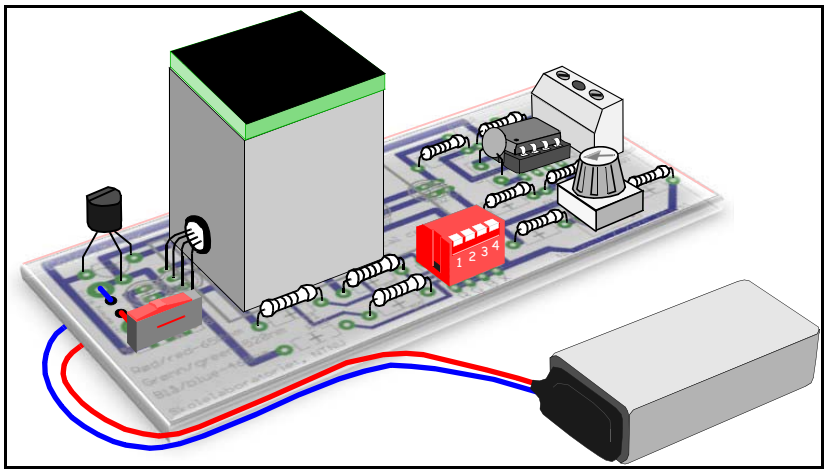
Rapport

NTNU
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

Nils Kr. Rossing
Per-Odd Eggen

Kolorimeter – Utvikling og utprøving

Trondheim 27.04.12



NTNU
Det skapende universitet

Rapport fra Kolorimeter – utvikling og utprøving

Trondheim 2012

Layout og redigering: Nils Kr. Rossing

Rapporten er utarbeidet av
Skolelaboratoriet ved NTNU

Spørsmål rettes til:
Skolelaboratoriet for matematikk naturfag og teknologi, NTNU
v/Nils Kr. Rossing, 73 55 11 91
nils.rossing@plu.ntnu.no
v/Per-Odd Eggen 73 ??
per.eggen@plu.ntnu.no

Realfagbygget, Høgskoleringen 5
7491 Trondheim

Skolelaboratoriet
Telefon: 73 55 11 42
Telefaks: 73 55 11 40
http://www.skolelab.ntnu.no

Versjon 1.5
27. april 2012

KOLORIMETER – UTVIKLING OG UTPRØVING

Kolorimeter – Utvikling og utprøving

Nils Kr. Rossing og Per-Odd Eggen

Skolelaboratoriet for matematikk, naturfag og teknologi, NTNU

Forord

Initiativet prosjektet ble tatt av Per-Odd Eggen sensommeren 2010 og bygde delvis på artikler som beskrev kolorimeter basert på flerfargete lysdioder som lyskilde og en fotodiode som lysmåler. Siden både fysikkfaget og faget teknologi og forskningslære inkluderer bruk av sensorer og elektronikk, var det naturlig å bringe kompetanse på elektronikk inn i prosjektet ved Nils Kr. Rossing. Selve konseptet ble utviklet og testet høsten 2010 samtidig som det ble søkt om midler til utprøving av kolorimeteret i klasserommet. I begynnelsen av 2011 ble prosjektet tildelt kr. 50 000,- fra PLU's småforskmidler for utprøving av et kolorimeter byggesett med ferdigstillelse ved årsskiftet 2011/12.

En takk til PLU som har støttet prosjektet økonomisk slik at det har vært mulig å legge opp ca. 300 byggesett, og en takk til lærere og elever ved Horten vgs, Byåsen vgs og Tora Storm vgs (tidl. Gerhard Schöning vgs) med flere som har deltatt i utprøvingen av byggesettet.

I skrivende stund er en artikkel sendt inn til Naturfag og en artikkel til NorDina er under bearbeiding.

Nils Kr. Rossing og Per-Odd Eggen
Skolelaboratoriet ved NTNU

Trondheim mars 2012

Sammendrag

Et billig kolorimeter er utviklet for bruk i klasserommet. Ca. 50 lærere og 130 elever har prøvd opplegget og uttalt seg. Instrumentet er primært tenkt brukt i faget Teknologi og forskningslære, men kan også anvendes i Kjemi 1 og 2 i videregående skole. Det primære målet med undervisnigsopplegget er å vise prinsippet bak konsentrasjonsmålinger ved hjelp av kolorimeter og spektrofotometer. Sekundært å trene trening elevene i prakiske byggeaktivitet og bruk av kolorimeteret.

Kolorimeteret består av en spenningsregulator, en trefarget lyskilde, en fotodiode og en forsterker med nulljustering (avansert utgave). Selve målingen baserer seg på prinsippet om at det er en entydig sammenheng mellom konsentrasjonen i – og absorbsjonen av lys gjennom løsningen. Lysmengden som slipper gjennom måles ved hjelp av en fotodiode som omdanner lysintensitet til spenning.

Instrumentet leveres i to ulike utgaver. En *enkel vesjon* hvor avlesningen av spenningen skjer direkte på fotodioden, og en *avansert versjon* hvor spenningen fra fotodioden forsterkes 10 x, i tillegg til at utgangsspenningen kan nulljusteres. Sistnevnte utgave gir bedre avlesningsnøyaktiget, men maskerer i større grad virkemåten til kolorimeteret enn den enkle utgaven.

Ett kyvettekammer beskytter målingene fra lekkasjelys fra omgivelsene. Det er utviklet og utprøvd to ulike kyvettekammer, ett i kapa og ett i aluminium. Kapa-varianten egner seg godt for å de som ønsker å fokusere på sammenføying og materialteknologi (byggeprosessen). Mens aluminiumsvarianten er langt enklere å bygge og egner seg for de som først og fremst har fokus på virkemåte og anvendelse. Total byggetid ligger på mellom 2,5 til 3,5 timer inkludert kalibrering.

Under utprøvingen er det kommet fram en rekke momenter som er brukt til å forbedre undervisningsopplegget. Dette gjelder hovedsakelig konstruksjonen av kyvettekammeret og byggebeskrivelsen. Både lærere og elever mener at kyvettekammeret i kape er krevende å bygge, men gir god trening i nøyaktig arbeid. Kyvettekammeret i aluminium er langt lettere å bygge, men gir ikke den samme mestringsfølelsen som førstnevnte kammer. Lodding av elektronikken krever godt lys og syn i tillegg til loddetrening og hensiktsmessig verktøy.

Temperaturdrift av lysstyrken til lysdioden er kanske den største trusselen mot målenøyaktigheten. Dersom kalibrering og måling av den ukjente løsningen kan skje i løpet av 3 – 5 min. har instrumentet en tilfredstillende målenøyaktighet, i størrelsesorden +/– 0,02 mol/L. Målenøyaktigheten blir bedre dersom instrumentet kan være påslått 10 – 15 min. før bruk.

Utsalgsprisen på den avanserte versjonen er foreløpig satt til kr. 160,-, den enkle ca. kr. 50,- lavere. Det antas at prisene kan presses betydelig ned ved store innkjøp og bruk av utvalgte billige leverandører.

Innhold

1 Innledning 13
1.1 Bakgrunn 13
1.2 Hva er et kolorimeter? 13
1.3 Oppfylling av relevante læreplanmål 14
1.4 Prosjektets målsetning 15
1.5 Forskningsmetode 16
1.6 Økonomi - budsjett og regnskap 16
1.6.1 Budsjett 16
1.6.2 Regnskap 17
1.6.3 Komponentkostnader, utsalgspris 17
2 Teknologisk løsning 18
2.1 Absorbans, et mål for en løsningens konsentrasjon 18
2.2 Absorbanskurve 18
2.3 Valg av farge 19
2.4 Realisering 20
2.4.1 Avansert kalorimeter 20
2.4.2 Enkelt kalorimeter 23
2.4.3 Kyvettekammeret 23
2.5 Byggeveilednig 26
2.6 Presentasjon 26
3 Utprøving 27
3.1 Etablering av standardkurver 27
3.1.1 Typisk standardkurve – enkel og avansert versjon av kalorimeteret 27
3.1.2 Standardkurver ved ulike lysfarger 27
3.2 Kvalitetstesting 29
3.2.1 Drift 29
3.2.2 Hvordan unngå drift 34
3.3 Pedagogisk uttesting 36
3.3.1 Utprøving blant lærere 36
3.3.2 Utprøving blant elever 39
3.3.3 Feilsøking returnerte sett 47
3.3.4 Oppsummering av brukerundersøkelsen 48
4 Diskusjon 50
4.1 Utformeing og dokumentasjon 50
4.2 Funksjonalitet 51
4.3 Kvalitet 52

4.4 Pris og tilgjengelighet 53
5 Konklusjon 55
6 Referanser 56
Vedlegg A Spørreskjema 57
A.1 Spørreskjema – lærere 57
A.2 Spøreskjema – elever 58
A.3 Spørreskjema – arbeidsskoleelever 59
Vedlegg B Byggeveiledninger 64
B.1 Hefte - Byggeveiledning 64
B.1.1 Bygg kyvettekammer, kapa 65
B.1.2 Bygg kyvettekammer, tre 66
B.1.3 Kyvettekammer i aluminium 66
B.1.4 Montering av kretskort, elektronikk 68
B.1.5 Enkel fargelære 70
B.1.6 Kalibrering og bruk av kolorimeteret 70
B.2 Presentasjon 72
Vedlegg C Komponentlister 74
C.1 Kolorimeter med kyvettekammer laget i kapa (priser pr. 4. nov. 2011) 74
C.2 Kolorimeter med kyvettekammer laget i aluminium (priser pr. 4. nov. 2011) 74
Vedlegg D Artikler 76
D.1 Naturfag 76

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Faget Teknologi og Forskningslære (ToF) ble etablert i videregående skole i forbindelse med Kunnskapsløftet 2006. ToF kan tilbys i alle årstrinn i videregående skole på studieforberedende linje og er ment som et praktisk supplement til realfagene kjemi, fysikk og biologi. Faget ToF 1 (5 timer/uke) undervises på vg2 og ToF 2 (5 timer/uke) på vg 3. I tillegg kan en kortversjon av ToF 1 tilbys elever på vg1 – ToF X (3 timer/uke).

I skrivende stund tilbys det ingen komplette lærebøker i faget, kun hefter som dekker deler av kompetansemålene. Det er derfor i stor grad opp til den enkelte skole og lærer hvordan undervisningen legges opp for å oppnå kompetansemålene. Imidlertid tilbys pr. dag en rekke ulike undervisningsopplegg fra universiteter, høgskoler og andre som i større eller mindre grad kan hjelpe læreren å nå kompetansemålene.

Mens ToF 1 gir rikelig muligheter til praktiske aktiviteter, er ToF 2 et mer teoretisk fag som legger større vekt på vitenskapsteori og -histrorie. De praktiske delene av fagene har så langt vært preget av fysikk gjerne knyttet til teknologi. Noen skoler har også inkludert bioteknologi i faget. Det har derfor vært et behov for å tilby gode prosjekter innen kjemi.

Samtidig omhandler et av kompetansemålene i faget Kjemi 2, bruken av nettopp kolorimetri. Problemstillingen i kjemifaget er at det kan være vanskelig å forstå virkemåten til instrumentelle målemetoder, selv om de bygger på enkle prinsipper. Ofte plasserer man en prøve i en maskin og får ut et resultat, uten å få særlig innsyn i prosessen bak resultatet.

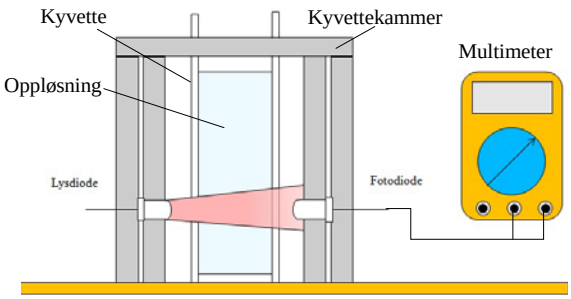
De siste årene er det publisert forslag til enkle kolorimetre (Kennepohl og Connors, 2008; Bergantin og Fortunato, 2010) som er bakgrunnen for at vi startet dette prosjektet. Vi har laget byggesett til enkle kolorimetere, med elektronikk som elevene kan montere og lodde selv. Målet har vært å tilby et instrument som fungerer i praksis samtidig som konstruksjonen er så åpen og "gjennomsiktig" at elevene kan skjønne virkemåten til de kjemiske analysene som utføres. Det er laget to varianter – en minimumsløsning og en løsning med forsterning og nullpunktsjustering med noe mer elektronikk.

1.2 Hva er et kolorimeter?

Et kolorimeter er et måleintrument for måling av konsentrasjonen til en løsning. Det forutsettes at det oppløste stoffet setter farge på løsningen og at graden av farging øker med konsentrasjonen av oppløst stoff. Graden av farging kan måles ved å sende lys gjennom en kontrollert mengde av oppløsningen, for så å måle hvor mye lys som slipper gjennom[1]. Eller sagt på en annen måte, hvor mye lys som absorberes (*absorbansen*). Dersom en kjenner *absorbansen* for noen kjente konsentrasjoner for stoffet, kan en etablere en kalibrert sammenheng mellom absorbans og konsentrasjon, en såkalt *standardkurve* for absorbansen i løsningen. Ved å sammenligne absorbansen til den ukjente konsentrasjonen, kan en ved hjelp av standardkurven finnen den ukjente konsentrasjonen for stoffet. Det må etableres en egen standardkurve for hvert stoff som skal måles. En lignende metode brukes også i profesjonelle instrumenter, f.eks.i *spektrofotometer.*

1. For enkelte løsninger kan også UV-lys anvendes for å måle absorbansen.

Kolorimeteret som beskrives i denne rapporten fungerer på følgende måte:



Løsningen fylles i en *kyvette* (et reagensrør med kvadratisk tverrsnitt) som settes ned i et kyvettekammer. Lyset fra en lysdiode sendes gjennom løsningen og fanges opp av en fotodiode. Fotodioden fungerer som en lysmåler som avgir en elektrisk spenning som avleses med et enkelt multimeter. En løsning med høy konsentrasjon vil ha en mørk farge, dermed slipper den gjennom lite lys, noe som gir lav spenning. En løsning med lavere konsentrasjon slipper gjennom mer lys som gir høyere spenning. Dette gir mulighet til å måle konsentrasjonen til løsningen.

1.3 Oppfylling av relevante læreplanmål

Målsetningen med prosjektet har vært å lage et *elektronisk kolorimeter* egnet for for måling av konsentrasjon i løsninger, og på den måten oppfylle flere av kompetansemålene i ToF 1 og Kjemi 2:

Teknologi og Forskningslære 1

<u>Design og produktutvikling</u>

Mål for opplæringen er bl.a. at eleven skal kunne

- *gjøre rede for funksjonen til vanlige komponenter i elektroniske kretser, og gjenkjenne komponentene i en krets*
- *lage elektroniske kretser ved å lodde komponenter og simulere og teste kretsene*
- *forme og utvikle produkter som har en definert funksjon og inneholder elektronikk*
- *utføre målinger med eller teste et eget produkt, og vurdere kvaliteten på produktet med tanke på funksjonalitet*

<u>Den unge ingeniøren</u>

Mål for opplæringen er at eleven skal kunne

- *bruke forskjellige materialer og former for sammenføyninger og begrunne valg av materialer og byggemåte ut fra materialenes egenskaper og konstruksjonens funksjon*
- *bruke sensorer og styringssystemer i forbindelse med forsøk og konstruksjoner*
- *dokumentere og vurdere konstruksjoners fysiske egenskaper og funksjonalitet ved hjelp av målinger og enkle beregninger*

<u>Den unge forskeren</u>

Mål for opplæringen er at eleven skal kunne

- *gjøre rede for hvordan et naturvitenskapelig prosjekt planlegges, gjennomføres og etterarbeides før det blir publisert*

- *planlegge, gjennomføre, analysere og dokumentere systematiske målinger om støy, luftforurensning, inneklima og vannkvalitet, og drøfte virkninger på helse og miljø*

Teknologi, naturvitenskap og samfunn

Mål for opplæringen er at eleven skal kunne

- *beskrive prinsipper og virkemåte for noen moderne instrumenter i industri, helsevesen eller forskning, og gjøre rede for nytten og eventuelle skadevirkninger*

Kjemi 2

Analyse

Mål for opplæringen er at eleven skal kunne

- *utføre analyser med kolorimetri og tolke enkle massespektre og 1H-NMR-spektre*

1.4 Prosjektets målsetning

Prosjektet må betraktes som en innledende undersøkelse for å bestemme hvilke krav det er rimelig å stille til et instrument av denne typen laget av elever i den videregående skole, og hvordan det skal utformes for best å oppfylle målsetningen som et læremiddel. Kolorimeteret bør oppfylle følgende krav:

Utforming og dokumentasjon

Kolorimeteret med tilhørende dokumentasjon skal være slik at elever på Vg2 skal kunne:

- bygge og teste instrumentet i løpet av 3–4 skoletimer med moderat hjelp av lærer
- oppnå en kvalitet på instrumentet som er tilstrekkelig til å utføre meningsfylte målinger
- forstå de prinsippene som ligger til grunn for måling med et kolorimeter og virkemåten *til instrumentet de har bygget*

Funksjonalitet

Kolorimeteret skal ha en funksjonalitet som gjør elevene i stand til å:

- anvende instrumentet på en tilfredsstillende måte etter en kort opplæringsperiode
- velge en hensiktsmessig lyskilde (farge) ut fra kjennskap til løsningens farge
- bestemme en standardkurve for et aktuelt stoff med ferdigblandete standardløsninger
- bruke kolorimeteret og standardkurven til å bestemme konsentrasjonen til en ukjent prøve
- vurdere kvaliteten på de utførte målingene

Kvalitet

Bestemme hvilke krav som bør stilles til instrumentet mht til:

- målenøyaktighet

- repeterbarhet (drift)
- målehastighet

Pris og tilgjengelighet

Undersøke hva som er akseptabel pris og tilgjengelighet for at byggesettet for at byggesettet skal tas i bruk i ToF 1 ev. i kjemifagene i videregående skole.

1.5 Forskningsmetode

Følgende ble gjort for å kunne besvare spørsmålene i avsnitt 1.4:

- *Velge en konstruksjon som er en god avveining mellom teknologisk enkelhet, pedagogisk forståelighet og målekvalitet*
- *Lage gode visuelle brukerveiledninger og presentasjoner (PowerPoint)*
- *Prøve ut byggesettet med tilhørende presentasjonsmaterell på nettverkssamlinger, lærerkurs og verkstedaktiviteter på konferanser*
- *Prøve ut byggesettet med elever fra målgruppen (ToF 1) i en klassesituasjon*
- *Følge opp lærere og elever med spørreskjema og intervju for å avdekke problemer med bruken av byggesettet*
- *Feilfinne returnerte, ikke-fungerende kolorimeter som er bygget av elever, for å avdekke uklare punkter i konstruksjon og dokumentasjon*
- *På bakgrunn av løpende erfaringer, prøve ut revisjoner av kolorimeteret med tilhørende dokumentasjon*
- *Avdekke og kvantifisere viktige tekniske parametere som f.eks. drift.*

1.6 Økonomi - budsjett og regnskap

I utgangspunktet ble det bevilget kr. 50 000,-, primært for å dekke opp direkteutgifter til komponenter brukt til å utvikle og legge opp byggesett for utprøving av instrumentet. I tillegg var det avsatt noe til timekostnader. Etter hvert skulle det vise seg at byggesettet ble så pass populært at prosjektet også fikk inntekter ved salg. Utsalgsprisen ble imidlertid sterkt subsidiert i utviklingsperioden under forutsetning av at brukerne besvarte spørreskjema.

1.6.1 Budsjett

Timeomfang:

Konstruksjon og uttesting av prototypen	50 t
Utvikling av byggesettet	40 t
Utvikling og gjennomføring av 2 lærerkurs	50 t
Uttesting i 2 skoleklasser	40 t
Publisering av to artikler	50 t
Rapportering	20 t
Totalt	250 t

Budsjett:

Timekostnader (timepris kr. 300,-)	kr. 75 000,-
Komponentkostnader (100 byggesett)	kr. 15 000,-
Innleid arbeidskraft (legge opp byggesett)	kr. 3 000,-
Trykking av skriftlig materiell	kr. 5 000,-
Annet	kr. 5 000,-
Totalt	kr. 100 000,-

1.6.2 Regnskap

Det er ført timer og alle utgifter er registrert på prosjektet.

Timeforbruk:

Nils Kr. Rossing	220 t
Per-Odd Eggen	60 t
Totalt	280 t

Kostnader:

Timekostnader (timepris kr. 300,-)	kr. 84 000,-
Komponentkostnader (300 byggesett)	kr. 27 000,-
Innleid arbeidskraft (legge opp byggesett)	kr. 3 000,-
Trykking av skriftlig materiell	kr. 1 000,-
Totalt	kr. 115 000,-

Inntekter

Salg	kr. 14 000,-

Vi har solgt byggesett for under komponentkostnad for å oppmuntre lærere til å prøve ut byggesettet i klassen.

1.6.3 Komponentkostnader, utsalgspris

Det har foreløpig ikke vært gjort noen alvorlige forsøk på å optimalisere komponent-kostandene, derfor er disse blitt noe høyere enn nødvending.

Et overslag av komponentkostnader er gitt i vedlegg Vedlegg C.

Overslagene gir en komponentkostnad på ***kr. 125,35 (kr. 77,93) pr. sett*** for byggesett med kyvettekammer av kapa, og ***kr. 135,60 (kr. 87,94) pr. sett*** for byggesett med kyvettekam-mer i aluminium. Begge prisene inkluderer MVA. I tillegg kommer kostnader til trykking av byggebeskrivelse. En må også regne et mindre tillegg for frakt av komponenter og pakking for leveranse. Tallene i parantes gjelder for den *enkle varianten* av kolorimeteret med et minimum av elektronikk.

2 Teknologisk løsning

2.1 Absorbans, et mål for en løsningens konsentrasjon

Ved kolorimetriske målinger beregner man konsentrasjonen ved å måle absorbansen A, der:

$$A = \log\left(\frac{I_0}{I}\right) \tag{2.1}$$

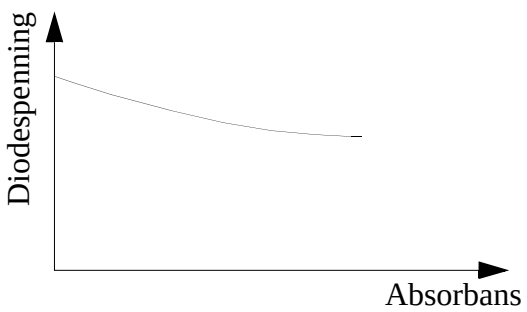
Her er A absorbansen, I_0 er lys som sendes inn i løsningen og I er lyset som når gjennom løsningen.

Når man måler absorbans, får man et resultat som normalt ligger mellom 0 og 2, og som øker med konsentrasjonen i løsningen. Absorbansen i en løsning er sterkt avhengig av forholdet mellom fargen på lyset og fargen på løsningen. Det er derfor viktig å velge en lysfarge (bølgelengde) som absorberes maksimalt i den aktuelle løsningen. Valg av lysfarge er derfor viktig for å få vellykkede målinger.

Konsekvensen for kjemielever er at de først må forstå prinsippet bak målingen slik at de er i stand til å velge optimal lysfarge (bølgelengde), for så å lese av konsentrasjonen ved å sammenligne med standardkurven for løsningen. I tillegg må elevene kunne forholde seg til at kurven er lineær og samtidig logaritmisk.

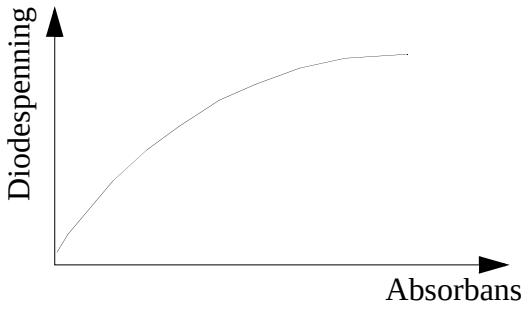
I vårt prosjekt bruker vi så enkelt utstyr som mulig, og i tillegg måler vi spenning i stedet for absorbans. Målet for prosjektet med tanke på kjemifaget er at prinsippet for målingene skal være enkelt og et godt utgangspunkt for å forstå mer avansert utstyr.

2.2 Absorbanskurve



Som omtalt sendes lys gjennom løsningen, hvor noe av lyset absorberes og noe slipper gjennom til fotodioden. Resten av lyset absorberes i kyvetten og i de innvendige veggene i kyvettekammeret. Jo høyere konsentrasjon oppløsning har, jo mindre lys slipper gjennom og vil treffe fotodioden. Fotodioden er koblet i *fotovoltaisk modus*, hvilket betyr at den vil fungere omtrent som en liten solcelle. Fotodioden vil dermed omdanne lyset til en spenning på diodens utgang. Økt konsentrasjon i løsningen vil dermed medføre ***høyere absorbans*** og ***lavere spenning*** på utgangen av dioden.

Dersom elevene skjønner denne mekanismen vil de forvente at spenningen på utgangen *faller* med *økende* konsentrasjon.



En annen måte å resonnere på er at spenningen på utgangen representerer absorbansen. I så fall vil spenningen øke med økende absorbans (konsentrasjon) som vist i figuren til venstre.

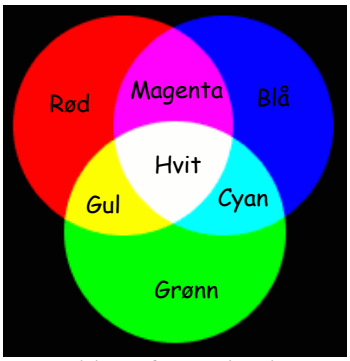
For å imøtekomme begge disse betraktningsmåtene har vi valgt å konstruere kretsen slik at det er opp til brukeren å velge hvilken av disse modellene han/hun vil bygge:

- **Enkelt kolorimeter**
  Denne versjonen gir fallende spenning med økende absorbans. Kretsen er billig og det er lett å forstå den prinsipielle virkemåten. Nøyaktigheten er moderat.
- **Avansert kolorimeter**
  Denne versjonen snur kurven slik at spenningen øker med økende absorbans. Det er dessuten lagt inn 10 x forsterkning i kretsen samtidig som kurven kan forskyves vertikalt slik at skalen på multimeteret kan utnyttes maksimalt (nulljusteres). Formålet med dette er å oppnå bedre nøyaktighet og å teste om denne versjonen gir øket forståelse av virkemåten til kolorimeteret.

Begge variantene kan bygges på det samme kretskortet.

2.3 Valg av farge

Lyskilden består av tre lysdioder, en rød, en grønn og en blå, som alle er montert i én kapsel. De tre lysdiodene kan tennes individuelt eller kombineres på ulike måter.



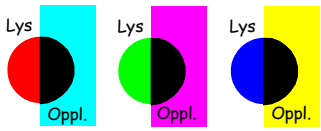
Additiv fargeblanding

Ved å blande rødt (650 nm), grønt (520 nm) og blått (468 nm) lys kan vi i prinsippet frambringe en hvilken som helst farge. Vi kaller disse tre for *primærfargene*.

Blander vi to og to av primærfargene får vi tre nye farger: ***Cyan***, som er en blanding av blått og grønt lys, ***magenta***, som er en blanding av rødt og blått lys, og ***gult***, som er en blanding av rødt og grønt lys. Cyan, magenta og gult kalles *sekundærfarger*.

Blanding av lys med alle tre primærfargene gir hvitt lys dersom fargene er *mettet*. Dersom fargen ikke er mettet, dvs. lysere eller blassere, vil resultatet bli grått.

Vi legger merke til at blandingen av magenta og grønt også gir hvitt lys. Disse kalles derfor *komplementær farger*. Av samme grunn er blått og gult, og rødt og cyan komplementære fargepar.



En løsning vil absorbere lys maksimalt når fargen på løsningen er komplementær til lysfargen. Det betyr at rødt lys vil bli stoppet helt av et cyanfarget filter om fargen er mettet.

Tilsvarende stoppes grønt lys av et magentafarget filter, og blått lys stoppes av et gult filter.

En farget løsning vil oppføre seg som et filter og absorbere farget lys. Jo sterkere løsningen er, jo mer mettet er fargen, og jo mer lys absorberes. Absorbsjonen vil øke jo nærmere fargen til lyset kommer komplementærfargen til løsningen, men det er viktig å merke seg at dette gjelder teoretiske tilfeller der man bruker lys med bare en bølgelengde og der fargen til løsningen skyldes absorbsjon av akkurat denne bølgelengden. I praksis vil fargede løsninger som regel absorbere mange farger, og man må teste hvilke lysfarger som fungerer i målingene.

Har vi en cyanfarget løsning vil det lønne seg å velge rødt lys.

Følgende gir fornuftige fargevalg:

Cyanfagert løsning	->	Rødt lys
Magentafarget løsning	->	Grønt lys
Gul løsning	->	Blått lys

Har vi derimot en rød løsning burde vi velge cyanfarget lys. Ved å blande grønt og blått lys kan vi få til et lys som ser ut til å ha rett farge, men dette skyldes at synssansen vår ikke greier å oppfatte om en farge består av en eller flere bølgelengder. Dette gjør det vanskelig å vurdere hvordan blandingsfarger virker i et kolorimeter, men dette kan elevene gjerne teste:

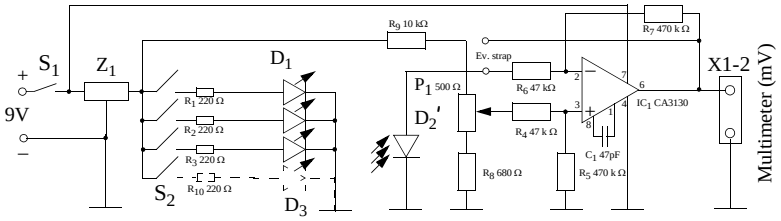
Rød løsning	->	Bland grønt og blått lys
Grønn løsning	->	Bland blått og rødt lys
Gul løsning	->	Bland rødt og grønt lys

2.4 Realisering

Dette avsnittet beskriver kolorimeteret i større detalj.

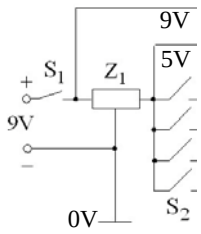
2.4.1 Avansert kalorimeter

Figur 2.1 viser koblingsskjemaet for den komplette (avanserte) utgaven av kolorimeteret. I dette avsnittet skal vi gi en kortfattet forklaring av de ulike delene av kretsskjemaet.



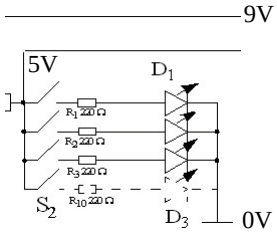
Figur 2.1 Koblingsskjema avansert utgave av kolorimeteret

Spenningsregulatoren



En av de største utfordringene er *drift* i den målte spenningen på utgangen. Det betyr at spenningen på utgangen endrer seg, gjerne gradvis over tid, til tross for at løsningen står utforandret i kyvetteholderen. Spenningsstabilisatoren på inngangen, Z_1, senker batterispenningen på 9 V til 5,0 V. Denne spenningen forblir konstant selv om spenningen på batteriet endrer seg. Dessuten beskytter den lysdiodene mot overspenning. Forsterkeren derimot forskynes direkte fra batterispenningen, fordi den fungerer bedre med 9 V enn 5 V. Kolorimeteret slås på med bryteren S_1 (se figuren over til venstre).

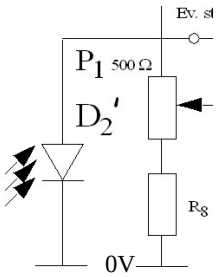
Lyskilde



Lyskilden består av tre lysdioder montert sammen på en holder i ett lite plasthus, en såkalt “tricolor” eller RBG-lysdiode. Hver av diodene kan slås på individuelt med bryteren S_2 som består av fire individuelle brytere, en for hver av de tre RGB lysdiodene, og en for en ev. ekstra lysdiode. En kan også få blandingsfarger ved å slå på to og to eller alle tre lysdiodene. Strømmen i hver av diodene begrenses av en motstand på 220 Ω som gir en strøm i dioden på ca. 14 mA. Lysdiodene leverer fargene rød, grønn og blå (RGB).

Dersom en blander farger for å oppnå en optimal lysfarge for den aktuelle løsningen, så bør en være klar over at en slik sammensatt farge vil oppføre seg annerledes enn en monokromatisk farge, til tross for at vi ikke er i stand til å se forskjell på dem.

Fotodioden



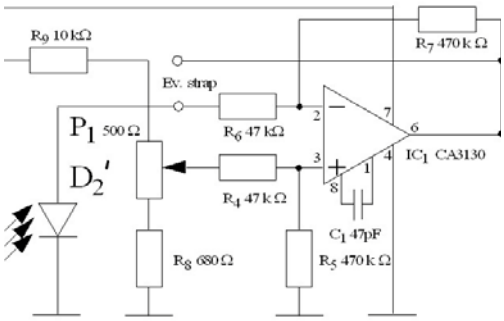
Som antydet tidligere opererer fotodioden, D_2, i fotovoltisk modus, dvs. at den fungerer omtrent som en liten solcelle, og vil, når den belyses, generere en spenning. Nivået til spenningen vil innen visse grenser, være bestemt av lysintensiteten som treffer fotodioden.

Kyvettekammeret med løsningen plasseres mellom lysdiodene og fotodioden. Lysintensiteten som treffer fotodioden vil derfor være bestemt av absorbansen i løsningen.

Spenningen fra fotodioden forsterkes i en spenningsforsterker.

Spenningsforsterkeren

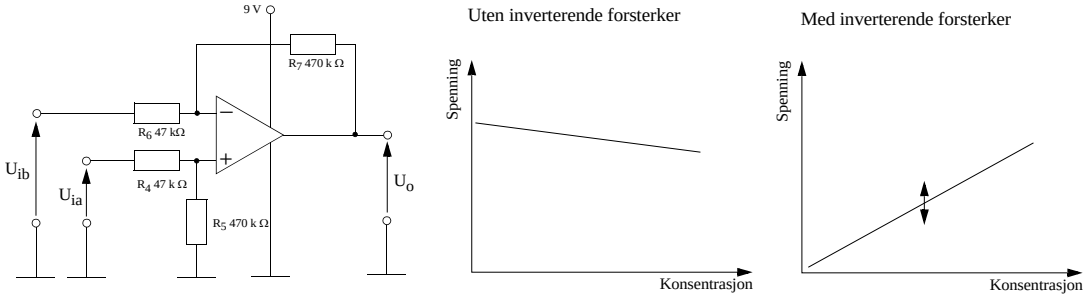
Forsterkeren har tre funksjoner:



1. Forsterke spenningen fra fotodioden slik at spenningsvariasjonen fra tynn løsning til sterk løsning blir så stor som mulig.
2. Snu kurven slik at den målte spenningen øker med økende absorbans i løsningen, hvilket kan oppfattes mer logisk enn det motsatte (for noen).
3. Forskyve nullpunktet for kurven. Dvs. at når kyvetten fjernes fra kammeret er spenningen på utgangen nær null. Fordelen med dette er at vi kan bruke den mest følsomme innstillingen på multimeteret (200 mV), og dermed få mest mulig nøyaktig avlesning.

   En operasjonsforsterker benyttes til dette formålet.

Operasjonsforsterkeren er en skikkelig arbeidshest innen elektronikken. Denne kan brukes til svært mange forskjellige formål. En operasjonsforsterker har to innganger, en som gir positiv forsterkning og en som gir negativ forsterkning (snur kurven).



Figur 2.2 Inverterende forsterker med subtraherende funksjon

Ligning (2.2) uttrykker sammenhengen mellom de to spenningene (U_{ia} og U_{ib}) inn på forsterkeren og spenningen (U_o) på utgangen:

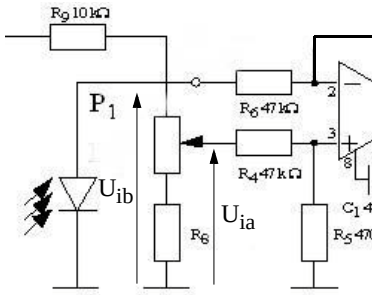
$$U_o = A(U_{ia} - U_{\mathrm{ib}}) \tag{2.2}$$

A uttrykker forsterkningen som bestemmes av forholdet mellom motstandene R_7 og R_6, og R_5 og R_4 som vist i ligningen :

$$A = \frac{R_7}{R_6} = \frac{R_5}{R_4} \tag{2.3}$$

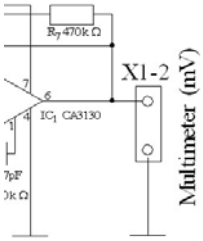
De to forholdstallene settes normalt lik hverandre.

Forsterkningen A bestemmer helningen på kurven (lengst til høyre på figur 2.2). Jo større A, jo brattere kurve, dvs. jo større endring i spenning som funksjon av endring i konsentrasjon i oppløsningen.



Spenningen U_{ib} er spenningen fra fotodioden som ledes inn på forsterkerens inverterende inngang (–). Dette medfører at kurven på utgangen blir snudd (invertert). Spenningen U_{ia} adderes til og kan reguleres ved hjelp av et lite potensiometer (P_1 - nulljustering). Ved å addere en spenning kan vi forskyve hele kurven opp og ned slik at startpunktet kommer nær null.

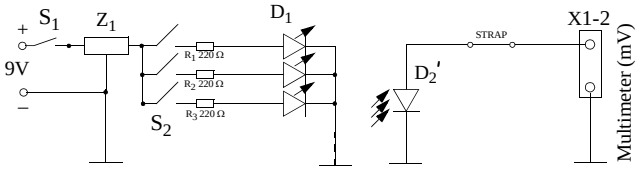
Utgang



To koblingsplinter (tilkoblingspunkter) er montert ytterst til høyre på kortet slik det skal være lett å koble til måleinstrumentet som kan være et ordinært multimeter. Ved bruk settes multimeteret til måleområdet: *Likespenning, 200 mV*.

2.4.2 Enkelt kalorimeter

Ved hjelp av en strap kan forsterkeren på utgangen forbigås (sløyfes). Dermed får vi en langt enklere og billigere krets. Ulempen er at en mister muligheten til å nulljustere standardkurven, i tillegg til at en mister forsterkning og dermed nøyaktighet. Fordelen er at kretsen blir enklere og forstå.



Figur 2.3 Enkelt kolorimeter

2.4.3 Kyvettekammeret

Det er utviklet en rekke ulike kyvettekammer etter som prosjektet er blitt utprøvd av lærere og elever. De ulike variantene kan også brukes for å oppnå ulike kompetansemål i læreplanen, eller tilpasses det skolen har av verktøy. Tre varianter er utprøvd:

- Kapa
- Tre
- Aluminium

Kapa

Kapa er et billig og lett isoporlignende materiale dekket med tynn kartong. Kapa er lett å bearbeide, og leveres i plater av ulik størrelse og tykkelse. I denne sammenhengen har vi benyttet svart 5 mm tykk kapa. Materialet lar seg lett dele opp med en skarp kniv og føyes sammen ved hjelp av lim. Hull kan enten lages med en syl eller bores med tre- eller metallbor.

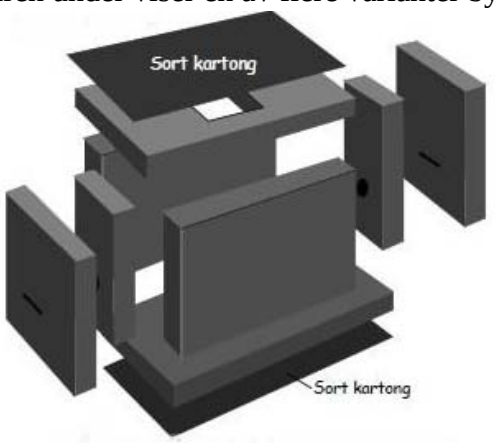
Fordeler:

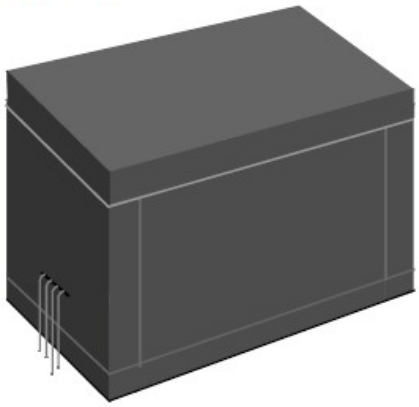
Billig, lett og bearbeide.
Gir god øvelse i nøyaktig arbeid og sammenføyning av materialer.

Ulemper:

Krever stor nøyaktighet i oppdeling og sammenføyning av bitene.
Arbeidskrevende. Ødelegges lett av varme loddebolter, kan lett bli stygt.

Figuren under viser en av flere varianter bygget i kapa som ble prøvd ut.





Kapa egner seg godt for de elevene som skal trenes i å arbeide nøyaktig og til å bruke materialer for å bygge en konstruksjon til et spesielt formål, et kyvettekammer. Oppgaven blir enda mer krevende (og lærerik) dersom de i tillegg utfordres til å designe kammeret etter oppgitt kravspesifikasjon.

Erfaringer viser imidlertid at mange elever (og lærere) strever med å være nøyaktig nok under arbeidet.

Tre

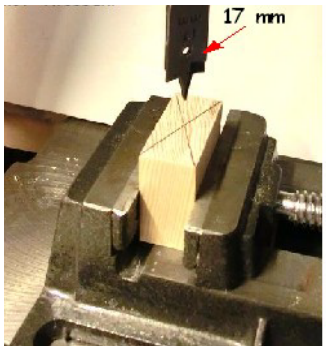
Denne løsningen tar utgangspunkt en trelist med passende mål (44 x 21 mm). Trelista kappes i ønsket lengde og bores opp med en 17 mm bor slik at hullet passer til kyvetten. Deretter bores hull inn fra hver kortside til lysdioden og fotodioden.

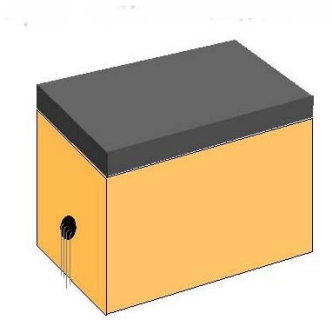
Fordeler:

Billig
Relativt lett å bearbeide

Ulemper:

Gir rundt indre kyvettekammer (vanskeliggjør stabil posisjonering av kyvetten)





Aluminium

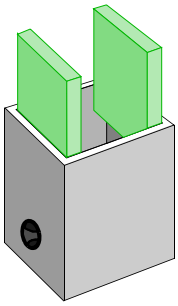
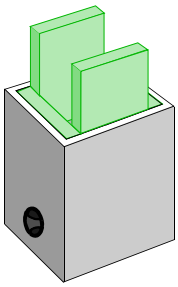
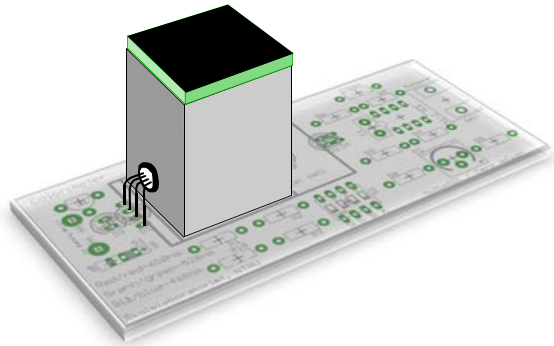
Denne varianten tar utgangspunkt i en kvatratisk aluminiumsprofil (tverrsnitt 21x21 mm) som er forhåndskappet i riktig lengde. tter fjerning av grader med en fil, skal kammeret fores med 3 mm mosegummi og påføres to 6,5 mm hull på to motstående sider for lysdiode og fotodiode, begge plassert i lysdiodeholdere.

Fordeler:

Lite bearbeiding (filer bort grader i kuttflatene)
Raskt å framstille
Blir pent

Ulemper:

Relativt kostbart

Konklusjon

Løsningen framstilt med aluminiumprofil ble tilslutt foretrukket da denne var raskest å bygge, samtidig som den ikke stilte store krav til utøverne. Dersom hensikten med byggeprosjektet var å høste erfaring med bearbeiding av materialer og sammenføyning, så anbefales kapa-varianten.

2.5 Byggeveilednig

Det ble i alt laget fem ulike varianter av byggeveiledningen, tre i kapa, en i tre og en i aluminium. Tre av disse er gjengitt i vedlegg B.1.

Det ble stort sett valgt en tegnet visuell veiledning. På denne måten er det lettere å få fram detaljer og arbeidsmengden er ikke særlig større enn med bruk av fotografier. Teksten er forsøkt holdt på et minimum.

Da hefter trykket i fargetrykk er relativt kostbare (ca. kr. 20,- pr. stk), valgte vi etter hvert å legge sidene over på liggende A4 stiftet i venstre hjørne. På denne måten reduseres prisen noe.

2.6 Presentasjon

Det ble laget en PowerPoint presentasjon som inneholdt byggeveiledningen i tillegg til en animert versjon av oppbygging og virkemåte. Tanken var at dette kunne være en hjelp til læreren når prosjektet ble gjennomført i klasserommet.

Vedlegg B.2 viser starten på presentasjonen fram til hvor den kun er en kopi av byggeveiledningen.

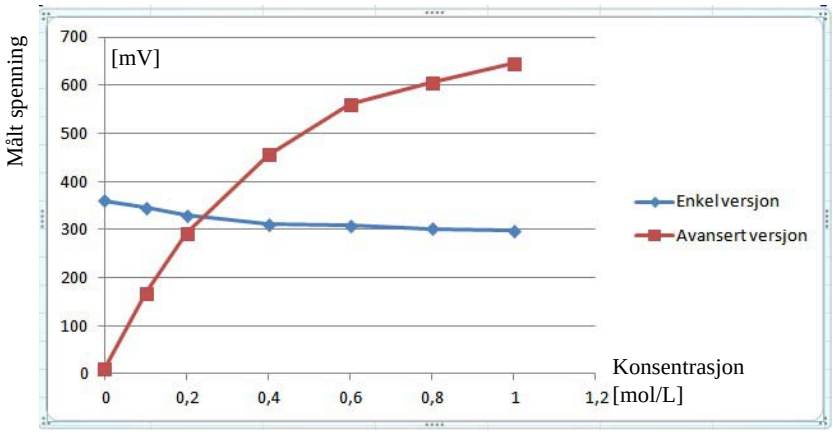
3 Utprøving

3.1 Etablering av standardkurver

3.1.1 Typisk standardkurve – enkel og avansert versjon av kalorimeteret

Standardkurven etableres på bakgrunn av kalibrerte løsninger med kjent konsentrasjon for de stoffene som skal bestemmes. Det er gjort målinger rett ut fra fotodioden (enkel versjon), og etter forsterkeren (avansert versjon).

Figur 3.1 viser standardkurven for kobbersulfat ($CuSO_4$) bestemt ved måling av de kalibrerte løsningene: 0 - 0,1 - 0,2 - 0,4 - 0,6 - 0,8 og 1,0 mol/L.



Figur 3.1 Standardkurve for kobbersulfat ($CuSO_4$). Avlest spnning som funksjon av løsningens konsentrasjon.

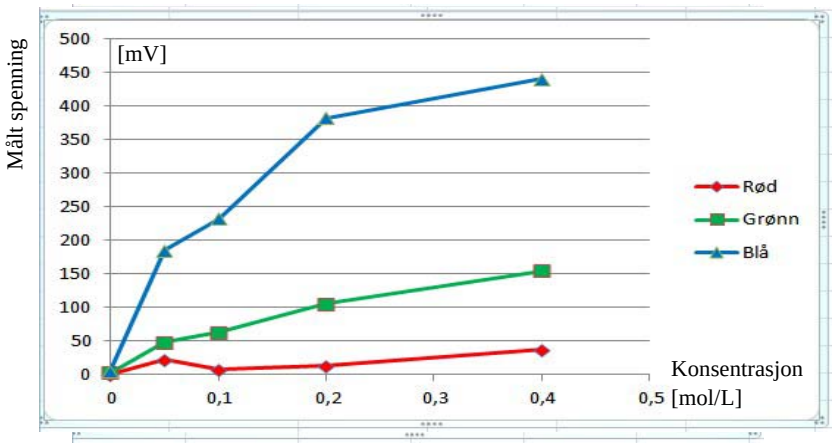
Spenningen målt direkte over fotodioden (enkel versjon), varierer med ca. 60 mV (360 til 298 mV), for konsentrasjoner mindre en 1,0 mol/L. Mens spenningen målt på utgangen av forsterkeren varierer med drøyt 630 mV (12 til 646 mV), over det samme spennet i konsentrasjon.

Siden spenningen ut fra fotodioden ligger mellom 3 – 400 mV, må vi bruke måleområdet 0 – 2000 mV til multimeteret, og vi må leve med redusert avlesningsnøyaktighet. Ved å forsterke og nulljustere signalet, kan vi bruke måleområdet 0 – 200 mV for lave konsentrasjoner (ca. 0 – 0,2 mol/L) og oppnår meget god avlesningsnøyaktighet. Siden den avanserte versjonen forsterker signalet med en faktor 10, vil vi også oppnå god avlesningsnøyaktighet selv om vi må bruke måleområdet 0 – 2000 mV.

3.1.2 Standardkurver ved ulike lysfarger

Å velge en farge på lyset som er optimal i forhold til fargen til oppløsningen er helt avgjørende for et godt resultatet. Jernklorid ($FeCl_3$) får en gulbrun farge når det holdes opp mot lyset (hvitt lys). Hypotesen blir dermed at blått lys burde være optimalt og

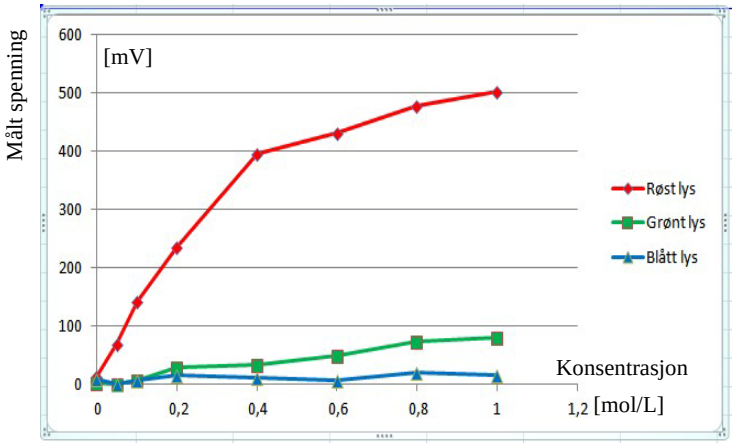
dermed skulle gi størst utslag som funksjon av løsningens konsentrasjon (jfr. komplementære farger).



Figur 3.2 Standardkurver for jernklorid ($FeCl_3$) i området 0 – 0,4 mol/L som funksjon av fargen til lyskilden.

Figur 3.2 viser målinger gjort med avansert versjon av kolorimeteret for rødt, grønt og blått lys. Vi ser at hypotesen stemmer godt. Det blå lyset gir en spenningsvariasjon på 440 mV over et konsentrasjonsspenn på 0,4 mol/L, mens tilsvarende verdier for grønt og rødt lys er henholdsvis ca. 150 mV og 40 mV. Vi kan dermed slå fast at blått lys er nærmest den komplementære fargen til løsningen ($FeCl_3$) av de tre lysfargene vi har tilgjengelig.

Vi kan gjøre tilsvarende for en løsning av kobbersulfat ($CuSO_4$) som er blå når vi holder den opp mot lyset (hvitt lys). Av vårt monokromatiske utvalg burde derfor rødt lys være gunstigst mht. å oppnå størst spenningsutsving over måleområdet.



Figur 3.3 Standardkurver for kobbersulfat ($CuSO_4$) i området 0 – 1,0 mol/L som funksjon av fargen til lyskilden.

Figur 3.3 viser målinger gjort med avansert versjon av kolorimeteret for rødt, grønt og blått lys i løsninger av kobbersulfat. Vi ser at hypotesen stemmer godt. Det røde lyset gir en spenningsvariasjon på ca. 500 mV over et konsentrasjonsspenn på 1,0 mol/L, mens

tilsvarende verdier for grønt og blått lys er henholdsvis ca. 80 mV og 20 mV. Vi kan dermed slå fast at rødt lys er den fargen av vårt utvalg som er nærmest den komplementære fargen til løsningen ($CuSO_4$).

3.2 Kvalitetstesting

I dette avsnittet skal vi ved hjelp av målinger forsøke å bestemme kolorimeterets kvalitet. Det er flere faktorer som kan ødelegge kvaliteten på målingene:

- Drift, måleverdier som endres med tiden under ellers like forhold.
- Støy, målinger som ikke faller til ro, men er i stadig og raske endringer omkring målverdien.

Det siste har vi sett lite av. Vi velger derfor å undersøke driften til instrumentet.

3.2.1 Drift

En utfordring ved bruk av kolorimeteret er at måleverdien endrer seg til tross for at ingen eller samme prøve står i ro i kyvettekammeret. Dette går under betegnelsen *drift*. Vi kan sette opp ulike hypoteser for årsaken til slik drift:

1. ***Batterispenningen endrer seg***
   Siden spenningen til lysdiodene er stabilisert, burde drift av batterispenningen kun påvirke forsterkningen som er koblet direkte til batteriet.
2. ***Temperaturdrift i lysdiodene***
   Det er rimelig å forvente at det vil skje en oppvarming av lysdiodene etter som tiden går. Oppvarming vil igjen medføre endring i diodestrømmen og med den, lysstyrken. En slik endring vil flate ut ettersom temperaturen i lysdioden stabiliserer seg.
3. ***Temperaturdrift i forsterkeren***
   Likespenningsfortsterkere er alltid utfordrende. Ved bruk elektronikk vil betingelsene alltid endres etter som tiden går. Dette skyldes ofte at temperaturen til kretsen endrer seg med omgivelsestemperaturen eller ved intern oppvarming pga. strømmen i kretsen. Dersom omgivelsene er relativt stabile vil drift på grunn av indre oppvarming gjerne flate ut over tid.

Det er utført målinger av drift som funksjon av tiden. Målingene er gjort under følgende betingelser:

a. Kretsen er avslått minimum 30 min. før hver måleserie

b. Batteriet er byttet ut med et “power supply” (nettaggregat)

c. Kyvettekammeret er tomt, men dekket til slik at det ikke slipper lys inn i kammeret

d. Ved start er utgangsspenningen justert til ca. 100 mV (null-referansen). Det er også gjort målinger ved nullreferanser på 20 og 180 mV.

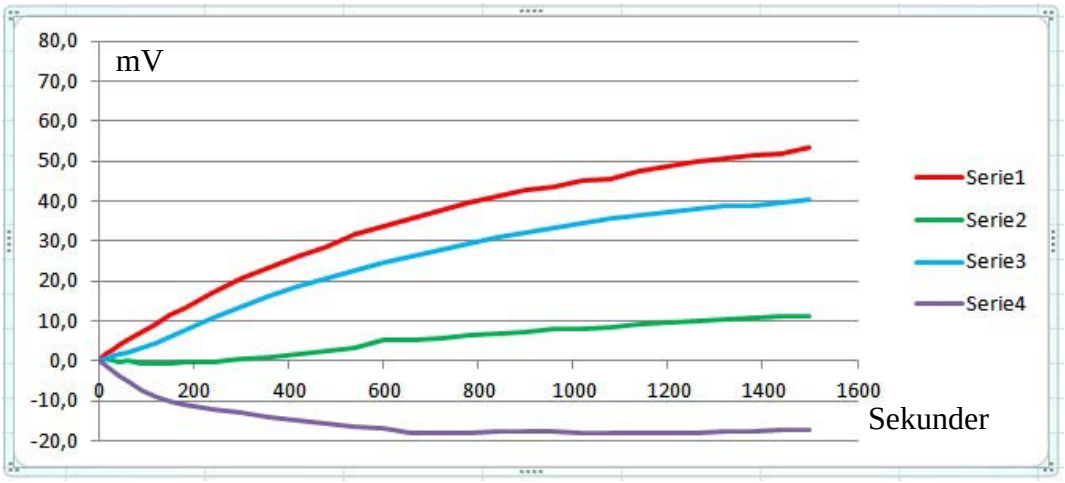
e. Drift er målt over 25 min.

f. Det er utført målinger på alle tre diodene (RGB), men flere på rødt.

g. Måleseriene er ved presentasjon, normalisert ved at de alle er flyttet til 0 V ved start av måleserien

Drift - spredning mellom ulike byggesett

La oss først måle driften hos den røde dioden hos fire forskjellige byggsett. Alle er målt med en null-referansespenning på ca. 100 mV, for så å nomaliseres til null volt ved plotting. Strømmen i diodene omtrent den samme, ca. 14 mA (seriemotstand på ca. 220 Ω). Resultatet er vist i figur 3.4.



Figur 3.4 Måling av drift for den røde lysdioden hos fire ulike byggsett, alle med kyvettekammer av aluminium. Tiden er angitt i sekunder fra start.

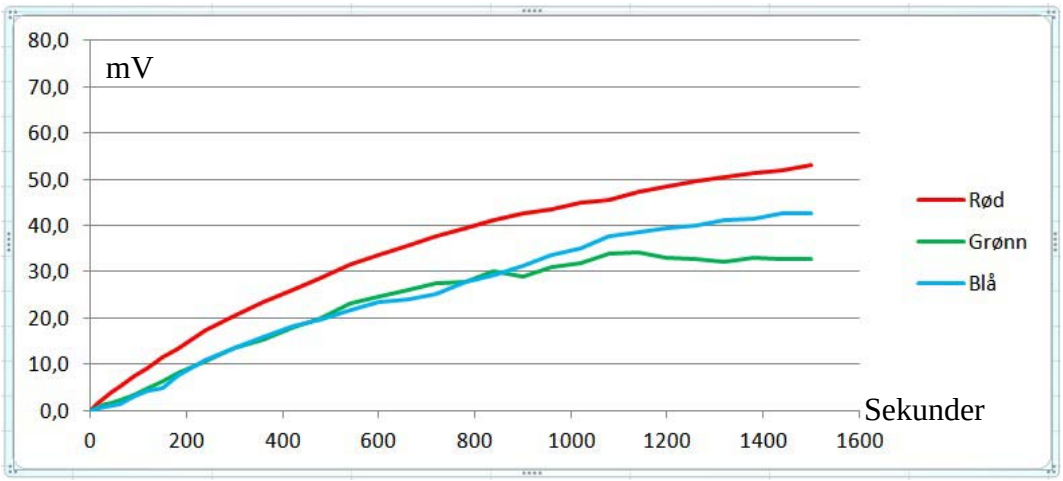
Som vi ser er det stor forskjell i driften til disse fire settene, selv om drift mot høyere spenningsverdier synes å dominerer. Vi legger også merke til at vi skal vente ganske lenge for verdiene stabiliserer seg.

Standard kurve vist i figure 3.1 gir en typisk variasjon på 630 mV/(mol/L), eller grovt tilnærmet en følsomhet på ca. 600 mV pr mol/L.

Figur 3.4 viser at vi har en drift på ca. 53 mV over en periode på 25 min. Antar vi at forløpet er linjert (hvilket er en grov tilnærming), vil vi få en drift på typisk 2 mV pr. min. Dersom vi antar at vi klarer å gjøre unna hele måleserien i løpet av 3 min., vil dette gi oss en variasjon på ca. 6 mV, eller en drift som tilsvarer et avvik i konsentrasjon på ca. 0,01 mol/L. Hvilket ikke er mye i denne sammenheng. Gjøres målingene rett etter at instrumentet er slått på vil nøyaktigheten blir noe dårligere. Tilsvarende vil den bli noe bedre dersom vi venter 10 – 15 min. etter påslag før vi kalibrerer og måler. Driften vil relativt sett bety mer for nøyaktigheten ved måling av lave konsentrasjoner enn ved høye konsentrasjoner.

Drift - spredning mellom fargene

Figur 3.5 viser hvordan de tre lysdiodene i sett nr. 1 har litt forskjellig drift med tiden.



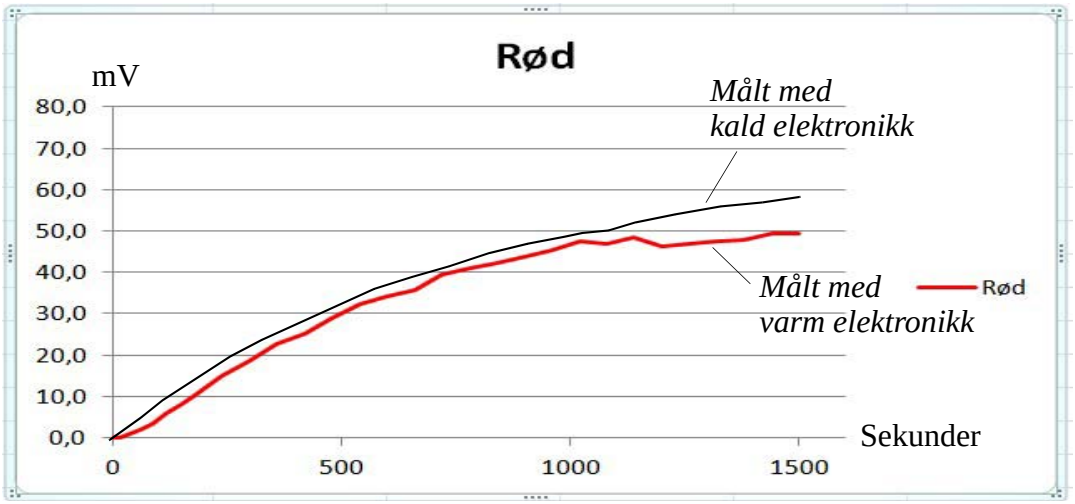
Figur 3.5 Målt drift som funksjon av tiden for rød, grønn og blå diode. Kurvne er normalisert til 0 V. Tiden er angitt i sekunder fra start.

Av figur 3.5 ser vi at alle tre kurvene øker etter som tiden går. Vi ser at rødt har noe større drift enn blått og grønt. Vi ser at kurvene begynner å flate ut etter ca. 20 min. Vi vet imidlertid ikke om denne driften skyldes lysdiodene eller den etterfølgende fotodioden og forsterkeren. Vi kan imidlertid utelukke spenningskilden som årsak til driften, da det brukes et stabilt nettaggregat.

Drift i forsterker eller i lysdiode?

For å finne ut i hvilke grad driften skyldes diodene (lys- og fotodiode) eller den etterfølgende elektronikken, har vi valgt å la elektronikken være påslått i ca. 4 timer (varm elektronikk) før vi måler driften (diodene har vært avslått i denne perioden). Vi har der-

etter målt drift i utgangsspenningen fra den røde dioden er påslått og i 25 påfølgende minutter. Deretter har vi sammenlignet resultatet når forsterkeren ikke er forvarmet (kald elektronikk):



Figur 3.6 Øverste kurve drift målt med kald rød diode og kald elektronikk. Nederste kurve er målt med varm elektronikk, men med kald rød diode.

Figur 3.6 synes å vise at driften hovedsakelig er knyttet til diodene og ikke til resten av elektronikken. Den siste utflatingen er vanskelig å forklare, men minner mye om det vi så på den blå og dels på den grønne dioden i figur 3.5.

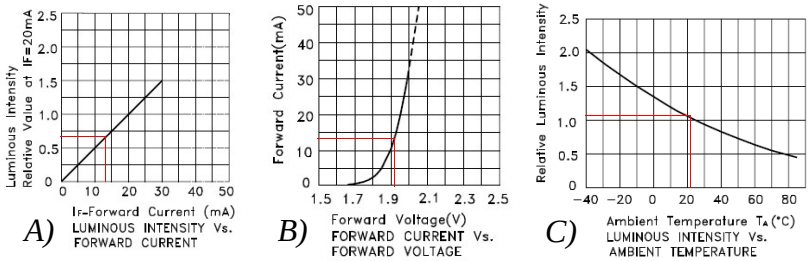
Skal man unngå drift ser det ut til at kolorimeteret bør få en oppvarming på minst 20 min.

Drift som funksjon av strøm i lysdiodene

Ser vi på databladet finner vi at 20 mA er typisk strøm brukt under testing (figure 3.7 A). Målinger viser at strømmen i lysdioden med seriemotstand på 222 Ω[1] er 13,8 mA. Vi ligger dermed godt under typisk verdier for strømmen i dioden, hvilket burde redusere

1. Det er utført nøyaktig måling av de individuelle motstandsverdiene.

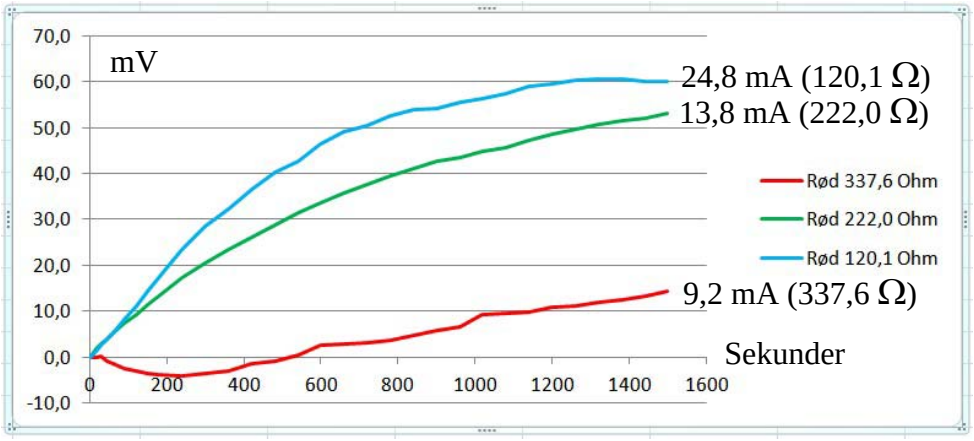
driften. Av figur 3.7 C ser vi at lysstyrken endrer seg betydelig med temperaturen. Det er rimelig å anta at økt strøm også gir økt temperatur innen på diodechip'en. Det kan derfor være verdt å forsøke å redusere strømmen ytterligere for å se om dette påvirker driften.



Figur 3.7 Noen utvalgte data for L-154A4SURKPBAVGAW for fargen hyperrød.
A) Relativ lysstyrk som funksjon av strøm (13,8 mA - 70 % av typisk verdi)
B) Spenning over dioden som funksjon av strøm (13,8 mA - 1.91 V)
C) Relativ lysstyrke som funksjon av omgivelsestemperatur.

Redusert lysstyrke vil imidlertid også påvirke målingene ved at standardkurven flater ut for lavere konsentrasjoner, dvs. at instrumentets anvendelige område innskrenkes.

Figur 3.8 viser hvordan driften varierer med seriemotstanden for den røde lysdioden.



Figur 3.8 Drift som funksjon av seriemotstand (strøm).
Alle målinger er gjort på den rød lysdioden i sett 1.

Strømmen i de tre tilfellene er (spenningen målt over seriemotstanden er oppgitt i parantes):

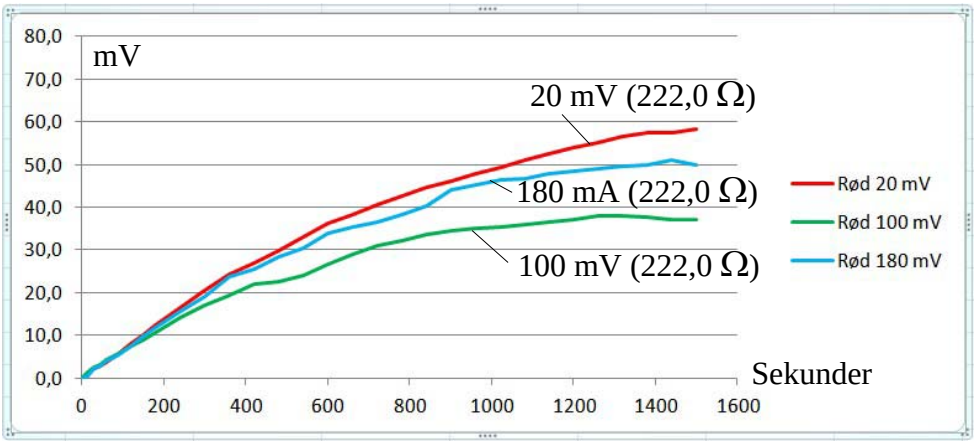
- 9,2 mA - 337,6 Ω (3,12 V) - drift 18,5 mV (etter 25 min.)
- 13,8 mA - 222,0 Ω (3,06 V) - drift 53,2 mV (etter 25 min.)
- 24,8 mA - 120,1 Ω (2,98 V) - drift 60,1 mV (etter 25 min.)

Vi observerer at ved å redusere i strømmen i lysdioden fra 13,8 til 9,2 mA, reduseres driften over 25 minutter fra kaldstart med hele 34,7 mV, eller med 65 % for denne spesielle lysdioden.

Det synes derfor som om det er fornuftig å redusere strømmen med 4,5 mA hvilket også vil medføre lengre levetid for batteriet. Det vil imidlertid være viktig å se hvordan reduksjonen i strømmen påvirker standardkurven. Det må imidlertid presiseres at det kun er gjort målinger på ett sett.

Drift som funksjon av "null-referanse" spenning

Når vi starter målingen er det anbefalt at vi justerer spenningen til en verdi nær null ved tomt kyvttekammer, vi har tidligere kalt denne spenningen for null-referansen. I målingene foran har vi alltid valgt en null-referanse nær 100 mV. Deretter er alle kurver normalisert til 0 V ved at "null-referansen" ved start er trukke fra samtlige måleverdier. Dermed starter alle kurvene på 0 V. Alle målinger er gjort for den røde dioden med en seriemotstand på 222 Ω (13,8 mA).



Figur 3.9 Viser hvordan valg av "null-referansen" påvirker driften.

Ut fra figuren kan det set ut til at 100 mV er den beste av de tre.

3.2.2 Hvordan unngå drift

En enkel måte å unngå drift på er å la instrumentet stabilisere seg før målingene gjennomføres eller å redusere strømmen i lysdioden. Siden stabilisering kan ta inntil 20 min. og redusert strøm innskrenker måleområdet, er det fristenede å forsøke å finne andre måter å gjør det på.

Alle de foreslåtte alternativene medfører et nytt design og bruk av mikrokontrollere, hvilket ikke trenger å fordyre kretsen nevneverdig, men redserer innsynet i kretsens virkemåte betydelig.

Fortløpende nulljustering

Denne metoden baserer seg på at instrumentet mellom hver oppløsning som settes ned i kammeret, måler null-referanseverdien og trekker denne fra måleverdien. Dvs. at en trykker på en knapp mellom hver måling, når det skjer, måler instrumentet lysintensiteten ved tomt kyvettekammer. Denne verdien trekkes så fra verdien som gjøres i den påfølgende målingen. På denne måten vil betydningen av drift minimaliseres dersom tiden fra kalibrering til måling er kort.

Betenkning:

Instrumentet blir på denne måten langt mer pålitelig dersom mikrokontrolleren har tilstrekkelig målenøyaktighet (se under).

På den annen siden må en sørge for at måleinngangen på kontrolleren er følsom nok. For en billig kontroller av typen PICAXE-08M2 er denne på 10 bit hvilket vil si en nøyaktighet på ca. +/- 2,5 mV som muligens i mange tilfeller er tilstrekkelig. Dersom man fortsatt skal bruke et multimeter vil det vært ønskelig med en analog ut gang fra kontrolleren, hvilket denne kontrolleren ikke har. En kan imidlertid pulsbreddemodulere utgangssignalet og mål effektivverdien ved hjelp av AC-spenningsmåleren på multimeteret. Dette må imidlertid etterprøves.

Pulsmålinger

En annen metode som kan vurderes er å slå på lysdiodene i korte tidsintervaller. Målingene kan ev. gjøres hver gang man trykker på en knapp. Når målingene er så korte vil en unngå drift i lysdioden og målingene blir mer stabile. Dessuten vil en spare batteriet siden lysdiodene kun trekker strøm i meget korte øyeblikk.

Betenkning:

Også denne metoden krever bruk av mikrokontroller hvilket vil gi de samme ulempene som nevnt foran. Det eneste en unngår er referansemålingene som må tas med tomt kyvettekammer mellom hver måling. Målesituasjonen vil derfor bli noe ryddigere da en kun forholder seg til målingene og slipper å tenke på kalibrering med tomt kyvettekammer.

Instrument med avlesning

En kan også tenke seg at en tar skrittet fult ut ved at instrumentet tar opp en standardkurve som lagres i mikrokontrolleren. Under selve målingen interpolerer instrumentet langs standardkurven og viser måleverdien på et display. Et slikt instrument vil kunne regne om verdien til en konsentrasjon.

Betenkning:

Et slikt instrument vil bli vesentlug dyrere selv om elevene kan bygge det på grunnlag av et byggesett, men mye av vitsen med instrumentet er borte, ved at hele prosessen ligge skjult i kontrolleren slik den ofte er i profesjonelle instrumenter, selv de billigste.

3.3 Pedagogisk uttesting

Tabell 1 gir oversikt over hvor kolorimeteret er utprøvd og solgt for vurdering i 2011.

Tabell 1 Oversikt over utprøving og salg av kolorimeter

Målgruppe	Samling	Tidsrom	Antall sett	Skole	Kontaktperson	Rap.	Kommentar
ToF-lærere	ToF1-kurs	10.02.11	15	-	Astrid Johansen	Ja	SL
ToF-lærere	Nettverks-samling	02.03.11	16	-	Hilde Ervik	Ja	Byåsen vgs
Student NTNU	Korrektur	mars 11	1	-	Roy Even Aune	Ja	SL
Elever (us)	Arb. uke	juni 11	15	Malvik us.	Per-Odd Eggen	Ja	SL
Lærerutdanere	Besøk Kyoto	5. sept.	2	Shiga uiniv. Kyoto	Ellen Duister	Nei	SL
Elever (vgs)	ToF	sept.-okt. 11	50	Gerhard Schöning	Geir A. Kjønstad	Ja	G. Schöning
Elever (vgs)	ToF	sept.-okt. 11	25	Hoten vgs	Guro H. Hetland	Ja	Horten vgs
Elever (vgs)	ToF	sept.-okt. 11	45	Byåsen vgs	Anne T. Aarøe	Ja	Byåsen vgs
Lærere	Naturfag-konferansen	20.-21.okt 11	19	-	Runar Baune	Ja	Blinderen
Lærere/elever	For utprøving	25. okt 11	5	Oppland	Steinar Bakken	Nei	Bestilt
Lærere/elever	For utprøving	28. okt. 11	4	Strand vgs.	Ressurs 506165	Nei	Bestilt
Lærer	For utprøving	18.11.11	2	Jönköping, Sverige		Nei	Bestilt
Elev	For utprøving	17.12.11	20	Oslo by Steiner skole	Marianne Auke	Ja	Bestilt for utprøving
Totalt			219				

3.3.1 Utprøving blant lærere

ToF-kurs 10. jan. 2011 (spørreskjema vedlegg A.1)

Innslag på ToF-kurs ved Skolelaboratoriet.

Målgruppe: ToF-lærere

Antall: 10 av 15 svarte

Kyvettekammer: Kapa, versjon 1

Erfaringer og konklusjon:

Alt i alt ser det ut til at kolorimeteret ble svært godt mottatt

Av byggingen er det **kyvettekammeret som volder mest bry**. Det krever stor grad av nøyaktighet mht. skjæring og montering (3,5). Det samme gjelder loddingen. Flere mener at byggesettet vil **fungere bedre med forkappet kapa**, andre at det er god trening i nøyaktig arbeid. Tror elevene vil mestre byggingen, men ikke uten problemer.

Deltagerne uttrykker dessuten **bekymring for at lekkasjelys slipper inn nær bunnen**. Det foreslås å montere en svart tape eller lignende i bunnen. Det kan nevnes at lyslekkasje bare blir et problem dersom den er stor nok til å påvirke målingen og varierer i løpet av måleserien.

Det er enighet om at kolorimeteret er et **passende prosjekt for ToF-faget** (5,0) og at det f.eks. vil egne seg for måling av konsentrasjon av metaller i vannprøver. **Et samarbeid med kjemifagene vil være en fordel, men ikke avgjørende.**

De fleste er også enige om at det er viktig at elevene forstår hvordan kolorimeteret fungerer. **Flere mener at elektronikken blir vanskelig å forstå,** en nevner også kalibrering. De fleste er imidlertid enige om at **prinsippet for instrumentet er relativt lett å forstå**.

Dersom vi klarer å **holde prisen på under kr. 150,-**. så ser det ut som settet har et betydelig marked. Noen er villige til å betale inntil kr. 250,-. Dersom hovedfokus er på anvendelse (kjemi) så kan man nøye seg med ett sett pr. tre elever. Dersom **hovedfokus er på bygging, så bør hver elev bygge sitt kolorimeter**.

Det virker som om deltagerne likevel er litt **usikre på om de kommer til å bruke opplegget i undervisningen**. De er imildlertid **optimistiske mht. instrumentets anvendelighet**.

Én antyder imidlertid at prosjektet kan være noe smalt. Det er derfor **viktig å vise aktuelle bruksområder** slik at en ser et større anvendelsesmråde.

Konsekvenser:

Følgende endringer ble gjort på bakgrunn av disse uttalelsene:

- *Kyvettetkammeret i kapa ble konstruert på nytt slik at det skulle bli lettere å sette sammen.*
- *Fotodioden ble montert mellom to kapaplater for å unngå lyselekkasje fra baksiden av fotodioden.*
- *En svart papplate dekket bunnen for å redusere lyslekkasjenær bunnen. Forsøk synes å vise at lyslekkasje ikke er noe problem så lenge en bruker kolorimeteret innendørs.*
- *Byggingen av kyvettekammeret ble flyttet fra slutten til starten av aktiviteten, dermed kunne kyvettekammeret tørke, mens elektronikken ble montert. Dette ble implementert i byggeveiledningen.*
- *Skille mellom bygging av enkel og avansert versjon ble tydelig markert i byggeveiledningen*
- *Plasseringen av hvilken vei av/på-bryteren skal monteres ble gjort tydeligere i byggeveiledningen.*

Nettverkssamling 2. mars 2011 (spørreskjema vedlegg A.1)

Nettverkssamling ToF-lærere ved Byåsen videregående skole.

Målgruppe: ToF-lærere

Antall: 5 av 17 svarte

Kyvettekammer: Kapa, versjon 2

Erfaringer og konklusjon:

I forhold til den forrige versjonen av kyvettekameret synes denne å være **lettere å bygge for de fleste** (2,4 mot 3,5). Det kan også være at gruppen inkluderer mer erfarne lærere. **Nøyaktighet blir fortsatt oppfattet som den største utfordringen**. Dette blir understreket når en oppdager hvor **vanskelig det er å rette opp feil,** ikke minst loddefeil. De mener elevene vil mestre byggingen, men ikke helt uten problemer.

Lærerne mener at bygging av kolorimeter **passer perfekt til ToF-faget** (5,8 mot 5,0). Igjen påpekes det hvor viktig det er å vise **eksempler på praktisk anvendelse** av kolorimeteret for at prosjektet skal bli meningsfullt.

Som sist blir det understrekes at det er **viktig at elevene forstår virkemåten**. Prinsippet er enkelt, men **de mange elektroniske komponentene er forvirrende**.

Det er en fordel å gjennomføre prosjektet sammen med kjemilærer, men det avhenger av anvendelsen. Flere sier at de gjerne vil bruke kolorimeteret i ToF-faget.

Konsekvenser:

Følgende ble gjort på bakgrunn av disse uttalelsene:

- Den nye versjonen av kyvettekammeret **var noe lettere å bygge**. Likevel var det mange som strevde. Nøyaktighet er det som erfares som det absolutt viktigste. Dette ble presisert i byggeveiledningen.
- Det er en betydelig **ulempe med gjennompletterte**[1] **kretskort,** siden feil er vanskelig å rette opp. Dette er det vanskelig å gjøre noe med uten å lage kretskortene på nytt.
- For lærerne er det viktig at det **finnes gode eksempler på praktisk anvendelse** for at de skal ta i bruk kolorimeteret i undervisningen.
- Kyvettekammeret bør **gjøres enda enklere å bygge**. Med mindre at en ønsker å utfordre elevene til et krevende byggeprosjekt.

I etterkant av denne utprøvingen ble det utviklet to nye varianter av kyvettekammeret, ett i tre og ett i aluminium.

Naturfagkonferansen 20 okt. 2011 (spørreskjema vedlegg A.1)

Verkstedaktivitet under Naturfagkonferansen på Blinderen 20. okt. 2011.

Målgruppe: 17 kjemilærere og 2 ToF-lærere

1. Gjennomplettering betyr at det er lagt metall i og rundt hullene på begge sider av kortet. Hvilket medfører at loddingen blir mye mer robust, og dermed vanskelig å rette opp ved feillodding.

Antall: 13 av 19 svarte

Kyvettekammer: Aluminium

Erfaringer og konklusjon:

Økta varte 2,5 timer + 30 min. pause. De raskeste brukte ca. 2,5 timer inkludert den kjemiske analysen, og var ferdig ca. 30 min. før økta var ferdig. De langsomste brukte 3,5 timer og rakk bare så vidt å kalibrere kolorimeteret.

Den **største utfordringen synes for mange å være lodding** hvilket til en viss grad skyltes dårlige loddebolter, dårlig lys/syn og ikke minst at mange ikke hadde loddet tidligere. Dette kan det gjøres noe med ved å legge vekt på godt verktøy og loddekurs. Etter at kyvettekammeret i kapa ble byttet ut med et kammer i alumnium, kan det se ut til at **utfordringen er flyttet fra kyvettekammeret og til loddingen**. Ellers kreves fortsatt tålmodighet og nøyaktighet.

Som antatt mente mange at det er **for lite tid til denne aktiviteten i Kjemi 2**, men et samarbeid mellom Kjemi og ToF 1. Eller at instrumentet bygges i Kjemi 1, hvor det er bedre tid, og så å brukes i Kjemi 2.

Det syntes å være **vanskeligste å forstå hvordan en skulle velge farge til lyskilden** ev. hvordan komplementærfarger fungerer. Dernest oppleves elektronikken komplisert. Det er også interessant å se at **noen reagerer på at spenningen stiger med økende absorbans**. Skal en først legge vekt på å gjøre tingene så enkle som mulig for å skape forståelse, så bør en kanskje fjerne den siste elektronikken og heller legge vekt på å forklare fallende spenning med økende absorbans. Dette vil også gjøre settet vesentlig billigere (ca. kr. 35).

De foreslåtte analysene er ulike vannanalyser: Nitritt i vann, kobber i varmt vann, kobberanalyse med cuprizon …

Konsekvenser:

Mens vi tidligere har hatt ToF-lærere som ofte har bakgrunn fra fysikk, hadde vi denne gangen overveiende kjemikere noe som medførte større utfordringer med lodding, fargevalg (komplementærfarger) og elektronikken.

- Det sørges for godt verktøy og godt lys, spesielt når det er voksne mennesker som er utrente "loddere".
- Den enkleste kolorimeter-versjonen bør prøves ut på elever (dette er ennå ikke gjort).

3.3.2 Utprøving blant elever

To arbeidsukeelever[1], 9. trinn, mai 2011

Arbeidsuke elevene fikk i oppdrag å bygge 15 kolorimeter, 5 med kyvettekammer av kapa, 5 av tre og 5 av aluminium. Deretter skulle de kommentere feil og uklarheter i byggebeskrivelsen samt vurdere vanskelighetsgraden for de tre variatene.

1. Sondre Knudsen og Magnus Lysø (Malvik ungdomsskole)

Kyvettekammer i kapa:

Elevene savnet en tydeligere beskrivelse av hvordan papirmalen skulle overføres til kapaen slik at bitene fikk samme størrelse og form som malen[1].

De syntes det var **vanskelig å skjære rette kanter ned i kapan**. Dette **tok lang tid**. Arbeidet med å bygge kyvettekammeret i kapa **tok ca. 2 timer**. Likevel syntes de dette var det morsomste da det **ga stor mestingsfølelse når de fikk det til**.

Kyvettekammer i tre:

De savnet en tydeligere beskrivelse av hvordan kyvettekammeret skulle festes til kretskortet.

Under selve framstillingen av kammeret oppdaget de at kammeret var litt for langt (dekket hullene til diodene) og litt for smalt[2]. Dessuten viste deg seg at **boret var litt for lite** (17 mm) slik at det ble mye "kjedelig" filing for å tilpasse det runde hullet til kyvetten. Arbeidet med kyvettekammeret i tre **tok ca. 1 time.**

Kyvettekammer i aluminium:

De bemerket at det bør påpekes at i byggebeskrivelsen at diodene må tilpasses hullene i kretskortet før kammeret limes til kretskortet. Det er vanskelig å gjøre dette etter at kammeret er festet.

Kyvettekammeret i aluminium var det enkleste og det **kjappeste av de tre**. Brukte **litt over 1 time** for å lage det.

Bygging av elektronikken:

Byggebeskrivelsen var detaljert og fin. Det bør opplyses om at beina på motstandene (og beina på andre komponenter) **bøyes *litt* ut til siden på loddesiden før de loddes** slik at de ikke faller ut av hullene når kortet legges med loddesiden opp. **Det er lurt å montere lave komponenter førde større komponentene monteres**.

---

1. En papirmal som viser størrelsen og formen til de enkelte bitene som kyvettekammereret skal settes sammen av, følger med byggesettet. Papirmalen overføres til kapaen ved å legge malen på kapaen for så å bruke en kartnål til å stikke små hull gjennom malen og ned i kapaen. Deretter trekkes linjene opp på nytt med linjal.
2. Det ble brukt standard listverk som ikke var perfekt, men passet nesten. Om denne løsningen skulle velges måtte en få spesialskåret lista med ideelle dimensjoner. At det var litt for langt medført at det delvis dekket hullene hvor diodene skulle monteres (lot seg lett løse). At de var litt smalt medførte at veggene ble tynne og lett kunne gå i stykker under boringen.

Deretter fikk de spørsmål om å angi vanskelihetsgrad (1 (lett) – 6 (vanskelig)):

Tabell 2 Oversikt over avkrysningssvar.

	Hvor vanskelig var det å:					
	... bygge kyvettekammeret	... forstå byggebeskrivelsen for kyvettekammeret	...bygge elektronikken	...forstå hvordan elektronikken virket	...få kolorimeteret til å fungere tilfredsstillende	...kalibrere kolorimeteret
Kapa	4	3	2	6	1	1
Tre	3	2				
Aluminium	2	2				

Som vi ser kommer aluminiumskyvetten best ut, men den var kanskje ikke så morsom å mestre som kapaen. At de synes det var vanskelig å forstå hvordan elektronikken fungerte, er ikke så rart siden de aldri fikk den forklart.

En takk til Sondre Knudsen og Magnus Lysø (Malvik ungdomsskole) som gjennomførte bygging og uttesting.

Gerhard Schöning videregående skole – ca. 45 elever (spørreskjema vedlegg A.2)

Elevene bygget kolorimeteret som en del av undervisningen i ToF 1.

Kontaktlærer: Geir Arne Kjønstad

Målgruppe: ca. 45 ToF1-elever vg 2

Antall: 30 svar

Kyvettekammer: Kapa

Tilbakemelding:

De aller fleste mente at byggebeskrivelsen var grei, men 7 hadde bemerket visse problemer. Tre grupper pekte på at det var **uklart hvordan kyvettekammeret skulle festes til kretskortet**. Ca. halvparten oppga at kammeret var enkelt å bygge ***resten oppfattet utskjæring og bygging av som vanskelig***.

Byggingen av elektronikken ble oppfattet som greit og stort sett godt beskrevet, enkelte bemerket at det var vanskelig å lese fargekodene på motstandene.

9 bemerket at ***beskrivelsen av kalibreringen var vanskelig å forstå***.

Lodding, bygging og det å gjøre noe praktisk oppgis som det som var artig. Bare en svarer at dette ikke var artig. Noen påpeker også at det var artig å lage noe som kunne brukes og som man i etterkant kunne se virket.

9 av settene fungerte dessverre ikke og ble sendt i retur for feilsøking og retting (se avsnitt 3.3.3).

En takk til Geir Arne Kjønstad ved Gerhard Schöning vgs.

Horten videregående skole – 23 elever (spørreskjema vedlegg A.2)

Elevene bygget kolorimeteret som en del av undervisningen i ToF 1.

Kontaktlærer: Guro Huneide Hetland ved Horten vgs

Målgruppe: ToF 1-elever vg 2

Antall: 23 av 23 svarte

Kyvettekammer: Kapa

Tilbakemelding:

Så godt som alle mente at ***byggebeskrivelsen var god***, men mange peker på at det bør ***markeres enda tydeligere hvilken vei diodene skal monteres***. De fleste oppga at kammeret stort sett var enkelt å bygge, men en del syntes at **utskjæring og bygging var vanskelig**. Det ser ut som om de fleste brukte gaffa-tape i tillegg til lim for å sette sammen kyvettekammeret.

De aller fleste syntes byggebeskrivelsen for elektronikken var grei. Kommentaren som oftest gikk igjen var problemer med å ***lese av og finne ut hvilken vei motstandene*** skulle monteres. Nesten alle oppga at elektronikken var lett å bygge, bare noen rapporterte om problemer.

De fleste mente at beskrivelsen av kalibrering og bruk var grei og uproblematisk. Det går imidlertid igjen at elevene syntes instrumentet var vanskelig å kalibrere. Mange syntes ***spenningsvariasjonene var vanskelig å forholde seg til, og at multimeteret "hoppet" eller "levde sitt eget liv"***.

De fleste synes loddingen var artigst, i tillegg til at de fikk gjøre noe praktisk. 5 (av 23) svart dessuten at de syntes det var artig å få det til å virke, og å lage, kalibrere og måle med instrumentet.

En takk til Guro Huneide Hetland og hennes elever ved Horten vgs.

Utdrag av rapport skrevet av Cerine C. Hansen ved Horten vgs [3][1]

Bygging og bruk av kolorimeteret inngikk i et større prosjekt knyttet til testing av vannkvalitet. I oppgaven inngikk følgende problemstillinger: ... *forstå virkemåten til kolorimeteret og teste/bruke det til undersøkelser i tilknytning til forurensing i vann.* I tillegg skulle elevene: ... *få innsikt i nytten og begrensningen til dette måleinstrumentet sammenliknet med spektrofotometeret*.

1. Gjengitt med tillatelse fra forfatter.

Vi siterer fra rapporten: *Vannkvalitet* av Cerine C. Hansen Vg2, Horten videregående skole:

Under avsnittet *Hensikt* skriver hun bl.a (side 1).:

> *Å se nytten og begrensninger til dette kolorimeteret sammenliknet med det mer sikre spektrofotometeret, har også vært vesentlig.*

I avsnittet om byggingen pressiserer hun stadig betydningen av å være nøyaktig og å følge oppskriften nøye. Nøyaktighet er spesielt viktig under byggingen av kyvettekammeret (kapa) og ved montering av komponenter som må plasseres riktig vei.

I teoridelen gjør kandidaten et poeng av at Beers lov forutsetter en lineær sammenheng mellom absorbans og løsningens konsentrasjon. På bakgrunn av Beers lov bruker hun mye tid til å drøfte ulineæriteten til kolorometerets standardkurve. Hun erkjenner at en lineær trendkurv har best overenstemmelse når hun kun bruker målepunkter tatt ved lave konsentrasjoner (<0,3 mol/L). Hun er tro mot Beers lov og unngår det ulineære partiet av standardkurven.

Hun skriver om kalibreringen (side 8):

> *Ved kalibrering av kolorimeteret ble det observert vanskeligheter ved justeringen av potensiometeret slik at voltmeteret viste ca. 10 mV, fordi voltmeteret var utrolig følsomt og forandret fort verdi.*

Det kan synes som om kandidaten tilstreber en startverdi på eksakt 10 mV. Her bør det kanskje presiseres at poenget ikke er å treffe 10 mV eksakt, men at en starter målingene ved en passende lav verdi (men ikke under 0 V) slik at flest mlig av målingene kommer innenfor skalaen på 200 mV.

Hun skriver videre:

> *Verdiene målt med kolorimeteret var også litt ustabile, avhengig av hvordan pluggene fra voltmeteret og inn til inngangen av koblingssplinten ble koblet til, og om de ble holdt stille.*

Som omtalt tidligere kan drift være et problem. Tilkobling av multimeteret burde imidlertid ikke være det som skaper problemer med stabilitet, som antydet her. Det anbefales derfor at det brukes ledninger med bananstikk i en enden og avisolert ledningsende i den andre som skrus fast i koblingsplintene. Bananpluggene kan plugges rett i multimeteret. Om slikt ikke er tilgjengelig bør måleprobene på multimeteret skrus fast i koblingsplintene.

Under målingene ble det bl.a. brukt tetraamminkobber(II)ion $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$. Ved hjelp av spektrofotometeret ble optimal bølgelende bestemt til 600 nm. Det røde lyset i kolorimeteret har en bølgelengde på 650 nm. Dvs. relativt nær det optimale punktet. Absorbansen faller fra 0,458 @ 600 nm til 0,410 @ 650 nm. Kandidaten skriver (side 9–10):

> *De målte verdiene av absorbans* [målt med spektrofotometeret (vår bemerkning)] *var dessuten mer stabile enn ved måling med kolorimeteret. Ved opptaket av standardkurven, som siden ble brukt til å måle den ukjente prøven, ble det observert en svært lineær linje. Standardkurve 4 likner standardkurvene for kolorimeteret (1-3), men med noe høyere verdi av* R^2.

Dvs. hun bemerker at målingene med spektrofotometeret var mer stabile enn for kolorimeteret, men ellers ligner standardkurvene målt på de to instrumentene på hverandre, selv om avviket fra linæritet er større for kolorimeteret.

I drøftingen summerer hun opp forskjellene mellom de to instrumentene (side 11):

> *Ved bruk av kolorimeteret og spektrofotometeret viste det seg at verdiene målt med kolorimeteret var litt ustabile, mens verdiene målt med spektrofotometeret var relativt stabile. Dette tyder på at spektrofotometeret gir mer nøyaktige målerverdier, som minsker usikkerheten. Det var dessuten enklere å bruke spektrofotometeret, til tross for mange innstillinger. Dette skyldtes at det ikke fantes noe deksel rundt kolorimeteret som bl.a. kunne feste pluggene fra voltmeteret ordentlig, som gjorde det vanskelig å utføre kalibreringen og alle målingene nøyaktig alene. Dessuten ble det målt spenning med kolorimeteret, mens med spektrofotometeret ble absorbansen målt rett ut, altså hvilke farger som har blitt absorbert og hvilke som ble reflektert, som kan si noe om konsentrasjonen i løsningen.*

Hun er også svært usikker på hvordan hun skal håndtere kolorimeterets ulineæritet. Hun skriver (side 11):

> *Ved tillaging av standardkurvene (1-3) for kolorimetermålingene, viser det seg at det er et stort sprik mellom grafene, hvor det ble benyttet henholdsvis 4, 5 og 6 punkter fra grafen om kalibrering av kolorimeteret. Dermed kan man stille spørsmål ved hvor mange punkter det er forsvarlig å fjerne fra grafen for å komme så nærme den lineære grafen som mulig, i forhold til hvor representabel standardkurven vil være til å finne konsentrasjonen til den ukjente* [prøven]. *Likevel ble det tatt utgangspunkt i grafen med færrest punkter (standardkurve 1), som gav konsentrasjonen 0,165 mol/L ...*

Her aner vi hennes behov for å “tvinge” standardkurven til lineæritet. Likevel velger hun å bruke trendkurven beregnet ut fra standardkurven med færrest målepunkter, dvs. målinger gjort med kalibrerte løsninger med konsentrasjon i området 0–0,2 mol/L, der standardkurven fortsatt er omtrent lineær. Dette gir en verdi for den ukjente prøven på 0,165 mol/L.

Hun sammenligner så sin målte verdi, med klassens gjennomsnittlige verdi. Hun skriver (side 12):

> *Gjennomsnittet ble målt til 0,176 mol/L, og ved å markere alle verdiene og bruke funksjonen "standardavvik" på Excel, finner man standardavviket, som ble 0,01 mol/L. Det betyr at resultatet vil være 0,18 ± 0,01 mol/L. Siden denne verdien er relativt liten, kan man si at den beregnede verdien av ukjent løsning er nokså riktig. Den beregnede verdien av ukjent løsning (0,165 mol/L) ligger dessuten veldig nære gjennomsnittet, med bare en forskjell på 0,011 mol/L.*

Vi ser at hennes verdi ligger ca. 0,011 mol/L fra klassens gjennomsnitt.

Konsentrasjon målt med spektrofotmeteret for den ukjente prøvener lik 0,021 mol/L. Prøven var i denne sammenhengen fortynnet til en 1/10 part av det klassen arbeidet med.

I konklusjonen oppsummerer hun:

> *Forskjellen på disse to måleinstrumentene er at spektrofotometeret er mer anvendelig, måler lavere konsentrasjoner mer nøyaktig, måler direkte absorbansen, altså hvilke farger som har blitt absorbert og hvilke som ble reflektert, i stedet for spenningen som* [hos] *kolorimeteret.*

Vi kan slutte oss til denne konklusjonen, og tilføye at den kanskje mest interessante anvendelsen av det selvbygde kolorimeteret nettopp å vurdere kvaliteten og begrensningene til instrumentet. Brukt i en slik sammenheng vil det vær nyttig å ha tilgang til et profesjonelt spektrofotometer, men også spredning og gjennomsnittsverdier målt i en klasse kan gi interessante resultater.

En takk til Cerine C. Hansen som lot oss få lese og sitere fra hennes rapport.

<u>Byåsen videregående skole – 38 elever (spørreskjema vedlegg A.1)</u>

Målgruppe: ToF1-elever vg2

Antall: 37 av 37 svarte

Kyvettekammer: Kapa

Tilbakemelding:

De som svarte mente i hovedsak at **byggebeskrivelsen av kyvettekammeret var god**. Gjengangerkommentaren var at det bør ***markeres enda tydeligere hvilken vei diodene*** skal stå. Når det gjaldt selve byggingen var det kravet til ***nøyaktig tilskjæring av kapaen som voldte mest bry***.

De fleste som svarer synes beskrivelsen av elektronikken var god. Noen få nevnte ***på/av-bryteren, der man ikke kan se hvilken vei den skal monteres***. Det samme nevnes i noen ***få tilfeller om motstandene***. Én hevdet at beskrivelsen ikke er nøyaktig nok. Nesten alle oppga at elektronikken var lett å bygge. Bare få eksempler på problemer. En mente at hele instrumentet burde bygges "i større skala".

Ingen hadde bemerkninger til beskrivelse av kalibreringen, de som besvarte spørsmålet mente den var god. ***I sju tilfeller virket ikke kolorimeteret***. Når det gjelder selve kalibreringen ***ble mange forvirret av at avlesningen på multimeteret var så ustabil***. Sju mente det hele var enkelt, mens 13 syntes det var vanskelig å få til. Resten svarte blankt.

Nesten alle synes loddingen var artigst, i tillegg til at de fikk gjøre noe praktisk. Seks elever nevnte dessuten at de syntes ***prosjektet som helhet var artig***, først å bygge for så å få det til å virke. To mente vannanalysene var artigst.

Hva er vanskelig?

Tabell 3 gir en oversikt over hvor vanskelig elevene i de tre foregående gruppene syntes prosjektet med kolorimeteret var.

- **6** er maksimal vanskelighetsgrad
- **1** er minimal vanskelighetsgrad

- **3,5** er hverken vanskelig eller lett

Tabell 3 Oversikt over avkrysningssvar.

	Antall		Hvor vanskelig var det å:					
	elever	svar	... bygge kyvettekammeret	... forstå byggebeskrivelsen for kyvettekammeret	...bygge elektronikken	...forstå hvordan elektronikken virket	...få kolorimeteret til å fungere tilfredsstillende	...kalibrere kolorimeteret
Gerhard Schöning	45	30	3,3	2,7	2,1	3,2	2,8	3,1
Horten vgs	23	23	2,2	1,6	2,6	3,0	2,6	3,6
Byåsen vgs	37	37	3,2	2,6	2,8	4,1	3,4	4,0
Gjennomsnitt		90	2,9	2,3	2,5	3,4	2,9	3,6

Skal en snakke om at noe er vanskeligere enn noe annet, så er det å forstå elektronikken og å kalibrere kolorimeteret. Deretter kommer byggingen av kyvettekammeret.

At det er vanskelig å forstå hvordan elektronikken fungerer er lett å forstå siden denne i bare liten grad er forklart. Vi har også erfart at bygging av kyvettekammeret volder problemer for enkelte. Dette er stort sett løst ved bruk av aluminiumskammer.

Det er imidlertid bekymringsfullt at kalibreringen volder så store problemer. Dette kan skyldes drift som vi ar omtalt i avsnitt 3.2.1.

Konsekvenser:

- Tydeliggjøre hvilken vei diodene skal plasseres (er gjort i siste versjon av byggebeskrivelsen)
- Tydeliggjøre fargekodene på motstandene (er forsøkt tydeliggjort i siste versjon av byggebeskrivelsen)
- Bedre stabilisering av avleste verdier (se avsnitt 3.2)
- Det er dessuten mulig å velge et enklere kyvettekammer for de som synes kapa blir for krevende

3.3.3 Feilsøking returnerte sett

En meget nyttig øvelse var å be lærerne returnere de av settene som elevene ikke hadde fått til å virke. Ved å studere feil elevene hadde gjort var vi istand til oppdage svake punkter i undervisningsopplegget og på den måten forbedre beskrivelsen og informasjonen til elever og lærere.

I alt ble 10 sett returnert, 9 fra Gerhard Schöning og 1 fra Byåsen vgs. Tabell 4 gir en oversikt over hvilke feil som ble funnet.

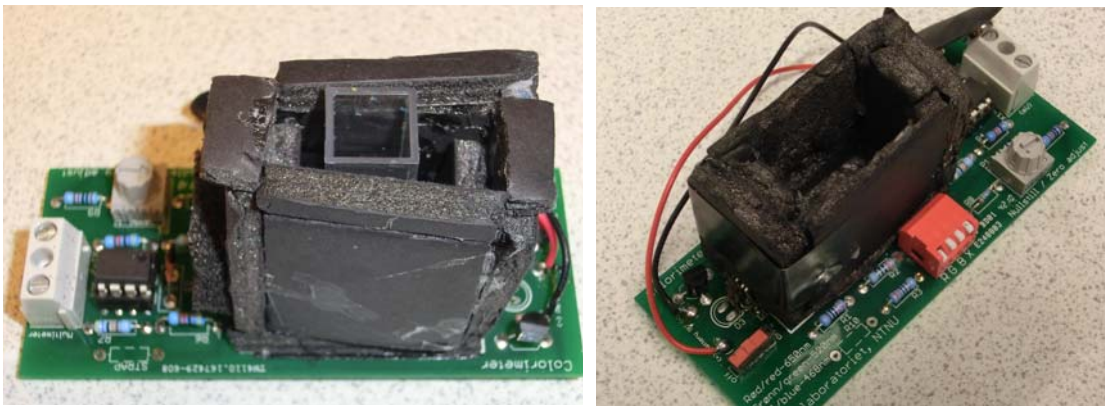
Tabell 4 Feil på returnerte kolorimeter

Kolorimeter nr.	Loddefeil	Batteriledning løsnet	Feil montert spennings-regulator	Lysdiode, feil vei	Lysdiode ødelagt	Fotodiode, feil vei	Mangler på kyvettekammer
1						x	
2		x				x	
3						x	Dioder ikke plassert rett over for hverandre
4	x			x			
5	x	x		x			
6			x				
7				x			Dioder ikke plassert rett over for hverandre Mangler ved kyvettek.
8					x (rød)		
9							Uten kyvettekammer
10		x				x	
Totalt	2	3	1	3	1	4	3

Konklusjon:

- De fleste feilene er knyttet til feilplassering og feil i diodene
- Feillodding og kortslutninger var ikke uvanlig
- Brudd i batteriledning skjer lett

- Stor spredning i kvaliteten på kyvettekamrene (se figuren 3.10)



Figur 3.10 Eksempler som viser at bygging og sammenføyning av kyvettekammeret har vært utfordrende for elevene i videregående skole.

Aksjoner:

- ***Plassering av diodene med korrekt retning er tydeliggjort i beskrivelsen*** og presiseres av lærer før bygging. PowerPoint'en er oppdatert.
- Elevene må ***gjennomgå loddekurs før de begynner å lodde***. Dette gjøres samlet etter montering av de tre første motstandene. Dette er lagt inn i PowerPoint'en.
- Det er ***laget strekkavlastninger på batteriledningene*** på de nye kretskortene.
- ***Kyvettehuset bør forenkles vesentlig***. Dette er gjort i versjonen som benytter kyvettekammer i aluminium.

3.3.4 Oppsummering av brukerundersøkelsen

Generelt:
Kolorimeteret er et godt prosjekt for ToF 1, ev. i samarbeid med kjemi, prisen bør være så lav som mulig og helst under kr. 150,-. ToF elever bør bygge hvert sitt kolorimeter, mens kjemielever kan nøye seg med at tre og tre elever går sammen om å bygge ett instrument. Det er viktig å beskrive praktiske anvendelser av kolorimeteret.

Bygging av kyvettekammer:
Bygging med kapa krever stor nøyaktighet og tar relativt lang tid, kvaliteten til resultatet er sterkt varierende, men kan være en god trening i å arbeide nøyaktig og med ulike materialer og sammenføyninger for ToF 1 elever. Der dette ikke er et poeng anbefales bruk av kyvettekammer i aluminium. Ved innendørs bruk synes ikke lyslekkasje å være noe problem.

Bygging av elektronikk:
Bygging av elektronikken synes uproblematisk og stort sett tilfresstillende beskrevet. Det må imidlertid presiseres hvilken vei diodene skal plasseres og fargekodingen av mot-

standene. Dessuten må en sørge for å gi tilstrekkelig opplæring i lodding og godt verktøy og lys, da feilorienterte dioder og dårlige loddinger er den hyppigste kilden til feil. Det er dessuten vanskelig å rette opp loddefeil på grunn av gjennompletterte hull.

Forståelse:
Selv om prinsippet bak kolorimetermålinger er lett å forstå , strever de fleste med å forstå hvordan elektronikken fungerer, samtidig som det påpekes at det er viktig at elevene også forstår denne delen av instrumentet. Mye tyder dessuten på at økende spenning med økende absorbans ikke nødvendigvis gir bedre forståelse, siden mange, når de forstår prinsippet for måleinstrumenter, forventer det motsatte, fallende spenning med økende absorbans. En bør derfor sterkt vurdere å tilby også den enkle varianten av instrumentet. Noen synes også kalibreringen er vanskelig, de oppfatter avlesningene som ustabile. Årsaken til dette kan være at instrumentet driver under målingen. Dette er en alvorlig ulempe. Det hevdes også at valg av farge kan være vanskelig.

4 Diskusjon

Vi vil i diskusjonen ta utgangspunkt i målsetningen for prosjektet:

4.1 Utformeing og dokumentasjon

Kolorimeteret med tilhørende dokumentasjon skal være slik at elever på Vg2 skal kunne:

- *bygge og teste instrumentet i løpet av 3–4 skoletimer med moderat hjelp av lærer*
- *oppnå en kvalitet på instrumentet som er tilstrekkelig til å utføre meningsfylte målinger*
- *forstå de prinsippene som ligger til grunn for måling med et kolorimeter og virkemåten til instrumentet de har bygget*

Siden Kolorimeteret primært er rettet mot bruk i faget ToF 1, kan det legges vekt på *bygging* av kyvettekammer og elektronikk. Vår erfaring fra uttestingen er at bygging av kyvettekammer i kapa er en krevende øvelse for mange av elevene. Flere har imidlertid hevdet at byggeprosessen er god trening i å arbeide nøyaktig med et materiale som lar seg bearbeide med kniv. Dessuten gir det høy grad av mestringsfølelse når de lykkes, dette i motsetning til bygging av et kammer i aluminium som stiller langt lavere krav til elevenes fingerferdighet. Det er imidlertid viktig at elevene får anledning til å øvelsesskjære på ekstra stykker av kapa for å lære seg å gjøre rettekutt (normalt på plata). *Byggingen av kyvettekammer i kapa har vist seg å ta fra 2 til 2,5 timer.* Flere lærere ga uttrykk for at dette er tid de vanskelig kan avsette i kjemifaget, men som lett kan forsvares i ToF 1.

Undersøkelsen viser også at noen ToF-lærere ønsker å legge større vekt på kolorimeterets grunnleggende prinsipper og anvendelse framfor byggeprosessen. For disse tilbys et enklere kyvettekammer i aluminium foret med mosegummi. *Erfaringsmessig bruker elevene ca. 1 time på å bygge kyvettekammeret i aluminium.*

Kyvettekammeret kan, som vi har erfart, utformes på ulike måter og i mange forskjellige materialer. *Design av kammeret egner seg derfor godt som en åpen oppgave med en kravspesifikasjon.* I så fall kan en gruppe elever gå sammen om å konstruere kyvettekammeret, bygge og test ut kolorimeteret.

Undersøkelsen viser at få ToF-elever har problemer med å bygge elektronikkdelen. De har imidlertid store problemer med å forstå virkemåten. *Mange lærere hevder at elevene ikke bare bør forstå grunnprinsippene, men også den elektroniske delen av kolorimeteret.* ToF-fagets kompetansemål åpner for å gi elevene tilstrekkelig bakgrunnskunnskaper om elektronikk til å forstå både lyskilde- og detektordelen med tilhørende forsterker og nullpunktjustering. Vår erfaring er imidlertid at svært få lærere besitter tilstrekkelig elektronikkunnskaper til å kunne gi elevene ebn detaljert forståelse for virkemåten.

Byggeveiledningen ble godt mottatt med noen få unntak. Undersøkelsen viste at en av de hyppigste feilkildene var *feilmontering av lysdioden og fotodioden* som begge må plasseres rett vei. Dette ble etter hvert gjort tydeligere i veiledningen, samtidig som lærerne ble bedt om å presisere dette under gjennomgangen med elevene.

En annen vanlig kilde til feil var *dårlige loddinger.* Dette kan kun forebygges ved at det gjennomføres grundig loddeopplæring av elevene før de går igang med monteringen. Her bør den utarbeidede PowerPoint'en være til god hjelp.

Erfaringer synes å vise at lærerne har behov for en *stikkordsmessig huskeliste*. Eksempelvis en oversikt over nødvendig verktøy som må skaffes for å gjennomføre prosjektet (f.eks. type lim, kniver, loddebolter mm). Videre bør listen påpeke viktige sider ved fremgangsmåten (f.eks. hvordan overføre mønster fra papirmal til kapa) og komponentplassering (f.eks. retningen til diodene) og lignende, selv omalt dette står i byggeveiledningen. Flere etterspør dessuten forslag til gode anvendelser.

Innledningsvis ble det diskutert hva som var mest pedagogisk, stigende spenning med økende absorbans (avansert versjon), eller fallende kurve med økende konsentrasjon i løsningen (enkel løsning).

Det er interessant å registrere at økende målespenning med økende absorbans ikke entydig øker forståelsen. Dette skyldes at når elevene først har skjønt grunnprinsippet for kolorimeteret, så er det for mange logisk at spenningen på utgangen avtar med økende absorbans. Dermed vil en økende spenning virke mer forvirrende enn oppklarende. På den annen side vil kolorimeteret ligne mer på standard målinstrumenter som måler absorbans, en størrelse elevene også kan komme til å møte på eksamen.

Likevel kan det være lurt å beholde elektronikken på utgangen da den gir mulighet til justering av nullpunktet og gir kretsen 10 x forsterkning, hvilket i utgangspunktet gir økt nøyaktighet.

Som nevnt gir kretsen muligheter til å droppe elektronikken på utgangen (enkel versjon). Dette gir en langt enklere og vesentlig billigere løsning, hvor elevene i større grad er i stand til å forstå hele kretsens virkemåte, men på bekostning av nøyaktighet. En nøyaktighet som likevel kan være illusorisk på bakgrunn av drift (se avsnitt 3.2). Den enkle versjonen gir dessuten fallende spenning med økende absorbans som flere synes å foretrekke. Så langt har lærere og elever kun bygget den avanserte utgaven av kolorimeteret. Erfaringene så langt understreker imidlertid betydningen av at også den enkle versjonen bør utprøves i klasserommet.

Så langt i prosjektet har elektronikkens funksjon bare i liten grad vært beskrevet og presentert. En bedre beskrivelse som læreren ev. kan bruke i undervisningen bør lages og tilbys, både for den enkle og den avanserte versjonen. Dette kan medføre at det må undervises i operasjonsforsterkeren i tillegg til lys- og fotodiodeteknologi.

4.2 Funksjonalitet

Kolorimeteret skal ha en funksjonalitet som gjør elevene i stand til å:

- *anvende instrumentet på en tilfredsstillende måte etter en kort opplæringsperiode*
- *velge en hensiktsmessig lyskilde (farge) ut fra kjennskap til løsningens farge*
- *bestemme en standardkurve for et aktuelt stoff med ferdigblandete standardløsninger*
- *bruke kolorimeteret og standardkurven til å bestemme konsentrasjonen til en ukjent prøve*
- *vurdere kvaliteten på de utførte målingene*

Enkelte av lærerne (og noen elever) hevdet at valg av en passende lyskilde (farge) var krevende. Også her bør illustrasjonene i PowerPoint'en være til hjelp sammen med enkle demonstrasjoner med et gjennomskåret kyvettekammer som tydelig viser betydningen av riktig valg av lysfarge. En kan også vurdere å gjøre videoopptak av forklaringen.

Kalibrering er en oppgave som krever kunnskaper om kjemi og matematisk representasjon av måleserier. Oppgaven er ikke mer komplisert enn at en *standardkurve for et aktuelt stoff kan etableres på under 1 time* dersom læreren gir elevene det teoretiske grunnlaget.

Enkelte rapporterte ustabilitet i måleverdiene under opptak av standardkurven. *Målinger har i etterkant vist at drift av måleverdien kan være et problem for enkelte eksemplarer av byggesettet.* Dette er kanskje den største utfordringen med et kolorimeter av denne typen.

Den eneste måtene elevene har kunnet vurdere kvaliteten på målingene er å anvende den målte standardkurven sammen med kolorimeteret til å bestemme en "ukjent" løsning. Ukjent i den forstand at de etter målingen kan sammenligne sitt resultat med en fasit som læreren sitter inne med.

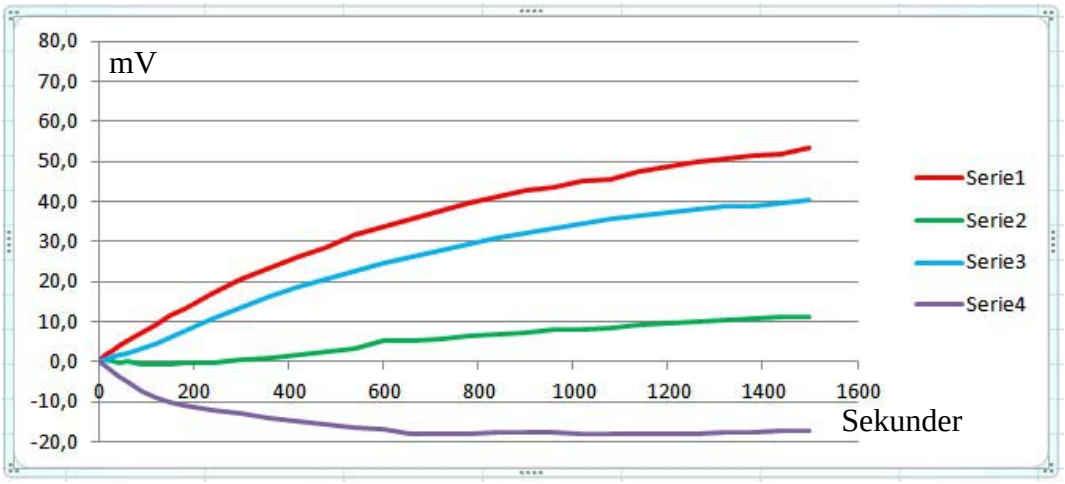
Vår erfaring er at elevene bare i liten grad på dette tidspunktet reflekterer over kvaliteten til måleresultatene. De er godt fornøyd når de har klart å lage et instrument som de forstår grunnprinsippene til og som virker. For mange er dette kanskje første gangen de har bygget opp en elektronisk krets av en slik kompleksitet.

4.3 Kvalitet

Bestemme hvilke krav som bør stilles til instrumentet mht til:

- *målenøyaktighet*
- *repeterbarhet (drift)*
- *målehastighet*

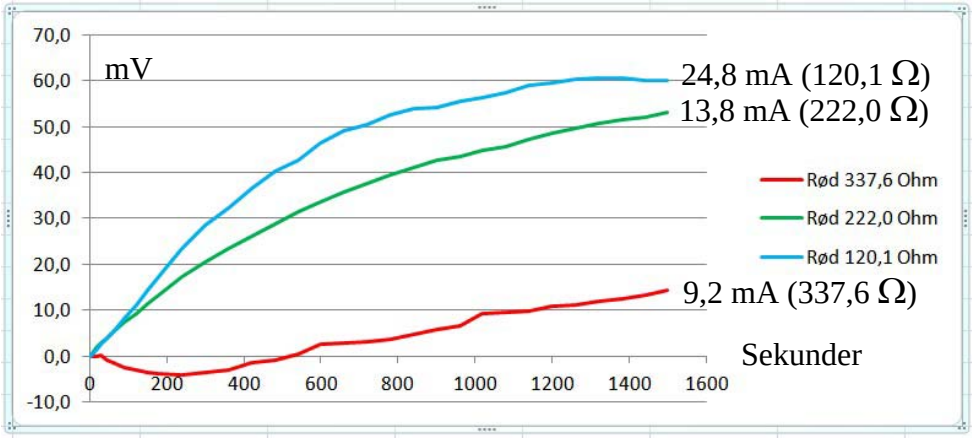
Den største utfordringen mht til målenøyaktighet og repeterbarhet synes å være drift pga. endring i lysstyrke over tid. Målinger tyder på at driften kan variere mye fra krets til krets. Resultatet fra måling på fire ulike kolorimeter er vist i figur 4.1.



Figur 4.1 Måling av drift for den røde lysdioden hos fire ulike byggsett, alle med kyvettekammer av aluminium. Tiden er angitt i sekunder fra start.

Dette har skapt frustrasjon blant elevene under kalibreringen. Å vente i 20 min. til forholdene har stabilisert seg synes ikke å være noen god løsning. Bruk av mikrokontroller og intelligent kalibrering eller sampling gjør at kretsen lett blir uforståelig og noe av hensikten med kolorimeteret forsvinner.

Den mest interessante løsningen som foreløpig bare delvis er undersøkt, er å redusere strømmen i lysdioden, hvilket synes å redusere driften betydelig. En slik løsning vil hverken øke kompleksiteten, prisen eller redusere brukervennligheten.Figur 4.2 viser hvordan driften varierer med strømmen for den røde lysdioden.



Figur 4.2 Drift som funksjon av seriemotstand (strøm).
Alle målinger er gjort på den røde lysdioden i sett 1.

Det må imidlertid presiseres at det kun er gjort målinger på ett byggesett, men med ulike motstander.

Figur 4.1 viser at vi har en drift på ca. 53 mV over en periode på 25 min. Antar vi at forløpet er linjert (hvilket er en grov tilnærming), vil vi få en drift på typisk 2 mV pr. min. Dersom vi antar at vi klarer å gjøre unna hele måleserien i løpet av 3 min., vil dette gi oss en variasjon på ca. 6 mV, eller en drift som tilsvarer et avvik i konsentrasjon på ca. 0,01 mol/L. Hvilket ikke er mye i denne sammenheng. Gjøres målingene rett etter at instrumentet er påslått, vil nøyaktigheten blir noe dårligere. Tilsvarende vil den bli noe bedre dersom vi venter 10 – 15 min. etter påslag før vi kalibrerer og måler.

Selv om nøyaktigheten og lineæriteten til kolorimeteret er begrenset, så kan nettopp dette utnyttes i en undervisningssammenheng ved at elevene skal vurdere kvaliteten til måleresultatene som oppnås ved bruk av kolorimeteret. Dette er også et kompetansemål i ToF 1.

- *utføre målinger med eller teste et eget produkt, og vurdere kvaliteten på produktet med tanke på funksjonalitet*

4.4 Pris og tilgjengelighet

Bestemme hva som er akseptabel:

- *pris*

- *tilgjengelighet*

for at byggesettet skal tas i bruk i ToF 1 ev. i kjemi i videregående skole

Undersøkelsen blant lærerne viser stor spredning i akseptabel pris. Det ser imidlertid ut til at en pris nær kr. 150,- kan aksepteres av de fleste.

I forsøksperioden er det ikke gjort store anstrengelser for å minimalisere komponent-prisen. Dersom komponentene kjøpes i større kvanta direkte fra leverandører i utlandet, burde det være mulig å redusere kostnadene betydelig. Prisen for den avanserte versjonen av byggesettet med kyvettekammer i kapa, ligger på kr. 125,35 (100 pris) uten bygge-veiledning (hefte), og kr. 77,93 (100 pris) for den enkle versjonen. Dette synes å ligge innenfor grensen for hva som er akseptabelt for bruk i videregående skole. Heller ikke kr. 135,60 (100 pris) uten byggeveiledning (hefte) for den avanserte og kr. 87,94 (100 pris) for kyvettekammer i aluminium, er avskrekkende. Det endelige prisnivået avhenger dermed av hvilken inntjening byggesettet skal ha.

I forsøkperioden i 2011 ble det bygget i overkant av 200 sett, uten annen markedsføring enn ved nettverkssamlinger, kurs og verkstedaktiviteter under konferanser beregnet på lærere. Det er rimelig å anta at dette antallet vil øke noe dersom settet markedsføres til en pris på ca. kr. 160,- dersom produktet fungerer tilfredsstillende. Et salg på mellom 250 – 300 byggesett i året er et omfang som Skolelaboratoriet ved NTNU kan håndtere.

5 Konklusjon

Det kan konkluderes med at kolorimeteret har en plass i ToF 1 i videregående skole, med ett prisnivå på mellom kr. 150,- – 160,-. I ToF-faget vil en også kunne akseptere å bruke noe tid til å bygge et kyvettekammer i et så pass krevende materiale som kapa, nettopp for å gi elevene en øvelse i å arbeide nøyaktig med oppdeling og sammenføyning av materialer. Kammeret av aluminium passer for de som ønsker å legge større vekt på grunnleggende virkemåte og bruk. Bygging av kolorimeteret synes ikke å få plass i kjemifagene, men det ligger til rette for utforsking og bruk av instrumetet i fagene.

Prosjektet har videre vist at stigende målespenning som funksjon av stigende absorbans ikke nødvendigvis gir økt forståelse. Denne sammenhengen var sammen med økt nøyaktighet bakgrunnen for å utstyre kolorimeteret med en operasjonsforsterker på utgangen. På bakgrunn av denne erfaringen synes det klart at den enkle versjonen av kolorimeteret bør utprøves, da virkemåten til denne er langt lettere å forstå enn for den avanserte, dessuten er prisen betydelig lavere.

Den største tekniske utfordringen med instrumentet er drift i utgangsspenningen i tiden etter at instrumentet er slått på. Målinger utført på et mindre antall kolorimeter synes å vise stor variasjon i drift i utgangspenning med tiden. Årsaken synes å være endringer i lysdioden på grunn av oppvarming. Den mest nærliggende og billige løsningen på denne utfordringen, er å redusere strømmen i dioden, sannsynligvis på bekostning av instrumentets bruksområde (følsomhet). Dette er imidlertid ennå ikke undersøkt.

Det finnes imidlertid mer avanserte løsninger på problemet med drift, men disse vil øke kompleksiteten (ikke nødvendigvis prisen) til kolorimeteret slik at det igjen blir en svart boks for elevene. Dermed er mye av hensikten borte.

Selv om nøyaktigheten og lineæriteten til kolorimeteret er begrenset, så kan nettopp dette utnyttes i en undervisningssammenheng ved at elevene skal vurdere kvaliteten til måleresultatene som oppnås ved bruk av kolorimeteret. Dette er også et kompetansemål i ToF 1.

Salgspotensialet burde ikke være større enn at Skolelaboratoriet ved NTNU kan håndtere lagerhold og salg i de nærmeste årene om det skulle være aktuelt.

6 Referanser

[1] Dietmar Kennepohl, Martin Connors, A*n inexpensive mini-colorimeter for undergraduate science laboratories*, The Australian Journal of Education in Chemistry, 2010, No. 70, side 38 - 42

[2] Bergantin og Fortunato, 2010

[3] Cerine C. Hansen, *Vannkvalitet-rapport TOF1, Kjemi1 og Fysikk1*, Horten videregående skole 17. okt. 2011

Vedlegg A Spørreskjema

A.1 Spørreskjema – lærere

Din mening om kolorimeteret

1. Hvor vanskelig var det å bygge kolorimeteret? Angi på en skala fra 1 – 6.
   (svært lett) 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 (svært vanskelig)
2. Hva vil være det vanskeligste for elevene ved byggingen?
   _____
   _____
3. I hvilken grad tror du at gjennomsnittselevene i ToF vil mestere byggingen av kolorimeteret?
   (vil få alvorlige problemer) 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 (helt uproblematisk)
4. Hvor godt synes du bygging og bruk av kolorimeteret passer i ToF-faget?
   (passer svært dårlig) 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 (passer svært godt)
   Ev. kommentar:_____
5. Kan du ev. se for deg noen spesielle bruksområder for kolorimeteret som passer til ToF-fagene?
   _____
   _____
   _____
6. Hvor viktig er det at elevene forstår hvordan kolorimeteret fungerer?
   (helt uten betydning) 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 (helt avgjørende)
7. Hva blir vanskeligst å forstå med virkemåten?
   _____
   _____
8. Hvor viktig er det at undervisningsopplegget gjøres i samarbeid med kjemifagene? Angi på skala fra 1 – 6
   (helt uten betydning) 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 (helt avgjørende)
9. Hvor sannsynlig er det at du vil la elevene bygge og bruke kolorimeteret i ToF-faget?
   (helt utenkelig) 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 (helt sikkert)
10. Hvor anvendelig anser du kolorimeteret å være når klassen skal utføre og analyse reelle prøver? *(helt ubrukelig) 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 (fullt brukbart)*
11. *Hva synes du ville være en akseptabel pris for et slikt byggesett?*
    _____kr. og hvor mange bør det være i en klasse på 15 elever?_____(antall)
12. Generelle kommentarer:
    _____
    _____
    _____
    _____

A.2 Spøreskjema – elever

NTNU
Det skapende universitet

Bygging av elektronikken:

Kommentarer til byggebeskrivelsen Angi feil, uklarheter	Kommentarer til byggingen Hva er vanskelig? Hva bør gjøres annerledes?
Generelle kommentarer:	

Uttesting og kalibrering:

Kommentarer til beskrivelsen Angi feil, uklarheter	Kommentarer til gjennomføringen Hva er vanskelig? Hva bør gjøres annerledes?
Generelle kommentarer:	

Vurdering av vanskelighetsgrad (besvares til slutt):

Gi terningkast til følgende spørsmål:

Hvor vanskelig var det å bygge kyvettekammeret?

Svært lett 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 *Svært vanskelig*

Hvor vanskelig var det å forstå byggebeskrivelsen av kyvettekammeret?

Svært lett 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 *Svært vanskelig*

Hvor vanskelig var det å bygge elektronikken?

Svært lett 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 *Svært vanskelig*

Ev. hva var spesielt vanskelig:

Hvor vanskelig var det å forstå hvordan elektronikken fungerer?

Forståelse: *Svært lett* 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 *Svært vanskelig*

Ev. hva var spesielt vanskelig:

Hvor vanskelig var det å finne ut om kolorimeteret fungerte tilfredsstillende?

Test: *Svært lett* 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 *Svært vanskelig*

Ev. hva var spesielt vanskelig:

Hvor vanskelig var det å kalibrere kolorimeteret?

Test: *Svært lett* 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 *Svært vanskelig*

Ev. hva var spesielt vanskelig:

Hva synes dere var **artigst** ved dette prosjektet?
……
……

A.3 Spørreskjema – arbeidsskoleelever

Rapportskjema for bygging av kolorimeter

Kom med kommentarer til beskrivelsen og byggeprosessen mens dere bygger modellene.

La oss begynne med kyvettehusene:
Dere skal bygge tre forskjellige modeller vi kaller dem kapa, tre og metall. Elektronikken er den samme på alle. Først skal dere bygge kyvettekammeret. Lag gjerne ett eller to ekstra kammer og

bruk de fem beste.

KAPA:

Kommentarer til byggebeskrivelsen Angi feil, uklarheter	Kommentarer til byggingen Hva er vanskelig? Hva bør gjøres annerledes?
Generelle kommentarer:	

TRE:

Kommentarer til byggebeskrivelsen Angi feil, uklarheter	Kommentarer til byggingen Hva er vanskelig? Hva bør gjøres annerledes?
Generelle kommentarer:	

METALL:

Kommentarer til byggebeskrivelsen Angi feil, uklarheter	Kommentarer til byggingen Hva er vanskelig? Hva bør gjøres annerledes?

Generelle kommentarer:	

Bygging av elektronikken:

Kommentarer til byggebeskrivelsen Angi feil, uklarheter	Kommentarer til byggingen Hva er vanskelig? Hva bør gjøres annerledes?
Generelle kommentarer:	

Uttesting og kalibrering:

Kommentarer til byggebeskrivelsen Angi feil, uklarheter	Kommentarer til byggingen Hva er vanskelig? Hva bør gjøres annerledes?
Generelle kommentarer:	

Besvares til slutt:

Gi terningkast til følgende spørsmål:

Hvor vanskelig var det å bygge kyvettekammeret?

KAPA: *Svært lett* 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 *Svært vanskelig*

TRE: *Svært lett* 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 *Svært vanskelig*

METALL: *Svært lett* 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 *Svært vanskelig*

Hvor vanskelig var det å forstå byggebeskrivelsen av kyvettekammeret?

KAPA: *Svært lett* 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 *Svært vanskelig*

TRE: *Svært lett* 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 *Svært vanskelig*

METALL: *Svært lett* 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 *Svært vanskelig*

Hvor vanskelig var det å bygge elektronikken?

Elektronikk: *Svært lett* 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 *Svært vanskelig*

Ev. hva var spesielt vanskelig:

Hvor vanskelig var det å forstå hvordan elektronikken fungerte?

Forståelse: *Svært lett* 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 *Svært vanskelig*

Ev. hva var spesielt vanskelig:

Hvor vanskelig var det å finne ut om kolorimeteret fungerte tilfredsstillende?

Test: *Svært lett* 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 *Svært vanskelig*

Ev. hva var spesielt vanskelig:

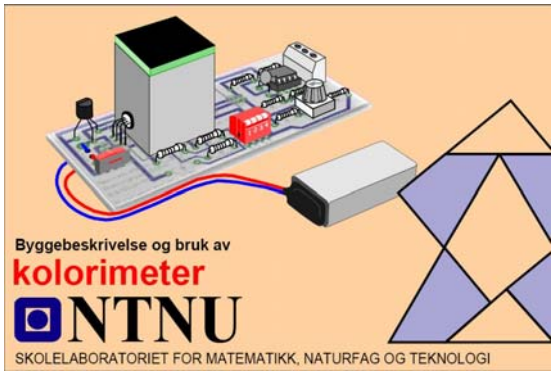
Hvor vanskelig var det å kalibrere kolorimeteret?

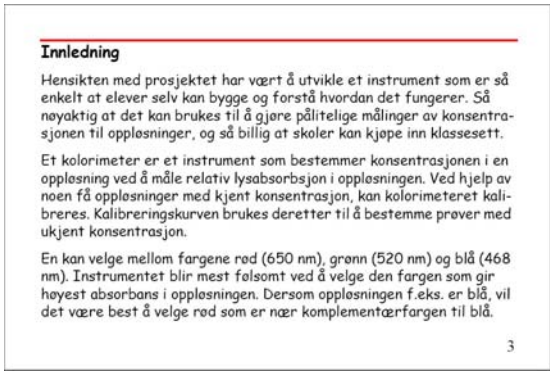
Test: *Svært lett* 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 *Svært vanskelig*

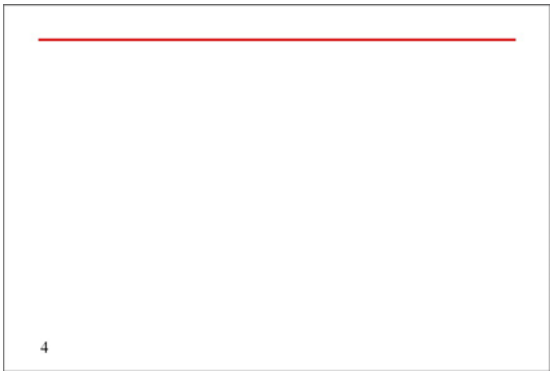
Ev. hva var spesielt vanskelig:

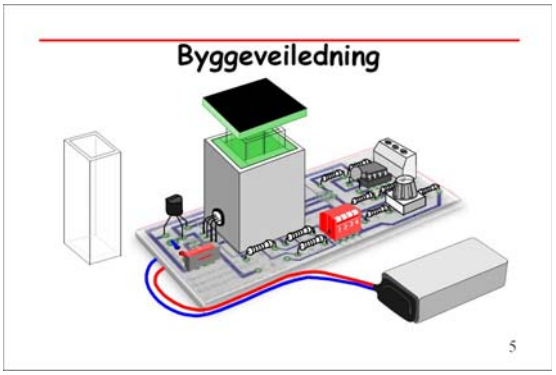
Vedlegg B Byggeveiledninger

B.1 Heftet - Byggeveiledning

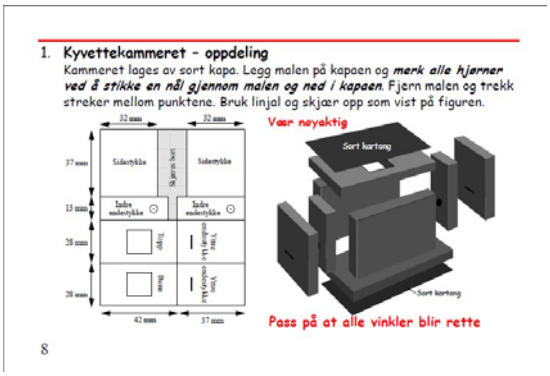


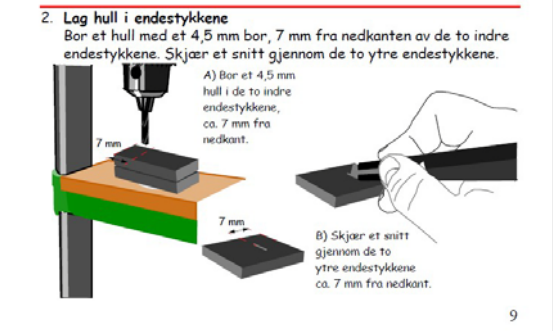


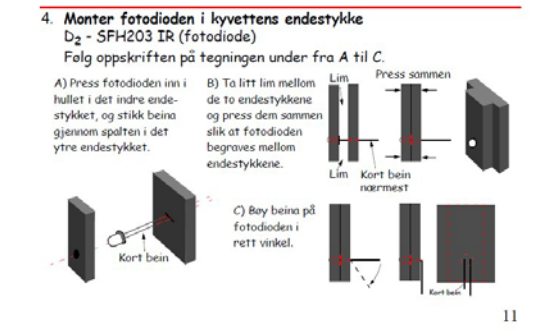


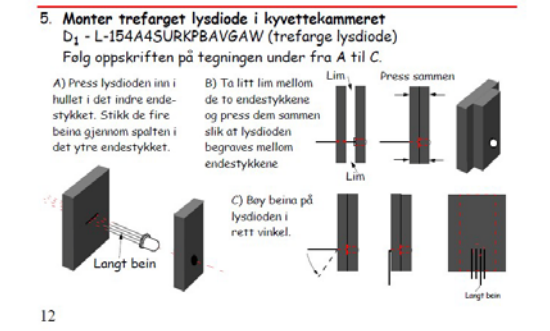


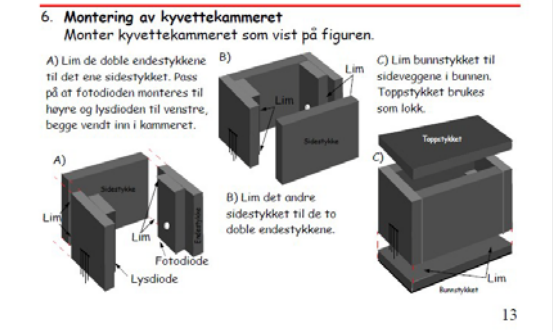
B.1.1 Bygg kyvettekammer, kapa



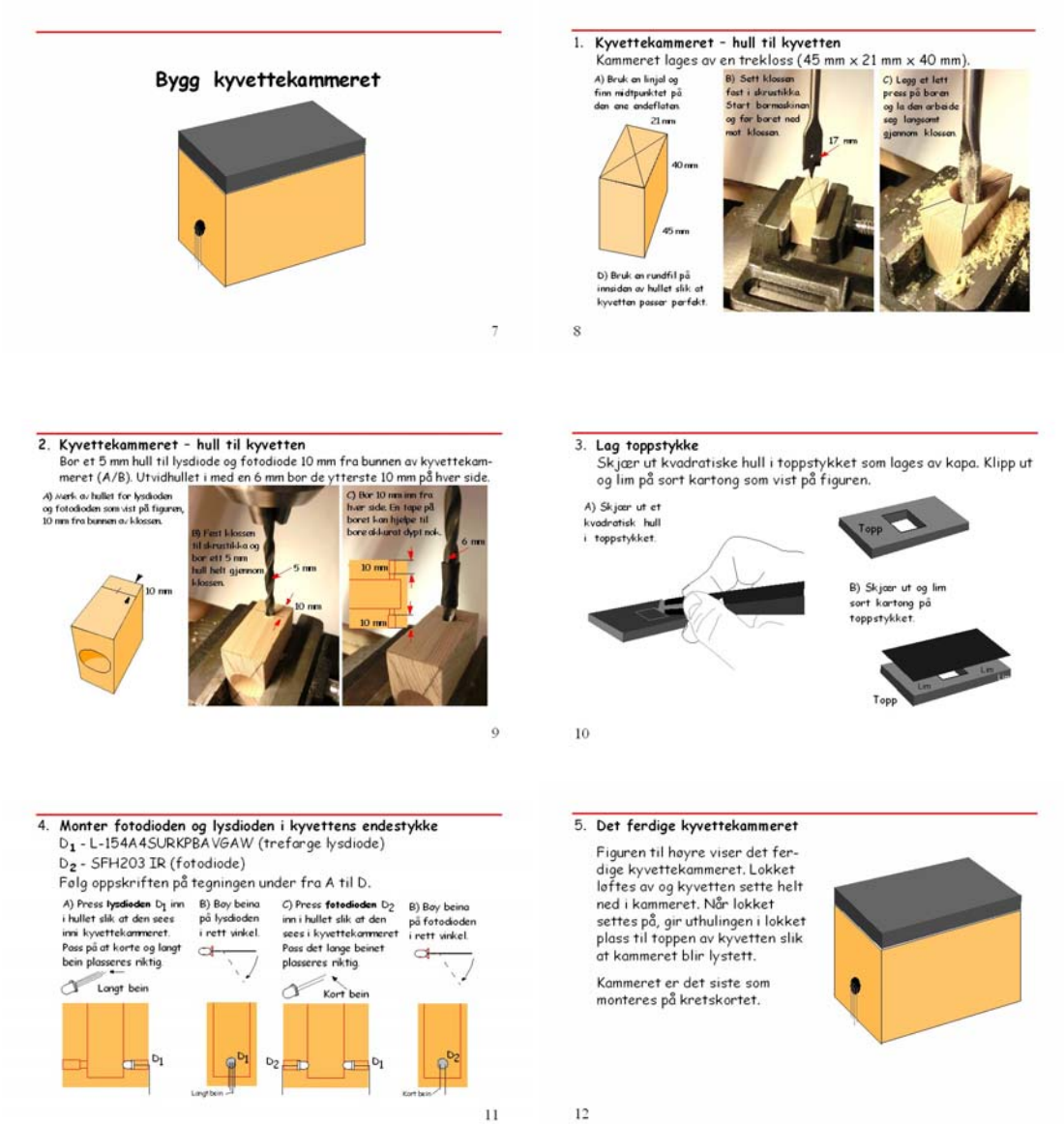




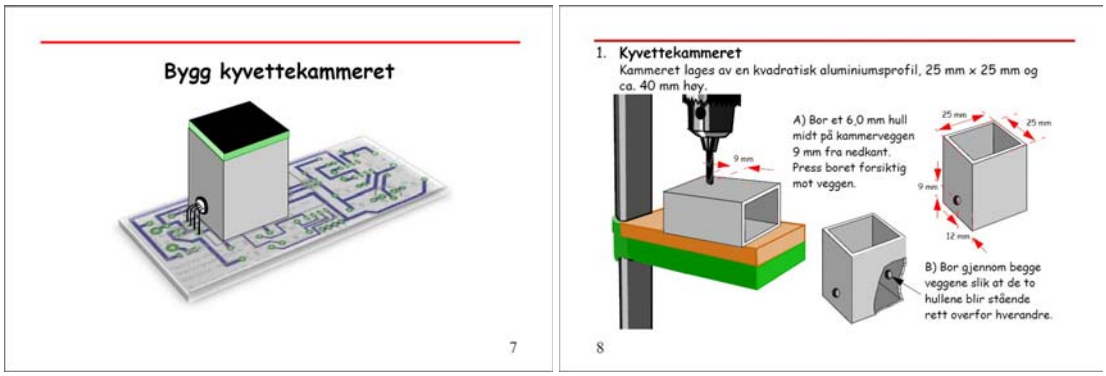


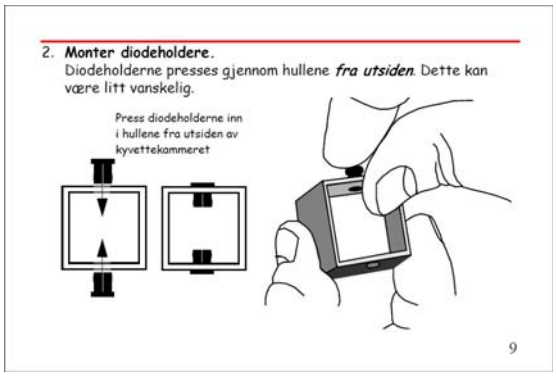


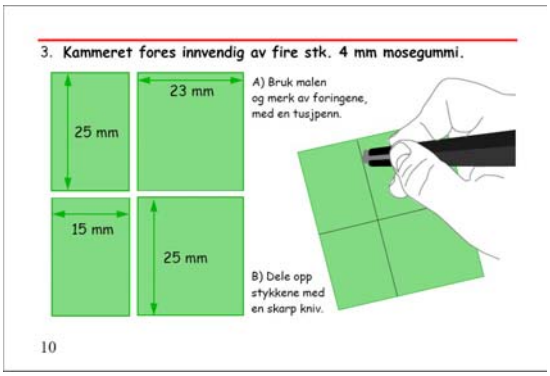
B.1.2 Bygg kyvettekammer, tre

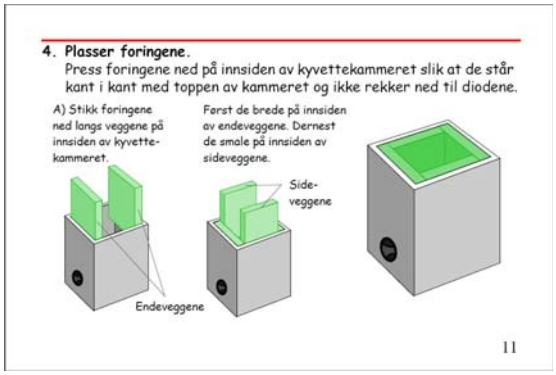


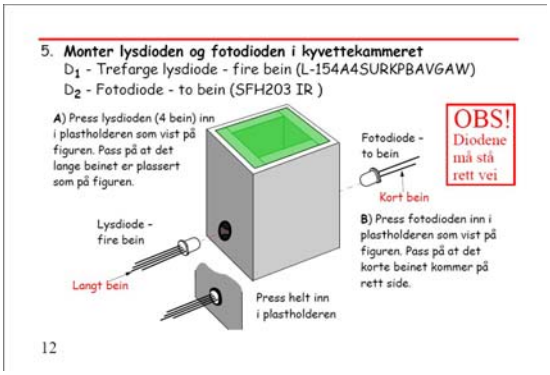
B.1.3 Kyvettekammer i aluminium

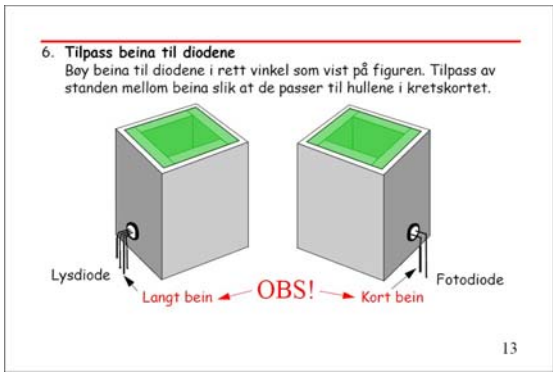


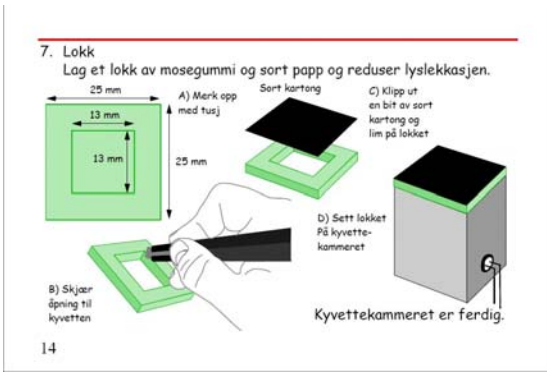

2. Monter diodeholdere.
Diodeholderne presses gjennom hullene *fra utsiden*. Dette kan være litt vanskelig.
Press diodeholderne inn i hullene fra utsiden av kyvettekammeret
9


3. Kammeret fores innvendig av fire stk. 4 mm mosegummi.
25 mm
23 mm
15 mm
25 mm
A) Bruk malen og merk av foringene, med en tusjpenn.
B) Dele opp stykkene med en skarp kniv.
10

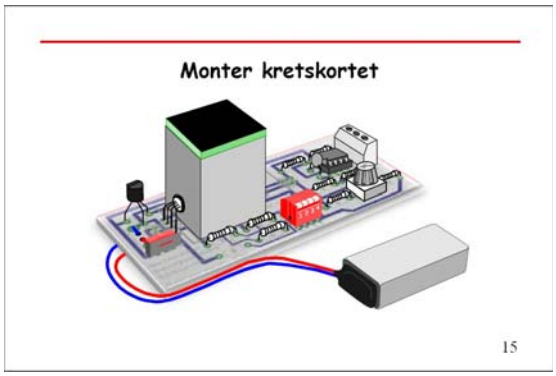

4. Plasser foringene.
Press foringene ned på innsiden av kyvettekammeret slik at de står kant i kant med toppen av kammeret og ikke rekker ned til diodene.
A) Stikk foringene ned langs veggene på innsiden av kyvette-kammeret.
Først de brede på innsiden av endeveggene. Dernest de smale på innsiden av sideveggene.
Side-veggene
Endeveggene
11

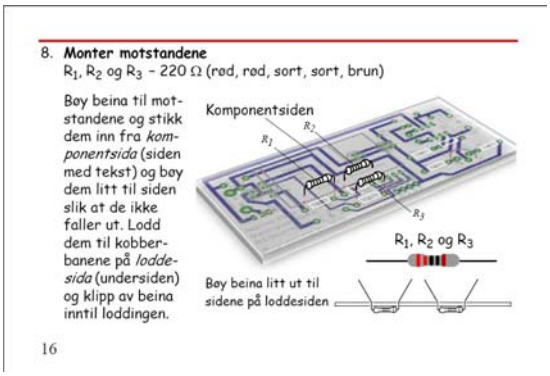

5. Monter lysdioden og fotodioden i kyvettekammeret
D1 - Trefarge lysdiode - fire bein (L-154A4SURKPBAVGAW)
D2 - Fotodiode - to bein (SFH203 IR)
A) Press lysdioden (4 bein) inn i plastholderen som vist på figuren. Pass på at det lange beinet er plassert som på figuren.
Fotodiode - to bein
Kort bein
OBS! Diodene må stå rett vei
Lysdiode - fire bein
Langt bein
B) Press fotodioden inn i plastholderen som vist på figuren. Pass på at det korte beinet kommer på rett side.
Press helt inn i plastholderen
12

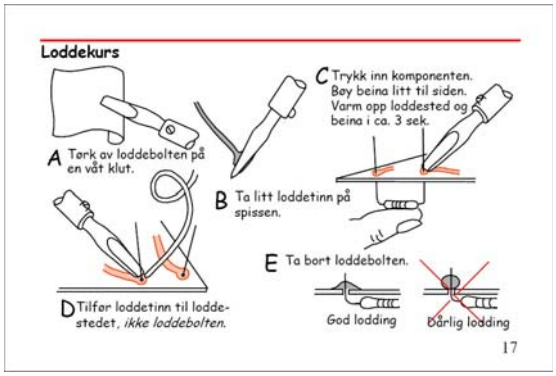

6. Tilpass beina til diodene
Bøy beina til diodene i rett vinkel som vist på figuren. Tilpass av standen mellom beina slik at de passer til hullene i kretskortet.
Lysdiode
Langt bein
OBS!
Kort bein
Fotodiode
13

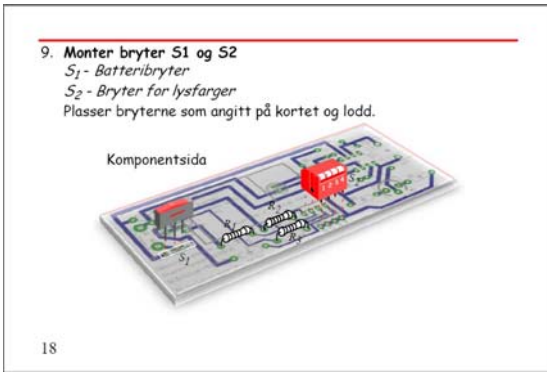

7. Lokk
Lag et lokk av mosegummi og sort papp og reduser lyslekkasjen.
25 mm
13 mm
13 mm
25 mm
A) Merk opp med tusj
Sort kartong
C) Klipp ut en bit av sort kartong og lim på lokket
D) Sett lokket På kyvette-kammeret
B) Skjær åpning til kyvetten
Kyvettekammeret er ferdig.
14

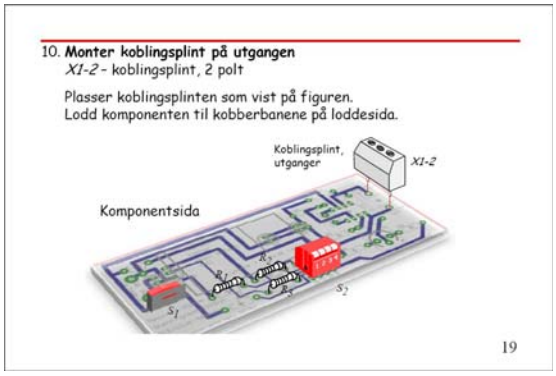
B.1.4 Montering av kretskort, elektronikk

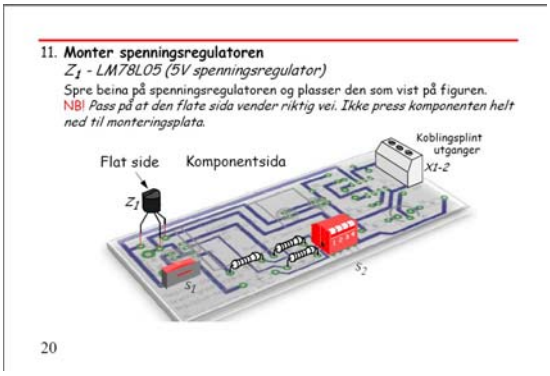


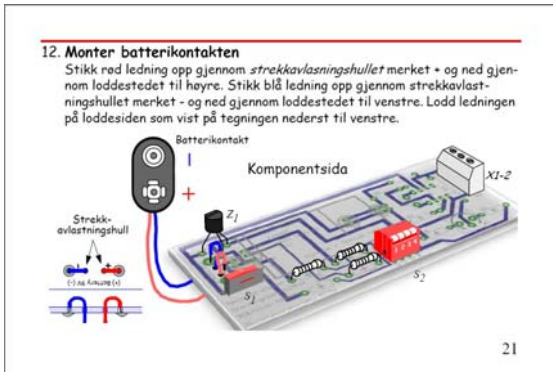


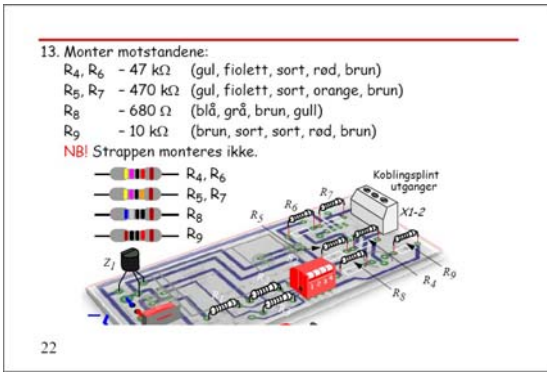










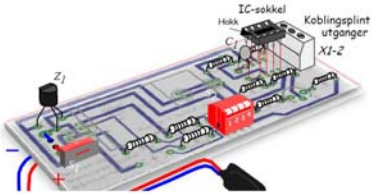


14. Monter IC-sokkel og kondensator

C_1 – 47nF (kondensator)

IC-sokkel – 8pin sokkel

Pass på at hakket i sokkelen plasseres over hakket til omrisset på monteringsplata. Bøy beina til sokkelen ut til siden på loddesida.



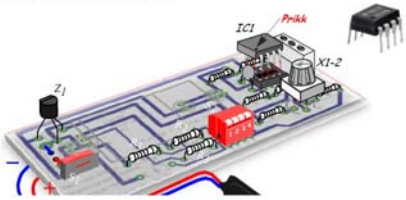
23

15. Monter trimpotensiometeret og integrert krets

P_1 – 500Ω (trimpotensiometer)

IC1 - CA3130FZ (operasjonsforsterker)

Pass på at *prikken* på den integrete kretsen skal være på samme side som hakket i sokkelen.

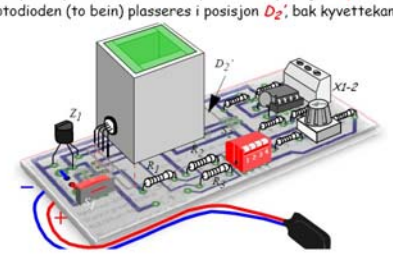


24

16. Montering av kyvettehus

Pass på at lysdioden (fire bein) plasseres i posisjon D_1.

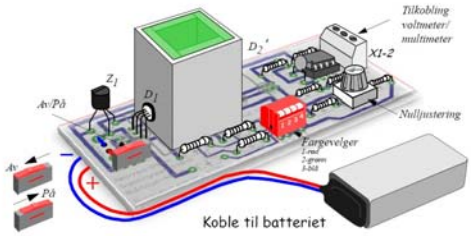
Fotodioden (to bein) plasseres i posisjon D_2', bak kyvettekammeret



25

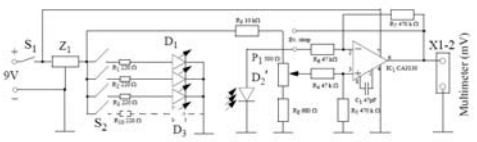
17. Ferdig kolorimeter med nulljustering

Figuren viser funksjonene til de ulike bryterne og potensiometeret.



26

Kolorimeterets koblingsskjema m/nulljustering



27

Komponentliste (100-pris)

Spenningsregulator LM78L05ACZ,
ELFA: 73-285-50, Stk.pris: kr. 4,12

Lysdiode tricolour L-154A4SURQBAWGAW,
Skolelaboratoriet Stk.pris: kr. 12,00

Fotodiode SFH203 IR 5 mm,
ELFA 75-100-09, Stk.pris: kr. 6,59

LED-holder plast,
Ole Ohlsen, 2 stk.pris: kr. 4,64

Batterikontakt,
ELFA 69-143-11, Stk.pris: kr. 7,33

DIL strømbryter,
ELFA 35-397-23, Stk.pris: kr. 10,50

Koblingsplint 2 polt ,
ELFA 48-374-64, Stk.pris: kr. 1,90

Operasjonsforsterker CA3130EZ,
ELFA: 73-063-01, Stk.pris: kr. 10,60

Potensiometer,
ELFA: 64-634-34: Stk.pris: kr. 23,40

Skyvebryter,
ELFA 35-360-18: Stk.pris: kr. 7,41

Keramisk kondensator 47 pF,
ELFA 65-691-98, Stk.pris: kr. 0,55

Kullfilmmotstand 220 Ohm (3 stk)
ELFA: 60-502-24, 3 stk. pris: kr. 0,33

Kullfilmmotstand 10 kOhm
ELFA: 60-502-44, Stk.pris: kr. 0,17

Kullfilmmotstand 680 Ohm
ELFA 60-502-30, Stk.pris: kr. 0,17

Metallfilmotstand 47 kOhm
ELFA: 60-592-59, 2 stk.pris: kr. 2,16

Metallfilmotstand 470 kOhm
ELFA: 60-592-84, 2 stk.pris: kr. 2,16

Plastposer, 20,3 x 12,7 cm:
ELFA 80-075-54, Stk.pris: kr. 1,37

Kond. Skum 300 x 300 x 5 mm,
ELFA80-092-76, Stk.pris: kr. 0,50

8 pins sokkel,
ELFA: 48-155-61, Stk.pris: kr. 0,58

Kretskort
Skolelaboratoriet Stk.pris kr. 8,00

Kyvettekammer, verksted
Aluminium profil: 25 x 25 x 40 mm

Totalt komponentkostanden: **108,90 + MVA**

28

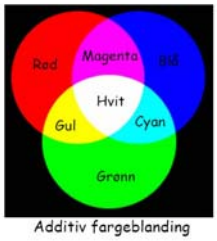
B.1.5 Enkel fargelære

Enkel fargelære

Ved å blande rødt, blått og grønt lys kan vi i prinsippet frambringe en hvilken som helst farge. Vi kaller disse for *primærfargene*.

Blander vi to og to av primærfargene får vi tre nye farger: ***Cyan***, som er en blanding av blått og grønt, ***magenta***, som er en blanding av rødt og blått, og ***gult***, som er en blanding av rødt og grønt. Cyan, magenta og gult kalles *sekundærfarger*.

Blanding av alle tre primærfargene gir hvitt dersom om fargene er mettet.



Additiv fargeblanding

29

Vi legger merke til at blandingen av magenta og grønt også gir hvitt lys. Disse kalles derfor *komplementær farger*. Av samme grunn er blått og gult, og rødt og cyan komplementære fargepar.

Den ene av to komplementære farger har ikke spor av den andre, og omvendt. Det betyr at rødt lys vil bli stoppet helt av et cyanfarget filter om fargen er mettet. Tilsvarende stoppes grønt lys av et magentafarget filter, og blått lys stoppes av et gult filter.

En farget oppløsning vil oppføre seg som et filter og absorbere farget lys. Jo sterkere oppløsningen er, jo mer mettet er fargen, og jo mer lys absorberes. Absorbsjonen vil øke jo nærmere lyset kommer komplementærfargen til oppløsningen.

Har vi en cyanfarget oppløsning vil det lønne seg å velge rødt lys.

30

Følgende gir fornuftige fargevalg:

Cyanfagert oppløsning	->	Rødt lys
Magentafarget oppløsning	->	Grønt lys
Gul oppløsning	->	Blått lys

Har vi derimot en rød oppløsning burde vi velge cyanfarget lys. I prinsippet fås dette ved å blande grønt og blått lys. Om dette er riktig kan vi undersøke ved å tenne to lysioder.

Rød oppløsning	->	Bland grønt og blått lys
Grønn oppløsning	->	Bland blått og rødt lys
Gul oppløsning	->	Bland rødt og grønt lys

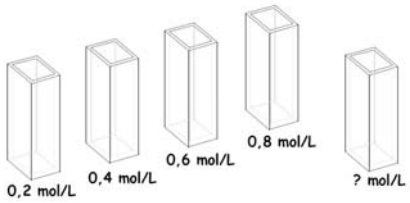
Vær oppmerksom på at blandet og rent lys ikke trenger å oppføre seg likt.

31

32

B.1.6 Kalibrering og bruk av kolorimeteret

Kalibrering og bruk av kolorimeteret



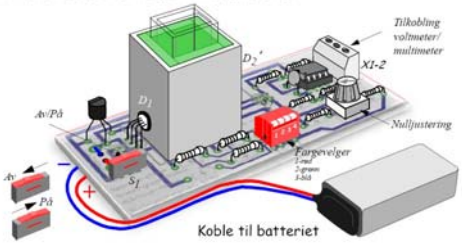
33

Bruk av kolorimeteret med nulljustering

1. Slå på kolorimeteret ved å skyve den røde Av/På bryteren (S_1) mot høyre.
2. Velg farge ved å skyve ned en av de fire bryterne
   R - Rød (650 nm)
   G - Grønn (520 nm)
   B- Blå (468 nm)
3. Sett en kyvette med rent vann ned i kammeret. Vend kyvettens blanke sider i kammerets lengderetning. Sett på lokket.
4. Koble til et multimeter på utgangen (X1-2) merket *Multimeter*.
5. Sett multimeteret på mV (f.eks. 200 eller 2000 mV).
6. Juster potensiometeret merket "Nullstill" slik at multimeteret viser ca. 10 mV. På denne måten kallibrerer vi bort det som er av lyslekkasje i kyvettekammeret.

34

7. Kolorimeteret er nå klart til å kalibreres.



35

Kalibrering av kolorimeteret

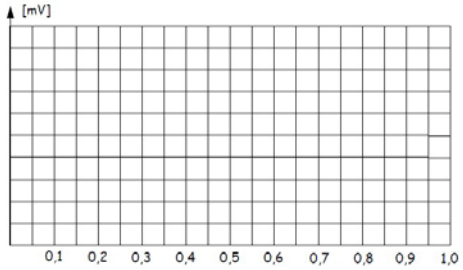
1. Lag kontrollerte oppløsninger med det stoffet som skal måles: 0,0 (rent vann) 0,1, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 og 1,0 mol/liter.

Konsentrasjon	0,0mol/L	0,1mol/L	0,2mol/L	0,4mol/L	0,6mol/L	0,8mol/L	1,0mol/L	X
Gram $CuSO_4$[a] i 100 ml vann	0,00	2,50	5,00	10,00	15,00	20,00	25,00	
Avlesning mV (Rødt lys)								
Avlesning mV (Blått lys)								

a. Vanlig, blått kobbersulfat med krystallvann ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$). 249,70 gram/mol.

2. Sett kyvettene ned i kammeret og les av verdiene på multimeteret for hver av oppløsningene.

36



37

Måling av konsentrasjon med standardkurve

1. Nulljuster slik som beskrevet på side 34.
2. Les av verdiene for alle løsningene med rødt lys, og fyll inn i en tabell lik den på side 36.
3. Les av verdiene for alle løsningene med blått lys, og fyll inn i den samme tabellen.
4. Avgjør hvilket lys (hvilken bølgelengde) som er best egnet til å lage en standardkurve.
5. Avgjør hvilken del av kurven du anser som rettlinjet (bare den delen er egnet som standardkurve).
6. Mål den ukjente løsningen og finn konsentrasjonen ved å se på standardkurven. Hvis den ukjente løsningen er for konsentrert, kan man fortynne den (vær nøyaktig med fortynningen!) for å komme innenfor standardkurven.

38

Måling andre salter i vann

Drikkevann i bolighus har man normalt flere metallioner i løsning. To eksempler kan være kobberioner og jernioner. Kobberioner kan komme fra kobberrør, jernionene fra jernrør eller fra jordsmonnet. Forsøket under belyser hvordan man kan måle konsentrasjonen av kobberioner, selv om vannet i tillegg inneholder jernioner.

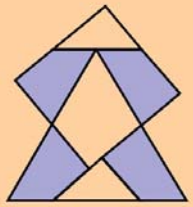
1. Nulljuster slik som beskrevet på side 34.
2. Lag standardkurve for kobberioner som beskrevet på sidene 36-38
3. Lag en tilsvarende kurve for jernioner.
4. Prøv å finne hvor stor feilkilde du får om du måler kobberioner, men har en prøve som er litt forurenset av jernioner.
5. Gjør samme vurdering for måling av jernioner i en løsning som er forurenset av kobberioner.

39

40

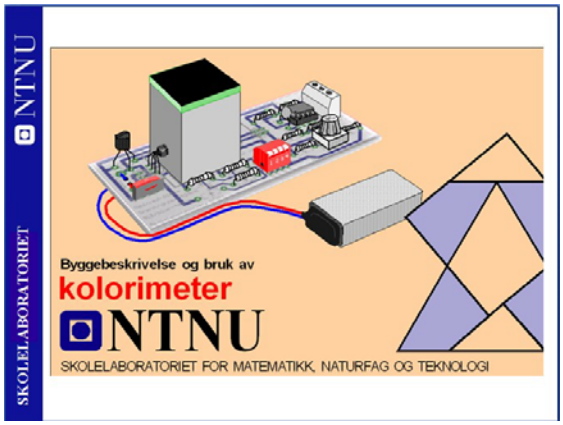
41

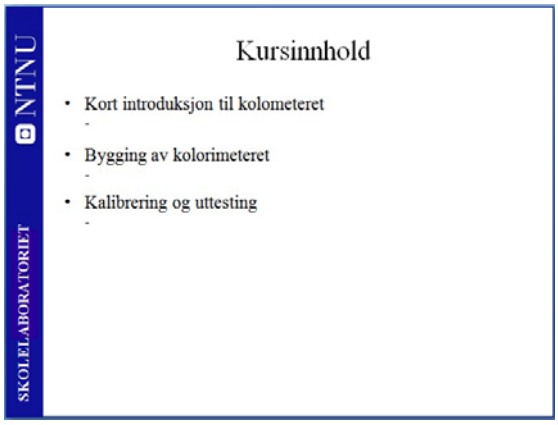
42

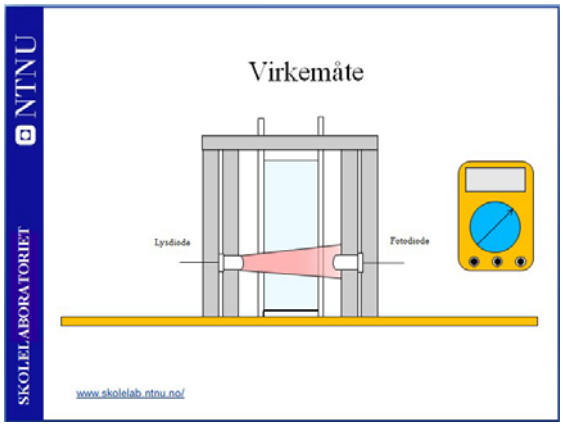


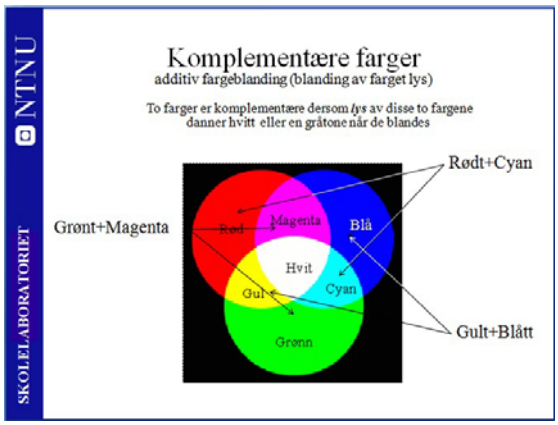
B.2 Presentasjon

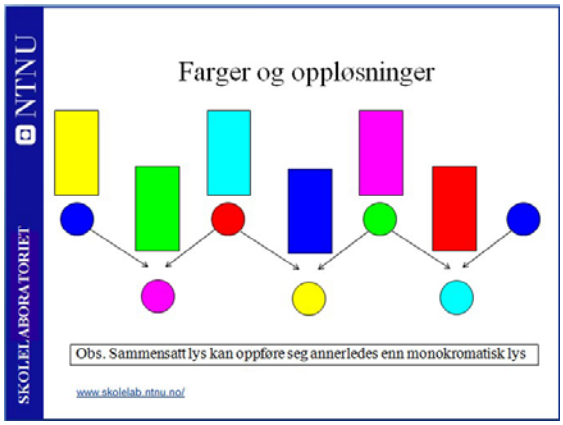
Følgende presentasjon er benyttet på lærerkurs. Presentasjonen kan lett tilpasses bruk i klasserommet dersom læreren ønsker det.

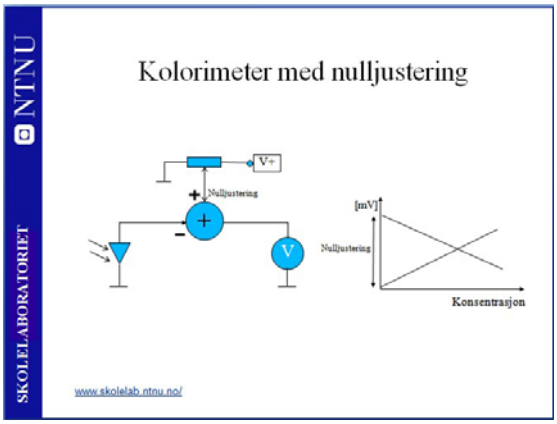


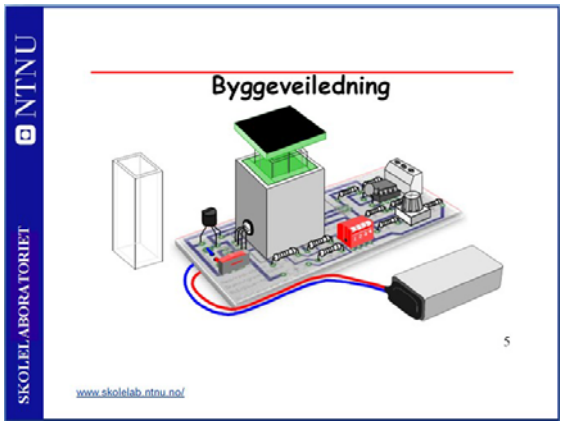












Deretter følger utklipp fra heftet som er vist i sin helhet i vedlegg B.1.

Vedlegg C Komponentlister

C.1 Kolorimeter med kyvettekammer laget i kapa (priser pr. 4. nov. 2011)

Avansert type (komponenter merket * kreves for den enkle varianten):

100 stk Spenningsregulator LM78L05ACZ, ELFA: 73-285-50, Totalpris ca. 412,-	4,12 *
100 stk Fotodiode SFH203 IR 5 mm, ELFA 75-100-09, Totalpris ca. 577,-	6,59 *
100 stk Batterikontakt, ELFA 69-143-11, Totalpris ca. 733,-	7,33 *
100 stk DIL strømbryter, ELFA 35-397-23, Totalpris ca. 1050,-	10,50 *
100 stk Koblingsplint 2 polt. ELFA 48-374-64, Totalpris ca. 190,-	1,90 *
100 stk Operasjonsforsterker CA3130EZ, ELFA: 73-063-01, Totalpris ca. 1060.-	10,60
100 stk Potensiometer 500 Ohm, ELFA: 64-634-34: Totalpris ca. 2340,-	23,40
100 stk Skyvebryter, ELFA 35-360-18: Totalpris ca. 741,-	7,41 *
100 stk Kondensator 47 pF, ELFA 65-691-98, Totalpris ca. 55,-	0,55
1000 stk Kullfilmmotstand 3 x 220 Ohm ELFA: 60-502-24. Totalpris ca. 108,-	0,33 *
100 stk Kullfilmmotstand 10 kOhm ELFA: 60-502-44. Totalpris ca. 16,60,-	0,17
100 stk Kullfilmfilmotstand 680 Ohm ELFA 60-502-30. Totalpris ca. 16,60,-	0,17
200 stk Metallfilmotstand 47 kOhm ELFA: 60-592-59. Totalpris ca. 54,-	1,08
200 stk Metallfilmotstand 470 kOhm ELFA: 60-592-84. Totalpris ca. 54,-	1,08
100 stk Plastposer 20,3 x 12,7 cm: 80-075-54. Totalpris ca. 360,-	1,37 *
2 stk Kond. Skum 300 x 300 x 5 mm, 80-092-76. Totalpris 60,-	0,50
100 stk 8 pin sokler, ELFA: 48-155-61, Totalpris ca. 58,-	0,58
100 stk kretskort	8,00 *
100 stk Hefte (regnes uten moms)	20,00 *
100 stk Kapa	2,00 *
100 stk Kartnåler	0,80 *
100 stk Lysdioder trikolour (L-154A4SURKPBAVGAW)	12,00 *
Totalt for kolorimeter med bruk av kapa	120,48 (82,35)

Total innkjøpskost inkl MOMS kr. 145,35 med hefte (kr. 97,93)

Total innkjøpskost inkl MOMS kr. 125,35 uten hefte (kr. 77,93)

Tallene i parantes gjelder for den *enkle varianten* av kolorimeteret.

Fargetrykk, hefte (44 sider 8 x 12 cm)

I tillegg kommer frakt og pakking av byggesettene

C.2 Kolorimeter med kyvettekammer laget i aluminium (priser pr. 4. nov. 2011)

Avansert type (komponenter merket * kreves for den enkle varianten):

100 stk Spenningsregulator LM78L05ACZ, ELFA: 73-285-50, Totalpris ca. 412,-	4,12 *

100 stk Fotodiode SFH203 IR 5 mm, ELFA 75-100-09, Totalpris ca. 577,-	6,59 *
100 stk Batterikontakt, ELFA 69-143-11, Totalpris ca. 733,-	7,33 *
100 stk DIL strømbryter, ELFA 35-397-23, Totalpris ca. 1050,-	10,50 *
100 stk Koblingsplint 2 polt. ELFA 48-374-64, Totalpris ca. 190,-	1,90 *
100 stk Operasjonsforsterker CA3130EZ, ELFA: 73-063-01, Totalpris ca. 1060.-	10,60
100 stk Potensiometer 500 Ohm, ELFA: 64-634-34: Totalpris ca. 2340,-	23,40
100 stk Skyvebryter, ELFA 35-360-18: Totalpris ca. 741,-	7,41 *
100 stk Kondensator 47 pF, ELFA 65-691-98, Totalpris ca. 55,-	0,55
1000 stk Kullfilmmotstand 220 Ohm ELFA: 60-502-24. Totalpris ca. 108,-	0,33 *
100 stk Kullfilmmotstand 10 kOhm ELFA: 60-502-44. Totalpris ca. 16,60,-	0,17
100 stk Kullfilmfilmotstand 680 Ohm ELFA 60-502-30. Totalpris ca. 16,60,-	0,17
200 stk Metallfilmotstand 47 kOhm ELFA: 60-592-59. Totalpris ca. 54,-	1,08
200 stk Metallfilmotstand 470 kOhm ELFA: 60-592-84. Totalpris ca. 54,-	1,08
100 stk Plastposer 20,3 x 12,7 cm: 80-075-54. Totalpris ca. 360,-	1,37 *
2 stk Kond. Skum 300 x 300 x 5 mm, 80-092-76. Totalpris 60,-	0,50
100 stk 8 pin sokler, ELFA: 48-155-61, Totalpris ca. 58,-	0,58
100 stk kretskort	8,00 *
100 stk Hefte (regnes uten moms)	20,00 *
100 stk Aluminiumpofil	5,00 *
10 stk Lysdiodeholder, Clas Ohlson: 22-743, Totalpris 29,-	5,80 *
100 stk Lysdioder trikolour (L-154A4SURKPBAVGAW)	12,00 *
Totalt for kolorimeter med bruk av aluminiumsprofil	128,48 (90,35)

Total innkjøpskost inkl MOMS kr. 155,60 med hefte (kr. 107,94)

Total innkjøpskost inkl MOMS kr. 135,60 uten hefte (kr. 87,94)

Tallene i parantes gjelder for den *enkle varianten* av kolorimeteret.

Fargetrykk, hefte (44 sider 8 x 12 cm)

I tillegg kommer frakt og pakking av byggesettene.

Vedlegg D Artikler

D.1 Naturfag

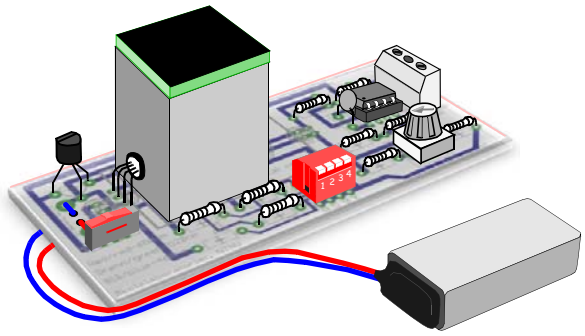
Bygg et kolorimeter

Nils Kr. Rossing, Per-Odd Eggen
Skolelaboratoriet for matematikk, naturfag og teknologi ved NTNU
Høgskoleringen 5, Realfagbygget, 7491 Trondheim
E-post: nils.rossing@plu.ntnu.no - per.eggen@plu.ntnu.no

Inngress: Konstruksjon og uttesting av et kolorimeter kan knyttes til to fag i videregående skole, TOF (teknologi og forskningslære) og kjemi. Artikkelen beskriver et prosjekt der elever og lærere bygger et kolorimeter på et kretskort. Kolorimeteret kan brukes til å måle konsentrasjoner i løsninger, noe som inngår i Kjemi 2. Både bygging og bruk av kolorimeteret gir gode muligheter til å oppfylle læringsmål i de to fagene, og som utgangspunkt til videre utforsking.

Kolorimeteret

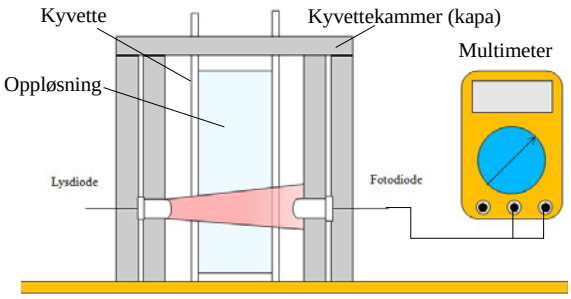
Et kolorimeter er et instrument for måling av konsentrasjonen til en løsning. Det forutsettes at det oppløste stoffet setter farge på løsningen slik at graden av farging øker med konsentrasjonen av oppløst stoff. Konsentrasjonen kan dermed beregnes ved å måle hvor mye lys som slipper gjennom løsningen[1]. Eller sagt på en annen måte, hvor mye lys som absorberes (*absorbansen*). Dersom en kjenner absorbansen for noen kjente konsentrasjoner av stoffet, kan en bestemme sammenhengen mellom absorbans og konsentrasjon, en såkalt *standardkurve* for løsningen. Standardkurve må bestemmes for hvert stoff som skal måles. Når man har en standardkurve kan man enkelt bestemme konsentrasjonen til en løsning med kolorimeteret. En lignende metode brukes også i profesjonelle instrumenter, som f.eks. i *spektrofotometer.*



Figur 1 Ferdigbygget kolorimeter

Bruk av kolorimeteret

Løsningen fylles i en *kyvette* (et reagensrør med kvadratisk tverrsnitt) som settes ned i et *kyvettekammer*. Lyset fra en *lysdiode* sendes gjennom kyvetten med løsningen og fanges opp av en *fotodiode* på baksiden av kyvetten. Fotodioden fungerer som en lysmåler som avgir en elektrisk spenning som kan avleses med et voltmeter (eller "multimeter"). En løsning med høy konsentrasjon har mørk farge og slipper gjennom lite



Figur 2 Prinsippskisse av kalorimeteret

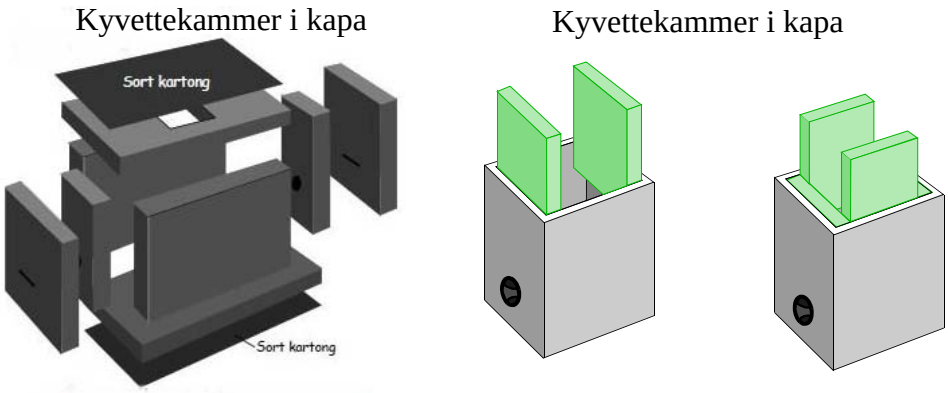
1. For enkelte løsninger kan også UV-lys anvendes for å måle absorbansen.

lys, som gir lav spenning fra fotodioden. Har løsningen lavere konsentrasjon, slipper den gjennom mer lys som gir høyere spenning. Den absolutte konsentrasjonen bestemmes ved hjelp av *standardkurven* (se under).

Bygg et kolorimeter

Artikkelen beskriver et billig kolorimeter som leveres som byggesett. Byggeprosessen består av to deler. Først bygges kyvettekammeret som skal hindre at lys fra omgivelsene å trenge inn i kammeret og forstyre målingene. Etter at flere varianter av kyvettekammeret er utprøvd av lærere og elever, står vi igjen med to typer kammer:

- ***Kyvettekammer i aluminium*** som er lett å bygge for de som ønsker å fokusere på virkemåte og bruk av kolorimeteret.
- ***Kyvettekammer i kapa*** for den som ønsker å fokusere på selve konstruksjon og byggeprosessen i tillegg til virkemåte og bruk.

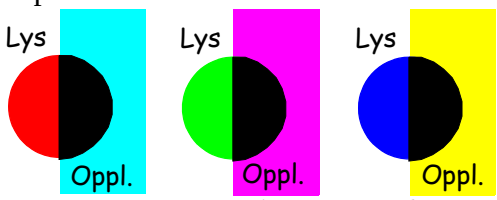


Figur 3 Sammenstillingstegning av de to alternative kyvettekamrene

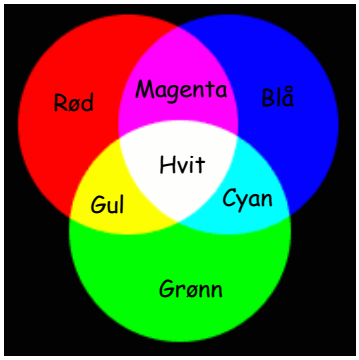
Figur 3 viser de to varianten. *Kapa* er et lett skummateriale belagt med kartong, og er lett å bearbeide. *Aluminium* krever tyngre verktøy for å bearbeides.

Fargevalg

Lyskilden består av tre lysdioder, rød, grønn og blå, som er montert i én kapsel. Lysdiodene kan tennes individuelt eller kombineres på ulike måter.



Figur 4 Komplementære farger

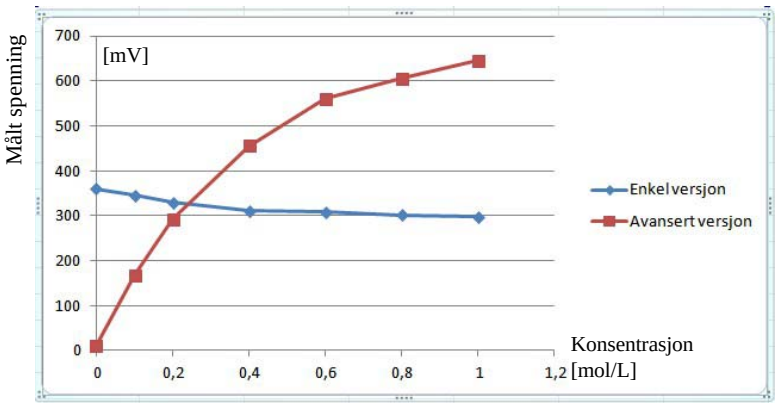


Figur 5 Additiv fargeblanding

Løsningen vil absorbere maksimalt med lys når fargen til lyset og fargen til løsningen er komplementære. Det betyr at rødt lys vil i prinsippet stoppes helt av en cyanfarget løsning. Tilsvarende stoppes grønt lys av en magentafarget løsning, og blått lys av en gul løsning.

Standardkurven

Standardkurven for et stoff beskriver sammenhengen mellom noen kjente konsentrasjoner av det oppløste stoffet, og spenningen målt på utgangen av kolorimeteret.



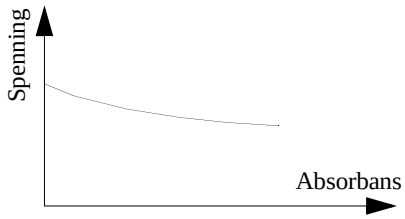
Figur 6 Standardkurve for kobbersulfat ($CuSO_4$). Avlest spenning som funksjon av løsningens konsentrasjon.

Figur 6 viser standardkurven for kobbersulfat ($CuSO_4$) bestemt ved måling av de kalibrerte løsningene: 0,0 - 0,1 - 0,2 - 0,4 - 0,6 - 0,8 og 1,0 mol/L. Den blå kurven viser spenningen målt direkte på fotodioden (*enkel versjon* – se beskrivelsen under), mens den røde kurve viser de samme målingene gjort på utgangen av den påfølgende forsterkeren (*avansert versjon*).

Spenningen målt direkte over fotodioden, varierer med ca. 60 mV (360 til 298 mV), for konsentrasjoner mindre en 1,0 mol/L. Mens spenningen målt på utgangen av forsterkeren varierer med drøyt 630 mV (12 til 646 mV), over det samme spennet i konsentrasjon.

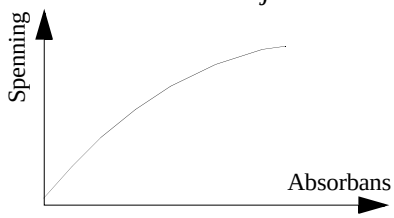
To versjoner av kolorimeteret

- **Enkelt kolorimeter**
  Denne versjonen måler spenningen direkte på fotodioden som gir fallende spenning med økende absorbans. Den enkle versjonen er billig og det er lett å forstå den prinsipielle virkemåten. Nøyaktigheten er moderat.



Figur 7 Standardkurve enkel versjon

- **Avansert kolorimeter**
  Denne versjonen snur kurven slik at spenningen øker med økende absorbans. Det er dessuten lagt inn 10 x forsterkning i kretsen samtidig som kurven kan forskyves vertikalt slik at skalaen på multimeteret kan utnyttes maksimalt (nulljusteres). Med den avanserte versjonen oppnås bedre nøyaktighet, men kretsen er ikke så enkel å forstå.

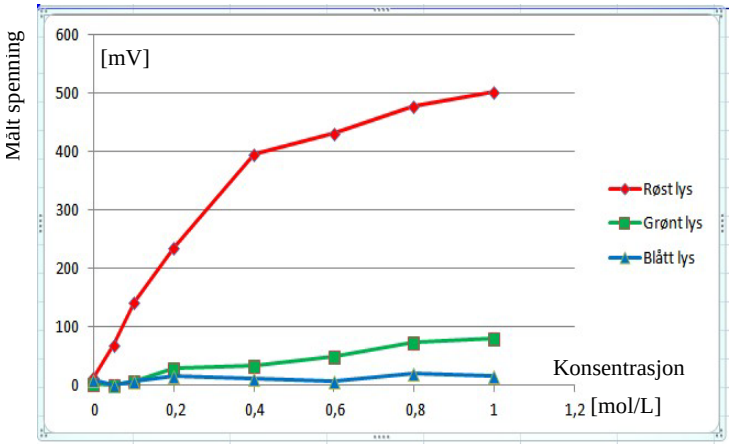


Figur 8 Standardkurve avansert versjon

Begge variantene kan bygges på det samme kretskortet.

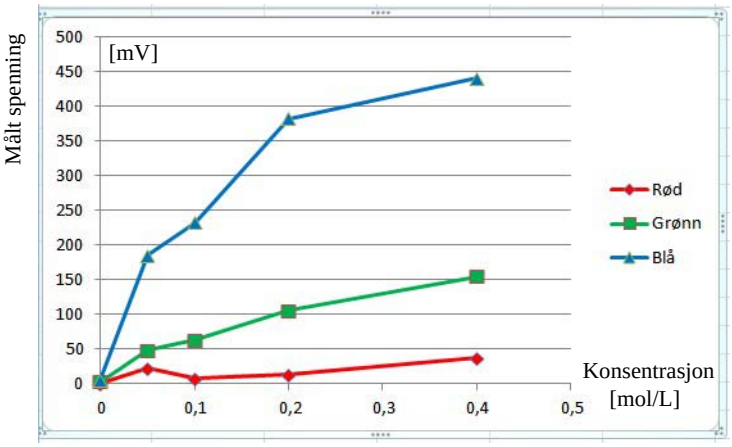
Anvendelser

Kobbersulfat ($CuSO_4$) oppløst i vann gir en blåfarget væske. Komplementærfargen til blått er gult. Gult lys ville derfor vært ideelt for å måle konsentrasjonen i en kobbersulfatløsning. Siden kolorimeteret vårt ikke har rent gult lys, velger vi rødt lys som også gir gode resultater. Figur 9 viser standardkurven målt med fargene rødt, grønt og blått lys. Vi ser tydelig at det røde lyset gir kolorimeteret størst følsomhet for endringer i konsentrasjonen til kobbersulfatløsningen.



Figur 9 Standardkurver for kobbersulfat ($CuSO_4$) fra 0 – 1,0 mol/L som funksjon av fargen til lyskilden.

Jernklorid ($FeCl_3$) oppløst i vann gir en gulbrun farge. Komplementærfargen til gult er blått. Av de fargene vi disponer, burde blått lys gi den mest følsomme standardkurve for jernklorid. Figur10 viser at vår antagelse stemmer godt.



Figur 10 Standardkurver for jernklorid ($FeCl_3$) fra 0 – 0,4 mol/L som funksjon av fargen til lyskilden.

Uttesting

I løpet av 2011 har ca. 50 lærere og 130 elever bygget og testet kolorimeteret.

Under utprøvingen er det kommet fram en rekke momenter som er brukt til å forbedre byggesettet. Dette gjelder hovedsakelig konstruksjonen av kyvettekammeret og byggebeskrivelsen. Både lærere og elever mener at kyvettekammeret i kapa er krevende å bygge, men gir god trening i nøyaktig arbeid og egner seg godt dersom en ønsker fokus på håndtering av materialer og sammenføyninger. Kyvettekammeret i aluminium er langt lettere å bygge. Denne varianten egner seg godt dersom en ønsker fokus på prinsipiell forståelse og bruk av kolorimeteret. Funksjonelt er det liten forskjell på de to kamrene.

Monteringen av elektronikken viste seg å være relativt uproblematisk. Den største utfordringen er å oppnå gode loddinger. Dette krever loddetrening, hensiktsmessig verktøy og ikke minst godt lys. Dernest er feilmontert foto- og/eller lysdiode den vanligste feilkilden.

Temperaturdrift av lysstyrken til lysdioden er kanskje den største utfordringen mht. målenøyaktigheten. Dersom kalibrering og måling av den ukjente løsningen kan gjennomføres i løpet av 3 – 5 min. har instrumentet en målenøyaktighet i størrelsesorden +/– 0,02 mol/L. Den relative måleunøyaktigheten vil øke ved måling av lave konsentrasjoner. Målenøyatigheten blir bedre dersom instrumentet har vært påslått i 10 – 15 min. før bruk.

Konklusjonen er at byggesettet kombinerer teknologi og kjemi på en måte som gjør det velegnet for bruk i faget Teknologi og forskningslære. Det ferdige kolorimeteret passer dessuten godt i faget Kjemi 2 for å forklare og demonstrere virkemåten til kolorimeteret. Fordelen med instrumentet er at det gir innblikk i hele prosessen, fra valg av farge på lyset til etablering av standardkurven og måling av ukjente prøver. I tillegg får elevene et instrument som kan brukes til reelle målinger, dog med begrenset nøyaktighet. Det er imidlertid mye læring i å vurdere kvaliteten til måleresultatene. Det er også mulig/realistisk at elevene kan foreslå å teste ut forbedringer, både når det gjelder konstruksjon og bruk av instrumentet. I tillegg til bruksområdene i ToF og kjemi, kan kolorimeteret gi økt innsikt i fargelære.

Byggesettet kan kjøpes fra Skolelaboratoriet ved NTNU til en pris av kr. 160,- (avanserte versjonen). Batteri er ikke inkludert. I tillegg trengs et ordinært multimeter. Byggeveiledningen kan lastes ned fra: http://www.ntnu.no/skolelab/materiell-til-elevverksteder – Elevverksted nr. 18: Bygg et kolorimeter.

NTNU
Det skapende universitet