

Wind Energy: the past, the present and the future



Prof.dr. Gerard J.W. van Bussel
Chair Wind energy
Faculty Aerospace Engineering
TU Delft, Netherlands

The Past

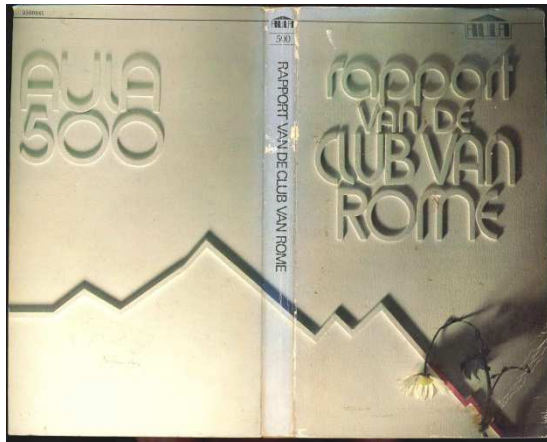
(Looking ~ 40 years backward)

Dennis Meadows

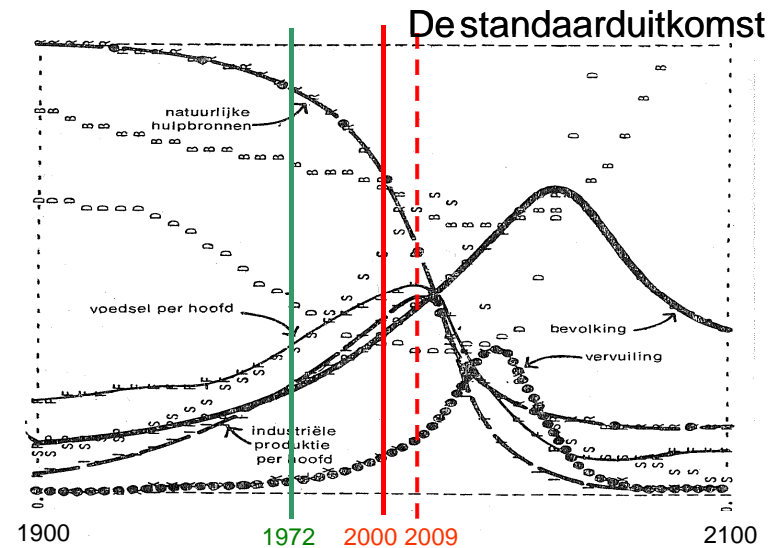
Systems Dynamics Group (MIT)

Club of Rome Report 1972

“The Limits of Growth”



The Limits of Growth 1972



Predictions for 2000: (28 years ahead)

- CO₂ concentration: 380 ppm
- World population: 6 billion
- Depletion of resources: 30%
- Climate change identified not yet quantified

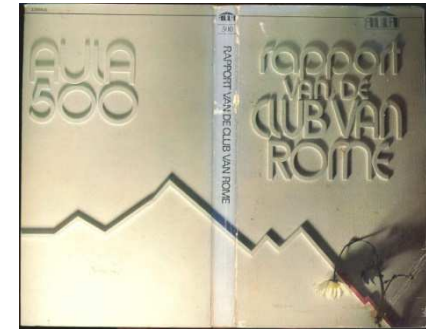
The oil crisis (1973)

Saudi Arabian boycott



Period 1970 – 1985

- 1972 Report Club of Rome
(The Limits of Growth)
- 1973 Saudi Arabian boycott: Oil Crisis
=> oil scarcity
- 1975 First National Research Programme
Wind Energy Defined (NOW1)
- 1977 Start Wind Energy Research TH Delft
- 1981 Evaluation NOW1 by Bureau BEOP



Start of Wind Research at TU Delft (1977)

Windonderzoek TH

Ook deze TH doet aan onderzoek naar wind-energie. Met het project op Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek, waarin een ander type rotor wordt ontwikkeld, nemen we zelfs een vooraanstaande plaats in. Over dit project en een voortijdig uitgebluste poging voor vermogensomzetting op Elektrotechniek gaat het volgende verhaal.

Al eeuwenlang wordt er gebruik gemaakt van windenergie. Nederland is niet voor niets zo beroemd geworden met zijn molens, want al in de vijftiende eeuw werd de windkracht gebruikt voor het winnen van nieuw land. Met de opkomst van olie en gas en daarvoor steenkool is windenergie als bron eigenlijk wat in het verdomhoekje geraakt. Alleen in tijden van nood wordt deze energie-leverancier weer van stal gehaald, zoals bleek in de laatste oorlog toen velen een klein windmolenje op hun dak hadden gezet om naar Radio Oranje te luisteren of anderszins de geleverde elektriciteit te gebruiken.

Die gedachte, dat windmolens eigenlijk nooit een fundamentele ontwikkeling hebben doorgemaakt is de achtergrond van het streven van de groep van Theo van Holten op Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek om de windmolen aan te passen aan de twintigste eeuw. Niet dat er geen eerdere pogingen waren. In de dertiger jaren bijvoorbeeld is er in de Verenigde Staten veel onderzoek gedaan naar windmolens om het platteland van elektriciteit te kunnen voorzien. Maar ook deze molens, hoewel efficiënter dan de oude Hollandse windmolens gingen uit van traditionele aerodynamische principes.

Het belangrijkste principe in dit verband is het theorema van Betz. Deze heer stelde dat er een grens is aan het vermogen dat een turbine kan halen uit de langstroomende lucht. Die grens wordt bepaald, door het feit dat de molen als hij te veel staat te remmen, als een dicht lichaam wordt opgevat door de wind. Dat wil zeggen, bij een bepaalde grens, stroomt de lucht langs de rotor in plaats van er doorheen. Slechts 16/27 deel van de in de wind beschikbare energie kan daarom worden benut.

Door nu aan het uiteinde van de wieken van een molen zogenaamde tippanen aan te brengen, kun je door deze theoretische bovengrens heenbreken. Op de foto op pagina 15 is te zien hoe dat werkt. De tippanen veroorzaken een werveling die werkt als een soort trechter. Door tippanen te gebruiken

trek je als het ware meer lucht naar de rotor toe, dan wanneer je gewone wieken gebruikt.

Een vergelijkbaar groter vermogen krijg je als je in plaats van een werveling een omantelde windmolen maakt, zoals men doet in de VS en in Israël. Als de tippanen werkt in de buitenlucht, dan is de oplossing die Van Holten heeft gevonden echter beduidend goedkoper.

Veld-experiment

Het uur van de waarheid voor de groep van Van Holten nadert snel. In de komende weken wordt er op het terrein van de Stichting Energie Anders een mast opgericht met een tipvaan-rotor. Gijs van Kuik, medewerker van de groep, haast zich te verklaren dat het hier niet gaat om een prototype, maar om een echte experimenteer-molen. De rotor krijgt een diameter van 8,5 meter en de

bedoeling is om er veertig kilowatt aan rotorvermogen mee op te wekken bij tien meter per seconde windsnelheid. In vergelijking met een conventionele rotor probeert men ca. 2,5 maal zoveel vermogen van de wind af te tappen.

Hoewel windtunnel-proeven hebben laten zien dat het mogelijk is om zelfs viermaal zoveel vermogen af te tappen bij dezelfde rotordiameter, kun je toch niet helemaal op die proeven bouwen. Een belangrijk verschijnsel, dat je niet of nauwelijks in de tunnel kunt simuleren, is de turbulentie van de atmosfeer. Die turbulentie is van invloed op de tipvaan-wervel en de vraag is hoe groot die invloed is.

Een tweede punt van onderzoek bij het veld-experiment zijn de trillingen van mast en rotor en de effecten daarvan op de diverse verbindingen, zoals die tussen tipvaan en wiek. Dit trillingsonderzoek, dat ook plaatsvindt op Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek is niet alleen van belang voor de tipvaan-rotor. Legio zijn de molens die slechts enkele maanden of jaren stonden om vervolgens te worden uitgeschakeld door verlies van een rotor-blad of andere onderdelen. Ook voor gewone rotoren is het dus van belang om al bij het ontwerpen ervan te weten waar je op moet letten om trillingen te voorkomen.

In dit verband is het interessant te melden dat de molens die in Camperduin moeten komen te staan een drie-bladige rotor krijgen. De reden daarvan is dat de [oorspronkelijk] tweebladige rotor van Lagerweij en Van der Loenhorst toch iets teveel last van trillingen schijnt te hebben.

Ejecteur

Naast het al vermelde onderzoek in het veldexperiment willen Van Holten c.s. ook nog aandacht besteden aan een effect, dat hen is opgevallen bij hun onderzoek naar de tipvaan: het 'ejecteur-effect'. Dat bestaat hierin, dat je met de tipvaan een snelle menging krijgt van het zog [de lucht die door de rotor is gegaan] en de lucht die om de rotor heen is gestroomd. Door deze menging van 'verse lucht', met het uitgeputte zog, wordt het zog meegesteurd en afgevoerd. Door dit hulpeffect kan de rotor extra energie uit de lucht opnemen, zonder dat hij een dichte schijf wordt. Dat betekent in feite dat je per kilo lucht meer energie kunt aftappen dan zonder ejecteur-effect het geval zou zijn. Als er alleen de werveling van de tippanen

onderzoek 12 jaargang 13 nummer 4

tenmert het huidige energiebeleid een omvangrijke benutting van de wind in de komende decennia. Een heel praktische benutting voor de zogenaamde 'Zelfleverkers' is dat zij voor elektriciteit, die zij aan het net leveren slechts vier tot vijf cent per kilowattuur krijgen. Dat terwijl de werkelijke kostprijs in de buurt van de tien cent per kilowattuur ligt, een prijs die vergelijkbaar is met de kostprijs van een op de conventionele wijze opgewekte kilowattuur. Dat is elektriciteit voor i t t r i c h t e l d i j k l e n d e a l c z o u e n r e n d a b e l e . E c h t e r d i z i j n n i e t t e b e l a n g r i j k b e l e i d , z o r a d e n , o v e r s t u t t e n e u t i l i t e i t e n o p p e t .

In het beleid voor de elektriciteitsvoorziening wordt wind-energie voornamelijk nog gezien als een marginale energ bron. Hoewel de verwachte bijdrage aan de elektriciteitsvoorziening de laatste vijf jaar langzaam omhoog is gegaan, zijn er nog geen tekens dat wind-energie als een serieuze mogelijkheid wordt gezien.

Daarmee, zo zegt Gijs van Kuik, medewerker aan het Delftse onderzoeksproject van de tipvaanrotor, 'laadt Den Haag de verdrinking op zich, dat de paar miljoen die worden besteed aan wind-energie, voornamelijk zijn bedoeld als een public relations-activiteit. In de transitie van, we doen er ook wat aan, kijk maar, zonder dat er nu werkelijk serieus iets gebeurt'.

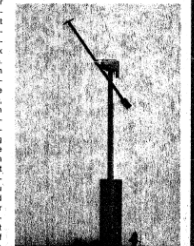
Zover gaat Pijpers, coördinator van het Nationaal Onderzoekprogramma niet. Waar volgens hem de schone mening is, dat Economische Zaken niet duidelijk maakt wat voor beleid ze wil gaan voeren de eerstkomende decennia. Voor de verdere ontwikkeling van wind-energie is het noodzakelijk dat er nu 'inbrengende' worden gedaan. Anders blijft wind-energie voor altijd een marginale bron van elektriciteit. Deze zienswijze leeft tot het volgende. Men schat de behoefte aan elektriciteit in het jaar 2000, rekening uit met voor ziekebelastingen zich voordoen, schat de benodigde overcapaciteit en op basis daarvan stelt men vast hoeveel steenkool- of kerncentrales we nodig hebben. Aangezien de voorbereiding en de bouw van deze centrales zo'n jaar of tien in beslag nemen gaat men nu al beginnen met de voorbereidingen om te zijn er tijd voldoende elektriciteit te leveren. Als je nu echter windenergie als een mogelijkheid zou meenemen, dan zou er een heel ander plaatje ontstaan, te gaan dan kijken of en zo ja waar je een groot windmolenpark kunt maken, in hoeverre bepaalde industrieën of landbouwbedrijven uit de voeten kunnen

met een middelgrote molen en wat de bijdrage zal zijn van kleinere, particuliere molens. Omdat een windmolen geen constante stroomleverancier is, is in vergelijking behalven, of en zo ja waar conventionele centrales een ondersteunende rol moeten spelen. Ook bij berekeningen over ziekebelasting en benodigde overcapaciteit zullen andere zijn dan bij de meer statische benadering. Dus in plaats van dat je zegt, in 1990 hebben we daar een steenkoolcentrale nodig van 600 megawatt zeg je, in het leveringsgebied kunnen we zo en zoveel molens van verschillende formaten inzetten en, voor een deel ter ondersteuning, hebben we een zo en zo grote centrale nodig.

Flexibiliteit Flexibiliteit dus. Maar ook bij de benadering van windmolens is flexibiliteit nodig: in de nog tamelijk grootschalige jaren zeventig, dacht men bij het opwekken van elektriciteit via windmolens toch nog voornamelijk aan gigantische parken met zeer grote molens, die brommend en wel in onze behoefte zouden voorzien. Voor velen een schrikbeeld, gezien het esauwige lawaai, de vervuiling van het landschap en de milieugevolgen voor bijvoorbeeld trekvogels.

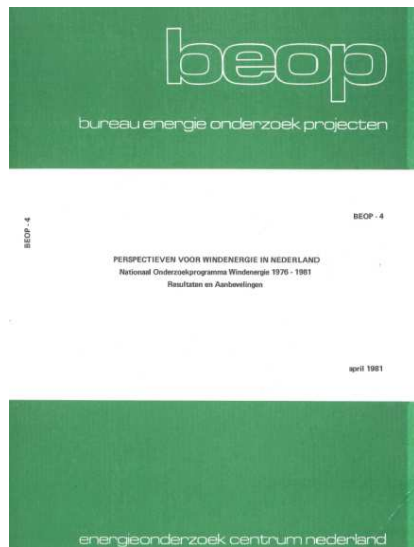
Van dat grootschalig denken begint men wat terug te komen. In het Nationaal Onderzoekprogramma Windenergie is de laatste jaren steeds meer de nadruk komen te liggen op de kleinere windmolens voor particulier gebruik. Bovendien denkt Pijpers ook veel meer aan gedecentraliseerde opwekking van elektriciteit door windmolens. Ge-centraliseerde opwekking is misschien al-

Een model van de tipvaan-rotor zoals die binnen een paar dagen zal vliegen in Hoek van Holland. Deze rotor moet met een rotor-diameter van 8,5 meter 40 kW vermogen gaan leveren.

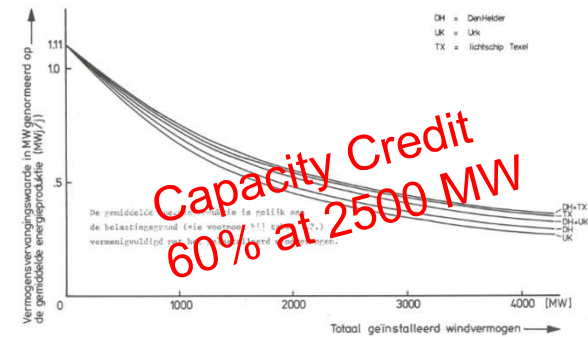
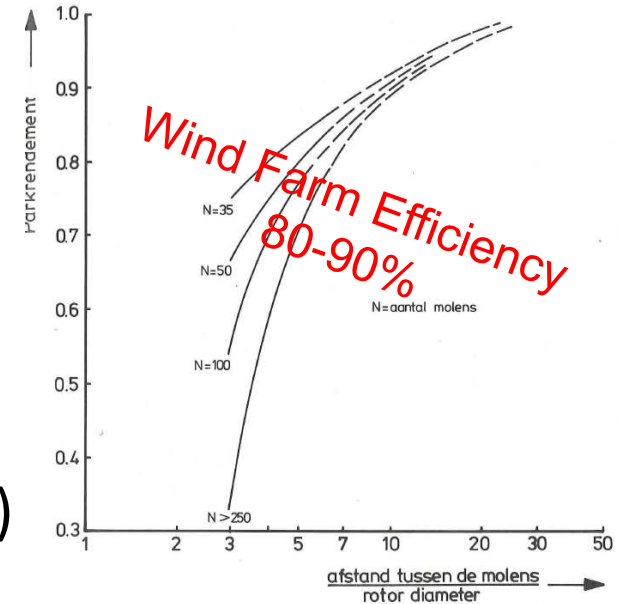


BEOP: Perspectives for Wind Energy in NL (1981)

Evaluation NOW1

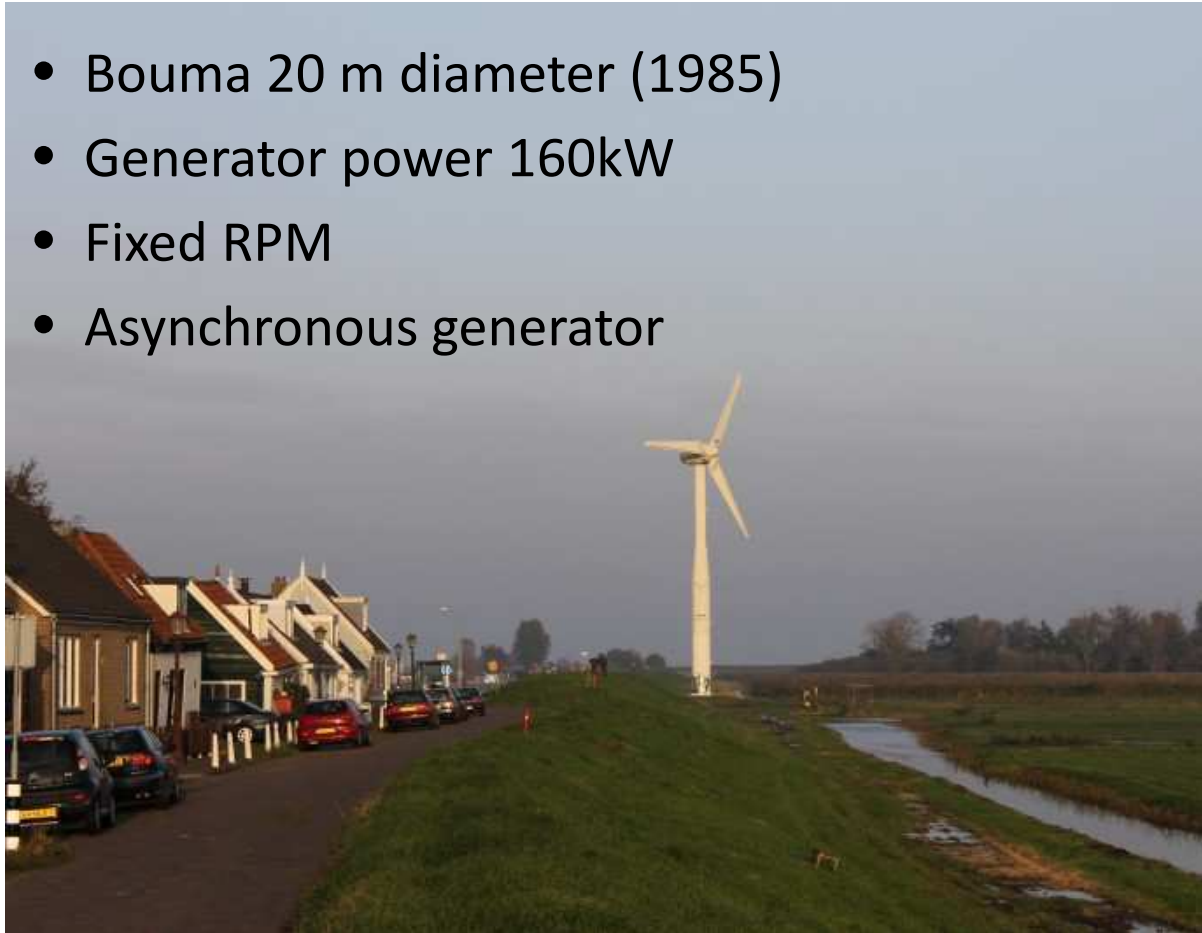


- 2500 MW theoretically possible (in the long run)
- < 650 MW realistically (loss of power largest issue)
- Deployment after year 2000
- Strong governmental Support needed



The technology of the eighties

- Bouma 20 m diameter (1985)
- Generator power 160kW
- Fixed RPM
- Asynchronous generator

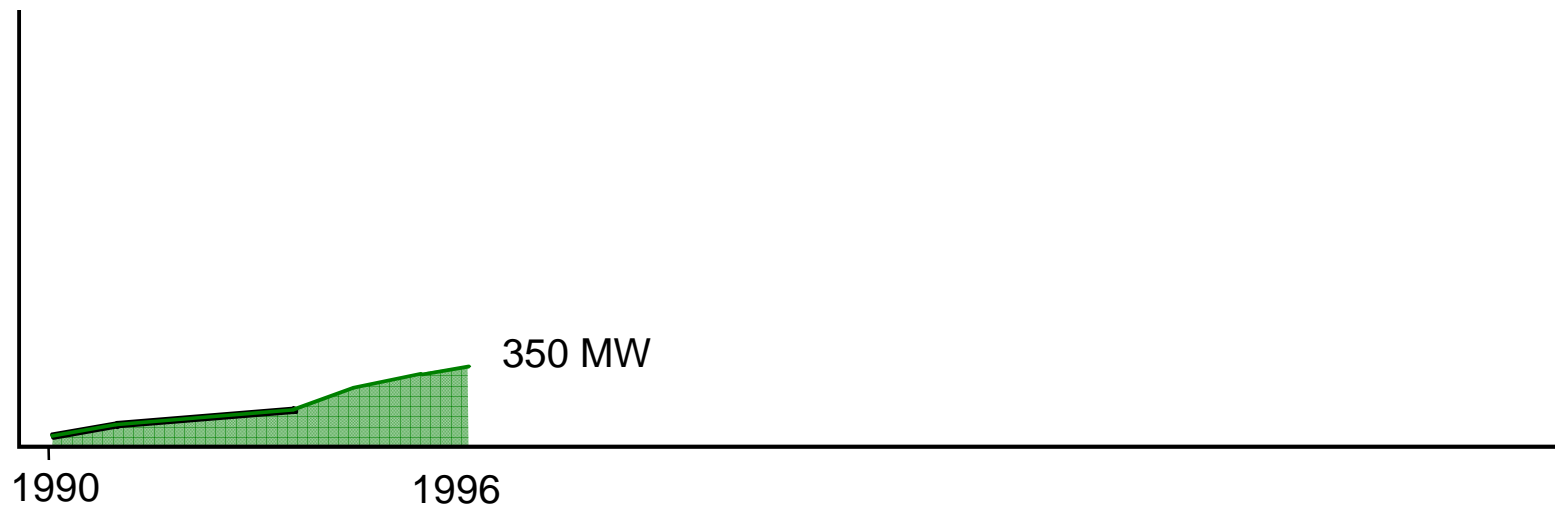


1996: Status and scenario in The Netherlands

~ 350MW installed in NL (~10% of EU)

Growth to 3000 MW in NL possible

- 1500 MW on land
- 1500 MW at sea

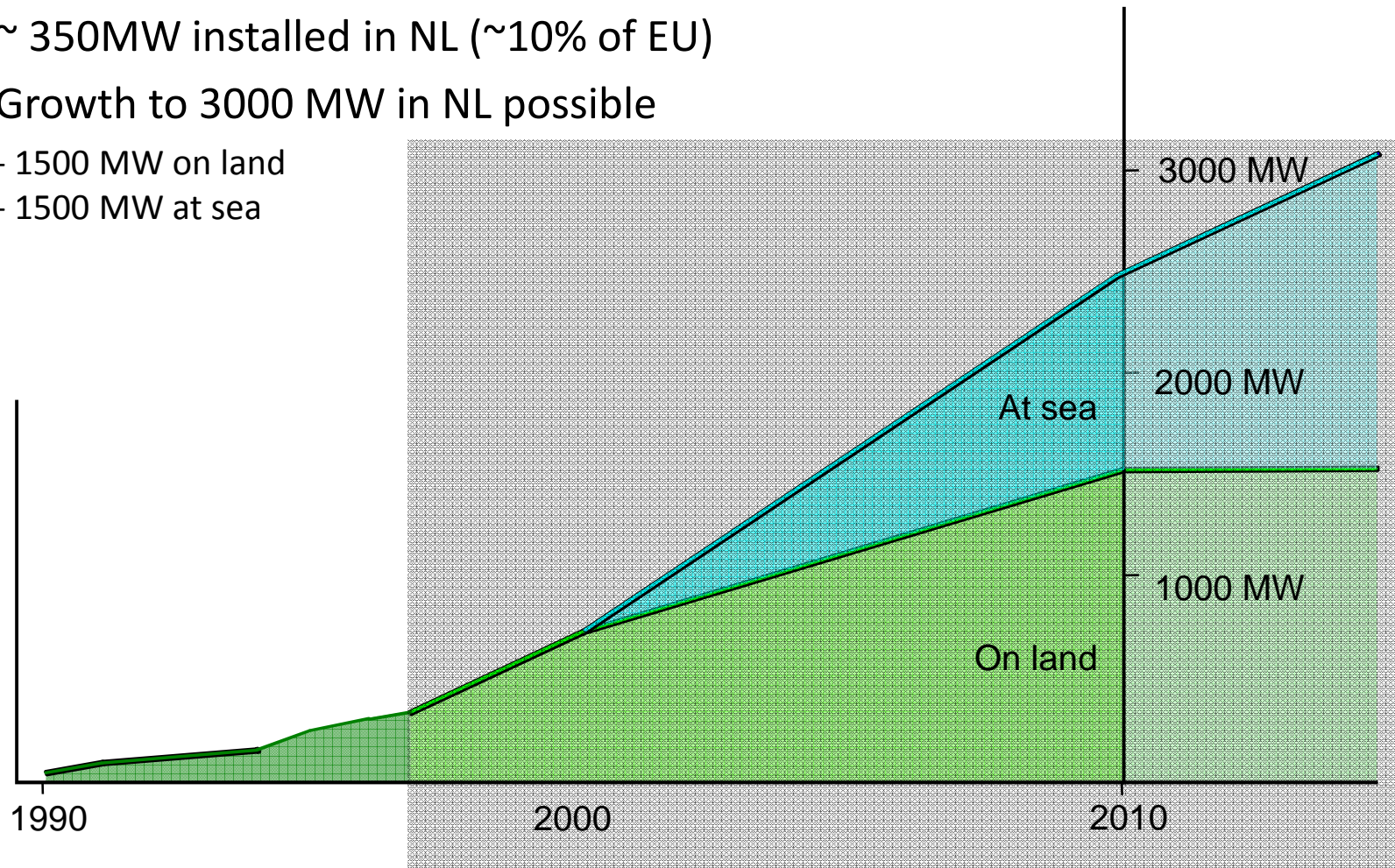


1996: Status and scenario in The Netherlands

~ 350MW installed in NL (~10% of EU)

Growth to 3000 MW in NL possible

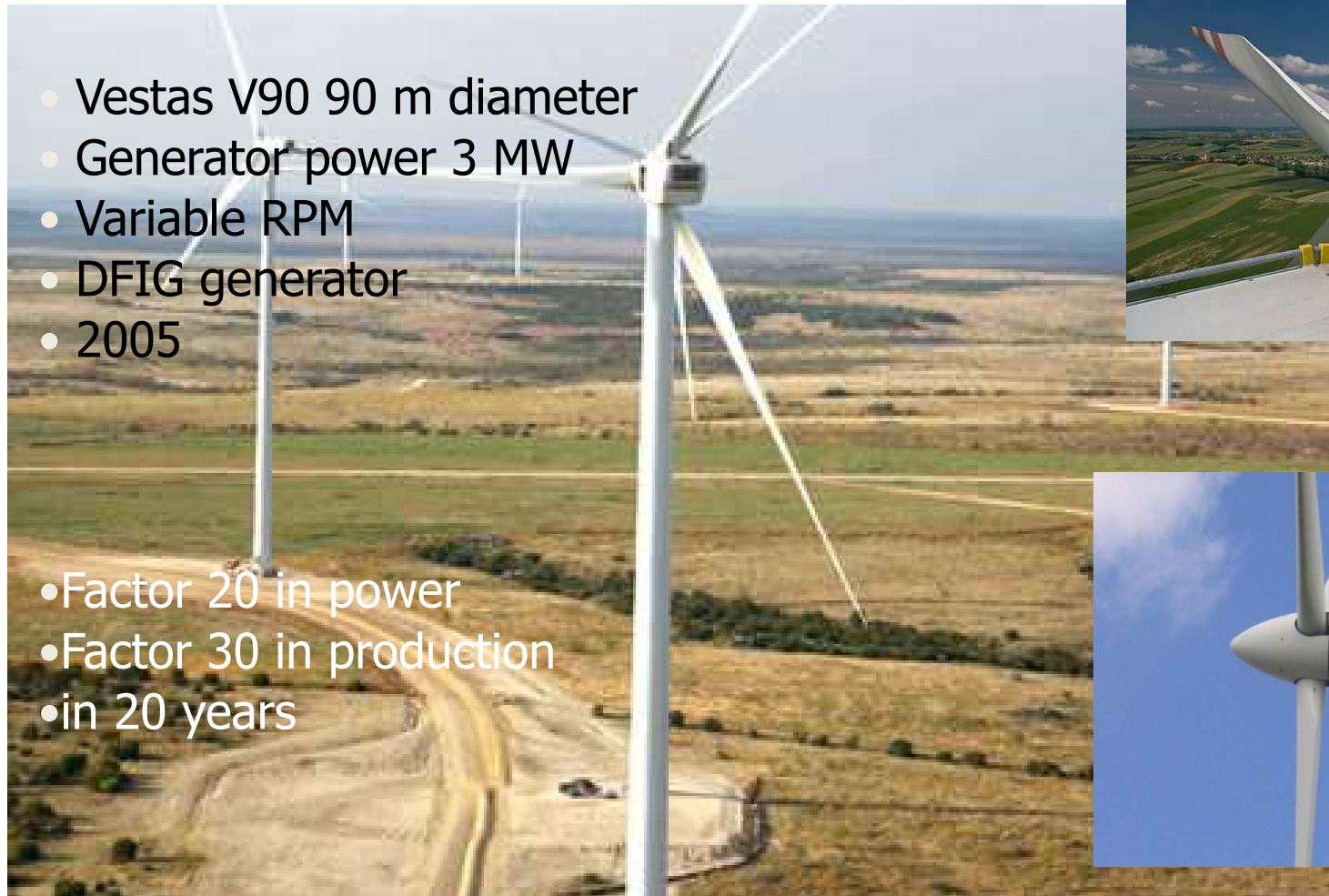
- 1500 MW on land
- 1500 MW at sea



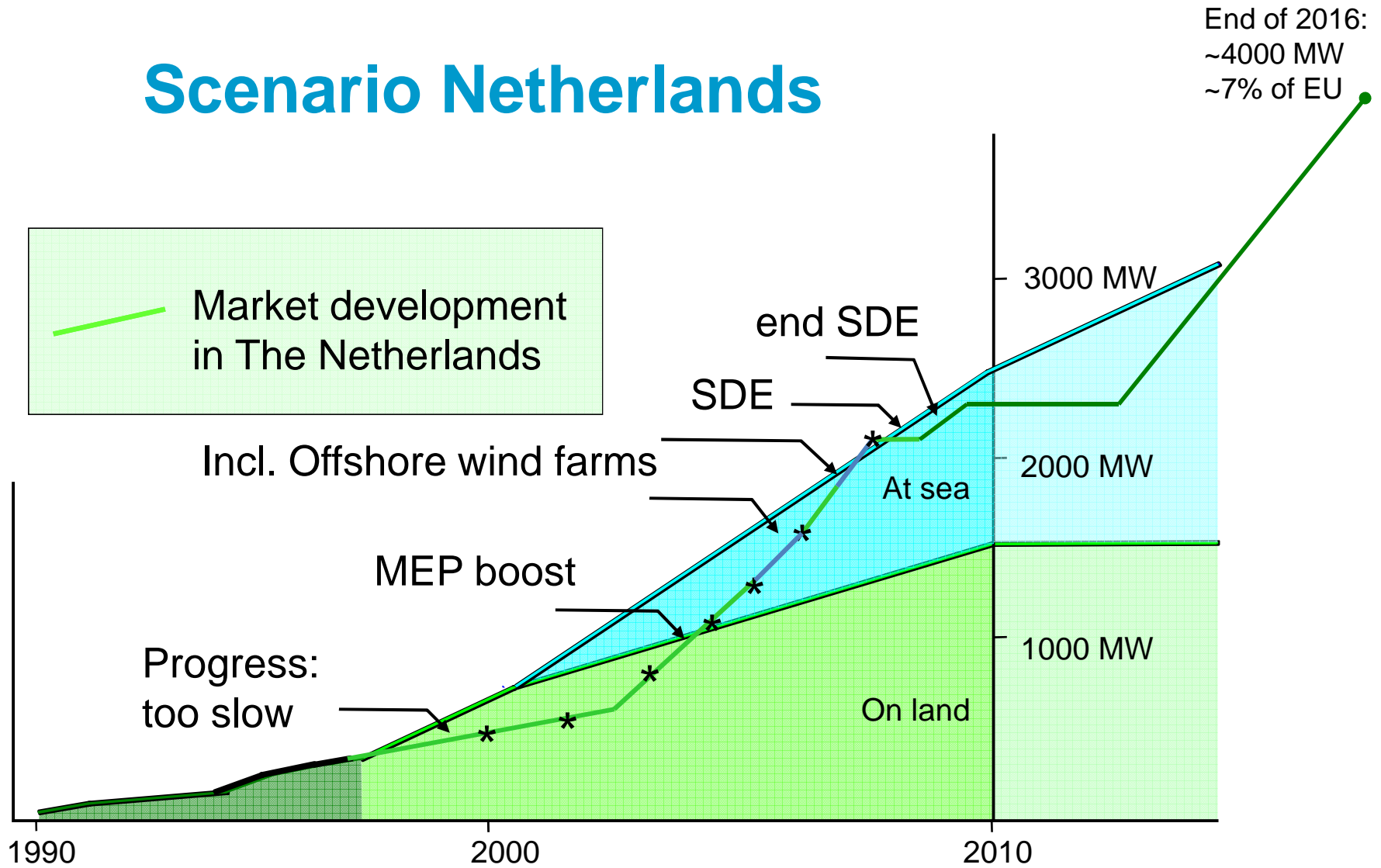
The Technology in 2005 (20 years later)

- Vestas V90 90 m diameter
- Generator power 3 MW
- Variable RPM
- DFIG generator
- 2005

- Factor 20 in power
- Factor 30 in production
- in 20 years



Scenario Netherlands



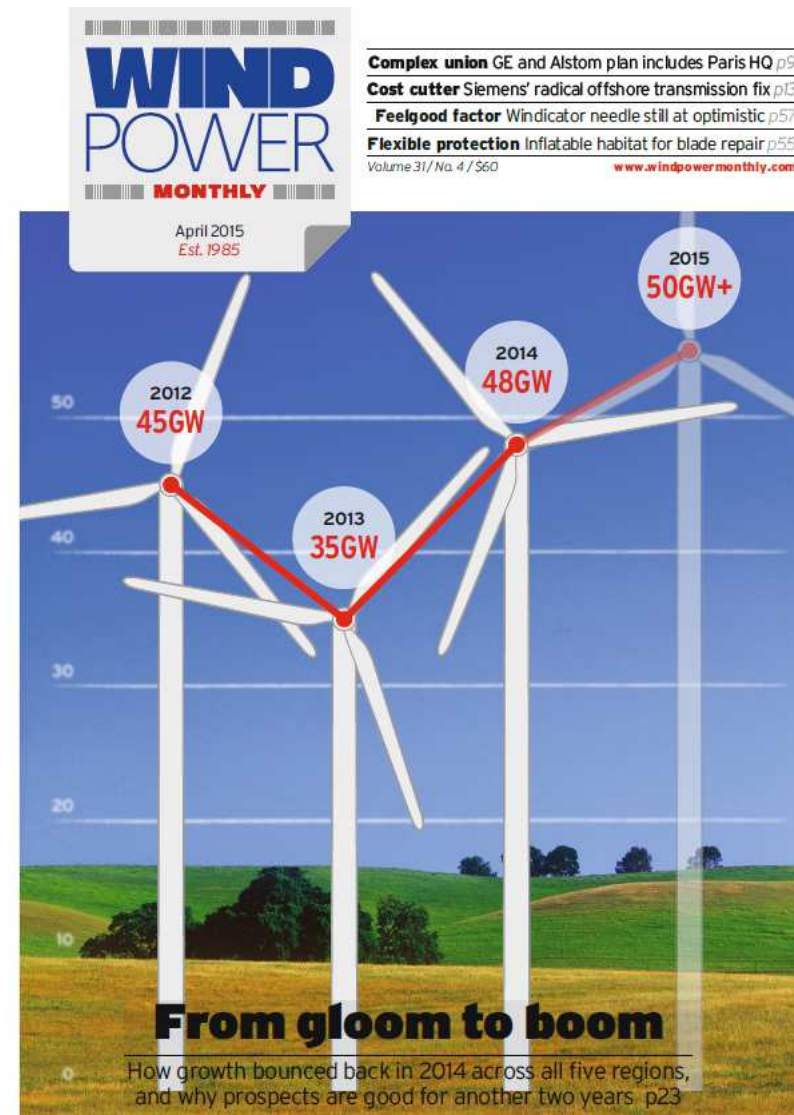
The Present

Installed Capacity at start of 2015:

- Europe 134 GW
- Asia Pacific 129 GW
- N+S America 85 GW
- Rest of world 3 GW

Total 351 GW

(End of 2015: 432 GW)



PROGRESS
FROM 1991 TO 2015

PROGRESS
FROM 1991 TO 2015

What a
difference
a quarter
century makes

Enercon's E-126 7.5MW turbines are the repowering choice of developer RWE Innogy for its part of the Noordoostpolder wind project in the Netherlands. Just 12 of these models will replace the 50 WindMaster 300kW models commissioned in 1991, boosting project capacity from 15MW to 90MW

36 JANUARY 2016

The juxtaposition of old and new gives a good perspective on the lengths, or heights, that the industry has achieved in 26 years. RWE Innogy is one of three partners installing 86 modern turbines, creating a new Noordoostpolder wind farm on the banks of the IJsselmeer lake, Netherlands. The newly repowered area will be home to 48 Siemens 3MW offshore turbines, and 38 Enercon 7.5MW E-126 turbines — the largest commercially operated onshore turbines.

RWE will remove its 50 WindMaster 300kW turbines once installation of its 12 Enercon E-126 models is complete. The WindMasters' hub height of 30 metres, and rotor diameter of 25 metres, is dwarfed by Enercon's 135-metre hub height and 127-metre rotor.

The foundations, which were completed in April, had to be specially designed for installation on the man-made dyke. Only 0.5 metres is below ground level, so to secure the base, 60 concrete piles were driven into the dike below it. Each foundation is 26.5 metres in diameter and is made up of 180 tonnes of steel and 1,200 cubic metres of concrete.

The 156-tonne Enercon nacelle was placed on top of the concrete tower, using a lattice-boom crane. Then came the 220-tonne generator and the hub with central rotor section, which weighs 350 tonnes — about the weight of 250 medium-sized cars, said RWE construction manager Rick van Mensvoort.

The rotor, with a diameter of 127 metres, has a swept area of 12,500 square metres — the equivalent of over 1.5 football pitches.

The Noordoostpolder site also includes the Westermeerwind nearshore project, which is using Siemens 3MW turbines.

JANUARY 2016 37

Wind Turbine technology at present

- GE Haliade
- Diameter 150 m
- Generator power 6 MW
- DDPM generator
- Full power converter
- Prototype 2012
- Factor 40 in power
- Factor 80 in production (offshore)
- in 30 years



Comparable Aircraft Technology

- Lockheed Constellation
- 1946 KLM Amsterdam New-York
- Pressure cabin
- 30-40 passengers
- 550 km/h
- Nose wheel
- 4 engines
- Wing span 38 m
- Fly by cable



Development in Aircraft Technology

- Airbus A380
- 2008 intercontinental operation
 - Emirates: Dubai-New York
 - Singapore Airlines: Singapore-Sydney
- ~ 500-700 passengers
- 850 km/h
- 4 engines
- Wing span 80 m
- Fly by wire
- Factor 15 in passengers
- Factor 2 in speed
- in 60 years!!



The Future

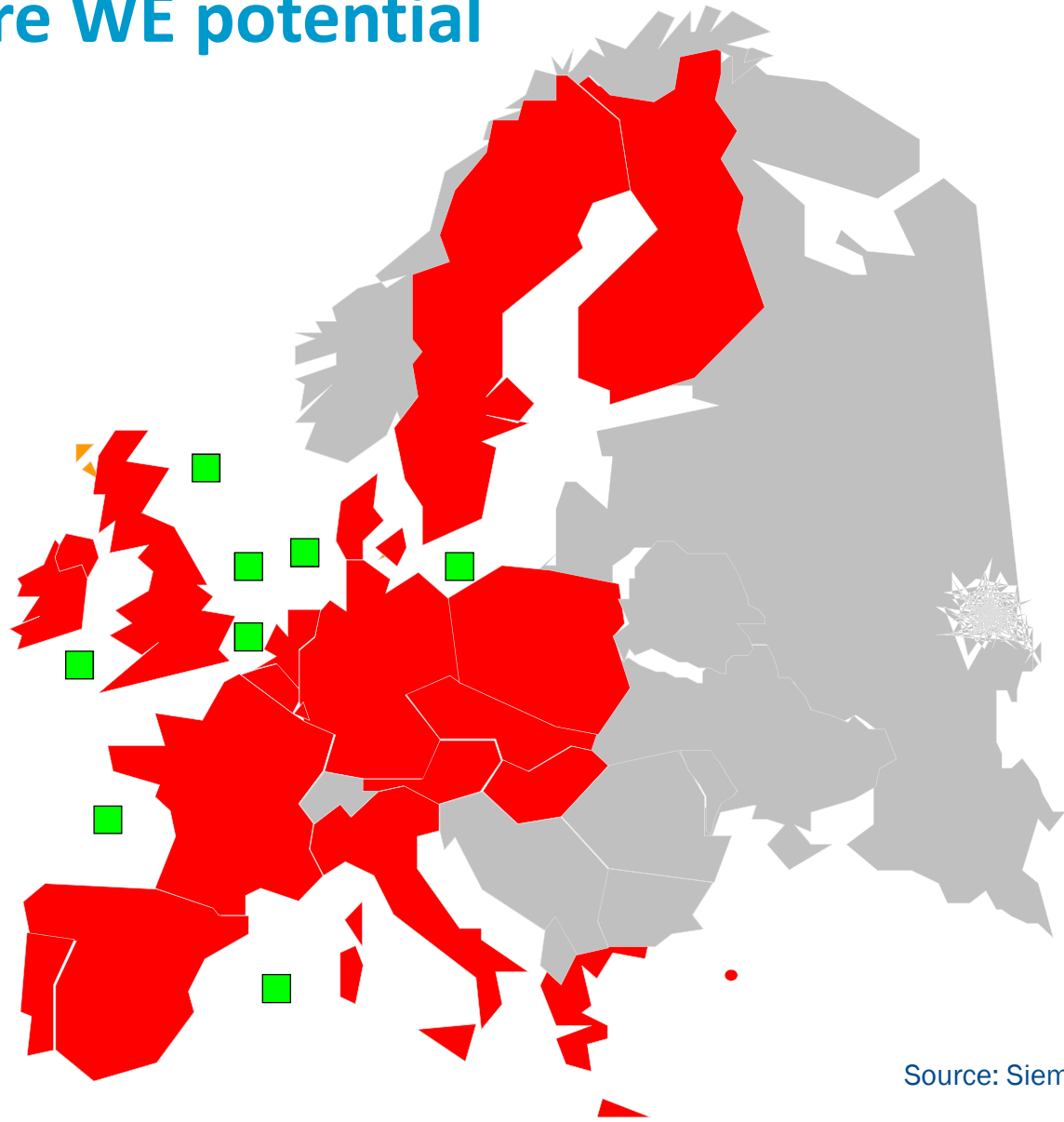
(Looking ~ 40 years forward)

Europe's offshore WE potential

Eight 100x100 km
offshore wind farms
produce 3,000-3.500
TWh per year

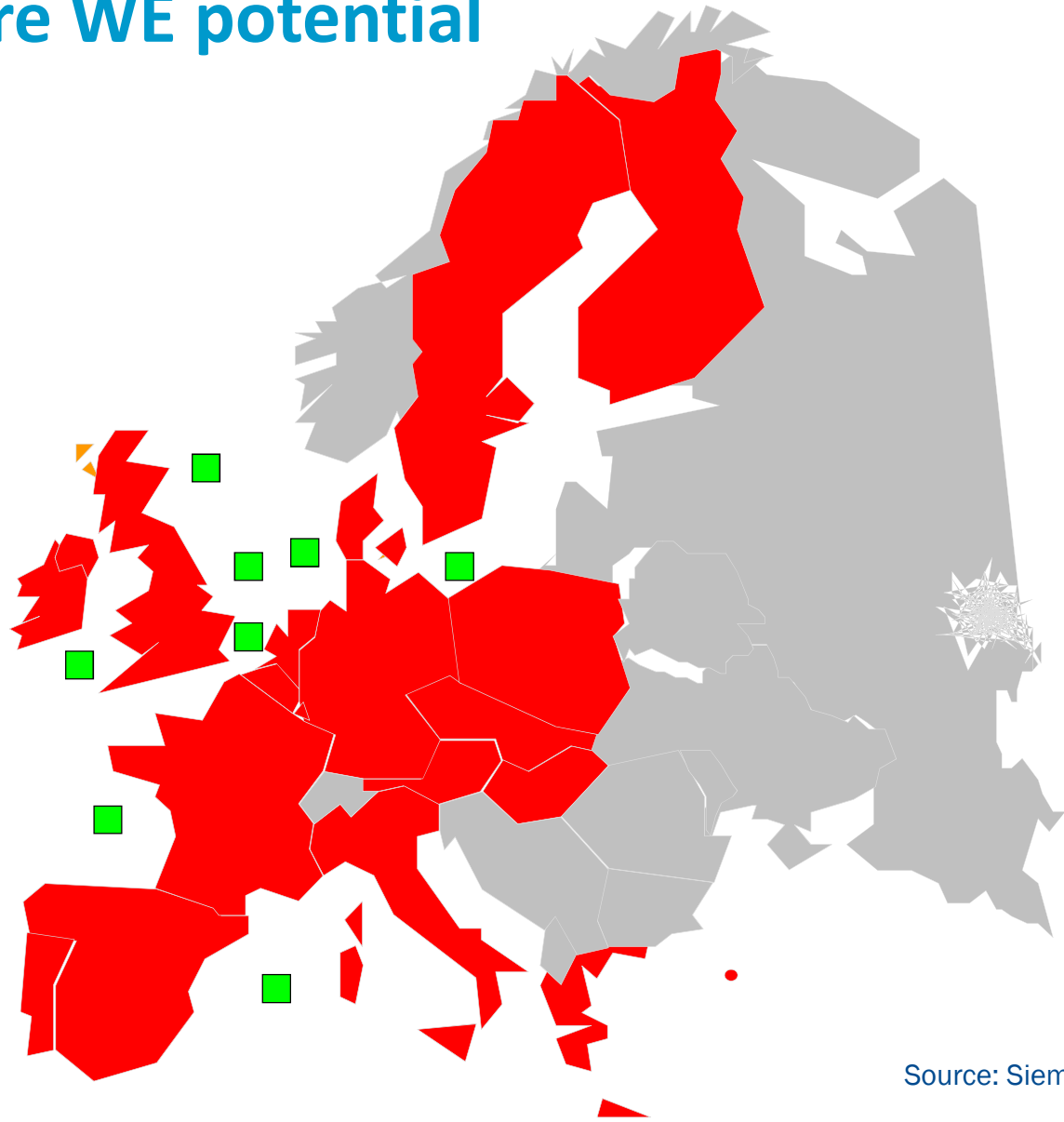
=

The complete electricity
demand of the EU in
2005



Source: Siemens

Europe's offshore WE potential



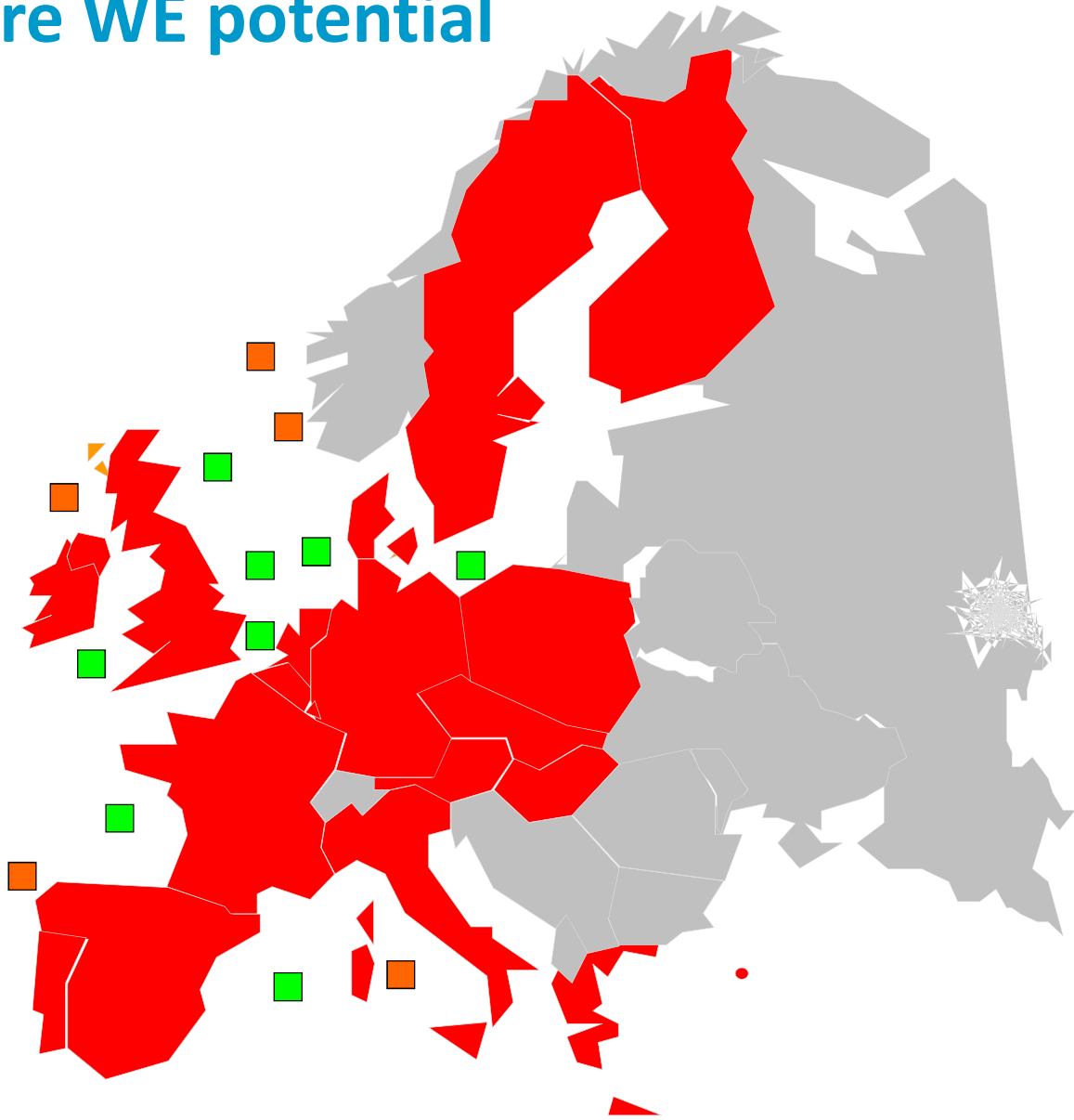
Source: Siemens

Europe's offshore WE potential

Twelve 100x100 km offshore wind farms.

Cover the electricity demand in 2050

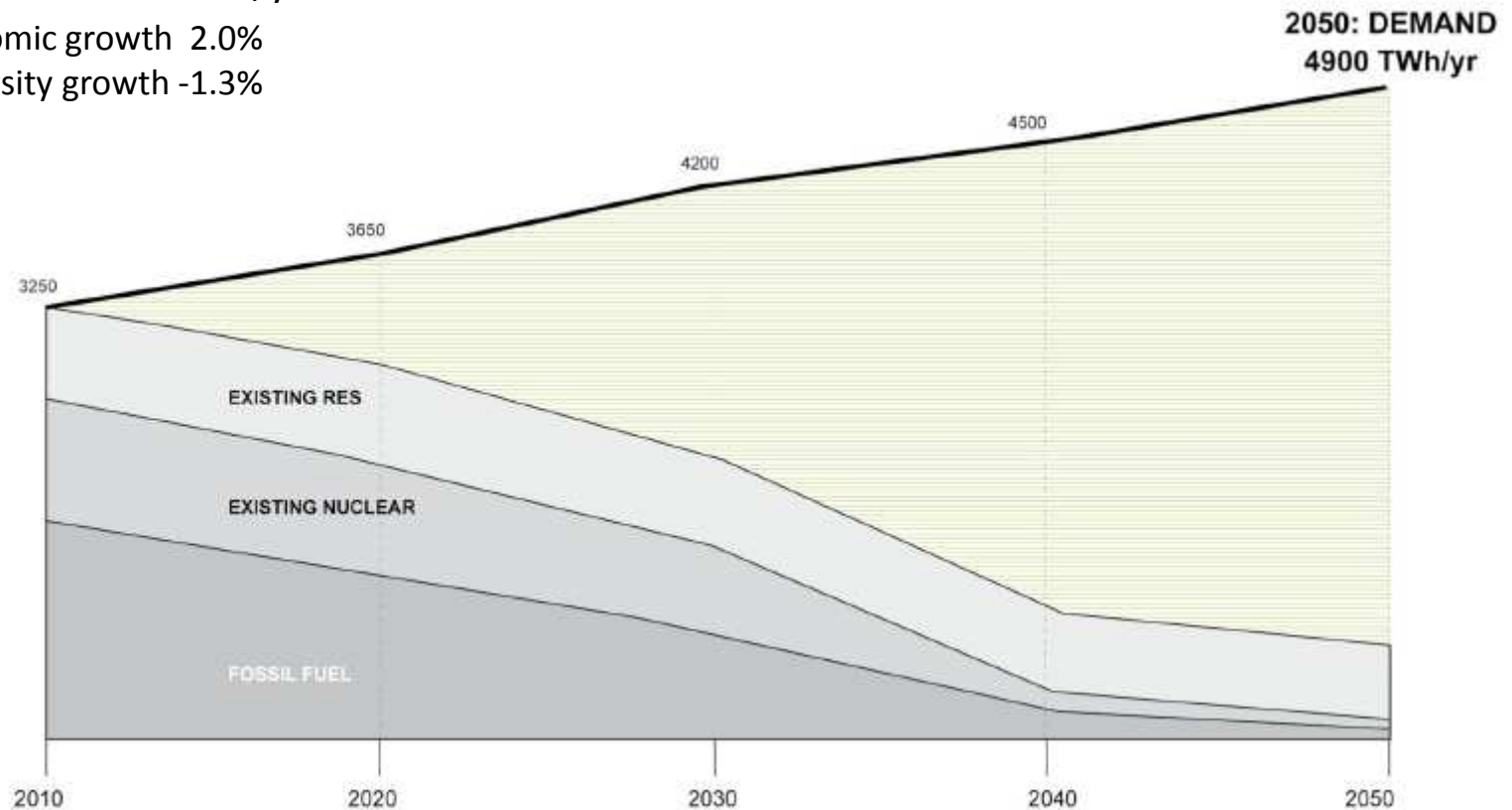
Bottom mounted en floating wind turbines



EU electricity demand (ECF 2010 scenario)

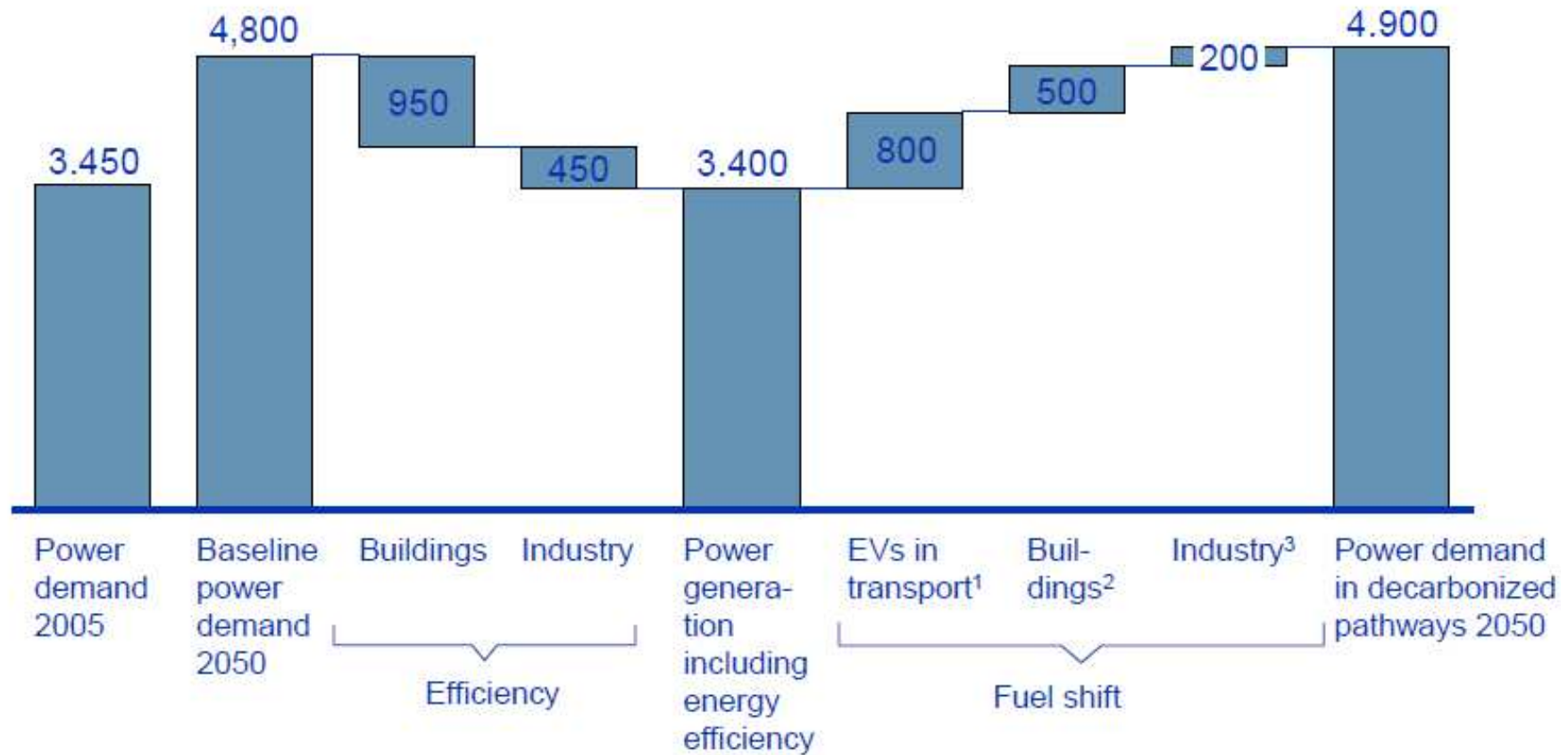
Demand growth rate: 0.7%/year

- yearly economic growth 2.0%
- energy intensity growth -1.3%



Electricity use grows to ~ 4.900 TWh in 2050

EU-27 plus Norway and Switzerland power demand, TWh per year



1 Electrification of 100% LDVs and MDVs (partially plug-in hybrids); HDVs remain emitting ~10% while switching largely to biofuel or hydrogen fuel cells

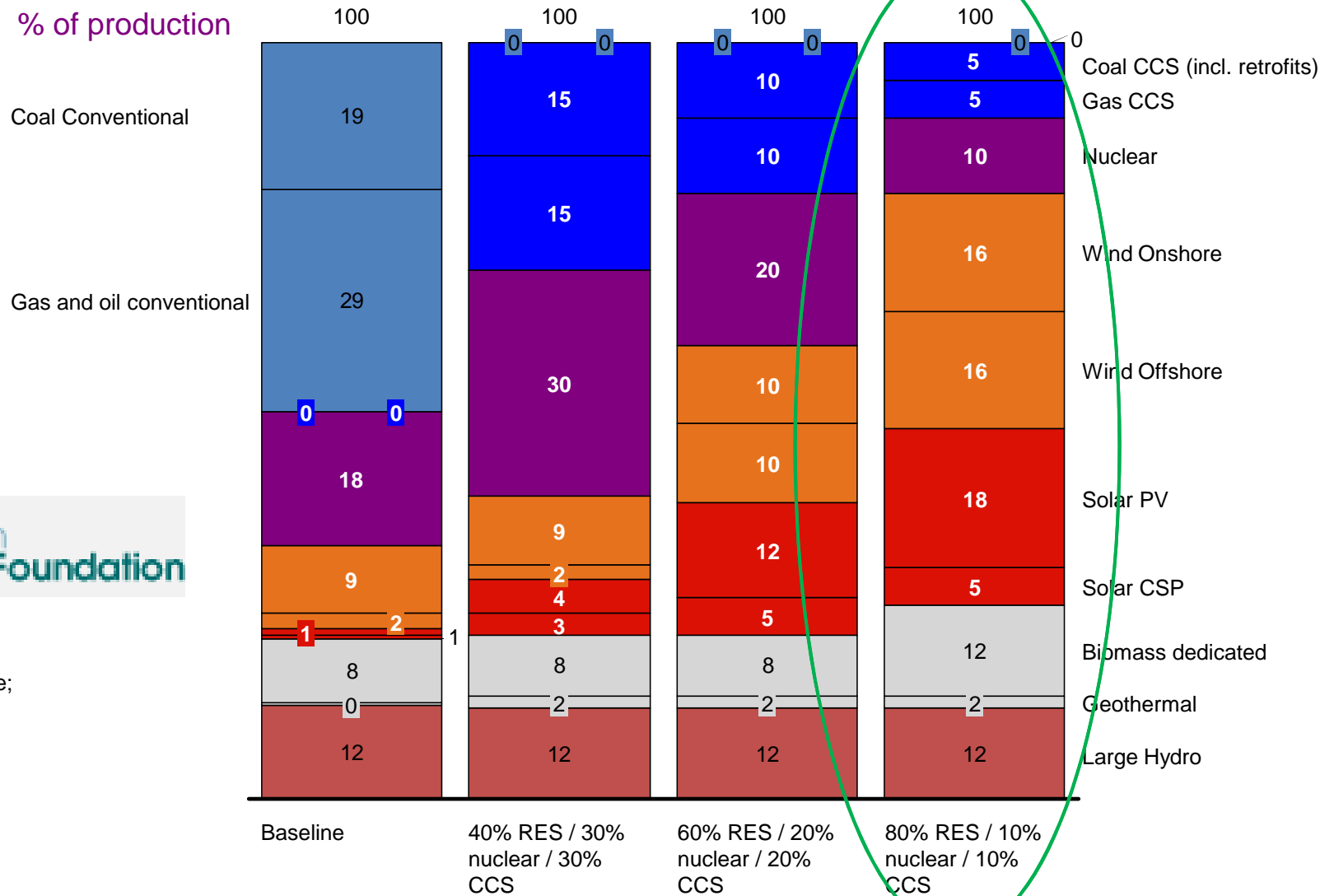
2 90% of remaining primary energy demand converted to electricity (heating/cooling from heat pumps); assumed 4 times as efficient as primary fuel

3 10% of remaining primary energy demand for combustion converted to electricity (heating from heat pumps); assumed 2.5 times as efficient as primary fuel

Source: EU roadmap 2050

Electricity production mix in 2050 in EU

% of production



SOURCE: Imperial College;
KEMA,
McKinsey

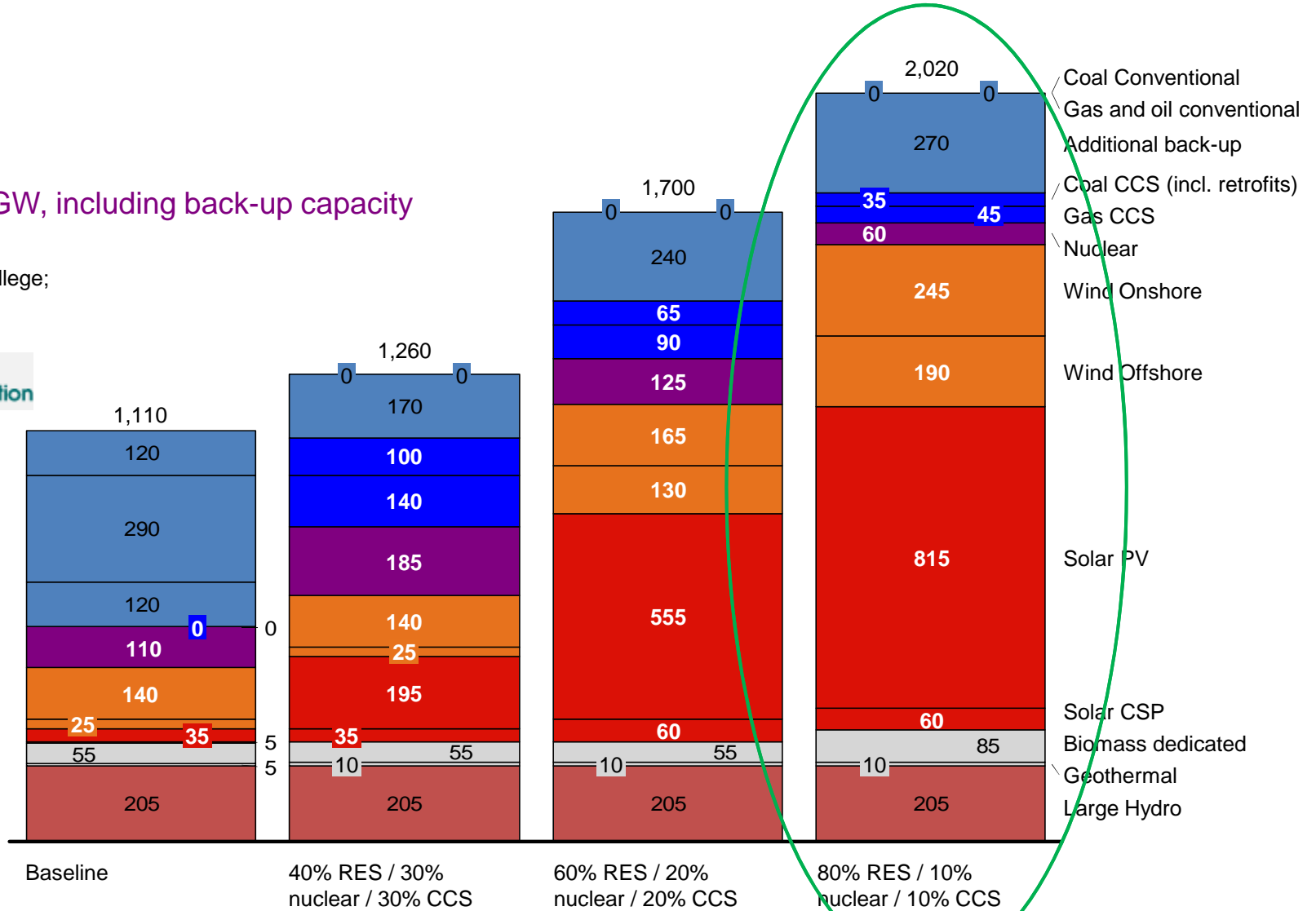
Electricity capacity mix in 2050 in EU

In GW, including back-up capacity

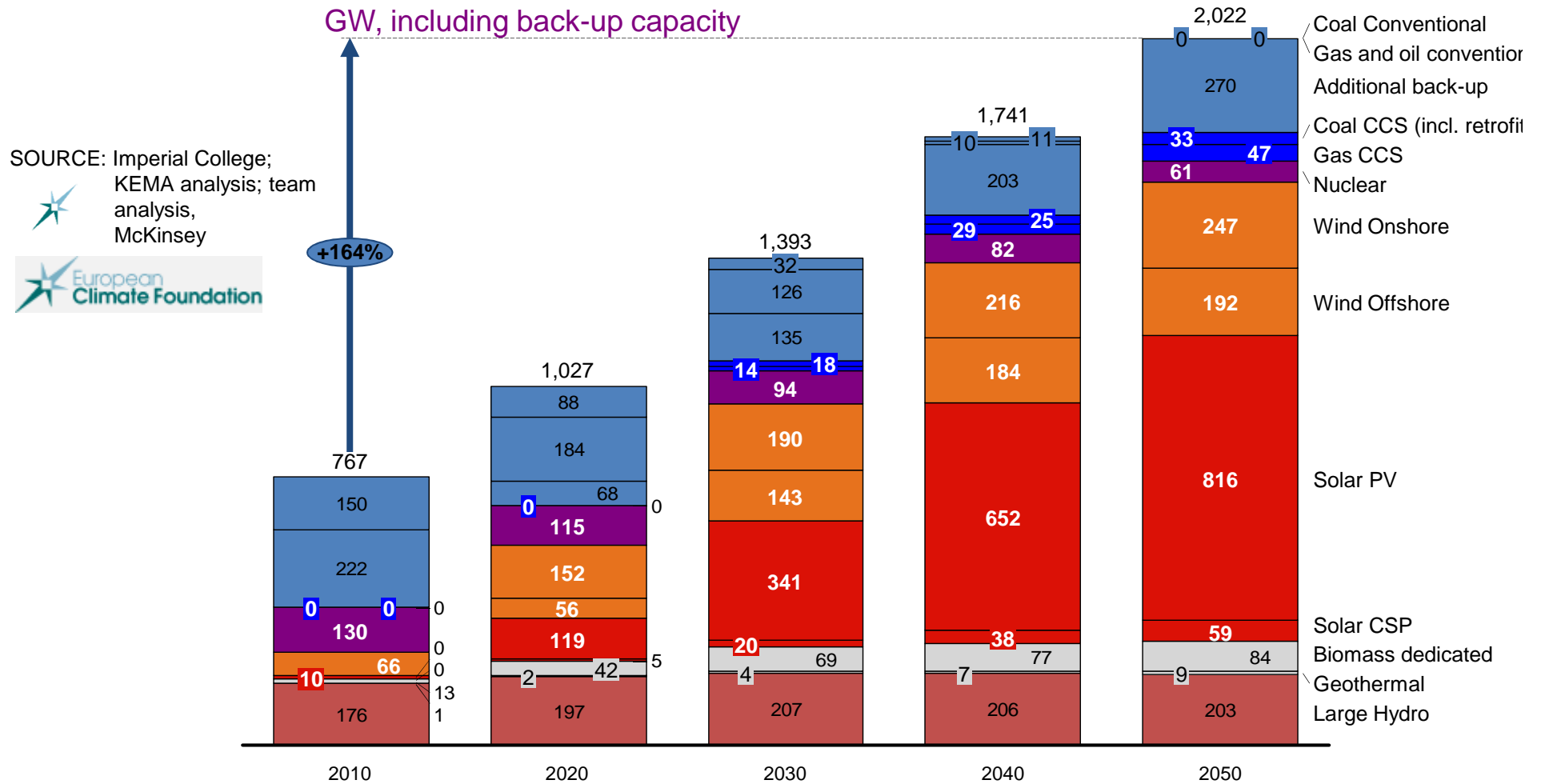
SOURCE: Imperial College;



KEMA
McKinsey

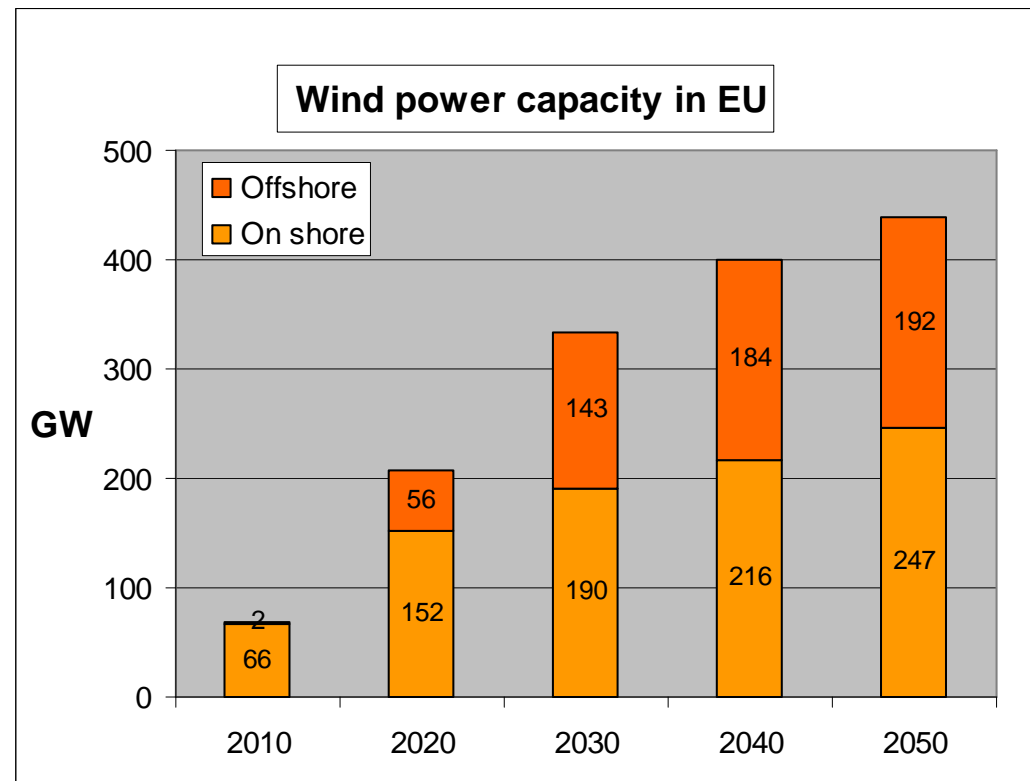


Growth of capacity in EU at 80% RES scenario in 2050



Growth of wind power capacity in EU at 80% RES penetration in 2050

- Between 2010 and 2030: largest growth in onshore wind
- As of 2025: growth in offshore wind
- In 2050: 440 GW
- Supplies 32% of the electricity demand in EU



What does this mean for wind power in EU (in the 80% RES scenario in 2050)?

- Wind on land grows to 247 GW (now ~150 GW)
- Wind at sea grows to 192 GW (now ~12 GW)
- With historic growth rates (30%/yr world; 11%/yr in EU) will wind on land capacity be realised
(NB: average of 5%/yr growth rate is sufficient)
- Growth of wind at sea more challenging:
 - enormous potential
 - huge investments
 - still high kWh cost (but sharply reduced recently)

A photograph of a wind turbine with a white tower and blue accents, standing in a vast field of red tulips. The sky is blue with scattered white clouds. The text "Thank you very much for your interest and attention" is overlaid in white, bold, sans-serif font at the top. Below it, the word "Questions?" is also overlaid in the same font style.

**Thank you very much for your
interest and attention**

Questions?