



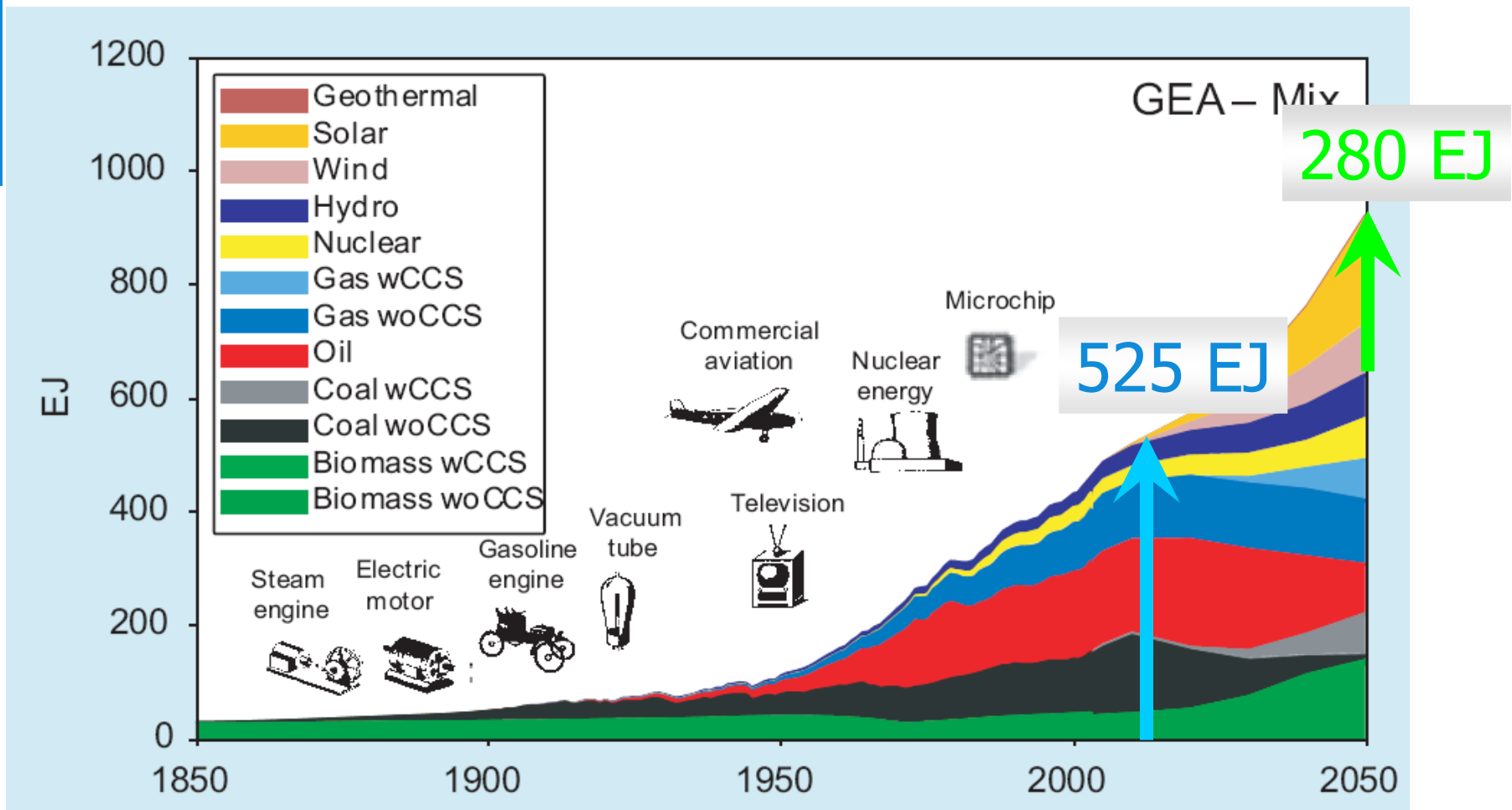
# Energie-opslag:

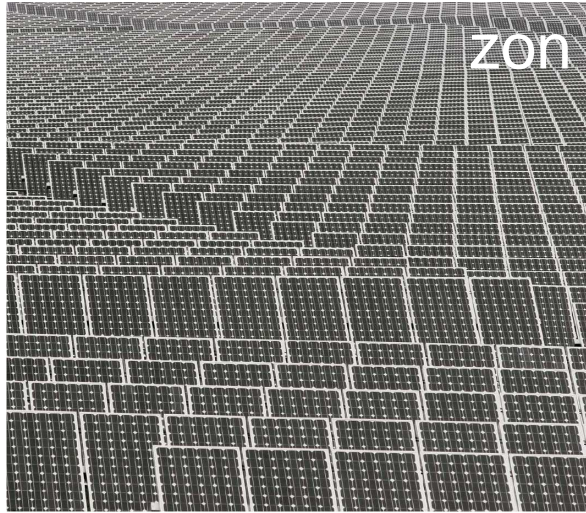
*Waarom  
Wanneer  
Hoeveel  
Hoe*

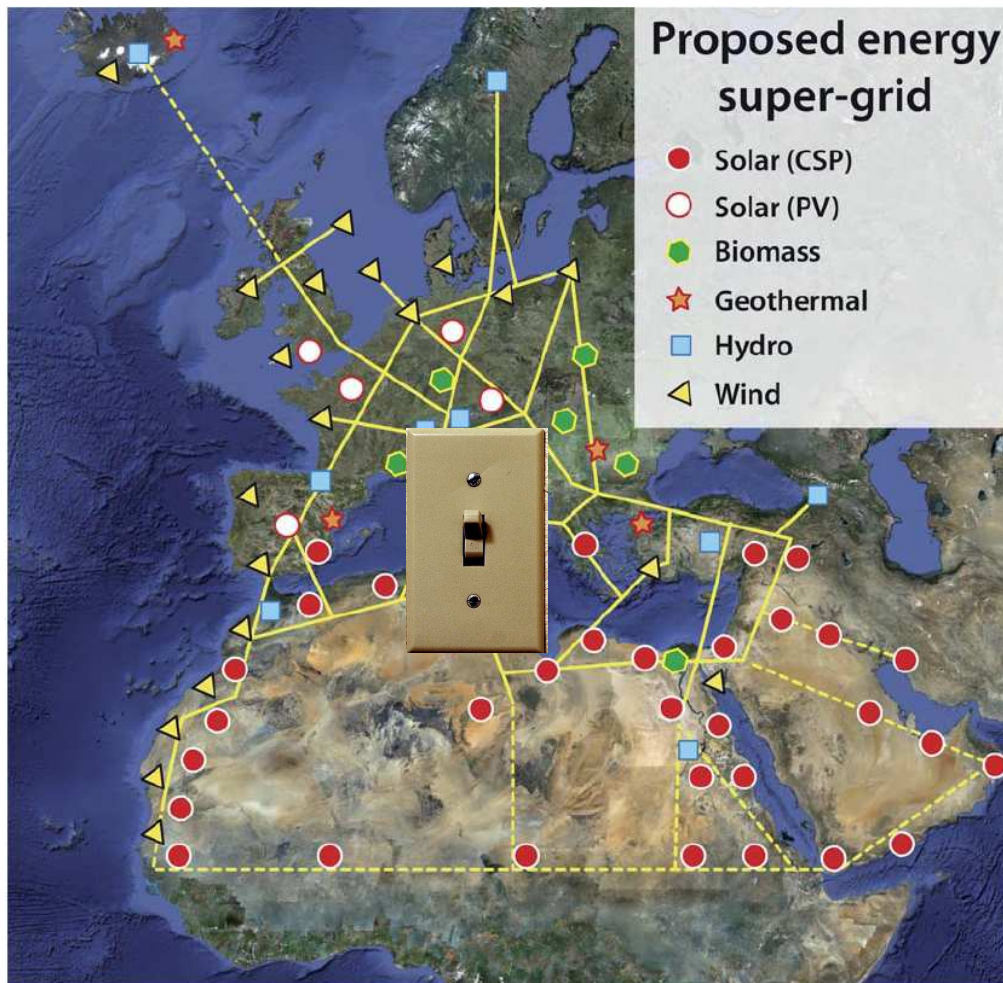
Prof. dr Fokko Mulder  
Faculty of Applied Sciences  
TU Delft

f.m.mulder@tudelft.nl

# Global Energy Assessment 2012







Licht knopje  
op hele continenten!

DESERTEC plan

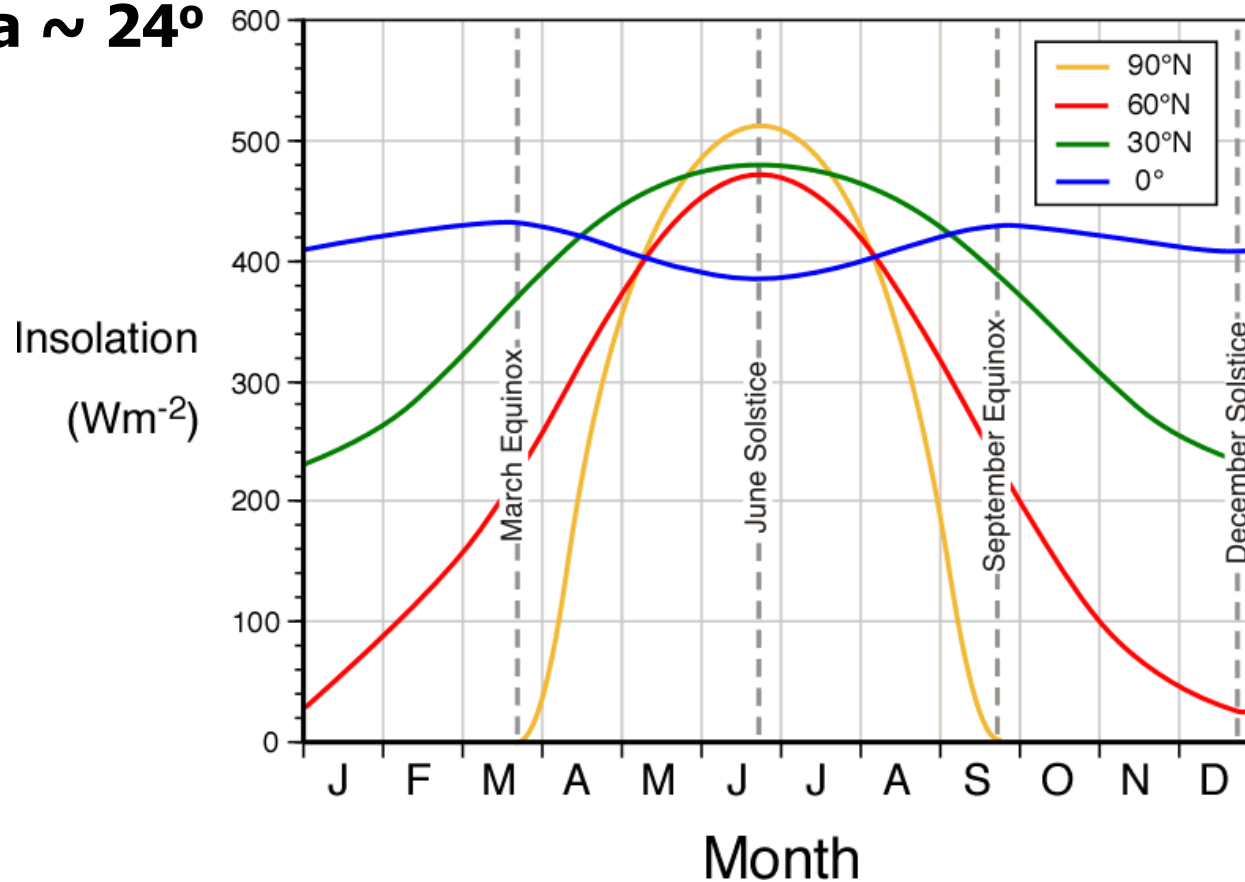
0°

De hoeveelheid zonlicht varieert sterk door het jaar heen en over de breedte graden:

**NL: 54°**

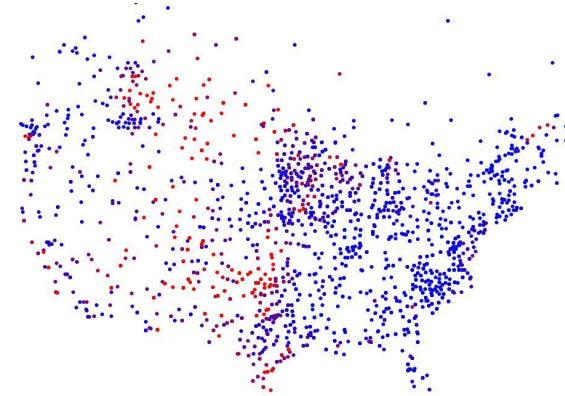
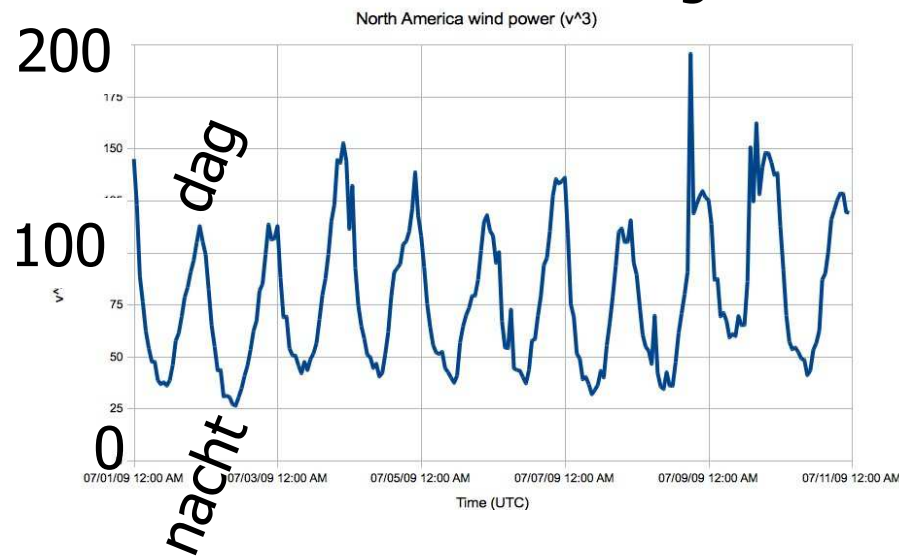
**Spanje ~ 40°**

**Sahara ~ 24°**

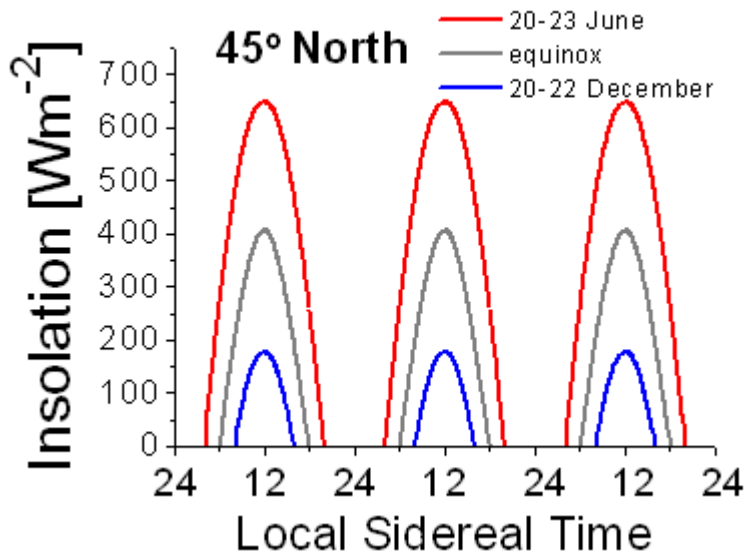


# Windkracht varieert systematisch, als men kijkt naar het gemiddelde van grote landoppervlakken

Gemiddelde windenergie  $\propto v^3$

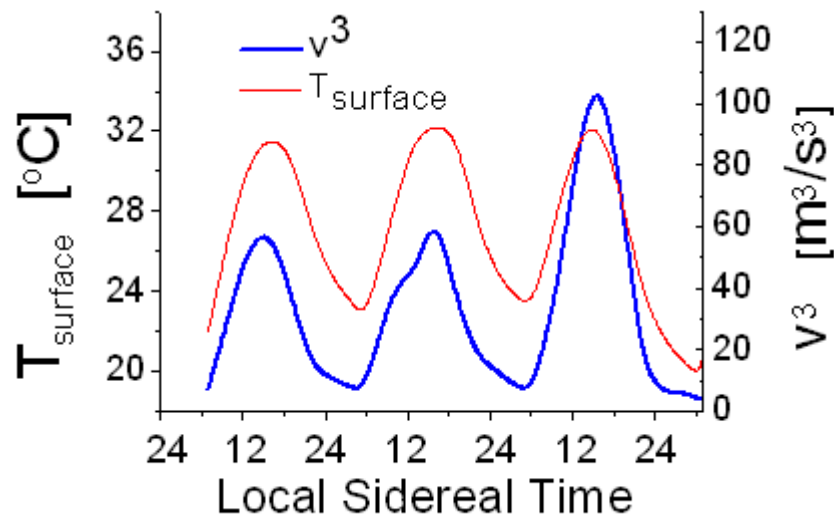


Meetpunten over oppervlak van de VS



Zon gemiddelde van DESERTEC:

- Grote variaties gedurende dag/nacht
- Grote variaties gedurende seizoenen



Wind  $\sim v^3$ :

Ook grote variaties gedurende de dag: wind wordt gedreven door temperatuur (zichtbaar bij groot grid, b.v. 3000x3000km<sup>2</sup>)

Heb ik iets gemist?



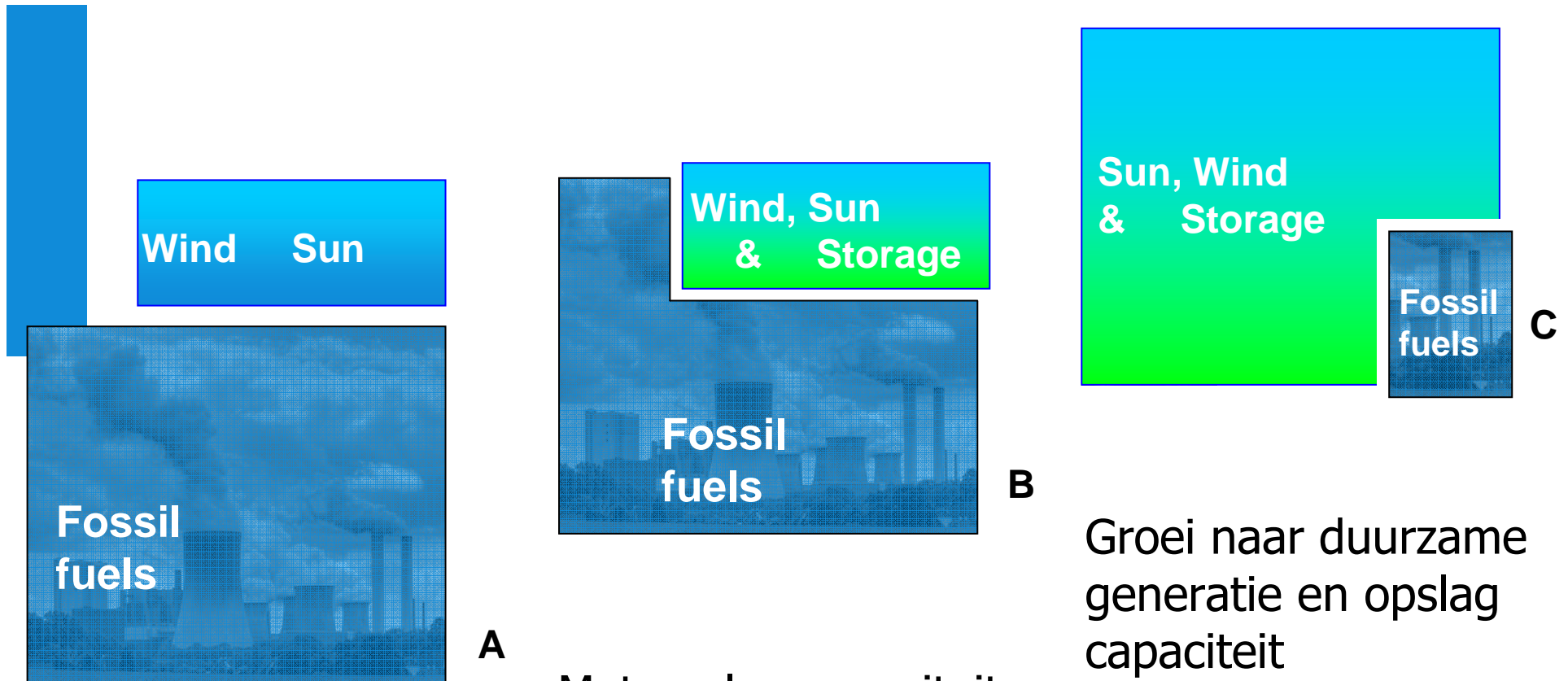
**Energie opslag!**



## Hoe wordt nu omgegaan met deze variatie?

- Aan en uitschakelen van energiecentrales die draaien op fossiele brandstof
- Men kan overdag (nog) transporteren naar burelen die minder produceren
- Een beetje opslag





Huidige situatie:  
 bijna volledige  
 fossiele capaciteit  
 blijft nodig

A

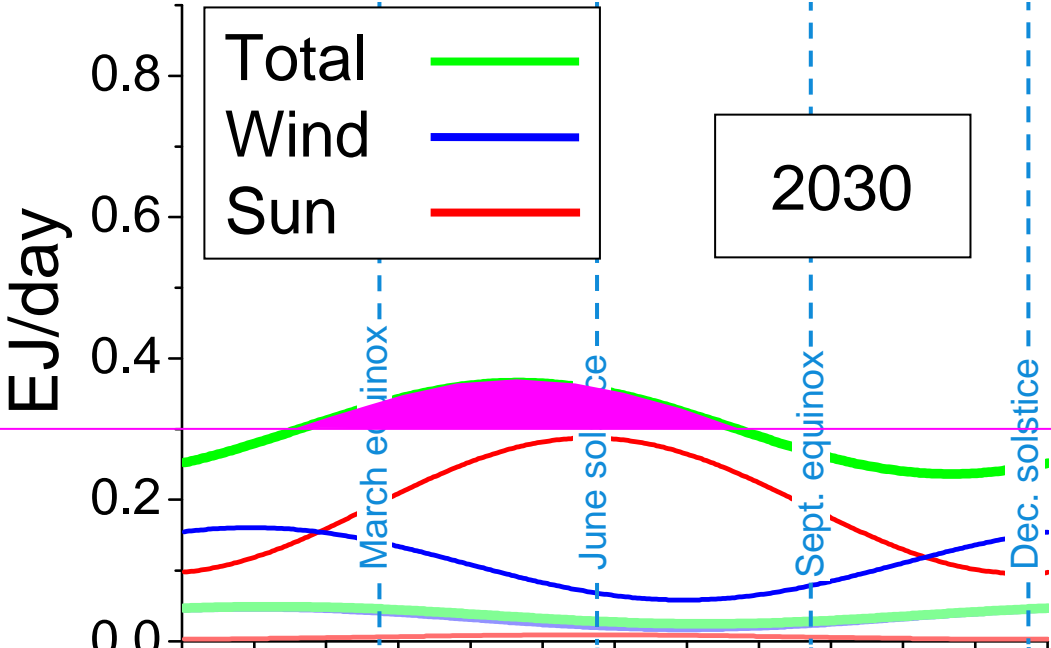
Met opslag capaciteit:  
 fossiele capaciteit  
 kan verminderd  
 worden

B

Groei naar duurzame  
 generatie en opslag  
 capaciteit

C

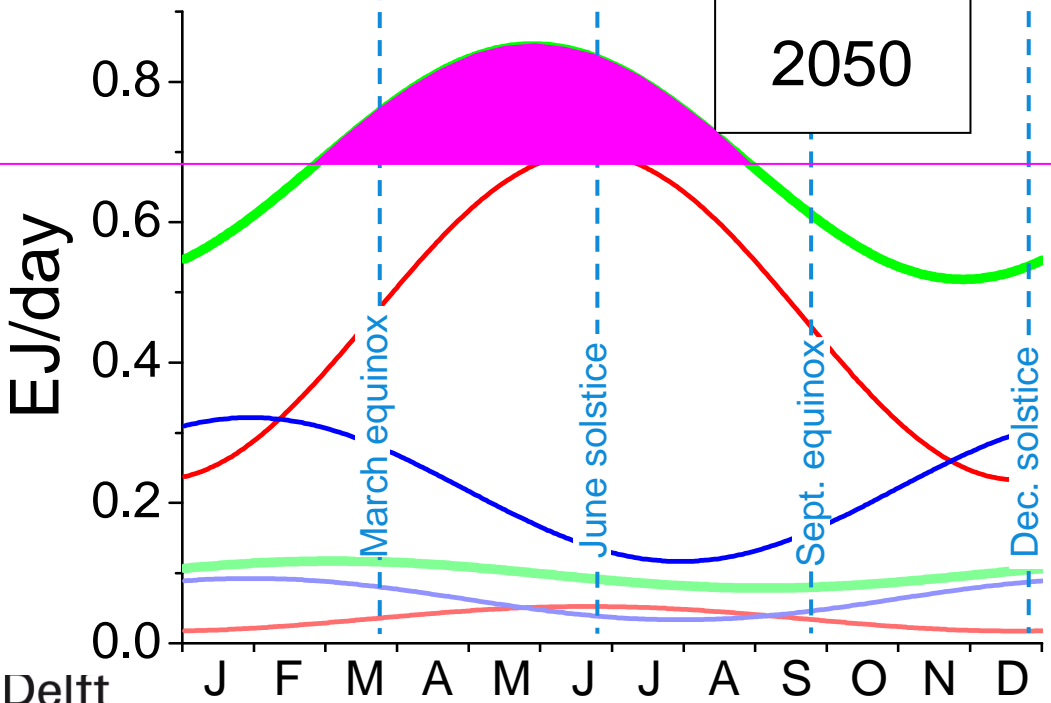
# Wereld seizoens energie-opslag



GEA

7.6 EJ =  
2100TWh

IPCC



19 EJ =  
5300TWh

Mulder,  
submitted

## Energie-opslag:

*Waarom*

*Wanneer:*

*Hoeveel:*

*Hoe*

Dagelijks en seizoenen,  
korte en lange termijn

0.15-0.3EJ voor dag/nacht opslag  
en 8 / 20EJ/seizoen in 2030/2050

Huidig energiegebruik:

Wereld  $\sim 525$  EJ/jaar = 1.44 EJ/dag

NL  $\sim 3.3$  EJ/jaar = 0.62% van wereld

## Hoeveel is dat voor NL in 2030?

dag/nacht opslag =  
250 GWh =  
25 GW centrales die 10 uur aanstaan overdag

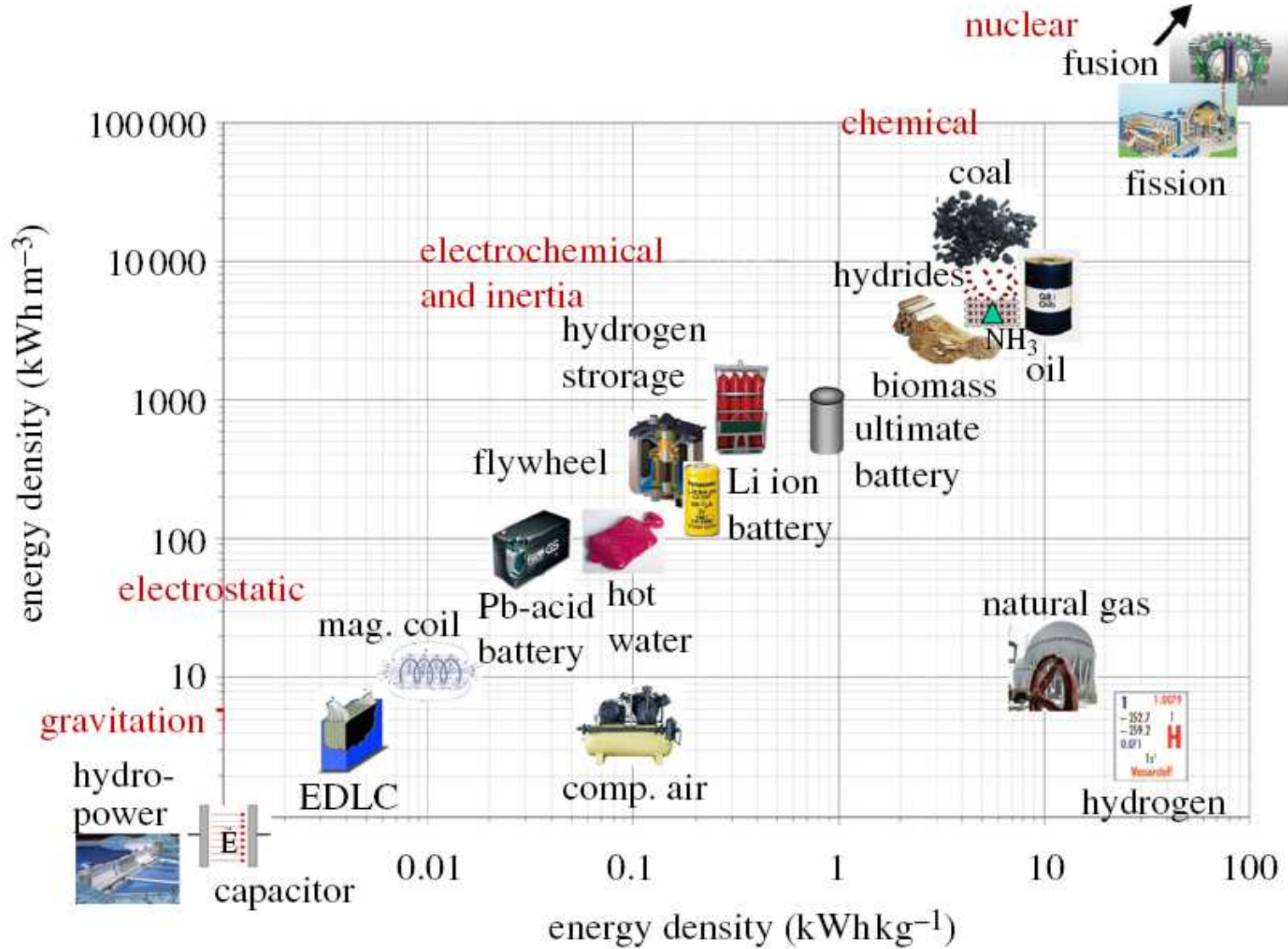
Seizoensopslag in 2030 =  
13000 GWh =  
13 GW centrales die 100 'zomer' dagen 10 uur aanstaan



Energie-opslag:

*Waarom*  
*Wanneer*  
*Hoeveel*  
*Hoe?*

# Energie inhoud van opslagtechnologieën



# Batterijen voor korte termijn opslag?

250GWh korte termijn opslag in 2030

→ Dat is  $\sim 36$  kWh per huishouden

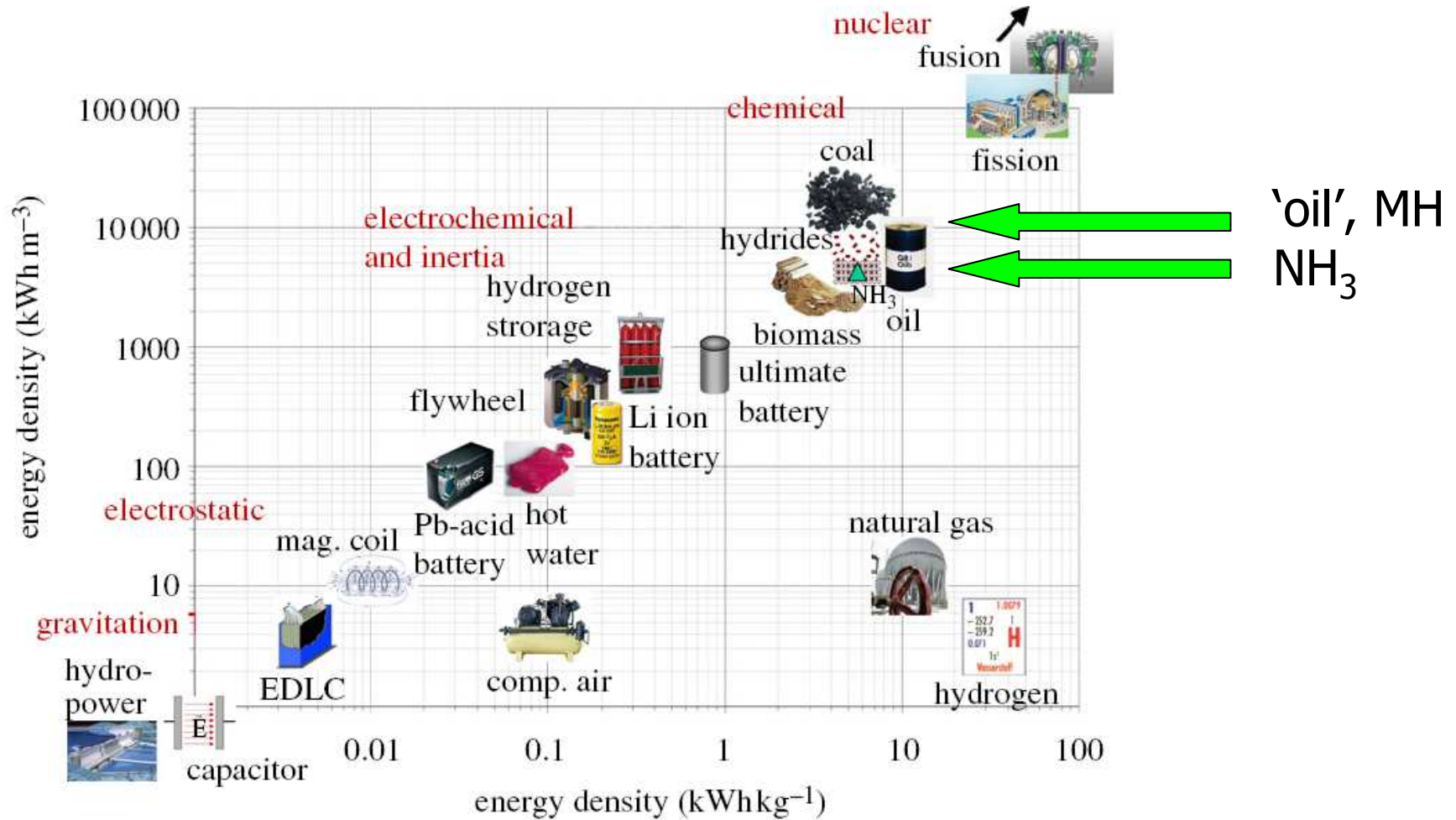
$\sim$  accu van elektrische auto per huishouden

## ***R&D nodig aan essentiële factoren:***

- *Energiedichtheid (kWh/€, kWh/L, kWh/kg)*
- *Dagelijks laden en ontladen gedurende vele jaren (10000 x)*
- *Kosten*
- *Veiligheid*



# Brandstoffen voor seizoensopslag



# Brandstoffen

13000GWh opslag in NL in 2030, kan dat?

Met brandstoffen wel:

**Fossiel: 1.3 Mton olie**



Helft van Maasvlakte  
Olie terminals

**Duurzaam: 0.3 Mton waterstof**

**2.4 Mton (m)ethanol**

**4.9 Mton ammonia**



Er zijn opslagtanks  
in NL met  
50000 ton





## ***R&D nodig aan essentiële factoren:***

- *Brandstoffen maken uit elektriciteit, licht, water, CO<sub>2</sub> en stikstof*
- *Opslag van brandstoffen zoals waterstof*
- *Speciale eisen voor transport-brandstoffen*
- *Gebruik van de brandstoffen in oa brandstofcellen*
- *Energie-efficiëntie*
- *Kosten*
- *Veiligheid*

## Warmte opslag

- Lage temperatuur: air conditioning met warm/koud in water diep in de grond (capaciteit gelimiteerd in dichtbevolkt gebied)
- Hoge temperatuur: concentrated solar power: sla warmte gedeeltelijk op voor 's nachts (niet lang houdbaar)



# Waterkracht als opslag?



Llyn Stwlan  
North Wales  
1.3GWh



## Pumped hydropower op Noordzee?

Capaciteit: 20GWh → 2030 ~ 12 eenheden nodig voor **1 dag** NL energieopslag

*Lage capaciteit, hoge kosten, geen seizoensopslag*



250GWh = 2 keer IJsselmeer leegpompen  
(per dag)

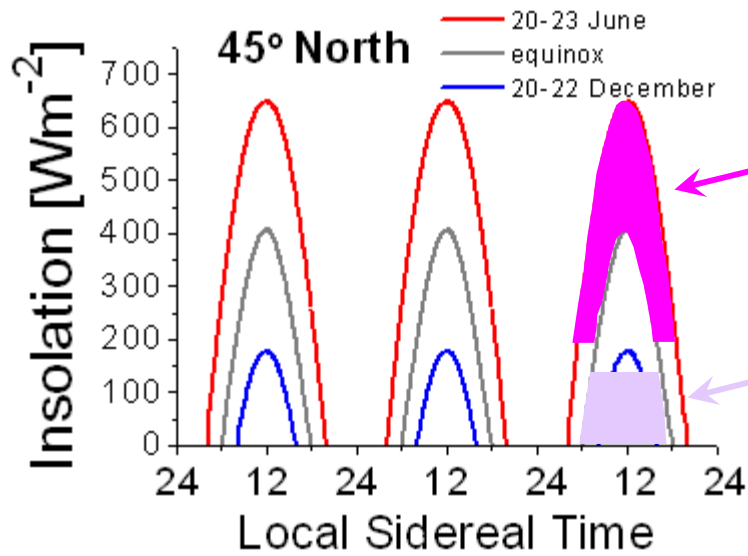




# Energy storage for enabling large scale renewable energy

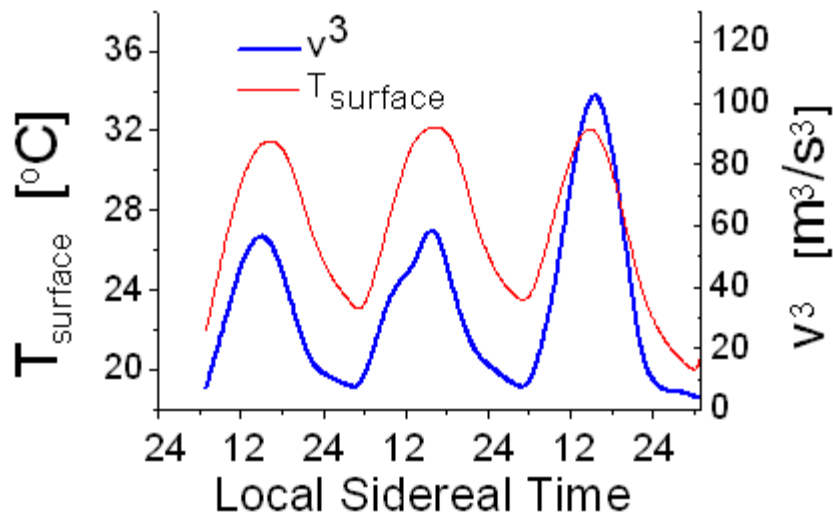






**Seizoens brandstoffen opslag**      **warmte**

**Dag/nacht opslag**      **batterijen hitte**



# *Wereldwijd* smart grid

Dag-nacht  
compensatie



seizoenen

- €ostly; 20000 – 30000 km, >1000GW
- Lange afstand voor elektriciteit transport: verlies tot 60%