

Solcellekonsepter for høy virkningsgrad

Cleantech Agder 2015

Rune Strandberg, UiA

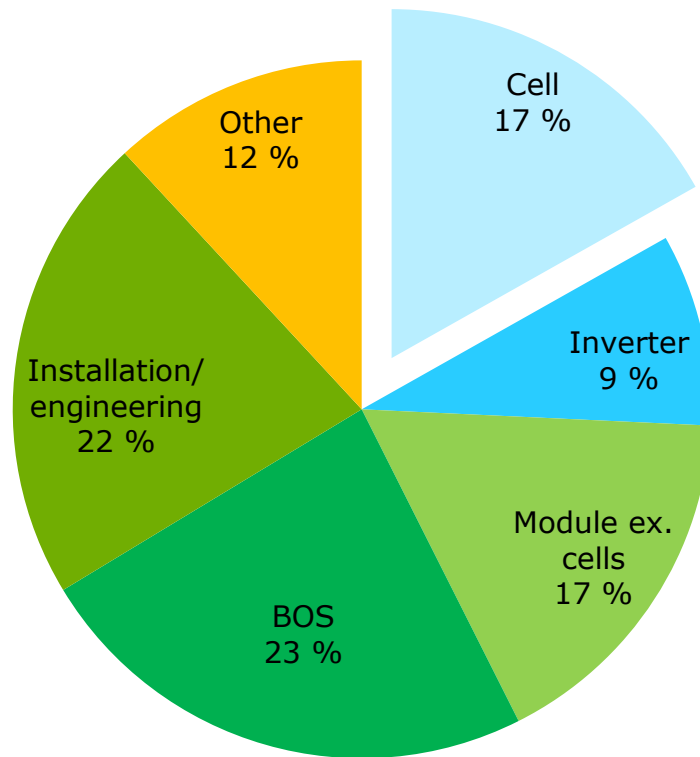


Innhold

1. Hvorfor er høyere virkningsgrad/effektivitet viktig
2. Virkemåte og fundamentale tapsmekanismer for vanlige solceller
3. Gjennomgang av konsepter med høy teoretisk virkningsgrad
4. Status for de ulike konseptene

Hvorfor er høyere virkningsgrad så viktig?

Hvorfor er høyere virkningsgrad så viktig?



Selve solcellene utgjør bare 15-20 % av den totale systemkostnaden.



Det er begrenset hvor mye billige celler kan redusere systemprisen.

Høyere effektivitet kan redusere kostnadene til glass, installasjon, festeanordninger, prosjektering osv. per installerte Watt

Hvorfor er høyere virkningsgrad så viktig?

"With market leaders expected to be manufacturing [silicon] modules above 16% efficiency at \$0.36/Watt by 2017, even the cost per unit area (\$60-\$70/m²) will be difficult for any thin-film photovoltaic technology to significantly undercut. This may make dislodgement likely only by appreciably higher energy conversion efficiency approaches."

-Martin Green "Silicon Solar Cells: Recent Progress and Future Directions» (2014)

Virkemåte og fundamentale tapsmekanismer i vanlige solceller

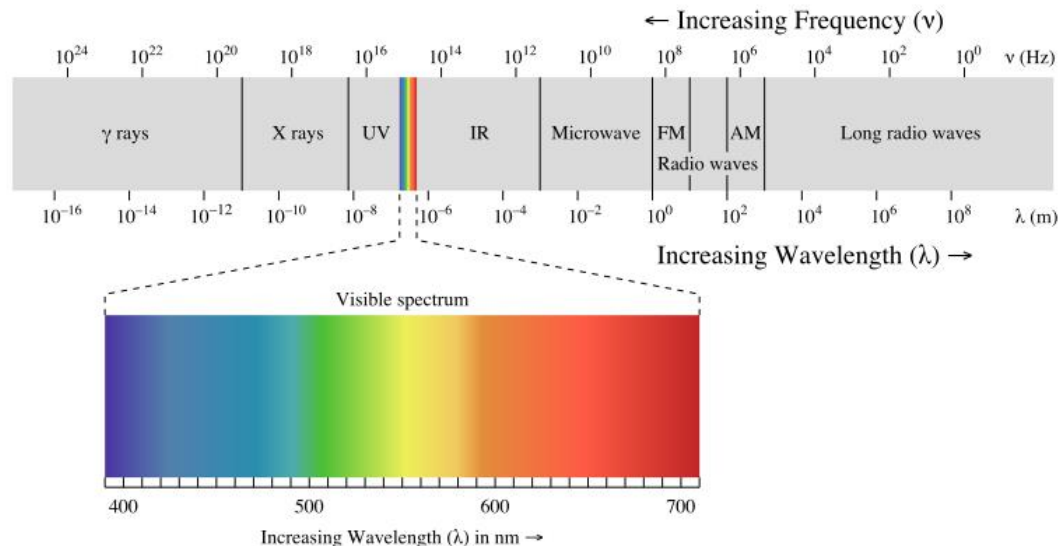
Fotoner

- Energien i sollyset er kvantisert i små energipakker kalt fotoner.
- Energien til et foton varierer med fargen til lyset.
- Blå fotoner har mye energi, røde fotoner har mindre energi

Økende fotonenergi



Avtagende fotonenergi



Elektroner

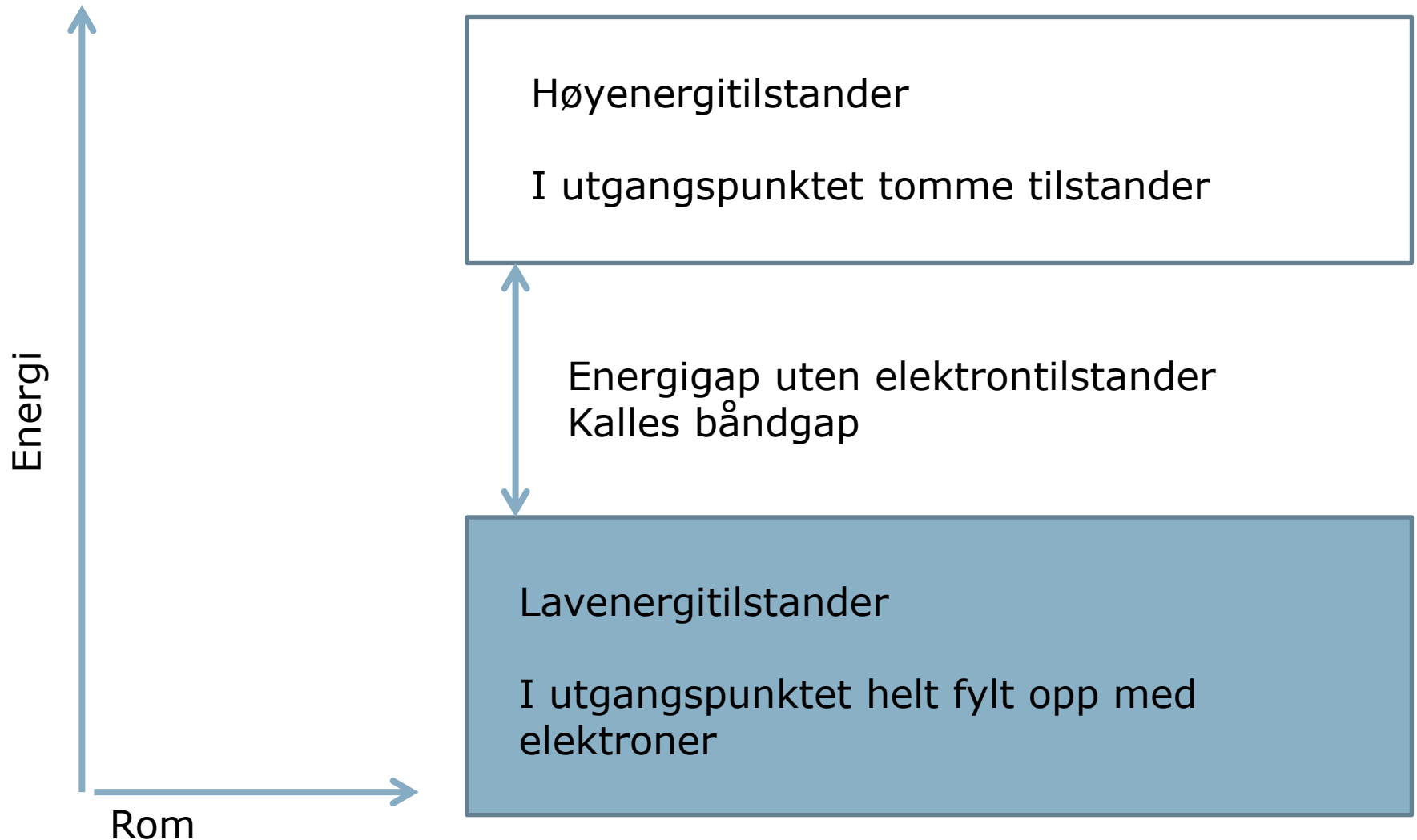
Elektrisk strøm er elektroner som beveger seg.

Alle elektroner har en bestemt energi.

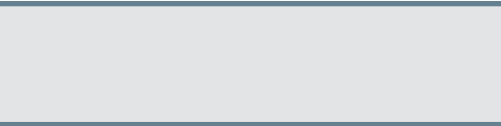
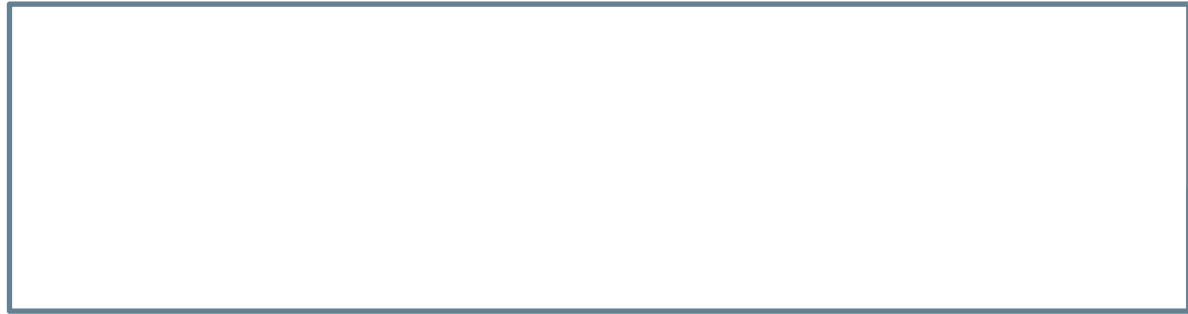
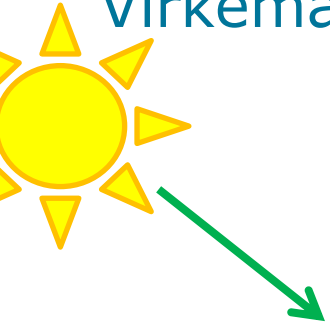
Vi sier at elektronene befinner seg i ulike energitilstander/elektrontilstander.

I faste stoffer er det ikke elektrontilstander med alle mulige energier.

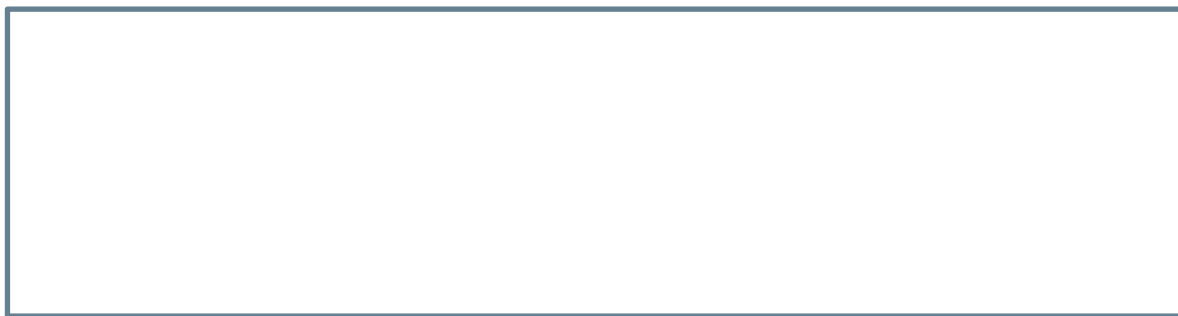
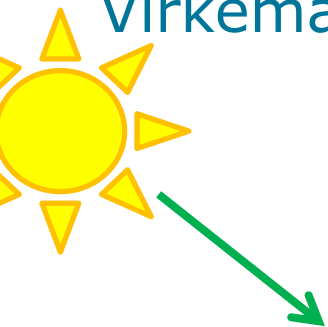
Elektrontilstandene i et solcellemateriale



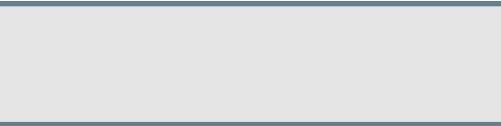
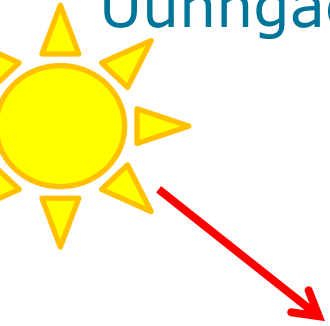
Virkemåten til en solcelle



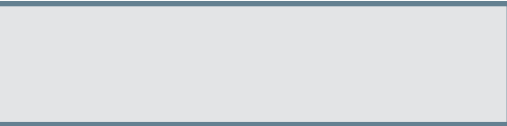
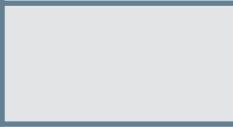
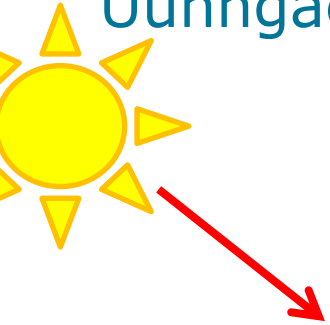
Virkemåten til en solcelle



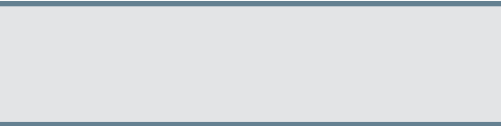
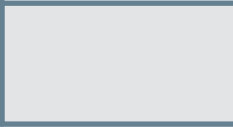
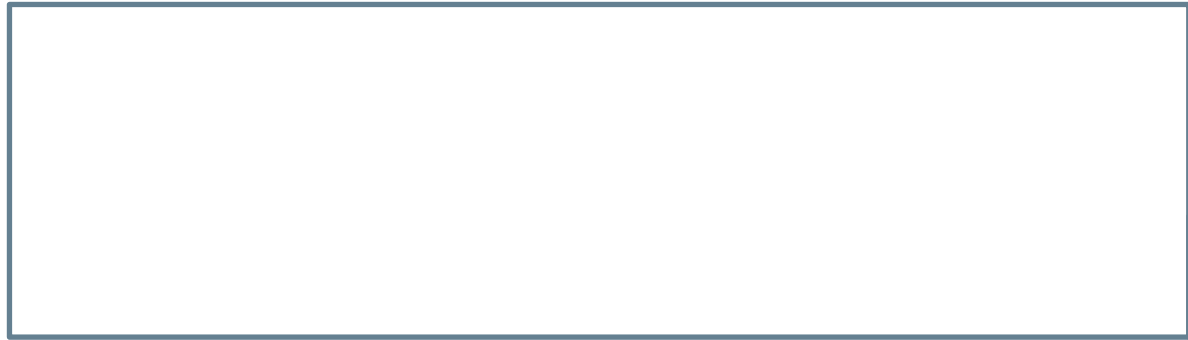
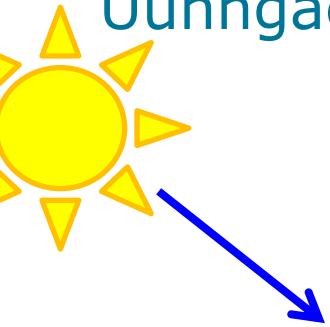
Uunngåelige tapsmekanismer I, absorpsjonstap



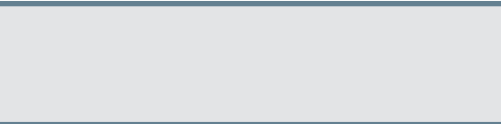
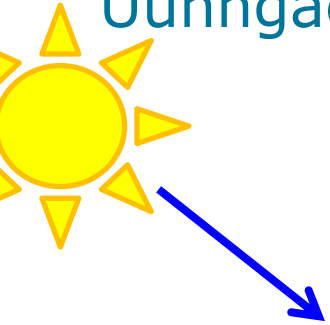
Uunngåelige tapsmekanismer I, absorpsjonstap



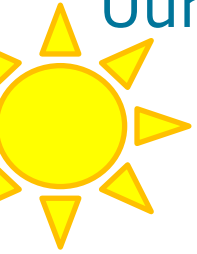
Uunngåelige tapsmekanismer II, termalivering



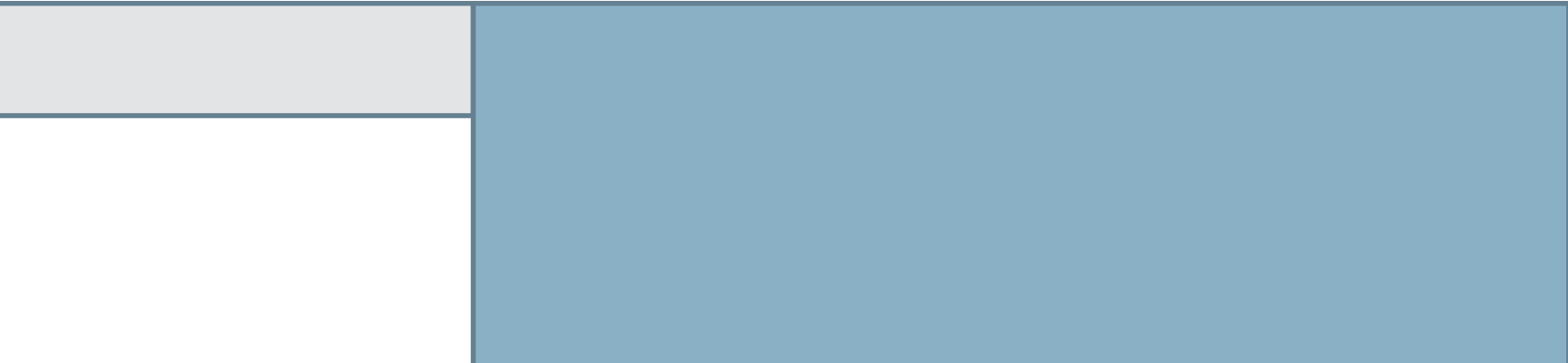
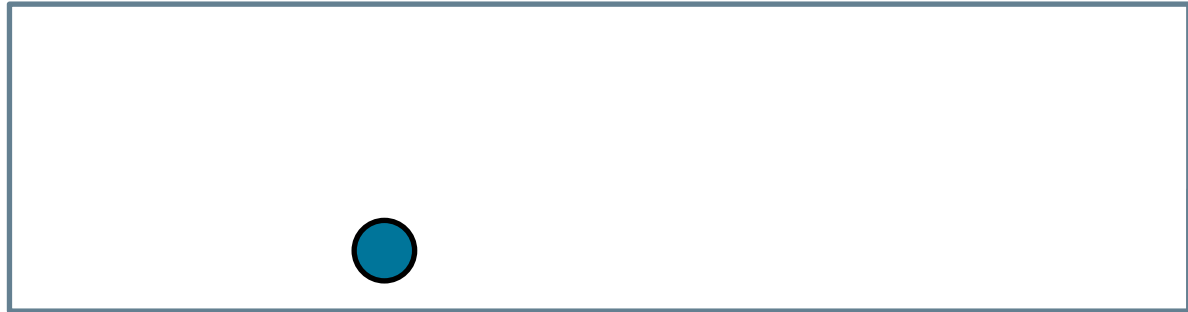
Uunngåelige tapsmekanismer II, termalisering



Uunngåelige tapsmekanismer III, rekombinering



Uunngåelige tapsmekanismer III, rekombinering



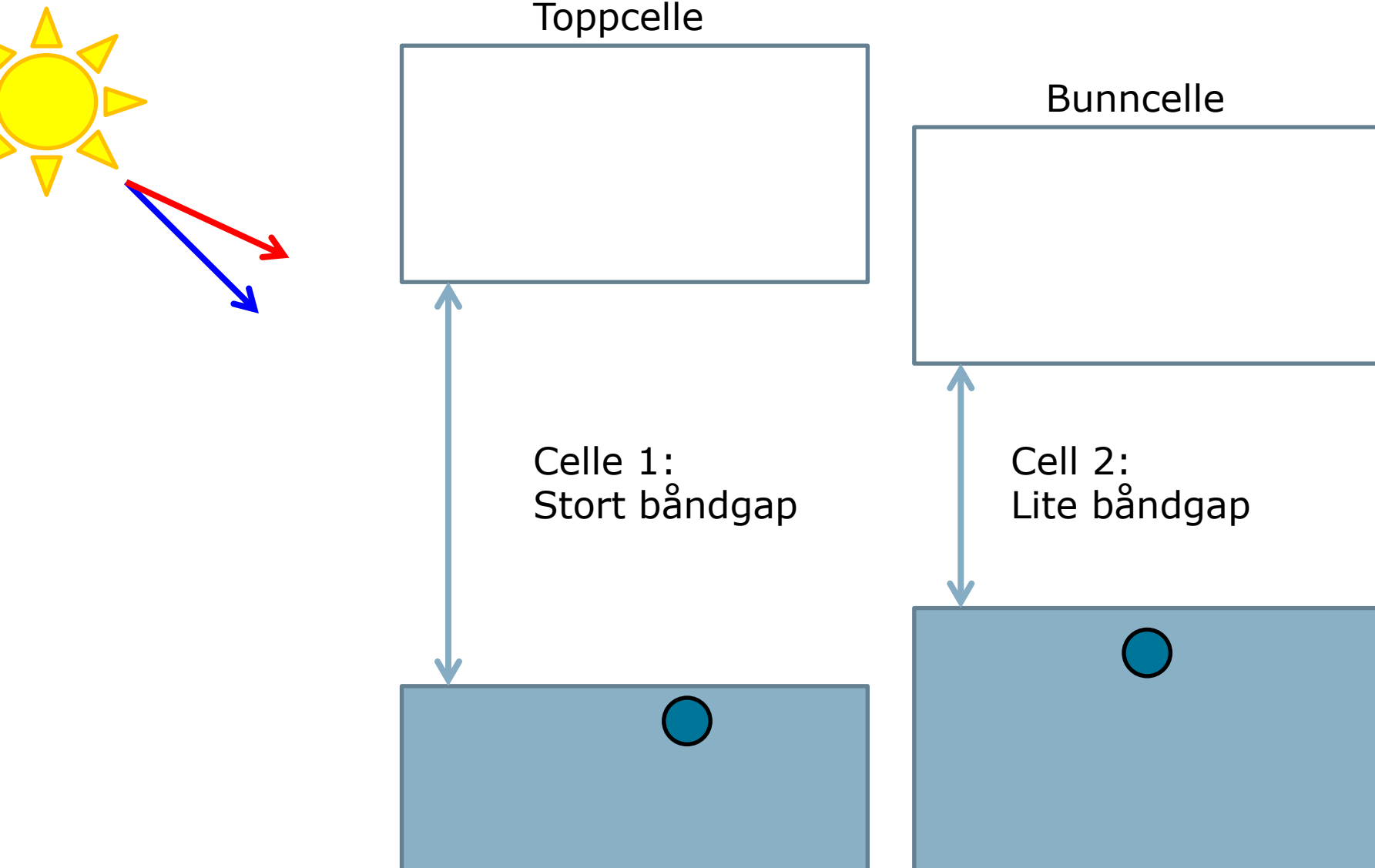
Teoretisk virkningsgrad for vanlige solceller

33 %

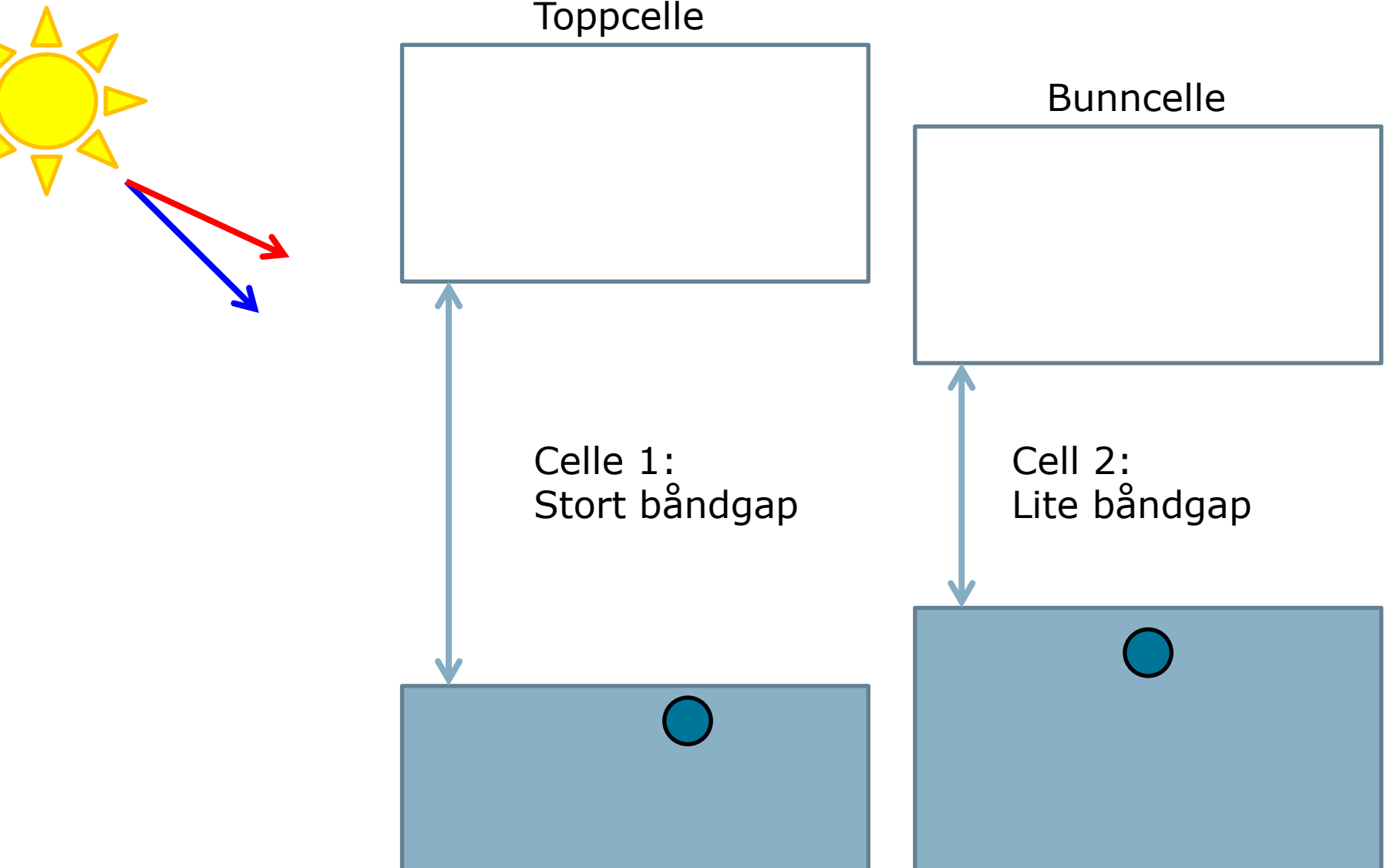
Når de belyses med vanlig sollys (AM1.5 spectrum)

Konseppter for høyere virkningsgrad

Tandemceller



Tandemceller

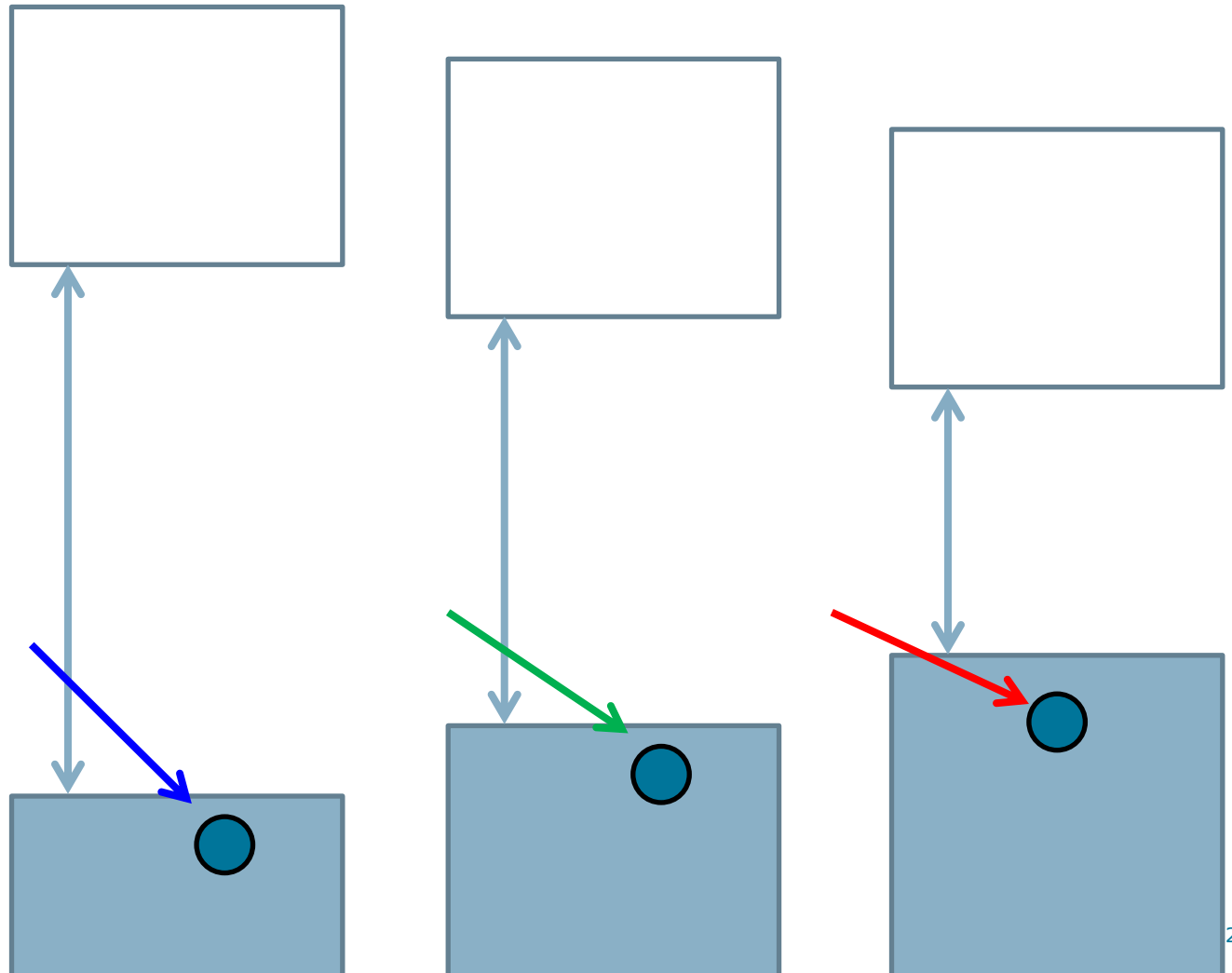
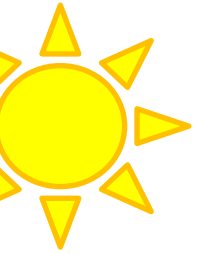


Teoretisk virkningsgrad for tandemceller

46 %

Når de belyses med vanlig sollys (AM1.5 spectrum)

Trippelceller

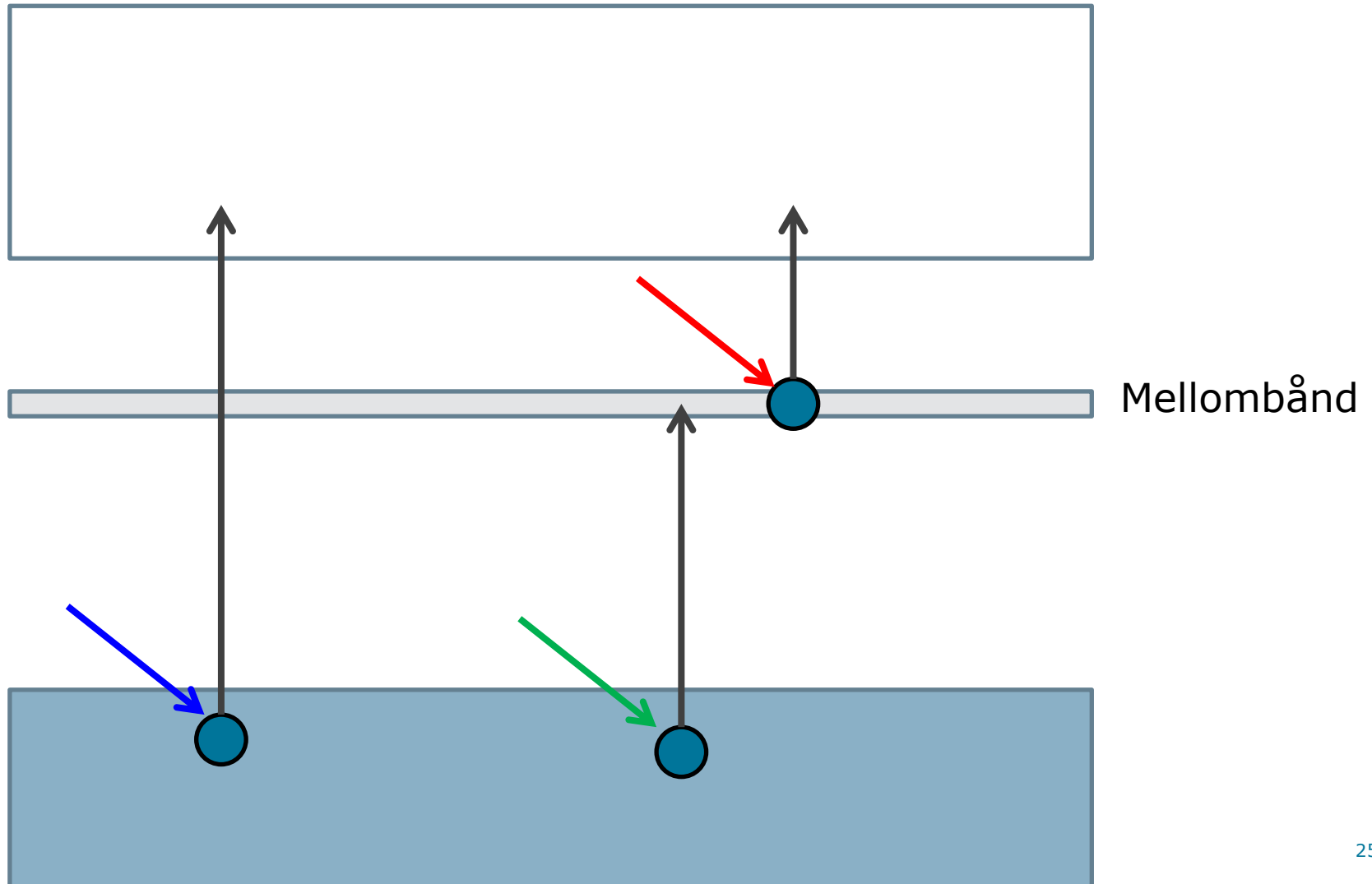


Teoretisk virkningsgrad for trippelceller

52 %

Når de belyses med vanlig sollys (AM1.5 spectrum)

Mellombåndsolceller

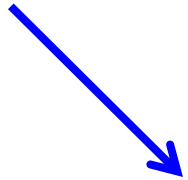
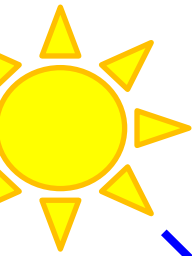


Teoretisk virkningsgrad for mellombåndsolceller

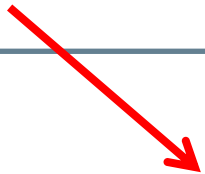
49 %

Når de belyses med vanlig sollys (AM1.5 spectrum)

Nedkonvertering



Nedkonverter

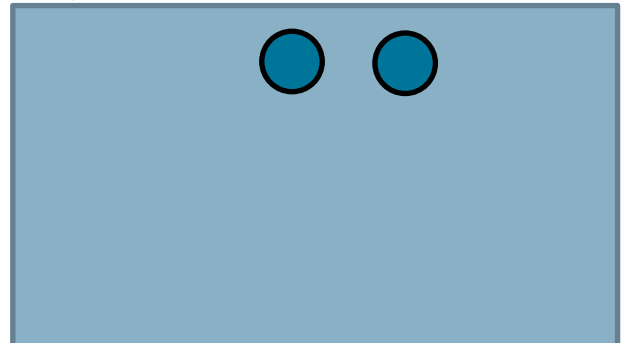
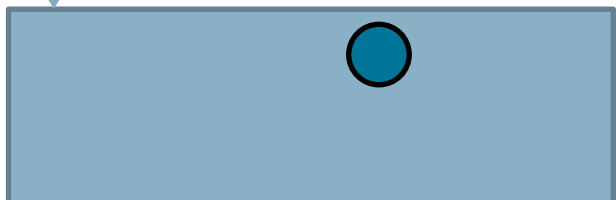


Solcelle

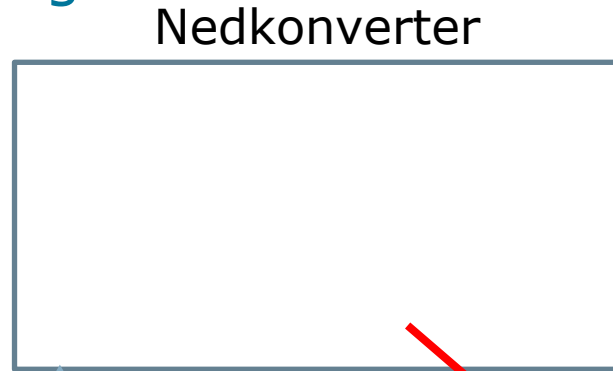
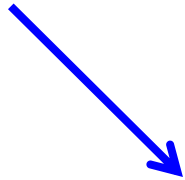
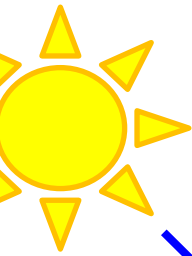


E_g

$>2E_g$

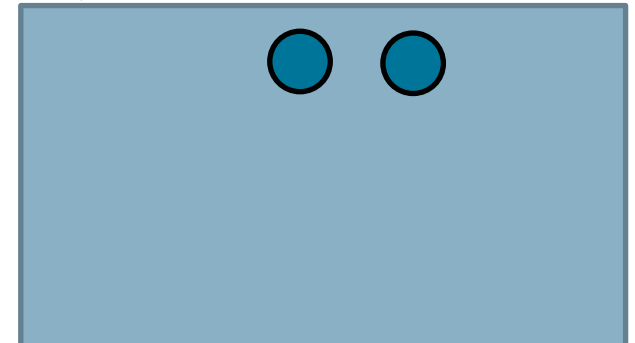
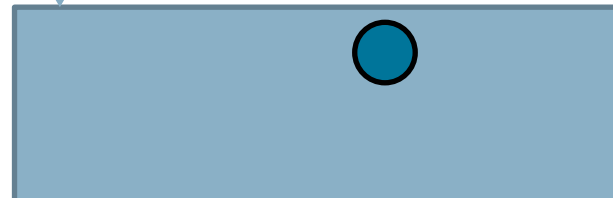


Nedkonvertering



$>2E_g$

E_g

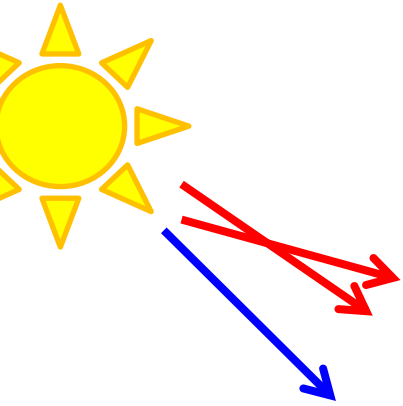


Teoretisk virkningsgrad for solceller med nedkonvertering

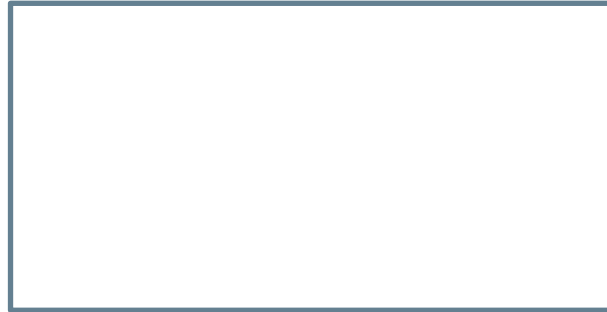
40 %

Når de belyses med ukonsentrert lys
(1 sol, 6000 K termisk stråling)

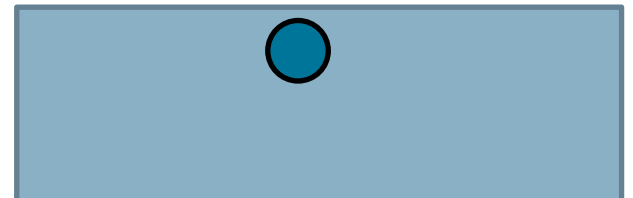
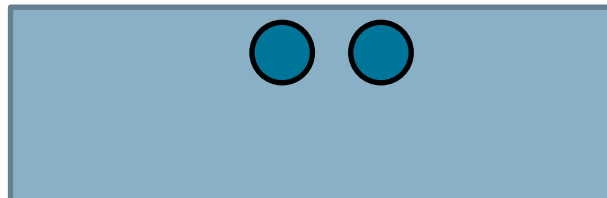
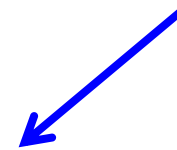
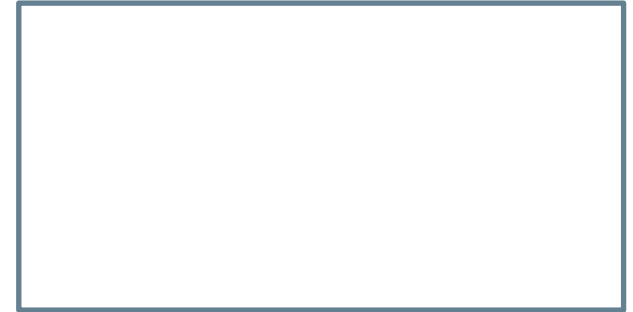
Oppkonvertering



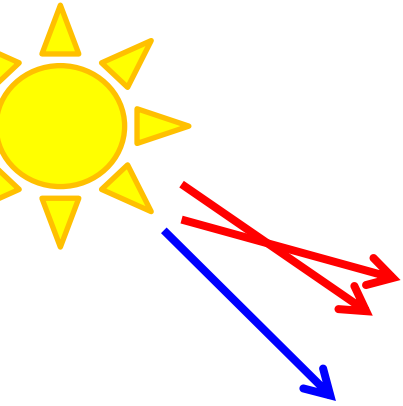
Solceller



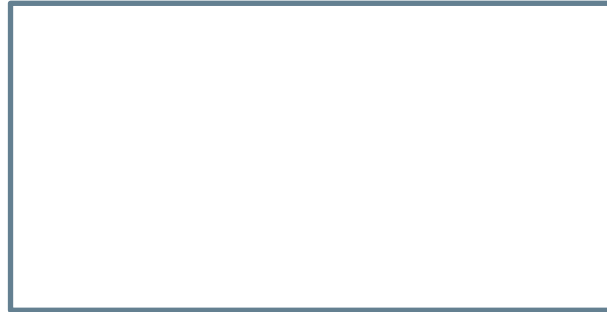
Oppkonverterer



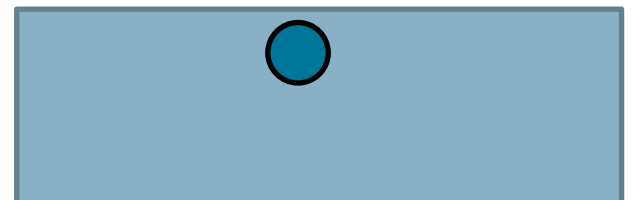
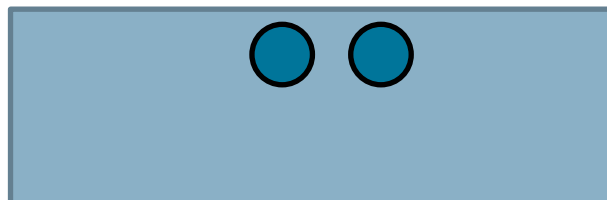
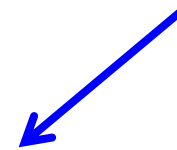
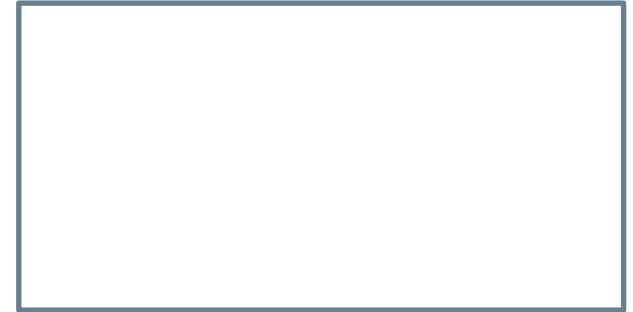
Oppkonvertering



Solceller



Oppkonverter

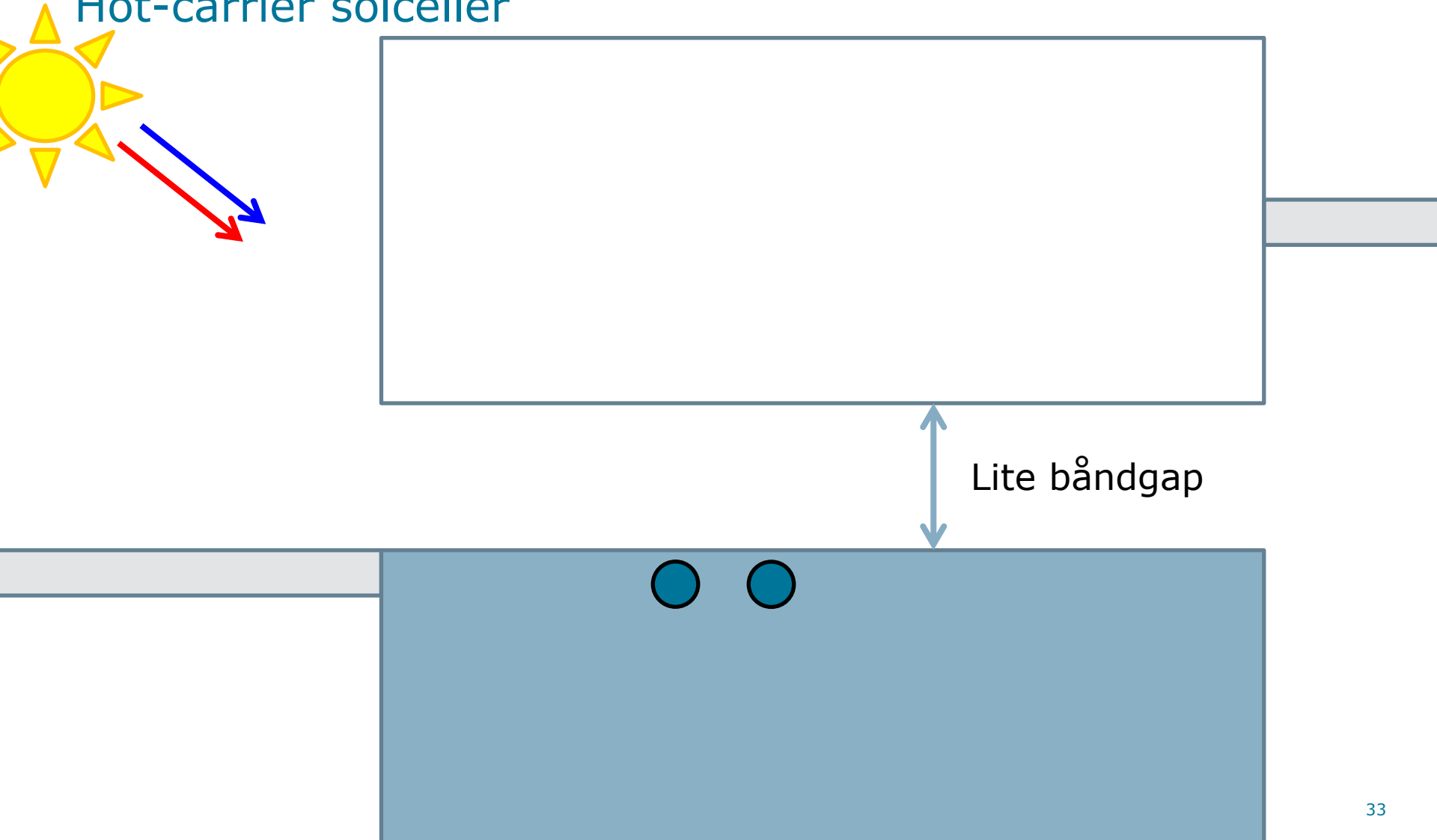


Teoretisk virkningsgrad for solceller med opp-konvertering

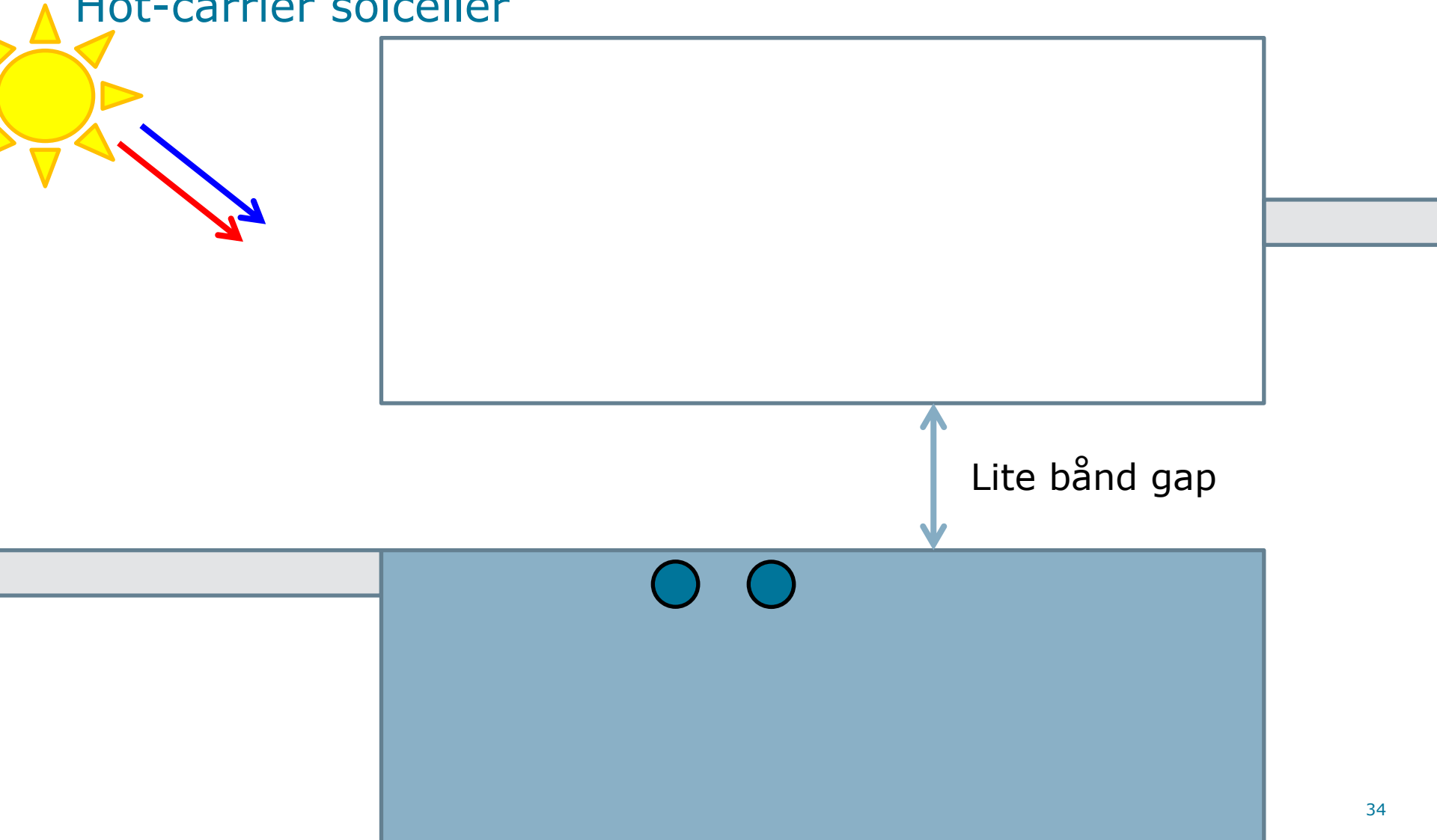
48 %

Når de belyses med ukonsentrert lys
(1 sol, 6000 K termisk stråling)

Hot-carrier solceller



Hot-carrier solceller



Teoretisk virkningsgrad for hot-carrier solceller

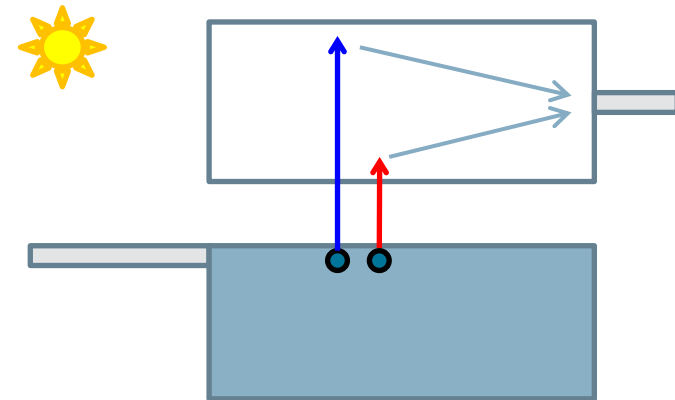
~ 55 %

Når de belyses med ukonsentrert lys
(1 sol, 6000 K termisk stråling)


Status for de ulike celletypene med høy virkningsgrad

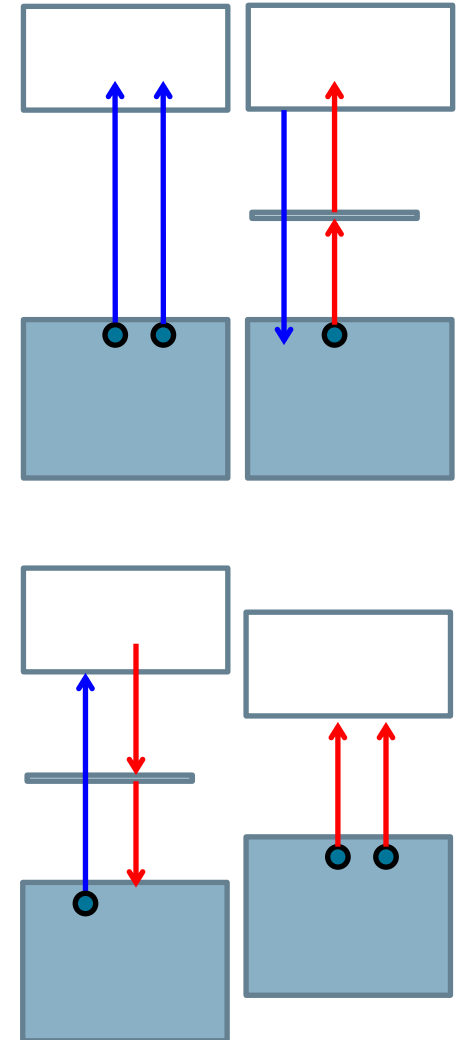
Hot-carrier solceller - status

- Teknologisk sett et svært utfordrende konsept.
- Selve solcellematerialet må ha helt spesielle egenskaper.
- Kontaktene må være av en helt spesiell type.
- Solcellematerialer med de rette egenskapene er funnet.
- Virkemåten til hot-carrier solceller er bekreftet eksperimentelt, men bare ved svært lave temperaturer.



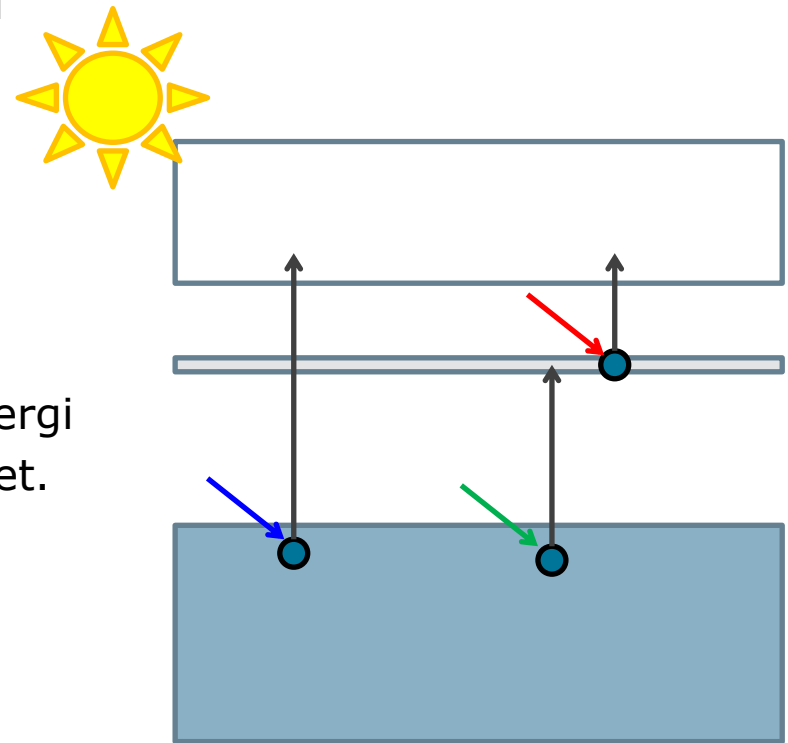
Opp- og nedkonvertering - status

- Flere materialer har vist seg å kunne konvertere fotoner.
- Viktige utfordringer er:
 - Hvordan lage materialer som absorberer en stor nok del av solspekteret?
 - Hvordan kan man unngå for mye tap i de optiske konverterne?
- For å nærme seg den teoretiske grensen er det en del kriterier som må oppfylles, hvordan skal man få til dette? 
- En halv prosents økning i strømproduksjonen er observert ved bruk av en oppkonverter.



Mellombåndsolceller - status

- Flere ulike materialer/materialsystemer med mellombånd er kjent.
- To-steps eksitasjon av elektroner er demonstrert ved lave temperaturer.
- Testceller viser noe økt absorpsjon av lavenergi fotoner, men preges av dårlig materialkvalitet.
- Krever materialegenskaper som kan være krevende å få til.
- Gjennombrudd i materialforskningen kan gi celler med høy effektivitet som er enkle å produsere.



Tandemceller, trippelceller, osv. – status

Verdens mest effektive solceller består av flere celler stablet oppå hverandre.

Rekordvirkningsgrader

Teknologi	Variant	Med vanlig sollys	Med konsentrert lys
Vanlige celler	Silisium	25,1 %	27,6 %
	GaAs	28,8 %	29,1 %
Tandemceller		31,1 %	34,1 %
Trippelceller		37,9 %	44,4 %
Kvadrupelceller			46,0 %
Kvintupelceller		38,8 %	

Til sammenligning har kommersielle silisiumceller typisk en virkningsgrad på 17 – 18 %

Videre utvikling av tandemceller, trippelceller, osv.

- Fram til nå:
 - Cellene har blitt laget med svært dyre teknikker
 - Cellene har vært små
 - Cellene har vært laget av dyre materialer
- I dag:
 - Stor aktivitet for å lage tandemceller med silisiumceller i bunnen av stabelen.
 - Billige materialer som er enkle å deponere har vist stor framgang i virkningsgrad.

Silisiumbaserte tandemceller - er dette framtida?

Proceedings Article

Silicon wafer-based tandem cells: The ultimate photovoltaic solution?

Martin A. Green

[+] Author Affiliations

Proc. SPIE 8981, Physics, Simulation, and Photonic Engineering of Photovoltaic Devices III, 89810L (March 7, 2014); doi:10.1117/12.2044175

"[Silicon] wafers now provide clean, low cost templates for overgrowth of thin, wider bandgap high performance cells, nearly doubling silicon's ultimate efficiency potential."

Oppsummering

- Veien til billigere solstrøm går gjennom høyere virkningsgrad
- De fleste høyeffektivitetskonseptene sliter med materialeknologiske utfordringer
- Tandemceller og trippelceller er unntaket og slike har allerede i dag høy eksperimentell virkningsgrad.
- Nye solcellematerialer og prisras på silisiumceller har gitt vind i seilene for forskning på silisiumbaserte tandem- og trippelceller.