

# **Fornybare energikilder og energilagringssystem basert på nanoteknologi**

Lars Egil Helseth

Institutt for Fysikk og Teknologi

Faglig-pedagogisk dag, Februar 2018





## Hva gjør jeg?

- Mikroskopi
- Overflatefysikk
- Sensorer basert på nanostrukturerte materialer
- Fornybar energi



- Solceller
- Regnceller

## Research groups of physics at UiB

- Akustikk
- Nanofysikk
- Elektronikk og måleteknologi
- Optikk og atomfysikk
- Petroleum og prosessteknologi
- Birkelandsenteret for romforskning
- Subatomisk fysikk
- Teoretisk fysikk, energi fysikk og prosessteknologi



# All aktivitet krever energi!

**Energi oppgis i Joule (J)**

**Effekt = Energi/tid (enhet Watt = Joule/sekund)**

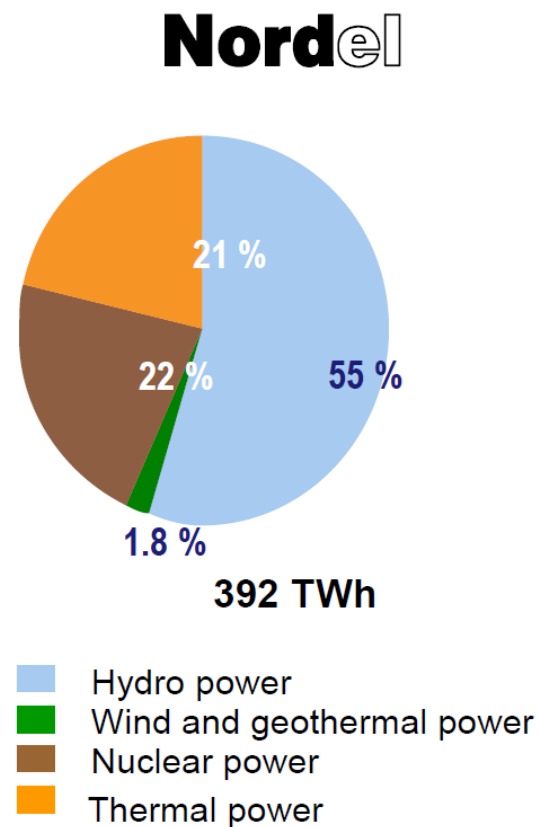
- **Sletting av 1 bit på hard-disken fører til varmetap på minst  $k_B T \approx 10^{-20}$  J**
- **Et søk på Google er anslått å kreve rundt 1 kJ**
- **En varmeovn som forbruker 1 kW elektrisk energi, vil i løpet av en time bruke energien  $1 \text{ kWh} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3.6 \text{ MJ}$ . På ett år blir dette  $365 \cdot 24 \cdot 1 \text{ kWh} \approx 9 \text{ MWh}$**
- **En gjennomsnittsnordmann bruker 26 MWh elektrisk energi per år (Nok til enten 3 varmeovner eller 94 millioner Google søk...)**





A map of Europe with pie charts representing electricity generation by country. The data is as follows:

| Country        | Generation (TWh) | Renewable % | Non-Renewable % |
|----------------|------------------|-------------|-----------------|
| Iceland        | 9                | 83%         | 17%             |
| Norway         | 131              | 99%         | 0.5%            |
| Sweden         | 143              | 46%         | 54%             |
| Finland        | 72               | 30%         | 70%             |
| United Kingdom | 37               | 13%         | 87%             |



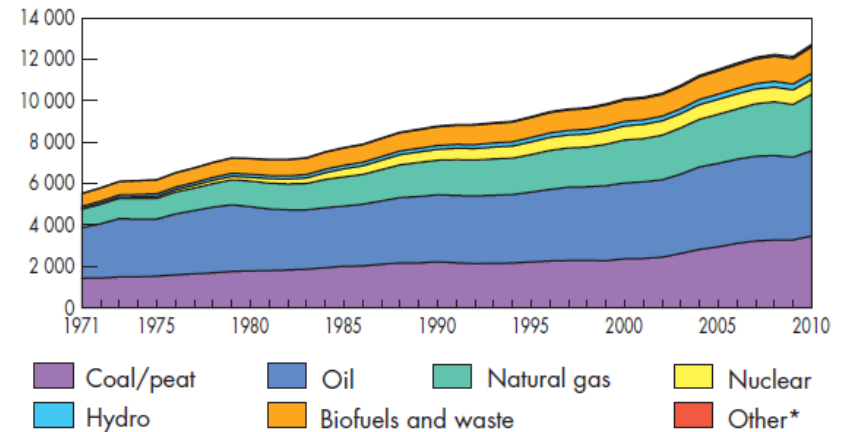
Juhani Keinonen, Bergen, March 23, 2007

[illegible]

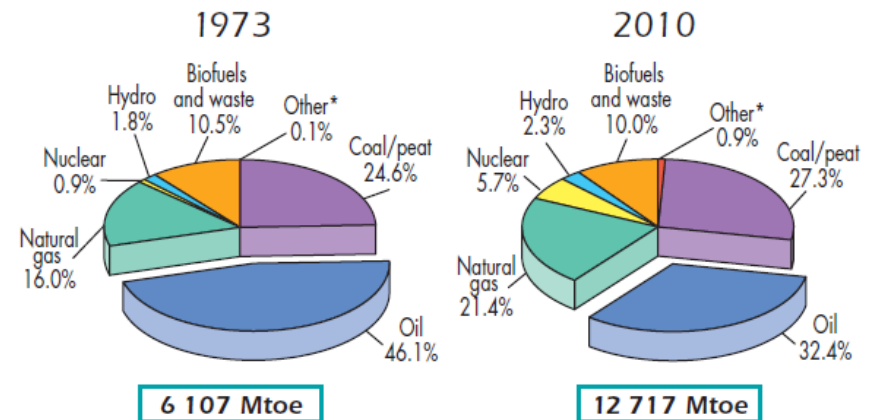


**Sammensetningen av verdens energiproduksjon har endret seg lite de siste 40 årene...**

World total primary energy supply from 1971 to 2010  
by fuel (Mtoe)



1973 and 2010 fuel shares of TPES

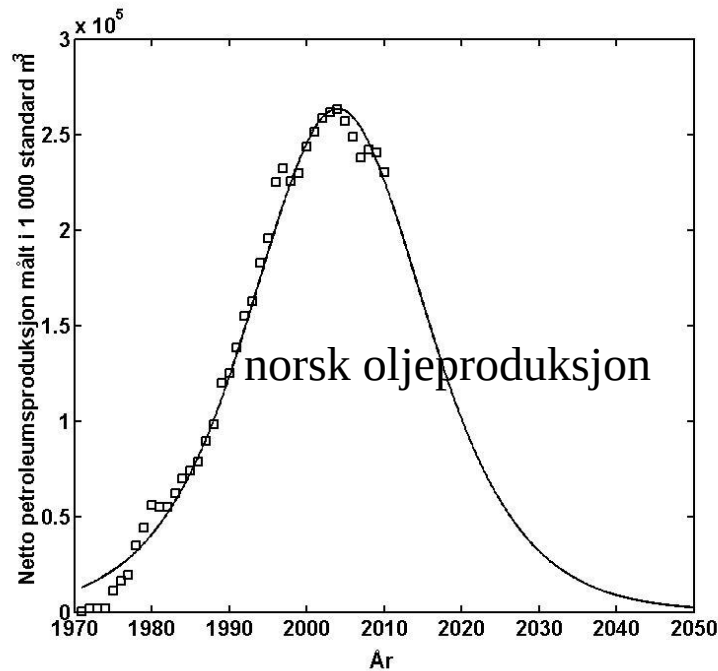


I figurene ovenfor er  $1 \text{ TWh} = 0.086 \text{ Mtoe}$

[www.iea.org](http://www.iea.org)

## Noen påstander:

- **Energiprisene kommer til å øke på storskala (dersom det blir mindre olje/gass tilgjengelig)**

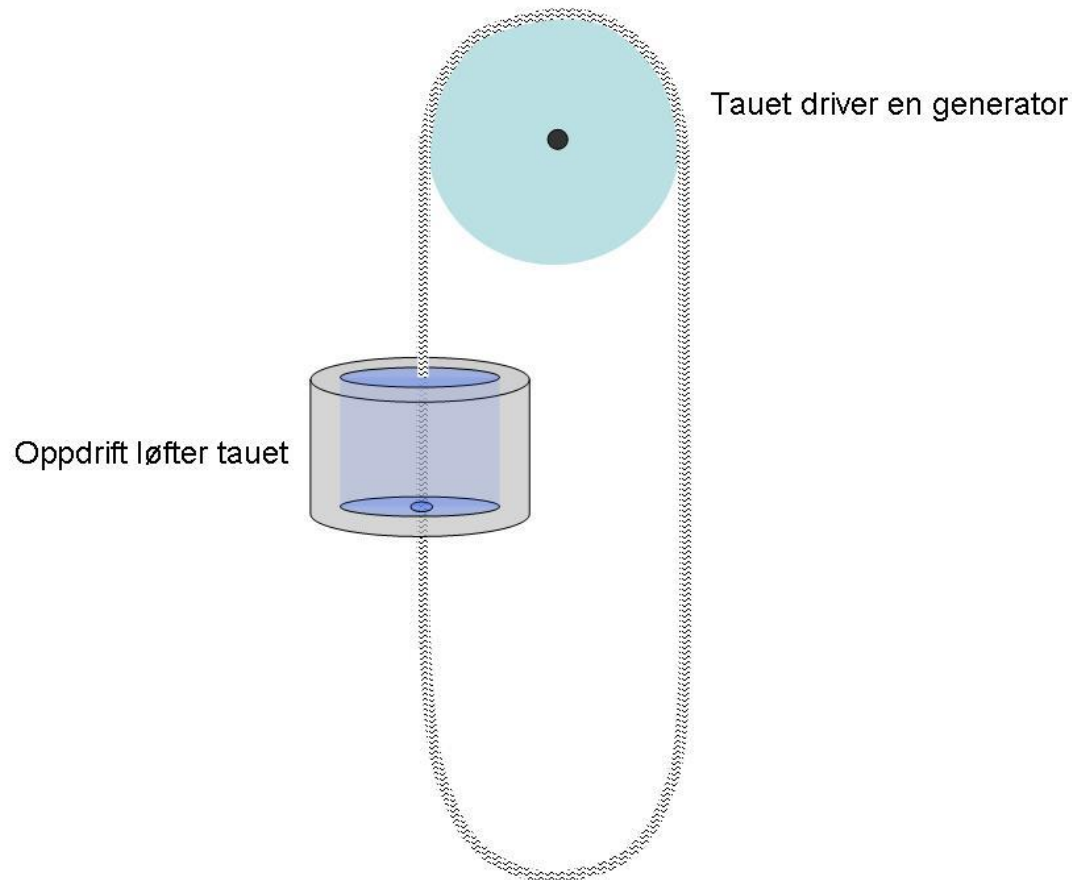


|                        | 2010 | 2020 | 2030 | 2035 |
|------------------------|------|------|------|------|
| Oljepris \$/fat        | 78   | 109  | 117  | 120  |
| Gasspris \$/MBtu       | 7,5  | 10,4 | 11,7 | 12,1 |
| Kull \$/tonn           | 99   | 106  | 109  | 110  |
| Co <sub>2</sub> €/tonn | 14,5 | 24   | 32   | 36   |

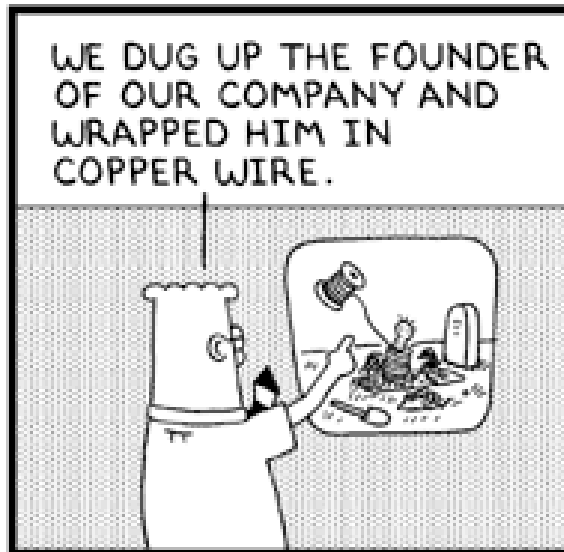
- **Energiprisene kommer til å minke på småskala (masseprodusert nanoteknologi)**
- **Demokratisk fordeling av goder krever at man omdanner elektrisk energi lokalt**

# Perpetuum mobile er løsningen på alle våre energiproblemer...(nei..)

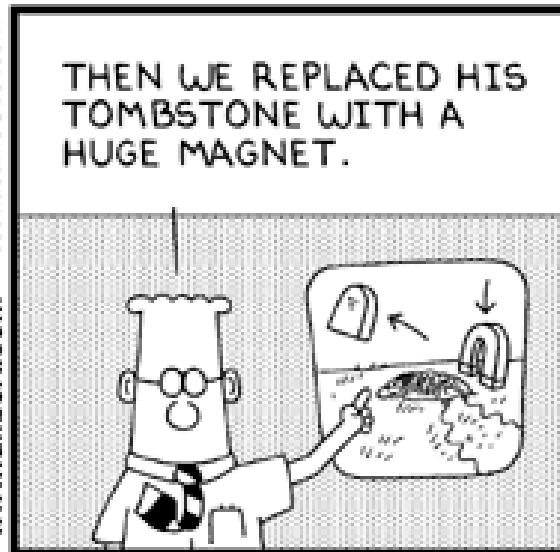
## Perpetuum mobile



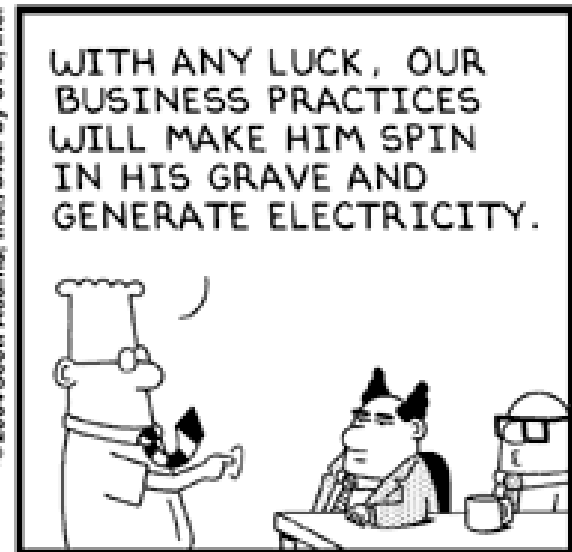
## Alternative energikilder (basert på alternative fakta)



www.dilbert.com  
scottadams@aol.com



1-202-070 2004 Scott Adams, Inc./Dist. by UFS, Inc.

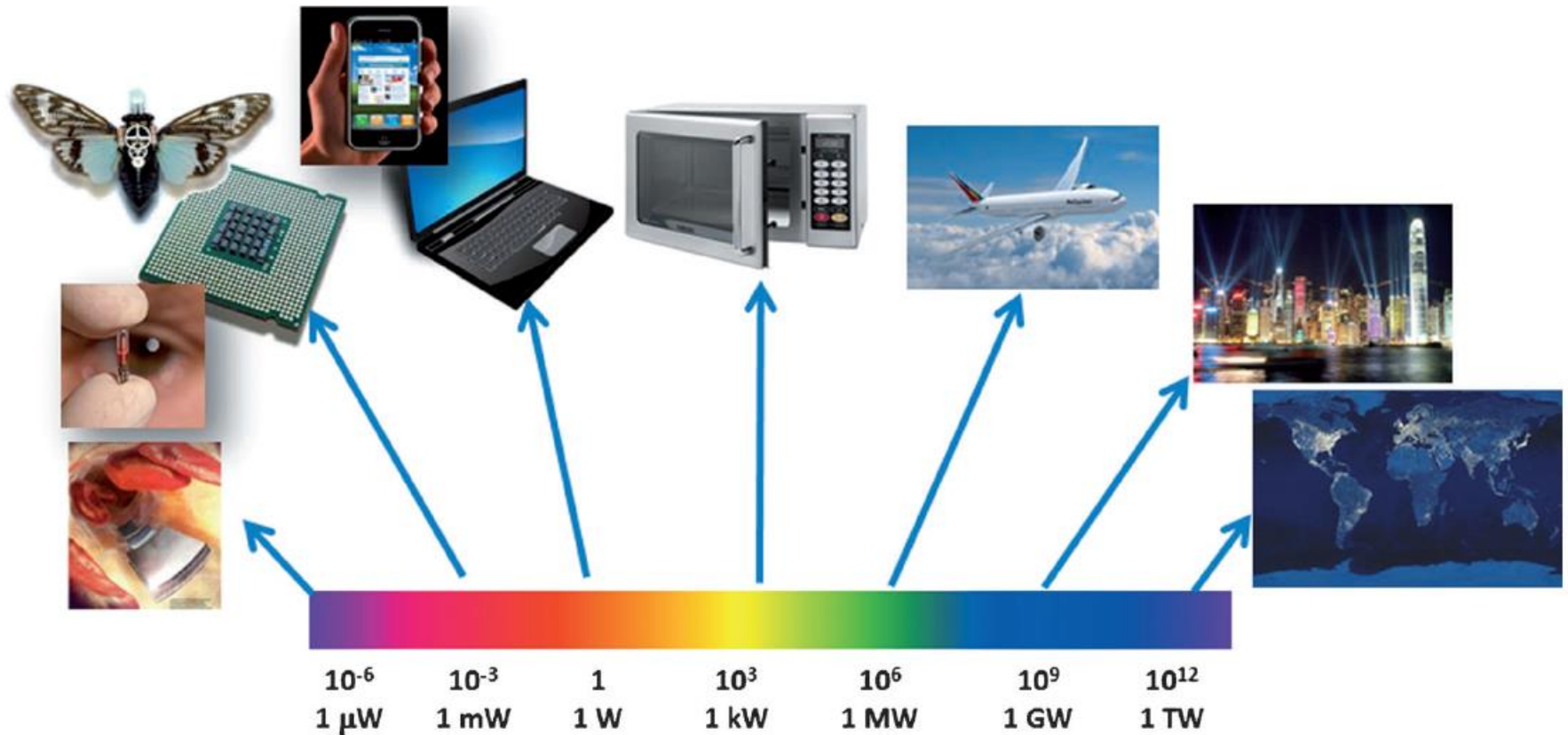


© UFS, Inc.



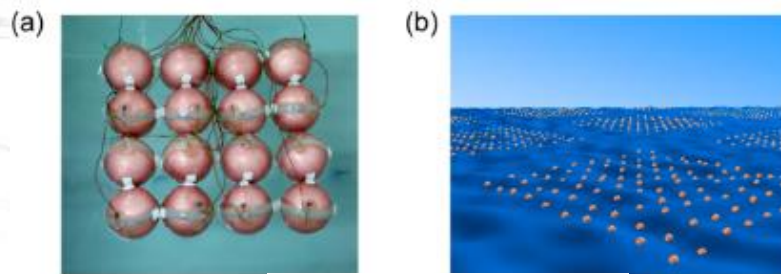
# Effektforbruk

Effekt = Energi/tid  
(enhet Watt)



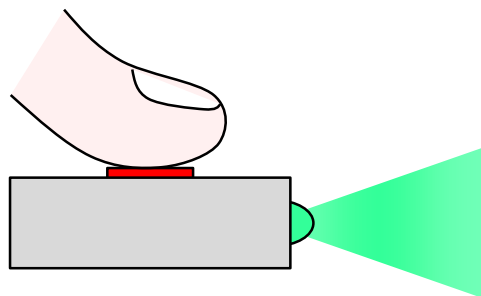
| Energikrav         | Fornybare energikilder                                                     | Hvorfor?                      |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Storskala (> 1 kW) | Både lokal og langtrekkende energi-innsamling: Sol, vind, hydro, geotermi  | Redusere avhengighet av olje  |
| Småskala (< 10 W)  | Lokal energiinnsamling fra lys, mikrobølger, vibrasjoner, kroppsvarme, etc | Drive selvgående sensorsystem |

## Hva skal småskala energisystem brukes til?



DOI: 10.1021/acsnano.7b08674

- Montere sensorer på hav og i værharde områder uten å måtte bytte/lade batteri



- Fjernkontroll uten batteri



PNAS | February 4, 2014 | vol. 111 | no. 5 | 1927–1932

- Bruke bevegelser i og utenfor kroppen til å generere energi (for å slippe batteri)
- Overvåke korrosjon på bygninger uten å bruke eksterne energikilder.
- Overvåke miljøparametre (salinitet, CO<sub>2</sub>, pH)
- Lade mobiltelefon/PC

# Eksempel på småskala system

| Type                    | Prinsipp                          | Effektetthet                        | Fordeler                                                                               | Bakdeler                                                       |
|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| <b>Solcelle</b>         | Fotovoltaisk                      | 10-100<br>$\text{mW}/\text{cm}^2$   | Lang levetid, høy<br>effektetthet,<br>kontinuerlig strøm,<br>moden teknologi           | Trenger dagslys                                                |
| <b>Regncelle</b>        | Kontaktloading                    | 10-100<br>$\mu\text{W}/\text{cm}^2$ | Billig og enkel, kan<br>monteres overalt<br>Ingen begrensing på<br>effektivitet (ennå) | Trenger regn, lav<br>effektetthet,<br>diskontinuerlig<br>strøm |
| Termoelektrisk<br>celle | Termoelektrisk                    | 10-100<br>$\mu\text{W}/\text{cm}^2$ | Lang levetid,<br>kontinuerlig strøm                                                    | Trenger<br>temperaturforskjell<br>er, lav effektetthet         |
| Vibrasjonscelle         | Piezoelektrisk,<br>kontaktloading | 1-10<br>$\text{mW}/\text{cm}^2$     | Liten, billig og<br>enkel,                                                             | Trenger mekaniske<br>vibrasjoner,<br>diskontinuerlig<br>strøm  |

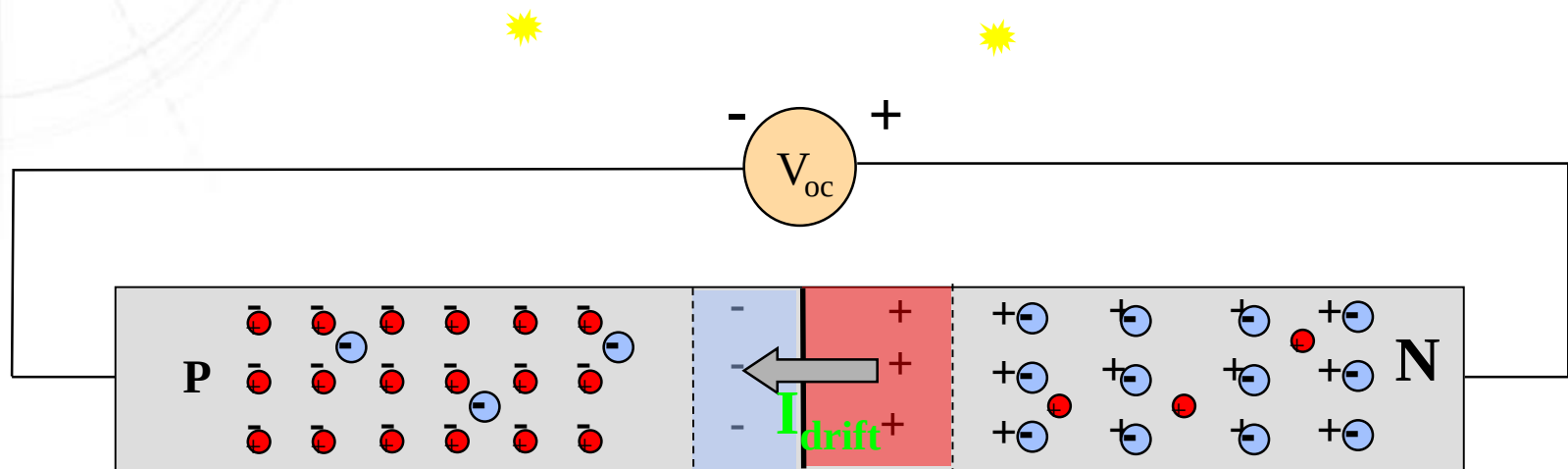


# Solceller



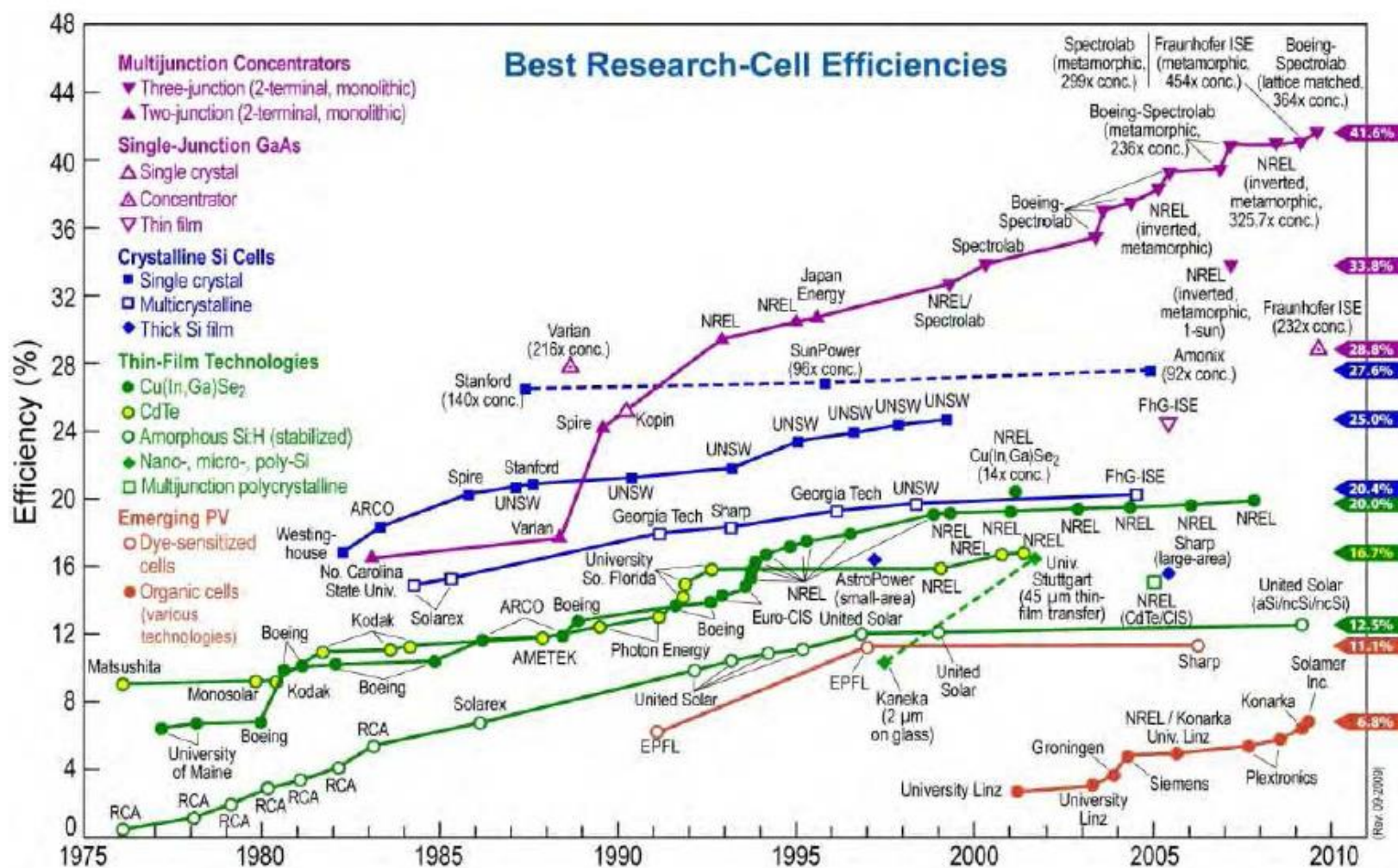


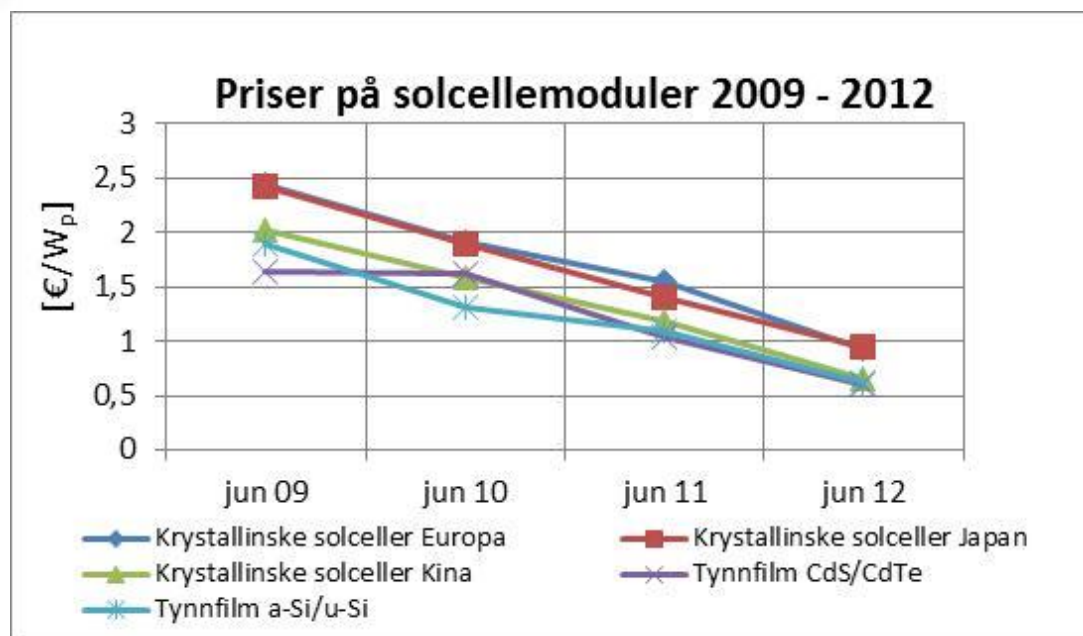
# Hvordan fungerer en solcelle basert på pn-overganger?



- Lys (fotoner) slår løs elektron-hull par nær pn-overgangen
- Elektronene og hullene dras av det elektriske feltet og skaper en strøm i kretsen

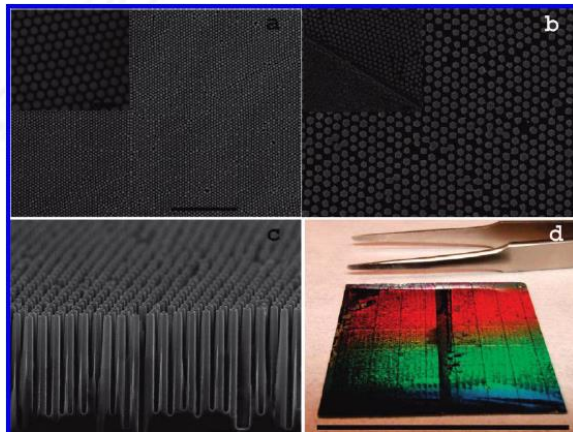
# Historisk utvikling av solcelle-effektivitet





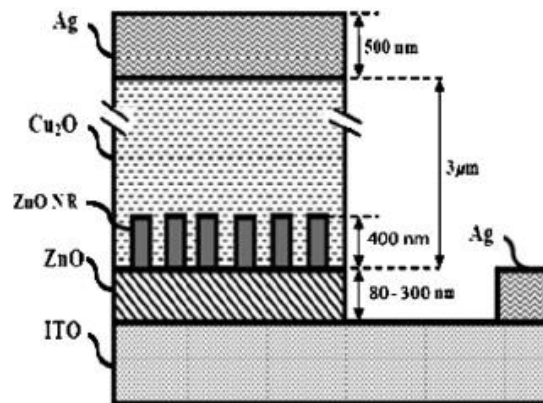


# Hva kan nanoteknologi gjøre for solceller?



| *Nano Lett.* **2010**, *10*, 1082-1087

- Økt lysinnfangning (opptil 73 ganger) over vanlige solceller



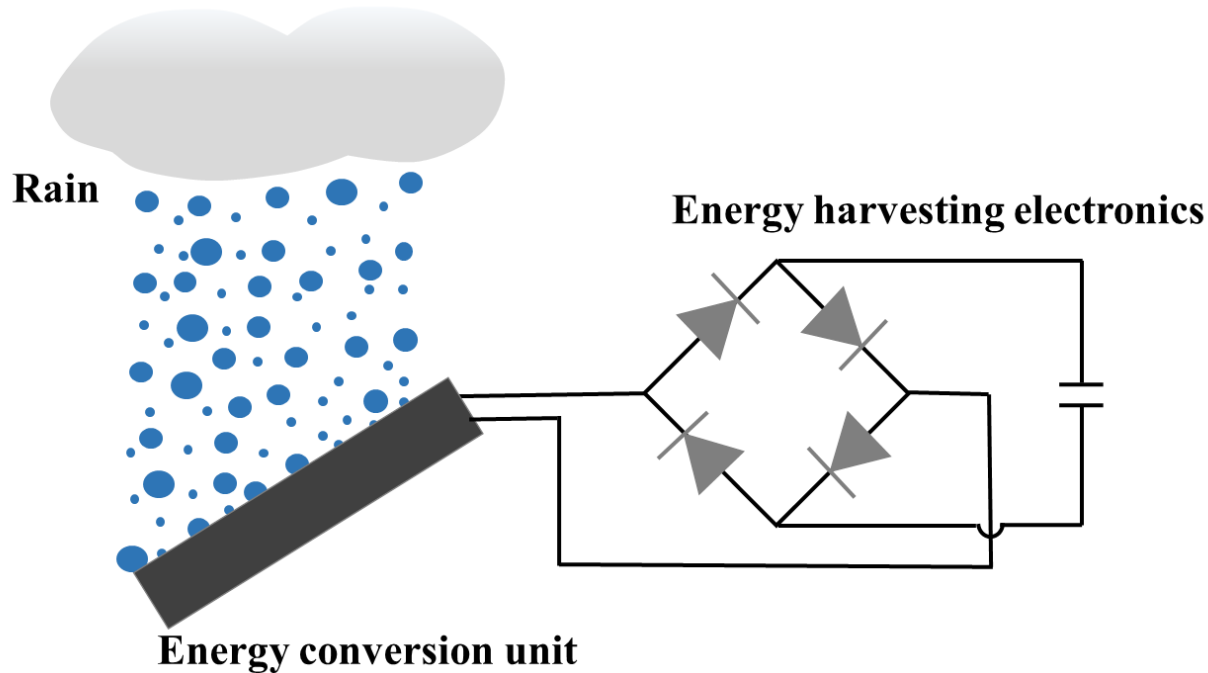
- Billigere produksjon enn dagens silisiumceller



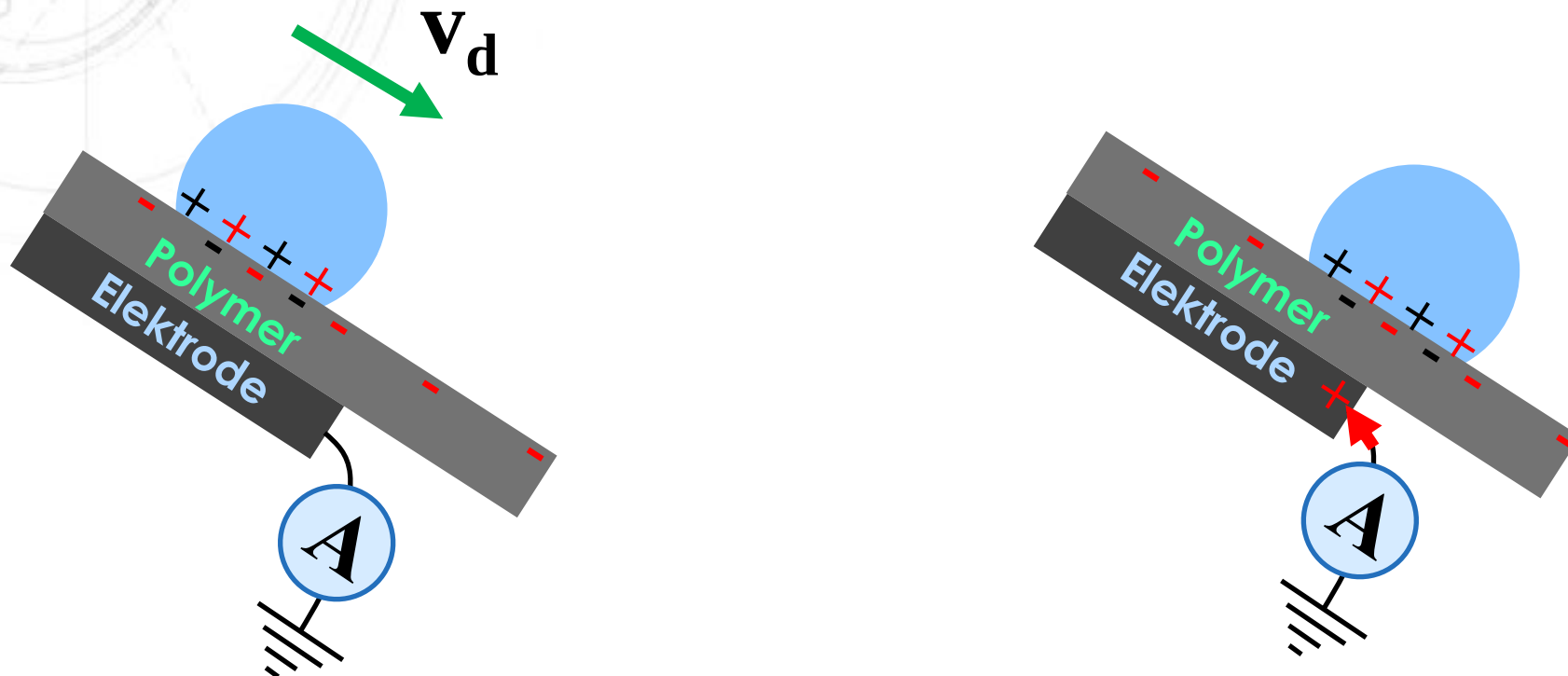
# Regnceller



# Kan vi omforme den mekaniske energien i regndråper direkte til elektrisk energi?

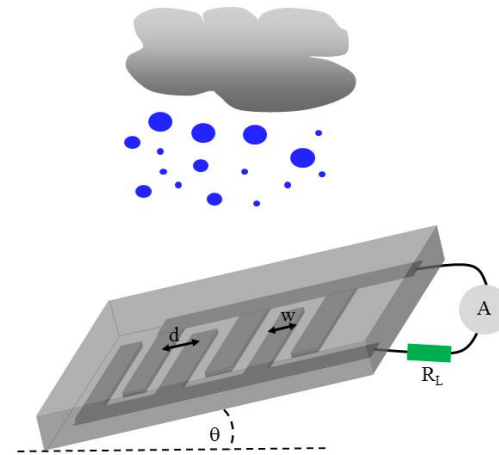
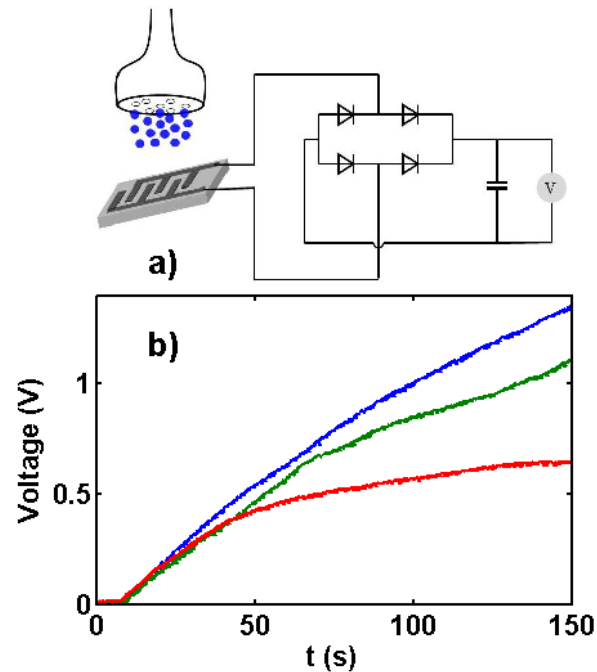


# Hvordan virker en regncelle?



- Ved kontakt vil OH-grupper i vann orientere seg mot polymeroverflaten
- Når vandråpen glir over kanten på elektroden induseres en strøm

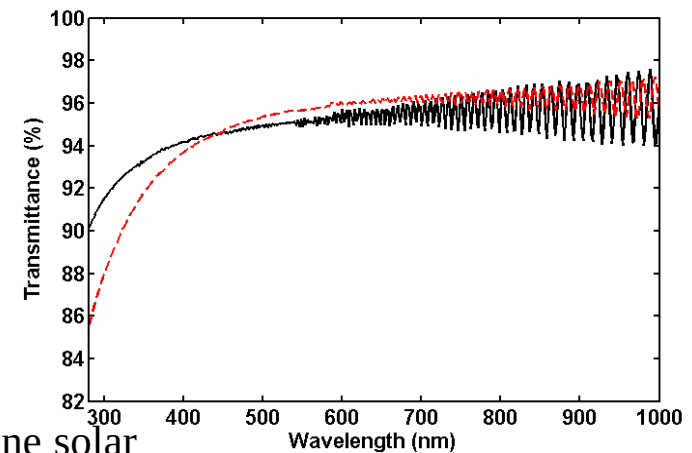
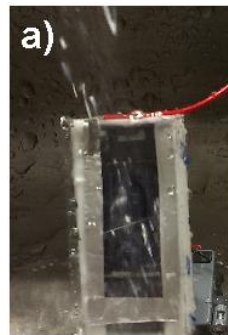
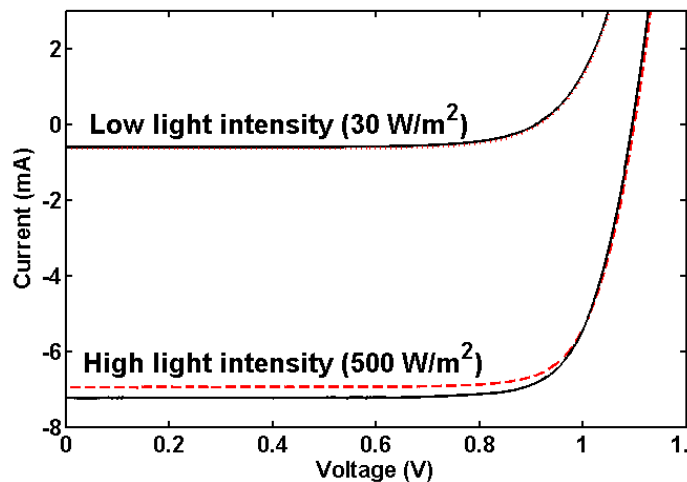
# Hvordan ser en regncelle ut?



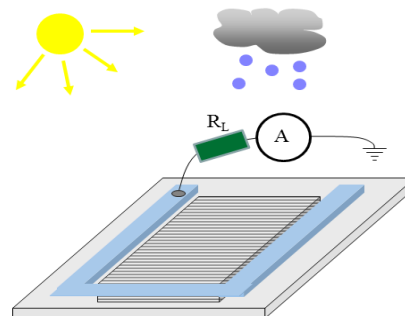
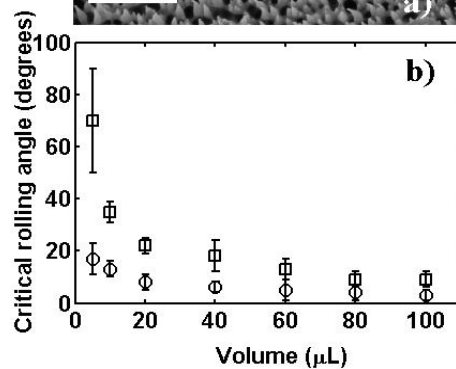
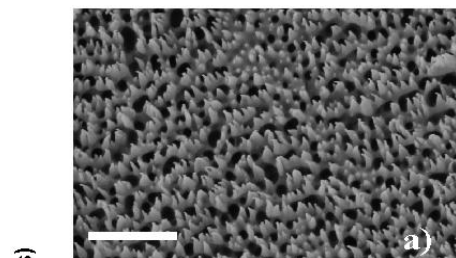
***L.E. Helseth X.D. Guo, Smart materials and structures, 2016 ;Volum 25:045007***



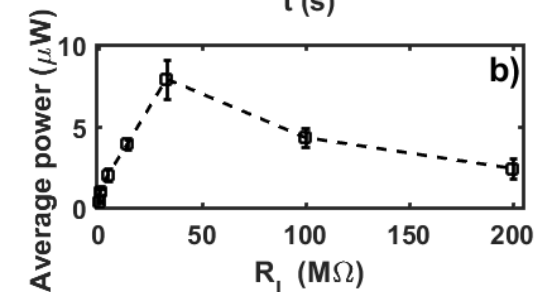
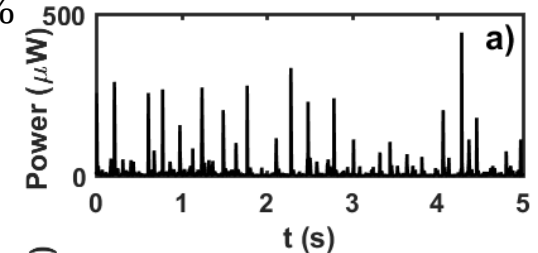
# Man kan kombinere solceller og regnceller



Commercial polycrystalline solar cell with efficiency about 9%

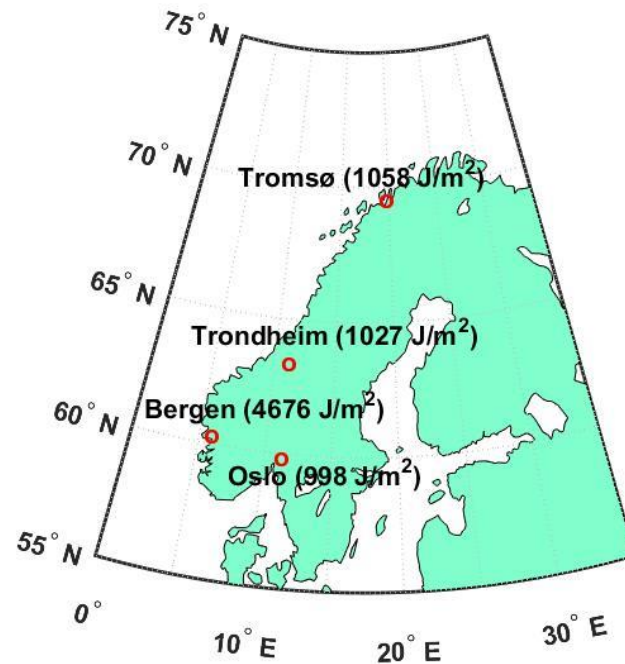


Hydrophobic polymer  
Metal electrode  
Window or solar cell



L.E. Helseth and X.D. Guo, *Renewable Energy*, 2016 ;Volume 99. s. 845-851

# Hva er potensialet til enkle regnceller?



**L.E. Helseth, and H.Z.  
Wen, *Energy*, 2017  
;Volum 119. s. 472-482**

Rain intensity transformed into electrical energy assuming 9% efficiency. Used 2015 rain intensity data from Norwegian Meteorological Institute (<http://eklima.met.no>) to calculate energy.

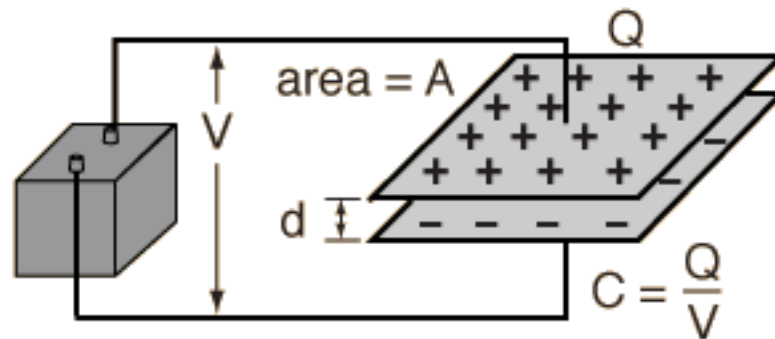
**Ved å øke kontaktarealet mellom vann og polymer kan man øke den elektriske energien....nanostrukturering!!!**

# Hvordan bidrar nanoteknologi til lagring av energi?



# Elektrisk energi kan lagres i en kondensator.

## Hvordan virker en vanlig kondensator?



$$C = \frac{Q}{V}$$

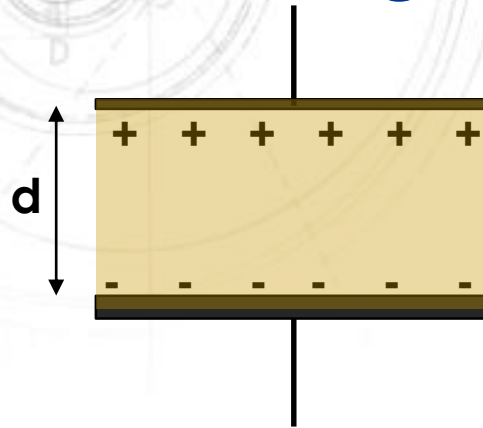
Unit =  $\frac{\text{coulomb}}{\text{volt}} = \text{Farad}$

A diagram of a parallel plate capacitor. The top plate is labeled 'Plate area A' and has '+' signs. The bottom plate has '-' signs. The distance between the plates is labeled 'd'. The formula for capacitance is given as  $C = \frac{\epsilon A}{d}$ .

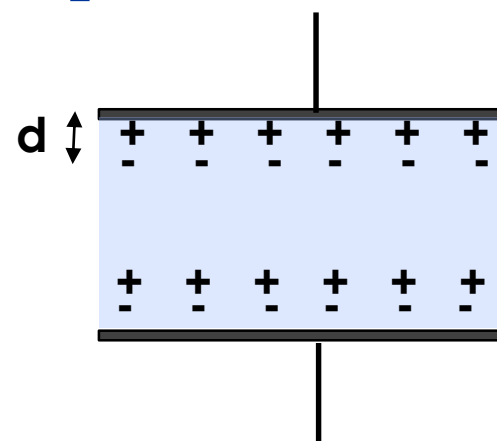
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electric/capac.html#c1>



# Vanlig kondensator versus superkondensator

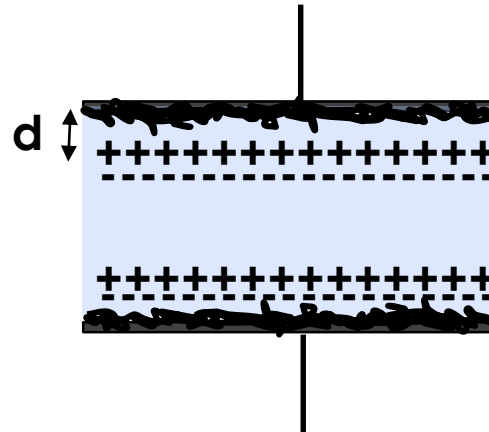


**Faststoff kondensator ( $d > 1\mu\text{m}$ )**



**Elektrolytt kondensator ( $d < 10\text{ nm}$ )**

$$C = \frac{\epsilon A}{d}$$

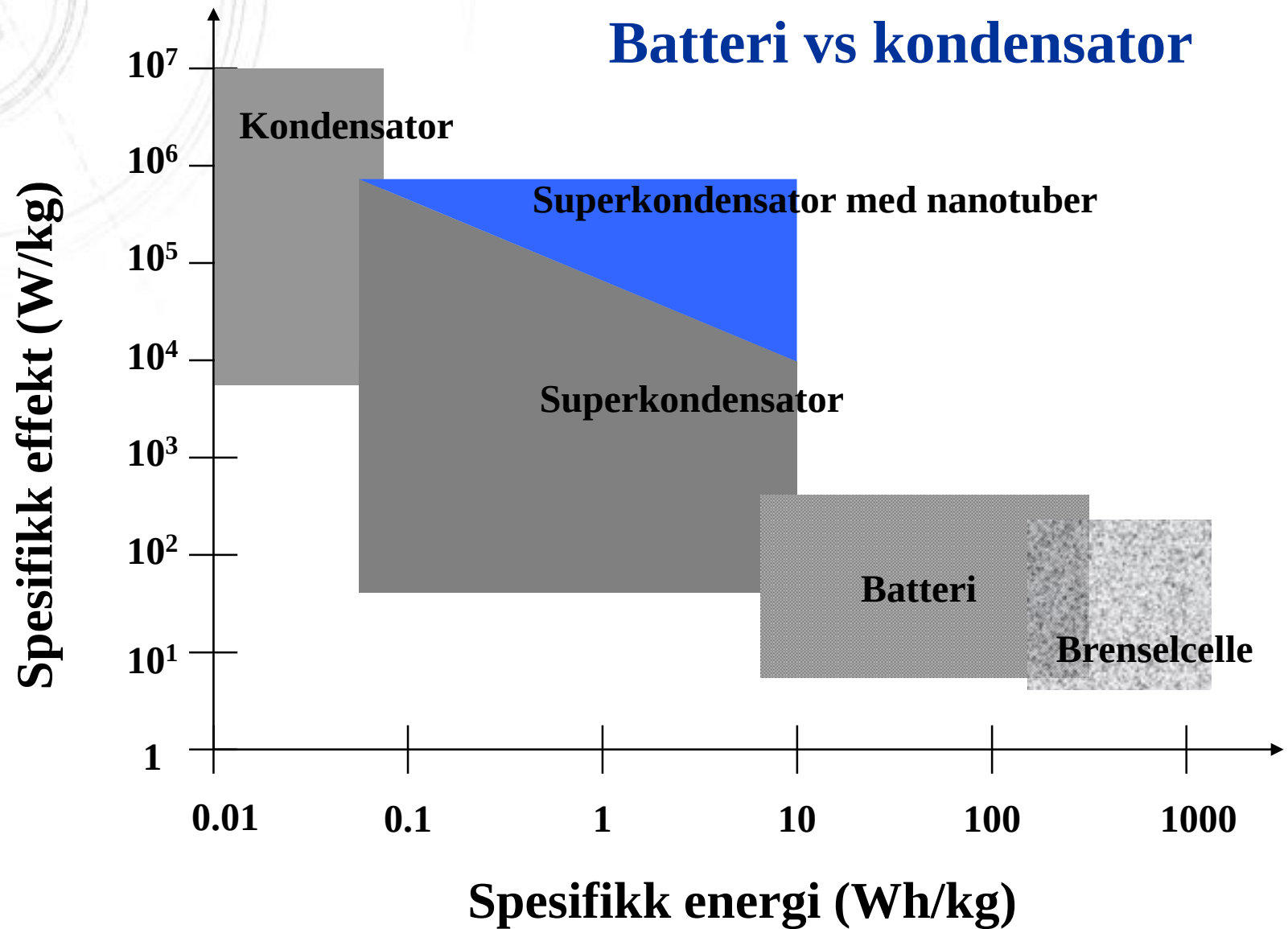


**Superkondensator ( $d < 10\text{ nm}$  og  $A$  stor)**

-Bruker nanokarbon til å lage stor  $A$  ( $> 1000\text{ m}^2/\text{g}$ ) og liten  $d$  ( $< 1\text{ nm}$ ). Dette gir  $> 10\text{ F/g}$ .

-Kapasitans større enn  $100\text{ F}$  er ikke uvanlig

# Batteri vs kondensator



# Hva kan man bruke superkondensatorer til?



**Fig. 1.** Hybrid diesel/electric rubber tired gantry crane with an electrochemical capacitor energy storage system. This crane is used for loading and unloading container ships. The capacitor system captures and stores regenerative energy during load lowering that is then used to help raise the next load, resulting in improved efficiency and greatly reduces air emissions. (Photo courtesy of Nippon Chemi-Con Corporation.)



**Fig. 2.** Hybrid city transit bus that uses an electrochemical capacitor energy storage system. Typical charge/discharge periods may be forty seconds in this application with continuous 16-hours-per-day operation (>1000 charge/discharge cycles each day). (Photo courtesy of ISE Corporation.)

## Electrochemical Capacitors: Challenges and Opportunities for Real-World Applications

by John R. Miller and Andrew F. Burke

The Electrochemical Society *Interface* • Spring 2008



**Fig. 4.** Capacitor powered screwdriver that is fully charged in 90 seconds. This product is aimed primarily at the home "do-it-yourself" market where battery powered tools are invariably discharged due to their infrequent use and also require longer times to prepare for operation.

**Takk for at dere ikke sovnet!!**

