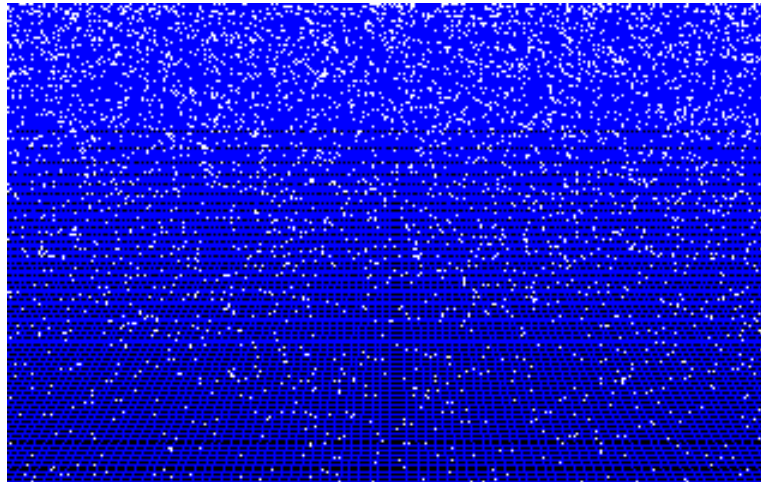


Kernenergie

HOVO cursus



Jo van den Brand en Gideon Koekoek

www.nikhef.nl/~jo/energie

29 november 2011

Inhoud

- **Jo van den Brand**

- Email: jo@nikhef.nl URL: www.nikhef.nl/~jo/energie
- 0620 539 484 / 020 598 7900, Kamer T2.69

- **Gideon Koekoek**

- Email: gkoekoek@nikhef.nl

- **Dictaat**

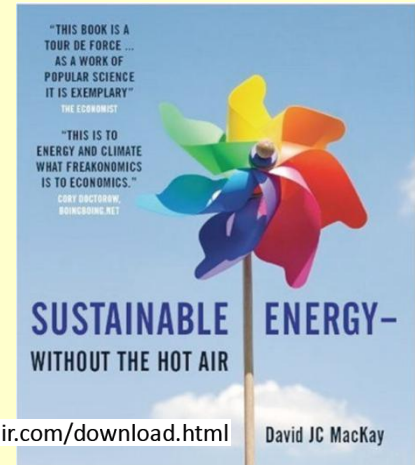
- Werk in uitvoering

- **Boeken**

- Energy Science, John Andrews & Nick Jelley
- Sustainable Energy – without the hot air, David JC MacKay
- Elmer E. Lewis, Fundamentals of Nuclear Reactor Physics

- **Inhoud van de cursus**

- Week 1 Motivatie, exponentiële groei, CO2 toename, broeikasteffect, klimaat
- Week 2 Energieverbruik: transport, verwarming, koeling, verlichting, landbouw, veeteelt, fabricage
- Week 3 Energie, thermodynamica
- Week 4 Entropie, enthalpie, Carnot, Otto, Rankine processen, informatie
- Week 5 Kernenergie: kernfysica, splijting
- Week 6 Kernenergie: reactorfysica I
- Week 7 Kernenergie: reactorfysica II
- Week 8 Kernenergie: maatschappelijke discussie (risico's, afval), kernfusie
- Week 9 Energiebronnen: fossiele brandstoffen (olie, gas, kolen), wind, zon (PV, thermisch, biomassa), waterkracht, geothermisch
- Week 10 Energie: scenario's voor Nederland, wereld, fysieke mogelijkheden, politiek, ethische vragen, economische aspecten



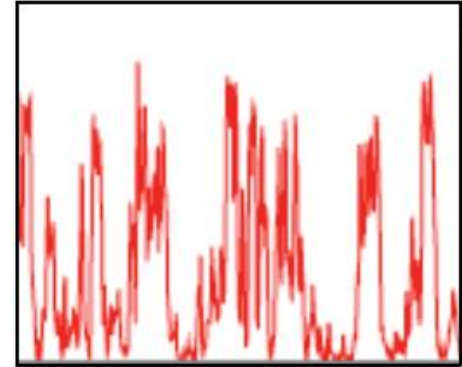
<http://www.withouthotair.com/download.html>

David JC MacKay

Gratis te downloaden

Fluctuaties, energieopslag en transport

- Fluctuaties
 - Variatie in energiebehoefte
 - Hoe gaan we hier nu mee om?
- Hoe erg zijn fluctuaties bij duurzame energie?
 - Kunnen we 20% windenergie accommoderen?
- Welke strategieën zijn er?
 - Omgaan met fluctuaties op korte en lange termijn
 - Water basin as “pumped storage”
- Verandering in behoefte
 - Smart consumers
 - Smart grids
 - Elektrische auto's
- Kernenergie
 - Xenon vergiftiging
- HV transmissielijnen
- Energieopslag
 - Vliegwielen, batterijen, ...



Drijvende reactor: overal neer te zetten...

wnn
world nuclear news

NEW NUCLEAR

Front Page

ENERGY & ENVIRONMENT

NEW NUCLEAR

REGULATION & SAFETY

NUCLEAR POLICIES

CORPORATE

EXPLORATION & NUCLEAR FUEL

WASTE & RECYCLING

Nuclear Event Reports

About WNN
Contact

This information service
is supported by

 World
Nuclear
Association

Subscribe to receive
WNN's free emails

 First Annual WNA-WNN
Design Showcase

Russia relocates construction of floating power plant
11 August 2008

The Russian government has approved a decision by Rosatom to cancel the general contract with Sevmash for the construction of the first floating nuclear power plant and to move production to Baltiysky Zavod.

According to Rosatom, the Sevmash shipyard in Severodvinsk is inundated with orders and must concentrate its efforts on fulfilling federal military contracts. The floating nuclear power plant project, together with unused funds, will be returned to Rosenergoatom, the customer for the floating plant.



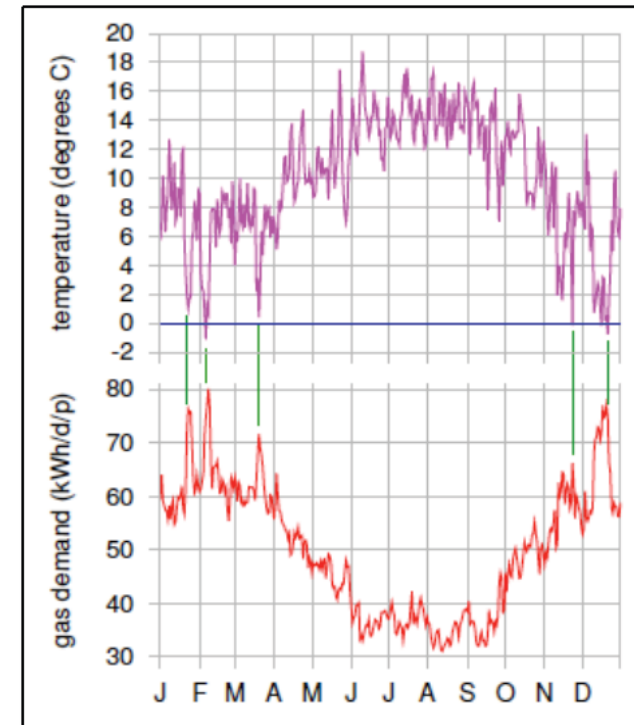
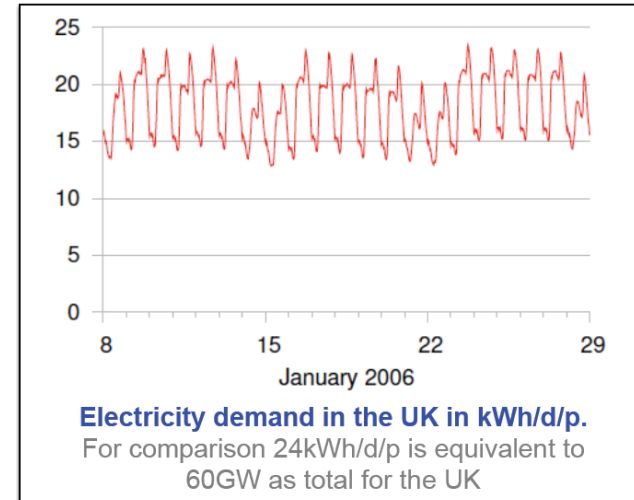
How the floating plant could look (Image: Rosatom)

Rosatom said that the government has approved the transfer of work from Sevmash to Baltiysky Zavod, based in St Petersburg. Rosenergoatom and Baltiysky Zavod have already agreed the preliminary terms of a contract, which Rosatom expects to sign in the "near future."



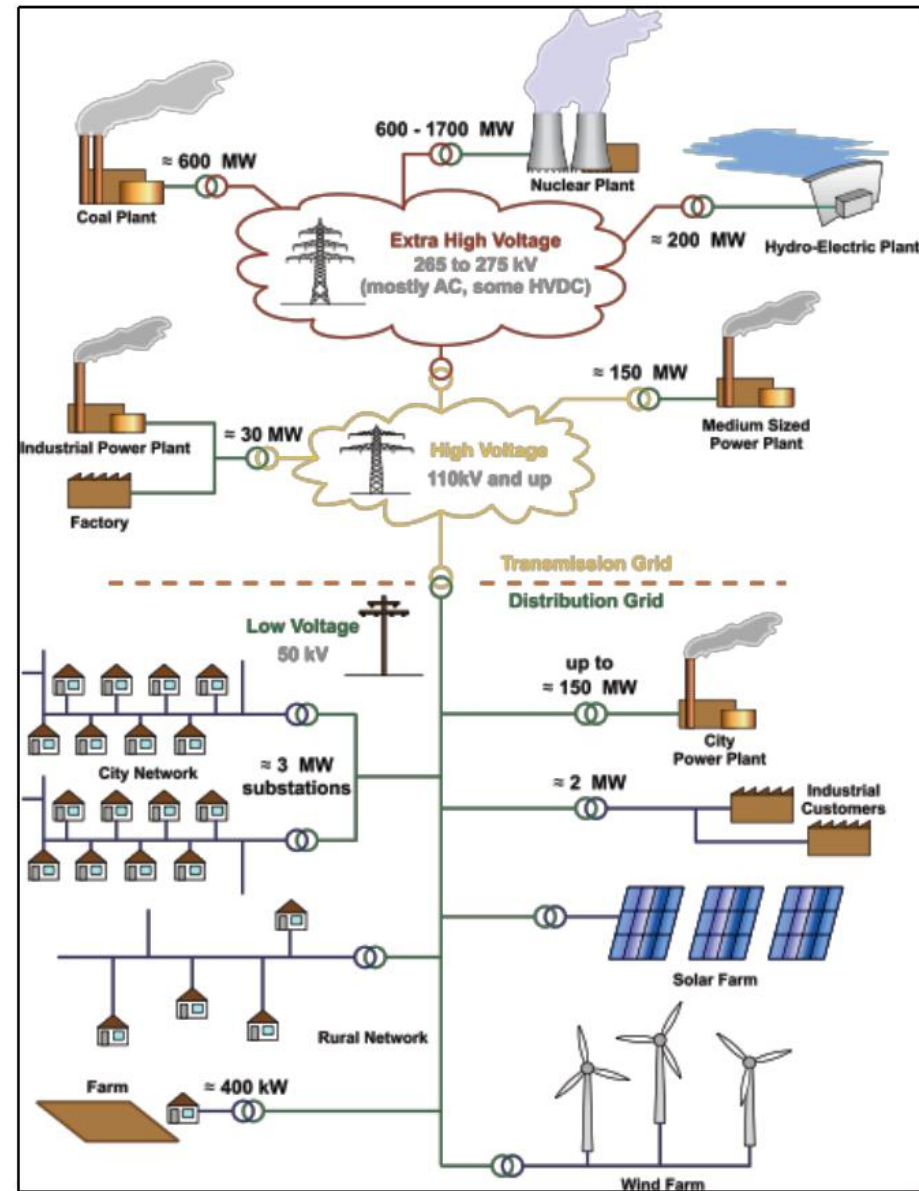
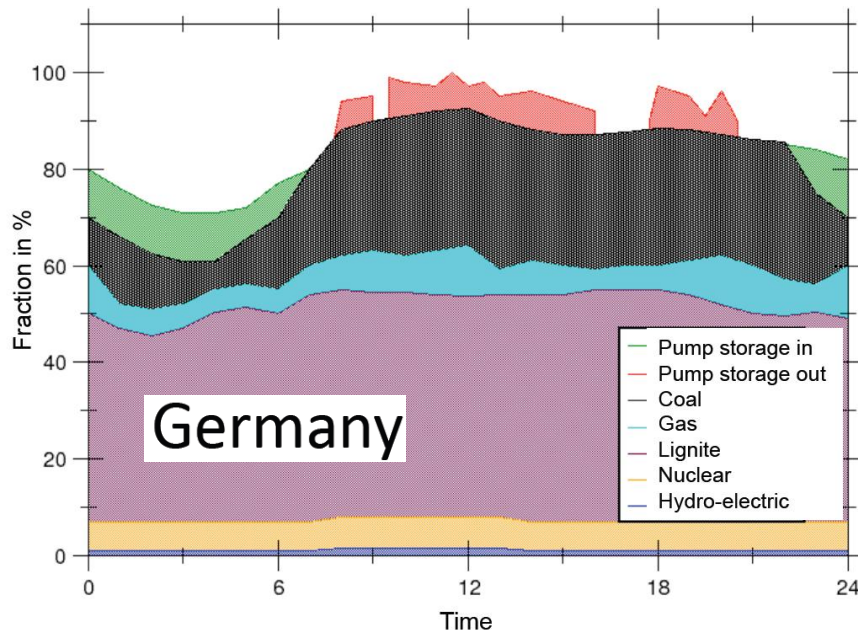
Fluctuaties in energieverbruik

- Energiebehoefte varieert op diverse tijdschalen
 - Seizoenen
 - Dag en nacht
 - Ochtend en avond
 - Zelfs de verschillen tussen werkdagen en weekenden zijn zichtbaar in het energieverbruik
- We dienen voor deze fluctuaties te compenseren
 - Bufferen van energie
 - Aanpassen van energieproductie en/of verbruik
- Voor Nederland
 - Aantal inwoners is 16.7 miljoen (2011)
 - Verbruik NL
 - Elektriciteit 307 PJ. Dat is $307 \times 10^{15} \text{ J} / (365 \times 24 \times 3600 \text{ s}) = 9.7 \text{ GW}$
 - Aardolie (vervoer) 1154 PJ (36.6 GW)
 - Totaal 3332 PJ (inclusief gas etc.). Dat is 106 GW
 - Verbruik van 1 kWh/d/p correspondeert met $(1000 \text{ W} \times 3600 \text{ s}) / (3600 \text{ s} \times 24 \text{ uur}) = 41.67 \text{ W/p}$
 - Voor Nederland $41.46 \text{ W/p} \times 16.7 \text{ miljoen} = 0.696 \text{ GW}$
 - Stel we elektrificeren ook alle vervoer
 - Elektriciteitsbehoefte is dan $9.7 + 36.6 = 46 \text{ GW}$
 - Dat is ook 66 kWh/d/p



Energieproductie veranderen

- Sommige elektriciteitscentrales werken op constant vermogen
 - Technische of economische redenen
- We houden een aantal opties standby
 - Schakel productie aan indien nodig
 - In Nederland zijn dit voornamelijk centrales op fossiele brandstof
 - Pumped storage (water basins) kan ook
 - Koop elektriciteit in bij buurlanden

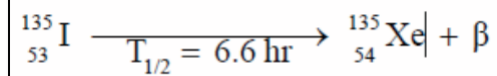


Kerncentrales

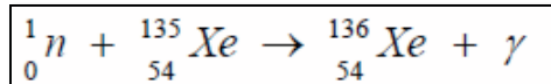
- Kerncentrales zijn minder flexibel in het snel veranderen van opgewekt vermogen dan centrales op fossiele brandstof

- Xenon-vergiftiging

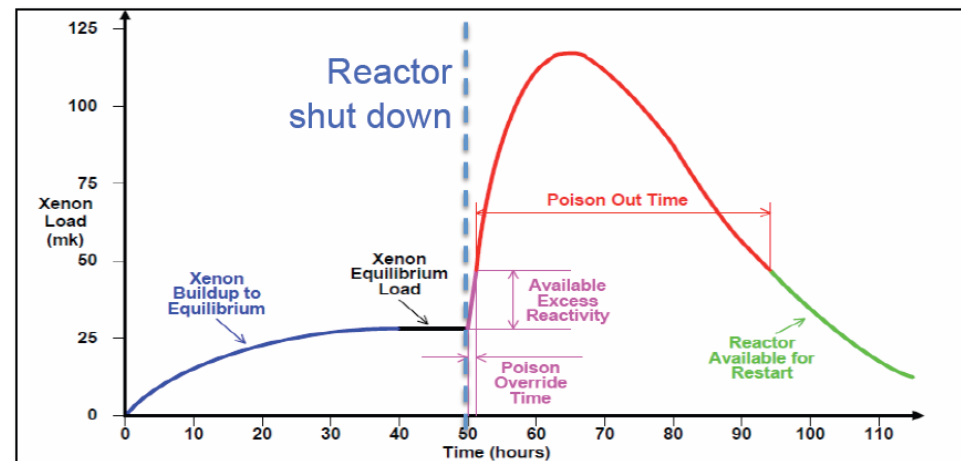
- Verval van jodium-135 levert xenon-135



- Xenon heeft een absorptie werkzame doorsnede die miljoenen keren hoger is dan voor andere materialen in de reactorkern
 - Na invangst van een neutron converteert xenon-135 naar xenon-136
 - Xenon-136 is geen poisson



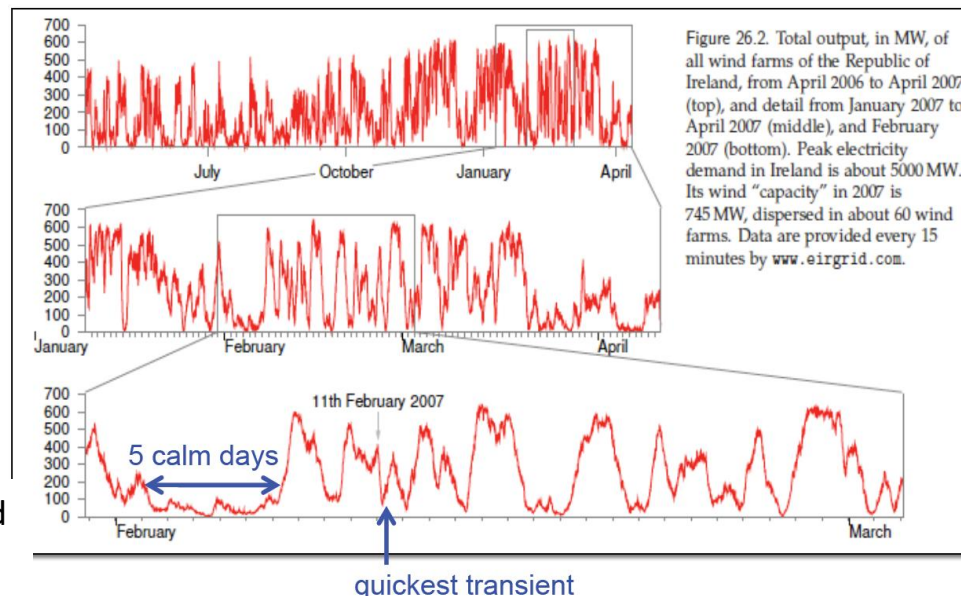
- Xenon-135 heeft een levensduur van 9 uur
 - Tijdens constant bedrijf is er evenwicht tussen xenon-135 productie en neutron geïnduceerd verval
 - Als de reactor wordt uitgezet
 - Geen neutron om xenon-135 te converteren
 - Dagen wachten op xenon-135 verval
 - Daarna kan reactor herstart worden
 - Belangrijke factor in Chernobyl ongeluk
 - Men vermijdt snelle power veranderingen



Fluctuaties in groene productie

- Als we duurzame energie gebruiken, hebben we ook fluctuaties in productie
 - Niet alleen in het verbruik
- Ongeveer 75% van onze groene lijst bestaat uit energiebronnen die
 - Significante fluctuaties vertonen
 - Fluctuaties zijn onvoorspelbaar
- Bij grote oppervlakten en met diverse bronnen
 - Fluctuaties middelen voor een deel uit
 - In hoeverre kunnen we compenseren
- Voorbeeld: 20% elektrische energie (2050) van windparken
 - $0.2 \times 46 \text{ GW} = 9 \text{ GW}$ ($0.2 \times 66 \text{ kWh/d/p} = 13 \text{ kWh/d/p}$)

Alle windparken in Ierland
www.eirgrid.com



160 kWh/d

Biomassa:
28 kWh/d

PV farm:
40 kWh/d

Zon PV:
7 kWh/d

Zon therm.:
18 kWh/d

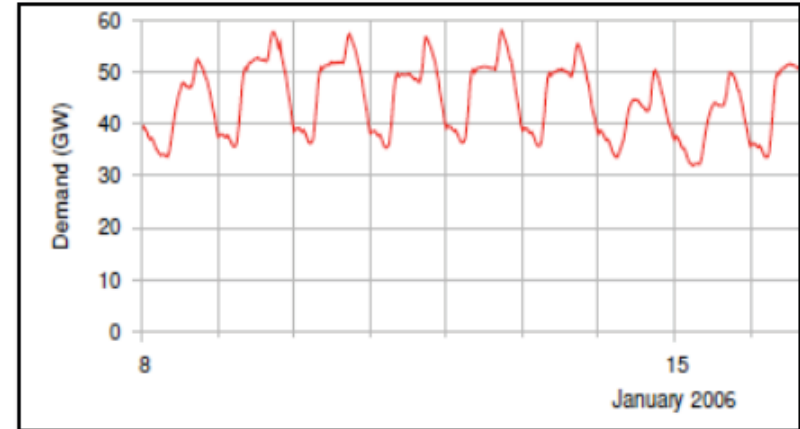
Wind OffS:
57 kWh/d

Wind OnS:
10 kWh/d

Snelle korte termijn veranderingen

- Ierlands windenergie productie
 - Op 11 februari: van 415 MW naar 79 MW in 4 uur
 - Dat is 84 MW/h
- Voor 20% van UK elektriciteitsproductie
 - 33 GW geïnstalleerd vermogen (745 MW in Ierland)
 - 10 GW power output

$$84 \text{ MW/h} \times \frac{33\,000 \text{ MW}}{745 \text{ MW}} = 3700 \text{ MW/h,}$$

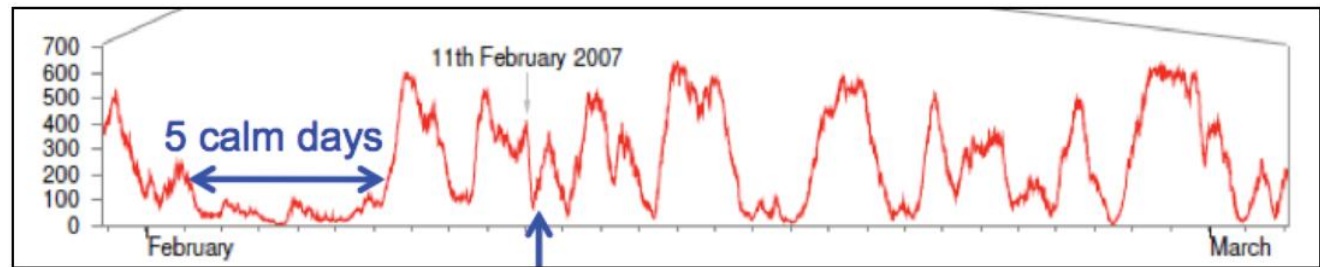


- We moeten fluctuaties van 3700 MW/h kunnen compenseren
- Vergelijk dit met huidige situatie
 - 6.5 GW/h tussen 6:30 en 8:30 am
 - We weten hoe dat moet
 - Dus in principe geen probleem
- Pumped storage
 - Voorbeeld: Dinorwig
 - Hoogte 494 – 542 m, volume 6.7 miljoen m³
 - Vermogen 1.8 GW, opgeslagen energie 9.1 GWh
 - Van 0 tot 1.3 GW in 12 seconde: 390 GW/h
 - Economisch levensvatbaar
 - Jammer voor Nederland (Ijselmeer of Waddenzee?)



Lange termijn veranderingen

- Moeilijker om 5 dagen zonder wind te compenseren
 - Dat is $13 \text{ kWh/d/p} \times 5 \text{ d} \times 16.7 \text{ miljoen personen} = 1085 \text{ GWh}$ in ons “groene scenario”

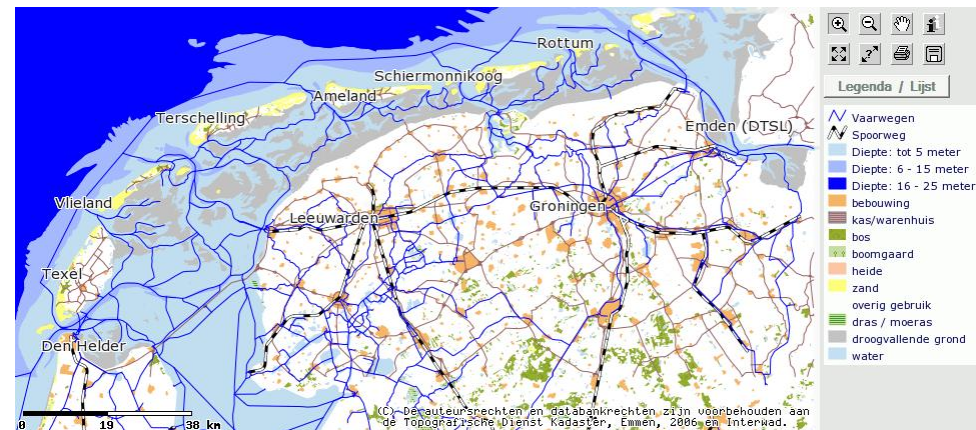


- Potentiele oplossingen
 - Getij-lagoons met pumped storage?
 - Batterijen in onze elektrische auto's
 - Fossiele brandstof centrales?
 - Vliegwielen of supercondensatoren?

Voorbeeld: Waddenzee

- Oppervlak NL deel: 2400 km^2
- Verschil tussen eb en vloed: 2 m
- Pomp 1 m op

- $E = mgh = \rho Ah \times gh = \rho g Ah^2 = (1000 \text{ kg/m}^3)(9.8 \text{ m/s}^2)(2.4 \times 10^9 \text{ m}^2)(1 \text{ m})^2 = 2.4 \times 10^{13} \text{ J}$
- Dat is slechts $(2.4 \times 10^{13} \text{ J}) / (3600 \text{ s}) = 6.5 \text{ GWh}$
- Het zou “lukken” als we 13 meter konden oppompen (gaat met h -kwadraat)
- Uiteraard in de praktijk geen 100% efficiëntie mogelijk

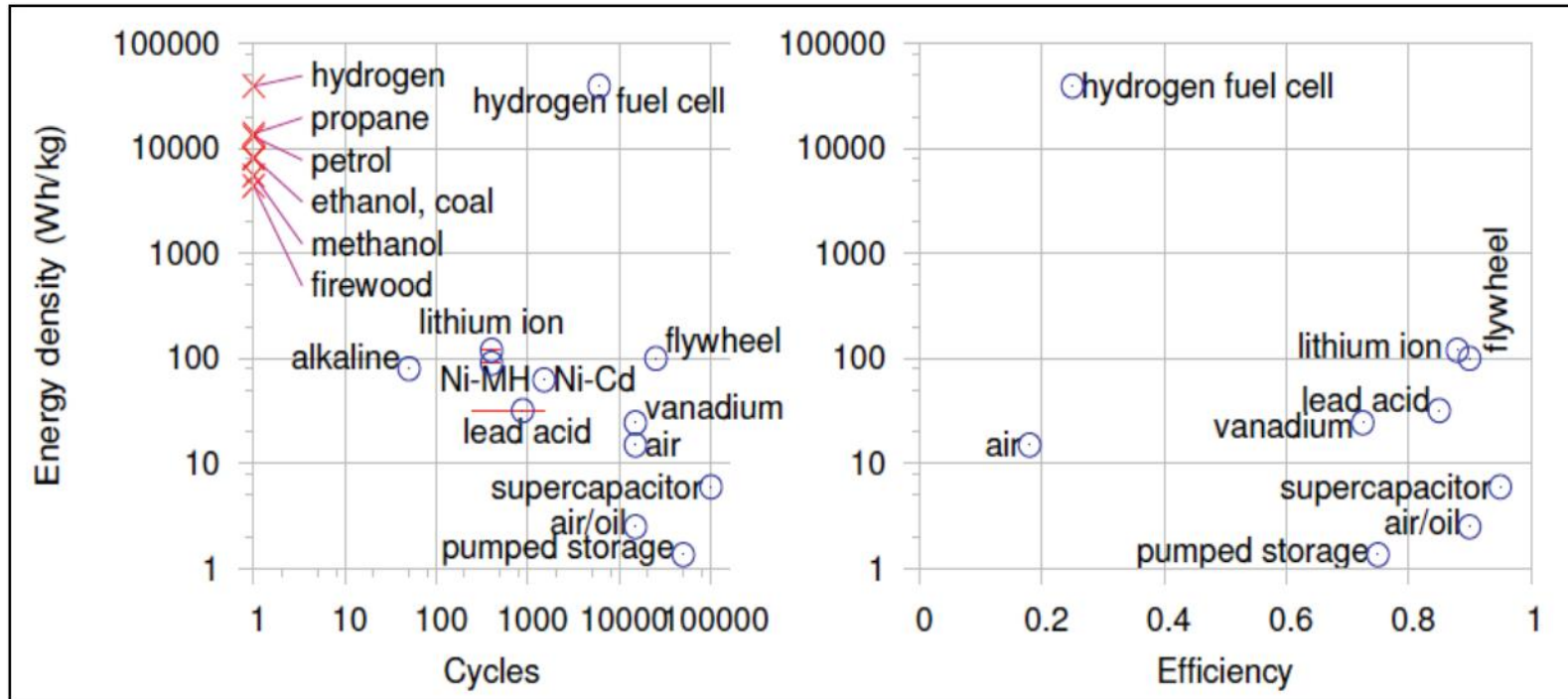


Elektrische auto's, etc.

- 1085 GWh voor 16.7 miljoen mensen is 66 kWh/p
- Elektrische auto's
 - Energieopslag is van gelijke orde grootte (10 tot 50 kWh)
- Voorbeeld:
 - Vervang al onze fossiel aangedreven auto's door 8 miljoen elektrische auto's
 - Totale capaciteit van 40 kWh x 8 000 000 = 320 GWh
 - Opladers gebruiken 2 tot 3 kW
 - Als we die aan/uit zetten, dan verandert de energievraag met 20 GW
 - Dat is vergelijkbaar met het vermogen uit windenergie: 9 GW gemiddeld of 30 GW capaciteit
 - Gebruik smart chargers om auto's op te laden
 - Die hebben kennis van waarde en beschikbaarheid van elektriciteit
 - Kennis van de eisen voor de auto ("moet om 7:00 am opgeladen zijn")
 - Gebruik de auto's om pieken in het elektriciteitsnet op te vangen
 - Zowel voor opslag als voor terug leveren van energie aan het net
- Piek-management ideeën
 - Verander productie van energie-intensieve industrieën, zoals aluminium productie
 - Net bestuurd koelkasten en vriezers
 - Gebruik de netfrequentie om energielevering te sturen
 - Vriezers warmen iets op bij lagere net-frequentie (grote vraag)
 - De relatief grote tijdconstante (uren) maakt dit mogelijk
 - Sluit contracten af met landen die waterkracht hebben
 - Noorwegen, Zweden en Duitsland
 - Lever energie aan die landen als het bijvoorbeeld hard waait
 - Koop energie terug (voor hogere prijs) tijdens piek-uren

Opslagssystemen

- Vlieg wiel
 - Mechanische opslag van energie
 - Op/ontlading veel sneller dan batterijen
 - Energieopslag is $E = 0.5 I \omega^2$
 - Traagheidsmoment $I = k m r^2$ met k geometrisch factor
 - Straal r en massa m
 - Hoekfrequentie ω
 - Voorbeeld
 - $M = 800$ t, $r = 6$ m, $k = 0.75$ en 225 rpm
 - Dat geeft 1667 kWh (dat lost ons probleem niet op)



Transport van hoogspanning

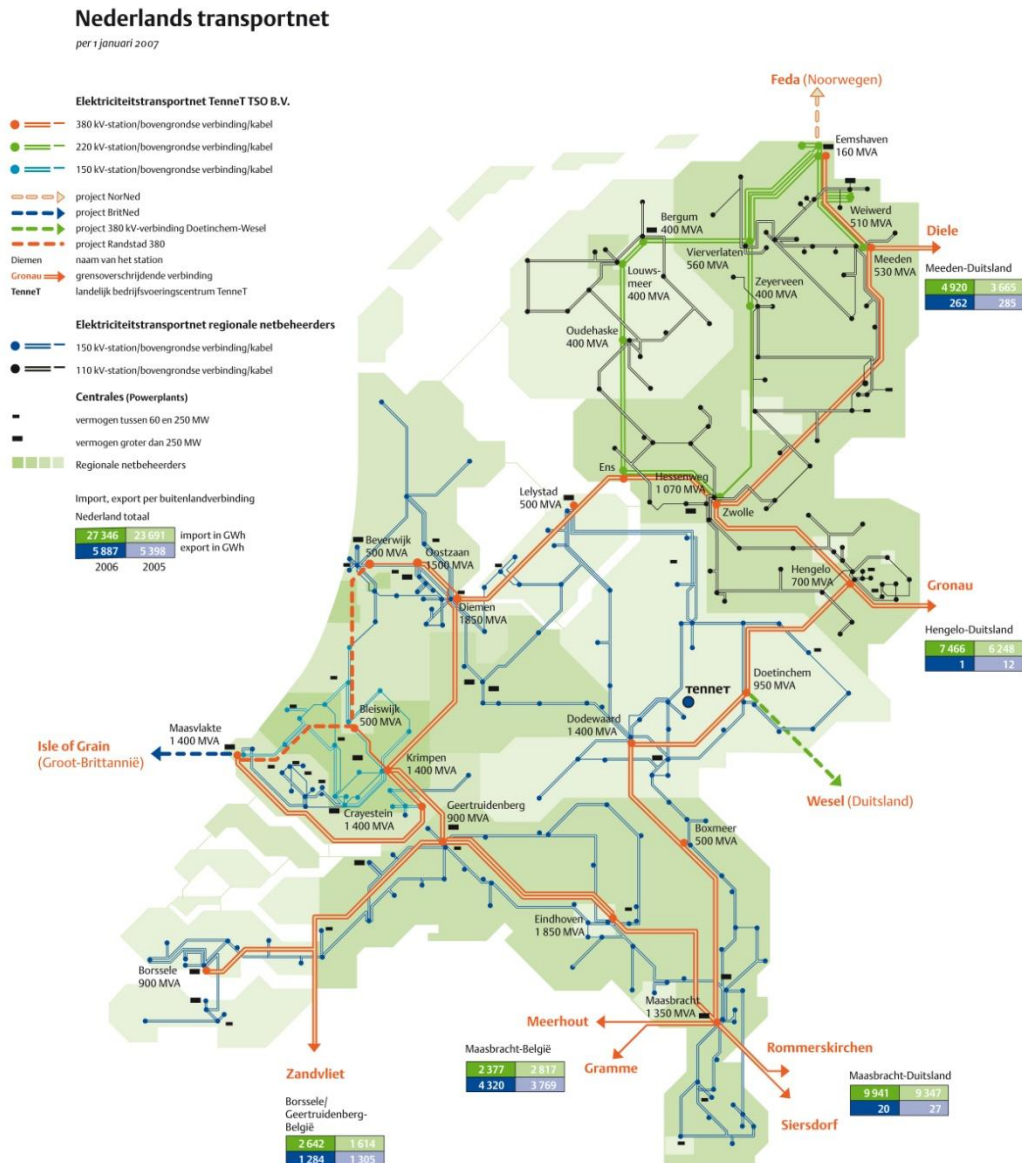
- Transport tot 380 kV
 - Tussen alle centrales en buitenland
- Energie Noorwegen naar NL
 - Weerstand R gegeven door $R = \rho L/A$, met lengte L en resistivity ρ
 - Verlies van vermogen

$$\Delta P = VI = (IR)I = RI^2 = \frac{\rho L}{A} I^2$$

- Voorbeeld Feda kabel naar Noorwegen

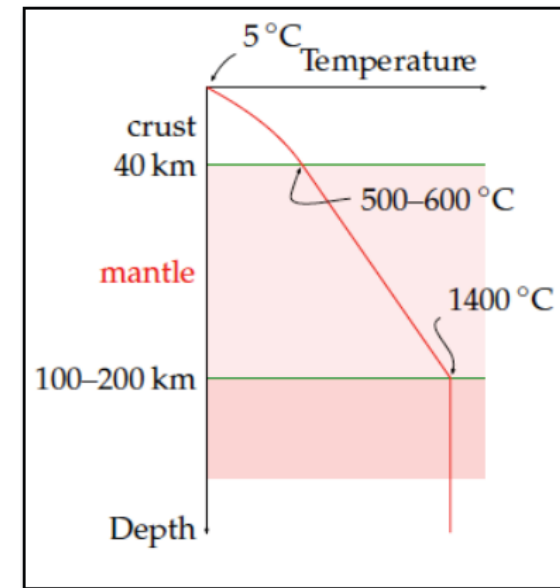
- NorNed project 700 MW (M€ 600)
- HVDC submarine power cable: ± 450 kV
- Langste onderwater HV kabel in de wereld
- Tennet en Statnett
- $\text{Stroom } I = P/V = 700 \text{ MW}/900 \text{ kV} = 780 \text{ A}$
- Doorsnede kabels 790 mm^2 , $20 \text{ m}\Omega/\text{km}$
- Lengte $L = 580 \text{ km}$ (2 kabels)
- Verlies $\Delta P = 20 \text{ MW}$ (dat is 2.7%)
- Totale verlies 4%

- Stel we brengen 9 GW over
 - Verlies $\Delta P = 360 \text{ MW}$
 - Dan 13 kabels nodig (7.8 miljard Euro)
- Belangrijke industrie (e.g. ABB)
 - Windparken
 - Zonne-energie



Geothermische energie

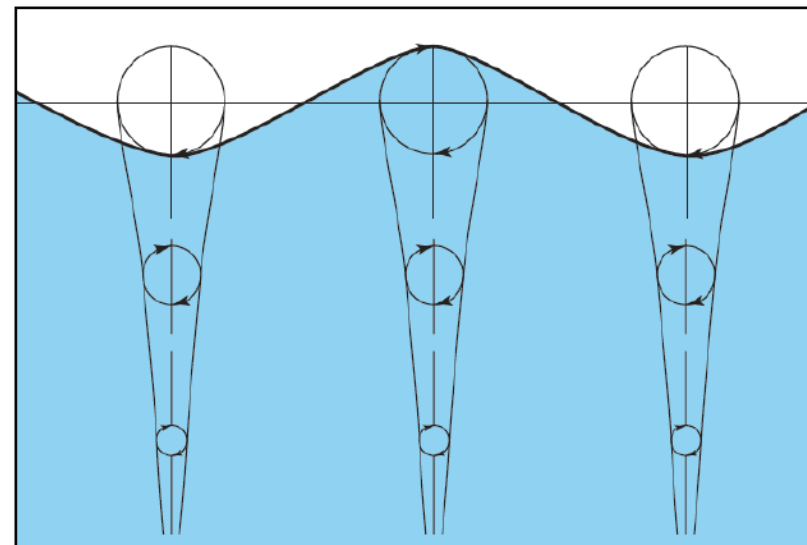
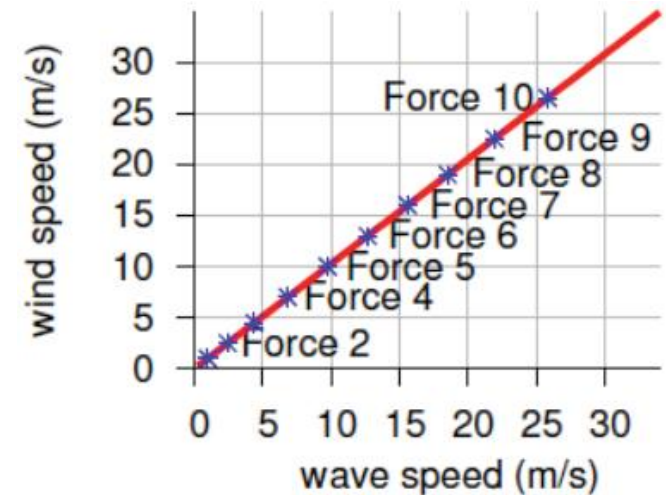
- Warmte in de aardkorst ten gevolge van
 - Radioactief verval / koelen van de kern: 40 mW/m²
 - Getijdenfrictie: vervorming van de Aarde door de gravitatievelden van Zon en Maan: 10 mW/m²
- Geothermische energie is altijd voorhanden
 - Geen fluctuaties
- Duurzame extractie
 - Gelimiteerd tot 50 mW/m²
 - Meer is mogelijk, maar dan tijdelijk
- Extractie
 - Boor 2 gaten: koud water erin, warm eruit
 - Praktische limiet ongeveer 17 mW/m²
 - Fracture de bodem
 - Risico's met water (zware metalen)
 - Dieper boren dan 15 km niet mogelijk
- Nederland
 - $2000 \text{ m}^2 \times 0.017 \text{ W/m}^2 \times 24 \text{ h/d} = 1 \text{ kWh/d}$



Geotherm:
1 kWh/d

Golfenergie

- Oceaan golven worden door wind gemaakt
 - Derdehands zonne-energie
 - Golfsnelheid is evenredig met windsnelheid
 - Voortplanting met relatief weinig verzwakking
- Er wordt praktisch geen water vervoerd
 - Nagenoeg circulaire beweging van moleculen
 - Amplitude neemt exponentieel met diepte af
 - 80% van de oppervlaktegolf zit binnen een kwart van de golflengte onder het oppervlak
- Twee componenten van energie
 - Potentiele energie: tilt het water op
 - Kinetische energie: moleculen in cirkelbeweging



Energie van oppervlaktegolf

- Massa-element

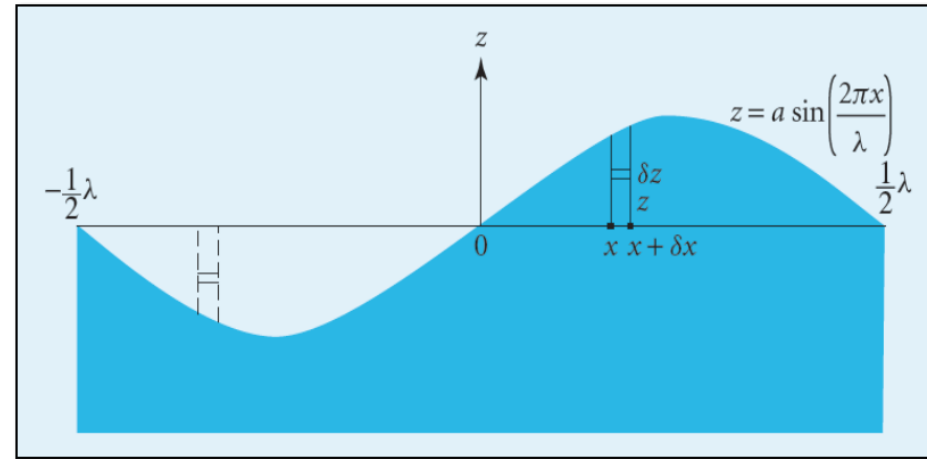
$$\delta m = \rho \delta x \delta z$$

- Potentiele energie

$$\delta V = \delta m g (2z) = 2\rho g z \delta x \delta z$$

- Opgetilde deel

$$\begin{aligned} V &= 2\rho g \int_{x=0}^{x=\lambda/2} \int_{z=0}^{z=a \sin(2\pi x/\lambda)} z dx dz \\ &= \rho g a^2 \int_{x=0}^{x=\lambda/2} \sin^2(2\pi x/\lambda) dx \end{aligned}$$



- Na integratie vinden we voor de potentiele energie over een golflengte $V = \frac{1}{4} \rho g a^2 \lambda$
- Neem aan equipartitie van energie

– Gemiddelde potentiele energie = gemiddelde kinetische energie

– Golfenergie per lengte-eenheid

$$E_\lambda = \frac{1}{2} \rho g a^2 \lambda$$

$$E = \frac{1}{2} \rho g a^2$$

Vermogen van oppervlaktegolf

- Het vermogen van een oppervlaktegolf

- Product van de energie en groepsnelheid

$$P = \frac{1}{2} \rho g a^2 \cdot v_g$$

- De groepsnelheid van een golf is de helft van de snelheid van een enkel maximum

- Dat is de snelheid van de “envelop”

- We vinden hiermee

$$P = \frac{1}{4} \rho g a^2 \cdot v$$

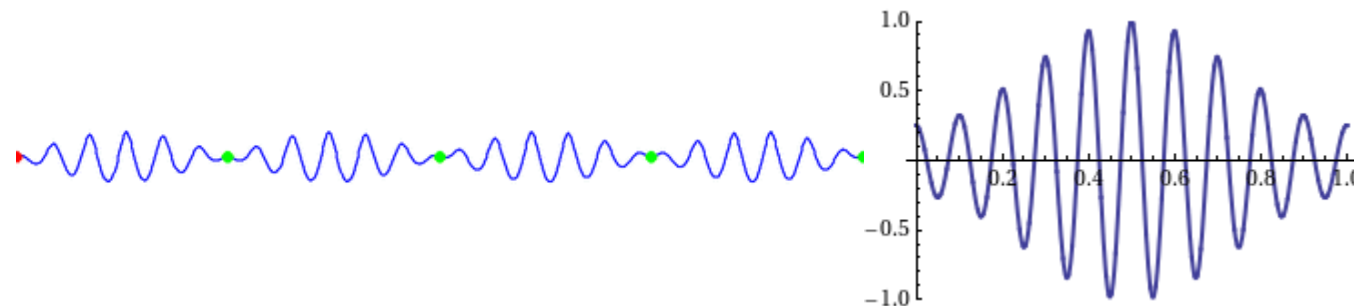
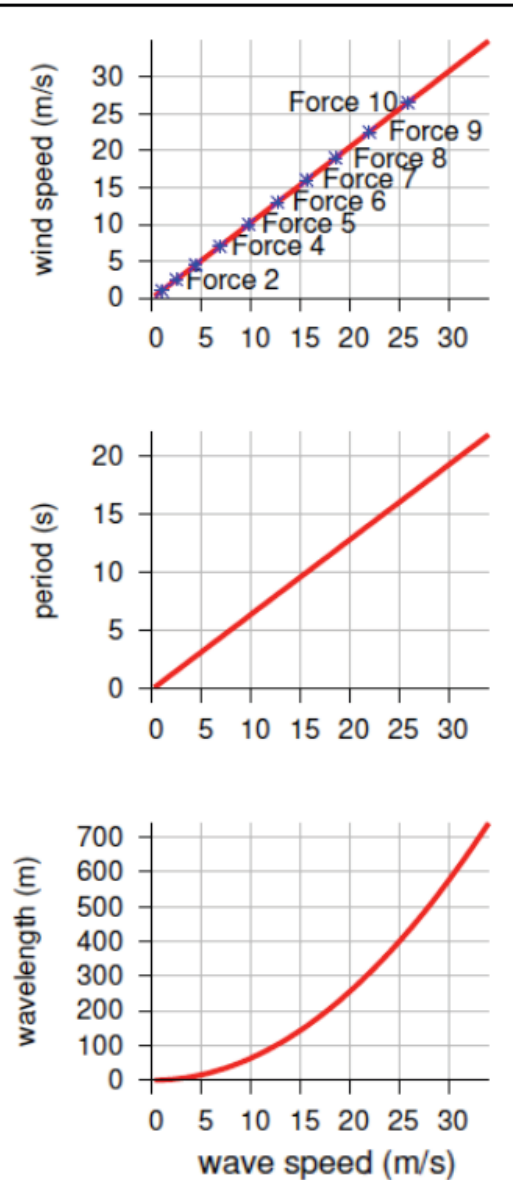
- Aanname

- Golf amplitude van 1 m

- Snelheid 16 m/s

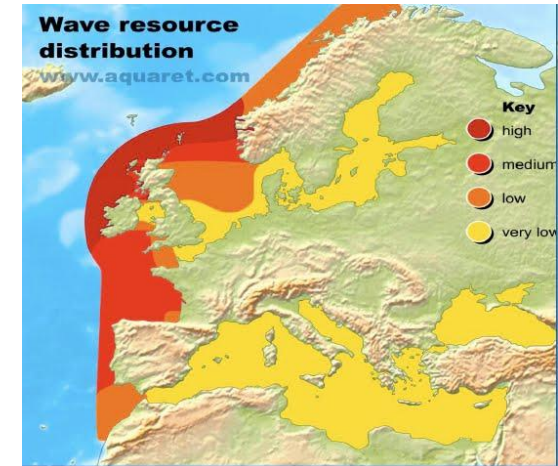
$$P = \frac{1}{4} \rho g a^2 \cdot v = 40 \text{ kW/m}$$

- Dit vind je ook met empirische metingen
- Zeeuwse kust: 0.5 kW/m

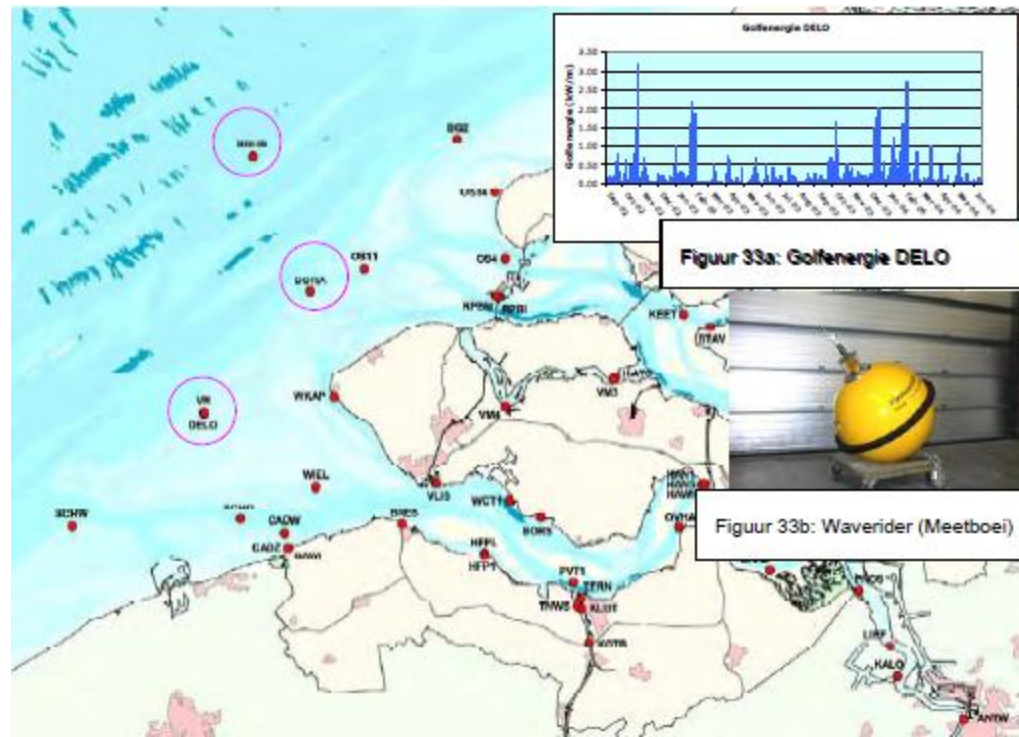


Golfenergie NL

- Golfenergie klein in Nederland
 - Noordzee 4 – 8 kW/m
 - Lengte kustlijn 451 km
 - $4 \text{ kW/m} \times 451 \text{ km} = 1.8 \text{ GW}$
 - Dat geeft 2.5 kWh/d/p
- Metingen in Zeeland
 - Gemiddeld 0.5 kWh/m (meetboei DELO)
 - Volgens Delta: 4 km breedte nodig voor opwekking 1 MW
- Niet relevant in Nederland
 - Heeft niets met techniek te maken
 - Energiedichtheid is te laag



Golfenergie:
0.3 kWh/d



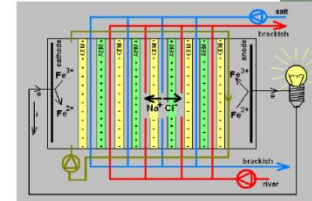
Energie uit water – NL

- Blue energy

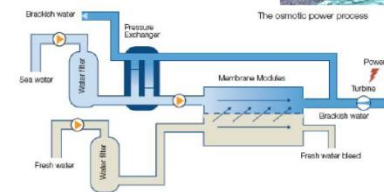
- Osmotische druk

- Water 30 g/l = 0.5 mol/l = 500 mol/m³ (NaCl)
 - $pV = nRT$
 - $p_{\text{Osmose}} = nRT/V = (500 \times 2 \times 8.34 \times 293)/1 = 2.5 \text{ Mpa} = 25 \text{ bar}$
 - Energie-inhoud 1 m³ rivier + 1 m³ zee geeft 1 MJ

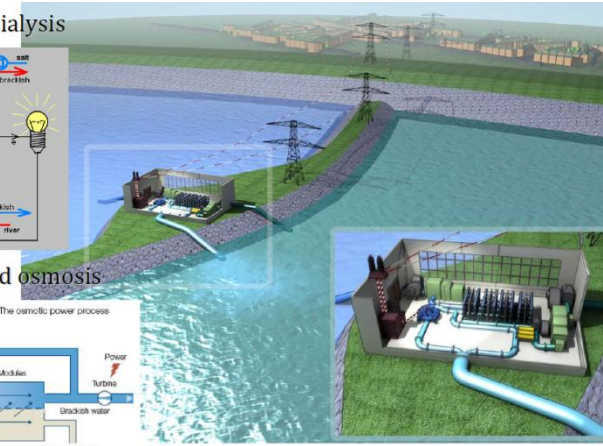
RED – reverse electro dialysis



PRO – pressure retarded osmosis



Bron: Deltares/Statkraft/REDStack



Deltares

Energiepotentieel

Rijn: 2250 m³/s

Maas: 250 m³/s

Schelde, Eems etc: 100 m³/s

Neerslagoverschot: 150 m³/s

Totaal: 2750 m³/s

Theoretisch: 1 m³/s = 2,5 MJ

Totaal potentieel: 220 PJ (7000 MW)

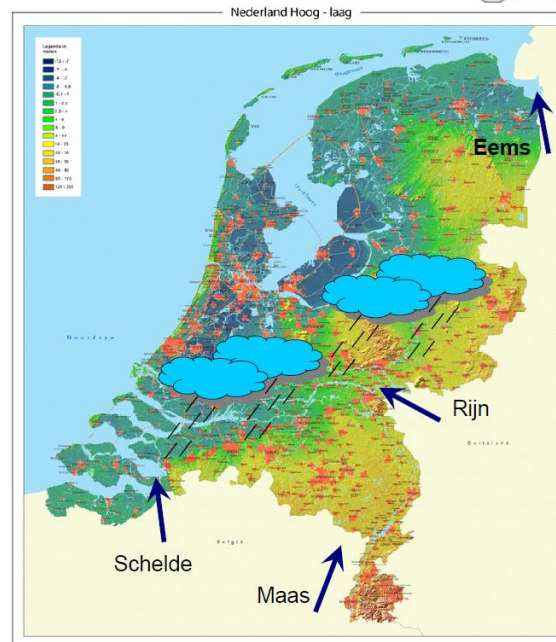
Technisch haalbaar: 1 m³/s = 1 MJ

Rendementen (o.a. bedrijfsvoering): 30%

Technisch potentieel: 65 PJ (2000 MW)

Scheepvaart, anti-verzilting, waterschappen, drinkwater: 1/4 bruikbaar

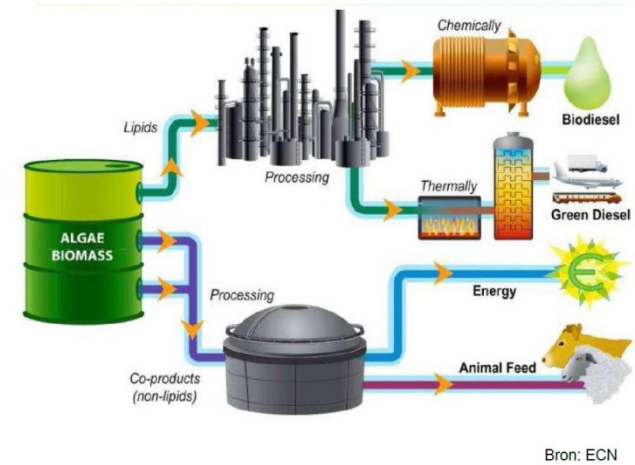
Maatschappelijk potentieel: 15 PJ (500 MW)



Blue energy:
0.7 kWh/d

Aquatische biomassa in NL

- Duurzame productie en ontwikkeling van biomassa
 - Waterplanten
 - Zoutwaterlandbouw
 - Micro-algen
 - Zeewieren
- Totaal energie 2030: 181.6 PJ
 - 1 PJ = 278 GWh
 - $181.6 \times 278 \text{ GWh} / (365 \times 16.7 \text{ M}) = 8.3 \text{ kWh/d/p}$



Bron: ECN

Deltares

WAGENINGEN UR
For quality of life

ECN
Energy research Centre of the Netherlands

Tauw

Tabel 1. *Energiepotentieel deelpad Aquatische Biomassa in 2015 en 2030 na aftrek van het geraamde energiegebruik voor teelt, oogst en transport.*

Deelpad:	2015		2030	
	Droge stof [x 1000 ton d.s./ jaar]	Energie [PJ] ^{1,2)}	Droge stof [x 1000 ton d.s./ jaar]	Energie [PJ] ^{1,2)}
Waterplanten	500	7,2	1.500	21,6
Zoutwater landbouw	600	8,6	1.250	18
Micro-algen	125	2,0	1.000	16
Zeewieren	2.500	31,5	10.000	126
Totaal	3.725	49,3	13.750	181,6

1) Energie-inhoud (LHV basis): Waterplanten en zoutwaterlandbouw : 16 GJ / ton droge stof; Micro-algen: 20 GJ/ ton droge stof; Zeewieren: 14 GJ/ton droge stof (voor ca. 20 gew.% as).

2) Energiegebruik voor teelt, oogst en transport is geraamd op 10%, behalve voor het deelpad micro-algen (20%)

Aquatische biomassa in NL

Energiepotentieel

Noordzee: 57.000 km²
IJsselmeer: 1.100 km²
Markermeer: 700 km²
Oosterschelde: 300 km²
Westerschelde: 250 km²
Volkerak-Zoommeer: 80 km²

Theoretisch: 100 grC/m² & 1 grC = 30kJ

Totaal potentieel: 18.000 PJ (600.000 MW)

Rendementen (o.a. bedrijfsvoering): 10%

Technical barriers (energieverbruik, zuurstofverwijdering, CO₂-toevoeging, oogsten, raffineren): 10%

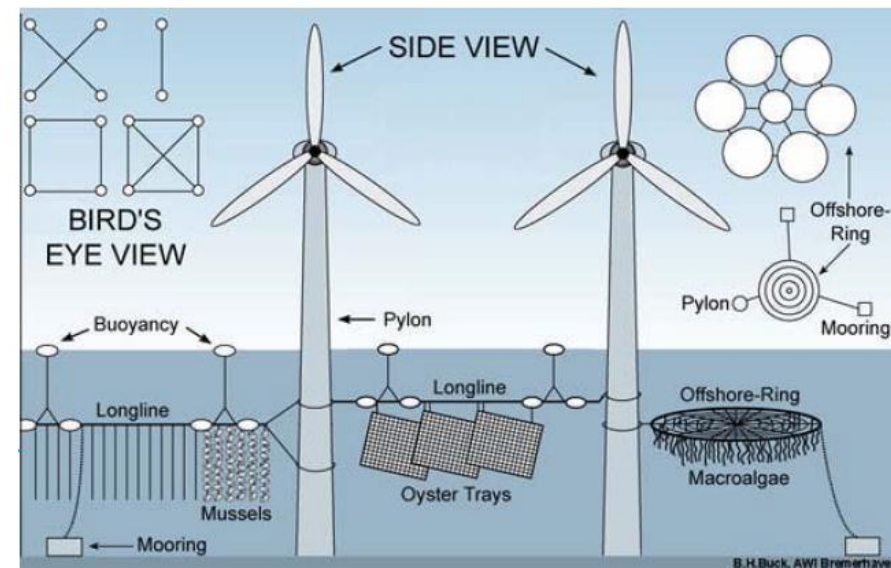
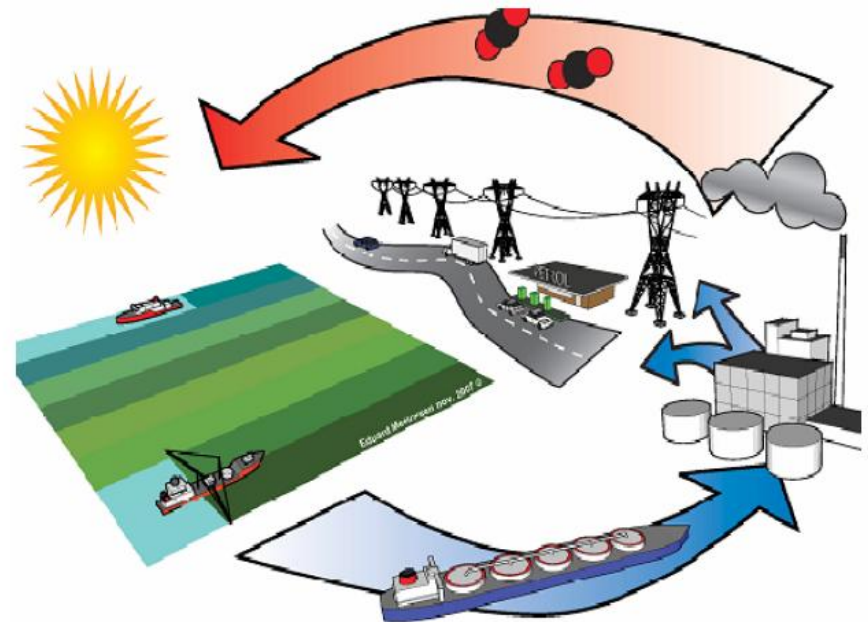
Technisch potentieel: 180 PJ (6000 MW)

Scheepvaart, defensie, visserij, energiewinning, ...: 10% bruikbaar

Recreatie, maatschappelijke acceptatie: 50% reductiefactor

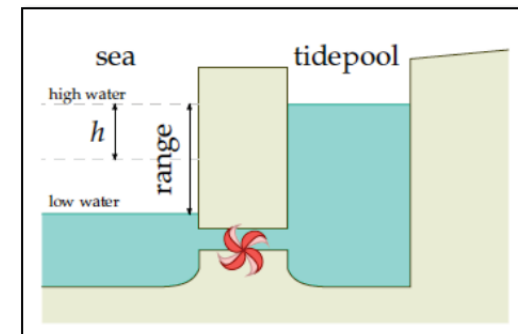
Maatschappelijk potentieel: 9 PJ (300 MW)

Aqua-bio:
0.4 kWh/d



Getij-energie

- Verschil in waterhoogte
 - Door eb en vloed
 - Oeanen slechts enkele decimeters
 - Duur stuwing enkele meters
- Tijverschillen
 - Haringvliet 2.3 meter
 - Brouwersdam 2.5 m
 - Lauwersmeer 2 m
 - Oosterschelde 2.9 m
 - Afsluitdijk 1.8 m
 - Westerschelde 5 m
 - Johannes Kerkhovenpolder 3 m
- Centrale
 - Elke 12 uur wordt energie geleverd
 - Corrosie is probleem
 - Levende wezens en turbines...
- Vermogensdichtheid
 - $E = mgh$ (h is verandering zwaartepunt)
 - Massa per eenheid oppervlak $\rho \times 2h$
 - Vermogen per eenheid oppervlak $\frac{2\rho gh^2}{6 \text{ uur}}$
 - Voor $h = 2 \text{ m}$ ongeveer 3 W/m^2



Getij-energie (gestuwd)

Energiepotentieel

Kustlijn Nederland: 250 km

Gemiddelde diepte: 20 meter

Gemiddelde watersnelheid: 1 m/s

Totaal potentieel: 85 PJ (2500 MW)

Oosterschelde(kering): 400 MW

Westerschelde(kering): 20 MW

Brouwersdam: 120 MW

Lauwerszee: 40 MW

Haringvliet: 10 MW

Afsluitdijk: 4 MW

Dollard: 4 MW

(incl rendementen, bedrijfsvoering, etc)

Technisch potentieel: 20 PJ (600 MW)

Scheepvaart, havenactiviteiten, milieu, milieu: 1/3 exploitabel

Maatschappelijk potentieel: 6 PJ (200 MW)

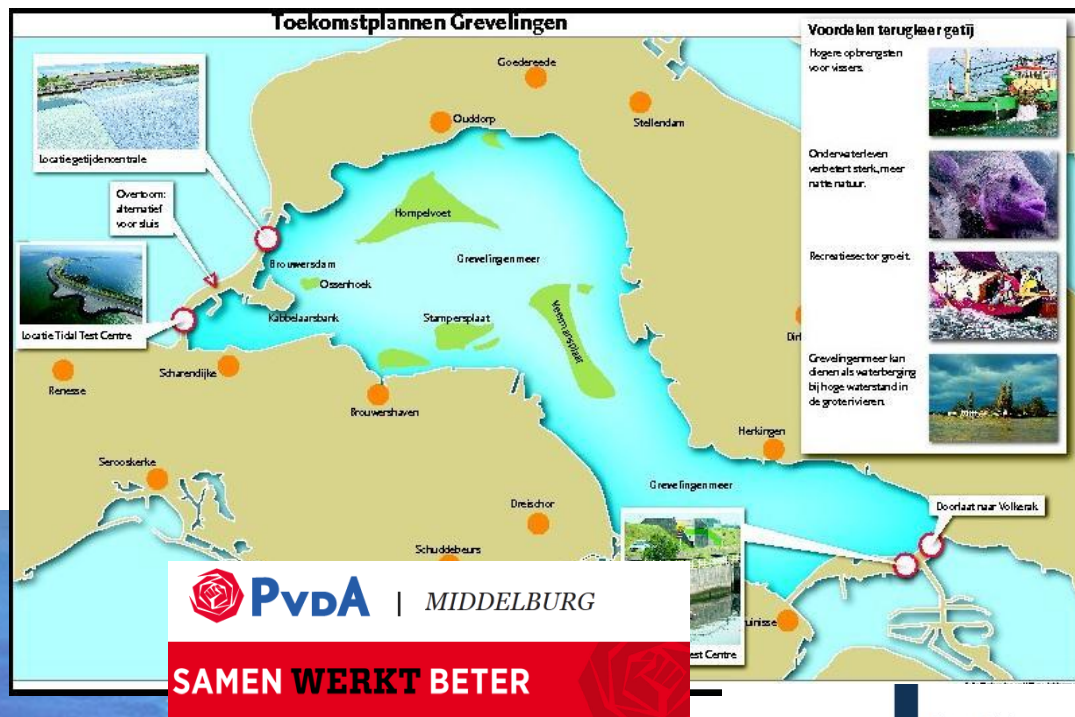


Deltares

Getij (stuw):
0.3 kWh/d

Getijdencentrale Brouwersdam

- Brouwersdam
 - Verbetering waterkwaliteit
 - Zie rapport “Grevelingen water en getij”
 - Energie verkenning gaande
 - 336 GWh/y
 - $336 \text{ GWh} / (24 \cdot 365) = 38 \text{ MW}$
 - Investerings: 1.5 miljard Euro
 - De helft voor Maximaal Getij



Nieuws
Agenda
Nieuwsbrief
Bestuur
Fractie
Wethouders
Weblogs
Het woord aan...
Verkiezingen
Links
Fotoalbums
Filmpjes

[home](#) > [Agenda](#) > Over lokaal energie opwekken met wind en

Over lokaal energie opwekken met wind en water

Plaats: Kabbelaarsbank 1, op de kop van Goeree-Overflakkee
Datum: 29 november 2011
Aanvang: 20:00 uur
Locatie: Café Brasserie petit Paris

Olie en kolen raken langzaam op en het gebruik ervan is slecht voor milieu en, door de stijgende prijzen, slecht voor de portemonnee. Welke energiebronnen zijn duurzaam, geschikt voor Nederland en financieel haalbaar? Er is veel aandacht voor grootschalige energieproductie, zoals vroeger met kolen en gas, maar kleinschalig en duurzaam kan groot zijn in de toekomst.

Met haar voornemen om van Goeree-Overflakkee een energieneutraal eiland te maken loopt de provincie Zeeland voorop in het ontwikkelen van een duurzaam energiebeleid.



Verkenning
Grevelingen water en getij

Rijkswaterstaat Zeeland
Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Witteveen Bos

Getij-energie (stroming)

Energiepotentieel

Kustlijn Nederland: 250 km

Gemiddelde diepte: 20 meter

Gemiddelde watersnelheid: 1 m/s

Identiek aan gestuwde getij-energie...

Totaal potentieel: 85 PJ (2500 MW)

Te installeren vermogen per locatie:

Oosterschelde(kering): 100 MW

Westerschelde(kering): 10 MW

Brouwersdam: 100 MW

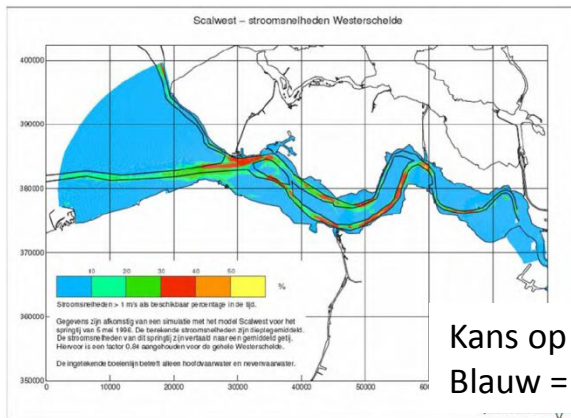
Waddenzee: 20 MW

(incl rendementen, bedrijfsvoering, etc)

Technisch potentieel: 6 PJ (200 MW)

Scheepvaart, havenactiviteiten, milieu: 50% exploitabel

Maatschappelijk potentieel: 3 PJ (100 MW)



Kans op >1 m/s
Blauw = 0%



Deltares

Getij (stroom):
0.2 kWh/d

Bron: Tocardo



Energie uit rivieren

Energiepotentieel

Rijn: 2250 m³/s - instroomhoogte NAP + 10 m
Maas: 250 m³/s - instroomhoogte NAP + 45 m
Schelde, Eems etc: 100 m³/s - instroomhoogte NAP + 25 m
Neerslagoverschot: 150 m³/s - instroomhoogte NAP + 5 m

Potentiële energie = jaarvolume x dichtheid x g x vervalhoogte

Totaal potentieel: 11 PJ (350 MW)

Turbinerendementen, wrijvingsverliezen, stroomfluctuaties

Technisch potentieel: 6 PJ (200 MW)

Scheepvaart, havenactiviteiten, milieu: 50% exploitabel

Maatschappelijk potentieel: 3 PJ (100 MW)

Maatschappelijk potentieel: ½ PJ (20 MW)



Rivieren:
0.3 kWh/d

Water:
2.2 kWh/d

Golfenergie:
0.3 kWh/d

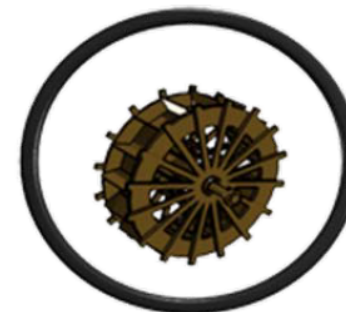
Blue energy:
0.7 kWh/d

Aqua-bio:
0.4 kWh/d

Getij (stuw):
0.3 kWh/d

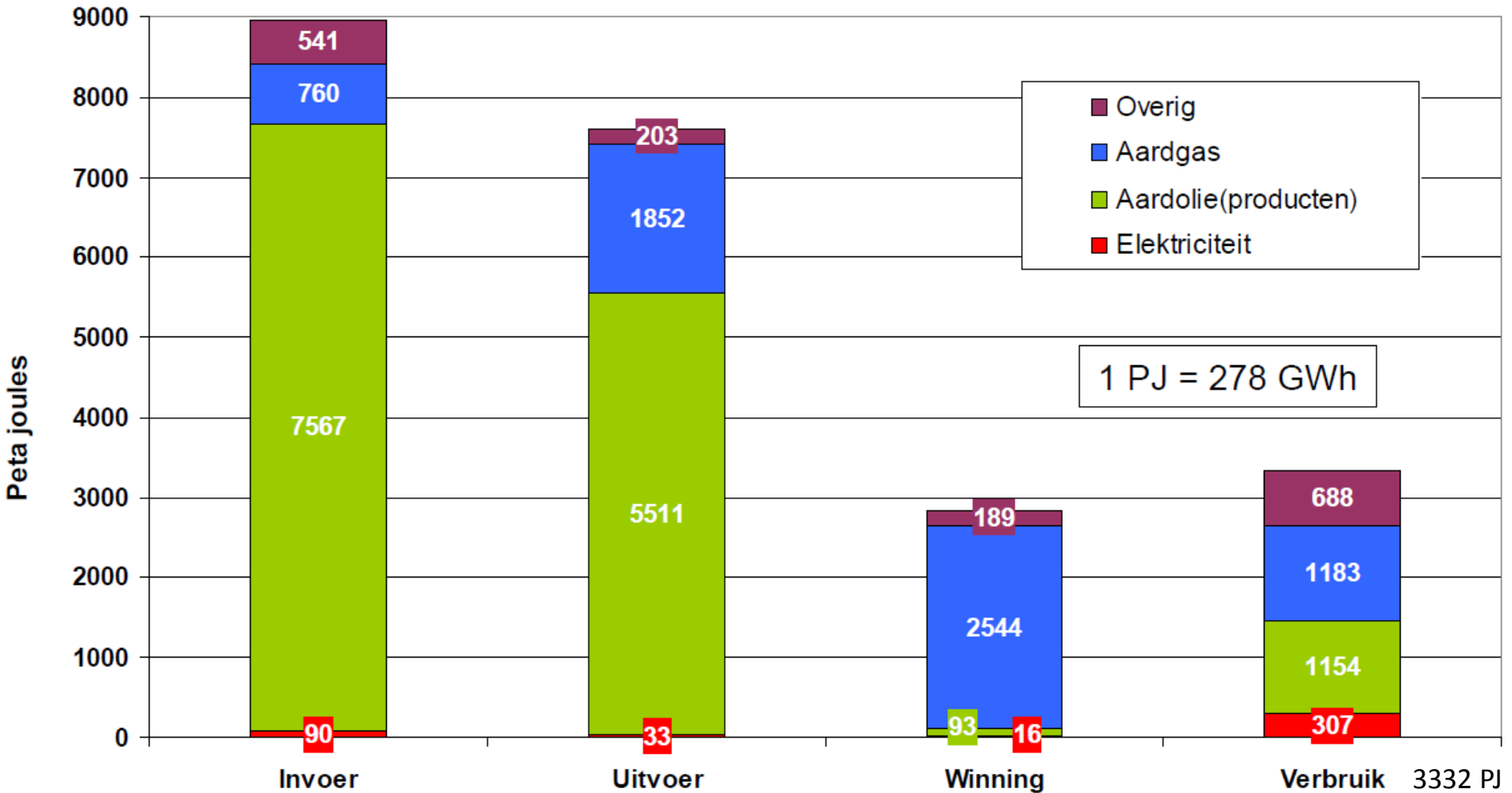
Getij (stroom):
0.2 kWh/d

Rivieren:
0.3 kWh/d



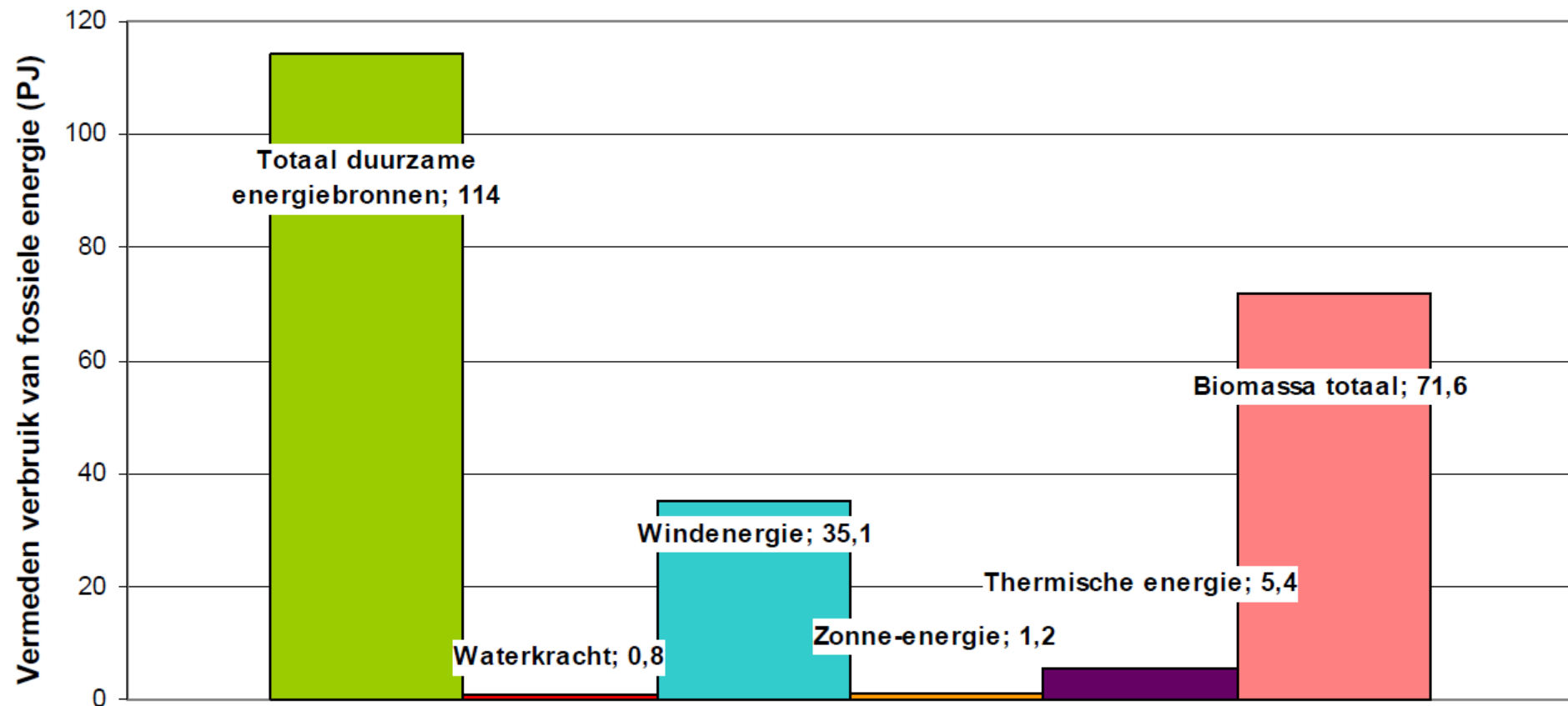
Scenario's voor Nederland

Energiestromen in 2008



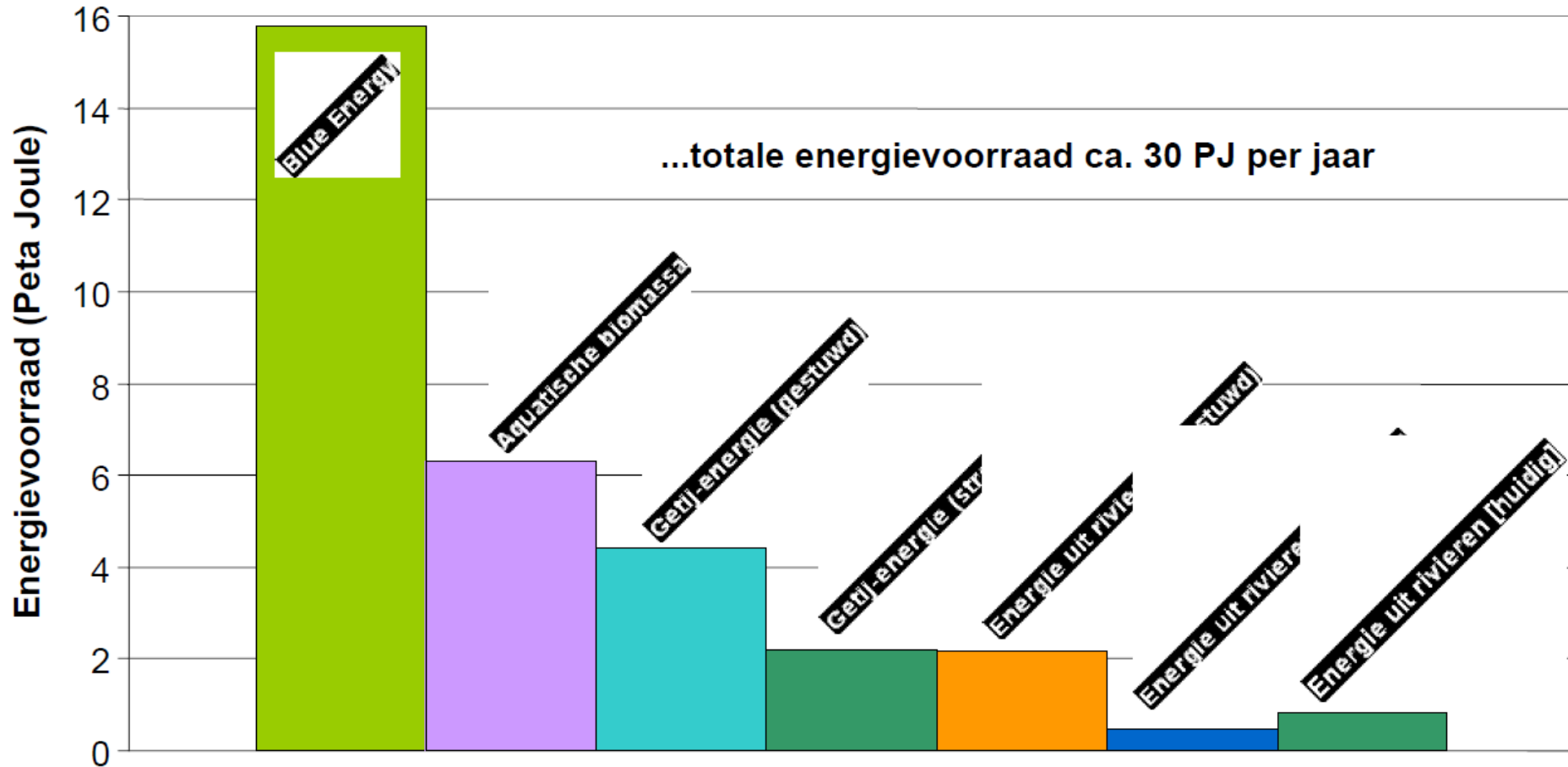
Bron: Planbureau voor de Leefomgeving

Duurzame energieproductie 2008



Bron: Planbureau voor de Leefomgeving

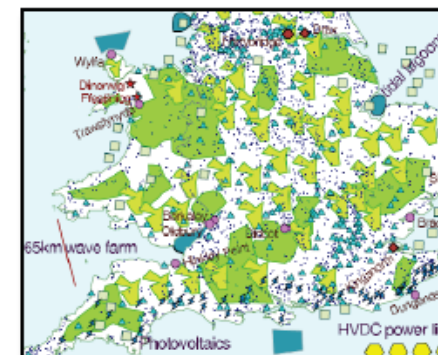
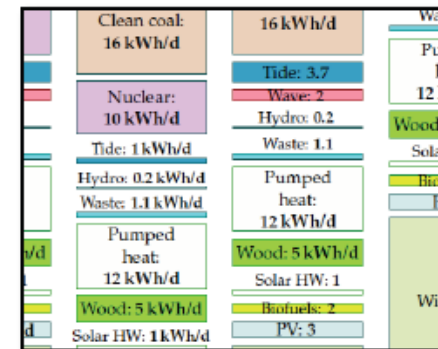
Potentieel energie uit water



Bron: Energie uit water, Marcel Bruggers, Deltares

Scenario's voor Nederland

- Hoe realistisch zijn onze schattingen voor duurzame energieproductie
- Hoeveel duurzame energie produceren we op dit moment?
- Kunnen we energiezuinig gaan leven?
 - Terug naar de middeleeuwen?
- Kunnen we leven van duurzame energiebronnen van andere landen?
- MacKay's energieplannen voor UK
- Hoeveel kosten deze plannen?



Consumptie en potentieel duurzame productie

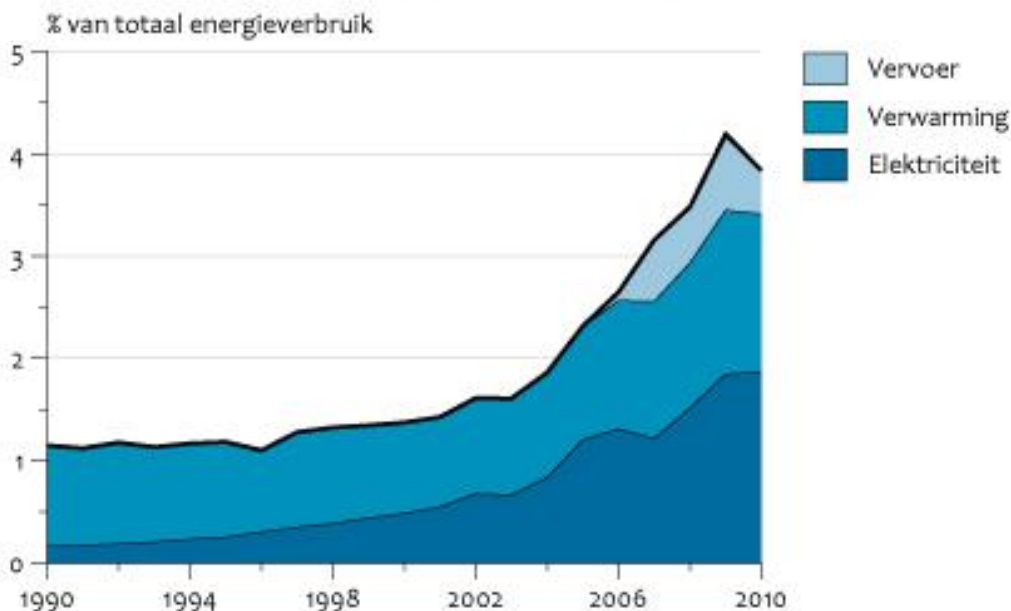
- Hoe realistisch zijn onze schattingen voor duurzame energie consumptie en productie
 - In ieder geval goed dat ze ongeveer even groot zijn
 - We zijn wel erg optimistisch geweest bij de schattingen van duurzame energieproductie
 - Verder is de geschatte consumptie groter dan de schatting van het CBS: ongeveer 150 kWh/d/p
 - Voornamelijk omdat zij al het “spul” dat in het buitenland voor ons geproduceerd wordt niet meetellen
- Hoeveel duurzame energie produceren we op dit moment?
- Kunnen we energieuinig gaan leven?
 - Terug naar de middeleeuwen?
- Kunnen we leven van duurzame energiebronnen van andere landen?
- MacKay's energieplannen voor UK
- Hoeveel kosten deze plannen?

195 kWh/d	163 kWh/d
diensten: 4	
voeding: 15	Water: 2.2 kWh/d
transprt: 12	Geotherm: 1 kWh/d
Spul: 48 kWh/d	Biomassa: 28 kWh/d
	PV farm: 40 kWh/d
licht: 4	
gadgets: 5	
Verwarming, koeling: 37 kWh/d	Zon PV: 7 kWh/d
	Zon therm.: 18 kWh/d
Vliegtuig: 30 kWh/d	
	Wind OffS: 57 kWh/d
Auto: 40 kWh/d	
	Wind OnS: 10 kWh/d

Duurzame energie in Nederland

- Hoeveel duurzame energie produceren we op dit moment?
 - Verbruik van duurzame energie nam af van 88 PJ in 2009 naar 86 PJ in 2010 (Totaal 3332 PJ in 2008)
 - Bij mij is $88/3332 = 0.026$ en dus niet de 3% volgens CBS
 - Daling vooral veroorzaakt door een lager verbod meer dan ruik van biobrandstoffen in het wegverkeer
 - In 2009 was vervoer 18 procent van alle hernieuwbare energie, in 2010 liep dit terug tot 11 procent.
 - De koude winter en het economisch herstel hebben slechts een beperkte invloed gehad op het verbruik van hernieuwbare energie.
 - Biomassa goed voor driekwart

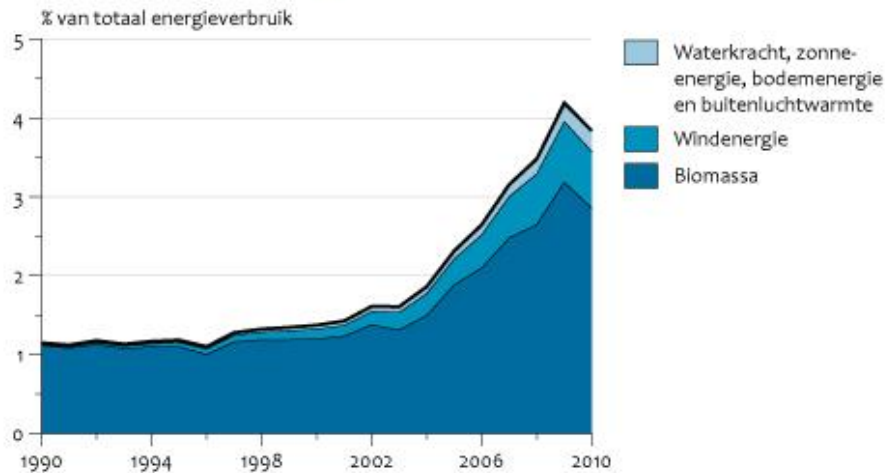
Eindverbruik hernieuwbare energie naar toepassing



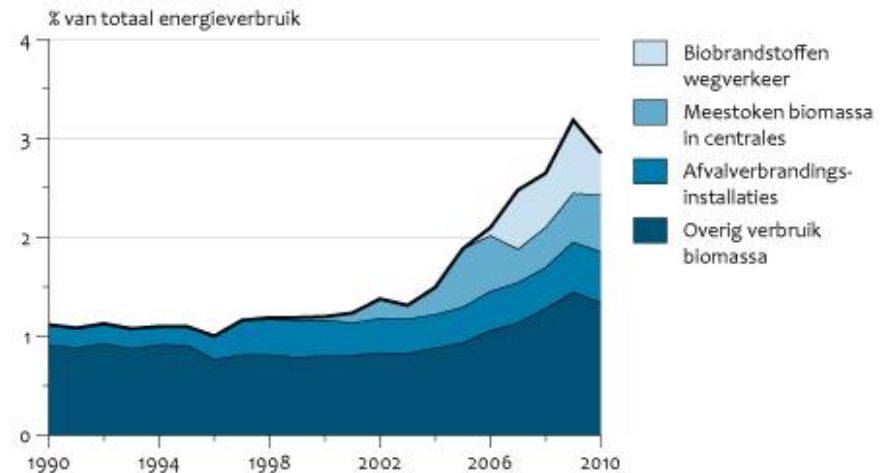
Biomassa in Nederland

- Biomassa: meestoken centrales, afvalverbranding, hout in open haard
- Biobrandstoffen
 - Aandeel in benzine en diesel was 2.1% in 2010
 - In 2009 was dat nog 3.4%
 - Leveranciers hebben een bijmengplicht: 4% in 2010
 - Men mag compenseren met extra leveringen uit voorgaande jaren
 - Goede biobrandstoffen tellen dubbel (telt vooral bij biodiesel: 3.5% (2009) → 1.5% (2010))
 - Fikse discussie over wenselijkheid biobrandstof in wegverkeer
 - Voordelen: reductie CO2 emissie, minder afhankelijkheid olie
 - Nadelen: reductie CO2 emissie is maar zeer beperkt (soms negatief!), natuur bedreigd door teelt voor biobrandstoffen

Eindverbruik hernieuwbare energie naar bron

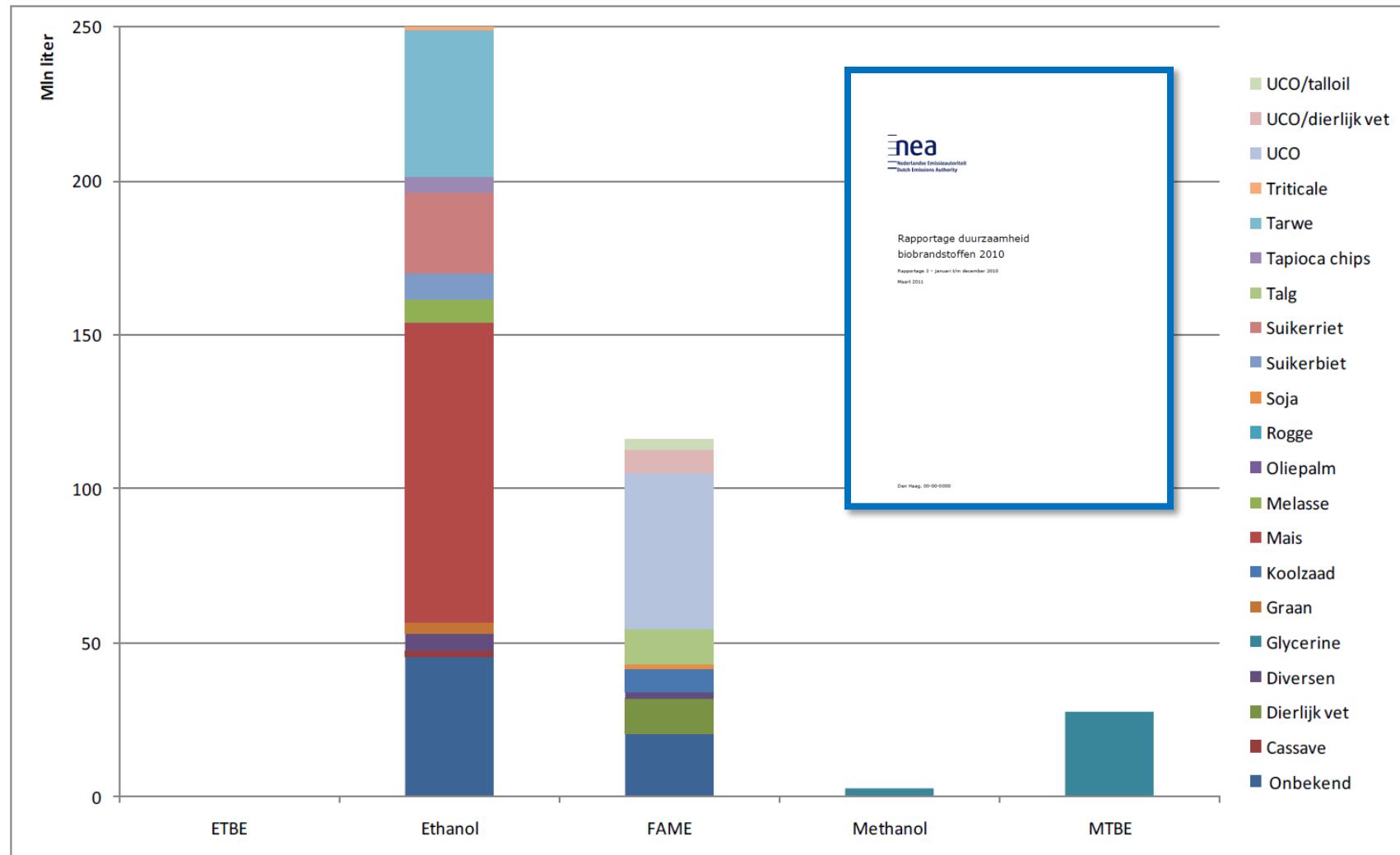


Eindverbruik biomassa



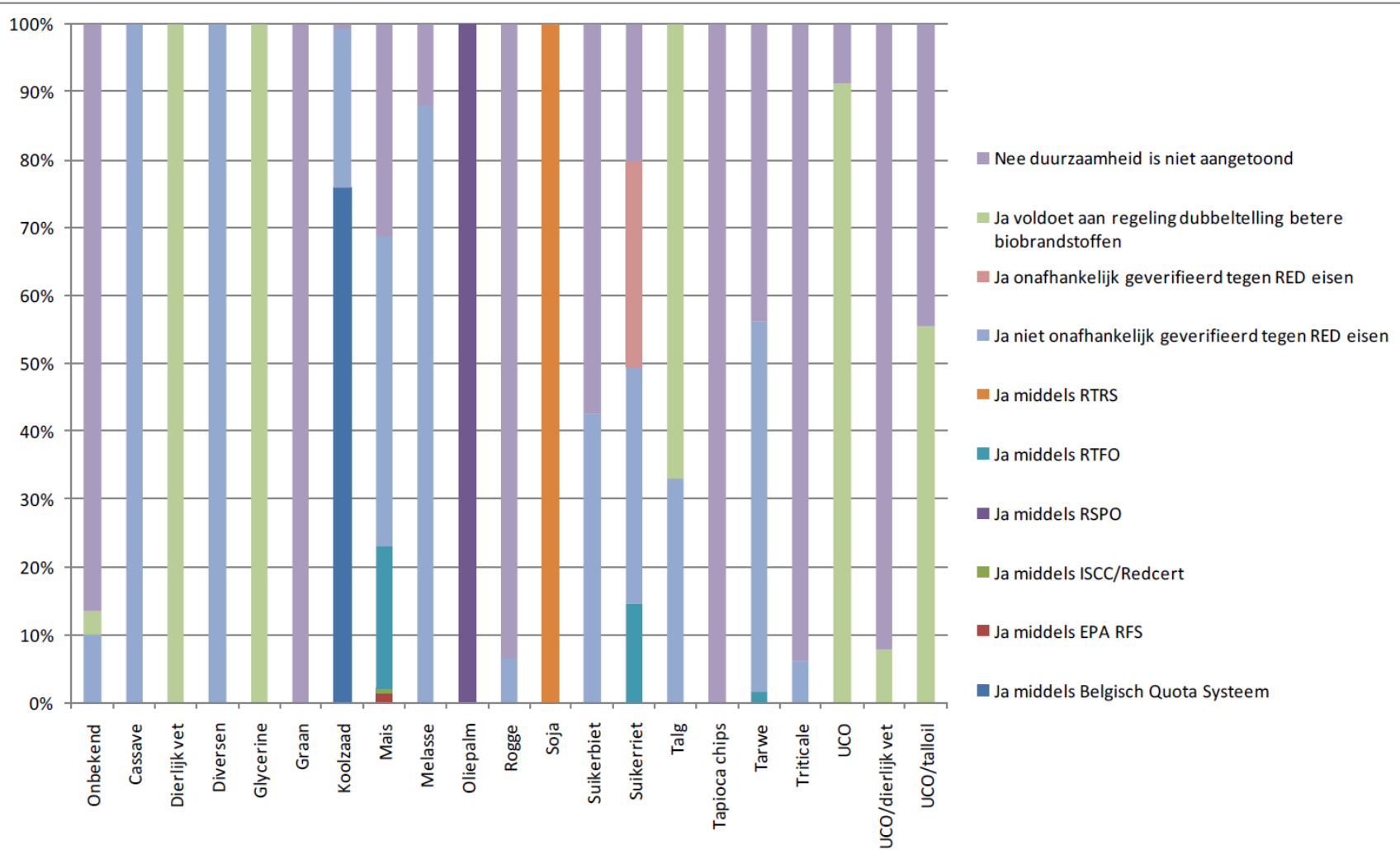
Duurzaamheid biobrandstoffen 2010

- Type biobrandstof en grondstof
 - FAME: biodiesel voor 53% uit UCO (Used Cooking Oils) , dierlijk vet en talg



Duurzaamheid biobrandstoffen 2010

- Manieren waarop over duurzaamheid gerapporteerd wordt
 - Diverse certificeringssystemen: RTFO (UK), EPA RFS (USA)

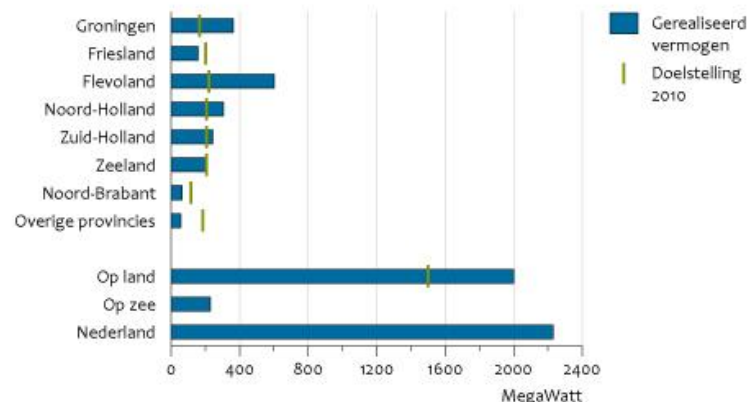


Duurzame energie in Nederland

• Windenergie

- Capaciteit 2230 MW (2010)
- Meeste turbines in Flevoland
 - Windaanbod (niet optimaal)
 - Inpasbaarheid in landschap
- Groei stagneert in 2010
 - Aandeel van 0.7% van het eindverbruik duurzame energie in 2010

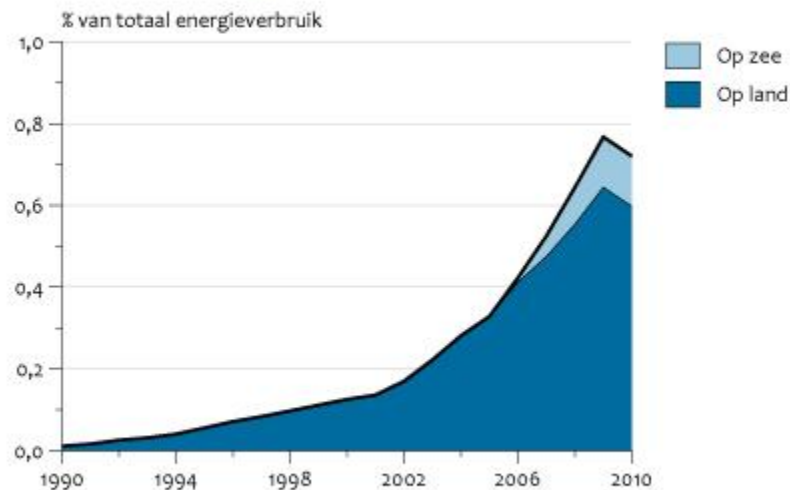
Windvermogen, 2010



Bron: CBS.

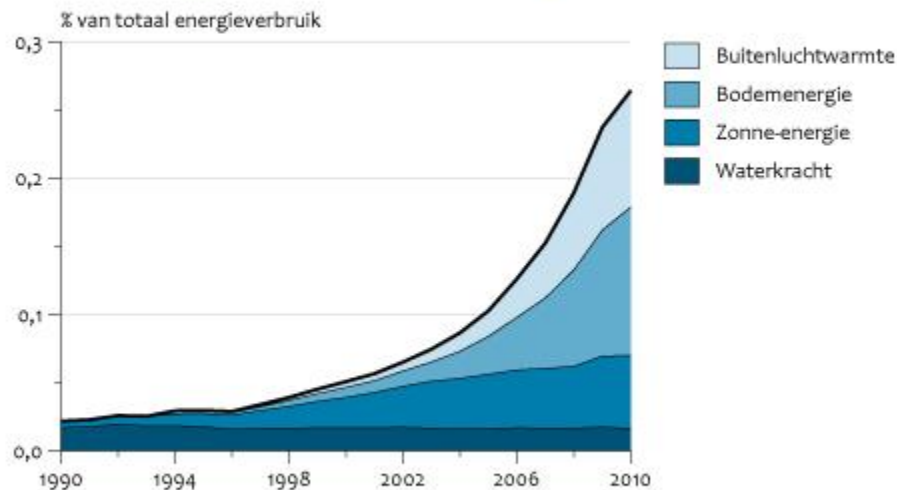
CBS/aug11/0386
www.compendiumvoordeleefomgeving.nl

Eindverbruik windenergie



Bron: CBS.

Eindverbruik overige bronnen hernieuwbare energie



Bron: CBS.

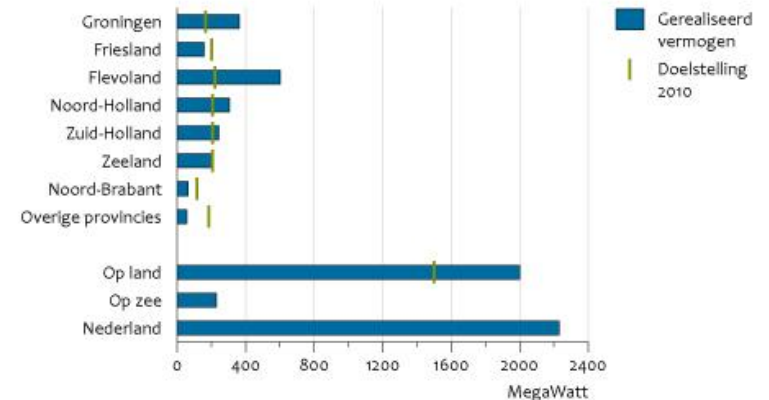
CBS/aug11/0385
www.compendiumvoordeleefomgeving.nl

Duurzame energie in Nederland

• Windenergie

- Capaciteit 2230 MW (2010)
- Meeste turbines in Flevoland
 - Windaanbod (niet optimaal)
 - Inpasbaarheid in landschap
- Groei stagneert in 2010
 - Aandeel van 0.7% van het eindverbruik duurzame energie in 2010
- Opgave: bereken verschil tussen capaciteit en opbrengst in 2010 (0.188L, 0.400Z)
 - Capaciteit 2002 MW
 - Opbrengst 3303 miljoen kWh

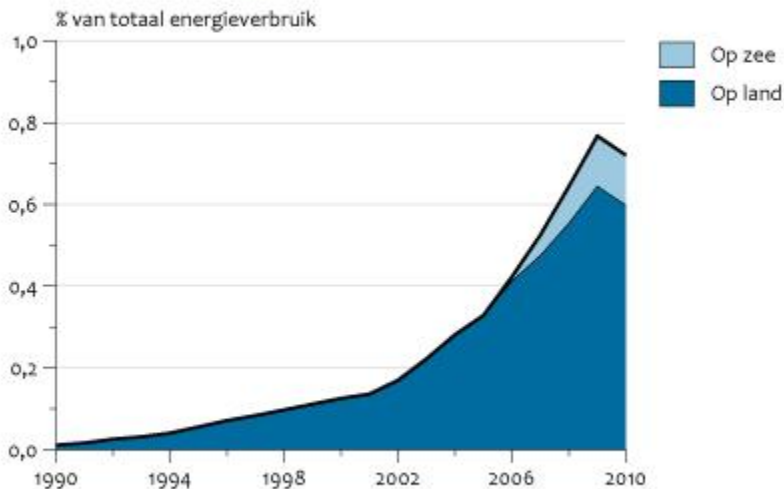
Windvermogen, 2010



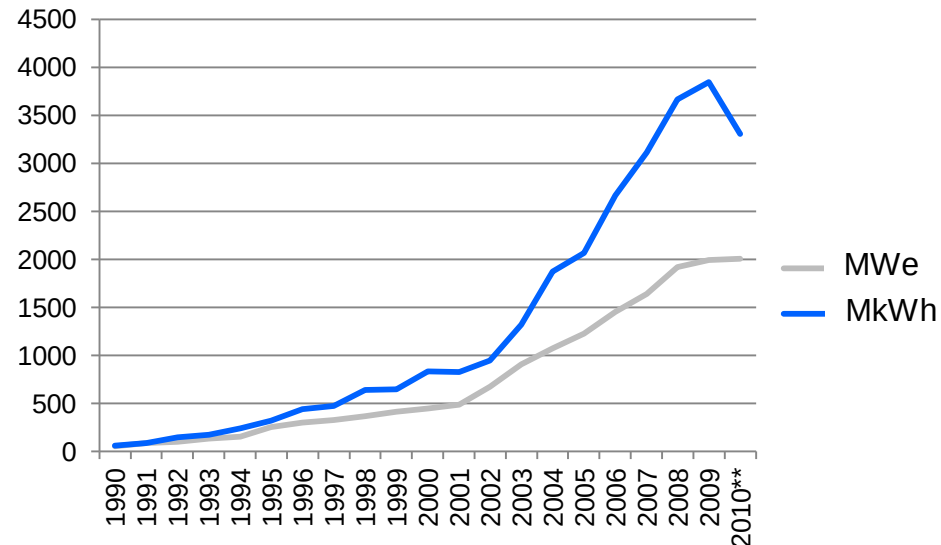
Bron: CBS.

CBS/aug11/0386
www.compendiumvoorleefomgeving.nl

Eindverbruik windenergie



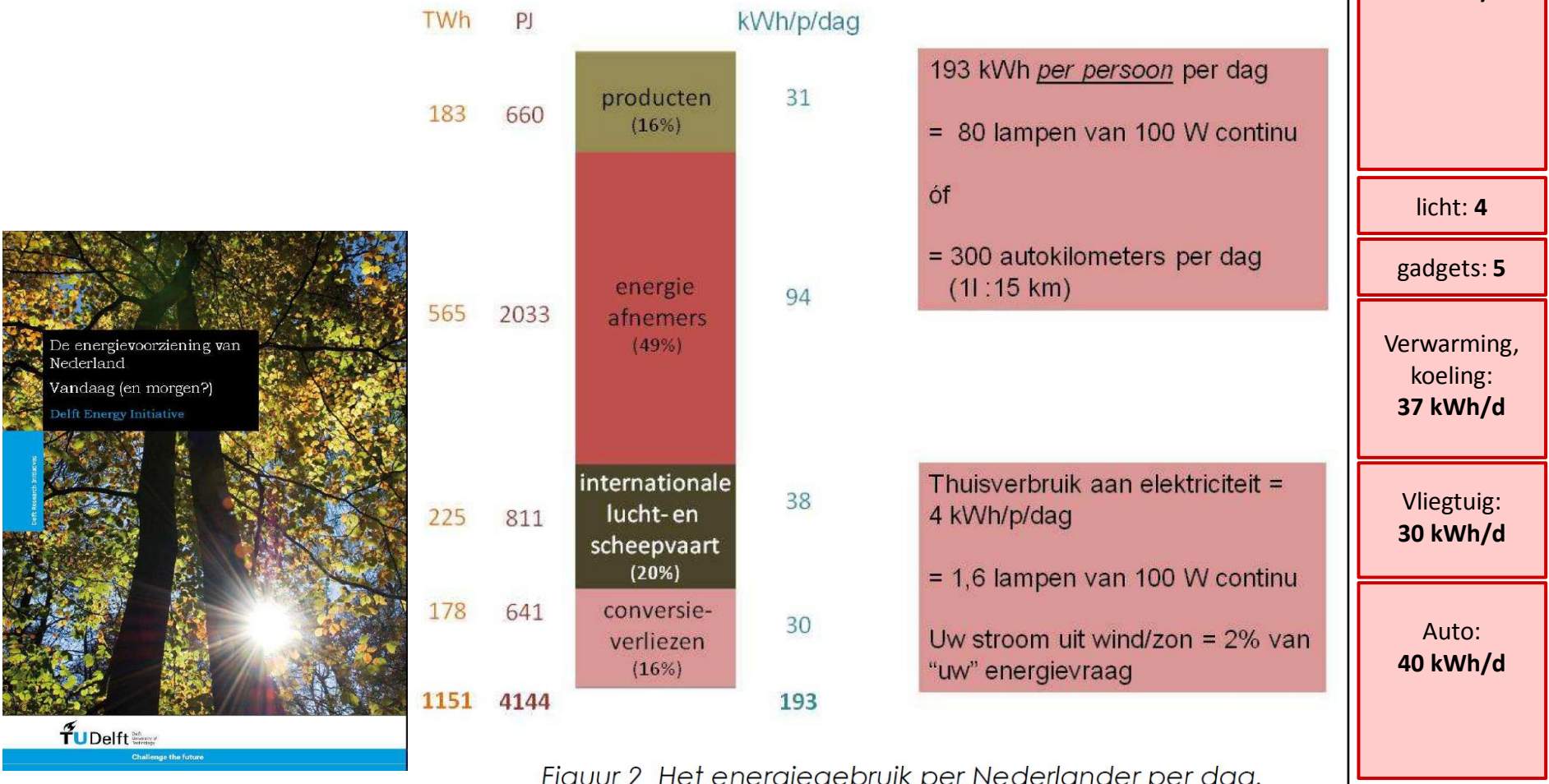
Bron: CBS.



Andere studies

- KIVI NIRIA
 - TU Delft, Delft Energy Initiative
 - Ir. C. Hellinga (energie@kiviniria.nl)
 - 6 oktober 2010

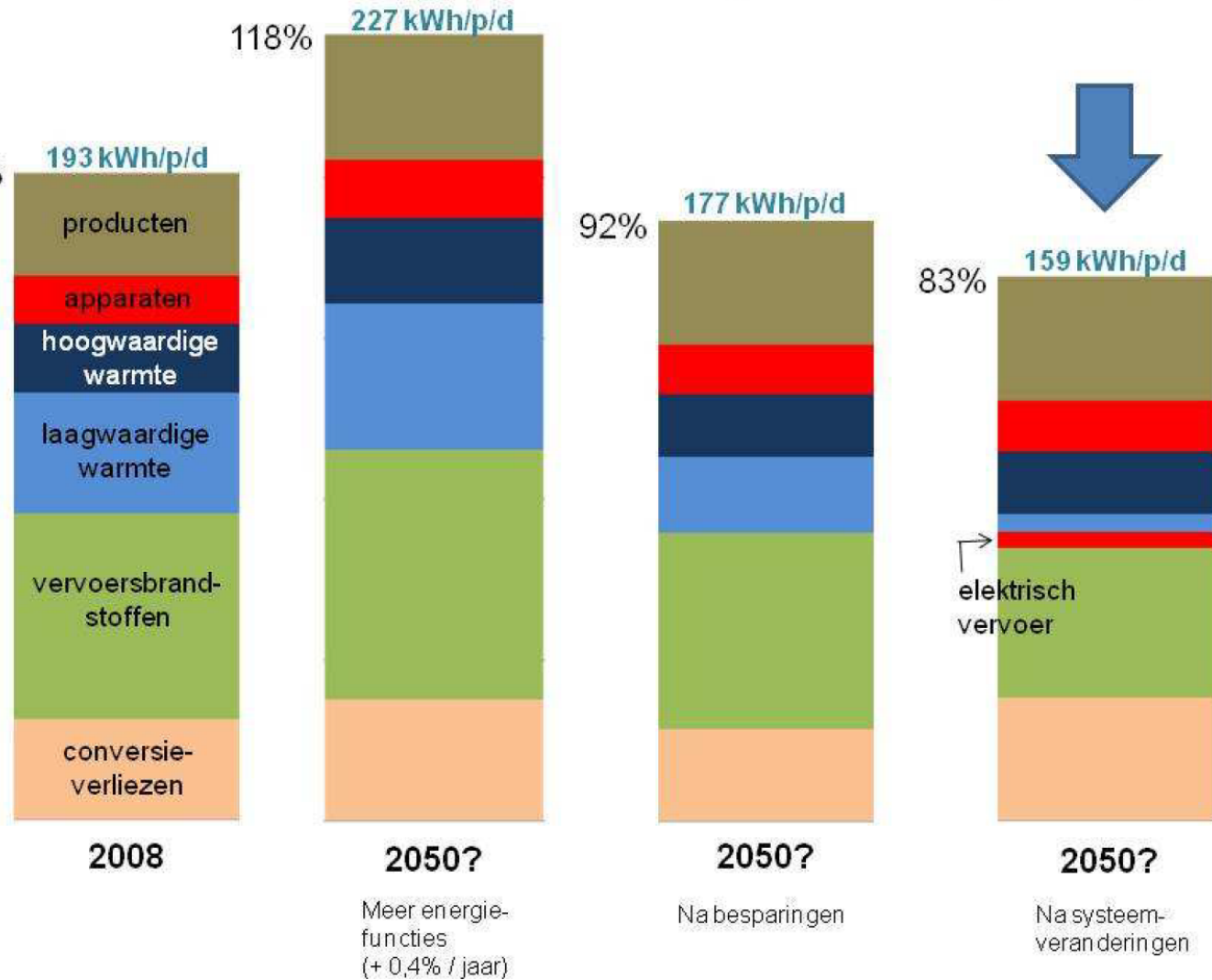
We hebben gevonden



Figuur 2 Het energiegebruik per Nederlander per dag.

Mogelijke ontwikkeling vraagzijde 2050

- Stijgende behoefte
 - CBS data
- Besparingen
 - 50% in warmtevraag
 - 20% efficiëntie
 - Luchtvaart
 - Wegvervoer
 - Zeevaart
 - 25% glastuinbouw
- Nieuwe technologie
 - Elektrisch vervoer
 - 66% besparing



Inzet energiebronnen 2050

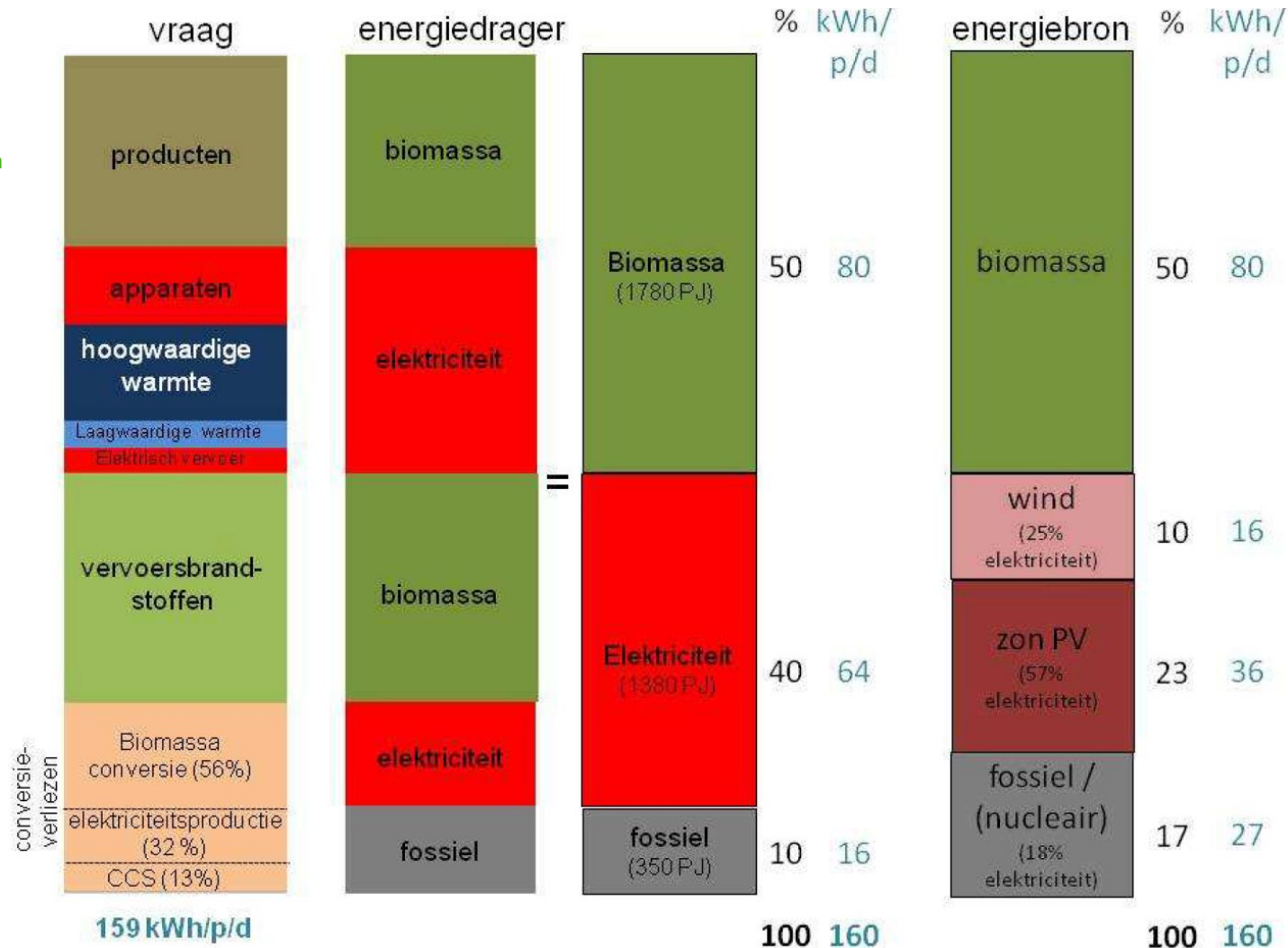
- Elektriciteit

- Zomer

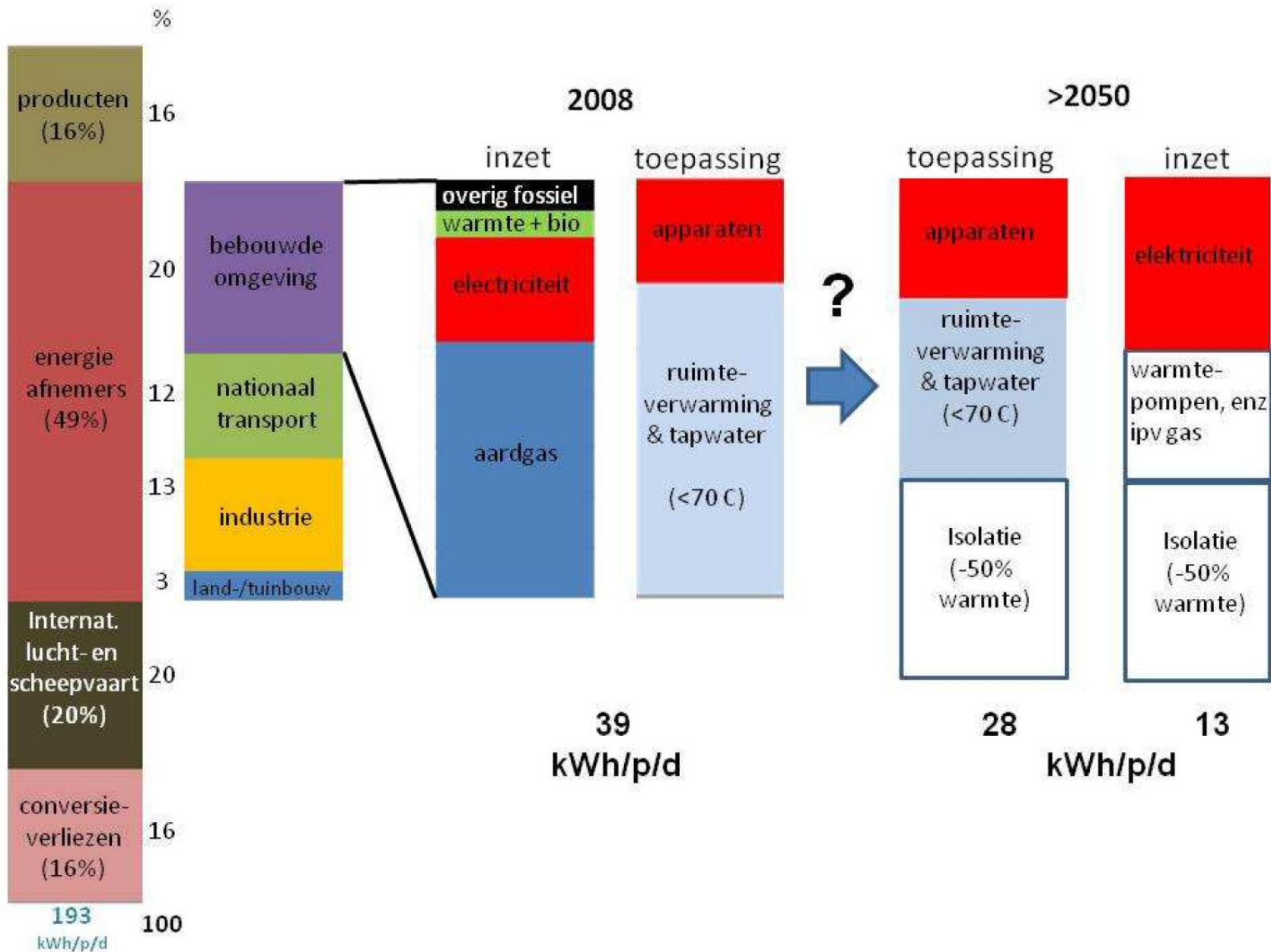
- 80% zon PV
 - 25% wind

- Winter

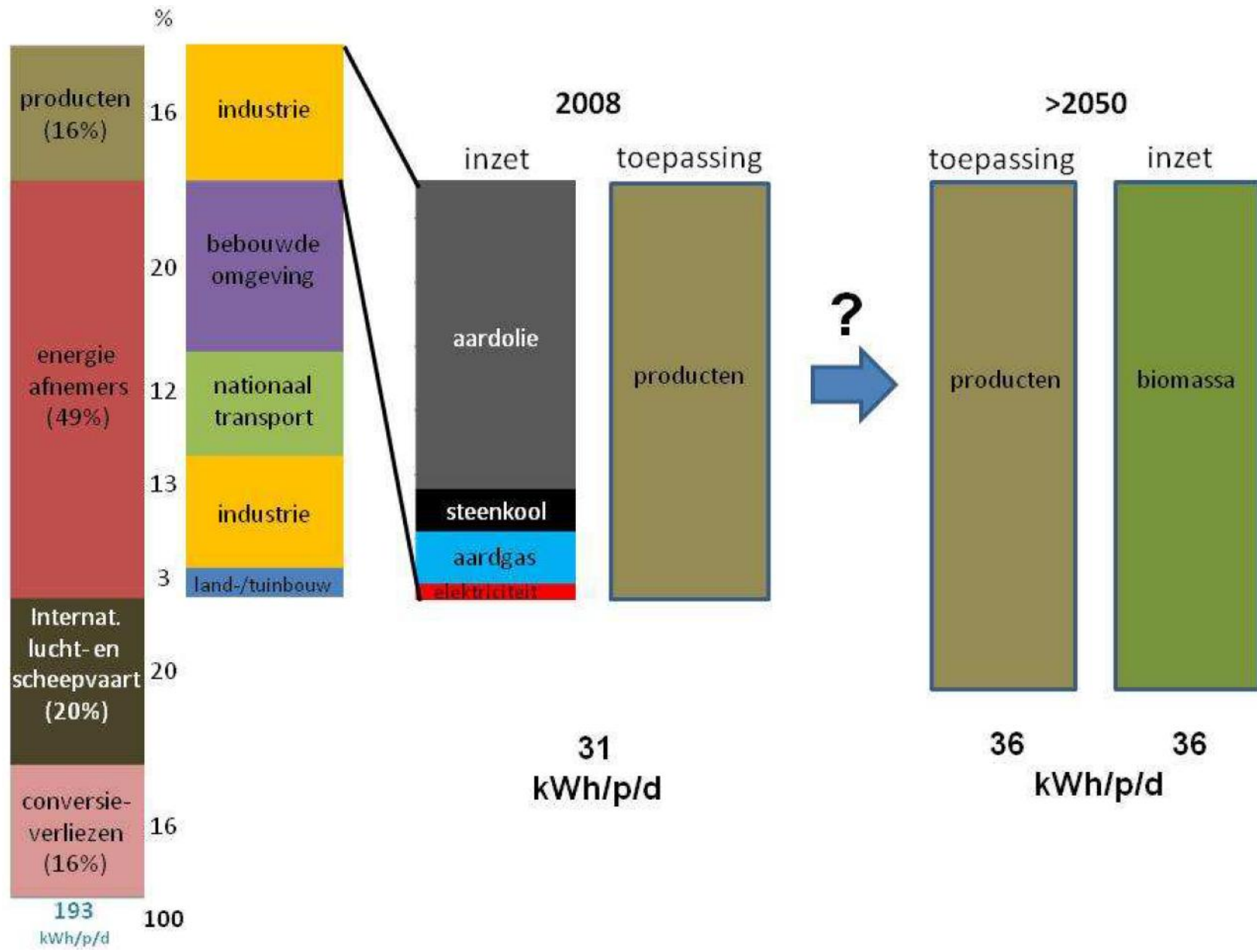
- 18% tekort
 - Fossiel/kern



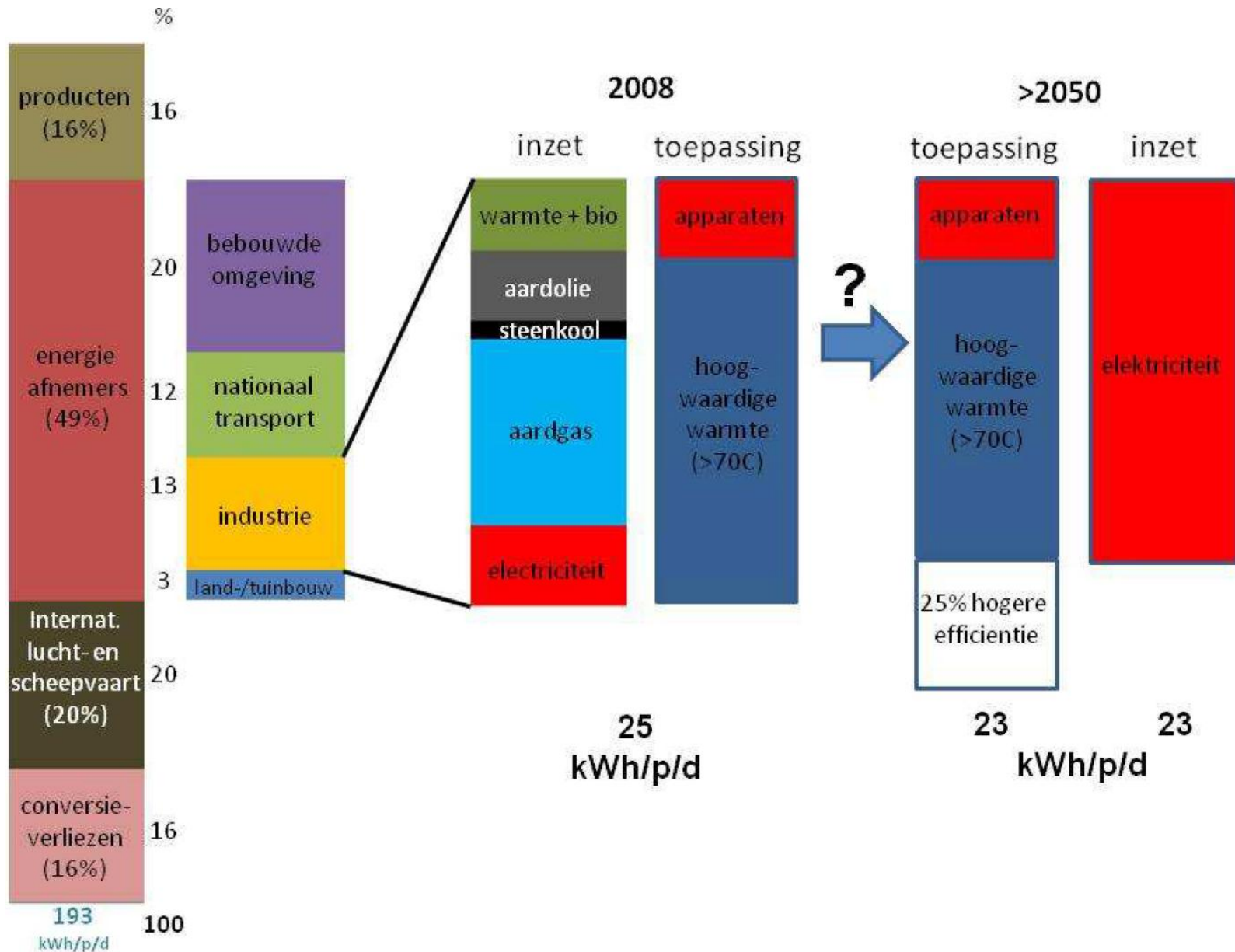
Bebouwde omgeving 2050



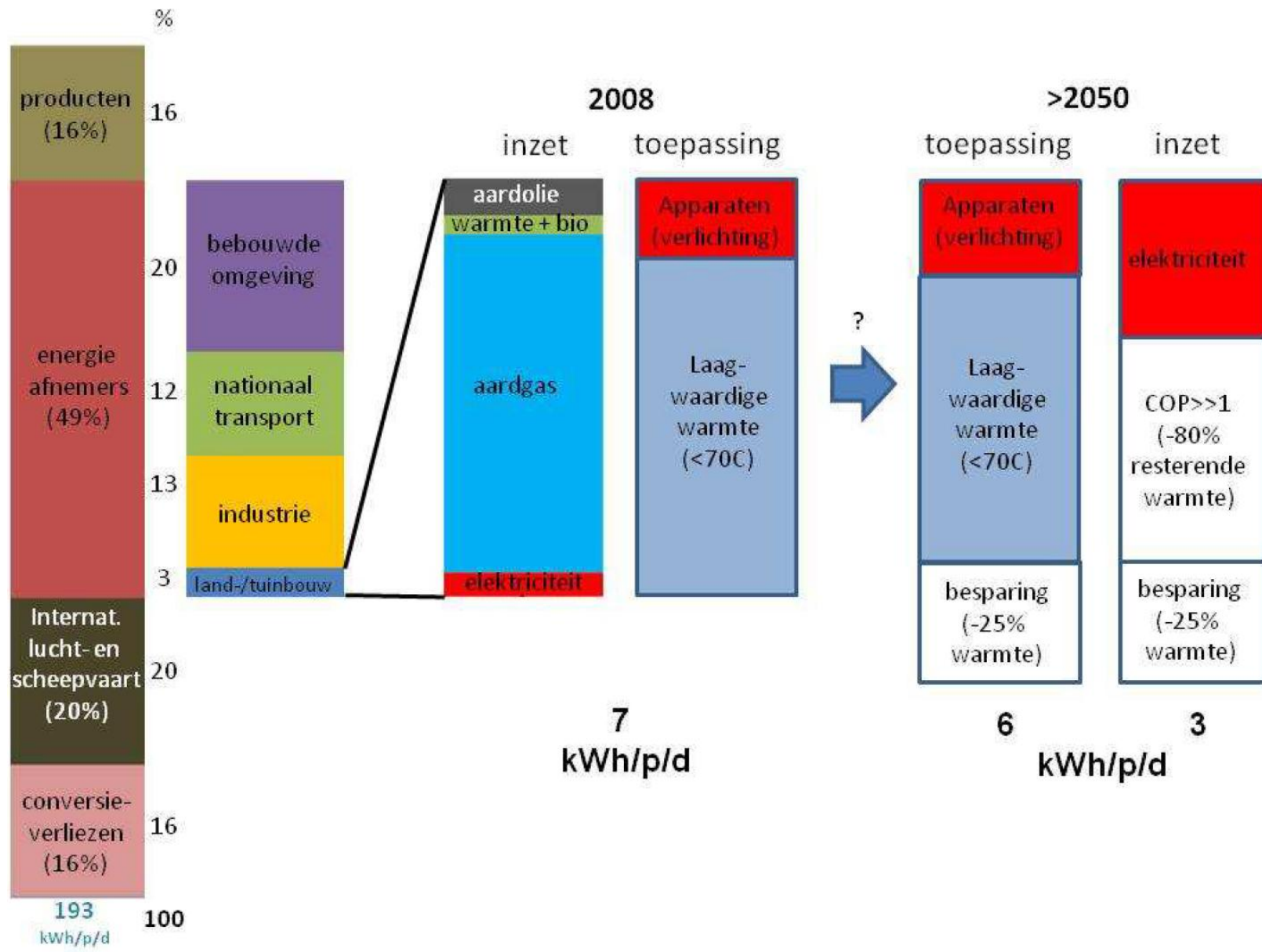
Industrie – producten 2050



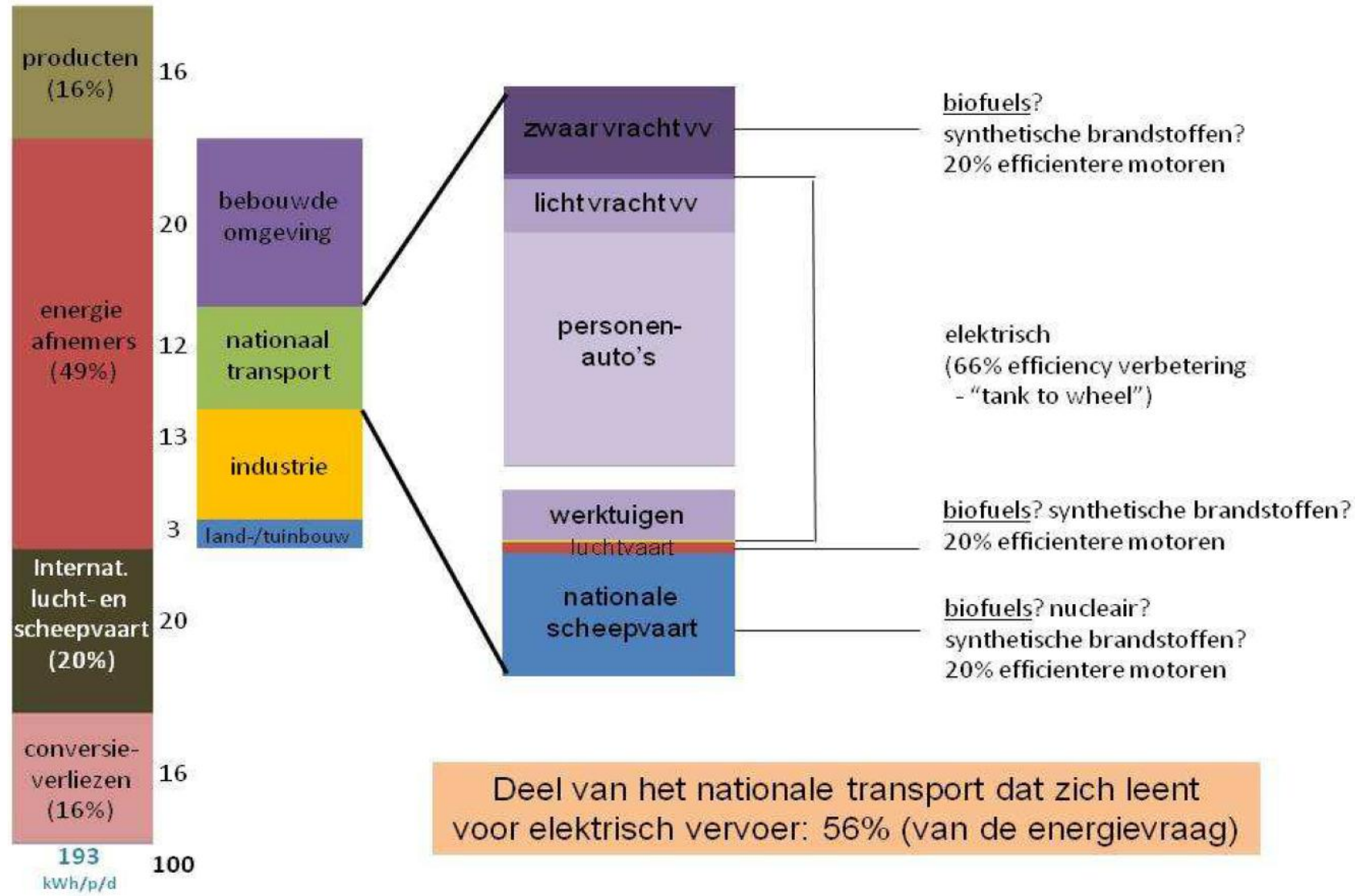
Industrie – energie 2050



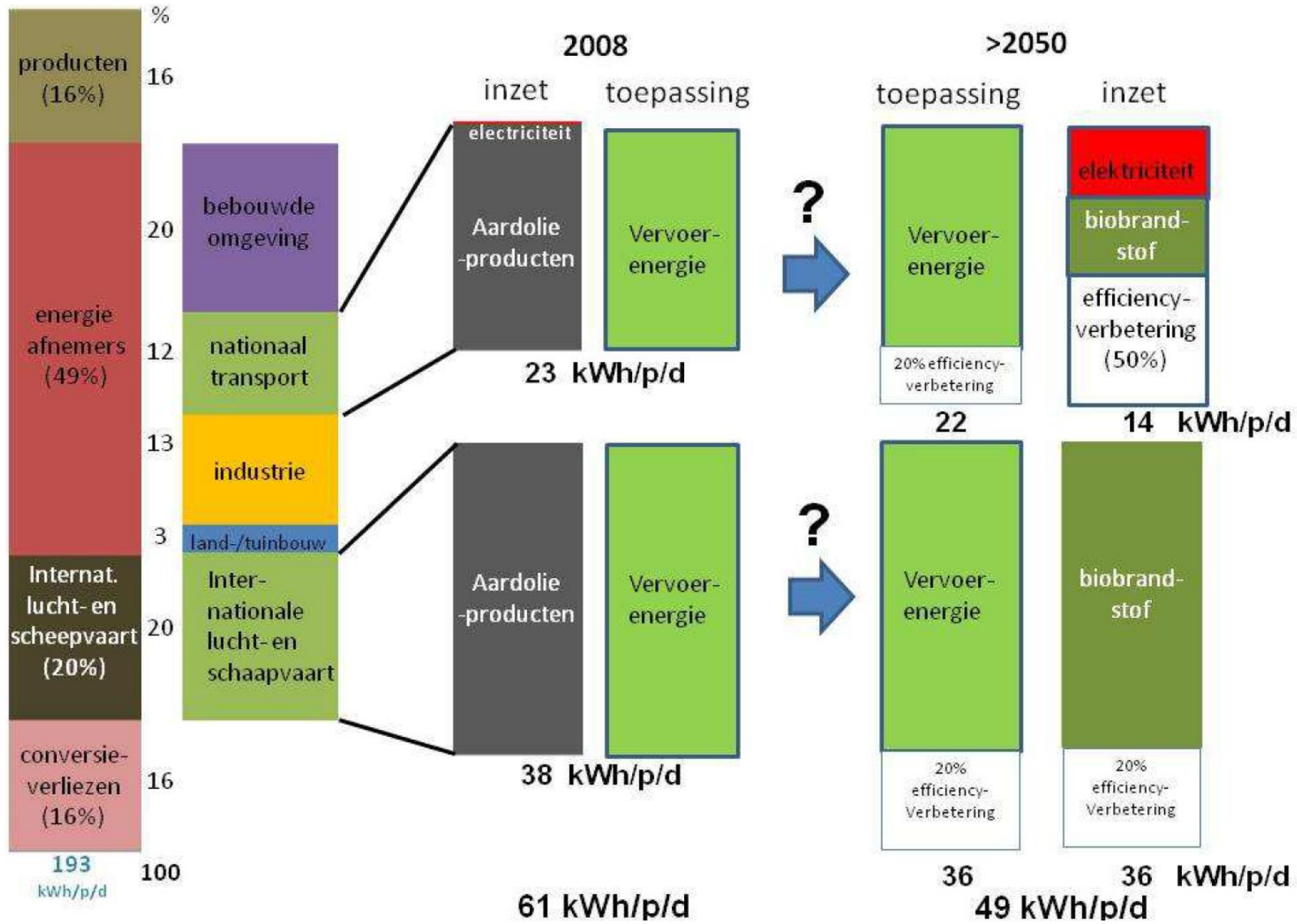
Land- en tuinbouw 2050



Transport – nationaal 2008



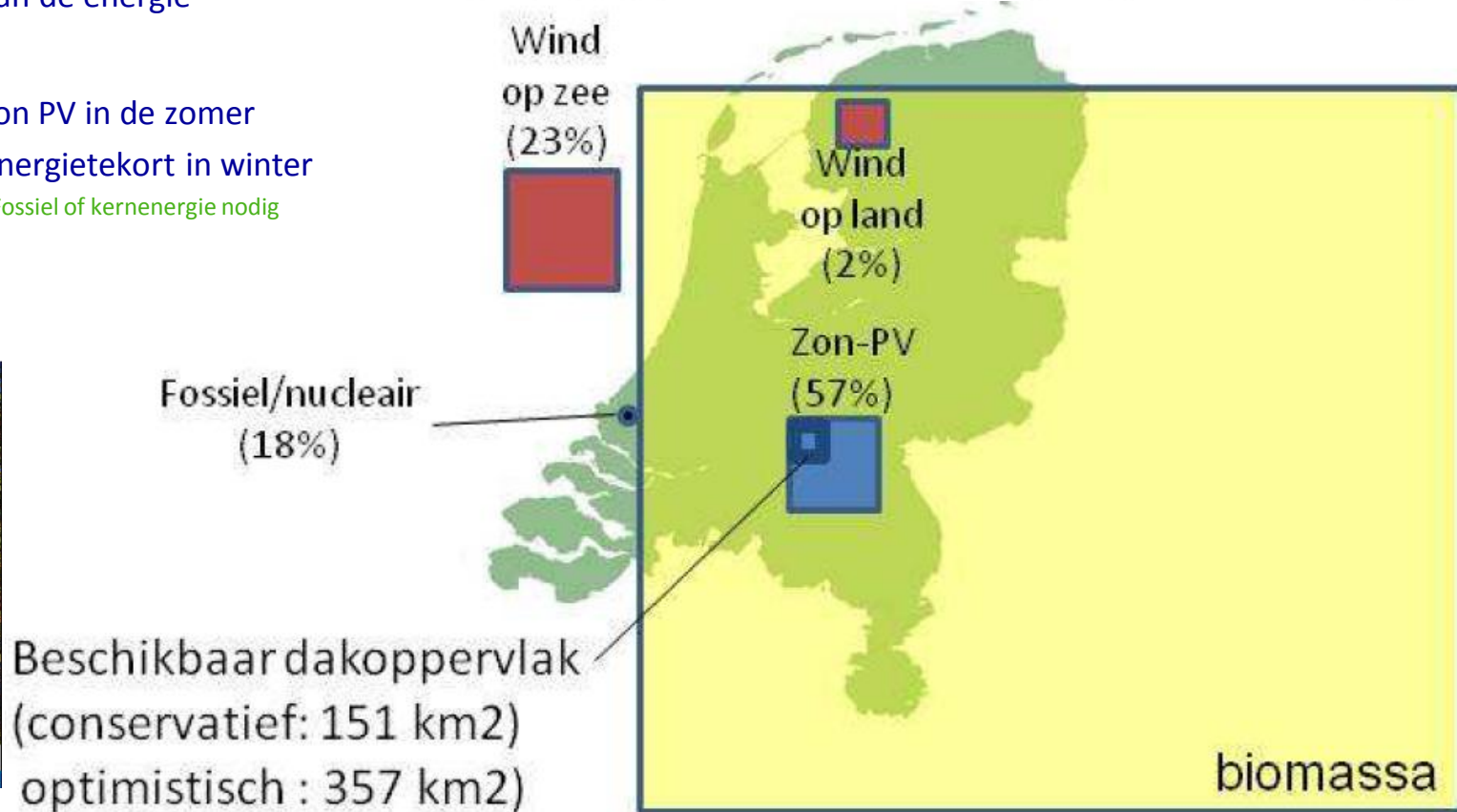
Transport 2050



Oppervlaktebehoeftes 2050

- Biomassa
 - Meer dan 10 keer beschikbare landbouwgrond
 - Internationalisering nodig
- Wind
 - 25% van de energie
- Zon PV
 - 80% zon PV in de zomer
 - 18% energietekort in winter
 - Fossiel of kernenergie nodig

	km ²	% NL grond
Wind land (4 GWi)	- 500	1,5
Wind zee (24 GWi)	- 3318	(9,6)
Zon PV (270 GWi)	- 2190	6,4
Biomassa	- 109000	320



David MacKay voor UK

My estimates	IEE	Tyndall	IAG	PIU	CAT
Geothermal: 1 kWh/d	Geothermal: 10 kWh/d				
Tide: 11 kWh/d	Tide: 2.4	Tide: 3.9	Tide: 0.09	Tide: 3.9	Tide: 3.4
Wave: 4 kWh/d	Wave: 2.3	Wave: 2.4	Wave: 1.5	Wave: 2.4	Wave: 11.4
Deep offshore wind: 32 kWh/d					
Shallow offshore wind: 16 kWh/d	Offshore: 6.4	Offshore: 4.6	Offshore: 4.6	Offshore: 4.6	Offshore: 21 kWh/d
Biomass: food, biofuel, wood, waste incin'n, landfill gas: 24 kWh/d	Wastes: 4	Hydro: 0.08 Energy crops, waste: 2	Energy crops, waste, landfill gas: 3	Energy crops, waste incin'n, landfill gas: 31 kWh/d	Hydro: 0.5 Biomass fuel, waste: 8
PV farm (200 m ² /p): 50 kWh/d					
PV, 10 m ² /p: 5		PV: 0.3	PV: 0.02	PV: 12	PV: 1.4
Solar heating: 13 kWh/d					Solar heating: 1.3
Wind: 20 kWh/d	Wind: 2	Wind: 2.6	Wind: 2.6	Wind: 2.5	Wind: 1
Σ=182	Σ=27	Σ=16	Σ=12	Σ=56	Σ=48

IEE The Institute of Electrical Engineers published a report on renewable energy in 2002 – a summary of possible contributions from renewables in the UK. The second column of figure 18.6 shows the “technical potential” of a variety of renewable technologies for UK electricity generation – “an upper limit that is unlikely ever to be exceeded even with quite dramatic changes in the structure of our society and economy.” According to the IEE, the total of all renewables’ technical potential is about 27 kWh/d per person.

Internationalisering

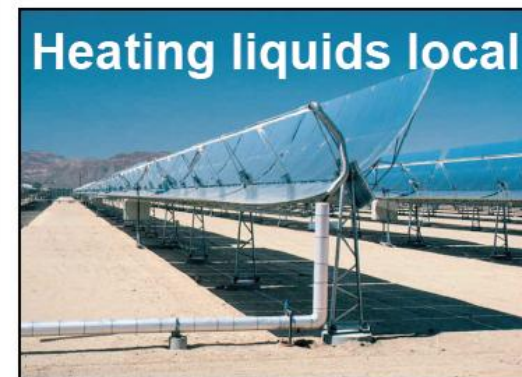
- Koop duurzame energie van andere landen
 - Lage populatiedichtheid
 - Veel zon (woestijnen zijn ideaal)
- Zonne-energie heeft grote energiedichtheid
- Politieke en andere aspecten
- Nieuw EU-grid nodig

Region	Population	Area (km ²)	Density (persons per km ²)	Area per person (m ²)
Libya	5 760 000	1 750 000	3	305 000
Kazakhstan	15 100 000	2 710 000	6	178 000
Saudi Arabia	26 400 000	1 960 000	13	74 200
Algeria	32 500 000	2 380 000	14	73 200
Sudan	40 100 000	2 500 000	16	62 300
World	6 440 000 000	148 000 000	43	23 100

POWER PER UNIT LAND OR WATER AREA	
Wind	2 W/m ²
Offshore wind	3 W/m ²
Tidal pools	3 W/m ²
Tidal stream	6 W/m ²
Solar PV panels	5–20 W/m ²
Plants	0.5 W/m ²
Rain-water (highlands)	0.24 W/m ²
Hydroelectric facility	11 W/m ²
Solar chimney	0.1 W/m ²
Concentrating solar power (desert)	15 W/m ²

Zonne-energie uit woestijnen

- Meeste technieken leveren 10 – 15 W/m²
 - Enkel de solar chimney is veel slechter: 0.1 – 1 W/m²



Voorbeeld: concentrator PV collector

- Lenzen zijn veel goedkoper dan hoog-efficiënte fotonvoltaïsche cellen
- Economischer om concentrators te bouwen en enkel kleine PV cellen te gebruiken
- 15 m x 15 m = 225 m² collector
 - Bestaat uit 5769 lenzen
 - Optische concentratie van factor 260
 - PV cellen met 25% efficiëntie
- Vermogen is 25 kW piek
 - Gemiddelde output is 138 kWh/d
 - Voldoende voor 1 Nederlander
 - Of een halve Amerikaan...



Zonne-energie uit woestijnen

David MacKay

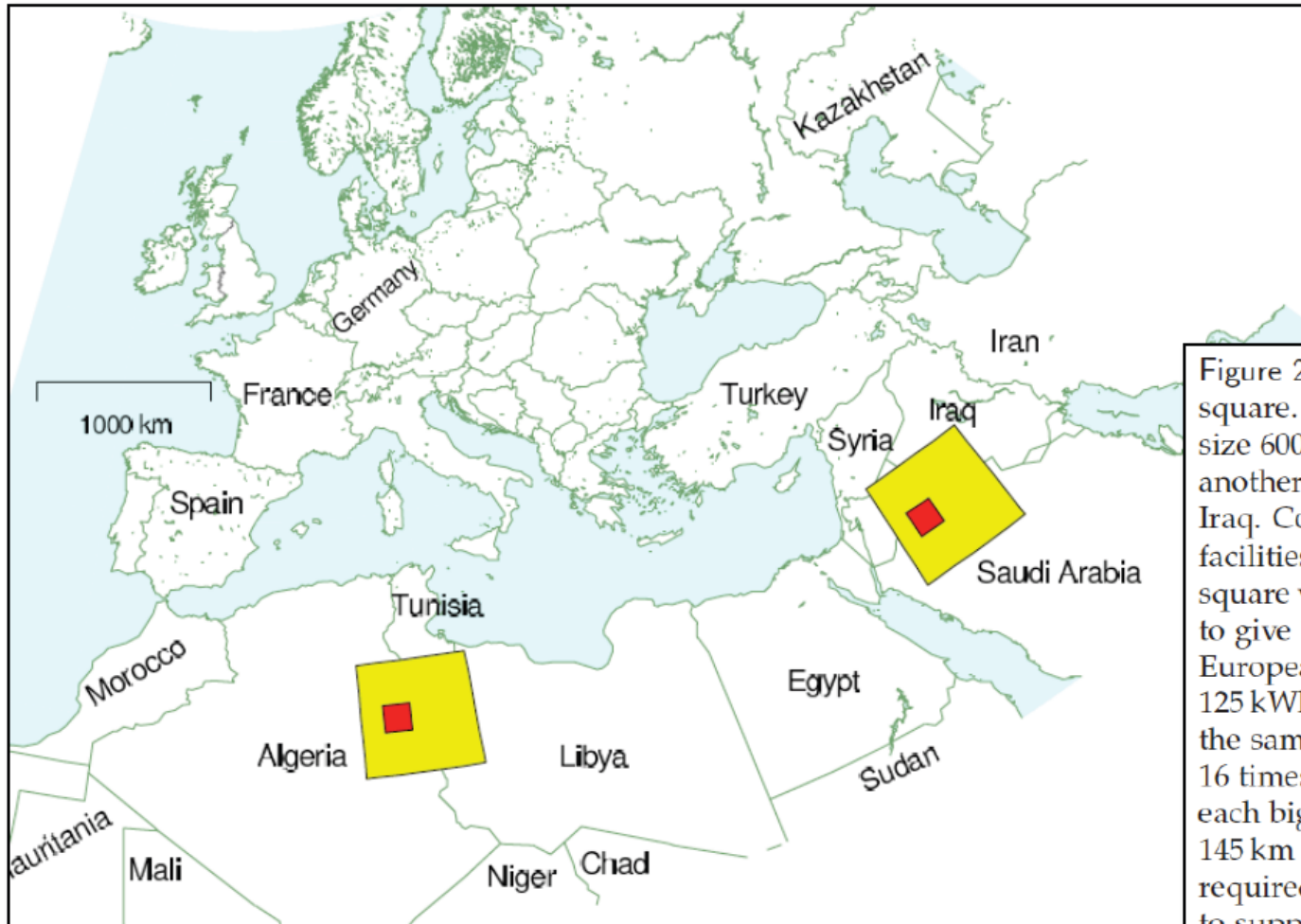
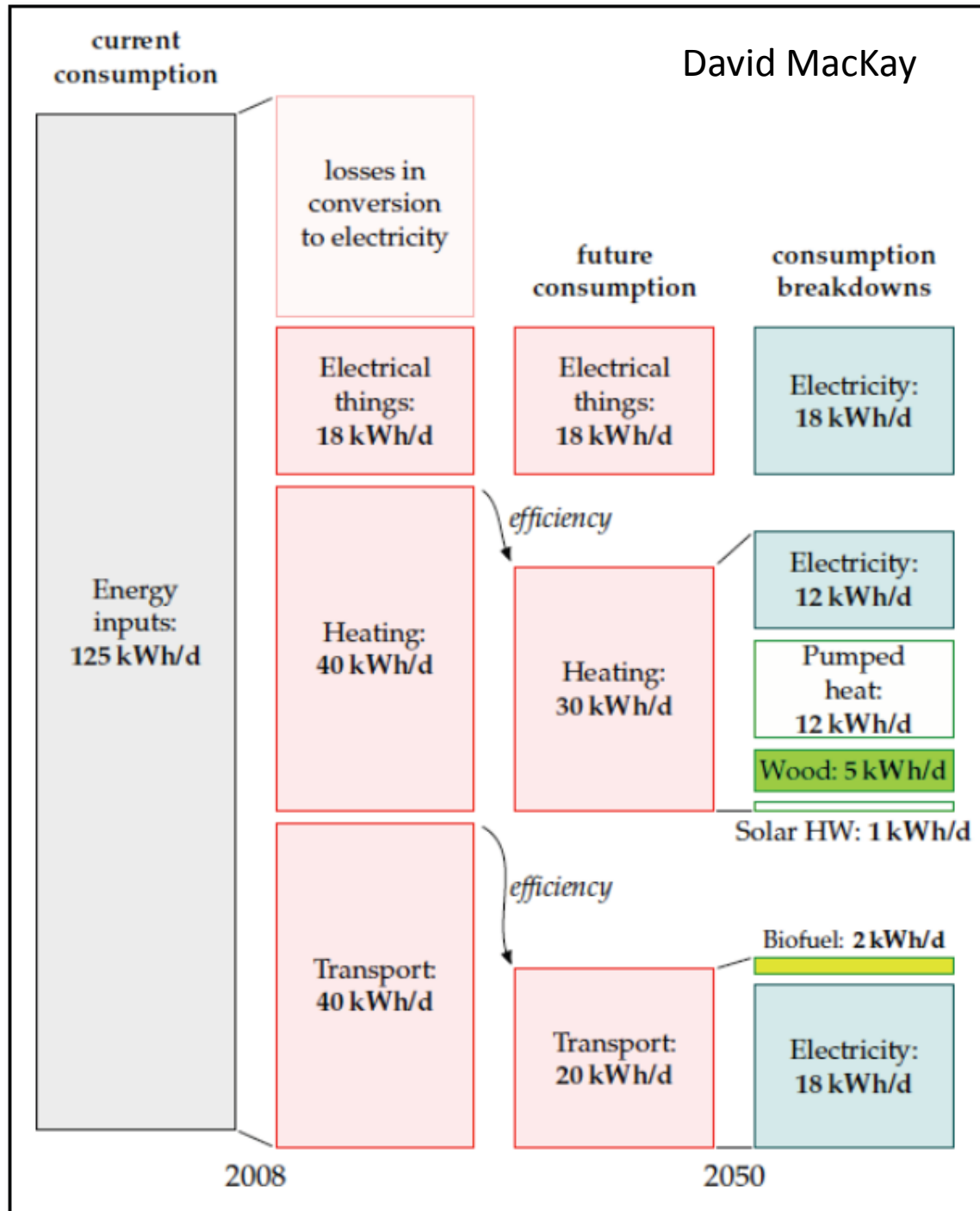


Figure 25.5. The celebrated little square. This map shows a square of size 600 km by 600 km in Africa, and another in Saudi Arabia, Jordan, and Iraq. Concentrating solar power facilities completely filling one such square would provide enough power to give 1 billion people the average European's consumption of 125 kWh/d. The area of one square is the same as the area of Germany, and 16 times the area of Wales. Within each big square is a smaller 145 km by 145 km square showing the area required in the Sahara – one Wales – to supply all British power consumption.

Energie in 2050?

- Vergeet alle import
 - Productie “spul”
- Vergeet voedsel
- Componenten
 - Elektriciteit
 - Warmte
 - Transport
- Zowel toekomstige efficiëntie, maar ook economische groei
- Behoefte aan elektriciteit neemt toe
 - Van 12 tot 48 kWh/d/p

David MacKay



Scenario's voor 2050?

plan D	plan N	plan L	plan G	plan E
Clean coal: 16 kWh/d	Solar in deserts: 20 kWh/d	Solar in deserts: 16 kWh/d	Solar in deserts: 7	Nuclear: 44 kWh/d
Nuclear: 16 kWh/d	Clean coal: 16 kWh/d	Clean coal: 16 kWh/d	Tide: 3.7	
Tide: 3.7	Nuclear: 10 kWh/d	Tide: 3.7	Wave: 3	
Wave: 2	Tide: 1 kWh/d	Wave: 2	Hydro: 0.2	
Hydro: 0.2	Hydro: 0.2 kWh/d	Hydro: 0.2	Waste: 1.1	Tide: 0.7
Waste: 1.1	Waste: 1.1 kWh/d	Waste: 1.1	Pumped heat: 12 kWh/d	Hydro: 0.2
Pumped heat: 12 kWh/d	Pumped heat: 12 kWh/d	Pumped heat: 12 kWh/d	Wood: 5 kWh/d	Waste: 1.1
Wood: 5 kWh/d	Wood: 5 kWh/d	Wood: 5 kWh/d	Solar HW: 1	Pumped heat: 12 kWh/d
Solar HW: 1	Solar HW: 1 kWh/d	Solar HW: 1	Biofuels: 2	Wood: 5 kWh/d
Biofuels: 2	Biofuels: 2 kWh/d	Biofuels: 2	PV: 3	Solar HW: 1
PV: 3 kWh/d	Wind: 2 kWh/d	PV: 3	Wind: 32	Biofuels: 2
Wind: 8 kWh/d		Wind: 8		Wind: 4

Figure 28.2. A plan that adds up, for Scotland, England, and Wales.

The red lines in the sea are wave farms, shown to scale.

Blue sharp-cornered polygons in the sea: tide farms.

Light-green land areas: woods and short-rotation coppices (to scale).

Big brown diamonds: clean coal power stations, with cofiring of

biomass, and carbon capture and storage (not to scale).

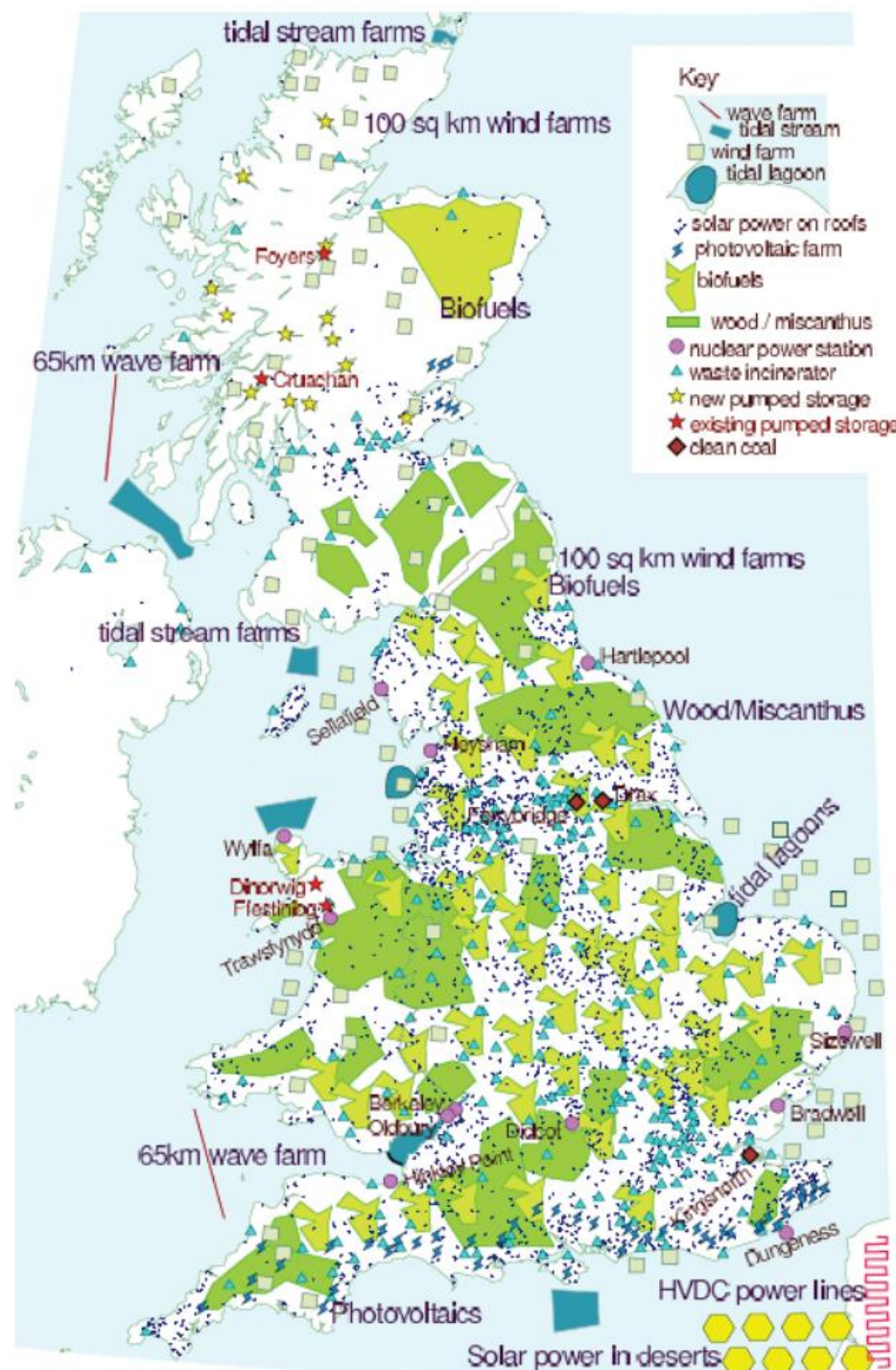
Purple dots: nuclear power stations (not to scale) – 3.3 GW average production at each of 12 sites.

Yellow hexagons across the channel: concentrating solar power facilities in remote deserts (to scale, 335 km² each). The pink wiggly line in France represents new HVDC lines, 2000 km long, conveying 40 GW from remote deserts to the UK.

Yellow stars in Scotland: new pumped storage facilities.

Red stars: existing pumped storage facilities.

Blue dots: solar panels for hot water on all roofs.



Kosten?

- Totaal L879G
 - Vanwege PV
- UK GDP L2200G
- Bankencrisis L500G

	Capacity	Rough cost		Average power delivered
		total	per person	
52 onshore wind farms: 5200 km ²	35 GW	£27bn – based on Lewis wind farm	£450	4.2 kWh/d/p
29 offshore wind farms: 2900 km ²	29 GW	£36bn – based on Kentish Flats, & including £3bn investment in jack-up barges.	£650	3.5 kWh/d/p
Pumped storage: 15 facilities similar to Dinorwig	30 GW	£15bn	£250	
Photovoltaic farms: 1000 km ²	48 GW	£190bn – based on Solarpark in Bavaria	£3200	2 kWh/d/p
Solar hot water panels: 1 m ² of roof-mounted panel per person. (60 km ² total)	2.5 GW(th) average	£72bn	£1200	1 kWh/d/p
Waste incinerators: 100 new 30 MW incinerators	3 GW	£8.5bn – based on SELCHP	£140	1.1 kWh/d/p
Heat pumps	210 GW(th)	£60bn	£1000	12 kWh/d/p
Wave farms – 2500 Pelamis, 130 km of sea	1.9 GW (0.76 GW average)	£6bn?	£100	0.3 kWh/d/p
Severn barrage: 550 km ²	8 GW (2 GW average)	£15bn	£250	0.8 kWh/d/p
Tidal lagoons: 800 km ²	1.75 GW average	£2.6bn?	£45	0.7 kWh/d/p
Tidal stream: 15 000 turbines – 2000 km ²	18 GW (5.5 GW average)	£21bn?	£350	2.2 kWh/d/p
Nuclear power: 40 stations	45 GW	£60bn – based on Olkiluoto, Finland	£1000	16 kWh/d/p
Clean coal	8 GW	£16bn	£270	3 kWh/d/p
Concentrating solar power in deserts: 2700 km ²	40 GW average	£340bn – based on Solúcar	£5700	16 kWh/d/p
Land in Europe for 1600 km of HVDC power lines: 1200 km ²	50 GW	£1bn – assuming land costs £7500 per ha	£15	
2000 km of HVDC power lines	50 GW	£1bn – based on German Aerospace Center estimates	£15	

Tentamen

- Stel een plan op om Nederland duurzaam van energie te voorzien. U kunt kiezen uit
 - Gebruik enkel nationale middelen
 - Internationaal gebruik is toegestaan, dus bijvoorbeeld zonne-energie uit de Sahara
- Leg uit wat de consequenties zijn voor de inrichting van Nederland
- Maak een schatting van de kosten
- Antwoord opsturen
 - Prof.dr J.F.J. van den Brand
 - Faculteit der Exacte Wetenschappen
 - De Boelelaan 1081
 - 1081 HV Amsterdam
- Datum uitreiking: 29 november 2011
- Datum inleveren: 20 december 2011

