

Rapport Øvelse 11

MIKROBØLGER, INTERFERENS OG DIFFRAKSJON

MARTIN SORIA RØVANG
MED: MAGNUS STØRDAL

Universitetet i Tromsø *

2. mai 2018

Sammendrag

I dette eksperimentet ble det sett på hvordan mikrobølger oppfører seg under en rekke eksperimenter. Her ble det målt signalstyrken som funksjon av avstand og vinkel. Det ble laget stående bølger ved å legge en reflektor bak en punktmåler der distansen til punktmåleren ble økt litt og litt for å finne topp og bunnpunkter. Her ble bølgelengden funnet til $\lambda = (2.81 \pm 0.10)\text{cm}$. Videre ble polarisasjonen målt og hvordan dette blir blokkert når innkommende er normalt på polarisasjonsfilteret. Her viste det seg at bølgene var helt polarisert på 90° . Det ble også funnet Brewstervinkelen ved å finne hvor styrken er null i en viss vinkel og polarisasjon. Med denne vinkelen ble Snells lov brukt for å finne diffraksjonsindeksen til en plate laget av polyetylen, denne ble funnet til å være, $n_2 = 1.19 \pm 0.09$.

Kommentarer:

*

1 Formål

I dette eksperimentet blir mikrobølger brukt til å studere ulike bølgefenomener som interferens og diffraksjon. Bølgelengden til mikrobølgesenderen skal finnes ut fra flere av målingene og polarisering skal undersøkes. Det blir undersøkt hvordan lys reflekterer og refrakterer og hvordan dette kan bli brukt i solbriller for å fjerne uønsket reflektert lys.

2 Teori og definisjoner

Elektromagnetiske bølger er forandring av E og B felt. Spesielt med Elektriske felt er at de strekker seg uendelig langt. Ved endre posisjonene til en ladd partikkel vil man endre feltet med en hastighet c , der c er lysets hastighet. Når man har en forandring i E-feltet så vil man få en forandring av B-feltet gitt ved Ampere-Maxwell lov.

2.1 Strålingsfelt og intensitet

Når det kommer elektromagnetiske bølger på en antenne vil det oscillere elektronene i metallet og virke som vekselspanning. For å sende vil det gå andre vei der man akselererer elektroner i en antenne (elektronene har et elektrisk felt som strekker seg uendelig langt) vil da oscillere med lysfart. Geometrien til antennen vil avgjøre hvordan retningen og spredningen til bølgen vil utforme seg. Ved å bruke et antennediagram kan man karakterisere strålingsmønsteret til antennen. Dette er et diagram som gir stråling som funksjon av vinkel i horisontalplanet og hvis man ønsker vertikalplanet. Hvis man er veldig nære vil man være i nærfeltet og langt unna vil man være i fjernfeltet. I fjernfeltet kan *Fraunhofer-diffraksjon*. tilnærmingen brukes som er diskutert under. Videre har man at intensitet avtar ved "kvadrat loven" fordi energien til bølgen vil bre seg utover som en sfære. som da er $\frac{1}{r^2}$

2.2 Diffraksjon og interferens

Når elektromagnetiske bølger passerer en åpning i en flate så sprer bølgen seg og skaper konstruktiv og destruktiv interferens. Hvis åpningen er rundt størrelsen på bølgelengden, vil bølgene bøye seg mye. Hvis kilden er nær åpningen kalles det *Frensel-diffraksjon*, og i hvis den er lengre bort er det kalt *Fraunhofer-diffraksjon*. Ved Frensel-diffraksjon vil ikke minimumene være lik null i motsetning til Fraunhofer-diffraksjon. Når bølgene splitter ved gitteret(eller åpningen) vil det dannes lysmaksima og lysminima. Lysmaksimaene kalles diffraksjonsordener, der nullte orden er rett frem. Ordrene er gitt ved $m = \pm(1, 2, \dots)$. Hvis man er i fjernfeltet kan man bruke tilnærmingen gitt ved gitterligningen under,

$$d \sin(\theta) = \pm m \lambda \quad (1)$$

Hvis det kun er en åpning vil denne ligningen være for lysminima. For å finne ut om Fraunhofer tilnærmingen holder så må betingelsen under holde¹,

$$\frac{W^2}{\lambda L} \ll 1 \quad (2)$$

der W er lengden på åpning λ bølgelengden og L er lengden fra åpning.

2.3 Interferens i stående bølge

En bølge som beveger seg bortover kan beskrives ved ligning,

$$y(x, t) = A \sin(kx - \omega t)$$

Hvis denne blir reflektert så vil den gå i motsatt retning og man får,

$$y(x, t) = A \sin(kx + \omega t)$$

Ved superposisjon prinsippet kan vi summere dette opp og man får,

$$y(x, t) = A \sin(kx - \omega t) + A \sin(kx + \omega t) = 2A \sin(kx) \cos(\omega t)$$

Siden tidsavhengigheten er separert så vil ikke bølgen "bevege" seg i rommet, og man får en stående bølge. Her er A amplituden til bølgen, ω er den angulære frekvensen, og k er bølgetallet.

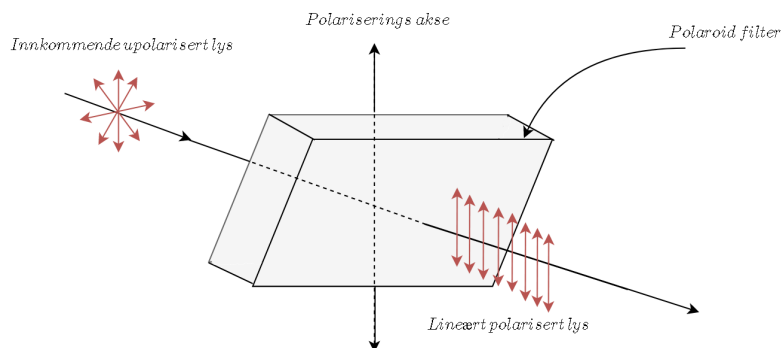
Den stående bølgen vil lage punkter der høyden på bølgen er lik null, også kalt noder og punkter som har maksimum kalt antinoder. Disse kan man finne ved å for eksempel måle styrken til bølgen med et måleapparat og føre den bortover imens man leser av hvor det blir null og maks styrke.

2.4 Polarisasjon

Lys er elektromagnetiske bølger med et elektrisk og magnetisk felt. Retninga til det elektriske feltet gir polarisasjonen til lyset. Hvis retninga endrer seg tilfeldig så er lyset upolarisert, hvis feltet er konstant så er det lineært polarisert. Eksempel er gitt i **figur(1)** under.

Ved bruk av et optisk detektor kan man måle effekten til lyset midlet over en viss tid, altså da ikke kun amplituden med snittet. Et polarisasjonfilter slipper bare igjennom lys med en gitt polarisasjonsretning. Hvis man setter polarisasjonfilter fremfor en optisk detektor, så vil lineært polarisert lys med samme polarisasjonsretning som filteret passere uhindret gjennom filteret. Hvis den står normalt på blir den helt blokkert, slik at effekten vil minke eller øke når man måler med den optiske detektoren ved forskjellige vinkler. For upolarisert lys (eller sirkulært polarisert) vil filteret slippe igjennom like mye lys uavhengig av retningen til filteret. Et viktig tall her er polarisasjonsforholdet mellom maksimal og minimal effekt når polarisasjonsfilteret blir rotert.

¹https://en.wikipedia.org/wiki/Fraunhofer_diffraction



Figur 1: Upolarisert lyst blir lineært polarisert når det går igjennom et filter som kun lar en retning gå igjennom. Hvis innkommende lys er lineært polarisert og filteret står vinkelrett på det vil lyset blokkeres.

2.5 Brewster vinkelen

Når lys går fra et medium til et annet med forskjellig refraksjonsindeks vil lyset bøye seg og noe bli reflektert. Det som blir reflektert er polarisert. Ved en hvis vinkel og polarisasjon (kalt brewservinkelen) vil lyset bli helt transmittert og da ingenting bli reflektert. Hvis det da kommer inn upolarisert lys i denne vinkelen vil refleksjonen være perfekt polarisert. Ved bruk av snells lov kan man utlede ligningen under,

$$\theta_B = \arctan\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (3)$$

der n_1 er refraksjonsindeksen til første mediet og n_2 for det andre og θ_B er brewster vinkelen.

Ved brewster vinkelen er det en polarisasjonsvinkel som ikke blir reflektert, dette kan dermed hjelpe til å finne hva slags refraksjonsindeks materiale har. I dette forsøket er bølgene fra senderen planpolarisert.

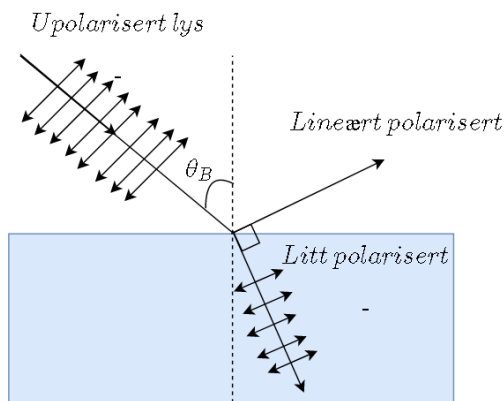
2.6 Usikkerhet og vektet midling

Usikkerheter vil oppstå og vi må dermed ta med dette i beregningen. Hvis vi antar at usikkerhetene er lineært uavhengige (tilfeldige feil) så kan vi finne usikkerheten ved

$$\delta w = \sqrt{\left(\frac{\partial w}{\partial x} \delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} \delta y\right)^2 + \dots} \quad (4)$$

I denne rapporten ble usikkerhettilnærmingen under brukt,

$$\delta \lambda = \frac{1}{m} \sqrt{(d \cos(\theta) \delta \theta)^2 + (\sin(\theta) \delta d)^2} \quad (5)$$



Figur 2: Refraksjon. En stråle kommer fra et medium med brytningsindeks n_1 og brytes inn i et medium med brytningsindeks n_2 .

her er $\delta\lambda$ usikkerheten i bølgelengden, $\delta\theta$ er usikkerhet i vinkelen og δd er usikkerheten i spaltelengden.

2.6.1 Vektet midling

Etter å ha funnet alle usikkerhetene så kan man bruke vektet midling for å finne det beste resultatet gitt dataene man har.

Vi skal gå igjennom det nå

Først finner man vektene som man skal bruke til å finne beste estimat for usikkerheten og middelveiden

$$w_i = 1/\sigma_i^2 \quad (6)$$

som da er for alle $i = 1, 2, 3, 4, \dots, N$, der σ er usikkerheten

Finner beste estimat for middelveiden med **lign(7)**.

$$x_{best} = \frac{\sum_i^N w_i x_i}{\sum_i^N w_i} \quad (7)$$

For beste estimat for usikkerheten tar man den inverse roten av summen av vektene.

$$\sigma_{best} = \left(\sum_i^N w_i \right)^{-1/2} \quad (8)$$

Vektet midling kommer fra prinsippet for maksimal sannsynlighet. Man kan se at det er likt uttrykk med massesenteret mellom legemer. Her har vi også at hvis $w_A = w_B$ så får man kun $(v_A + v_B/2)$ som er den enkle middelveiden.

3 Eksperimentelt oppsett og framgangsmåte

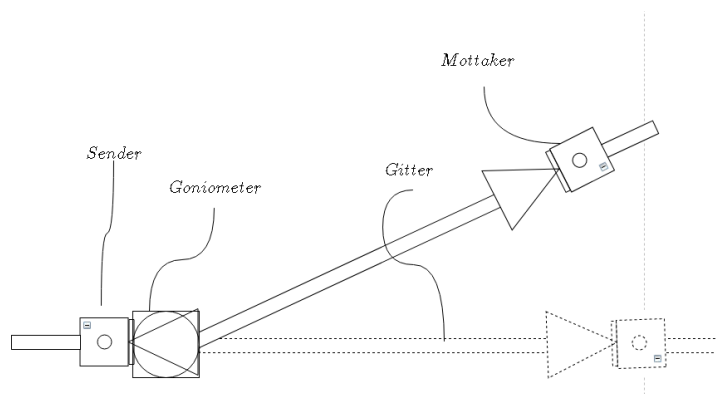
Utstyr som ble brukt under eksperimentet:

- Mikrobølgesender med horn $\lambda = 2.85\text{cm}$, $f = 10.5\text{GHz}$
- Goniometer
- Magnetlist
- Mikrobølgemottaker (nr. 1) med horn
- Mikrobølgemottaker (nr. 2) (punktmottaker)
- 9 V spenningskilder
- Metallplate/reflektor
- Gitter $d = (6.00 \pm 0.2)\text{cm}$
- Polyetylen-panel
- Roterende plattform

3.1 Karakterisering av bølgeutbredelse fra antenna.

Satte opp mikrobølgesender og mikrobølgemottaker med horn mot hverandre og målte opp 2 cm mellom hornene. Deretter skrudde vi på og tok målinger. Dette gjorde vi for en rekke avstander der det ble økt med rundt 2 cm for hver måling. Mottakeren ble satt til å måle så lavest verdier som mulig.

Videre ble det målt signalstyrke som funksjon av vinkel. Først ble hornlengden målt, deretter ble mottaker satt 60 cm unna, et goniometer ble plassert inntil avsenderen for å finne vinkel. Se **figur(3)** under for skisse av oppsett.

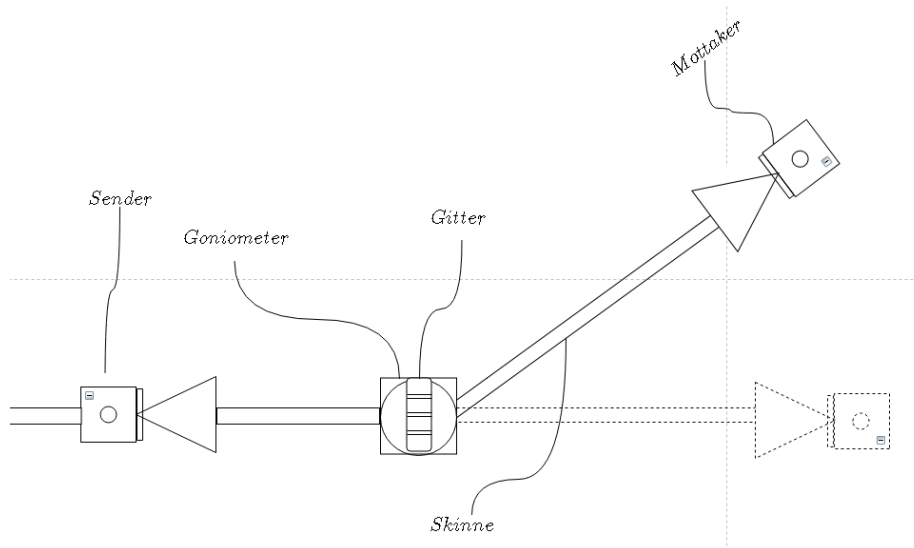


Figur 3: Oppsett for måling av styrke som funksjon av vinkel.

Her ble styrken funnet med hensyn på vinkel for hver 10° helt opp til 90° .

3.2 Bestemme bølgelengden til mikrobølgene

Her ble det satt opp gitter foran senderen på goniometeret, deretter ble mottakeren satt 60 cm unna senderen og 20 cm fra gitteret. Senderen ble så skrudd på og styrken ble notert. Vi endre så vinkel med intervall på 5° , disse blir så notert og det blir plottet som antennediagram. I **figur(4)** under er skisse av oppsettet. Datapunktene her blir brukt til å finne bølgelengden med **lign(1)**.



Figur 4: Oppsett av gitter, sender og mottaker. Her endres vinkel med intervall på 5° . Her ble det målt fra -75° til 75°

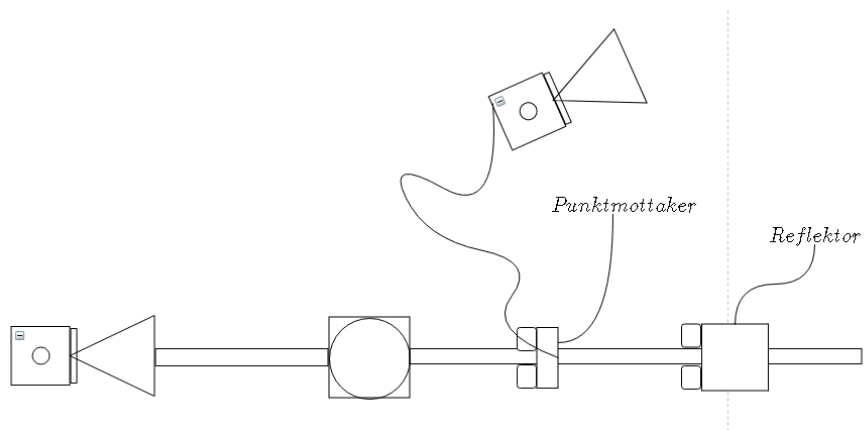
3.3 Interferens i stående bølge

Her ble en punktmottaker satt opp med en reflektor bak for å danne stående bølge igjennom mottakeren. Her ble reflektoren plassert 80 cm fra sender og normalt på punktmottakeren. Punktmottakeren ble plassert 10 cm foran reflektoren. Deretter ble styrken målt som funksjon av avstand fra fra punktmåleren til skjermen. Her startet man med 5 cm og tar målinger med intervall på 0.2 cm til 10 cm. I **figur(5)** under er skisse av oppsettet.

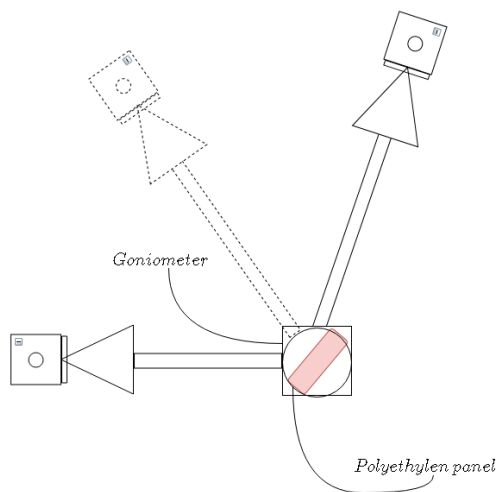
3.4 Polarisasjon og brewstervinkelen

Her ble polarisasjonen målt, senderen ble plassert i en avstand på 60 cm fra mottakeren, så ble signalstyrken målt som funksjon av polarisasjonsvinkel. Her ble det tatt målinger for hver 10° , helt til det blir null signal.

Videre ble det målt brewster vinkelen, her ble det satt et polyethylene panel oppå goniometeret slik at det kunne roteres. Se **figur(6)** under.



Figur 5: Her er oppsettet med mottakeren koblet til inn på antenne inngangen på hornmottakeren.

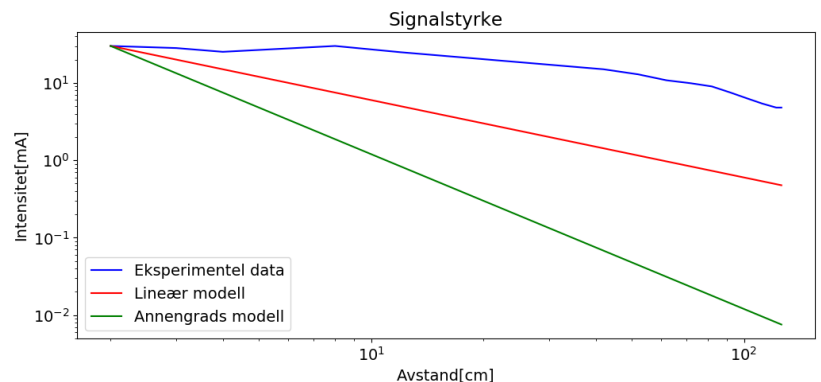


Figur 6: Polyethylene panel plassert på et goniometer. Her blir vinkelen gradvis endret

Her ble innfallsvinkelen fra senderen endret fra 20° til 75° der det ble tatt målinger der innfallsvinkelen på panelet ble endret ved 5° intervall. For hver måling ble polariseringen til mottaker og sender snudd til 90° .

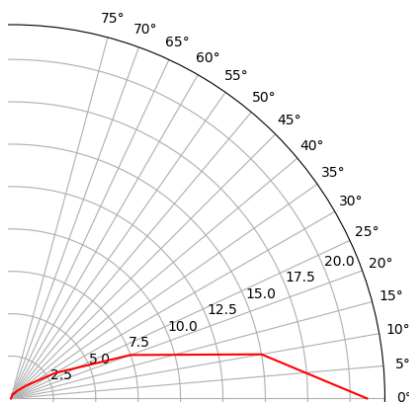
4 Resultater

I **figur(7)** under er resultatene fra målingene med styrke som funksjon av avstand. Her ble det satt inn en funksjon som er $1/r$ (lineære) og en $1/r^2$ (annen-grads). Her brukes logaritmisk skala slik at hjelpefunksjonene er lineære.



Figur 7: Plot av signalstyrken som funksjon av avstand

Videre er er resultat for måling av signalstyrke som funksjon av vinkel. Hornets åpning ble målt til å være $(9.3 \pm 0.1)\text{cm}$. I **figur(8)** under er plott av dataen. Her ser man at styrken er null ved 80°



Figur 8: Polar projeksjon av styrken som funksjon av vinkel.

Hvis vi antar at vinkelen ut til null-signalet skyldes *Fraunhofer-diffraksjon* kan vi finne bølgelengden ved bruk av **lign(1)**, her er bølgelengde orden $m = 1$. Ved bruk av gitterligningen får man bølgelengden,

$$\lambda = 9.3 \sin(80^\circ) = (9.2 \pm 0.2)\text{cm}$$

Usikkerheten er funnet ved bruk av **lign(4)**

4.1 Diffraksjon og interferens i stående bølge

Gitteret ble målt til å ha 6 cm mellom hver linje.

I **figur(9)** under er plott av signalstyrken som funksjon av vinkel der det er plassert et gitter i mellom sender og mottaker.

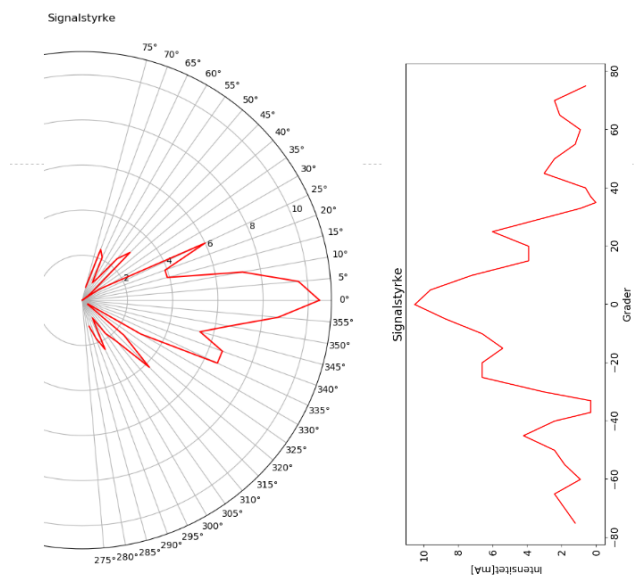
Her ble **lign(1)** brukt og bølgelengden ble funnet til det som er gjengitt i tabellen under,

Tabell 1: Tabell over maksimumspunktene, med $d = (6.0 \pm 0.2)\text{cm}$. Usikkerheten har blitt funnet med **lign(5)**

Vinkel °	Orden	$\lambda[\text{cm}]$
25 ± 2	1	2.54 ± 0.21
50 ± 2	2	2.30 ± 0.10
70 ± 2	3	1.88 ± 0.06
-25 ± 2	-1	2.54 ± 0.21
-45 ± 2	-2	2.12 ± 0.10
-65 ± 2	-3	1.81 ± 0.07

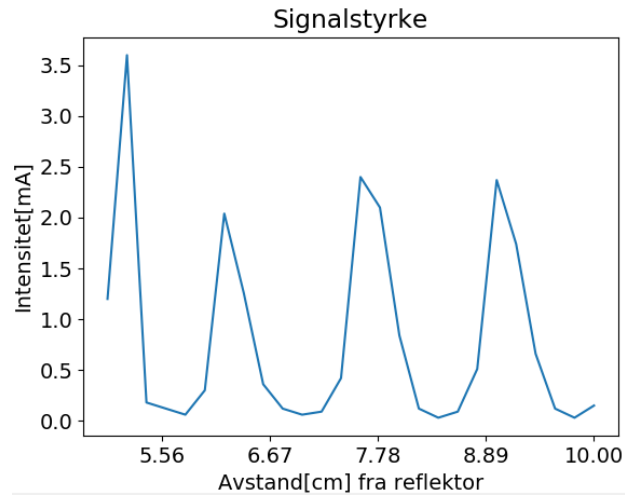
Ved bruk av vektet midling ble resultatet,

$$\lambda_{best} = (2.00 \pm 0.04)\text{cm}$$



Figur 9: Diffraksjon av bølgen igjennom gitteret. Her ser man hvor at det dannes minimum og maksimum.

I **figur(10)** under er plottet av data der punktmottakeren ble flyttet.

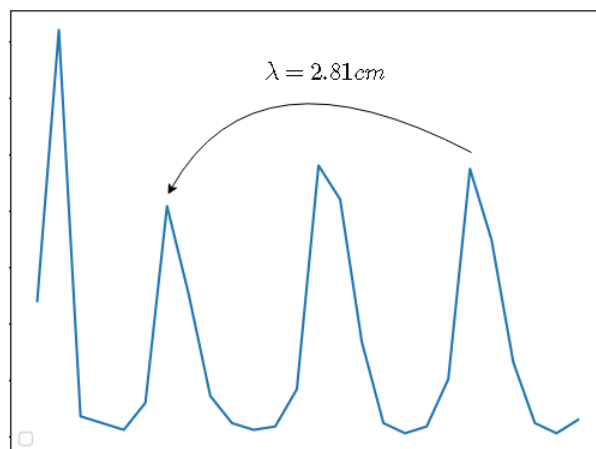


Figur 10: Plot av styrken som funksjon av avstand fra reflektor.

Bølgelengden her ble funnet ved å ta differansen mellom avstanden fra bølgetopp til bølgetopp.

$$\lambda = (9.00 - 6.19 \pm 0.10)\text{cm} = (2.81 \pm 0.10)\text{cm}$$

Her har det blitt brukt usikkerhet på 0.05 for hver av avstandene.



Figur 11: Lengden mellom bølgetopp til bølgetopp gir bølgelengden. (Den i midten er bunnpunkt)

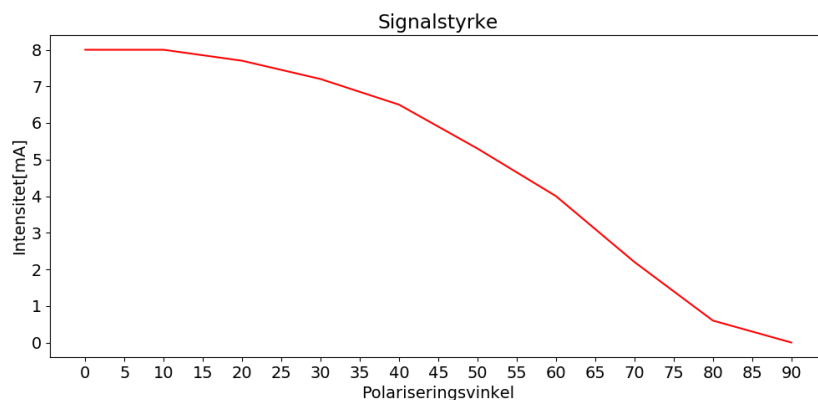
4.2 Polarisasjon og brewstervinkelen

I tabell(2) har man styrken og den respektive polarisasjonsvinkel.

Tabell 2: Polarisasjonsvinkel og styrken målt på mottakeren

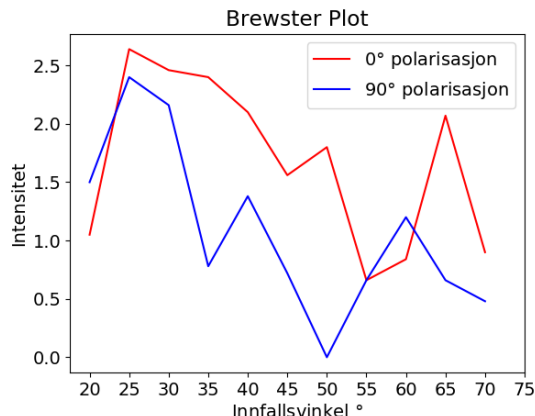
Vinkel °	Styrke[mA] · 10
0	0.80
10	0.80
20	0.77
30	0.72
40	0.65
50	0.53
60	0.40
70	0.22
80	0.06
90	0.00

Polarisasjonsforholdet her er helt perfekt på 90° fordi $\frac{P_{maks}}{P_{min}} = \frac{0.90}{0}$.
Plottet av tabellen er gitt i **figur(12)** under,



Figur 12: Styrken på signalet som funksjon av polarisasjonsvinkel. Dette ser ut som en halv cosinusbølge.

Videre til brewstervinkelen, i **figur(10)** under er det plottet styrke som funksjon av innfallsvinkel.



Figur 13: Her ser man at brewstervinkelen er den vinkelen der styrken er null.

Brewstervinkelen ligger her på 50° der polarisasjon er 90° . ved bruk av **lign(3)** er da brytningsindeksen til polyetylen panelet gitt ved,

$$\theta_B = \arctan\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \Rightarrow n_1 \tan(\theta_B) = n_2$$

Har at $\theta_B = (50 \pm 2)^\circ$, $n_1 = 1.00$ (for luft), derfor er brytningsindeksen til panelet gitt ved,

$$n_2 = \tan(50^\circ) = 1.19 \pm 0.09$$

5 Diskusjon

I **figur(7)** ser det ut som at $1/r$ funksjonen passer best og kan ta anta at det er feltstyrke som blir målt. Her er man i nærfeltet frem til rundt 10cm, før det går over til langfeltet. Langfeltet avtar med $1/r$ og nærfeltet avtar med $1/r^2$. Det ser da ikke ut som måleapparatet måler intensiteten, fordi det utbrer seg med $1/r^2$. Ved å anta at null-signalet skyldes *Fraunhofer-diffraksjon* (hornets åpning fungerer som en åpning) ble bølgelengden beregnet til å være $\lambda = (9.2 \pm 0.2)\text{cm}$. Dette stemmer ikke med bølgelengden til senderen, men dette kan forklares med at hornets åpning er en god del større enn bølgelengden og det da ikke blir noen Fraunhofer-diffraksjon. Dette gjør at bølgen ikke blir diffraktert og som man ser på plottet ser man at den går kontinuerlig uten å støte på maksimum og minimum. I diffraksjon forsøket ble det funnet et fint diffraksjonsmønster i målingene. punktene der det var konstruktiv interferens ble funnet og brukt i **lign(1)** og ved vekta midling ble bølgelengden funnet til $\lambda_{best} = (2.00 \pm 0.04)\text{cm}$. Bølgelengden som er oppgitt på senderen er på 2.85cm så her var det mye unna.

Ved å bruke betingelsen gitt i **lign(2)** får man resultatet 0.49, siden dette må være mye mindre enn 1 så ser man her at man ikke er helt der, dette kan gjøre at gitterligning tilnærmingen ikke holder.

I forsøket med interferens i stående bølge ble distansen mellom to topper funnet. Dette er da bølgelengden. Denne ble funnet til å være $\lambda = (2.81 \pm 0.10)\text{cm}$, dette er et veldig bra resultat og godt innenfor det som er oppgitt på senderen. Videre ble polarisasjonen målt. Her ble det funnet at polarisasjonen lå på 90° , bølgene fra senderen er planpolariserte og dermed skal det være på 90° så dette stemmer bra. Plottingen av polarisasjon ser ut til å gi en halv cosinusfunksjon. Videre til forsøket der det brewstervinkelen ble funnet. Her ble brewstervinkelen funnet til 50° fordi her var styrken målt til null. Her ble altså ingenting reflektert videre til mottakeren og alt er transmittert inn i panelet. Ved å bruke **lign(3)** ble det funnet at brytningsindeksen til polyetylen platen er på $n_2 = 1.19$. Brewstervinkelen kan anvendes i for eksempel solbriller der reflekterte bølger fra vanndammer, snø eller asfalt vil være polarisert slik at ved bruk av riktig filter kunne blokkere disse bølgene. Brewstervinklene kunne også bli funnet ved å ha mottakeren bak materiale og måle når det er størst styrke, fordi ved Brewstervinkelen vil det bli fullstendig transmittert.

6 Konklusjon

I dette arbeidet ble det funnet at mottakeren så ut til å måle $1/r$ og kan konkludere med at den måler feltstyrken. Ved å anta Fraunhofer-diffraksjon ble resultatet $\lambda = (9.2 \pm 0.2)\text{cm}$. Dette stemmer ikke med bølgelengden oppgitt, dette skyldes at man antar at det er Fraunhofer-diffraksjon når det ikke er det. Da det ble satt gitter med avstand på $d = (6.0 \pm 0.2)\text{cm}$ mellom åpningene ble resultatet funnet med vektet midling til $\lambda_{best} = (2.00 \pm 0.04)\text{cm}$. Bølgelengden oppgitt på senderen er $\lambda = 2.85\text{cm}$, så her det ikke innenfor, grunnet i at Fraunhofer-diffraksjon tilnærming ikke fungerer da forsøket ble utført for nærme. I eksperimentet med stående bølger ble resultatet $\lambda = (2.81 \pm 0.10)\text{cm}$, dette stemmer veldig bra med den sanne bølgelengden. Brewstervinkelen ble funnet til å være på 50° , her var styrken lik null fordi alt ble transmittert inn i materialet. Ved å bruke Brewstervinkelen kan man lage solbriller som blokkerer reflektert lys fra for eksempel vanndammer, fordi de reflekterte strålene er polarisert hovedsakelig i horisontal retning. Ved å da ha et filter i solbrillene som blokker horisontalt polarisert lys kan man blokkere disse strålene.

A Appendix

B Referanser