

---

# **DESIGN AF**

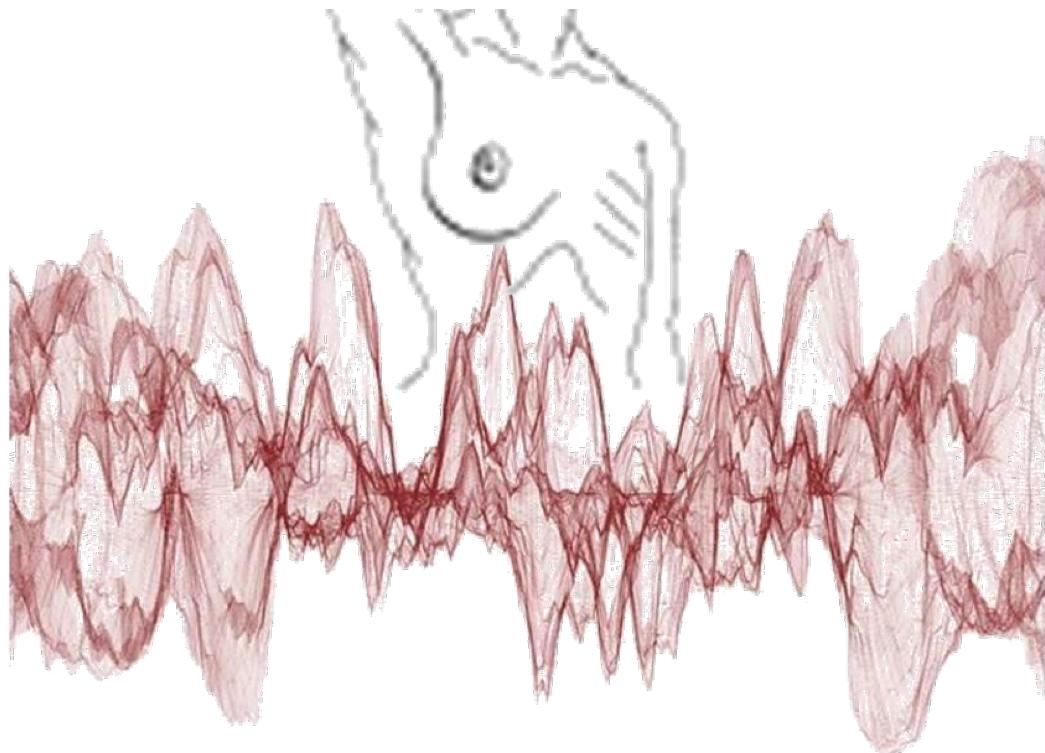
## **AKUSTISK VOLUMENMÅLING**

### **AF BRYST**

---

PROJEKTDOKUMENTATION

Den 02. januar 2017



Jannie Thorup Hansen

11089

Diplomingeniørstuderende i  
sundhedsteknologi

June Richter

10871

Diplomingeniørstuderende i  
sundhedsteknologi

Bachelorprojekt - projektnr. 16119

Vejleder: Samuel Alberg Thrysøe

Ingeniørhøjskolen, Aarhus Universitet

# Forord

---

Denne rapport indeholder dokumentation for bachelorprojektet *Design af akustiske volumenmålinger af bryster*. Rapporten indeholder kravspecifikation, accepttest, dokumentation af projektets design og implementeringsfase.

Kravspecifikationen er udarbejdet i samarbejde med Pavia Lumholt, speciallæge i plastikkirurgi på OPA Privathospital, Aarhus.



Jannie Thorup Hansen, 11089



June Richter, 10871

## Læsevejledning

Projektrapporten indeholder primært metoder, resultater samt diskussioner til det udarbejde produkt. Gennem rapporten vil referencer fremtræde, som i hht. Harvard-metoden, refereres i teksten med (*Efternavn, år*). Referencer fremgår samlet i en referenceliste, bagerst i rapporten. I rapportens ende findes endvidere de udarbejdet bilag.

## Ordliste over forkortelser

Forkortelse	Betydning
BDD	Block Definition Diagram
BVM	Brystvolumenmåler
IBD	Internal Block Diagram
JH	Jannie Thorup Hansen
JR	June Richter
MVP	Minimum Viable Product
PL	Pavia Lumholt
SAT	Samuel Alberg Thrysøe
UC1	Use case 1

# Indholdsfortegnelse

---

<b>Kapitel 1 Kravspecifikation</b>	<b>1</b>
1.1 Indledning . . . . .	1
1.1.1 Formål . . . . .	1
1.1.2 Læsevejledning . . . . .	1
1.1.3 Versionshistorik . . . . .	1
1.2 Systembeskrivelse . . . . .	2
1.2.1 Den konceptuelle brystvolumenmåler . . . . .	2
1.2.2 Brystvolumenmåleren funktionalitet . . . . .	2
1.2.3 Aktørbeskrivelse . . . . .	2
1.3 Funktionelle krav . . . . .	4
1.3.1 Use Case diagram . . . . .	5
1.3.2 Use Case 1 - Udfør brystvolumenmåling . . . . .	6
1.4 Ikke-funktionelle krav . . . . .	7
1.4.1 Usability krav . . . . .	7
1.4.2 Reliability krav . . . . .	7
1.4.3 Performance krav . . . . .	7
1.4.4 Supportability krav . . . . .	8
1.4.5 Design krav . . . . .	8
1.5 Projektafgrænsning . . . . .	8
1.6 Samarbejdspartnere . . . . .	10
 <b>Kapitel 2 Dokumentation af accepttest</b>	 <b>11</b>
2.1 Indledning . . . . .	11
2.1.1 Formål . . . . .	11
2.1.2 Læsevejledning . . . . .	11
2.1.3 Versionshistorik . . . . .	11
2.2 Accepttest-protokol . . . . .	11
2.2.1 Formål . . . . .	11
2.2.2 Referencer . . . . .	11
2.2.3 Forkortelser . . . . .	11

2.2.4	Ansvar . . . . .	12
2.2.5	Udstyrsbeskrivelse . . . . .	12
2.2.6	Acceptkriterier . . . . .	12
2.2.7	Metode . . . . .	13
2.2.8	Oversigt over testdokumenter . . . . .	14
2.2.9	Forudsætning for udførelse af accepttest . . . . .	14
2.3	Accepttest . . . . .	14
2.3.1	Funktionelle krav . . . . .	14
2.3.2	Ikke-funktionelle krav . . . . .	17
<b>Kapitel 3</b>	<b>Design</b>	<b>22</b>
3.1	Indledning . . . . .	22
3.2	Udviklingsværktøjer . . . . .	22
3.2.1	Microsoft Visio . . . . .	22
3.2.2	Creately . . . . .	23
3.3	Versionsstyring . . . . .	23
3.3.1	GitHub . . . . .	23
3.4	Hardware . . . . .	23
3.4.1	Block Definition Diagram . . . . .	24
3.4.2	Internal Block Diagram . . . . .	24
3.4.3	Bestemmelse af hardware . . . . .	25
3.5	Software . . . . .	32
3.5.1	Sekvensdiagram . . . . .	32
<b>Kapitel 4</b>	<b>Implementering</b>	<b>33</b>
4.1	Indledning . . . . .	33
4.1.1	Formål . . . . .	33
4.1.2	Læsevejledning . . . . .	33
4.1.3	Versionshistorik . . . . .	33
4.2	Enhedstest . . . . .	34
4.2.1	E01-H1 . . . . .	34
4.2.2	E02-M1 . . . . .	36
4.2.3	E03-H2 . . . . .	38
4.2.4	E04-M1 . . . . .	40
4.2.5	E05-M2 . . . . .	41

4.2.6	E06-M3 . . . . .	42
4.2.7	E07-M4 . . . . .	45
4.2.8	E08-M4 . . . . .	47
4.2.9	E09-M4 . . . . .	49
4.2.10	E10-H3 . . . . .	51
4.2.11	E11-VI02G . . . . .	54
4.2.12	E12-VI01 <u>O</u> . . . . .	56
4.2.13	E13-VI02 <u>O</u> . . . . .	57
4.2.14	E14-VI04 <u>O</u> . . . . .	59
4.2.15	E15-VI05 <u>O</u> . . . . .	61
4.2.16	E16-VIHRVF <u>O</u> . . . . .	62
4.2.17	E17-VI07 <u>O</u> . . . . .	64
4.3	Integrationstest . . . . .	66
4.3.1	I01-H1/M1/VI02G/VI01 <u>O</u> . . . . .	66
4.3.2	I02-M1/VI01 . . . . .	69
4.3.3	I03-H1/M1/VI02G/VI02 <u>O</u> . . . . .	70
4.3.4	I04-H2/M1/VIO2G/VIO2 <u>O</u> . . . . .	73
4.3.5	I05-H2/M1/VI02G/VI02 <u>O</u> . . . . .	78
4.3.6	I06-H3/M4/VI05 <u>O</u> . . . . .	81
4.3.7	Bordtest nr. 6.1 - resonansfrekvens i tomt kammer . . . . .	84
4.3.8	Bordtest 6.2 - test med tre balloner med forskellig volumen . . . . .	88
<b>Kapitel 5</b>	<b>Find en plads til det her</b>	<b>90</b>
5.1	Bestemmelse af volumen af resonator . . . . .	90
5.1.1	Bestemmelse af volumen af resonator ekskl. halsvolumen . . . . .	90
5.2	Udregning af volumen . . . . .	90
<b>Litteratur</b>		<b>93</b>
Bilag A . . . . .	94	
Bilag B . . . . .	95	

# Kravspecifikation

1

## 1.1 Indledning

Dette kapitel indeholder kravspecifikationen for den akustiske brystvolumenmåler(BVM).

Kravspecifikation er udarbejdet i samarbejde med projektets kunde, Pavia Lumholt, specialege i plastikkirurgi. Kravspecifikationen er opbygget om FURPS+-modellen, som er en helhedsbetragtende teknik til definering af krav. F(functionality) definerer de funktionelle krav, og URPS+ (usability, reliability, performance, supportability og +) definerer de ikke-funktionelle krav. I denne kravspecifikation definerer +, designbegrænsninger. Kravspecifikationen er udarbejdet ud fra den konceptuelle brystvolumenmåler. Grundet test og udviklingsmæssige udfordringer er denne model ikke blevet realiseret. Beskrivelse af den konceptuelle brystvolumen er beskrevet i afsnit 1.2.1 Brystvolumenmålerens opbygning

### 1.1.1 Formål

Kravspecifikation definerer de funktionelle og ikke-funktionelle krav, og fungerer som en bindende kontrakt mellem producent og kunde.

### 1.1.2 Læsevejledning

Dokumentet indeholder en systembeskrivelse for den akustiske brystvolumenmåler (omtales herefter BVM). Systembeskrivelsen er en kort beskrivelse af BVM samt en illustration af måleren. De definerede krav er opdelt i funktionelle og ikke-funktionelle krav, og er beskrevet i de navnebeslægtede afsnit. Dokumentet indeholder ydermere en projektafgrænsning i form af MoSCoW-modellen samt et afsnit omhandlende projektets samarbejdspartnere.

### 1.1.3 Versionshistorik

#	Dato	Initialer	Beskrivelse
0.1	03.10.16	JH & JR	Sendt til review

## 1.2 Systembeskrivelse

Systembeskrivelsen er opdelt i en konceptuelt og aktuel beskrivelse. Denne systembeskrivelse tager udgangspunkt i den konceptuelle BVM. Beskrivelse vil derfor være af en detaljegrad der afspejler det konceptuelle niveau.

### 1.2.1 Den konceptuelle brystvolumenmåler

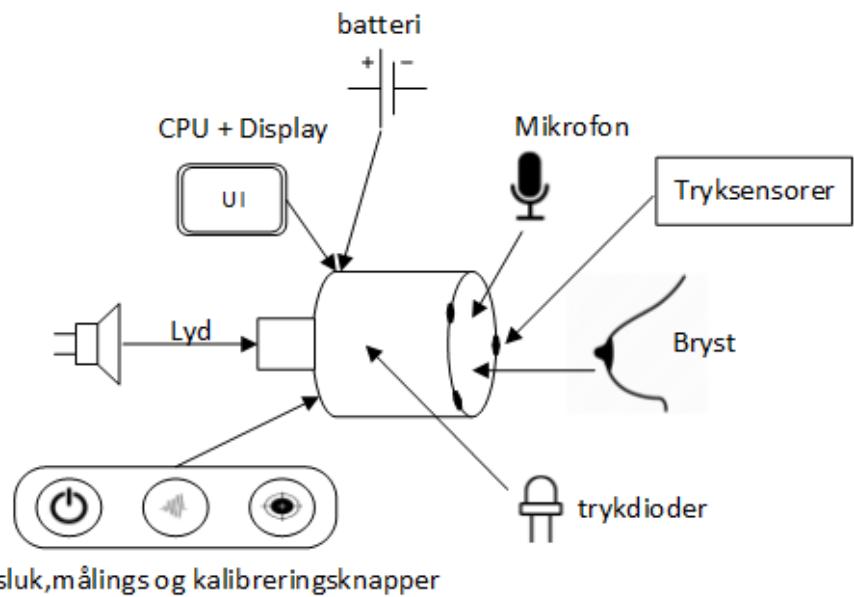
Den konceptuelle BVM er bygget op af en resonator med en størrelse hvorpå den kan omslutte en patients bryst. Resonatoren har påmonteret en højtalere som sender lyd ind i resonatorporten. Indeni resonatoren er monteret en mikrofon til at opsamle resonansfrekvensen. I resonatorkanten, som tilslutter til brystet, er der påsat tryksensorer til detektering af anlægstrykket. Resonatoren er yderligere monteret med en passende mængde dioder til angivelse af et korrekt anlægstryk. Dioderne er placeret så det er synlige for plastikkirurgen. Der er ydermere installeret en CPU til processering af data samt et display, med en størrelse, hvortil det er muligt at anvise progressbar for volumenmåling, det målte volumen samt relevante pictogrammer for procestilstanden. På resonatoren er der ligeledes påført tre knapper, en tænd-og sluk knap, målingsknap og en kalibreringsknap. Knappernes funktion er angivet med et pictogram til hver funktion. Et batteri er ligeledes tilkoblet så BVM bliver et trådløst device. Et overbliksbillede af de forskellige komponenter som ingår i den konceptuelle BVM findes i figur 1.1

### 1.2.2 Brystvolumenmåleren funktionalitet

Når en måling initialiseres med BVM'en afsendes en lyd fra højtalere ind i resonatoren. Mikrofonen indeni resonatoren opsamler den opståede Helmholtzresonans. Igennem en A/D konvertering udregnes udregner en algoritme størrelsen på brystvolumen.

### 1.2.3 Aktørbeskrivelse

Systemets primære aktør er en plastikkirurg, som bruger BMV'en når han ønsker et objektivt mål på et bryst. Det er udelukkende plastikkirurgen, der betjener BMV'en



Figur 1.1: Diagrammet er en visuel beskrivelse af den konceptuelle brystvolumenmåler

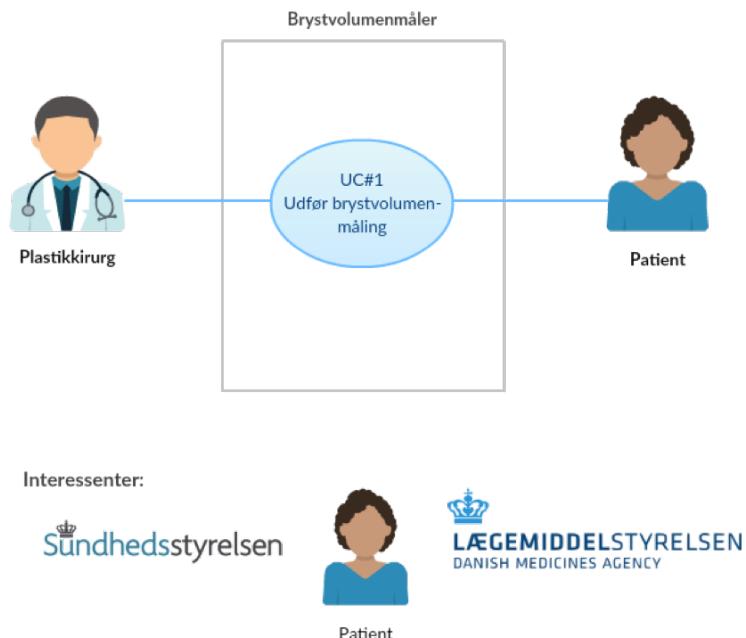
under en måling. Som sekundær aktør giver patient et input, sit bryst, til systemet.

### 1.3 Funktionelle krav

Dette afsnit beskriver de funktionelle krav, som er udarbejdet i samarbejde med Pavia Lumholt. Disse krav er præsenteret i et Use Case diagram samt i en Fully Dressed Use Case beskrivelse.

### 1.3.1 Use Case diagram

I Use Case diagrammet, figur 1.2, vises en Use Case for brugen af den akustiske brystvolumenmåler. På venstre side af Use Casen ses systemets primære aktør, og på højre side ses systemets sekundære aktør. Endvidere, vises systemets interesserter, nederst i diagrammet.



Figur 1.2: Use Case diagrammet viser et overblik over Use Cases samt involverede aktører.

### 1.3.2 Use Case 1 - Udfør brystvolumenmåling

Use Case 1: Udfør brystvolumenmåling	
<b>Use Case ID</b>	UC 1
<b>Primær aktør</b>	Plastikkirurg (PK)
<b>Sekundær aktør</b>	Patient
<b>Interessenter</b>	
<p>1. Patient: ønsker et objektivt mål, som bevis på overensstemmelse med købsaftale</p> <p>2. Sundhedsstyrelsen: ønsker et objektivt mål til vurdering af berettigelse til brystformindskende operation</p> <p>3. Lægemiddelstyrelsen: ønsker, at BVM er i overenstemmelse med EU-lovgivning for medicinsk udstyr</p>	
<b>Startbetegnelse</b>	<b>Slutbetegnelse</b>
BVM skal være tændt	BVM skal vise et mål for brystvolumen
<b>Normalforløb</b>	
<p>1. PK kalibrerer BVM i den tilhørende dockingstation</p> <p>2. PK placrerer BVM på patients blottede bryst</p> <p>3. PK kontrollerer, at patientens bryst er tætomsluttet af BVM</p> <p>4. PK kontrollerer, at BVM er placeret med et ensartet tryk på patientens bryst</p> <p>5. PK foretager en måling af brystvolumen ved at trykke på den dertilhørende knap</p> <p>6. BVM præsenterer målingen på et display, som PK aflæser</p> <p>7. BVM slukkes og rengøres</p>	
<b>Alternativt flow</b>	
<p>1. Manglende kalibrering</p> <p>(a) PK anbringer BVM i dockingstation</p> <p>(b) PK starter kalibrering ved at trykke på den dertilhørende knap</p> <p>(c) BVM meldes klar til brug</p>	
<b>Åbne problemstillinger</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hvordan ved PK, at BVM mangler at blive kalibreret?</li> <li>• Hvordan ved PK, at han påfører et ensartet tryk?</li> <li>• Hvordan ved PK, at patientens bryst er tætomsluttet af BVM?</li> <li>• Hvordan ved PK, at måling er foretaget?</li> </ul>	

Det alternative flow i UC1 er medtaget, som et eksempel på anvendelsen heraf. Det er ikke muligt at fremlægge et specificeret alternativ flow da kendskabet til den

endelige prototype ikke er indegående. Det alternative flow må derfor betragtes, som et eksempel på håndteringen af Use Case-beskrivelsen.

## 1.4 Ikke-funktionelle krav

### 1.4.1 Usability krav

Krav nr.	Krav	Kriterie	Baggrund for krav
UK1	Volumen angives i afrundet milliliter [ml]	ml anføres efter talværdi, <i>ex. 300 ml</i>	Standard inden for plastikkirurgi
UK2	Volumenangivelse skal kunne aflæses på en afstand af 50 cm.	Talværdi angives i digital talform med en højde på 1 cm.	Tænkt arbejdssituations
UK3	Der anvendes pikogrammer til visualisering af processtatus	Der anvendes udelukkende visuelt symbolik	Ingen sprogbarriere

### 1.4.2 Reliability krav

Krav nr.	Krav	Kriterie	Baggrund for krav
RK1	Volumenangivelse skal have høj nøjagtighed	+/- 10 ml.	Kundekrav
RK2	Volumenangivelse skal have stor præcision	Afvigelse på 1% af $f_b$	Kundekrav
RK3	Volumenangivelse skal afrundes til nærmeste hele tal	Volumenangivelse findes ikke som decimaltal på UI	Kundekrav
RK4	Hyppighed af fejltilstand	Der må forekomme fejl ved hver 1000. måling	Tænkt arbejdssituations
RK5	Straksafhandling af fejltilstand	Varighed af fejlløsning må være højst 2 minutter	Tænkt arbejdssituations

### 1.4.3 Performance krav

Krav nr.	Krav	Kriterie	Baggrund for krav
PK1	Måling skal foretages hurtigt	Målingen skal være foretaget inden for 10 sekunder	Kundekrav
PK2	Lydniveau må ikke være skadeligt for aktører	Lydniveau skal være mindre end 75 dB	Anbefaling fra Sundhedsstyrelsen

#### 1.4.4 Supportability krav

Krav nr.	Krav	Kriterie	Baggrund for krav
SK1	Produktmateriale skal tåle rengøring	Skal tåle rengøring med sprit	Tænkt arbejdssituations
SK2	UI skal tåle rengøring	Skal tåle rengøring med sprit	Tænkt arbejdssituations

Ved en realisering af den konceptuelle BVM ville der endvidere i dette afsnit være listet krav til softwarearkitektur samt softlovgivning jvf. MDD/93/42/EEC.

#### 1.4.5 Design krav

Krav nr.	Krav	Kriterie	Baggrund for krav
DK1	Skal være intuitiv at anvende	Funktioner skal være af standardiseret design	Organisatoriske og økonomiske overvejelser
DK2	Skal kunne anvendes på forskellige bryststørrelser og -former	Skal kunne anvendes på 90% af tilfældigt udvalgte kvinder	Tænkt arbejdssituations
DK3	Må ikke give gener under måling	Resonatoråbning må ikke forvolde skader på huden	Etiske overvejelser
DK4	Må ikke forårsage arbejdsskader	Skal være ergonomisk at anvende	Arbejdsmiljømæssige overvejelser
DK5	Design skal være trådløst	Ingen eksterne tilkoblinger med kabler	Kundekrav
DK6	Design skal overholde klassificering Im i hht. MDD 93/42/EEC	Dokumentation skal foreligge	Godkendelse af medicinsk udstyr

### 1.5 Projektafgrænsning

MoSCoW-modellen er en prioriteringsmetode, som anvendes til afgrænsning af projektet. Modellen beskriver, hvilke dele og krav i projektet, som skal opfyldes (**Must**), bør opfyldes (**Should**), kan opfyldes (**Could**) og ikke vil opfyldes (**Would not have**). Således gives en struktureret oversigt over, hvilke krav, der er vigtigst at få opfyldt inden for den givne tidsramme, og endvidere, hvilke krav, som efterfølgende med fordel kan implementeres, hvis tidsramme tillader det. Figur 1.3 viser, hvordan de enkelte dele og krav i projektet prioriteres i henhold til MoSCoW-metoden.

### Must have

En prototype, som:

- genererer lyd og opfanger den reflekterede lyd i en resonator
- ved brug af resonansfrekvens, bestemmer volumen af et specifiseret fantom
- præsenterer måling på et UI

Test af:

- nøjagtighed og præcision

Dokumentation for:

- søgning, analyse og vurdering af ny viden indenfor Helmholtz resonans teori og eksisterende løsninger
- databehandling og testresultater af nøjagtighed og præcision
- lovgivningsmæssige krav for medicinsk udstyr, gældende for prototypen
- risikovurdering af prototypen

### Should have

En prototype, som:

- er håndholdtog trådløs
- har et integreret UI

Test af:

- brystfantomer i forskellige størrelser, former og materialer
- linearitet
- betydningen for temperatur- og luftfugtighedsforhold

Dokumentation for:

- databehandling og testresultater af linearitet ved forskellige brystfantomer
- databehandling og testresultater af betydningen for temperatur- og luftfugtighedsforhold mhp. nødvendighed for kalibrering
- analyse af anvendelsesmuligheder i forhold til ammemonitorering

### Could have

En prototype, som:

- signalerer ved et ensartet anlægstryk

Test af:

- betydning for tætheden af resonatorens kantafgrænsning
- betydningen for resonatorens udformning og størrelse

Dokumentation for:

- databehandling og testresultater af betydning for tætheden af resonatorens kantafgrænsning
- databehandling og testresultater af betydning for resonatorens udformning og størrelse

### Would not have

En prototype, som:

- ved brug af algoritme, selv afbryder ved stabil måling

## 1.6 Samarbejdspartnere

Kravspecifikationen er udarbejdet gennem et samarbejde med flere parter. Først og fremmest er projektets kravspecifikation til den endelige prototype specificeret i et samarbejde med projektets kunde, speciallæge i plastikkirurgi, Pavia Lumholt. Derudover er projektet tilknyttet en vejleder, lektor Samuel Alberg Thrysøe, med speciale i signalbehandling, som vejleder ved eventuelle problemstillinger. Endvidere indgår eksterne konsulenter, som reviewer's på indholdet af kravspecifikationen.

# **Dokumentation af accepttest 2**

---

## **2.1 Indledning**

Dette kapitel indeholder dokumentation for udarbejdelsen af accepttesten, som er et værktøj til at validere de specificerede krav fra €.

### **2.1.1 Formål**

### **2.1.2 Læsevejledning**

### **2.1.3 Versionshistorik**

## **2.2 Accepttest-protokol**

Denne protokol beskriver alle de forhold og forudsætninger, som skal være opfyldt for at kunne udføre accepttest af den akustiske brystvolumenmåler.

### **2.2.1 Formål**

Formålet med denne protokol er at specificere accepttest-aktiviteterne gældnede for brystvolumenmåleren.

### **2.2.2 Referencer**

€€ Eksempelvis UC#1

### **2.2.3 Forkortelser**

€€

### 2.2.4 Ansvar

Ved underskrift på protokollen bekrafter:

Kunde - Projektansvarlig

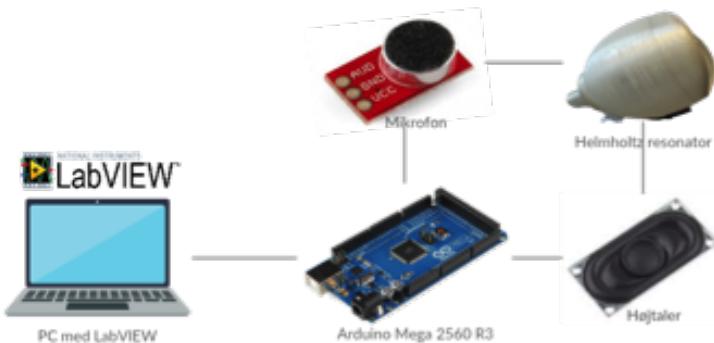
- at indholdet er komplet og entydigt
- at det tekniske indhold og metoder er i orden og dækkende for de planlagte tests
- at den projektansvarlige er enig i omfang, metode og acceptkriterier

Udviklere - Projektansvarlige

- at det tekniske indhold og metoder er i orden og dækkende for de planlagte tests

### 2.2.5 Udstyrsbeskrivelse

Den akustiske brystvolumenmåler består af en Helmholtz resonator, hvor der er påmonteret en højttaler og en mikrofon. Højttaleren og mikrofonen er koblet til en Arduino Mega 2560 R3. Arduino'en er koblet til en PC, hvor der skrives til Arduino i LabVIEW. Brystvolumenmåleren benyttes af en plastikkirurg, som bruger BMV'en når han ønsker et objektivt volumenmål på et bryst. Når en måling initialiseres med BVM'en afsendes en lyd i resonatoren via højttaleren. Mikrofonen på resonatoren opsamler den reflekterede lyd, og udfra den reflekterede lyd, udregner en algoritme størrelsen på brystvolumen.



Figur 2.1: Beskrivelse af systemets komponenter €€€€

### 2.2.6 Acceptkriterier

Acceptkriterierne er afledt af de forhold, der er specifiseret i Kravspecifikationen, kapitel 1. Acceptkriterierne er specifiseret i de enkelte testskemaer.

### 2.2.7 Metode

Dette afsnit specificerer de retningslinjer, hvorefter accepttesten skal afvikles.

#### Dokumentsammenhæng

Illustreres €€ Indsæt oversigt, med inspiration fra s. 204

#### Gennelige krav

Afviklingen af accepttesten skal overholde følgende nøglekrav:

- *Protokollen skal være godkendt, før aktiviteter udføres*
- *Afvigelser skal registreres og rettelser udføres*
- *Dataindsamling og registreringer skal udføres i overenstemmelse med »god testpraksis«*
- *Data skal granskes for rigtighed og fuldstændighed*
- *Accepttesten skal udarbejdes og godkendes, som bevis på den gennemførte accepttest*

#### Acceptkriterier

Dette afsnit beskriver, hvordan testskemaerne specifikt skal udfyldes.

- *Alle krav skal opfylde de specificerede acceptkriterier i hvert enkelte testskema.*
- *De aktuelle observationer skal svare til de forventede observationer*
- *I »Godkendt«-kolonnen skrives »Ja«, hvis acceptkriteriet er overholdt.*
- *I »Godkendt«-kolonnen skrives »Nej« samt afvigelsesnummer, hvis acceptkriteriet ikke er overholdt.*
- *Kolonnen »Init./Dato« skal udfyldes ved hver udførsel af test*

€€€€ Husk at skrive at da vi ikke kører accepttesten, vil der ikke være udarbejdede afvigelsesskemaer

#### Afvigelseshåndtering

Afvigelser registreres under udførslen af accepttesten og dokumenteres ved udarbejdelse af afvigelsesbilag, hvor følgende punkter opfyldes:

- a) *Afvigelse og årsag til afvigelsen beskrives*
- b) *Aktion for opfyldelse af acceptkriterier angives*
- c) *Resultat af gennemført aktion dokumenteres*

### Afslutning af accepttest-aktiviteter

Ved afslutningen af accepttest-aktiviteterne, udarbejdes en accepttest-rapport. Denne rapport lukker accepttest-aktiviteterne, og fungerer som bevis for, at den gennemførte test af brystvolumenmåleren, er afsluttet med et tilfredsstillende resultat.

Accepttest-rapporten omhandler følgende punkter:

- *Konklusion på den gennemførte accepttest*
- *Kopi af godkendt protokol*
- *Afvigelsesblad med korrektive actioner*
- *Udfyldte testskemaer*

### 2.2.8 Oversigt over testdokumenter

€€ Her angives de specifikke testdokumenter i en tabel. Obs, på eventuelle referencer til kravspec.

### 2.2.9 Forudsætning for udførelse af accepttest

€€ Hvad forudsætter afgørelsen for igangsættelse af accepttest / når det og det er opfyldt, startes accepttest

## 2.3 Accepttest

### 2.3.1 Funktionelle krav

#### Use Case 1

**Test Case:** normalforløb

**Testforberedelse:** BVM skal være tændt. BVM skal være tændt. Dockingstation til kalibrering skal være tilgængelig. Ved brug af dockingsstation kendes volumen af tom resonator.

<b>Krav nr.</b>	UC1.1
<b>Acceptkriterie</b>	BVM er kalibreret
<b>Testmetode</b>	Der trykkes på <i>Kalibrér</i> og UI viser <i>Kalibrering ok</i>
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

<b>Krav nr.</b>	UC1.2-3
<b>Acceptkriterie</b>	Patientens bryst er omsluttet af BVM
<b>Testmetode</b>	Der observeres efter luftlommer mellem BVM og hud
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

<b>Krav nr.</b>	UC1.4
<b>Acceptkriterie</b>	BVM er placeret med et ensartet anlægstryk
<b>Testmetode</b>	Der påføres en kontinuert tryk indtil alle trykdioder på BVM lyser grøn.
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

<b>Krav nr.</b>	UC1.5-6
<b>Acceptkriterie</b>	Der er foretaget en måling
<b>Testmetode</b>	Der trykkes på <i>M</i> og en progressbar angiver målingsstatus. Volumen angives på UI når måling er foretaget.
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

<b>Krav nr.</b>	UC1.7
<b>Acceptkriterie</b>	BVM slukkes
<b>Testmetode</b>	Der trykkes på <i>O/I</i>
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

**Test Case:** alternativ flow

**Testforberedelse:** BVM skal være tændt. Dockingstation til kalibrering skal være tilgængelig. Ved brug af dockingsstation kendes volumen af tom resonator.

<b>Krav nr.</b>	UC1.A1
<b>Scenarie</b>	BVM melder fejl
<b>Acceptkriterie</b>	BVM melder klar til måling
<b>Testmetode</b>	Kalibrering af BVM
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

### 2.3.2 Ikke-funktionelle krav

**Test af usability krav**

<b>Krav nr.</b>	UK1
<b>Acceptkriterie</b>	ml. anføres efter talværdi
<b>Testmetode</b>	UC1.5-6 følges. Det aflæses på UI om talværdi er angivet i ml.
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

<b>Krav nr.</b>	UK2
<b>Acceptkriterie</b>	Talværdi angives i digital talform med en højde på 1 cm.
<b>Testmetode</b>	UC1.5-6 følges. Det observeres på UI om talværdi er angivet i digital form og skriftstørrelse måles
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

<b>Krav nr.</b>	UK3
<b>Acceptkriterie</b>	Der anvendes pictogrammer til visualisering af processtatus på UI
<b>Testmetode</b>	Usabilitytest på min. 15 plastikkirurger med forskellig national baggrund
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

### Test af reliability krav

<b>Krav nr.</b>	RK1
<b>Acceptkriterie</b>	Nøjagtighed på +/- 10 ml.
<b>Testmetode</b>	En testserie på 1000 volumenmålinger genereres hvorpå nøjagtighed udregnes
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

<b>Krav nr.</b>	RK2
<b>Acceptkriterie</b>	Afvigelse af præcision på højest 1% af $f_b$
<b>Testmetode</b>	En testserie på 1000 målinger af $f_b$ genereres hvorpå præcision udregnes
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

<b>Krav nr.</b>	RK3
<b>Acceptkriterie</b>	Volumenangivelse skal afrundes til nærmeste hele tal
<b>Testmetode</b>	UC1.5-6 følges og det kontrolleres at volumen ikke er angivet som decimaltal
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

<b>Krav nr.</b>	RK4
<b>Acceptkriterie</b>	Der må forekomme fejl ved hver 1000. måling
<b>Testmetode</b>	En testserie på 1000 volumenmålinger generes hvorpå eventuelle fejl registreres
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

<b>Krav nr.</b>	RK5
<b>Acceptkriterie</b>	Varighed af fejlløsning må vare højst 2 minutter
<b>Testmetode</b>	UC1.A1 følges og varighed registreres
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

### Test af performance krav

<b>Krav nr.</b>	PK1
<b>Acceptkriterie</b>	Måling skal være foretaget inden for 10 sekunder
<b>Testmetode</b>	UC1 følges og varighed registreres
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

<b>Krav nr.</b>	PK2
<b>Acceptkriterie</b>	Lydniveau ved måling skal være mindre end 75 dB målt med standiseret målemetode(kilde <del>€€€€</del> )
<b>Testmetode</b>	UC1 følges og lydniveau registreres med lydmåler
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

**Test af supportability krav**

<b>Krav nr.</b>	SK1
<b>Acceptkriterie</b>	Produktmateriale skal tåle rengøring med sprit
<b>Testmetode</b>	Materiale rengøres med sprit 100 gange og kontrolleres for skader
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

<b>Krav nr.</b>	SK2
<b>Acceptkriterie</b>	UI skal tåle rengøring med sprit
<b>Testmetode</b>	UI rengøres med sprit 100 gange og kontrolleres for skader
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

**Test af design krav**

<b>Krav nr.</b>	DK1
<b>Acceptkriterie</b>	Skal kunne anvendes uden brugermanual
<b>Testmetode</b>	Minimum tyve plastikkirurger skal, uden kendskab til brugermanual, intuitivt anvende BVM
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

DK1 kan også anses for at være et usabilitykrav og kan testes iht. ANSI/AAMI HE75:20097/(R)2013(ref€€€€)

<b>Krav nr.</b>	DK2
<b>Acceptkriterie</b>	Anvendes på 90% af tilfældigt udvalgte kvinder
<b>Testmetode</b>	Ud af en testpopulation på 100 kvinder, må der findes 10 kvinder som BVM ikke kan anvendes på
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

<b>Krav nr.</b>	DK3
<b>Acceptkriterie</b>	Må ikke giver gener under måling
<b>Testmetode</b>	Ergoterapeut godkender udformning
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

<b>Krav nr.</b>	DK4
<b>Acceptkriterie</b>	Arbejdsstilling skal være ergonomisk korrekt
<b>Testmetode</b>	Ergoterapeut godkender arbejdsstilling
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

<b>Krav nr.</b>	DK5
<b>Acceptkriterie</b>	Ingen eksterne tilkoblinger med kabler
<b>Testmetode</b>	Det kontrolleres, at der ikke er monteret kabler fra eksterne enheder
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

<b>Krav nr.</b>	DK6
<b>Acceptkriterie</b>	Dokumentation for overensstemmelse med klassificering Im i hht. MDD 93/42/EEC
<b>Testmetode</b>	CE-certificering for de metrologiske aspekter er underskrevet af bemyndiget organ
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

# Design 3

---

## 3.1 Indledning

Dette dokument beskriver systemets design og systemarkitektur. Dokumentet er en generel præsentation og beskrivelse af systemet, herunder hvorledes brystvolumenmåleren er opbygget, hardware- og softwaremæssigt.

Grundet manglende kendskab til Helmholtz' resonanstteori i forbindelse med brystvolumenmåling, er opbygning af systemets HW og SW udviklet på baggrund af testerfaringer og ved at konferere med fagfolk; herunder Tore A. Skogberg og Lars G. Johansen, lektorer i akustik ved Ingenørhøjskolen, Aarhus Universitet. Derudover er der ud fra en systematisk literatursøgning fundet en begrænset mængde videnskabelig litteratur omhandlende Helmholtz' resonanstteori i forbindelse med voluminer af objekter.

## 3.2 Udviklingsværktøjer

Selve softwaren til systemet udvikles i LabVIEW, version 14.0. Følgende tilføjelsespakker er anvendt:

- NI VISA 15.0.1
- VI Package Manager
- ARDUINO 1.6.12
- LabVIEW2014-NI-DAQmx-14

Disse pakker anvendes til at interagere med Arduino Mega 2560 R3 samt Multifunction Data Acquisition (DAQ) USB-6009.

### 3.2.1 Microsoft Visio

Microsoft Visio er et tegneprogram, som anvendes til at illustrere udviklingsdiagrammer.

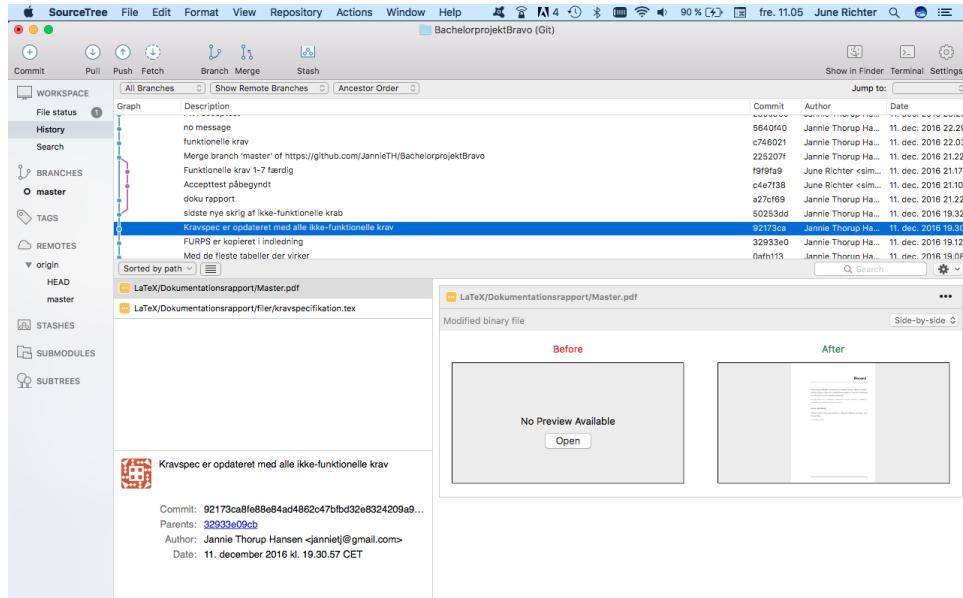
### 3.2.2 Creately

Creately er et webbaseret tegneprogram, som anvendes til at illustrere diagrammer og modeller.

## 3.3 Versionsstyring

### 3.3.1 GitHub

GitHub er et versionsstyringsprogram, som i projektet anvendes til versionsstyring af dokumenter og LabVIEW-kode. GitHub bygger på open source versionsstyrings-systemet Git, hvor der løbende opdateres ændringer, så det nyeste dokumentation og LabVIEW-kode altid er tilgængeligt. SourceTree er anvendt som user interface til GitHub-funktionerne. I SourceTree vises et overblik over ændringer, og under de enkelte filer, kan det observeres, hvad der er ændret i den pågældende version. Samtidig knyttes der en kommentar ved hvert commit / ændring. Dette fremgår af figur 3.1.



Figur 3.1: SourceTree viser overblik over ændringer i enkelte filer

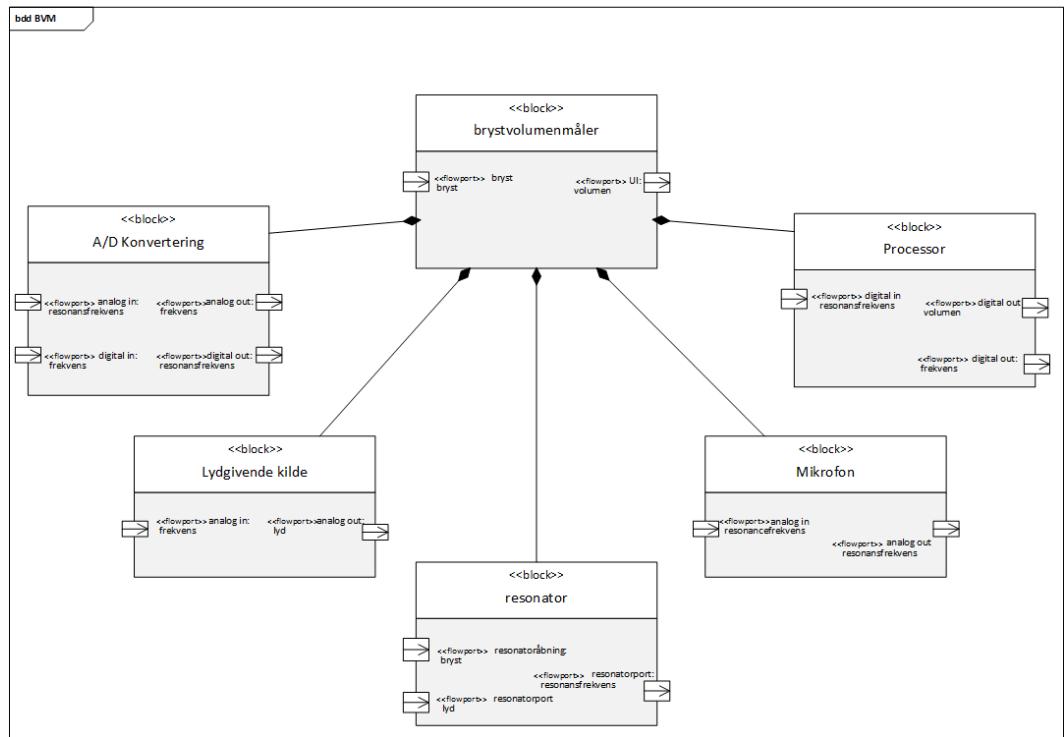
## 3.4 Hardware

Dette afsnit dokumenterer hardwaren i systemet *Brystvolumenmåler*, og indeholder dermed beskrivelser af systemets fysiske dele samt deres funktionalitet. Beskrivelserne er udarbejdet ud fra et begrænset kendskab til Helmholtz' resonanstteori i forbindelse med brystvolumenmåling. Disse beskrivelser der derfor anvendt som udgangs-

punkt for et indledende design, som kan anvendes til at teste frem mod erfaringer omkring hardwareudvælgelse. De fysiske deles specifikationer er derfor ikke uddybet i dette dokument, og begrundelser og argumenter for, hvorfor de brugte komponenter er valgt, er baseret på testerfaringer.

### 3.4.1 Block Definition Diagram

Der er udarbejdet et Block Definition Diagram (BDD), som fremgår af figur 3.2, til at danne et overordnet overblik over de indgående fysiske dele. Systemet *Brystvolumenmåler* indeholder fem fysiske blokke, hhv. A/D-konvertering, en lydgivende kilde, en resonator, en lydopfanger samt et processeringselement. Flow portene beskriver, hvad der kan gå gennem blokken (ind og/eller ud).

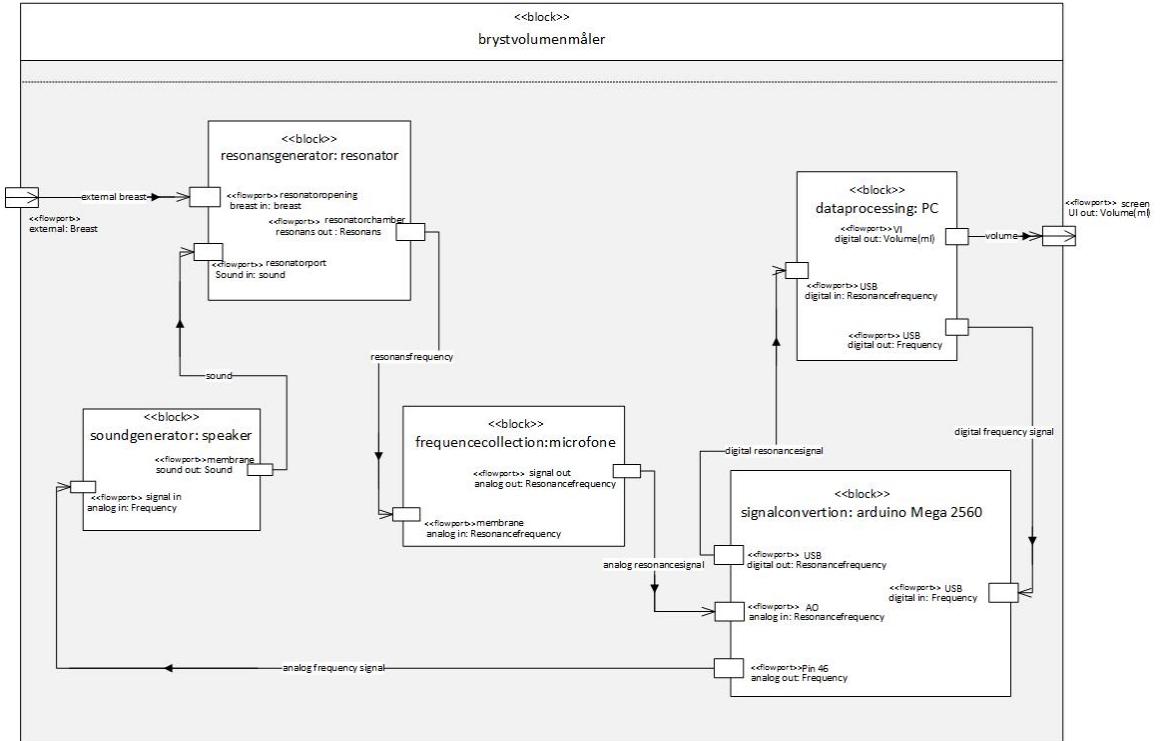


Figur 3.2: BDD over HW-komponenter i systemet *Brystvolumenmåler*

### 3.4.2 Internal Block Diagram

Der er udarbejdet et internal block diagram (IBD), som fremgår af figur 3.3. IBD'et anvendes til at give en mere konkret beskrivelse af, hvordan de forskellige komponenter interagerer med hinanden. Diagrammet anvendes til at definere, hvilke signaltyper systemet skal indeholde, for at sikre kommunikation mellem interne dele.

I tabel 3.1 fremgår en oversigt over hvilke funktioner samt signaler den enkelte blokke indeholder.

Figur 3.3: IBD over HW-komponenter i systemet *Brystvolumenmåler*

Tabel 3.1: Oversigt over de enkelte blokkes funktioner og signaltyper

Bloknavn	Funktionsbeskrivelse	Signaltype
Speaker	udsender lyd	frekvenssignal
Resonator	tilbagekaster lyd	resonansfrekvens
Microphone	opfanger reflekteret lyd	frekvenssignal
Arduino	A/D konvertering	frekvenssignal og resonansfrekvens
Dataprocessering	behandling af data	frekvenssignal og resonansfrekvens

### 3.4.3 Bestemmelse af hardware

Udvælgelsen af hardware er, som nævnt, sket på baggrund af testerfaringer samt ved at konferere med fagfolk. Selve udvælgelsen er dermed en proces, som er kørt sideløbende med selve testprocessen i implementeringsfasen. I tabel 3.2 fremgår en oversigt over det anvendte hardware.

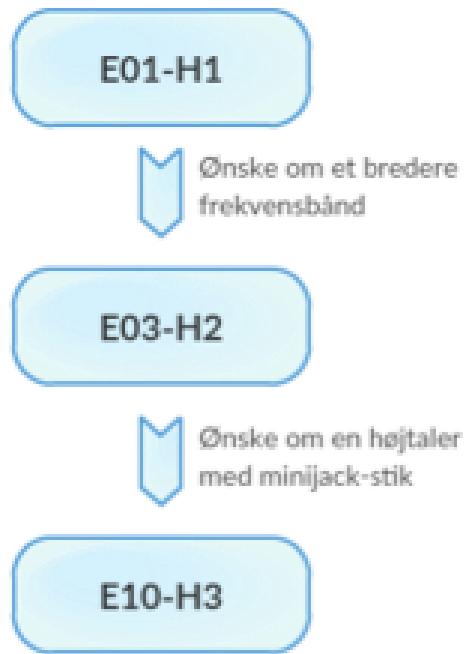
#### Valg af højtalere

Udvælgelsesprocessen af højtaleren fremgår af figur 3.4. I diagrammet definerer  $E\#$ , i hvilken enhedstest den pågældende komponent er testet. Endvidere fremgår en kort beskrivelse af årsagen til erstatningen for komponenten. Altså blev H1 erstattet med H2 da der opstod et behov for et bredere frekvensbånd i det udsendte lydsignal. Endvidere blev H2 erstattet med H3, som et resultatet af en problematik vedr.

Tabel 3.2: Oversigt over det anvendte hardware

Funktion	ID	Navn
Højtalere	H1	ASB-224-RC
	H2	Wide Band 2.5" SB65WBAC25-4
	H3	Multimedia USB Speaker HP-1800
Resonator	res1	Tryksprøjte NSG 150 - Neptun (modificeret)
Mikrofon	M1	Minijack PC Mikrofon
	M2	Logitech HD WEBCAM C270
	M3	Electret Microphone BOB12758
	M4	Electret Microphone Amplifier MAX4466
A/D konverter	C1	Arduino Mega 2560
	C2	Multifunction Data Acquisition (DAQ) USB-6009
Dataprocesser	D1	NI LabVIEW 2014

opfyldelse af Nyquists samplingsteori, hvorefter højtaleren måtte være en ekstern del af systemet. Det medførte et behov for en højtalere med et bredt frekvensbånd samt et minijack stik.



Figur 3.4: Flowdiagram over de udførte enhedstests af lydgivende kilder. E# definerer, i hvilken enhedstest den pågældende komponent er testet

### Valg af resonator

Da en resonator skulle vælges, blev det besluttet at finde en flaske af hårdt plast. I et byggemarked blev en tryksprøjte fundet. Tryksprøjten er af hårdt plast således

den ikke svinger med og transmittering af lyden undgåes. Selve trykmodulet kunne afmonteres, og på Prototypeværkstedet, Ingeniørhøjskolen Aarhus Universitet, blev bundet savet af i et lige snit. Tryksprøjten kunne derefter anvendes som en resonator (res1).



Figur 3.5: Tryksprøjte NSG 150 - Neptun



Figur 3.6: Resonator (res1)

### Valg af mikrofon

Udvælgelsesprocessen af mikrofonen fremgår af figur 3.7. I diagrammet definerer  $E\#$ , i hvilken enhedstest den pågældende komponent er testet. Endvidere fremgår en kort beskrivelse af årsagen til erstatningen for komponenten.

Under udførslen af integrationstest I05, blev det observeret, at resultatet i VI'et `optagefrekvenssignal02.vi` blev opfanget af PC'ens indbyggede mikrofon og ikke minijack PC mikrofonen (M1). Der opstod en mistanke om problemet da der med en kritisk tilgang blev reflekteret over de *for pæne* resultater - altså var resultaterne ens uanset M1's placering indeni samt uden for resonatoren. Der blev derefter testet ved at udtagte M1 fra PC'en, hvorefter resultaterne stadig var ens. Dette medvirkede til en ny enhedstest, E04-M1, hvor M1 blev placeret i et andet rum med en lukket branddør imellem. Da der ikke blev opfanget et signal i LabVIEW fra M1 blev det konstateret, at M1 ikke var aktiv. Årsagen til problemstillingen skyldes, at M1 har et 3-pols stik, og derfor mangler en pol til lyd input. PC'en

indlæser derfor M1 som en højtaler, og forsøger dermed at udsende lyd gennem mikrofonen. Løsningen på denne problemstilling er at anvende en mikrofon med 4-pols stik, en adapter eller en mikrofon med USB-stik. Det blev forsøgt at optage lyd med et headset med indbygget mikrofon, som har et 4-pols minijack stik. Headsettet blev indlæst på PC'en, som et headset, og derfor var det ikke muligt at vælge headsetmikrofonen som lydkilde under PC'ens konfigurationsindstillinger. Det var heller ikke muligt at få forbindelse til mikrofonen gennem LabView. Konklusionen på denne problemstilling er, at der må sidde et 3-pols minijack hun stik i PC'en. Der er foretaget en internetsøgning på indholdet af stik i en Macbook Pro 2009 model for at understøtte denne konklusion. Det lykkedes ikke at finde specifikationer som klart udspecifierer hvilket hun minijackstik, der er indbygget i omhandlende PC. Det vælges at gå videre til test med et USB-webkamera med indbygget mikrofon (M2) da dette kan være en hurtig løsning af problemstillingen. M2 blev koblet til computeren og under konfigurationsindstillingerne på PC'en var det nu muligt at vælge M2 som lydopfanger. Samtidig blev andre lydkilder i PC'en fravalgt, og der blev nu forsøgt at optage en lyd i LabVIEW i enhedstest E05-M2. Det blev konkluderet, at det er muligt at anvende en mikrofon med USB stik til indlæsning af lydsignaler i LabView. Med denne nye viden til rådighed, blev det undersøgt om det er muligt at anvende en adapter, så M1 kunne tilsluttes. Det lykkedes at finde en adapter med den ønskede funktion, dog med nogle dages leveringstid. Leveringstiden blev opvejet mod at tilslutte en electret breakout board microphone (M3) til en Arduino Mega 2560 og opsætte et program i LabVIEW til dette. Det blev vurderet, at arbejdsomfanget af M3 var minimalt og opvejede ventetiden. Sidenhen blev M3 dog erstattet af M4 da der opstod et behov for et brede frekvensbånd.

### **Valg af A/D konverter**

I forbindelse med det indledende design, blev Arduino Mega 2560 (C1) valgt frem for DAQ (C2) grundet økonomiske omstændigheder. Dog blev det hurtigt konstateret, at C1 forårsagede uhensigtsmæssige udfordringer i forbindelse med frekvenssignalet, idet det kun er muligt at generere et firkantsignal igennem LINX MakerHub i LabVIEW. Det ønskede resultat var grundtonens frekvens, men i stedet blev firkantssignalets harmoniske overtoner opfanget som maksimum frekvens i FFT-funktionen i LabVIEW (integrationstest I04). Efter samtale med lektor Tore Arne Skogberg, blev det påpeget, at det burde være muligt at måle brystvolumen

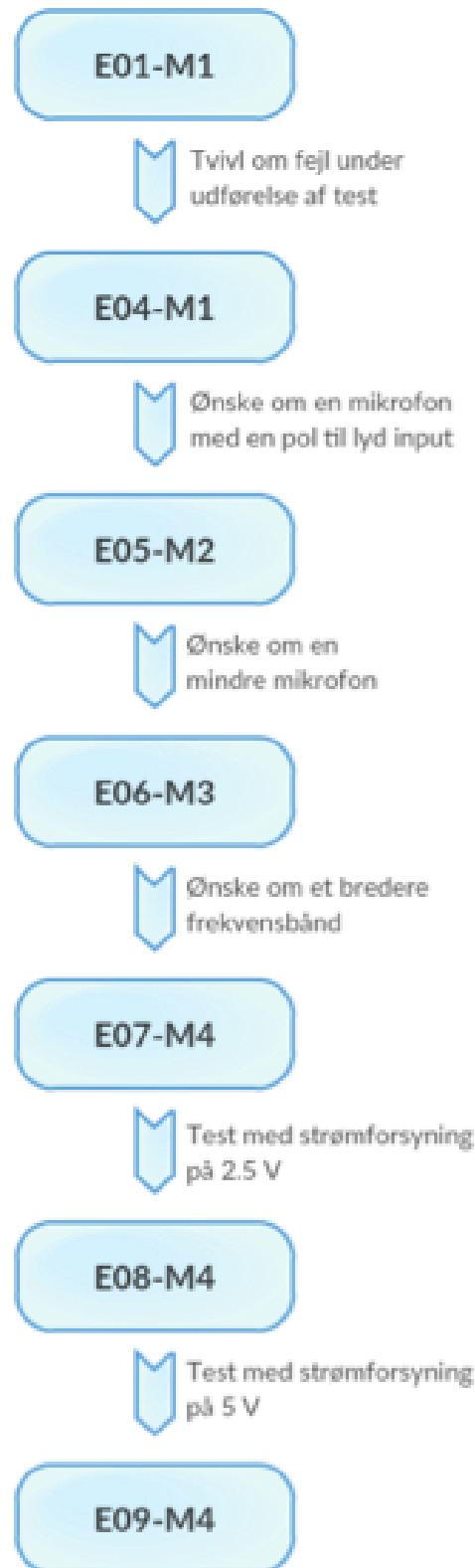
med firkantsignaler. De harmoniske overtoner kunne muligvis dæmpes ved hjælp af resonatoren da denne har funktion som et lavpasfilter, og dette skulle hermed testes som en løsning til denne problemstilling. Således blev det besluttet at arbejde videre med C1 da de økonomiske fordele stadig talte for. Der opstod endvidere en udfordring forårsaget af C1's begrænsede ydeevne. C1's højeste Loop Rate ligger på omkring 122Hz. I og med, at den daværende valgte højtaler, H1, er egnet til et frekvensområde fra 100 Hz op til 2 kHz vil der ikke kunne genereres et frekvenssignal, som er muligt at opfange. For at få en korrekt digital repræsentation af det analoge signal, skal der minimum samples med det dobblete af indgangssignalet. Således vil det indsendte signal være begrænset til maksimalt 50 Hz, for at undgå aliasering jv. Nyquists samplingsteori. Til sidst blev det konkluderet, at udfordringerne ikke blev opvejet af de økonomiske fordele, og det blev derfor besluttet at udskifte C1 til C2 da der kan samples med en højere frekvens, og samtidig anvendes sinussignal for at undgå udfordringer med harmoniske overtoner.

Sidenhen blev det erfaret, at udviklingen af et VI til at generere en lyd gennem C2 til højtaleren H3 var mere udfordrende en først antaget. Der blev fundet flere guides på [www.NI.com](http://www.NI.com) til at løse problemstillingen, og koden dertil fandtes meget simpel. Disse guides blev brugt til at bygge VI'et `generefrekvenssignal04.vi`, men der opstod fejl i forbindelse med opsætning af DAQ Assistant-modulet. Dette blev løst ved at vælge *Generation mode* til *1 sample(on Demand)* og *Signal output range min* til 0. Løsningen blev fundet ved brug af *trail and error* metoden sammen med vejleder. Der opstod herefter en ny fejl med kørslen af VI'et. Under fejlsøgning af denne problemstilling blev det opdaget at C2 har en maksimal samplingsrate på 150 Hz. Fejlsøgning blev afbrudt da denne nye viden satte udviklingen af VI'et i et nyt perspektiv. Med brug af C2 vil der kunne generes et maksimalt signal på 75Hz, når Nyquists samplingsteori opfyldes. I udviklingen af prototypen ønskes det, at kunne generere et bredt frekvensbånd fra 100 Hz op til 1000 Hz. Højtaleren H3's begrænsede frekvensspektrum fra 100 Hz til 2 kHz gør det ikke muligt at anvende C2 sammen med H3. På denne baggrund blev det besluttet ikke at anvende C2 til lydgenerering gennem H3 i det videre projektforløb.

### Valg af dataprocessering

LabVIEW blev valgt som databehandlingsprogram, da det på kort tid er muligt at producere og videreudvikle på et brugerdefineret program, som interagerer med

real-world data og signaler.



Figur 3.7: Flowdiagram over de udførte enhedstests af lydopfangende kilder. E# definerer, i hvilken enhedstest den pågældende komponent er testet

## 3.5 Software

### 3.5.1 Sekvensdiagram

# Implementering 4

## 4.1 Indledning

#### 4.1.1 Formål

#### 4.1.2 Læsevejledning

€ Her indsættes beskrivelse samt oversigt at navngivning til tests (i en smuk tabel)

#### 4.1.3 Versionshistorik

Tabel 4.1: Tabeloversigt over udførte enhedstests 2

Test-ID	Emne	ID: navn
E01-H1	Højtalere	H1: ABS-224-RC
E02-M1	Mikrofon	M1: Minijack PC Mikrofon
E03-H2	Højtalere	H2: Wide Band 2,5" SB65WBAC25-4
E04-M1	Mikrofon	M1: Minijack PC Mikrofon (udvidet test)
E05-M2	Mikrofon	M2: Logitech HD WEBCAM C270
E06-M3	Mikrofon	M3: Electret Microphone BOB12758
E07-M4	Mikrofon	M4: Electret Microphone Amplifier MAX4466 (2.5 V strømforsyning)
E08-M4	Mikrofon	M4: Electret Microphone Amplifier MAX4466 (5 V strømforsyning)
E09-M4	Mikrofon	M4: Electret Microphone Amplifier MAX4466 (frekvensbånd)
E10-H3	Højtalere	H3: Multimedia USB Speaker HP-1800
E11-VI02G	LabVIEW VI	VI02G: LabVIEW VI: genererfrekvenssignal01
E12-VI01Q	LabVIEW VI	VI01Q: optagefrekvenssignal01.vi
E13-VI02Q	LabVIEW VI	VI02Q: optagefrekvenssignal02.vi
E14-VI05Q	LabVIEW VI	VI05Q: optagefrekvenssignal05.vi
E15-VI06Q	LabVIEW VI	VI06Q: optagefrekvenssignal06.vi
E16-VI08Q	LabVIEW VI	VI08Q: optagefrekvenssignal08.vi

## 4.2 Enhedstest

Dette afsnit beskriver de indledende funktionstests, hvor hver enkelte selvstændige funktion i systemet afprøves.

Ved samtlige test med lydgenererende funktion er der anvendt maksimalt lydtryk på den lydgivende enhed.

### 4.2.1 E01-H1

#### Testhypotese

Der kan genereres en lyd gennem højtaleren ABS-224-RC ved brug af Arduino Mega 2560 R3 og NI LabVIEW 2014.

#### Produktspecifikationer

*Hardware:*

Højtalere: ABS-224-RC

Højtalerkabel: Rød/Sort

2 stk. Male Single Row Pin Header Strip 2.54 mm.

Arduino Mega 2560 R3

PC

USB kabel Hi-speed 2.0 shield 28AWG/2C+24AWG/2C Han USB A - Han USB B

*Software:*

NI LabVIEW 2014

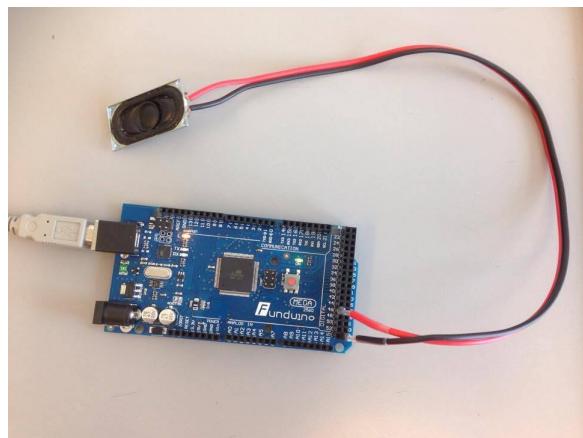
NI VISA 15.0.1

VI Package Manager

ARDUINO 1.6.12

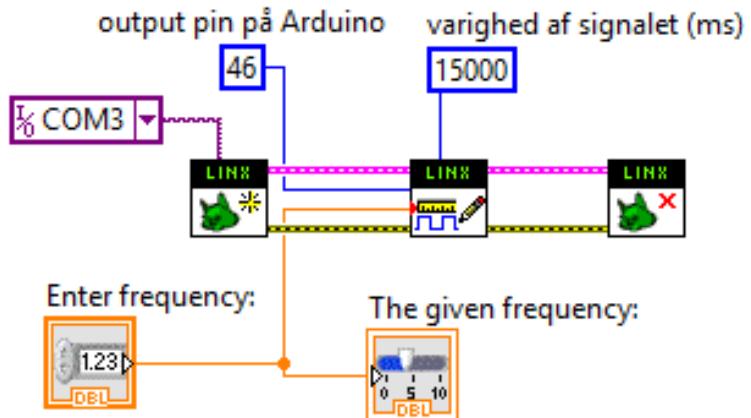
### Opstilling og opsætning

Højtaleren er loddet til højtalerkablets ene ende, og pin headerne er loddet til kablets anden ende. Pin headerne er isat Arduino'en i pin 46 (PL3(OC5A)), som et er digitalt PWM output, og til ground (GND). Arduino'en er med et USB kabel koblet til PC'en. Delopstillingen er vist i figur 4.1.



Figur 4.1: Delopstilling af 4.2.1 E01-H1, hvor højtalere er tilkoblet Arduino.

På PC'en er `genererfrekvenssignal02.vi` åbnet i LabVIEW. *Serial port*, *Channel* og *Duration* er sat op, som givet i blokdiagrammet, vist i figur 4.2.



Figur 4.2: I blokdiagrammet genererfrekvenssignal02.vi er der anvendt følgende LINX-VI'er; Initialize, Digital Write Square Wave samt Close.

### Udførsel

1. I *Enter Frequency* på frontpanelet i genererfrekvenssignal02.vi, indtastes 500.
2. Der trykkes på *Run*.
3. Der lyttes efter lydsignal fra højttaleren.

### Resultater

Der høres en lyd fra højttaleren.

### Diskussion

### Konklusion

Hypotesen er accepteret idet der kan genereres en lyd gennem højttaleren ved brug af Arduino Mega 2560 R3 og NI LabVIEW 2014.

### Aktion

### 4.2.2 E02-M1

#### Testhypotese

Der kan gennem Minijack PC Mikrofonopfanges en lyd.

## Produktspecifikationer

*Hardware:*

Minijack PC Mikrofon

PC

*Software:*

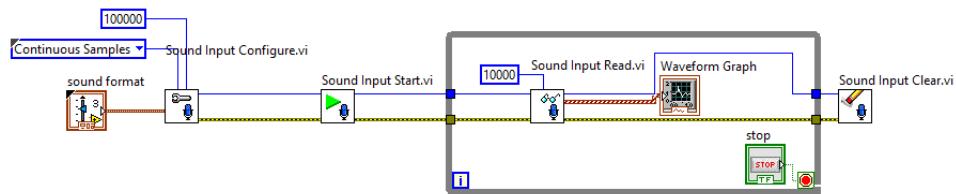
NI LabVIEW 2014

[www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com)

## Opstilling og opsætning

Mikrofonen er sat i PC'ens minijack-stik.

På PC'en er **optagefrekvensignal01.vi** åbnet i LabVIEW. VI'et er opbygget af *Graphics and sound* komponenter. Komponenterne, forbindelserne og de angivede værdier er vist i blokdiagrammet, i figur 4.3.



Figur 4.3: I blokdiagrammet **optagefrekvensignal01.vi** opsamles lydsignalet, som vises i en graf på frontpanelet.

[www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com) er åbnet i en browser på PC'en.

## Udførelse

1. I VI'et **optagefrekvensignal01.vi**, trykkes på *Run*.
  - a) Der genereres en hørbar lyd til mikrofonen fra [onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com).
  - b) På frontpanelet i VI'et observeres om mikrofonen opfanger en lyd, ved at grafen viser amplitudeudsving.
2. I VI'et **optagefrekvensignal01.vi**, trykkes på *Run*.
  - a) Mikrofonen dækkes nu med en hånd mhp. at mikrofonen ikke opfanger en lyd.

- b) Der generes en hørbar lyd til mikrofonen fra onlinetonegenerator.com.
- c) På frontpanelet i VI'et observeres om mikrofonen opfanger en lyd, ved at grafen viser amplitudeudsving.

### Resultater

Ad1. Der er observeret et amplitudeudsving på grafen. Mikronen har opfanget en lyd.

Ad2. Der er ikke observeret et amplitudeudsving på grafen. Mikrofonen har ikke opfanget en lyd.

### Diskussion

-

### Konklusion

Idet der ikke opfanges en hørbar lyd i Ad2., konkluderes det, at den hørbare lyd, opfanges gennem Ad1. Hypotesen accepteres idet mikrofonen opfanger en lyd.

### Aktion

-

### 4.2.3 E03-H2

#### Testhypotese

Der kan genereres en lyd gennem højttaleren ved brug af Arduino Mega 2560 R3 og NI LabVIEW 2014.

#### Produktspecifikationer

*Hardware:*

Højttaler: Wide Band 2.5" SB65WBAC25-4

Højtalerkabel: Rød/Sort

Kabelsko: Rød fladstik hun, str. 0.25-1.65 mm<sup>2</sup>, 6.6 mm bred fladstik

2 stk. Male Single Row Pin Header Strip 2.54 mm.

Arduino Mega 2560 R3

PC

USB kabel Hi-speed 2.0 shield 28AWG/2C+24AWG/2C Han USB A - Han USB B

**Software:**

NI LabVIEW 2014

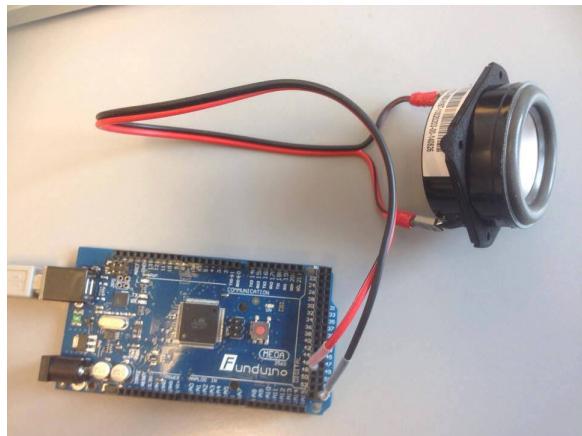
NI VISA 15.0.1

VI Package Manager

ARDUINO 1.6.12

**Opstilling og opsætning**

Højtalerkablets ene ende er påsat kabelsko, som er påsat højtaleren. Til kablets anden ende er pin headerne loddet fast. Pin headerne er sat Arduino'en i pin 46 (PL3(OC5A)), som et er digitalt PWM output, og til ground (GND). Arduino'en er med et USB kabel koblet til PC'en. Delopstillingen er vist i figur 4.4.



Figur 4.4: Delopstilling af 4.2.3 E03-H2, hvor højtaler er tilkoblet Arduino.

På PC'en er **genererfrekvensignal02.vi** åbnet i LabVIEW. *Serial port*, *Channel* og *Duration* er sat op, som givet i blokdiagrammet, vist i figur 4.2.

**Udførsel**

1. I *Enter Frequency* på frontpanelet i **genererfrekvensignal02.vi**, indtastes 500.
2. Der trykkes på *Run*.
3. Der lyttes efter lydsignal fra højtaleren.

**Resultater**

Der høres en lyd fra højtaleren.

## Diskussion

-

## Konklusion

Hypotesen er accepteret idet der kan genereres en lyd gennem højttaleren ved brug af Arduino Mega 2560 R3 og NI LabVIEW 2014.

## Aktion

-

### 4.2.4 E04-M1

#### Testhypotese

Der kan gennem Minijack PC Mikrofonopfanges en lyd.

#### Produktspecifikationer

##### *Hardware:*

Minijack PC Mikrofon (med 2 meter ledning)

PC

Smartphone

##### *Software:*

NI LabVIEW 2014

[www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com)

#### Opstilling og opsætning

Mikrofonen er med en ledning tilsluttet PC'ens minijack-stik. PC'en er placeret i et rum, og mikrofonen med ledningen gennem den lukkede dør, er placeret i et andet rum. I en browser på smartphonen åbnes onlinetonegenerator.com. Smartphonen placeres ca. 2 cm fra mikrofonen.

På PC'en er `optagefrekvenssignal01.vi` åbnet i LabVIEW. VI'et er opbygget af *Graphics and sound* komponenter. Komponenterne, forbindelserne og de angivede værdier er vist i blokdiagrammet, i figur 4.3.

## Udførsel

1. I VI'et `optagefrekvenssignal01.vi`, trykkes på *Run*.
2. Der generes en lyd i [onlinetonegenerator.com](http://onlinetonegenerator.com) til mikrofonen.
3. På frontpanelet i VI'et observeres amplitudeudsving på grafen.

## Resultater

Der blev ikke observeret et amplitudeudsving på grafen.

## Diskussion

-

## Konklusion

Mikrofonen har ikke opfanget en lyd, og hypotesen forkastes.

## Aktion

Det undersøges, hvilke årsager der er skyld i, at mikrofonen ikke opfanger et frekvenssignal.

### 4.2.5 E05-M2

#### Testhypotese

Der kan gennem Logitech HD WEBCAM C270 opfanges en lyd.

#### Produktspecifikationer

*Hardware:*

Logitech HD WEBCAM C270 (med 1,5 meter ledning)

PC

Smartphone

*Software:*

NI LabVIEW 2014

[www.onlinetonegenerator.com](http://onlinetonegenerator.com)

### Opstilling og opsætning

Webkameraet er tilsluttet PC'ens USB-port. PC'en er placeret i et rum, og webkameraet med ledningen gennem den lukkede dør, er placeret i et andet rum. I en browser på smartphonen åbnes onlinetonegenerator.com. Smartphonen placeres ca. 2 cm fra mikrofonen.

På PC'en er `optagefrekvensignal01.vi` åbnet i LabVIEW. VI'et er opbygget af *Graphics and sound* komponenter. Komponenterne, forbindelserne og de angivede værdier er vist i blokdiagrammet, i figur 4.3.

### Udførsel

1. I VI'et `optagefrekvenssignal01.vi`, trykkes på *Run*.
2. Der generes en lyd i onlinetonegenerator.com til mikrofonen.
3. På frontpanelet i VI'et observeres amplitudeudsving på grafen.

### Resultater

Der blev observeret et amplitudeudsving på grafen.

### Diskussion

-

### Konklusion

Mikrofonen har opfanget en lyd, og hypotesen accepteres.

### Aktion

Denne mikrofon er ikke hensigtsmæssig til brug i den videre test, da den er for stor til at kunne påsættes resonatoren. Næste skridt er at finde en mindre mikrofon med USB-stik.

### 4.2.6 E06-M3

#### Testhypotese

Der kan gennem Electret Microphone Breakout BOB 12758 opfanges lydsignaler i frekvensbåndet i intervallet 20 Hz - 10 kHz.

## Produktspecifikationer

### *Hardware:*

Electret Microphone Breakout BOB 12758

3 stk. Male Single Row Pin Header Strip 2.54 mm.

Mikrofonkabler: Rød/Sort/Blå

Krympeflex 2:1

Multifunction Data Acquisition (DAQ) USB-6009

USB kabel: National Instruments USB A/B 2.0 Cable (1 Meter)

PC

### *Software:*

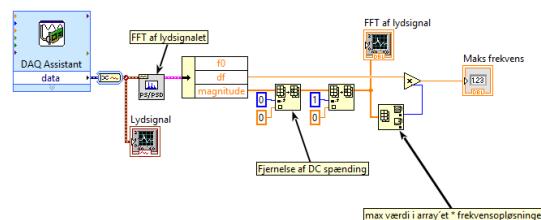
NI LabVIEW 2014

LabVIEW2014-NI-DAQmx-14

[www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com)

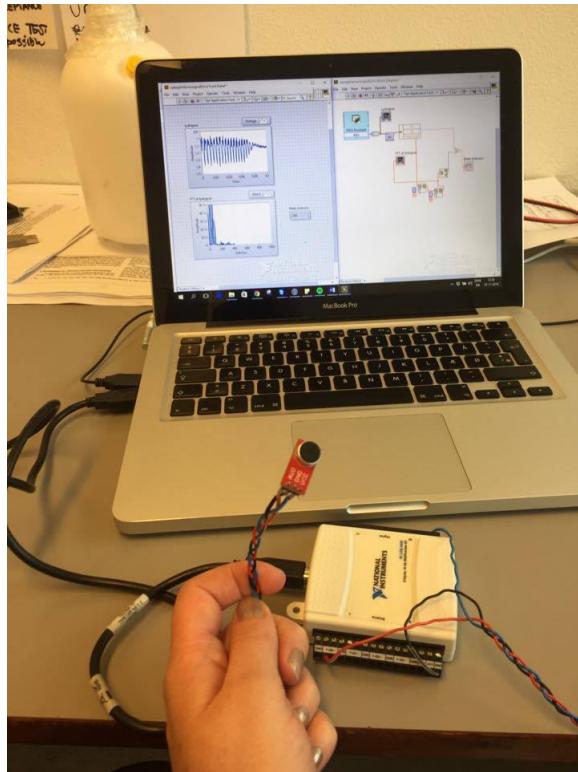
## Opstilling og opsætning

På kablerne er pins fastloddet, som igen er loddet fast til mikrofonprintet. Det røde kabel forbinder mikrofonprintets "AUD" til "+AI0"-indgangen på DAQ'en. Det sorte kabel forbinder mikrofonprintets "GND" til "GND"-indgangen på DAQ'en. Det blå kabel forbinder mikrofonprintets "VCC" til "+5V" på DAQ'en. DAQ'en er med USB-kablet tilkoblet PC'en, hvorpå `optagefrekvensignal04.vi` er åbnet i LabVIEW. Blockdiagrammet for VI'et er vist i figur 4.5. I en browser på PC'en er [onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com) åbnet.



Figur 4.5: Blokdiagram for VI'et `optagefrekvenssignal04.vi`.

Testopstillingen er vist i figur 4.6.



Figur 4.6: Testopstilling for 4.2.6 E06-M3

### Udførsel

1. I VI'et optagefrekvensignal04.vi, trykkes på *Run*.
2. Der generes et signal med følgende frekvens: 100 Hz, 500 Hz, 1 kHz , 5 kHz og 10 KHz fra onlinetonegenerator.com
3. På frontpanelet i VI'et observeres amplitudeudsving på grafen.
4. Resultatet aflæses i *Maks. frekvens* på VI'ets frontpanel.

Testen fortages to gange for hver frekvens.

### Resultater

Resultaterne vises i tabel 4.2

### Diskussion

Skyldes de unøjagtige resultater ved 100 Hz, 500 Hz og 10000 Hz, at PC højtalernes frekvensbånd ikke er bredt nok til at udsende disse signaler?

Tabel 4.2: Tabel over resultater af 4.2.6 E06-M3.

Udsendt frekvens [Hz]	1. resultat	2. resultat
100	20	40
500	500	500
1000	1000	1000
5000	3000	3000
10000	20	50

## Konklusion

Ved et signal med en frekvens på hhv. 100 Hz, 5 kHz og 10 kHz er resultaterne ikke tilnærmelsesvis de udsendte frekvenser. Det kan ikke konkluderes, hvorvidt det skyldes mikrofonen eller PC'ens højtalere. Hypotesen må derfor forkastes.

## Aktion

Det undersøges, hvilke årsager der er skyld i, at der opnås unøjagtige resultater.

### 4.2.7 E07-M4

#### Testhypotese

Der kan gennem Electret Microphone Amplifier - MAX4466 opfanges lydsignaler i frekvensbåndet i intervallet 20 Hz - 10 kHz med 2.5 V strømforsyning.

#### Produktspecifikationer

##### *Hardware:*

Electret Microphone Amplifier - MAX4466

3 stk. Male Single Row Pin Header Strip 2.54 mm.

Mikrofonkabler: Rød/Sort/Blå

Krympeflex 2:1

Multifunction Data Acquisition (DAQ) USB-6009

USB kabel: National Instruments USB A/B 2.0 Cable (1 Meter)

PC

##### *Software:*

NI LabVIEW 2014

LabVIEW2014-NI-DAQmx-14

[www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com)

### Opstilling og opsætning

På kablerne er pins fastloddet, som igen er loddet fast til mikrofonprintet. Det røde kabel forbinder mikrofonprintets "AUD" til "+AI0"-indgangen på DAQ'en. Det sorte kabel forbinder mikrofonprintets "GND" til "GND"-indgangen på DAQ'en. Det blå kabel forbinder mikrofonprintets "VCC" til "+2.5V" på DAQ'en. DAQ'en er med USB-kablet tilkoblet PC'en, hvorpå `optagefrekvenssignal04.vi` er åbnet i LabVIEW. Blockdiagrammet for VI'et er vist i figur 4.5. I en browser på PC'en er [onlinetonegenerator.com](http://onlinetonegenerator.com) åbnet.

### Udførsel

1. I VI'et `optagefrekvenssignal04.vi`, trykkes på *Run*.
2. Der generes et signal med følgende frekvens: 20 Hz, 50 Hz, 100 Hz, 1 kHz og 10 KHz fra [onlinetonegenerator.com](http://onlinetonegenerator.com).
3. På frontpanelet i VI'et observeres efter amplitudeudsving på grafen.
4. Resultatet aflæses i *Maks. frekvens* på VI'ets frontpanel.

Testen fortages to gange for hver frekvens.

### Resultater

Resultaterne vises i tabel 4.3.

Tabel 4.3: Tabel over resultater af 4.2.7 E07-M4.

Udsendt frekvens [Hz]	1. resultat	2. resultat
20	96	96
50	22	15
100	95	95
1000	1000	1000
10000	4	15

## Diskussion

I beskrivelsen af mikrofonens specifikationer anbefales det at bruge 2.5 V, som er den mest støjsvage forsyning. <https://www.adafruit.com/products/1063> Skyldes de afgivende resultater, at der kun bruges 2.5 V strømforsyning til at opsamle lyden?

## Konklusion

Ved et signal med en frekvens på hhv. 20 Hz, 50 Hz, 100 Hz, og 10 kHz er resultaterne ikke tilnærmelsesvis de udsendte frekvenser. Det kan ikke konkluderes, hvorvidt det skyldes mikrofonen, et begrænset frekvensbånd på PC'ens højtalere eller en lav strømforsyning til mikrofonen. Hypotesen må derfor forkastes.

## Aktion

Der foretages en ny enhedstest af Electret Microphone Amplifier - MAX4466 med en strømforsyning på 5 V.

### 4.2.8 E08-M4

#### Testhypotese

Der kan gennem Electret Microphone Amplifier - MAX4466 opfanges lydsignaler i frekvensbåndet i intervallet 20 Hz - 10 kHz med 5 V strømforsyning.

#### Produktspecifikationer

##### *Hardware:*

Electret Microphone Amplifier - MAX4466

3 stk. Male Single Row Pin Header Strip 2.54 mm.

Mikrofonkabler: Rød/Sort/Blå

Krympeflex 2:1

Multifunction Data Acquisition (DAQ) USB-6009

USB kabel: National Instruments USB A/B 2.0 Cable (1 Meter)

PC

##### *Software:*

NI LabVIEW 2014

LabVIEW2014-NI-DAQmx-14

[www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com)

### Opstilling og opsætning

På kablerne er pins fastloddet, som igen er loddet fast til mikrofonprintet. Det røde kabel forbinder mikrofonprintets "AUD" til "+AI0"-indgangen på DAQ'en. Det sorte kabel forbinder mikrofonprintets "GND" til "GND"-indgangen på DAQ'en. Det blå kabel forbinder mikrofonprintets "VCC" til "5V" på DAQ'en. DAQ'en er med USB-kablet tilkoblet PC'en, hvorpå `optagefrekvenssignal04.vi` er åbnet i LabVIEW. Blockdiagrammet for VI'et er vist i figur 4.5. I en browser på PC'en er [onlinetonegenerator.com](http://onlinetonegenerator.com) åbnet.

### Udførsel

1. I VI'et `optagefrekvenssignal04.vi`, trykkes på *Run*.
2. Der generes et signal med følgende frekvens: 20 Hz, 50 Hz, 100 Hz, 1 kHz og 10 KHz fra [onlinetonegenerator.com](http://onlinetonegenerator.com).
3. På frontpanelet i VI'et observeres efter amplitudeudsving på grafen.
4. Resultatet aflæses i *Maks. frekvens* på VI'ets frontpanel.

Testen fortages to gange for hver frekvens.

### Resultater

Resultaterne vises i tabel 4.4.

Tabel 4.4: Tabel over resultater af 4.2.8 E08-M4.

Udsendt frekvens [Hz]	1. resultat	2. resultat
20	20	40
50	80	100
100	20	700
1000	1000	1000
10000	40	20

## Diskussion

Strømforsyningen på 5 V gjorde ikke afvigelserne i resultaterne mindre. Kan det være frekvensbåndet i PC'ens højtalere som ikke er bredt nok til at afspille det ønskede frekvensbånd?

## Konklusion

Ved et signal med en frekvens på hhv. 20 Hz, 50 Hz, 100 Hz, og 10 kHz er resultaterne ikke tilnærmelsesvis de udsendte frekvenser. Det kan ikke konkluderes, hvorvidt det skyldes mikrofonen eller et begrænset frekvensbånd på PC'ens højtalere. Hypotesen må defor forkastes.

## Aktion

Frekvensbåndet mellem 100 - 1000 Hz ønskes testet, da det muligvis kan være tilstrækkeligt til det videre testforløb.

### 4.2.9 E09-M4

#### Testhypotese

Der kan gennem Electret Microphone Amplifier - MAX4466 opfanges lydsignaler i frekvensbåndet i intervallet 100 Hz - 1 kHz med 5 V strømforsyning.

#### Produktspecifikationer

##### *Hardware:*

Electret Microphone Amplifier - MAX4466

3 stk. Male Single Row Pin Header Strip 2.54 mm.

Mikrofonkabler: Rød/Sort/Blå

Krympeflex 2:1

Multifunction Data Acquisition (DAQ) USB-6009

USB kabel: National Instruments USB A/B 2.0 Cable (1 Meter)

PC

##### *Software:*

NI LabVIEW 2014

LabVIEW2014-NI-DAQmx-14

[www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com)

### Opstilling og opsætning

På kablerne er pins fastloddet, som igen er loddet fast til mikrofonprintet. Det røde kabel forbinder mikrofonprintets "AUD" til "+AI0"-indgangen på DAQ'en. Det sorte kabel forbinder mikrofonprintets "GND" til "GND"-indgangen på DAQ'en. Det blå kabel forbinder mikrofonprintets "VCC" til "5V" på DAQ'en. DAQ'en er med USB-kablet tilkoblet PC'en, hvorpå `optagefrekvenssignal04.vi` er åbnet i LabVIEW. Blockdiagrammet for VI'et er vist i figur 4.5. I en browser på PC'en er [onlinetonegenerator.com](http://onlinetonegenerator.com) åbnet.

### Udførsel

1. I VI'et `optagefrekvenssignal04.vi`, trykkes på *Run*.
2. Der generes et signal med følgende frekvens: 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, 300, 400 Hz, 500 Hz, 600 Hz, 700 Hz, 800 Hz, 900 Hz og 1 kHz fra [onlinetonegenerator.com](http://onlinetonegenerator.com).
3. På frontpanelet i VI'et observeres efter amplitudeudsving på grafen.
4. Resultatet aflæses i *Maks. frekvens* på VI'ets frontpanel.

Testen fortages to gange for hver frekvens.

### Resultater

Resultaterne vises i tabel 4.5.

### Diskussion

Resultaterne af det udsendte frekvensignal på 100 Hz er afvigende. Det kan muligvis skyldes et begrænset frekvensbånd i PC-højtaleren.

### Konklusion

Mikrofonen kan ikke opfange et frekvensignal på 100 Hz. Hypotesen må derfor forkastes.

Tabel 4.5: Tabel over resultater af 4.2.9 E09-M4.

Udsendt frekvens [Hz]	1. resultat	2. resultat
100	20	80
150	150	150
200	200	200
300	300	300
400	400	400
500	500	500
600	600	600
700	700	700
800	800	800
900	900	900
1000	1000	1000

### Aktion

Da mikrofonen kan opfange et frekvensbånd fra 150 Hz - 1 kHz med en nøjagtighed på 100 pct., besluttes det at anvende mikrofonen i det videre testforløb.

### 4.2.10 E10-H3

#### Testhypotese

Højtaleren Multimedia USB Speaker HP-1800 kan generere signaler med frekvenser i intervallet 20 Hz - 1500 Hz.

#### Produktspecifikationer

*Hardware:*

Electret Microphone Amplifier - MAX4466

3 stk. Male Single Row Pin Header Strip 2.54 mm.

Mikrofonkabler: Rød/Sort/Blå

Krympeflex 2:1

Multifunction Data Acquisition (DAQ) USB-6009

USB kabel: National Instruments USB A/B 2.0 Cable (1 Meter)

Multimedia USB Speaker HP-1800

PC

*Software:*

NI LabVIEW 2014

LabVIEW2014-NI-DAQmx-14

[www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com)

## Opstilling og opsætning

### Opstilling og opsætning

På kablerne er pins fastloddet, som igen er loddet fast til mikrofonprintet. Det røde kabel forbinder mikrofonprintets "AUD" til "+AI0"-indgangen på DAQ'en. Det sorte kabel forbinder mikrofonprintets "GND" til "GND"-indgangen på DAQ'en. Det blå kabel forbinder mikrofonprintets "VCC" til "5V" på DAQ'en. DAQ'en er med USB-kablet tilkoblet PC'en, hvorpå `optagefrekvensignal04.vi` er åbnet i LabVIEW. Blockdiagrammet for VI'et er vist i figur 4.5. Højtaleseren er tilsluttet PC'ens USB-port og minijack-stik, og er placeret ca. 2 cm. fra mikrofonen. I en browser på PC'en er [onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com) åbnet.

### Udførsel

1. Der generes et signal med henholdsvis følgende frekvens: 20 Hz, 75 Hz, 80 Hz, 90 Hz, 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, 300, 400 Hz, 500 Hz, 600 Hz, 700 Hz, 800 Hz, 900 Hz, 1000 Hz, 1100 Hz, 1200 Hz, 1300 Hz, 1400 Hz og 1500 Hz fra [onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com).
2. I VI'et `optagefrekvensignal04.vi`, trykkes på *Run* efter hvert genereret frekvens.
3. På frontpanelet i VI'et aflæses frekvensen i *Maks. frekvens* for hvert genereret frekvens.

Testen fortages to gange for hver frekvens.

### Resultater

Resultaterne vises i tabel 4.6.

Tabel 4.6: Tabel over resultater af 4.2.10 E10-H3.

Udsendt frekvens [Hz]	1. resultat	2. resultat
20	20	50
75	70	80
80	90	80
90	90	90
100	100	100
150	150	150
200	200	200
300	300	300
400	400	400
500	500	500
600	600	600
700	700	700
800	800	800
900	900	900
1000	1000	1000
1100	1100	1100
1200	1200	1200
1300	1200	1200
1400	1100	1100
1500	1000	1000

## Diskussion

Frekvenser op til 90 Hz og frekvenser fra 1300 Hz til 1500 Hz afviger fra de udsendte frekvenser. Kan det muligvis skyldes mikrofonen ikke kan optage disse signaler, eller skyldes det højtaleren ikke kan generere frekvenserne?

## Konklusion

Hypotesen forkastes da højtaleren Multimedia USB Speaker HP-1800 ikke kan generere signaler med frekvenser i intervallet 20 Hz - 1500 Hz.

### Aktion

Da højtaleren kan levere frekvenser fra 90 - 1200 Hz, besluttes det at anvende denne højtalere til det videre testforløb, hvor resonansfrekvens i et tomt kammer måles.

#### 4.2.11 E11-VI02G

##### Testhypotese

Der kan igennem LINX LabVIEW Makerhub oprettes en forbindelse til Arduino Mega 2560 r3.

##### Produktspecifikationer

###### *Hardware:*

Højtalere: ABS-224-RC

Højtalerkabel: Rød/Sort

2 stk. Male Single Row Pin Header Strip 2.54 mm.

Arduino Mega 2560 R3

PC

USB kabel Hi-speed 2.0 shield 28AWG/2C+24AWG/2C Han USB A - Han USB B

###### *Software:*

NI LabVIEW 2014

NI VISA 15.0.1

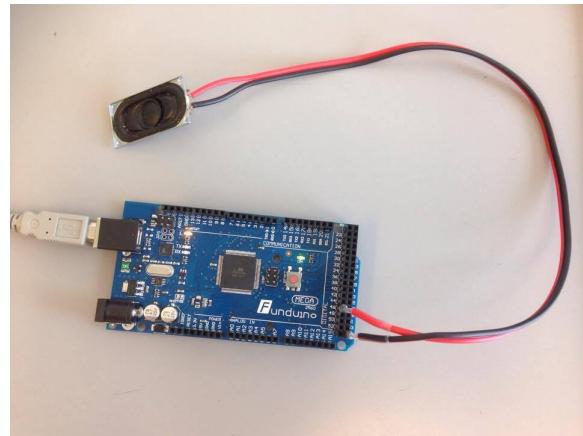
VI Package Manager

ARDUINO 1.6.12

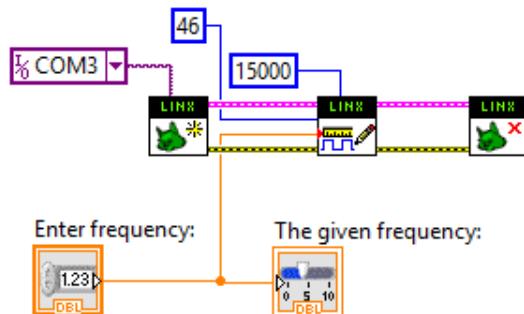
##### Opstilling og opsætning

Højtaleren er loddet til højtalerkablets ene ende, og pin headerne er loddet til kablets anden ende. Pin headerne er isat Arduino'en i pin 46 (PL3(OC5A)), som et er digitalt PWM output, og til ground (GND). Arduino'en er med et USB kabel koblet til PC'en. Testopstillingen er vist i figur 4.7.

I LabVIEW er det opbygget et VI *generererfrekvenssignal.VI* af LINX MakerHub komponenterne *Initialize.VI*, *Write square signal.VI* og *Close.VI*. I blokdiagrammet angives *serial port*, *Channel* og *Duration*. Blokdiagrammet ses i figur 4.8



Figur 4.7: Arduino med tilkoblet højttaler



Figur 4.8: Blokdiagram for *genererfrekvensignal02.VI*

### Udførsel

1. I *Enter Frequency* på frontpanelet i *genererfrekvensignal02.vi*, indtastes en selvvalgt frekvens.
2. Der trykkes på *Run*.
3. Der lyttes efter lydsignal fra højttaleren.

### Resultat

Der observeres en lyd ud fra højttaleren

### Diskussion

-

### Konklusion

Det konkluderes at det har været muligt at skabe en forbindelse igennem LINX LabVIEW Makerhub til Arduino Mega 2560 r3.

## Aktion

-

### **4.2.12 E12-VI01O**

#### **Testhypotese**

Det er muligt at opfange en lyd ved brug af LabVIEWs *Graphics and sound* VI'er.

#### **Produktspecifikationer**

*Hardware:*

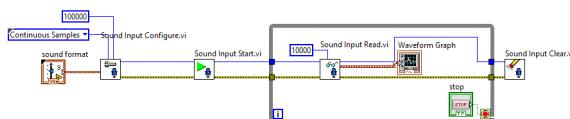
PC

*Software:*

NI LabVIEW 2014

#### **Opstilling og opsætning**

I LabVIEW er det opbygget et VI *optagefrekvensignal01.VI* af *Graphics and sound* komponenter. Komponenterne, forbindelserne og de angivede værdier er vist i figur 4.9



Figur 4.9: Blokdiagram for *optagefrekvensignal01.VI*

#### **Udførsel**

1. Der trykkes på *Run*.
2. Det snakkes ind i PC mikrofonen.
3. Der observeres efter udsving af amplituden i grafen på frontpanelet.

#### **Resultat**

I grafen på frontpanelet ses der udsving på amplituden når der snakkes til PC mikrofonen.

## Diskusion

-

## Konklusion

Hypotesen accepteres. Det har været muligt at opfange en lyd ved brug af LabVIEWs *Graphics and sound* VI'er.

## Aktion

-

### **4.2.13 E13-VI02O**

#### **Testhypotese**

Det er muligt at lave en FFT på et lydsignal og detektere maks. frekvensen.

#### **Produktspecifikationer**

*Hardware:*

PC

*Software:*

NI LabVIEW 2014

[www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com)

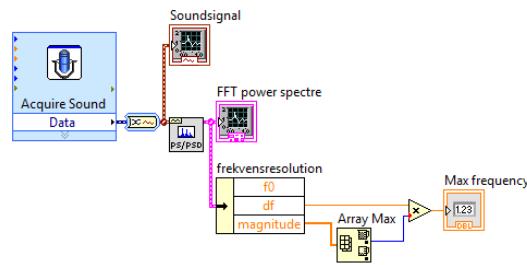
#### **Opstilling og opsætning**

I LabVIEW er det opbygget et VI *optagefrekvenssignal02.VI* af *Graphics and sound* og *TextitWaveforms Measurements*-komponenter. Komponenterne, forbindelserne og de angivede værdier er vist i figur 4.10

I onlinetonegeneratoren åbnes DMTF generatoren som er vist i figur 4.13

#### **Udførsel**

1. En DTMF tone 1 vælges i tonegeneratoren. Den højste frekvens i DTMF tonen noteres.

Figur 4.10: Blokdiagram for *optagefrekvenssignal02.VI*

2. Tonen afspilles og der trykkes på run i VI'et som nu optager tonen.
3. Maksfrekvensen aflæses på frontpanlet i *Maks frekvens* og sammenholdes med den tidligere noteret maksfrekvens. Disse skulle gerne stemme overens.

Denne udførsel gentages med tone 5, 9 samt D fra DTMF generatoren.

## Resultat

Tabel 4.7: Tabel over resultater

DTMF tone	Højeste frekvens	Resultat
1	1209	1209
5	1336	1336
9	1477	1477
D	1633	1633

## Diskusion

-

## Konklusion

Resultaterne er lig med de afsendte frekvenser. Testhypotesen er godkendt.

## Aktion

-

#### **4.2.14 E14-VI04O**

##### **Testhypotese**

Det er muligt at lave en FFT på et lydsignal og detektere maks. frekvensen med lydsignal fra DAQ.

##### **Produktspecifikationer**

*Hardware:*

PC

Multifunction Data Acquisition (DAQ) USB-6009

*Software:*

NI LabVIEW 2014

NI VISA 15.0.1

VI Package Manager

LabVIEW2014-NI-DAQmx-14

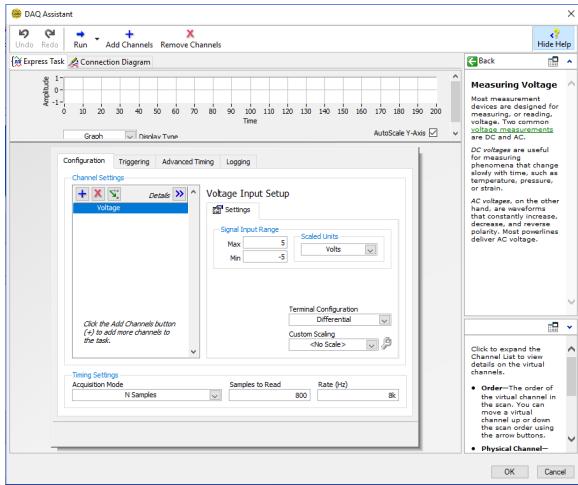
##### **Opstilling og opsætning**

*optagefrekvenssignal0.4.vi* er åbnet og onlinetonegeneratoren er åbnet i browseren på PC'en. Blokdiagrammet er vist i figur 4.17. I blokdiagrammet i *optagefrekvenssignal0.4.vi* åbnes DAQ assistant modulet og i *Samples to read* indtastes 800 og i *Rate(Hz)* indtastes 8000. Dette vises i figur 4.11. I onlinetonegeneratoren åbnes DMTF generatoren som er vist i figur 4.13

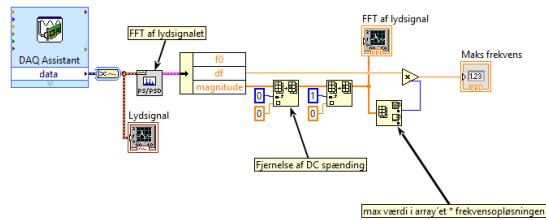
##### **Udførsel**

1. En DTMF tone 1 vælges i tonegeneratoren. Den højste frekvens i DTMF tonen noteres.
2. Tonen afspilles og der trykkes på run i VI'et som nu optager tonen.
3. Maksfrekvensen aflæses på frontpanlet i *Maks frekvens* og sammenholdes med den tidligere noteret maksfrekvens. Disse skulle gerne stemme overens.

Denne udførsel gentages med tone 5, 9 samt D fra DTMF generatoren.



Figur 4.11: DAQ assistant modulet med korrekt indtastet værdier

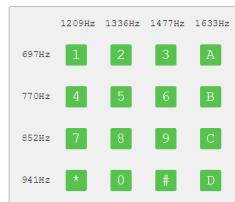


Figur 4.12: Blokdiagram for VI'et optagefrekvenssignal0.4.vi.

### Online Tone Generator

DTMF Dial Tones

The Online Tone Generator can be used to create Dual Tone Multi Frequency (DTMF) signals commonly heard on telephone dial pads. Each tone is simply the sum of two sine waves. Click and hold the dial pad buttons to hear each tone.



Figur 4.13: DTMF generatoren

## Resultater

### Diskussion

### Konklusion

Resultaterne af testen ligger acceptabelt tæt på de afsendte frekvenser. Hypotesen er godkendt.

Tabel 4.8: Tabel over resultater

DTMF tone	Højeste frekvens	Resultat
1	1209	1209,6
5	1336	1332,16
9	1477	1475,84
D	1633	1633,4

### Aktion

Det besluttes at koden bruges i det videre udviklingsforløb.

#### 4.2.15 E15-VI05O

##### Testhypotese

Det er muligt at foretager n antal målinger i samme runtime og gemme disse i en .CSV fil hvor signalet er opsamlet med DAQ'en.

##### Produktspecifikationer

###### *Hardware:*

PC

Multifunction Data Acquisition (DAQ) USB-6009

###### *Software:*

NI LabVIEW 2014

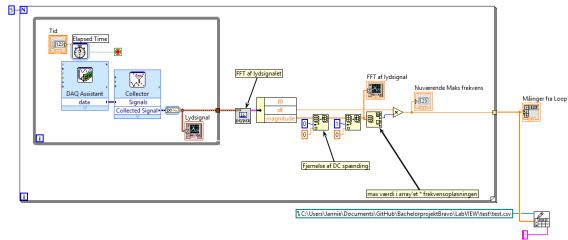
NI VISA 15.0.1

VI Package Manager

LabVIEW2014-NI-DAQmx-14

##### Opstilling og opsætning

*optagefrekvensignal0.5.vi* er åbnet. Blokdiagrammet er vist i figur 4.17. I blokdiagrammet i *optagefrekvensignal0.5.vi* åbnes DAQ assistant modulet og i *Samples to read* indtastes 800 og i *Rate(Hz)* indtastes 8000. Dette vises i figur 4.11.



Figur 4.14: Blokdiagram for VI'et *optagefrekvenssignal0.5.vi*.

### Udførsel

1. I blokdiagrammet indtastes 5 i *Loop Count* og den ønskede sti til den gemte .CSV fil angiver i *file path* i *Write To Spreadsheet File*. VI'et
2. På frontpanelt indtasten 4 sekunder i *Tid*
3. Der trykkes på run i VI'et som nu optager lyd igennem DAQ'en.
4. VI'et optager omkringværende lyd
5. På frontpanelt aflæses om der ligger 5 målinger i array'et
6. I den førangivet sti kontrolleres om der er dannet en .CSV fil med de 5 målinger

### Resultat

På frontpanlet i VI'et ser der 5 målinger og der er ligger i array'et. I den valgt sti ligger der ligeledes en .CSV fil med de 5 målinger.

### Diskussion

-

### Konklusion

Da resultatet er fuldt tilfredsstillende, godkendes testhypotesen.

### Aktion

-

## 4.2.16 E16-VIHRVFO

### Testhypotese

Helmholtzresonansformel i LabVIEW udregner korrekt volumen ud fra kendte givet værdier.

## Produktspecifikationer

*Hardware:*

PC

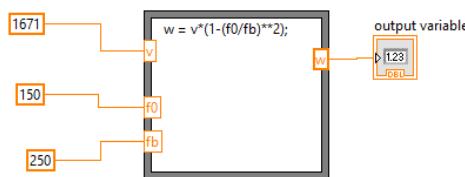
Texas Instruments TI-89

*Software:*

NI LabVIEW 2014

## Opstilling og opsætning

*HRVF.vi* er åbnet. Blokdiagrammet for VI'et ses i figur 4.15



Figur 4.15: Blokdiagram for VI'et HRVF.

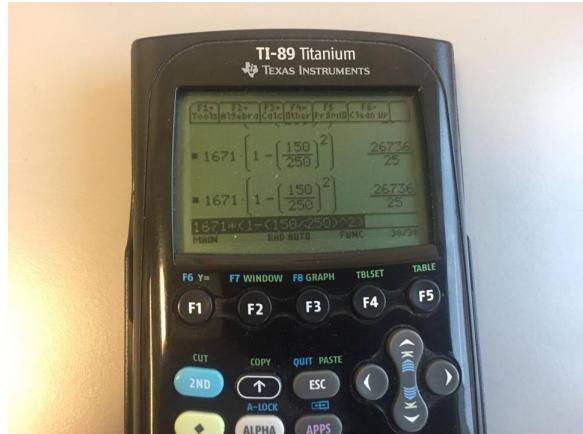
På TI-89'eren indtastes formlen for udregningen af volumen ud fra helmholtzresonansen. Formel defineres således

$$W = V \left( 1 - \left( \frac{f_0}{f_b} \right)^2 \right) \quad (4.1)$$

Indtastningen op TI-89'eren ses på figur 4.16, hvor værdierne er angivet således at  $v = 1671$ ,  $f_0 = 150$  og  $f_b = 250$ . Resultatet af indtastning giver volumet  $W = 1069.44$

## Udførsel

1. De overnævnte værdier indtastes i blokdiagrammet på de korrekte pladser.
2. Der trykkes på *Run*
3. Resultat af udregningen aflæses på frontpanelet i feltet *Resultat*.
4. Resultatet fra TI-89 og VI'et sammenlignes.



Figur 4.16: Indtastning af formel på TI-89

## Resultat

Volumet, regnet på TI-89'erne, angav at  $W = 1069.44$ . Volumet, regnet i VI'et, angav at  $W = 1069.44$ .

## Diskussion

-

## Konklusion

Da resultatet af udregningen er ens for begge metoder, godkendes testenhypotesen.

## Aktion

Det besluttes at den kodede formel fra VI'et kan bruges i det videre udviklingsforløb i LabVIEW.

### 4.2.17 E17-VI07O

#### Testhypotest

Det er muligt at foretager n antal målinger i samme runtime og gemme disse i en .CSV fil hvor signalet er opsamlet med DAQ'en.

#### Produktspecifikationer

*Hardware:*

PC

# Multifunction Data Acquisition (DAQ) USB-6009

#### *Software:*

NI LabVIEW 2014

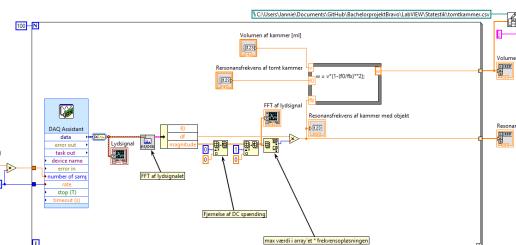
NI VISA 15.0.1

VI Package Manager

LabVIEW2014-NI-DAQmx-14

## Opstilling og opsætning

*optagefrekvenssignal0.7.vi* er åbnet. Blokdiagrammet er vist i figur 4.17. I blokdiagrammet i *optagefrekvenssignal0.7.vi* åbnes DAQ assistant modulet og i *Samples to read* indtastes 800 og i *Rate(Hz)* indtastes 8000. Dette vises i figur 4.17.



Figur 4.17: Blokdiagram for VI'et optagefrekvensignal0.7.vi.

## Udførsel

1. I blokdiagrammet indtastes 5 i *Loop Count* og den ønskede sti til den gemte .CSV fil angiver i *file path* i *Write To Spreadsheet File*. VI'et
  2. På frontpanelt indtasten 4 sekunder i *Tid*
  3. Der trykkes på run i VI'et som nu optager lyd igennem DAQ'en.
  4. VI'et optager omkringværende lyd
  5. På frontpanelt aflæses om der ligger 5 målinger i array'et
  6. I den førstangivet sti kontrolleres om der er dannet en .CSV fil med de 5 målinger

## Resultat

På frontpanlet i VI'et ser der 5 målinger og der er ligger i array'et. I den valgt sti ligger der ligeledes en .CSV fil med de 5 målinger.

## Diskussion

-

## Konklusion

Da resultatet er fuldt tilfredsstillende, godkendes testhypotesen.

## Aktion

Det besluttes at dette *optagefrekvensignal0.7.vi* bruges i det videre udviklingsforløb

## 4.3 Integrationstest

Dette afsnit.. Ved samtlige test med lydgenererende funktion er der anvendt maksimalt lydtryk på den lydgivende enhed.

Tabel 4.9: Tabeloversigt over udførte integrationstests

Test-ID	Indgående enheder	Testformål
I01	H1/M1/VI02G/VI01 <u>O</u>	Generere og opfange lydsignal
I02	M1/VI02G	Optage lydsignal gennem M1
I03	H1/M1/VI02G/VI02 <u>O</u>	Sammenligning af frekvenssignaler
I04	H2/M1/VI02G/VI02 <u>O</u>	Dæmpning af overtoner
I05	H2/M1/VI02G/VI02 <u>O</u>	Test af resonansfrekvens ved højfrekvenser
I06	H3/M4/VI05 <u>O</u>	Resonansfrekvens i tom resonator
I07	H3/M4/VI05 <u>O</u>	Resonansfrekvens i tom resonator med højttalerholder
I08	H3/M4/VI06 <u>O</u>	Volumenmåling af ballon
I09	H3/M4/VI08 <u>O</u>	Volumenmåling med højttalerholder af balloner
I10	H3/M4/VI08 <u>O</u>	Volumenmåling uden højttalerholder af balloner

### 4.3.1 I01-H1/M1/VI02G/VI01O

#### Testhypotese

Kan der genereres et kendt frekvenssignal som udsendes gennem højtaleren via arduino'en, og derefter opfanges af PC mikrofonen og hvor (maks) frekvensen angives i LabVIEW.

## Produktspecifikationer

### *Hardware:*

Højtaler: ABS-224-RC

Højtalerkabel: Rød/Sort

2 stk. Male Single Row Pin Header Strip 2.54 mm.

Arduino Mega 2560 R3

PC

USB kabel Hi-speed 2.0 shield 28AWG/2C+24AWG/2C Han USB A - Han USB B

#### *Software:*

NI LabVIEW 2014

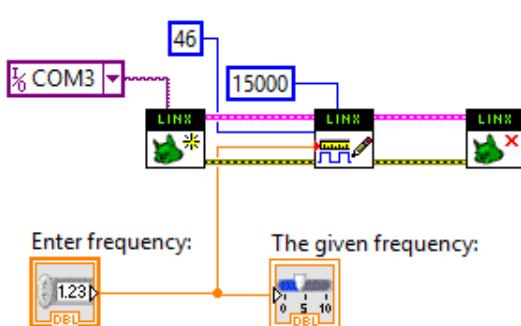
NI VISA 15.0.1

VI Package Manager

# ARDUINO 1.0.12

## Opstilling og

*1. delopstilling:*  
Højtaleren er loddet til højtalerkablets ene ende, og pin headerne er loddet til kablets anden ende. Pin headerne er isat Arduino'en i pin 46 (PL3(OC5A)), som et er digitalt PWM output, og til ground (GND). Arduino'en er med et USB kabel koblet til PC'en. På PC'en er VI'et genererfrekvenssignal02.vi åbnet i LabVIEW. Blokdiagrammet er vist i figur 4.18.

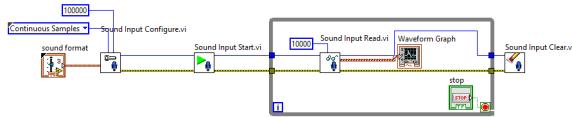


Figur 4.18: Blokdiagrammet for genererfrekvensignal02.vi

## *2. development:*

Mikrofonen er sat i PC'ens minijack-stik. På PC'en er VI'et optagefrekvenssignal 0.1.vi

åbnet i LabVIEW. Blokdiagrammet er vist i figur 4.19.



Figur 4.19: Blokdiagram for *optagefrekvenssignal01.VI*

### Udførsel

1. Højttaleren holdes manuelt således membranen står i lodret position.
2. Mikrofonen holdes manuelt, vendt mod højttaleren, i en afstand på 5 cm.
3. I VI'et *genererfrekvenssignal02.vi* indtastes den ønskede frekvens i den numeriske kontrol *Enter Frequency*.
4. Koden eksekveres ved at trykke på *Run*.
5. I VI'et *optagefrekvenssignal01.vi* trykkes på *Run*.
6. Den maksimale optagede frekvens aflæses i *Max Frequency*.

Punkt 1-4 gentages med frekvenser på: 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, 400 Hz, 500 Hz, 600 Hz og 700 Hz.

### Resultater

Den maksimale optagede frekvens var ikke tilnærmelsesvis frekvensen på den udsendte tone ved alle afprøvede frekvenser.

### Diskussion

Det ønskede resultat er frekvensen på den udsendte tone, hvilket ikke var tilfældet i denne test. Hvor er fejlen opstået; er der fejl i LabVIEW-kode eller hardware?

### Konklusion

Da resultatet ikke er tilfredsstillende forkastes hypotesen.

### Aktion

Det er nødvendigt at undersøge om fejlen opstår i vores hardware eller software. Onlinetonegenerator anvendes til at undersøge dette.

### 4.3.2 I02-M1/VI01

#### Testhypotese

Kan der genereres et frekvenssignal fra en online tonegenerator, som udsendes gennem PC'ens højtalere, og derefter opfanges af mikrofonen, hvor den højst målte frekvens til sidst angives i LabVIEW.

#### Produktspecifikationer

##### *Hardware:*

Minijack PC Mikrofon

PC

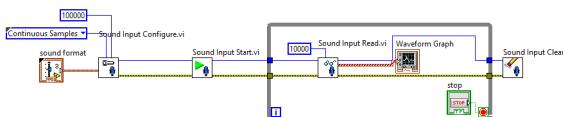
##### *Software:*

NI LabVIEW 2014

[onlinetonegenerator.com](http://onlinetonegenerator.com)

#### Opstilling og opsætning

Mikrofonen er sat i PC'ens minijack-stik. På PC'en er VI'et *optagefrekvensignal0.1.vi* åbnet i LabVIEW. Blokdiagrammet er vist i figur 4.20.



Figur 4.20: Blokdiagram for *optagefrekvensignal01.VI*

I en internetbrowser er hjemmesiden [www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com) åbnet, og PC'ens højtalere er slået til og volumen er sat til maksimum.

#### Udførelsel

1. Mikrofonen holdes manuelt, vendt mod PC'ens højtalere, i en afstand på 5 cm.
2. I [onlinetonegenerator.com](http://onlinetonegenerator.com) genereres et signal med den ønskede frekvens.
3. I VI'et *optagefrekvensignal0.1.vi* trykkes på *Run*.
4. Den maksimale optagede frekvens aflæses i *Max Frequency*.

Punkt 1-4 gentages med frekvenser på: 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, 400 Hz, 500 Hz, 600 Hz og 700 Hz.

## Resultater

Den optagede frekvens var den generede udsendte frekvens (+/- 0.5 Hz).

## Diskussion

Der opnås nu pæne resultater, og der reflekteres over om resultaterne i 4.3.1 skyldes fejl i højtalere eller fejl i VI'et `genererfrekvenssignal02.vi`.

## Konklusion

Testresultaterne er tilfredsstillende og testhypotesen accepteres. Det konkluderes, at der ikke er fejl i VI'et `optagefrekvenssignal0.1.vi`.

## Aktion

Det skal undersøges, hvilken forskel der er på frekvenssignalet fra onlinetonegenerator.com og det genererede frekvenssignal udsendt fra højtaleren ABS-224-RC.

### **4.3.3 I03-H1/M1/VI02G/VI02O**

#### Testhypotese

Frekvenssignalet fra onlinegenerator.com og det genererede frekvenssignal udsendt fra højtaleren ABS-224-RC er forskellige ved analyse i LabVIEW.

#### Produktspecifikationer

##### *Hardware:*

Højtalere: ABS-224-RC

Højtalerkabel: Rød/Sort

2 stk. Male Single Row Pin Header Strip 2.54 mm.

Krympeflex 2:1Arduino Mega 2560 R3

USB kabel Hi-speed 2.0 shield 28AWG/2C+24AWG/2C Han USB A - Han USB B  
PC

Minijack PC Mikrofon

##### *Software:*

NI LabVIEW 2014

NI VISA 15.0.1

VI Package Manager

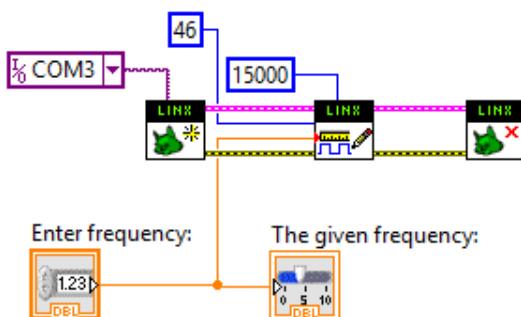
ARDUINO 1.6.12

[www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com)

## Opstilling og opsætning

### *1. delopstilling:*

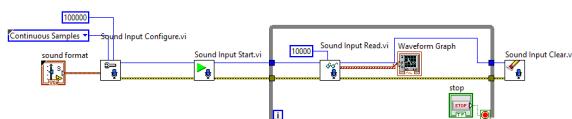
Højtaleren er loddet til højtalerkablets ene ende, og pin headerne er loddet til kablets anden ende. Pin headerne er isat Arduino'en i pin 46 (PL3(OC5A)), som et er digitalt PWM output, og til ground (GND). Arduino'en er med et USB kabel koblet til PC'en. På PC'en er VI'et `genererfrekvenssignal02.vi` åbnet i LabVIEW. Blokdiagrammet er vist i figur 4.21.



Figur 4.21: Blokdiagrammet for genererfrekvenssignal02.vi

## *2. develop stilling:*

Mikrofonen er sat i PC'ens minijack-stik. På PC'en er VI'et optagefrekvenssignal0.1.vi åbnet i LabVIEW. Testopstillingen for denne del er vist i figur ??, og blokdiagrammet er vist i figur 4.22.



Figur 4.22: Blokdiagram for optagefrekvenssignal01.VI

### *3. development:*

I en internetbrowser er hjemmesiden [www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com) åbnet, og PC'ens højtalere er slæt til og volumen er sat til maksimum.

## Udførsel

### 1. deltest

1. Højtaleren holdes manuelt således membranen står i lodret position.
2. Mikrofonen holdes manuelt, vendt mod højtaleren, i en afstand på 5 cm.
3. I VI'et `genererfrekvenssignal02.vi` indtastes den ønskede frekvens i den numeriske kontrol *Enter Frequency*.
4. Koden eksekveres ved at trykke på *Run*.
5. I VI'et `optagefrekvenssignal0.1.vi` trykkes på *Run*.
6. Den maksimale optagede frekvens aflæses i *Max Frequency*.

### 2. deltest

1. Mikrofonen holdes manuelt, vendt mod PC'ens højtaler, i en afstand på 5 cm.
2. I `onlinetonegenerator.com` genereres et signal med den ønskede frekvens.
3. I VI'et `optagefrekvenssignal0.1.vi` trykkes på *Run*.
4. Den maksimale optagede frekvens aflæses i *Max Frequency*.

Deltestene gentages med frekvenser på: 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, 400 Hz, 500 Hz, 600 Hz, 700, 1000 og 1200 Hz, og resultaterne sammenholdes.

## Resultater

Det blev observeret, at de afsendte frekvenser fra det genererede frekvensignal i VI'et `genererfrekvenssignal02.vi` ikke stemte overens med de aflæste i maks frekvens-feltet. Det erfaredes at det var grundtonens harmoniske overtoner, idet frekvensen udsendes som et firkantsignal. Kun ved højfrekvente signaler (<1 kHz), blev grundtonen opfanget. Ved at benytte `onlinetonegenerator.com`, kunne der udsendes et sinussignal med en given frekvens, som blev korrekt opfanget (+/- 0.5 Hz) i maks frekvens-feltet.

## Diskussion

Der opnås pæne resultater ved at bruge et sinussignal. Det overvejes om det er muligt at generere sinussignaler til en Arduino men der er desværre meget kompliceret at generere sinussignaler til en Arduino.

## Konklusion

Testhypotesen accepteres. Det konkluderes, at der ikke er fejl i software og hardware, og de unøjagtige resultater skyldes firkantssignalets harmoniske overtoner.

## Aktion

Det skal undersøges, om det er muligt at filtrere firkantssignalets harmoniske overtoner fra vha. en resonator, således firkantssignalet kan benyttes.

### **4.3.4 I04-H2/M1/VIO2G/VIO2O**

#### **Testhypotese**

Kan en resonatorlignende beholder dæmpe de harmoniske overtoner fra firkantsignalet.

#### **Produktspecifikationer**

##### *Hardware:*

Højtalere: Wide Band 2.5" SB65WBAC25-4

Højtalerkabel: Rød/Sort

Kabelsko: Rød fladstik hun, str. 0.25-1.65 mm<sup>2</sup>, 6.6 mm bred fladstik  
2 stk. Male Single Row Pin Header Strip 2.54 mm.

Krympeflex 2:1

Arduino Mega 2560 R3

Minijack PC Mikrofon

PC

USB kabel Hi-speed 2.0 shield 28AWG/2C+24AWG/2C Han USB A - Han USB B

Tryksprøjte NSG 150 - Neptun (resonator)

Lineal

##### *Software:*

NI LabVIEW 2014

NI VISA 15.0.1

VI Package Manager

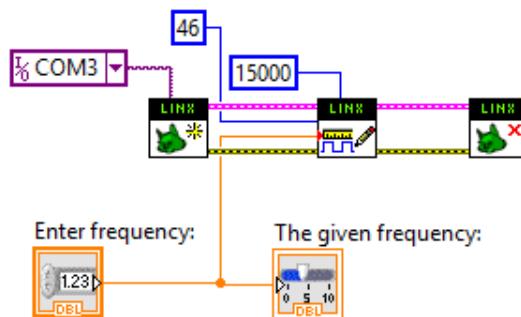
ARDUINO 1.6.12

### Opstilling og opsætning

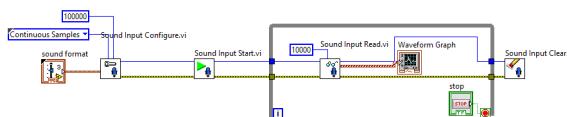
Højtalerkablets ene ende er påsat kabelsko, som er påsat højtaleren. Til kablets anden ende er pin header loddet fast og forsejlet med krympeflex. Pin headerne er sat i Arduino'en i pin 46 (PL3(OC5A)), som er et digitalt PWM output, og til ground (GND). Arduino'en er med et USB kabel koblet til PC'en. Mikrofonen er sat i PC'ens minijack-stik og er ført ned i resonatoren hvor den ligger i bunden. Højtaleren placeres i en afstand på en halv diameter af højtalernes membran, ovenfor resonatorens hals.

På PC'en er VI'erne *genererfrekvensignal02.vi* og *optagefrekvenssignal02.vi* åbnet i LabVIEW og blokdiagrammerne er vist i figur 4.23 og 4.24

Testopstillingen kan ses på figur 4.25.



Figur 4.23: Blokdiagrammet for *genererfrekvenssignal02.vi*



Figur 4.24: Blokdiagram for *optagefrekvenssignal01.VI*

### Udførelsel

- Tryksprøjtedelen afmonteres beholderen og fungerer nu som resonator. Resonatoren stilles på et bord med halsen pegende opad.
- Mikrofonen føres ned i resonatoren og ligger i resonatorens bund.
- Linealen påsættes resonatorens hals så den fungerer som afstandsmåler fra halsåbningen.



Figur 4.25: Testopstilling for test *I04-H2/M1/VI02G/VI02Q*

4. Højtaleren holdes manuelt over resonatorhalsen i en afstand på en halv diameter af højtalermembranen. Ved anvendelse af den specificerede højtaler er afstanden to centimeter.
5. I VI'et `genererfrekvenssignal02.vi` indtastes den ønskede frekvens i den numeriske kontrol *Enter Frequency*.
6. Koden eksekveres ved at trykke på *Run*.
7. I VI'et `optagefrekvenssignal02.vi` trykkes på *Run*.
8. Den maksimale optagede frekvens aflæses i *Max Frequency*.

Testen udføres med en frekvens på 200 Hz, 500 Hz, 1000 Hz og 1200 Hz. Der afprøves to gange med hvert frekvens

## Resultater

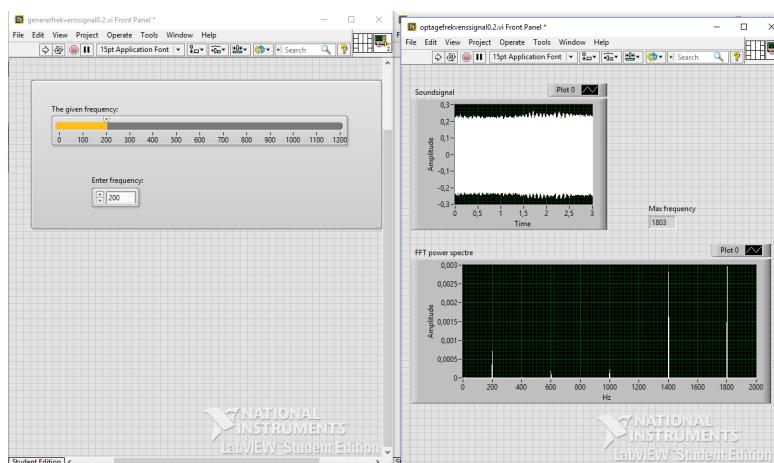
Det blev observeret i første forsøg, at resultatet fra det genererede frekvensignal i VI'et `genererfrekvenssignal02.vi` på 200 Hz var en af grundtonens harmoniske overtoner på 1803 Hz og i andet forsøg observeres en harmonisk overtone 1402,33 Hz. Resultatet fra første forsøg vises i figur 4.26.

Det blev observeret ved begge forsøg, at resultatet fra det genererede frekvensignal i

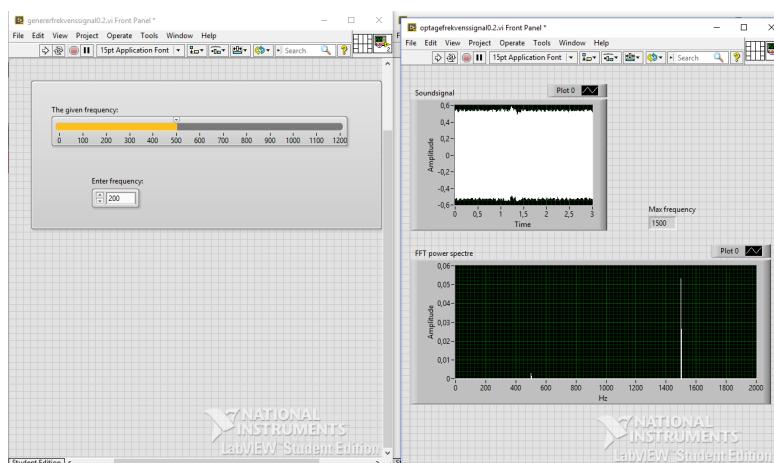
VI'et **genererfrekvensignal02.vi** på 500 Hz var en af grundtonens harmoniske overtoner på 1500 Hz. Dette ses i figur 4.27.

Det blev observeret i første forsøg, at resultatet fra det genererede frekvenssignal i VI'et **genererfrekvensignal02.vi** på 1000 Hz var en af grundtonens harmoniske overtoner på 3000,33 Hz i. Dette ses i figur 4.28. I det andet forsøg observeres det at resultatet stemmer overens med den afspillede grundtone. Dette ses på figur 4.29.

Det blev observeret, at resultatet fra den genererede frekvenssignal i VI'et **genererfrekvensignal02.vi** på 1200 Hz stemmer overens med den afspillede grundtone. Dette ses på figur 4.30.



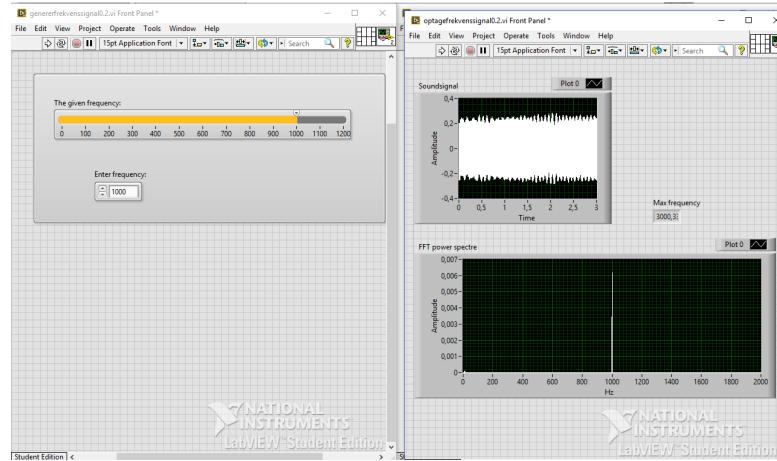
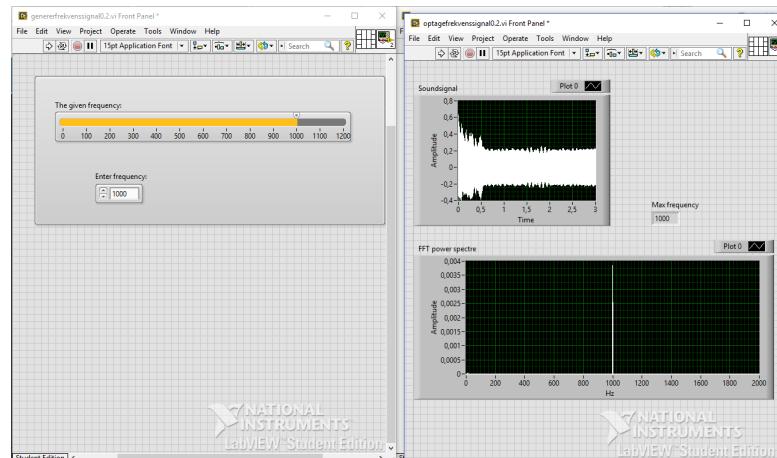
Figur 4.26: Resultat for bordtest 4 ved anvendelse af 200 Hz



Figur 4.27: Resultat for I04-H2/M1/VI02G/VI02Q ved anvendelse af 500 Hz

## Diskussion

Ved forsøget med 1000 Hz observeres, at de to resultater ikke er tilnærmelsesvis ens. I første forsøg blev en harmonisk overtone opfanget, som den maksimale frekvens, hvor der i andet forsøg blev opfanget grundtonen på den genererede frekvens. Det

Figur 4.28: Resultat for for *I04-H2/M1/VI02G/VI02Q* ved anvendelse af 1000 HzFigur 4.29: Resultat for for *I04-H2/M1/VI02G/VI02Q* ved anvendelse af 1000 Hz

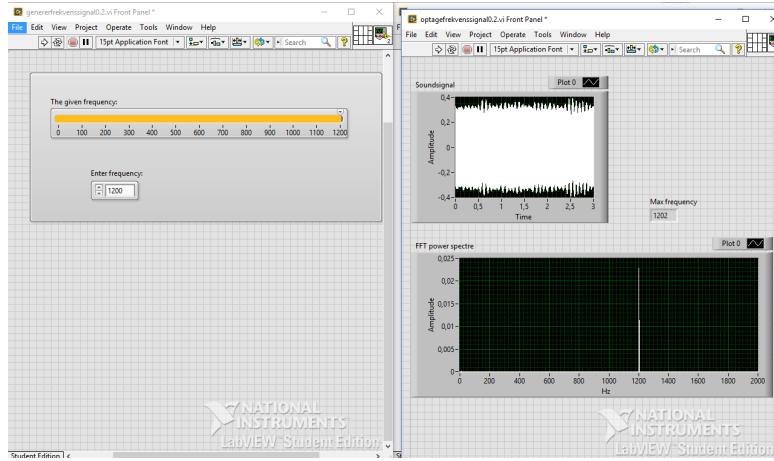
er et meget divergerende resultater men hvad kan årsagen være til at der måles så forskellige tal?

### Konklusion

testhypotesen afkastes. Ved generering af frekvenser lavere end 1000 Hz opfanges harmoniske overtoner, i stedet for grundtonen, som er det ønskede resultat. Ved generering af frekvenser lig 1000 Hz opfanges ustabile resultater. Ved generering af frekvenser højere end 1000 Hz, opnås pæne resultater, hvor den genererede frekvens er lig den opfangede frekvens. Dermed konkluderes, at resonatoren i dette tilfælde ikke virker dæmpende på harmoniske overtoner på frekvenser lavere end 1000 Hz.

### Aktion

Det skal undersøges, om målinger genereret med en frekvens lig eller højere end 1000 Hz er stabile.



Figur 4.30: Resultat for *I04-H2/M1/VI02G/VI02Q* ved anvendelse af 1200 Hz

#### 4.3.5 I05-H2/M1/VI02G/VI02O

##### Testhypotese

Er firkantsignaler genereret med frekvenser lig eller højere end 1000 Hz stabile og HelmHoltzresonatoren har på indvirkning på signalet.

##### Produktspecifikationer

###### *Hardware:*

Højtaler: Wide Band 2.5" SB65WBAC25-4

Højtalerkabel: Rød/Sort

Kabelsko: Rød fladstik hun, str. 0.25-1.65 mm<sup>2</sup>, 6.6 mm bred fladstik

2 stk. Male Single Row Pin Header Strip 2.54 mm.

Krympeflex 2:1

Arduino Mega 2560 R3

Minijack PC Mikrofon

PC

USB kabel Hi-speed 2.0 shield 28AWG/2C+24AWG/2C Han USB A - Han USB B

Tryksprøjte NSG 150 - Neptun (resonator)

Lineal

###### *Software:*

NI LabVIEW 2014

NI VISA 15.0.1

VI Package Manager

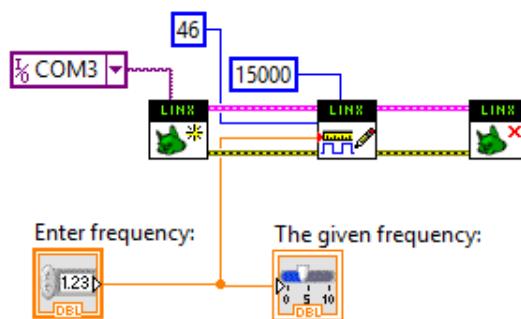
ARDUINO 1.6.12

### Opstilling og opsætning

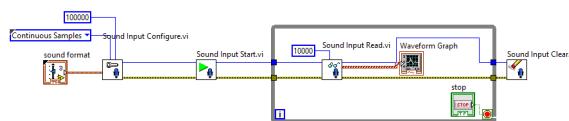
Højtalerkablets ene ende er påsat kabelsko, som er påsat højtaleren. Til kablets anden ende er pin headere loddet fast og forsejlet med krympeflex. Pin headerne er satet Arduino'en i pin 46 (PL3(OC5A)), som et er digitalt PWM output, og til ground (GND). Arduino'en er med et USB kabel koblet til PC'en. Mikrofonen er sat i PC'ens minijack-stik og er ført ned i resonatoren hvor den ligger i bunden. Højtaleren placeres i en afstand på en halv diameter af højtalernes membran, ovenfor resonatorens hals.

På PC'en er VI'erne *genererfrekvenssignal02.vi* og *optagefrekvenssignal02.vi* åbnet i LabVIEW og blokdiagrammerne er vist i figur 4.31 og 4.32

Testopstillingen er den samme som i bordtest 4, og vises i figur 4.25.



Figur 4.31: Blokdiagrammet for *genererfrekvenssignal02.vi*



Figur 4.32: Blokdiagram for *optagefrekvenssignal01.VI*

### Udførelsel

- Tryksprøjtedelen afmonteres af beholderen og fungere nu som resonator. Resonatoren stilles på et bord med halsen pegende opad.
- Mikrofonen føres ned i resonatoren og ligger i resonatorens bund.

3. Linealen påsættes resonatorens hals så den fungere som afstandsmåler fra halsåbningen.
4. Højtaleren holdes manuelt over resonatorhalsen i en afstand på en halv diameter af højtalermembranen. Ved anvendelse af den specificerede højtalere er afstanden to centimeter.
5. I VI'et `genererfrekvenssignal02.vi` indtastes den ønskede frekvens i den numeriske kontrol *Enter Frequency*.
6. Koden eksekveres ved at trykke på *Run*.
7. I VI'et `optagefrekvenssignal02.vi` trykkes på *Run*.
8. Den maksimale optagede frekvens aflæses i *Max Frequency*.

Testen udføres med en frekvens på 950 Hz, 1000 Hz, 1100 Hz, 1200 Hz og 1300 Hz. Testen fortages to gange med hver frekvens.

## Resultater

Ud fra tabellen ses at de opfangede signaler er stabile ved alle udsendte frekvenser. Det ses ydermere at de afsendte signaler ikke ser ud til at være påvirket af Helmholtzresonatoren

## Diskussion

Variationen på de opfangede frekvenser er tilfredsstillende til brug i det videre udviklingsforløb. De optagede frekvenser afviger ikke fra de udsendte frekvenser selvom de udsendte frekvenser er opfanget i resonatoren. Det er Helmholtz resonansen som ønskes opfanget og den formodes at afvige fra den udsendte frekvens. Dette er dog ikke tilfældet i denne tests resultater. Det undres over de optagede frekvenser ikke er påvirkede af resonatoren og der sås nu tvivl minijack mikrofonen opfanger signalerne eller om det er PC mikrofonen som opfanger signalerne

Tabel 4.10: Tabel over resultater

Udsendt frekvens [Hz]	1. resultat	2. resultat
950	954.33	954.33
1000	1000.00	1000.00
1100	1101.33	1101.33
1200	1202.00	1202.00
1300	1302.00	1302.00

## Konklusion

Hypotesen afkastestes. Frekvenser over 950 Hz kan opfanges som grundtonen og det opfangede signal er ikke forstyrret at de harmoniske overtoner. Det ser ikke ud til at de opfangede frekvenser ikke er påvirket af resonatoren, hvilket vil være forventeligt. Det konkluderes at det er nødvendigt at undersøge om minijack mikrofonen opfanger de afsendte signaler.

## Aktion

Der udføres en ny enhedstest af minijack mikrofonen for at klarlægge om mikrofonen opfanger signalerne.

### **4.3.6 I06-H3/M4/VI05O**

#### **Testhypotese**

Resonansfrekvensen  $f_0$  i den tomme resonator kan opfanges og volumen udregnes. Volumenudregning med brug af  $f_0$  stemmer overens med resonatorens kendte volumen af resonatoren.

#### **Produktspecifikationer**

##### *Hardware:*

Multimedia USB Speaker HP-1800

Electret Microphone Amplifier - MAX4466

Multifunction Data Acquisition (DAQ) USB-6009

Tryksprøjte NSG 150 - Neptun

Danalim klæbemasse 312

Lineal

MY DOUGH modellervoks

Etronit MBM PhenolicMelamine plade

PC

##### *Software:*

NI LabVIEW 2014

LabVIEW2014-NI-DAQmx-14

[www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com)

### Opstilling og opsætning

Flasken er skruet af tryksprøjen, og bunden er savet af i et lige snit. Denne flaske har funktionen som resonator i testen. Resonatoren vises i figur 4.33. Resonatoren er placeret på pladen, og er tætnet med modellervoks i kanten mellem resonator og plade. Trykventilen på flasken er også tætnet med modellervoks. En lineal er påsat flaskehalsen, og benyttes til afstandsmåling. Mikrofonen er monteret på resonatorens inderside med klæbemasse. Mikrofonen placeres mindre end resonatorhalsens længde fra resonatorhalsens indre åbning. Mikrofonen er endvidere tilkoblet DAQ'en, som er tilsluttet PC'en. På PC'en er LabVIEW VI'et optagefrekvenssignal05.vi åbnet. Blokdiagrammet vises i figur 4.34. Højtaleren er tilsluttet PC'en, og [www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com) er åbnet i en browser, hvor pink noise genereres. Højtaleren holdes i en afstand på en halv diameter af halsåbningen fra halsens indgangen.

Volumet af flasken er udregnet ved at hælde vand i resonatoren, og derefter måle vandets vægt. Ud fra vandets vægt kunne volumen gives.

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (4.2)$$

$$V_{resonator} = \frac{1698 \text{ }\mu\text{g}/\text{cm}^3}{1000 \text{ kg}/\text{m}^3} \quad (4.3)$$

$$V_{resonator} = \frac{1671 \text{ }\mu\text{g}/\text{cm}^3}{1000 \text{ kg}/\text{m}^3} = 1,671 \text{ m}^3 = 1,671 \text{ L} \quad (4.4)$$

Volumet bestem ud fra den målte resonansfrekvens er gjort på følgende måde.

Helmholtz resonansen i en tom resonator er givet ved følgende formel:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S_p}{V(l_p + \Delta l)}} \quad (4.5)$$

hvor

$f_0$ : resonansfrekvens i en tom resonator [Hz],

$c$ : lydens hastighed i luft [m/s],

$S_p$ : tværsnitsareal af port [m<sup>2</sup>],

$V$ : statisk volumen af resonator [m<sup>3</sup>],

$l_p$ : længde af port [m],

$\Delta l$ : endekorrektion [m]

Lydens hastighed i luft  $c$  er givet ved formlen:

$$c = 331,5 \text{ m/s} \cdot \sqrt{\frac{T_K}{273,15 \text{ K}}} \quad (4.6)$$

hvor  $T_K$  er givet ved

$$T_K = t^\circ C + 273,15 \text{ K} \quad (4.7)$$

. Derved kan lydens hastighed i luft ved en temperatur på 23°C bestemmes:

$$c = 331,5 \text{ m/s} \cdot \sqrt{\frac{296,15 \text{ K}}{273,15 \text{ K}}} = 345,175 \text{ m/s} \quad (4.8)$$

Tværsnitsarealet  $S_p$  af porten bestemmes ved:

$$S_p = r^2 \pi \quad (4.9)$$

hvor  $r$  er radius er porten. Derved bliver  $S_p$  ved en radius på 1,75 cm:

$$S_p = (0,0175 \text{ m})^2 \pi = 0,000\,962 \text{ m}^2 \quad (4.10)$$

Volumen af resonatoren  $V$  er ekskl. port/ hals. Volumen er udregnet ved at hælde vand i resonatoren, og derefter måle vandets vægt. Ud fra vandets vægt kan volumen gives vha. følgende formel:

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (4.11)$$

↓

$$V_{resonator} = \frac{1,671 \text{ kg}}{1000 \text{ kg/m}^3} = 0,001\,671 \text{ m}^3 \quad (4.12)$$

Endekorrektionen  $\Delta l$  er en værdi som tillægges, som korrektion for den medsvingende luft, der i resonatoren fungerer som masse.

$\Delta l$  gives ved:

$$\Delta l = 0,6 \cdot r + \frac{8}{3\pi} \cdot r \quad (4.13)$$

⇓

$$\Delta l = 0,6 \cdot 0,0175 \text{ m} + \frac{8}{3\pi} \cdot 0,0175 \text{ m} = 0,157\,108 \text{ m} \quad (4.14)$$

Resonansfrekvens  $f_0$  i en tom resonator ved en lufttemperatur på 23°C er altså:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S_p}{V(l_p + \Delta l)}} \quad (4.15)$$

⇓

$$f_0 = \frac{345,175 \text{ m/s}}{2\pi} \sqrt{\frac{0,000\,962 \text{ m}^2}{0,001\,671 \text{ m}^3(0,034 \text{ m} + 0,157\,108 \text{ m})}} \quad (4.16)$$

⇓

$$f_0 = 95,3497 \text{ s}^{-1} \approx 95,4 \text{ Hz} \quad (4.17)$$

## Udførsel

1. Pink noise genereres fra [www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com) ud gennem højtaleren.
2. Gengælser af antal loops i blokdiagrammet sættes til 10, og der optages 4 sekunder af gangen.
3. Der trykkes *Run* i VI'et.
4. Resonansfrekvens  $f_0$  aflæses i *Resonansfrekvens af kammer med objekt*.

## Resultater

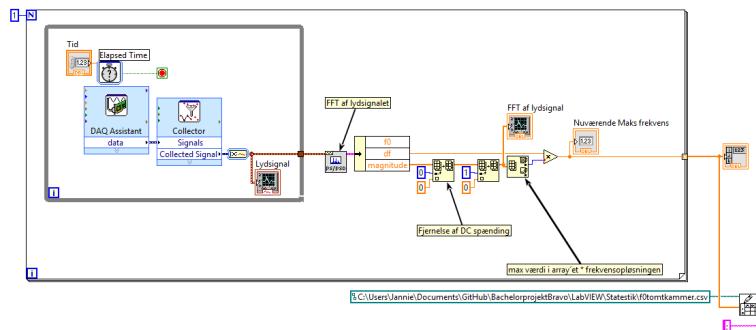
### 4.3.7 Bordtest nr. 6.1 - resonansfrekvens i tomt kammer

#### Testformål

Det ønskes, at finde resonansfrekvensen  $f_0$  i den tomme resonator, således denne kan verificeres i forhold til resonatorens kendte volumen.



Figur 4.33: Resonator fremstillet af Tryksprøjte NSG 150 - Neptun.



Figur 4.34: Blokdiagram for LabVIEW VI'et optagefrekvenssignal05.vi.

## Produktspecifikationer

### *Hardware:*

Multimedia USB Speaker HP-1800

Electret Microphone Amplifier - MAX4466

Multifunction Data Acquisition (DAQ) USB-6009

Tryksprøjte NSG 150 - Neptun

Danalim klæbemasse 312

3D-printet holder til Multimedia USB Speaker HP-1800

MY DOUGH modellervoks

Etronit MBM PhenolicMelamine plade

Tabel 4.11: Tabel over resultater

#	$f_0$ [Hz]
1	179,394
2	183,692
3	204,948
4	216,2
5	218,8
6	232,2
7	240,6
8	260,5
9	255,9
10	251,3

PC

Termometer

*Software:*

NI LabVIEW 2014

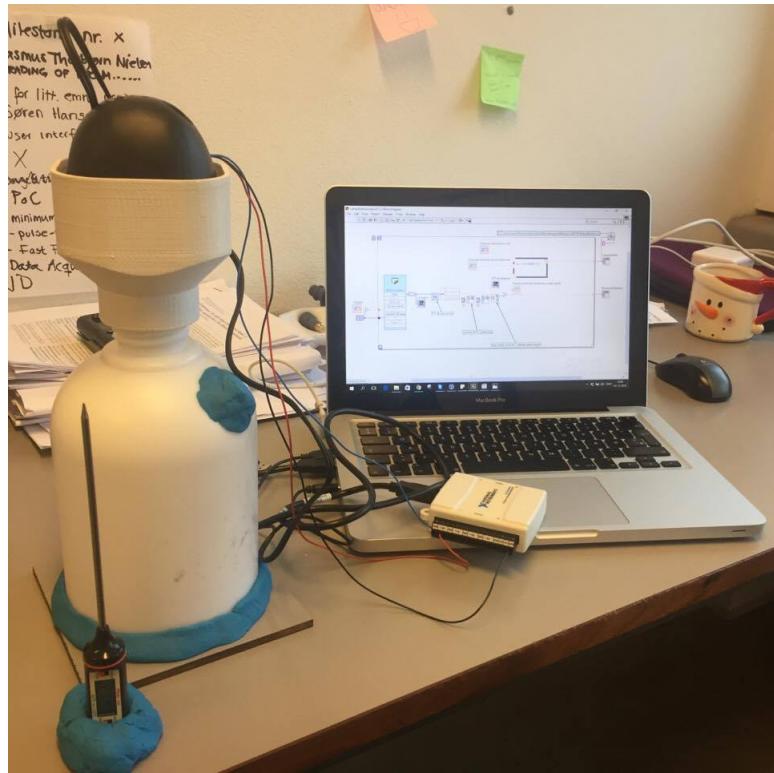
LabVIEW2014-NI-DAQmx-14

[www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com)

### Opstilling og opsætning

Flasken er skruet af tryksprøjen, og bunden er savet af i et lige snit. Denne flaske har funktionen som resonator i testen. Resonatoren vises i figur 4.33. Resonatoren er placeret på pladen, og er tætnet med modellervoks i kanten mellem resonator og plade. Trykventilen på flasken er også tætnet med modellervoks. Mikrofonen er monteret på resonatorens inderside med klæbemasse. Mikrofonen placeres mindre end resonatorhalsens længde fra resonatorhalsens indre åbning. Mikrofonen er endvidere tilkoblet DAQ'en, som er tilsluttet PC'en. På PC'en er LabVIEW VI'et **optagefrekvensignal05.vi** åbnet. Blokdiagrammet vises i figur 4.34. En 3D-printet holder er skruet på flaskens gevind. Holderen sikrer, at højtaleren holdes i en afstand på  $\geq$  en diameter af halsåbningen fra halsens indgangen. Højtaleren er tilsluttet PC'en, og [www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com) er åbnet i en browser, hvor pink

noise genereres. Et termometer sættes til at måle rumtemperaturen, imens testen udføres.



Figur 4.35: Opstillingen for testen fremgår af denne figur

### Udførsel

1. Pink noise genereres fra [www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com) gennem højtaleren.
2. Gentagelse af antal loops i blokdiagrammet sættes til 100, og der optages 4 sekunder af gangen.
3. Der trykkes *Run* i VI'et.
4. Resonansfrekvens  $f_0$  aflæses i *Resonansfrekvens af kammer med objekt*.

### Resultater

Rumtemperatur: 23.7°C

$f_0$  udregnet ud fra Helmholtz resonans ligningen:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S_p}{V(l_p + \Delta l)}} \quad (4.18)$$

,

hvor  $c$  er givet ved:

$$c = 331,5 \text{ m/s} \cdot \sqrt{\frac{T_K}{273,15 \text{ K}}} \quad (4.19)$$

, og  $T$  er bestemt ved.:

$$T_K = t^{\circ}C + 273,15 \text{ K} \quad (4.20)$$

Tværsnitsarealet  $S_p$  er bestemt ved

$$S_p = r^2\pi \quad (4.21)$$

Endvidere er  $\Delta l$  bestemt ved:

$$\Delta l = 0,6 \cdot r + \frac{8}{3\pi} \cdot r \quad (4.22)$$

$$S_p = r^2\pi \quad (4.23)$$

#### 4.3.8 Bordtest 6.2 - test med tre balloner med forskellig volumen

##### Testformål

Gul ballon: 216 g. svarende til et volumen på: 0,000216 m<sup>3</sup>

Blå ballon: 383 g. svarende til et volumen på: 0,000383 m<sup>3</sup>

Tabel 4.12: Tabel over resultater

#	$f_0$ [Hz]
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

Grøn ballon: 516 g. svarende til et volumen på: 0,000516 m<sup>3</sup>

Rumtemperatur: 23,2°C

$f_0$  ved 23.2°C: 96.4 s

Gul ballon:  $f_b$  burde dermed være: 103.3 s (var 150 s) Blå ballon:  $f_b$  burde dermed være: 109.8 s (var 152 s) Grøn ballon:  $f_b$  burde dermed være: 115.9 s (var 159 s)

# Find en plads til det her 5

---

## 5.1 Bestemmelse af volumen af resonator

Volumen af resonatoren skal kendes for at bestemme resonansfrekvensen i det tomme kammer. Volumen er udregnet ved at hælde vand i resonatoren, og derefter måle vandets vægt. Ud fra vandets vægt kunne volumen gives.

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (5.1)$$

$$V_{resonator} = \frac{1698 \text{ }\mu\text{g}/\text{cm}^3}{1000 \text{ kg}/\text{m}^3} \quad (5.2)$$

$$V_{resonator} = 1,698 \text{ m}^3 = 1,698 \text{ L} \quad (5.3)$$

### 5.1.1 Bestemmelse af volumen af resonator ekskl. halsvolumen

Volumen af resonatoren ekskl. halsvolumen er udregnet på samme fremgangsmåde ved brug af ligning 5.11.

$$V_{resonator} = \frac{1671 \text{ }\mu\text{g}/\text{cm}^3}{1000 \text{ kg}/\text{m}^3} = 1,671 \text{ m}^3 = 1,671 \text{ L} \quad (5.4)$$

## 5.2 Udregning af volumen

Helmholtz resonansen i en tom resonator er givet ved følgende formel:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S_p}{V(l_p + \Delta l)}} \quad (5.5)$$

hvor

$f_0$ : resonansfrekvens i en tom resonator [Hz],

$c$ : lydens hastighed i luft [m/s],

$S_p$ : tværsnitsareal af port [m<sup>2</sup>],

$V$ : statisk volumen af resonator [m<sup>3</sup>],

$l_p$ : længde af port [m],

$\Delta l$ : endekorrektion [m]

Lydens hastighed i luft  $c$  er givet ved formlen:

$$c = 331,5 \text{ m/s} \cdot \sqrt{\frac{T_K}{273,15 \text{ K}}} \quad (5.6)$$

hvor  $T_K$  er givet ved

$$T_K = t^\circ C + 273,15 \text{ K} \quad (5.7)$$

. Derved kan lydens hastighed i luft ved en temperatur på 23°C bestemmes:

$$c = 331,5 \text{ m/s} \cdot \sqrt{\frac{296,15 \text{ K}}{273,15 \text{ K}}} = 345,175 \text{ m/s} \quad (5.8)$$

Tværsnitsarealet  $S_p$  af porten bestemmes ved:

$$S_p = r^2 \pi \quad (5.9)$$

hvor  $r$  er radius er porten. Derved bliver  $S_p$  ved en radius på 1,75 cm:

$$S_p = (0,0175 \text{ m})^2 \pi = 0,000\,962 \text{ m}^2 \quad (5.10)$$

Volumen af resonatoren  $V$  er ekskl. port/ hals. Volumen er udregnet ved at hælde vand i resonatoren, og derefter måle vandets vægt. Ud fra vandets vægt kan volumen gives vha. følgende formel:

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (5.11)$$

↓

$$V_{resonator} = \frac{1,671 \text{ kg}}{1000 \text{ kg/m}^3} = 0,001\,671 \text{ m}^3 \quad (5.12)$$

Endekorrektionen  $\Delta l$  er en værdi som tillægges, som korrektion for den medsvingende luft, der i resonatoren fungerer som masse.

$\Delta l$  gives ved:

$$\Delta l = 0,6 \cdot r + \frac{8}{3\pi} \cdot r \quad (5.13)$$

⇓

$$\Delta l = 0,6 \cdot 0,0175 \text{ m} + \frac{8}{3\pi} \cdot 0,0175 \text{ m} = 0,157\,108 \text{ m} \quad (5.14)$$

Resonansfrekvens  $f_0$  i en tom resonator ved en lufttemperatur på 23°C er altså:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S_p}{V(l_p + \Delta l)}} \quad (5.15)$$

⇓

$$f_0 = \frac{345,175 \text{ m/s}}{2\pi} \sqrt{\frac{0,000\,962 \text{ m}^2}{0,001\,671 \text{ m}^3(0,034 \text{ m} + 0,157\,108 \text{ m})}} \quad (5.16)$$

⇓

$$f_0 = 95,3497 \text{ s}^{-1} \approx 95,4 \text{ Hz} \quad (5.17)$$

# **Litteratur**

---

## Bilag A

Her er bilag A's indhold

TADA!!!!!! :D

## Bilag B

Og her kommer bilag B's indhold