | <b>Analyse</b>                        | <b>6</b>  |
| 3.1      | Motor . . . . .                       | 6         |
| 3.2      | Klaver . . . . .                      | 10        |
| 3.3      | Symfoni . . . . .                     | 14        |
| 3.4      | Bass . . . . .                        | 17        |
| 3.5      | Vinglas . . . . .                     | 21        |
| 3.6      | Vindmølle . . . . .                   | 25        |
| 3.7      | Spilledåse . . . . .                  | 29        |
| 3.8      | ECG-signal . . . . .                  | 32        |
| <b>4</b> | <b>Resultat og Diskussion</b>         | <b>36</b> |
| <b>5</b> | <b>Konklusion</b>                     | <b>37</b> |

# 1. Indledning

Denne opgave ophandler et design af et analysesystem i Matlab, der baserer sig på Diskret Fourier Transformation (DFT). Analysesystemet skal kunne vise størrelsen af DFT'en på de korrekte frekvensakser.

I opgaven er der arbejdet med følgende typer af signaler:

- Vibrations- eller lydsignal fra bilmotor
- Vindmøllestøj
- Fysiologisk signal, eksempelvis EKG
- Vinglas, der knipses på
- Fire forskellige stykker musik

De overstående signaler er fundet på nettet og er blevet lagt i repository'et.

## 2. Analysebeskrivelse

I denne opgave er der brugt en række forskellige metoder til analyse af de valgte digitale signaler, dette afsnit er til for at beskrive disse metoder som indbefatter :

- Fouriertransformationen
- Aliasering
- Vinduesfunktioner og lækage
- Udglatning

### 2.0.1 Fouriertransformationen

Fouriertransformationen bruges i opgaven til at kunne analysere de digitale signaler, der arbejdes med ud fra frekvenser og deres relative tilstedeværelse (i denne opgave 1 volt), istedet for fx at se på en amplitude af et signal til et givet tidspunkt. På denne måde analyseres alle signaler ud fra deres frekvensindhold og tolkes dermed ikke i noget tids-mæssigt domæne. Formlen for selve fourieranalsen kan ses på formel: (2.1)

$$X(m) = \sum_{n=0}^{N-1} X(n) e^{-j \frac{2\pi}{N} mn} \quad (2.1)$$

$x(n)$ : tidsdiskret signal

$X(m)$ : komplekst frekvensspektrum

$N$ : antal samples / frekvensbins

$n$ : sampletæller

$m$ : frekvensbin-tæller

Når denne transformation er lavet er der enkelte ting man skal være opmærksom på når man analyserer et digitalt signal. Den første væsentlige er Aliasering

### 2.0.2 Aliasering

Et hvert sæt af diskrete værdier kan, og vil, aldrig kunne beskrives ved blot én sinuskurve, og derfor skal man i en frekvensanalyse være opmærksom på spejling og gentagelse af

et frekvensspektra. Matematisk er det vist at formel: (2.2) gælder, og essensen af denne formel er at der vil komme et udslag i et frekvensspektra både ved den målte frekvens, men tilmed i alle frekvenser der er  $k$  gange samplingsfrekvensen større eller mindre end det originale signal, hvor  $k$  er et positivt eller negativt heltal. Dette er grunden til gentagelse af frekvensspektraet.

$$x(n) = \sin(2\pi f_0 n t_s) = \sin(2\pi(f_0 + k f_s) n t_s) \quad (2.2)$$

I analysen af de forskellige signaler, er der i figurene kun plottet op til halvdelen af samplingsfrekvensen, dette skyldes at der efter nyquist frekvensen, som er vist på formel: (2.3), blot ville vise et spejlbillede af signalet op til nyquist frekvensen, men dette giver naturligvis ikke mening at kikke på.

$$f_{ny} = \frac{f_s}{2} \quad (2.3)$$

Hvis man ser på selve fouriertransformationen (2.1), kan man se eulers eksponentialfunktion er anvendt, værdierne i transformation vil bevæge sig rundt på en enhedscirkel ift. samplingsfrekvensen. Ifølge regnereglerne for komplekse tal vil længden af et komplekst tal, som i opgaven er brugt som y-akse, være den samme for et komplekst tals konjugerede værdi, som den selv. Derfor vil vi i plottet se et spejlbillede efter nyquist frekvensen, der altså befinder sig i  $\pi$  rad på enhedscirklen

På grund af disse fænomener, er der i digital signalbehandling defineret at man skal for at kunne repræsentere signal ordenligt sample med mindst den dobbelte frekvens af den højeste frekvens i signalet.

Ved signalerne udvindes en samplingsfrekvens ved matlabfunktionen `audioread`, og dermed forventes det at undgå både gentagelse af frekvensspektret, samt forkert sampling. På et enkelt spekter er der sent tegn på at der tidligere er brugt en anden samplingsfrekvens.

### 2.0.3 Vinduesfunktioner og lækage

For at forstå vindues funktioner og lækage må man først forstå at man ser på frekvens bins, som har en opløsning, og ikke på alle tænkelige frekvenser. ovenfor er det bekræftet at man bevæger sig rundt på enhedscirklen ift. samplingsfrekvensen, men hvorfor nu det? Hvis man igen kikker på (2.1) kan man se at  $m$  er en bin tæller. Det vil sige at værdierne man får ud fra fouriertransformationen bliver lagt ned i et antal frekvensbins. Der er lige så mange bins, som der er samples  $N$ , og frekvenserne der analyseres efter ( $X(m)$ ) findes ved formel (2.5). I tilfælde af at der findes en frekvens udenfor den præcise værdi, er det altså ikke kun denne frekvens der vil give udslag i frekvensspektret, men også en smule på andre frekvenser, selvom de ikke er der! Dette fænomen kaldes lækage. På grund af dette er det godt at opnå så lille en bredde i bins så muligt, altså at opløsningen (??) høj så muligt (eg. at  $f$  opløsning er meget lille).

$$f_{bin} = \frac{f_s}{N} * m \quad (2.4)$$

$$f_{opløsning} = \frac{f_s}{N} \quad (2.5)$$

Vindues funktioner er værdier du ganger på dine frekvensbins, der kan være med til at mindske mængden af lækage, men essensen er sådan set bare at du ganger en funktion på en anden funktion. Yderligere skal man huske at lave vinduesfunktionen så den passer til det antal bins der ønskes, da der ikke kan ganges to vectorere af forskellig længde sammen i denne slags analyse.

#### 2.0.4 Udglatning

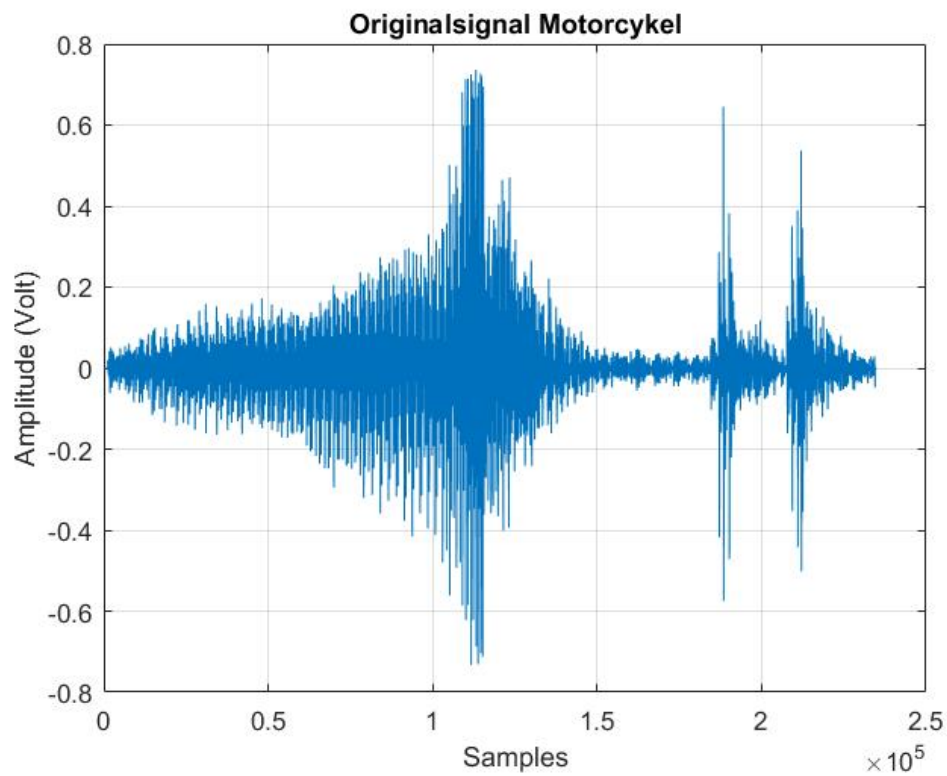
Da det har været fremmede for forståelsen af spektrene at plotte på logaritmisk x-akse, er det valgt at udglatningen af signalet skal afspejle akse, og derfor bruges octav udglatning. Dette betyder at man istedet for at tage fx. 10 værdier og slå dem sammen til en gennemsnitsværdi, tager man løbende flere og flere værdier og slår sammen. Det passer med at en oktav højere er den dobbelte frekvens, er derfor stiger antal af frekvenser man slår sammen ind i den logaritmiske akse, der derved får en pæn udglatning.

## 3. Analyse

Dette afsnit viser analyserne, der er blevet lavet over de forskellige signaler. Der er for alle signaler lavet 4 forskellige plot: Det originale signal, Det Disket Fourier Transformerede signal, Det Disket Fourier Transformerede signal med et hanning vindue og Det udglattet Disket Fourier Transformerede signal.

### 3.1 Motor

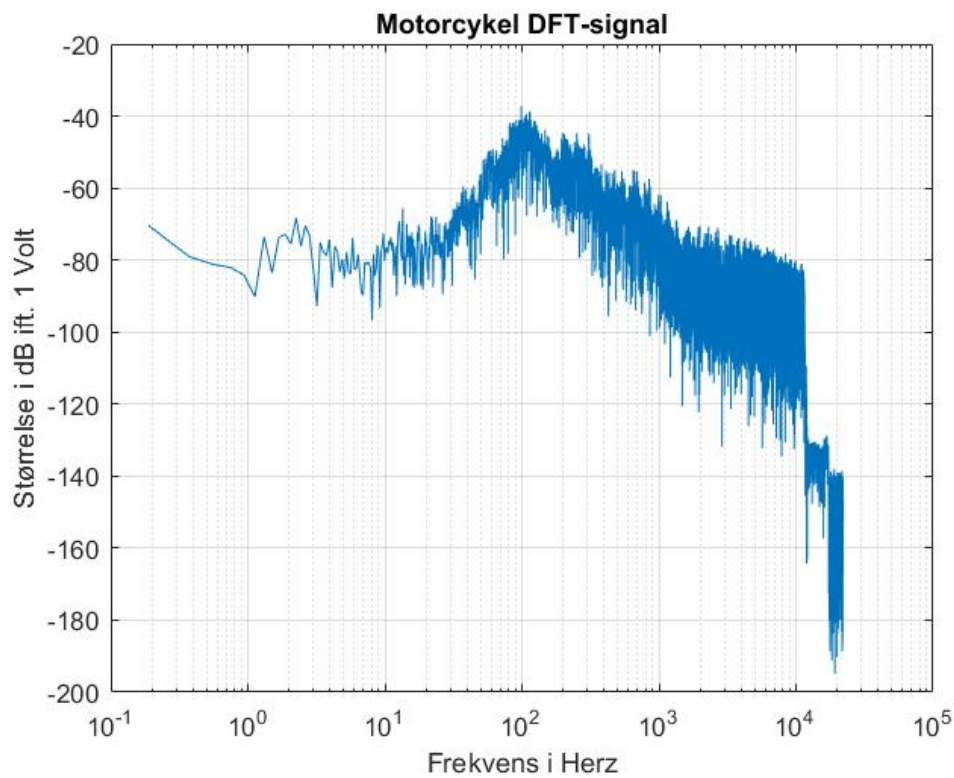
Dette signal er fra motoren på en motorcykel. Man kan se det originale lydsignal på figur 3.1.



**Figur 3.1:** DFT Det originale signal fra en Motor

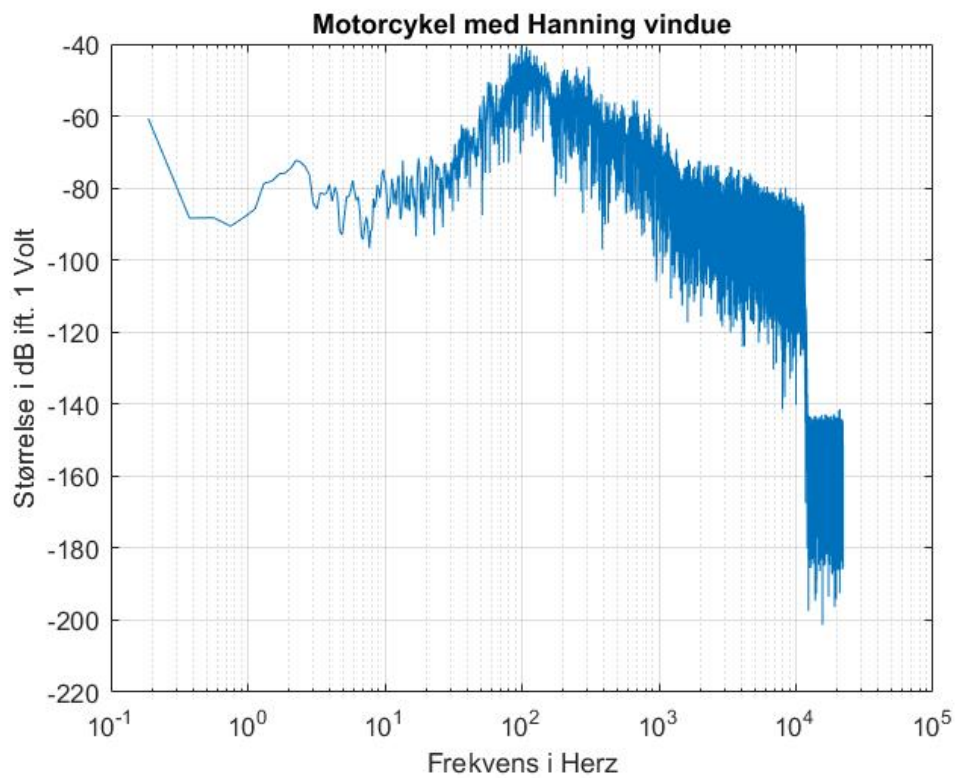
Det originale signal er blevet fast fourrier transformeret og er blevet plottet på en logoritmisk skala på figur 3.2. Det i øjenfaldende på dette plot er.....



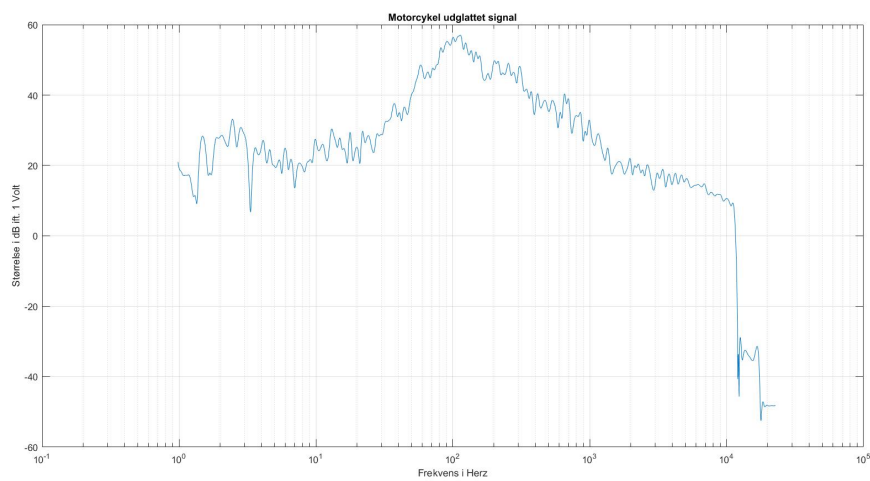


**Figur 3.2:** DFT Analyse af et signal fra en Motor

Det DFT-transfomerede signal er blevet vægtet ved brug af et hanningvindue. Resultatet ses på figur 3.3. Som man kan se på figuren er der ikke en det helt store at hente ved hanningviduet på denne funktion.



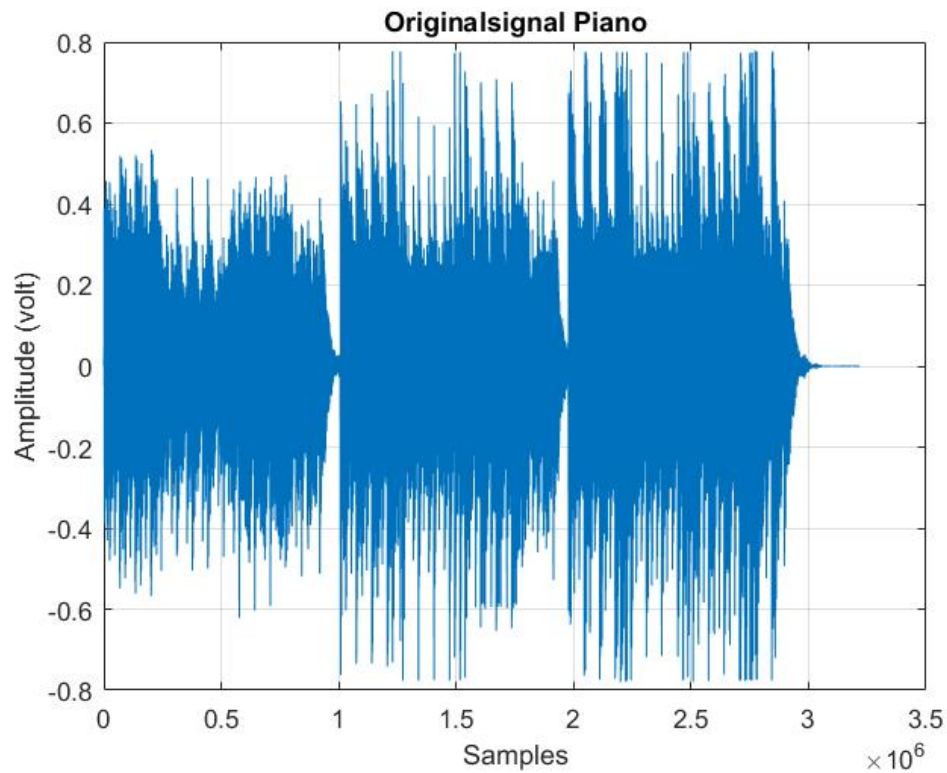
Figur 3.3: DFT Analyse af et signal fra en Motor med et hanningvindue



Figur 3.4: Det udglattede DFT signal fra en Motor

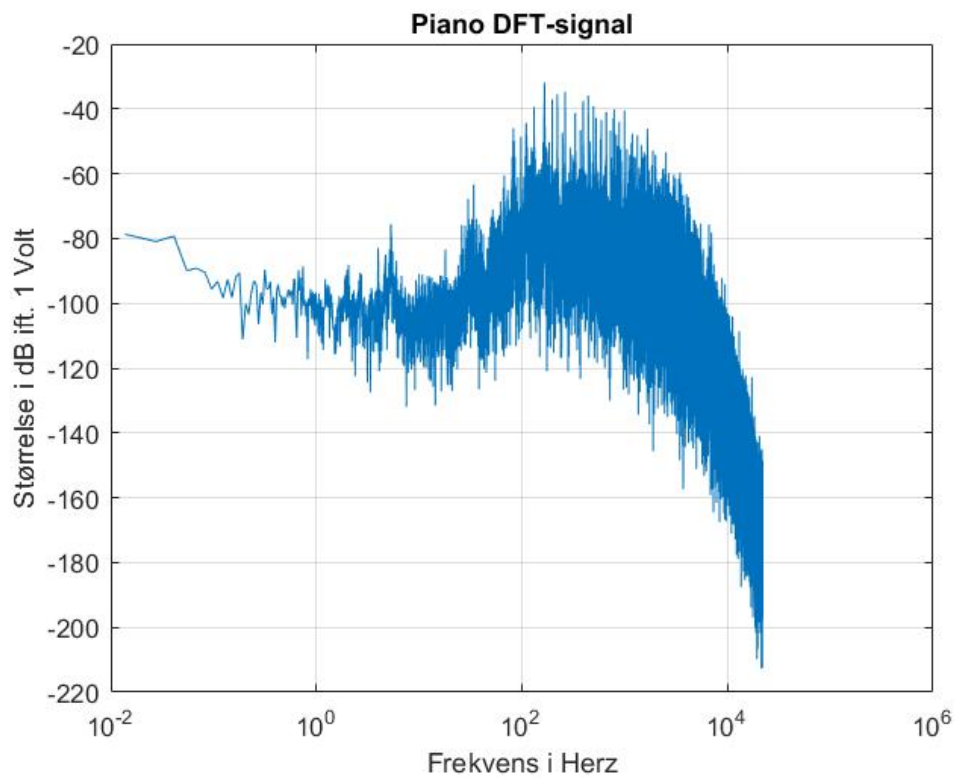
### 3.2 Klaver

Dette signal er fra et klaver. Man kan se det originale lydsignal på figur 3.5.



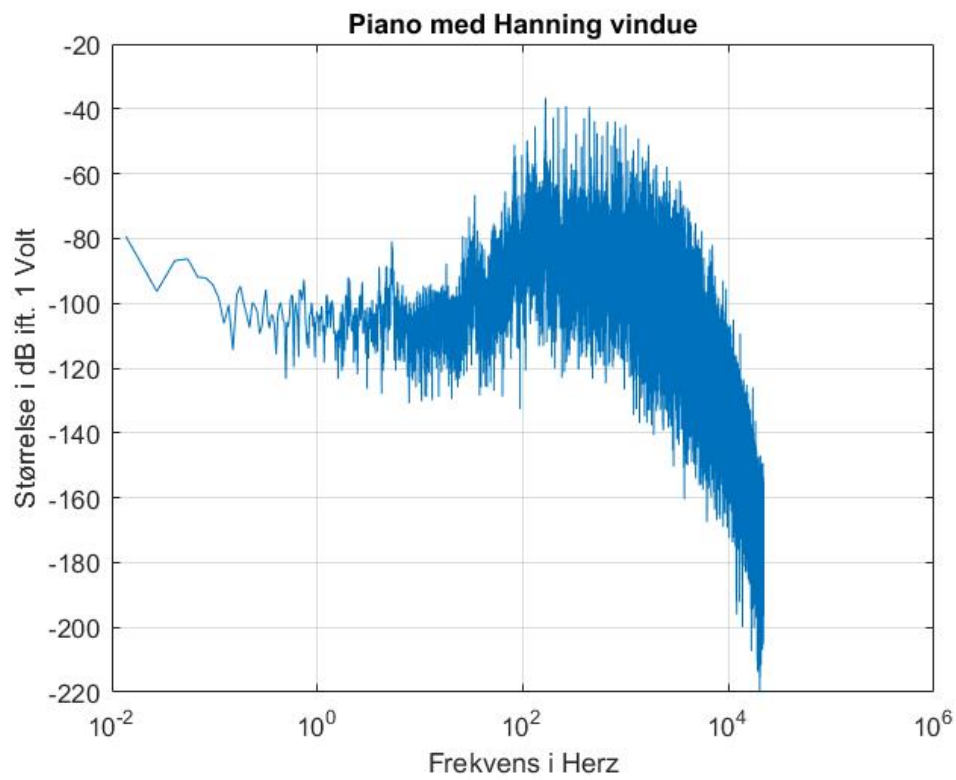
Figur 3.5: DFT Det originale signal fra et klaver

Det originale signal er blevet fast fourier transformeret og er blevet plottet på en logaritmsk skala på figur 3.6. Det i øjenfaldende på dette plot er, at det indeholder stor energi omkring 100Hz-1000Hz og indeholder mange præcise unikke frekvenser i dette område.

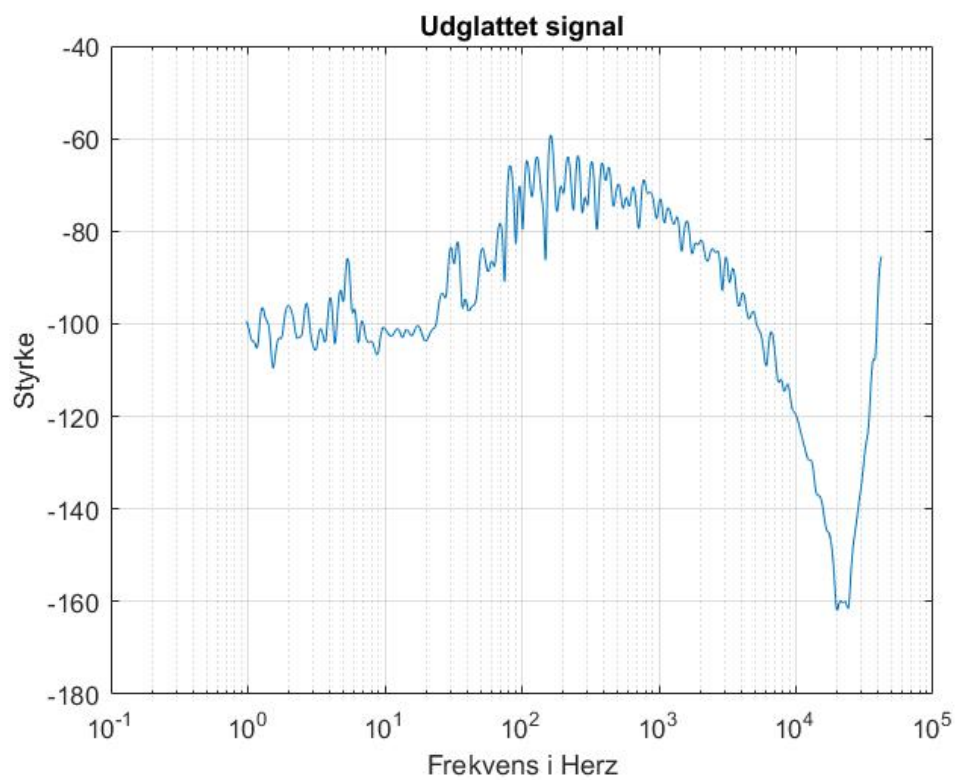


**Figur 3.6:** DFT Analyse af et signal fra et Klaver

Det DFT-transfomerede signal er blevet vægtet ved brug af et hanningvindue. Resultatet ses på figur 3.7. Som man kan se på figuren er der ikke en det helt store at hente ved hanningviduet på denne funktion.



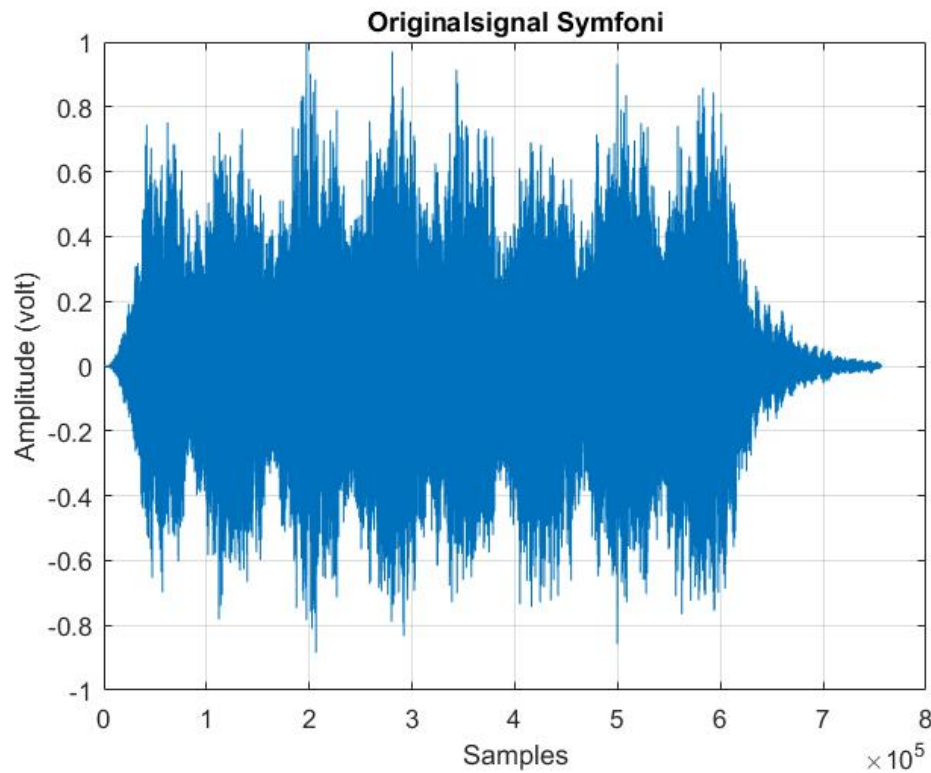
**Figur 3.7:** DFT Analyse af et signal fra et klaver med et hanningvindue



**Figur 3.8:** Det udglattede DFT signal fra et Klaver

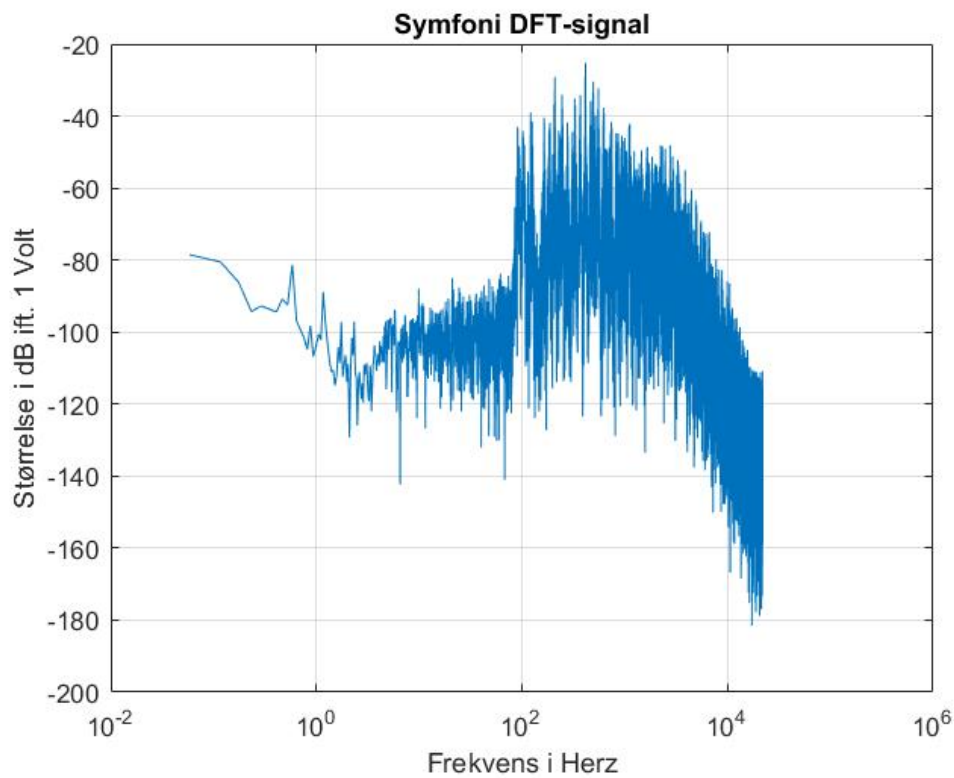
### 3.3 Symfoni

Dette signal er fra et symfoniorkester. Man kan se det originale lydsignal på figur 3.9.



Figur 3.9: DFT Det originale signal fra en Symfoni

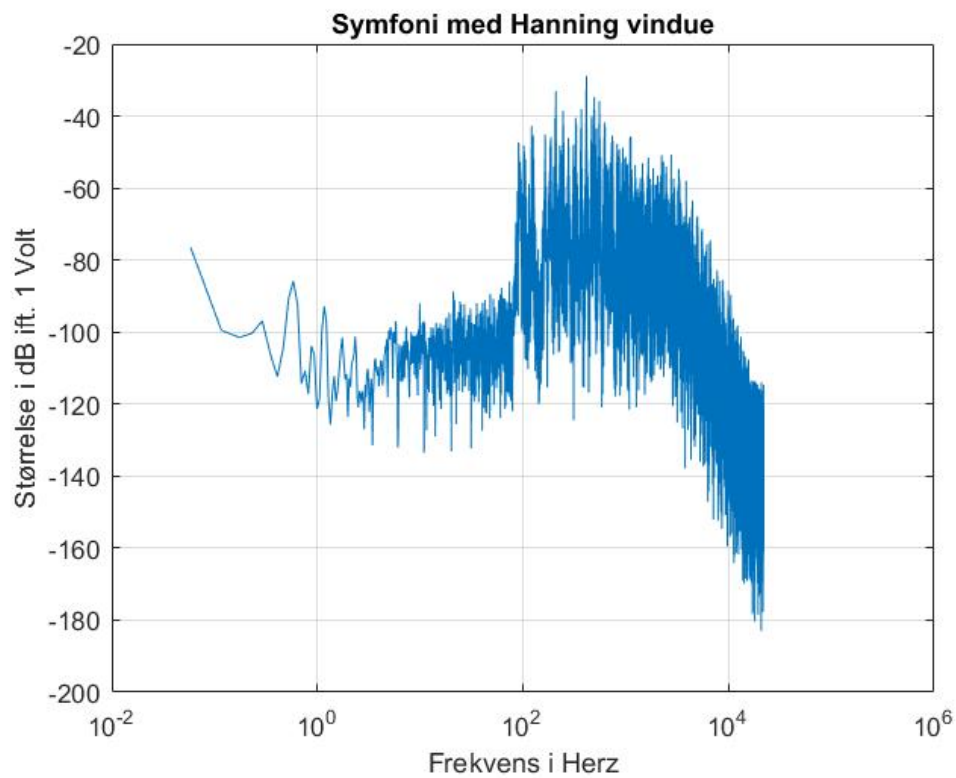
Det originale signal er blevet fast fourrier transformeret og er blevet plottet på en logaritmisk skala på figur 3.10. Det i øjenfaldende på dette plot er, at det indeholder mange forskellige frekvenser fra de forskellige instrumenter i området 100Hz-1000Hz.



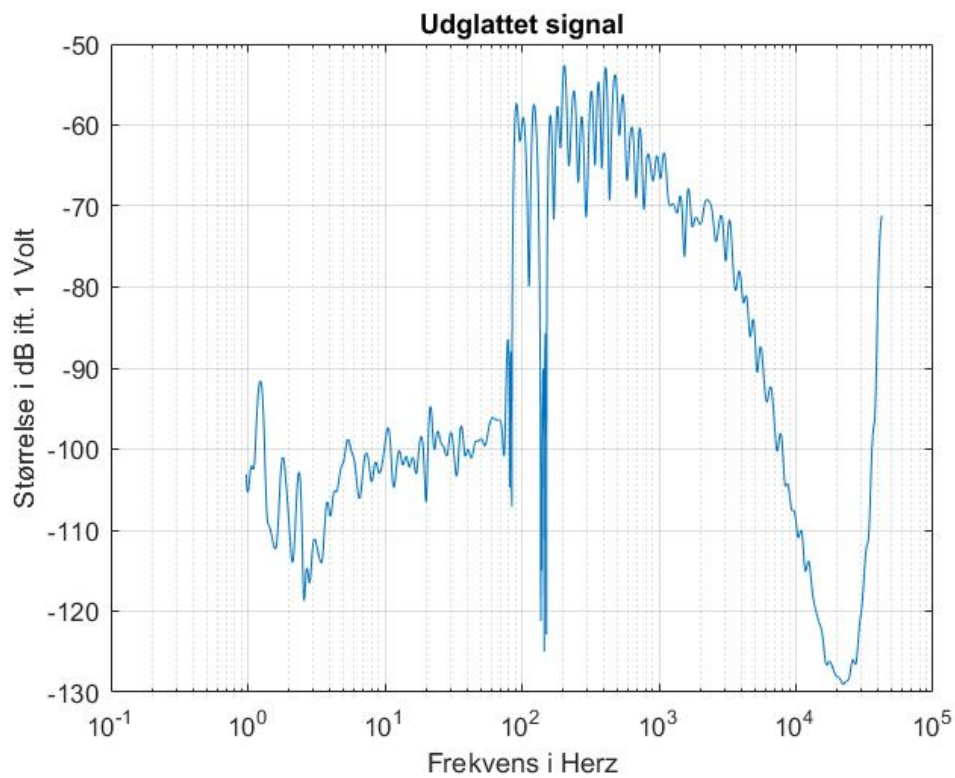
**Figur 3.10:** DFT Analyse af et signal fra en Symfoni

Det DFT-transfomerede signal er blevet vægtet ved brug af et hanningvindue. Resultatet ses på figur 3.11. Som man kan se på figuren er der ikke en det helt store at hente ved hanningviduet på denne funktion.





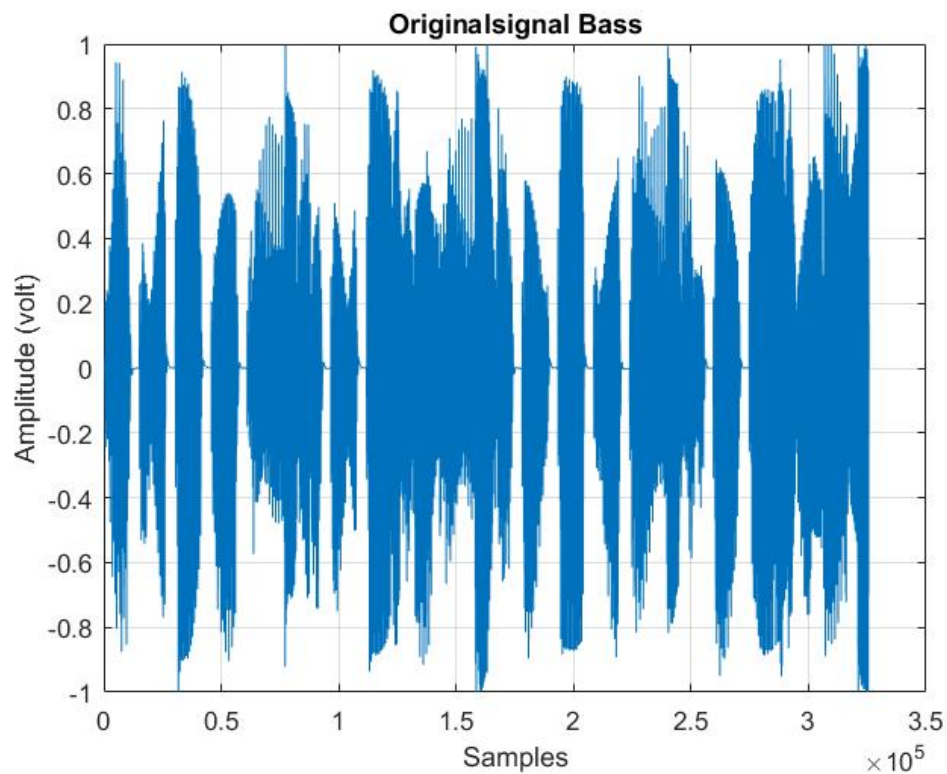
**Figur 3.11:** DFT Analyse af et signal fra en Symfoni med et hanningvindue



Figur 3.12: Det udglattede DFT signal fra en Symfoni

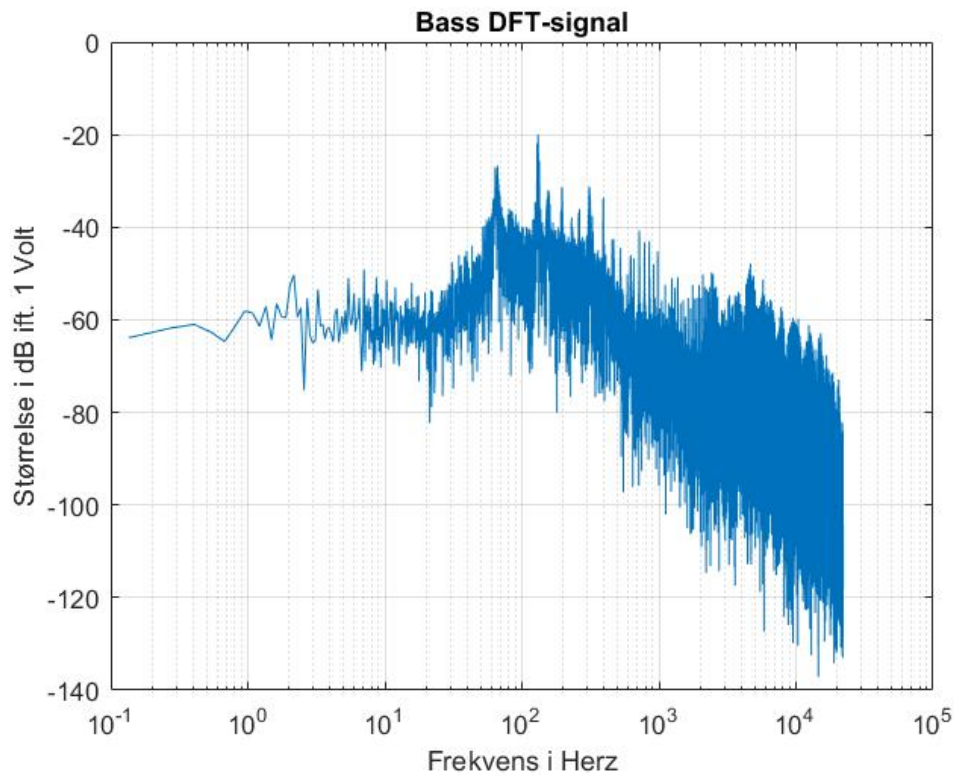
### 3.4 Bass

Dette signal er fra en bas. Man kan se det originale lydsignal på figur 3.13.



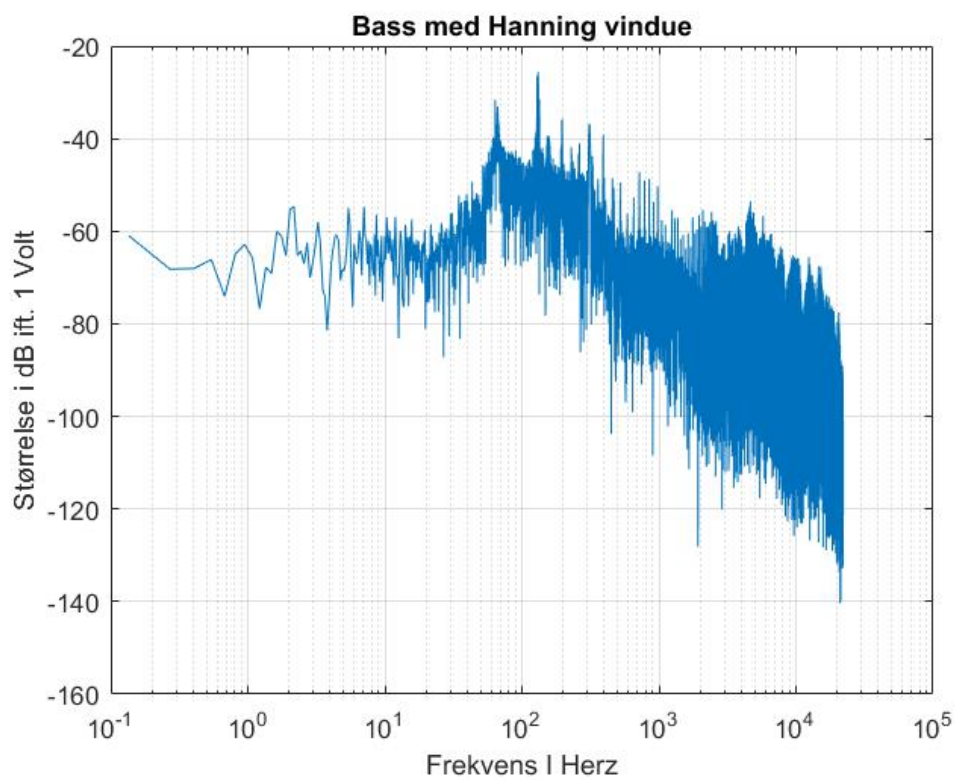
**Figur 3.13:** DFT Det originale signal fra en Bas

Det originale signal er blevet fast fourrier transformeret og er blevet plottet på en logoritmisk skala på figur 3.14. Det i øjenfaldende på dette plot er, at frekvenserne fra bassen er rimelig lave i forhold til både klaveret og symfoni-orkesteret. Signalet har også færre frekvenser, "der stikker ud fra mængden", hvilket skyldes, at det er en el-bas.

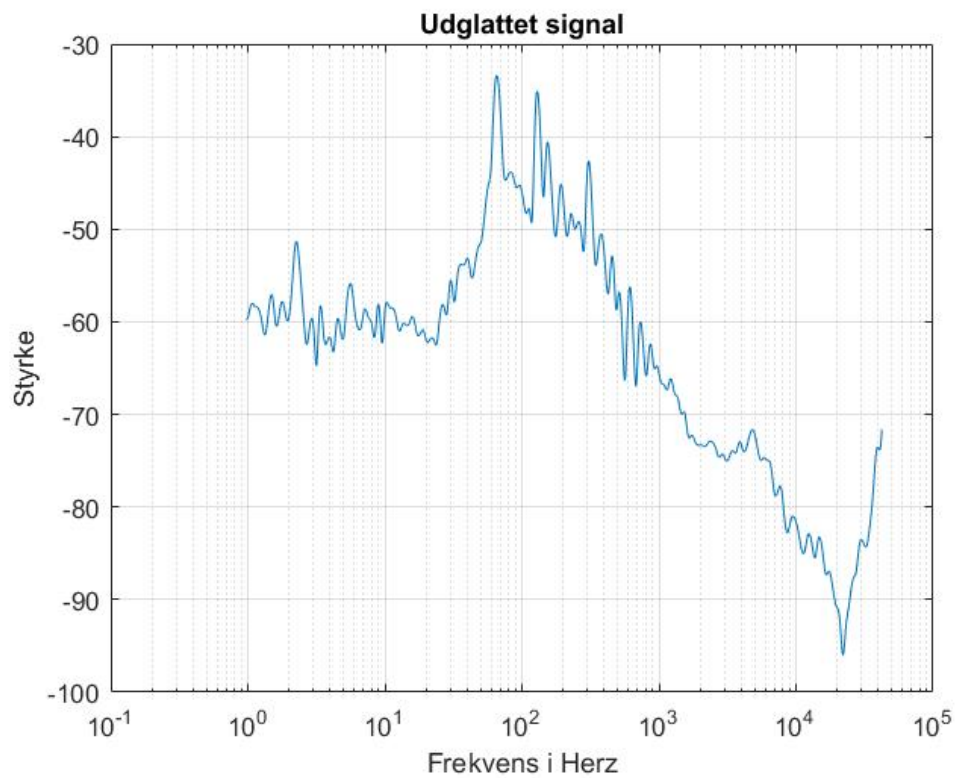


**Figur 3.14:** DFT Analyse af et signal fra en Bas

Det DFT-transfomerede signal er blevet vægtet ved brug af et hanningvindue. Resultatet ses på figur 3.15. Som man kan se på figuren er der ikke en det helt store at hente ved hanningviduet på denne funktion.



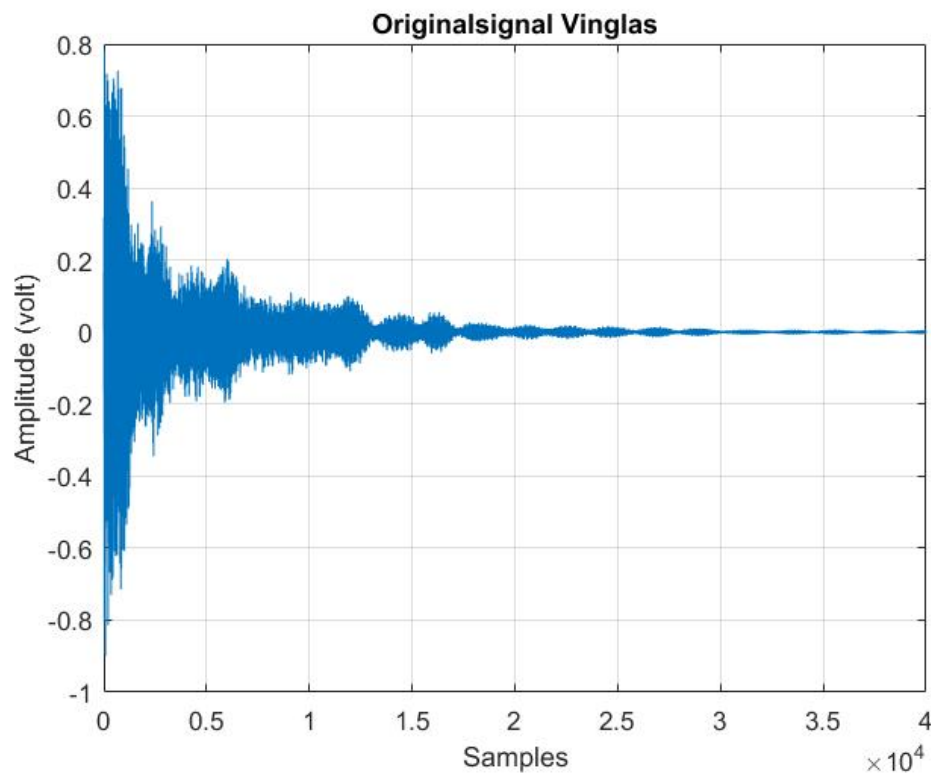
**Figur 3.15:** DFT Analyse af et signal fra en Bas med et hanningvindue



Figur 3.16: Det udglattede DFT signal fra en Bas

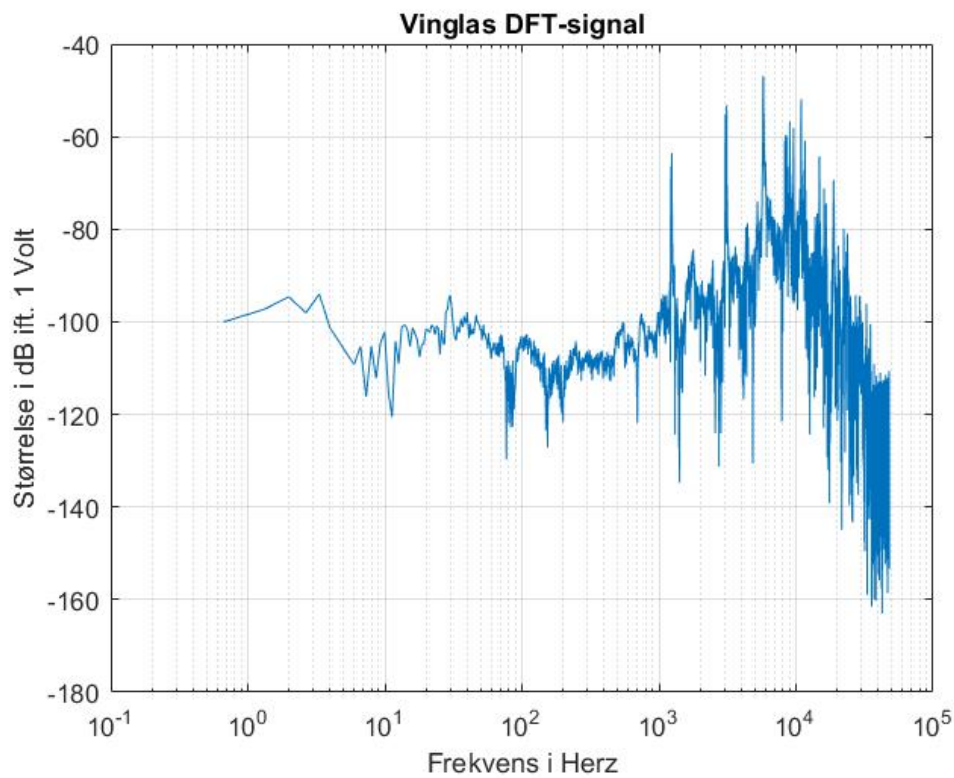
### 3.5 Vinglas

Dette signal er af en, der knipser på et vinglas. Man kan se det originale lydsignal på figur 3.17.



**Figur 3.17:** DFT Det originale signal fra et Vinglas

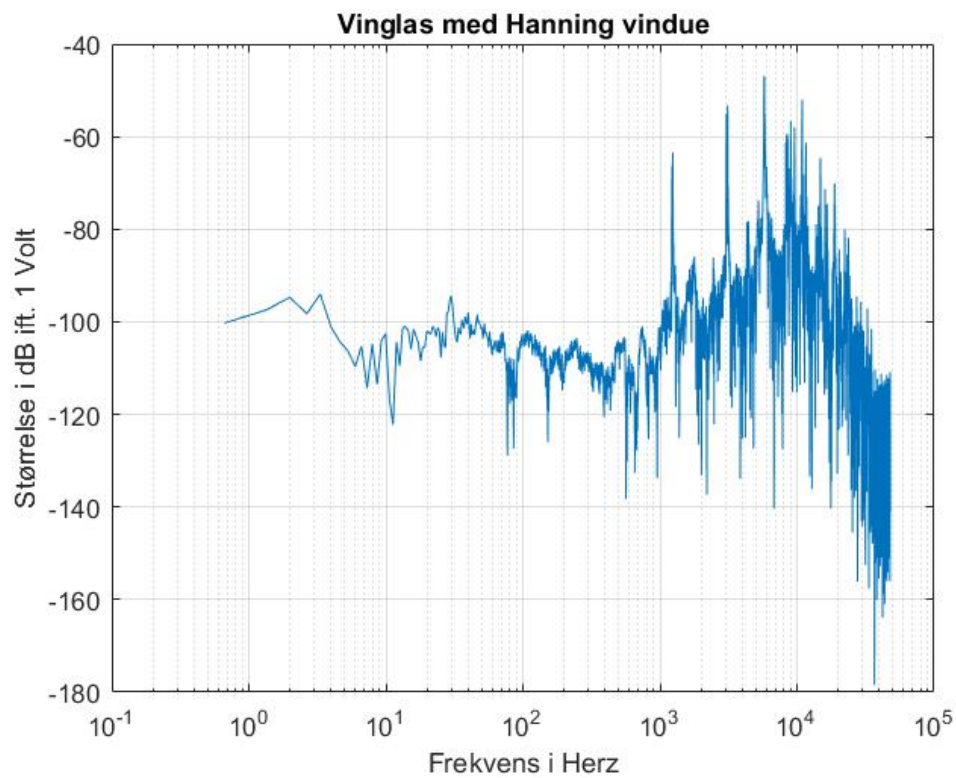
Det originale signal er blevet fast fourrier transformeret og er blevet plottet på en logoritmisk skala på figur 3.18. Det i øjenfaldende på dette plot er, at det indeholder mange høje frekvenser og har få meget præcise frekvenser, hvor der er stor energi.



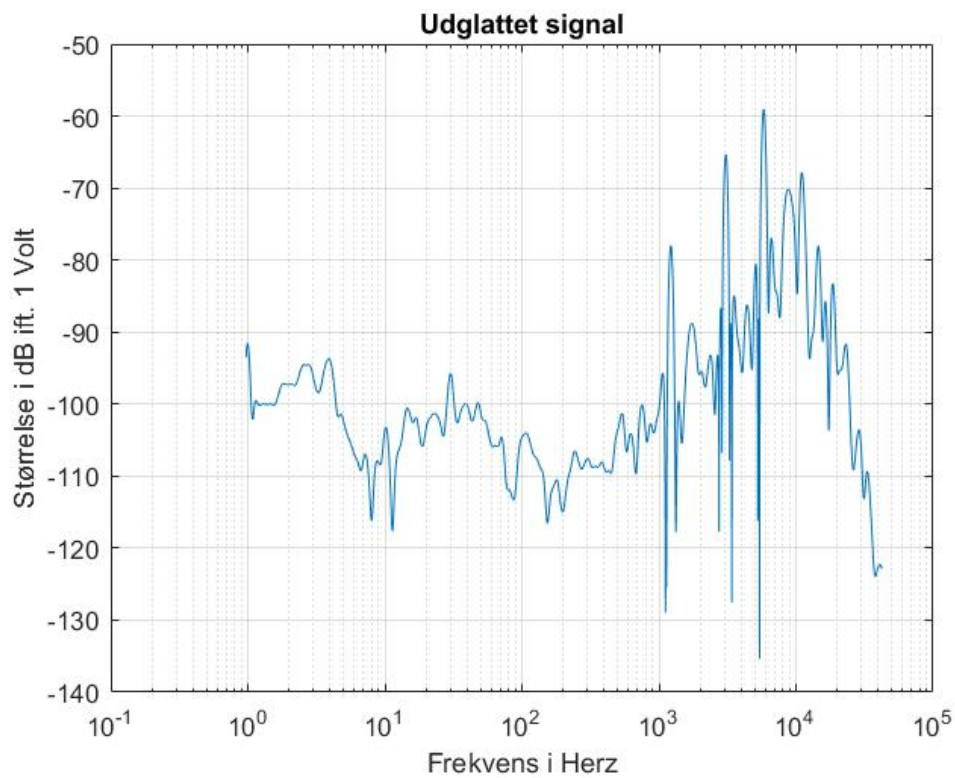
Figur 3.18: DFT Analyse af et signal fra et Vinglas

Det DFT-transfomererede signal er blevet vægtet ved brug af et hanningvindue. Resultatet ses på figur 3.19. Som man kan se på figuren er der ikke en det helt store at hente ved hanningviduet på denne funktion.





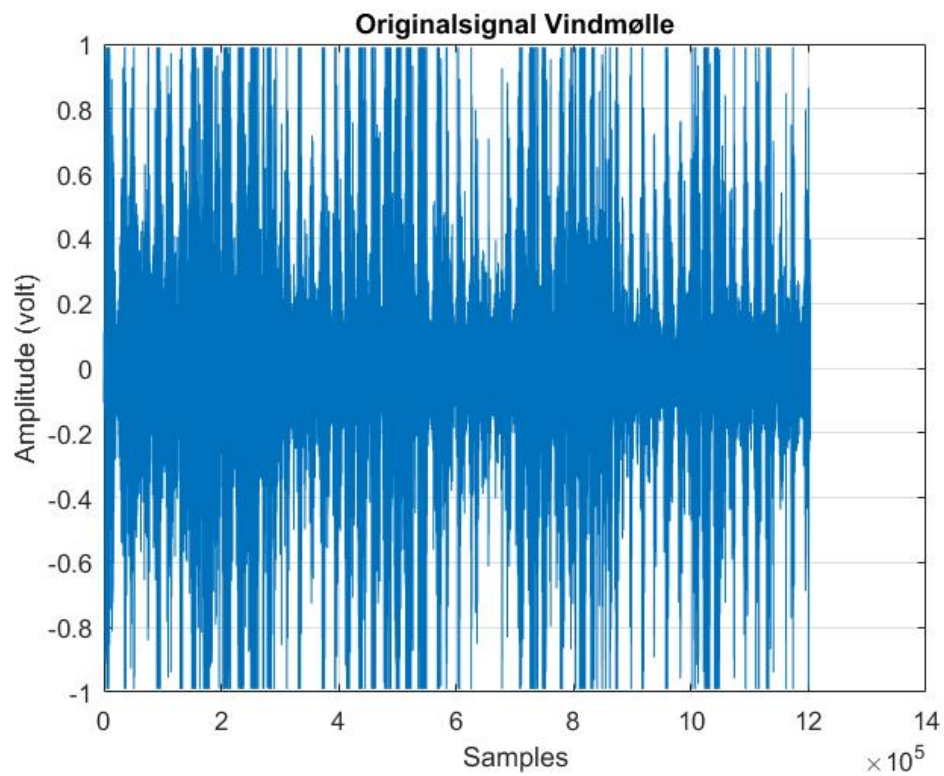
**Figur 3.19:** DFT Analyse af et signal fra et Vinglas med et hanningvindue



Figur 3.20: Det udglattede DFT signal fra en, der knipser på et vinglas

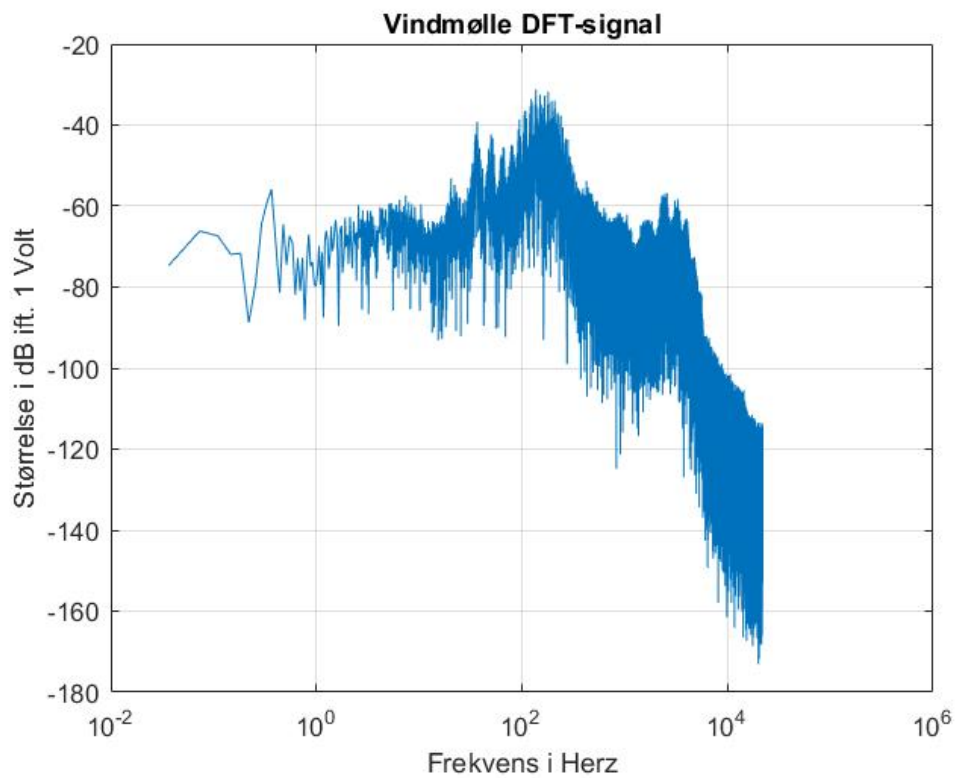
### 3.6 Vindmølle

Dette signal er larm fra en vindmølle. Man kan se det originale lydsignal på figur 3.17.



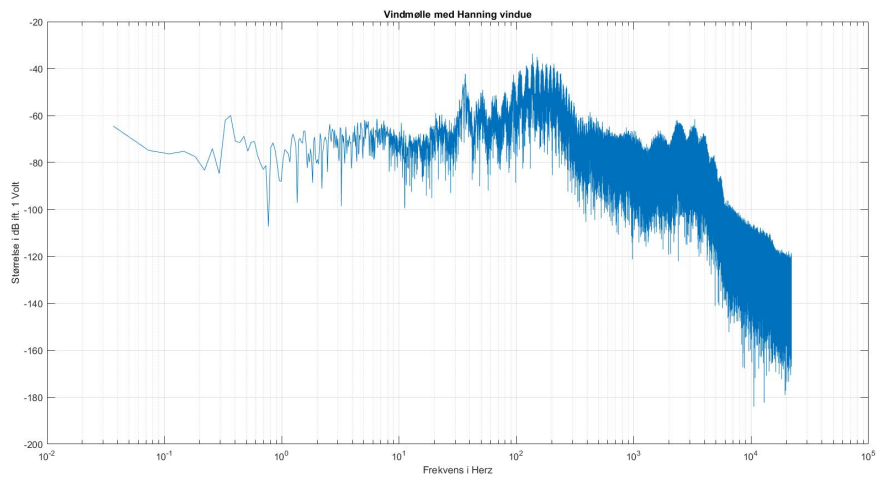
**Figur 3.21:** DFT Det originale signal fra en Vindmølle

Det originale signal er blevet fast fourrier transformeret og er blevet plottet på en log-oritmisk skala på figur 3.22. Det i øjenfaldende på dette plot er, det er rimelig lavfrekvent (70Hz-200Hz). Der er heller ikke rigtig specielt mange frekvenser, der stikker specielt ud.

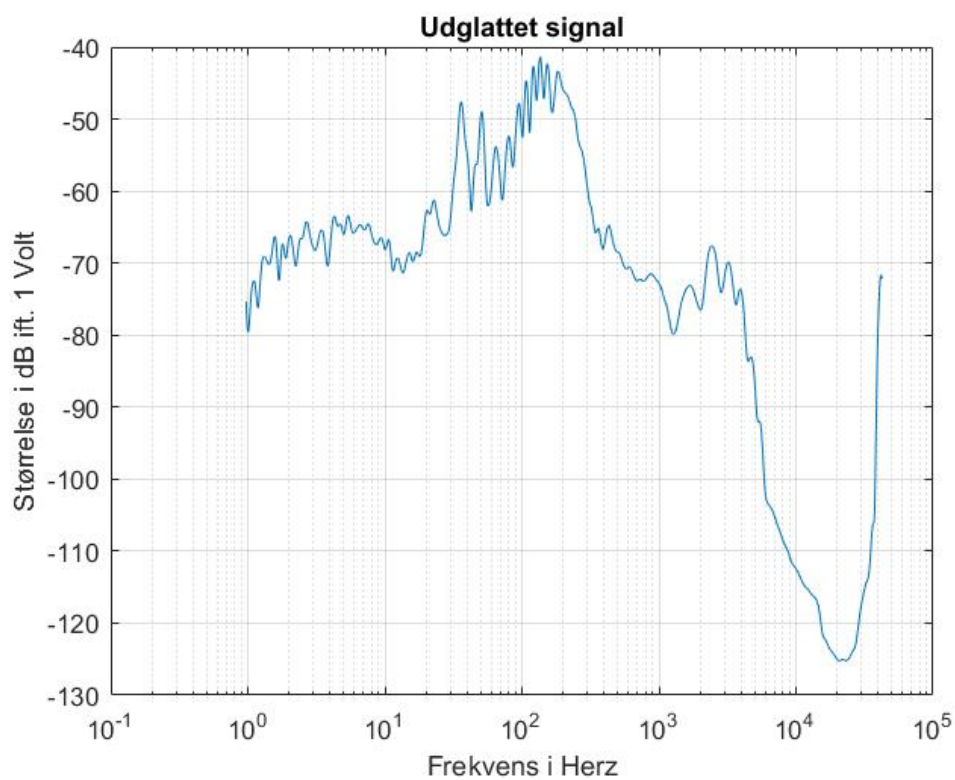


**Figur 3.22:** DFT Analyse af et signal fra en Vindmølle

Det DFT-transfomerede signal er blevet vægtet ved brug af et hanningvindue. Resultatet ses på figur 3.23. Som man kan se på figuren er der ikke en det helt store at hente ved hanningviduet på denne funktion.



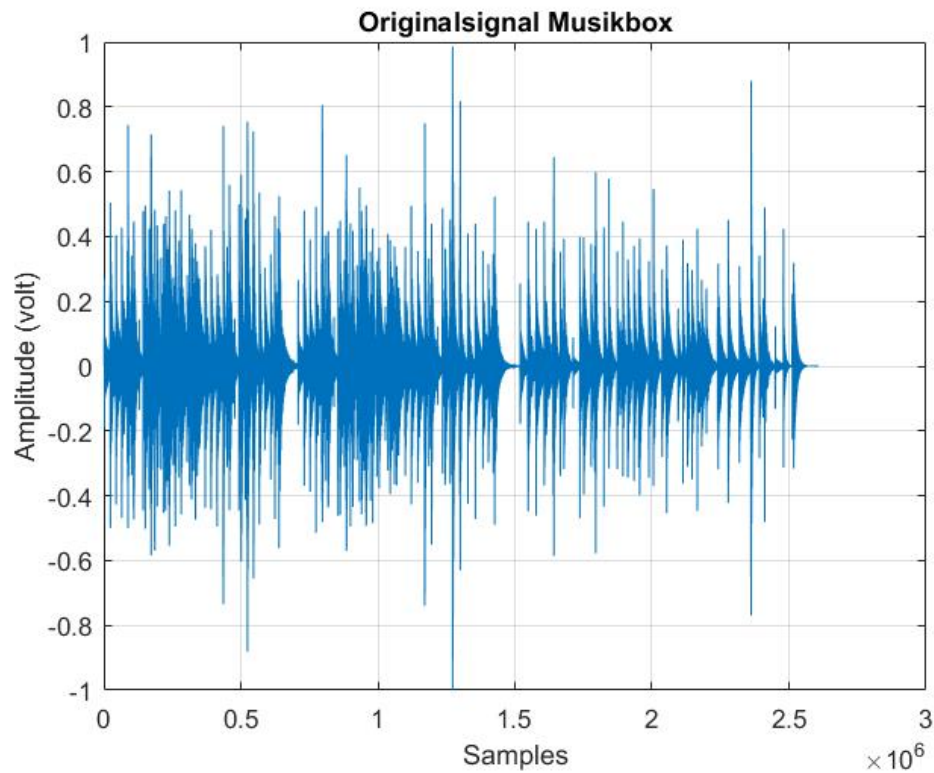
Figur 3.23: DFT Analyse af et signal fra en Vindmølle med et hanningvindue



Figur 3.24: Det udglattede DFT signal fra en Vindmølle

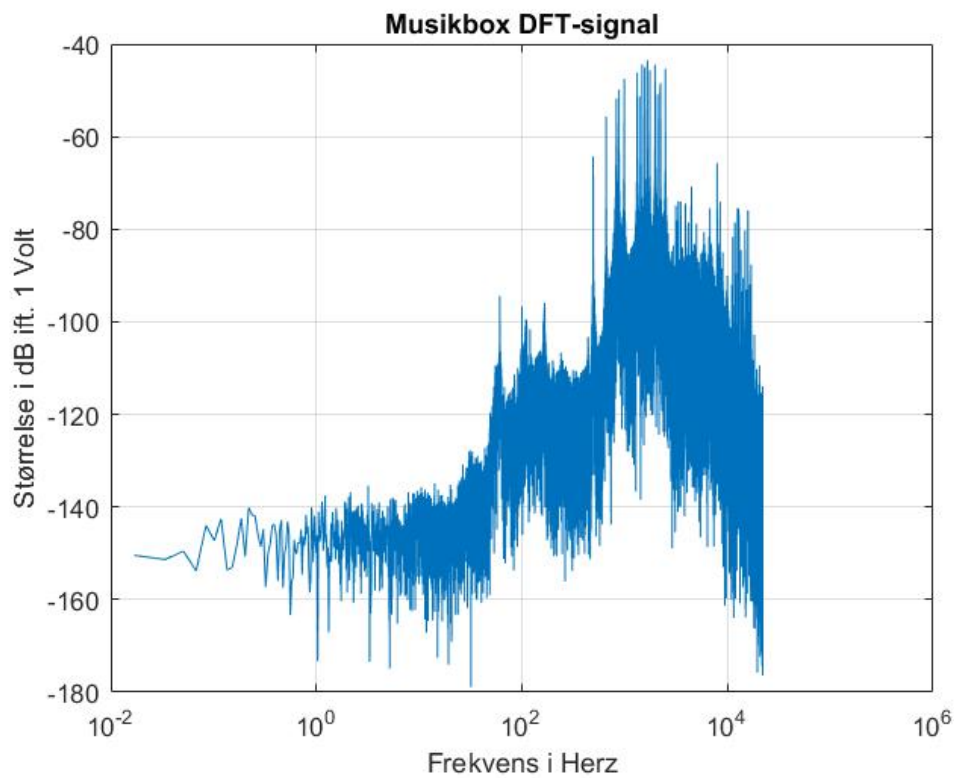
### 3.7 Spilledåse

Dette signal er musik fra en gammeldags spilledåse. Man kan se det originale lydsignal på figur 3.25.



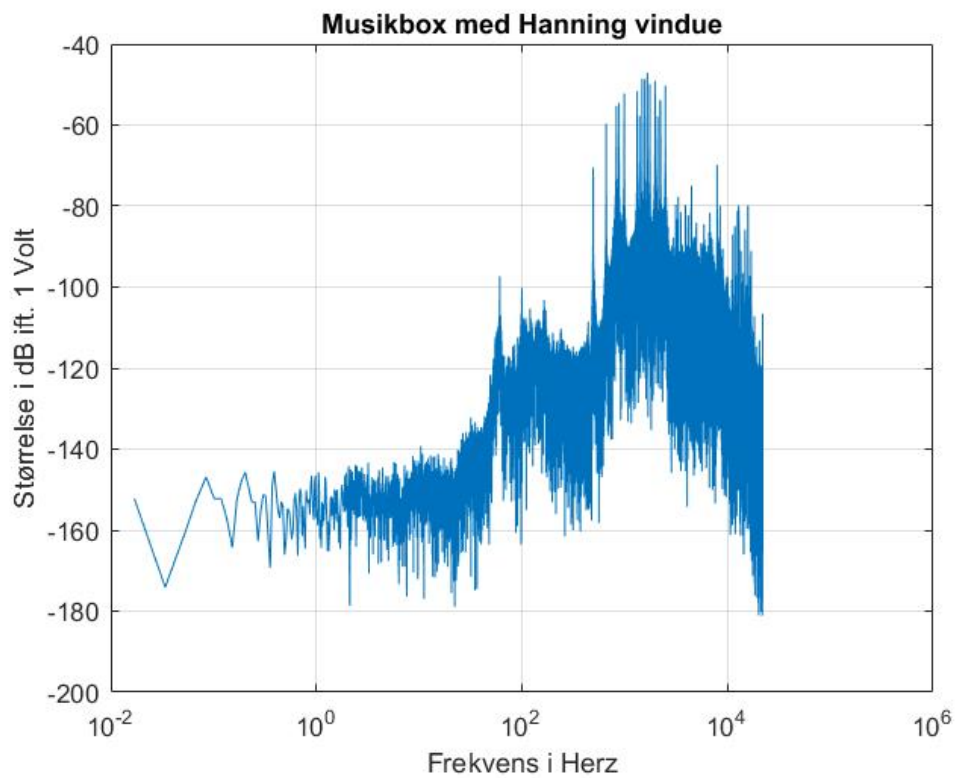
Figur 3.25: Det originale signal fra en Musikbox

Det originale signal er blevet fast fourrier transformeret og er blevet plottet på en logoritmisk skala på figur 3.26. Det i øjenfaldende på dette plot er, at det en del frekvenser, der stikker meget ud.

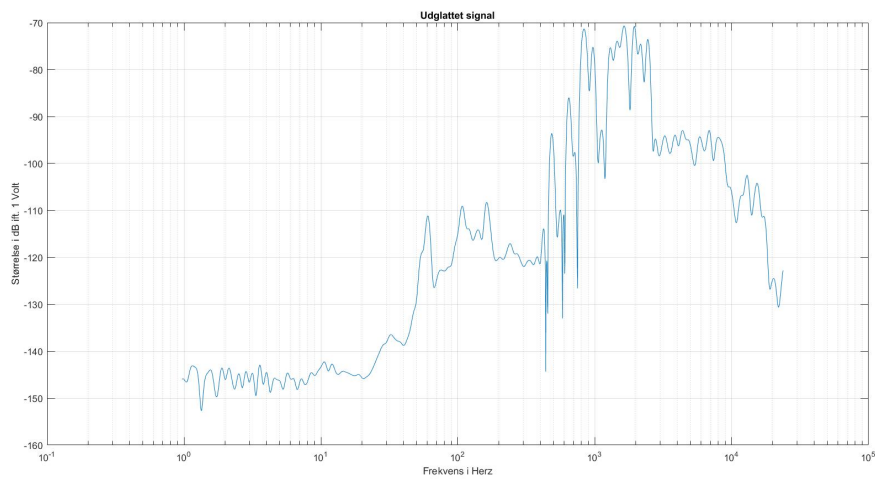


**Figur 3.26:** DFT Analyse af et signal fra en Musikbox

Det DFT-transfomerede signal er blevet vægtet ved brug af et hanningvindue. Resultatet ses på figur 3.27. Som man kan se på figuren er der ikke en det helt store at hente ved hanningviduet på denne funktion.



**Figur 3.27:** DFT Analyse af et signal fra en Musikbox med et hanningvindue

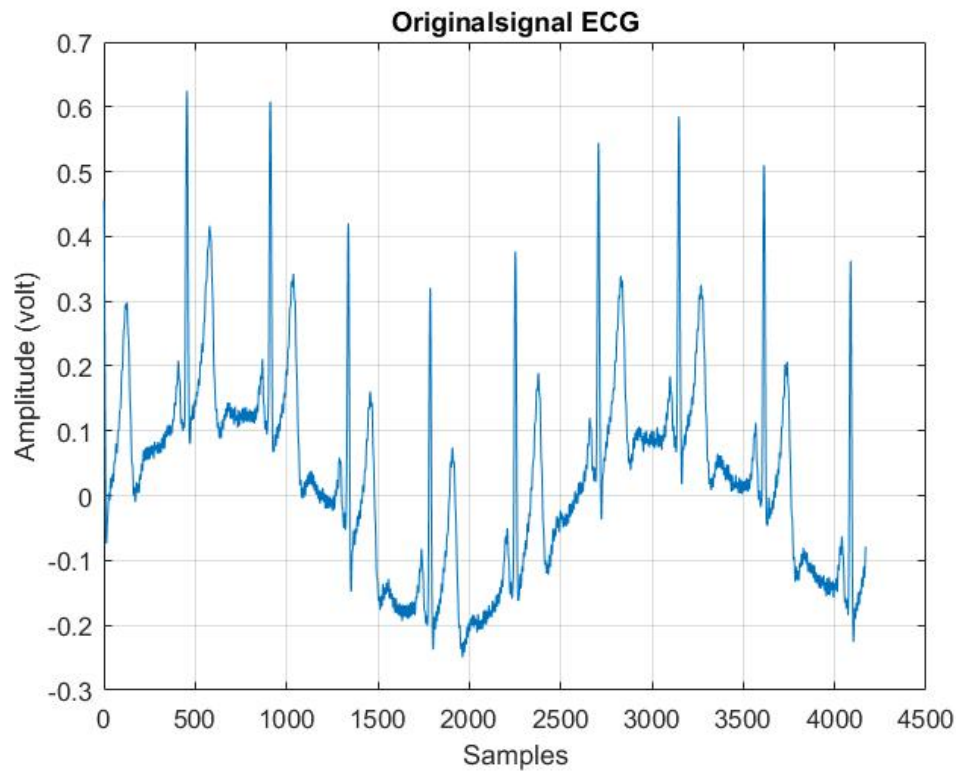


**Figur 3.28:** Det udglattede DFT signal fra en Musikbox



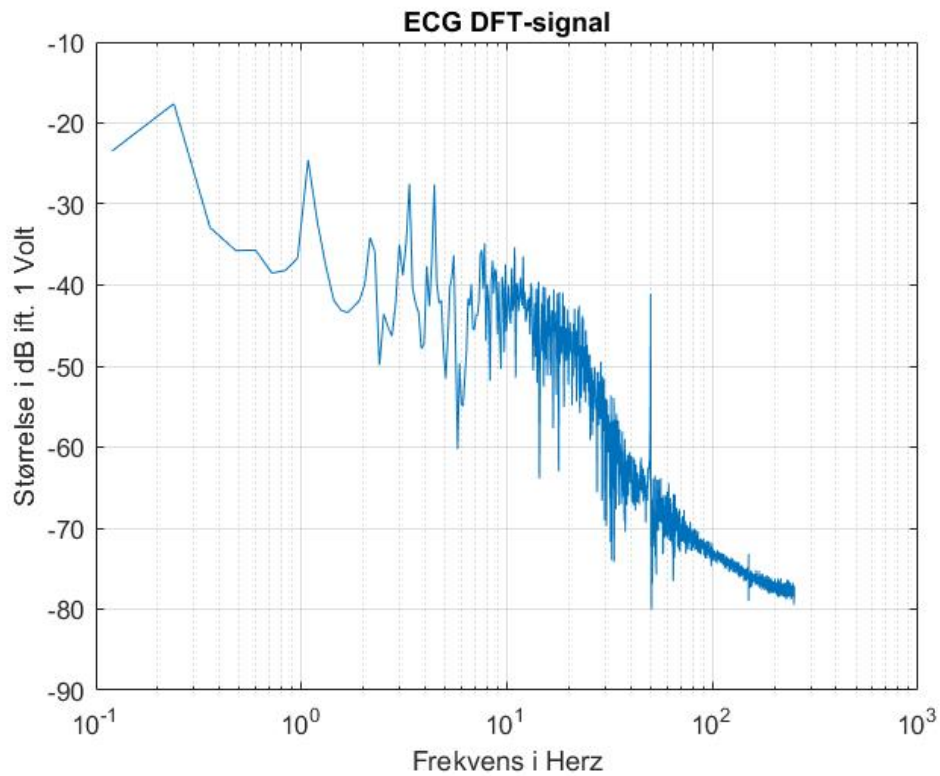
### 3.8 ECG-signal

Dette signal er et ECG-signal. Man kan se det originale lydsignal på figur 3.29.



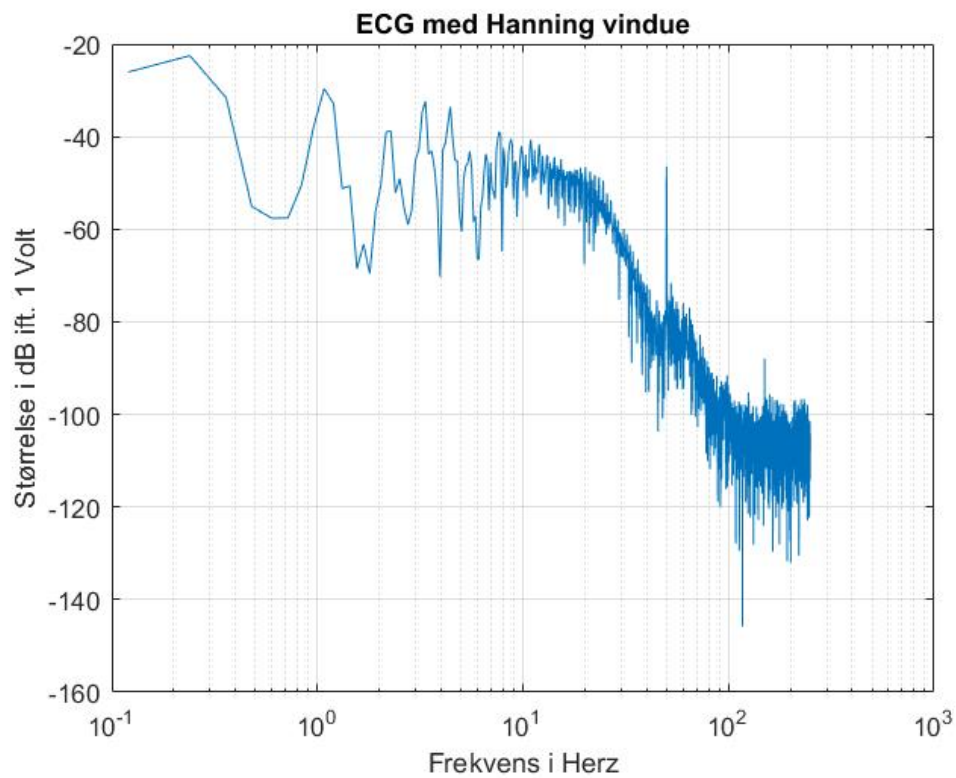
**Figur 3.29:** Det originale ECG-signal

Det originale signal er blevet fast fourrier transformeret og er blevet plottet på en logaritmsk skala på figur 3.30. Det i øjenfaldende på dette plot er, at der meget energi ved de meget lave frekvenser. Man kan også se, at 50Hz stikker voldsomt ud, hvilket er støj fra strømnettet. Dette er meget normalt for ECG-signaler.

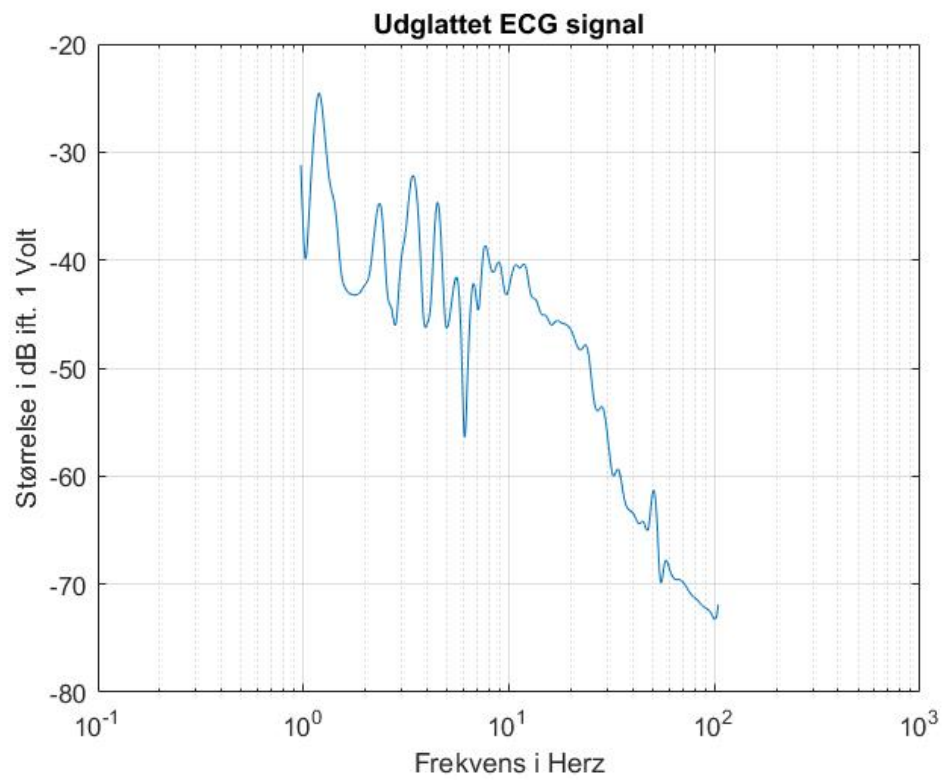


**Figur 3.30:** DFT Analyse af et ECG-signal

Det DFT-transfomerede signal er blevet vægtet ved brug af et hanningvindue. Resultatet ses på figur 3.31. Som man kan se på figuren er der ikke en det helt store at hente ved hanningviduet på denne funktion.



**Figur 3.31:** DF140 Analyse af et ECG-signal med et hanningvindue



**Figur 3.32:** Det udglattede DF140 ECG-signal

## 4. Resultat og Diskussion

Vores analyse af de forskellige signaler viste, hvilke frekvenser, der var dominerende i de enkelte signaler. Denne viden er vigtig at have, da den fortæller meget godt, hvad signalet indeholder.

Man kan f.eks. ved brug af analysen af symfoni-signalet se, at indeholder stor aktivitet i frekvensområdet 100Hz-1000Hz, hvilket stemmer meget godt overens med, hvad man kunne forvente af frekvenser i et sådan signal.

Man kan, hvis man sammenligner de to signaler: Bas og musikboxen. Se, at signalet fra musikboxen indeholder flere høje frekvens end Bas-signalet, dette er helt forventelig. Man kan også se, at signalet fra vinglasset, der knipses på indeholder nogen meget præcise frekvenser modsat f.eks. signalet fra symfoni-orkesteret, der indeholder mange forskellige instrumenter med forskellige frekvenser.

Vores analysesystem har dermed givet os en bedre forståelse for, hvilke frekvenser, der er dominerende i de enkelte signaler. Dette kan f.eks. bruges i til at bestemme om, der er en bolt i motoren, der er slidt og skal skifte. Da man med tilstrækkelig stor erfaring inde for et enkelt område kan bruge de signaler til at opfange fejl og slidtage.

## 5. Konklusion

I denne opgave har vi arbejdet med DFT af forskellige digitale signaler. Vi har lavet et analysesystem, hvor der blev benyttet DFT til at analysere signaler.

Hanningvinduet er også blevet undersøgt og brugt til at sortere støj fra signalet.

Vi har set på, hvordan man ved brug af DFT kan trække "nye" oplysninger ud af signalet.

Disse oplysninger kan bruges til