

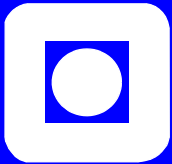
# Prøvetrykk 3.2

*Nils Kr. Rossing*

## Praktisk solcelleteknologi for skolen



NTNU



Trondheim

Program for  
lærerutdanning

Skolelaboratoriet  
for matematikk, naturfag  
og teknologi

Mai 2014



# **PRAKTISK SOLCELLETEKNOLOGI FOR SKOLEN**

## **Praktisk solcelleteknologi for skolen**

Trondheim 2014

Layout og redigering: Nils Kr. Rossing

Tekst og bilder: Nils Kr. Rossing, Skolelaboratoriet/Vitensenteret

Faglige spørsmål rettes til:

**Skolelaboratoriet for matematikk naturfag og teknologi, NTNU**

v/Nils Kr. Rossing, 73 55 11 91

[nils.rossing@plu.ntnu.no](mailto:nils.rossing@plu.ntnu.no)

Realfagbygget, Høgskoleringen 5  
7491 Trondheim

Skolelaboratoriet

Telefon: 73 55 11 43

Telefaks: 73 55 11 40

<http://www.skolelab.ntnu.no/>

Prøvetrykk 3.2, Rev 3.2 - 15.05.14

# Praktisk solcelleteknologi for skolen

Nils Kr. Rossing

Skolelaboratoriet for matematikk, naturfag og teknologi, NTNU





### Forord

Heftet gir noen praktiske tips til karakterisering og bygging med brekkasjeceller fra REC ScanCell AS.

Heftet er ble i januar 2014 skilt ut fra boka *Grunnleggende elektronikk og sensorteknologi* som gis ut Skolelaboratoriet ved NTNU.

Siden høst 2005 har firmaet **REC ScanCell AS** ved **Rune Karlsen** velvilligst gitt oss store mengder brekkasjeceller for bruk i skolen. Dette har vært bakgrunnen for de mange eksperimentene som er utført med solceller og som er omtalt i dette heftet. Flere skoler har dessuten fått eller kjøpt solceller for bruk i undervisningen. Fra 2010 ble den norske produksjonen av solceller fluttet til Kina leveransen stoppet. [www.skolesolceller.dk](http://www.skolesolceller.dk) er imidlertid et godt alternativ dersom man er villig til å betale litt for cellene.

Det må presiseres at noen av prosjektene må betraktes som ideer for utprøving enn ferdig utprøvde undervisningsopplegg.

Nils Kr. Rossing  
Skolelaboratoriet ved NTNU  
Mai 2014







## Innhold

<b>1 Innledning .....</b>	<b>11</b>
1.1 Hva sier læreplanen .....	11
<b>2 Solceller .....</b>	<b>13</b>
2.1 Solcellefysikk .....	13
2.1.1 En enkel forklaring på solcellens virkemåte .....	13
2.1.2 Serie- og parallellkobling av solceller .....	15
2.2 Behandling av solcelleflak .....	18
2.2.1 Oppdeling av enkeltceller .....	18
2.2.2 Lodding på solceller .....	23
2.3 Karkterisering av solceller, enkeltcelle .....	24
2.3.1 Tomgangsspenning, kortslutningsstrøm og optimal last .....	24
2.3.2 Kortslutningsstrøm som funksjon av areal .....	29
2.3.3 Virkningsgrad .....	31
2.3.4 Fyllfaktor .....	33
2.3.5 Kortslutningsstrøm som funksjon av lysintensitet .....	36
2.4 Karakterisering av solceller, oppdelte flak .....	40
2.4.1 Tomgangsspenning og kortslutningsstrøm: .....	40
2.4.2 Optimal last .....	41
2.4.3 Fyllfaktor: .....	41
2.4.4 Optimal last som funksjon av lysstyrke .....	41
2.5 Karakterisering av Heliocentris solcellemodul .....	43
2.5.1 Måling av strøm-spenningsdiagrammet .....	44
2.6 Forslag til videre arbeid med solceller .....	45
2.7 Simulering av en enkel solcelle .....	46
2.7.1 Simulering av serikoblede av solceller .....	49
2.8 Prosjekter hvor bruk av solceller inngår .....	49
2.8.1 Solcellesikke .....	50
2.8.2 Liten solcellebil .....	54
2.8.3 Lang solcellebil .....	56
2.8.4 Retningsstyrt solcellebil .....	60



2.8.5 Solfølger .....	62
2.8.6 Solcellelader for mobiltelefon .....	64
2.8.7 Solcellelader for en smarttelefon .....	66
2.8.8 En liten solcelleladet LED-lampe .....	72
2.8.9 Mendocino-motor .....	74
2.8.10 Vertikal solcellemotor .....	78
2.8.11 Laserkommunikasjon m/solcelledetektor .....	78
2.9 Oversikt over elev-, student- og lærerprosjekter i perioden 2006 - 2009 .....	80
2.9.1 Elevprosjekter grunnskole .....	80
2.9.2 Elevprosjekter videregående skole .....	81
2.9.3 Lærerkurs .....	83
2.9.4 Studentprosjekter .....	83
2.9.5 Artikler .....	86
2.10 Nettsteder som beskriver byggeprosjekter med solceller .....	86
<b>3 Referanser .....</b>	<b>87</b>
<b>Vedlegg A Bruk av multimeter .....</b>	<b>89</b>
<b>Vedlegg B Kopioriginaler .....</b>	<b>95</b>



## 1 Innledning

### 1.1 Hva sier læreplanen

Grunnleggende elektronikk er kommet inn i mange fag i grunn- og videregående skole. I grunnskolen er temaet primært knyttet til det tverrfaglige emnet *teknologi og design*, hvor det i kompetansemålene etter 10 trinn heter:

... at eleven skal kunne:

- *utvikle produkter som gjør bruk av enkel elektronikk etter kravspesifikasjoner, evaluere designprosessen og vurdere produktenes funksjonalitet og brukervennlighet*

Mange av lærerne som underviser naturfag i grunnskolen har ingen eller svært mangefulle kunnskaper om halvlederteknologi og elektronikk. Det er derfor et skrikende behov for en innføring i grunnleggende kunnskaper innen dette emnet og ikke minst hva en skal legge i – *utvikle produkter som gjør bruk av elektronikk*.

Videre møter vi temaet igjen i videregående skole innen flere fag. Først og fremst er temaet tatt inn i *fysikk 1* på Vg2, hvor det under hovedområdet *fysikk og teknologi* heter:

... at eleven skal kunne:

- *gjøre rede for forskjellen mellom ledere, halvledere og isolatorer ut fra dagens atommodell, og forklare doping av halvleder*
- *sammenligne oppbygningen og forklare virkemåten til en diode og en transistor, og gi eksempler på bruken av dem*
- *gjøre rede for virkemåten til lysdetektorer i digital fotografering eller digital video*
- *gjøre rede for hvordan moderne sensorer karakteriseres, og hvordan sensorenes egenskaper setter begrensninger for målinger*

Her handler det om å friske opp kunnskapene samt gi gode eksempler på laboratoriearbeid og praktisk undervisning innen disse emnene.

Videre oppfordres lærere og elever til å anvende halvledere og elektronikk i det nye faget *Teknologi og forskningslære*. Her leser vi bl.a under temaet *den unge ingeniøren*:

- *bruke sensorer og styringssystemer i forbindelse med forsøk og konstruksjoner*

Som vi ser så finner vi igjen temaet elektronikk, halvlederteknologi, sensorer og styring innen flere fag i grunnskolen og linje for allmennfag i videregående skole. Dette gjenspeiler også den enorme bruken av teknologi generelt og elektronikk spesielt i omtrent alt vi omgir oss med.

Dette heftet har hovedfokus på *solceller* som vi møter i ulike sammenhenger. Den mest kjente anvendelsen er “hyttestrøm” som erstatning for 230 V. Ellers finner vi stadig større grad solceller benyttet i forbindelse med ulike installasjoner langs veier, ved damanlegg og ellers hvor en trenger elektrisitet for styring og overvåkning av installasjoner. Dersom vi reiser vil vi oppdage at enkelte har dekket taket på låven eller våningshuset med solceller. Her brukes solenergi og solceller som en viktig tilleggskilde for elektrisk energi.



Solceller også blitt et sentralt tema innen naturfag på Vg1, under temaet *Energi for framtida*. Her finner vi følgende formulering i læreplanen:

Naturfag, kompetansemål etter Vg1

Tema – Energi for framtida

- *gjøre forsøk med solceller og solfangere og forklare virkemåten*

Boka forutsetter at leseren har generell kjennskap til elektriske begreper og tradisjonell elektrisitetslære.



## 2 Solceller

Norge har de seneste årene blitt en storprodusent av både multikrystalinsk og monokrystalinsk silisium for bruk i solceller. Norge var lenge en stor råvareleverandør for halvlederindustrien. De seneste årene er det utviklet en betydelig industri for videre foreldring av silisium til wafere (solcelleflak) og systemer basert på solcelleteknologi. **REC gruppen** (*Renewable Energy Corporation*, etablert 2000) som består av en rekke datterselskaper er en av flere norske aktører.



**REC Silicon** (også avd. i USA) er den delen av virksomheten som framstiller råmaterialet, silisium av tilstrekkelig renhet. **REC wafer** består av forretningsenheter **REC ScanCell** (Narvik) som produserer multikrystalinsk silisium, og **REC SiTech** (Glomfjord) som framstiller monokrystalinsk silisium. **REC Solar** (Glava, Sverige) setter cellene sammen til systemer.

**REC ScanCell** har gjort det mulig å utvikle eksperimentelle modeller både i skolen og ved Skolelaboratoriet ved NTNU.

### 2.1 Solcellefysikk

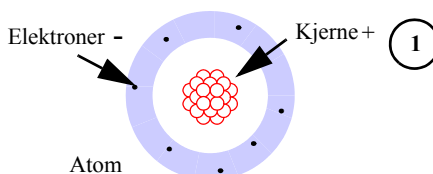
#### 2.1.1 En enkel forklaring på solcellens virkemåte

Solceller regnes kanskje ikke som en typisk sensor, men heller som en energiomvandler.

For å forstå hvordan en solcelle virker, må vi vite litt om hvordan den er bygd opp. La oss kort repetere atommodellen og forskjellen på en isolator og en leder.

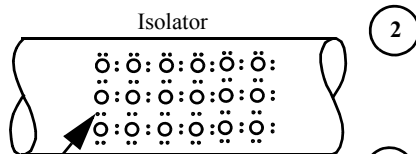
##### 1. Atomer

Alle stoffer består av atomer. Et atom har en atomkjerne omkranset av elektroner. Kjernen er positivt ladet, og elektronene er negativt ladet. Hvor fast elektronene er bundet til atomkjernen, varierer fra materiale til materiale.



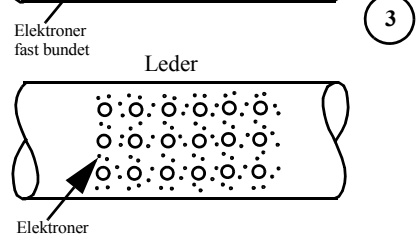
##### 2. Elektrisk isolator

Hos en isolator er elektronene **fast** bundet til atomkjernen. Det skal mye energi til for at de skal forlate atomet og bevege seg fritt i materialet.



##### 3. Elektrisk leder

Hos en elektrisk leder er elektronene **løst** bundet til atomene og vil lett kunne bevege seg rundt i materialet. De fleste **metaller** har denne egenskapen.



Solceller består av *halvledere*. Hva er så en halvleder?



## 4. Halvleder av n-typen

En halvleder er en isolator som er *forurenset* av et annet stoff slik at det får noen frie elektroner.

Dersom vi forurenser isolatoren *silisium* (*Si*) med grunnstoffet *fosfor* (*P*), vil det forurensete silisiumet bli *litt ledende* med *noen* frie elektroner. Dette skyldes at fosfor-atomene, som erstatter silisium-atomene i krystallgitteret, har et fem elektroner i ytterste elektronskall. Dette femte elektronet er ikke med å binder atomene sammen i krystallgitteret og kan derfor, om det tilføres litt energi, bevege seg ganske fritt i materialet. Et slikt materiale kalles en *halvleder av n-typen* (n for negative elektroner).

## 5. Halvleder av p-typen

Dersom vi forurenser silisium med grunnstoffet *bor* (*B*), får vi en halvleder med “for få” elektroner. Bor har nemlig bare tre elektroner i ytterste skall. Det oppstår derfor *elektronhull* i krystallgitteret. Et slikt stoff “ønsker” seg elektroner. Vi kaller dette stoffet for *en halvleder av p-typen* (p for positive hull).

Selv om n-type materialet har noen ekstra frie elektroner, er materialet elektrisk nøytralt. Det samme gjelder p-type materialet.

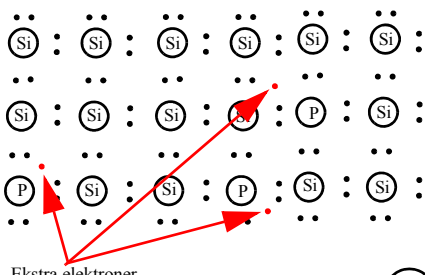
## 6. pn overgang

Om vi tar en n-type halvleder (n-området) og legger inntil en p-type halvleder (p-området), får vi det som kalles en *pn-overgang*.

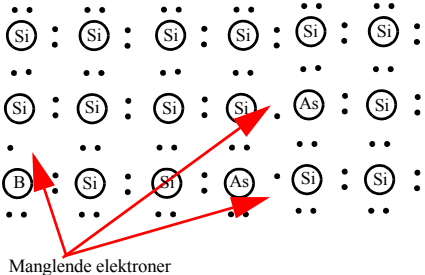
## 7. Ladningsforflytning

Siden n-området har frie elektroner, og p-området har elektronhull, vil elektronene i n-området diffundere over til p-området for å fylle hullene.

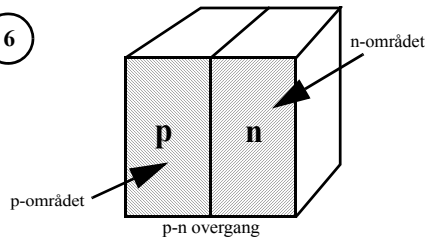
4



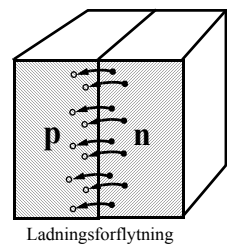
5



6



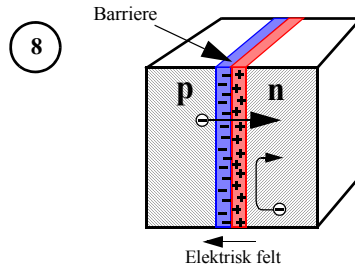
7





**8. Elektrisk felt (potensialbarriere)**

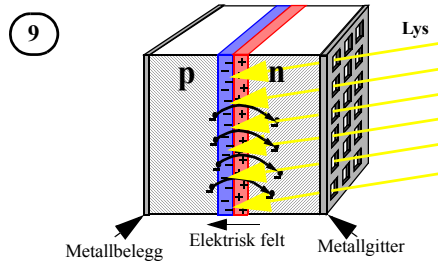
Etterhvert som elektronene diffunderer over til p-området og finner seg en plass i hullene, vil p-området bli *negativt ladet*. Mens n-området, som mister mange av sine elektroner, vil bli *positivt ladet*. På denne måten oppstår et *elektrisk felt* over p-n-overgangen. Det blir derfor stadig vanskeligere for elektronene å komme seg over til p-området. Dessuten tappes både p- og n-området for ladbingsbærere, og det oppstår et *utarmings-skikt* nær p-n-overgangen. Skulle det imidlertid finnes *frie elektroner* i p-området vil det elektriske feltet sende disse over til n-området. Tilsvarende vil frie hull i n-området bli sendt over til p-området av det samme elektriske feltet.



**9. Metallbelegg**

Vi legger metall på utsida av n- og p-området. Metallet som dekker n-området er utformet som et nett av tynne metallstriper slik at lyset skal slippe inn i materialet samtidig som nettet skal fange om frie elektroner fra n-området.

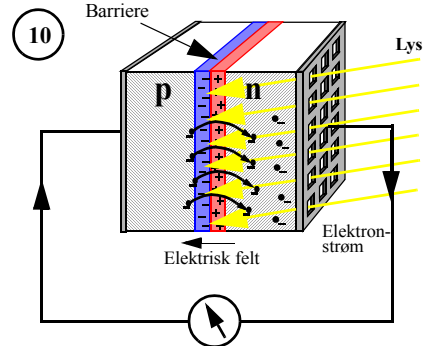
La oss se hva som skjer når p-n-overgangen belyses.



**10. Lyset tilfører elektronene energi**

Når lys med tilstrekkelig energi treffer p-n-overgangen, vil elektroner slås løs fra krystallgitteret (eksiteres opp i ledningsbåndet), på begge sider av p-n-overgangen. Elektronene som frigjøres i p-området vil umiddelbart føres over til n-området av det elektriske feltet. For å gjenopprette balansen, må elektronene komme seg tilbake til p-området. Dette er ikke så lett på grunn av det elektriske feltet langs p-n-overgangen. Det finnes imidlertid en vei rundt gjennom ledningen på utsida.

Strømmen i ledningen kan vi bruke til å gjøre et arbeid, f.eks. i en lyspære.

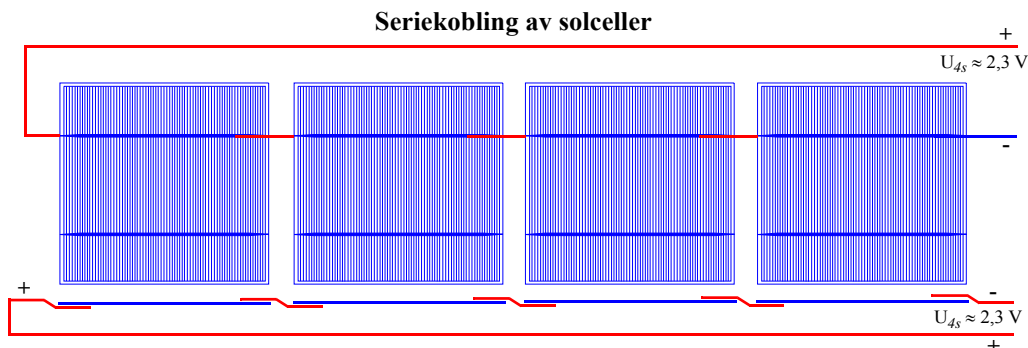


**2.1.2 Serie- og parallellkobling av solceller**

Serie- og parallellkobling av solceller kan gjøres på samme måte som batterier. En celle gir en *tomgangsspenning* (spenningen målt uten last, eng. “open circuit voltage” -  $U_{oc}$ ) på ca 0,56 V. De heldekkende metallbelegget på baksiden er den positive polen, mens stripene på forsiden er den negative polen.



## Seriekobling av celler



Figur 2.1 Seriekobling av fire solceller (nederst sett fra siden).

Når vi seriekobler solceller så kobles forsiden (-) på det ene til baksiden (+) på det neste. På denne måten oppnår vi en økning i spenningen, men ingen økning av kortslutningsstrømmen.

$$U_{ns} \approx n \cdot U_{oc} \quad (2.1)$$

$U_{ns}$  er spenningen vi oppnår ved seriekobling av  $n$  celler, og  $U_{oc}$  er spenningen vi måler over en celle uten last (open circuit (oc)).

Kortslutningsstrømmen ( $I_{sc}$ ) for seriekoblingen vil endre seg lite, men sannsynligvis gå noe ned i forhold til for en celle. Årsaken er at cellenes indre motstand øker relativt mer enn det spenningen øker. Dette bør imidlertid etterprøves.

$$I_{ns} \approx I_{sc} \quad (2.2)$$

Den leverte effekten vil være ca.  $n$  ganger så høy siden spenningen er økt  $n$  ganger:

$$P_{ns} \approx n \cdot P_{max} \quad (2.3)$$

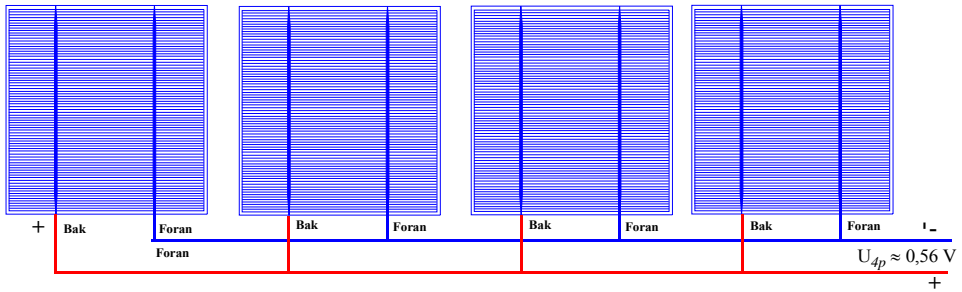
Hvor  $P_{ns}$  er maksimal effekt levert fra de seriekoblede solcellene og  $P_{max}$  er maksimalt levert effekt fra en av cellene. Vær oppmerksom på at den optimale lastmotstanden for seriekoblingen kan være forskjellig, fra tilsvarende for en enkelt celle.





**Parallellkobling av celler**

**Prallellkobling av solceller**



Figur 2.2 Parallellkobling av solceller.

Når vi parallellkobler solceller så kobles samtlige forsider (-) sammen, på samme måte som samtlige baksider (+) kobles sammen. På denne måten oppnår vi en økning i kortslutningsstrømmen tilsvarende antallet celler vi har koblet sammen, men ingen økning av tomgangsspenning.

$$I_{np} \approx n \cdot I_{sc} \tag{2.4}$$

$I_{np}$  er strømmen vi oppnår ved parallellkobling av  $n$  celler, og  $I_{sc}$  er kortslutningsstrømmen vi måler for én celle (short circuit (sc)).

Tomgangsspenningen ( $U_{oc}$ ) for seriekoblingen vil endre seg lite.

$$U_{np} \approx U_{oc} \tag{2.5}$$

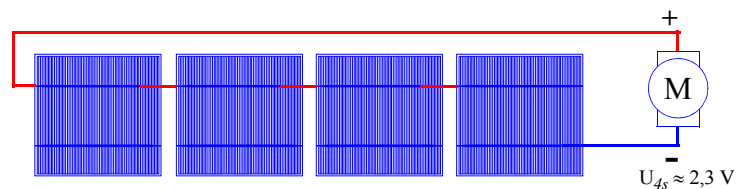
Den leverte effekten vil være ca.  $n$  ganger så høy siden strømmen er økt  $n$  ganger:

$$P_{np} \approx n \cdot P_{max} \tag{2.6}$$

Hvor  $P_{np}$  er maksimal effekt levert fra  $n$  parallellkoblede solcellene og  $P_{max}$  er maksimalt levert effekt fra én av cellene. Vær oppmerksom på at den optimale last for parallellkoblingen kan være forskjellig fra tilsvarende for en enkelt celle.

**Hvorfor serie- og parallellkoble?**

De fleste billige små motorer er spesifisert for en spenning på 1,5 Volt. Selv om de går rundt på én celle, så vil de ikke kunne utføre noe særlig



Figur 2.3 Fire celler seriekoblet for å drive en liten motor.



arbeid til tross for at solcella kan levere stor effekt på grunn av sitt relativt store areal. Den lave spenningen gjør at motoren ikke er i stand til å utnytte effekten som solcella kan levere.



Figur 2.4 Solcellepaneler med 36 celler organisert på ulike måter.

Dersom vi øker spenningen tre eller fire ganger ved å seriekoble celler, vil kunne utnytte den leverte effekten bedre og motoren kan yte en betydelig større moment.

Solcellepaneler for bruk på hytter er ofte en seriekobling av 36 enkeltceller som gir en tomgangsspenning på ca. 20 V. Dette er tilstrekkelig for å lade et 12 V bilbatteri, dessuten er det lett å organisere 36 elementer på flere hensiktsmessige måter (se figur 2.4<sup>1</sup>).

Nå kan det virke temmelig råflott å bruke fire solceller på 15 · 15 cm til å forskyve en liten motor. En kan derfor få behov for å dele opp cellene i mindre deler.

## 2.2 Behandling av solcelleflak

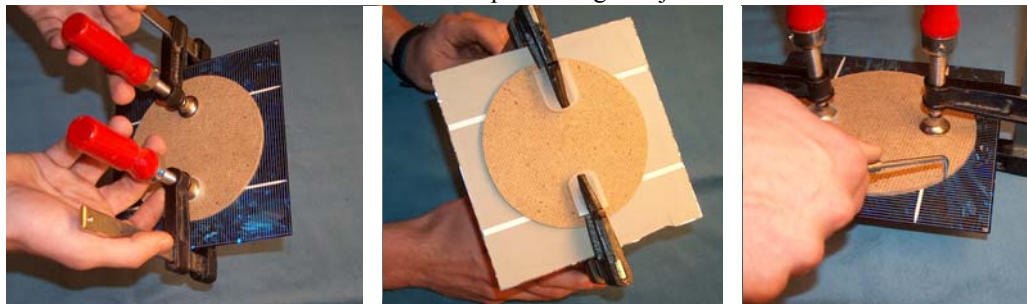
I dette avsnittet skal vi se hvordan vi kan dele opp solcelleflak og hvordan vi kobler oss til cellene elektrisk.

### 2.2.1 Oppdeling av enkeltceller

Nakne solceller er ekstremt skjøre. Det er derfor ikke helt enkelt å dele disse på en kontrollert måte.

#### Knekking

Dersom vi ønsker å forme en celle så kan vi lage to maler med den ønskede formen. Den ene malen legges på oversiden og den andre på undersiden av cella slik at de dekker akkurat samme areal på over og undersiden. De to malene presses sammen ved hjelp av en eller flere tvinger. Siden silisium er ekstremt hardt, er det vanskelig å ripe langs malen på over- og undersiden, med mindre en har en rissenål av diamant eller en passende glasskjærer.

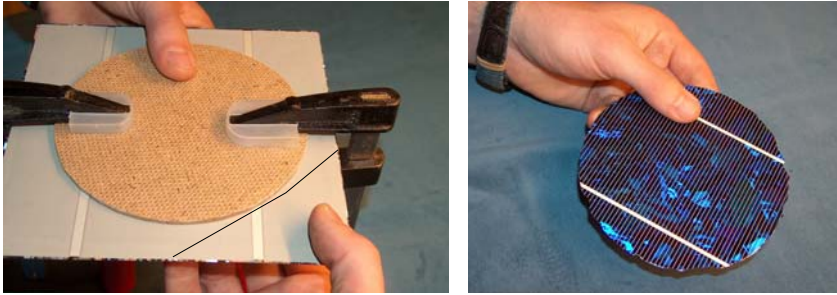


Figur 2.5 Legg en mal på over- og undersiden og sett på tvinger. Ev. riss langs kanten.

1. Bildet er hentet fra [http://www.brommeland.no/sider2/produkt\\_sider/power/jpg/solcellepanel.jpg](http://www.brommeland.no/sider2/produkt_sider/power/jpg/solcellepanel.jpg). Skolelaboratoriet ved NTNU, Nils Kr. Rossing Rev. 3.2 - 15.05.14



Deretter knekkes de deler av cella som stikker ut over malene, samtidig som malene presses sammen nær knekkpunktet. Til sist pusses overskytende materiale vekk med en roterende pussemaskin.

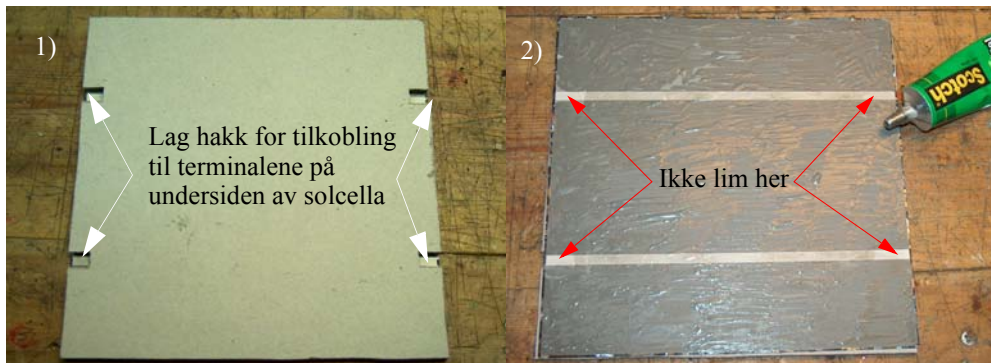


Figur 2.6 Deretter knekkes plata langs malen, før kanten til slutt pusses ren med en roterende smergel mens malen ennå er på plass.

Ulempen med denne metoden er at det ofte blir mye skre som går til spille. Dette er imidlertid vanskelig å unngå når vi krever former som er buede.

### Liming på papp og saging i båndsg

En annen metode som gir langt bedre resultat er å lime cellene opp på tykk papp før de kuttes på båndsga. Dette gir meget rene kutt uten mye brekkasje. Dessuten vil en også kunne lage buede kutt om en ønsker det.

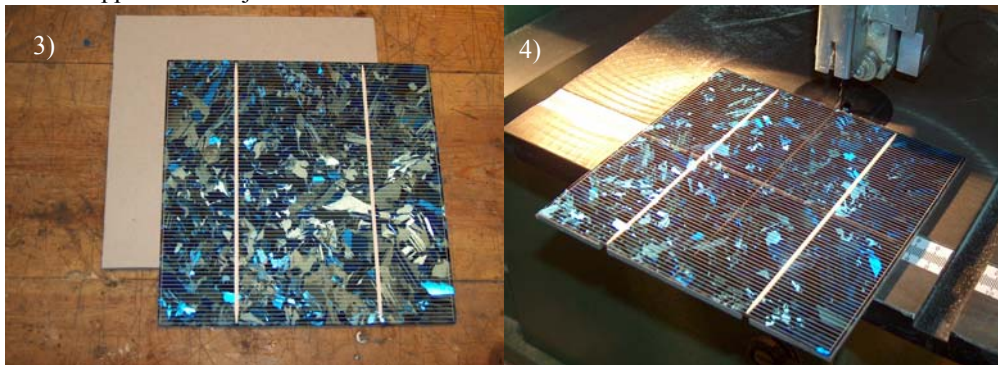


Figur 2.7 Tilskjæring av papplate og påføring av lim.

1. Skjær til en papplate med samme størrelse som solcelleflaket. I vårt tilfelle planlegger vi å dele plata i fire like store biter. Lag fire hakk i kanten for tilkobling av ledninger til plusspolen på undersiden av solcella.
2. Stryk lim på undersiden av solcella. Vi anbefaler å dekke hele flata med lim. Det er imidlertid viktigst å ha godt med lim der vi ønsker å legge snittene. Unngå lim nær endene av tilkoblingsstripen, siden det er her vi skal lodde ledningene til solcella.

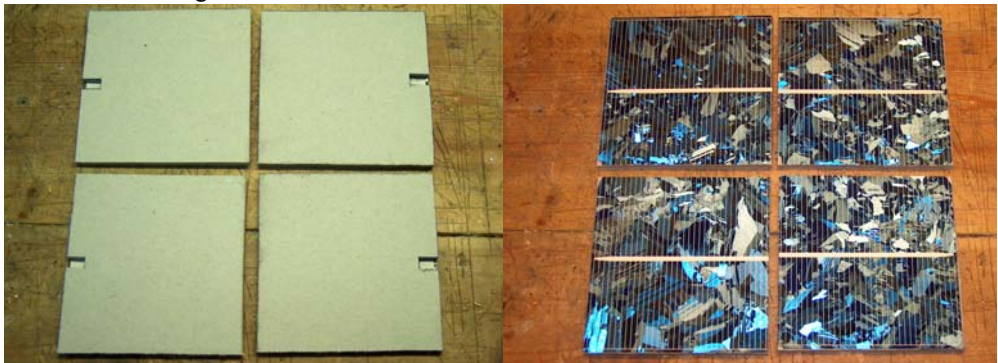


3. Legg solcella over papplata med limsida ned slik at tilkoblingsstripene (terminalene) på undersiden av plata, treffer hakkene.
4. Etter at limet er tørt kan solcella skjæres i båndsaga. Det er viktig at solcellen ligger med fram-siden opp når den skjæres.



Figur 2.8 Montering og saging av solcella.

Resultatet ser vi i figuren under



Figur 2.9 Et solcelleflak delt i fire like deler.

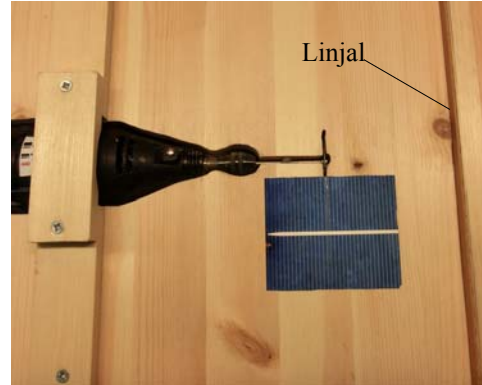




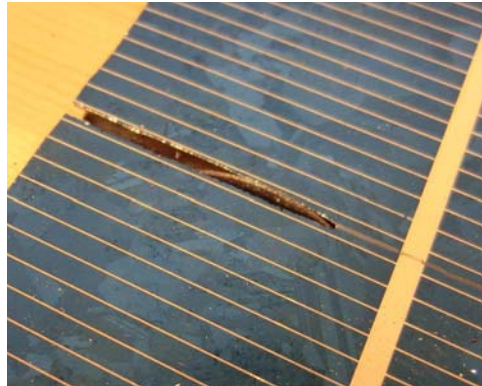
## Praktisk solcelleteknologi for skolen

### Oppdeling med smergelskive og plastlaminering

Et tredje metode som krever en del spesialverktøy er kanskje den beste. Metoden baserer seg på at solcelleflakene skjæres før de monteres. Skjæringen gjøres ved hjelp av en liten diamantsmergelskive montert på en Dremel. Siden Dremelen kan kjøres i stor hastighet (inntil 30 000 rpm) og smergelskiva er svært finkornet, blir snittet rent og fint. Det er imidlertid en fordel å montere Dremelen i en jigg som vist på figuren under.



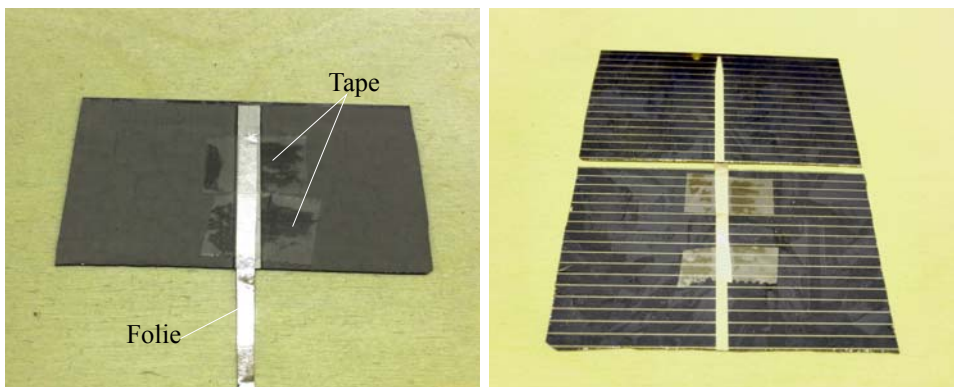
Smergelskiva bør ikke stikke mer enn ca. 1 mm opp over plata. En linjal langs høyre kant kan være nyttig som føring for å få et rett snitt. Det er også uproblematisk å føre den på frihånd.



Etter at solcellene er skåret i riktig format, kan de lamineres i en lamineringsmaskin med 100 eller 125  $\mu\text{m}$  plastfolie. En må imidlertid først sørge for å legge inn ledninger eller tynn folie for å få tilgang til polkontaktene på solcellene. En kan også serie- eller parallellkoble flere celler under samme plastlaminat som vist på bildet under. Litt tape benyttes for å sørge for at folien eller ledningene ligger riktig plassert over polkontaktene før de lamineres. Dvs. det gjøres ingen lodding. Kontakten mellom ledning og polkontakt vil dermed kun bero på det presset som oppstår i lamineringsprosessen.



På bildet under ser vi hvordan tynne foliestrimler festet til polskinnene med litt tape før de lamineres. Det er viktig å sørge for at det ikke oppstår kortslutning mellom polkontaktene på for og baksiden.



**Ved seriekobling:** Etter å ha festet folien til polkontakten på baksiden av cella, snues den rundt og foliestripen festes til kontakten på forsiden av den neste i rekka. På denne måten kan en seriekoble mange mindre solceller. Til slutt legges endekontaktene ut til siden eller rett bak slik at de er klare til å kjøres gjennom lamineringsmaskinen. Bildet under til venstre viser hvordan tre celler er seriekoblet og lagt under plast. På bildet til høyre kjøres de i lamineringsmaskinen. Det er viktig at den kanten som går først inn i lamineringsmaskina er sveiset.



Vær oppmerksom på at koblingen mellom polkontaktene og folien kan bli dårligere etter som tiden går.

### Utstyr:

Dremel Multipro 285PB – Clas Ohlson

Diamond Cutting Wheel 7/8" Fabrikat Value – Clas Ohlson

Exibler Photo Laminator A4 – Inntil 0,6 mm ark tykkelse – Las Ohlson

Koblingsfolie (Connector) – [Skolesolceller.dk](http://Skolesolceller.dk) v/Janus Hendrichsen



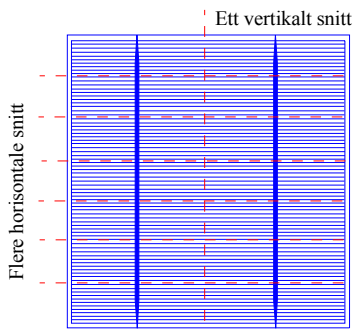
## Praktisk solcelleteknologi for skolen

Ideen til å laminere solceller er hentet fra [www.hendrichsen.dk/opgaver.zip](http://www.hendrichsen.dk/opgaver.zip)

Her finnes også ideer til prosjekter som er tilpasset bruk i skolen.

Firmaet [Skolesolceller.dk](http://Skolesolceller.dk), leverer også solceller, kuttemaskin for solceller, koblingsfolie og byggesett for solcelledrevne modellbiler m.m.

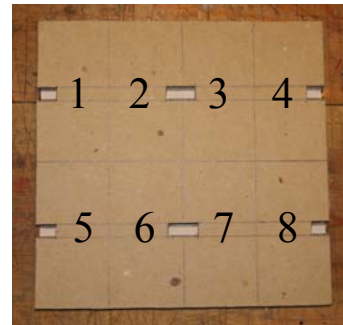
### På hvilke steder er det lurt å dele en solcelle?



Figur 2.10 Oppdeling av en solcelle.

De fleste elektriske komponenter vil bli ødelagt om vi knekker dem i to eller på annen måte deler dem opp. Slik er det ikke med en solcelle. Uansett hvor stort eller lite arealet er, eller hvor ujevne og hakkete kantene er, så fungerer biten som en solcelle. Vi må imidlertid sørge for at metallgitteret på oversiden er inntakt og sammenhengende. Dersom dette ikke er tilfelle, vil deler av cellen være uten elektrisk kontakt og effektiviteten kan gå drastisk ned. Dersom cellen er orientert som på figur 2.10, så kan vi dele cellen med så mange horisontale snitt som vi bare klarer å få til. Vi har imidlertid vanskelig for å legge inn særlig mer enn ett vertikalt snitt som vist.

Dersom vi limer oppsolcelleflaket opp på en papplate før vi kapper det, vil vi måtte ta spesielle forholdsregler dersom vi ønsker å dele opp solcella i mer en fire biter. Dette skyldes at vi må sørge for å lage hakk for tilkoblingspunkter til bakplanet til solcella. Skal vi få til dette dersom vi ønsker mer en fire biter, må vi lage åpninger midt inne på plata som vist på figuren til høyre. Her har vi valgt å forberede plata for deling i åtte like deler.



### 2.2.2 Lodding på solceller

Lodding med vanlig loddebolt kan være vanskelig, men det er mulig. Det kan være lurt å smelte tinn på terminalene før, ledningene loddes på. På oversiden av solcella legges spissen på loddebolten ned mot en av de brede stripene på oversida. Etter at stripa er varmet opp tilføres loddetinn.

På baksiden oppfører loddestripene seg på en litt annen måte. Dette kan skyldes at varmen lettere føres bort fra loddestedet gjennom det heldekkende metallbelegget. Det som har vist seg mest vellykket er å varme loddetinnet på loddebolten slik at harpiksen damper bort. Deretter føres loddetinnet ned til en av de to markerte stripene som skiller seg fra resten av metallbelegget.

Når loddetinnet har festet seg til stripene på over- og undersiden, varmes tinnnet opp på nytt slik at ledningene kan kobles til.



En bedre løsning er å bruke hurtigtørrende **ledende lim**<sup>2</sup>. Dette fester bedre til metallstripene på solcellen og bygger ikke så mye som en klump loddetinn gjør. Dermed er det også lettere å feste solcella på et plant underlag.



Kr. 377,- + MOMS for 14 gram  
ELFA - 80-867-12

Limet trenger imidlertid et par timer for å tørke såpass at ledninger ikke løsner.



I det neste avsnittet skal vi se nærmere på hvordan vi kan karakterisere solceller.

### 2.3 Karkterisering av solceller, enkeltcelle

I dette avsnittet skal vi se hvordan vi kan måle tomgangsspenning for en solcelle og finne optimal last. Vi bruker en solcelle fra ScanWafer med dim. 155 · 155 mm.

#### 2.3.1 Tomgangsspenning, kortslutningsstrøm og optimal last

- Lyskilde 300 Watt
- Solcelle 155 · 155 mm, med holder
- Lysintensitetsmåler, Watt/m<sup>2</sup>
- Lab.ledninger
- Målestav
- Multimeter, CHY 17

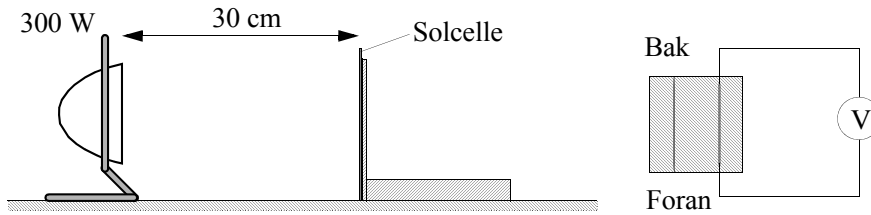
---

2. Ledende lim fås kjøp hos ELFA, se: <http://www.elfa.se/no/index1.html> Pris: ca. kr. 377,- for 2·7 g. Leveres som to-komponent epoxy-lim iblandet sølv. Tørketid 3 - 5 min. herdetid 24 timer.





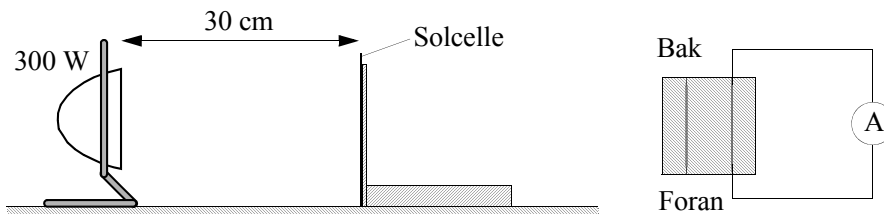
**Måling av tomgangsspenning:**



Still solcellen opp loddrett foran lyskilden i en avstand på 30 cm fra fronten av lyskilden. Koble voltmeteret til solcella og les av spenningen når lyset er tent.

**Tomgangsspenning er målt til 0,56 Volt. Målingen er gjort med en 300W lampe.**

**Måling kortslutningsstrømmen**



Still solcellen opp loddrett foran lyskilden i en avstand på 30 cm fra fronten av lyskilden. Sett ampermeteret på 10A og koble det til solcellepanelet. Les av strømmen.

**Kortslutningsstrømmen er målt til 2,67 A. Målingen er gjort med en 300W lampe. Måleinstrumentets indre motstand er ukjent, men antas å være godt under 1Ω**

**Optimal last**

Normalt ønsker vi å få mest mulig elektrisk effekt ut av en solcelle levert til lasten. Den leverte effekten er vanligvis avhengig av hvilken last vi kobler over solcellen.

Effekten levert til en lastmotstand  $P_L = U_L \cdot I_L$ . Hvor  $U_L$  er spenningen som ligger over lastmotstanden og  $I_L$  er strømmen i lastmotstanden. Siden den optimale lastmotstanden ofte er i størrelsesorden 1 Ohm og mindre, vil ampermeterets indre motstand kunne gi et betydelig bidrag til lastmotstanden. Å overse denne, vil kunne gi betydelige systematiske feil i måleresultatene.

Problemet unngås ved å bruke presisjonsmotstander for så å beregne strømmen i lastmotstanden på bakgrunn av spenningsmålinger ( $U_L$ ).

En bør også sørge for korte måleledninger med god forbindelse i koblingpunktene. Overgangsmotstander på noen 100 mV, vil gi betydelig feil i målingene. Har en strenge krav til nøyaktighet bør en derfor helst lodde ledningene direkte til solcellen.

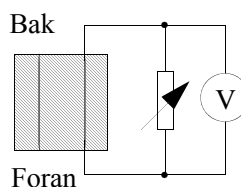
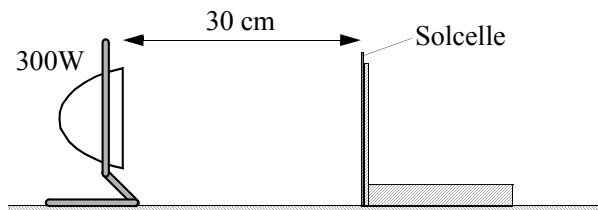


- Lyskilde 300 Watt
- Solcelle 155 · 155 mm, med holder
- Motstands Brett, variabel motstand<sup>3</sup>
- Lysintensitetsmåler, Watt/m<sup>2</sup>
- Lab.ledninger
- Målestav
- Multimeter, CHY 17

Motstands-  
brett



## Måleoppstilling og måleprosedyre



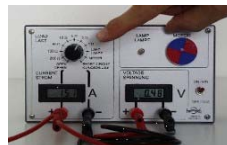
Figur 2.11 Måleoppstilling for måling av optimal last

Solcellen belastes med motstandene på motstands brettet. Voltmeteret kobles i parallell med lastmotstandene. Begynn med å måle med åpen krets:

1. Koble opp og sett måleinstrumentet til spenningsmåling, område 2V DC. Sett motstands brettet til åpen krets (ingen lastmotstand).
2. Slå på lyse og les av spenningen.
3. Gjør målinger av spenning for hver av resistansene. Før resultatet inn i tabellen under:

	$\infty$	330	100	33	10	3,3	1,0	0,33	0,1	0
Målt spenning [Volt]										
Beregnet strøm [A]										

3. Motstands brettet fra H-tec (levert av Gammadata) er valgt da det har to verdier  $<1$  Ohm (0,1 og 0,33). Dette er gunstig når en skal måle på enkelt celler som gjerne har en optimal last i nærheten av 1 Ohm. Ved seriekobling av flere solceller vil den optimale lasten være høyere og en kan med fordel bruke Heliocentris målestasjon (levert av KPT Naturfag (42205)) som har lastmotstander fra 1 Ohm og oppover.

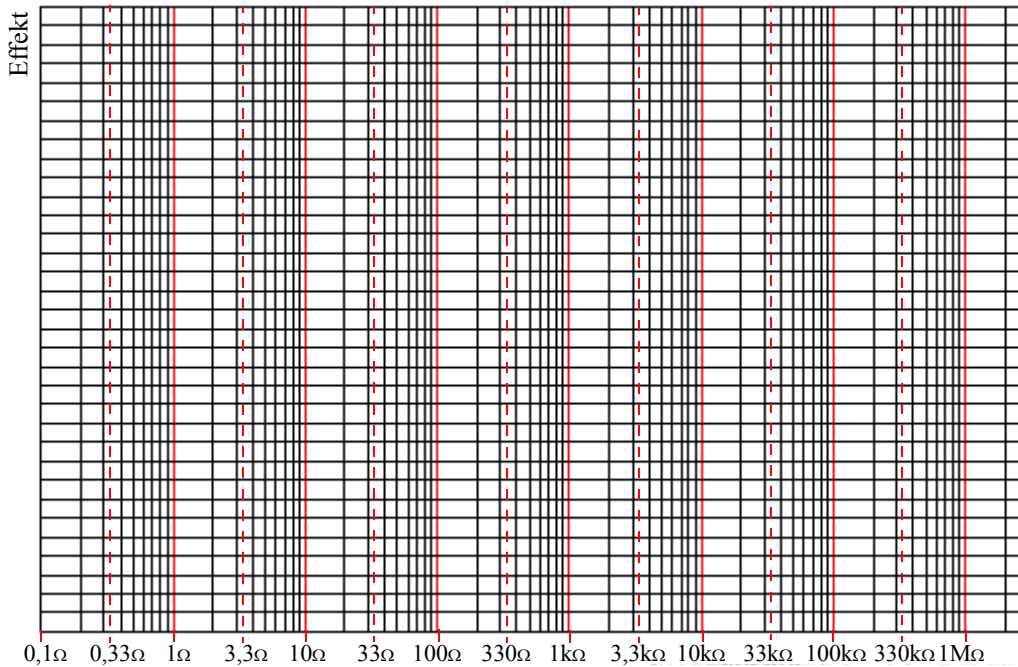


Heliocentris



	$\infty$	330	100	33	10	3,3	1,0	0,33	0,1	0
Beregnet effekt [Watt]										

4. Framstill effekten som funksjon av lastmotstanden.



Figur 2.12 Levert effekt som funksjon av lastmotstand.

5. Tegn grafen og finn optimal lastmotstand med å anslå topp-punktet av kurven

Optimal lastmotstand er bestemt til: \_\_\_\_\_ Ohm

Nærmeste standard motstand på motstands Brettet er: \_\_\_\_\_ Ohm

Når vi senere referer til optimal lastmotstand så er det den motstanden som ligger nærmest den optimale lastmotstanden på brettet som skal brukes.

### Måleresultater og diskusjon

Tabellen viser måleresultatene:

	$\infty$	330	100	33	10	3,3	1,0	0,33	0,1	0
Målt spenning [Volt]	0,567	0,567	0,565	0,562	0,555	0,538	0,487	0,387	0,255	0,165



	$\infty$	330	100	33	10	3,3	1,0	0,33	0,1	0
Beregnet strøm [mA]	0	1,72	5,65	17,03	55,5	163	487	1173	2550	-
Beregnet effekt [mW]	0	0,98	3,2	9,7	30,8	87,7	237	454	650	-

Vi legger merke til følgende:

- Maksimal effekt synes oppnårs for resistanser mindre enn 0,1 Ohm
- Spenningen over port 2 på motstandsbrettet måles til 0,165 Volt ved kortslutning, hvilket indikerer at resistansen i motstandsbrettet er større enn 0 Ohm når bryteren står i denne stillingen.

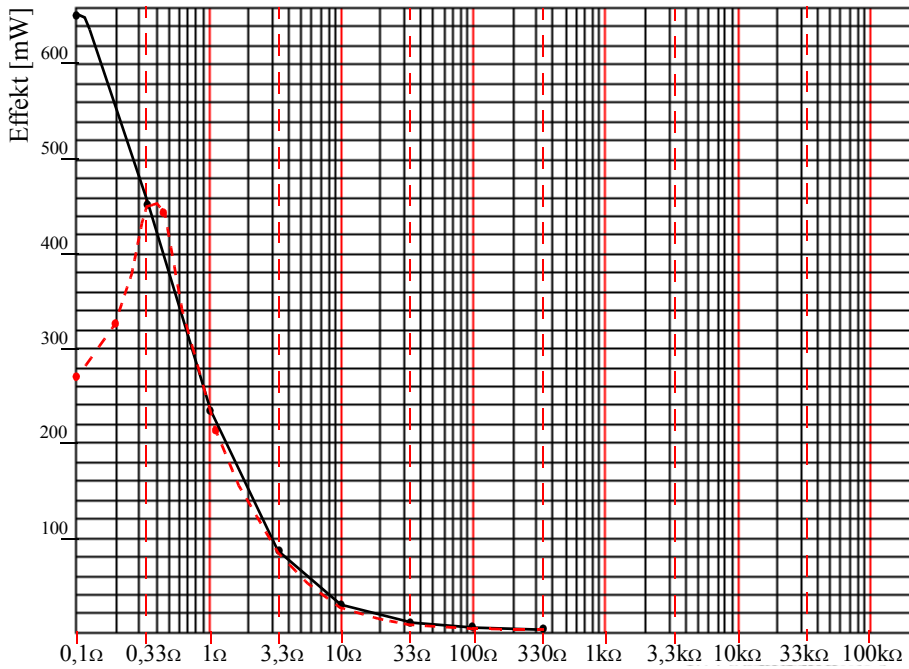
Vi målte derfor resistansen i motstandsbrettet med måleledninger med bryteren i 0 Ohm. Vi fant at motstandsbrettet viste en motstand på 0,096 Ohm i denne innstillingen. Denne motstanden kalles ofte *strømotstand* (den er på et vis “strødd” utover i måleledninger og tilkoblingspunkter). Med bakgrunn i denne målingen beregnet vi nye verdier for strømmen.

	$\infty$	330	100	33	10,1	3,4	1,1	0,43	0,2	0,1
Målt spenning [Volt]	0,567	0,567	0,565	0,562	0,555	0,538	0,487	0,387	0,255	0,165
Beregnet strøm [mA]	0	1,72	5,65	17,03	55,5	158	443	1111	1275	1650
Beregnet effekt [mW]	0	0,98	3,2	9,7	30,8	85	216	430	325	272

Vi ser at dette gir et helt annet resultat.



Vi plotter begge kurvene i diagrammet.



Figur 2.13 Levert effekt som funksjon av lastmotstand, korrigert for motstand i motstands Brettet når den står i kortslutningsstilling.

Vi legger merke til at vi får en optimal last nær  $0,35 \Omega$ . Det er derfor naturlig å bruke  $0,33 \Omega$  (eller mer nøyaktig  $0,43 \Omega$ , når vi korjigerer for strømotstanden) når vi senere skal gjøre målinger med optimal last.

### 2.3.2 Kortslutningsstrøm som funksjon av areal

I denne måleserien skal vi undersøke hvordan kortslutningsstrøm og spenningen målt over en last påvirkes av arealet som belyses.

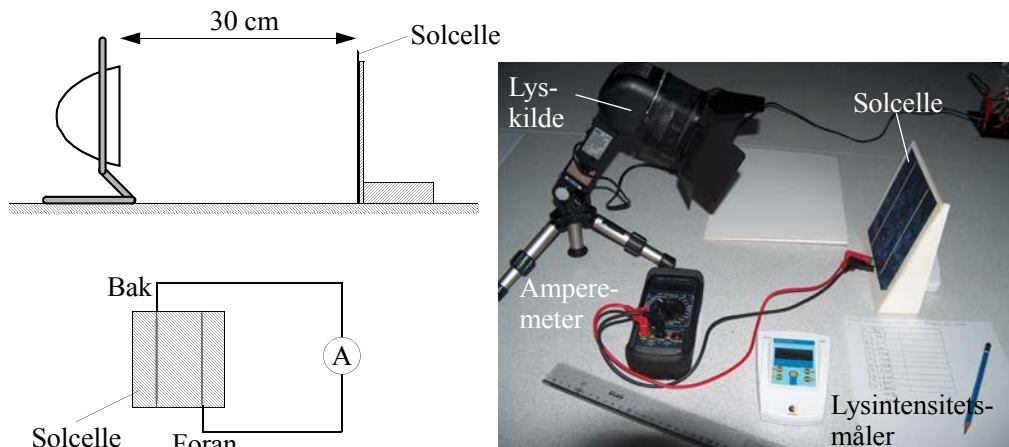
#### Utstyr:

- Lyskilde 300 Watt
- Solcelle  $155 \cdot 155$  mm, med holder
- Lysintensitetsmåler,  $\text{Watt/m}^2$  (MacSolar levert av KPT Naturfag (29 695))
- Lab.ledninger
- Målestav
- Multimeter, CHY 17 (amperemeter 10 A) (levert av ELFA)



## Måleoppstilling:

Måleoppstillingen er vist figur 2.14.



Figur 2.14 Måleoppstilling for måling av kortslutningsstrøm som funksjon av areal.

Målingene utføres med multimeteret i stilling 10 A. Dette gir minst mulig indre motstand (*shunt-resistans*) i instrumentet.

## Resultater:

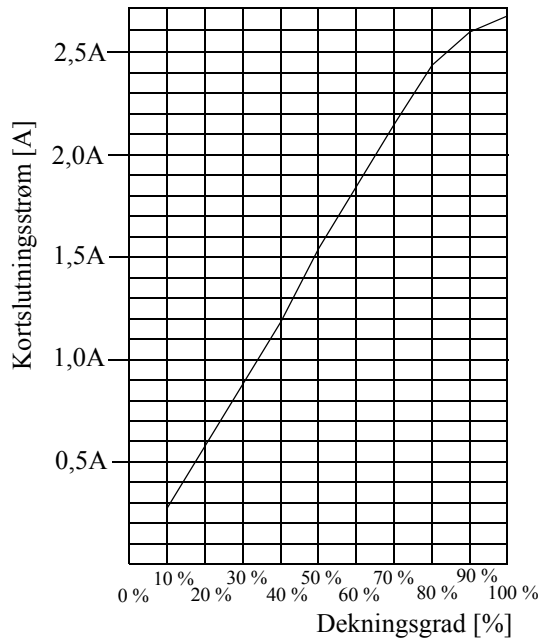
Målingene ble utført med **30 cm** mellom lyskilde og solcellepanel. Kun én celle, med et areal på ca. **240 cm<sup>2</sup>** (15,5 · 15,5 cm), ble brukt. Lysintensiteten ved solcellen ble målt til **465 W/m<sup>2</sup>**.

Tabell 1: Kortslutningsstrømmen som funksjon av dekningsgraden

Tildeckingsgrad %	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %	100 %
Kortslutningsstrøm [A]	0,28	0,59	0,89	1,19	1,54	1,85	2,15	2,43	2,60	2,67



Figur 2.15 viser resultatet framstilt grafisk.



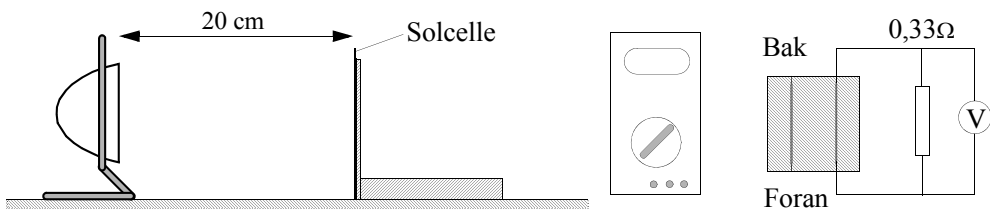
Figur 2.15 Kortslutningsstrømmen for en solcelle som funksjon av dekningsgraden.

Vi ser at det er en relativt linjær sammenheng mellom dekningsgrad og kortslutningsstrømmen mellom 0–80 %. Deretter flater kurven noe ut.

### 2.3.3 Virkningsgrad

I dette avsnittet skal vi måle solcellens virkningsgrad:

1. Mål effekten som leveres fra solcellepanelet



Koble motstands Brettet inn i parallell med solcellepanelet. Bruk resistansen  $0,33 \Omega$  og mål spenningen over motstanden. Anta at strømotstanden i brettet er ca.  $0,1 \Omega$

Spenningen målt over motstanden er: \_\_\_\_\_ Volt

Beregn strømmen ved hjelp av Ohms lov når vi antar at motstanden har verdien  $0,33\Omega$



Ohms lov:

$$\text{Spenning} = \text{Resistans} \cdot \text{Strøm} \quad (2.7)$$

eller

$$\text{Strøm} = \text{Spenning} / \text{Resistans} \quad (2.8)$$

Strømmen er beregnet til: \_\_\_\_\_ Ampere

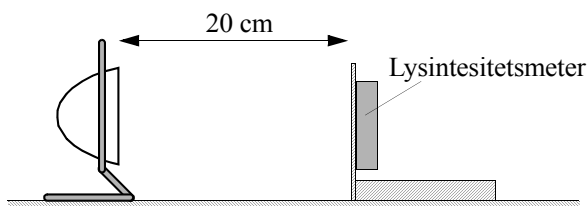
2. Beregn effekt levert til motstanden

Den effekten som leveres til motstanden er:

$$\text{Effekt levert til motstanden} = \text{Spenning over motstand} \cdot \text{Strøm gjennom motstand} \quad (2.9)$$

$$\text{Effekt} = \text{_____ Volt} \cdot \text{_____ Ampere} = \text{_____ Watt} \quad (2.10)$$

3. Mål lyseffekten



Slå på lysintensitetsmeteret. Still lysintensitetsmeteret loddrett opp foran lyskilden i en avstand på 20 cm fra fronten av lyskilden. Les av lysintensiteten.

Målt lysintensitet: \_\_\_\_\_ Watt/m<sup>2</sup>

4. Beregn solcellearealet og tilført lyseffekt til solcellen

Bruk linjal og mål og beregn arealet til den delen av solcellen som ikke er dekket til.

Solcellens areal er: \_\_\_\_\_ meter<sup>2</sup>

$$\text{Tilført lyseffekt til solcellen} = \text{Målt lysintensitet} \cdot \text{Solcellens areal} = \text{_____ Watt} \quad (2.11)$$

5. Beregn solcellens effektivitet

Solcellens effektivitet forteller oss hvor stor del av lyseffekten som er omdannet til elektrisk effekt.



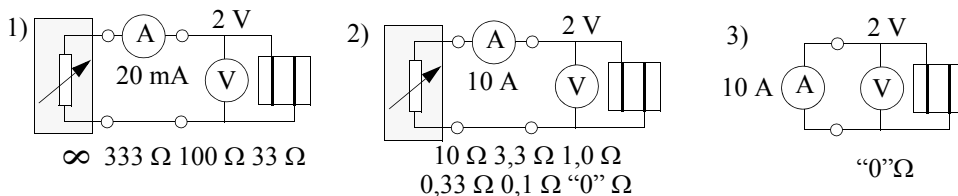




Jo større fyllfaktor, jo mer effektivt er solcellepanelet. En fyllfaktor lik 1 vil bety at kortslutningsstrømmen er uavhengig av størrelsen på belastningsmotstanden. Strømmen faller ikke før lastmotstanden begynner å bli temmelig stor. En fyllfaktor på 0,75 eller bedre regnes som tilfredsstillende [1].

### Måleeksempel:

I denne måleserien er vi ikke interessert i lasten, kun at den kan varieres. Vi tillater oss derfor å gjøre noen tilpasninger for å få best mulig resultater. For det første kan vi nå bruke et amperemeter i serie med lasten. Det vil, som vi tidligere har diskutert innføre en ukjent seriemotstand. Siden vi for denne målingen kun er interessert i å måle strøm og spenning så tett opp til solcellen som mulig så betyr ikke instrumentets innskutte motstand annet enn at lasten endres litt.

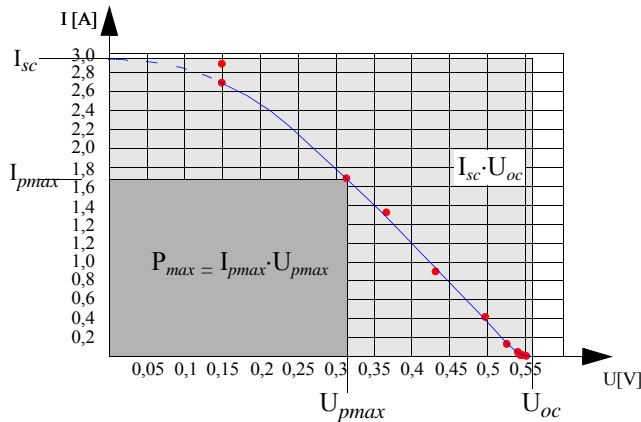


Figur 2.17 Måleoppstillinger.

1. For å kunne avlese verdier for strømmen ved høye verdier for lasten, har vi tillatt oss å bruke måleområde 2 mA. Dette gir en noe større shuntmotstand i amperemeteret enn om vi bruker måleområdet 10 A. Dette har imidlertid liten betydning siden verdien til lastmotstanden likevel er så stor.
2. I måleområdene fra 10 W og ned til 0 W på motstandsbrøtten blir strømmen så stor at vi bruker 10 A området. Dette gir en del ekstra motstand i ledninger som gjør at kortslutningsstrømmen ikke blir større enn 1,69 A.
3. For ytterligere å redusere verdien til lasten, kobler vi bort motstandsbrøtten og kobler amperemeteret rett over solcellen.



Gjennomføres målingen på denne måten får vi følgende måleserie:



Resistans	$\infty$	330	100	33	10	3,3	1,0	0,33	0,1	“0”	0
Målebetingelse =>	1)	1)	1)	1)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	3)
Målt spenning [Volt]	0,555	0,552	0,548	0,545	0,538	0,525	0,492	0,435	0,366	0,314	0,148
Beregnet strøm [mA]	0	1,6	5	12	50	150	420	870	1360	1690	2750
Beregnet effekt [mW]	0	0,88	2,7	6,5	26,9	78,7	206,6	378,5	497	530	407

Figur 2.18 Fyllfaktor et måleeksempel på ett solcellelement på 15,5 · 15,5 cm

Vi registrerer at utfordringen er å finne den virkelige kortslutningsstrømmen. Det punktet med lavest belastning gir en celledspenning på hele 0,148 V, hvilket betyr at lasten ikke er null. Dersom vi forlenger kurven etter beste evne kan vi bergene fyllfaktoren:

Ut fra måleserien og diagrammet over kan vi anslå følgende verdier for følgende parametere:

$$I_{sc} = 3,0 \text{ A (Estimert)}$$

$$U_{oc} = 0,555 \text{ V}$$

$$I_{pmax} = 1,69 \text{ A}$$

$$U_{pmax} = 0,530 \text{ V}$$

$$FF = \frac{I_{pmax} \cdot U_{pmax}}{I_{sc} \cdot U_{oc}} = \frac{1,69 \text{ A} \cdot 0,530 \text{ V}}{3,0 \text{ A} \cdot 0,555 \text{ V}} = 0,54 \quad (2.16)$$

Vi ser at fyllfaktoren ikke er imponerende. En celle av god kvalitet har typisk en fyllfaktor på 0,75 eller bedre [1].



### 2.3.5 Kortslutningsstrøm som funksjon av lysintensitet

Det er nærliggende å tro at den leverte effekten fra en solcelle avtar med lysintensiteten. Det er imidlertid ikke opplagt at denne sammenhengen er lineær. Vi kan velge å måle effekten levert i en optimal last eller vi kan for enkelthetskyld bare måle kortslutningsstrømmen.

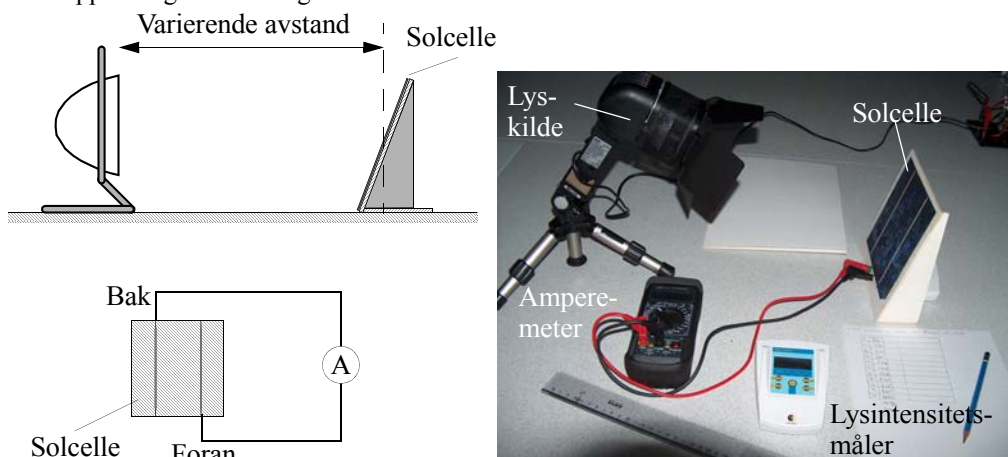
I dette avsnittet skal vi måle både kortslutningsstrømmen for en celle og effekten levert i en last på  $0,33 \Omega$  som funksjon av innstrålt lysintensitet.

#### Utstyr:

- Lyskilde 300 Watt
- Solcelle 155 · 155 mm, med holder
- Lysintensitetsmåler, Watt/m<sup>2</sup>
- Lab.ledninger
- Multimeter, CHY 17 (amperemeter 10A)

#### Måleoppstilling:

Måleoppstillingen er vist figur 2.14.



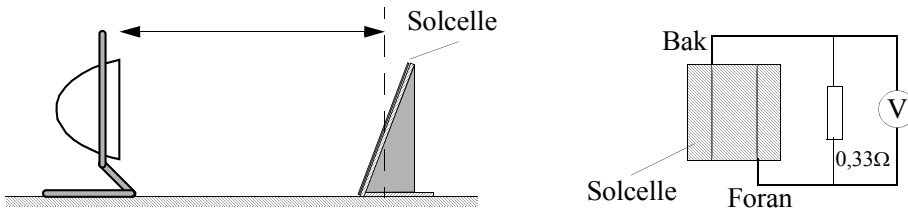
Figur 2.19 Måleoppstilling for måling av kortslutningsstrøm som funksjon av lysintensitet.

Kortslutningsstrømmen måles med multimeteret i stilling 10 A. Dette gir minst mulig shunt-resistans i instrumentet.



## Praktisk solcelleteknologi for skolen

Lvert effekt måles med en last motstand lik  $0,33 \Omega$  som er i nærheten av optimal lastmotstand ved en lysintensitet på ca  $450 \text{ W/m}^2$ .



Figur 2.20 Måleoppstilling for måling av lvert effekt som funksjon av lysintensitet.

Målingene skal gjøres med lysintensitet i området  $25 \text{ W/m}^2$  til  $200 \text{ W/m}^2$ .

### Resultater:

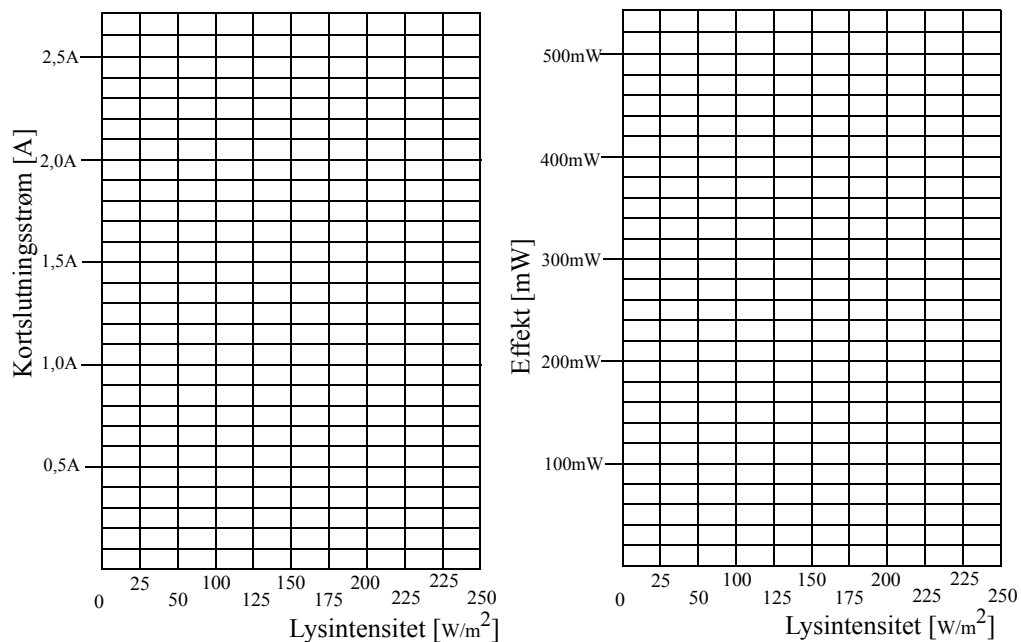
Målingene ble utført med varierende avstand mellom lyskilden og solcellepanelet. Kun én celle, med et areal på ca.  $240 \text{ cm}^2$  ( $15,5 \cdot 15,5 \text{ cm}$ ), ble brukt.

Tabell 2: Kortslutningsstrømmen og lvert effekt som funksjon av lysintensitet.

Lysintensitet [ $\text{W/m}^2$ ]	25	50	75	100	125	150	175	200
Kortslutningsstrøm [A]								
Målt spenning over last [mV]								
Beregnet lvert effekt [mW]								



Figur 2.15 viser en grafisk framstilling av resultatene.



Figur 2.21 Kortslutningsstrømmen og levert effekt for en solcelle som funksjon av innstrålt lysintensitet i W/m<sup>2</sup>.

### Måleeksempel

Målingene ble utført ved å stille opp lampen for så å måle lysintensiteten ved ulike avstander. De aktuelle lysintensitetene ble merket av på benken i riktig avstand. Deretter ble solcellen plassert i riktig avstand og kortslutningsstrøm og spenning avlest. Først ble kortslutningsstrømmen målt i en måleserie, dernest spenningen over lastmotstanden.

Tabell 3 viser resultatene av måleseriene.

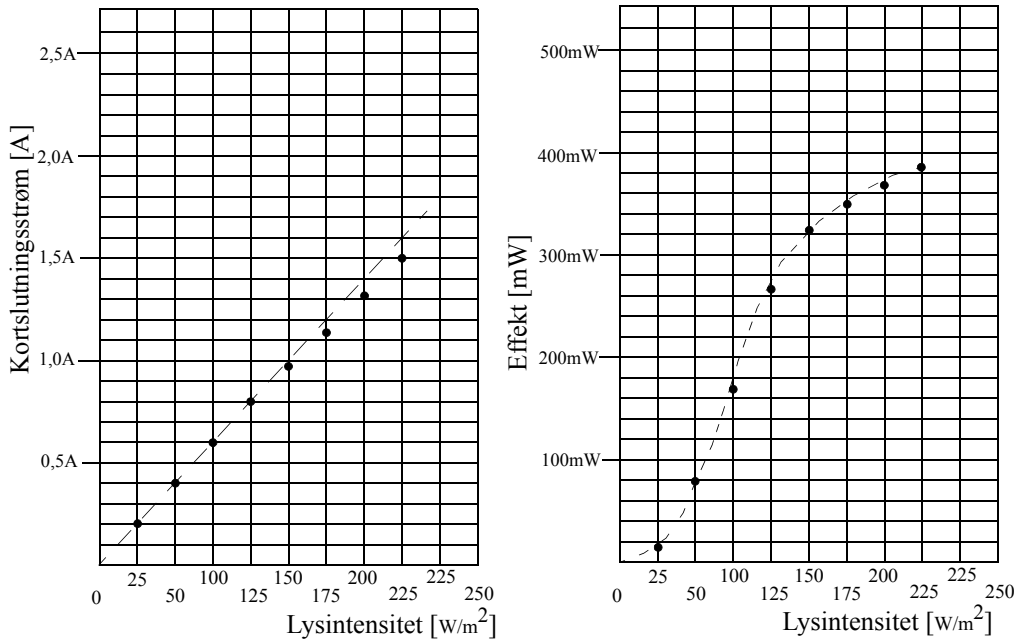
Tabell 3: Kortslutningsstrømmen og levert effekt som funksjon av lysintensitet.

Lysintensitet [W/m <sup>2</sup> ]	25	50	75	100	125	150	175	200
Kortslutningsstrøm [A]	0,20	0,40	0,60	0,80	0,97	1,17	1,32	1,50
Målt spenning over last [mV]	79	162	237	297	328	340	350	357
Beregnet levert effekt [mW]	18,9	79,5	170	267	326	350	371	386

Resultatet ble så plottet i diagrammet.



Figur 2.15 viser en grafisk framstilling av resultatene.



Figur 2.22 Kortslutningsstrømmen og levert effekt for en solcelle som funksjon av innstrålt lysintensitet i  $W/m^2$ .

Vi registrerer at sammenhengen mellom lysintensitet og kortslutningsstrøm er omtrent lineær, men faller muligens noe av med økende intensitet. Dersom vi fortsetter målingene med økende intensitet ser vi at solcellen etterhvert går i metning og flater helt ut.

Levert effekt har derimot en underlig kurve. En skulle tro at det er en kvadratisk sammenheng mellom lysintensiteten og levert effekt. Slik er det ikke når vi passerer 100 mW.

### Drøfting av usikkerhet og resultater

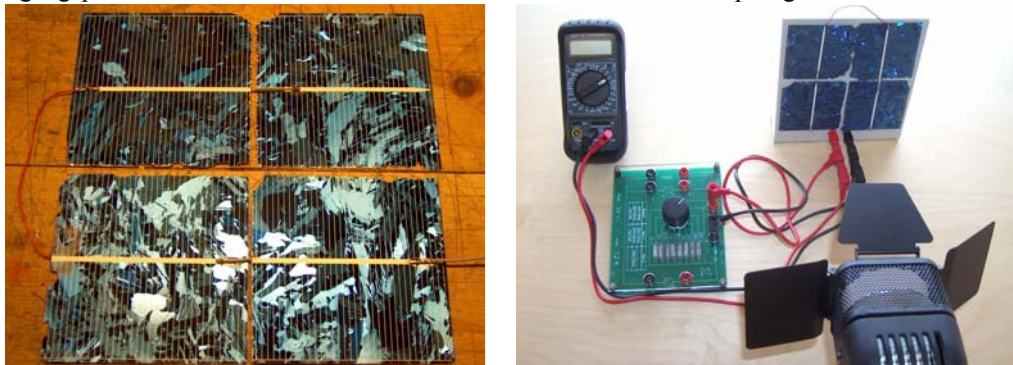
Måling av lysintensitet som funksjon av avstand kan være utfordrende siden det kan være vanskelig å få full overenstemmelse mellom plasseringen av intensitetsmåleren og solcellen. Dette blir omtrent umulig når lysintensiteten passerer  $400 W/m^2$ . Vi har derfor valgt å avslutte måleserien ved  $200 W/m^2$ . Dessuten vil lysintensiteten til lampen falle noe med tiden, på samme måten som solcellens ytelse endres med tiden etter som den blir varmet opp. Vi antar imidlertid at denne siste effekten er relativt beskjeden når vi utfører målingene med relativt lav intensitet. Endringen i lampas lysintensitet kan være betydelig. Det kan derfor være lurt å vente til lysintensiteten til lampen har stabilisert seg, eller slå av lampen mellom hver måling.

At kortslutningsstrømmen faller av med økende lysintensitet er ikke urimelig, da metningsfenomener vil opptre i solcellen. Det er imidlertid vanskeligere å forstå at den leverte effekt avviker så sterkt når lysintensiteten passerer 100 mW. En mulig årsak er at optimal lastmotstand endres med økende intensitet. Her er det imidlertid rom for litt forskning.



### 2.4 Karakterisering av solceller, oppdelte flak

Vi skal i dette avsnittet gjøre noen målinger på celler som er sammensatt av flere biter. Vi tar utgangspunkt i en standard celle som er delt i fire like deler som vist på figur 2.23.



Figur 2.23 Standard solcelle delt i fire ved saging. Delene er seriekoblet.

De fire bitene er seriekoblet og montert på en skråtilt målerigg. Avstanden mellom lyskilde er 30 cm (målt fra mattskiva foran lyskilden og til solcellene). Dette tilsvarer en lysstyrk på ca.  $400 \text{ W/m}^2$

#### 2.4.1 Tomgangsspenning og kortslutningsstrøm:

Tomgangsspenning,  $U_{4s} = 2,26 \text{ V}$  (0,56 V)

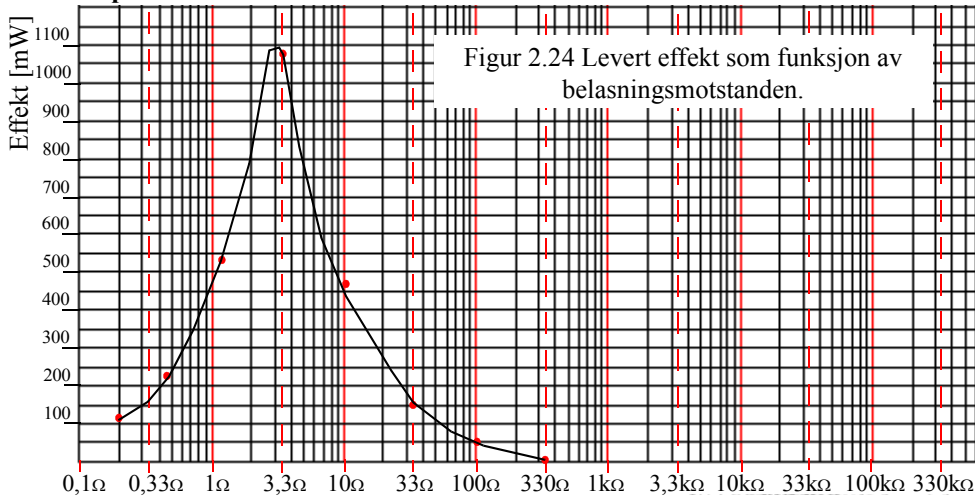
Kortslutningsstrøm,  $I_{4s} = 690 \text{ mA}$  (2,75 A)

Vi ser at målingene bekrefter at tomgangsspenningen firedobles og kortslutningsstrømmen blir en fjerdedel.





### 2.4.2 Optimal last



Av resultatene som er gjengitt i figur 2.24 så ser vi at den optimale lasten er ca 3,3 Ω og at solcellene ved denne lasten leverer over en Watt. Dette er mer en dobbelt så mye som vi klarte å få ut av cellen før vi delte den opp i fire biter, og det til tross for at en del av solcellen er gått tapt under oppdelingen. Strøm og spenning ved optimal last er målt til:

$$I_{pmax} = 562 \text{ mA}$$

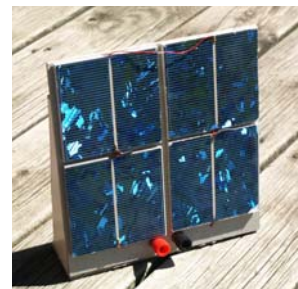
$$U_{pmax} = 1,91 \text{ V}$$

### 2.4.3 Fyllfaktor:

Målingen av fyllfaktor er utført på samme måte som beskrevet i avsnitt figur 2.3.4, og kan beregnes fra følgende ligning:

$$FF = \frac{I_{pmax} \cdot U_{pmax}}{I_{4s} \cdot U_{4s}} = \frac{0,562 \text{ A} \cdot 1,91 \text{ V}}{0,69 \text{ A} \cdot 2,26 \text{ V}} = 0,69 \quad (2.17)$$

Vi registrerer at fyllfaktoren har gått å være 0,54 til 0,69 etter at vi delte opp solcellen i fire enkelt deler som ble seriekoblet.

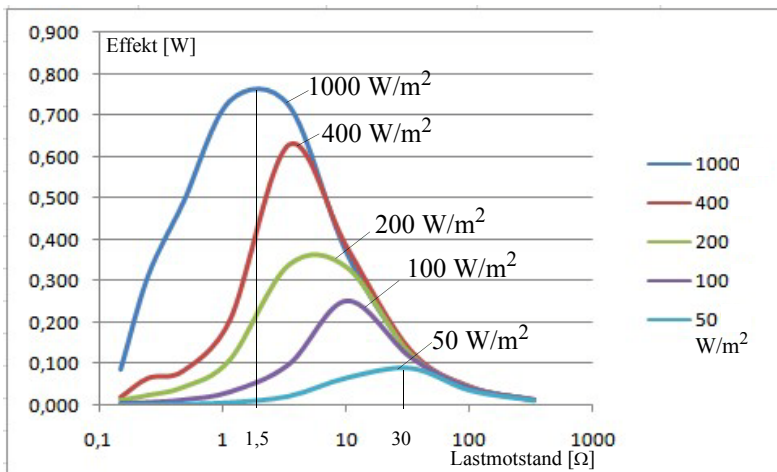


### 2.4.4 Optimal last som funksjon av lysstyrke

Målingene i denne måleserien er utført på fire seriekoblede kvartceller (4 · 7,75 · 7,75 cm) limt på 3 mm papp og montert på en holder (se figur til høyre). Det er brukt ledende lim og 0,08 mm<sup>2</sup> kobbertråd for å koble sammen platene. Lysintensitetsmåleren som er brukt er av typen MacSolar fra Solarc<sup>4</sup>. Som lyskilde ble brukt en 300 W fotolampe.

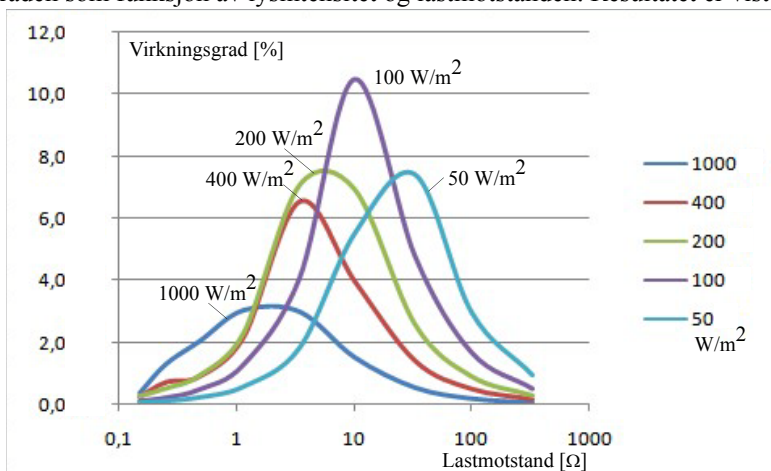


Det ble gjort målinger ved  $1000 \text{ W/m}^2$ ,  $400 \text{ W/m}^2$ ,  $200 \text{ W/m}^2$ ,  $100 \text{ W/m}^2$  og  $50 \text{ W/m}^2$ . Målingene ved  $1000 \text{ W/m}^2$  er usikre da svært små endringer i avstand ga betydelig endring i lysintensitet.



Figur 2.25 Levert effekt som funksjon av lastmotstand og lysintensitet.

Målingene viser at den optimale lasten varierer med lysintensiteten, fra drøyt  $1,5 \Omega$  ved  $1000 \text{ W/m}^2$  til  $30 \Omega$  ved  $50 \text{ W/m}^2$ . Selv om usikkerheten i måleverdiene er relativt store, så er tendensen tydelig. Med utgangspunkt i at arealet på solcellene er ca.  $0,024 \text{ m}^2$ , så kan vi beregne virkningsgraden som funksjon av lysintensitet og lastmotstanden. Resultatet er vist i figur 2.26.



Figur 2.26 Virkningsgrad i % som funksjon av lysintensitet og lastmotstand.

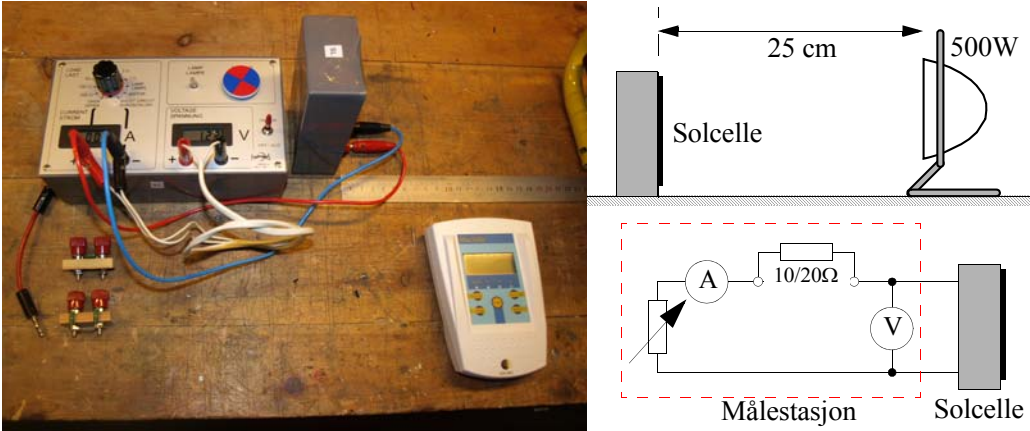
Vi ser at virkningsgraden øker når lysintensiteten faller til  $100 \text{ W/m}^2$ , hvor virkningsgraden er på over  $10 \%$ .

4. Lysintensitetsmåleren er levert av KPT Naturfag.



## 2.5 Karakterisering av Heliocentris solcellemodul

I dette avsnittet skal vi ganske kort gjengi måleresultatene fra målinger foretatt på en solcellemodul (5 seriekoblede celler a  $1,65 \cdot 5,1$  cm) levert av Heliocentris. Lyskilden er en bygglampe som leverer 500 W, plassert i en avstand på ca. 25 cm slik at lysintensiteten som faller på solcellene er ca.  $1000 \text{ W/m}^2$ . Strøm-spennings målingene utføres ved hjelp av Heliocentris målestasjon og lysintensiteten måles med MacSolar fra Solarc<sup>5</sup>.



Figur 2.27 Måleoppstilling, med målestasjon levert av Heliocentris.

To ekstra last motstander på  $10 \Omega$  og  $20 \Omega$  legges inn for å supplere med målinger på  $20 \Omega$  og  $30 \Omega$  (seriekoblet med den interne motstand på  $10 \Omega$ ).

Vi utfører følgende målinger:

- Tomgangsspenning,  $U_{oc}$ , og kortslutningsstrøm,  $I_{sc}$
- Strøm, spenning og effekt som funksjon av lastmotstand
- Framstilling av strøm-spenningsdiagrammet
- Framstilling av levert effekt som funksjon av lastmotstand
- Måling av maks. effekt ved optimal lastmotstand
- Beregning av fyllfaktor,  $FF$ , og virkningsgrad,  $\eta$

5. Lysintensitetsmåleren er leveret av KPT Naturfag.



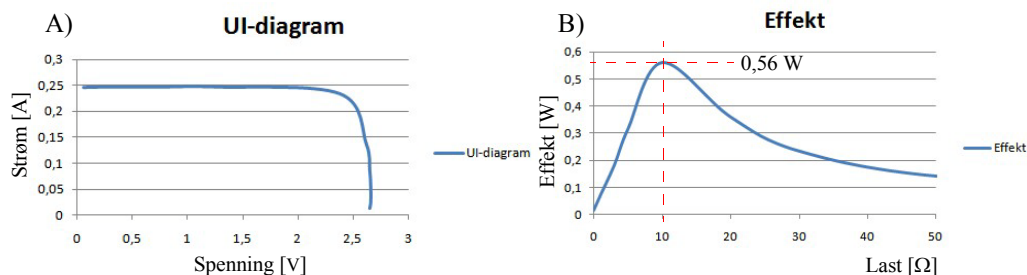
### 2.5.1 Måling av strøm-spenningsdiagrammet

Tabell 4 viser målte verdier av strøm og spenning for ulike verdier av lastmotstanden.

Tabell 4: Måling av strøm og spenning for ulike verdier av lastmotstanden (lysintensitet 1000 W/m<sup>2</sup>)

Lastmotstand	0 Ω	1 Ω	3 Ω	5 Ω	10 Ω	20 Ω	30 Ω	50 Ω	100 Ω	200 Ω	∞ Ω
Spenning [V]	0,06	0,29	0,73	1,27	2,38	2,62	2,65	2,65	2,66	2,66	2,65
Strøm [A]	0,247	0,248	0,248	0,248	0,235	0,137	0,088	0,053	0,026	0,013	0
Effekt [W]	0,014	0,072	0,181	0,315	0,559	0,359	0,233	0,141	0,069	0,034	0

Figur 2.28 viser strøm-spenningsdiagrammet (A) og levert effekt (B) som funksjon av lastmotstanden.



Figur 2.28 A) Strøm-spenningsdiagrammet, B) Levert effekt som funksjon av lastmotstand.

Den optimale lastmotstanden kan avleses av kurven til ca. 10 Ω. Ved denne resistansen leverer solcellen  $P(max) = 0,56 \text{ Watt}$ .

Kortslutningsstrømmen og tomgangsspenningen bestemmes til:

$$I_{sc} = 0,248 \text{ A}$$

$$U_{oc} = 2,65 \text{ V}$$

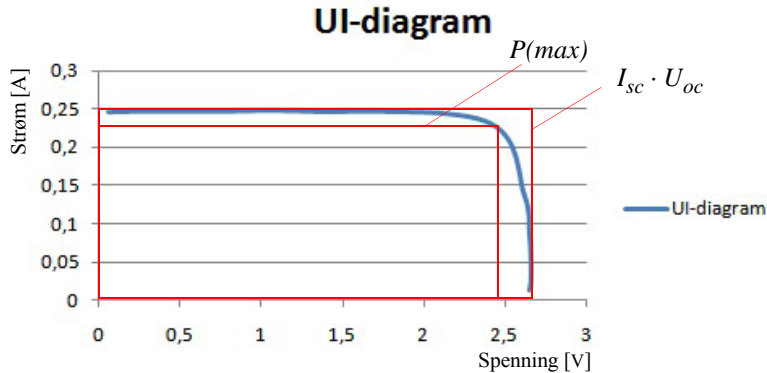
Fyllfaktoren, FF, er gitt ved:

$$FF = P(max)/(I_{sc} \cdot U_{oc}) = 0,85 \tag{2.18}$$



## Praktisk solcelleteknologi for skolen

Hvilket må sies å være meget tilfredsstillende. Fyllfaktoren framkommer som forholdet mellom de to arealene som vist på figur 2.29.



Figur 2.29 Fyllfaktoren uttrykt geometrisk.

Virkningsgraden kan lett beregnes når vi kjenner lysintensiteten ( $\Phi(\text{inn})$ ) i Watt/m<sup>2</sup> og arealet til solcellen ( $A_{\text{sol}}$ ).

$$\eta_{\text{sol}} = P(\text{max}) / [\Phi(\text{inn}) \cdot A_{\text{sol}}] \quad (2.19)$$

$$\eta_{\text{sol}} = 0,56 \text{ W} \cdot 100\% / (1000 \text{ W/m}^2 \cdot 0,0042 \text{ m}^2) = \underline{13,3 \%} \quad (2.20)$$

Hvilket også er meget tilfredsstillende.

### 2.6 Forslag til videre arbeid med solceller

1. Mål levert effekt som vinkel i forhold til lyskilden
  - a) <http://www.makeitsolar.com/science-fair-ideas/01-amount-light.htm>
2. Mål levert effekt som funksjon av frekvensen til lyset (fargen)
  - a) <http://www.makeitsolar.com/science-fair-ideas/03-wavelength-light.htm>
  - b) <http://www.usc.edu/CSSF/History/2004/Projects/S0715.pdf>
3. Undersøk hvor mange solcellearealer som skal til for å dekke behovet i en vanlig husstand, ev. hele Norges behov for elektrisk energi.
  - a) <http://home.howstuffworks.com/question418.htm>
4. Lag egne solceller fra grunnen av:
  - a) <http://www.solideas.com/solrcell/english.html>
  - b) <http://scitoys.com/scitoys/scitoys/echem/echem2.html>
  - c) <http://scitoys.com/scitoys/scitoys/echem/echem3.html>

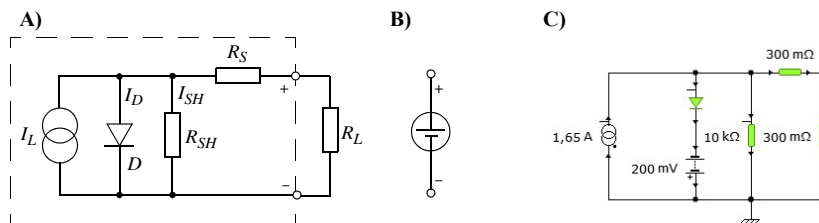


## 2.7 Simulering av en enkel solcelle

Simulering handler som oftes om å lage en matematisk modell av en elektronisk komponent eller krets som oppfører seg mest mulig likt den virkelige komponenten eller kretsen når den betraktes utenfra. I den simulatoren vi har tilgang til, Yenka, finnes ikke solceller som en standard komponent. Dermed må vi lage en solcelleekvivalent ved hjelp av andre standard komponenter slik at ekvivalenten oppfører seg mest mulig likt den virkelige solcellen.

Den vanligste solcelleekvivalenten er bygget opp som vist i figur 2.30 A. Figur 2.30 C viser simuleringsekvivalenten slik vi har realisert den i Yenka. Legg merke til at vi har satt inn et batteri i serie med dioden. Dette har vi gjort for at tomgangsspenningen til solcellen skal bli mest mulig lik den virkelige cellen.

At modellen til solcelle inneholder en strømgenerator, er ikke urimelig på bakgrunn av strøm-spenningsdiagrammet for en solcelle. Diagrammet viser at strømmen i lasten er omtrent konstant selv om lasten reduseres (resistansen øker). For at solcellestrømmen skal holdes konstant med økende resistans hos lasten, må spenningen på utgangen av solcella øke, hvilket den også gjør. Spenningen øker helt til solcella har nådd sin nominelle spenning, da faller strømmen drastisk. Et slik fall ved en gitt spenning, kan bare realiseres ved hjelp av en diode.



Figur 2.30 A) Solcelle ekvivalent B) Symbol for solcelle C) Simuleringsmodell med last, Yenka.

Ekvivalentkretsen består av følgende:

- $I_L$  Strømgenerator som hovedsakelig bestemmes av kortslutningsstrømmen. En strømgenerator er en strømkilde som leverer en konstant strøm.
- $D$  Dioden bestemmer nivået på tomgangsspenningen. For å kunne justere terskelspenning på dioden, kobler vi et batteri i serie med dioden. Dermed kan vi sette tomgangsspenning til ønsket verdi.
- $I_D$  Strømmen i dioden.
- $R_{SH}$  Shuntmotstand som bestemmer den ubelastede lekkasjestrømmen i solcelleekvivalenten. Denne er oftest svært liten og verdien til  $R_{SH}$  er tilsvarende høy. Vi har satt den til 10 k $\Omega$ .
- $R_S$  Seriemotstanden bestemmer verdien til optimal last. I en virkelig solcelle vil den også bestemme kortslutningsstrømmen. I ekvivalenten er det strømgeneratoren som hovedsakelig bestemmer kortslutningsstrømmen.
- $R_L$  Den eksterne lastmotstanden.



## Praktisk solcelleteknologi for skolen

Det er i hovedsak tre parametere vi skal bruke for å bestemme verdiene i modellen vår. Verdiene i parantes refererer til en enkeltcelle på  $15,5 \cdot 15,5$  cm:

- $U_T$  Tomgangsspenning (målt til  $0,54\text{V}$ )
- $I_K$  Kortslutningsstrøm ( $1,65\text{ A}$ )
- $R_{Lopt}$  Optimal lastmotstand ( $0,3\ \Omega$ ), dvs. den lastmotstanden som gjør at solcellen leverer mest effekt.

1. Tomgangsspenning,  $U_T$  ( $0,54\text{ V}$ )

La ekvivalnten være ubelastet (åpen) og juster verdien til spenningskilden i serie med dioden slik at tomgangsspenningen blir som ønsket på utgangen. Spenningskilden er montert slik at den reduserer knekkspenning til dioden.

2. Kortslutningsstrøm,  $I_K$  ( $1,650\text{ A}$ )

Kortslutt utgangen og sett strømgeneratoren til ønsket kortslutningsstrøm, ev. litt i overkant. Kontroller at strømmen gjennom kortslutning er i nærheten av ønsket verdi.

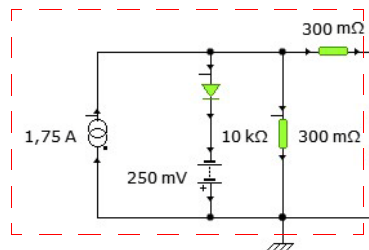
3. Optimal lastmotstand,  $R_{Lopt}$

Sett optimal lastmotstand lik seriemotstanden ( $0,3\ \Omega$ )

4. Shuntmotstand,  $R_{SH}$

Vi setter  $R_{SH} = 10\text{ k}\Omega$ . En kan ev. eksperimentere med andre verdier.

Vi ender da opp med følgende forslag til ekvivalentskjema (innrammet) for den enkle solcellen.



Figur 2.31 Ekvivalentskjema for en enkel solcelle ( $15,5 \cdot 15,5$  cm).

Kretsen i figur 2.31 gir følgende:

Tomgangsspenning  $U_K = 0,56\text{ V}$

Kortslutningsstrøm  $I_K = 1,64\text{ A}$

Optimal last  $R_{Lopt} \approx 0,3\ \Omega$

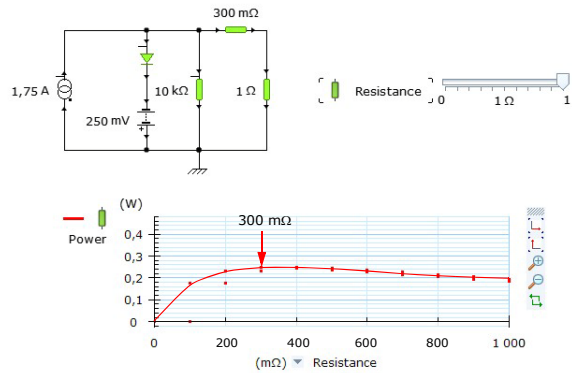
Levert effekt i optimal last  $P_{max} \approx 0,250\text{ W}$



Vi ser at levert effekt er noe lavere enn forventet, ellers stemmer resultatene godt for hva som ble funnet ved måling i avsnitt 2.4.1.

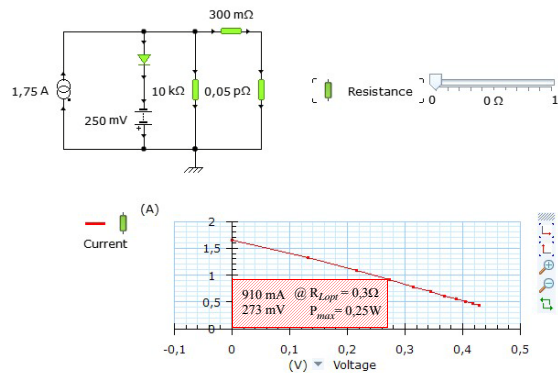
Optimal last,  $R_{Lopt}$ , finner vi ved å se hvordan levert effekt til lasten, avhenger av lastmotstanden,  $R_L$ .

Figur 2.32 viser at solcellen leverer maksimal effekt ved ca.  $R_{Lopt} = 0,3 \Omega$ .



Figur 2.32 Levert effekt som funksjon av lastmotstanden.

Ved å tegne strøm-spenningskarakteristikken til solcelleekvivalenten som funksjon av belastningsmotstanden, kan vi bestemme *fyllfaktoren*,  $FF$ . Ved den optimal belastningsmotstanden  $R_{Lopt} = 0,3 \Omega$ , leverer cellen en maksimal effekt  $P_{max} = 0,25 \text{ W}$ . I dette tilfellet går det en strøm på  $I_{pmax} = 0,910 \text{ A}$  og med en spenning på  $U_{pmax} = 0,273 \text{ V}$  over lasten (se figur 2.33).



Figur 2.33 Strøm-spenningsdiagrammet til solcelleekvivalenten.

Dette gir en fyllfaktor  $FF$  lik:

$$FF = \frac{I_{pmax} \cdot U_{pmax}}{I_K \cdot U_T} = \frac{0,91\text{A} \cdot 0,273\text{V}}{1,64\text{A} \cdot 0,56\text{V}} = 0,27 \quad (2.21)$$

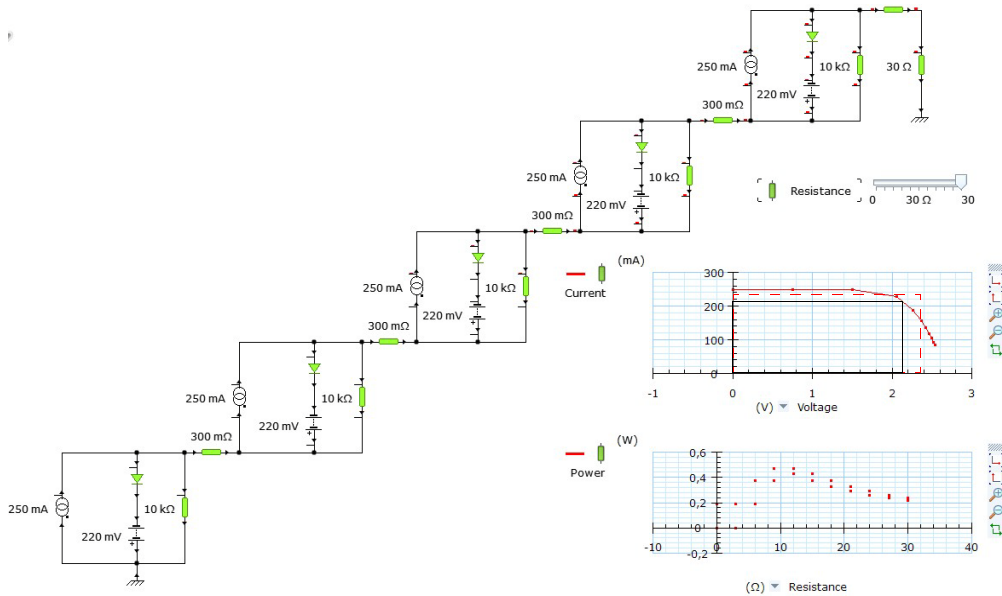
Som vi ser så har solcelleekvivalenten en dårlig fyllfaktor, hvilket betyr at det er vanskelig å utnytte solcella effektivt.





### 2.7.1 Simulering av seriekoblede av solceller

Ofta vil en gjøre målinger på en solcelle modul som er flere celler koblet i serie og/eller i parallell. Vi gjør tilsvarende i simulatoren.



Figur 2.34 Simulering av fem seriekoblede solcellelementer.

Valg av verdier er gjort på bakgrunn av målinger gjort på Heliocentris sine solceller, se avsnitt 2.5. Følgende målinger er gjort:

Kortslutningsstrøm:  $I_{sc} = 248 \text{ mA}$

Tomgangsspenning:  $U_{oc} = 2,65 \text{ V}$

Optimal last:  $R_{pmax} = 10 \text{ } \Omega$

Ut fra simuleringene stemmer dette rimelig godt. Vi ser imidlertid at fyllfaktoren blir vesentlig dårligere hos den simulerte versjonen. Det skyldes sannsynligvis at knekkpunktet for de valgte diodene ikke er bratt nok.

En kan gjøre strøm-spenningsdiagrammet mer "rektangulært" ved å redusere seriemotstanden. Dette vil imidlertid redusere verdien til optimal last.

Her er det rom for eksperimentering.

### 2.8 Prosjekter hvor bruk av solceller inngår

I de etterfølgende avsnittene skal vi se på ulike prosjekter. Noen av disse prosjektene er utført i klasserommet, mens andre er ideskitser eller utført av studenter ved NTNU.



### 2.8.1 Solcellesikke

I dette avsnittet skal vi vise hvordan vi kan bygge en roterende blomst ved hjelp av ett solcelleflak. Prosjektet egner seg godt for å få litt erfaring med å håndtere og lodde/lime solceller, men kan kreve en del forberedelse om det skal gjøres sammen med barn.

#### Utstyr:

- 1 solcelleflak montert på CD-plate
- 1 treplate 10,0 · 10,0 · 1,8 cm
- 1 sykkeleike
- 1 ark med blader og kronblader
- 2 · 7 cm tynn isolert ledning ( flertråd 0,08 mm<sup>2</sup>)  
Clas Ohlson
- 1 motor 1,5 V  
(Clas Ohlson, KPT naturfag eller Komet naturfag)
- 1 tykk dobbelsidig tape (Biltema)
- 1 el-sukkerbiter (Biltema)
- 25 cm ståltråd 0,8 mm eller tape (Biltema)



#### Verktøy

- 1 avbiter
- 1 kraftavbiter
- 1 loddebolt m/loddetinn
- 1 bormaskin m/2 mm bor
- 1 lite skrujern
- 1 rissenål

#### Lag trefoten og monter sykkeleika

1. Skjær ut ei treplate på 10,0 · 15,0 · 1,8 cm. Puss plata med sandpapir, ev. skråpuss kantene.
2. Finn midten av plata ved å trekke diagonalene.



## Praktisk solcelleteknologi for skolen

3. Bor et 2 mm hull fra oversiden. Hullet kan gjerne gå gjennom plata.

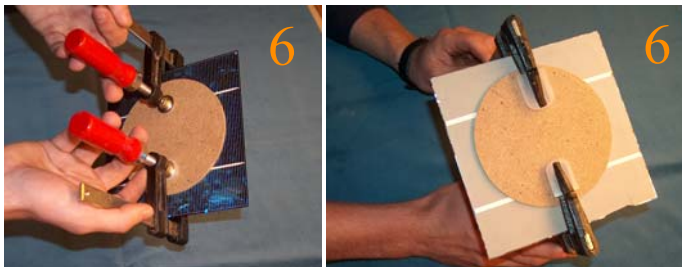


4. Ei sykkeleike har gjenger i den ene enden. Skru sykkeleika ned i plata fra oversida.
5. Kutt hodet av sykkeleike med en kraftavbiter.



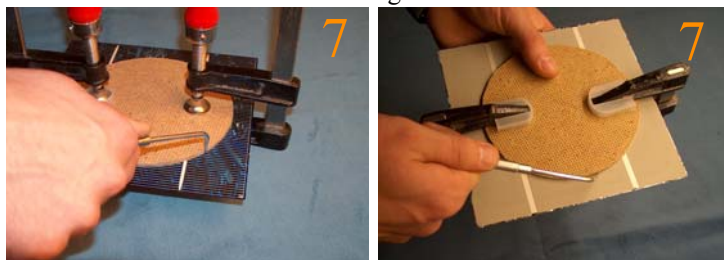
### Kutt til solcelleflaket

6. Legg to runde finérplater på størrelse med ei CD-plate, en på oversiden og en på undersiden av solcelleflaket. Press dem forsiktig sammen med to tvinger.





7. Bruk en skarp rissenål til å risse i solcelleflaket rundt skivene. Gjenta på over- og undersiden. Dette gjøres for at flaket lettere skal knekke langs kanten rundt skivene.

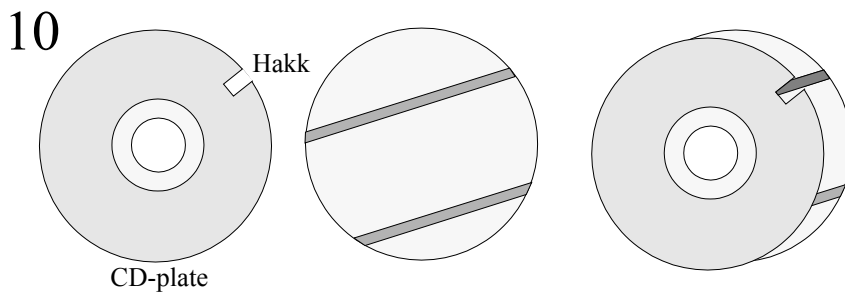


8. Knekk forsiktig langs kanten på de runde skivene. Det kan være lurt å presse skivene lett sammen på stedet der det knekkes, da unngår du at bruddet kryper inn mellom treplatene.
9. Når du løsner tvingene og tar bort platene, skal du ha en nesten rund solcelleskive. Det gjør ikke noe at den er litt hakkete i kanten..



### Monter solcella på CD-plata

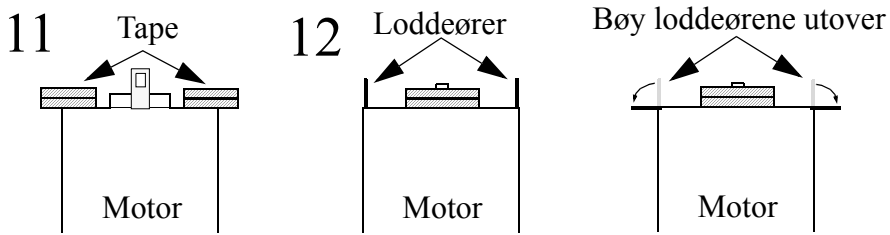
10. Klipp et hakk i CD-plata med en avbiter som vist på tegningen under. Dekk baksiden av solcella med lim og fest den godt til CD-plata slik at tilkoblingsstripene på undersiden av solcella treffer i hakket. Unngå at det kommer lim på tilkoblingsstripa der den er synlig gjennom hakket



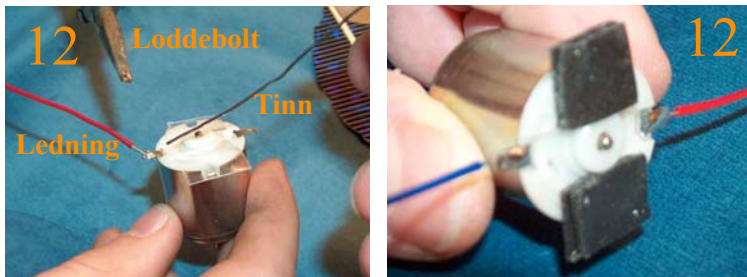


**Monter motoren**

11. Sett fire små biter av tykk dobbelsidig tape på undersiden av motoren. NB! To og to oppå hverandre for å få tilstrekkelig avstand til CD-plata.

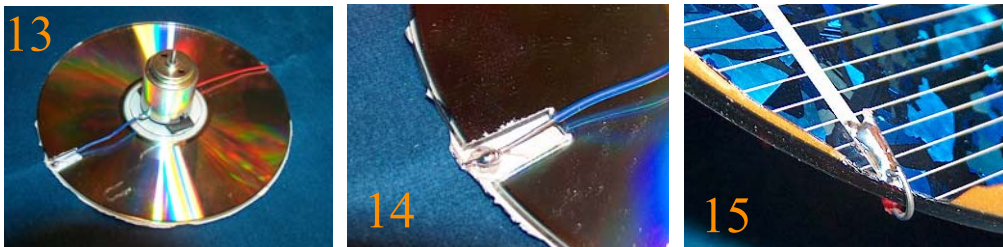


12. Bøy loddeørene på motoren ut til siden og lodd en tynn isolert ledninger til hver av loddeørene på motoren.



**Monter motoren til CD-plata og koble den til solcella**

13. Legg CD-plata med solcella ned mot bordet og fest motoren midt på undersiden av CD-plata. Det er viktig at motoren plasseres midt over hullet i CD-plata.
14. Lodd den ene ledningen fra motoren til metallet på undersiden av solcelleflaket der hakket på CD-plata er plassert. Det kan være vanskelig å lodde ledningen til stripa.
15. Snu solcelleflaket slik at oversida kommer opp. Lodd den andre ledningen til en av lodde-stripene på oversiden av solcella. For å få til dette må ledningen legges rundt kanten av solcelleflaket.



16. Skru ut skruene og ta ut skrukoblingen i en el-sukkerbit og skru den fast til motorakslingen.





17. Fest den andre enden av skrukoblingen til toppen av sykkelleika (“stilken”).



18. Klipp ut de gule kronbladene og de fire grønne bladene.

19. Fest de gule kronbladene med litt lim langs kanten av solcella.



20. Fest bladene til “stilken” med 8 cm ståltråd. Ståltråden festes til baksida av bladene med litt tape. Bladene kan også festes direkte til stilken med litt tape.



Blomsten er ferdig. Sett den i sola eller i lyset fra en kraftig lampe og den vil rotere.

Kopieringsmal for kronbladene og bladene finnes i vedlegg B.1.

### 2.8.2 Liten solcellebil

Det finnes en rekke firma som leverer byggesett for små biler med motor. Noen av disse kan også utstyres med solceller dersom man velger en passende laveffekts motor.

Et par av disse firmaene er:

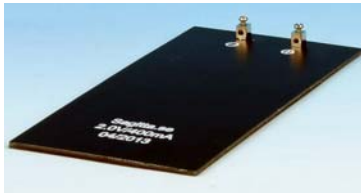
[www.skolesolceller.dk](http://www.skolesolceller.dk) – er et dansk firma som bl.a. leverer solcelleflak og annet tilbehør for kutting og montering av solceller. Her kan man kjøpe bilsett til DKR 50,- pr. bil i pakninger på 5 stk.



Også større pakninger finnes. Firmaet leverer også byggesett for mobiltelefonlading med hjemmelaget solcellepaneler.

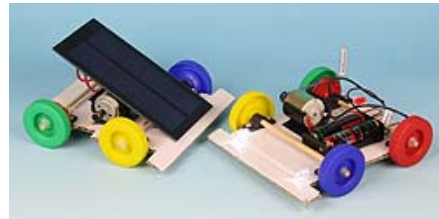
[www.sagitta.se](http://www.sagitta.se) – er et svensk læremiddelfirma som bl.a. selger pakker på 50 biler, solcellemotorer og små solcellepaneler (2 V, 400mA) i tillegg til en mengde annet læremateriell.

Under er beskrevet en bil bygget med deler fra Sagitta.



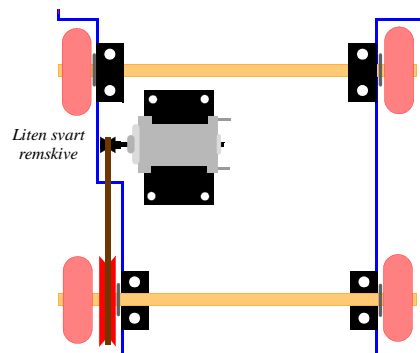
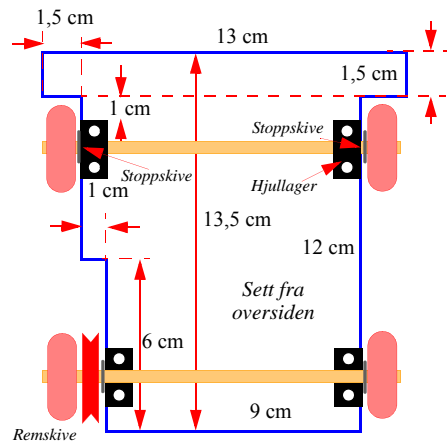
Baksiden av panelet er utstyrt med to koblingsklemmer

Bilbyggesett



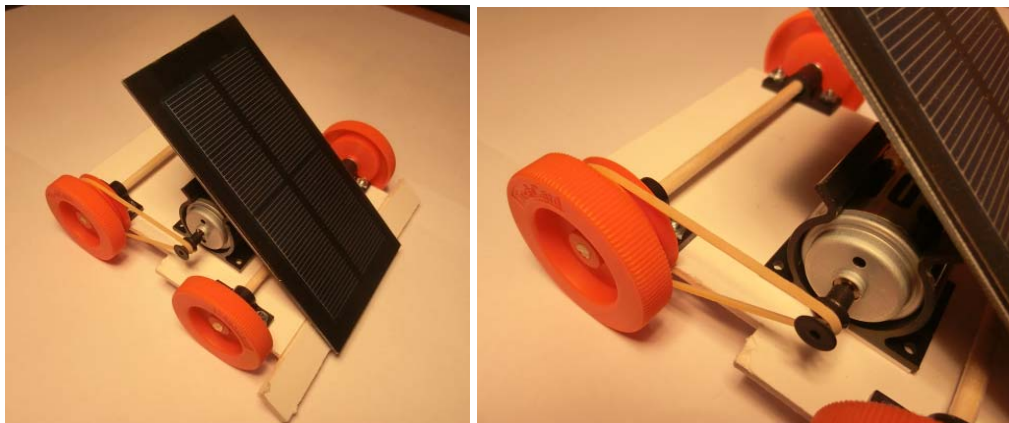
Slik kan en enkel bil bygges (beskrivelsen er hentet fra [www.sagitta.se/handledning/19651b](http://www.sagitta.se/handledning/19651b)):

1. Skjær til en papplade som vist på figuren til høyre. En 2 – 3 mm papplade er passende. Den øverste tverr-”bjelken” kan bøyes ned som en “spoiler”.
2. Monter de svarte hjullagrene helt inntil sidekanten, ca. 1 cm fra endekantene som vist på figuren til høyre. Stikk hull med en syl der lagrene skal festes med skruer. Lagrene kan monteres med 3 mm skruer med mutter.
3. Akslingen i tre kuttet i riktig lengde slik at hjulene har en mm klaring inn til papplaten. Plasser en stoppskive mellom hjulene og hjullageret. Hjulene kan festes med litt flytelim.
4. I tillegg til hjulene skal drivakselen ha en remskive. Drivhjulene og remskiven festes med litt flytelim. Husk stoppskiven inn mot hjullagrene.
5. Motoren plasseres i plastholderen som kan limes til bunnplata med doggelsidig tape. Den lille svarte remskiven presses inn på motorakslingen slik at den er ca. 1 mm fra motorhuset.





6. Lodd to ledninger til loddeørene på motoren og koble dem til solcellepanelet som monteres på skrå over motoren med dobbelsidig tape på motorholderen og “spoileren”. Som vist på bildene under.



Sagitta foreslår en rekke oppgaver i tilknytning til bilen. Disse oppgavene er kanskje enda mer aktuelle om bilen bygges med batteridrift:

- Beregn målestokken til bilen i forhold til en vanlig bil
- Mål hastigheten til bilen og regn ut hva hastigheten ville ha vært om bilen hadde størrelsen til en vanlig bil

### 2.8.3 Lang solcellebil

I dette avsnittet skal vi se hvordan vi kan lage en solcelle drevet modellbil. Vi velger å bygge opp bilen fra grunnen av ved hjelp av papp, tannhjul og en liten motor i tillegg til solceller.

#### Problemstilling

Bygg en solcelledrevet modellbil som kan tilbakelegge en strekning på 5 meter på kortest mulig tid, drevet av sollys eller kraftige bygglamper (500 W).

#### Innledende undersøkelser

Innledningsvis må følgende valg gjøres:

- Valg av motor
- Valg av effekt
- Valg av spenning
- Optimale dimensjoner for bilen





## Praktisk solcelleteknologi for skolen

### Noen innledende betraktninger

#### Valg av motor

Vi velger en billig motor fra KPTnaturfag eller Clas Ohlson. De minste av disse motorene er spesifisert for 1,5 V og 0,03 A og et omdreiningstall på 1000 O/min, som skulle gi et effektforbruk på ca. 45 mW. Hvilket skulle være godt innefor det en solcelle kan levere.

#### Valg av effekt

Étt solcelleflak (15,5 · 15,5 cm) kan under optimale forhold, levere ca. 1/2 W. Den utnyttbare effekten øker betraktelig når cellen deles opp i fire og seriekobles (ca. 1 W). Dette synes mer enn nok for å drive den valgte motoren.

#### Valg av spenning

Siden én celle leverer ca. 0,5 V er det nærliggende å velge og seriekoble fire celler. Vi velger derfor å dele opp en celle (15,5 · 15,5 cm) i fire like deler.

#### Valg av bilens størrelse

Dersom vi deler opp en enkelt celle i fire, vil hver del bli på ca 7,7 · 7,7 cm. Dersom cellene legges flatt etter hverandre vil vi ha behov for et areale på ca. 8 · 32 cm. I tillegg må vi ha plass til hjul, akslinger og motor. For at bilen ikke skal bli for stor, velger vi å skråstille cellene slik at de tar noe mindre plass, som lett medfører at de skygger for hverandre. På denne måten får vi en bil med en total lengde på ca. 30 cm og en bredde på 8 cm, men som kanskje ikke er optimal mht belysning av solcellene.

#### Materialer:

- 1 solcelleflak montert på 5 mm papplate oppdelt i fire stykker a 7,7 · 7,7 cm
- 1 papplate 30 · 10 · 0,15 cm
- 1 m tynn isolert ledning (flertråd 0,08 mm<sup>2</sup>) (Clas Ohlson)
- 1 motor 1,5 V (Clas Ohlson/KPT naturfag)
- 3 plasthjul (KPT naturfag)
- 1 tannhjul (30 tenner) (KPT naturfag)
- 1 tannhjul (10 tenner) (KPT naturfag)
- 20 cm blomsterpinne (dia. 4 mm)
- 1 sugerør (dia. 5 mm) (REMA1000)



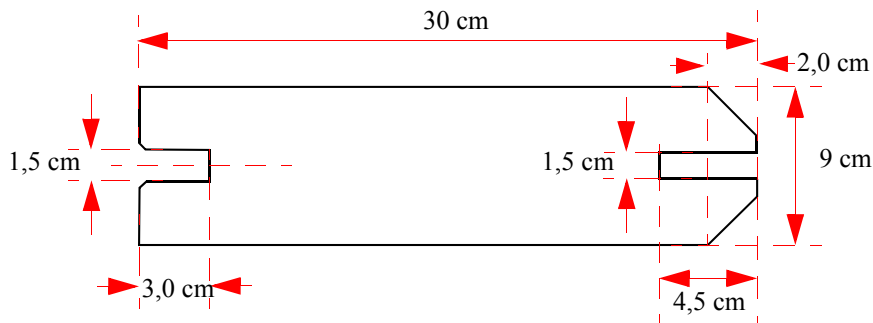
#### Verktøy

- Avbiter
- Loddebolt m/loddetinn
- Limpistol
- Linoleumskniv
- Sølvlim (alternativ til å lodde ledningene til solcelleflaket) (ELFA)

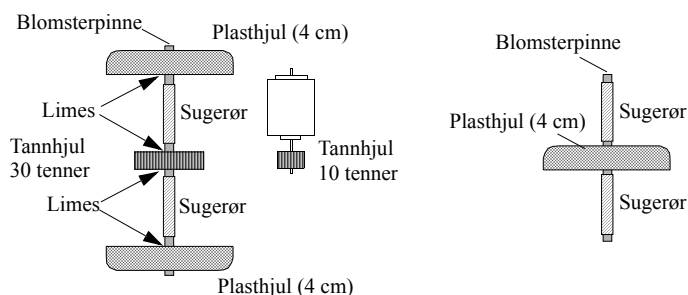


### Konstruksjon av bilen

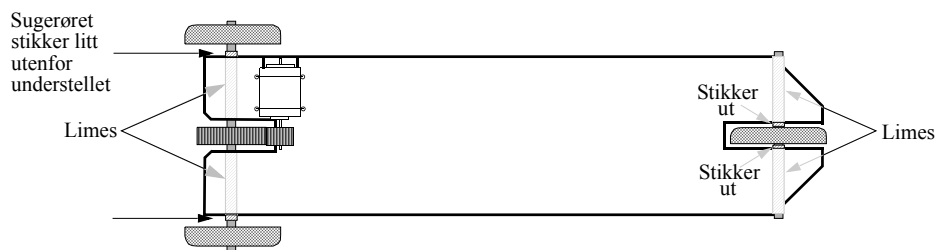
Skjær til understellet til ønsket størrelse og form. Figuren under viser et eksempel på et understell.



Derneft lages akslingene med hjul. Vi velger lette plasthjul med en diameter på 4 cm og en diameter på akslingen på ca. 4 mm. Vi bruker blomsterpinner som aksling og sugerør som lager. Det største av tannhjulene festes midt på bakakslingen som vist på figuren over til høyre. Tannhjul og drivhjulene på bakakslingen festes med smeltelim. Pass på å tre sugerørbittene inn på akslingen før hjulene limes fast.



Akslingene monteres på understellet ved å lime sugerørene til undersiden av papplata ved hjelp av smeltelim slik at hjulene kommer på rett plass. Dette er vist på figuren under.



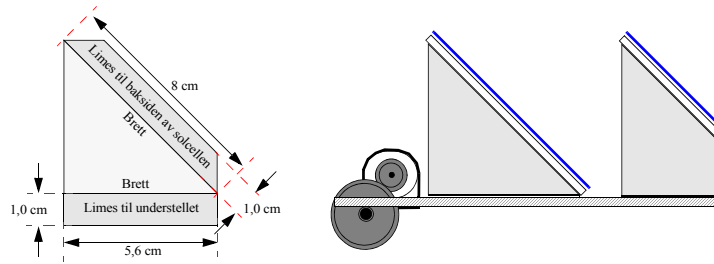
Legg spesielt merke til at sugerørene stikker litt ut over understellet for å hindre at hjulene berører papplata.

Motoren festes til understellet ved hjelp av metalltråd som går gjennom hull i plata. Tråden tvinnes på undersiden til motoren sitter fast. Plasseringen velges slik at tannhjulene griper passe inn i hverandre. Griper de for hardt inn i hverandre vil det gi økt friksjon i tannhjuloverføringen.

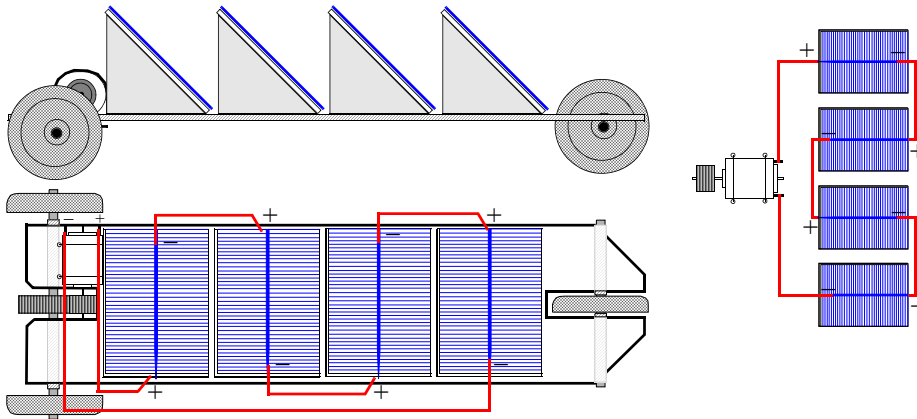


## Praktisk solcelleteknologi for skolen

Til slutt festes solcellene ved hjelp av pappknekt. Knektene kan lages på forskjellig vis. Figuren til høyre viser én måte å gjøre dette på. Til venstre sees en utbrettet knekt. Til høyre hvordan knekten er brettet og limt til solcellene.

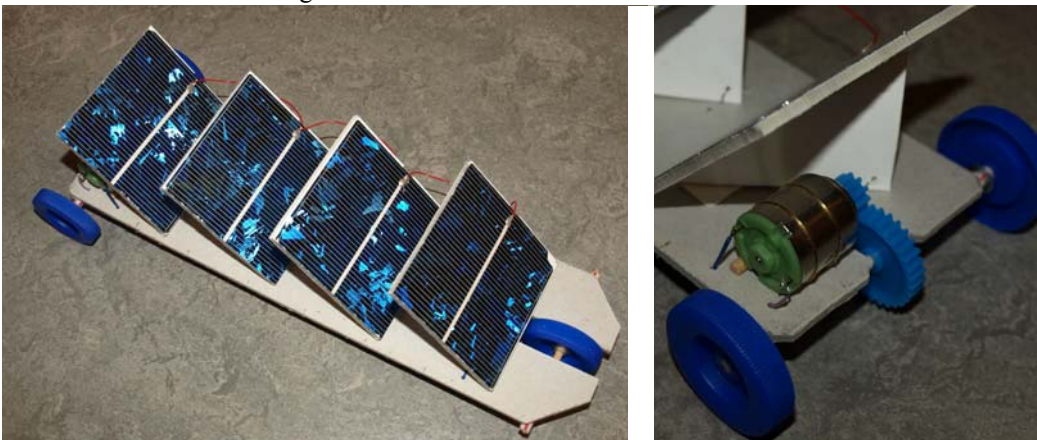


Sammensatt kan bilen se ut som vist på figuren under. Solcellepanelene er seriekoblet og deretter koblet til motoren.



Figuren over til høyre viser koblingsskjemaet. Det er viktig å huske at undersiden av solcelleflakene er den positive polen og stripene på oversiden, som skal belyses, er den negative polen.

Bildet under viser den ferdige bilen.





Det er viktig å understreke at dette er én av flere måter å gjøre dette på, og kanskje slett ikke den mest effektive for å møte utfordringen på den beste måten. Diskuter og eksperimenter slik at dere finner den optimale konstruksjonen.

### Utfordring

Lag bilen slik at den, en solskinsdag, tilbakelegger 5 meter i skolegården på kortest mulig tid . Som tilleggsbetingelse kan en kreve at bilen er lettest mulig. En kan også sette som krav at en kun får lov til å bruke ett solcelleflak (15,5 · 15,5 cm).

### 2.8.4 Retningsstyrt solcellebil

I dette avsnittet skal vi se hvordan vi kan videreføre bilen. Dette er ingen komplett beskrivelse, men mer en ideskisse. Deler til en slik farkost kan skaffes fra KPT naturfag og Komet Naturfag<sup>6</sup>.

#### Problemstilling:

Er det mulig å lage en solcelledrevet bil som vil bevege seg mot lyskilden? Dvs. inkludere et reguleringsystem som gjør at bilen hele tiden svinger inn mot lyskilden.

#### Arbeidshypotese (ide for utprøving):

En kan tenke seg følgende løsning. Det brukes to solceller, en som skrånstilles mot høyre, og en mot venstre. Den solcellen som peker mot høyre kobles til en motor som driver hjulene på venstre side, og den solcellen som peker mot venstre driver hjulene på høyre side. En skulle da tro at bilen ville bevege seg i bølgende bevegelse inn mot lyskilden.

#### Utfordringer:

- Hvordan bør den mekaniske løsningen for bilen være for optimal framdrift?
- Klarer et solcelleflak å drive motoren med tilstrekkelig kraft slik at bilen vil drives både framover og svinge?
- Hvilken utvekslingen bør velges mellom motoren og hjulene?
- Bør solcellene splittes opp og seriekobles for å øke spenningen på bekostning av strømmen?

---

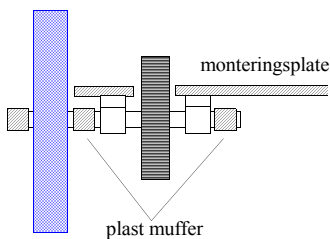
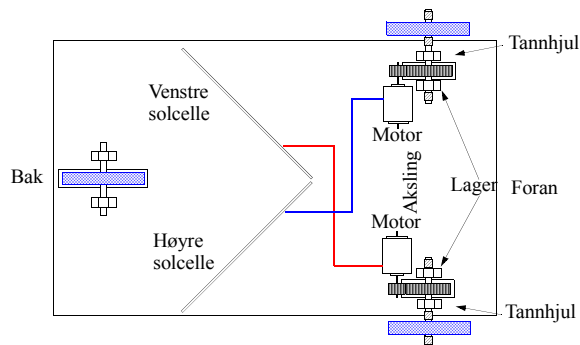
6. KPT naturfag: [http://kptnaturfag.no/shop/Grunnskole/Teknologi\\_og\\_design/Bygge\\_selv](http://kptnaturfag.no/shop/Grunnskole/Teknologi_og_design/Bygge_selv)  
Komet Naturfag: <http://www.kometnaturfag.no/>

## Ideutkast til løsning:

Skissen under viser hvordan en i prinsippet kan tenke seg å løse oppgaven.

Bildet viser bilen sett fra undersiden. Alle motorer, akslinger og tannhjul er plassert på undersiden av monteringsplata, mens de to solcellene er plassert vertikale på oversiden av bilen.

Bilen har to hjul foran, drevet av hver sin motor. Motorene er koblet til diagonalt motsatt solcelleflak.



Det er lagt inn en enkel utveksling (nedgiring) mellom motorene og drivakslingen. Vi legger også merke til at hver av forhjulene må ha egne akslinger siden de skal bevege seg uavhengig av hverandre. For at de store tannhjulene skal kunne bevege seg fritt er det tatt hull i monteringsplata. Små biter av plastrør (plastmuffer) er brukt for å stoppe sideveis bevegelse av hjul på akslingen (se figur til venstre).

Det er foreslått et enkelt bakhjul. Bakhjulet bør kanskje kunne svinge.

## Prototyping og innledende forsøk

Som vist på figuren under ble en prototyp av bilen forsøkt realisert omtrent som beskrevet over.

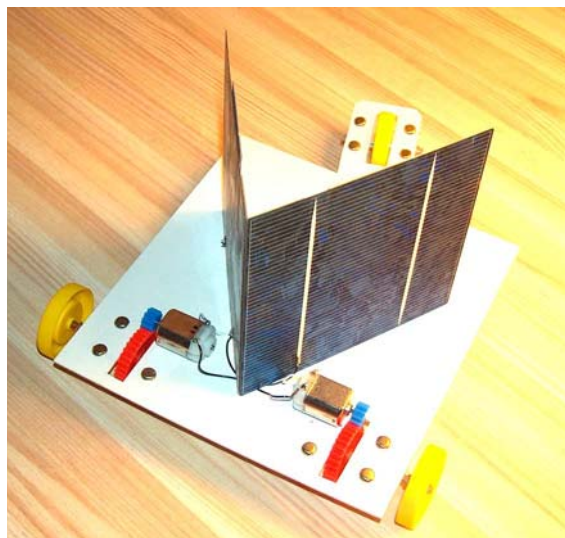
Som det fremgår av bildet ble det montert et svingbart bakhjul.

Videre er motorene plassert på oversiden og ikke undersiden som antydning innledningsvis.

## Drøfting av erfaringer med prototyp

Uttestingen av prototypen viset følgende:

- Motorene tilkoblet hver sitt enkle sol-sikkeflak hadde problemer med å drive motorene når farkosten var plassert på gulvet, belyst av sterkt solskinn.





- Dessuten syntes det som om farkosten beveget seg rett fram selv om den kun ble drevet av ett av hjulene.

### 2.8.5 Solfølger

Her skal vi utforske hva vi kan få til med solceller og eksperimentere med sammenkobling av to solcelleflak for å oppnå det vi ønsker.

#### Problemstilling:

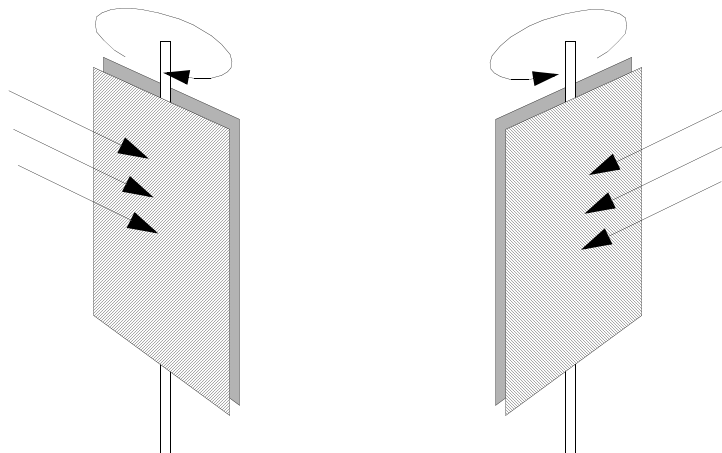
Vi ønsker å lage en innretning som følger sola. Dvs. at den skal dreie seg etter som sola eller lyskilden beveger seg.

#### Utfordring

Hvordan vil du løse denne oppgaven? Hvilke endringer er fornuftige får å komme videre i utformingen av en funksjonell bil?

#### Arbeidshypotese (ide for utprøving):

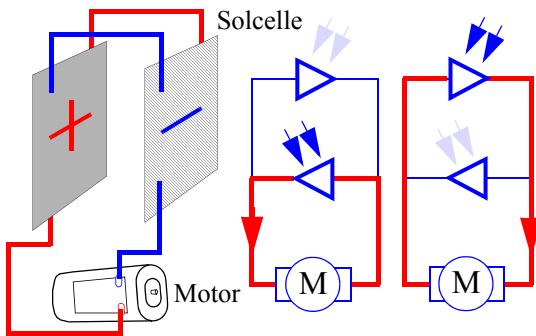
Vi kan tenke seg at to solceller er montert rygg mot rygg. På den måten vil den ene solcellen belyses, mens den andre ligger i skyggen. En motor kan dreie de to solcellene om en vertikal akse. Når den ene solcellen belyses, vil motoren dreie solcellene i den ene retningen. Belyses den andre solcellen, dreies solcellene i motsatt retning.



På denne måten vil de to solcellene alltid dreie seg slik at den ene endekanten står vendt mot sola.

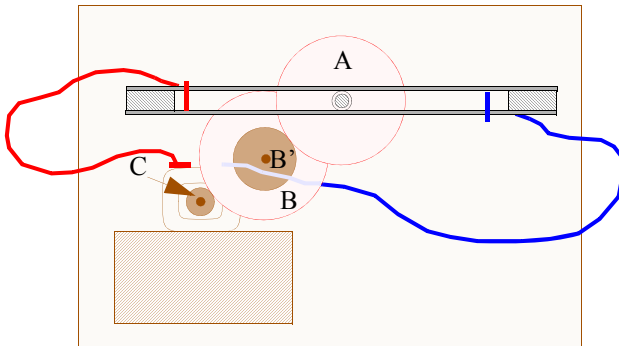


**Ideutkast til løsning:**



Først la oss se på den elektriske løsningen av oppgaven. Vi vet at solceller har en positiv og en negativ pol, omtrent som et batteri. Planet på baksiden er positivt, mens stripene på forsiden er negative. Vi vet også at solcellen virker som en diode. Dersom vi setter spenning på de to polene, vil det bare gå strøm gjennom solcella dersom vi kobler pluss til baksiden og minus forsiden.

I figuren til over venstre har vi tegnet hvordan strømmen i motoren skifter retning når belysningen skifter fra den ene til den andre solcellen.



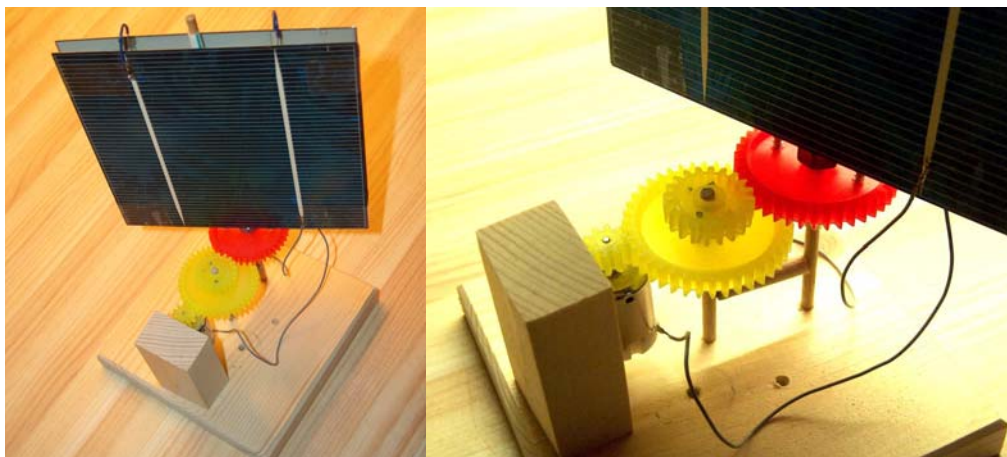
Figuren over viser hvordan vi ved hjelp av fire tannhjul har laget en utveksling fra motoren og bort til akslingen som dreier solcellene. Et sugerør er ført vertikalt mellom solcellene og festet til tannhjul A. A griper så inn i det koblede tannhjul B' som er koblet til det større tannhjul B, og som igjen griper inn i tannhullet C som er festet til motoren.

De to solcellene seriekobles som tidligere omtalt. Deretter kobles motoren til de seriekoblede solcellene. Her er det viktig at motoren kobles rett vei ellers vil solfølgeren virke akkurat motsatt av hva vi forventet. Det enkleste for å få dette rett er å prøve seg fram.

**Prototyping og innledende forsøk**

Solfølgeren ble bygget opp med solceller og plasttannhjul, samt blomsterpinner som aksling og sugerør som lager. Ellers ble det brukt treplater og klosser samt noe listverk for å sette sammen konstruksjonen. Plastmuffer ble brukt for å hindre hjulene i å gli langs akslingene.





### Drøfting av erfaringer med prototyp

Prototypen synes å fungere tilfredsstillende. Likevel kan følgende være en utfordring:

- Bevegelsen foregår rykkvis etter som sola beveger seg over himmelen. Dette skyldes at motoren har litt startfriksjon. Den må derfor over en spennings terskel for at den skal dreie seg. Når den så først er kommet i fart så stiller den seg perfekt inn etter sola. Utfordringen kan være å finne en mekanisk (ev. elektrisk) løsning som gir en jevnere bevegelse.

### 2.8.6 Solcellelader for mobiltelefon

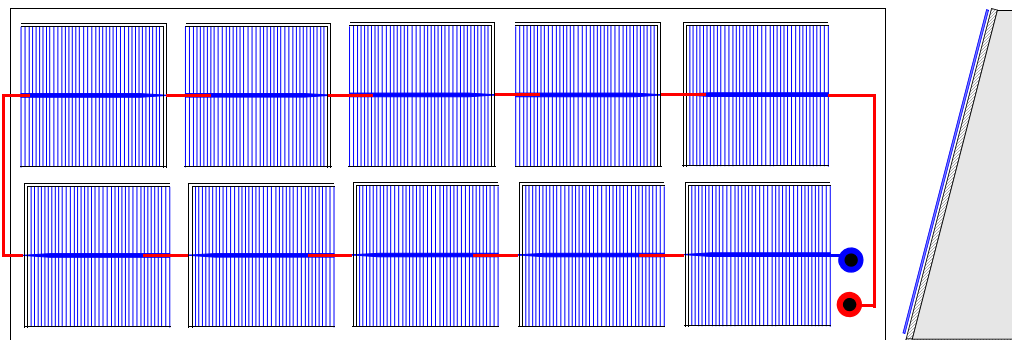
Ladere for mobiltelefoner leverer fra 3 - 5 V litt avhengig av type mobiltelefon. Ladestrømmen kan være noen 100 mA. Dersom vi måler tomgangsspenningen til en lader med et voltmeter, vil vi oppdage at spenningen kan være over dobbelt så høy som spenningen avmerket på laderen. Denne spenningen vil imidlertid falle til den angitte spenningen ved belastning. For at batteriene skal lades må ladespenningen være noe høyere enn batterispenningen. Billige ladere inneholder kun en likeretterbro og en termosikring som bryter strømmen ved varmgang.

Ledning med plugg kan hentes fra en kassert lader som det etterhvert finnes mange av.

Solceller burde derfor egne seg godt til en slik anvendelse. Den største ulempen er imidlertid at hver solcelle leverer relativt lav spenning. Vi er derfor nødt til å koble flere solceller i serie.

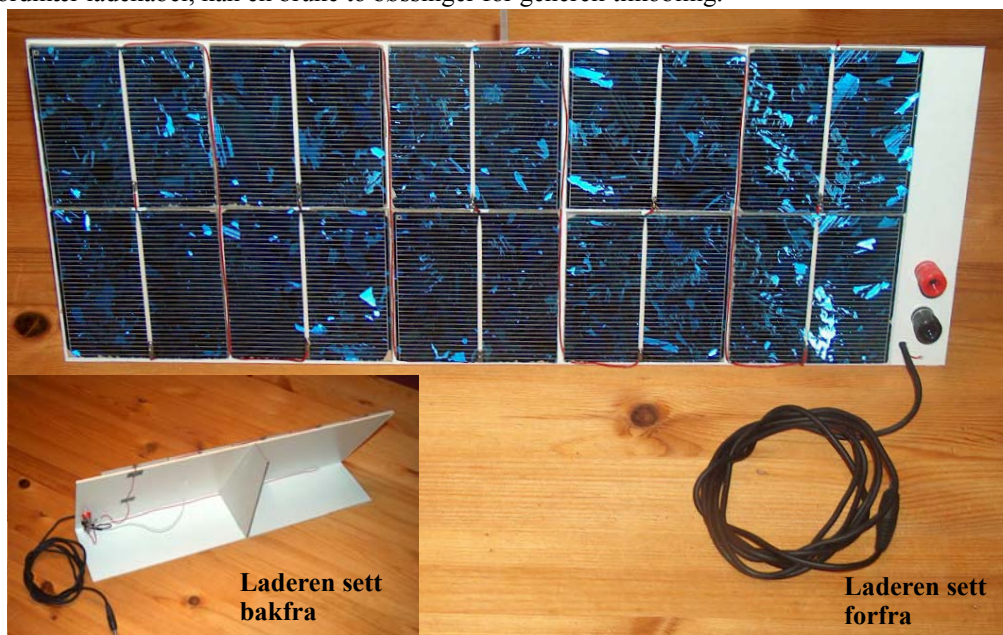
Vi velger derfor å seriekoble 10 solceller slik at vi får en tomgangsspenning på ca 5,5 V (se avsnitt 2.1.2). For at panelet ikke skal bli for stort, velger vi å dele hver celle i fire like store deler som beskrevet i avsnitt 2.2.1.





Figur 2.35 Solcellelader med 10 kvartceller.

Figuren under viser hvordan denne er realisert. I tillegg til at ladespenningen kan tas ut over en ordinær ladekabel, kan en bruke to bøssinger for generell tilkobling.



Figur 2.36 Den ferdige solcelleladeren sett forfra og bakfra (innfelt til venstre).

Om laderen trenger lavere spenning enn 5,5 Volt kobles det nødvendige antallet celler inn. En gammel NOKIA 3310 har en spesifisert ladespenning på 3,7 Volt. I godt solskinn lader denne med bare 7 av de 10 cellene innkoblet, dette er imidlertid noe marginalt. En kan godt gå opp til 8 celler.





En bør unngå å lade batteriet med en for høy spenning, da dette kan medføre ladestrømmer som er større enn det batteriet tåler om mobiltelefonen ikke inneholder strømbegrensning.

### 2.8.7 Solcellelader for en smarttelefon<sup>7</sup>

For dette prosjektet skal vi gjøre oss mer flid. Vi vil benytte laminerte solcellepaneler og beregne hvor mange og hvor store celler vi trenger. For å komme i gang trenger vi noen data om smarttelfonen og solcellene:



- Ladespenning 5 – 6 V
- Hver celle leverer ca. 0,56 V
- Minimum ladestrøm 500 mA
- Typisk soleffekt på en solrik da om sommeren 800 W/m<sup>2</sup>.
- Forventet effektivitet på solcellene lik 8 %
- Størrelsen på cellene kan være litt forskjellig men 15,5 x 15,5 cm er ikke uvanlig

#### Beregning av antall og størrelsen på cellene

Her er en mulig framgangsmåte for beregning av antall og størrelsen på solcellene

##### 1. Antall celler:

Siden spenningen skal være fra 5 – 6 V og hver celle kan levere en spenning på ca. 0,56 V så trenger vi **10 solceller**. Dette vil gi oss en tomgangsspenning på ca. 5,6 V når cellen belyses.

##### 2. Levert effekt:

Vi antar at spenningen senkes til 5 V ved en belastning på 500 mA. Dvs. at solcelle panelet leverer 2,5 W. Dette kan være noe optimistisk.

##### 3. Innstrålt effekt:

Dersom vi antar en virkningsgrad på 8 % betyr det at solcellene må belyses med en betydelig høyere totaleffekt.

$$\frac{2,5 \text{ W}}{x} = \frac{8 \%}{100 \%} \quad (2.22)$$

$$x = \frac{2,5 \text{ W} \cdot 100 \%}{8 \%} = 31,25 \text{ W} \quad (2.23)$$

Under disse forutsetningene kreves minimum 31,25 W innstrålt effekt fra sola. Dvs. den sol-effekten som treffer det tilgjengelige arealet av solcellene i panelet.

---

7. Ideen til prosjektet er hentet fra hjemmesiden til Janus Hendrichsen <http://www.skolesolceller.dk/> Her kan du også kjøpe solceller og utstyr for kapping av celler.



## Praktisk solcelleteknologi for skolen

### 4. Nødvendig totalt areal:

Vi antar at det bare skjelden vil være så sterk sol som  $800 \text{ W/m}^2$ . Her veler vi å benytte  $600 \text{ W/m}^2$ . Vi trenger  $31,25 \text{ W}$  og har  $600 \text{ W/m}^2$  tilgjengelig.

$$\frac{31,25 \text{ W}}{600 \text{ W}} = \frac{x}{1 \text{ m}^2} \quad (2.24)$$

$$x = \frac{31,25 \text{ W} \times 1 \text{ m}^2}{600 \text{ W}} = 0,052 \text{ m}^2 \quad (2.25)$$

Vi trenger derfor minimum  $520 \text{ cm}^2$ .

### 5. Størrelsen av hver celle

Dersom arealet på  $520 \text{ cm}^2$  fordeles likt på alle cellene, hvilket er fornuftig, vil hver celle måtte være ca.  $52 \text{ cm}^2$ . Siden hver standardcelle er på  $15,5 \times 15,5 \text{ cm}^2$  så vil vi dersom vi deler denne i 4 like store celler få ca.  $60 \text{ cm}^2$  på hver oppdelt celle bli ca.  $7,75 \times 7,75 \text{ cm}^2$  eller litt mindre siden noe forsvinner i sageprosessen.

### 6. Solcellepanelet

Et A4 ark har et areal på  $626,85 \text{ cm}^2$ . Dvs. at det kan bli meget trangt å laminere disse 10 cellene i et A4 laminatfolie. Dessuten kreves det noe mellomrom mellom cellene slik at koblingsbåndet kan legges mellom.

Vi ser at dersom vi skal få til dette så må vi benytte to lamineringsark.

*La oss angripe problemet litt annerledes.*

Dersom vi antar at hver standardcelle deles i 6 like store biter, hvor stor effekt kan vi da regne med å få ut av panelet under ellers like forhold som omtalt foran?

#### 1. Forventet areal:

Dersom vi deler en standardcelle i 6 like store deler, vil det totale arealet ( $A_T$ ) på solcellen bli:

$$A_T = 10 \cdot (15,5 \cdot 15,5 \text{ cm}^2)/6 = \underline{400 \text{ cm}^2} = \underline{0,04 \text{ m}^2} \quad (2.26)$$

Deler vi cellen på denne måten kan vi forvente et totalt areal på ca.  $400 \text{ cm}^2$  med 10 celler med en størrelse på  $7,75 \times 5,16 \text{ cm}^2 = \underline{40 \text{ cm}^2}$ .

#### 2. Lyseffekt som treffer panelet:

Med en total lysintensitet på  $600 \text{ W/m}^2$  vil vårt solcelleareal bli belyst med en effekt lik:

$$P_T = 600 \text{ W/m}^2 \cdot 0,04 \text{ m}^2 = 24 \text{ W} \quad (2.27)$$

#### 3. Forventet elektrisk effekt:

Med en virkningsgrad på 8 %, som er ganske optimistisk, kan vi forvente en elektrisk effekt levert til lasten på:



$$P_E = 24 \text{ W} \cdot 8 \% = \underline{1,92 \text{ W}} \quad (2.28)$$

Med en spenning på 5 V vil dette gi en strøm på:

$$I_E = 1,92 \text{ W} / 5 \text{ V} = \underline{384 \text{ mA}} \quad (2.29)$$

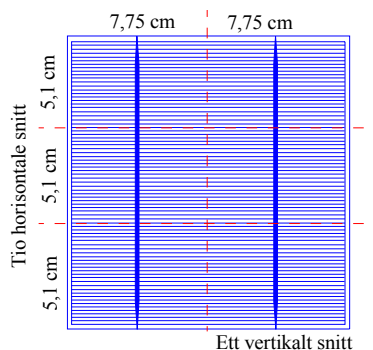
Hvilket sannsynligvis er meget optimistisk.

### Framstilling av solcelle panelet

Vi går da for en løsning med 10 celler á  $7,75 \cdot 5,16 \text{ cm}^2$ .

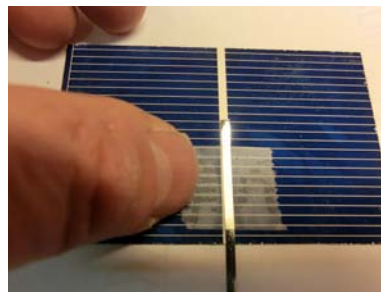
#### 1. Oppdeling av cellene:

Først deles hver standard celle på på midten mellom tilkoblingskinnene. Derneft deles hver av delene på tvers i tre like brede biter. Dette gjøres for to celler, da vil vi ha to ekstra celler.



#### 2. Monter koblingsbånd:

Bruk biter av ca. 8 cm koblingsbånd for hver av cellene. Legg båndet langs koblingsskinnen på oversiden av cellen som vist på figuren til høyre (la båndet gjerne gå enda lengre opp enn på bildet). Sett på en tape slik at båndet holdes på plass. Har man ledende lim kan en forsøke å smøre litt av dette mellom båndet og skinnen.

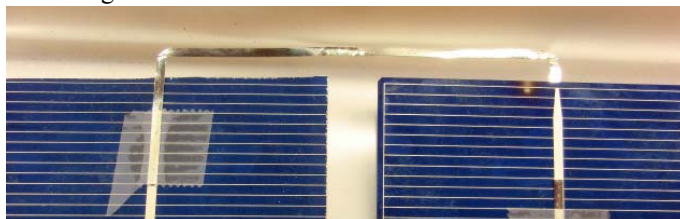


Gjenta dette på 9 av cellene. På den 10. monteres et 25 cm bånd. Dette skal forbinde de to rekkene av celler.

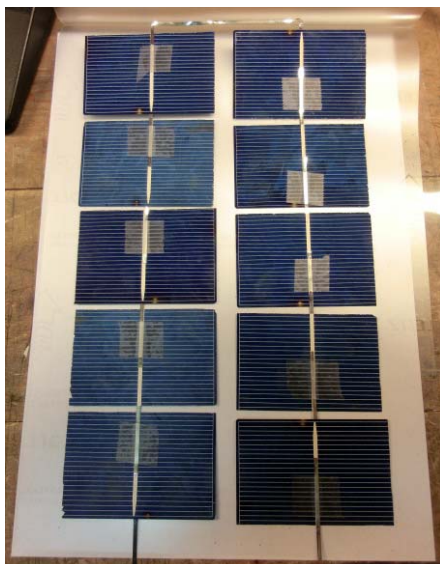


#### 3. Sammenkobling av cellene:

Legg cellene med baksiden opp med et mellomrom på 5 mm slik at koblingsbåndet fra oversiden på den ene cellen ligger langs koblingsskinnen på undersiden til den neste cellen som vist på figuren til venstre. Sett en tape på slik at båndet holdes på plass til lamineringen er utført.



Gjør dette for alle de 10 cellene slik at de ligger i to kolonner som vist på figuren under. De to kolonnene med solceller kobles sammen i toppen ved hjelp av et lengre koblingsbånd.



Figuren til venstre viser den ferdige oppkoblingen.

#### 4. Laminering:

Den komplette oppkoblingen skal nå passe inn i et A4 plastfolder for laminering (125  $\mu\text{m}$ ). Det hele kjøres inn i lamineringsmaskinen med sveise-kanten først. Pass på at koblingsbåndene på endecellene stikker ut nederst.



Bildet over til høyre viser laminering av solcellepanelet.

### Montering for lading av smarttelefon

Lading av smarttelefoner ved hjelp av solceller kan gjøres på ulike måter. For å få til dette, må vi forstå litt hvordan smarttelefonen oppfører seg ved lading<sup>8</sup>. Moderne smarttelefoner krever en ladestrøm på 500 mA eller helst 1000 mA. Dersom vi lader fra USB'en på en PC, kan ikke denne levere mer enn 500 mA. Dersom man forsøker å trekke mer enn det, vil en elektronisk sikring i USB-porten slå av strømmen slik at ingen lading finner sted.

Dersom vi studerer USB-kabelen som går fra smarttelefonen til laderen, vil man finne fire ledninger pluss en skjerm:

- Sort/skjerm - 0 V (jord)
- Rød - 5 V
- Hvit -D (data-)
- Grønn +D (data+)



---

8. Informasjonen er hentet fra: <http://learn.adafruit.com/minty-boost/icharging>



Med intelligent USB-utstyr skjer en “forhandling” mellom *USB tilbydere* og *USB brukere* (f.eks. en smart-telefonen). Dersom en kun ønsker å anvende USB'en som strømkilde, kan strømtrekket begrenses til hva kilden kan klare å levere. Dette skjer ved å sende to styresignaler på datalinjene D- og D+. Dette er tilfellet for vårt solcellepanel som kun klarer å levere 500 mA i strålende sol. Styresignalene er to spenninger som legges på henholdsvis -D og +D.

1. Dersom solcellepanelet **maksimalt kan levere 5 V ved 500 mA** settes:

- D- til ca. 2,0 V
- D+ til ca. 2,0 V

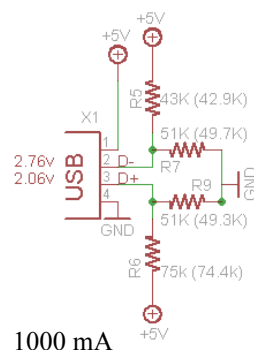
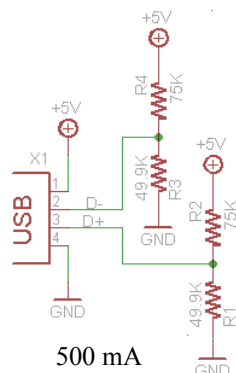
Dette kan lett gjøres ved å lage to spenningsdelere som vist i figuren over til høyre. Motstandsverdiene vist på skjemaet er  $R_1 = R_3 = 49,9 \text{ k}\Omega$  og  $R_2 = R_4 = 75 \text{ k}\Omega$ . Dette vil gi ca. 2,0 V på de to datalinjene og smarttelefonen trekker ikke mer enn 500 mA.

2. Dersom vi lager et dobbelt så stort solcellepanel som **kan levere 5 V ved 1000 mA**, kan vi “varsle telefonen om at den kan tillate seg å trekke mer strøm fra kilden. Vi setter da:

- -D til ca. 2,8 V
- +D til ca. 2,0 V

I dette tilfellet velges andre motstandsverdier:  $R_5 = 42,9 \text{ k}\Omega$ ,  $R_6 = 75 \text{ k}\Omega$  og  $R_7 = R_9 = 51 \text{ k}\Omega$ . Dette vil gi ca. 2,8 V på -D og ca. 2,0 V på +D, og smarttelefonen kan tillate seg å trekke 1000 mA.

3. Dersom vi ønsker å lade smarttelefonen i lett overskyet vær slik at vi ikke klarer å lever hverken 1000 eller 500 mA, kan vi benytte en mellomagringsenhet (PowerPack – batteri) som kan lade selv ved små strømmer. Denne kobles så senere opp til smarttelefonen slik at denne kan lades fra batteriet. Kan ev. kjøpes hos [www.skolesolceller.dk](http://www.skolesolceller.dk) eller DealXtreme [www.dx.com](http://www.dx.com).







Ved lading av batteriet fra solcellepanelet benyttes en standard USB skjøtekabel. klipp av hann-kontakten. Vi skal benytte hunn-kontakten til laderen. Fjern ca. 5 cm av plastkappen. Skjermen, den hvite og grønne ledningen kan klippes bort. Den røde ledningen kobles til koblingsbåndet som er festet til underside av en solcelle. Den sorte kobles til båndet festet til oversiden av solcellen i den andre enden av seriekoblingen. Bildet under viser detaljer fra oppkoblingen.



Batteripakken kobles til laderen ved hjelp av en en ledning med USB type A og mikro USB som vist på figuren over til venstre.

### Måling av kortslutningsstrøm

Det ble laget tre paneler seriekoblet av 10 x 1/6-celler. To paneler laget med 2. sorteringsceller fra REC, det ene med karbonbasert lim mellom koblingsbånd og terminalen på solcellene, det andre uten. Det tredje panelet ble framstilt med celler levert av [www.skolesolceller.dk](http://www.skolesolceller.dk). Tabellen under mål kortslutningstrøm for de tre alternativene

Panel 10 x 1/6-celler	Kortslutningsstrøm (Lyskilde 500 W)	
	Avstand 10 cm	Avstand 30 cm
REC - uten lim	445 mA	345 mA
REC - med lim	365 mA	325 mA
Skolesolceller.dk uten lim	610 mA	385 mA

Som vi ser av tabellen synes det ut fra målingene at det ikke gir noen gevint å smøre carbonbasert lim mellom koblingsbåndet og terminalen på solcella. Videre kan det se ut som solcellene levert fra Skolesolceller.dk har høyere virkningsgrad med sterk belysning.

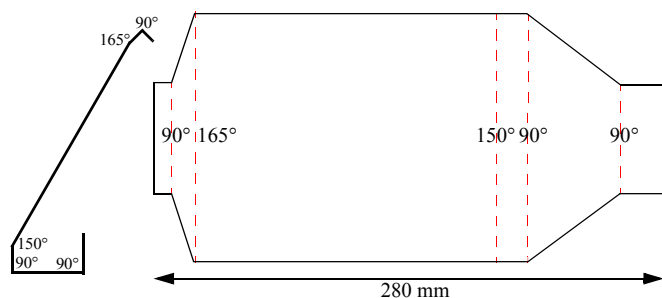
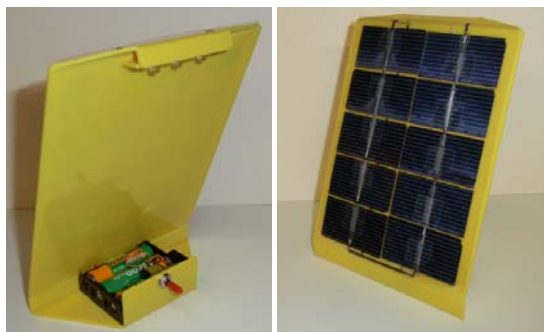


### 2.8.8 En liten solcelleladet LED-lampe

#### Spesifikasjon:

Vi ønsker å lage en liten LED-lampe drevet av ladbare batterier som kan lades av et lite solcellepanel. Solcellepanelet og batteriene skal være integrert i lampen.

- For å få skikkelig lys, velger vi å benytte tre hvite dioder som gir kraftig lys.
- Diodene parallellkobles slik at vi kan nøye oss med en batterispennning på 3,6 V, dvs. tre nikkel metallhydrid celler som hver gir 1,2 V.
- En ladestruking på ca. 5 V synes fornuftig, hvilket betyr at vi trenger 10 seriekoblede solcelleflak.
- Vi velger å tilpasse panelet til hva som er hensiktsmessig mht. størrelse og tar da den ladestrukingen vi får.



#### Utforming:

Selve lampen utformes av ett stykke plast som skjæres ut av en 2 mm plastplate (gul). Malen er vist på figuren over og er gjengitt i vedlegg B.2. Malen skal forstørres slik at den blir 28 cm lang. Plasten knekkes i samme retning alle steder ved hjelp av en plastknekker, f.eks. av en type som vist på figuren til høyre<sup>9</sup>. Stiplet linje betyr "dalknekk" med angitt innvendig vinkel som vist på figuren over. Den knekte profilen er vist til venstre på figuren over. Knekkvinklene er ikke kritiske.



#### Elektrisk:

Vi har benyttet tre lysdioder koblet i parallell. Disse er montert på en rektangulær plastbit (60 x 12 mm) som passer i holderen øverst på lampen. De to ledningene fra lysdiodene stikkes gjennom hull i bakveggen og bøyes ut til siden slik LED-panelet holdes fast.

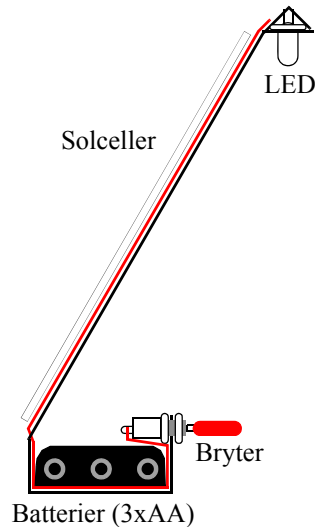
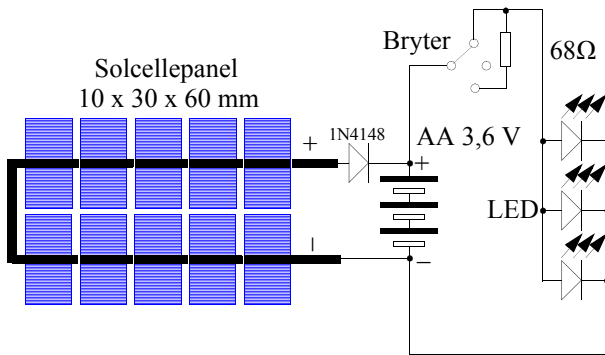
9. Leveres av Rolf Ingebrigtsen for kr. 1790,- + MVA, for mer info se: [www.tisco.no](http://www.tisco.no)  
Skolelaboratoriet ved NTNU, Nils Kr. Rossing Rev. 3.2 - 15.05.14





## Praktisk solcelleteknologi for skolen

Ledningene føres ned bak solcellepanelet, gjennom bakplata og fram under batteripakken som ligger i holderen foran. Batteripakken inneholder 3xAA batterier og gir 3,6 V. Figuren under viser koblingsskjema for lampen.

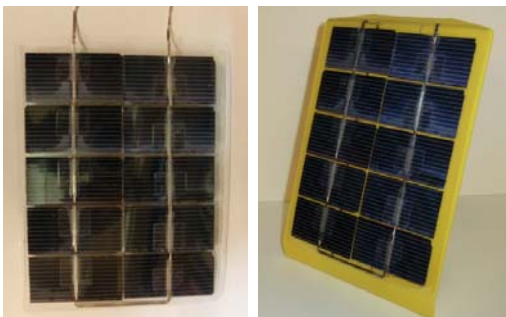


Vi har valgt å benytte en seriemotstand på  $68 \Omega$  som kan legges inn etter behov, dersom vi vil spare batteriene. Lyset blir da litt svakere. Bildet til høyre viser batteripakken med bryter.



Lysdiodene er av typen 334-15/T2C2-1SUB (ELFA 75-004-40) og skal gi en lysintensitet på ca. 5600 - 11000 mcd ved 20 mA. Maksimal kontinuerlig strøm er lik 25 mA og maks i korte tidsrom er lik 100 mA. En seriemotstand på  $68 \Omega$  gir en total strøm på ca. 53 mA fordelt på tre dioder, hvilket gir en strøm på ca. 17 mA i hver av diodene. Som vi ser så er dette godt innenfor maks. verdien på 25 mA. Vi ser også at det kan være ganske risikabelt å bruke diodene uten seriemotstand. En seriemotstand på  $47 \Omega$  gir omtrent maksimal strøm i hver av diodene på 25 mA. En diode (1N4148) i serie med solcellepanelet hindrer lekkasjestrøm i reversretningen gjennom solcellene.

### Solceller:



Som tidligere omtalt har vi valgt å benytte 10 stk. 30 x 60 mm solceller (som er skåret ut av solcelle flak på 155 x 155 mm). Disse seriekobles og lamineres i 0,125 mm lamineringsplasti en vanlig lamineringsmaskin.

Flakene monteres tett, uten å berøre hverandre, slik at de tar liten plass. Panelet kobles sammen med lysdioder og batteripakken som vist i koblingsskjemaet. Ledningene legges på

baksiden av panelet slik at de ikke blir synlige. Panelet kan monteres til plastplata med dobbel-sidig tape.



Den solcelleladete LED-lampa er dermed være ferdig.

### 2.8.9 Mendocino-motor

I februar 1991 fikk **Lerry Spring** (1914–) låne en liten solcelledrevet motor av **Doug Doe**.

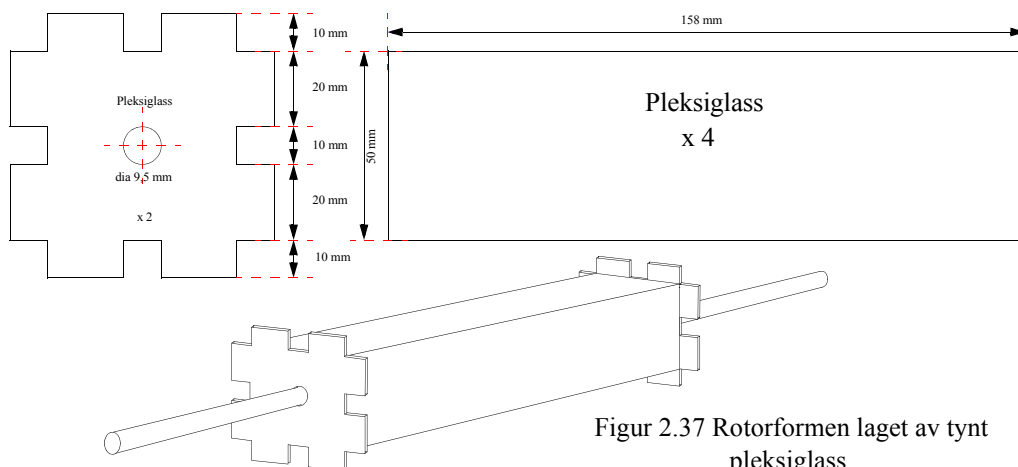
Lerry plasserte motoren i vinduet i laboratoriet sitt ved Mendocino-kysten i California. Noen måneder senere konstruerte Lerry sin egen meget spesielle solcellemotor. Som den tidligere versjonen var solcellene montert på rotoren, men istedet for at akslingen var lagret opp på vanlig måte, svevde denne i et magnetfelt bare støttet i den ene enden av en vertikal glassplate, senere kalt en Mendocino-motor.<sup>10</sup>

Siden den gang er det bygget en lang rekke varianter av Mendocino-motoren, og senest av en gruppe studenter i Eksperter i Team ved NTNU (se side 85). Motoren er bygget for bruk ved Vitensenteret i Trondheim hvor den vil inngå i en utstilling om fornybar energi.



Vi vil her gjengi ganske kort hvordan studentene bygget motoren. For en mer fyldig beskrivelse se deres produkt rapport [3].

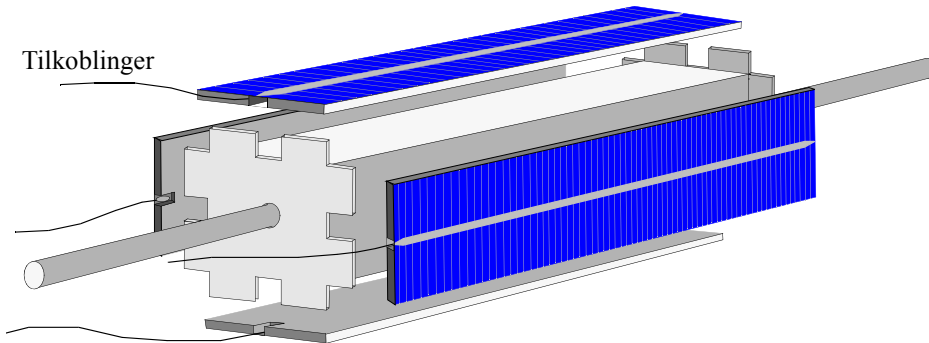
Rotoren har form som et kvadratisk rett prisme med dimensjoner 50 x 50 x 158 mm. Prismet er laget i 2 mm pleksiglass. Gjennom endestykkene går akslingen som er et tynnvegget aluminiumsrør (dia. 9,5 mm). Endestykkene har en flens som holder spolene (se figur 2.37).



10. Lerry Spring [http://www.larryspring.com/sub06\\_motors.html](http://www.larryspring.com/sub06_motors.html)

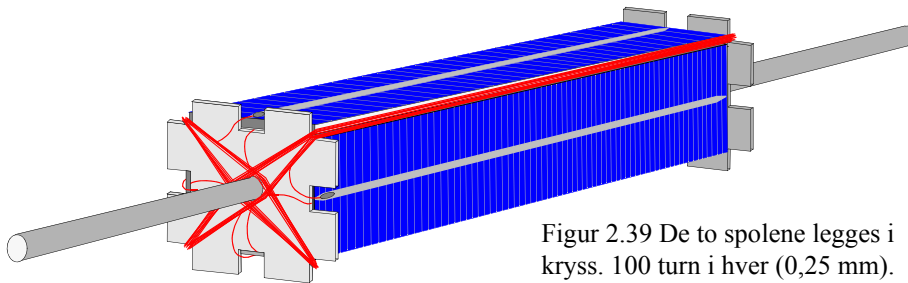


Solcelleflakene limes på 5 mm papp og skjæres i bredder på 50 mm. Hvert flak har en lengde på 155 mm. Det skjæres åpninger i pappen slik at det er mulig å koble seg til undersiden av solcellene. Ledninger loddes til koblingsskinnene på undersiden av cellene før de limes, en på hver av rotorens sider som vist på figur 2.38.



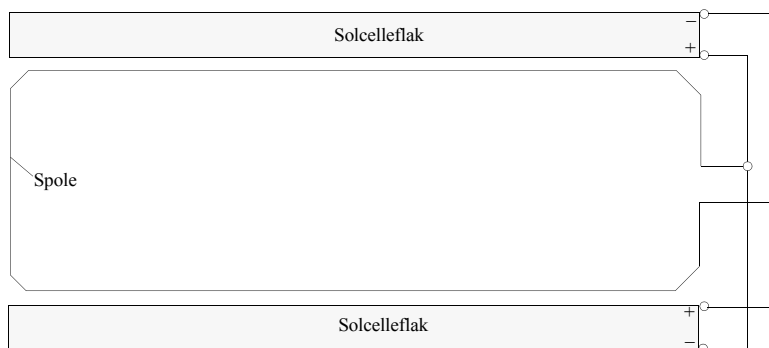
Figur 2.38 Solcellene limes på pleksiglassformen.

Etter at solcellene er montert, vikles to spoler i kryss, diagonalt over endeflatene som vist på figur 2.39. Hver spole har 100 viklinger, og vikles med 0,25 mm lakkisolert kobbertråd.



Figur 2.39 De to spolene legges i kryss. 100 turn i hver (0,25 mm).

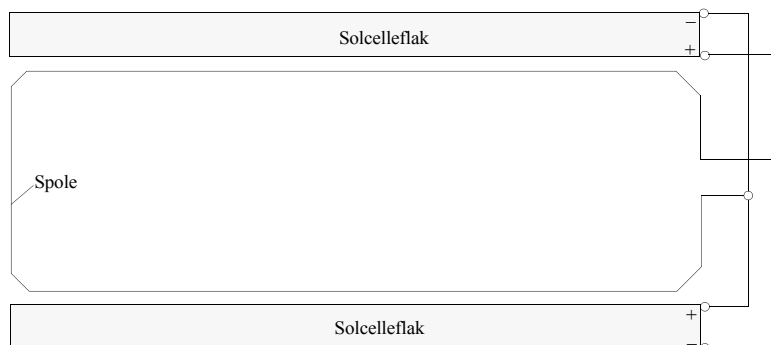
Spolene kobles opp i antiparallell som vist i figur 2.40.



Figur 2.40 To og to motstående solceller kobles i antiparallell til en av spolene.

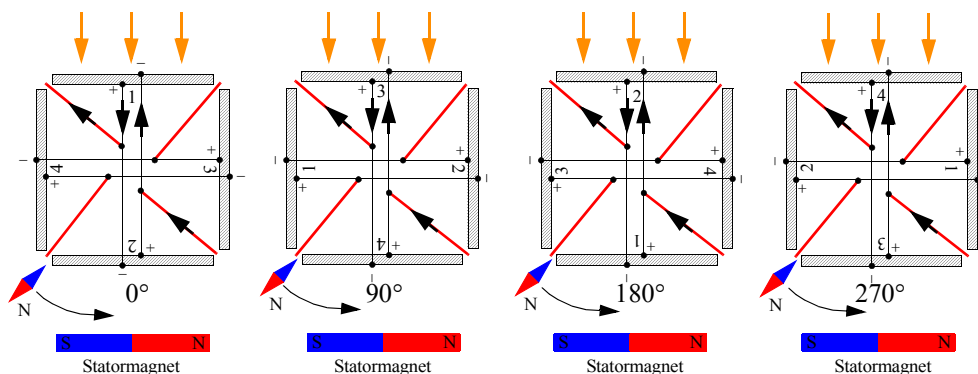


Figur 2.41 viser rotoren dreid en halv omdreining slik at de to andre solcelleflakene med tilhørende spole framkommer



Figur 2.41 Den andre spolen forbindes med to av solcellene på tilsvarende måte som den første spolen, bare at polariteten er bytte om.

Når den ene solcellen belyses så vil strømmen gå i en retning. Dreies rotoren en halv omdreining slik at solcellen på motsatt side belyses, vil strømmen gå i motsatt retning gjennom den samme spolen, siden cellen er koblet motsatt av cellen på den andre siden. I forhold til statorens magneter, vil dette gi motoren et puff i samme retning siden motoen er rotert en halv omdreining. Det andre solcelleparet som står vinkelrett på det første, er koblet på tilsvarende måte slik at også det gir rotoren et puff i samme retning.



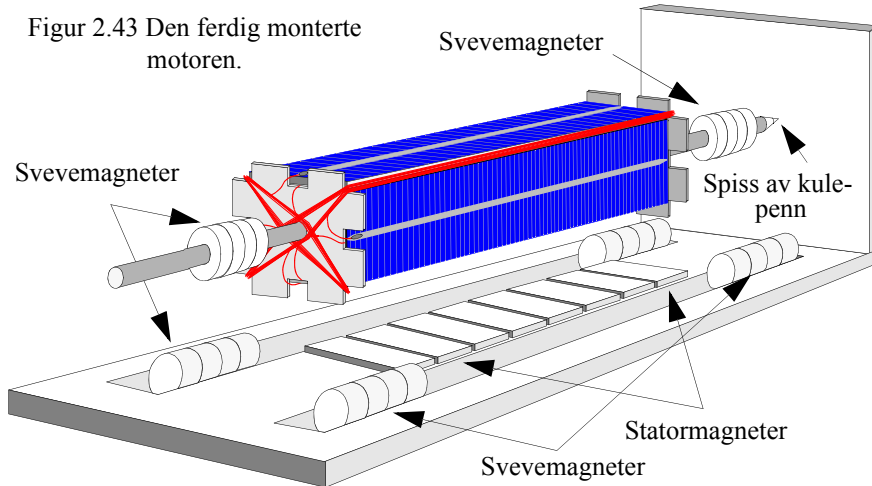
Figur 2.42 Viser koblingen av de to spolene til solcellene. Solcellene har plusspol på undersiden og minuspol på oversiden der lyset faller inn.

Figur 2.42 viser rotoren sett fra enden i fire stillinger,  $90^\circ$  dreid i forhold til hverandre. Lyset kommer hele tiden inn fra toppen. Spolene er tegnet diagonalt og går langs sidekantene til rotoren og tilbake på andre siden. Vi legger merke til at strømretningen i spolene er konstant i forhold til statormagneten. Dvs. at rotoren dreies i samme retning hele tiden, som er det vi ønsker. Motoren har ingen kommutator, men den stadig skiftende posisjonen til solcellene vil virke på samme måte.



## Praktisk solcelleteknologi for skolen

Akslingen forskyves med åtte sirkulære neodymmagneter med hull, fire på hver side som vist på figur 2.43. Disse er kun for å holde rotoren svevende. For å redusere friksjonen mot endeplaten, benyttes spissen av en kulepenn som tilpasses og stikkes inn i aluminiumsrøret.

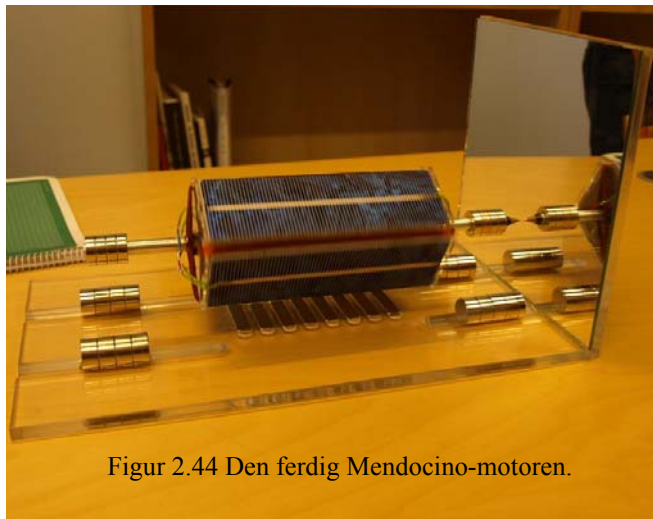


Statoren skal holde svevemagnetene og statormagnetene. Studentene benyttet 16 sylindreformede svevemagneter fordelt med åtte foran, fire på hver side, og åtte bak som vist på figur 2.43. Svevemagnetene er limt fast nede i halvsirkelformede spor som er frest ut i en tykk pleksiglassplate. I enden er det plassert et vertikalt pleksiglasspeil som den spisse enden av rotoren hviler mot.

Midt under rotoren monteres åtte rektangulære neodymmagneter som limes fast til pleksiglassplata. Disse er statormagnetene som sørger for å gi rotoren et moment i dreieretningen når det går strøm i spolene.

Magnetene på akslingen skyves inn og ut til rotoren svever stabilt i lufta over statoren.

Du vil oppdage at når du plasserer rotoren over statoren i et rom med dempetbelysning, vil den sannsynligvis dreie seg litt før den stabiliserer seg i én stilling. Det kommer av at vekten av rotoren ikke er helt symmetrisk fordelt (ikke balansert). Dette kan en rette på ved å lime fast biter av tykk kobbertråd på motsatt side, gjerne langs sidekantene der spolene ligger.



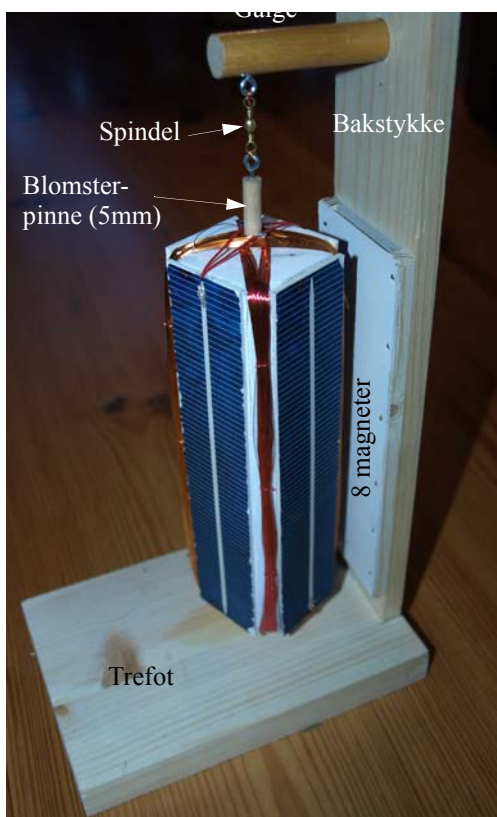
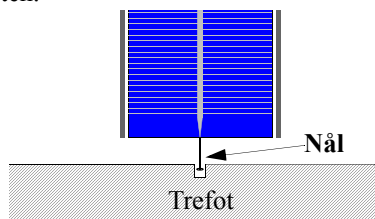
Figur 2.44 Den ferdig Mendocino-motoren.



Motoren startes ved å belyse rotoren på skrå ovenfra. Rotasjonsretningen bestemmes av fra hvilken siden rotoren belyses. Vær forsiktig i begynnelsen slik at den ikke går for fort. Dersom den får sleng på grunn av at rotoren ikke er helt balansert, kan den hoppe ut av magnetfeltet og havne ved siden av statoren og bli skadet.

### 2.8.10 Vertikal solcellemotor

En enkle variant av mendocinomotoren er vist på figuren til høyre. Rotoren som er bygget opp på samme måte som omtalt i avsnittet foran, henger i en spindel som i gjen er festet i en galge. Galgen er festet til et bakstykke av tre. 8 flate neodymmagneter er festet til bakveggen bak en papplate. Det hele er montert på en trefot. En knappenål er festet på undersiden av rotoren. Nålen er sentrert og stikker ned i ett 1,5 mm hull i trefoten.



Rotoren belyses med en lampe. 60W er tilstrekkelig.

På hver side er det montert en 155 · 32 mm solcelle. Disse er montert på et prisme med et tverrsnitt på 42 · 42 mm og en lengde lik lengden av solcellene. Hver av spolene, som er viklet diagonalt har 100 vindinger, viklet med 0,25 mm lakk isolert kobbertråd. En blomsterpinne på 5 mm fungerer som gjennomgående aksling. Nåla på undersiden er festet i midtpunktet av akslingen.

### 2.8.11 Laserkommunikasjon m/solcelledetektor

I de seneste 30–40 årene, har en i stadig større grad tatt i bruk optiske fibere til kommunikasjon, etter at laserteknologien og lavtaps fiber er kommet på markedet til akseptable priser. Vi skal i dette avsnittet beskrive hvordan en kan lage en meget billig kommunikasjonslink ved hjelp av en laserpeker som sender og en solcellebit som mottaker<sup>11</sup>.

11. Ideen til dette prosjektet er i sin helhet hentet fra

[http://sci-toys.com/scitoys/scitoys/light/light.html#laser\\_communicator](http://sci-toys.com/scitoys/scitoys/light/light.html#laser_communicator)

Skolelaboratoriet ved NTNU, Nils Kr. Rossing Rev. 3.2 - 15.05.14

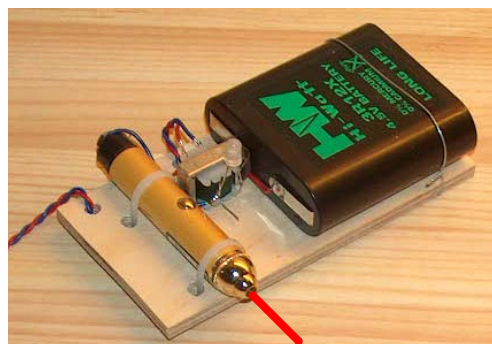
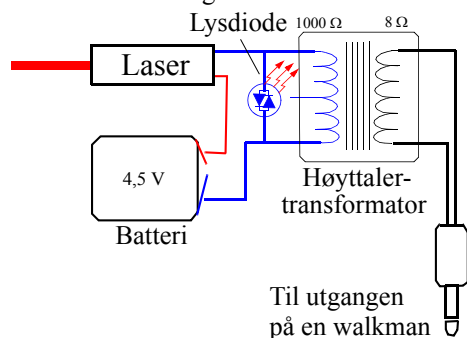


## Praktisk solcelleteknologi for skolen

Dette lille prosjektet består av en liten modulator som gjør at lysstyrken varierer i takt med lyd-signalene som skal overføres, og en mottaker som bruker en solcellebit koblet til en ørepropp eller en forsterker.

### Senderen:

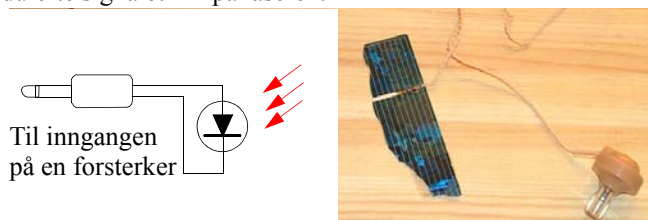
Batteriene fjernes i laseren. Det lages en tilkoblingsplugg som kan nå inn til batterikontakten innerst i batteriholderen til laseren. Isteden for det interne batteriet, brukes et eksternt 4,5 V batteri. Dette kobles i serie med den høyohmige spolen på en høyttalertransformator. Den lavohmige siden (8 W) kobles til utgangen av en walkman eller en mikrofor-forsterker. En dobbel lysdiode kobles over utgangen av transformatoren. Denne skal beskytte laseren slik at den ikke utsettes for spenningspulser. Dette er svært viktig, droppes lysdiodene kan en med stor sikkerhet regne med at laseren blir ødelagt.



Figur 2.45 Senderen.

### Mottakeren:

Mottakeren er svært enkel. Den består av en ørepropp koblet til en solcellebit. Når solcellebiten belyses med den modulerte laserstrålen, vil det oppstå en spenning over øreproppen som varierer i takt med det modulerte signalet inn på laseren.



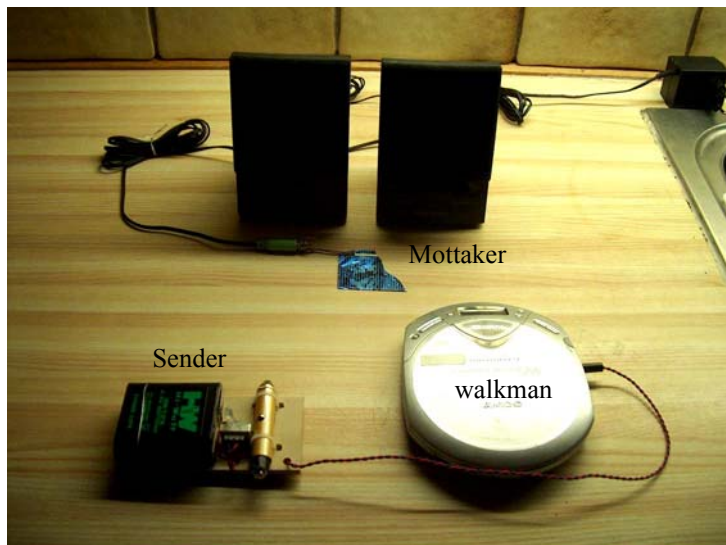
Figur 2.46 Mottakeren.

Da jeg hadde problemer med å få lyd i øreproppen koblet jeg en PC-forsterker til solcella. Heller ikke dette ga noen kraftig lyd, men det var ikke vanskelig å høre det modulerte signalet. Avstanden fra sender til mottaker var da på flere meter.





Det er forøvrig viktig at mottakeren *ikke* plasseres i nærheten av lysstoffrør. Disse blinker i takt med nettfrekvensen og gir kraftig brom i mottakeren<sup>12</sup>.



Figur 2.47 Optisk sender og mottaker.

## 2.9 Oversikt over elev-, student- og lærerprosjekter i perioden 2006 - 2009

I løpet av en fireårsperiode er det gjennomført en rekke større og mindre prosjekter med solceller. Fra 4. trinn og til studenter ved NTNU. Dette avsnittet gir en kortfattet oppsummering av noen av de prosjektene som er gjennomført.

### 2.9.1 Elevprosjekter grunnskole

1. Bygging av solcelleblomst ved barneklubben (9 - 12 år) Teknikurs høsten 2005
2. Bygging av solcelleblomst ved barneklubben (9 - 12 år) Teknikurs våren 2006
3. Sunnland ungdomsskole bygde solcellesikke med en elevgruppe (9. trinn) des. 2006. Elevene målte og beregnet solcellenes virkningsgrad.

---

12. Alt utstyr kan kjøpes fra:

<https://www.scitoyscatalog.com/Merchant2/>

[merchant.mvc?Screen=CTGY&Store\\_Code=SC&Category\\_Code=L](https://www.scitoyscatalog.com/Merchant2/merchant.mvc?Screen=CTGY&Store_Code=SC&Category_Code=L)

Skolelaboratoriet ved NTNU, Nils Kr. Rossing Rev. 3.2 - 15.05.14

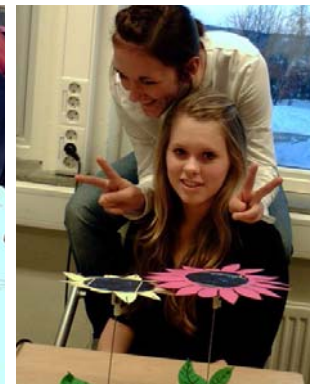




4. Teknovisjon, flatåsen ungdomsskole høsten 2006, utstilling i Nidarøhallen jan. 2007



5. Lærer Rudolf Bugge ved Ugla ungdomsskole, har gjennom flere år, fra 2007–2009 bygget solcellesikker sammen sine elever på 9. trinn. Bildene under viser eksempler på de produktene elevene har laget.



6. Charlottenlung ungdomsskole ønsker å bygge solcellesikker våren 2007.

### 2.9.2 Elevprosjekter videregående skole

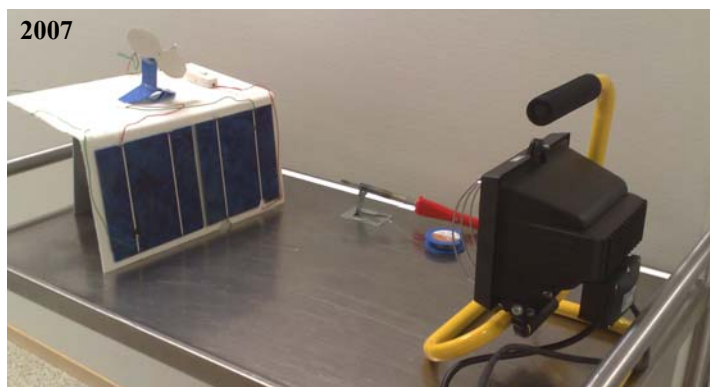
7. Elevverksted **Gerhard Schönning videregående skole** grunnkurs naturfag, linje for Form og farge. Våren 2007 bygde de solcellesikker med flere klasser på VG1. Våren 2008 er det innledet et samarbeid med studenter ved NTNU som lager et elevprosjekt som vil bli gjennomført for flere grupper av elever på VG1-nivå ved Gerhard Schönning vgs.
8. Realfagsløypa **Byåsen videregående skole**



I januar gjennomføres det årlig en realfagløype hvor elevene utfordres til å gjennomføre små utviklingsprosjekter som senere presenteres for elever på ungdomsskolen. I 2007 fikk en liten gruppe elever følgende oppgave:

*Sett dere inn i hva en solcelle er og hvordan den fungerer. Lag en innretning som beveger seg ved hjelp av solcellen. Hva kan dere forske på i denne oppgaven?*

Resultatet ble en seriekobling av 6 solceller og et 4,5 Volts batteri montert på et bil. Siden det ikke var plass til å montere tilstrekkelig mange solceller for å oppnå 6 V, som skulle til for at bilen skulle gå, ble batteriet koblet inn i serie. Når solcellene ble belyst ble spenningen høy nok til at bilen startet. Figuren til høyre viser resultatet av prosjektet.



Samme oppgave ble gitt i januar 2009, hvor på elevene kom opp med modellen vist på figuren til venstre. To seriekoblede paneler driver en liten hjemmelaget vifte.

**9. Frøya videregående skole**, har intensjon om å bruke solceller i undervisningen våren 07

**10. Meldal videregående skole**, har intensjon om å bruke solceller i undervisningen våren 07



## Praktisk solcelleteknologi for skolen

### 2.9.3 Lærerkurs

#### 11. Lærerkurs ved Rosenborg skole våren 2006



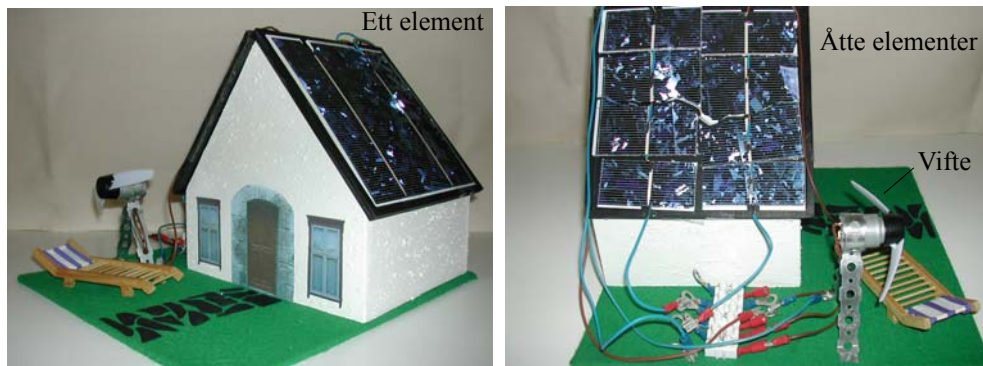
### 2.9.4 Studentprosjekter

#### 12. Lærerstudentprosjekt ved HiST høsten 2007

Prosjektet ble gjennomført av Anneli Berg, May Kristin Solbeg og Marianne Dahl

Høsten 2007 gjennomførte tre lærerstuderter ved Høgskolen i Sør-Trøndelag en fordypningsoppgave innen emnet Teknologi og design, hvor de laget et undervisningsopplegg for bruk i ungdomsskolen.

Studentene bygget et dukkehus med solcellepanel på taket og en vifte ved inngangen av huset som vist på figuren under.



I tillegg var det mulig å serie- eller parallellkoble inntil 8 solcellelementer på den ene siden.

Det ble også laget en rapport som beskrev ulike undervisningsopplegg [3].

#### 13. Ekspert i team ved NTNU våren 2008 - Dukkehus i Vitensenteret

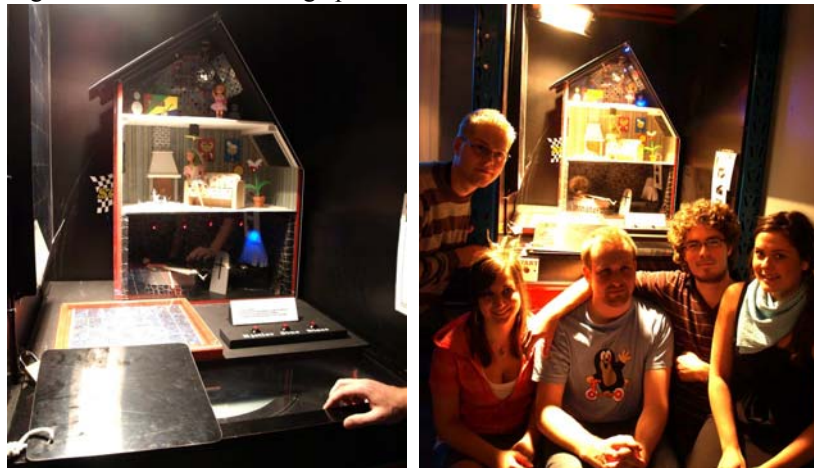
Prosjektet ble gjennomført av

Våren 2008 laget en gruppe på 5 studenter et dukkehus i tre etasjer drevet av 16 solcellepaneler (7,25 · 7,25 cm). Husets etasjer var utstyrt med en rekke lys, vifter og en roterende

Skolelaboratoriet ved NTNU, Nils Kr. Rossing Rev. 3.2 - 15.05.14



diskokule. De ulike installasjonene ble styrt av en Atmel prosessor. Alt ble forsynt med elektrisk energi fra solcellepanelet som de også hadde bygget. Bildet under viser huset slik det sto ferdig i Vitensenterets utstilling april 2008.



### 14. Ekspert i team ved NTNU våren 2008 – Solcellebil, Gerhard Schönings vgs

Prosjektet ble gjennomført av Sindre Grimsbø Persen, Paul Valheim Skarsvåg, Caroline Branæs Skaarer og Ingvild Kinn Ekroll.

Våren 2008 laget en gruppe på 5 studenter et undervisningsopplegg knyttet til modellbiler drevet av solceller på Vg1-nivå. Hver bil var utstyrt med fire solcelleflak ( $7,75 \cdot 7,75$  cm), en motor og tre hjul, i tillegg til understell av tykk papp, akslinger av blomsterpinner. Det ble brukt tannhjul av plast kjøpt hos KPT naturfag.

Studentene hadde laget byggesett som elevene monterte. I tillegg ble det undervist i hvordan solcellene virket, serie- og parallellkobling av solceller og grunnleggende kunnskap om montering av bilen. Elevene ble oppfordret til å koble sammen de fire solcelleflakene slik at de fikk raskest mulig framdrift. Etter endt byggeaktivitet ble det arrangert bilrace ute i sola.







## Praktisk solcelleteknologi for skolen

Opplegget fungerte godt, men ville ha fungert enda bedre dersom en hadde kjørt bilene på et jevnere underlag. Skolen har nå overtatt settene og planlegger å videreutvikle konseptet til neste års studenter.

### 15. Eksperter i team ved NTNU våren 2008 – Artikkel om solceller

Prosjektet ble gjennomført av Robert Marskar, Øyvind Olsen, Madeleine Hystad og Aleksander V. Skaldebø.

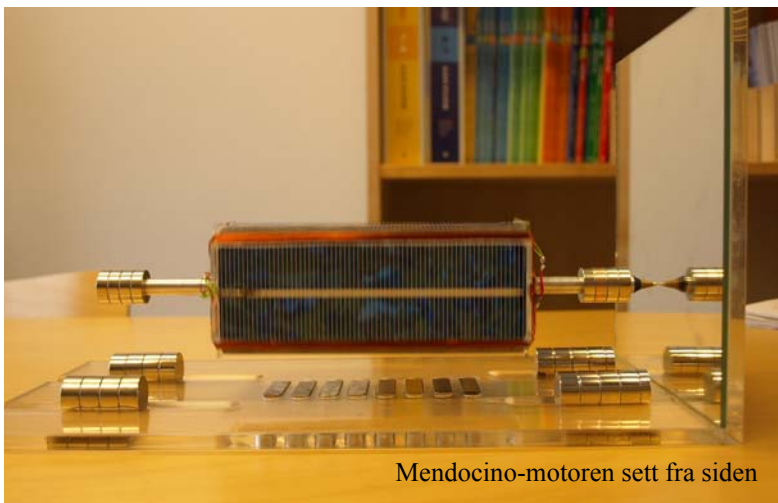
Denne gruppen skrev en 11 siders artikkel om solceller: *It's cool with sol!* Ved siden av å beskrive virkemåten til dagens og neste generasjoner solceller, viste de ulike anvendelser av teknologien. Artikkelen ble så presentert for elever i VG1 i tillegg til at de viste fram og demonstrerte ulike gjenstander drevet med energi fra solceller.

### 16. Eksperter i team ved NTNU våren 2009 – Mendocino-motor

Prosjektet ble gjennomført av Tuva Grytli, Eivind Rimstad, Hans Herman Hansen, Troels Arnfred Bojesen og Astrid Marie Flattum Muggerud.

Denne gruppen bygde en Mendocinomo-motor for Vitensenterets utstilling. Motoren består av en rotor med to kryssende spoler og fire solcellepaneler. Åtte kraftige magneter er festet til akslingen.

Statoren består av magneter. Fire sett, hver med fire kraftige neodymmagneter som skal holde rotoren svevende og åtte flate magneter som skal samvirke med spolene på rotoren. Rotoren i en Mendocino-motor holder seg svevende bare støttet med en spiss mot en vertikal endevegg (se figuren under).



Mendocino-motoren sett fra siden

Når motoren belyses på skrå ovenfra vil den begynne å rotere, belyses den fra den andre siden vil den rotere motsatt vei.

### 17. Eksperter i team ved NTNU våren 2009 – Tavle som viser solcelleproduksjon i Norge

Gruppen besto av Ina Kristin Betten, Bjørnar Rønning Espe, Sigrid Rostad, Torstein Gaarder Skarsgard og Kjetil Stokland.

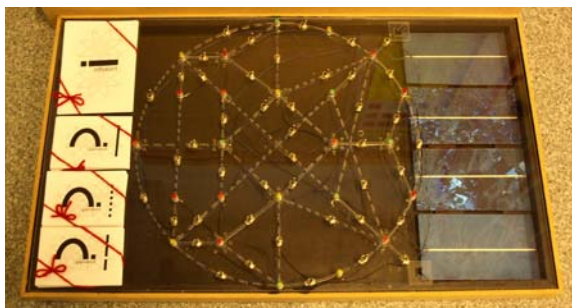
Skolelaboratoriet ved NTNU, Nils Kr. Rossing Rev. 3.2 - 15.05.14



Gruppen valgte å lage en informasjonstavle som viser hvor vi finner industri som kan releateres til solcelleproduksjonen i Norge. Tavlen består av et "hav" av solceller utenfor kysten av Norge. Steder med produksjon er avmerket med lysdioder som kan tennes med trykkbrytere plassert nær teksten om omtaler typen produksjon. Prosjektet er fylldig beskrevet i prosjektrapporten .



### 18. Ekspert i team ved NTNU våren 2009 – Solcellespill



Gruppen besto av

Gruppen valgte å lage et kunnskapsspill basert på kunnskap om solcelleteknologi. Deltagerne beveger seg langs linjer på brettet og kan tenne lysdioder etter som de svarer rett på spørrekort som de må trekke under veis.

### 2.9.5 Artikler

I forbindelse med de ulike solcelleprosjektene er det også skrevet artikler:

19. Nils Kr. Rossing, *Bygg en solcellebil*, Naturfag, Naturfagsenteret april 2008  
[http://www.plu.ntnu.no/skolelab/web\\_pub/solceller\\_solcellebil.pdf](http://www.plu.ntnu.no/skolelab/web_pub/solceller_solcellebil.pdf)
20. Nils Kr. Rossing, *Lag en solcellesikke*, Web-publisering april 2008  
[http://www.plu.ntnu.no/skolelab/web\\_pub/solceller\\_solcellesikke.pdf](http://www.plu.ntnu.no/skolelab/web_pub/solceller_solcellesikke.pdf)
21. Nils Kr. Rossing, *Grunnkurs – silceller (brekkasjeceller)*, Web-publisering april 2008  
[http://www.plu.ntnu.no/skolelab/web\\_pub/solceller\\_grunnkurs.pdf](http://www.plu.ntnu.no/skolelab/web_pub/solceller_grunnkurs.pdf)

### 2.10 Nettsteder som beskriver byggeprosjekter med solceller

Oversikt over ulike solcelleprosjekter finnes på følgende side:

<http://www.juliantrubin.com/fairprojects/renewableenergy/solarcells.html>

1. Bygge kjøretøyer av solceller
  - a) [http://www.sunwindsolar.com/a\\_solar/solar-models.html](http://www.sunwindsolar.com/a_solar/solar-models.html)



### 3 Referanser

- [1] Håvard Karoliussen, *Energi for Framtida*, SLserien nr. 8, april 2006
- [2] M.K. Solberg, M. Dahl, A. Berg, Fordypningsoppgave – Teknologi og design, Na-130, HiST høst 2007.
- [3] Grytli, Rimstad, Hansen, Bojsen, Muggerud, *Produkt rapport*, NTNU 06.05.09, EiT-landsby 37 Elle-Melle Solcelle, 2009
- [4] [www.skolesolceller.dk](http://www.skolesolceller.dk) – Dansk firma som leverer solcelle materiell til skolen
- [5] [www.sagitta.se](http://www.sagitta.se) – Svensk læremiddelfirma som også har solcellemateriell
- [6] [www.kptkomet.no](http://www.kptkomet.no) – Norsk læremiddelfirma som leverer solcellemateriell







## Vedlegg A Bruk av multimeter

Når vi skal undersøke elektriske kretser og komponenter, vil vi få behov for å bruke måleinstrumenter for elektriske størrelser. Til vårt formål er multimeteret et egnet måleinstrument. Vi vil beskrive modell CHY 17 som levers av bl.a. ELFA.

### A.1 CHY 17

#### A.1.1 Måling av elektriske størrelser

Som det framgår av navnet multimeter, så er dette et måleinstrument med flere funksjoner. Med et multimeter kan vi måle både spenning, strøm og resistans. I tillegg kan vi med dette multimeteret måle strømforsterkningen i transistorer og sjekke at dioder er i orden. Vi kan også måle kapasitans og frekvens opp til 15MHz.

1. Gummibeskyttelse
2. 3 1/2 siffer utlesningsvindu
3. Av/På-bryter
4. Område for måling av strøm
5. Måling av strømforsterkning i transistorer
6. Område for måling av resistans
7. Funksjonsvelger
8. Testsokkel for transistorer
9. Tilkoblingsterminaler
10. Testsokkel for kapasiteter
11. Posisjon for måling av dioder
12. Område for måling av kapasitet
13. Område for måling av spenning
14. AC/DC -  
valg av like- og vekselspenning/strøm
15. Område for måling av frekvens

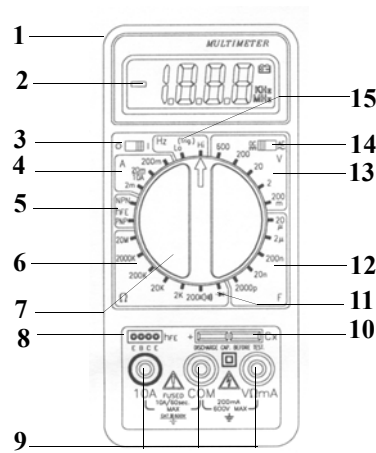


Figure A.1 Multimeteret Modell CHY 17

Dette måleinstrumentet har ikke automatisk av-funksjon. **Husk derfor å slå av instrumentet etter bruk.**



I alt er det tre tilkoblingsterminaler og det følger to målepinner (rød og sort ledning) med instrumentet.

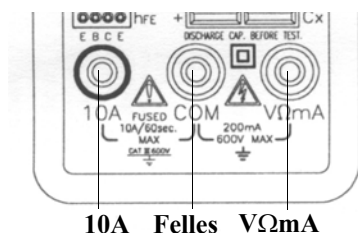


Figure A.2 De tre tilkoblingsterminalene

Terminalen i midten bærer navnet **Felles** (COM), den svarte ledningen skal alltid stå tilkoblet denne terminalen. Terminalen til høyre bærer navnet **VΩmA**. Den røde ledningen skal tilkobles denne terminalen når vi skal måle like- og vekselspenning (V), resistans ( $\Omega$ ) og like- og vekselstrøm (mA).

Vi vil beskrive i detalj hvordan vi skal gå fram for å gjøre målinger av spenning, strøm og resistans.

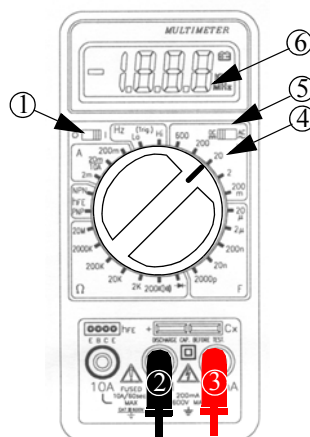
Legg merke til at vi bør anslå verdien til det vi skal måle slik at vi kan stille funksjonsvelgeren til riktig måleområde og innstilling. Hvis vi ikke har grunnlag for å anslå en forventet verdi, bruker vi det groveste måleområdet. Om vi bommer på innstillingen skjer ikke noe annet enn at vi må endre innstilling. Vi bør imidlertid unngå å stille instrumentet i strømmåling når vi egentlig har til hensikt å måle spenning. Gjør vi denne feilen, vil i verste fall sikringen i instrumentet gå.

### A.1.2 Måling av likespenning

Likespenningsfunksjonen er oppe til høyre og har fem måleområder: 200 mV, 2000 mV, 20 V, 200 V og 600 V (mV står for milliVolt).

Når vi skal måle **likespenning** går vi fram på følgende måte:

1. Slå på måleinstrumentet.
2. Koble den sorte målepinnen til **Felles** (COM).
3. Koble den røde målepinnen til **VΩmA**.
4. Sett funksjonsvelgeren til riktig funksjon og måleområde, f.eks. 20 V (oppe til høyre).
5. Sett DC/AC-bryteren i posisjon DC (*Direct Current*) - likespenning.
6. Forbind målepinnene til målestedene og les av verdien i utlesningsvinduet.





## Praktisk solcelleteknologi for skolen

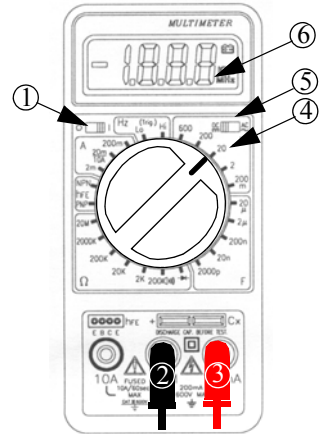
Utlemsningsvinduet vil nå vise resultatet av målingen. Det har 3 1/2 siffer, dvs. at det første sifferet lengst til venstre bare kan ha verdiene 0 og 1. Dette er nok dersom området kun strekker seg opp til f.eks. 20 V. Dersom spenningen overskrider denne verdien må vi velge neste område som er 200 V. Instrumentet kan ikke måle høyere likespenninger enn 600 V.

### A.1.3 Måling av vekselspanning

Måleprosedyren for måling av vekselspanning er den samme som for likespenning med unntak av at vi setter DC/AC-bryteren i posisjon AC (Alternating Current) - vekselspanning.

Vi går da frem på følgende måte:

1. Slå på måleinstrumentet.
2. Koble den sorte målepinnen til **Felles (COM)**.
3. Koble den røde målepinnen til **VΩmA**.
4. Sett funksjonsvelgeren til riktig funksjon og spenningsområde, f.eks. 20 V (oppe til høyre).
5. Sett DC/AC-bryteren i posisjon AC (*Alternating Current*) - vekselspanning.
6. Forbind målepinnene til målestedene og les av verdien i utlemsningsvinduet.



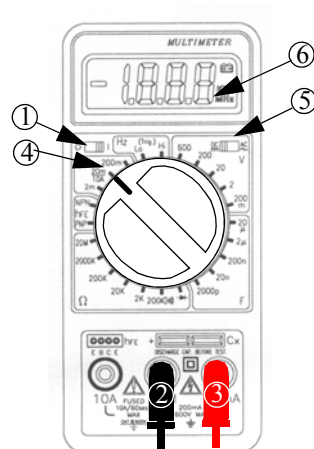
Utlemsningsvinduet vil nå vise resultatet av målingen. Det har 3 1/2 siffer, dvs. at det første sifferet lengst til venstre bare kan ha verdiene 0 og 1. Dette er nok dersom området kun strekker seg opp til f.eks. 200 V. Dersom spenningen overskrider denne verdien må vi velge neste område som er 600 V. Høyere vekselspanninger enn 600 V kan ikke måles med dette instrumentet.

### A.1.4 Måling av likestrøm

Likestrømsfunksjonen er oppe til venstre og har fire måleområder: 2000  $\mu$ A (milliontedels Ampère), 20 mA, 200 mA og 10 A.

Når vi skal måle likestrøm opp til f.eks. 20 mA går vi fram på følgende måte:

1. Slå på måleinstrumentet.
2. Koble den sorte målepinnen til **Felles (COM)**.
3. Koble den røde målepinnen til **VΩmA**.
4. Sett funksjonsvelgeren til riktig måleområde, f.eks. 20mA (oppe til venstre).
5. Sett DC/AC-bryteren i posisjon DC (*Direct Current*) - likestrøm.





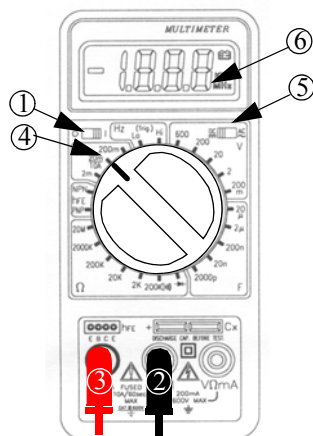
6. Forbind målepinnene til målestedene og les av verdien i utlesningsvinduet.

Utlesningsvinduet vil nå vise resultatet av målingen. Det har 3 1/2 siffer, dvs. at det første sifferet lengst til venstre bare kan ha verdiene 0 og 1. Dette er nok dersom området kun måler opp til f.eks. 20mA. Dersom strømmen overskrider denne verdien vil utlesningsvinduet vise O.L (Overload), og vi må en velge neste område som er 200mA. I denne stillingen kan vi ikke måle større strømmer enn 200mA.

Ønsker vi derimot å måle større likestrømmer må vi gå fram på følgende måte:

1. Slå på måleinstrumentet.
2. Koble den sorte ledningen til **Felles (COM)**.
3. **Koble den røde ledningen til 10A.**
4. Sett funksjonsvelgeren til måleområdet 10A (oppe til venstre, samme posisjon som 20mA).
5. Sett DC/AC-bryteren i posisjon DC (*Direct Current*) - likestrøm.
6. Forbind målepinnene til målestedene og les av på displayet.

Utlesningsvinduet vil nå vise resultatet av målingen. Dersom strømmen overskrider 10A vil sikringen i instrumentet gå og må skiftes.



### A.1.5 Måling av vekselstrøm

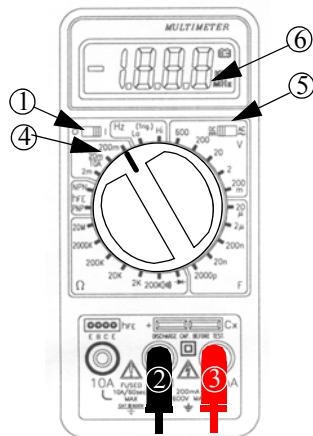
Vekselstrømsfunksjonen er oppe til venstre og har fire måleområder: 2000 $\mu$ A, 20mA, 200mA og 10A.

Når vi skal måle likestrømmer opp til f.eks. 200mA går vi fram på følgende måte:

1. Slå på måleinstrumentet.
2. Koble den sorte målepinnen til **Felles (COM)**.
3. Koble den røde målepinnen til **V $\Omega$ mA**.
4. Sett funksjonsvelgeren til riktig funksjon og måleområde, f.eks. 200mA (oppe til venstre).
5. Sett DC/AC-bryteren i posisjon AC (*Alternating Current*) - vekselstrøm.
6. Forbind målepinnene til målestedene og les av verdien i utlesningsvinduet.

I denne stillingen kan vi ikke måle større strømmer enn 200mA. Om utlesningsvinduet viser O.L betyr dette "Overload" og vi må sette funksjonsvelgeren til et høyere måleområde.

Skolelaboratoriet ved NTNU, Nils Kr. Rossing Rev. 3.2 - 15.05.14

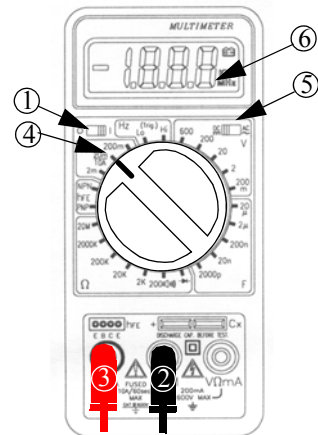




Ønsker vi derimot å måle større vekselstrømmer må vi gå fram på følgende måte:

1. Slå på måleinstrumentet
2. Koble den sorte ledningen til **Felles (COM)**.
3. Koble den røde ledningen til **10A**.
4. Sett funksjonsvelgeren 10A (oppe til venstre, samme posisjon som 20mA).
5. Sett DC/AC-bryteren i posisjon AC (*Alternating Current*) - vekselstrøm.
6. Forbind målepinnene til målestedene og les av på displayet.

Utlesningsvinduet vil nå vise resultatet av målingen. Dersom strømmen overskrider 10A vil sikringen i instrumentet gå og må skiftes.



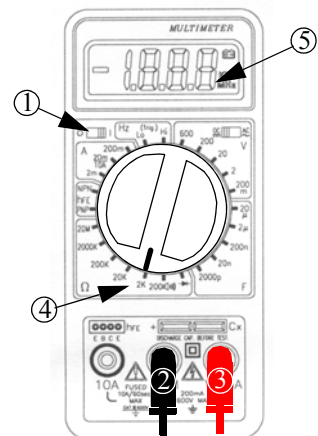
### A.1.6 Måling av resistans

Funksjonsområdet for resistans er nede til venstre og har seks måleområder: 200 $\Omega$ , 2k $\Omega$ , 20k $\Omega$ , 200k $\Omega$ , 2000k $\Omega$  og 20M $\Omega$ .

Når vi skal måle resistansen i en resistor på f.eks. 1k $\Omega$  går vi fram på følgende måte:

1. Slå på måleinstrumentet
2. Koble den sorte målepinnen til **Felles (COM)**.
3. Koble den røde målepinnen til **V $\Omega$ mA**.
4. Sett funksjonsvelgeren til riktig funksjon og måleområde, f.eks. 2k $\Omega$  (nede til høyre).
5. Forbind målepinnene til målestedene og les av verdien i utlesningsvinduet.

Utlesningsvinduet vil nå vise resultatet av målingen. Det har 3 1/2 siffer, dvs. at det første sifferet lengst til venstre kan bare ha verdiene 0 og 1. Dette er nok dersom området kun måler opp til f.eks. 2k $\Omega$ . Dersom resistansen overskrider denne verdien, må vi velge neste område som er 20k $\Omega$ . Med dette multimeteret kan vi ikke måle større resistanser enn 20M $\Omega$ . Om utlesningsvinduet viser O.L betyr dette "Overload" og en må sette funksjonsvelgeren til et høyere område.





### A.1.7 Måling av transistorer og dioder

Som omtalt tidligere i dette heftet har NPN- og PNP-transistorer en strømforsterkning, som ofte kalles  $h_{FE}$ . De transistorene vi bruker (BC547B) har en typisk strømforsterkning på mellom 250 - 450. Dersom denne faktoren er mye lavere, er det rimelig å anta at transistoren er skadet.

Når vi skal måle strømforsterkningen,  $h_{FE}$ , i en transistor går vi fram på følgende måte:

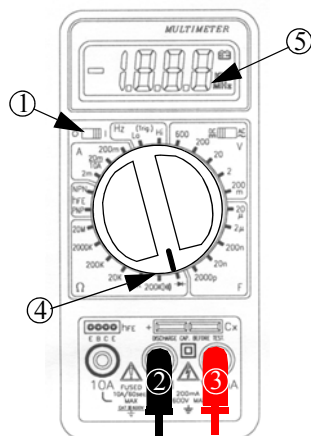
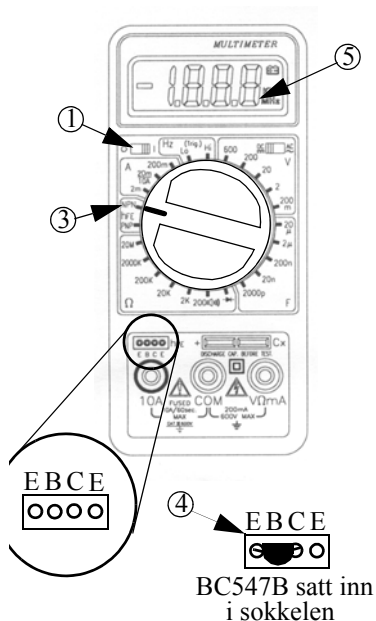
1. Slå på måleinstrumentet.
2. Bestem om transistoren er en PNP- eller en NPN-transistor og finn ut hvilke ben som er emitter (E), base (B) og collector (C). BC547B er en NPN-transistor. Normalt vil en gå inn i databladet for transistoren for å finne ut av dette.
3. Sett funksjonsvelgeren til riktig funksjon,  $h_{FE}$ , opp til høyre.
4. Stikk transistorens ben inn i sokkelen som vist nederst på bildet til høyre. Sørg for at de tre beina kommer i riktig hull.
5. Les av forsterkningen i utlesningsvinduet.

I dette tilfellet trenger vi ikke målepinnene.

Dersom vi ønsker å sjekke om en diode er i orden eller er ødelagt, går vi fram på følgende måte:

1. Slå på måleinstrumentet.
2. Koble den sorte ledningen til **Felles (COM)**.
3. Koble den røde ledningen til **VΩmA**.
4. Sette multimeteret i posisjon  $\rightarrow$   $\rightarrow$  ..
5. Forbind målepinnene til hvert av beina på dioden. Først den ene veien, deretter byttes pinnene om, og en måler den andre veien.

Instrumentet gir fra seg en pipelyd dersom dioden kobles i lederetning, mens det gir ingen lyd når den kobles i sperre- retning. En diode oppfører seg derfor korrekt dersom instrumentet piper når målepinnene er koblet den ene veien, men er taust når målepinnen kobles den andre veien. Alt annet indikerer at det er noe galt med dioden. En lysdiode kan testes på samme måte.

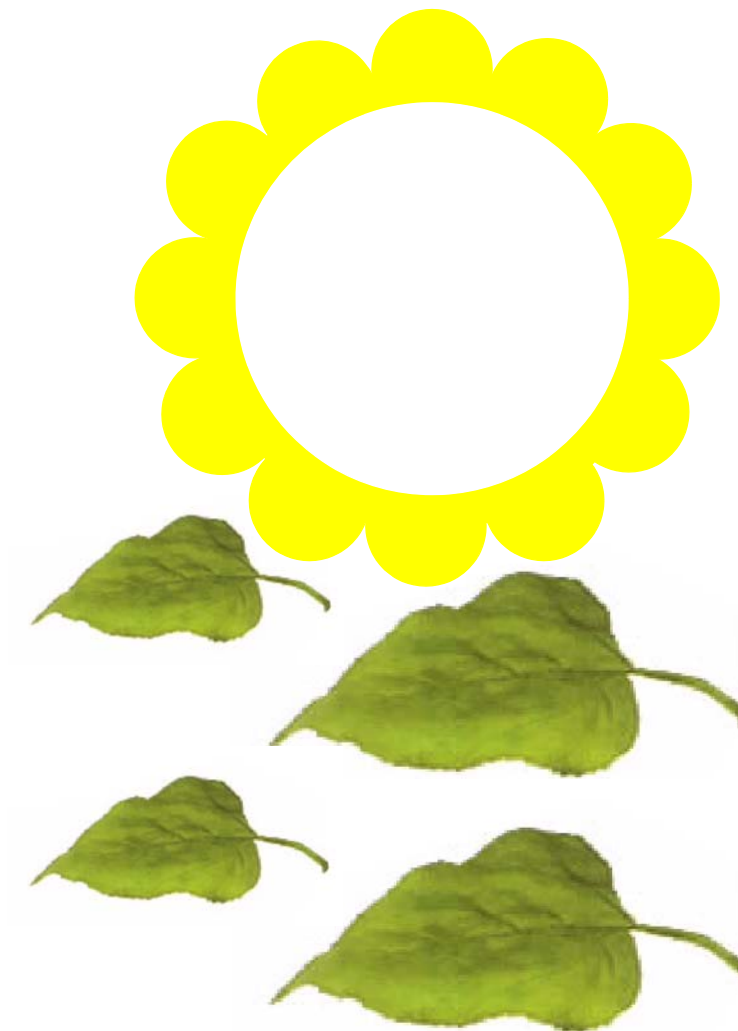




## Vedlegg B Kপিoriginaler

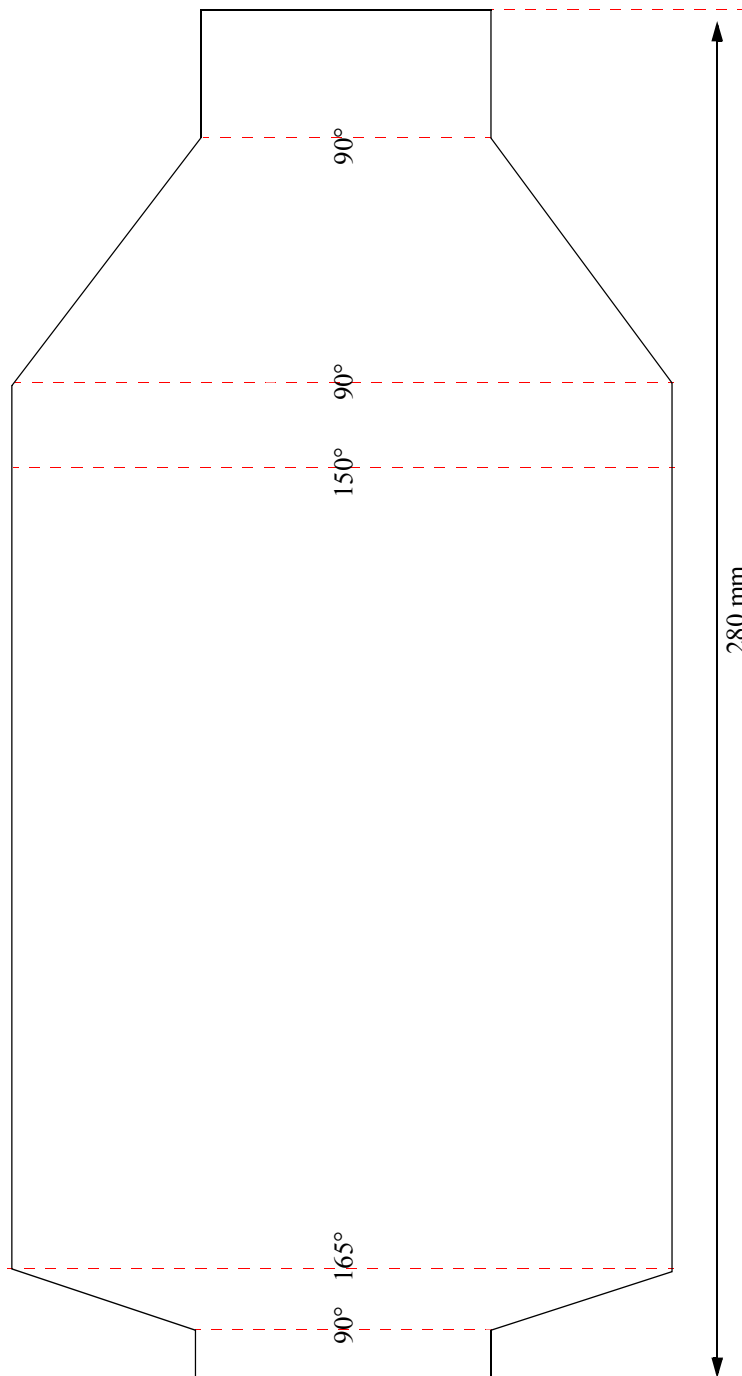
### B.1 Kপি original solcellesikke

Malen må forstørres 200 % for at den skal passe.





B.2 Mal for Solcelle LED-lampe

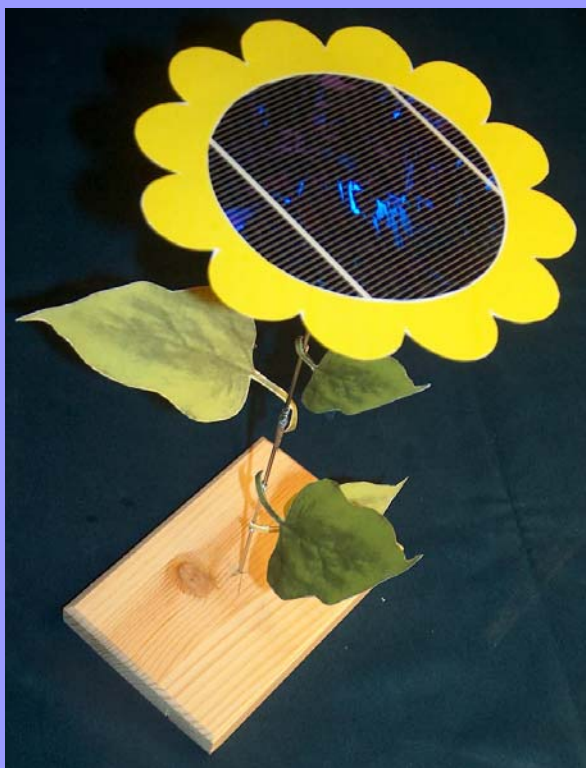












Heftet gir noen praktiske tips til karakterisering og bygging med brekasjeceller fra REC ScanCell AS.

Heftet er et utdrag av boka Grunnleggende elektronikk og sensorteknologi som gis ut Skolelaboratoriet ved NTNU høsten 2011.

Det må presiseres at noen av prosjektene må betraktes som ideer for utprøving enn ferdig utprøvde undervisningsopplegg

Nils Kr. Rossing  
Førstelektor ved Skolelaboratoriet og  
prosjektleder ved Vitensenteret  
E-post: [nils.rossing@plu.ntnu.no](mailto:nils.rossing@plu.ntnu.no)



Trondheim

## Program for lærerutdanning

**Skolelaboratoriet**  
for matematikk, naturfag  
og teknologi

Tlf. 73 55 11 43

Faks 73 55 11 40

<http://www.skolelab.ntnu.no>