

# WOESTIJNSTROOM DE OPLOSSING!

- × Concentrated Solar Power in de hernieuwbare energiemix

Vereniging voor  
ZonneKrachtCentrales

Postbus 562  
2800 AN Gouda



[www.zonnekrachtcentrales.nl](http://www.zonnekrachtcentrales.nl)  
[www.vzkc.nl](http://www.vzkc.nl)

# WAT KOMT ER AAN DE ORDE

## × Inleiding: Het probleem

1. Klimaatverandering
2. Milieuvervuiling
3. Energie steeds duurder
4. Afhankelijkheid

## × De oplossing

1. De Desertec visie
2. Wat is CSP
3. Vormen van CSP
4. CSP in de energiemix

## × Details CSP centrales

1. Trogspiegelcentrales
2. Torencentrales

## × Transport

## × Energiescenario's

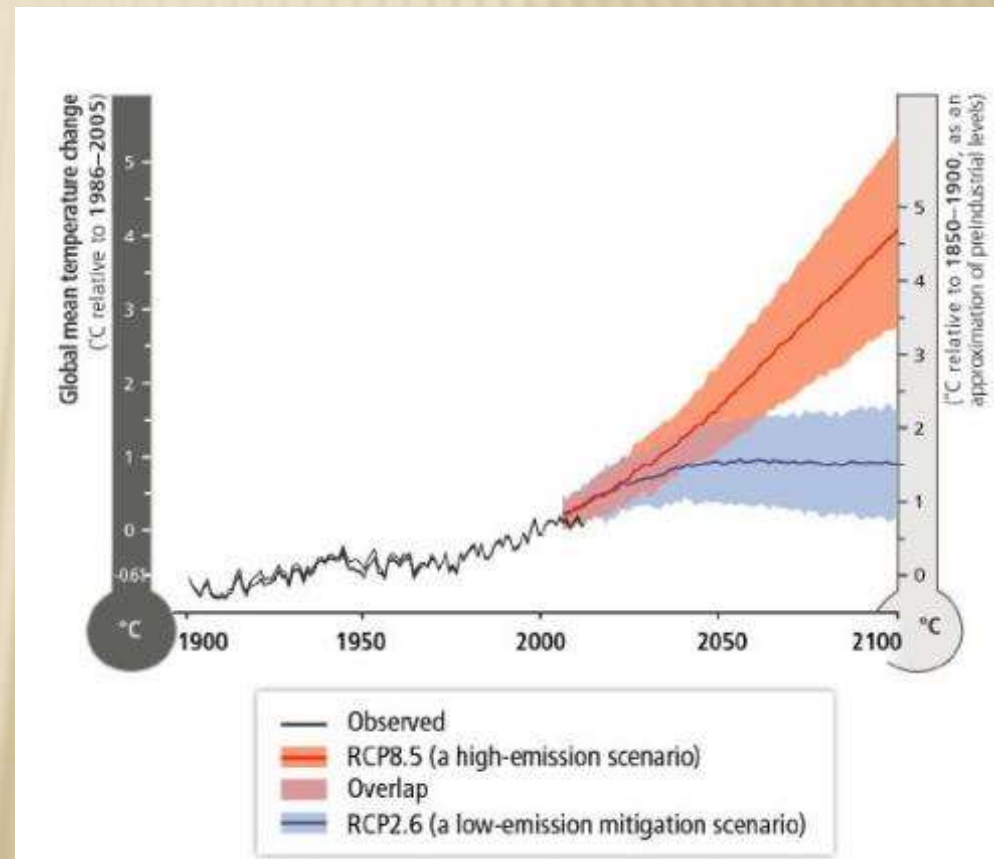
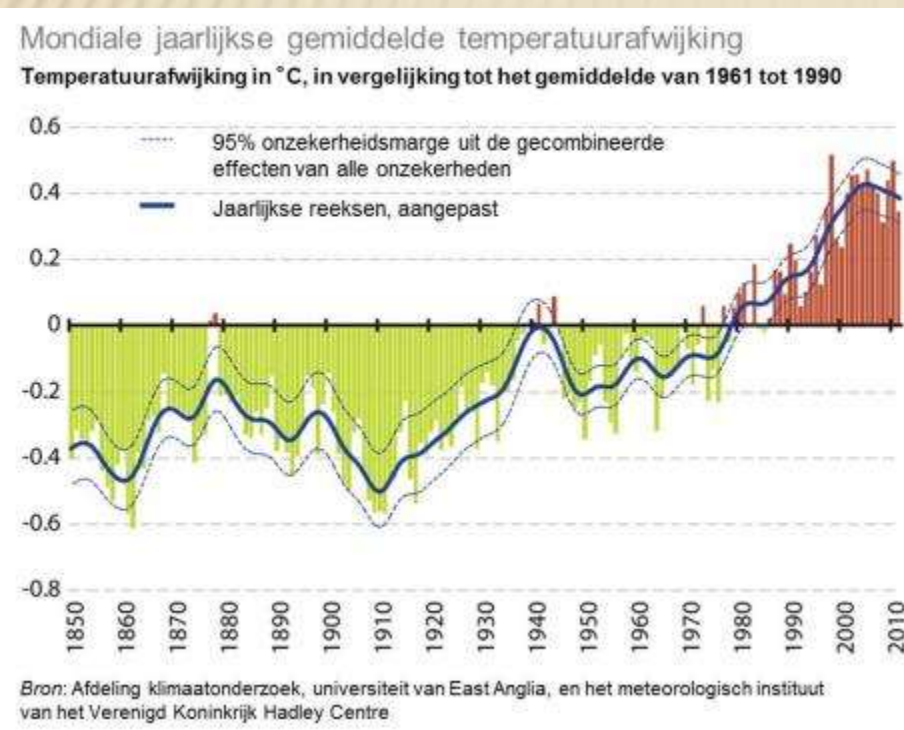
1. Desertec visie
2. Desertec Industrial Initiative
3. Ecofys: The Energy Report
4. Global Energy Assessment
5. Nederland?
6. **Conclusies**

# Inleiding: Het probleem, onze motivatie

1. Klimaatverandering
2. Milieuvervuiling
3. Energie steeds duurder
4. Afhankelijkheid

# KLIMAATVERANDERING EEN PROBLEEM?

## ✘ Temperatuurstijging

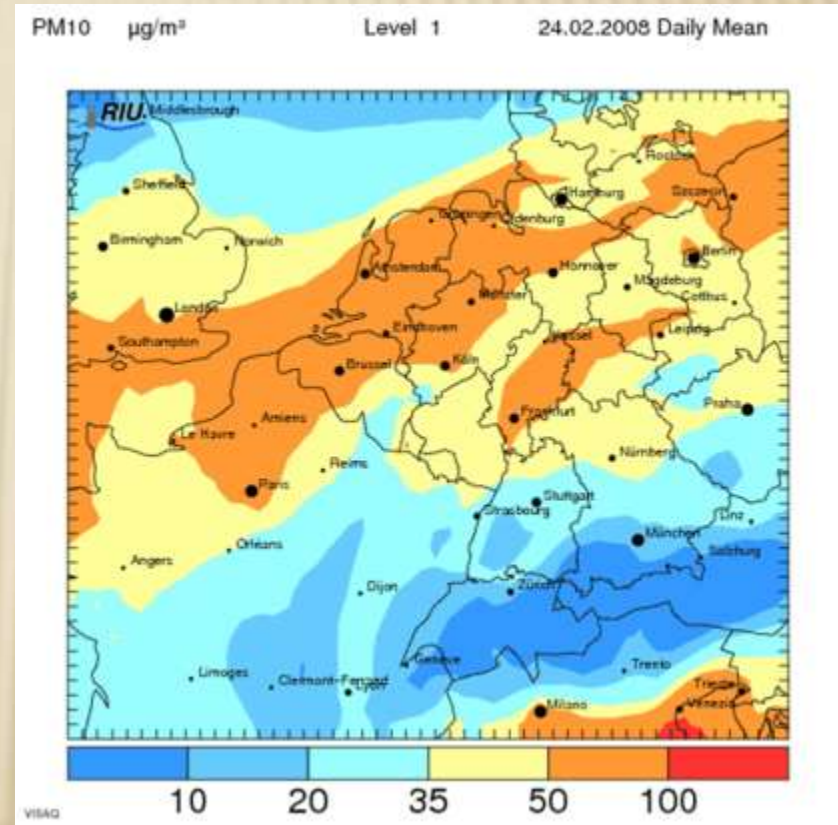




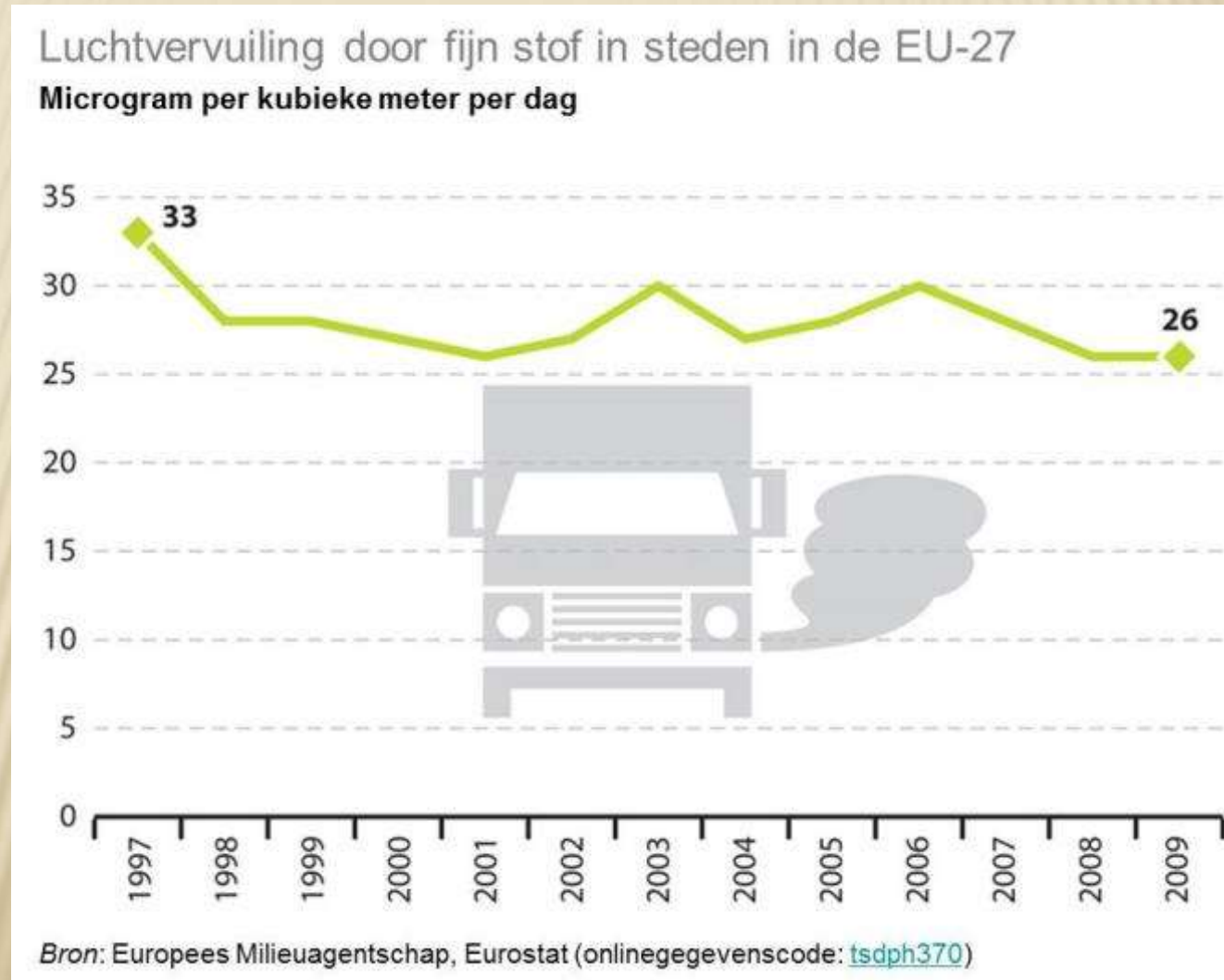


# MILIEUVERVUILING: DE SLUIPMOORDENAAR: FIJNSTOF

- ✘ Door fijn-stof sterven jaarlijks 20.000 mensen voortijdig. (RIVM)
- ✘ De maatschappelijke kosten zijn zeker 5 miljard per jaar (CE-Delft)
- ✘ De normen voor fijn-stof zijn in Europa 40  $\mu\text{g}$  voor  $\text{PM}_{10}$  en 25  $\mu\text{g}$  voor  $\text{PM}_{2,5}$
- ✘ Volgens de WHO zouden ze 20  $\mu\text{g}$  resp. 10  $\mu\text{g}$  moeten zijn.

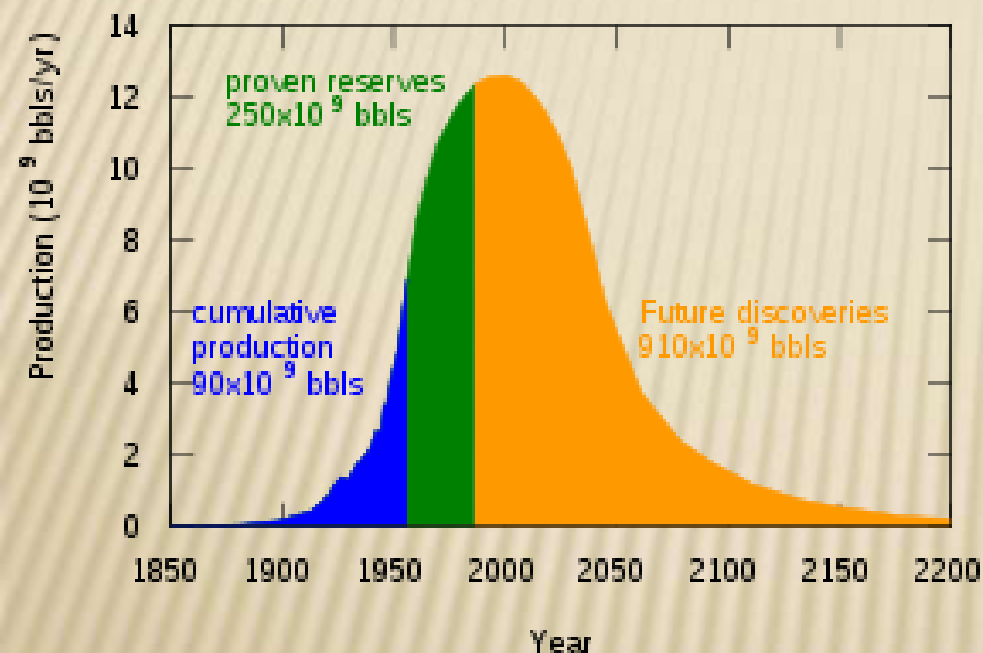


# MILIEUVERVUILING: LUCHTVERONTREINIGING DOOR FIJN STOF





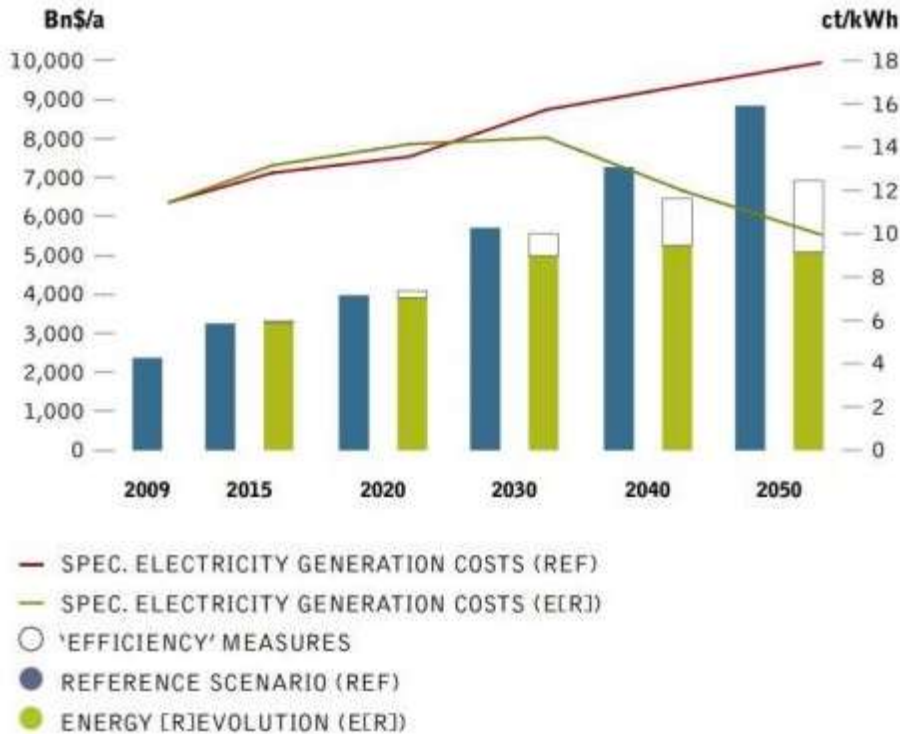
# ENERGIE STEEDS DUURDER



- Conventionele olie wordt schaarser (vroeger was 1/40 deel nodig voor de winning)
- Schaliegas (1/5 deel van de energie nodig voor de winning)
- Teerzanden (1/3 deel nodig voor de winning)
- Gevolg:  
**Prijzen stijgen**

# VERWACHTE PRIJSONTWIKKELINGEN – GLOBAL ENERGY [R]EVOLUTION

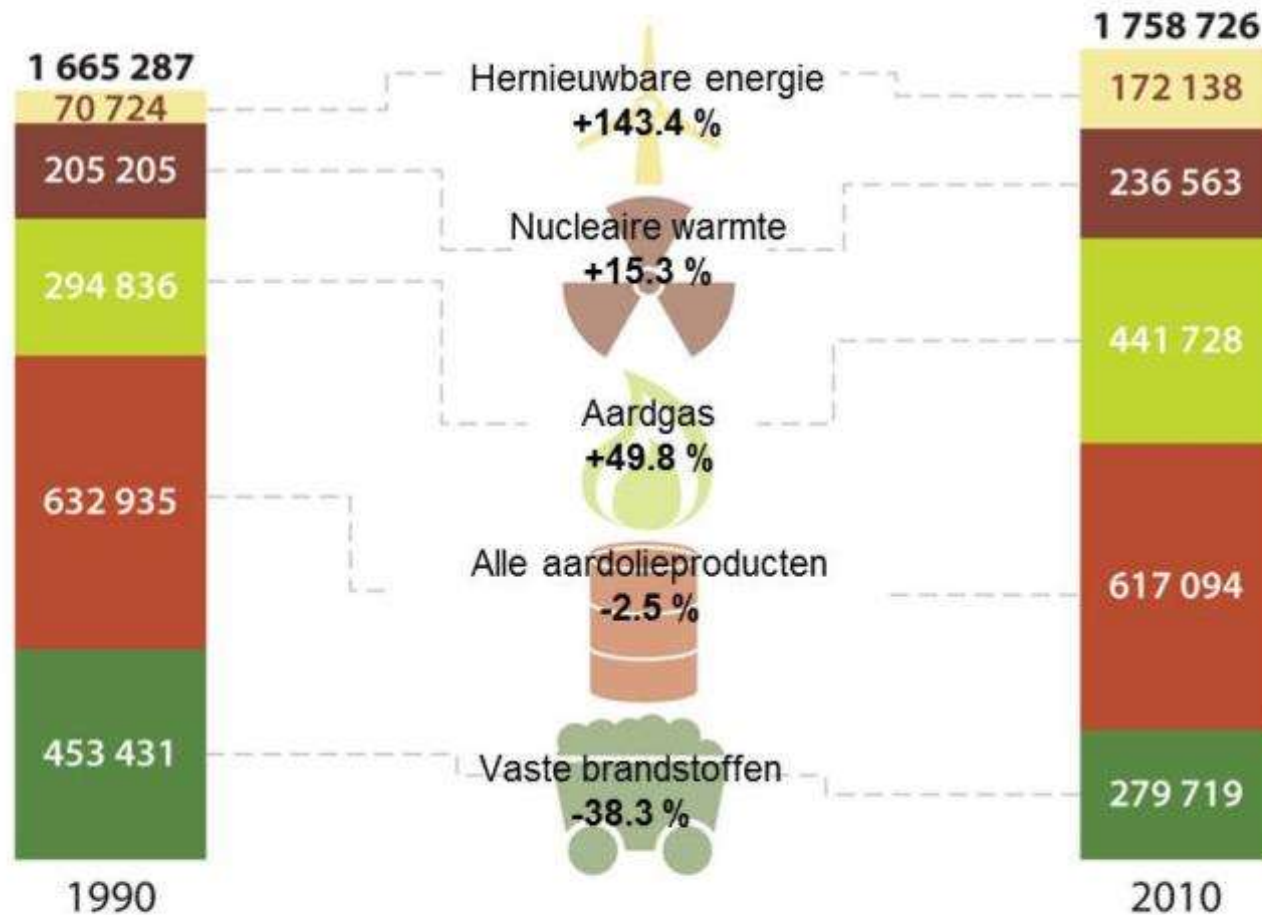
**figure 5.7: global: total electricity supply costs and specific electricity generation costs under two scenarios**



- Verwachte prijsontwik-keling fossiel (bruine lijn)
- Verwachte prijsontwik-keling hernieuwbaar (groene lijn)
- Linker as investeringen
- Rechter as kosten in dollarcenten per kWh
- Verwachting tot 2025 hernieuwbaar iets duurder, daarna fors goedkoper

# AFHANKELIJKHEID: PRIMAIR ENERGIE GEBRUIK EU NAAR BRON

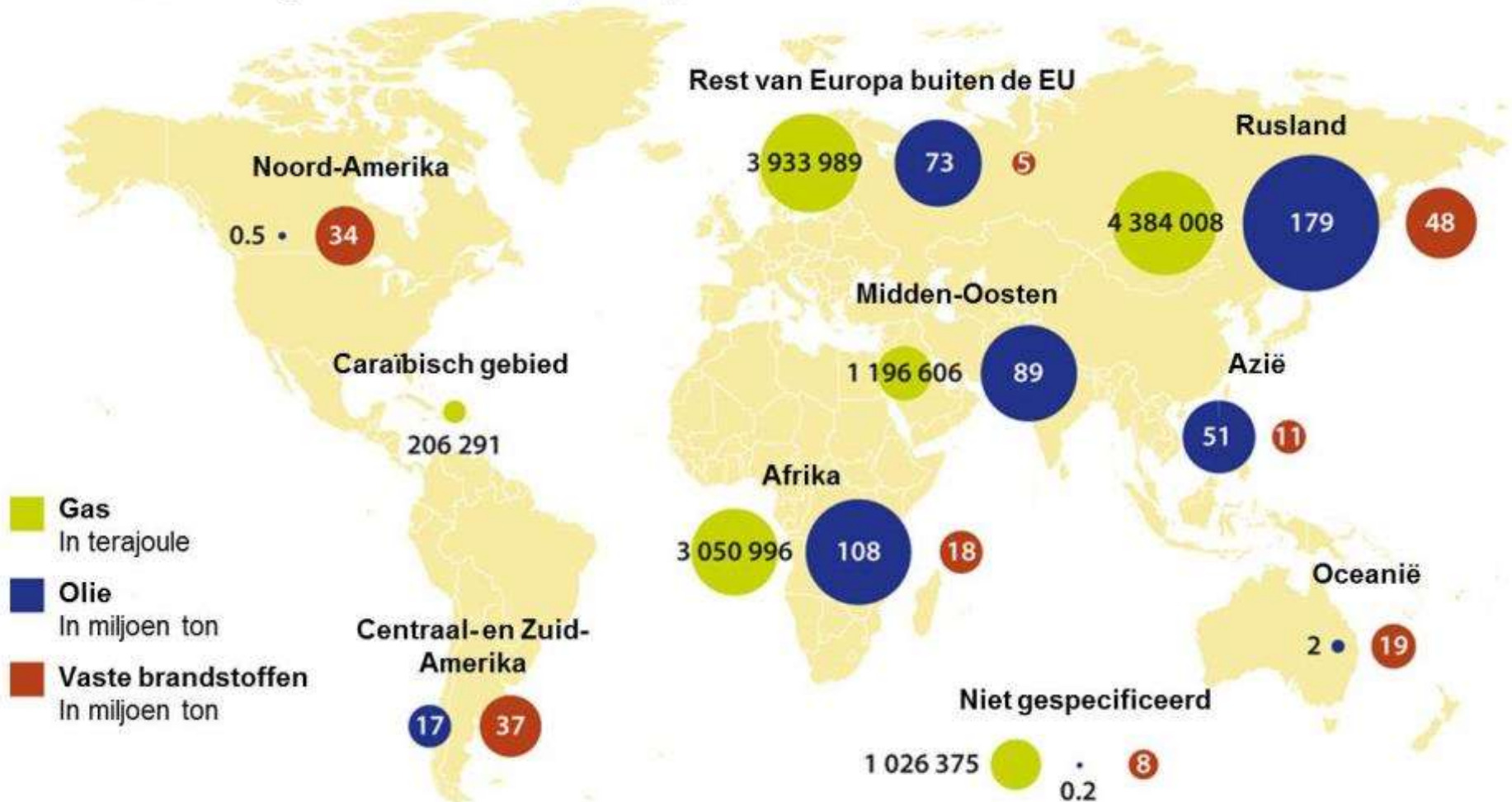
Bruto binnenlands energieverbruik, per brandstof, EU-27  
In eenheden van 1 000 ton olie



Bron: Eurostat (onlinegegevenscode: [tsdcc320](#))

# AFHANKELIJKHEID: WAAR KOMT DIE ENERGIE VANDAAN

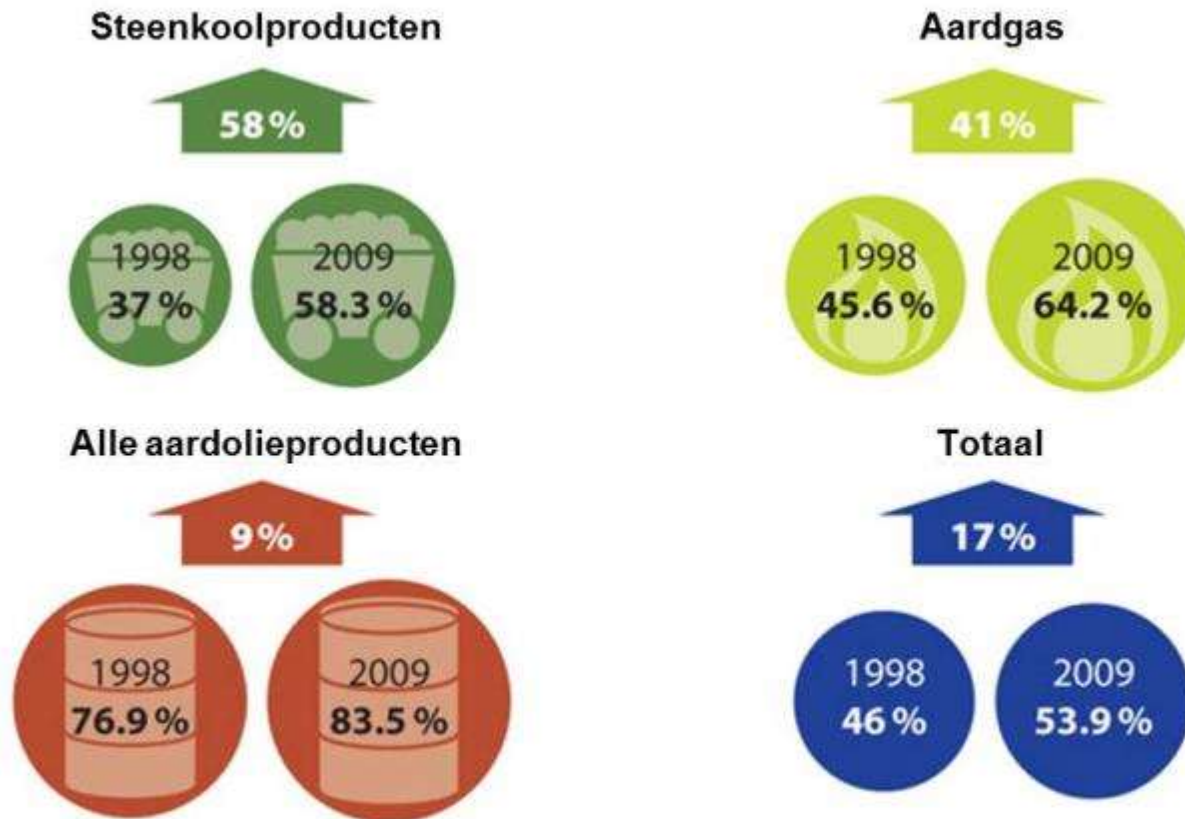
Invoer van energie in de EU-27 (2010)



Bron: Eurostat (onlinegegevenscode: [nrg\\_122a](#), [nrg\\_123a](#), [nrg\\_124a](#))

# ENERGIE-AFHANKELIJKHEID VAN DE EU-27

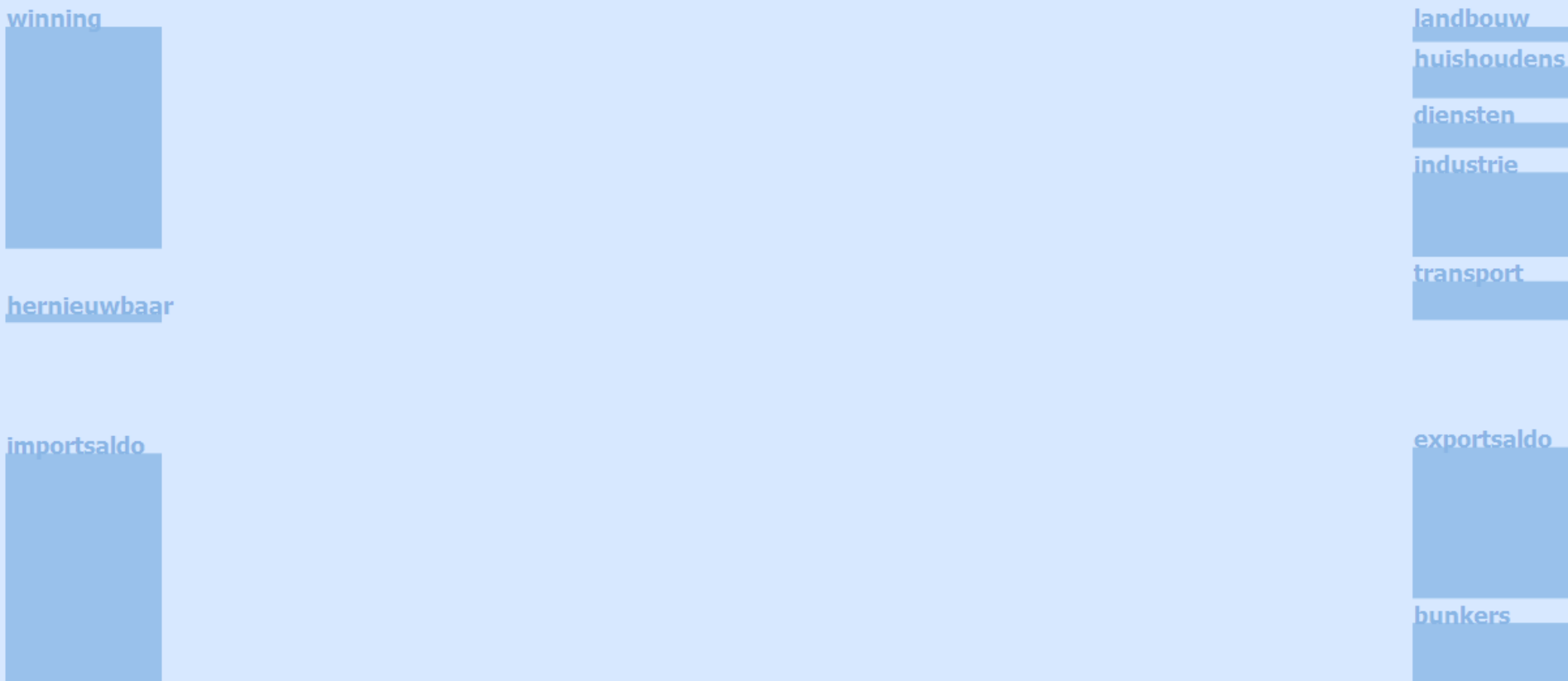
## Energieafhankelijkheid van de EU-27



N.B.: 'Totaal' is niet het gemiddelde van de andere drie getoonde categorieën. Het omvat ook andere energiebronnen als hernieuwbare energie of kernenergie, die als interne energiebronnen worden beschouwd

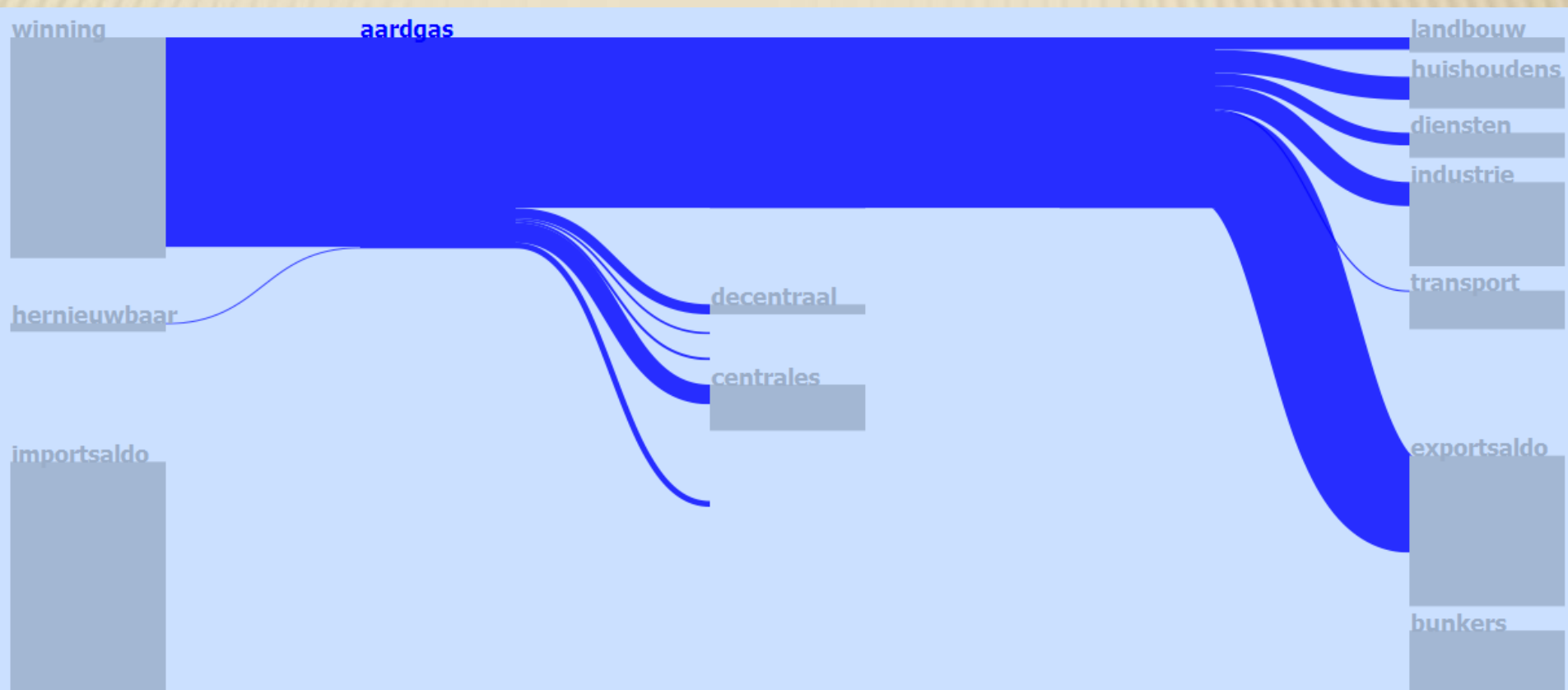
Bron: Eurostat (onlinegegevenscode: [tsdcc310](#))

# Nog even ter illustratie de Nederlandse energiehuishouding



2010

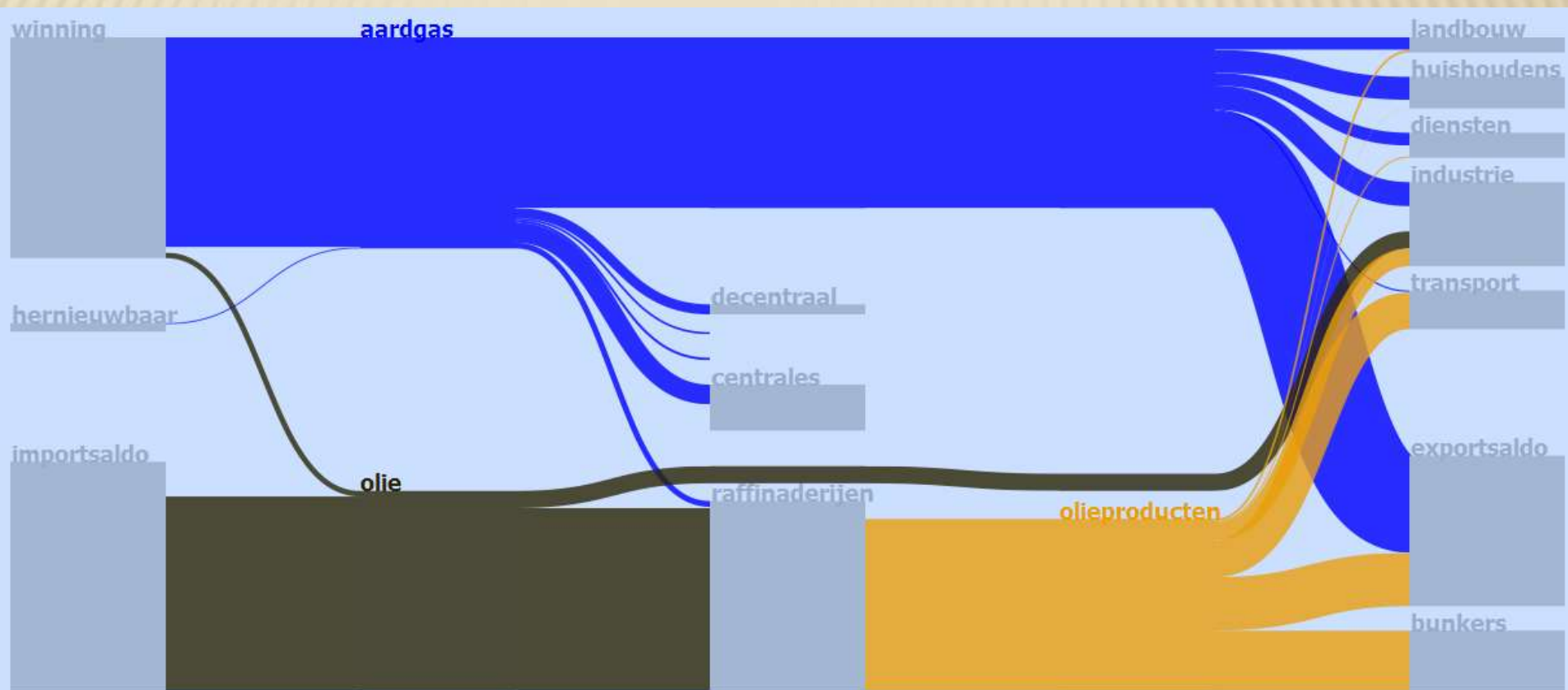
# De Nederlandse energiehuishouding



2010

Data: CBS  
Bewerking: ECN

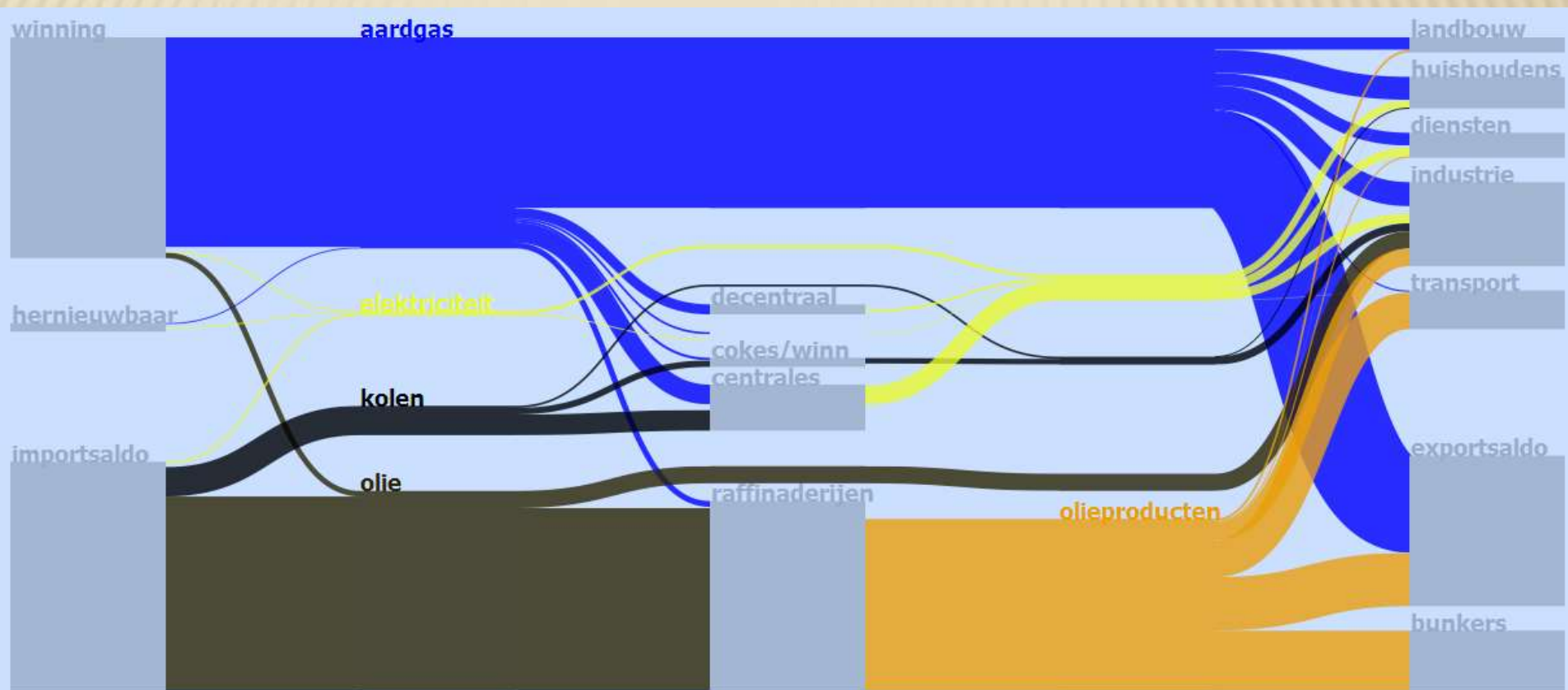
# De Nederlandse energiehuishouding



2010



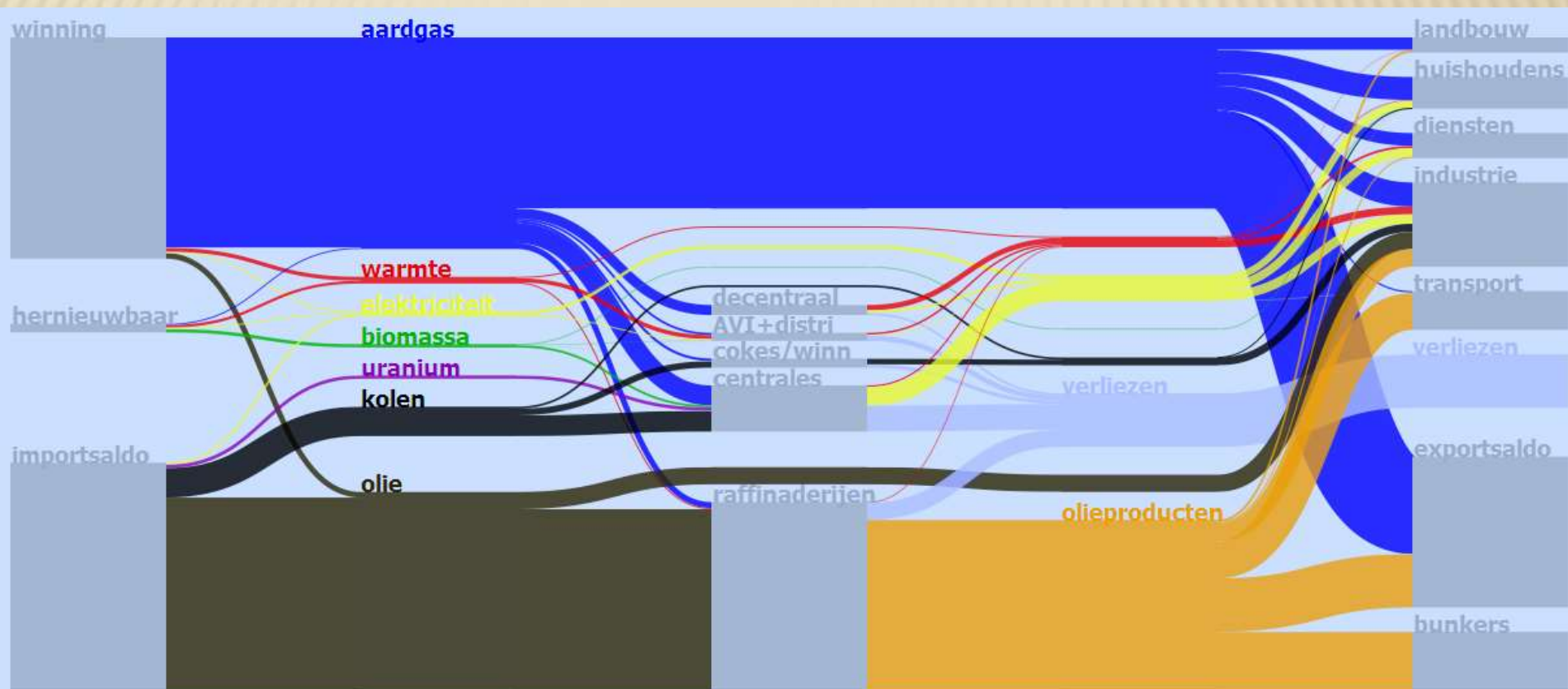
# De Nederlandse energiehuishouding



2010

Data: CBS  
Bewerking: ECN

# De Nederlandse energiehuishouding



2010

# DE OPLOSSING

1. De Desertec visie
2. Wat is Concentrated Solar Power
3. Vormen van CSP
4. CSP in de energiemix

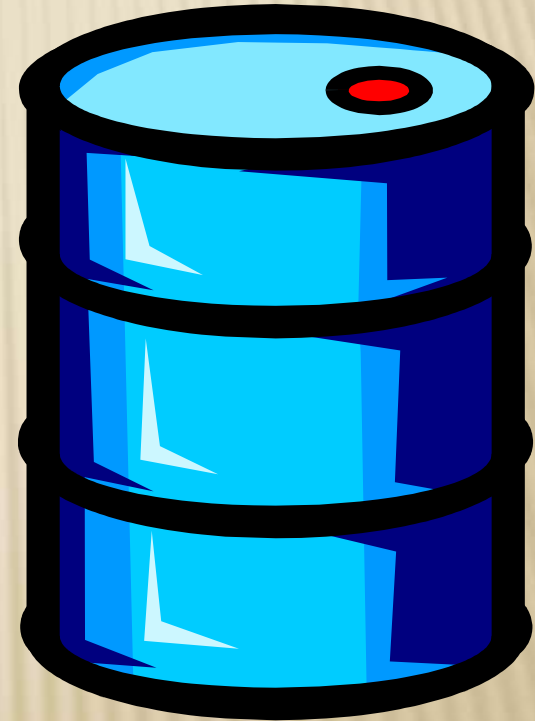
# DE OPLOSSING

## Dessert Power



# HET REGENT “OLIE” IN DE WOESTIJN

- ✘ De hoeveelheid energie die per jaar in de woestijn valt is vergelijkbaar met een laag olie van 25 cm, meer dan anderhalf vat per vierkante meter
- ✘ Je hoeft het alleen maar op te scheppen
- ✘ Een gebied van 300\*300km is voldoende om de wereld van elektriciteit te voorzien

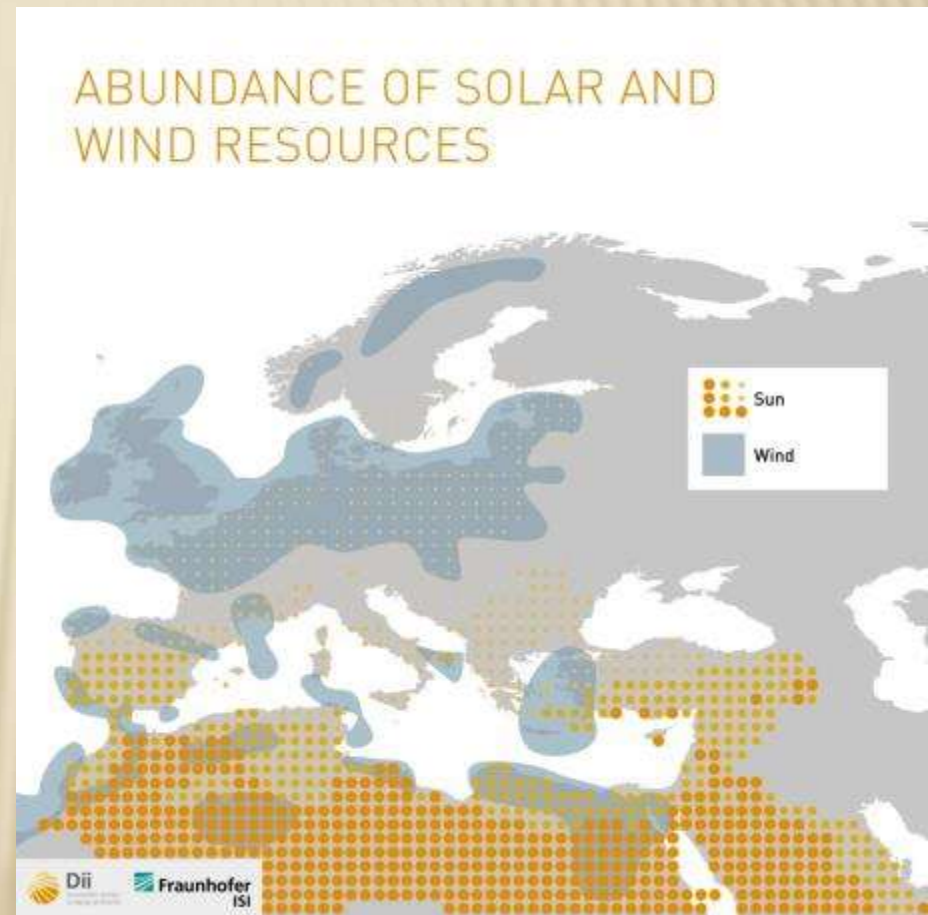


# HUMAN POWER SHOWER

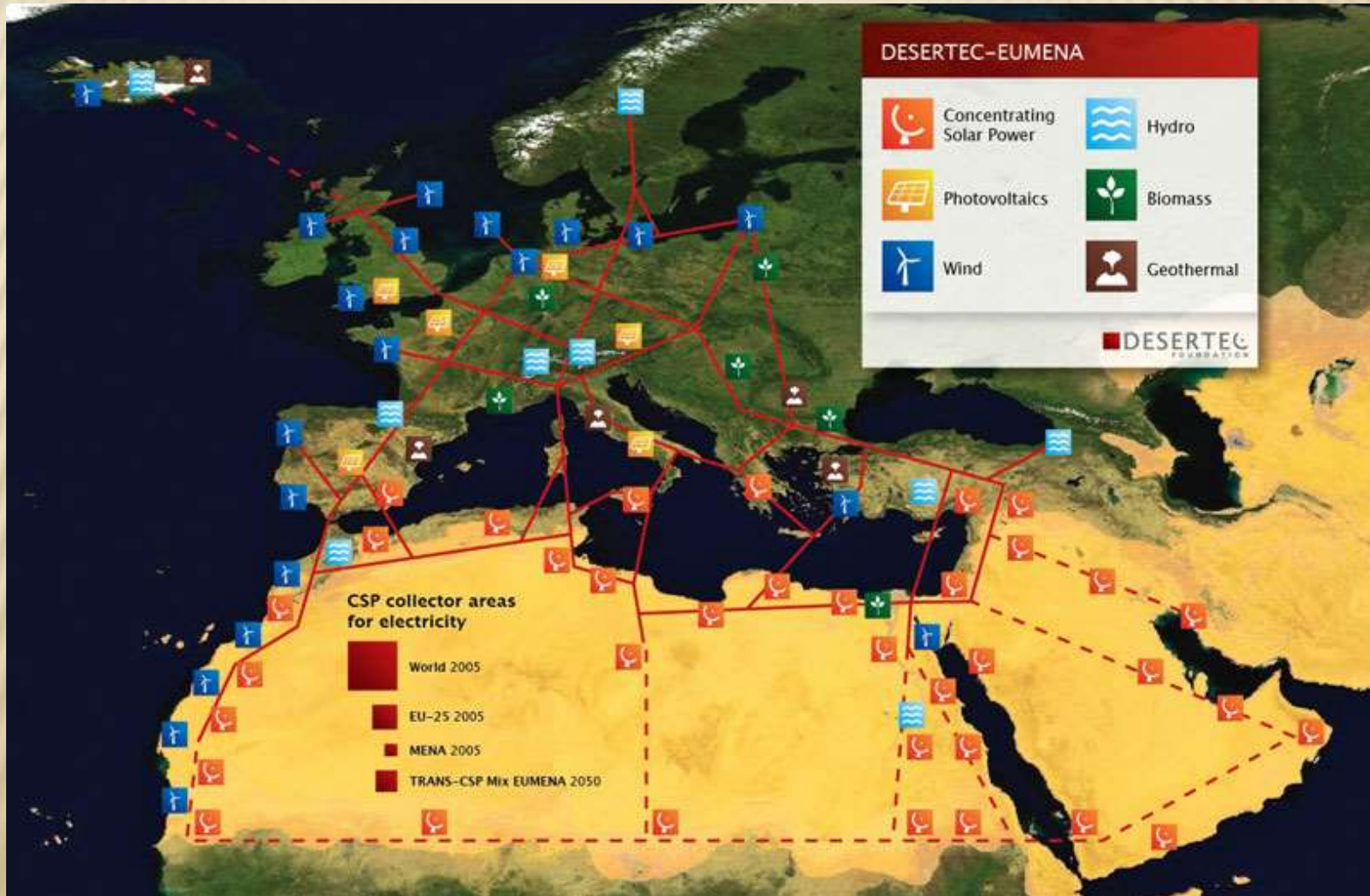


# DE DESERTEC VISIE

- ✘ Oogst de hernieuwbare energie daar waar het het meest opbrengt
- ✘ Knoop alle hernieuwbare energie in Europa aan elkaar
- ✘ Knoop Europa aan Scandinavië en de Alpen
- ✘ Knoop Europa aan de Sahara en het Midden-Oosten (het zgn MENA-gebied)



# 1 % oppervlak woestijnen voldoende om de gehele wereld van elektriciteit te voorzien





# ZONNEKRACHTCENTRALES

## CONCENTRATED SOLAR POWER

### × CSP het principe

- × Concentreer het zonlicht
- × Vang de warmte op
- × Maak er stoom mee
- × Drijf er een turbine mee aan
- × Dit geldt voor alle vormen van CSP behalve voor de Paraboolspiegels die met een sterling motor werken en rechtstreeks elektriciteit maken

# CONCENTRATING (THERMAL) SOLAR POWER (CSP)

## Vier types

- × - De Trogspiegel
- × - De toren met heliostaatspiegels
- × - De paraboolspiegel
- × - De Fresnelspiegel

## ZONNEKRACHTCENTRALES

### TROGSPIEGELS



# CSP TROGSPIEGEL MET DE RECEIVER

- ✘ Licht wordt geconcentreerd op een buis.
- ✘ De buis is omgeven door een dubbelwandige vacuüm glas
- ✘ Het glas heeft een coating die warmte terugkaats.





# CSP Toren met heliostaten: de PS 20 Sevilla

- × Torens met “vlakke” spiegels erop gericht
- × Heliostaat = zonvolger





# GEMASOL SEVILLA 2011 – 15 UUR OPSLAG





# Zonnekrachtcentrales

- × De Paraboolspiegel
- × Suncatchers met sterlingmotor



# SUNCATCHER (PARABOLISCHE SPIEGEL)

- ✘ Claimen rendement van boven de 30%
- ✘ Helaas lijkt de ontwikkeling niet door te zetten
- ✘ Voordeel kan zowel kleinschalig als grootschalig toegepast
- ✘ Nadeel geen opslag





# Zonnekrachtcentrales

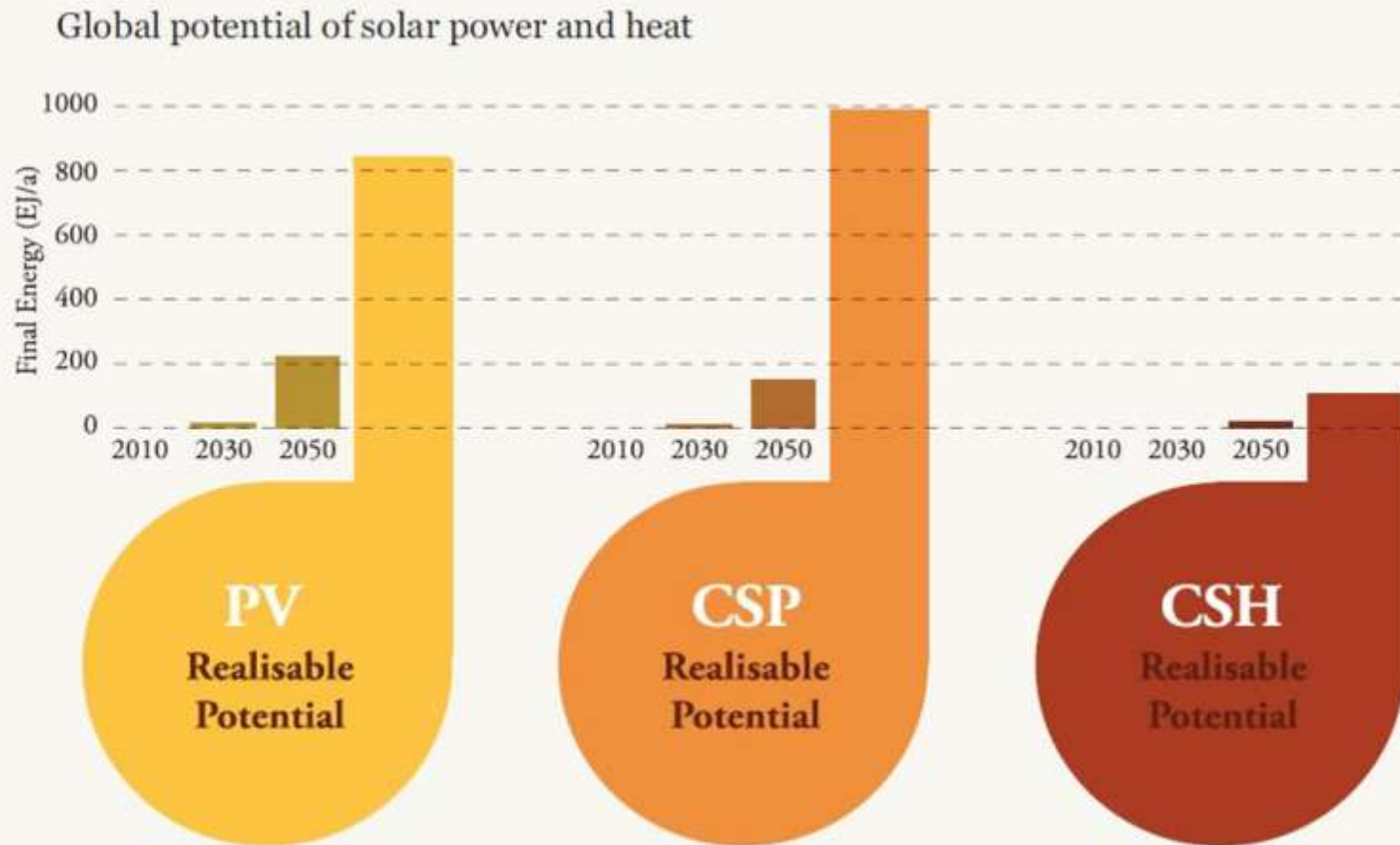
## × Fresnelspiegels



# FRESNELSPIEGELS

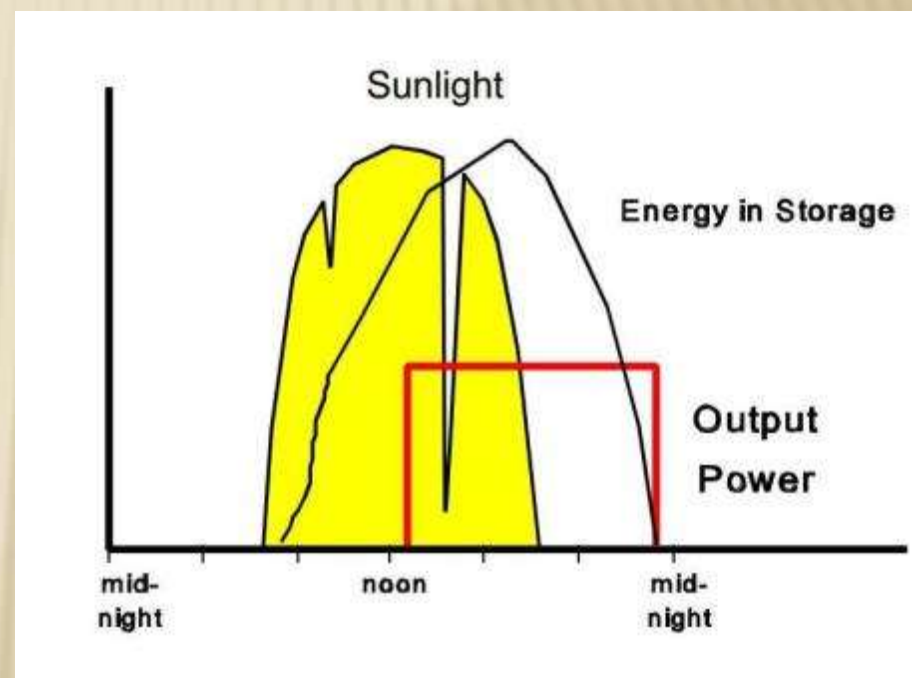
- × In principe goedkoper want “vlakke” spiegels
- × Maar minder geconcentreerd, dus minder opbrengst
- × Minder loze ruimte tussen de spiegels, dus efficiënter grondgebruik
- × Minder gevoelig voor wind
- × Werkt vaak met directe stoom

# CSP IN DE ENERGIEMIX DE BESCHIKBAARHEID BRON ECOFYS



# DE VOORDELEN VAN CSP IN DE ENERGIEMIX

- ✘ Door de mogelijkheid van opslag: Elektriciteit op afroep
- ✘ CSP kan voor baseload midload of peakload dienen
- ✘ Levert stabiliteit aan het grid
- ✘ Alleen dit voordeel wordt op 3 \$ct/kWh geschat.



# Details CSP centrales

1. Trogspiegelcentrales
2. Torencentrales



# DETAILS TROGSPIEGELCENTRALES

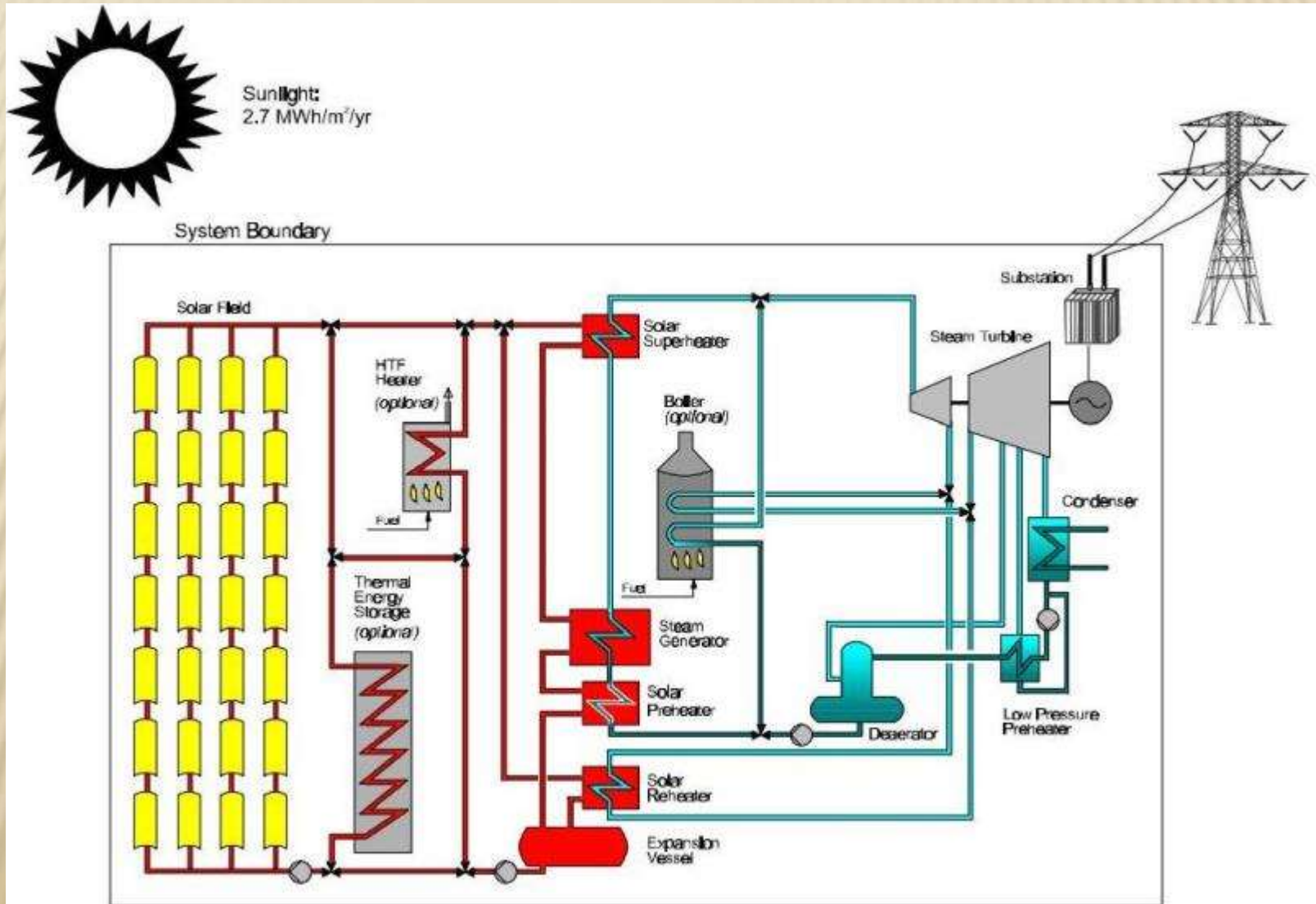
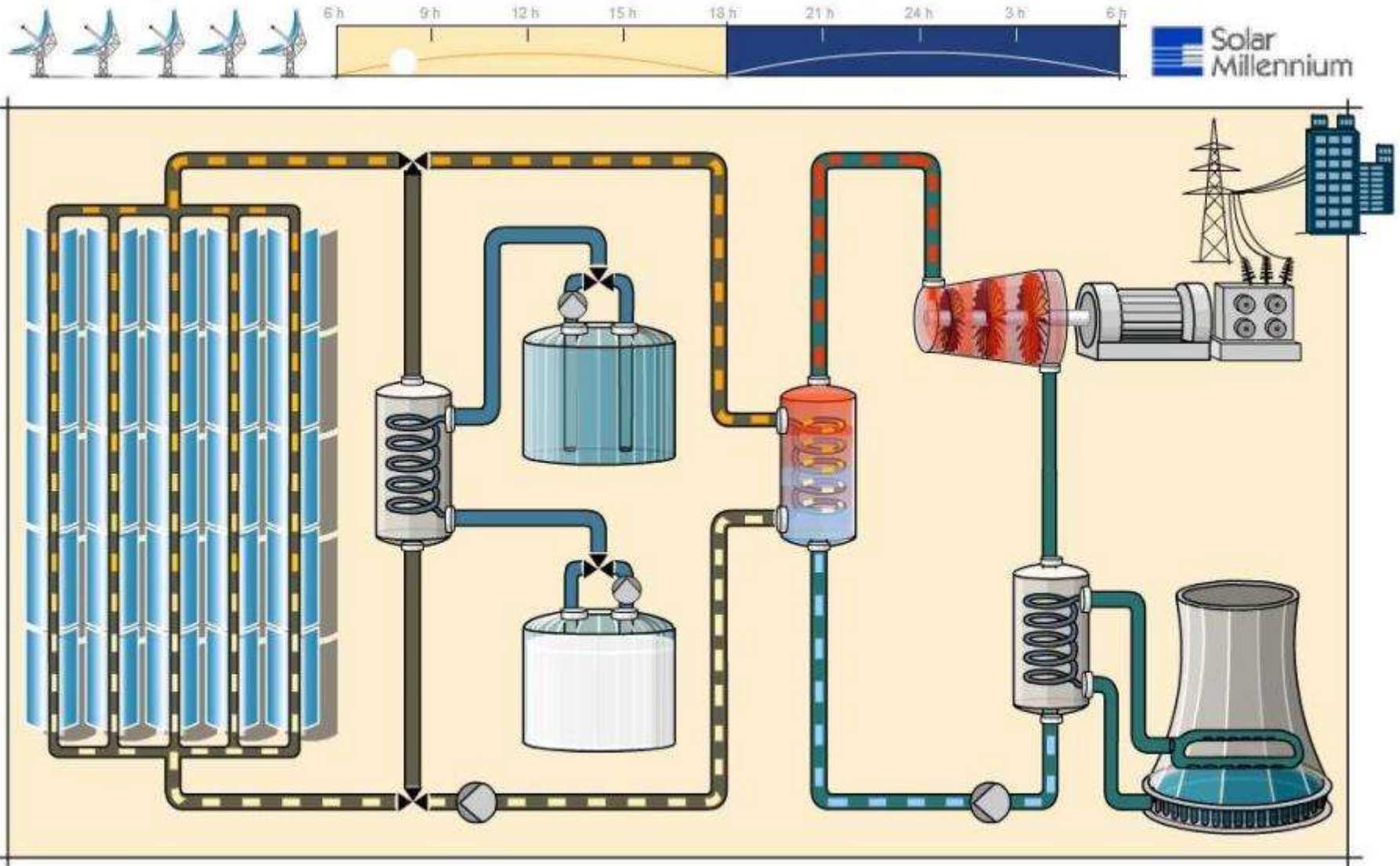


Figure 1. Solar/Rankine parabolic trough system schematic [1].



's Ochtends  
Opwarmfase

Na zonsopgang beginnen de collectoren de zon te volgen. De paraboolvormige spiegels concentreren de zonnestrallen op de absorptiebuis, waardoor een hittebestendige synthetische olie als warmtedrager circuleert. Deze geeft de thermische energie in de stoomketel af. De aldus geproduceerde stoom drijft een turbine aan, en de aangesloten generator wekt electriciteit op.

# CSP TROG SPIEGELCENTRALES

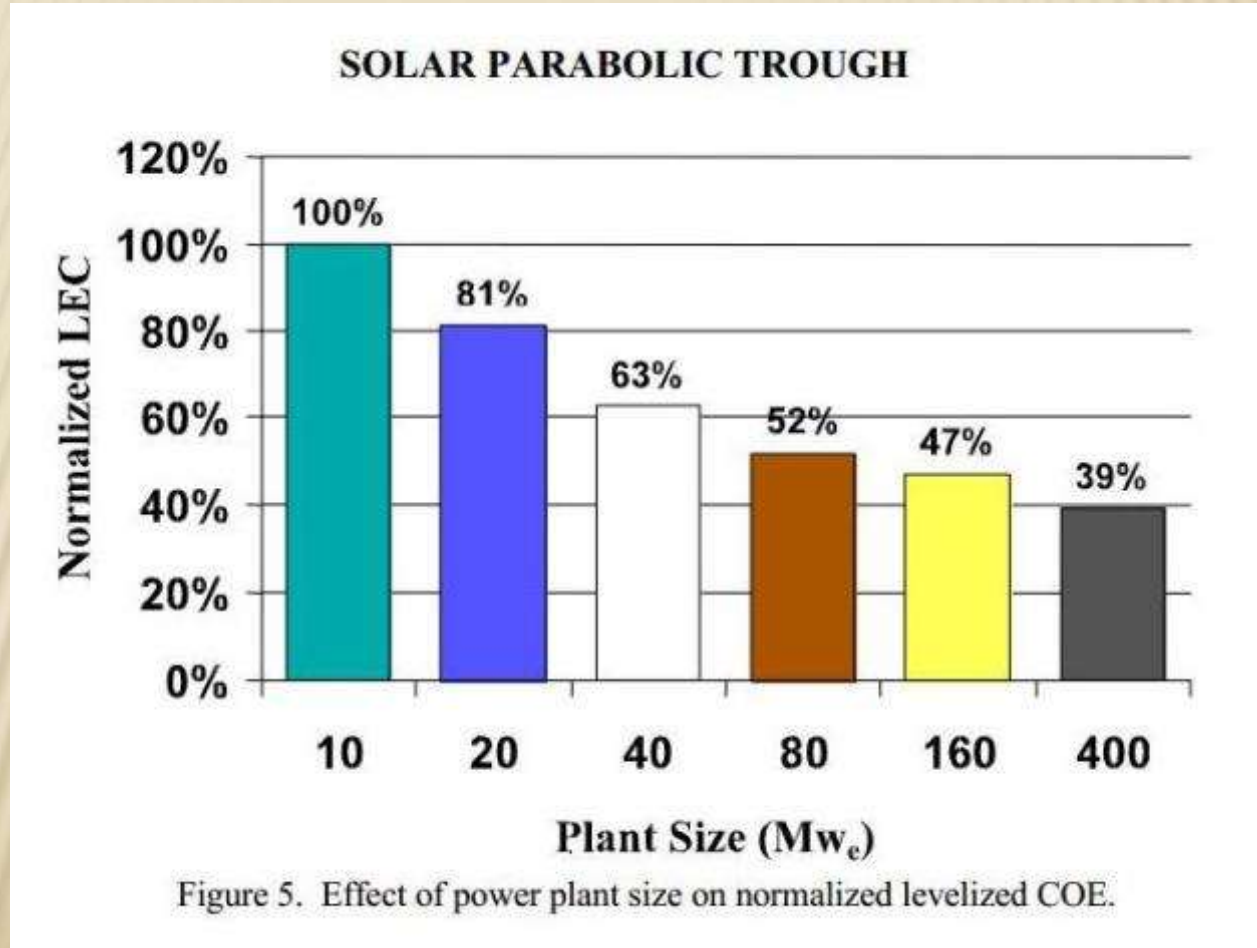
## ✘ Kosten nog hoog

- ▢ 2 miljard € investering voor 500 MW centrale (4000 € per kWe)
- ▢ Temperaturen tot 390 °C
- ▢ Meest rendabele grootte nog niet bekend
- ▢ Prijs per kWh 12-25 €ct
- ▢ Verwachting 5-7 €ct/kWh in 2020

## ✘ Voordelen groot

- ▢ Opslag warmte
- ▢ Elektriciteit op afroep
- ▢ Zowel baseload als peakload
- ▢ Mogelijkheid van productie van schoon water
- ▢ Restwarmte gebruiken voor proceswarmte of koeling

# EFFECT GROOTTE CENTRALE OP KOSTEN



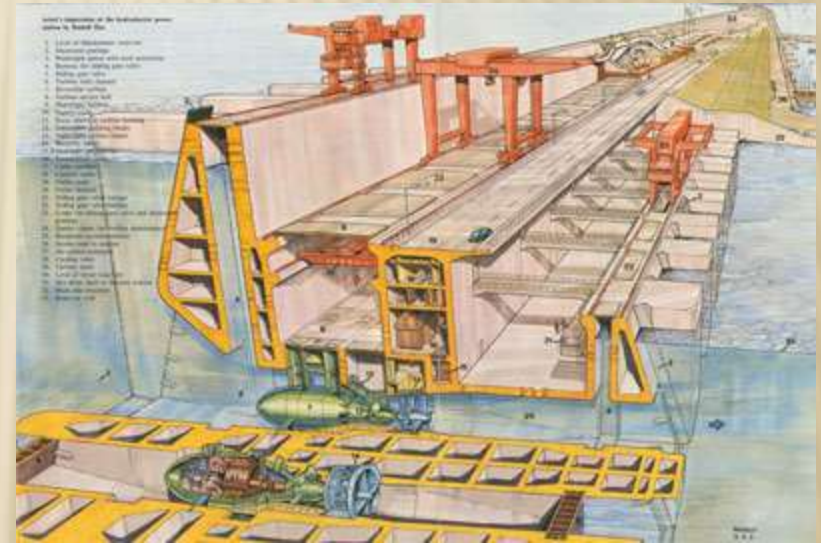
# ENKELE CIJFERS VOOR TROGSPIEGELCENTRALES

## SOLAR PACES 2010

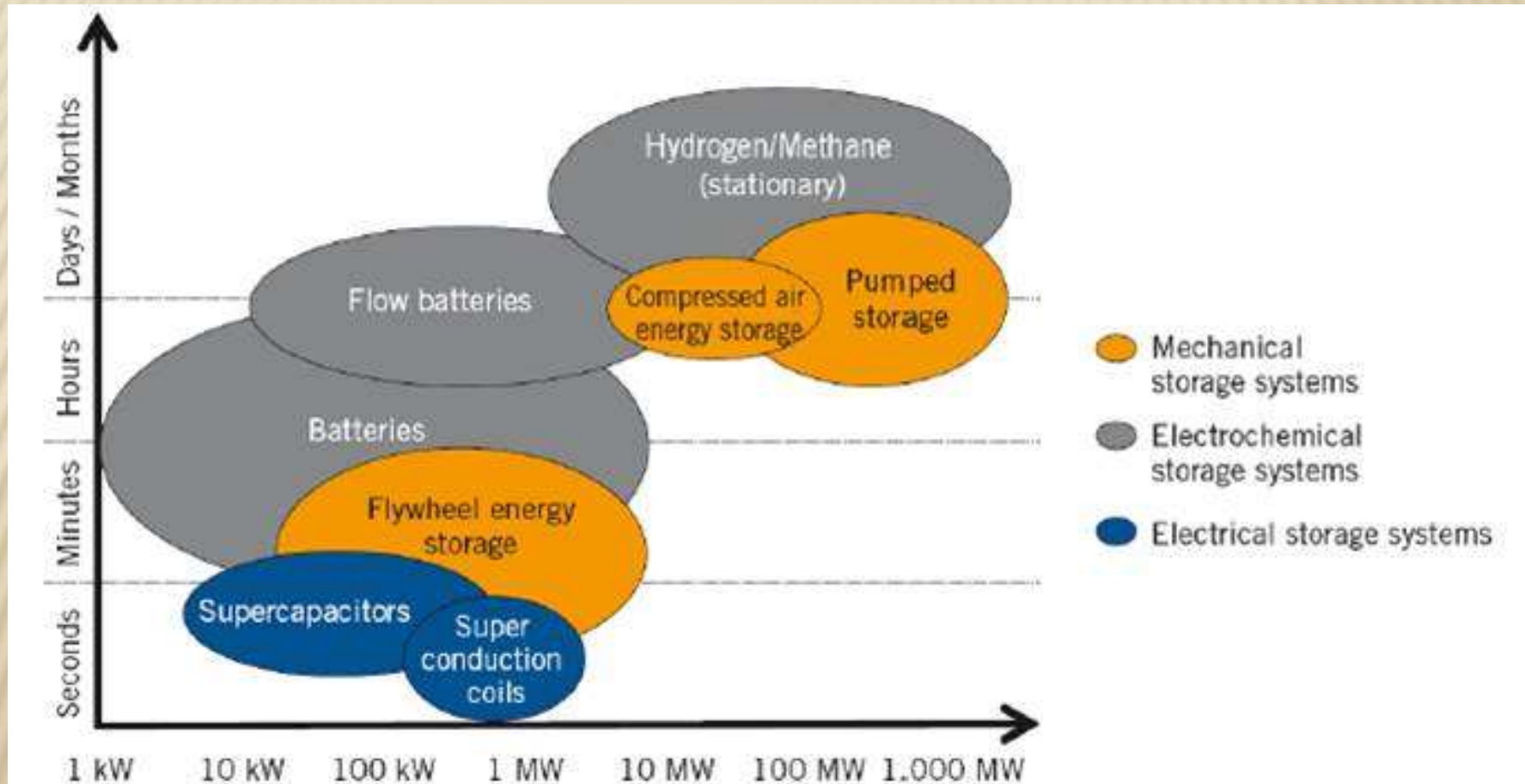
- ✘ Uitgaande van 320 MW centrale met opslag
- ✘ Opbrengst 1400 GWh/a
- ✘ Investering \$ 3000/kW
- ✘ Aantal vollasturen 4400 (capaciteitsfactor 50%)
- ✘ Spiegeloppervlak 3,5 miljoen m<sup>2</sup>
- ✘ Landoppervlak 12 miljoen m<sup>2</sup>
- ✘ O&M \$ 43 kW/a
- ✘ Watergebruik 7 miljoen m<sup>3</sup>/a?
- ✘ Rendement solar – elektriciteit 15%
- ✘ Opslag 10 uur
- ✘ Kosten \$ 538 van de 3000/kW
- ✘ Rendement opslag 99%
- ✘ Capaciteit 10 GWh
- ✘ \$ 20 per kWh opslagcapaciteit

# VERGELIJK PLAN LIEVENSE

- ✘ Investering 2,45 miljard
- ✘ Opslag 20 GWh
- ✘ Vermogen 1500 MW
- ✘ 120 euro per kWh opslagcapaciteit
- ✘ Mijn auto 24 kWh
- ✘ 250 euro per kWh opslagcapaciteit (incl BTW)

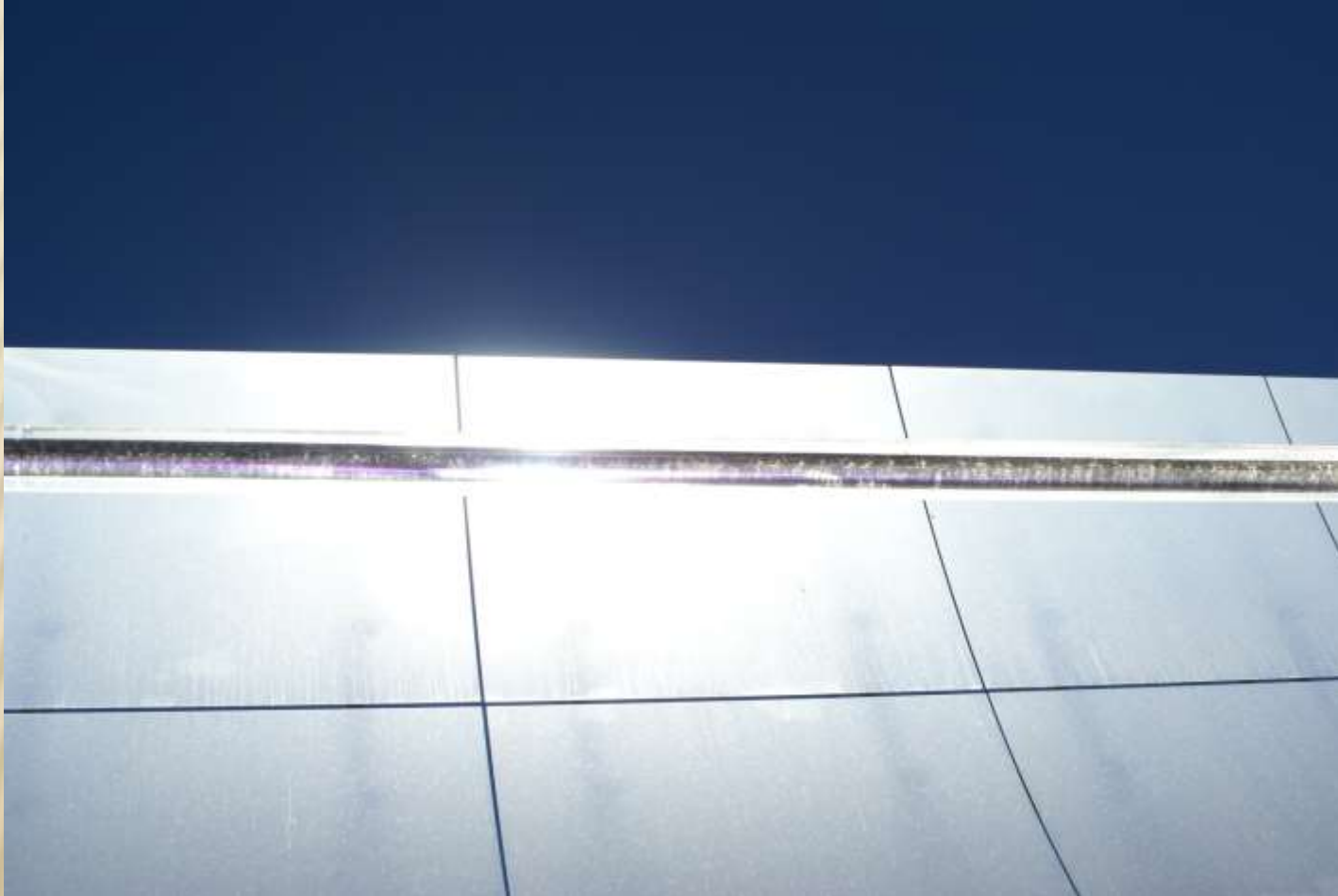


# OPSLAG VERGELEKEN



*Bron: S. Ulreich, "Integrating renewables into power systems & markets", WEC, Prague, 29 Nov. 2011*

# DE RECEIVER SPECIAAL ONTWIKKELD





# KOPPELING



## SPECIAAL LOW IRON GLASS



# LOW IRON GLASS – VERWACHTING GLAS INDUSTRIE KOMENDE 6 JAAR VERDRIEVOLDIGING VAN DE VRAAG



## ZOUTOPSLAGVAT (ALTIJD TWEE)





# CALIFORNIË – DE KRAMER JUNCTION



# DETAILS TORENCENTRALE

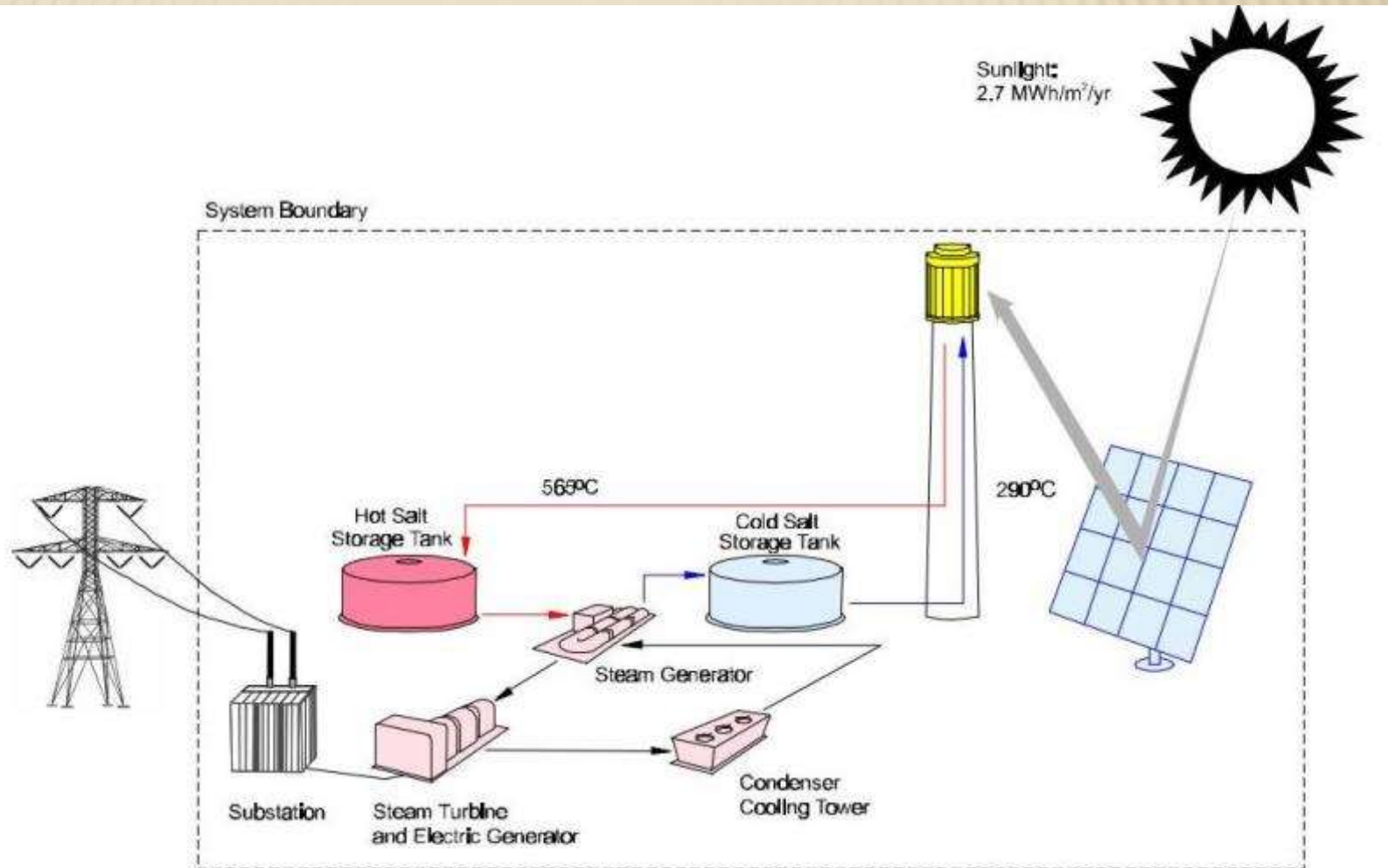


Figure 1. Molten-salt power tower system schematic (Solar Two, baseline configuration).

# HET PRINCIPE

- × Door de focus op één punt hogere temperaturen – hogere efficiency
- × Vaak keramiek als ontvanger
- × Omgekeerde stoomketel daarbinnen
- × Soms eerst via zout en dan de stoomketel via warmtewisselaar
- × Soms wordt hete lucht gebruikt
- × Soms rechtstreeks stoom.



# SPIEGELVELD VOOR TOREN



# AANDRIJVING HELIOSTATEN OM TWEE ASSEN



- ✘ Omdat er altijd een beetje speling in de tandwielen moet zitten kun je een probleem krijgen met de heliostaten die ver weg staan
- ✘ BoschRexRothgroup heeft daarom een hydraulische aandrijving gemaakt (0,02° nauwkeurig)

# HELIOSTAAT



# GEMASOL JUNI 2011

- × Elektrisch Vermogen: 19,9 MW
  - × Jaaropbrengst: 110 GWh
  - × Spiegelveld: 2650 Heliostaten
  - × Oppervlak: 185 hectare
  - × Warmteopslag: 15 uur  
elektriciteitsproductie door warmte opslag in gesmolten zout
  - × Investeringskosten: 171 miljoen
  - × Huishoudens: 25000 hernieuwbare energie
  - × Klimaat: 30000 ton CO2 besparing per jaar.
  - × Temperatuur: tot 900 °C
  - × Ontvanger: absorbeert 95% van het zonnenspectrum.
- × Torresol Energy een Joint Venture tussen Masdar (Abu Dhabi) en SENER (Spanje)
  - × 5500 vollasturen



# GEMASOL MET ZIJN SPIEGELVELD



# ENKELE CIJFERS VOOR TORENCENTRALES SOLAR PACES 2010

- ✘ Uitgaande van 200 MW centrale met opslag
- ✘ Opbrengst 1140 GWh/a
- ✘ Investering \$ 2600/kW
- ✘ Aantal vollasturen 5700 (capaciteitsfactor 65%)
- ✘ Spiegeloppervlak 2,5 miljoen m<sup>2</sup>
- ✘ O&M \$ 30 kW/a
- ✘ Oppervlak Heliostaat 150 m<sup>2</sup>
- ✘ Rendement solar – elektriciteit 17%
- ✘ Opslag 13 uur
- ✘ LCOE (9-12 € ct/kWh)\*

\* bron REN21 Global energy outlook 2014

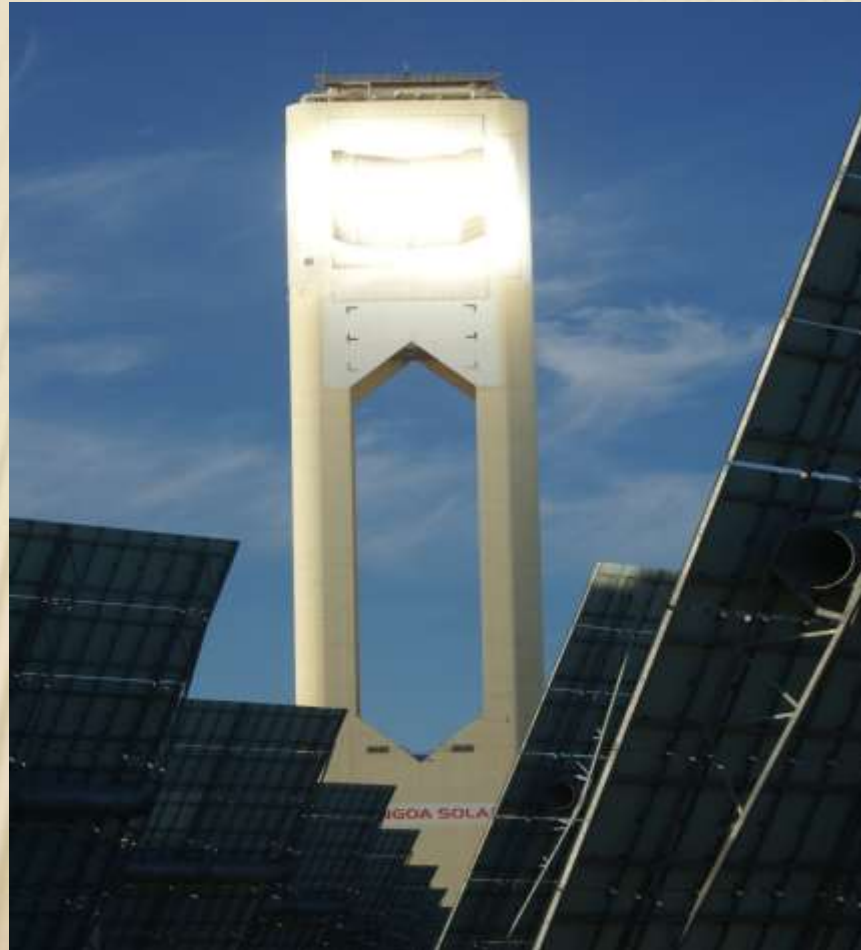
- ✘ Vergelijk prijs kern-energie 10,7 € ct/kWh Engeland

# NOG ENKELE TORENCENTRALES

- × Israëliisch ontwerp
- × Werkt met hete lucht
- × Relatief klein
- × Toren 30 meter hoog



# DE PS 20 IN SEVILLA DE EERSTE IN EUROPA





# DE PS 20 EN DE PS 10



# Ivanpah

KIVI-Elektro-Utrecht-20140604

Vereniging voor  
ZonneKrachtCentrales

Ivanpah Dry Lake, California, USA  
60 km ten zuiden van Las Vegas



300.000 spiegels op 14,2 km<sup>2</sup>  
drie torens van 140 m hoog  
392 MW (372 MW netto), jaarlijks 1079 GWh  
investering \$ 2,2 miljard

# OOK KLEINSCHALIG



# WORDT HET AL VERWEZENLIJKT?

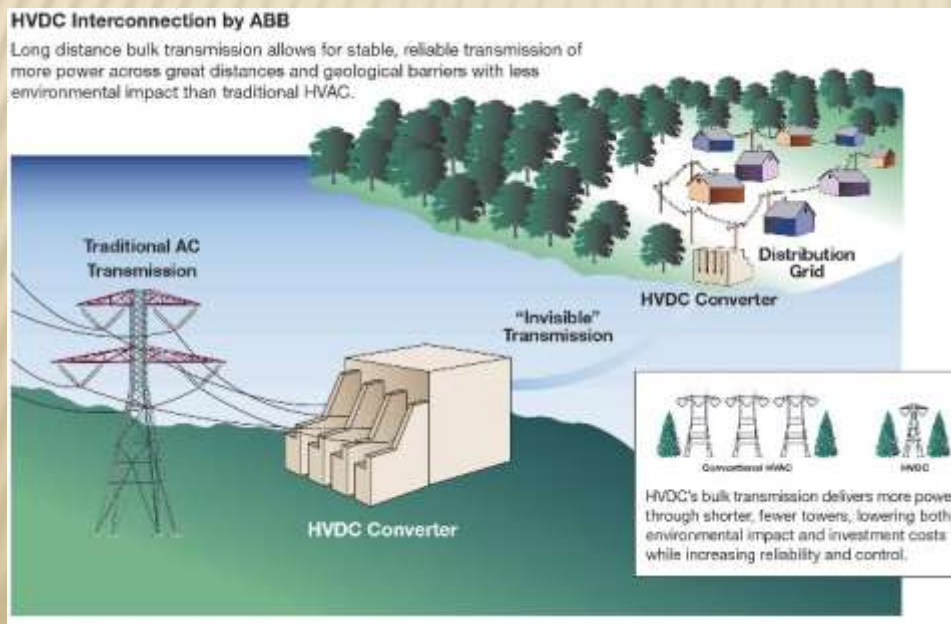
- × Desertec Industrial Initiative
- × Plan Solaire de la Méditerranée
- × Medgrid
- × Tunur



# TRANSPORT

# Transport HVDC

- ✘ Hoogspanning gelijkspanning
- ✘ Verliezen klein: 3% per 1000km
- ✘ Neemt minder ruimte in beslag



# TRANSPORT

figure 3.3: comparison of AC and DC investment costs using overhead lines. BREAK EVEN POINT IS TYPICALLY BETWEEN 500 TO 1,000 KM.

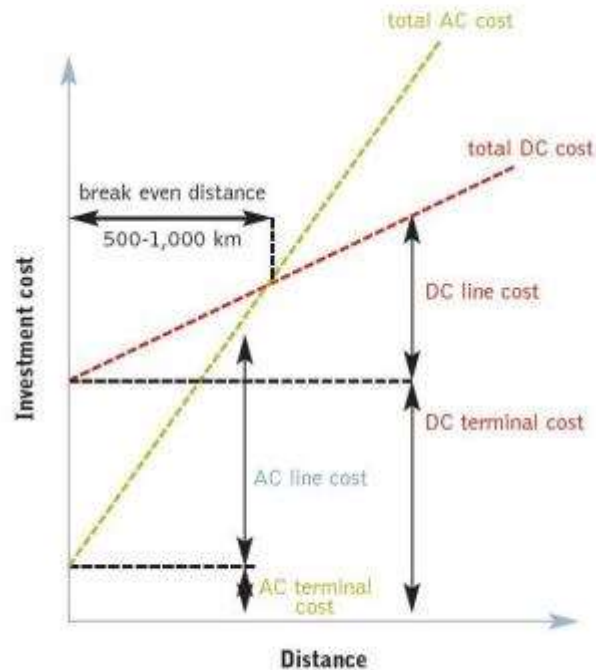
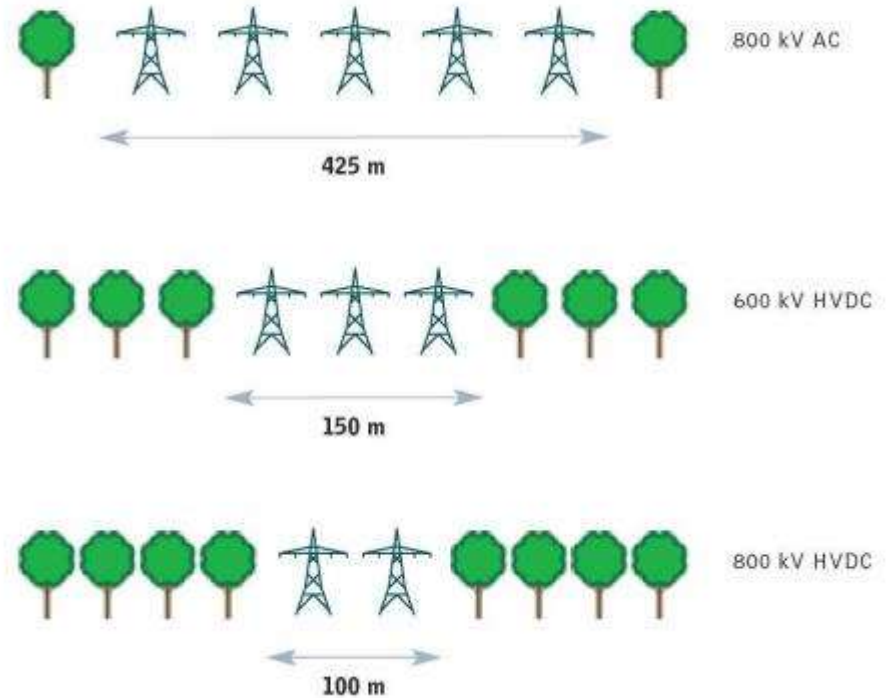


figure 3.4: comparison of the required number of parallel pylons and space to transfer 10 GW of electric capacity

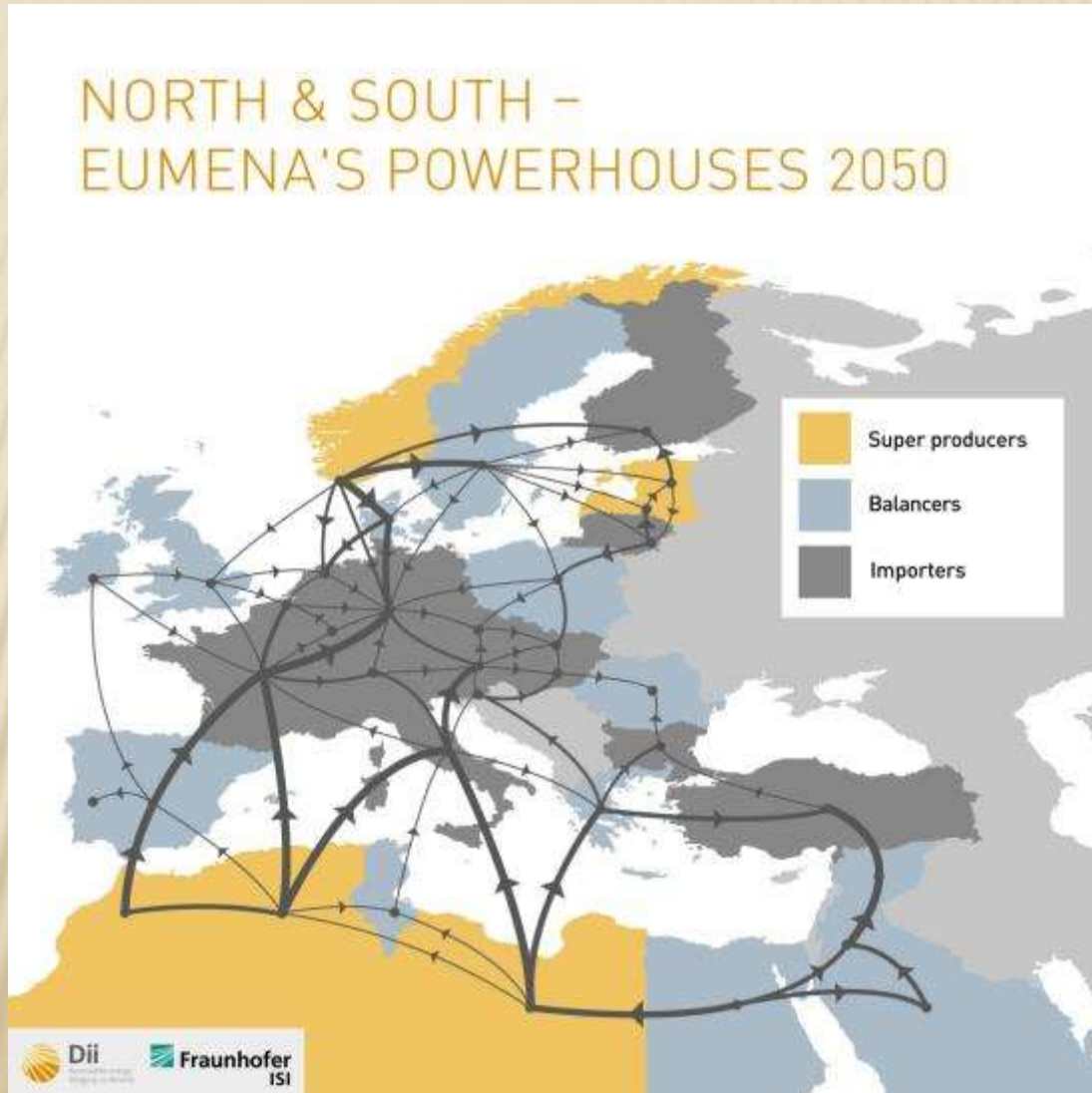




# GREENPEACE 2030



# DESERTEC INDUSTRIAL INITIATIVE 2050



# SIEMENS IN CHINA

<b>Customer</b>	China Southern Power Grid
<b>Project name</b>	Nuozhadu – Guangdong
<b>Location</b>	Pu'er – Jiangmen
<b>Power rating</b>	5,000 MW, bipolar
<b>Type of plant</b>	Long-distance transmission, 1451 km
<b>Voltage levels</b>	±800 kV DC 525 kV, 50 Hz
<b>Type of thyristor</b>	Direct light-triggered (LTT), 8 kV
<b>Commercial operation date</b>	Scheduled 2013



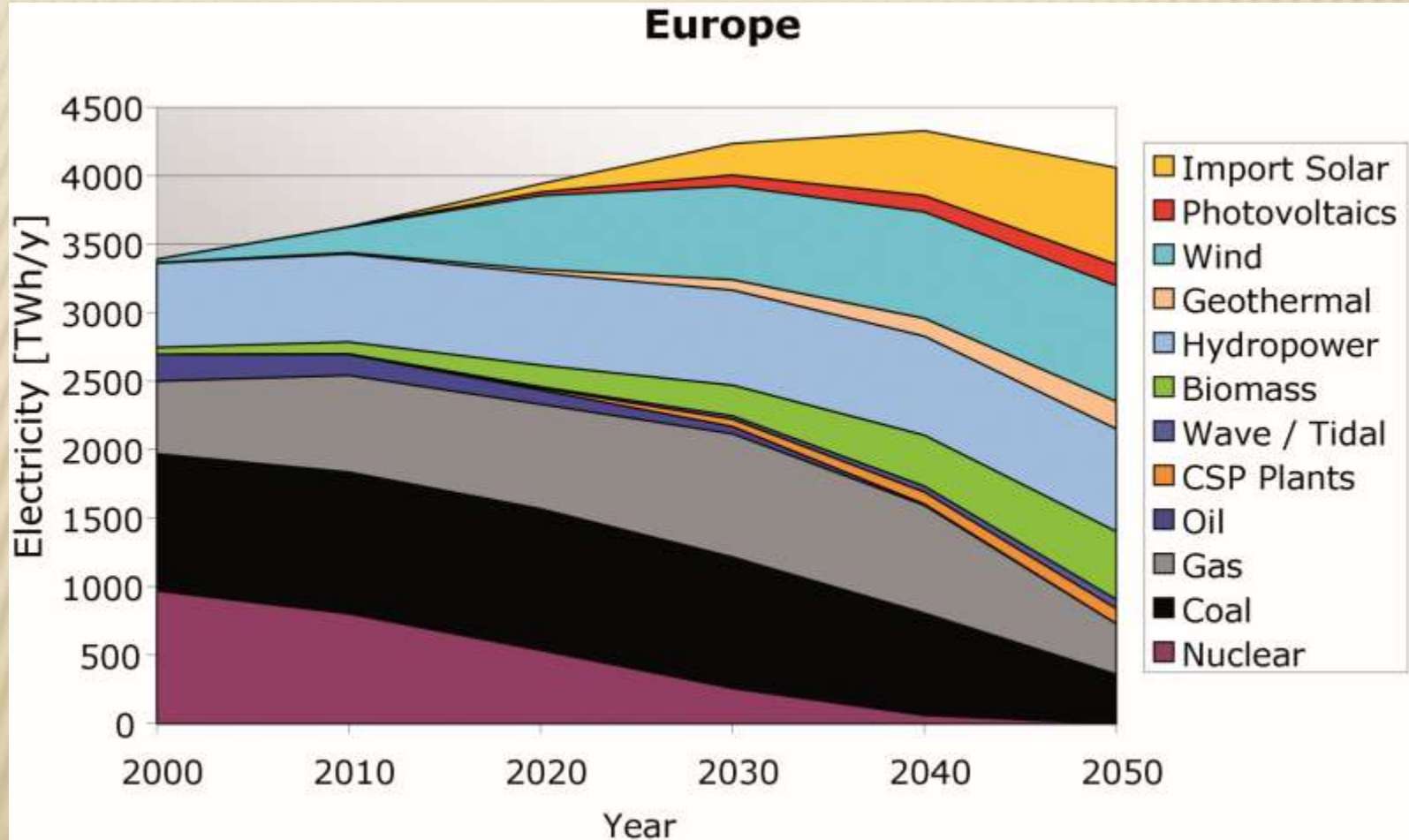
# HVDC IN DUITSLAND

- × Veel wind in het noorden en op de Noordzee
- × Veel industrie in het zuiden
- × Veel weerstand tegen aparte HVDC grid door veel natuurgebieden
- × Nu: gemengd grid, op bestaande trajecten AC en DC lijnen (TW- 23 mei jl)
- × Als het lukt veel minder nieuwe lijnen nodig

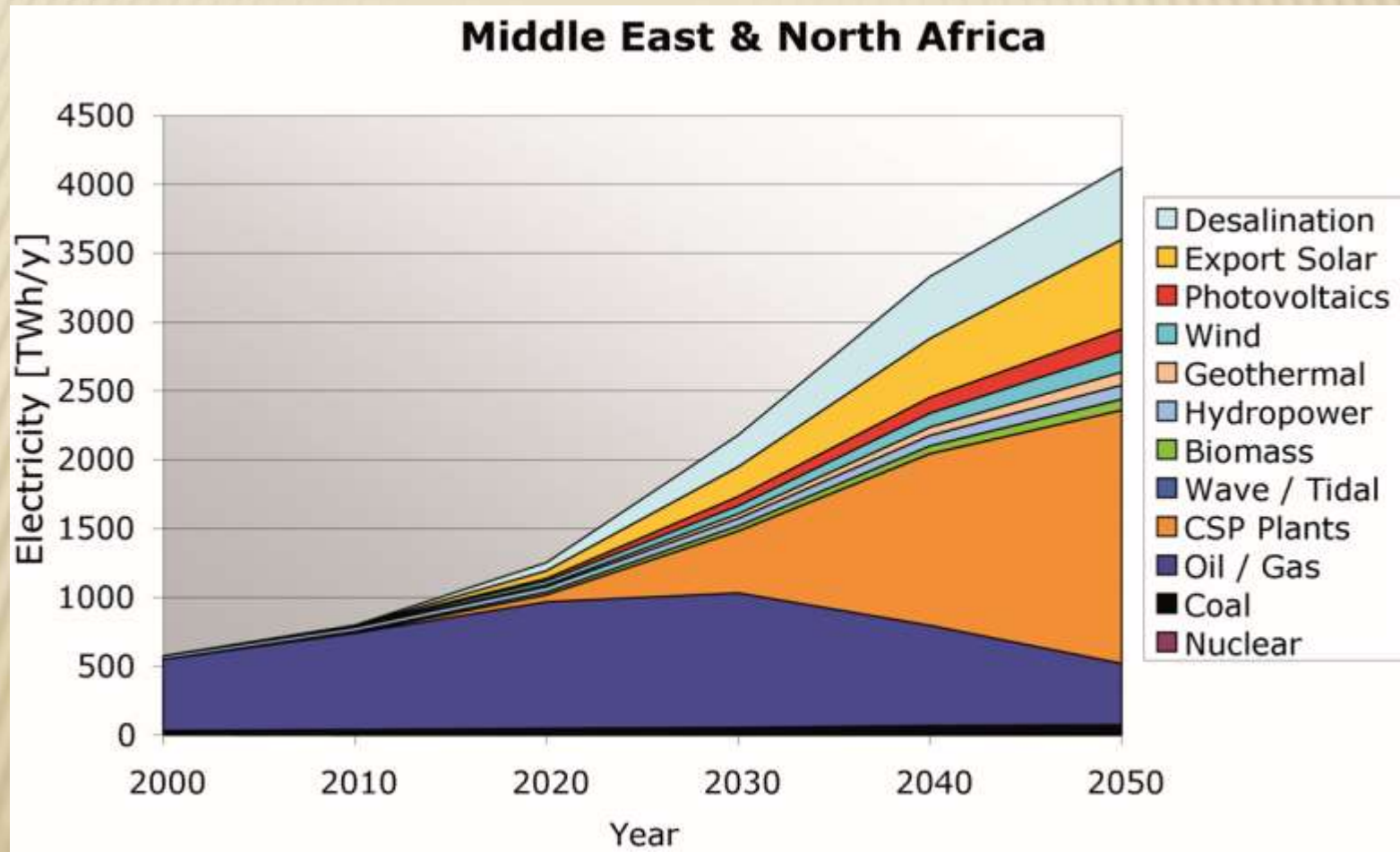
# Energiescenario's

1. Desertec visie (2007)
2. Desertec Industrial Initiatieve (2012)
3. Ecofys (The Energy Report voor het WNF -2011)
4. Global Energy Assessment (2012)
5. Nederland?

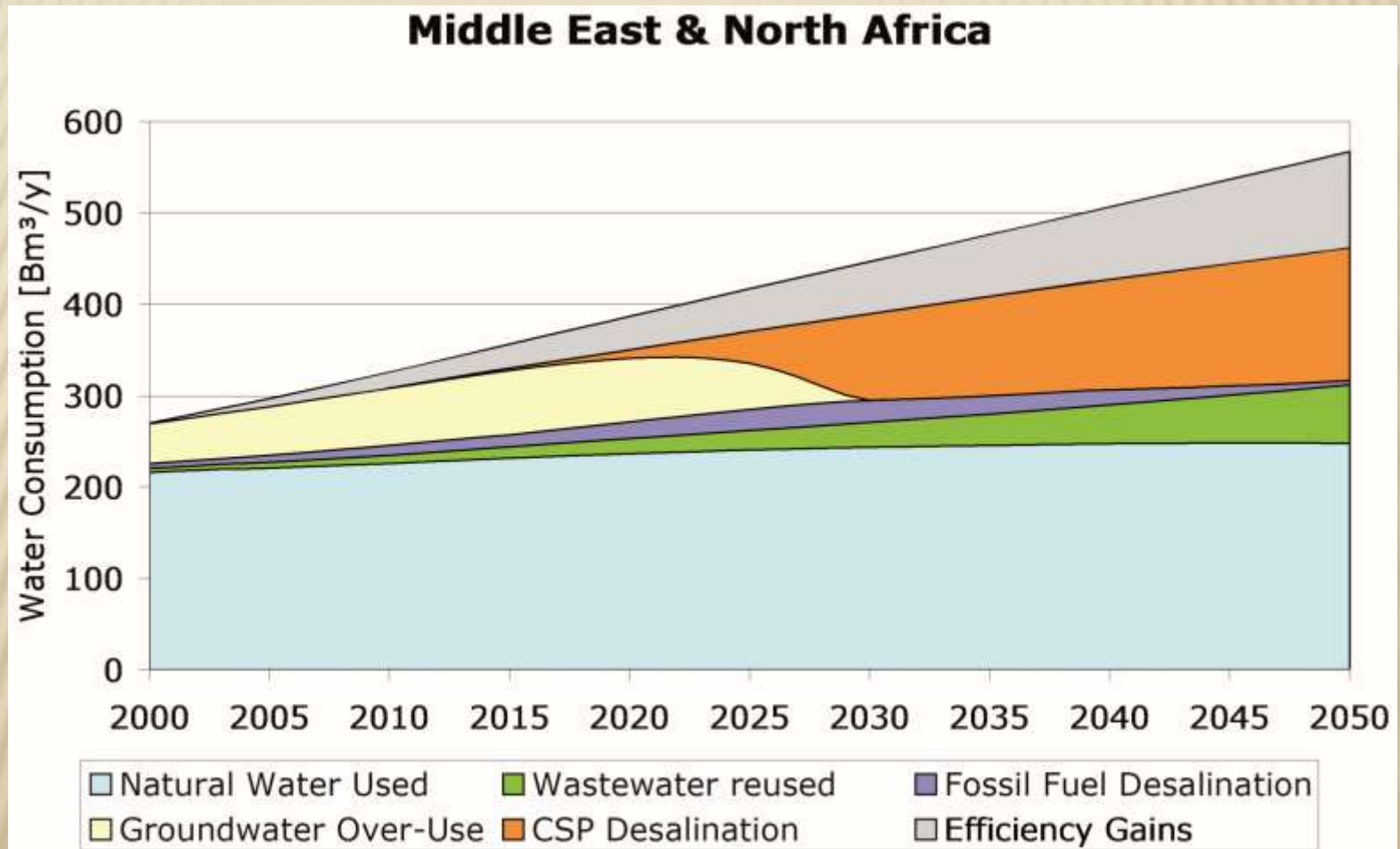
# DESERTEC VISIE WHITE BOOK 2007



# DESERTEC VISIE (2007 WHITE BOOK)

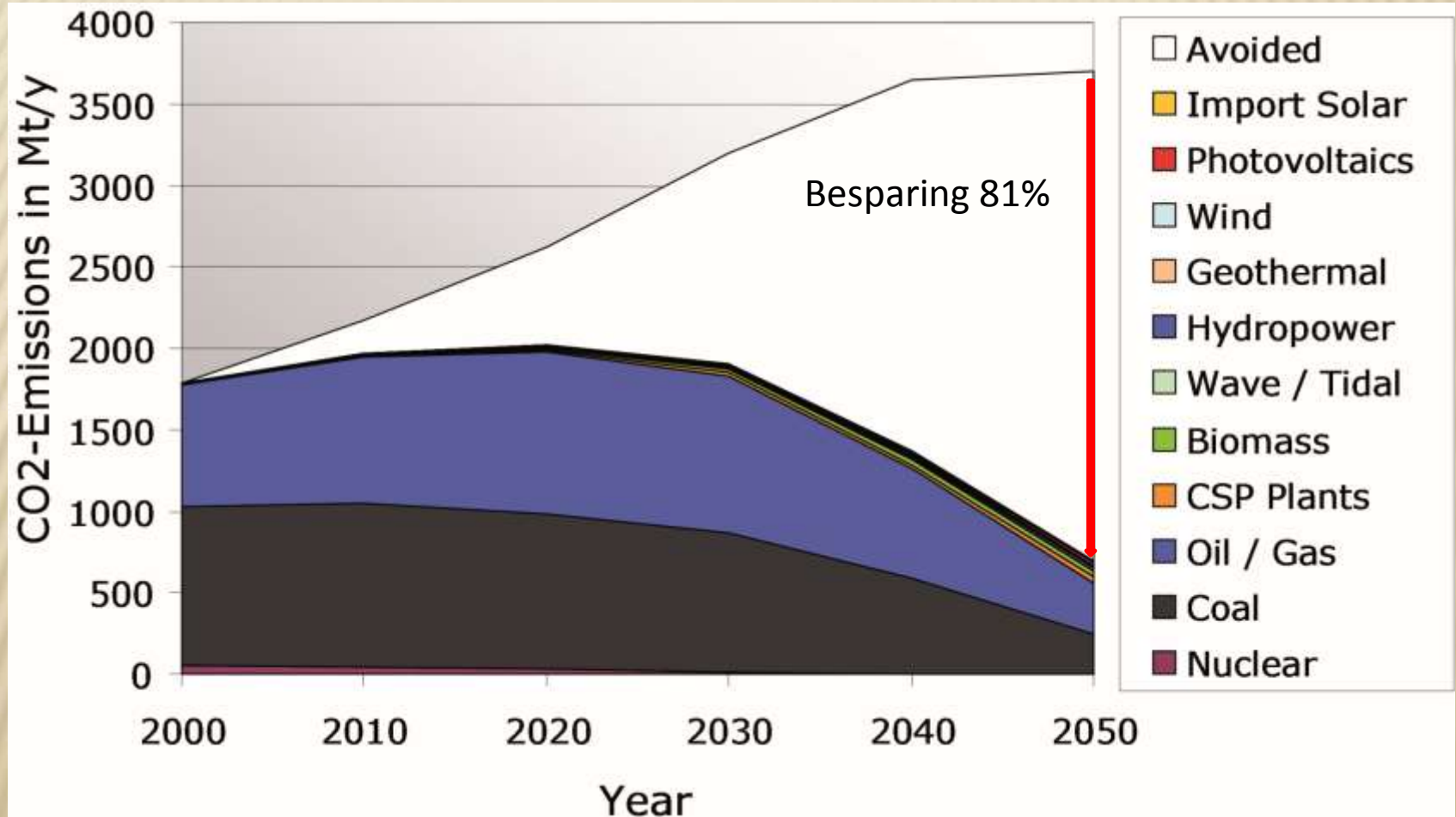


# HET DESERTEC CONCEPT WATER VOOR WOESTIJN





# HET DESERTEC CONCEPT (VERMEDEDEN EMISSIE)





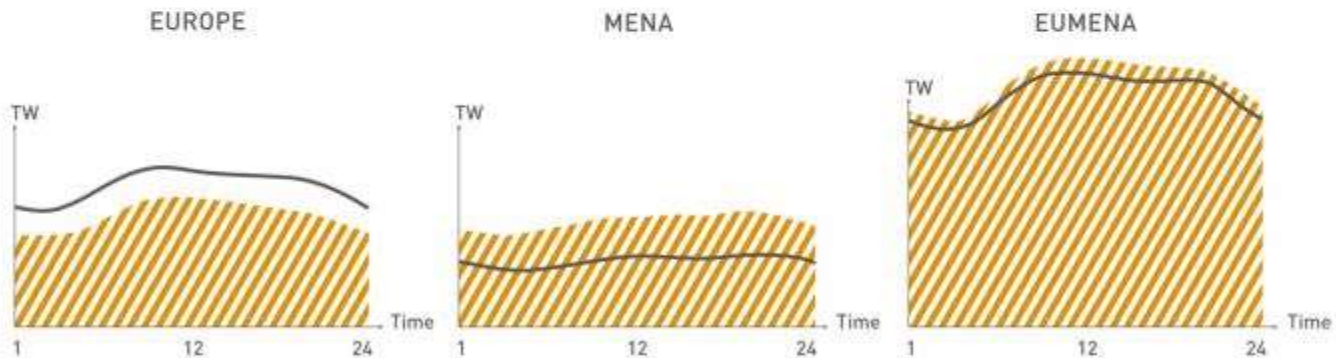
# DESERTEC INDUSTRIAL INITIATIVE



# DESERT POWER 2050 DII

## AVERAGE SUMMER DAY IN EUROPE AND MENA

 Supply  
 Demand/Load

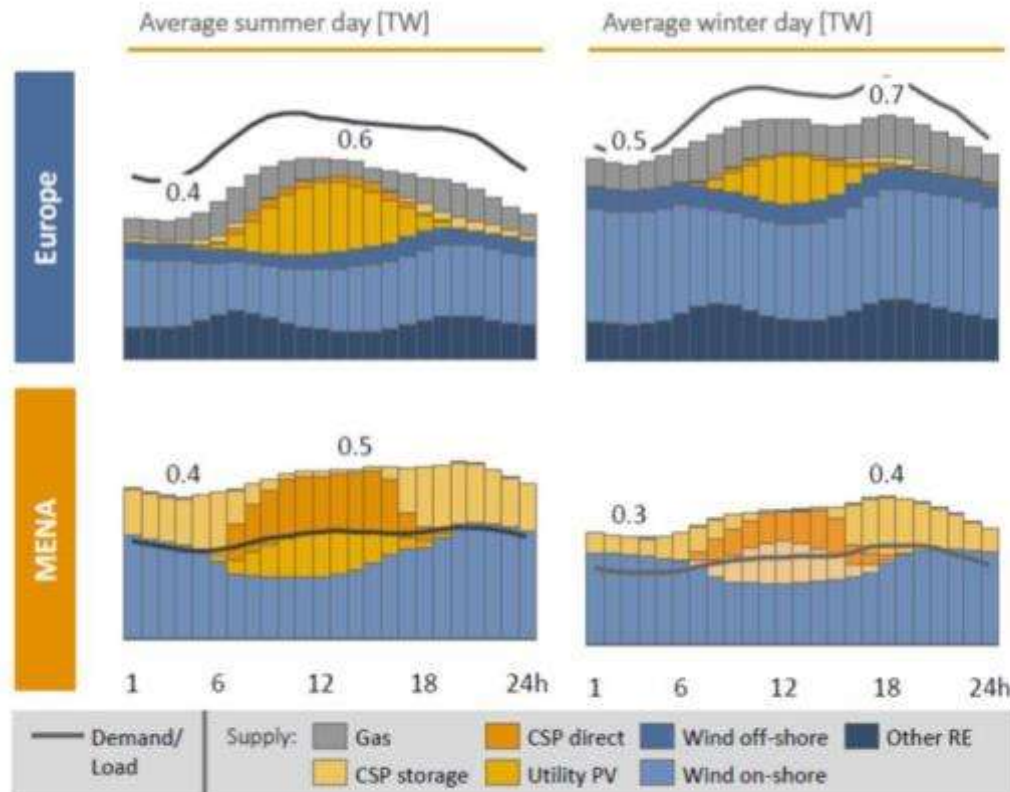


# ZOMER WINTERDAG GEDETAILLEERD

Long term: MENA and Europe perfect partners since demand as well as supply complimentary



From „Desert Power 2050“



Lessons learned for 2050

- MENA and Europe demand with seasonal fit
- MENA and Europe Wind regimes complimentary
- MENA solar power strongest when European winds weak
- Strong grids needed in any case, EUMENA grid integration ensures best payback

Source: Dii, Fraunhofer ISI

# Increasing returns or decreasing risk are options to get more positive investment decisions

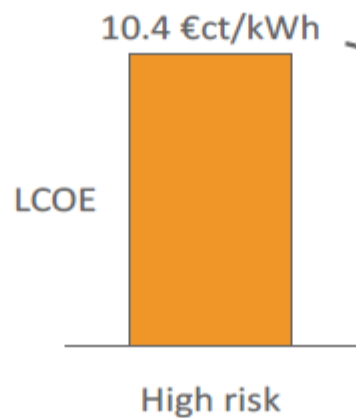


## Why are finance conditions so important?

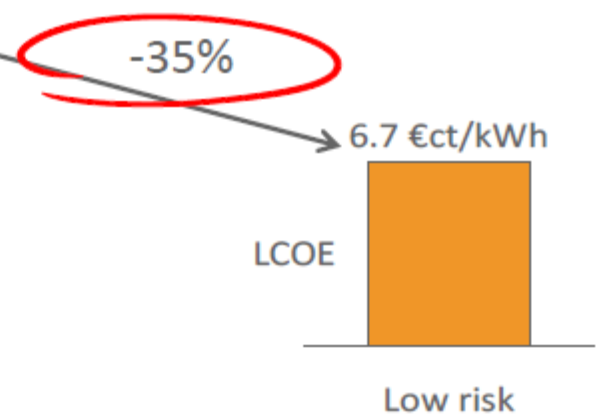
### Increase returns / chances

- Offer subsidies
- Look for best natural resources
- Decrease system cost
- Choose markets with higher demand/electricity prices

### High risk – high returns expectations



### Decreased risk = lower return expectations



50 MWp PV Plant	
Leverage (Equity/Debt)	40/60
IRR on equity	15%
Debt all-in interest rate	8%
Min. DSCR	1.4
Tenor	10 yrs
Export credit guarantee	7%

50 MWp PV Plant	
Leverage (Equity/Debt)	20/80
IRR on equity	8%
Debt all-in interest rate	3.75%
Min. DSCR	1.25
Tenor	18 yrs
Export credit guarantee	-

Lower risks makes electricity cheaper and leads to more RE projects

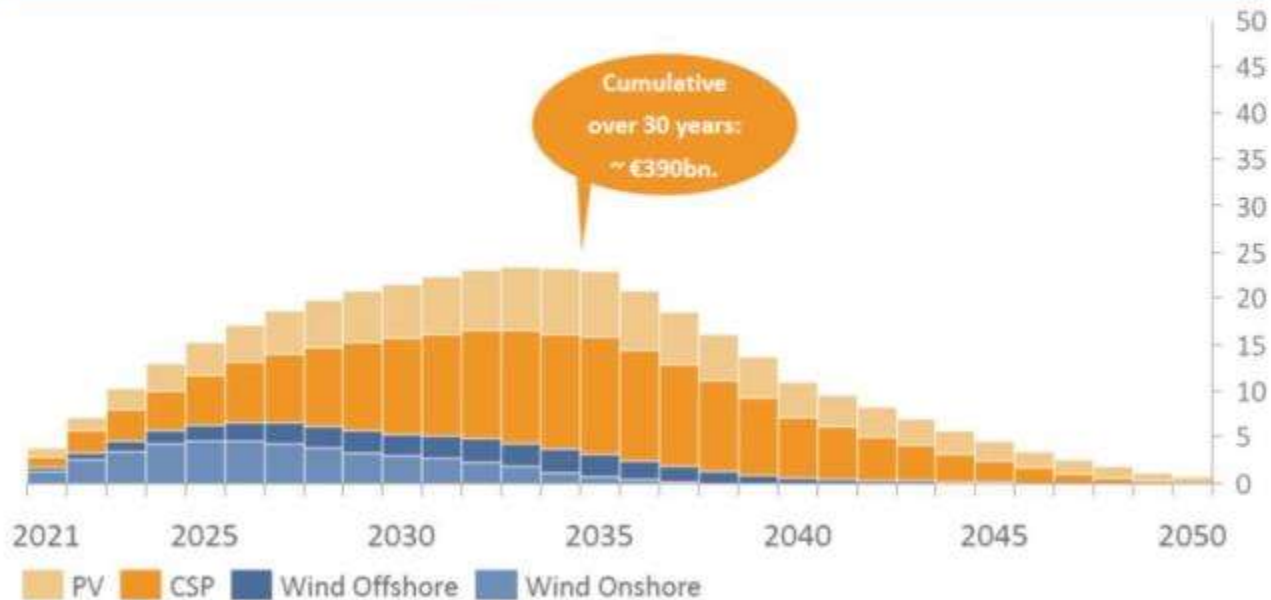
# KAN HET ZONDER SUBSIDIE?

To close gap to conventional firm power after 2020,  
€390bn. needed over 30 years in all of EUMENA



3 Market

RE support expenditures<sup>1</sup> for post-2020 RE in EUMENA [bn EUR]



<sup>1</sup> Calculated based on a harmonized FIP across EUMENA.

Source: Dii, Fraunhofer ISI, TU Vienna. Note: RES-E only includes PV, CSP, Wind offshore, Wind onshore.

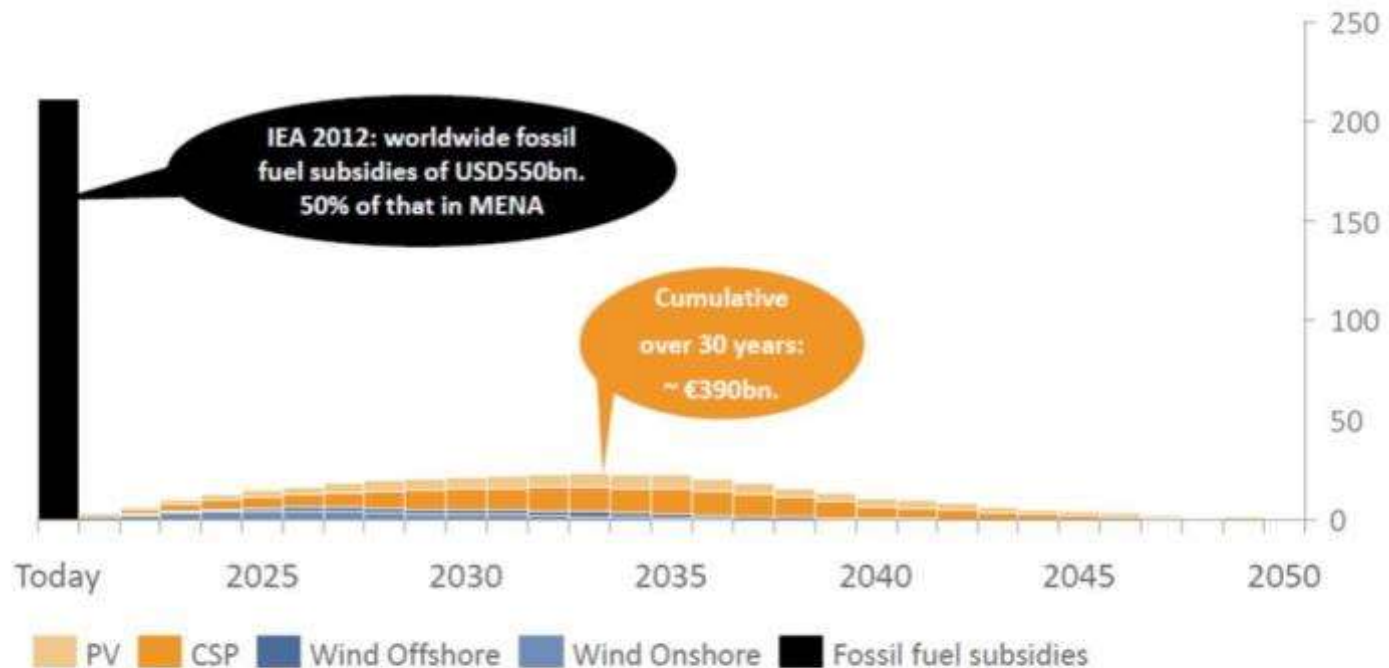
# IS DAT VEEL?

Today's fossil fuel subsidies dwarf the needed RE support



3 Market

RE support expenditures<sup>1</sup> for post-2020 RE in EUMENA [bn EUR]



1. Calculated based on a harmonized FIP across EUMENA

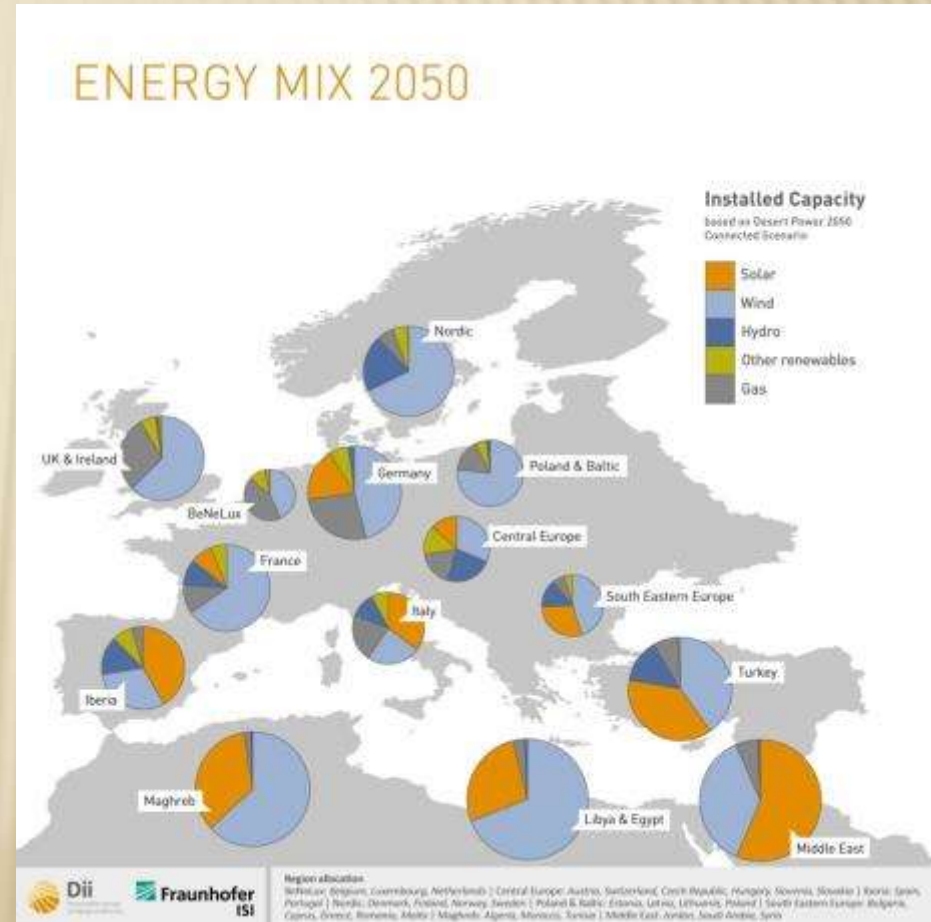
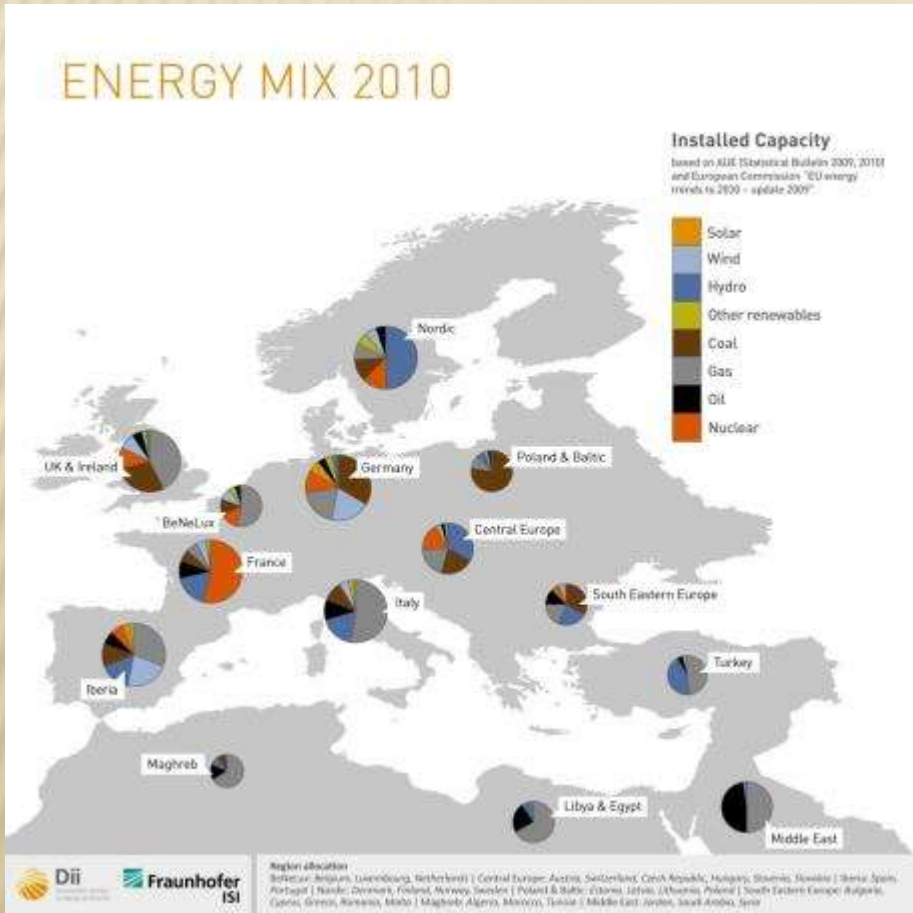
Source: Dii, Fraunhofer ISI, TU Vienna. Note: RES-E only includes PV, CSP, Wind offshore, Wind onshore

© Dii GmbH

31 October 2013

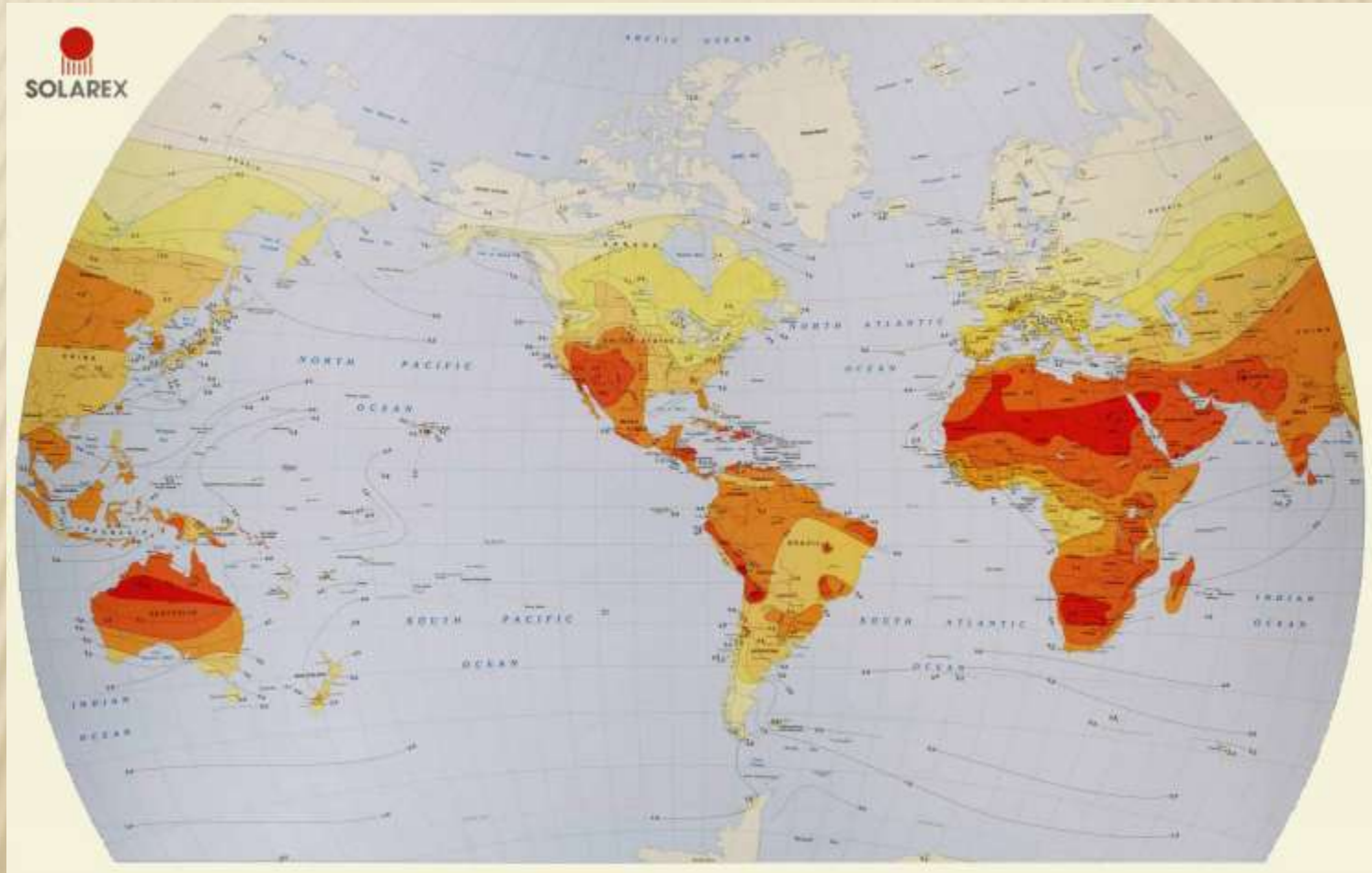
12

# ENERGIEMIX EUROPA \_ MIDDEN-OOSTEN EN NOORD-AFRIKA

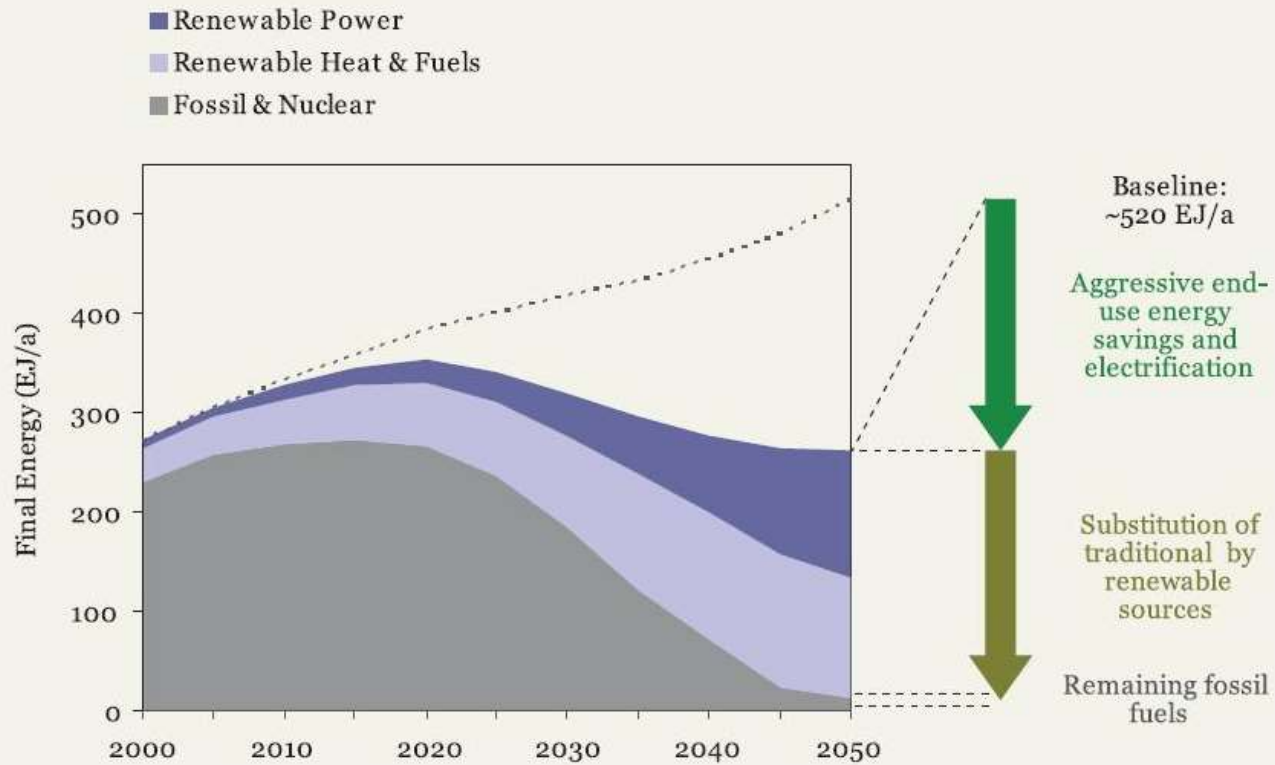




# GEBIEDEN DIE GESCHIKT ZIJN

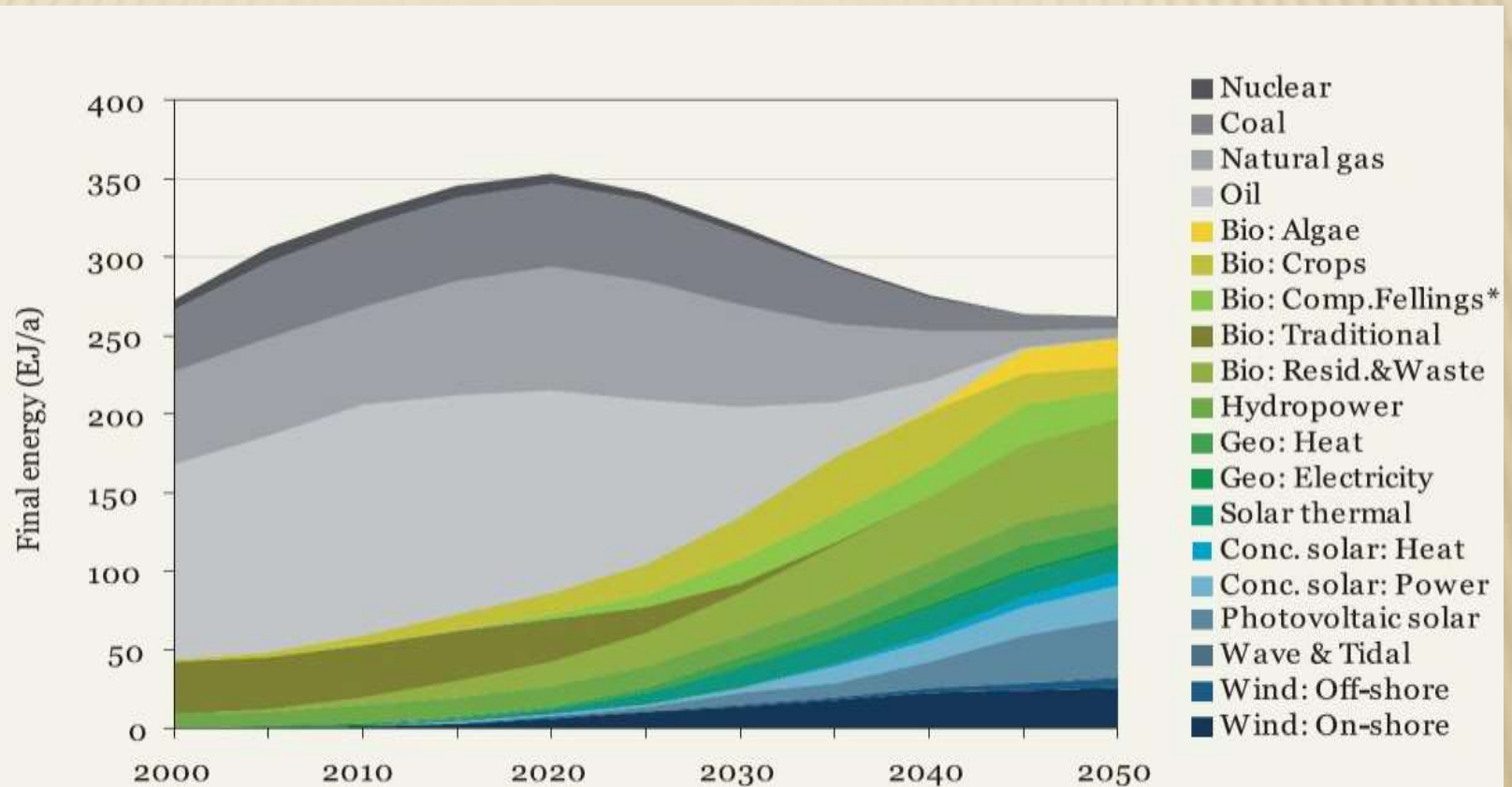


# WERELD SCENARIO ECOFYS



**Figure 1**  
Evolution of energy supply in the Energy Scenario,  
showing the key developments.  
Source: The Ecofys Energy Scenario, December 2010.

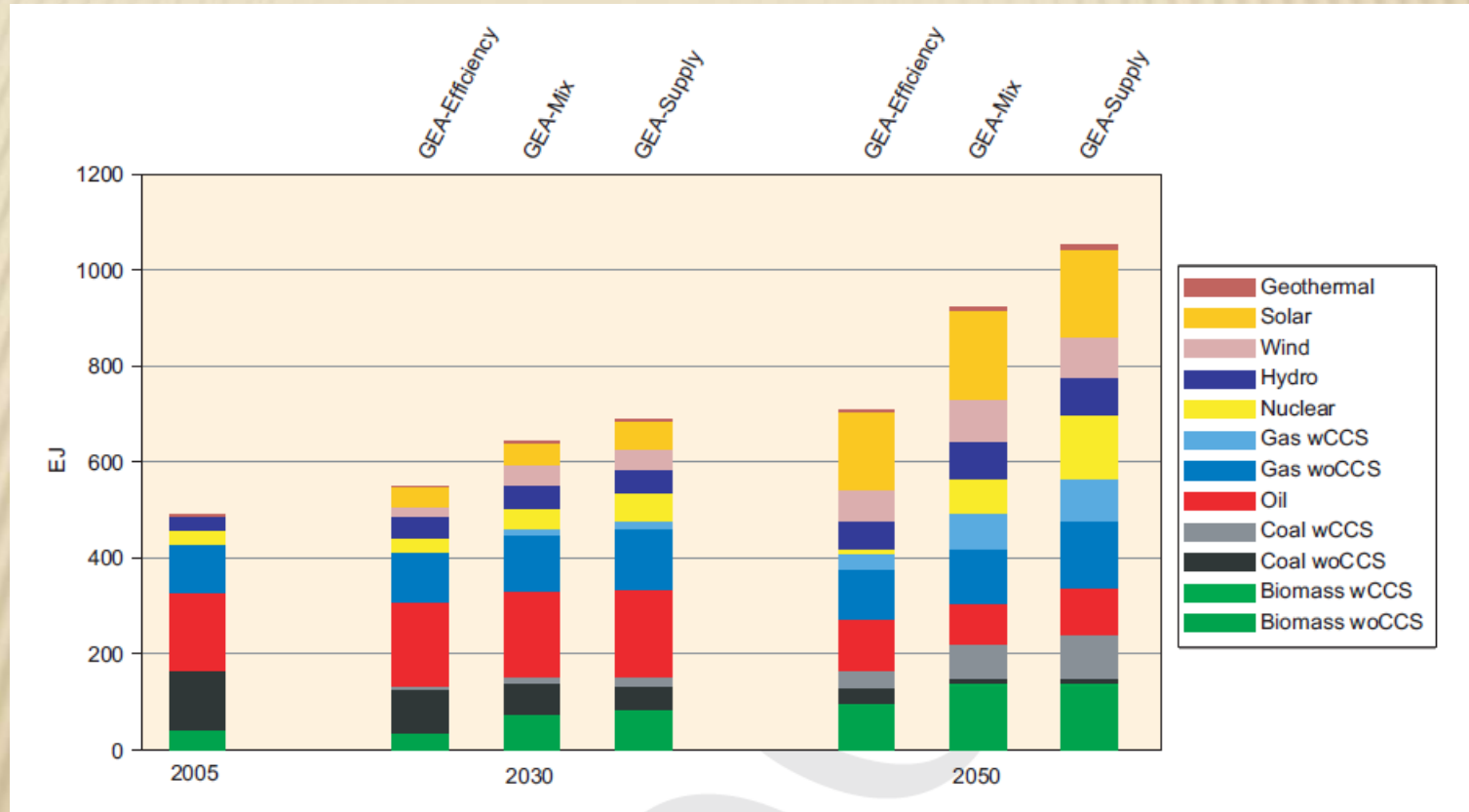
# WERELDSCENARIO ECOFYS NAAR BRON



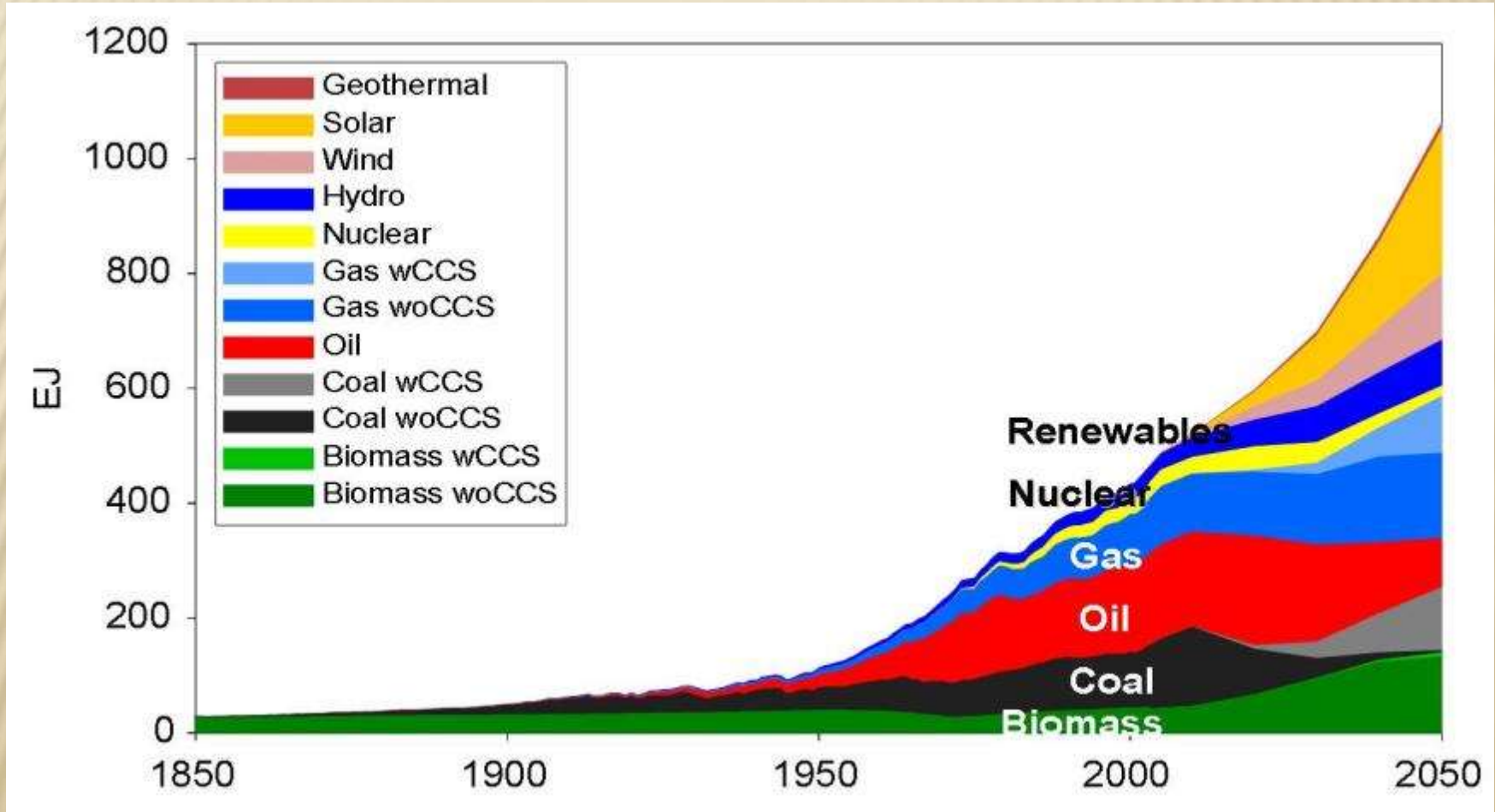
**Figure 4: World Energy Supply by Source.**  
The Ecofys Energy Scenario, December 2010

# GLOBAL ENERGY ASSESSMENT

INTERNATIONAL INSTITUTE FOR APPLIED SYSTEMS ANALYSIS

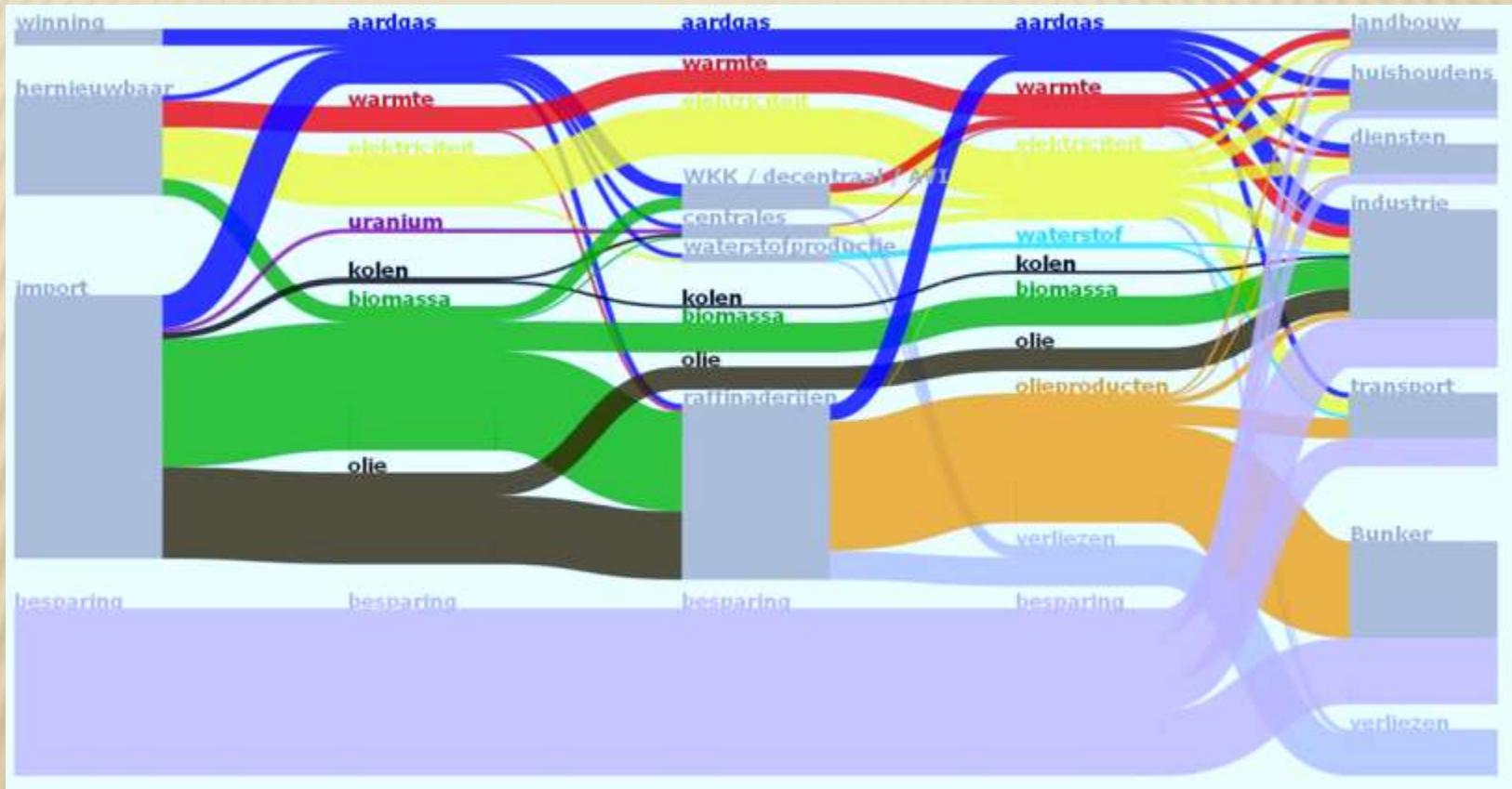


# GEA MET UITGEFASEERDE KERN-ENERGIE



# MOGELIJK SCENARIO VOOR NL IN 2040 BRON

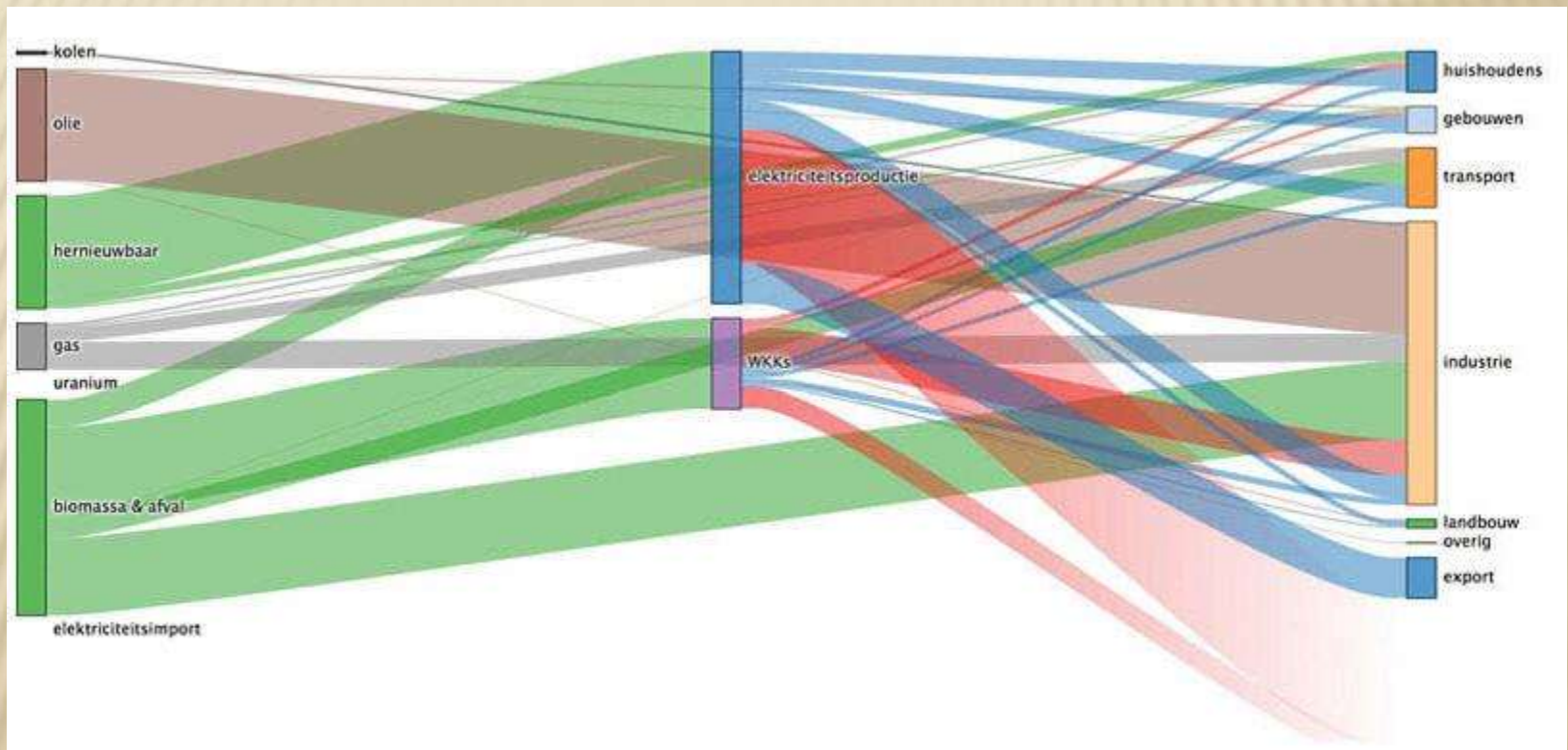
ECN, KENMERK VEEL IMPORT BIOMASSA. 80% CO2 REDUCTIE



# NL 100% DUURZAAM IN 2030 (URGENDA)

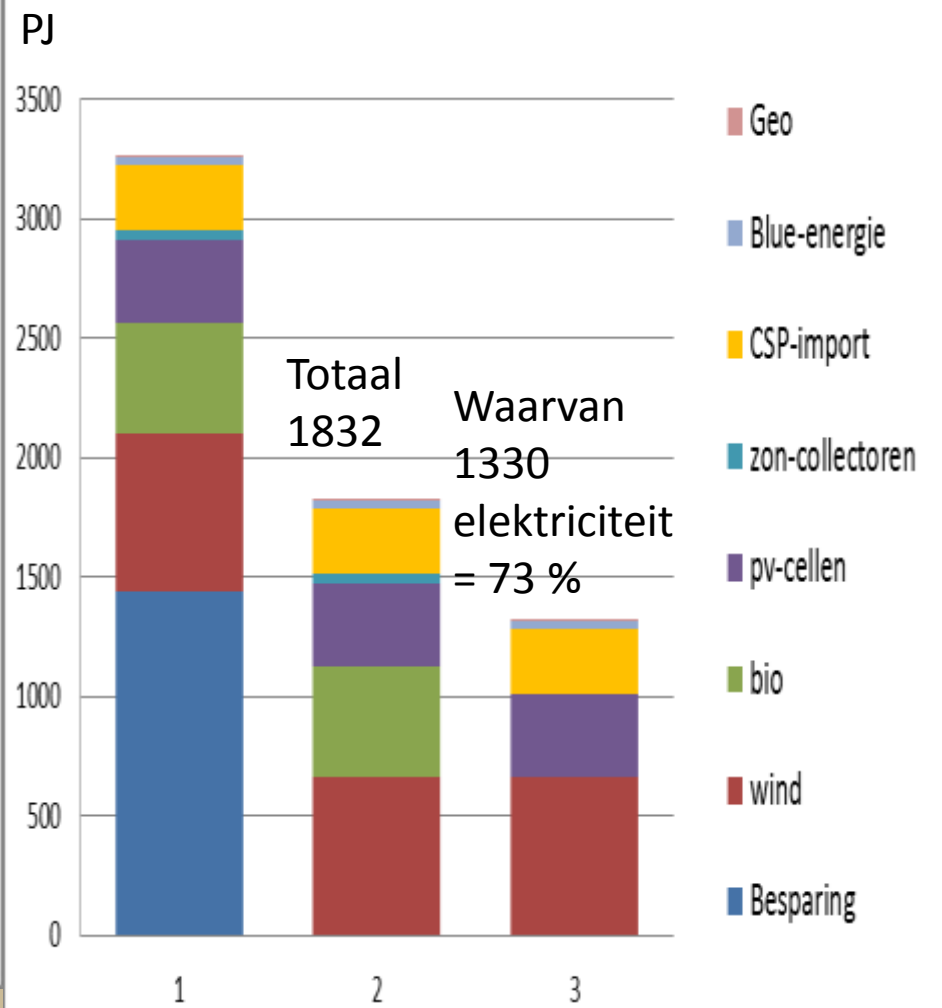
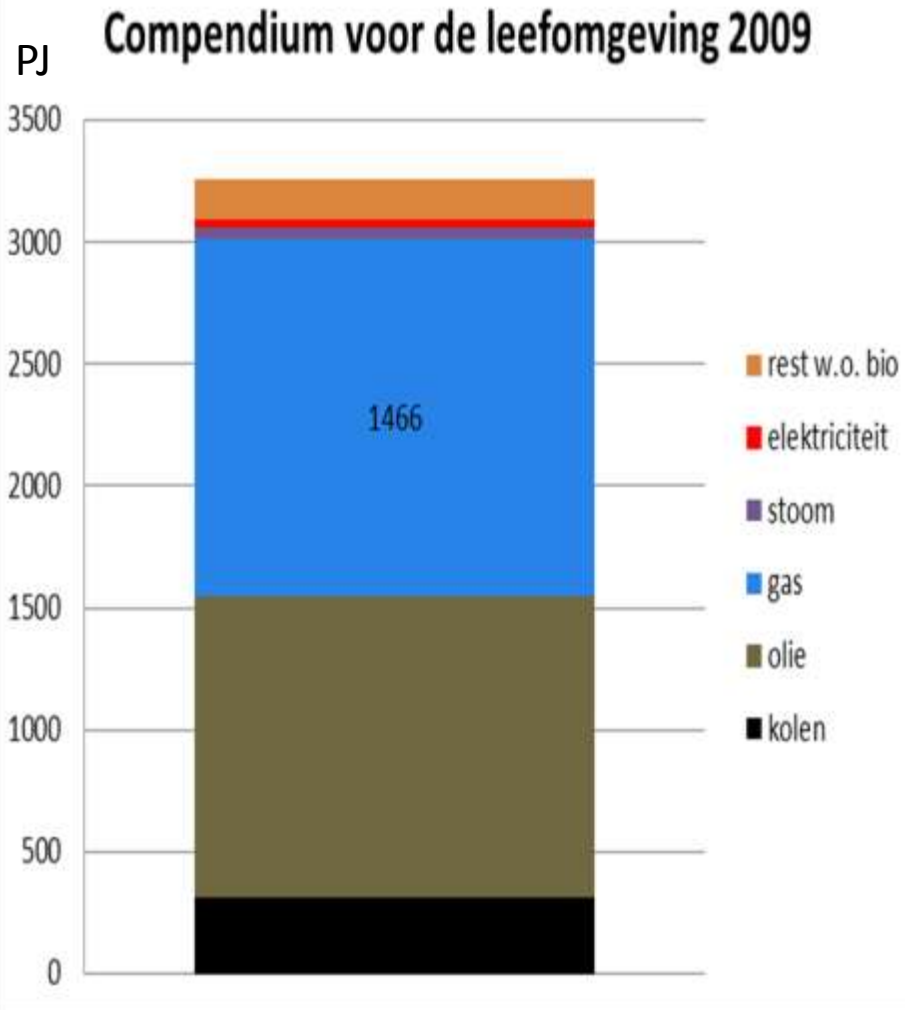
KENMERK NOG MEER BESPARING EN OOK VEEL BIO-IMPORT

48 % besparing

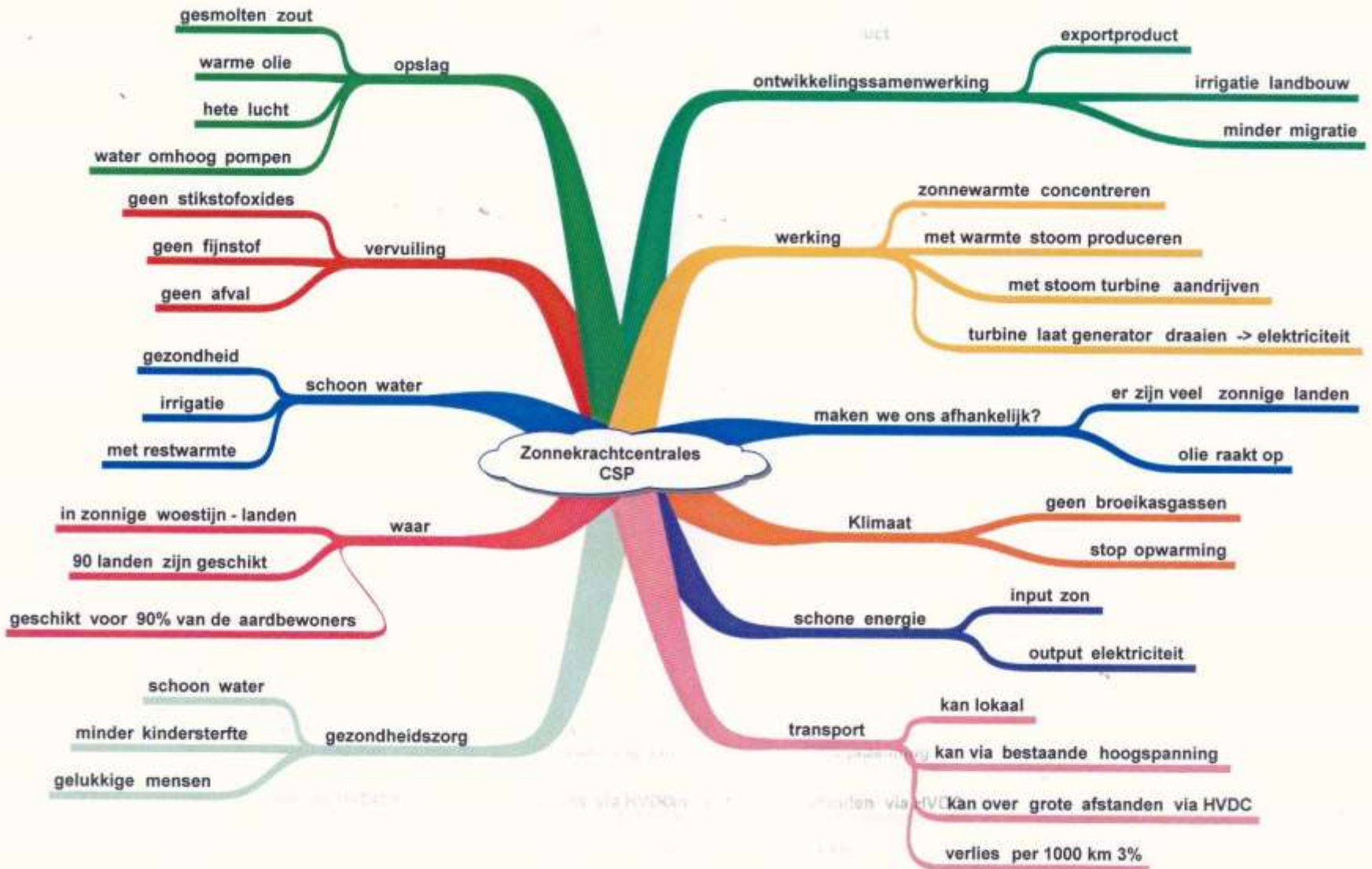


# ENERGIEGEBRUIK NL IN 2050

NL krijgt nieuwe energie







# Conclusie, voordelen van CSP

- × 90 landen geschikt
- × Opslag warmte
- × Daardoor elektriciteit op afroep
- × Zowel baseload, midload als peakload
- × Schoon waterproductie
- × Transport 3% verlies per 1000 km

# MET DANK VOOR UW AANDACHT

- × Sietse de Haan  
[voorzitter@zonnekrachtcentrales.nl](mailto:voorzitter@zonnekrachtcentrales.nl)
- × [www.zonnekrachtcentrales.nl](http://www.zonnekrachtcentrales.nl)

Vereniging voor  
ZonneKrachtCentrales

Postbus 562  
2800 AN Gouda



[www.zonnekrachtcentrales.nl](http://www.zonnekrachtcentrales.nl)  
[www.vzkc.nl](http://www.vzkc.nl)

# LITERATUUR (EEN GREEP UIT)

- × IPCC (intergouvernemental panel on climate change) het vierde klimaatrapport van de VN (2014) (Drie van de vier deelrapporten zijn verschenen) zie <http://ipcc.ch/> dia 4, 5 & 6
- × Rapport: Fijn stof nader bekeken (RIVM 2005) e.a.
- × Jeremy Leggett: Uit de olie (Uitg. Jan van Arkel 2014 dia 9)
- × Global energy [r]evolution ([Greenpeace e.a. 2012](#)) dia 10
- × Cijfers voor de toekomst 20 jaar duurzame ontwikkeling in Europa? (publicatie EUROSTAT dia 8, 11 t/m 13)
- × Stroomdiagram Nederlandse energie huishouding (gegevens CBS bewerking ECN 2010 dia 14 t/m 18)
- × Desertec Foundation [www.desertec.org](http://www.desertec.org)
- × White Book Desertec foundation 2007, gebaseerd op drie rapporten van het Deutsche Luft und Raumfahrtinstitut.
- × Desertec Industrial Initiative [www.dii-eumena.com](http://www.dii-eumena.com)
- × The Energy Report. Ecofys in opdracht van het WNF 2011
- × Global Status Report 2014 REN21 (Renewable Energy for the 21th century) één van de meest geciteerde rapporten op het gebied van hernieuwbare energie. Verschijnt ieder jaar. )
- × Global Energy Assessment 2012 (International Institute for Applied Systems Analysis)
- × Desert Power 2050 (Dii-Fraunhoferinstitut, 2012) Zeer uitgebreide en gedegen studie over mogelijk scenario in 2050 uitgaande van reële getallen
- × Solar Paces <http://www.solarpaces.org/>
- × CSP today <http://social.csptoday.com/>
- × Vereniging voor Zonnekrachtcentrales [www.zonnekrachtcentrales.nl](http://www.zonnekrachtcentrales.nl)
- × Diverse conferenties waaronder die van Dii