

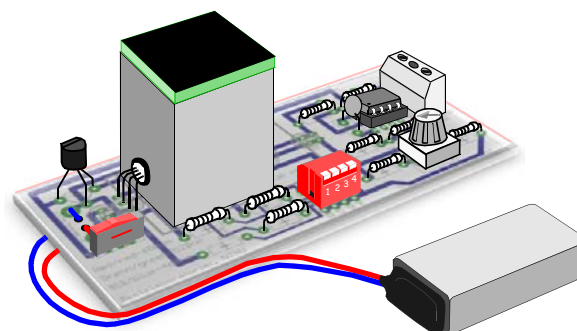
Bygg et kolorimeter

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 utforskning.

Kolorimeteret

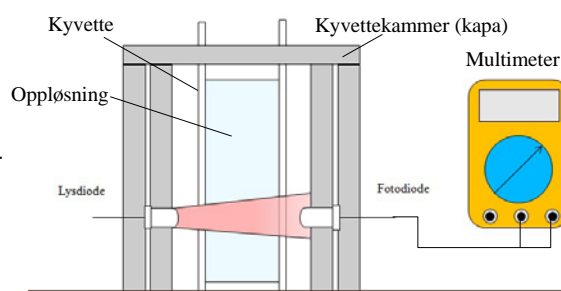
Et kolorimeter er et instrument for måling av konsentrasjonen til en løsning. Det forutsettes at det oppløste stoffet setter farge på løsningen slik at graden av farging øker med konsentrasjonen av oppløst stoff. Konsentrasjonen kan dermed beregnes ved å måle hvor mye lys som slipper gjennom løsningen¹. 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 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).



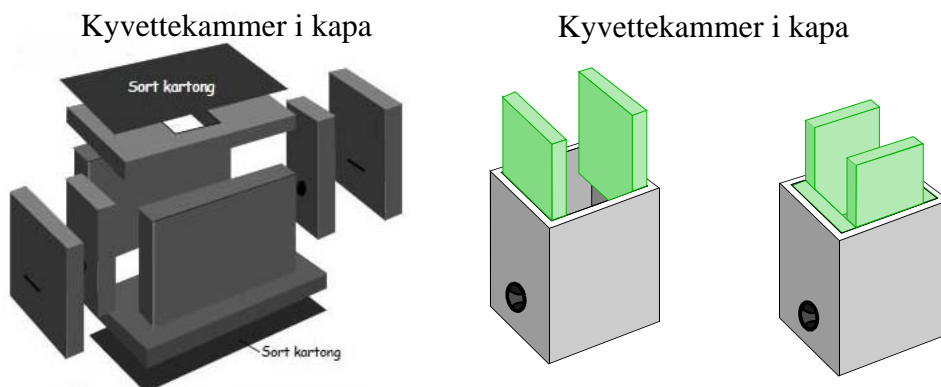
Figur 2 Prinsippskisse av kolorimeteret

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 forstyrre målingene. Etter at flere varianter av kyvettekammeret er utprøvd av lærere og elever, står vi igjen med to typer kammer:

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

- **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.

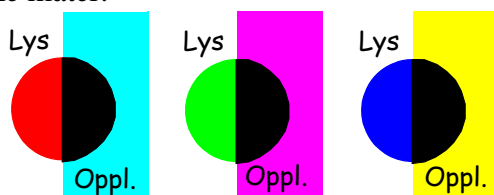


Figur 3 Sammenstillingstegning av de to alternative kyvettekammerne

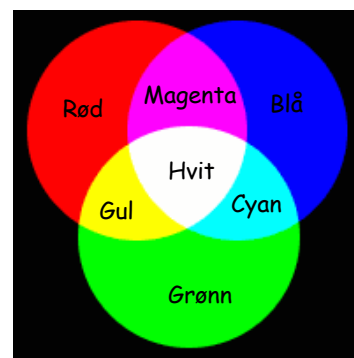
Figur 3 viser de to variantene. *Kapa* er et lett skummateriale belagt med kartong, og er lett å bearbeide. *Aluminium* krever tyngre verktøy for å bearbeides.

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



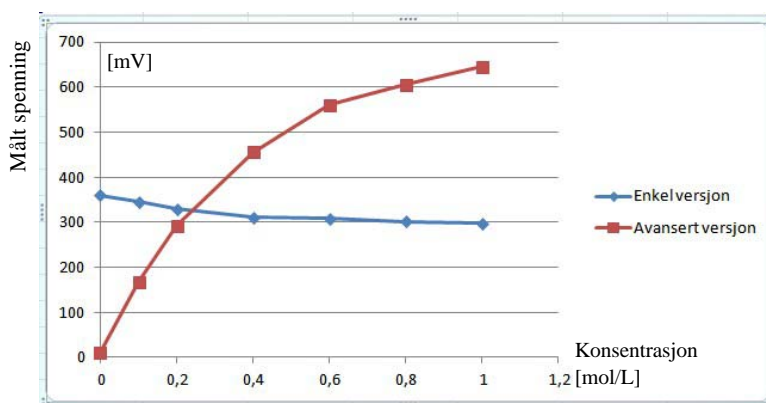
Figur 5 Additiv fargeblanding

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 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*).



Figur 6 Standardkurve for kobbersulfat (CuSO_4).

Avlest spenning som funksjon av løsningens konsentrasjon.

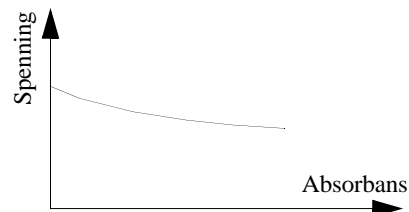
Spenningen målt direkte over fotodioden, varierer med ca. 60 mV (360 til 298 mV), for konsen-

trasjoner 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

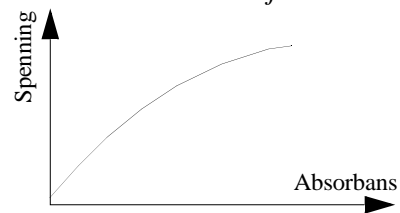
Denne versjonen måler spenningen direkte på fotodioden som gir fallende spenning med økende absorpsjon. Den enkle versjonen er billig og det er lett å forstå den prinsipielle virkemåten. Nøyaktigheten er moderat.



Figur 7 Standardkurve enkel versjon

• Avansert kolorimeter

Denne versjonen snur kurven slik at spenningen øker med økende absorpsjon. 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.

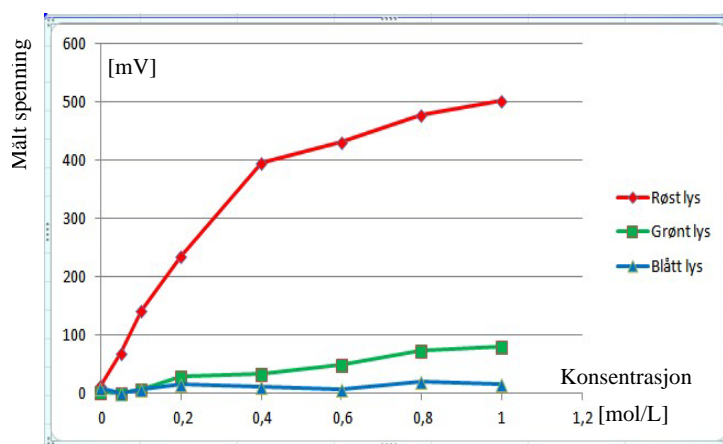


Figur 8 Standardkurve avansert versjon

Begge variantene kan bygges på det samme kretskortet.

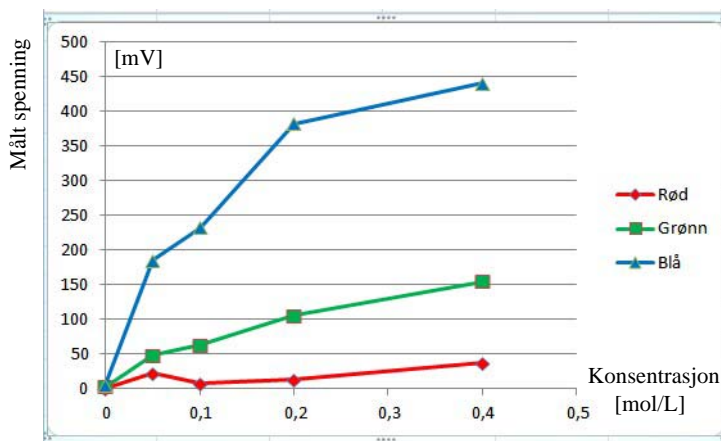
Anvendelser

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. Figur 10 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. Funk-sjonelt 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. måle-nøyaktigheten. Dersom kalibrering og måling av den ukjente løsningen kan gjennomføres i løpet av 3 – 5 min. har instrumentet en målenøyaktighet i størrelsesorden $\pm 0,02$ mol/L. Den relative måleunøyaktigheten vil øke ved måling av lave konsentrasjoner. Målenøyaktigheten 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.

Så lenge vi har byggesett på lager kan det 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 ett kolorimeter.

Alternativt kan komponenter bestilles fra leverandør. Se komponentlister med bestillingslister på nevnte nettsted.