

Kolorimetrisk analyse med mobilapp i kjemiundervisning

Håkon Øyen



Masteroppgave i Kjemi
30 studiepoeng

Kjemisk institutt
Matematisk-naturvitenskapelig fakultet

UNIVERSITETET I OSLO
18.05.2021

© Håkon Øyen

2021

Kolorimetrisk analyse med mobilapp i kjemiundervisning

Håkon Øyen

<http://www.duo.uio.no/>

Trykk: Reprosentralen, Universitetet i Oslo

Sammendrag

Denne studien gikk ut på å teste bruk av mobilapper som kolorimeter i kjemiundervisning. Kolorimetrieforsøk er kvantitative analyser der en dybden på fargen til en løsning brukes til å bestemme konsentrasjonen. Det er en del av læreplanen i kjemi på videregående skole, og har potensialet for å være spennende for elevene å utføre analyser med, men begrenses av prisen på instrumenteringen. Derfor gjøres det forskning på å finne billigere alternativer som kan fungere omtrent like bra, og i denne oppgaven har mobilapper blitt sett på.

Et forsøk fra den danske læreboka «Kend Kemien 2» har blitt brukt som basis for et endret og tilpasset forsøk, som har blitt brukt for å grundig teste ut flere apper. Forsøket bruker tepulver som analyseobjekt, og det har blitt gjennomført mange ganger med samme tetype «Earl Grey – Twinings of London». Forsøket gir samme konsentrasjon for tetypen hver gang, og appene Colormeter Free, Color Assist Lite, og ChemEye har gitt gode resultater på utføringene. Colormeter Free ble testet ut på android, Color Assist Lite på iPhone, og ChemEye på begge, og alle viste god nøyaktighet og presisjon sammenlignet et mer vanlig brukt kolorimeter, Vernier SpectroVis Plus. Appene bruker grønne RGB-verdier for å bestemme absorbansen av rosa permanganatløsninger.

I tillegg til å teste apper har forskjellige tetyper og matvarer blitt testet ut med forsøket. Alle tetyperne i fra «Lipton» som ble testet passet innenfor grensene til kalibreringsløsningene, mens ingen av matvarene gjorde det.

Til slutt ble det tilpassede forsøket testet ut med studenter fra UiO. De ble gitt ferdig preparerte analyseløsninger, og utførte forsøket med de to enkleste appene, Colormeter Free og Color Assist Lite. Resultatene deres var i gjennomsnitt 0,11 mM som var nærme den sanne verdien på 0,1 mM.

Både forsøket som ble tilpasset og appene som ble testet ut med studenter er egnet til bruk i skolen, og det er inkludert en lærerveiledning slik at lærere skal kunne gjennomføre forsøket hvis de skulle ønske det.

Forord

Arbeidet som blir presentert i denne oppgaven ble utført for Skolelaboratoriet i Kjemi ved Kjemisk Fakultet på Universitetet i Oslo (UiO). Der har jeg jobbet i et år med oppgaven, først med det meste av det praktiske arbeidet på høsten, og det teoretiske på våren. Jeg har jobbet med instrumenter, mobilapper, te, og personer, og det er deilig å se at det ble noe ut av prosjektet.

Jeg vil takke mine veiledere Svein Tveit og Karoline Fægri for å ha gitt meg et spennende prosjekt, og for alle rådene og hjelpen jeg har fått underveis. Jeg vil også takke medstudentene mine Sverre Ruud Ellingsen, Heidi Lundebye, og Henrik Paulsrud Tangen for de hyggelige stundene da vi delte kontor før covid-pandemien.

En stor takk til vennene mine fra bachelor-tiden, Pawel, Julie, Eirin, Ida, og Fredrik, for all oppmuntringen jeg har fått og latteren vi har delt. Og til slutt vil jeg takke familien min, for å ha holdt meg gående i de tyngste stundene av arbeidet.

Dette har vært en unik opplevelse, og jeg setter pris på alt og alle som har vært en del av denne prosessen.

Tusen takk.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	1
1.1	Formål.....	1
1.2	Masteroppgavens oppbygning.....	2
1.3	Elektromagnetisk stråling.....	3
1.4	Kolorimetrisk analyse.....	5
1.4.1	Absorbans og konsentrasjon.....	5
1.4.2	Kalibrering.....	8
1.4.3	Nøyaktighet og presisjon.....	9
1.5	Instrumenter til bruk i kolorimetrisk analyse.....	10
1.5.1	Molekylabsorpsjonsspektrofotometeret.....	10
1.5.2	Mobilkamera som kolorimeter.....	12
1.6	Tidligere forskning på mobilkamera som kolorimeter.....	16
1.7	Spektroskopi og kolorimetri i kjemi programfag.....	17
1.7.1	Spektroskopi og kolorimetri i læreplanen.....	17
1.7.2	Spektroskopi og kolorimetri i skolebøker.....	18
1.7.3	Masteroppgavens relevans til kjemi programfag.....	20
1.8	Sporstoffet mangan.....	21
2	Metode.....	22
2.1	Kjemikalier og utstyr.....	22
2.2	Tilpasninger av forsøket.....	23
2.3	Utprøving av apper.....	26
2.3.1	Tidlig testing.....	26
2.3.2	Systematisk utprøving.....	29
2.4	Utprøving av andre tetyper og matvarer.....	31
2.5	Utprøving av forsøket med studenter.....	33
3	Resultater og diskusjon.....	35
3.1	Tilpasninger av forsøket.....	35
3.1.1	Endringer av kalibreringsløsninger.....	35
3.1.2	Bytting av utstyr.....	36
3.1.3	Oppdeling av forsøket.....	37
3.2	Utprøving av apper.....	39

3.2.1	SpectroVis	39
3.2.2	Colormeter Free.....	40
3.2.3	Color Assist Lite.....	42
3.2.4	Photometrix	43
3.2.5	ChemEye	48
3.2.6	Sammenligning.....	53
3.3	Utprøving av andre tetyper og matvarer.....	58
3.3.1	Andre tetyper.....	58
3.3.2	Manganrike matvarer	60
3.4	Utprøving av forsøket med studenter	61
4	Konklusjon og videre arbeid	65
	Litteraturliste	68
	Vedlegg 1	71
	Vedlegg 2	74
	Vedlegg 3	76
	Vedlegg 4	77
	Vedlegg 5	84
	Vedlegg 6	87
	Figur 1: Enkel prinsippskisse av enkelstråle spektrofotometer.....	5
	Figur 2: Skisse av et absorpsjonsspekter. Skissen inkluderer verdien λ_{\max} som forklares under.	7
	Figur 3: Skisse av en kalibreringskurve der absorbans er plottet langs y-aksen, og konsentrasjon er plottet langs x-aksen	9
	Figur 4: Kalibreringskurve fra Vernier SpectroVis og Logger Pro 3.15, inkludert korrelasjonskoeffisient og bestemt konsentrasjon av ukjent prøve.....	11
	Figur 5: Additiv fargesyntese. RGB-modellen.	12
	Figur 6: Eksempel på kalibreringskurver fra ChemEye.....	14
	Figur 7: Eksempel på kalibreringskurve med målinger fra Colormeter Free	15
	Figur 8: Bilde av kalibreringsrekka i «mørkerommet»	15
	Figur 9: Oversikt over hvilke apper som ble brukt i hvilken fase.....	27
	Figur 10: Absorpsjonsspekter til prøve laget fra tepulver. λ_{\max} i eksempelet i figuren er ved 527,4nm.....	37
	Figur 11: Absorbans til løsning laget fra Earl Grey – Twinings of London over 40 timer.....	38
	Figur 12: Konsentrasjonene bestemt med SpectroVis over fire forskjellige dager.....	39
	Figur 13: Konsentrasjonene bestemt med Colormeter Free over fire forskjellige dager	41

Figur 14: Konsentrasjonene bestemt med Color Assist over fire forskjellige dager. Siden måling 3 den 21.10. ikke ble målt ble det utført en ekstra måling 7 den dagen.....	42
Figur 15: Konsentrasjonene bestemt med Photometrix i app på android over fire forskjellige dager	44
Figur 16: Konsentrasjonene bestemt med Photometrix vha grønne RGB-verdier på android over to forskjellige dager. Den 6.10. ble det gjort to målinger, som ikke er nok til å lage en trend, og de er derfor utelatt fra figuren	44
Figur 17: Konsentrasjonene bestemt med Photometrix i app på iPhone over to forskjellige dager	46
Figur 18: Konsentrasjonene bestemt med Photometrix vha grønne RGB-verdier på iPhone over tre forskjellige dager. Måling 3 den 21.10. ble ikke gjort, og derfor er det en ekstra måling 7.....	46
Figur 19: Konsentrasjonene bestemt med ChemEye i app på android over fire forskjellige dager	48
Figur 20: Konsentrasjonene bestemt med ChemEye vha grønne RGB-verdier på android over to forskjellige dager.....	49
Figur 21: Konsentrasjonene bestemt med ChemEye i app på iPhone over fire forskjellige dager. Den 30.09. begynte ikke appen å bli brukt på iPhone før måling 3, og den 21.10. krasjet appen ved målingene gjort før mobilen ble restartet til måling 4.....	51
Figur 22: Konsentrasjonene bestemt med ChemEye vha grønne RGB-verdier på iPhone over to forskjellige dager. De første målingene den 21.10. mangler av samme grunn som beskrevet over.....	51
Figur 23: Konsentrasjonene bestemt med SpectroVis og hver app den 30.09. iPhone-varianten av Photometrix er utelatt grunnet negativt resultat	53
Figur 24: Konsentrasjonene bestemt med SpectroVis og hver app den 6.10. iPhone-varianten av Photometrix er fremdeles utelatt	54
Figur 25: Konsentrasjonene bestemt med SpectroVis og hver app den 15.10.....	54
Figur 26: Konsentrasjonene bestemt med SpectroVis og hver app den 21.10.....	55
Figur 27: Graf som viser gjennomsnittskonsentrasjonene funnet med alle metodene for hver dag, inkludert standardavvik	56
Figur 28: Oversikt over konsentrasjonene studentene bestemte for sin ukjente løsning	62

1 Innledning

1.1 Formål

Formålet med denne masteroppgaven har vært å undersøke muligheten til å utføre labforsøk om kolorimetri med mobil og app i kjemiundervisningen. Et kolorimetrieforsøk fra den danske læreboken Kend Kemien 2 av Parbo et al. (2015) har blitt tilpasset til å kunne brukes med to mobilapper, og det har blitt utviklet en lærerveiledning. Kolorimetrieforsøket er en kvantitativ analyse som går ut på å bestemme mengden mangan (Mn) i en tepose, og så sammenligne denne verdien med anbefalt daglig inntak. Mengden mangan i te bestemmes ved å lage en løsning der mangant i tepulveret blir omdannet til den sterkt rosafargede forbindelsen permanganat (MnO_4^-), og så bestemme konsentrasjonen av permanganat i løsningen kolorimetrisk.

Kolorimetriundervisning har vært begrenset av at skoler ikke har råd til å kjøpe inn nok instrumenter til alle. Instrumenter til tusenvis av kroner kommer ikke skoler til å kjøpe inn mange av, og det blir da vanskelig å gjennomføre labforsøk med store klasser. Derfor har det blitt fokusert på å teste hvor godt mobilkamera kan fungere som instrumentering, siden de aller fleste elever vil allerede ha en smarttelefon, og hvis den gir tilstrekkelige resultater vil det spare masse tid og penger for skolen.

I løpet av arbeidet med denne oppgaven har flere forskjellige apper på både androidtelefon og iPhone blitt testet ut på lab. Det tilpassede kolorimetrieforsøket har blitt utført gjentatte ganger og én etter én har appene blitt brukt til å bestemme konsentrasjonen av permanganat i samme løsning. Ved å sammenligne resultatene fra mobilappene med resultatene til et kolorimeter som ofte blir brukt i skoleundervisning, har mobilappenes egnetheten til bruk i laboratorieundervisning blitt vurdert.

I tillegg til å teste med forskjellige tetyper har også andre matvarer som inneholder mangan blitt testet for egnethet til forsøket.

Til slutt ble det tilpassede forsøket testet ut med lektorstudenter i et ordinært emne ved Universitetet i Oslo for å få et inntrykk av hvor godt gjennomføringen av forsøket og bruk av mobilapp som analyseredskap fungerer i en reell undervisningssituasjon.

Til oppsummering hadde masteroppgaven følgende fire hovedformål:

1. Oversett, test ut, og tilpass forsøket «Bestemmelse af mangan i te – spektrofotometri» til bruk i norsk skole, inkludert egenprodusert lærerveiledning.
2. Finn og test mobilapper tilgjengelig til både android og iPhone, og vurder egnetheten deres til utføring av det nevnte kolorimetriforsøket.
3. Test ulike typer te og andre matvarer, og vurder hvilke som egner seg til bruk som prøve i forsøket.
4. Gjennomfør det tilpassede forsøket med studenter på universitetet, og vurder om appene er egnet til bruk i undervisning

1.2 Masteroppgavens oppbygning

Denne masteroppgaven er delt inn i 4 kapitler. Kapittel 1 dekker bakgrunnen for forskningen som har blitt gjort, kapittel 2 dekker gjennomføringen av forskningen, kapittel 3 dekker analysen av resultatene fra forskningen, og til slutt dekker kapittel 4 konklusjonen.

Delkapittel 1.3 dekker generell teori rundt elektromagnetisk stråling, delkapittel 1.4 dekker teori rundt kolorimetrisk analyse, og denne teorien brukes i delkapittel 1.5 hvor deler av instrumenteringen som kan brukes i kolorimetrisk analyse beskrives. I delkapittel 1.6 vises det til tidligere forskning på bruk av mobilkamera som kolorimeter. I delkapittel 1.7 blir læreplanen i kjemi og tre læreverk analysert i konteksten av kolorimetri, og det blir argumentert for hvorfor forskningen gjort i denne masteroppgaven er av interesse for kjemiundervisning. Det siste delkapitlet, 1.8, gir en kort innføring i forbindelsen mangan, som er forbindelsen som analyseres i det tilpassede forsøket.

Kapittel 2 presenterer metodedelen, og er delt inn i fem delkapitler. Delkapittel 2.1 er en presentasjon av kjemikaliene og utstyret som ble brukt i løpet av arbeidet med masteroppgaven, mens de neste fire delkapitlene følger oppdelingen av de fire hovedmålene presentert i introduksjonen. Delkapittel 2.2 starter med å beskrive hvordan forsøket fra Kend Kemien 2 (Parbo, et al., 2015) ble testet ut, og går videre med å beskrive hvilke tilpasninger som ble gjort og hvorfor. Oppdagelse og utprøving av forskjellige apper blir beskrevet i delkapittel 2.3. I delkapittel 2.4 blir uttestingen av hvilke tetyper og matvarer som egner seg til forsøket beskrevet, og til slutt i delkapittel 2.5 blir gjennomføringene med studenter på universitetet beskrevet.

Kapittel 3 presenterer resultatene og diskusjonen av dem i samme rekkefølge som i kapittel 2, det vil si i samme rekkefølge som de fire hovedmålene. Delkapittel 3.1 formidler hvorfor endringene ble gjort i tilpasningen av forsøket. Resultatene fra utprøvingen av apper blir presentert i 3.2, og de blir sammenlignet med resultater fra et vanlig brukt kolorimeter. I tillegg diskuteres appenes egnethet til bruk i klasseromsundervisning. I delkapittel 3.3 blir det presentert hvilke tetyper og matvarer som passer til forsøket, og i delkapittel 3.4 blir det beskrevet hvordan det gikk under den praktiske gjennomføringen med studenter.

Til slutt kommer kapittel 4 som beskriver konklusjonene som ble trukket under arbeidet med oppgaven og bearbeidingen av dataene, i tillegg til at det blir diskutert hvordan forskningen kan gå videre heretter.

Det inkluderes også noen vedlegg; vedlegg 1 er det oversatte og tilpassede forsøket, vedlegg 2 er rapporten som studentene ble bedt om å besvare, vedlegg 3 er et tilbakemeldingsskjema som ble utdelt til studentene, vedlegg 4 er lærerveiledningen, vedlegg 5 er risikovurderingen av forsøket, og vedlegg 6 er rådata.

1.3 Elektromagnetisk stråling

Spektroskopi er studien av absorpsjon og emisjon av lys eller annen stråling til kjemiske forbindelser (Graybeal, et al., 2021). Når det utføres kvantitative spektroskopiske målinger kalles det spektrofotometri (Britannica, T. Editors of Encyclopaedia, 2009). Kolorimetri er måling av bølgelengder og intensitet av elektromagnetisk stråling som tilhører kategorien *synlig lys* (Britannica, T. Editors of Encyclopaedia, 2014). Med andre ord er kolorimetri en kvantitativ spektroskopisk analysemetode av synlig lys. Synlig lys har bølgelengder i intervallet på omtrent 380-750 nm (Harris, 2016, s. 434).

Lys er en form for elektromagnetisk stråling, og eksisterer både i form av fotonpartikler og som elektromagnetiske bølger. To viktige variabler for å definere en bølge er bølgens frekvens og bølgelengde. Sammenhengen vises i ligning 1:

$$v\lambda = c \quad (\text{Ligning 1})$$

der λ er bølgelengden og beskriver avstanden fra bølgetopp til bølgetopp. ν er frekvensen til bølgene, og beskriver antallet fullstendige repetisjoner en bølge gjør i løpet av ett sekund. Benevnningen til frekvens er Hz, og 1 Hz er definert til å tilsvare 1/sekund, som i konteksten av elektromagnetisk stråling vil bety én fullstendig bølgebevegelse, fra bølgetopp til bølgetopp, per sekund. c er lysets hastighet, som i vakuum er funnet til å være $2,998 \cdot 10^8$ m/s.

Lys kan eksistere både som bølger og som partikler, og lyspartikler kalles fotoner. Energien, E , som befinner seg i et foton kan finnes med ligning 2:

$$E = h\nu \quad (\text{Ligning 2})$$

der h er Plancks konstant, med verdien $6,626 \cdot 10^{-34}$ Js.

Ligning 1 og 2 over kan kombineres slik:

$$E = \frac{hc}{\lambda} = hc\hat{\nu} \quad (\text{Ligning 3})$$

der $\hat{\nu}$ er bølgenummeret ($\hat{\nu} = 1/\lambda$). Disse ligningene viser at energien til en bølge/et foton er omvendt proporsjonalt med bølgelengden, men direkte proporsjonalt med frekvensen/bølgenummeret. Lengre bølgelengde medfører lavere frekvens og mindre energi, og vise versa.

En kjemisk forbindelse vil befinne seg i noe som heter en grunntilstand, og dette er den laveste energitilstanden til forbindelsen. Når en bølge med en bølgelengde som tilsvarer en gitt energimengde treffer visse forbindelser vil forbindelsene kunne absorbere denne energien og gå over fra grunntilstand til eksitert tilstand. En forbindelse som befinner seg i eksitert tilstand vil være ustabile, og vil raskt emittere lys, det vil si avgi fotoner, slik at forbindelsene går tilbake til den mer stabile grunntilstanden. Absorpsjon av lys vil øke en forbindelses energi, men emisjon av lys vil senke energien til forbindelsen. Energiforskjellen ΔE mellom eksitert tilstand og grunntilstand bestemmer hvilken energimengde lyset som stråles ut vil ha, og lyset som absorberes må ha identisk energi som denne energiforskjellen for at forbindelsen skal eksiteres. En forbindelse kan ha forskjellige eksiterte tilstander, og hver av de vil ha forskjellige energiforskjeller ifra grunntilstanden. Hvis energimengden er ulik, vil ikke lyset absorberes, som betyr at lys må ha spesifikke bølgelengder for å bli absorbert av forbindelsen. Hvis mengden av en gitt type forbindelser øker, vil mengden lys

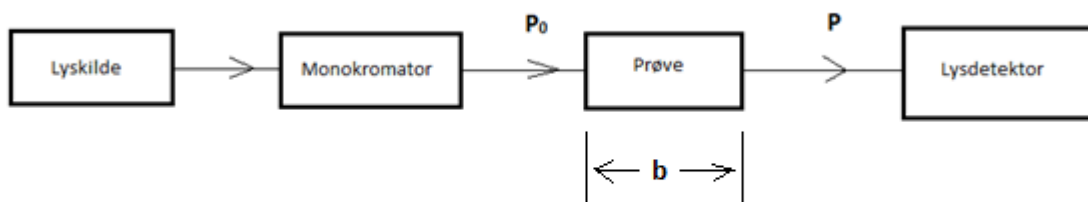
som absorberes øke proporsjonalt. Dette kan brukes til å bestemme konsentrasjonen av en forbindelse.

1.4 Kolorimetrisk analyse

1.4.1 Absorbans og konsentrasjon

Siden forbindelser absorberer lys av bestemte bølgelengder kan mengden av forbindelsene bestemmes kvantitativt ved å sammenligne lyset som ble strålt inn mot en løsning av forbindelsen med mengden lys som slipper gjennom løsningen. En slik analyse utføres med et spektrofotometer eller et kolorimeter. Et spektrofotometer vil ofte ha UV-vis analyseområde, det vil si fra ultrafiolett til synlig lys, mens et kolorimeter bare kan analysere synlig lys. Et spektrofotometer består av en lyskilde, en monokromator (bølgelengdevelger), en prøve som skal analyseres, og en lysdetektor.

Irradians, P , er energien per sekund per arealenheter av lysstrålen, og måles i W/m^2 . Når lys stråles gjennom en løsning og noe av lyset absorberes, vil irradiansen synke. Hvor mye lys som absorberes avhenger av lysveien, b . Figur 1 under viser en skisse av et enkelstråle spektrofotometer.



Figur 1: Enkel prinsippkisse av enkelstråle spektrofotometer

I figur 1 vises det at hvitt lys sendes ut fra en lyskilde til en monokromator som velger ut en bestemt bølgelengde, lys som består av kun én bølgelengde kalles monokromatisk lys. Det monokromatiske lyset har irradians P_0 , og stråles gjennom prøven som skal analyseres,

med lengde b , hvor noe av lyset absorberes. Lyset som ikke ble absorbert stråler ut av andre side med irradians P , og treffer lysdetektoren. Sammenhengen mellom P og P_0 kan skrives slik:

$$P \leq P_0 \quad (\text{Ligning 4})$$

Transmittans, T , defineres som fraksjonen av det originale lyset som passerte gjennom en prøve, og kan finnes med ligning 5:

$$T = \frac{P}{P_0} \quad (\text{Ligning 5})$$

I ligning 4 blir det vist at P alltid er mindre enn eller lik P_0 , og i tillegg kan ikke irradians være negativ. Ved å kombinere denne kunnskapen med ligning 5 blir det tydelig at transmittansen må være mellom 0 og 1. Da kan absorbansen, A , til en prøve defineres som i ligning 6:

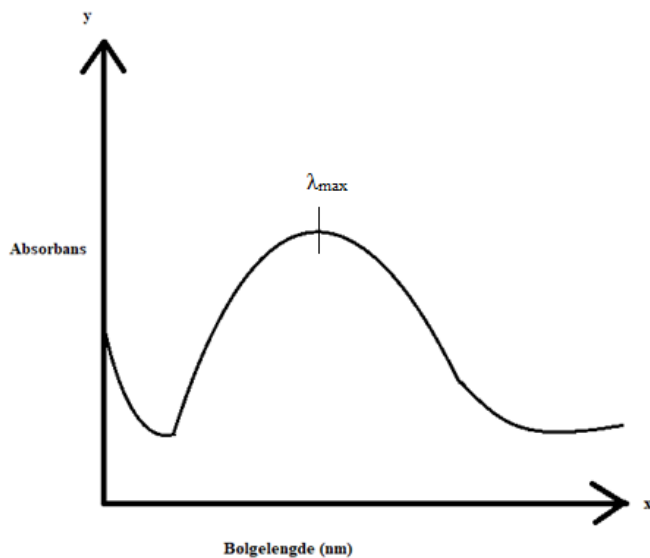
$$A = \log\left(\frac{P_0}{P}\right) = -\log T \quad (\text{Ligning 6})$$

I tillegg til å være omvendt proporsjonal med logaritmen av transmittansen, er absorbansen proporsjonal med en prøves konsentrasjon. Dette vises i Beers lov, også kjent som Beer-Lamberts lov, som i Harris (2016, s. 436) skrives slik:

$$A = \epsilon bc \quad (\text{Ligning 7})$$

I Beers lov er ϵ molar absorptivitet, som formidler hvor mye lys som absorberes ved en gitt bølgelengde av en bestemt forbindelse, og har benevningen $M^{-1}cm^{-1}$. b er lysveien i cm, som formidler hvor langt lyset beveget seg gjennom prøven, og c er konsentrasjonen mol/L, eller M , som sier hvor mye forbindelse det er i prøven per enhet løsemiddel. Sammenlagt gir disse benevningene et dimensjonsløst uttrykk, og absorbans har derfor ingen benevning.

Absorbans og molar absorptivitet varierer etter hvilken bølgelengde som stråles gjennom prøven. Hvordan absorbansen endrer seg kan vises i en graf som kalles et absorpsjonsspekter, der bølgelengden er på x-aksen, og absorbansen er på y-aksen. Figur 2 viser en skisse av et slikt absorpsjonsspekter.



Figur 2: Skisse av et absorpsjonsspekter. Skissen inkluderer verdien λ_{\max} som forklares under.

Som nevnt tidligere i dette delkapitlet velges det ut én enkelt bølglengde, men som forklart i 1.3 er det bestemte bølglengder som visse forbindelser kan absorbere, og i tillegg vil forbindelsen absorbere forskjellige mengder av forskjellige bølglengder. For å utføre en analyse av absorbansen er det derfor viktig at monokromatoren velger en bølglengde som faktisk vil bli absorbert når den stråles gjennom prøven. I en spektrofotometrisk analyse vil da målingene starte ved å lage et absorpsjonsspekter for analytten. Deretter velges bølglengden der absorbansen er høyest, og denne bølglengden kalles λ_{\max} . λ_{\max} brukes fordi det er ved denne bølglengden instrumentet vil ha høyest følsomhet, altså deteksjonsgrensen blir lavere, og det blir enklere å bestemme forskjellen i absorbans for forskjellige prøver med ulik konsentrasjon av samme forbindelse. I figur 2 vises absorpsjonsspekterets λ_{\max} ved det høyeste punktet på kurven. Ved λ_{\max} vil både absorbans og molar absorptivitet være tilnærmet konstant, som medfører minimal feilkilde i laboratoriearbeid. Når absorbans, A , og molar absorptivitet, ϵ , er konstant, og lysveien, b , er kjent, kan konsentrasjonen, c , enkelt finnes ved å sammenligne med kjente verdier.

Bølglengden som representerer λ_{\max} vil være den bølglengden det absorberes mest av. Hvis bølglengden som representeres av λ_{\max} befinner seg i den synlige delen av det elektromagnetiske spekteret betyr det at lyset som absorberes mest av en forbindelse vil være lys av en bestemt farge. En løsning vil typisk absorbere mest av komplementærfargen til den fargen som løsningen selv har. Fargen mennesker kan se med det blotte øyet er de bølglengdene som reflekteres, mens de fargene som absorberes mest vil ikke kunne bli sett.

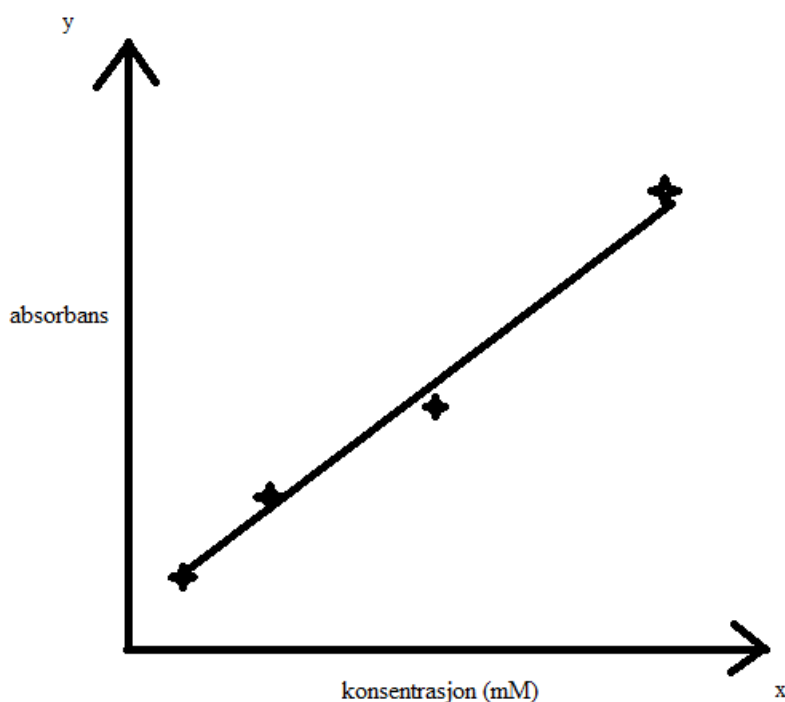
Forsøket som blir brukt i denne masteroppgaven analyserer permanganatprøver, som er rosafargede, og fargen som absorberes mest vil dermed tilhøre komplementærfargen, altså grønt lys.

1.4.2 Kalibrering

Løsningen som skal måles forventes å ha et λ_{\max} innenfor målingsgrensene til instrumentet, og for kolorimetri betyr det at λ_{\max} befinner seg i den synlige delen av spekteret. For å analysere en prøve med ukjent konsentrasjon av en forbindelse må det også lages løsninger med kjent konsentrasjon som den ukjente prøven kan sammenlignes med. Slike løsninger kalles kalibreringsløsninger.

Kalibreringsløsningene lages fra en stamløsning med kjent konsentrasjon av samme forbindelse som skal måles i den ukjente løsningen. Tre til fem ulike kalibreringsløsninger tillages med kjente konsentrasjoner, og i tillegg lages det en blank prøve uten noe av analytten. Den blanke prøven er en referanse for å kalibrere . Uten en blank vil ikke analysen vise om den målte absorbansen skyldes analytten eller vannet.

Når løsningene er klare i kyvetter utføres kalibreringen. Instrumentet kalibreres for blank referanseløsning og måler absorbansene av alle kalibreringsløsningene. Deretter brukes de målte absorbansene til å lage en kalibreringskurve, figur 3 viser en skisse av en kalibreringskurve.



Figur 3: Skisse av en kalibreringskurve der absorbans er plottet langs y-aksen, og konsentrasjon er plottet langs x-aksen

Når kalibreringskurven er lagd er det enkelt å finne ligningen til kurven, som for en lineær funksjon vil følge formelen $y=ax+b$. Når absorbansen til den ukjente løsningen måles vil ligningen kunne brukes til å finne konsentrasjonen.

1.4.3 Nøyaktighet og presisjon

Instrumenter som kan brukes i kolorimetrisk analyse vil måle absorbans på ulike måter og forskjellene forklares i 1.4. Når forskjellene skal diskuteres er det viktig å definere begrepene nøyaktighet og presisjon. Nøyaktighet beskriver hvor godt det eksperimentelle resultatet stemmer overens med den ekte verdien, mens presisjon beskriver hvor mye en serie av målinger av samme objekt stemmer overens med hverandre (Braun, 2016). Men siden det ikke vil være mulig å vite den sanne verdien på permanganat i noen av prøvene, vil nøyaktigheten til appene heller beskrive hvor godt måleresultatet med appen stemmer overens med måleresultatet med spektrofotometeret. Nøyaktighet beskrives med feil, E . Presisjonen til

både spektrofotometeret og appene beskrives med standardavvik, s , og relativt standardavvik, RSD (%).

For å finne feil, standardavvik, og relativt standardavvik må målinger utføres og beregninger utføres. Absolutt feil kan finnes ved ligning 8, og relativ feil ved ligning 9:

$$E = x_i - x_t \quad (\text{Ligning 8})$$

$$E_R = \frac{x_i - x_t}{x_t} * 100\% \quad (\text{Ligning 9})$$

der E er absolutt feil, E_R er relativ feil, x_i er verdien som ble målt, og x_t er den sanne verdien.

For å avgjøre presisjonen må flere målinger gjøres, og gjennomsnittet av dem må finnes. Gjennomsnitt av målinger finnes ved ligning 10, standardavvik ved ligning 11, og relativt standardavvik ved ligning 12:

$$\bar{x} = \frac{\sum_n x_i}{n} \quad (\text{Ligning 10})$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (\text{Ligning 11})$$

$$\text{RSD} = \frac{s}{\bar{x}} * 100\% \quad (\text{Ligning 12})$$

der \bar{x} er gjennomsnittet av alle målingene, n er det totale antall målinger, s er standardavvik, og RSD er relativt standardavvik.

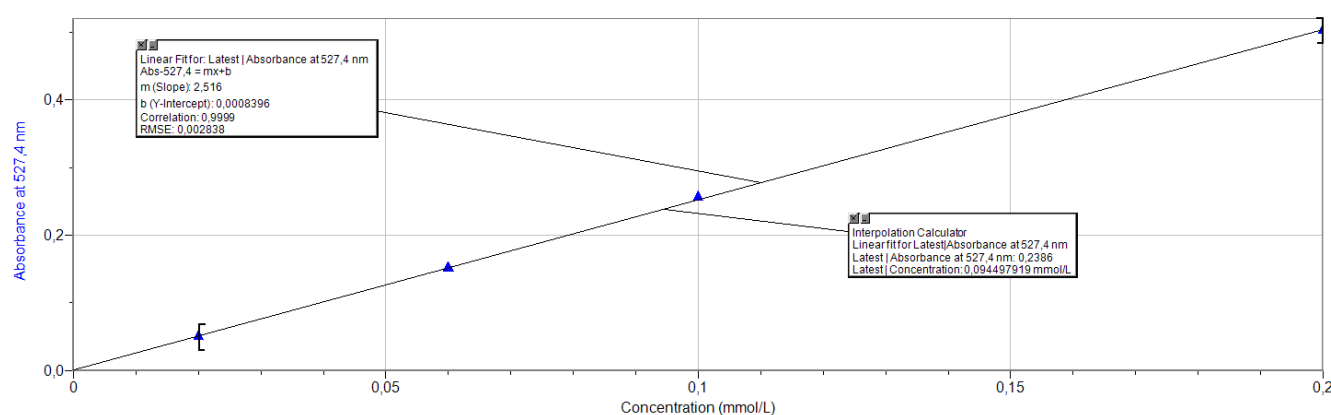
1.5 Instrumenter til bruk i kolorimetrisk analyse

1.5.1 Molekylabsorpsjonsspektrofotometeret

Et spektrofotometer kan velge hvilken bølgelengde det stråler ut gjennom en prøve, og hvis bølgelengden som velges er innenfor synlig lys vil spektrofotometeret fungere som et kolorimeter. Det er to typer spektrofotometre som er typiske å bruke. På laboratorier brukes ofte et dobbelstråle molekylabsorpsjonsspektrofotometer, som er mest presist og nøyaktig siden det greier å kompensere for instrumentell drift (Deepak, 2013), altså gradvise endringer

i instrumentet som kan medføre endring i analyseresultat. Dobbelstråle instrumentering koster derimot titusenvis av kroner. Det er lite trolig at skoler vil betale slike summer for apparatur som ikke kommer til å bli brukt mer enn én gang per klasse. Det er da den andre typen, enkelstråle molekylabsorpsjonsspektrofotometer, blir attraktiv. Enkelstråle molekylabsorpsjonsspektrofotometeret som ble brukt i denne masteroppgaven er Vernier SpectroVis Plus med dataprogrammet Logger Pro 3, og informasjon og spesifikasjoner om instrumentet finnes i 2.1.

Figur 1 i 1.4.1 viser en prinsippskisse av et enkeltstråle molekylabsorpsjonsspektrofotometer, og figuren gjelder derfor for SpectroVis også. Prøven er i en kyvette som plasseres ned i instrumentet, og målingene utføres og rapporteres i Logger Pro 3 på tilkoblet PC. Figur 4 under viser et eksempel på en kalibreringskurve ifra SpectroVis og Logger Pro som oppgir ligning, korrelasjonskoeffisient, og konsentrasjon på ukjent løsning. Selv om dobbelstråle er betraktet som mer presist instrument så kan fortsatt SpectroVis få meget god presisjon og nøyaktighet.



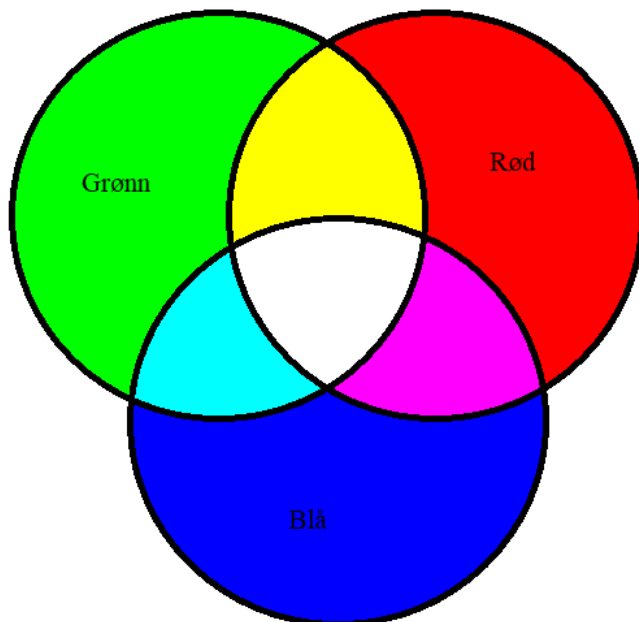
Figur 4: Kalibreringskurve fra Vernier SpectroVis og Logger Pro 3.15, inkludert korrelasjonskoeffisient og bestemt konsentrasjon av ukjent prøve

Hollinger (2011) hevder at Vernier SpectroVis Plus fungerer bra i klasserommet hvis elevene har fått mulighet til å lære å bruke instrumentet før de må gjøre et labforsøk med det. Videre hevder hen at instrumentet ga gode resultater. Med både lavere pris og gode tilbakemeldinger, er det ikke overraskende at Vernier SpectroVis Plus er mer populært til bruk i undervisning på videregående skole enn et dobbelstråle molekylabsorpsjonsspektrofotometer. SpectroVis medbringer en prisreduksjon på flere tusen kroner, men det blir likevel ønskelig å senke prisen enda mer. Asheim, et al. (2014) tilbyr mulighet for å benytte et enkelt kolorimeter som bruker legoklosser, en lysdiode, og et batteri.

De sier at det kan brukes til undervisning, og viser rette kalibreringskurver som støtter påstanden sin. Det alternativet som ble forsket på i arbeidet med denne masteroppgaven var å bruke instrumenter som elevene mest sannsynlig allerede har, mobiltelefonen.

1.5.2 Mobilkamera som kolorimeter

Når mobilen brukes som kolorimeter brukes telefonens interne kamera. Kameraet fokuserer på prøven/kyvetten som skal analyseres, og apper vil kunne bruke informasjonen fra kamera til å registrere RGB-verdiene til objektet som er i fokus. Hirsch (2015) skriver om Thomas Young sin teori om at menneskeøyet kun er sensitivt for de tre fargene rød (R), grønn (G), og blå (B), og at dette formet grunnlaget for den additive teorien for lys. Den additive teorien for lys sier at hvitt lys består av rødt, grønt, og blått lys, og at alle farger kan dannes ved å kombinere to eller flere av disse fargene. RGB-modellen benyttes i digitale kameraer og digitale display, og der er alle farger representert med ulike kombinasjoner av rødt, grønt, og blått. Intensiteten til hver farge varierer fra 0 til 255. Rødt lys for eksempel vil skrives med fargekoden 255, 0, 0. Figur 5 viser en visuell representasjon av additiv fargesyntese, inspirert av Nassau (2020).



Figur 5: Additiv fargesyntese. RGB-modellen.

Appene registrerer hva RGB-verdiene til prøvene som måles er, og den informasjonen kan brukes til å estimere absorbans. Fargen til en prøve er det som avgjør hvilke verdier appene registrerer for rødt, grønt, og blått lys, og fargen til en prøve henger sammen med hva slags lys den absorberer. Fargen prøven har vil være komplementærfargen til fargen som det absorberes mest av.

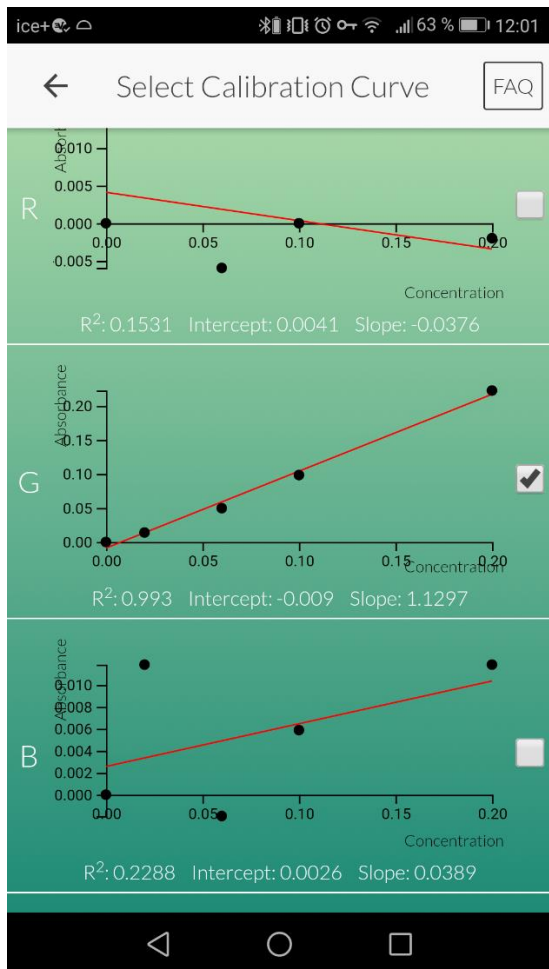
Permanganatløsningene som måles i forsøket er rosa-lilla, altså magenta. Siden grønn er komplementærfargen til fargen på prøveløsningene vil den grønne RGB-verdien som appen oppgir kunne brukes til å bestemme absorbansen. En blank løsning vil absorbere minimalt med lys, og hvis det er en hvit bakgrunn vil alle de tre målte RGB-verdiene være nærme 255. For de rosa-lilla kalibreringsløsningene derimot vil den grønne verdien synke ettersom permanganatkonsentrasjonen øker. Ved å omskrive ligning 6, og erstatte P med grønn RGB-verdi, vil absorbans med app kunne finnes etter ligning 13.

$$A = -\log\left(\frac{I_n}{I_{\text{blank}}}\right) \quad (\text{Ligning 13})$$

der I_n er rød, grønn, eller blå RGB-verdi målt med app på farget prøveløsning (enten kalibrering eller ukjent prøve), og I_{blank} er rød, grønn, eller blå RGB-verdi målt med app på blank løsning (Kehoe & Penn, 2013). I det tilpassede labforsøket (vedlegg 1) ble ligning 13 skrevet annerledes. I_n ble erstattet med $G_{\text{løsning}}$, og I_{blank} ble erstattet med G_{blank} . Endringen ble gjort for å lede elevene/studentene til å se på riktig fargekode, og gjøre forsøket litt enklere for dem.

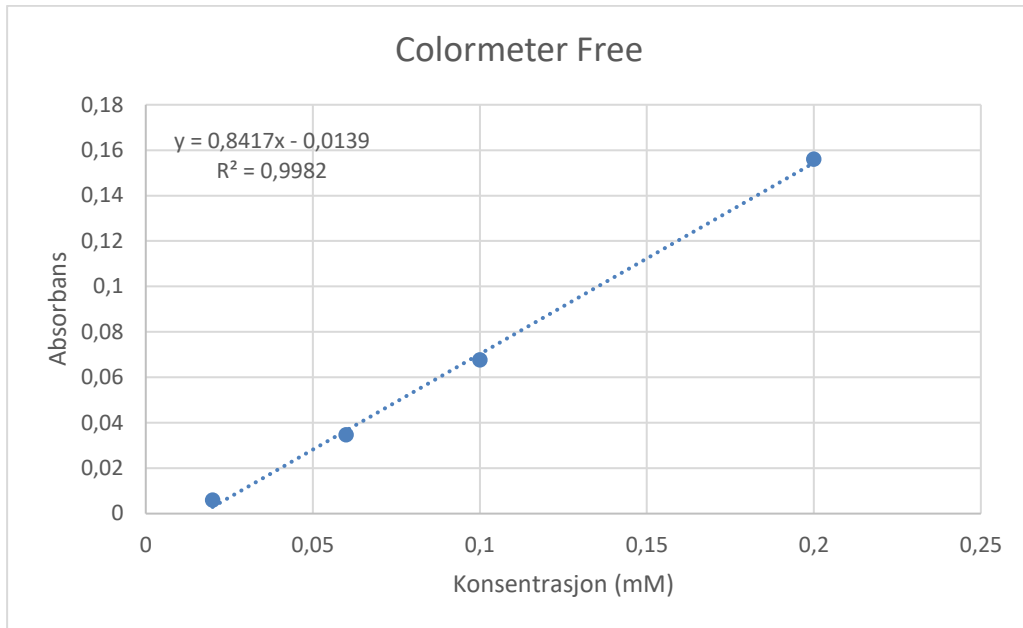
Noen apper er laget for å brukes til kolorimetrisk analyse, og beregner absorbansene og plotter kalibreringskurve i appen. Et eksempel på en slik app er ChemEye. Den krever at brukeren oppgir hvilken konsentrasjon løsningen som måles har, og gir ut en kalibreringskurve, inkludert ligning og korrelasjonskoeffisient, når alle kalibreringsløsningene og blindprøven er målt. Appen kan så pekes på ukjent prøve, og appen sammenligner grønn RGB-verdi med de som tidligere ble målt i kalibreringen, og oppgir et resultat med samme benevnelse som ble valgt for kalibreringsløsningene. Disse typene apper oppgir også RGB-verdiene ettersom hver løsning blir målt, men sparer ikke på noen av dem. I figur 6 under vises et skjermbilde av hvordan kalibreringskurvene oppgitt av ChemEye kan se ut. Den viser én kurve for hver av de tre fargene, og brukeren må velge hvilken farge de er interesserte i.

Det er også tydelig i figur 6 at apper som utfører beregninger selv automatisk inkluderer blank prøve i kalibreringskurve.



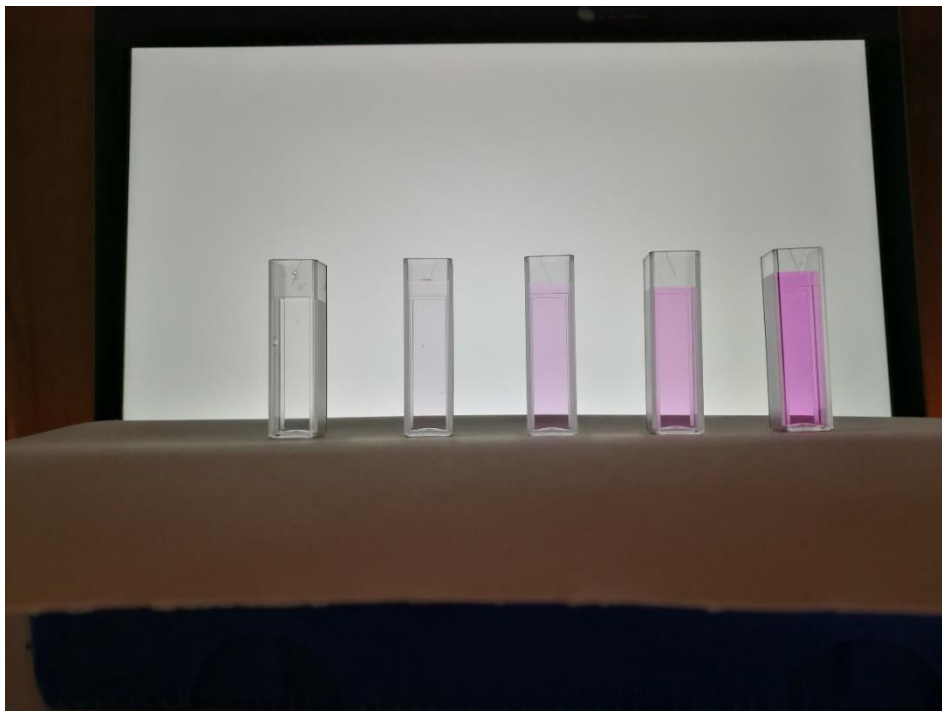
Figur 6: Eksempel på kalibreringskurver fra ChemEye

Andre apper utfører ingen beregninger selv. Disse appene er ikke nødvendigvis produsert spesifikt for å utføre kolorimetriske analyser, men de kan brukes til det likevel. Colormeter Free er et eksempel på en slik app. Disse typene apper oppgir alle tre RGB-verdier for hver løsning som blir målt, og disse må noteres av brukeren i et program, som for eksempel Microsoft Excel, hvor beregningene kan utføres. Siden appen ikke trenger at kalibreringskurven lages før ukjent prøve kan måles, betyr det at alle målingene kan utføres fortløpende og så kan brukeren gå tilbake til plassen sin for å gjøre alle beregninger og lage kalibreringskurve. Figur 7 under viser et eksempel på en kalibreringskurve laget i Microsoft Excel etter måling med Colormeter Free.



Figur 7: Eksempel på kalibreringskurve med målinger fra Colormeter Free

Verdiene i figur 7 kommer fra løsninger som stod foran en lyskilde som sender ut hvitt lys. Det oppnås ved at kyvettene som løsningene har blitt helt opp i plasseres på en bærbar PC med hvit skjerm som står oppå et bord, som vist i figur 8 under. For å unngå påvirkning fra lys rundt blir også en pappeske plassert over, slik at det blir skapt et «mørkerom». Brukeren bøyer seg så ned under pappesken og utfører målingen fra gulvet.



Figur 8: Bilde av kalibreringsrekke i «mørkerommet»

1.6 Tidligere forskning på mobilkamera som kolorimeter

Denne masteroppgaven er ikke det første arbeidet som er gjort på bruk av mobilkamera til kolorimetrisk analyse. Under vises det til artikler som har testet ut bruk av mobilkamera i kolorimetriske forsøk, og noen av dem har prøvd ut samme forsøk med elever og rapportert hvordan det gikk.

Sajed, et al. (2019) konstruerte et apparat, som de kalte «Lab-on-a-phone», og brukte det til å måle konsentrasjoner av kvikksølv i vannprøver. Analysen brukte RGB-verdier, og kunne måle prøver ned til 0,8 ppb $\text{Hg}^{2+}(\text{aq})$. Analysen ga lineære kurver (korrelasjonskoeffisient over 0,99) mellom 3 og 800 nM.

Peng, et al. (2019) brukte gratisappen Color Grab til å måle mengder kalsium i mineralvann og melkepulver. De utførte ti analyserekker der de målte RGB-verdier i en boks som ikke slapp inn lys. De både gode korrelasjonskoeffisienter (over 0,99), og god presisjon (RSD% rundt 1%).

Böck, et al. (2020) har gjort en review av flere studier på appen Photometrix. De rapporterer om hvordan den kan analysere én eller flere variabler, blant annet RGB-verdier, og at den behandler dataene i appen. De konkluderer med at den er godt egnet til å erstatte tradisjonelt UV-Vis spektrofotometer i undervisning.

Gee, et al. (2017) sammenlignet vanlig UV-vis spektrofotometer (Beckman Coulter DU) med mobilkamera under analyse av proteiner. De lagde såkalte «Bradford» og «Biuret»-tester, og utførte kolorimetrisk analyse med begge instrumenttypene. Da de tok bilder med mobil tok de bilder både foran hvit skjerm og bilder foran skjerm som hadde fargen til løsningskomplementærfarge. Instrumenttypene ga omtrent like resultater på konsentrasjon, og korrelasjonskoeffisientene lå over 0,9. De testet også ut forsøket med elever, men 4 av de 8 gruppene fikk resultater med relativ feil over 10%. De påpeker at det skyldtes at elevene hadde tatt dårlige bilder, for eksempel ved å ta bildene for langt unna.

Kehoe & Penn (2013) utførte kolorimetrisk analyse av sportsdrikk med tre forskjellige instrumenter; UV-vis spektrofotometeret Spectronic 20, et digitalt kamera (Casio

EXILIM) med Adobe Photoshop til å analysere RGB-verdier, og en mobiltelefon med appen Color Picker til å analysere RGB-verdier. Alle metodene ga høye korrelasjonskoeffisienter (over 0,98), og lignende absorbanser. De testet også ut forsøket med rundt 20 elever delt i grupper, og alle bortsett fra to elevgrupper greide å utføre analysen korrekt. De foreslo at de statistiske utliggerne hadde utført feil i fortynningene eller utregningene.

Campos, et al. (2016) analyserte prøver av «MesoGull» med 15 studentgrupper som brukte mobilkamera som kolorimeter. De lagde kalibreringsløsninger fra en stamløsning, og tok bilder foran et blått ark. RGB-verdiene ble hentet med valgfrie applikasjoner, og behandlet i Google Sheet. 12 av de 15 gruppene greide å utføre analysen, og fikk en konsentrasjon på omtrent 22 ppm, som var nærme den sanne verdien på 20 ppm. For de tre gruppene som ikke fikk det til ble det pekt på skittent utstyr, feil i fortynning, og dårlig bildekvalitet.

Gitt forskningen nevnt i dette delkapittelet og teorien beskrevet i delkapittel 1.5.2 er det grunn til å tro at mobilapper kan brukes til kolorimetrieforsøk. Med riktig veiledning burde også elever i kjemi på videregående nivå få til å bruke mobilen i et slikt forsøk.

1.7 Spektroskopi og kolorimetri i kjemi programfag

1.7.1 Spektroskopi og kolorimetri i læreplanen

Utdanningsdirektoratet (2006) har følgende punkt som et kompetansemål under temaet analyse i Kjemi 2:

- utføre analyser med kolorimetri og tolke enkle massespektre og $^1\text{H-NMR}$ -spektre

Dette kompetansemålet var gjeldende under utføringen av denne masteroppgaven, men fra og med 01.08.2021 trer den nye læreplanen fra Fagfornyelsen (Utdanningsdirektoratet, 2020) i kraft. I fagfornyelsen er det ingen kompetansemål i Kjemi 2 om kolorimetri, men følgende mål kommer i Kjemi 1:

- gjøre rede for sammenhengen mellom atomets oppbygning og grunnstoffers absorpsjons- og emisjonsspektre og bruke spektroskopiske metoder i kvalitativ og kvantitativ analyse

Kompetansemålet om kvantitativ kolorimetrisk analyse har blitt utvidet til å også inkludere kvalitativ analyse og spektroskopisk analyse utenom den synlige delen av det elektromagnetiske spekteret. Forsøket som har blitt testet ut og tilpasset i løpet av arbeidet med denne masteroppgaven dekker kun den kvantitative delen av det nye kompetansemålet fra Fagfornyelsen (Utdanningsdirektoratet, 2020), så mer undervisning vil være nødvendig for å dekke resten av målet.

1.7.2 Spektroskopi og kolorimetri i skolebøker

Ulike skoler i landet har valgt ulike bøker til bruk i kjemiundervisning for tredjeårsstudenter på videregående (også kjent som Vg3). Tre eksempler på læreverk er; Kjemien Stemmer 2: Grunnbok og tilhørende Studiebok (Knutsen, et al., 2019), Aqua 2 Grunnbok og tilhørende Studiebok (Steen, et al., 2011), og Kjemi 2: Studiespesialiserende utdanningsprogram (Brandt & Hushovd, 2012). Disse bøkernes innhold av kolorimetri og spektrofotometri presenteres heretter.

Kjemien Stemmer 2 Grunnbok (Knutsen, et al., 2019) deler kjemifaget inn i 10 kapitler. Det fjerde kapitlet (s. 71-94) heter «Analyse av uorganiske stoffer», og definerer og gir eksempler på bruksområder til både kvalitativ og kvantitativ analyse. Kapitlet utdyper om to kvantitative analysemetoder: titreringer og kolorimetri. Delkapittel 4.4 «Kvantitative analyser – kolorimetri» (s. 91-93) introduserer begrepet kolorimetri og formidler teori, bruksområder, og informasjon om visse analyseinstrumenter. Teorien som presenteres definerer kolorimetri, og beskriver sammenhengene mellom farge, bølgelengde, absorbans, konsentrasjon, og standardkurve, og det blir gitt ett eksempel om nitritt (NO_2^-) i akvarievann som analysemetoden kan brukes til. De to instrumentene som nevnes er filterfotometer og spektrofotometer, og teksten gir en kort forklaring på hvordan begge analyserer prøver. Med unntak av de to gangene begrepet spektrofotometer nevnes i teksten, blir begrepene spektrofotometri og spektroskopi aldri brukt i løpet av boka, kun kolorimetri.

I Kjemien Stemmer 2 Studiebok (Knutsen, et al., 2019) følges kapittelinnndelingen slik som i grunnboka, og hvert av de ti kapitlene er delt opp i Oppgaver, som følger delkapittelinnndelingen til grunnboka, inkludert en ekstra «Øve til prøve» del, og Aktiviteter, som deles opp i ulikt antall forsøk. I oppgavedelen til delkapittel 4.4 (s. 42-44) er det både enklere oppgaver om definisjonsspørsmål, og mer omfattende oppgaver om utregninger i kolorimetrisk analyse. Aktivitetsdelen har totalt elleve forsøk, og de tre siste er relevante til spektroskopi/spektrofotometri/kolorimetri; «4.9 Bestemme konsentrasjonen av CuSO_4 med kolorimetri» (s. 64), «4.10 Bestemme nitritt i vann på flere måter med kolorimetri» (s. 65-66), og «4.11 Bestemme kobber i kranvann med kolorimetri».

Aqua 2 Grunnbok (Steen, et al., 2011) deles også inn i ti kapitler, og også denne boka formidler om kvantitativ analyse i det fjerde kapitlet, som heter «Uorganisk analyse» (s. 92-113). Både kvalitativ og kvantitativ analyse blir beskrevet, og i delkapittel 4.3 «Kvantitativ analyse med instrumentelle metoder» (s. 107-111) blir kolorimetri definert og forklart. Det blir skrevet om fargesirkelen og komplementære farger, og det vises prinsippskisse av både et kolorimeter og et spektrofotometer, men det påpekes ikke at kolorimetri er en form for spektrofotometri, og likt som Kjemien Stemmer 2 (Knutsen, et al., 2019) blir spektroskopi aldri nevnt. Beers lov blir definert, og det vises et eksempel på en kolorimetrisk analyse, inkludert standardkurve.

I Aqua 2 Studiebok (Steen, et al., 2011) er det en rekke oppgaver, aktiviteter, gjøringer, og øvinger, og kapittelinnndelingen er lik som Grunnboka. Oppgavedelen til delkapittel 4.3 (s. 63-64) har noen mindre definisjonsspørsmål og noen mer omfattende regneoppgaver rundt kolorimetri/spektrofotometri. Aktivitetsdelen (s. 65) er en bingo for hele klassen. Hvor relevant den er for spektroskop/spektrofotometri/kolorimetri avhenger av læreren. Gjøringsdelen (s. 65) består av to gjøringer, og den første er en kolorimetrigjøring som går ut på å anslå konsentrasjoner av permanganatløsninger ved å sammenligne med kjente løsninger. Gjøring 2 handler om kationanalyse. Øvingsdelen har to labforsøk som er relevant til spektroskopi/spektrofotometri/kolorimetri, og det er øving 4.5 «Analyse av fosfat i urensset og rensset «kloakk»», og 4.6 «Analyse av jerninnholdet i en jerntablett ved spektrofotometri» (s. 79-82).

Kjemi 2: Studiespesialiserende utdanningsprogram av Brandt & Hushovd (2012) deles inn i fem kapitler etterfulgt av en rekke forsøk som henger sammen med hovedkapitlene. I kapittel tre «Analyse» (s. 106-146) presenteres definisjoner og bruksområder for kvalitativ og

kvantitativ analyse, akkurat som de to andre læreverkene. I delkapittel 4.2 «Kolorimetri – fargeintensitet gir konsentrasjon» (s. 121-125) blir kolorimetri definert, og akkurat som de forrige læreverkene blir det forklart hvordan kolorimetrisk analyse gjennomføres. Dette er den eneste av de tre læreverkene som benytter begrepet spektroskopi, når det forklares om analyse av lys utenom den synlige delen av spekteret. Dette er også det eneste av de tre læreverkene som sier noe om hvordan spektroskopi/spektrofotometri/kolorimetri kan benyttes til kvalitativ analyse.

Forsøksdelen av Kjemi 2: Studiespesialiserende utdanningsprogram (Brandt & Hushovd, 2012) dekker side 328-388, og er delt inn i de samme fem kapitlene som hoveddelen (bortsett fra at det er ingen forsøk til kapittel 1 «Forskning»). Det er ulikt antall forsøk på hver av de fire representerte kapitlene, og det er totalt tre forsøk om spektroskopi/spektrofotometri/kolorimetri; «3F – Kolorimetrisk bestemmelse av kobber i kranvann» (s. 350), «3J – Kolorimetrisk bestemmelse av nitritt i vann» (s. 356), og «3K – Kolorimetrisk bestemmelse av fosfat i vann» (s. 357). Alle tre forsøkene går ut på å bestemme konsentrasjonen av de overnevnte forbindelsene i vannprøver ved å blande med en reagens (forskjellig reagens i hvert forsøk) som endrer fargen til løsningen slik at det absorberer lys i den synlige delen av spekteret.

1.7.3 Masteroppgavens relevans til kjemi programfag

Det er mye overlapp mellom de tre læreverkene, og det er tydelig fokus på kolorimetri over analyse utenom det synlige spekteret. Det stemmer overens med Campos, et al. (2016), som påpeker at kolorimetriske forsøk er vanlig å bruke i kjemiundervisning. Ved endringen fra Kunnskapsløftet (Utdanningsdirektoratet, 2006) til Fagfornyelsen (Utdanningsdirektoratet, 2020) har læreplanen skiftet fokus fra spesifikk kolorimetri til mer generell spektroskopi, men det er liten grunn til å tro at forfatterne kommer til å fjerne det de har fra før til neste utgave.

Trolig blir begrepet spektroskopi definert, og det kan hende neste utgave av Kjemi 2: Studiespesialiserende utdanningsprogram (Brandt & Hushovd, 2012) hadde, men det ville ikke overrasket hvis de kvantitative oppgavene og forsøkene var uendret.

I arbeidet med denne masteroppgaven har mobilapper blitt testet ut til bruk i et spesifikt forsøk fra Kend Kemien 2 (Parbo, et al., 2015), men teorien rundt bruk av apper vil være den samme uansett hvilket forsøk det gjelder. Så lenge løsningen har en farge, og dens komplementærfarge er nærmere en av de tre av rød, grønn, eller blå, vil det være sannsynlig at appene testet i denne oppgaven fungerer likt på flere forsøk. De appene som gir gode resultater under analysen av løsninger lagd fra tepulver, vil sannsynligvis gi tilsvarende gode resultater i forsøkene nevnt i læreverkene over.

1.8 Sporstoffet mangan

På store medisinske leksikon har Lande & Svihus (2018) og (2020) definert sporstoffer som ikke-energigivende næringsstoffer som kroppen trenger i mindre mengder enn den gjør mineraler. Kroppen har behov for sporstoffer og mineraler i fra mat og drikke, men får ikke nok av dem fra de næringsstoffene som er organiske forbindelser.

Mangan er et sporstoff som er viktig for kroppen og enzymer. Hope, et al. (2006) påpeker at mangan er essensielt i pyruvatkarboksylase, arginase, og mitokondrielt Mn-avhengig superoksiddismutase (MnSOD). De nevner også at det er mye mangan i svart te, og at det er betydelig mindre inntak av mangan hos folk som ikke drikker te enn det er for tedrikkere.

European Food Safety Authority (EFSA) anbefaler at voksne og gravide får i seg 3mg/dag (EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA), 2013), men de sier også at det ikke er kjent noen øvre grense på hvor mye et voksent menneske tåler å få i seg per dag. Vitenskapskomiteen for mat og miljø (VKM) legger også til at det ikke er noen data på gjennomsnittlig inntak av mangan fra kosthold i Norge (Haugen, et al., 2019).

2 Metode

2.1 Kjemikalier og utstyr

I løpet av denne masteroppgaven ble spektrofotometeret Vernier SpectroVis Plus (Beaverton, OR, USA) brukt som kolorimeter. Vernier SpectroVis Plus ble brukt sammen med en PC med programmet Logger Pro 3.15 installert. Skolelaboratoriet i kjemi på UiO har flere PC-er med Logger Pro 3.15 installert og Vernier SpectroVis Plus instrumenter tilgjengelig på laben. Flere av disse ble brukt i løpet av de forskjellige gjennomføringene av forsøket, men det ble ikke notert hvilke som ble brukt til hver gang. Instrumentet som ble brukt var det eller de som var nærmest da skuffen ble åpnet, og det samme gjaldt PC-ene. Det ikke er visst sikkert at samme kolorimeter og PC ble brukt hver gang.

Spesifikasjoner om Vernier SpectroVis Plus er hentet fra Verniers hjemmesider (Vernier, 2021). Prisen på Vernier SpectroVis Plus er \$557.00, den kan måle bølgelengder fra 380-950 nm, med bølgelengdeintervaller på omtrent 1nm mellom oppgitte verdier, og samler 570 verdier. Vernier oppgir at SpectroVis Plus har en optisk oppløsning på 5,0 nm, at bølgelengdenøyaktigheten er på $\pm 4,0$ nm, og at fotometrisk nøyaktighet er på $\pm 0,10$ AU, og at instrumentet har en scanning time på omtrent 2 sekunder. Instrumentet bruker en LED-lampe med levetid på 100,000 timer, og en hvit tungstenlampe med levetid på 8000 timer, som transmitterer lys gjennom et optisk gitter og det bøyde lyset samles av en lineær CCD array detektor. Instrumentet kan enten kobles til en PC med programmet Logger Pro installert via USB-tilkobling, eller kobles til en smarttelefon med gratisappen Spectral Analysis installert via bluetooth-tilkobling. Under arbeidet med denne masteroppgaven ble det brukt PC og utgave 3.15 av programmet Logger Pro. Vernier SpectroVis Plus er også lite, med dimensjoner på 15 cm * 9 cm * 4 cm.

For å teste appene ble mobiler brukt. Hovedsakelig ble Huawei Honor 8 brukt, men under den systematiske utprøvingen av appene ble også en Apple iPhone 7 brukt. Operativsystemet på Huawei telefoner er android, som eies av Google, og bruker Googles egne appbutikk Google Play, mens iphone telefoner bruker Apple iOS som sitt operativsystem, og har Apple Store som appbutikk. Alle bortsett fra én av appene som ble testet i løpet av denne masteroppgaven var ikke tilgjengelig på Google Play, men den var tilgjengelig på Apple Store. Med disse to mobiltelefonene ble appene brukt til å analysere

prøver og sammenligne de målte med verdiene med målte verdier på samme prøver med Vernier SpectroVis Plus. Under utprøving med studenter brukte de sine egne mobiler til forsøket, med unntak av én student som hadde glemt mobilen sin og fikk låne forfatteren sin. Det ble ikke notert hvilket operativsystem hver enkelte student brukte, men det ble bemerket at de fleste brukte iPhone. Enten studentene brukte android telefon eller iPhone, så ble forklaringen av hvordan appene skulle brukes gjort felles.

Kjemikaliene som ble brukt er konsentrert $\text{H}_3\text{PO}_4(\text{aq})$ (85%) fra VWR International (Oslo, Norge), $\text{Na}_2\text{SO}_3(\text{s})$ fra Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA), $\text{KIO}_4(\text{s})$ fra Alfa Aesar (Kandel, Tyskland). Det ble også brukt 2 M $\text{HNO}_3(\text{aq})$ tillaget fra konsentrert stamløsning (64%) og $\text{KMnO}_4(\text{s})$, begge fra Norsk Medisinaldepot (Oslo, Norge).

Laboratorieutstyret som ble brukt var kjøpt fra VWR International. Det brukt liten porselensdigel (nøyaktige dimensjoner ikke sikkert), spatel, morter, vekt med tre desimaler, gassbrenner, stativ, digeltrekant, 100 mL begerglass, 25 mL målesylinder, trakt, glassull, filtrerpapir, 100 mL målekolbe, 50 mL målekolber, 10 mL gradert pipette, kyvetter (inkludert stativ), og pappeske.

2.2 Tilpasninger av forsøket

Arbeidet med denne masteroppgaven tok utgangspunkt i forsøket «Bestemmelse af mangan i te – spektrofotometri» fra Kend Kemien 2 (Parbo, et al., 2015). Forsøket består av fem deler; «Problemstilling», «Forarbejde», «Udførelse», «Resultater», og «Efterbehandling». Under problemstillingen blir en kontekst av viktigheten rundt inntak av mangan presentert, og gjennomføringen av forsøket oppsummeres kort. Under forarbeid er det seks teoretiske spørsmål relevant til forsøket som skal besvares før forsøket skal gjennomføres. Under utførelse er kjemikalier og utstyr listet opp, og det er en detaljert tredelt forklaring på hvordan forsøket skal gjennomføres. Del én beskriver hvordan de ukjente løsningene skal tillages i fra teposer, del to beskriver hvordan standardløsningene skal lages, og del tre beskriver hvordan den spektrofotometriske analysen skal gjennomføres. Under resultater står det to tabeller hvor elevene skal notere verdiene de får i løpet av forsøket. Under etterbehandling stilles det spørsmål om resultatene, og konteksten trekkes inn når det spørres om hvor mange kopper te

en må drikke for å dekke dagsbehovet for mangan. Ferdig oversatt og tilpasset forsøk vises i vedlegg .

Det første som ble gjort da arbeidet med oppgaven startet var at forsøket ble testet ut. Før det var relevant å se hvordan det gikk å måle prøver lagd fra tepulver med mobilapper var det nødvendig å se hvor lett eller vanskelig det var å gjennomføre forsøket i seg selv. Etter at forsøket ga tilstrekkelig repeterbarhet, altså at resultatet ble omtrent det samme hver gang, skulle apper utprøves. Teorien ble sett på, og de viktigste forarbeidsoppgavene ble besvart. Riktig utstyr ble funnet fram og forsøket ble testet ut så likt som mulig som beskrevet i oppgaveteksten. Tetypen «Earl Grey – Twinings of London» ble brukt i de aller fleste gjennomføringene av forsøket.

Allerede ved første gjennomføring dukket det opp problemer. Kalibreringsløsningene som skulle lages hadde konsentrasjoner som virket veldig urealistisk for gjennomføring med elever/studenter. Forsøksbeskrivelsen forklarer at kalibreringsløsningene skal lages ved å fylle én byrette med 0,0020 M $\text{KMnO}_4(\text{aq})$, og at en annen skal fylles med destillert vann, og at disse to byrettene skal brukes til å måle opp volumene listet opp i tabell 1.

Tabell 1: Volumer og konsentrasjoner til standardløsningene som skal måles opp i forsøket ifølge den originale publiseringen.

$V(0,0020M \text{ KMnO}_4)$ <i>mL</i>	$V(\text{H}_2\text{O})$ <i>mL</i>	$[\text{MnO}_4^-]$ <i>mM</i>
0,625	49,375	0,025
1,25	48,75	0,050
2,5	47,5	0,10
5	45	0,20

Forsøket ble aldri testet ut med denne gjennomføringen. I stedet ble verdiene endret til verdiene i tabell 2, og byrettene ble erstattet med en gradert pipette som ble brukt til å måle

opp riktig volum til hver permanganatløsning. Deretter ble destillert vann tilført til streken på målekolben som markerte 50 mL.

Tabell 2: Volumer og konsentrasjoner til standardløsningene som ble brukt i gjennomføringen av masteroppgaven.

$V(0,001M KMnO_4)$ <i>mL</i>	$V(H_2O)$ <i>mL</i>	$[MnO_4^-]$ <i>mM</i>
1	49	0,02
3	47	0,06
5	45	0,1
10	40	0,2

Etter at kalibreringsløsningene var ferdige ble oppvarmingen av tepulveret startet på, men det var ikke lett å vite når oppvarmingen av pulveret var over. Det står i forsøket at digelen med tepulveret skal oppvarmes kraftig i omtrent 10 minutter, til det er blitt til aske. Dessverre er det ikke lett å vite når noe er blitt til aske ved første gjennomføring, så oppvarmingen ble avsluttet etter 7 minutter da pulveret så svart og brent ut, fordi forfatteren var redd for å brenne pulveret for mye. Det dukket opp et nytt problem da digelen skulle oppi syreløsningen. Løsningen dekket ikke digelen, så asken rant ikke ut i løsningen. Det ble forsøkt å rette opp i ved å sette digelen på siden og snu rundt med en gripetang, men løsningen endret aldri farge til rosa-lilla. Selv etter filtrering med glassull var løsningen lysegul, og det ble ansett som unødvendig å forsøke å måle løsningen.

Ved gjennomgang 2 ble det gjort to viktige endringer med utstyrlisten. Stor porselensdigel ble erstattet med liten, 250 mL begerglass ble erstattet med 100 mL begerglass. Glassull ble også erstattet med filterpapir, siden det ble tenkt at det er vanligere brukt i kjemiundervisning. Det ble også antatt at de to filtertypene filtrerte like godt og at det ikke ville endre resultatet. Denne gangen ble tepulveret varmet opp mye lenger, i 13 minutter, til mesteparten av pulveret hadde blitt hvitt. Det ble oppnådd fargeendring til rosa-lilla på gjennomgang 2, men løsningen var veldig tynn etter filtrering og fortynning, lysere enn lavest konsentrerte kalibreringsløsning. Det ble deretter observert at fargen på løsningen ble dypere

med tiden. Det samme skjedde ved gjennomgang 3. Siden dypere farge medfører at det måles høyere konsentrasjon var det viktig å vite når løsningen slutter å endre farge.

Det ble laget nye løsninger der endringer fra gjennomgang 2 og 3 var implementert. Absorbansen til disse ble målt over 100 timer. Det ble utført med tre ulike tetyper; «Earl Grey – Twinings of London», «Lipton – Green Tea», og «Lipton – Fruit Tea». Det ble bemerket når absorbansen sluttet å øke, og senere gjennomganger av forsøket ble først utført etter at denne tiden var passert.

En oversatt versjon av forsøket, inkludert tilpasninger, ble skrevet som en del av denne oppgaven, og den ble delt i to økter. I økt 1 skal elevene/studentene lage prøven ifra tepulveret, og i økt 2 skal de utføre analysen. Oppdelingen skjedde for å gjøre det lettere å gjennomføre forsøket i skolen. Begge øktene er tidkrevende, og det må gå flere timer i mellom hver økt. Det er derfor mer realistisk med et todelt forsøk.

2.3 Utprøving av apper

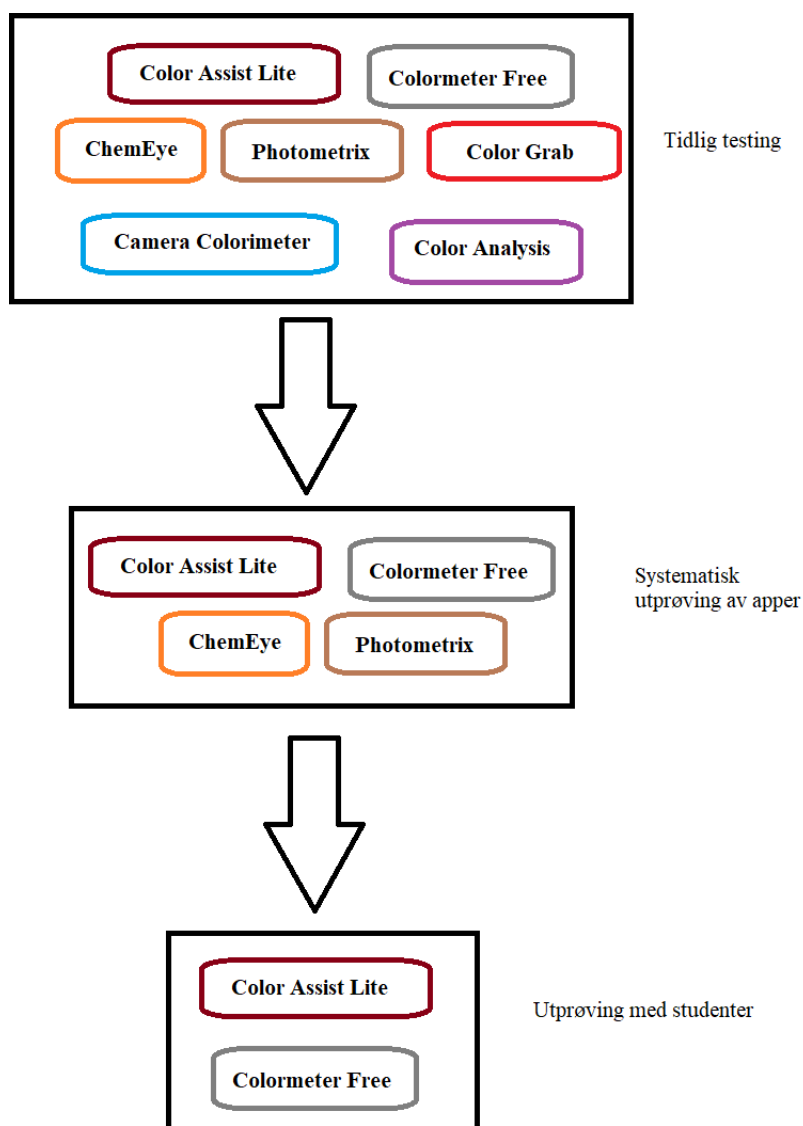
2.3.1 Tidlig testing

Apper ble hentet fra Google Play og Apple Store, og ble testet ut med android, iPhone, eller begge. Tabell 3 viser en oversikt over hvilke apper som ble brukt, og hvilken mobil de ble brukt med, og om appen oppgir det ferdig utregnede svaret eller RGB-verdier.

Tabell 3: Liste over appene som ble testet i løpet av arbeidet med oppgaven, hvilket operativsystem de ble analysert med, og hvordan de presenterer målingsresultater

Apper	Analysert med:	Målingsresultat:
Color Assist Lite	iPhone	RGB-verdier
Colormeter Free	android	RGB-verdier
Photometrix	iPhone og android	Utregnet konsentrasjon
Color Grab	android	RGB-verdier
ChemEye	iPhone og android	Utregnet konsentrasjon
Camera Colorimeter	android	Usikkert
Color Analysis	android	RGB-verdier

Uttestingen av appene ble delt opp i tre faser, som vist i figur 9 under. I den første fasen ble det testet ut hvor gode kalibreringsløsninger appene lagde, og det ble ikke laget noen ukjent prøve. Det ble bestemt at fire av de ni appene skulle brukes til fase to, den systematiske utprøvingen. Av de fire appene var det to som utførte analysen i appen, og to som oppga RGB-verdier som kunne analyseres i et program som Microsoft Excel. De appene som var enklest å bruke ble valgt. De appene som ga mest pålitelige resultater i den systematiske utprøvingen ble videreført til den tredje og siste fasen, utprøvingen med studenter, som beskrives senere.



Figur 9: Oversikt over hvilke apper som ble brukt i hvilken fase

I den tidlige testingen ble appene Camera Colorimeter og Color Analysis forkastet fordi det ikke ble forstått hvordan de skulle brukes. Camera Colorimeter ga beskjeden «not connected», men det var ikke tydelig hva appen skulle kobles til eller hvordan koblingen skulle utføres. Color Analysis krever at et bilde lastes opp til appen fra telefonens bildegalleri, men det ble ikke forstått hvordan RGB-verdiene skulle bli presentert. Ingen kalibreringskurver ble laget med de to appene.

Appene Color Grab, Colormeter Free, og Color Assist Lite er av varianten som oppgir RGB-verdier, og som ikke utfører analysen selv. Colormeter Free og Color Assist Lite var de appene som raskest kunne utføre målingene, i tillegg til at de var de eneste av de ni appene som tillot at kameraets fokus ble låst. Alle andre apper, inkludert Color Grab, endret fokus hver gang mobilen ble flyttet på. Color Grab hadde en funksjon hvor den konstant analyserte to deler av kamera, i midten samlet den RGB-verdien til løsningen i kyvetten, og litt til venstre samlet den samtidig verdien fra hvit bakgrunn. Det var et interessant aspekt, og det ble interesse i å se hvor mye det endret resultatet, men det viste seg at da kyvettene stod ved siden av hverandre i stativet var det ikke nok plass imellom dem til at appen greide å analysere hvit bakgrunn. Både Color Grab og Color Assist Lite tillater at verdiene fra hver måling lagres, og de kan leses av når som helst etterpå. Colormeter Free mangler denne funksjonen, og krever at verdiene fra hver måling noteres fortløpende. Den har derimot en funksjon hvor kamera låses, slik at RGB-verdiene slutter å endre seg. Det gjør det lettere å notere hver verdi før låsen skrur av og neste løsning kan måles. Fokus på kamera er uendret av denne låsen. Fokus på Color Assist kan låses manuelt, mens fokus på Colormeter Free aldri endres med mindre brukeren trykker på fokus-knappen.

Photometrix og ChemEye er mer kompliserte apper som er beregnet for bruk til kolorimetrisk analyse og utfører alle beregninger for brukeren. Begge måler absorbans ved å analysere RGB-verdiene, og appen deler inn analysen i en kalibreringsdel, hvor kalibreringsløsningene måles og kalibreringskurven lages, og en sampling-del, der ukjent prøve analyseres og sammenlignes med kalibreringskurven. Det er de samme to delene som SpectroVis og andre kolorimetre bruker. I ChemEye velges benevnninger til analytten først, så kan kalibreringsløsningene måles. Antallet kalibreringsløsninger må ligge mellom 2-5, men de kan måles i hvilken som helst rekkefølge man vil ved å trykke på riktig knapp på bunnen av appen. Hver sirkulære knapp representerer hver sin kalibreringsløsning, og fylles med farge ettersom målinger med dem utføres. Når alle kalibreringsløsningene er målt kan en

kalibreringskurve lages, og det er da ikke lenger mulig å endre på målingene. Som vist i forrige kapittel viser ChemEye tre kalibreringskurver, én for hver av de tre fargene i RGB, og brukeren må velge den som skal brukes til å analysere den ukjente prøven. Når brukeren går videre forsvinner kalibreringskurvene, og de kommer aldri tilbake. Den eneste måten å se kalibreringskurver igjen er ved å gjennomføre alle målingene fra starten av. Ligningen og kalibreringen lagres i appen først når én av kurvene har blitt valgt, så hvis brukeren prøver å gå tilbake forsvinner alt arbeidet. Men så lenge ligningen og kalibreringen har blitt lagret kan samme innstilling velges når som helst senere til å analysere ukjente prøver. Photometrix har mange funksjoner, og kan brukes til analyse av én (univariat) eller flere (multivariat) variabler. Bare kalibrering og sampling på univariat analyse ble testet ut til denne oppgaven. Kalibreringen tillot at brukeren kunne måle forrige løsning på nytt, men ellers krever den at løsningene måles i stigende rekkefølge. Kalibrering og sampling er separert i Photometrix, først må kalibreringsløsningene måles til appen oppgir en kurve, som lagres, og så må brukeren gå tilbake for å kunne velge sampling. Når sampling velges kan én av de automatisk lagrede kalibreringene velges og den brukes til å analysere ukjent prøve. Kurven fra Photometrix kan hentes fram når som helst når den har blitt lagret. Ved å åpne den via kalibreringsfunksjonen kan den vises uten ukjent prøve, mens hvis den åpnes via sampling funksjonen vises den med ukjent prøve plottet i samme koordinatsystem. Mens ChemEye endrer fokus ettersom mobilkamera blir flyttet på, endrer Photometrix kun fokus når brukeren trykker på skjermen. Men fokus må skiftes manuelt etter hver måling uansett, siden Photometrix endrer fokus hver gang et bilde blir tatt slik at alt på skjermen blir ute av fokus. Både ChemEye og Photometrix viser RGB-verdiene til alle målinger de tar.

2.3.2 Systematisk utprøving

Colormeter Free, Color Assist Lite, ChemEye, og Photometrix ble videreført til fase to. Den systematiske utprøvingen gikk ut på at alle de fire appene ble sammenlignet med Vernier SpectroVis Plus, som ble brukt som standard, for å se hvilke som egnet seg til bruk i undervisning. Analyseøkta av forsøket ble utført på fire forskjellige dager, seks eller sju ganger hver dag, med SpectroVis og alle fire appene. Kalibreringsløsninger ble laget fra en stamløsning på 0,001 M KMnO_4 (aq), og den samme stamløsningen ble brukt alle fire dagene. Ukjent prøve fra tepulver ble laget fra «Earl Grey – Twinings of London», og det ble laget en

ny løsning fra en ny tepose for hver av de fire dagene. Siden absorpsjonen til løsningene endrer seg over tid ble løsningene tillaget én dag før analyseøkta ble gjennomført.

Den første analyseøkta ble utført den 30.09., og det ble utført seks analyserekker. Først ble det gjort én måling med SpectroVis, så ble det gjort én måling med hver av appene. Etter at SpectroVis og alle appene hadde blitt brukt til å måle en gang hver startet andre gjennomgang fra starten igjen med SpectroVis. Slik ble det gjennomført til SpectroVis og alle appene hadde utført seks målinger hver. Det ble gjort på denne måten for at målingene lettere kunne sammenlignes. Hvis for eksempel en av appene måler verdier som bryter trenden på noen av målingene, kan den sammenlignes med målingene fra de andre metodene som ble utført omtrent ved samme tid. Hvis de også bryter trenden kan det tolkes og diskuteres. Hvis alle målingene fra hver app ble gjennomført før neste app ble brukt, vil ingen utliggerer kunne tolkes eller diskuteres. Colormeter Free ble bare testet på android, og Color Assist Lite er bare tilgjengelig på iphone. Photometrix ble testet ut med begge operativsystemene, men ChemEye ble først bare testet ut på android, uten god grunn til hvorfor. Først etter at Photometrix på iphone hadde gitt negativt resultat på konsentrasjonen til den ukjente prøven to ganger på rad ble ChemEye på iphone inkludert i analyserekka. Det er derfor to færre målinger på ChemEye med iphone den 30.09.

Analyseøkt 2 ble utført den 6.10., og det ble utført hovedsakelig seks analyserekker. SpectroVis, Colormeter Free, og Color Assist ble målt med seks ganger, mens det varierte litt mer for de resterende. Siden Photometrix på iphone fortsatt ga negative resultater ble de grønne RGB-verdiene notert fra og med måling 2. Økt 2 har derfor seks målinger på Photometrix i appen på iphone, og fem målinger fra RGB-verdiene. Det ble etter hvert bestemt at de grønne RGB-verdiene skulle noteres for ChemEye og android-versjonen av Photometrix også. Noteringen av grønne RGB-verdier for disse appene begynte ved måling 5, men ved måling 6 på Photometrix ble den grønne RGB-verdien til den ukjente prøven ikke notert ved en forglemmelse. Det ble derfor gjort en siste syvende måling med ChemEye og Photometrix på android for å få et til resultat for grønne RGB-verdier. Det ble dermed gjort syv målinger på ChemEye og Photometrix i appen på android, mens det bare ble gjort henholdsvis tre og to målinger med tilhørende grønne RGB-verdier. Det ble ikke gjort noen syvende måling av iphone-varianten til ChemEye, og det er derfor seks målinger i appen, og to med grønne RGB-verdier. Siden det ble gjort så få målinger med grønne RGB-verdier på

ChemEye og android-varianten av Photometrix ble de fjernet fra presentasjonen av resultatene.

Analyseøkt 3 ble gjennomført den 15.10., og det ble utført seks analyserekker. De grønne RGB-verdiene til ChemEye og Photometrix å begge operativsystemene ble notert for alle seks rekkene. De negative resultatene fra Photometrix i appen på iphone ble ikke lenger notert.

Analyseøkt 4 ble utført den 21.10., med syv analyserekker. Android-appene ble bare brukt de seks første gangene, mens SpectroVis ble brukt på alle syv. iphone-telefonen som ble brukt til forsøket var på utlån, og den var ikke tilgjengelig da måling 3 skulle gjennomføres, det ble derfor utført en siste syvende måling på slutten med alle iphone-appene slik at de skulle ha totalt seks målinger. ChemEye på iphone mangler i tillegg to målinger til, fordi under de to første gjennomgangene krasjet appen før noen løsninger kunne bli målt. Det er derfor bare fire målinger på iphone-varianten av ChemEye. Grønne RGB-verdier ble notert på alle målinger gjort med ChemEye og Photometrix på begge operativsystem. Grunnet konsekvent negative resultater ble ikke resultatene fra Photometrix i appen på iphone notert denne gangen heller.

Etter arbeidet ble resultatene vurdert i Microsoft Excel. De appene som var enklest å bruke og ga best resultater ble brukt videre til undersøkelsen av hvilke andre tetyper og matvarer som egnet seg til forsøket, og til undervisningsøkten med studenter fra kjemididaktikk på våren 2021.

2.4 Utprøving av andre tetyper og matvarer

Den siste delen av oppgaven som ble utført på høsten 2020 var en undersøkelse av andre tetyper og matvarer. Til den systematiske utprøvingen hadde kun «Earl Grey – Twinings of London» blitt brukt, og andre tetyper hadde bare blitt brukt for å se om trenden i endring av absorbans var den samme for andre tetyper. De ble også funnet en liste over andre matvarer som skulle være gode kilder til mangan (Apotek 1, 2020), og de ble testet ut med samme metode som tepulveret. «Earl Grey – Twinings of London» ble igjen laget, men som standard. Hvis den fikk samme resultat som tidligere, ville resultatene fra resten av tetyperne

og matvarene være mer troverdige. Tetyperne og matvarene som ble testet ut i denne delen av oppgaven er listet opp i tabell 4 under.

Tabell 4: Liste over tetyper og matvarer som ble analysert

<i>Tetyper</i>	<i>Matvarer</i>
Lipton – Darjeeling, Black Tea	Axa Bjørn – Store Havregryn
Lipton – Green Tea Citrus, The vert agrumes	Eldorado – Peanøtter
Lipton – Blue Fruit Tea	Eldorado – Hasselnøttkjerner
Lipton – Lemon Tea, thé citron	Eldorado – Mandler
Lipton – Vanilla Tea	
Lipton – Forest Fruits Tea	
Confecta – Nypete	

Tetyperne i tabell 4 over ble ikke testet med en kalibreringsrekke slik som i tidligere utprøvinger. I stedet ble det bare notert hva SpectroVis, Colormeter Free, og Color Assist Lite målte som absorbans på laveste og høyeste kalibreringsløsninger (henholdsvis 0,02 og 0,2 mM) på de fire dagene fra den systematiske utprøvingen av apper. Gjennomsnittet av absorbansen til laveste kalibreringsløsning ble kalt nedre absorbansgrense, og tilsvarende ble gjennomsnittet av absorbansen til høyeste kalibreringsløsning kalt øvre absorbansgrense. For de tetyperne hvor målt absorbans landet innenfor nedre og øvre absorbansgrense ble typen akseptert som egnet til forsøket. Under utprøvingen av tetyperne ble tre forskjellige løsninger av «Earl Grey – Twinings of London» laget. Siden det var begrensning på mengden utstyr og hvor mange løsninger som kunne lages på likt ble to og to nye løsninger laget samtidig som en ny løsning med referansen. I resultatdelen er derfor Earl Grey listet opp tre ganger.

For matvarene ble det litt mer vanskeligheter. På grunn av størrelsen til matvarene ble de først most med morter før oppveing. Verdiene på hvilke masser som skulle veies opp og volum på syrer som skulle måles var de samme som for te. De fire matvarene ble oppvarmet

på samme dag, men det var ikke nok gassbrennere så kokeplater ble brukt til oppvarmingen av syreløsningen i stedet, mens bare oppvarmingen av pulveret ble gjort med gassbrenner. Det var mye vanskeligere å regulere temperaturen på kokeplater enn gassbrennerne, og det var mye lettere å koke for hardt slik at volumene sank raskere enn ved bruk av gassbrenner. I tillegg til at det var vanskelig å regulere oppvarmingen var det problemer med fargeendringene. Både fargeendring til hvit aske og til rosa løsning tok for lang tid, og det var ikke alle tilfeller hvor det ble en endring.

For å se om problemene skyldtes at det er for lav mengde mangan i 0,5 g av matvarene ble det gjort nye tester. Havregryn var den enkleste matvaren å veie opp, og den tok ikke like lett fyr oppi digelen som noen av de andre. Den var også én av matvarene som fikk hint av rosa før filtrering. På den nye testen ble de veid opp dobbel, tredobbel, og firdobbel masse, men ellers ble forsøket utført som vanlig.

2.5 Utprøving av forsøket med studenter

Den siste praktiske delen av oppgaven ble utført på vårsemesteret 2021. Bachelorstudenter fra kjemididaktikkemnet KJM3050 på UiO utførte det tilpassede forsøket med appene Colormeter Free og Color Assist Lite i stedet for Vernier SpectroVis Plus som de vanligvis ville gjort. Grunnet covid-pandemien var klassen delt inn i fire grupper, hvor to av gruppene utførte forsøket én dag, mens de to gjenstående gruppene utførte forsøket uka etter. Siden forsøket var delt opp i to økter ble det bestemt at de bare skulle utføre én av øktene. Målet med denne masteroppgaven var å se på bruk av mobilapper som kolorimeter, så det ble derfor bestemt at studentene skulle få utdelt ferdige løsninger, og de gjennomførte analyseøkta med apper.

Det ferdige tilpassede forsøket ble skrevet og lagt ut på læringsplattformen canvas slik at studentene kunne se på forsøket på forhånd, se vedlegg 1. De ble også gitt forarbeidet om å regne ut hvilke volum de måtte måle opp for å lage riktige konsentrasjoner på kalibreringsløsningene. Undervisningsøktene startet med en kort teoretisk gjennomgang inkludert informasjon rundt sikkerhet. Informasjonen rundt bruk av appene ble formidlet felles da flere av studentene var ferdige med å lage kalibreringsløsninger. Bruken ble både forklart og demonstrert. Analysen må foregå i «mørkerommene» beskrevet tidligere, men av

hensyn til helse og sikkerhet ble det bare lagd tre poster hvor analysen kunne gjennomføres. Det førte til at gikk saktere enn nødvendig. Analysen av resultatene kunne de utføre enten på laboratoriet eller hjemme, men det ble oppmuntret til at så mange som mulig skulle gjøre det mens de var der så resultatene kunne diskuteres felles.

Da studentene var ferdige med det praktiske hadde de også en labrapport som skulle leveres inn på canvas, se vedlegg 2, og et tilbakemeldingsskjema hvor de anonymt kunne dele hva de følte om appene og forsøket, se vedlegg 3. Labrapporten fikk de tilbakemelding på og resultatene deres ble tatt med videre til bruk i denne oppgaven. For å se på hvordan det gikk å bruke apper i et klasserom ble det både sett på hva slags resultat de fikk med appene, og hvor gode kalibreringskurvene deres var. I tillegg ble studentene på den siste gruppa bedt om å ikke tømme kyvettene slik at de etterpå kunne dobbeltsjekkes med Vernier SpectroVis Plus. Hvis resultatet fra SpectroVis skilte seg veldig fra resultatet fra appen så vil det tyde på brukerfeil. Med denne sammenligningen kunne det også bli sjekket om feil kom av kalibreringskurver som ble målt opp feil. Uheldigvis var det bare fem studenter som husket på å ikke tømme kyvettene sine, og det ble ikke notert navn, så det var ikke mulig å koble resultatene fra SpectroVis til resultatene fra labrapportene.

Studentene brukte egne mobiler til forsøket, og de fikk tildelt en av to forskjellige ukjente løsninger. Løsningene hadde omtrent samme konsentrasjon, og ble lagd fra samme tepose, men det måtte uansett lages to forskjellige for at det skulle være nok til alle studentene. Siden det var to forskjellige labdager da forsøket ble gjennomført betyr det at det var totalt fire forskjellige løsninger fra to ulike teposer som ble delt ut til studentene. Labrapporten de leverte inn inneholdt ingen spørsmål der de ble spurt om hvilken app de brukte, eller hvilken av løsningene de målte, og den feilen ble ikke lagt merke til før alle rapportene allerede var levert inn. Hvilken app studentene bruker eller hvilken løsning de måler vil ikke nødvendigvis være interessant for en lærer som skal utføre dette forsøket i senere tid, men det ville vært relevant å ha med i denne oppgaven. Det ble bemerket at det var flere studenter som hadde iPhone enn android, men det vil fortsatt ikke være mulig å se fra resultatene hvor mye hvilken app de brukte spiller inn.

3 Resultater og diskusjon

3.1 Tilpasninger av forsøket

3.1.1 Endringer av kalibreringsløsninger

Tilpasningene nevnt i 2.2 var endring av konsentrasjoner og oppmålte volum på kalibreringsløsninger, bytting av utstyr til å gjøre gjennomføringen av forsøket enklere, og oppdeling av forsøket til to økter.

Konsentrasjonen på stamløsningen ble endret fra 0,0020 M til 0,001 M, og endringene i konsentrasjonene på kalibreringsløsningene og tilført volum vises i tabell 5 under.

Tabell 5: Oversikt over endringer i konsentrasjoner på kalibreringsløsninger og volumene stamløsning som må tilføres for å lage en løsning med den konsentrasjonen

Original konsentrasjon (mM)	Tilpasset konsentrasjon (mM)	Originalt volum stamløsning (mL)	Tilpasset volum stamløsning (mL)
0,025	0,02	0,625	1
0,050	0,06	1,25	3
0,10	0,1	2,5	5
0,20	0,2	5	10

Ved å endre utstyret brukt til oppmålingen fra byrette til gradert pipette, og ved å endre volumene som måtte bli målt opp, ble tillagingen av kalibreringsløsninger mye enklere og raskere enn det eller ville vært. Det var også ikke behov for like mye utstyr, som gjør forsøket greiere å gjennomføre i et klasserom med mange elever.

Problemet med endringen var at mobilappene viste seg å ha vanskeligheter med å måle tydelig forskjell mellom blank prøve og kalibreringsløsningen på 0,02 mM. Som regel var det en forskjell på målingene av grønn RGB-verdi slik at den laveste kalibreringsløsningen ble målt til I_n som var omtrent 5-10 lavere enn I_G , men noen få ganger var verdiene identiske. Det hendte også noen ganger at ChemEye og Photometrix målte at $I_n > I_G$. Dessverre ble ingen av tilfellene hvor I_n var høyere enn I_G notert fordi det ble ikke tenkt over at det var interessant

og verdifull forskning før analysefasen hadde begynt. Appen ChemEye viste ved to tilfeller på både android og iPhone at $I_n = I_G$, som medførte at ved de totalt fire målingene var absorbanse til den laveste kalibreringsløsningen lik 0. Appen Color Grab viste også det samme ved en av de to kalibreringskurvene som ble lagd med den appen.

Siden konsentrasjonene på kalibreringsløsningene er så lave at flere av appene sliter med å vise tydelig forskjell, så anbefales det å ikke bruke enda lavere konsentrasjoner med appene. Det vil derfor ikke gå an å tilpasse forsøket enda mer ved å senke konsentrasjonene på kalibreringsløsningene hvis et stoff skal analyseres som har enda lavere konsentrasjon enn det løsningen lagd fra tepulver har i dette forsøket.

En mulighet derimot er å øke konsentrasjonene på kalibreringsløsningene. Ved målingene av «Earl Grey – Twinings of London» viste konsentrasjonene seg som regel til å være mellom 0,06 og 0,1 mM. Det burde derfor være mulig å endre på forsøket så den kalibreringsløsningen med lavest konsentrasjon er den på 0,06 mM, eller at den er mellom 0,02 og 0,06 mM. Det kan da lages en ny kalibreringsløsning som for eksempel kan ligge mellom 0,1 og 0,2 mM. Det kan ikke garanteres at de andre tetypene som ble testet i løpet av denne masteroppgaven fortsatt vil kunne brukes hvis den endringen gjøres, men det burde være mulig å gjennomføre forsøket med «Earl Grey – Twinings of London».

3.1.2 Bytting av utstyr

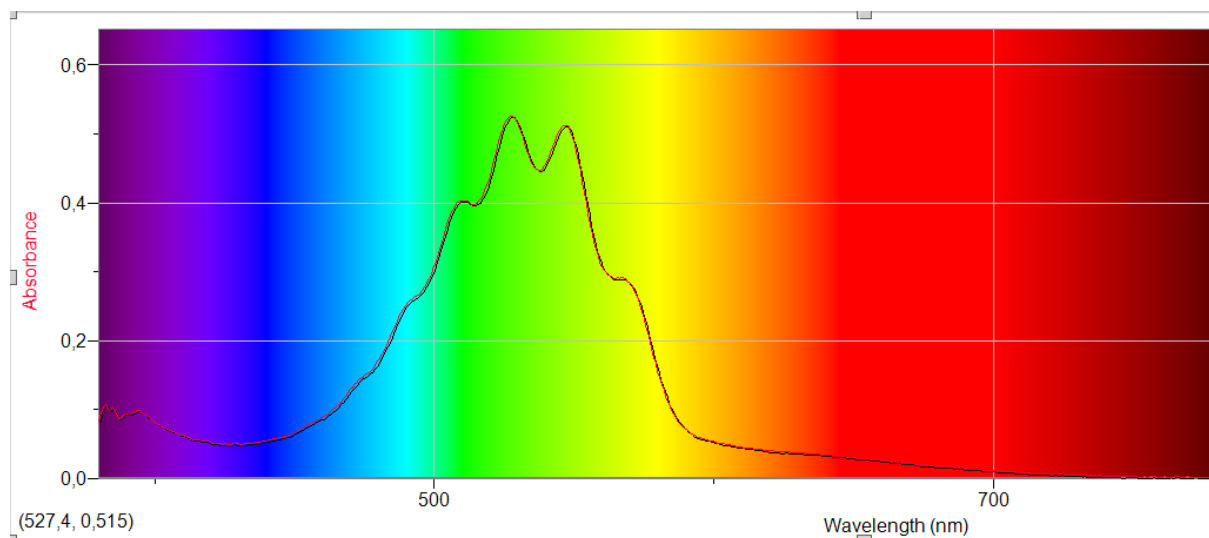
Endring fra stor digel til liten, og fra 250 mL begerglass til 100 mL medførte ingen problemer. Digen ble fullstendig dekket av syreløsningen og asken ble godt blandet med oksidasjonsmidlene i syrebadet. Siden det ikke var nødvendig å snu på digelen lenger for å være sikker på at så mye mangan som mulig skulle reagere ble økta mye greiere å utføre. Begerglasset ble ristet lett på for å blande forbindelsene enda mer, men det er ikke sikkert at det var nødvendig. Med disse endringene ble det en varig fargeendring til rosa.

Endring fra glassull til filterpapir derimot medførte et problem som ikke ble oppdaget før det var for sent. Endringen ble gjort for at forsøket bare skulle inneholde utstyr elevene mest sannsynlig hadde brukt før, men det viste seg at filtreringsmetoden hadde innvirkning på fargen til løsningen. Som forklart i 2.2 mistet løsningen mye av rosafargen etter filtrering. Fargen ble dyp igjen til neste dag, men det ble aldri sikkert hvorfor fargeendringen foregikk.

Det var heller aldri rosa belegg på filtrerpapiret, så det er ikke sikkert hvordan rosafargen mindre. Ved siste utprøving med studenter derimot ble en av løsningene filtrert med glassull bare i tilfelle det var forskjell, og det viste det seg å være. Uka etter målte de samme konsentrasjon med SpectroVis (omtrent 0,1 mM), men rett etter filtrering var løsningen som ble filtrert med glassull betydelig dypere enn løsningen filtrert med filtrerpapir. Det var ikke tid i løpet av arbeidet med denne masteroppgaven til å gå dypere inn på å forske mer på dette.

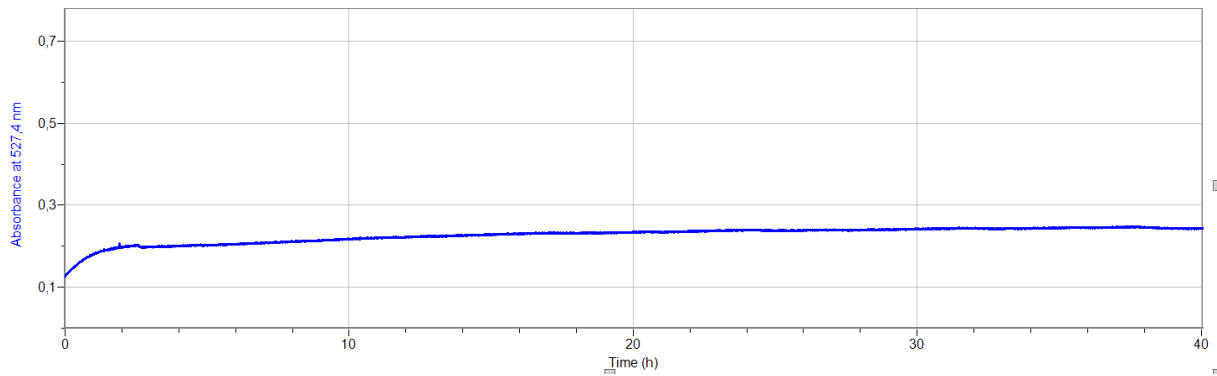
3.1.3 Oppdeling av forsøket

Den første tetypen til å bli valgt var «Earl Grey – Twinings of London». Det var denne tetypen som ble brukt mest, og ble brukt som standard for å sammenligne forskjellige tetyper og instrumenter. Figur under viser absorpsjonsspekteret til en løsning lagd fra den tetypen. Spekteret ble målt med instrumentet SpectroVis og programmet LoggerPro. I Figur 10 kommer det frem at de rosa-lilla prøvene lagd fra te absorberer mest lys i den grønne delen av den synlige delen av det elektromagnetiske spekteret, med et maksimum ved omtrent 527 nm bølglengde.



Figur 10: Absorpsjonsspekter til prøve laget fra tepulver. λ_{max} i eksempelet i figuren er ved 527,4nm.

Som forklart i 2.2 mistet løsningene mye farge etter filtrering med filtrerpapir, men fargen kom tilbake igjen til neste dag. Figur 11 viser absorpsjonen ved bølglengden med maksimum absorpsjon (527,4 nm) over en periode på 40 timer.



Figur 11: Absorbans til løsning laget fra Earl Grey – Twinings of London over 40 timer

Figur 11 viser at den største endringen i absorbans over tid foregår i løpet av de to første timene, og at absorbansen etterpå holder seg relativt stabil. Siden konsentrasjon øker med absorbans medfører det at hvis forsøket utføres i løpet av de to første timene vil beregnet konsentrasjon være lavere enn hvis det utføres senere. Det betyr at det vil være stor forskjell mellom beregnete konsentrasjoner hvis løsningen måles før det har gått en time siden filtrering eller om den måles etter to timer. Det vil derimot være liten forskjell mellom beregningene hvis forsøket utføres to eller åtti timer etter filtrering. Forsøket kan gjennomføres etter 2 timer eller til og med 100, men det gis ingen garanti for at forsøket kan utføres etter det igjen, siden det aldri ble testet i løpet av dette arbeidet.

Figuren viser bare de første 40 timene, men selv etter 100 timer var det lite endring. Denne stabiliteten i absorbans var representativ for de andre teypene som ble målt også. Derfor ble forsøket delt i to økter, slik at elevene kan gjøre prøveopparbeidingen i én økt og deretter målingen en annen økt. Som nevnt i 2.2 er det en fordel med tanke på tidsbruken. Selv noen som er erfaren med forsøket kan bruke over en halvtime på å fullføre en løsning lagd fra tepulver, og gjennomføring av analyseøkta med elever som ikke har brukt analyseinstrumentet eller utført kolorimetri før kan ta en hel kjemitime.

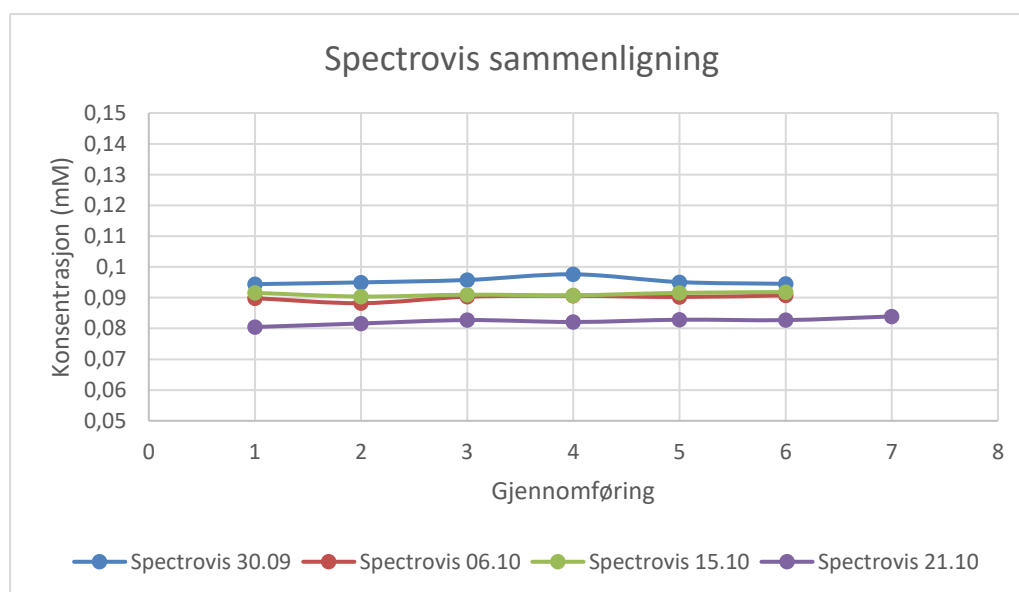
Oppdeling av labforsøk er ikke uvanlig. Under sin utføring av kolorimetrieforsøk med studenter hadde også Kehoe & Penn (2013) delt opp i to økter. Én økt for å tillage løsninger, og én økt for analyse av data. Det burde derfor gå uproblematisk å dele det tilpassede kolorimetrieforsøket opp i to økter. Hvis det likevel skulle vise seg å ikke være tid til to økter kan tillagingen av prøver gjennomføres av læreren på forhånd, slik som ble gjort med den praktiske utprøvingen med KJM3050 studenter på UiO som forklart i 2.5. Ved å fjerne den første økta vil dilemmaer som de møtt av Kehoe & Penn (2013) og Campos, et al. (2016) rundt feil under tillagingen av løsninger kunne minimeres. Det vil derimot fortsatt være

mulighet for at de lager kalibreringsløsningene feil. Men om det er ønskelig kan alle løsninger lages på forhånd, så kan alt fokuset være på gjennomføringen av målingene med mobilkamera og app.

3.2 Utprøving av apper

3.2.1 SpectroVis

Under utprøvingen av de forskjellige appene ble SpectroVis brukt som en standard som alle appene skulle sammenlignes med. Det betyr at den forventes å ha best presisjon, og den ble brukt som sammenligningsgrunnlag for å avgjøre nøyaktigheten til appene. Figur 12 viser en grafisk oversikt over alle de bestemte konsentrasjonene bestemt med Vernier SpectroVis Plus fargekodet etter dag.



Figur 12: Konsentrasjonene bestemt med SpectroVis over fire forskjellige dager

Det vises lite variasjon i figur 12. Verdiene ser ut til å variere lite fra gjennomføring til gjennomføring på samme dag. Det er endringer fra dag til dag, men de er ikke store. Variasjonen ser ut til å ligge mellom 0,1 og 0,08 mM. Tabell 6 viser en skjematisk oversikt over gjennomsnittskonsentrasjonene fra dag til dag, inkludert standardavvik, relativt standardavvik.

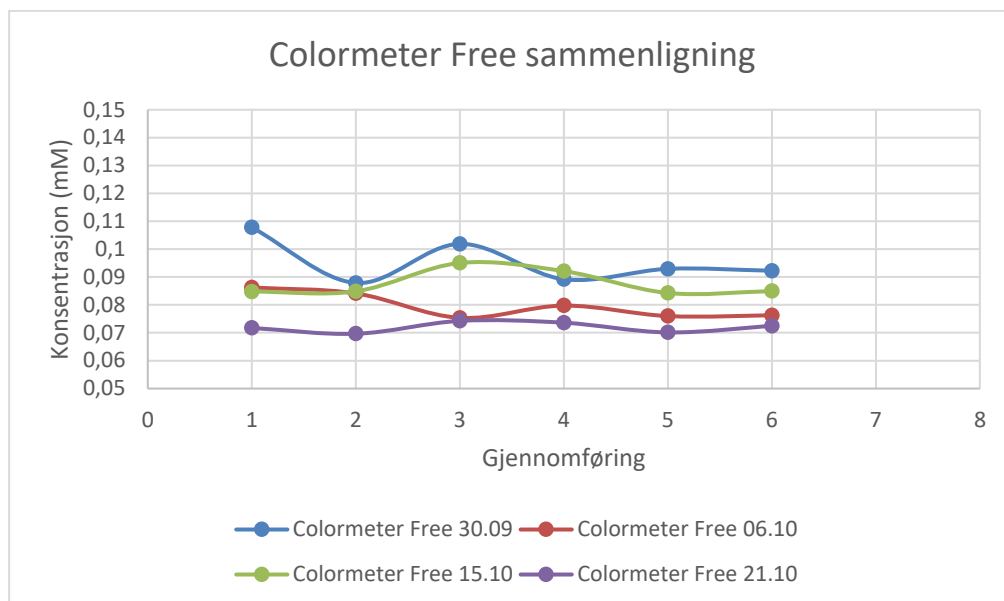
Tabell 6: Oversikt over gjennomsnittskonsentrasjoner, standardavvik, og relativt standardavvik over de fire dagene med SpectroVis

SpectroVis	30.09	06.10	15.10	21.10
\bar{c} (mM)	0,095	0,0900	0,0912	0,082
s (mM)	0,001	0,0009	0,0006	0,001
RSD (%)	1,2	1,0	0,6	1,3

Den lave variasjonen i bestemte verdier kommer også frem i tabell . Både standardavvik og relative standardavvik er ganske lave, og det reflekteres i den lave forskjellen mellom laveste, høyeste, og gjennomsnittskonsentrasjoner. Hvorfor konsentrasjonen er forskjellig ved de forskjellige dagene er ikke sikkert. Det kan være fordi det ble målt med ulike instrumenter, det kan ha blitt gjort små forskjeller i utføringen av prøvetillagingen, eller det kan skyldes at manganet ikke er uniformt fordelt i tepulveret. Det kan også hende forskjellige teposer har ulike mengder mangan i seg. Hvis forskjellene skyldes at det ble brukt forskjellige instrumenter så vil det bli tydelig av å se på resultatene fra appene. Alle gjennomføringene med android ble utført med samme mobil, og det samme gjelder for gjennomføringene med iphone, så hvis appene også viser tilsvarende varierende resultat fra dag til dag tyder det på at det ikke er et problem at variasjonen er til stede for SpectroVis. Uansett er variasjonen fra dag til dag såpass liten at den ikke er interessant med mindre variasjonen er helt annerledes for appene.

3.2.2 Colormeter Free

Resultatene fra androidappen Colormeter Free vises i figur 13.



Figur 13: Konsentrasjonene bestemt med Colormeter Free over fire forskjellige dager

Konsentrasjonene bestemt med Colormeter Free vises i figur til å variere mer enn det tilsvarende verdier gjorde for SpectroVis. Det ble forventet at appene kom til å variere mer og ikke vær fult så sikre som SpectroVis, men Colormeter Free ser likevel ut til å ha høy presisjon og god nøyaktighet. Verdiene varierer fra 0,11 til 0,07mM, men med kun to verdier som stiger over 0,1mM. Forskjellen fra dag til dag følger samme trend som for SpectroVis. Tabell 7 under viser en oversikt over gjennomsnittskonsentrasjonene, standardavvikene, og de relative standardavvikene fra dag til dag.

Tabell 7: Oversikt over gjennomsnittskonsentrasjoner, standardavvik, og relativt standardavvik over de fire dagene med Colormeter Free

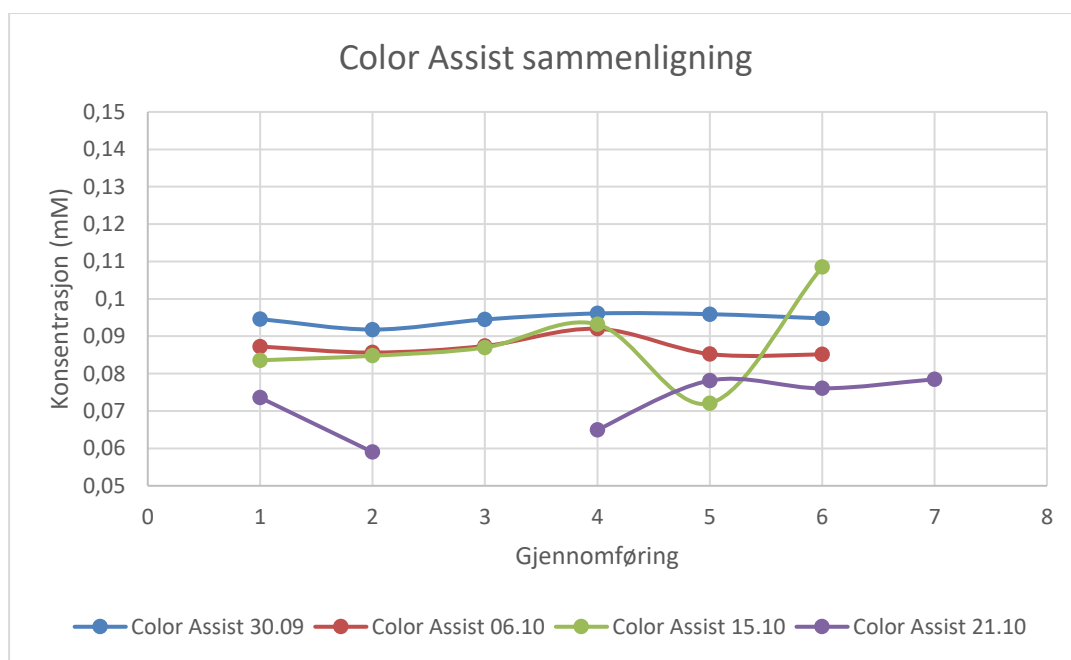
Colormeter Free	30.09	06.10	15.10	21.10
\bar{c} (mM)	0,095	0,080	0,088	0,072
s (mM)	0,008	0,005	0,005	0,002
RSD (%)	8,2	5,8	5,3	2,6

Resultatene fra Colormeter Free er ikke identiske som tilsvarende resultater fra SpectroVis, men de ligger nærme nok til at det ikke er problematisk. Om forsøket gir 0,08mM for appen eller 0,09mM for SpectroVis gjør ingen forskjell for studenten eller eleven som gjennomfører forsøket, fordi verdiene er såpass nærme. Det viktige å se på når verdiene er så

like for de ulike instrumentene, er om verdiene endrer seg fra gjennomføring til gjennomføring, noe de ikke gjør. Colormeter Free har en imponerende repeterbarhet med relative standardavvik som aldri steg over 10%.

3.2.3 Color Assist Lite

Resultatene fra iphoneappen vises i figur 14 under.



Figur 14: Konsentrasjonene bestemt med Color Assist over fire forskjellige dager. Siden måling 3 den 21.10. ikke ble målt ble det utført en ekstra måling 7 den dagen

Som Colormeter Free er konsentrasjonene bestemt med Color Assist Lite ganske like tilsvarende verdier bestemt med SpectroVis, og det er som regel liten variasjon mellom verdiene bestemt på samme dag, i tillegg til at variasjonen fra dag til dag følger samme trend som for SpectroVis og Colormeter Free. I motsetning til de to er det derimot noen verdier på to av dagene som bryter trenden. Den 15.10. var det to målinger som skilte seg ut fra resten, men begge skjedde på slutten av dagen, så det kan tenkes at problemet heller ligger i utførelsen på grunn av at dagen nærmet seg en slutt, i stedet for hos appen. Den 21.10. var det også to målinger som skilte seg fra resten, men den dagen skjedde de tidlig, og det er ikke like

lett å si hvorfor de brøt trenden. Tabell viser oversikten over gjennomsnittsverdier for målingene gjort med Color Assist Lite, inkludert standardavvik og relative standardavvik.

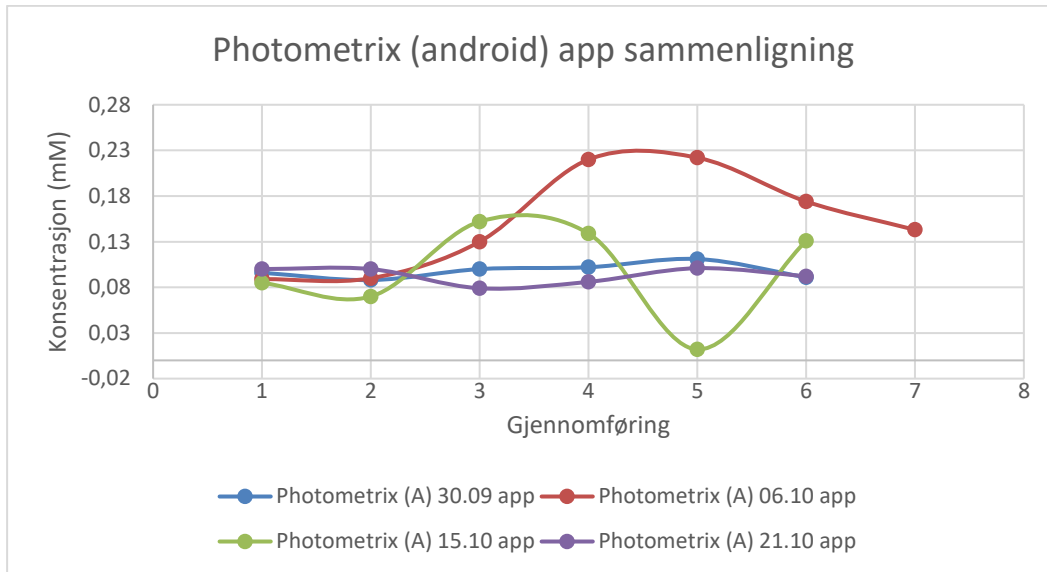
Tabell 8: Oversikt over gjennomsnittskonsentrasjoner, standardavvik, og relativt standardavvik over de fire dagene med Color Assist Lite

Color Assist Lite	30.09	06.10	15.10	21.10
\bar{c} (mM)	0,095	0,087	0,09	0,071
s (mM)	0,002	0,003	0,01	0,008
RSD (%)	1,6	3,0	13,7	11,1

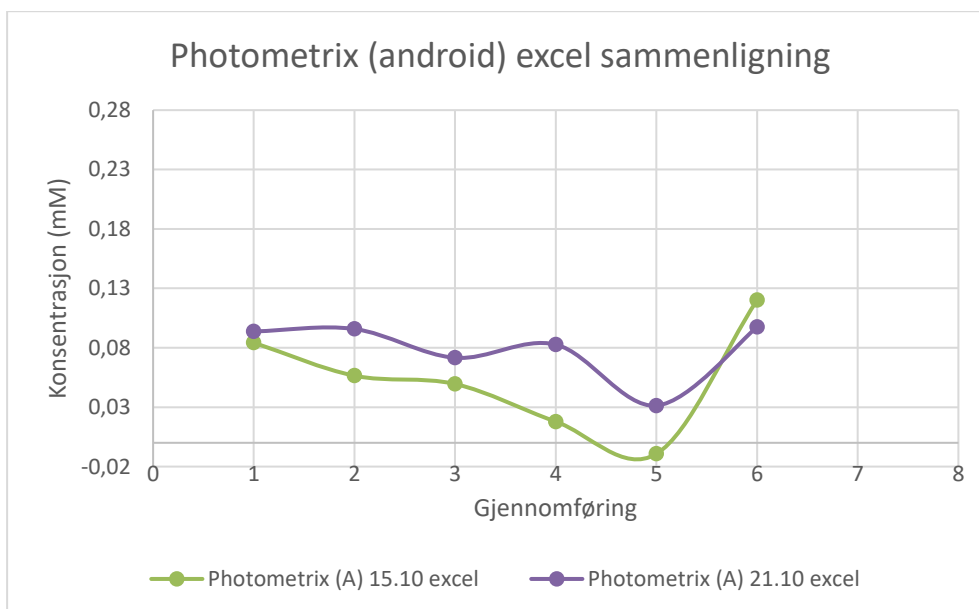
Verdiene bestemt med Color Assist Lite er ikke veldig forskjellige fra verdiene bestemt med SpectroVis og Logger Pro 3. De er like nok til at forskjeller i måling vil kunne tilskrives personen som gjennomfører forsøket. Med unntak av enkeltverdier som bryter trenden er både presisjonen og nøyaktigheten til Color Assist Lite sterke. Relativt standardavvik øker kun over 10% når enkeltverdiene som bryter trenden inkluderes, og selv med de verdiene holder det seg under 15%. Unntakene skiller seg ut, men de er ikke store nok til at det påvirker hvordan appen blir ansett til bruk i skolen, siden de kan skyldes brukerfeil. Og som nevnt i forrige delkapittel vil det gjøre liten forskjell for studenten eller eleven om appen bestemmer 0,06mM mens SpectroVis bestemmer 0,08mM.

3.2.4 Photometrix

Photometrix ble testet ut på både android og iPhone, og de grønne RGB-verdiene ble notert på to av dagene. Figur 15 og 16 viser resultatene for android.



Figur 15: Konsentrasjonene bestemt med Photometrix i app på android over fire forskjellige dager



Figur 16: Konsentrasjonene bestemt med Photometrix vha grønne RGB-verdier på android over to forskjellige dager. Den 6.10. ble det gjort to målinger, som ikke er nok til å lage en trend, og de er derfor utelatt fra figuren

Figur 15 viser at den 30.09. og 21.10. var det liten variasjon mellom målingene, og at resultatene holder seg i samme intervall som SpectroVis. Figur 16 viser det motsatte, siden gjennomføringene den 6.10. og 15.10. ikke følger trenden til resten av målingene i det hele tatt. Den 15.10. går resultatet nesten ned til 0,0mM, og den 6.10. går to av målingene over 0,2mM. Figur 16 viser også at det er lite samsvar mellom konsentrasjonene Photometrix oppga selv, og konsentrasjonene bestemt ved hjelp av de grønne RGB-verdiene. Ved noen tilfeller synker verdier funnet i app, mens samme målinger plottet i excel steg, det var til og

med en negativ måling med excel, som er umulig i praksis. Det er interessant at resultatene ble slik, fordi med unntak av måling 5 den 15.10. var korrelasjonskoeffisienten til kalibreringskurvene konsekvent over 0,9. Det gjelder både i app og på excel via RGB. Tabell 9 og 10 under viser oversikten over gjennomsnittsverdiene for målinger gjort med Photometrix henholdsvis i appen og med grønne RGB-verdier i Microsoft Excel, inkludert standardavvik og relative standardavvik.

Tabell 9: Oversikt over gjennomsnittskonsentrasjoner, standardavvik, og relative standardavvik over de fire dagene med Photometrix på android i appen

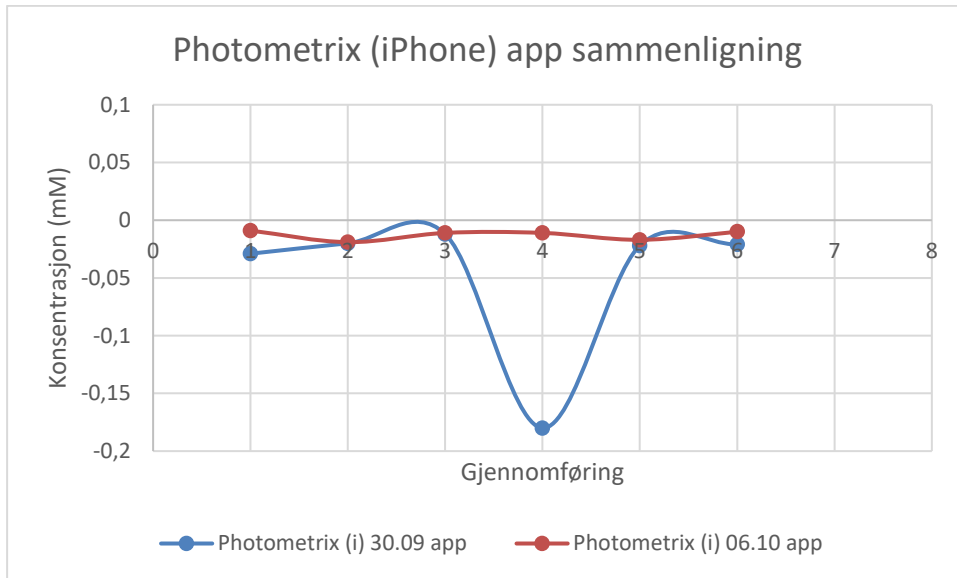
Photometrix (android) app	30.09	06.10	15.10	21.10
\bar{c} (mM)	0,098	0,15	0,10	0,093
s (mM)	0,008	0,06	0,05	0,009
RSD (%)	8,4	36,3	54,0	9,7

Tabell 10: Oversikt over gjennomsnittskonsentrasjoner, standardavvik og relative standardavvik over de to siste dagene med grønne RGB-verdier fra Photometrix på android plottet i excel

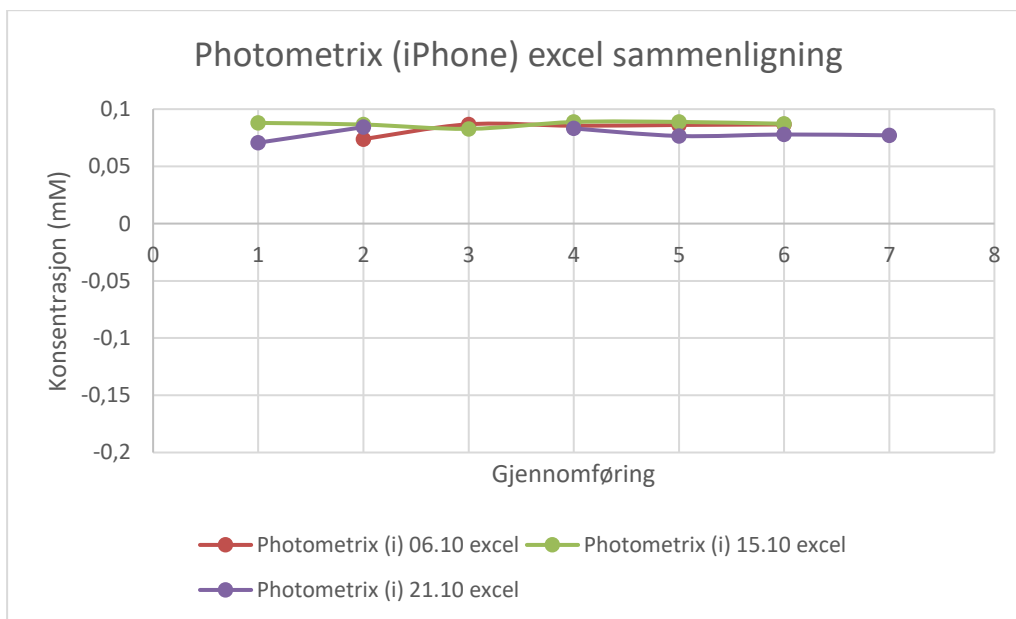
Photometrix (android) excel	30.09	06.10	15.10	21.10
\bar{c} (mM)			0,05	0,08
s (mM)			0,05	0,03
RSD (%)			86,7	32,0

Tabellene over viser at det var veldig stor variasjon i resultatene. For android var det stor tilfeldighet i om det ble høy eller lav variasjon, både i app og ved hjelp av grønne RGB-verdier, med relative standardavvik som kunne være så lave som 8,4% og så høye som 86,7%.

Figur 17 og 18 under viser resultatene for iPhone.



Figur 17: Konsentrasjonene bestemt med Photometrix i app på iPhone over to forskjellige dager



Figur 18: Konsentrasjonene bestemt med Photometrix vha grønne RGB-verdier på iPhone over tre forskjellige dager. Måling 3 den 21.10. ble ikke gjort, og derfor er det en ekstra måling 7

Resultatene fra figur 17 og 18 viser absolutt ingen samsvar. Konsentrasjonene bestemt av appen var konsekvent negative, mens verdiene bestemt ved å regne seg fram ved hjelp av de grønne RGB-verdiene lå konsekvent mellom 0,07mM og 0,09mM. Hvorfor appen ga negativt resultat mens RGB-verdiene ikke gjorde det er ikke tydelig. Den 15.10. og 21.10. ble ikke lenger resultatet appen oppga notert fordi de fortsatt var negative. Det tyder på at det er en ukjent feil i appen, siden den regner konsentrasjonen feil selv om den grønne RGB-

verdiene er gode. Akkurat som for android-varianten var korrelasjonskoeffisienten konsekvent over 0,9.

Tabell 11 og 12 under viser gjennomsnittskonsentrasjoner, inkludert standardavvik og relative standardavvik for resultatene bestemt med Photometrix på iPhone henholdsvis i appen og med grønne RGB-verdier.

Tabell 11: Oversikt over gjennomsnittskonsentrasjoner, standardavvik, og relativt standardavvik over de to første dagene med Photometrix i appen på iPhone

Photometrix (iphone) app	30.09	06.10	15.10	21.10
\bar{c} (mM)	-0,05	-0,013		
s (mM)	0,07	0,004		
RSD (%)	137,8	32,1		

Tabell 12: Oversikt over gjennomsnittskonsentrasjoner, standardavvik, og relative standardavvik over de tre siste dagene med grønne RGB-verdier fra Photometrix på iPhone plottet i excel

Photometrix (iphone) excel	30.09	06.10	15.10	21.10
\bar{c} (mM)		0,084	0,087	0,078
s (mM)		0,006	0,002	0,005
RSD (%)		6,7	2,6	6,3

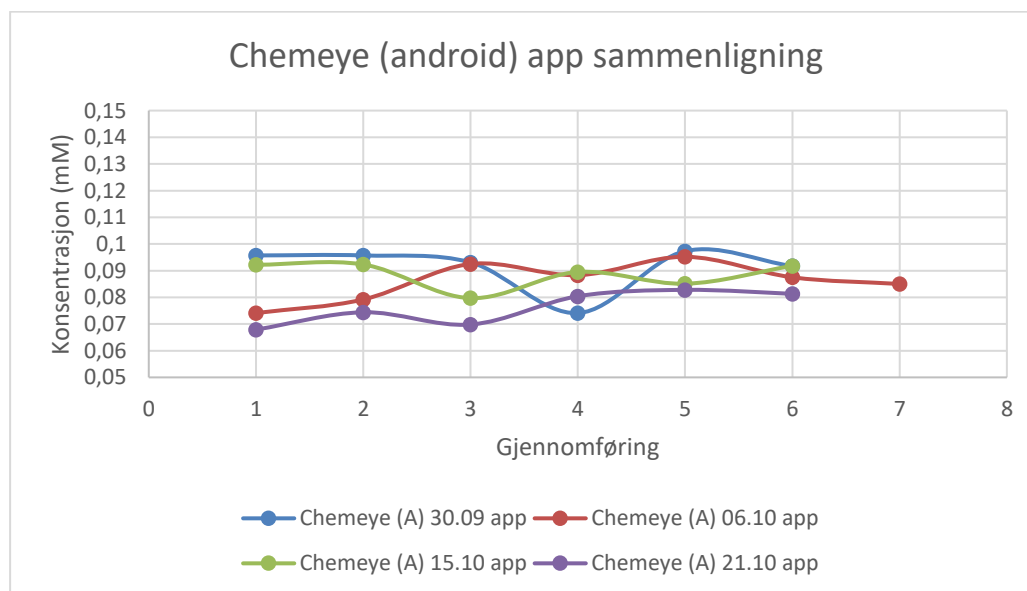
For iPhone var alle resultater i appen negative, mens resultatene funnet ved å plote i excel hadde liten variasjon, med alle relative standardavvik på under 10%. Colormeter Free var den eneste appen som hadde like lave relative standardavvik. Det forstås ikke hvorfor verdiene endte opp som de gjorde. Hverken hvorfor iPhone-varianten ga negative resultater eller hvorfor android-varianten ga resultater med så høy variasjon. Det er heller ikke sikkert hvor stor innvirkning det hadde at appen fokuserte på nytt hver gang en kyvette var målt. I følge Böck, et al. (2020) har det blitt arbeidet mer med android-utgaven enn iPhone-utgaven av appen, fordi android er det mer populære operativsystemet. Det kan hende det er derfor iPhone-utgaven får feil verdier.

Det skulle gjerne blitt forstått hvordan appen bestemmer konsentrasjoner av ukjente prøver helt forskjellig enn hva RGB-verdiene tilsier. Det hadde vært interessant å vite om den

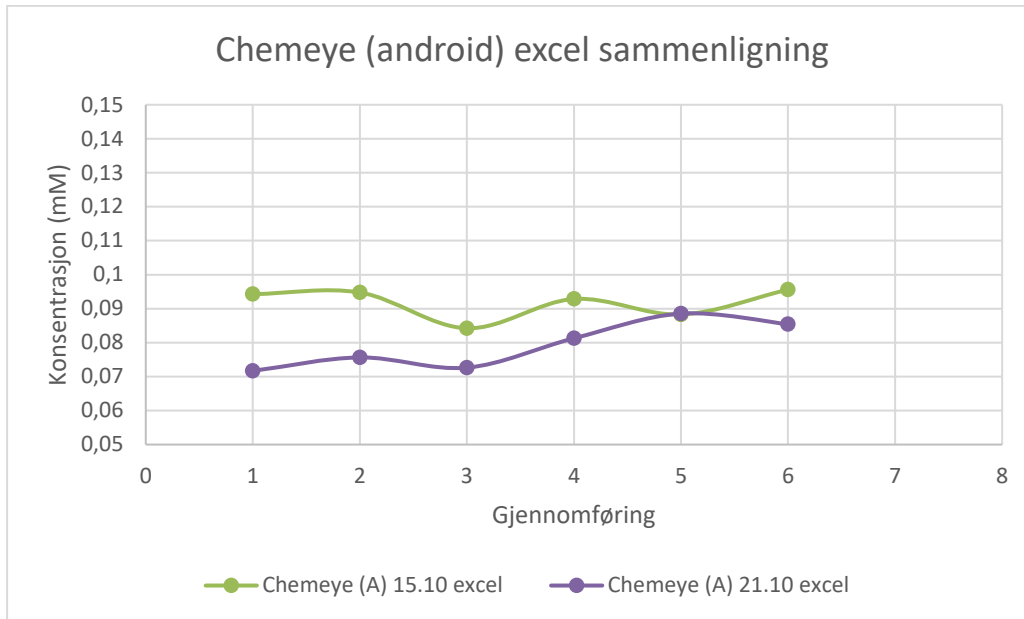
kan ha brukt feil av de tre verdiene til å beregne, men det ble ikke funnet noen slik innstilling så det var ikke mulig å undersøke. Kanskje skaperne av appen kunne blitt kontaktet direkte for å få svar. Uansett er det også overraskende at appen gir så gode resultater for hver enkeltmåling, med konsekvent korrelasjonskoeffisient på over 0,9, akkurat som Böck, et al. (2020) fant, mens verdiene på samme ukjente prøve på samme dag var helt forskjellige. Hvorfor analysene som Böck, et al. (2020) referer til viser bedre resultater enn i denne analysen er ikke sikkert.

3.2.5 ChemEye

Som Photometrix ble ChemEye testet ut både på android og iPhone, og i tillegg ble både verdiene som appen selv ga som konsentrasjon og konsentrasjonene regnet ut fra de grønne RGB-verdiene notert på to av dagene. Siden resultater fra appen og RGB-verdier var så forskjellige på Photometrix presenteres de for ChemEye også. Figur 19 og 20 viser resultatene fra ChemEye på android med henholdsvis konsentrasjoner bestemt i app og konsentrasjoner bestemt fra grønne RGB-verdier.



Figur 19: Konsentrasjonene bestemt med ChemEye i app på android over fire forskjellige dager



Figur 20: Konsentrasjonene bestemt med ChemEye vha grønne RGB-verdier på android over to forskjellige dager

Resultatene fra ChemEye på android varierte litt mer fra gjennomføring til gjennomføring på hver dag enn SpectroVis. Spennet er fortsatt fra like under 0,07mM til like under 0,1mM, men grafene for hver dag krysser hverandre mer enn de gjorde for Colormeter Free, Color Assist Lite og SpectroVis. Grafene er derimot mye mer konsekvente enn Photometrix sine. Grafene for ChemEye følger altså ikke så godt trenden som SpectroVis satt. Grafene for app og excel følger derimot samme trend som hverandre, så det er trolig at de målingene som ikke ble utført med grønne RGB-verdier ville følge samme trend som tilsvarende verdier i app, selv om det ikke er helt sikkert.

Tabell 13 og 14 under viser oversikten over gjennomsnittskonsentrasjoner, standardavvik, og relative standradavvik for resultatene bestemt med ChemEye på android henholdsvis i appen og med grønne RGB-verdier plottet i excel.

Tabell 13: Oversikt over gjennomsnittskonsentrasjoner, standardavvik, og relative standardavvik over de fire dagene med ChemEye i appen på android

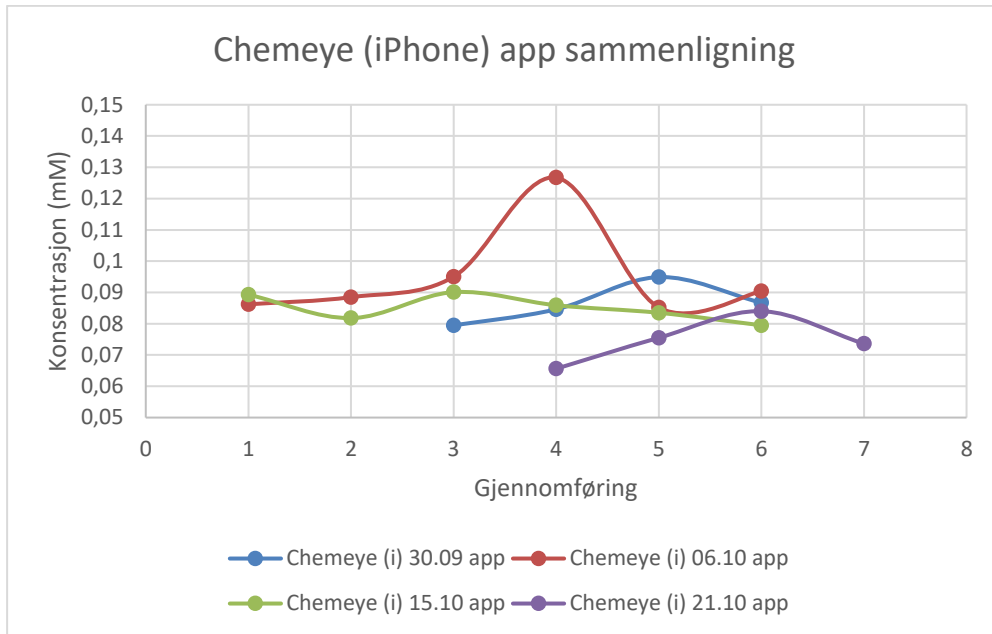
ChemEye (android) app	30.09	06.10	15.10	21.10
\bar{c} (mM)	0,091	0,086	0,088	0,076
s (mM)	0,009	0,007	0,005	0,006
RSD (%)	9,5	8,5	5,7	8,3

Tabell 14: Oversikt over gjennomsnittskonsentrasjoner, standardavvik, og relative standardavvik over de to siste dagene med grønne RGB-verdier fra ChemEye på android plottet i excel

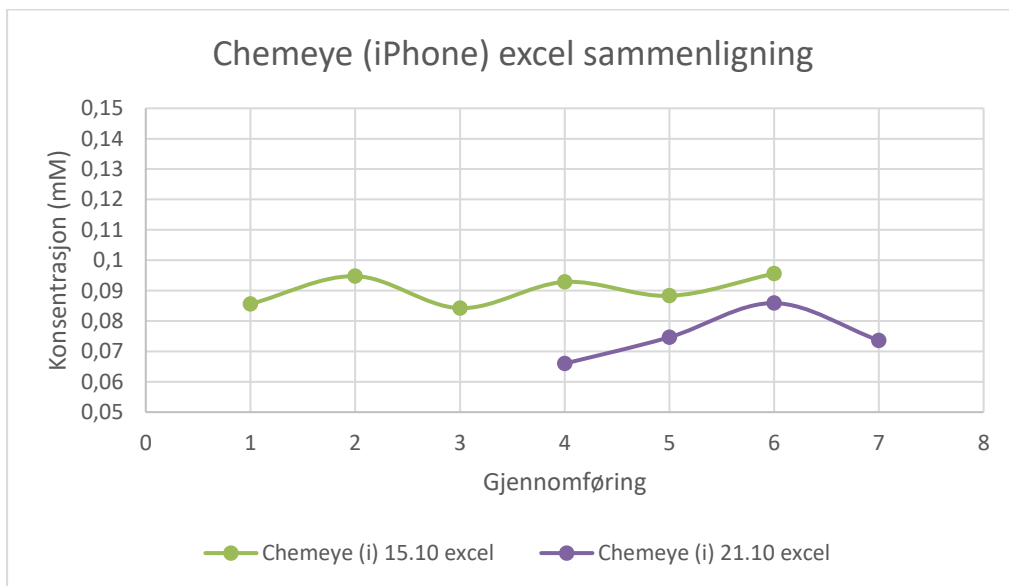
ChemEye (android) excel	30.09	06.10	15.10	21.10
\bar{c} (mM)			0,092	0,080
s (mM)			0,004	0,007
RSD (%)			4,9	8,8

Det er liten forskjell mellom verdiene. Konsentrasjonene regnet fra grønne RGB-verdier er litt høyere enn verdiene appen oppga, men ikke betydelige større. Standardavvik og relative standardavvik er også både lave og like.

Resultatene fra iPhone vises i figur 21 og 22 under.



Figur 21: Konsentrasjonene bestemt med ChemEye i app på iPhone over fire forskjellige dager. Den 30.09. begynte ikke appen å bli brukt på iPhone før måling 3, og den 21.10. krasjet appen ved målingene gjort før mobilen ble restartet til måling 4



Figur 22: Konsentrasjonene bestemt med ChemEye vha grønne RGB-verdier på iPhone over to forskjellige dager. De første målingene den 21.10. mangler av samme grunn som beskrevet over

Likt som for androidresultatene følger ikke grafene samme trend fra dag til dag som de tidligerenevnte metodene, selv om intervallet er veldig likt, med de fleste resultatene mellom 0,07mM og 0,1mM. Det er derimot en måling gjort 6.10. som stikker seg veldig ut, på nesten 0,13mM. Hvorfor denne verdien skilte seg så veldig fra resten er ikke sikkert, men det kan hende det skyldes brukerfeil. Mens verdiene bestemt 06.10. og 21.10. ser ut til å ikke være så

forskjellige når app og verdier funnet med RGB sammenlignes, så er det mye forskjell i tilsvarende resultater den 15.10. Igjen så følger begge grafene det samme spennet fra 0,08mM til 0,1mM, men det er fortsatt interessant at resultatene blir forskjellig når det er samme måling.

Tabell 15 og 16 under viser en oversikt over gjennomsnittskonsentrasjoner, inkludert standardavvik og relative standardavvik for resultatene bestemt med ChemEye henholdsvis i app og med grønne RGB-verdier plottet i excel.

Tabell 15: Oversikt over gjennomsnittskonsentrasjoner, standardavvik, og relativt standardavvik over de fire dagene med ChemEye i appen på iPhone

ChemEye (iphone) app	30.09	06.10	15.10	21.10
\bar{c} (mM)	0,086	0,10	0,085	0,075
s (mM)	0,006	0,02	0,004	0,008
RSD (%)	7,4	16,5	4,9	10,1

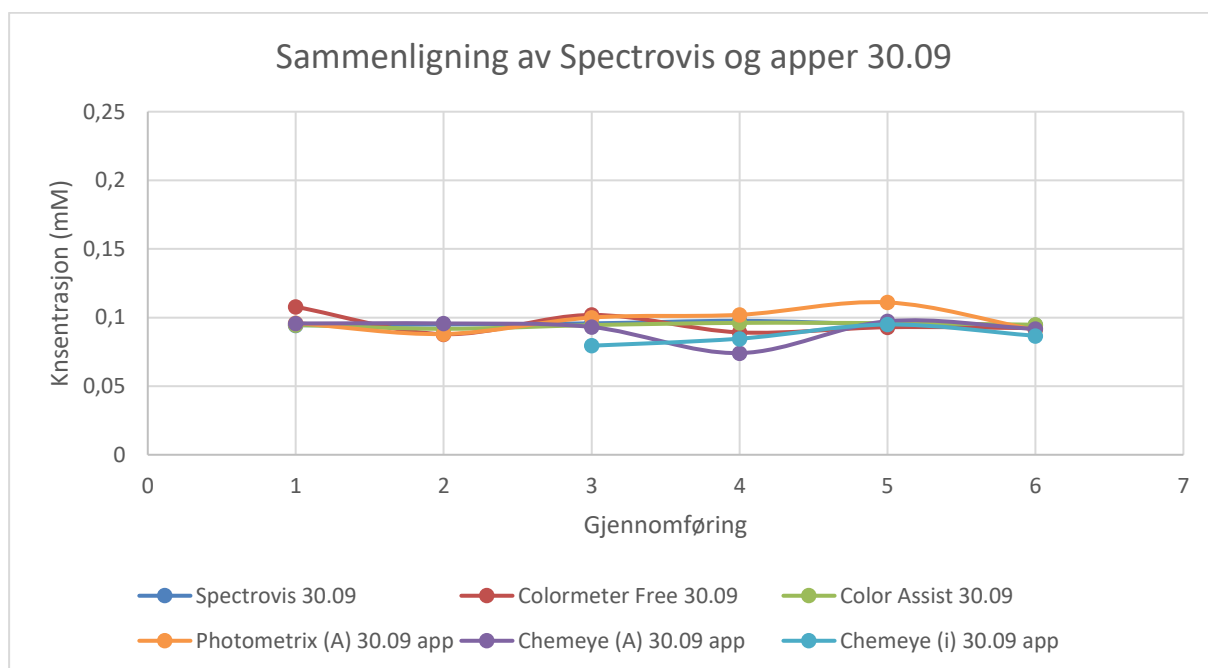
Tabell 16: Oversikt over gjennomsnittskonsentrasjoner, standardavvik, og relative standardavvik over de to siste dagene med grønne RGB-verdier fra ChemEye på iPhone plottet i excel

ChemEye (i) excel	30.09	06.10	15.10	21.10
\bar{c} (mM)			0,090	0,075
s (mM)			0,005	0,008
RSD (%)			5,4	10,9

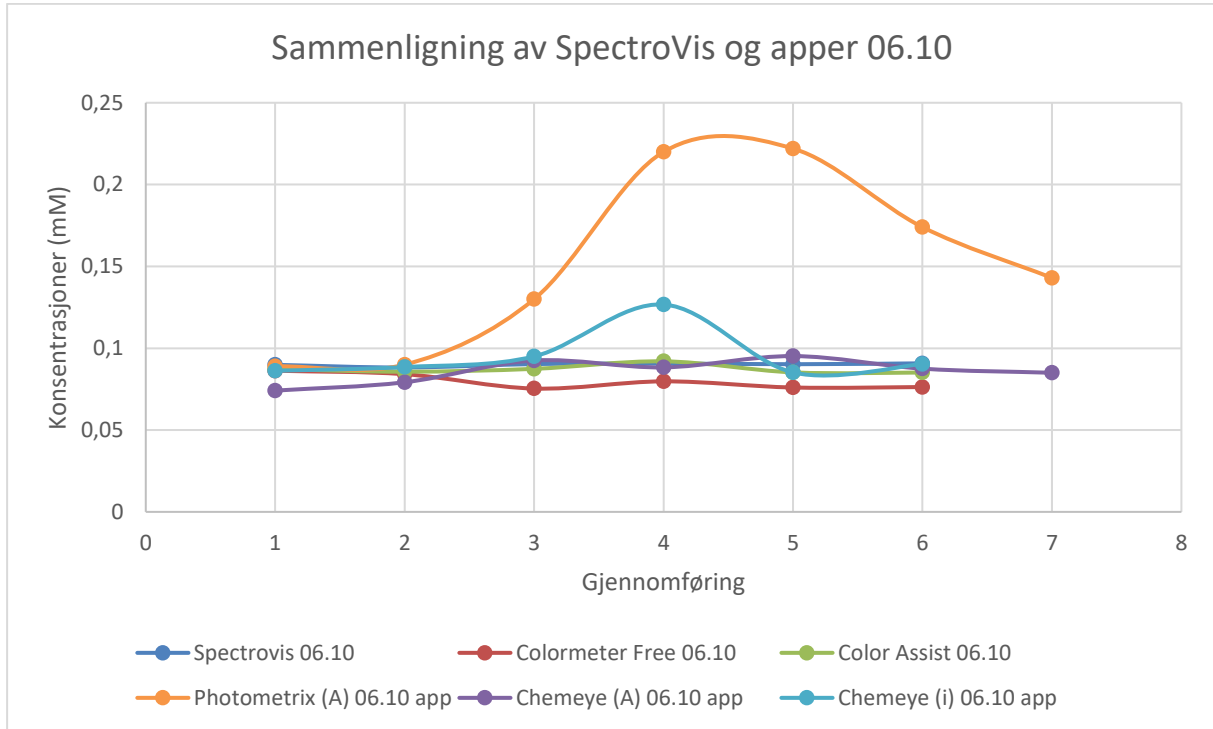
Med unntak av den tidligere nevnte verdien fra 6.10. som stakk seg veldig ut så er resultatene fra ChemEye ganske like resultatene fra metodene utenom Photometrix. Grafene er ikke fullt så fine som grafene fra Colormeter Free og Color Assist Lite, men både nøyaktigheten og presisjonen var som regel god. Vanskelighetene med ChemEye var hovedsakelig i gjennomføringen, i tillegg til at den har større usikkerhet siden den endret fokus hver gang mobilen ble flyttet på. Det er derfor imponerende at appen har så lave relative standardavvik som den har, og at det høyeste heller ikke ble høyere enn 16,5%. For både android og iPhone er generelt konsentrasjonene beregnet fra de grønne RGB-verdiene høyere enn tilsvarende konsentrasjoner som appen oppga selv. Hvorfor det er forskjeller er ikke sikkert. Kanskje det skyldes forskjeller i kamera.

3.2.6 Sammenligning

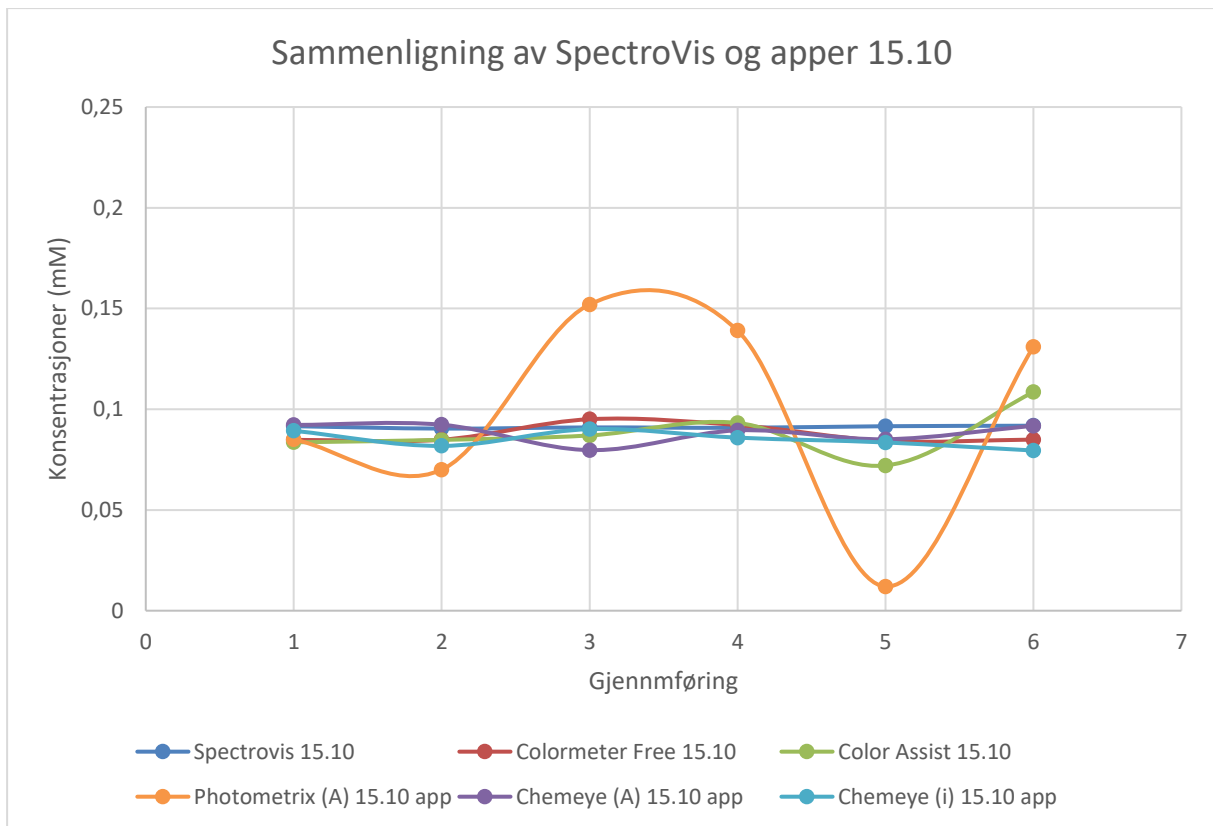
Appene har blitt analysert separat over, og i denne delen gjøres et siste arbeid for å sammenligne dem med hverandre. Konsentrasjonene for hver dag har blitt plottet i punktdiagram med linjer mellom punktene, og SpectroVis og alle appene har blitt inkludert i koordinatskjema. Figurer 23 til 26 under viser konsentrasjonene etter hvilken dag målingene ble gjort. iPhone-varianten til Photometrix har blitt ekskludert på grunn av de negative resultatene. I tillegg har resultatene bestemt fra RGB-verdiene blitt utelatt siden det ikke ville være de metodene som blir brukt i undervisning uansett. Hvis appen bare fungerer ved å plote de grønne RGB-verdiene selv kan brukeren like greit bruke en av appene som ikke kan utføre regningen selv.



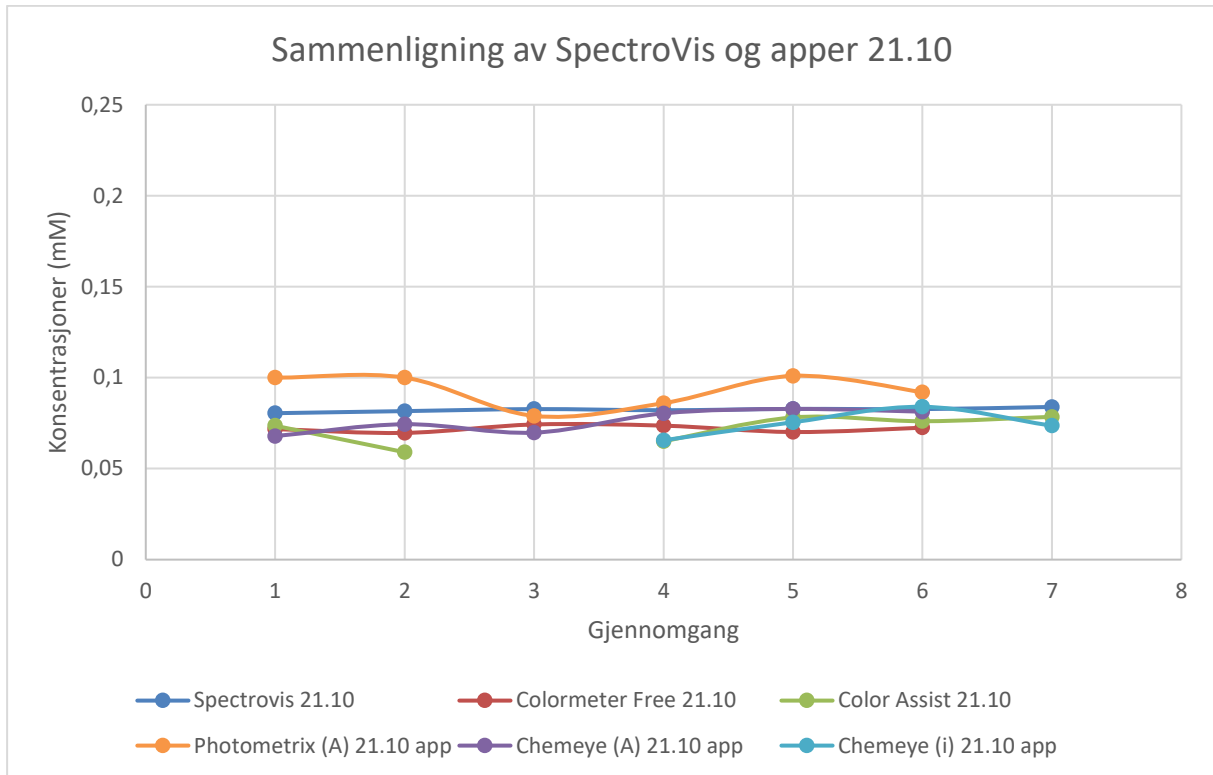
Figur 23: Konsentrasjonene bestemt med SpectroVis og hver app den 30.09. iPhone-varianten av Photometrix er utelatt grunnet negativt resultat



Figur 24: Konsentrasjonene bestemt med SpectroVis og hver app den 6.10. iPhone-varianten av Photometrix er fremdeles utelatt

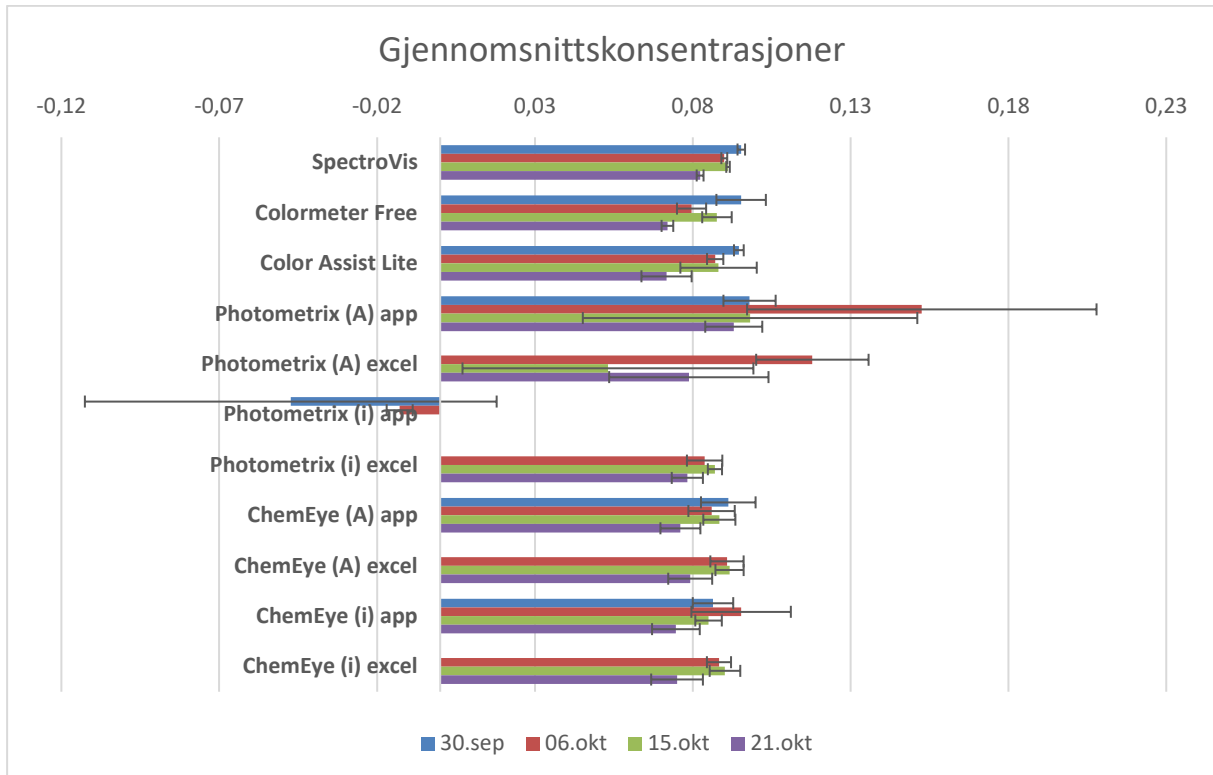


Figur 25: Konsentrasjonene bestemt med SpectroVis og hver app den 15.10



Figur 26: Konsentrasjonene bestemt med SpectroVis og hver app den 21.10

Figurene over viser at Photometrix er den appen som stikker mest ut, mens resten av appene holder seg rundt samme området som SpectroVis. Det samme kan sees ved å plote gjennomsnittskonsentrasjonene mot hverandre, slik som i figur 27 under. Standardavvikene for målingene på hver dag vises i figur 27 som «error bars».



Figur 27: Graf som viser gjennomsnittskonsentrasjonene funnet med alle metodene for hver dag, inkludert standardavvik

Alle appene, unntatt Photometrix og iphone-varianten av ChemEye, følger samme trend fra dag til dag som SpectroVis gjør. I tillegg er alle gjennomsnittene til de appene og SpectroVis i samme område, som er forventet, siden kurvene var så like. Relative standardavvik blir også vist til å være hovedsakelig lave, og igjen er unntaket kun Photometrix, som har «error bars» som dekker nesten hele kurven. Det er rart at Photometrix på iPhone ga så gode resultater med RGB-verdiene når android-varianten ikke gjorde det, men det hjelper dessverre ikke. Som forklart over er det ikke aktuelt å bruke en app som kan gjennomføre bestemmelsene i appen, hvis den bare fungerer når brukeren beregner resultatet selv. Photometrix var altså ikke aktuell til bruk i undervisningssituasjon med studenter.

Det går også an å se på relativ feil for appene. Ved å anta at SpectroVis er mest nøyaktig kan gjennomsnittsverdiene for hver dag brukes for å beregne relativ feil for hver av appene. Tabell 17 under viser en oversikt over appenes relative feil for hver dag.

Tabell 17: Relativ feil for hver av appene. iPhone-varianten av Photometrix ble ekskludert på grunn av negative resultater

Relativ feil	30.09	06.10	15.10	21.10
Colormeter Free	0,06%	11,5%	3,8%	12,6%
Color Assist Lite	0,8%	3,2%	3,3%	12,9%
Photometrix (android)	2,7%	69,5%	7,7%	12,9%
ChemEye (android)	4,3%	4,5%	3,0%	7,6%
ChemEye (iPhone)	9,4%	5,9%	6,8%	9,3%

Ingen av appene var bedre enn SpectroVis, som var forventet, men de fleste fungerer godt nok til at det er til å forvente at appene kan brukes i undervisning. Presisjonen for hver app har blitt vist tidligere, og i tabell 17 vises nøyaktigheten også. Der vises det tydelig at Colormeter Free og Color Assist Lite er både de mest presise og de mest nøyaktige av appene som ble testet. ChemEye viser også en meget god nøyaktighet på begge operativsystemene. Photometrix viser en god nøyaktighet på tre av dagene, mens den er over 50% feil den 6.10. Siden presisjonen den 15.10. var meget lav tyder det på at det bare er tilfeldig at nøyaktigheten var så god den dagen. Det var kun mulig fordi det var basert på gjennomsnittet av alle målingene.

At nøyaktigheten til mobilkamera og app var så bra stemmer overens med forskningen referert til i 1.6. Med unntak av Photometrix kan alle appene som ble testet ut systematisk brukes til kolorimetrisk analyse av løsninger lagd fra tepulver. Appene Color Grab og Color Picker ble testet av henholdsvis Peng, et al. (2019) og Kehoe & Penn (2013), og det hende at de også ville gitt gode resultater hvis de hadde blitt brukt under arbeidet med denne masteroppgaven. Color Grab ble testet ut til å lage kalibreringskurver to ganger, og ga

gode resultater begge gangene. Det kunne vært interessant å se hvordan deres resultater i presisjon og nøyaktighet ble i tillegg til de fire appene beskrevet i dette kapitlet.

Det ble sagt at nøyaktigheten var god, men den kunne også variere. For Colormeter Free varierte den fra 0,06 til 12,6%. Da Gee, et al. (2017) beskrev hvilke elever som fikk gode nok resultater, og hvilke som ikke gjorde det brukte de 10% feil som grense. ChemEye var den eneste av appene som ble testet som aldri viste en relativ feil over 10%, så hvis 10% feil er for mye ville ikke Colormeter Free og Color Assist Lite kunne brukes likevel. Men det kommer de til, fordi selv om nøyaktigheten er relevant å se på, vil det i en undervisningssituasjon der mange elever skal utføre forsøket, være viktigst at alle får like resultater. Altså presisjonen er viktigere enn nøyaktigheten, så lenge nøyaktigheten ikke konsekvent er altfor høy. I denne masteroppgaven ble 10% feil sett på som akseptabelt, siden det bare var én av dagene det skjedde. Colormeter Free, Color Assist Lite, og ChemEye ansees derfor som egnet til bruk som kolorimeter i skolen.

ChemEye ga både god presisjon og god nøyaktighet, men det ble likevel bestemt at den ikke skulle brukes i utprøvingen med studenter. Resultatene var gode nok, men appen hadde større potensial for brukerfeil. I tillegg var det fokus på at gjennomgangen av appbruken skulle være kort og oversiktlig, som er lettest hvis appene som blir forklart er så like som mulig. Bare Colormeter Free og Color Assist Lite ble videreført til utprøvingen med studentene. Det blir diskutert mer i 3.4.

3.3 Utprøving av andre tetyper og matvarer

3.3.1 Andre tetyper

Etter at det var bestemt at bare Colormeter Free og Color Assist Lite skulle brukes i undervisningssituasjonen ble det sett etter andre tetyper og matvarer som kunne brukes i forsøket. I stedet for å lage kalibreringskurver og å bestemme konsentrasjonen ble bare absorbanse målt og sammenlignet med nedre og øvre absorbansegrense.

Tabell 18 under viser gjennomsnittene av nedre og øvre absorbans fra SpectroVis, Colormeter Free, og Color Assist Lite. Verdiene er bestemt fra målt absorbans av laveste og høyeste kalibreringsløsning i løpet av den systematiske utprøvingen av appene.

Tabell 18: Nedre og øvre grense på absorbans for SpectroVis og appene

	SpectroVis	Colormeter Free	Color Assist Lite
Nedre grense	0,050	0,011	0,016
Øvre grense	0,52	0,18	0,21

Absorbansene målt for hver av tetyperne kan da sammenlignes med verdiene i tabell 18. Hvis de er innenfor kan de brukes til forsøket, hvis de ikke er innenfor kan de ikke det. Resultatene vises i tabell 19 under.

Tabell 19: Målt absorbans på hver tetype

	SpectroVis	Colormeter Free	Color Assist Lite
Darjeeling	0,103	0,031	0,055
Green Citrus	0,127	0,043	0,070
Earl Grey 1	0,254	0,084	0,131
Blue	0,079	0,030	0,035
Lemon	0,054	0,028	0,028
Earl Grey 2	0,255	0,097	0,116
Vanilla	0,093	0,034	0,041
Forest	0,056	0,024	0,025
Earl Grey 3	0,258	0,102	0,119

Absorbansene til Earl Grey-løsningene er ganske like hver gang, det tyder på at metoden er gjennomført riktig og at resultatene til de nye tetyperne er pålitelige. Ingen av tetyperne går utenom grensene vist i tabell 19, som viser til at alle tetyperne som ble testet vil kunne brukes til forsøket. Unntaket kan være «Lipton – Forest Tea» som har ganske lave absorbanser. Det kan hende at elever/studenter vil kunne slite med å bestemme en løsning som ligger så nærme den nedre grensen. «Lipton – Green Citrus Tea» derimot målte høyest av alle bortsett fra «Earl Grey – Twinings of London», så den er det nok sikkert at appene ikke vil ha vanskelig for å måle.

Hvis kalibreringsløsningene endres slik som beskrevet i 3.1 til at laveste kalibreringsløsning ikke lenger har en konsentrasjon på 0,02 mM vil det ikke kunne garanteres at andre tetyper enn «Earl Grey – Twinings of London» kan brukes. Hvis ytterligere endringer skal gjøres er det viktig å teste forsøket først.

En ting å være klar over ved gjennomføring av forsøket er at grønn te er vanskeligere å veie opp enn svart te siden bitene i posen er større. Grønn te tar også lenger tid før pulveret blir til hvit aske.

3.3.2 Manganrike matvarer

Av de fire matvarene som ble testet ut til forsøket var det ingen av dem som ga godt nok resultat til at det ble gjort noen analyse som den i 3.3.1. Resultatene fra undersøkelsen kan vises ved å se på hvilken farge matvarene ga ved forskjellige steg i prosessen, som vises i tabell 20 under.

Tabell 20: Oversikt over matvarenes farge ved forskjellige deler av prosessen

	Farge etter oppvarming i digel	Farge på løsning etter oppvarming	Farge på løsning etter filtrering
Havregryn	Brunsvart	Rosa	Blank
Peanøtter	Svart	Blank	Blank
Hasselnøttkjerner	Hvit	Rosa	Blank
Mandler	Hvit	Rosa	Gul

Apotek1 (2020) ga nøtter som eksempel på mat som var en god kilde til mangan, og selv om peanøtter ikke er ekte nøtter ble de testet uansett, og det var den eneste matvaren som ikke ga hverken hvit aske eller rosa løsning. Resten av matvarene ga løsninger som var litt rosa før filtrering, men ingen av dem var rosa etterpå. Forsøket med doble, triple, og firdoble mengder havregryn var også mislykket og ga akkurat samme resultat som ved første utprøving.

Undersøkelsen på matvarer ble mislykket, men det er fortsatt mulig å forske på flere i fremtiden for å finne noen som egner seg. Det kan hende det finnes matvarer som egner seg til bruk i et annet forsøk hvor manganet blir gjort tilgjengelig på en annen måte.

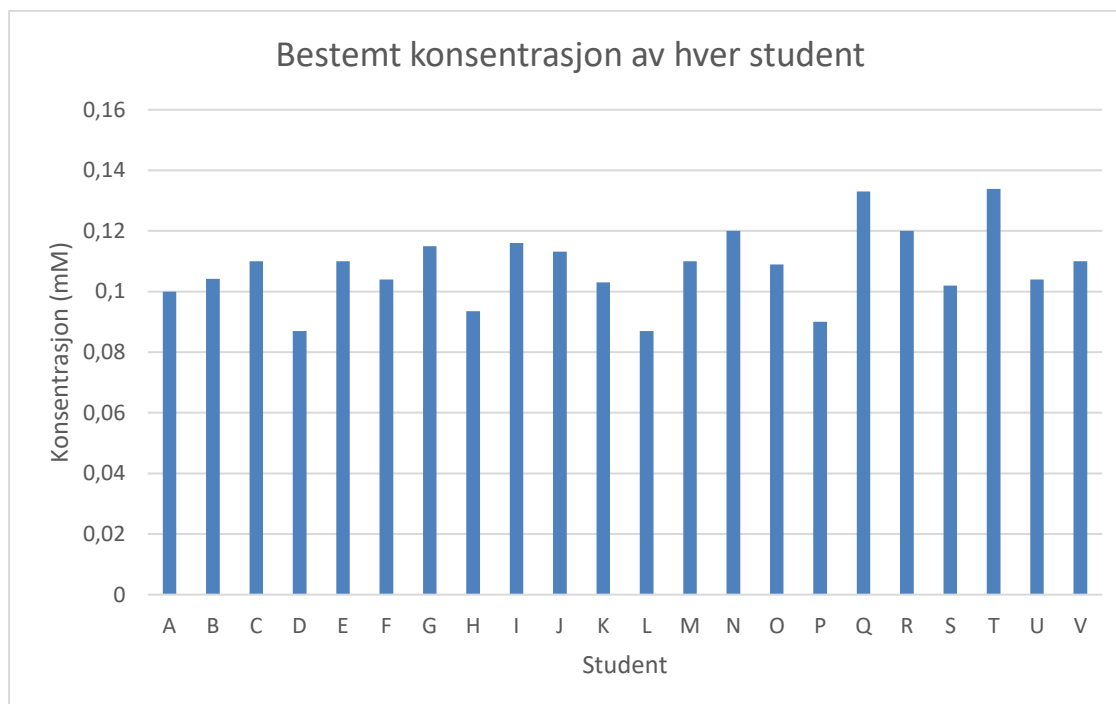
3.4 Utprøving av forsøket med studenter

Det tilpassede forsøket ble utprøvd med 22 studenter på Universitetet i Oslo, og de leverte både rapport og tilbakemeldingsskjema. Alle studentene fikk fullført forsøket, men det tok ulik tid for hver student. Ved første gjennomføring ble ikke bruken av appen under «mørkerommet» forklart godt nok, og det ble brukt en del tid på å rette opp og hjelpe dem. Beskjedene ble gitt tydeligere de neste gangene, og demonstrasjonen var lenger, som førte til at studentenes målinger tok kortere tid.

Noen greide å utføre målingene uten å spørre om hjelp, mens andre trengte flere beskjeder. Forvirringen deres kom som regel fra at de ikke skjønnte hvorfor de grønne RGB-verdiene sank mens konsentrasjonen økte, men det virket som de forstod det i etterkant. Det ble uansett ikke sett på som noen grunn til å påpeke det på forhånd, siden det ble tenkt at det er mer læring av å begynne å lure på noe selv i stedet for å bli fortalt hvordan de skal tenke.

Noen utførte beregningene på universitetet, mens andre hadde ikke tid og måtte utføre beregningene hjemme. De fleste fikk rette kurver med korrelasjonskoeffisient på over 0,99 og alle fikk over 0,9. Ved siste gjennomføring ble kyvettene til fem av studentene spart på og analysert med SpectroVis. Resultatene fra den metoden var også veldig gode, med to korrelasjonskoeffisienter på 1,000 og kun én under 0,99. Det tyder på at det ikke ble gjort noen grove feil ved tillagingen av kalibreringsløsningene.

Konsentrasjonene de bestemte på de ukjente prøvene vises i figur 28 under. Siden det ikke ble notert hvilke løsninger som ble delt ut til hver elev er ikke figuren oppdelt etter hvilken av de fire løsninger det gjelder. Studenter er designert med bokstavkoder fra A til V.



Figur 28: Oversikt over konsentrasjonene studentene bestemte for sin ukjente løsning

Gjennomsnittet av alle verdiene, inkludert standardavvik og relativt standardavvik vises i tabell 21 under.

Tabell 21: Gjennomsnittskonsentrasjon, standardavvik, og relativt standardavvik for verdiene studentene målte

Gjennomsnittskonsentrasjon	0,11 mM
Standardavvik	0,01 mM
Relativt standardavvik	11,7%

Figur 28 og tabell 21 over viser at de aller fleste studentene målte rundt det samme området, 0,1 mM, som var den korrekte verdien målt med SpectroVis og LoggerPro 3.15 undervisningsøkta startet. Gjennomsnittet og standardavviket trekkes opp av fire verdier som var på 1,2 mM og høyere, ellers er verdiene ganske like. Uansett er alle verdiene innen akseptable grenser for dette forsøket, og både Colormeter Free og Color Assist Lite tyder til å fungere bra som kolorimeter i undervisningssituasjoner. Det passer også inn med erfaringene til Gee, et al. (2017), Kehoe & Penn (2013), og Campos, et al. (2016), som fikk gode resultater med utprøvingene sine med elever, men med noen få målinger som trekker

standardavviket opp. Resultatene og den tidligere forskningen tyder på at både forsøket og appene er egnet til undervisning på videregående skoler.

Studentene ble gitt et tilbakemeldingsskjema (se vedlegg 3) og tilbakemeldingene var hovedsakelig positive. De likte at de jobbet med fargerike løsninger, at de analyserte et stoff de var kjent med fra tidligere, og de syntes det var spennende å gjøre forsøket med en app. Flere nevnte begrepet «black box», som referer til et system hvor det ikke forstås hvordan det som puttes inn henger sammen med det som kommer ut. Asheim, et al. (2014) brukte begrepet for å forklare hvorfor de hadde produsert et mulig alternativ i legokolorimeteret. Studentene påpekte at med mobilapp trengte det ikke å være like fremmed.

De som brukte Color Assist Lite påpekte også at de likte at resultatene ble lagret så de kunne finne dem igjen senere. Det var mye positivitet rundt hvor raskt og enkelt det var å bruke appene. En app som ChemEye, som er mer komplisert og utfører beregningene i appen, ville kanskje ikke fått samme tilbakemelding. En kan tenke seg at det ville vært fler kommentarer rundt hvordan den utførte målinger, eller at den ikke tillater å vise kalibreringskurven igjen hvis den ble lagret. De som ikke tok skjermbilde i tide ville da måtte gjøre hele analysen på nytt, med mindre noen andre var villige til å dele sitt skjermbilde. Det kan også tenkes at den ville fått lignende tilbakemelding som Colormeter Free og Color Assist Lite, fordi de fortsatt syns den er enklere enn et spektrofotometer.

Studentene var ikke like positive til nøyaktigheten til forsøket. Flere påpekte at de ikke trodde resultatet kom til å bli like bra som hvis de brukte et spektrofotometer, én av kalte til og med resultatet «så som så». To av dem påpekte at RGB-verdiene var litt forskjellig hvis de målte igjen, og konkluderte med at det medførte «lav repeterbarhet», men det er ikke sikkert om de hadde endret på fokus før de gjorde det igjen eller ikke. Og den ene spesifiserte at endringene var på rundt 5 enheter, som ikke er en betydelig stor endring. Asheim, et al. (2014) rapporterte det samme, at noen elever foretrekker de vanlige brukte moderne instrumentene, og at de ikke stoler på kvaliteten til enklere metoder. Ideelt ville forsøket bli utført med en lærer som kan ta tak i slike klager i etterkant eller samtidig, og vise hvor like resultatene var mellom appene og SpectroVis.

Noen få av studentene var ikke tilfredsstillt med forsøksbeskrivelsen og etterlyste en skriftlig SOP for hvordan appene ble brukt. Det er inkludert i lærerveiledningen (se vedlegg 4), og det var med vilje at det ikke ble inkludert i undervisningen. Tanken var at det ville være

mer kontroll over instruksjonene hvis det kunne gjøres en felles demonstrasjon, og at det lett kunne blitt forvirrende hvis de bare leser på forhånd. Men det ble observert at selv muntlig forklaring og demonstrasjon så var det noen som syntes det var vanskelig og ikke fikk med seg alle detaljene. Det kan hende at en kombinasjon hadde vært best, slik at de kunne lese selv og se skjermbilder på forhånd, og så kunne lærerdemonstrasjonen hjulpet til. Det var en god tilbakemelding, og det kan være lurt for lærere å legge ved den delen av lærerveiledningen når de deler ut forsøksbeskrivelsen.

Det som ble etterlyst mest var at det burde vært med en del der de ble bedt om å gi et anslag på hva konsentrasjonen til den ukjente prøven kan være ut ifra øyemål. Det ble lagt til i forsøksbeskrivelsen.

Alt i alt var det gode tilbakemeldinger, både positive og negative. Noen av studentene virker farget av fordommer rundt hvor gode mobilapper er sammenlignet tradisjonell instrumentering, men likevel ble resultatene gode. Endringer på forsøksbeskrivelsen ble gjort basert på tilbakemeldingene, og det tenkes at forsøket har blitt forbedret av utprøvingen. Det er åpent for at lærere kan gjøre videre endringer etter behov, og i denne masteroppgaven er det inkludert noen forslag der det er relevant. Erfaringene rundt utprøvingene, resultatene fra målingene, og tilbakemeldingene tyder på at forsøket er egnet til bruk i undervisningssituasjoner med elever som ikke har brukt appene før.

4 Konklusjon og videre arbeid

I løpet av arbeidet med denne masteroppgaven ble de fire hovedmålene grundig jobbet med. Det danske forsøket ble oversatt, testet ut, og tilpasset til bruk i norsk skole, mobilapper til både android og iPhone ble testet med forsøket for å se hvor godt de egnet seg, ulike tetyper og matvarer ble analysert for å finne hvilke som egnet seg som prøve, og forsøket og appene ble utprøvd med studenter på universitetet.

Forsøket ble oversatt, og endringer ble gjort til prøven lagd fra «Earl Grey – Twinings of London» ga resultater rundt 0,1 mM ved hver gjennomføring. Det ble observert at ved filtrering med filterpapir ble rosafargen på prøven lysere, og det tok omtrent to timer før absorbansen stabiliserte seg ved et område hvor den kunne analyseres. Det samme skjedde ikke hvis glassull ble brukt til filtrering slik som i den originale teksten. Ved å bytte ut byrette med gradert pipette ble det enklere å lage kalibreringsløsningene, og oppmålingen ble enklere ved å endre på volumene og konsentrasjonene til kalibreringsløsningene. Men appene hadde vanskelig for å måle forskjell mellom den tynneste kalibreringsløsningen og blank prøve.

Både tillagingsfasen og analysefasen er veldig tidkrevende prosesser, de blir raskere å gjennomføre med erfaring, men elevene vil sjelden ha erfaring med forsøket fra før, så det er lurt å anta at forsøket vil ta mer tid enn det vil for en lærer som har gjort det mange ganger fra før. Det er derfor behov for å utføre forsøket enten på to forskjellige labdager, eller i løpet av en fagdag. Hvis forsøket gjøres på en fagdag må det være i hvert fall to timer mellom de to øktene slik at absorbansene til løsningene har rukket å stabilisere seg. Alternativt kan løsningene lages ferdig av lærer på forhånd.

Videre arbeid med tilpasninger kan fokusere på om konsentrasjonene på kalibreringsløsningene kan økes slik at appene lettere registrerer forskjell. Det kan da hende at mengdene tepulver som må brukes må økes for at konsentrasjonen skal øke tilsvarende. Det kan også arbeides mer med ulike masser tepulver, siden det kun ble brukt 0,5 g i løpet av arbeidet med denne oppgaven. Det burde også ses på hvorfor absorbansen endret seg ved filtrering med filterpapir, og at det måtte ventes til absorbansen økte igjen, mens det samme ikke skjedde med glassull, selv om begge målte samme absorbans senere.

Appene Colormeter Free, Color Assist Lite, og ChemEye kan brukes til det tilpassede forsøket der man bestemmer konsentrasjonen av mangan i te, og trolig i andre kolorimetrisk

analyser også. Colormeter Free og Color Assist Lite ga mest nøyaktige og presise resultater, og er de appene det er enklest å bruke. De er raske på å utføre målinger, men siden de ikke utfører noen beregninger selv krever det mer regning fra elevenes side. At de ikke gjør beregningene selv gjør også forklaringene og demonstrasjonen fra læreren mye enklere, siden det er mindre å forklare når metoden er mindre kompleks. ChemEye derimot er mer komplisert, og har større mulighet for brukerfeil. I en undervisningssituasjon kan det være lurt å passe på at de appene man forklarer er så like som mulig, så det anbefales at enten bare ChemEye brukes, eller bare Colormeter Free og Color Assist Lite. Det vil være opp til læreren om de foretrekker at elevene gjør så mye som mulig selv, eller om de skal få resultatene presentert rett fra appen.

Appen Photometrix både android og iPhone viste seg å være uaktuell. Android-varianten kunne være presis noen dager, men veldig upresis andre dager, og iPhone-varianten ga konsekvent negativt resultat. Appen fungerer godt til å lage kalibreringskurver, men den burde ikke brukes til å måle ukjente prøver. Dette gikk imot tidligere forskning (Böck, et al., 2020).

Det kan jobbes mer med å finne flere apper som egner seg til bruk i forsøket. Color Grab og Color Picker fikk gode resultater i tidligere forskning (Peng, et al., 2019; Kehoe & Penn, 2013) så det kan være interessant å studere dem mer og vurdere egnetheten deres til bruk i dette forsøket. I tillegg burde Photometrix testes mer og med flere av alternativene dens. Problemene med appen som ble oppdaget i løpet av arbeidet med denne masteroppgaven ble ikke løst, og det kan hende det fins løsninger i appen som bare ikke ble oppdaget. I tillegg burde det testes om appene fungerer like godt med andre kolorimetriske analyser, som for eksempel de ifra de tre læreverkene som ble presentert i 1.5 (Knutsen, et al., 2019), (Steen, et al., 2011), (Brandt & Hushovd, 2012).

Det ser ut til at de fleste tetyper kan brukes til forsøket, spesielt «Earl Grey – Twinings of London» ble testet mange ganger, med tilsvarende likt resultat hver gang. Alle tetyperne fra merket «Lipton» som ble testet egner seg også. Svart te var lettere å veie opp enn grønn te. Andre matvarer fungerte ikke med metoden, selv ikke ved firdobling av oppveid masse.

Det kan også være interessant å finne andre matvarer som er egnet for analyse med metoden. Da må sannsynligvis variablene endres på, alt fra hvor mye som veies opp, hvor stor digelen må være, hvor lenge den trenger å oppvarmes, hvor mye syre som trengs til kokingen

og hvor mye perjodat som trengs til oksidasjonen, og til og med hvor store mengder vann som trengs til fortynningen. Arbeidet som må utføres for å finne verdier som gir repeterbare resultater og som gjør at forsøket kan utføres med andre matvarer er nyttig, men det ville vært for omfattende for denne masteroppgaven.

Det tilpassede forsøket fungerte godt ved utprøving med elever, og de fleste studentene fikk til å svare riktig på alle spørsmålene i rapporten. Ikke alle stolte på resultatene fra appen, og hadde foretrukket å bruke et mer komplisert instrument, mens andre likte at de kunne bruke mobilen. Studentene ga god tilbakemelding på at appene var raske og enkle å bruke. Kun Colormeter Free og Color Assist Lite ble testet ut med studenter.

Videre kan det forskes på om andre apper gir like gode resultater når elever/studenter bruker dem. Det hadde vært interessant å se hvordan det gikk hvis de utførte analysen med en mer komplisert app som ChemEye.

Det er mye som ble lært og bearbeidet i løpet av arbeidet med denne masteroppgaven, og det er mye mer som kan gjøres.

Litteraturliste

- Apotek 1. (2020, Oktober). *Mangan*. Hentet fra Apotek1: <https://www.apotek1.no/kost-og-ernaering/mineraler/mangan>
- Asheim, J., Kvittingen, E. V., Kvittingen, L., & Verley, R. (2014, Juli 08). A Simple, Small-Scale Lego Colorimeter with a Light-Emitting Diode (LED) Used as Detector. *Journal of chemical education*, *91*(7), ss. 1037-1039.
- Brandt, H., & Hushovd, O. T. (2012). *Kjemi 2: Studiespesialiserende utdanningsprogram*. Oslo: H. Aschehoug & Co. (W. Nygaard).
- Braun, R. D. (2016, April 1). *Chemical Analysis*. Hentet fra Encyclopedia Britannica: <https://www.britannica.com/science/chemical-analysis>
- Britannica, T. Editors of Encyclopaedia. (2014, Februar 17). *Colorimetry*. Hentet fra Encyclopedia Britannica: <https://www.britannica.com/science/colorimetry>
- Britannica, T. Editors of Encyclopaedia. (2009, Januar 28). *Spectrophotometry*. Hentet fra Encyclopedia Britannica: <https://www.britannica.com/science/spectrophotometry>
- Böck, F. C., Helfer, G. A., Costa, A. B., Dessuy, M. B., & Ferrão, M. F. (2020, Desember). PhotoMetrix and colorimetric image analysis using smartphones. *Journal of chemometrics*, *34*(12), ss. 1-19.
- Campos, A. R., Knutson, C. M., Knutson, T. R., Mozzetti, A. R., Haynes, C. L., & Penn, R. L. (2016, Februar 9). Quantifying Gold Nanoparticle Concentration in a Dietary Supplement Using Smartphone Colorimetry and Google Applications. *Journal of Chemical Education*, *93*(2), ss. 318-321.
- Deepak. (2013). *Comparison between Single Beam and Double Beam Atomic Absorption Spectrometer Systems*. Hentet fra URL: <https://lab-training.com/2013/12/28/comparison-between-single-beam-and-double-beam-atomic-absorption-spectrometer-systems/>
- EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). (2013). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for manganese. *EFSA journal*, *11*(11).
- Gee, C. T., Kehoe, E., Pomerantz, W. C., & Penn, R. L. (2017, Juli 11). Quantifying Protein Concentrations Using Smart phone Colorimetry: A New Method for an Established Test. *Journal of Chemical Education*, *94*(7), ss. 941-945.
- Graybeal, J., Hurst, G. S., Stoner, J. O., & Chu, S. (2021). *Spectroscopy*. Hentet fra Encyclopedia Britannica: <https://www.britannica.com/science/spectroscopy>

- Harris, D. C. (2016). Fundamentals of Spectrophotometry. I D. C. Harris, *Quantitative Chemical Analysis 9th ed.* (ss. 432-460). New York: W. H. Freeman and Company.
- Haugen, M., Frøyland, L., Henjum, S., Løvik, M., Stea, T. H., Strand, T. A. Parr, C. L., & Holvik, K. (2019, Februar 26). Assessment of Dietary Intake of Manganese in Relation to Tolerable Upper Intake Level. *European Journal of Nutrition & Food Safety*, ss. 91-93.
- Hirsch, R. (2015). Color Photography Concepts. I R. Hirsch, & G. Erf, *Exploring color photography: From film to pixels (6th ed.)*. New York: Focal Press.
- Hollinger, C. (2011, September). SpectroVis Plus Spectrophotometer. *The American Biology Teacher*, 73(7), s. 432.
- Hope, S. J., Daniel, K., Gleason, K. L., Comber, S., Nelson, M., & Powell, J. J. (2006, Januar). Influence of tea drinking on manganese intake, manganese status and leucocyte expression of MnSOD and cytosolic aminopeptidase P. *European journal of clinical nutrition*, 60(1), ss. 1-8.
- Kehoe, E., & Penn, R. L. (2013, September 10). Introducing Colorimetric Analysis with Camera Phones and Digital Cameras: An Activity for High School or General Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 90(9), ss. 1191-1195.
- Knutsen, H., Tveit, S., Vestli, K., & Edvardsen, H. (2019). *Kjemien Stemmer 2*. Oslo: Cappelen Damm.
- Lande, B., & Svihus, B. (2018, Oktober 4). *Mineraler og sporstoffer*. Hentet fra Store medisinske leksikon: https://sml.snl.no/mineraler_og_sporstoffer
- Lande, B., & Svihus, B. (2020, August 12). *Næringsstoffer*. Hentet fra Store medisinske leksikon: <https://sml.snl.no/n%C3%A6ringsstoffer>
- Nassau, K. (2020, Januar 7). *Colour (optics)*. Hentet fra Encyclopedia Britannica: <https://www.britannica.com/science/color>
- Parbo, H., Nyvad, A., & Mortensen, K. K. (2015). Bestemmelse af mangan i te - spektrofotometri. I H. Parbo, A. Nyvad, & K. K. Mortensen, *Kend Kemien 2*. Gyldendal.
- Peng, B., Zhou, J., Xu, Jiamei, Fan, M., Ma, Y., Zhou, M., Li, T. & Zhao, S. (2019, September). A smartphone-based colorimetry after dispersive liquid-liquid microextraction for rapid quantification of calcium in water and food samples. *Microchemical journal* 149, s. 104072.
- Sajed, S., Vafaei, K., Arefi, F., Fathollahzadeh, M., Kolahdouz, M., Sadeghi, M. A., & Neshat, M. (2019, Juli 24). Instant Sensitive Measurement of HG Concentration Using Lab-on-a-Phone Colorimetry. *Physica Status Solidi. A, Applications and Material Science*, 216(14), s. 1800871.

- Steen, B., Fimland, N., & Juel, L. (2011). *Aqua 2: Kjemi 2*. Oslo: Gyldendal undervisning.
- Utdanningsdirektoratet. (2006). *Læreplan i kjemi - programfag i utdanningsprogram for studiespesialisering (KJE1-01)*. Hentet fra Udir: <https://www.udir.no/kl06/KJE1-01/Hele/Kompetansemaal/kjemi-2>
- Utdanningsdirektoratet. (2020). *Kompetansemål og vurdering*. Hentet fra Udir: <https://www.udir.no/lk20/kje01-02/kompetansemaal-og-vurdering/kv532>
- Vernier. (2021). *Go Direct(R) SpectroVis(R) Plus Spectrophotometer*. Hentet fra Vernier: <https://www.vernier.com/product/go-direct-spectrovis-plus-spectrophotometer/>

Vedlegg 1

Bestemmelse av mangan i te med spektrofotometri

Innledning

Dette forsøket går ut på å kvantitativt måle mengden mangan i te ved å utføre en spektrofotometrisk analyse av en løsning. Løsningen lages ved å dekomponere pulveret i en tepose, løse det opp i syre, og så oksidere manganforbindelsene i løsningen til permanganat. Denne løsningen refereres til som en teprøve. Utføringen er todelt, og består av én økt der teprøvene lages, og én økt der teprøvene måles.

Målingene utføres med en mobilapp, Colormeter Free (android), eller Color Assist Lite (iphone). Bearbeiding av resultater og utregninger kan gjøres med Microsoft Excel eller Geogebra.

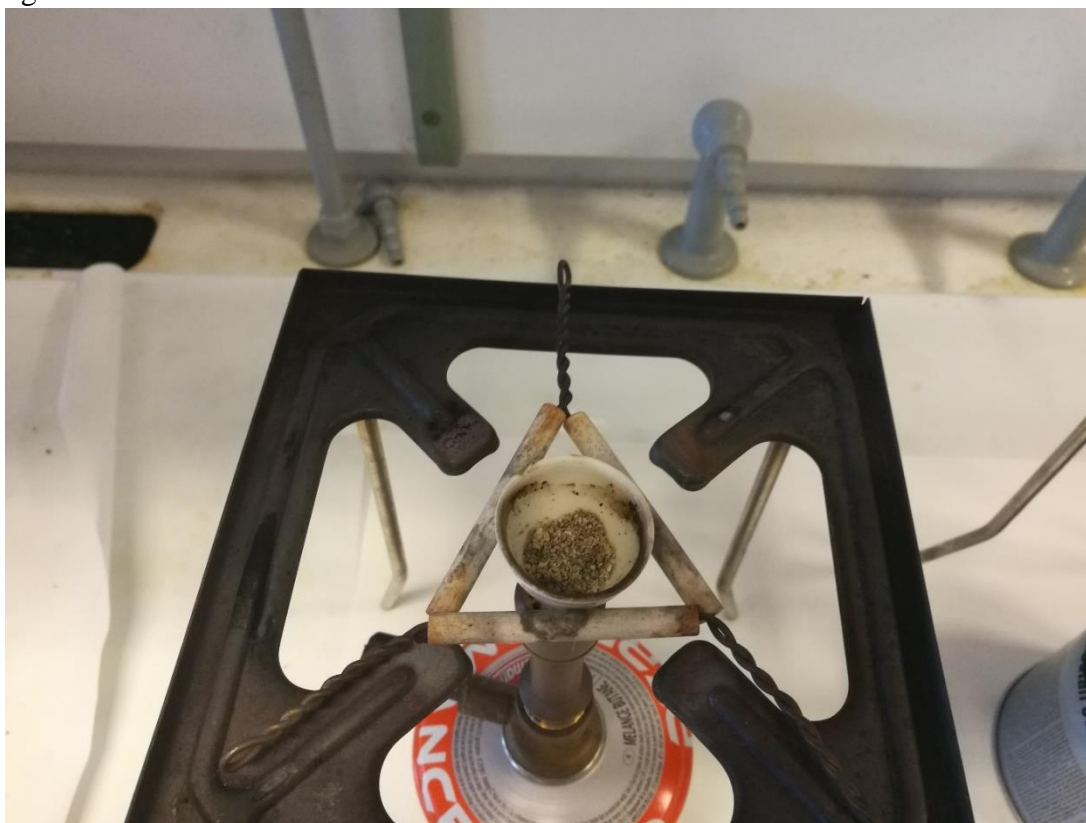
Utstysliste

- Porselensdigel (liten)
- Tepose
- Vekt
- Gassbrenner
- Fyrstikker
- Stativ
- Digeltrekant
- 100mL begerglass (høyt og tynt)
- Målesylinder (min. 25mL)
- Konsentrert $\text{H}_3\text{PO}_4(\text{aq})$ (85%)
- 2M $\text{HNO}_3(\text{aq})$
- $\text{Na}_2\text{SO}_3(\text{s})$
- $\text{KIO}_4(\text{s})$
- Trakt
- Filtrerpapir
- 100mL målekolbe
- 50mL målekolber (4 stk)
- 0,001M $\text{KMnO}_4(\text{aq})$

- Gradert pipette (min. 10mL)
- Kyvetter (6 stk.) + stativ
- «Mørkerom» med baklys
- Smarttelefon med installert app: Colormeter Free (android) eller Color Assist (iphone)

Økt 1: Tillaging av teprøver

- Tøm alt pulveret fra en tepose over i et veieskip og noter totalvekten til pulveret
- Vei opp 0,5g av tepulveret i en porselensdigel
- Plasser digelen oppi digeltrekanten på stativet og begynn oppvarmingen med gassbrenneren (følg med på styrken, hvis det stikker flamme opp ifra digelen er varmen for sterk)
- Når nesten alt pulveret i digelen er hvitt, kan gassen skrur av. Dette kan ta mellom 10 og 15 minutter



- Mål opp 10mL konsentrert $\text{H}_3\text{PO}_4(\text{aq})$ (85%) og 25mL, 2M $\text{HNO}_3(\text{aq})$
- Vei opp 0,1g $\text{Na}_2\text{SO}_3(\text{s})$ og 1g $\text{KIO}_4(\text{s})$
- Bland syrene $\text{H}_3\text{PO}_4(\text{aq})$ og $\text{HNO}_3(\text{aq})$ i et høyt og tynt 100mL begerglass, tilsett deretter $\text{Na}_2\text{SO}_3(\text{s})$ og løs det opp i syreblandingen ved å røre eller riste rolig
- Legg den nedkjølte digelen med asken fra teen oppi syreblandingen, pass på at væsken rekker høyere enn digelen når den står på bunnen. Rør eller rist rolig for å spre asken bedre ut i løsningen
- Varm opp over flamme til det har småkøkt i omtrent fem minutter, pass på at det ikke koker voldsomt

- Etter omtrent fem minutter med koking kan $\text{KIO}_4(\text{s})$ tilsettes, rør eller rist rolig for å spre pulveret godt rundt i løsningen
- Fortsett å koke til løsningen endrer farge fra blank til rosa, dette kan ta alt fra 1 – 10 minutter
- La den rosa løsningen avkjøles
- Filtrer løsningen gjennom trakt og filterpapir oppi en 100mL målekolbe og fyll med vann til merket. Dekk til toppen og snu kolben opp-ned og tilbake igjen omtrent 10 ganger så løsningen blir homogen
- Det kan hende løsningen har mistet mye rosafarge under filtreringen, men fargen vil bli dypere etter et par timer
- Vask utstyret. Permanganat skal i avfallsdunk for metallioner, og digelene trenger stålull, såpe, og sannsynligvis en tur i oppvaskmaskin før de blir ordentlig rene

Økt 2: Analyse av teprøver

- Lag kalibreringsløsninger av permanganat ($\text{MnO}_4^- (\text{aq})$). Bruk graderte pipetter og mål opp volumene ifra tabellen under til å få riktige konsentrasjoner. Bruk 50mL målekolber. Etter tilsatt $\text{MnO}_4^- (\text{aq})$ -løsning fylles målekolben med destillert vann til merket

$V_{0,001\text{M KMnO}_4}$ (mL)	$[\text{MnO}_4^-]$ (mM)
	0,02
	0,06
	0,1
	0,2

- Finn fram kyvettene og et stativ (vær obs på å ikke berøre de blanke sidene av kyvettene)
- Skyll kyvettene med løsningene de skal tilføres, og tilfør nok løsning til at det er omtrent 1cm ifra toppen av løsningen til toppen av kyvetten.
- Plasser kyvettene i et stativ, husk blank prøve med kun destillert vann
- Bruk øyemål for å anslå konsentrasjonen på den ukjente løsningen
- Legg stativet på en laptop (papir på tastaturet i tilfelle søl) med lys, hvit bakgrunn, og dekk til med en pappeske («mørkerom»). Pass på at det er blank side som peker mot deg
- Åpne opp én eller begge appene og noter den grønne RGB-verdien (dvs. G, den midterste) for hver av løsningene. Pass på å bare fokusere kamera én gang.
- Regn ut absorbanse til permanganatløsningene ($-\log\left(\frac{G_{\text{løsning}}}{G_{\text{blank}}}\right)$), og lag en kalibreringskurve (lineær regresjon). Bruk formelen til å beregne konsentrasjonen i teprøven.
- Utstyret kan ryddes på plass og vaskes. Permanganatløsninger må tømmes i avfallsdunk for metallioner.

Vedlegg 2

Rapport & spørsmål

- Hva var RGB-verdiene og absorbansene til kyvettene?

Kyvette	G (grønn RGB-verdi)	Absorbans
Blank		---
0,02mM		
0,06mM		
0,1mM		
0,2mM		
Teprøve		

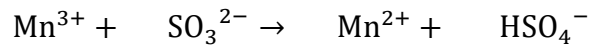
- Inkluder plottet av kalibreringskurven og ligningen dens:

$$y = \underline{\hspace{15em}}$$

- Hva var konsentrasjonen av permanganat i teprøven? Sammenlign med anslaget fra måling med øyne.

$$c = \underline{\hspace{15em}}$$

- Manganet i te kommer i formene Mn^{3+} og Mn^{2+} . Først reduseres Mn^{3+} til Mn^{2+} , og når alle manganforbindelsene befinner seg i samme form, tilsettes perjodat (IO_4^-) som oksiderer manganforbindelsene til MnO_4^- . Balanser redoksreaksjonslikningene:



- Gå ut ifra at alt manganet ble oksidert til permanganat, og at ingenting ble igjen under filtreringen. Finn stoffmengden mangan som var til stede i tepulveret som ble brent:

$$n = \underline{\hspace{2cm}}$$

- Finn massen mangan som var til stede i tepulveret som ble brent:

$$m = \underline{\hspace{2cm}}$$

- Finn masseforholdet ($m_{\text{mangan}}/m_{\text{tepulver}}$):

$$m_{\text{mangan}}/m_{\text{tepulver}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

- Hva var totalmassen til pulveret i teposen?

$$m = \underline{\hspace{2cm}}$$

- Finn den totale massen av manganforbindelser i hele teposen:

$$m = \underline{\hspace{2cm}}$$

- Anbefalt daglig inntak av mangan for voksne 3mg. Hvor mange kopper te må du drikke for å oppfylle inntaket?

Vedlegg 3

Tilbakemelding

- Hvordan var det å bruke appene? Nevn noen positive sider, og noen negative:

- Hvilke positive sider har forsøket?

- Er forsøksbeskrivelsen detaljert nok? Noen forslag til endringer?

- Fikk du til å bestemme konsentrasjonen av mangan i te ved hjelp av mobil? Hvis ikke, hva var problemet?

- Andre tilbakemeldinger:

Vedlegg 4

Lærerveiledning

Teprøver

Dette labforsøket ble testet ut grundig i løpet av masteroppgaven «Kolorimetrisk analyse med mobilapp i kjemiundervisning» (Øyen, 2021). Forsøket ble testet ut med ulike tetyper og matvarer, og for hver av dem ble det målt opp samme verdier som beskrevet i selve forsøket. Absorbansene til løsningene som ble laget ble sammenlignet med absorbansene til kalibreringsløsningene. Ingen av matvarene målte høy nok absorbans, men de fleste tetyper var godt innenfor grensene til kalibreringsløsningene. En liste over tetyper som kan måles med forsøket vises under.

- Earl Grey – Twinings of London
- Lipton – Darjeeling, Black Tea
- Lipton – Green Tea Citrus, The vert agrumes
- Lipton – Blue Fruit Tea
- Lipton – Lemon Tea, thé citron
- Lipton – Vanilla Tea
- Lipton – Forest Fruits Tea

Gjennomføring

Forsøket ble delt i to økter. Begge øktene tar ganske lang tid å gjennomføre, spesielt for elever som ikke har gjort det før, og i tillegg må det være en pause i mellom dem. Når løsningene har blitt varmet opp skifter de farge til rosa, men mye av den rosafargen forsvinner igjen etter filtrering. Løsningen vil da blir tynnere enn den tynneste kalibreringsløsningen. Men løsningen vil også gradvis endre farge til å bli dypere og dypere, og det tar et par timer før fargen har stabilisert seg. Når fargen har sluttet å endre seg vil absorbansen være innenfor grensene satt av absorbansene til kalibreringsløsningene, og den vil være stabil i opptil 100 timer senere. De to øktene må derfor utføres enten i løpet av en fagdag med en to timer lang pause i mellom dem, eller over to forskjellige dager på samme uke.

Et annet alternativ for utføring av økta er å sløyfe tillaginsøkta. Hvis læreren lager noen løsninger på forhånd vil det være mulighet for at elevene bare gjør analyseøkta. Ved å lage prøver på forhånd som elevene kan måle, vil mye tid kunne spares, på kost av at elevene ikke lenger får målt samme prøve som de greide å lage selv. Ved å gi elevene ferdiglagde prøver vil det også være mindre sannsynlighet for at elever får blanke løsninger som de ikke kan

måle absorbans på, som gjør at fokuset holder seg på å utføre en kvantitativ måling med ukjent utstyr. Det er opp til hver individuelle lærer å velge om de vil inkludere tillagingsøkta eller ikke.

Måling av lysintensiteten

Målingen av RGB-verdiene skjer i et «mørkerom». Som forklart i gjennomføringen lages dette ved å legge en pappeske over kyvettene mens det er baklys. Skru på en laptop og åpne opp en sterk hvit bakgrunn (for eksempel en blank powerpoint slide). Legg papir over tastaturet for å unngå at søl vil ødelegge maskinen. Putt kyvettene på et stativ og plasser stativet omtrent midt på maskinen. Vær obs på at det er blank side man skal ta bilde av, og derfor må kyvettens blanke side peke mot brukeren og kamera. Dekk så til med en pappeske, og ha en åpning hvor det er mulig å lene seg under for å kunne ta bildene. Bildet under viser hvordan det ser ut under esken.



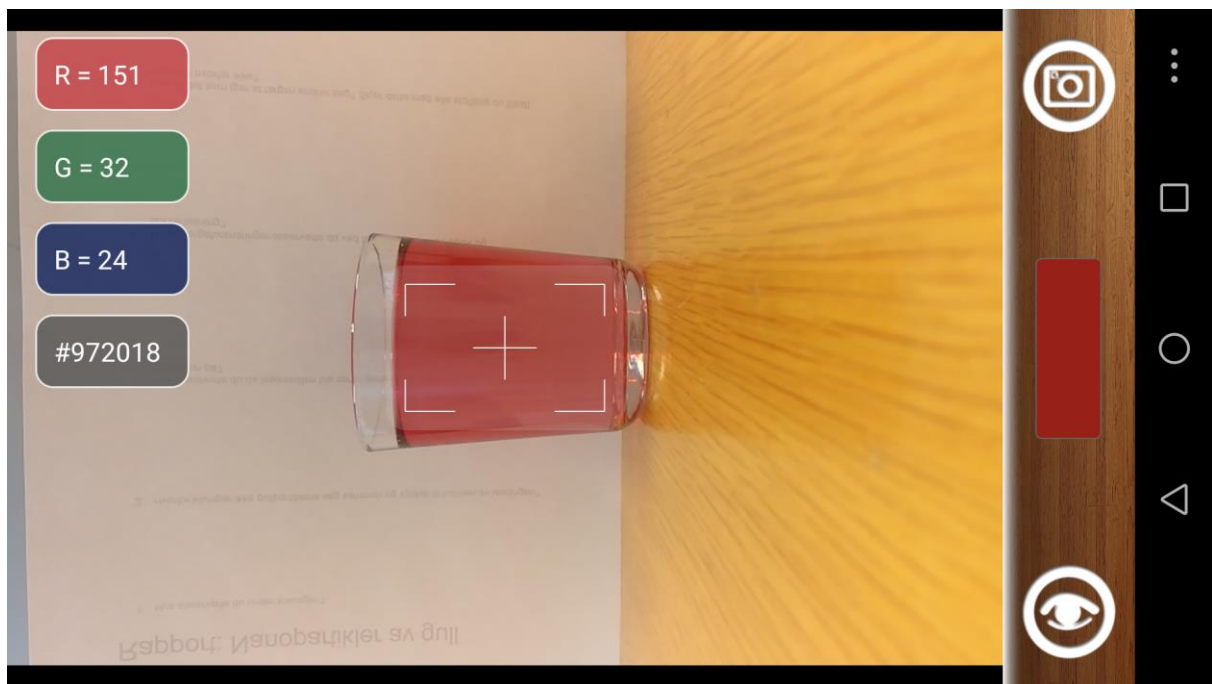
Appene måler fargeintensitet og oppgir RGB-verdier. Permanganatløsninger er rosa, og har maksimal absorpsjon omtrent 520nm, som vil si grønt lys. Dette betyr at jo høyere konsentrasjonen er og jo sterke rosafargen er, desto lavere vil G-verdien (G for grønn) være. Appene oppgir R(rød)- og B(blå)-verdier også, men de er uinteressante, noter kun G-verdien.

Hvordan bruke de ulike appene til å måle lysintensitet

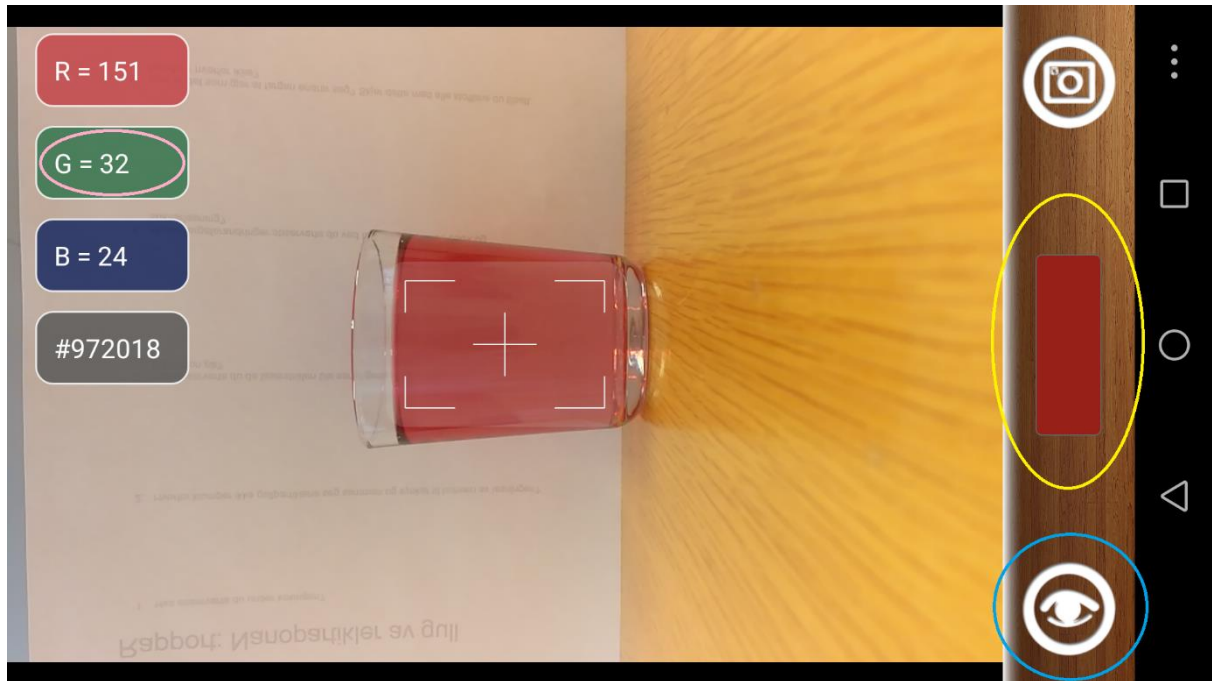
Det har blitt testet ut ulike apper på både iPhone og android, og de fungerer litt forskjellig. De to appene som beskrives her, og som ble testet ut mest er Colormeter Free (android), og Color Assist Lite (iPhone). Funksjonene til appene vises med skjermbilder under en analyse av bringebærsaft.

Colormeter Free

Mobilappen Colormeter Free er tilgjengelig på android-telefoner. Når den åpnes ser den ut som på bildet under. Bildet er snudd sidelengs.



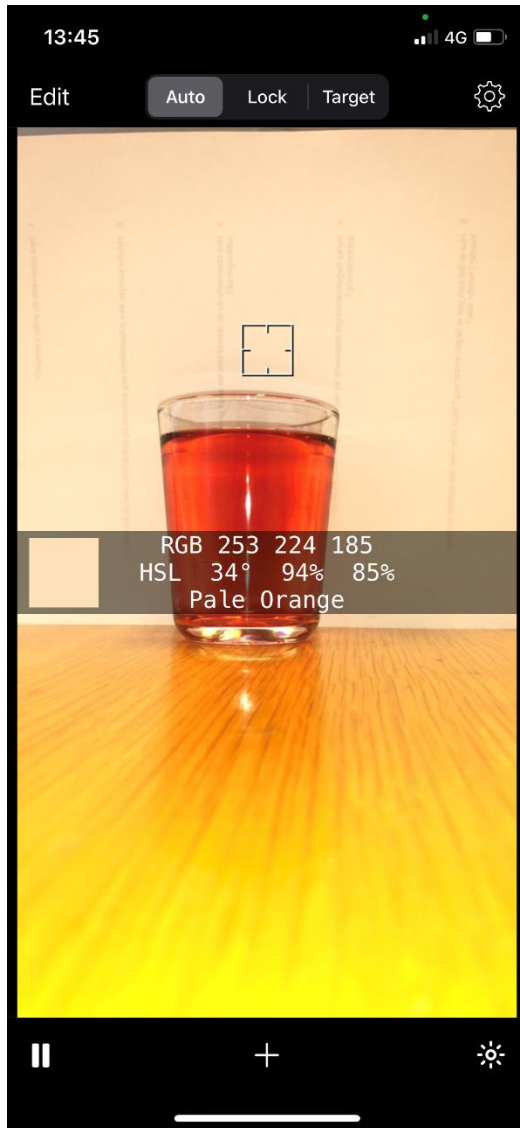
Bildet vises på nytt under med fargede sirkler rundt de viktige delene. Røde, grønne, og blå RGB-verdier vises på toppen av skjermen, dvs lengst til venstre på bildet, og i midten vises det hva som siktes på og analyseres. Ettersom siktet pekes på forskjellige ting vil RGB-verdiene variere for å oppgi korrekte verdier. Analyseobjektet i forsøket som er beskrevet er rosafarget, så grønn RGB-verdi er den eneste som er relevant, den er markert med rosa sirkel i bildet under. Nederst på skjermen er det ikoner som er nødvendige til analysen. Ikonet av et øye (blå sirkel) bestemmer fokus, trykk på det og kamera vil fokusere på det som er i midten av siktet. RGB-verdiene vil stadig endres, men endringen kan stoppes ved å trykke på knappen i midten nederst (gul sirkel), det vil da være enkelt å notere RGB-verdiene.



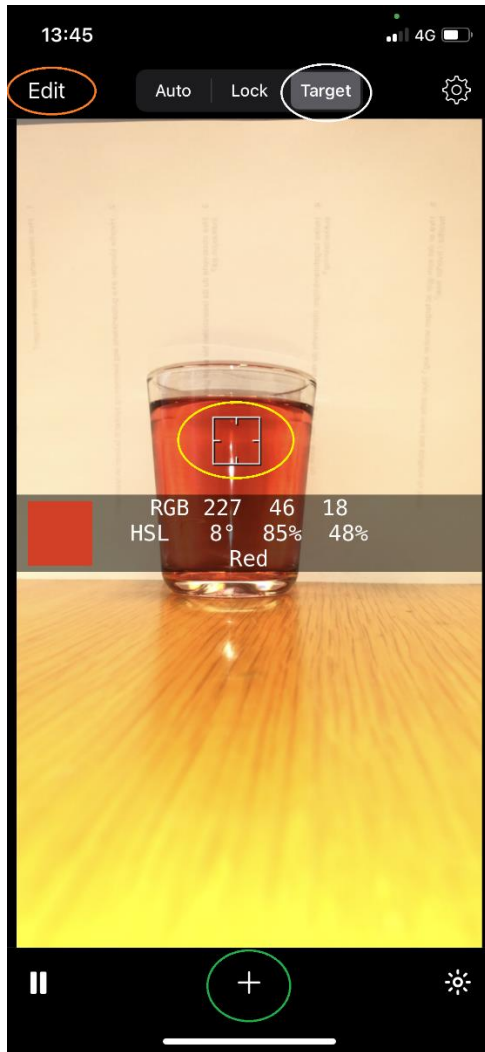
Appen sparer ikke på noen av verdiene som blir målt. Det er viktig å presisere for elevene at de må notere hver verdig før de går videre til neste. En mulighet er hvis en elev sitter under «mørkerommet» og måler, mens en annen elev noterer verdiene hen blir fortalt.

Color Assist Lite

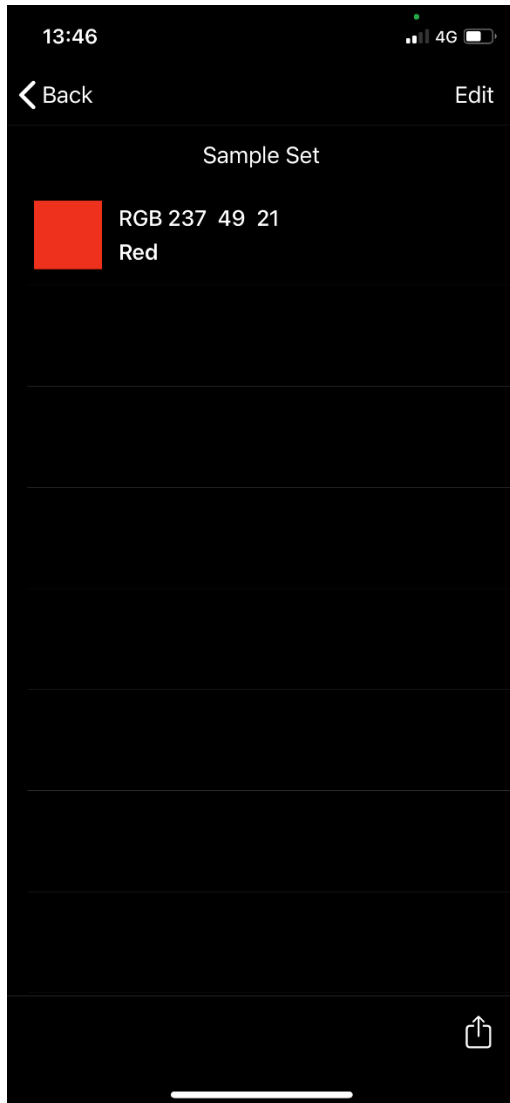
Mobilappen Color Assist Lite er tilgjengelig på iPhone-telefoner. Når den åpnes ser den ut som på bildet under.



Standardinnstillingene til appen er at den automatisk regulerer fokus, og den måler en spesifikk del av skjermen (hvit firkant). På midten viser den RGB-verdier i rekkefølgen; rød, grønn, og blå. Et nytt bilde vises under med fargede sirkler på delene som blir trykket på i løpet av utføringen.



Ved å trykke på «Target» (hvit sirkel) kan brukeren velge en spesifikk del av skjermen som skal fokuseres på og analyseres. Siktet (gul sirkel) flyttes til den delen av skjermen som brukeren trykker på. Fokus endres ikke igjen etter dette hvis mobilen flyttes, så det er viktig å trykke på analyseobjektet slik at det er det som er i fokus og ikke noe annet. Målingene kan lagres ved å trykke på «+» knappen (grønn sirkel), og alle målingene som er lagret kan bli sett på ved å trykke på «Edit» (oransje sirkel). Appen skifter da til en ny skjerm som vises på bildet under.



RGB-verdier for hver måling vises i samme rekkefølge som de ble lagret. Grønn RGB-verdi er i midten.

Bruk av verdier

De grønne RGB-verdiene som har blitt målt kan brukes til å bestemme absorbans og konsentrasjon ved å plote verdiene inn i et program som Microsoft Excel eller Geogebra. Husk at det er nødvendig med en referanseløsning for å utføre beregningene.

Vedlegg 5

Risikovurdering av masterprosjekt

2020-2021	Navn på studenter: Håkon Øyen
Forsøk: Kolorimetrisk bestemmelse av mangan i te med smarttelefonkamera (<i>fra: Kend Kemien 2</i>)	

Kjemikalie/ Arbeidsoperasjon	Risiko	Hva kan gjøres for å forhindre uønskede hendelser	Hva kan gjøres for å redusere konsekvensene hvis noe går galt
Kaliumpermanganat	Kan forsterke brann; oksidierende. Farlig ved svelging. Meget giftig, med langtidsvirkning, for liv i vann. Mistenkes å kunne gi fosterskader.	Opptre rolig og konsentrert på lab. Hold unna varme, gnister, eller åpne flammer. Ikke svelg. Kast i designerte avfallsbøtter for uorganisk avfall.	Ved hudkontakt: Ta av forurenset tøy og vask huden grundig med såpe og vann. Ved øyekontakt: Skyll grundig med vann i flere minutter. Ved brann: Slukk med tørr sand, tørr kjemikalie eller alkoholmotstandsdyktig skum. Ved svelging: Unngå brekninger. Kontakt lege.

Kaliumperiodat	<p>Kan forsterke brann; oksidierende.</p> <p>Irriterer huden.</p> <p>Gir alvorlig øyeirritasjon.</p> <p>Kan forårsake irritasjon av luftveiene.</p>	<p>Opptre rolig og konsentrert på lab. Benytt vernebriller og vask hendene etter bruk. Hvis kontaktlinser: Bruk tilpassede vernebriller. Hold unna varme, gnister, eller åpne flammer. Jobb i avtrekk eller unngå å puste inn.</p>	<p>Ved hudkontakt: Ta av forurenset tøy og vask huden grundig med såpe og vann. Kontakt lege ved vedvarende irritasjon.</p> <p>Ved øyekontakt: Skyll grundig med vann i flere minutter. Kontakt lege.</p> <p>Ved brann: Slukk med tørr sand, tørr kjemikalie eller alkoholmotstandsdyktig skum.</p> <p>Ved innånding: Fjern person til frisk luft. Kontakt lege.</p>
Saltpetersyre, 2M	<p>Gir alvorlige etseskader på hud og øyne.</p>	<p>Opptre rolig og konsentrert på lab. Benytt vernebriller og vask hendene etter bruk. Hvis kontaktlinser: Bruk tilpassede vernebriller.</p>	<p>Ved hudkontakt: Ta av forurenset tøy og vask huden grundig med såpe og vann. Kontakt lege ved vedvarende irritasjon.</p> <p>Ved øyekontakt: Skyll grundig med vann i flere minutter. Kontakt lege.</p>
Konsentrert fosforsyre	<p>Gir alvorlige etseskader på hud og øyne.</p>	<p>Opptre rolig og konsentrert på lab. Benytt vernebriller og vask hendene</p>	<p>Ved hudkontakt: Ta av forurenset tøy og vask huden grundig med</p>

		etter bruk. Hvis kontaktlinser: Bruk tilpassede vernebriller.	såpe og vann. Kontakt lege. Ved øyekontakt: Skyll grundig med vann i flere minutter. Kontakt lege.
Natriumsulfitt	Vurdert ikke merkepliktig.	Opptre rolig og konsentrert på lab.	

Vedlegg 6

Rådata

Grønne RGB-verdier fra den tidligste utprøvingen av apper for å lage kalibreringskurver vises i tabell 22 under.

Tabell 22: Grønne RGB-verdier for apper ved tidligste utprøving

	Color assist 1	Color assist 2	Color grab 1	Color grab 2	Colormeter free 1	Colormeter free 2
blank	242	191	255	255	223	224
0,02	227	184	252	255	214	217
0,06	208	164	230	236	198	199
0,1	186	146	208	215	174	178
0,2	144	107	191	177	132	135

Grønne RGB-verdier fra den systematiske gjennomføringen av apper 30.09. vises i tabell 23.

CF=Colormeter Free, CA=Color Assist Lite, x=ukjent prøve

Tabell 23: Grønne RGB-verdier fra systematisk gjennomføring 30.09

	CF1	CF2	CF3	CF4	CF5	CF6	CA1	CA2	CA3	CA4	CA5	CA6
blank	222	224	225	225	226	221	155	141	224	202	235	163
0,02	219	219	219	219	218	217	151	137	219	195	226	158
0,06	205	207	208	206	203	204	140	126	206	183	209	146
0,1	190	188	191	187	183	184	125	111	189	164	188	130
0,2	155	150	152	143	145	140	95	82	149	125	142	98
x	186	192	188	189	186	185	126	113	189	164	188	131

Grønne RGB-verdier fra den systematiske gjennomføringen av apper 6.10. vises i tabell 24.

P(i)=Photometrix (iPhone), P(A)=Photometrix (android), C(i)=ChemEye (iPhone),

C(A)=ChemEye (android)

Tabell 24: Grønne RGB-verdier fra systematisk gjennomføring 6.10

	CF1	CF2	CF3	CF4	CF5	CF6	CA1	CA2	CA3	CA4	CA5	CA6	
blank	219	222	219	226	226	224	241	240	246	244	243	242	
0,02	214	215	216	217	220	216	227	228	236	234	233	231	
0,06	200	201	201	203	208	203	212	212	218	216	216	213	
0,1	181	181	183	185	189	186	192	193	201	199	198	195	
0,2	135	133	142	150	151	148	152	151	159	158	156	152	
x	184	185	192	193	198	194	197	198	205	201	203	200	
		P(i)2	P(i)3	P(i)4	P(i)5	P(i)6					P(A)5		P(A)7
blank		234	236	234	233	234					201		196
0,02		221	227	224	221	221					192		190
0,06		205	208	208	208	206					186		188
0,1		190	192	189	192	188					172		173
0,2		153	155	151	156	147					148		144
x		199	197	195	196	192					171		163
					C(i)5	C(i)6					C(A)5	C(A)6	C(A)7
blank					242	238					223	225	223
0,02					229	229					217	219	217
0,06					212	208					202	204	200
0,1					194	191					186	185	183
0,2					149	150					149	150	146
x					198	194					186	190	188

Grønne RGB-verdier fra den systematiske gjennomføringen av apper 15.10. vises i tabell 25.

Tabell 25: Grønne RGB-verdier fra systematisk gjennomføring 15.10

	CF1	CF2	CF3	CF4	CF5	CF6	CA1	CA2	CA3	CA4	CA5	CA6	
blank	222	223	222	222	220	224	183	184	117	243	247	254	
0,02	219	221	219	219	218	221	178	180	116	238	242	251	
0,06	202	206	203	204	203	205	161	163	104	228	224	234	
0,1	186	189	190	187	188	190	143	146	92	202	204	214	
0,2	148	151	148	149	149	151	105	108	63	149	158	161	
x	191	194	188	189	192	194	149	151	94	202	216	205	
	P(i)1	P(i)2	P(i)3	P(i)4	P(i)5	P(i)6	P(A)1	P(A)2	P(A)3	P(A)4	P(A)5	P(A)6	
blank	233	234	233	232	230	233	196	197	190	192	206	211	
0,02	224	222	223	224	225	223	189	193	189	187	190	204	
0,06	205	206	205	204	208	205	184	181	184	176	171	188	
0,1	185	187	184	187	189	184	175	166	177	175	172	176	
0,2	143	147	143	147	148	151	144	143	155	158	159	150	
x	190	192	192	191	193	192	175	181	185	186	189	171	
	C(i)1	C(i)2	C(i)3	C(i)4	C(i)5	C(i)6	C(A)1	C(A)2	C(A)3	C(A)4	C(A)5	C(A)6	
blank	234	221	217	219	221	219	224	221	217	219	221	219	
0,02	229	218	217	217	220	218	220	218	217	217	220	218	
0,06	208	202	202	204	200	204	202	202	202	202	204	204	
0,1	191	186	186	186	184	188	186	186	186	186	184	188	
0,2	150	149	149	149	145	147	147	149	149	149	145	147	
x	194	187	191	188	188	187	187	187	191	188	188	187	

Grønne RGB-verdier fra den systematiske gjennomføringen av apper 21.10. vises i tabell 26.

Tabell 26: Grønne RGB-verdier fra systematisk gjennomføring 21.10

	CF1	CF2	CF3	CF4	CF5	CF6		CA1	CA2		CA4	CA5	CA6	CA7
blank	224	227	225	226	226	226		252	253		243	248	248	248
0,02	217	218	218	219	218	216		237	238		232	238	238	238
0,06	200	202	203	202	202	201		217	220		213	219	218	221
0,1	183	186	185	187	184	184		197	199		192	201	196	201
0,2	144	147	147	148	145	145		153	162		150	150	147	153
x	194	197	195	196	196	194		209	219		209	208	207	209
	P(i)1	P(i)2		P(i)4	P(i)5	P(i)6	P(i)7	P(A)1	P(A)2	P(A)3	P(A)4	P(A)5	P(A)6	
blank	231	232		234	237	233	235	190	192	191	192	187	189	189
0,02	222	222		223	221	222	229	182	187	190	189	185	188	188
0,06	202	205		206	204	204	207	178	182	181	181	179	180	180
0,1	188	187		191	185	187	185	175	175	167	170	163	175	175
0,2	159	148		152	146	145	147	150	151	152	147	144	153	153
x	200	193		196	195	195	198	171	173	177	174	183	173	173
				C(i)4	C(i)5	C(i)6	C(i)7	C(A)1	C(A)2	C(A)3	C(A)4	C(A)5	C(A)6	
blank				241	241	238	241	220	225	221	225	221	219	219
0,02				227	227	229	227	217	219	217	217	217	219	219
0,06				208	208	208	208	200	200	198	198	198	200	200
0,1				187	191	191	186	183	184	183	182	185	185	185
0,2				141	150	141	143	144	149	144	144	149	144	144
x				203	201	194	199	194	194	193	189	188	189	189

Bestemte konsentrasjoner, gjennomsnittskonsentrasjoner, standardavvik, relative standardavvik, og relativ feil for alle de ukjente prøvene målt i de systematiske gjennomføringene vises i tabell 27 og 28 under. Siden SpectroVis ble brukt som referanse, har den ingen måling for relativ feil.

Tabell 27: Konsentrasjoner, gjennomsnittskonsentrasjoner, standardavvik, relative standardavvik, og relative feil for SpectroVis, Colormeter Free, og Photometrix

	Spectrovis 30.09	Colormeter Free 30.09	Photometrix (A) 30.09 app	Photometrix (A) 30.09 excel	Photometrix (i) 30.09 app	Photometrix (i) 30.09 excel
Gjennomføring 1	0,094398373	0,107806	0,096		-0,029	
Gjennomføring 2	0,094972515	0,087886	0,088		-0,02	
Gjennomføring 3	0,095756789	0,101887	0,1		-0,012	
Gjennomføring 4	0,097601032	0,089193	0,102		-0,18	
Gjennomføring 5	0,095077845	0,092942	0,111		-0,022	
Gjennomføring 6	0,094497919	0,09227	0,091		-0,021	
Gjennomsnitt	0,095384079	0,095330667	0,098		-0,047333333	
Standardavvik	0,001189441	0,007833095	0,008270429		0,065218607	
SRD(%)	1,247001958	8,216762855	8,439213522		-137,7857889	
Feil(%)		0,055996941	2,742513424		-149,6239351	
	Spectrovis 06.10	Colormeter Free 06.10	Photometrix (A) 06.10 app	Photometrix (A) 06.10 excel	Photometrix (i) 06.10 app	Photometrix (i) 06.10 excel
Gjennomføring 1	0,089852454	0,086253	0,089		-0,009	
Gjennomføring 2	0,08822637	0,084125	0,09		-0,019	0,073783
Gjennomføring 3	0,090318583	0,075363	0,13		-0,011	0,08676
Gjennomføring 4	0,090634806	0,079756	0,22		-0,011	0,085505
Gjennomføring 5	0,09022477	0,075993	0,222	0,105312	-0,017	0,086176
Gjennomføring 6	0,090772199	0,076294	0,174		-0,01	0,086636
Gjennomføring 7			0,143	0,130495		
Gjennomsnitt	0,090004864	0,079630667	0,152571429	0,1179035	-0,012833333	0,083772
Standardavvik	0,000929374	0,004618419	0,05535298	0,01780707	0,004119061	0,00560565
SRD(%)	1,032581706	5,799799791	36,28004299	15,1030886	-32,0965822	6,691556138
Feil(%)		11,52626267	69,51464883	30,99680972	-114,2584887	6,92502984
	Spectrovis 15.10	Colormeter Free 15.10	Photometrix (A) 15.10 app	Photometrix (A) 15.10 excel	Photometrix (i) 15.10 app	Photometrix (i) 15.10 excel
Gjennomføring 1	0,091566364	0,084802	0,085	0,084231		0,087971
Gjennomføring 2	0,090383982	0,084879	0,07	0,05647		0,086565
Gjennomføring 3	0,090971728	0,095043	0,152	0,049514		0,082815
Gjennomføring 4	0,090790545	0,092118	0,139	0,01785		0,088779
Gjennomføring 5	0,091570079	0,084283	0,012	-0,00928		0,088851
Gjennomføring 6	0,091824354	0,084933	0,131	0,12008		0,087244
Gjennomsnitt	0,091184509	0,087676333	0,098166667	0,053144167		0,0870375
Standardavvik	0,000555915	0,004671694	0,052980814	0,046072749		0,00224893
SRD(%)	0,609659186	5,328341254	53,97026907	86,693897		2,583863317
Feil(%)		3,847336992	7,657175656	41,71798758		4,547931142
	Spectrovis 21.10	Colormeter Free 21.10	Photometrix (A) 21.10 app	Photometrix (A) 21.10 excel	Photometrix (i) 21.10 app	Photometrix (i) 21.10 excel
Gjennomføring 1	0,080477697	0,071726	0,1	0,093746		0,07071
Gjennomføring 2	0,081622618	0,069657	0,1	0,095801		0,084302
Gjennomføring 3	0,08272796	0,074274	0,079	0,071579		
Gjennomføring 4	0,082108001	0,073622	0,086	0,082661		0,083155
Gjennomføring 5	0,082841271	0,070131	0,101	0,031315		0,076571
Gjennomføring 6	0,082720841	0,072521	0,092	0,097494		0,077866
Gjennomføring 7	0,08391687					0,077149
Gjennomsnitt	0,082345037	0,0719885	0,093	0,078766		0,078292167
Standardavvik	0,001085495	0,001850972	0,009033272	0,02523391		0,004933667
SRD(%)	1,318227915	2,571205632	9,713195519	32,03655097		6,301610215
Feil(%)		12,57700191	12,93941147	4,346390498		4,921814775

Tabell 28: Konsentrasjoner, gjennomsnittskonsentrasjoner, standardavvik, relative standardavvik, og relative feil for Color Assist og ChemEye

	Color Assist 30.09	Chemeye (A) 30.09 app	Chemeye (A) 30.09 excel	Chemeye (i) 30.09 app	Chemeye (i) 30.09 excel
Gjennomføring 1	0,094594	0,0957			
Gjennomføring 2	0,091791	0,0957			
Gjennomføring 3	0,094494	0,0931		0,0795	
Gjennomføring 4	0,096106	0,0741		0,0846	
Gjennomføring 5	0,095903	0,0973		0,0949	
Gjennomføring 6	0,094781	0,0917		0,0867	
Gjennomsnitt	0,0946115	0,09126667		0,086425	
Standardavvik	0,001542697	0,00864816		0,006408003	
SRD(%)	1,63055939	9,475704595		7,414524511	
Feil(%)	0,809966236	4,316666069		9,392635483	
	Color Assist 06.10	Chemeye (A) 06.10 app	Chemeye (A) 06.10 excel	Chemeye (i) 06.10 app	Chemeye (i) 06.10 excel
Gjennomføring 1	0,087247	0,0741		0,0862	
Gjennomføring 2	0,085644	0,0792		0,0885	
Gjennomføring 3	0,087407	0,0925		0,095	
Gjennomføring 4	0,091989	0,0883		0,1267	
Gjennomføring 5	0,085237	0,0952	0,096758	0,0852	0,085612
Gjennomføring 6	0,085161	0,0875	0,08918	0,0904	0,091019
Gjennomføring 7		0,085	0,086625		
Gjennomsnitt	0,087114167	0,085971429	0,090854333	0,095333333	0,0883155
Standardavvik	0,002583308	0,007340235	0,005269911	0,015755084	0,003823326
SRD(%)	2,965428113	8,537993342	5,80039633	16,52631172	4,329168001
Feil(%)	3,211711992	4,481352375	0,943804181	5,92020192	1,876969308
	Color Assist 15.10	Chemeye (A) 15.10 app	Chemeye (A) 15.10 excel	Chemeye (i) 15.10 app	Chemeye (i) 15.10 excel
Gjennomføring 1	0,083565	0,0922	0,094263	0,0893	0,085593
Gjennomføring 2	0,084781	0,0923	0,094752	0,0818	0,094752
Gjennomføring 3	0,08699	0,0797	0,084236	0,0901	0,084236
Gjennomføring 4	0,093204	0,0895	0,092842	0,0859	0,092842
Gjennomføring 5	0,072074	0,0851	0,088287	0,0835	0,088287
Gjennomføring 6	0,108506	0,0918	0,095601	0,0795	0,095601
Gjennomsnitt	0,088186667	0,088433333	0,0916635	0,085016667	0,0902185
Standardavvik	0,012100061	0,005079239	0,00446671	0,004196387	0,004844026
SRD(%)	13,72096393	5,743579481	4,872943332	4,935958442	5,369215621
Feil(%)	3,287665903	3,017152117	0,525299023	6,764133612	1,05939998
	Color Assist 21.10	Chemeye (A) 21.10 app	Chemeye (A) 21.10 excel	Chemeye (i) 21.10 app	Chemeye (i) 21.10 excel
Gjennomføring 1	0,073572	0,0679	0,071701		
Gjennomføring 2	0,059019	0,0744	0,075639		
Gjennomføring 3		0,0698	0,072636		
Gjennomføring 4	0,064971	0,0804	0,08128	0,0656	0,066002
Gjennomføring 5	0,078149	0,0828	0,088552	0,0755	0,074657
Gjennomføring 6	0,076057	0,0813	0,0854	0,084	0,085878
Gjennomføring 7	0,078476			0,0736	0,073602
Gjennomsnitt	0,071707333	0,0761	0,079201333	0,074675	0,07503475
Standardavvik	0,00795083	0,006328349	0,006960289	0,00755309	0,008192723
SRD(%)	11,08788968	8,315833004	8,788095676	10,11461651	10,91857119
Feil(%)	12,91845135	7,58398696	3,817720708	9,3145102	8,877628982

Oversikt over verdiene brukt for å finne nedre og øvre grense for absorban vises henholdsvis i tabell 29 og 30.

Tabell 29: Verdier brukt for å bestemme nedre grense for absorpsjon for SpectroVis, Colormeter Free, og Color Assist Lite

	Nedre abs-grense			CF		CA	
	Spectrovis	Colormeter Free	Color Assist	RGB blank	RGB 0,02	RGB blank	RGB 0,02
30.09_1	0,05	0,00590886	0,011354751	222	219	155	151
30.09_2	0,048	0,009803903	0,012498545	224	219	141	137
30.09_3	0,049	0,011738403	0,009803903	225	219	224	219
30.09_4	0,05	0,011738403	0,015316758	225	219	202	195
30.09_5	0,051	0,015651946	0,016959423	226	218	235	226
30.09_6	0,05	0,00793254	0,013530517	221	217	163	158
06.10_1	0,052	0,010030341	0,025991185	219	214	241	227
06.10_2	0,051	0,013914515	0,022276395	222	215	240	228
06.10_3	0,052	0,005990364	0,018023104	219	216	246	236
06.10_4	0,051	0,017648705	0,018173969	226	217	244	234
06.10_5	0,048	0,011685758	0,018250353	226	220	243	233
06.10_6	0,052	0,015794267	0,020203386	224	216	242	231
15.10_1	0,045	0,00590886	0,012031087	222	219	183	178
15.10_2	0,047	0,003912589	0,009545318	223	221	184	180
15.10_3	0,046	0,00590886	0,003727873	222	219	117	116
15.10_4	0,048	0,00590886	0,009029317	222	219	243	238
15.10_5	0,045	0,003966187	0,008881587	220	218	247	242
15.10_6	0,051	0,005855745	0,005159995	224	221	254	251
21.10_1	0,057	0,013788284	0,026652195	224	217	252	237
21.10_2	0,053	0,017569364	0,026543564	227	218	253	238
21.10_3	0,053	0,013726025		225	218		
21.10_4	0,053	0,013664324	0,020118289	226	219	243	232
21.10_5	0,052	0,015651946	0,017874724	226	218	248	238
21.10_6	0,052	0,019654688	0,017874724	226	216	248	238
21.10_7	0,053		0,017874724			248	238
Gjennomsnitt	0,05036	0,010973072	0,01573732				

Tabell 30: Verdier brukt for å bestemme øvre grense for absorbans for SpectroVis, Colormeter Free, og Color Assist Lite

	Øvre abs-grense			CF		CA	
	Spectrovis	Colormeter Free	Color Assist	RGB blank	RGB 0,2	RGB blank	RGB 0,2
30.09_1	0,497	0,156021276	0,212608093	222	155	155	95
30.09_2	0,5	0,174156759	0,23540526	224	150	141	82
30.09_3	0,5	0,17033893	0,17706175	225	152	224	149
30.09_4	0,497	0,196846481	0,208441356	225	143	202	125
30.09_5	0,499	0,192740437	0,218779518	226	145	235	142
30.09_6	0,503	0,198264238	0,220961529	221	140	163	98
06.10_1	0,503	0,210110346	0,200173455	219	135	241	152
06.10_2	0,501	0,222501333	0,201234294	222	133	240	151
06.10_3	0,507	0,18815577	0,189537983	219	142	246	159
06.10_4	0,505	0,17801718	0,188732739	226	150	244	158
06.10_5	0,506	0,175131492	0,192481675	226	151	243	156
06.10_6	0,505	0,179986303	0,201971778	224	148	242	152
15.10_1	0,534	0,176091259	0,241261791	222	148	183	105
15.10_2	0,535	0,169327916	0,231394068	223	151	184	108
15.10_3	0,535	0,176091259	0,268845312	222	148	117	63
15.10_4	0,541	0,173166706	0,212420005	222	149	243	149
15.10_5	0,54	0,169236412	0,194039866	220	149	247	158
15.10_6	0,542	0,171271071	0,198007841	224	151	254	161
21.10_1	0,531	0,185895163	0,21670911	224	146	252	153
21.10_2	0,526	0,188708522	0,193605507	227	147	253	162
21.10_3	0,531	0,184865183		225	147		
21.10_4	0,531	0,183846724	0,209515015	226	148	243	150
21.10_5	0,531	0,192740437	0,218360422	226	145	248	150
21.10_6	0,53	0,192740437	0,227134346	226	145	248	147
21.10_7	0,533		0,20976025			248	153
Gjennomsnitt	0,51852	0,183593818	0,211185123				

Absorbanser målt for SpectroVis og bestemt ifra grønne RGB-verdier for Colormeter Free og Color Assist Lite på teprøvene vises i tabell 31.

Tabell 31: Verdier for absorbans for teprøvene

	Spectrovis	Colormeter Free	Color Assist	CF		CA	
				RGB blank	RGB te	RGB blank	RGB te
Darjeeling	0,103	0,030525053	0,054700436	221	206	169	149
Green Citrus	0,127	0,043362278	0,069524213	221	200	169	144
Earl Grey	0,254	0,084320886	0,130976692	221	182	169	125
Blue	0,079	0,029963223	0,035369087	225	210	179	165
Lemon	0,054	0,027900063	0,027543749	225	211	179	168
Earl Grey	0,255	0,096910013	0,116132464	225	180	179	137
Vanilla	0,093	0,034119183	0,040665427	225	208	179	163
Forest	0,056	0,023802915	0,024966326	225	213	179	169
Earl Grey	0,258	0,101762516	0,119314123	225	178	179	136

Oversikt over konsentrasjoner bestemt av studenter, inkludert gjennomsnitt, standardavvik, og relativt standardavvik vises i tabell 32.

Tabell 32: Konsentrasjoner, gjennomsnittskonsentrasjoner, standardavvik, og relativt standardavvik for målingene til studenter

Student	Konsentrasjon
A	0,1
B	0,1042
C	0,11
D	0,087
E	0,11
F	0,104
G	0,115
H	0,09354
I	0,116
J	0,1132
K	0,103
L	0,087
M	0,11
N	0,12
O	0,109
P	0,09
Q	0,133
R	0,12
S	0,102
T	0,1339
U	0,104
V	0,11
mean	0,107947273
std	0,012587447
rsd	11,66073678