

Bilag E - Vandstandssenor

2. juni 2023

Arbejdsfordeling			
Studienummer	Navn	Studieretning	Primær / Sekundær
202105139	Asger Ajs Dam	E	S
201705621	Jan Jakob Agricole Iversen	E	S
202110470	Rasmus Haugbølle Thomsen	E	P

Indhold

1 Indledning	2
2 Design	2
2.1 Vandstandssensor probe	2
2.1.0.1 Modstands-test	3
2.2 Kredsløb	3
2.2.1 Wheatstone bro	3
2.2.1.1 Hvorfor ikke bare én spændingsdeler?	4
2.2.2 Differensforstærker	4
2.2.3 Broen afbalanceret	5
2.2.4 Endeligt vandstandssensor design kredsløb	6
2.2.5 Bestemmelse af gain, som mulig fejlkilde	6
3 Implementering	6
3.1 Stykliste for vandstandssensor	6
3.2 Implementeringen på veroboard	7
4 Modultest	7
4.1 Procentdel vandniveau test måling	7
4.2 Præcision/Nøjagtighedstest	10

1 Indledning

Vandstandssensoren spiller en afgørende rolle i systemet ved at holde både brugeren og systemet opdateret om vandniveauet i tanken. Sensoren er afgørende for to vigtige funktioner i systemet. For det første er sensoren ansvarlig for at registrere vandniveauet i tanken, og specielt når vandniveauet når en kritisk tilstand. Dette giver systemet mulighed for at alarmere brugeren via dets indbygget alarmfunktion, så brugeren kan tage de nødvendige skridt for at genopfyldes vandtanken i tide.

For det andet spiller vandstandssensoren en afgørende rolle i selve vandingsprocessen i systemet. Vandingsfunktionen er afhængig af at der er vand tilstrækkeligt i tanken. Hvis vandstandssensoren ikke registrerer tilstrækkeligt vand i tanken, vil systemet ikke kunne udføre vandingen. Derfor er sensoren afgørende for at sikre, at systemet kun vander, når der er tilstrækkeligt med vand til rådighed.

På grund af disse vigtige funktioner er vandstandssensoren en essentiel komponent i systemet.

2 Design

For at måle vandniveauet i vores tank er det nødvendigt at udvikle et stykke hardware, som i dette tilfælde kunne være en probe. Denne probes adfærd vil ændre sig afhængig af vandniveauet i tanken. Der er flere teknikker, som vil kunne anvendes til dette formål.

For eksempel, kan vi lave en kapacitansmåling uden på vandtanken, eller vi kan bruge lysmåling gennem tanken for at registrere, når den er tom. En anden mulighed er at lave en probe bestående af to eller flere metalstykke, som ikke har kontakt med hinanden, før de kommer i kontakt med vandet. Her vil vandet skabe en forbindelse, og afhængigt af vandmængden, vil det være muligt kunne se en ændring af modstandsværdien.

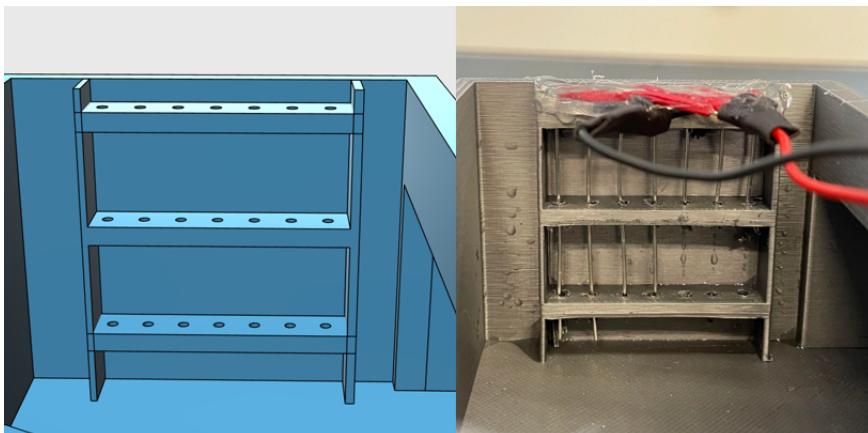
Vi vil forsøge at implementere denne sidste løsning ved at bygge en probe og derefter et passende kredsløb.

2.1 Vandstandssensor probe

Vandstandssensorens design tager udgangspunkt i en egendesignet probe, der fungerer som en variabel modstandsværdi alt efter mængden af vand i tanken. Proben består af metaltråde placeret i forskellige højder i vandtanken. Derved vil modstandsværdien være lav, når tanken er fuld, og omvendt høj, når tanken er tom.

Dette skyldes, at vandet fungerer som en leder, og jo mere vand der er på metaltrådene, desto bedre forbindelse vil der være mellem trådene og derfor lavere modstand. Denne ændring i modstanden udgør grundlaget for vores design, og vi udnytter dette til udformningen af vores kredsløb.

På figur 1 ses proben i vandtanken.



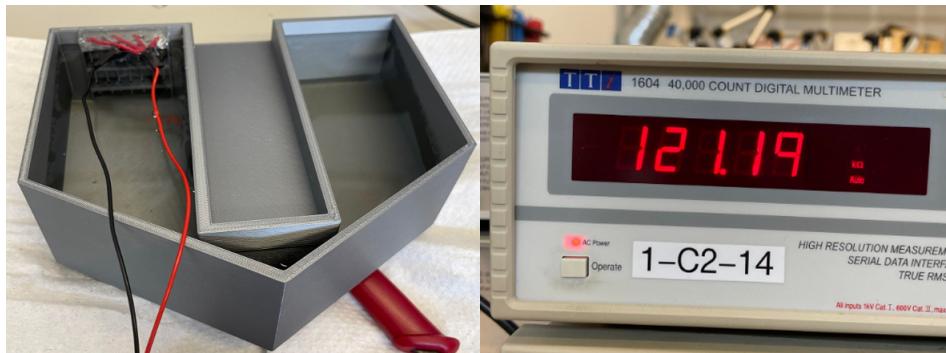
Figur 1: Vandstandssensor probe set i CAD program samt i virkeligheden

2.1.0.1 Modstands-test

For at tjekke påstanden om, at modstandsværdien ændrer sig afhængigt af mængden af vand i tanken, anvender vi et ohmmeter på de to ledninger, som hver har henholdsvis 4 og 3 metaltråde forbundet til sig.

Testen udføres ved at fyldе vandtanken helt op, så proben bliver fuldt dækket af vand. Vi forventer nu at kunne måle en modstandsværdi og konkludere, at vandet kan lave en forbindelse mellem metaltrådene.

På figur 2 nedenfor ses vandtanken vinklet på en måde, hvor proben bliver fuldt dækket af vand, og vi kan se den målte modstandsværdi.



Figur 2: Vandstandssensor probe modstandsmåling

Det ses, at når proben er helt dækket af vand, måler vi en modstandsværdi på $121\text{ k}\Omega$. Det kan derfor konkluderes, at påstanden om, at det er muligt at måle en modstandsværdi, er bekræftet. Derudover kunne vi også se, at modstandsværdien ændrede sig, desto mere vand proben var dækket af. Vi vurderer, at proben vil fungere til vores formål som en variabel modstand.

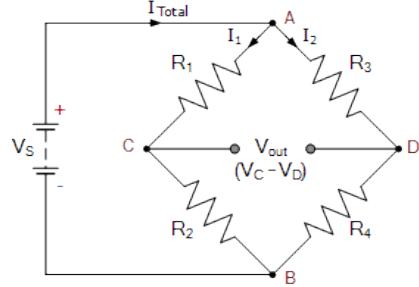
2.2 Kredsløb

Det kredsløb, som der bygges, skal være i stand til at fungere med den variable modstand, som proben genererer, og i sidste ende levere et analogt output, som systemet kan bruge til at aflæse vandstanden.

2.2.1 Wheatstone bro

Da vi arbejder med en variabel modstand fra vandstandssproben, vælger vi at anvende en wheatstone bro. Wheatstone broen er blevet anbefalet af en af vores undervisere, da den har mange fordele, som kan hjælpe med at give mere præcise målinger. En wheatstone bro er bestående af 4 modstande der sidder som to spændingsdelere. Når den er ideel, vil alle 4 modstande være ens, og broen vil derfor være i balance. I dette tilfælde vil forskellen mellem V_C og V_D være nul.^[7]

Figur 3 herunder viser dette:



Figur 3: Wheatstone bro [7]

Fordelen ved at benytte wheatstone broen i vores tilfælde er at vi har en variable modstand som en af de fire modstande i broen. Vi målte modstanden i vandstandssproben til at være $121\text{ k}\Omega$ når den var helt nedsunket i vand. Det betyder at når vandstanden falder, og modstanden bliver højere, vil vi ved hjælp af wheatstone broen være i stand til at måle en forskel imellem de to punkter V_D og V_C .

Man kan som nævnt tidligere beskrive en wheatstone bro som to spændingsdeler.

Vi kan derfor beregne både V_D og V_C på følgende måde:[4]

$$V_C = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{in}$$

$$V_D = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot V_{in}$$

Dette giver os en generel formel for V_{out} som er forskellem mellem de to punkter.

$$V_{out} = (V_C - V_D)$$

Vi kan teste om dette er rigtigt ved at benytte fire modstande af samme værdi med en forsyning på 5V:

$$V_C = \frac{120\text{k}\Omega}{120\text{k}\Omega + 120\text{k}\Omega} \cdot 5V \quad V_C = 2.5V$$

$$V_D = \frac{120\text{k}\Omega}{120\text{k}\Omega + 120\text{k}\Omega} \cdot 5V \quad V_D = 2.5V$$

$$V_{out} = 0V$$

Dette var som forventet. Teorien omkring wheatstone broen siger at hvis den er afbalanceret (ens modstande) vil V_{out} være 0.[7]

2.2.1.1 Hvorfor ikke bare én spændingsdeler?

Ved første tanke kan man godt undre sig over, hvorfor man ikke bare benytter en enkelt spændingsdeler til at måle en forskel i eksempelvis V_D . Der er flere grunde til, hvorfor man ikke gør dette. En enkelt spændingsdeler er mindre immun over for ting som unøjagtigheder, drift, temperatur og støj i forsyningsspændingen. Disse faktorer kan alle påvirke nøjagtigheden af målingen [2].

Derudover er Wheatstone-broen langt mere følsom over for ændringer, og det vil være lettere at se forskellen i outputtene, når man benytter denne frem for en spændingsdeler. En anden ting som en spændingsdeler ikke har, men en wheatstone bro har, er linearitet. Ved at benytte en wheatstone bro vil outputtet være mere lineært, og derved vil vi også have mere præcise målinger.[2].

Wheatstone-broen er altså det første skridt i vores design til at kunne bestemme vandstanden i vandtanken.

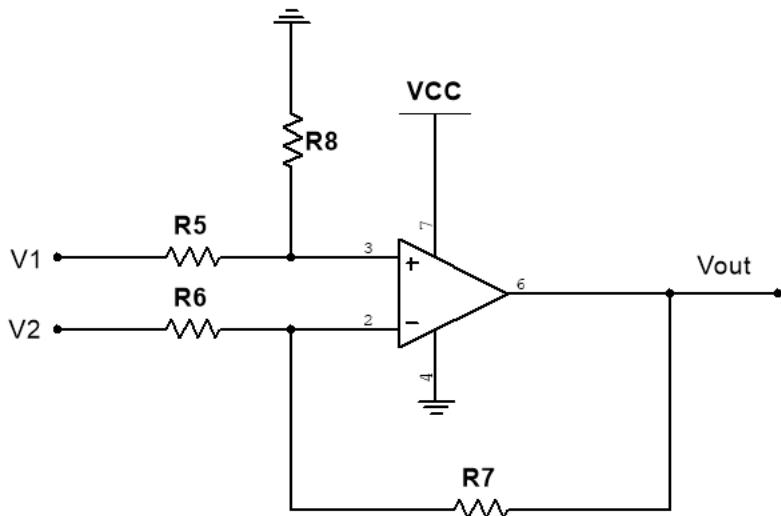
2.2.2 Differensforstærker

Vi har nu en forskel mellem V_D og V_C , som i princippet kan måles. Men når alle modstandene i broen er ens, vil forskellen være nul. Dette betyder også, at hvis der kun er meget små ændringer i vores variable modstand fra vandsstandsproben, vil den målte forskel også være meget lille.

Derfor anvender vi en differensforstærker i vores design.

Med en differensforstærker har vi mulighed for at bestemme forstærkningen, også kendt som gain. Dette giver os mulighed for at forstærke forskellene fra Wheatstone-broen efter vores eget behov.

Vi kan justere gainet for at opnå den ønskede følsomhed og nøjagtighed i vores målinger.[\[6\]](#)



Figur 4: Differensforstærker

Differensforstærkeren tager som nævnt forskellem mellem to spændinger på dens input (V_1 og V_2), og forstærker det med et gain (A) på V_{out} [\[8\]](#)
Det gælder for gainet A at når:

$$R_5 = R_6 \text{ og } R_8 = R_7$$

Er gainet A :

$$A = \frac{R_7}{R_5}$$

Formlen for V_{out} er derfor:

$$V_{out} = A \cdot (V_1 - V_2)$$

Hvis vi anvender den teori, vi har fra Wheatstone-broen, og indsætter den i formlen for V_{out} , får vi følgende udtryk:

$$V_{out} = A \cdot \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) \cdot V_{in}$$

Eller:

$$V_C - V_D = A \cdot (V_C - V_D)$$

2.2.3 Broen afbalanceret

Til vandsstandsproben i afsnit [2.1](#) udførte vi en test der bestemte modstanden i vandstandssproben. Vi valgte her at vi gerne ville have at wheatstone broen skulle have et output på 0V (afbalanceret) når den var helt nedsunket i vand.

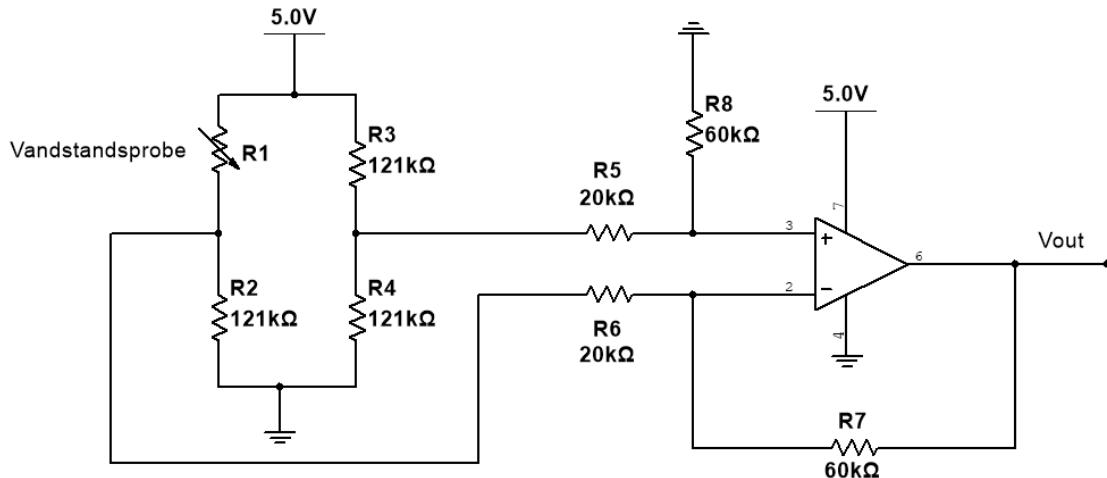
Dette resulterede i at vi fik en måling på 121kΩ.

Ud fra den teori vi har fra afsnit omkring wheatstone broen [2.2.1](#) skal de tre andre modstande i broen derfor have en lignende værdi. De beregninger vi lavede [2.2.1](#) er når broen er i balance. Det ses at $V_{out} = 0V$ her. For at bevise at differensforstærkeren ikke vil have en indvirkning på outputtet som forventes at være 0V, kan vi indsætte det i vores formel:

$$V_{out} = A \cdot (2.5V - 2.5V) = 0V$$

2.2.4 Endeligt vandstandssensor design kredsløb

På figur 5 ses det endelige design for vandstandssensor designet.



Figur 5: Vandstandssensor kredsløb design

2.2.5 Bestemmelse af gain, som mulig fejlkilde

Vi udregner gainet nu:

$$A = \frac{60\text{k}\Omega}{20\text{k}\Omega}$$

$$A = 3$$

Gainet blev bestemt under en test af kredsløbet, her forsøgte vi at finde et passende gain. Da vi havde et gain på 3, ville vi måle værdier i et spænd mellem ca. 3-4V. Dette synes vi på daværende tidspunkt var optimalt, men set i bakspejlet har vores wheatstone bro ikke været afbalanceret ordenligt.

3 Implementering

Det færdige design bliver bygget på veroboard. Da der ikke findes 121 kΩ modstande i ece lageret, anvendes der 120 kΩ.

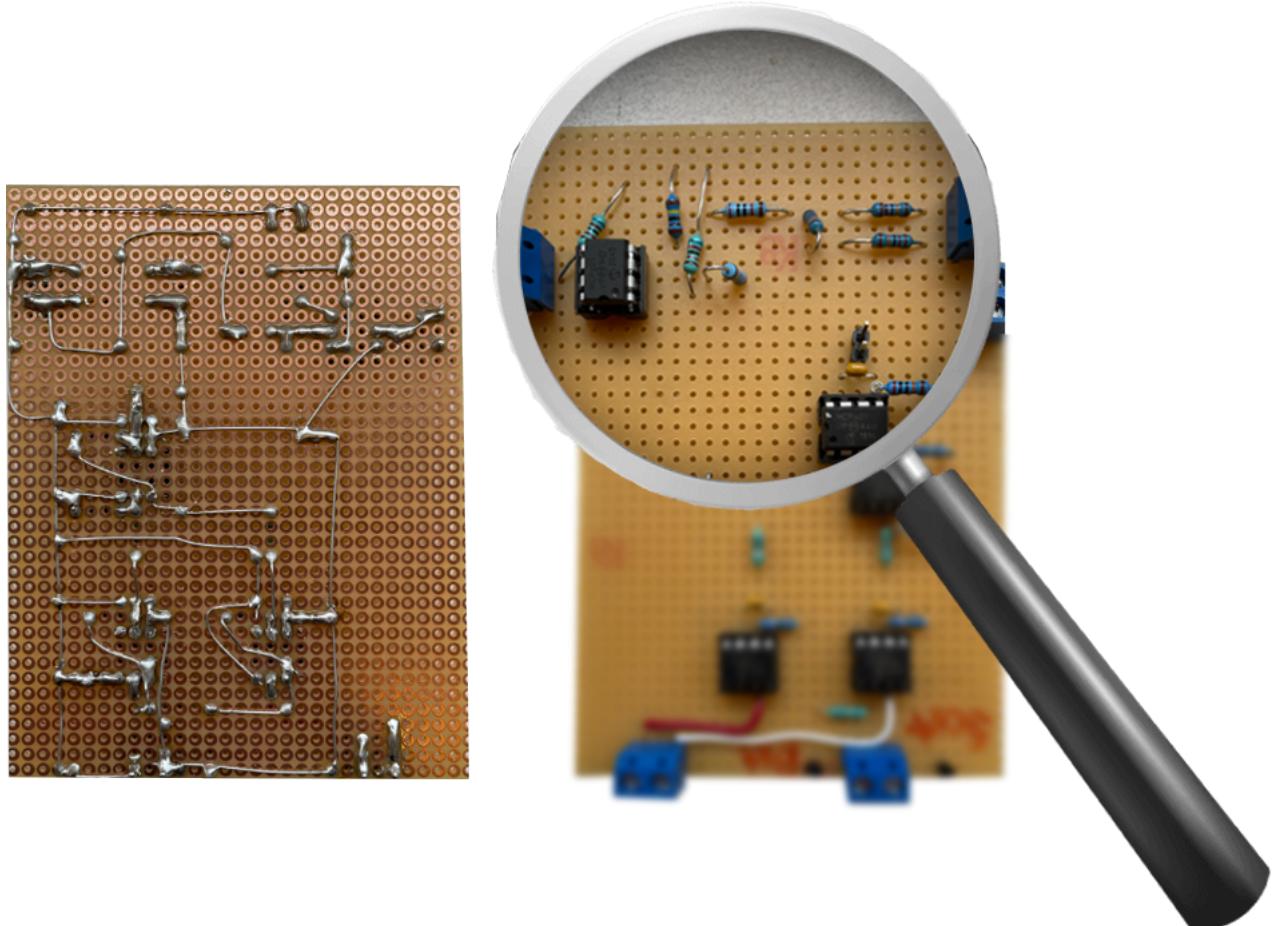
3.1 Stykliste for vandstandssensor

Tabel 1: Stykliste for vandstandssensor

Stykliste						
nr	qty	navn	enhed	beskrivelse	pris	enhed
1	3	120	kΩ	Modstand	0.5	kr
2	2	60	kΩ	Modstand	0.5	kr
3	2	20	kΩ	Modstand	0.5	kr
4	1	MCP601		Operationsforstærker	12.51	kr
Total: 16.01 kr ex. fragt						

3.2 Implementeringen på veroboard

På figur 6 under ses det færdige design implementeret på veroboard. Til venstre ses bagsiden, og til højre er der zoomet ind på den del af kredsløbet, der vedrører vandstandsskredsløbet.



Figur 6: Vandstandssensor implementering

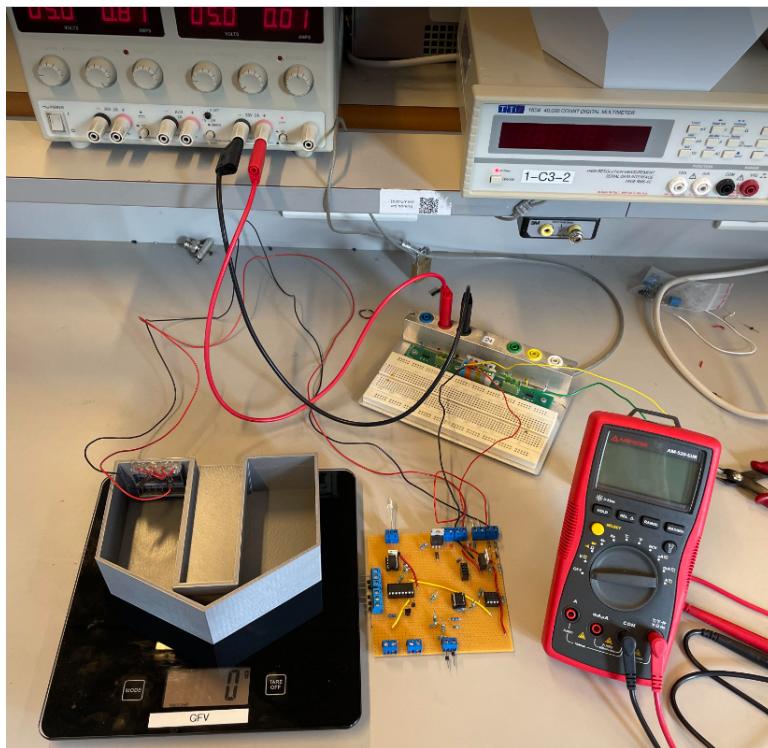
4 Modultest

Vandstandssensoren skal testes, for at se om den leverer korrekte målinger. Dette gør vi med en test med varierende vandniveauer, hvilket vil give softwareudviklerne mulighed for at tyde og oversætte sensorværdierne

4.1 Procentdel vandniveau test måling

Vores vandtank har en kapacitet på 500 ml. For at opnå nøjagtige resultater har vi besluttet at måle vandniveauet i fem separate trin. Hvert trin viser et specifikt niveau eller ”procentdel” af den kapacitet vores vandtank har. Det betyder, at hver måling ender med at være 20% af tankens fulde kapacitet.

Der udføres en test, som ses på figur 7. Her er Vandstandssensorens probe tilsluttet kredsløbet, og vandtanken er placeret på en vægt. Vi vil nu være i stand til at fyldе vandtanken præcist op med den ønskede mængde vand og derefter foretage målingen af outputtet på operationsforstærkeren med et multimeter.



Figur 7: Vandstandssensor test opstilling

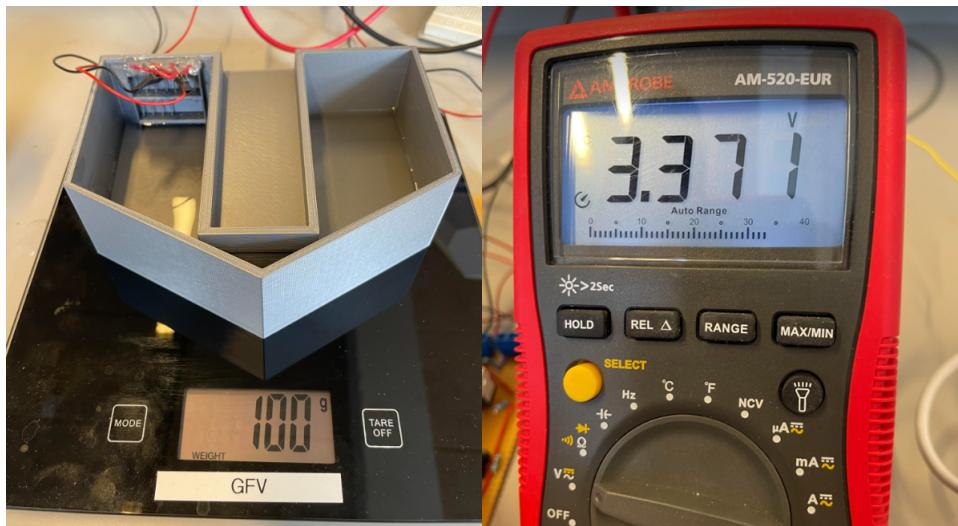
Der udføres nu en test for 100, 200, 300, 400 og 500 mL. Målingerne vil til sidst ende med at give de intervaller, vi ønsker.

Til den første del af testen skal denne tabel udfyldes.

Tabel 2: Niveau-test skema

Vand i mL	Måling
0	
100	
200	
300	
400	
500	

På figur 8 ses vandtanken med 100 gram vand, som vi antager er 100 mL. Dertil laves en måling med multimeteret, og vi mäter en værdi på 3,371 V.



Figur 8: Vandstandssensor test med 100 mL vand

Der udføres herefter en lignende test for 0, 200, 300, 400 og 500 mL.
Tabellen kan nu udfyldes.

Tabel 3: Udfyldt niveau-test skema

Vand i mL	Måling
0	3,587 V
100	3,371 V
200	3,211 V
300	3,145 V
400	3,117 V
500	2,916 V

Vi har nu mulighed for at udfylde en tabel, der viser intervallerne og dermed de procentvise niveauer. Denne tabel vil blive overdraget til softwareudviklerne, så de kan benytte det hvis de ønsker. På den måde, intervallerne er sat op til, vil systemet registrere, at der er 0% i vandtanken, når mængden er under 100 mL. Dette kan være smart, da det informerer brugeren tidligt.

Tabel 4: Intervaller lavet ud fra målinger

Vand i mL	Spændingsinterval	Kapacitet i vandtanken
0	$3,587 \text{ V} \leq$	0 %
100	$3,371 \text{ V} - 3,210 \text{ V}$	20 %
200	$3,211 \text{ V} - 3,144 \text{ V}$	40 %
300	$3,145 \text{ V} - 3,116 \text{ V}$	60 %
400	$3,117 \text{ V} - 2,915 \text{ V}$	80 %
500	$2,916 \text{ V} \geq$	100 %

4.2 Præcision/Nøjagtighedstest

Vi ønsker at lave et 95% konfidensinterval for afvigelsen af outputtet i volt fra vores vandstandssensor. Ved at lave et 95% konfidensinterval vil vi angive et interval, hvor vi er 95% sikre på, at den sande afvigelse falder indenfor. Dette vil give os en idé om den nøjagtighed, vores sensor måler vandstanden.

Til testen lavede vi 10 målinger med 200 mL vand. Det vil sige at, vi fyldte tanken op, aflæste værdien i volt, tømte tanken, og derefter gentog vi dette 9 gange mere.

Herunder ses på tabel x de værdier vi aflæste under de 10 målinger.

Tabel 5: 10 målinger med 200 mL vand

Måling	Målt værdi
1	3,217 V
2	3,242 V
3	3,238 V
4	3,247 V
5	3,225 V
6	3,235 V
7	3,237 V
8	3,230 V
9	3,231 V
10	3,245 V

Formel for standardafvigelsen:[5]

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

$$\sigma = 0.008685401V$$

Formel for konfidensinterval:[1]

$$\text{Konfidensinterval} = \sigma \pm z \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

Her er z den kritiske værdi for det konfidensniveau vi gerne vil have. For et 95% konfidensniveau er $z \approx 1.96$ (baseret på normalfordelingen). N er antallet af de observationer vi har.

Lad os sige, at vi har $N = 10$ observationer og standardafvigelsen $\sigma = 0.008685401V$ (som tidligere beregnet). Så kan vi beregne konfidensintervallet:

$$\text{Konfidensinterval} = 0.008685401V \pm 1.96 \cdot \frac{0.008685401V}{\sqrt{10}}$$

Nu evaluerer vi udtrykket:

$$\text{Konfidensinterval} = 0.008685401V \pm 0.005781115V$$

Derfor er det 95% konfidensinterval for standardafvigelsen σ

$$[0.002904286V, 0.014466516V].$$

Vi kan med 95% sikkerhed kan sige, at den sande afvigelse ligger indenfor intervallet [0.002904286, 0.014466516] volt.

Eller vi kan sige at nøjagtigheden med 95% konfidens er $0.008685401V \pm 0.005781115V$

Dette afsnit tog ugangspunkt i GFV lektion 7.2, derfor vil jeg gerne henvise til denne letion[3]

Litteratur

- [1] *Confidence Interval Formula: Calculator (Example With Excel Template)*. EDUCBA. Apr. Date accessed May 29, 2023. URL: <https://www.educba.com/confidence-interval-formula/>.
- [2] Electronics360. *The Wheatstone Bridge: Still the Preferred Sensor Interface Topology After 180 Years*. n.d. URL: <https://electronics360.globalspec.com/article/6522/the-wheatstone-bridge-still-the-preferred-sensor-interface-topology-after-180-years>.
- [3] Flemming Bjerge Frederiksen. "Systematic and random errors". I: *Journal of Measurements* 7.2 (2023). URL: <https://brightspace.au.dk/d2l/le/lessons/90355/units/1245237>.
- [4] Seeed Studio. *Voltage Dividers: Everything You Need to Know*. Website. Seeed Studio. 2019. URL: <https://www.seeedstudio.com/blog/2019/10/09/voltage-dividers-everything-you-need-to-know/> (hentet 01.06.2023).
- [5] *Standard Deviation - Formula: How to Calculate Standard Deviation*. Date accessed May 29, 2023. URL: <https://www.cuemath.com/data/standard-deviation/>.
- [6] Electronics Tutorials. *Operational Amplifier Basics - The Op-amp*. n.d. URL: https://www.electronics-tutorials.ws/opamp/opamp_5.html.
- [7] Electronics Tutorials. *Wheatstone Bridge*. n.d. URL: <https://www.electronics-tutorials.ws/blog/wheatstone-bridge.html>.
- [8] Wikipedia. *Differensforstærker*. Website. Wikipedia. 2021. URL: <https://da.wikipedia.org/wiki/Differensforst%C3%A6rker> (hentet 01.06.2023).