

Kort guide om rapportskriving

Kjetil Liestøl Nielsen

Dette er et en guide som beskriver noen av de viktigste sidene ved å skrive en rapport. Vi skal se på hvordan en rapport er strukturert og hva som er rollen til de ulike delene. For å illustrere rollen til hver del, vises det eksempler fra både fiktive rapporter i tillegg til en faktisk rapport som ble skrevet for et optikkfag på NTNU. Noen av eksemplene fra denne rapporten er på et ganske høyt nivå, men de viser likevel viktige poeng med rapportskriving. Det er viktig å ikke la seg skremme selv om man ikke forstår noe av det som blir beskrevet i de ulike eksemplene. Prøv heller bare å se på hvordan de ulike eksemplene er skrevet (legg spesielt merke til de setninger som er uthevet med farge). Hovedpoenget er ikke at man skal ha et like høyt nivå som de mer kompliserte eksemplene (de som er på engelsk), men at man skal ha et bevisst forhold til hva de ulike delene av en rapport skal inneholde (**se seksjonen “Disposisjon” for en kort oppsummering av alle delene i en rapport**). Det kan likevel være en fordel å ha sett slike eksempler, for å se hva som kreves av en rapport på høyt nivå.

CONTENTS

I. Generelt om rapportskriving	1
I.1. Disposisjon	1
I.2. Skrivestil	2
I.3. Utseendet	2
I.4. Verktøy	2
II. Abstrakt	3
III. Introduksjon	3
IV. Teori	4
V. Metode	5
VI. Resultater	5
VII. Diskusjon	6
VIII. Konklusjon	7
IX. Referanser	7
X. Tabeller og figurer	7

I. GENERELT OM RAPPORTSKRIVING

Tenk deg at du er en forsker. Du har akkurat utført et komplisert forsøk og fått banebrytende resultater. Resultater som kan forandre hvordan man ser på verden. Problemet er bare at disse banebrytende resultatene vil ha null verdi dersom ingen kommer til å lese om dem.

Tenk deg at du er en annen forsker. Du skal akkurat starte et nytt eksperiment og vil undersøke hva andre forskere har funnet ut. Du begynner å lete etter fagartikler og finner ut at det er skrevet tusenvis av rapporter på dette fagområdet. Du har ikke tid til å lese så mange rapporter, så hvordan skal du klare å finne frem til de som er relevante for din forskning?

Begge disse eksemplene viser hvorfor fagartikler, som egentlig ikke er mer enn en rapport, er en veldig viktig del i vitenskap. Det er forskeres talerør ut til verden. Det andre eksemplet viser hvorfor det er strenge regler på hvordan en rapport skal skrives og struktureres. Siden man har begrenset tid til å lese rapporter, må det finnes en standard på hvordan en rapport skal skrives. Dette gjør både at leseren lettere kan vurdere om dette er en rapport han/ho vil bruke sin tid på å lese, i tillegg til at leseren automatisk vet hvor han/ho skal lete i rapporten hvis det bare er deler av et forsøk, f.eks. hvordan det er utført, som leseren er ute etter.

I.1. Disposisjon

Dette fører oss over på et viktig poeng: en rapport har flere roller. Først og fremst skal den vise resultatene av et eksperiment på en lett forståelig måte. Den skal være omfattende og stå på egne ben. Man skal kunne lese en rapport og vite hva som er blitt gjort og hvordan man kan gjenskape forsøket. Det er likevel ikke alltid at en leserer vil være interessert i forsøket som en helhet. Kanskje leseren bare er ute etter å vite hvordan slike forsøk blir utført, eller kanskje han/ho kun vil vite om teorien som ligger bak slike forsøk. Kanskje leseren er godt kjent med slike forsøk, men er kun interessert i å vite hva som kom ut av forsøket, altså selve resultatene.

For å gjøre det lettere for en leser å navigere gjennom en rapport, for lettere å finne frem til relevant informasjon, er en rapport alltid delt opp i ulike seksjoner, der alle har sin veldig spesifikke rolle. Hvordan en rapport er satt opp, avhenger ofte litt av hvilket fagområde det er snakk om og selve forsøket, men de fleste følger likevel følgende struktur:

1. **Tittel:** Enhver rapport starter med en tittel. Dette er det første man legger merke til, så det er viktig at denne er tydelig og beskrivende.
2. **Abstrakt:** For å gjøre det lettere for leseren å vurdere

om denne rapporten er relevant, har man alltid et lite sammendrag i starten av rapporten, abstraktet. Her beskrives veldig kort hva som er gjort, hva hensikten med forsøket var, samt hva man fant ut.

3. **Introduksjon:** Selve hovedteksten i en rapport starter alltid med en introduksjon. Her gir man en kontekst til oppgaven og prøver å vekke interesse hos leseren. I tillegg beskriver man målet med forsøket i mer detalj.
4. **Teori:** Deretter presenterer man den teorien som trengs for å forstå resultatene i forsøket, verken mer eller mindre.
5. **Metode:** For at en forsker skal kunne reproducere forsøket, må han/ho vite hvordan forsøket ble utført. Dette blir beskrevet i metode-seksjonen. Dette har også som hensikt å gi leseren mulighet til å vurdere styrker og/eller svakheter med forsøket.
6. **Resultater:** Etter at alt dette er presentert, er det klart for å gå over til hva som kom ut av forsøket, altså til å presentere resultatene. Her skal man kun presentere dem uten å gi noen vurderinger om hvor “gode” resultatene er. Dette kommer ikke før i neste seksjon.
7. **Diskusjon:** Her skal resultatene vurderes og kritiseres. Hva var bra, hva var dårlig. Hvorfor ser resultatene ut som de gjør, er det feilkilder i måten forsøket ble utført, osv.
8. **Konklusjon:** Rapporten avsluttes da med en liten oppsummering i konklusjonen. Her sier man kort hva man har gjort, hva man fant ut og de viktigste poengene fra diskusjonen.
9. **Referanser:** Hvis man har brukt informasjon fra forskjellige kilder, må disse henvises til. Alle kildene man brukte blir da oppsummert helt på slutten i en referanseliste.

I.2. Skrivestil

En rapport har ikke bare strenge regler for hvordan den er strukturert, men også hvordan den skrives. Et nøkkelpoeng er at rapporter skrives for å leses. Det skal være en presentasjon, en kontinuerlig tekst med fullstendige setninger, ikke bare en liste av poeng. Man må hele tiden strebe etter at rapporten blir lettlest og oversiktlig. F.eks. så skal rapporten kunne leses kronologisk, dvs. at man prøver å unngå at leseren må hoppe at og frem mellom de ulike delene av rapporten.

En rapport skal i tillegg skrives med et formelt og relativt upersonlig språk. Ta eksemplet under:

Jeg leste av 10 cm på det skrøpelige målbandet, mens Petter klokket inn rundetiden til 0.5 sekunder.

Dette er et uformelt og personlig språk som ikke hører hjemme i en rapport. Man kunne heller skrevet:

Lengden ble målt til 10 cm og rundetiden til 0.5 s.

Vi kunne også skrevet:

Vi målte lengden til 10 cm og rundetiden til 0.5 s.

Dette viser hva som menes med *relativt* upersonlig språk. Man kan referere til gruppa som “vi”, men unngå å referere til hver enkelt i gruppa. Dette gjøres *kun* dersom dette er relevant informasjon. Hvem som målte tiden, er verken relevant eller interessant informasjon. Unngå spesielt bruk av “jeg” dersom det er flere som har utført forsøket og samarbeidet om rapporten.

Det er også viktig å holde seg unna copy/paste. Selv om det kan være vanskelig å skrive deler av rapporten, slik som teorien, med egne ord, så må man alltid gjøre dette. Copy/paste blir sett på som plagiat, noe som er svært alvorlig.

I.3. Utseendet

Det er ikke bare innholdet i en rapport som er viktig og har strenge regler. Også hvordan den ser ut. Det er mange måter å formatere layout i en rapport. Man kan enten ha en enkeltkolonne, eller dobbeltkolonne, slik som i dette dokumentet. Om man bruker enkeltkolonne, eller dobbeltkolonne vil avhenge av smak i tillegg til hva slags forsøk man har gjort. To kolonner har den fordelen at det blir mindre “luft” i rapporten, dvs. mindre tomrom, spesielt om man har mange likninger. Det viktigste når man skriver en rapport, vil uansett være at man har en ryddig og konsistent stil gjennom hele rapporten. Alle sider må være nummererte og det må være tydelig hva som er overskrift, hva som er figurtekst, hovedtekst osv. Det kommer flere krav til utseendet lengre ned i dokumentet når vi snakker om likninger og figurer/tabeller.

I.4. Verktøy

Det er mange verktøy man kan bruke for å lage rapporter. De fleste er kjente med Word, eller Pages hvis man er Mac-bruker. Disse programmene er såkalte “what you see is what you get”, altså at man jobber direkte på sluttresultatet, dvs. det du ser når du skriver, er slik som dokumentet kommer til å se ut. Det er verdt å vite at det finnes også andre måter å lage dokumenter. I den vitenskapelige verden er det veldig vanlig å bruke Latex (uttales latek). Kort sagt, er Latex en måte å skrive dokumenter der man konsentrerer seg om innholdet, for

så å la en kompilator ta seg av layout og at alt havner på riktig sted, blir nummerert riktig osv.

Latex er gratis og er tilgjengelig både til PC og Mac. For å bruke Latex, trenger man to ting: en editor og en distribusjon som gjør latex-koden man skriver om til et ferdig dokument. Se under for linker til distribusjoner for Mac og Windows. Begge disse inkluderer en enkel editor.

Latex kan virke skremmende på en nybegynner, men det kan være verdt å sjekke ut. Latex gjør det f.eks. veldig enkelt å holde en konsistent stil gjennom hele dokumentet, da dette blir spesifisert i starten av dokumentet. Dette dokumentet du nå leser er skrevet med Latex (og dokumentklassen revtex4, se link under). I starten av tekstfilen som utgjør dette dokumentet, står det f.eks. "twocolumn". Dersom man vil gjøre om layout til kun å inkludere enkeltkolonne, er det så enkelt som å bare endre dette ordet til "onecolumn". Trykk på en knapp og kompilatoren ordner resten.

For Mac-brukere anbefales også programmet Plot. Dette er et gratis program for å lage enkle todimensjonelle grafer. Det har sine mangler (pro-tip: husk å ta backup av grafene, da det er mulig å gjøre feil man ikke kan angre), og kan føles "knotete" til tider, men er likevel veldig fint for å lage enkle og ryddige grafer. Alle grafer i dette dokumentet er laget med Plot.

For windows: <http://miktex.org>

Og for mac: <http://www.tug.org/mactex/>

Revtex4: <https://authors.aps.org/revtex4/>

Plot for mac: <http://plot.micw.eu>

II. ABSTRAKT

Tittelen på en rapport er den delen som avgjør om en vil undersøke en rapport nærmere, mens abstraktet er den delen som vanligvis avgjør om denne rapporten er verdt å lese eller bortkasta tid. Abstraktet er en veldig kort oppsummering av hele rapporten. Denne har vanligvis en veldig streng ordgrense, og mange journaler vil ikke ha rapporter med abstrakt som er lengre enn 150 ord. Dette er for at folk skal kunne fort vurdere om rapporten er relevant for dem eller ikke. Selv på artikler man må betale for, er abstraktet alltid tilgjengelig slik at folk kan bruke dette som en smakebit på hva rapporten inneholder.

Selv om abstraktet er veldig kort, så har det likevel en egen struktur. Man starter med å beskrive hva man har gjort og hva som var målet eller hensikten med forsøket. Dermed gir man som regel en kort oppsummering av hva man fant ut. Kort og presist. Merk at når man sier "hensikten", så mener man alltid hensikten med selve forsøket, altså hva man prøver å finne ut eller undersøke med selve forsøket. Med andre ord: personlige mål er

totalt uinteressant. Dvs. at selv om et av målene med laboppgaver var at dere skulle bli mer kjent med data studio, så er dette uinteressant informasjon for en som leser rapporten.

La oss se på et eksempel på abstrakt fra en labrapport i optikk på NTNU. Rapporten var skrevet på engelsk, noe som **ikke** er et krav på labrapportene på forkurs! Legg spesielt merke til de setninger som er uthevet med farge.

We investigate transverse electric and transverse magnetic modes to find the refractive indexes and thickness of an anisotropic wave guide film. This is a report for the laboratory exercise "Optical waveguiding in thin films" which is a part of the course TFY4200 Modern Optics at NTNU in Trondheim, Norway. We found a film thickness of $4.95\ \mu\text{m}$ and refractive index of $n_x = 1.640$ and $n_y = n_z = 1.653$ using a red laser with wavelength $632.8\ \text{nm}$, and $n_x = 1.650$ and $n_y = n_z = 1.675$ using a green laser with wavelength $543.5\ \text{nm}$.

Abstraktet er kort og presist. Det starter ved å si kort hva som er gjort og hva som var målet med forsøket. Det forklarer at det er en rapport i optikkfaget for så å gjengi de viktigste resultatene. Mer trenger man ikke å si. Dersom resultatene er oppsiktsvekkende, kan man ofte si en setning om dette også, men det er ikke et krav.

III. INTRODUKSJON

Dette er den første delen av selve hovedteksten som utgjør rapporten. Denne delen har to hensikter: Øke interessen til leseren og sette forsøket i en kontekst. Man har nå fått leseren til å se forbi abstraktet, men det er ingen selvfølge at leseren fortsetter å lese. For å vekke interessen til leseren, er det viktig å sette forsøket i en kontekst, for eksempel, ved å presentere temaet som skal undersøkes, hvorfor det er viktig i dagens samfunn eller innenfor det spesifikke fagområdet, og si litt mer detaljert om forsøket og hensikten.

Legg f.eks. merke til hvordan dette dokumentet starter (dvs. etter abstraktet). Det hopper ikke rett på å beskrive reglene for rapportskriving. Istedenfor blir rapportskriving satt i en kontekst og leseren for beskrevet hvorfor rapportskriving er viktig for alle som driver med vitenskap. Dette vil, forhåpentligvis, øke motivasjonen til å lese videre. Introduksjonen inneholder som regel også en beskrivelse av tidligere forskning og hva andre forskere har funnet ut. Å vise til tidligere forskning, er ikke så relevant for labrapporter på forkurs, men det er verdt å nevne på grunn av hvorfor det gjøres. Dette er igjen for å sette sitt eget forsøk i en kontekst, å overbevise leseren om at ditt forsøk er det neste logiske steget i dette forskningsområdet.

Under er et eksempel på hvordan en introduksjon til en laboppgave kan skrives.

Bølger bøyes når det treffer en skarp kant. Dette gjelder både for lysbølger og vannbølger og kan sees blant annet når vannbølger treffer et skjær eller går gjennom en smal åpning. Dette fenomenet, som kalles diffraksjon, er en spesielt viktig egenskap for lysbølger. Diffraksjon fører blant annet til at optiske bildesystemer, slik som kamera og teleskop, får en fundamental begrensning i hvor høy oppløsning som kan vises [1]. Fenomenet har også mange bruksområder, blant annet i medisin [2] og til å påvise bølgeegenskaper hos elektroner [3]. Vi skal vise hvordan man kan utnytte disse egenskapene til bølger til å finne bølgelengden til en laser kun ved hjelp av hverdagslige verktøy. Dette forsøket er en del av laboratorie-opplegget i faget “Innføring i Optikk” ved Høgskolen i Sør-Trøndelag (HiST) i Trondheim.

IV. TEORI

Dette er delen av rapporten der all nødvendig teori samles. Hva som legges i “nødvendig” teori er som ble nevnt innledningsvis: all teori som trengs for å forstå resultatene. Alle likninger som man skal bruke i utregninger eller som man trenger for å forstå hvorfor grafer har den formen de har, skal presenteres. Her er det ofte fristende å bare sette opp en liste med de likningene som skal brukes, men det er alltid viktig å huske på at en rapport skrives for å leses. Med andre ord: teorien skal presenteres med kontinuerlig tekst på lik linje med resten av rapporten.

Et viktig poeng med teori-delen av rapporten, er at dette er stedet for å finne teorien, og ingen andre steder. All teori skal presenteres her og ikke andre steder. Man kan, med andre ord, ikke plutselig innføre ny teori i resultatdelen eller andre steder. Dette er for at leseren skal vite hvor han/ho skal gå for å finne teorien, og ikke måtte lete rundt i rapporten.

En teoridel er alltid en stor utfordring å skrive. Det høres enkelt ut å si at man skal inkludere den teorien som trengs, og ikke mer, men hvor mye er det som “trengs”? For noen som aldri har sett en likning, måtte man jo skrive side opp og side ned for at denne personen skal forstå resultatet i rapporten. En tommelfingerregel er at man skriver til noen som ligger på et litt lavere nivå enn seg selv, eller til noen som kanskje ikke har utført akkurat slike forsøk før.

Dette fører oss over til et annet viktig punkt: man skriver for at andre skal forstå teorien, ikke for å vise at den som skriver rapporten har forstått teorien. I oppgaveteksten som man får utgitt på hver laboppgave, står det som regel litt teori. Det er viktig å huske på at denne teorien er for at **du** som utfører forsøket skal forstå hva oppgaven går ut på, og ikke noen som leser en rapport om forsøket. Med andre ord, den er ikke nødvendigvis

“bra nok” for den teorien som kreves i en labrapport.

Her kommer vi også inn på et annet, og veldig viktig, poeng: som ble nevnt innledningsvis, så skal hele rapporten skrives med egne ord. Dette inkluderes også teorien. Man kan, med andre ord, ikke kopiere en teoritext fra et oppgave-ark eller fra en bok. Selv om du bruker teorien fra en bok, skal du skrive den om med dine egne ord.

La oss se på et eksempel der man beskriver krefter på et legeme som går i en sirkel:

Når et legeme går i en sirkelbane med konstant banefart er akselerasjonen gitt ved banefarten kvadrert delt på radiusen i sirkelen. Akselerasjonen peker inn mot sentrum av sirkelen.

Newtons andre lov sier at kraftsummen på et legeme er lik masse ganger akselerasjonen. Ved å kombinere at akselerasjonen er lik banefart kvadrert delt på radius og at kraftsummen er lik masse ganger akselerasjonen får vi at kraftsummen er lik masse ganger banefarten kvadrert delt på radiusen.

Siden både akselerasjonen og kraftsummen er vektorer, ser vi at kraftsummen peker i samme retning som akselerasjonen.

Selv om dette beskriver den teorien vi er ute etter, er det litt vanskelig å få tak i teorien og likningene ut ifra teksten. La oss se på en annen måte å skrive den samme teorien:

Når et legeme går i en sirkelbane med konstant banefart v er akselerasjonen a gitt ved

$$a = \frac{v^2}{r} \quad (1)$$

der r er radiusen til sirkelen og a peker inn mot sentrum av sirkelen. Newtons andre lov sier at kraftsummen F på et legeme er

$$F = ma \quad (2)$$

der m er massen til legemet. Ved å kombinere likning 1 og 2 får man

$$F = \frac{mv^2}{r}. \quad (3)$$

Siden både a og F er vektorer, ser vi at kraftsummen peker i samme retning som akselerasjonen.

Teoridelen ble nå mye mer oversiktlig og lettlest. Merk at selv om vi har brukt likninger, så kan vi fortsatt lese teorien som om det var en kontinuerlig tekst. Dette er viktig for flyten i teksten. Man mister fort flyten dersom man bare setter opp en liste med alle likningene som skal brukes. Legg også merke til hvordan alle symbolene som brukes i likningene blir forklart i teksten. Dette er viktig

da man ikke kan forvente at alle bruker samme konvensjon, eller ikke er kjent med de likninger som presenteres. Alle symboler må forklares. Legg merke til at når symbolene blir referert til i hovedteksten, ser de liknende ut som de gjør i likningene (altså de er i kursiv).

V. METODE

I metodedelen forklarer man hvordan man utførte forsøket. Dette inkluderer å gi en kort, men grundig, beskrivelse av hvilke metoder og hvilket utstyr som ble brukt, i tillegg til å beskrive de ulike stegene i hvordan forsøket ble utført. Dette har to hensikter: gjøre det mulig for andre å reproducere forsøket, og gjøre det lettere for folk å vurdere hvilke styrker og svakheter som finnes i forsøket.

Begge disse poengene er viktige. Resultater har null verdi i en vitenskapelig sammenheng dersom det ikke er mulig å reproducere forsøket og resultatene. Det andre er også veldig viktig. Vitenskap er ikke svart/hvitt. Alle forsøk har sine svakheter og styrker, og her gjelder det å spille med åpne kort. Ved å vise hvordan man utførte forsøket, kan man både diskutere potensielle svakheter eller styrker i forsøket, i tillegg til å gi leseren mulighet til å gjøre sine egne vurderinger.

Det er viktig å ikke skrive metodedelen som en kakeoppskrift. Selv om det er viktig å kunne reproducere forsøket, så vil de fleste lesere bruke metodedelen kun til å kunne vurdere svakheter/styrker i resultatene. Metodenedelen skrives heller mer som en presentasjon av hva som ble gjort.

For å gjøre denne presentasjonen viktigere, er det ofte gunstig å inkludere en figur av oppsettet. Dette kan være en skjematisk tegning, eller et bilde (se lengre ned for et eksempel på dette), der man beskriver de ulike komponentene i oppsettet.

Under er et lite utdrag fra metodedelen fra labrapporten i optikk som ble nevnt tidligere:

The laser beam is guided to the sample through the setup seen in figure 6. The beam is controlled through two apertures, as described in section 3. A high refractive index prism is mounted on the film (figure 8). A plastic screw is used to press the prism and film firmly together. This allows light to transfer from the prism to the film through the evanescent field. The laser beam is aimed at the prism. Rotating the prism then changes the direction of the light entering the film, making it possible to match various propagation modes in the film. When a propagation mode is attained, this is easily observed on a narrow prism angle interval of which light intensity is transmitted out of the film. The prism angle for this intensity peak is then measured.

Det er korte, men presise, beskrivelser av hva som ble gjort. Teksten beskriver ikke bare direkte *hva* som blir gjort, men også *hvorfor* det ble gjort.

VI. RESULTATER

Rapporten har til nå satt og bakgrunnen for forsøket, hvilken teori som kreves og hvordan utføre det. Det er nå på tide å vise hva som kom ut av forsøket. I resultat-seksjonen skal alle (relevante) målinger, resultater og beregninger presenteres. Her er det igjen viktig å huske på at rapporten skal være et lesbart dokument. Resultatene skal presenteres med tekst. Bruk av tabeller og figurer brukes til å gjøre det lettere å forstå resultatene, men de skal ikke være en erstatning for selve hovedteksten.

En annen viktig ting med denne delen, er at resultatene skal ikke tolkes. Man skal presentere målinger og beregnede verdier, men man skal ikke begynne å tolke eller diskutere dem. Dvs, ting som kunne ha blitt gjort bedre eller påvirket resultatene, skal ikke nevnes her. Dette kommer i neste del av rapporten.

Selv om man presenterer utregna verdier, så skal man IKKE vise selve utregningene. Man sier bare hvilke ligninger man brukte på hvilke måledata, og hva slags talverdier man får ut. Selve mellomregningene antar man at folk kan gjøre selv.

Vi ser videre på labrapporten i optikk nevnt innledningsvis (i abstraktet). Under er resultatdelen fra rapporten.

We found the refractive index of the prism to be 1.716 and 1.731 for the red and green laser respectively, with an uncertainty of 0.004 (using Gauss' error propagation). Table I and II shows the measured angles for the different modes and the calculated effective refractive index for the red and green laser respectively. Equation (55) and (56) were used to calculate the effective refractive index from the angle.

The calculated effective refractive indexes are then used to calculate the different refractive indexes of the film as well as film thickness. We use the dispersion relation for the TE and TM mode seen in equation (28) and (47) respectively and do a least-square fit by using the "lsqcurvefit" function in Matlab. The results can be seen in table III. We calculated different film thicknesses for the TM and TE mode, and red and green laser. The average film size from the calculations are $4.950 \mu\text{m}$. We also calculated different values for n_y and n_z . Since these are supposed to be equal, we can use the average value n_y and n_z . This gives a refractive index of 1.653 and 1.675 for the red and green laser respectively. We have used a refractive index of 1 for air (n_c) and 1.51 and 1.52 for the glass substrate (n_s) for the red and green laser respectively.

Since we have a situation where we have more equations than unknown parameters, we compare the experimental values of the effective refractive index N (calculated from the angle) to the theoretical values (calculated using the refractive indexes calculated from experimental data). This can be seen in figures 9, 10, 11 and 12. The blue circles are experimental data while red squares and green diamonds are theoretical data. Red squares use the average value of n_y and n_z while the green diamonds use the original values (i.e. where $n_y \neq n_z$).

Resultatene blir kort presentert. Det er ingen tolkning av resultatene, kun en presentasjon. Det blir forkåret hvilke likninger man brukte for å komme frem til de ulike verdiene. Viktige verdier blir gjengitt i hovedteksten og rapporten henviser til tabellen og figurer der det er nødvendig.

VII. DISKUSJON

Dette er delen av rapporten der resultatene skal vurderes. Et nøkkelpoeng er at man skal være kritisk til det som har blitt gjort. Stemmer resultatene godt med det man beskrev i teorien, eller det man ønsket å sammenlikne? Hvis ikke, hvorfor ikke? Hva er de største feilkildene i forsøket? Her er det viktig at man ikke gjetter. Se på resultatene som ble presentert. Er det bare deler av målingene som skiller seg fra teorien, eller er det en systematisk feil i alle målingene? Hvis f.eks. vi har gjort målinger over tid, og verdiene ser bra ut (dvs. i forhold til teorien) i midten, men begynner å bli dårligere og dårligere mot slutten, starten eller begge deler, så må dette diskuteres.

La oss se på diskusjonen fra labrapporten i optikk. Selv om du ikke forstår alt som diskuteres, så er det mange viktige poeng i hvordan en diskusjon skrives og hva den inneholder.

The refractive index of the prism was found to have an uncertainty of 0.004. The correct value for the prism refractive index with the red laser, was given to be 1.716, exactly the same as our measurement. A value of 1.728 was given at the laboratory for the green laser. With the calculated uncertainty, we are within this value.

The largest uncertainty for finding the different modes, is undoubtedly human error in the measuring process (as opposed to technical uncertainties, such as resolution of the scale). The modes were found by looking for peaks in the light intensity of the beam that exited the wave guide film. Normally this would be done by examining the light when it hit the wall. However, from figure 8 we see that the end of the glass was opaque because of a piece of tape. The light would hit the tape and scatter, leaving weak intensity of the beam scattered from the wall. We therefore used the tape rather than the wall for

finding the intensity peaks. It is possible that this leaves larger uncertainties than using the wall with a clear sample. The modes also varied in width. Some modes were quite sharp while others were broad, resulting in more uncertainty for the broad peaks.

A technical uncertainty in this exercise is the quality of the polarizers. In order to excite the different modes in the film, we needed pure horizontal and vertical polarization for the TM and TE mode respectively. The polarizers are not 100% efficient, so that the beams will always be a small mix of polarization. Although small, this mix could have resulted in the intensity peaks being slightly shifted.

The comparisons of theoretical and experimental values of N shows interesting results. First, it should be noted that one should be careful not to over interpret these plots. The theoretical values were made by using the refractive indexes calculated from the experimental results. The theoretical values are thus not necessarily the "correct" values for the wave guide film (since we would have needed the correct refractive indexes to do this), but we can still use these results to say something about the inaccuracies of the measurements.

In particular, notice the TE-mode for the red laser in figure 9. The red squares show the theoretical values of N where we have used $n_y = n_z$. We see that all of the theoretical values undershoot the experimental values by about the same amount, suggesting a systematic error. The TM values have less deviation between the theoretical and experimental values. If we, however, use the measured value for n_y when calculating the theoretical values for the TE-mode (instead of using average values of the measured n_y and n_z), we get a much better fit with the experimental data. This seems contradictory at first, but if we try to use the original values of n_y and n_z in the TM calculations, we see almost no change (green symbols in figure 10). Using $n_z = n_y = 1.659$ we even get a slightly better fit. These two results suggest that the correct value of $n_y = n_z$ lies closer to the measured value of n_y of 1.659 than the average value between the measured n_y and n_z (average value being 1.652).

Similar results were not found with the green laser. Figure 11 and 12 show that we get a better result using the average value of n_y (1.671) and n_z (1.675) than using the original values. This suggests that it is a good strategy to use the average value. The average deviation between theory and experiment is greater for the green laser than from the red laser. Rather than being a technical reason for this uncertainty, it is more likely to be human error in preparation of the prism and measuring of the angles. This can also be seen in the experimental values for the TM mode (figure 12). By looking at the value at $m = 10$ we see that it seems to deviate from the rest of the measurements, a sign of a measuring error. This datapoint seems to be the main reason for the undershoot of the theoretical values for low values of m .

Higher refractive index for the green laser is consisted with the results from the prism refractive index.

Legg merke til hvordan resultatene diskuteres og vurderes med kritiske øyne. Teksten vurderer hvor godt resultatene passer til teorien og de verdier som ble oppgitt på laboratoriet som “riktige” (se starten av diskusjonen). Teksten setter ikke opp en liste med feilkilder, men presenterer dem naturlig i teksten i tillegg til å diskutere dem nøye opp mot resultatene og hvordan de kan ha påvirket målingene. Diskusjonen påpeker spesielle avvik og prøver å forklare dem. Legg også merke til språkbruken. Den er ikke bastant, men heller litt ydmyk: “dette tyder på at...”, “det virker som at...” osv. Det er viktig å ikke være arrogant og bastant i språkbruken.

Det kan være et poeng å gå tilbake og sammenlikne denne diskusjonen med resultat-seksjonen. Legg merke til forskjellene i hvordan rapporten *presenterer* målingene (resultat) og hvordan målingene og forsøket som helhet blir vurdert (diskusjon).

VIII. KONKLUSJON

Leseren har nå gått gjennom resultatene og diskusjonen av disse. Det er nå på tide å avslutte rapporten. Dette gjøres i konklusjonen. Konklusjonen fungerer nesten som et utvidet abstrakt, det gir en kort oppsummering av forsøket, men der viktige punkter fra diskusjonen også inkluderes. Mange lesere vil ofte hoppe rett til konklusjonen etter at de har lest abstraktet, så dette er en veldig viktig del av rapporten.

La oss se på konklusjonen fra optikkrapporten:

We have investigated wave guiding in thin films by using “m-line spectroscopy” and “minimum deviation method”. The latter method gave a prism refractive index of 1.716 ± 0.004 and 1.731 ± 0.004 which is consistent with values given at the laboratory. The film thickness was found to be $4.95 \mu\text{m}$ while the refractive indexes were calculated to be $n_x = 1.640$ and $n_z = n_y = 1.653$ for the red laser. However, analysis of the data suggested that the correct value of $n_y = n_z$ lies closer to the value of n_y (1.659) calculated from the TE mode than the average value of 1.653. The refractive indexes for the green laser were found to be $n_x = 1.650$ and $n_z = n_y = 1.675$. The most prominent uncertainty for finding the film properties lies in the eye assessment of the intensity peaks to find the different modes. There also seem to be more uncertainties for the green laser than the red. This is more likely to be human error in preparation of the sample and measurement of the modes. More careful preparation and measurement of the modes from the green laser, as well as using the wall instead of tape to find the modes, could have given better results although all the results were fairly consistent.

Selv om det kan være vanskelig å forstå hva konklusjonen snakker om, så er det likevel noen viktige punkter man kan legge merke til. Merk at konklusjonen starter med en liten oppsummering. Først beskrives hva som er gjort og hvilke metoder som er brukt. Man starter alltid en konklusjon med å oppsummere hva man har gjort og hva som var hensikten. Leseren har lest gjennom mye tekst (gitt at leseren ikke bare hoppet etter å ha lest abstraktet), så det er bra å få oppsummert hva som faktisk var hensikten med forsøket.

Deretter blir de viktigste resultatene gjengitt før konklusjonen fortsetter med å oppsummere viktige punkter fra diskusjonen, inkludert hva de største feilkildene var. Konklusjonen avsluttes med en liten beskrivelse av hva som kunne vært gjort annerledes.

IX. REFERANSER

Dersom man bruker materiale fra eksterne kilder, må man alltid vise hvor man har funnet kildene. Dette gjelder både utsagn man kommer med, og bilder man har brukt. Se f.eks. på introduksjons-eksemplet som ble gitt. Når man kommer med utsagn som at diffraksjon har bruksområde i medisin, må man vise hvor man fant denne informasjonen. Man viser det da bare som et tall, f.eks. [1]. Dette er for at å vise at dette ikke bare var noe man fant på. De ulike kildene blir da presentert helt til slutt.

Nedenfor er referanselista fra den labrapporten vi har sett på flere ganger i dette dokumentet.

[1] P. K. Tien, R. Ulrich and R. J. Martin *Modes of Propagation Light Waves in Thin Deposited Semiconductor Film* Appl. Phys. Lett. vol 14, nr 9 (1969)

[2] T. Ding, E. Garmie *Measuring refractive index and thickness of thin films: a new technique* Appl. Opt. vol. 22 nr. 20 (1983)

[3] P. A. Letnes *TFY4200 Lab exercise: Optical Waveguiding in Thin Films* Lecture notes for TFY4200, NTNU (2009)

[4] C. E. Mungan *Angle of Minimum Deviation through a Prism* Lecture notes for TFY4200, NTNU (2009)

X. TABELLER OG FIGURER

Vi så i teori-delen at det ikke alltid er like oversiktlig når alt presenteres som kontinuerlig tekst. Dette gjelder også resten av rapporten, spesielt resultatdelen. Selv om hele rapporten skal skrives som en kontinuerlig tekst, så

er det alltid gunstig å bruke figurer og tabeller til å hjelpe hovedteksten. Det blir fort veldig uoversiktlig å gjengi absolutt alle målinger i selve hovedteksten. Det er viktig å huske på at figurer og tabeller skal *hjelpe* hovedteksten, ikke fungere som en erstatning for å skrive kontinuerlig tekst.

Siden figurer og tabeller er en viktig del av enhver rapport, er det også en del ting man må huske på når man bruker dem. Det første er hva som er styrken til figurer og tabeller, og når man skal bruke dem. Figurer brukes når det hjelper leseren å få noe visuelt fremstilt, f.eks. oppsettet av forsøket, hvordan målinger forandres over tid eller sammenlikning av forskjellige måleserier. Det kan være vanskelig å danne et visuelt inntrykk av hvordan noe forandres over tid ved kun å se på en liste med tallverdier.

Det er derimot ikke meningen at leseren skal kunne lese av eksakte verdier fra en figur. Det vil alltid være en usikkerhet når man leser av verdier fra en graf. Der-som det er viktig at leseren får eksakte verdier, skal disse gjengis i hovedteksten eller i en tabell. Tabeller brukes både for å oppsummere eksakte verdier, og for å unngå å ha altfor mange tallverdier i selve hovedteksten. Gjengi kun de viktigste verdiene i hovedteksten.

Kort oppsummert, så brukes figurer til å gi et visuelt inntrykk, mens tabeller brukes til å enten oppsummere eksakte verdier eller unngå at det blir altfor mange verdier i hovedteksten. La oss nå se på noen regler for figurer og tabeller:

Alle figurer og tabeller skal midtstilles (slik som likninger), uten tekst på noen av sidene. Prøv å lag figuren slik at det ikke blir mye luft på hver side av en figur, men pass på at figuren ikke blir altfor høy. Se eksempler lengre ned i dokumentet. Her er det viktig å holde rapporten ryddig og oversiktlig.

Alle figurer og tabeller skal være nummererte (man nummererer tabeller og figurer hver for seg) og ha en selvstendig tekst som beskriver figuren/tabellen. En leser skal kunne se en figur og forstå, ut ifra figurteksten, hva denne omhandler uten å måtte lese i selve hovedteksten.

Alle figurer og tabeller må henvises til i hovedteksten. Man bruker figurer og tabeller for å hjelpe selve hovedteksten. En figur/tabell som ikke blir henvist til i hovedteksten, har heller ikke noe i rapporten å gjøre. Figurene/tabellene plasseres i rapporten i kronologisk rekkefølge, det vil si i den rekkefølgen de blir henvist til.

Prøv alltid å holde figurer og tabeller så "rene" og ryddige som mulig. Dvs. ikke ta med ting du ikke trenger. Dette gjelder spesielt figurer, der det visuelle er essensen. Fjern alt av linjer, former eller symboler som ikke har en hensikt. Bruk gjerne farger for å gjøre figuren lettere å tolke, men ikke lag figurer som som er avhengig av farger for å kunne tolkes. Dvs, at alle figurer må være forståelig i svart/hvitt.

Figurtekster plasseres *under* en figur, mens tabelltekster plasseres *over* en tabell.

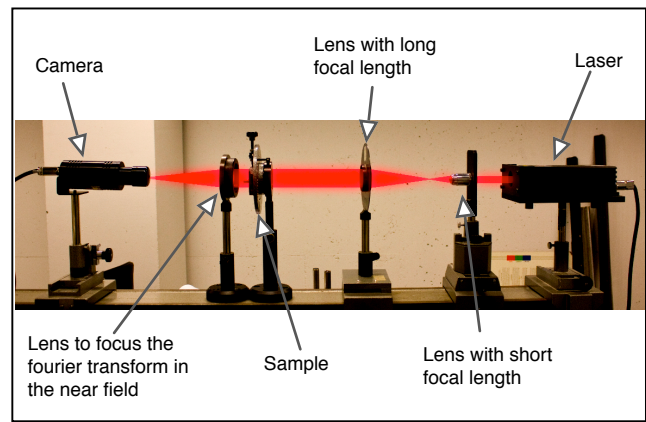


FIG. 1. Picture of the setup. The laser beam is a photo manipulation to illustrate the purpose of each optical component. The first two lenses make a Kepler beam expander. The focal length of the first lens (far right) is exaggerated to better illustrate the beam expansion. The beam goes through a sample or object from which we wish to examine the diffraction pattern. The last lens transport the far-field Fraunhofer pattern to the focal point of the lens which is registered by a camera.

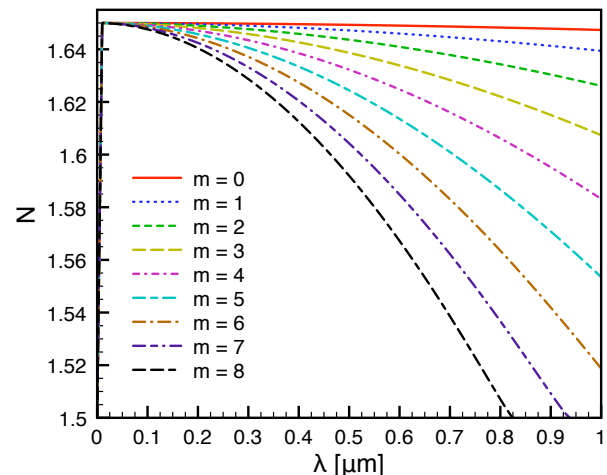


FIG. 2. Effective refractive index as a function of wave length for different values of m and a film thickness of $5 \mu\text{m}$. The calculations are done for the red laser.

La oss se nærmere på figurer og tabeller tatt fra to forskjellige labrapporter i optikk. FIG. 1 er tatt fra en av metodedelene og viser oppsettet til lab-forsøket. FIG. 2 er tatt fra en teoridel, mens FIG. 3 og FIG. 4 er tatt fra resultatkapitler.

Det er visse elementer som går igjen i alle figurene. Merk at de er veldig "rene", dvs at det er ingen unødvendig informasjon, linjer osv. I FIG. 4 er vi ikke interessert i nøyaktige tallsvaer for intensiteten (høyden på figurene), bare om den simulerte og den eksperimentelle intensiteten viser samme form. Det er derfor ingen grunn

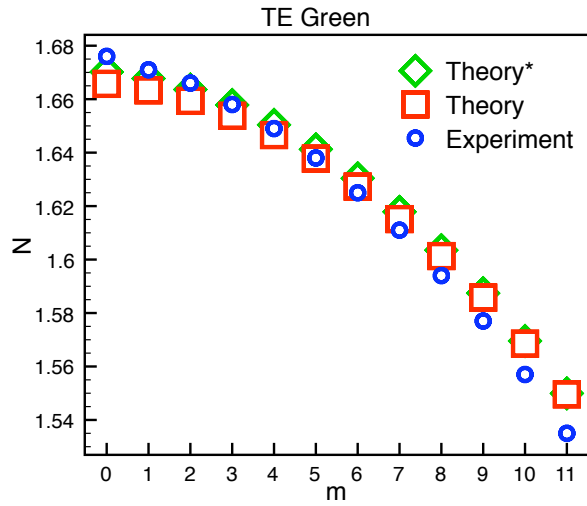


FIG. 3. Comparison of experimental and theoretical values of N for the green laser and TE mode. * This are the theoretical values of N calculated by using the original measured values of n_y and n_z .

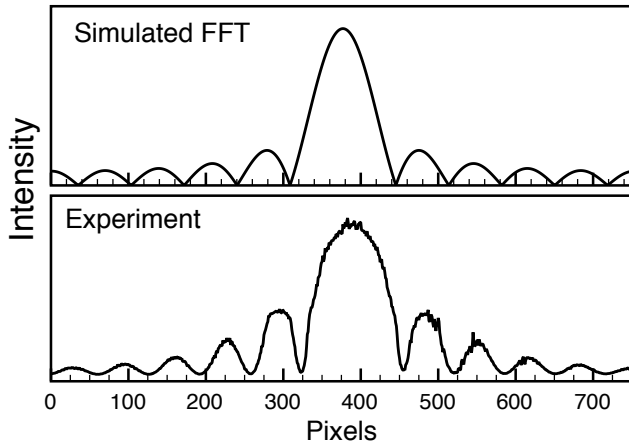


FIG. 4. Simulation vs. experiment for the single slit. The figure shows simulations (top) vs experiment (bottom) of the fourier plane intensity from a single slit aperture. The experiment is from a single slit with width 0.2 mm. The simulation was made by making an 752 elements wide array in Matlab consisting of zeros. Elements 371 to 381 were replaced by ones to simulate the single slit. The array was transformed to the fourier plane with the fft, fftshift and abs functions in Matlab.

til å ha tallverdier på y-aksen i dette tilfellet. Det ville bare gjort figuren mer uryddig. I FIG. 2 derimot, har vi med tallverdier fordi dette er nyttig informasjon. Merk også i FIG. 2 at siden λ er en lengde, må vi ha med enheten. De to første figurene er i farger, men vi ser at det likevel er mulig å lese figurene i svart/hvitt: FIG. 3 har ulik form på symbolene, mens FIG. 2 skiller linjene med ulike måter å tegne stripla linjer.

Tabell I og II er tatt fra resultatdelen av rapporten vi har henvist til i dette dokumentet (nummereringen i disse eksemplene stemmer ikke med nummereringen som brukes i eksemplet fra resultatdelen). Det er ganske opplagt at resultatdelen hadde blitt ganske så uoversiktlig dersom alle disse verdiene skulle blitt gjengitt i hovedteksten. Istedenfor blir kun de viktigste verdiene gjengitt, mens resten blir oppsummert i tabeller.

TABLE I. The table shows the measured effective refractive index N for the green laser for different m values.

Green laser	m	θ_{TE}	N_{TE}	-	θ_{TM}	N_{TM}
	0	27.50	1.676		23.50	1.658
	1	26.42	1.671		22.92	1.655
	2	25.17	1.666		22.00	1.651
	3	23.50	1.658		20.92	1.645
	4	21.58	1.649		19.42	1.637
	5	19.58	1.638		17.75	1.628
	6	17.17	1.625		15.92	1.617
	7	14.83	1.611		14.00	1.605
	8	12.33	1.594		11.75	1.591
	9	9.75	1.577		9.33	1.574
	10	7.08	1.557		7.92	1.563
	11	4.33	1.535		4.50	1.537

TABLE II. The table shows the measured effective refractive index N for the green laser and different m values. The values were calculated by using the experimental data and the lsqcurvefit function in Matlab.

Mode	d (μm)	n_y	n_x	n_z
TE _{red}	4.983	1.659	-	-
TM _{red}	5.059	-	1.640	1.646
TE _{green}	4.727	1.671	-	-
TM _{green}	5.030	-	1.650	1.675