De Duurzame Polder

Plan A: Een doodlopende weg

Ir. J.H.S. van der Worp, Fysicus, consultant RAMS

Inhoud

- (Terugblik) stand van zaken Duurzame Polder
  - Uitgangspunten, doelstellingen
  - Concept Voorkeursalternatief
- Fysica achter Windturbines, deel 2:
  - Geprojecteerde opbrengst en reële opbrengst;
  - Validatie in de praktijk: 7 locaties
- Conclusie

Terugblik Stand van Zaken Duurzame Polder

- 6-10 IWT's voorzien voor de Duurzame Polder
  - Osse deel van de polder, Den Bosch heeft eigen doelstelling

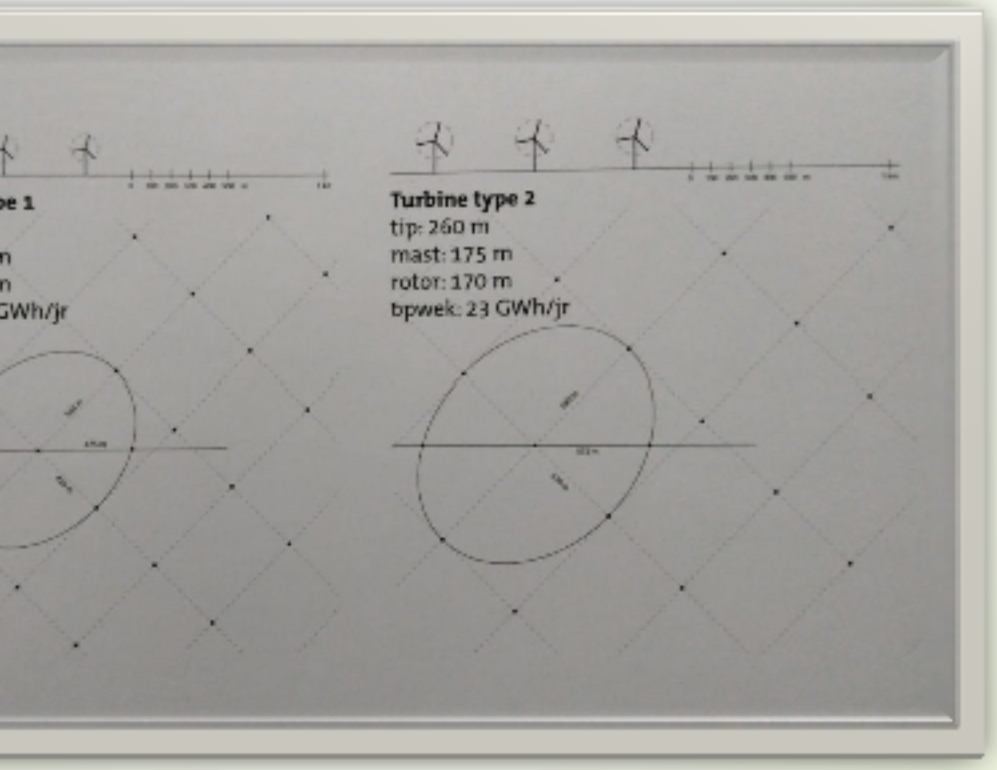
Kentallen turbines Lithse polder	Type 1	Type 2	
Hoogte top	210	260	meter
Diameter rotor	140	170	meter
Hoogte gondel (as)	140	175	meter
Rotor oppervlak	15.394	22.698	m^2

- Uitgangspunten:
  - >= 2 km van de bebouwde kom van Osse kernen
  - Max. 42 dB L_{den} op de gevels van bebouwing in omgeving
- Voorziene opbrengst per IWT
  - Type 1: 15 GWh/jaar
  - Type 2: 23 GWh/jaar

derlinge afstand 420-560 m

derlinge afstand 510-680 m

rzame Polder

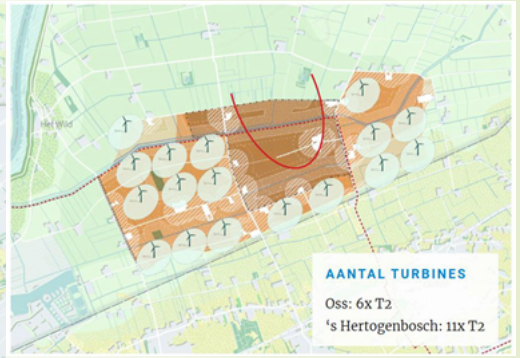


Duurzame Polder: VKA

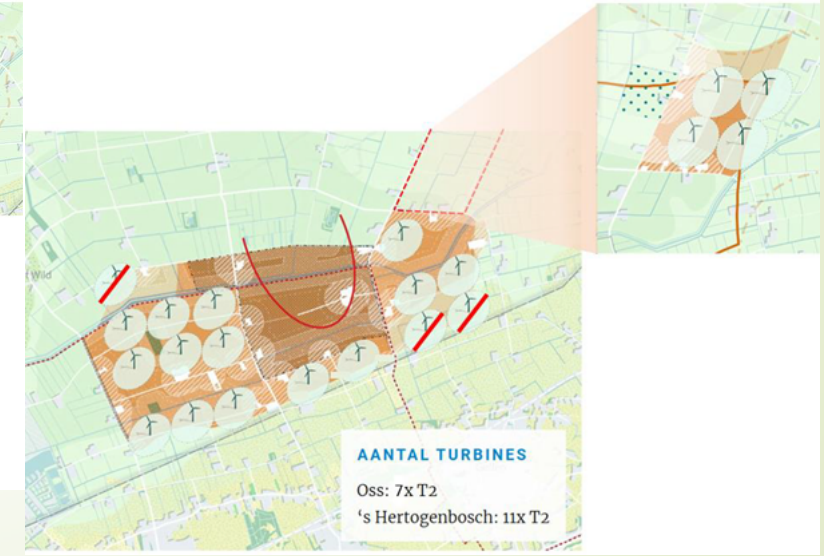
- Binnen ontwikkeltraject Concept VKA Duurzame Polder gepresenteerd
  - 5 varianten, verschillende opstellingen









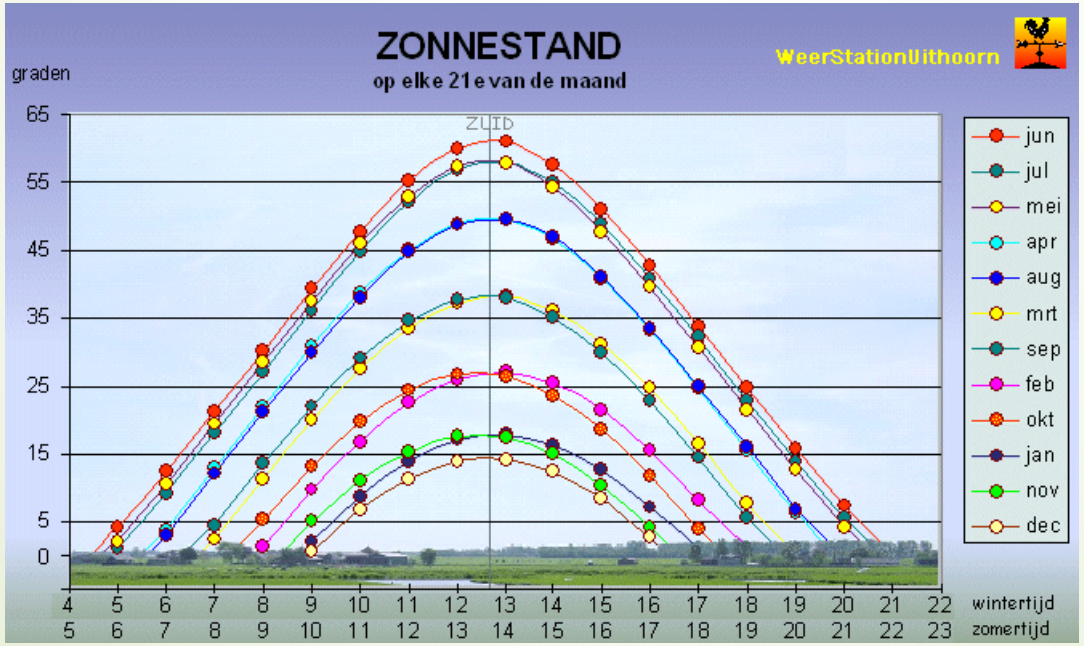


Duurzame Polder: VKA

- Energieopbrengst voor varianten berekend
- Gebaseerd op:
  - Opgave leverancier (Power curve)
  - Meteorologische data (windrichting en distributie)
  - Aannames verliesfactoren (Ruigheid ondergrond, afvang)
- Uitsluiting van stilstand door:
  - Mitigatie slagschaduw (kan ver reiken….)
  - Vogels (via automatische detectie)
  - Curtailment (geen stroom-afzet mogelijk)

Duurzame Polder: VKA

- Kanttekeningen bij uitsluiting mitigatie wegens slagschaduw:
  - Hoogste punt zon windseizoen (half okt – half feb) 15 - 26 graden boven horizon
    - Tussen 11:00 en 15:00 u zon 12 – 26 graden boven horizon
  - Tiphoogte 261 m geeft slagschaduw tot 535 m ver (26 graden) en tot 1227 m ver (12 graden) gedurende de zonnige uren met zon binnen een hoek van zo'n 70 graden rondom zuid. Harde wind gaat vaak gepaard met heldere hemel…



Duurzame Polder: VKA

- Energieopbrengst varianten resultaat (Bijlage 3 Concept VKA):

		Optie 1	Optie 2	Optie 3	Optie 4	Optie 5
aantal windturbines	's-Hertogenbosch	14	14	11	14	11
	Oss	8	5	6	9	7
energieopbrengst optie (MWh per jaar)		588.145,3	511.481,1	472.120,1	620.777,4	501.383,8
energieopbrengst optie - 8 % (MWh per jaar): Totaal		541.093,7	470.562,6	434.350,5	571.115,2	461.273,1
energieopbrengst optie - 8 % (MWh per jaar): Per gemeente	's-Hertogenbosch	342.866	346.767	278.645	346.169	280.264
	Oss	198.228	123.796	155.705	224.946	181.009
windafvang (%)		12,9	12,3	9,5	12,1	9,2
omzettingsefficiëntie (%)		39,0	39,2	40,5	39,3	40,6
vollasturen (uur per jaar)		3.416	3.440	3.549	3.449	3.559
energieopbrengst per windturbine (MWh per jaar)		24.595,2	24.766,5	25.550,0	24.831,1	25.626,3

Duurzame Polder: VKA

- Kanttekeningen bij de berekening:
  1. Windafvang: tussen 9,2 en 12,9 % van het vermogen

		Optie 1	Optie 2	Optie 3	Optie 4	Optie 5
aantal windturbines	's-Hertogenbosch	14	14	11	14	11
	Oss	8	5	6	9	7
energieopbrengst optie (MWh per jaar)		588.145,3	511.481,1	472.120,1	620.777,4	501.383,8
energieopbrengst optie - 8 % (MWh per jaar): Totaal		541.093,7	470.562,6	434.350,5	571.115,2	461.273,1
energieopbrengst optie - 8 % (MWh per jaar): Per gemeente	's-Hertogenbosch	342.866	346.767	278.645	346.169	280.264
	Oss	198.228	123.796	155.705	224.946	181.009
windafvang (%)		12,9	12,3	9,5	12,1	9,2
omzettingsefficiëntie (%)		39,0	39,2	40,5	39,3	40,6
vollasturen (uur per jaar)		3.416	3.440	3.549	3.449	3.559
energieopbrengst per windturbine (MWh per jaar)		24.595,2	24.766,5	25.550,0	24.831,1	25.626,3

Duurzame Polder: VKA

- Kanttekeningen bij de berekening:
  2. Omzettingsefficiëntie: tussen 39 en 40,5 %

		Optie 1	Optie 2	Optie 3	Optie 4	Optie 5
aantal windturbines	's-Hertogenbosch	14	14	11	14	11
	Oss	8	5	6	9	7
energieopbrengst optie (MWh per jaar)		588.145,3	511.481,1	472.120,1	620.777,4	501.383,8
energieopbrengst optie - 8 % (MWh per jaar): Totaal		541.093,7	470.562,6	434.350,5	571.115,2	461.273,1
energieopbrengst optie - 8 % (MWh per jaar): Per gemeente	's-Hertogenbosch	342.866	346.767	278.645	346.169	280.264
	Oss	198.228	123.796	155.705	224.946	181.009
windafvang (%)		12,9	12,3	9,5	12,1	9,2
omzettingsefficiëntie (%)		39,0	39,2	40,5	39,3	40,6
vollasturen (uur per jaar)		3.416	3.440	3.549	3.449	3.559
energieopbrengst per windturbine (MWh per jaar)		24.595,2	24.766,5	25.550,0	24.831,1	25.626,3

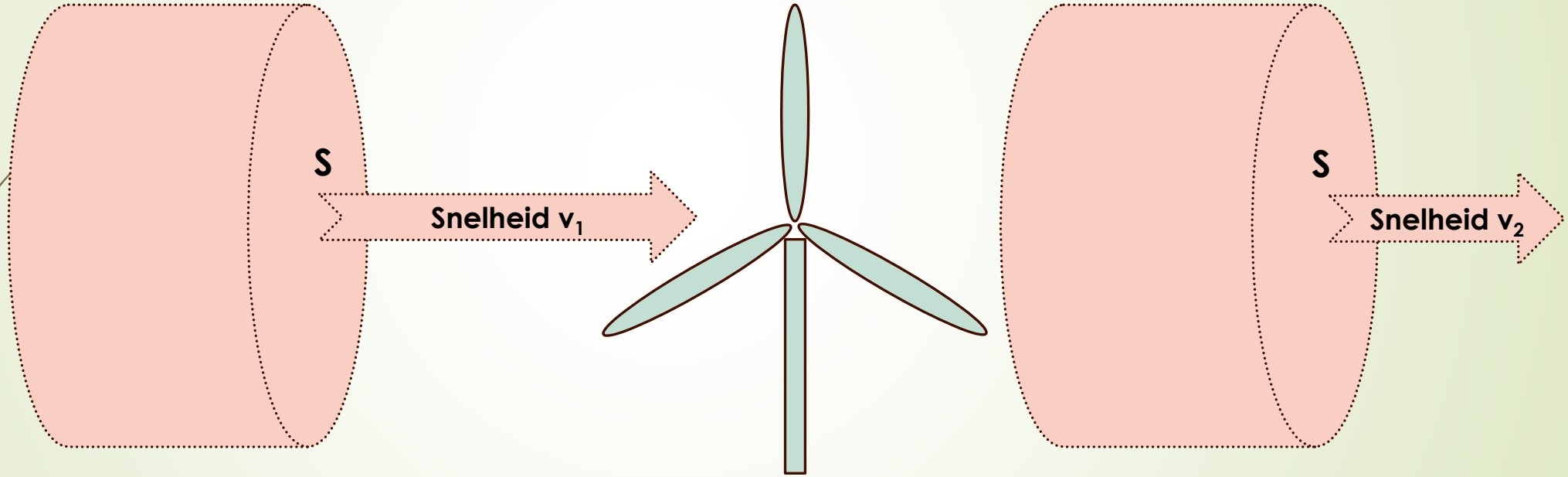
Daarom nu eerst:

De Natuurkunde

Fysica achter windturbines:
De prestatie-factor van een IWT

Stel v_1 is de snelheid van het fluïdum vóór de rotor en v_2 de snelheid erna. De gemiddelde snelheid is:

$$v_{\text{avg}} = \tfrac{1}{2}(v_1 + v_2)$$



Noem de oppervlakte van de schijf S en ρ de dichtheid van het fluïdum. De massastroom (de massa van het fluïdum per tijdseenheid) is dan:

$$\dot{m} = \rho \cdot S \cdot v_{\text{avg}} = \frac{\rho \cdot S \cdot (v_1 + v_2)}{2}$$

Fysica achter windturbines:
De prestatie-factor van een IWT

- Afleiding wet van Betz (https://nl.wikipedia.org/wiki/Wet_van_Betz):
  - Kinetische energie gegeven door: ½ * m * v^2

Het onttrokken vermogen is het verschil in kinetische energie van het instromende en uitstromende fluïdum per tijdseenheid:

$$\dot{E} = \tfrac{1}{2}\dot{m}(v_1^2 - v_2^2) =$$
$$= \tfrac{1}{4}\rho \cdot S \cdot (v_1 + v_2)(v_1^2 - v_2^2) =$$
$$= \tfrac{1}{4}\rho \cdot S \cdot v_1^3 \cdot \left(1 - \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2 + \left(\frac{v_2}{v_1}\right) - \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^3\right)$$

Fysica achter windturbines:
De prestatie-factor van een IWT

- Afleiding wet van Betz:

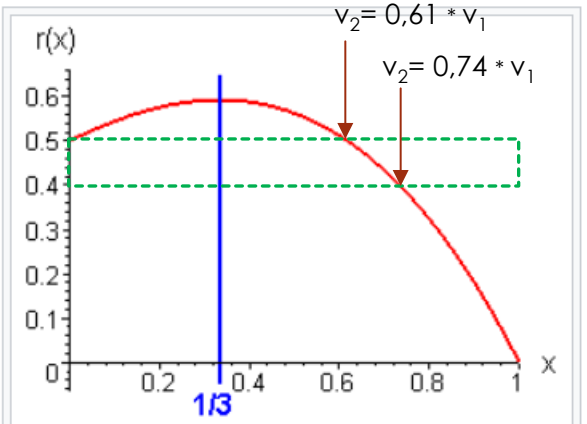
Door $\dot{E}$ te differentiëren naar $\frac{v_2}{v_1}$ bij een fluïdumsnelheid van v_1 en een oppervlakte S vindt men de *maximale* of *minimale* waarde voor $\dot{E}$. De uitkomst is dat $\dot{E}$ een maximum bereikt bij $\frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{3}$.

Substitueer deze waarde met als resultaat:

$$\dot{E}_{\max} = \tfrac{16}{27} \cdot \tfrac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot v_1^3$$

Het vermogen dat beschikbaar in een cilindrisch fluïdum met een oppervlakte van de doorsnede S en die zich beweegt met een snelheid v_1 is:

$$\dot{E} = \tfrac{1}{2}\rho \cdot S \cdot v_1^3$$



De horizontale as geeft aan de verhouding $\frac{v_2}{v_1}$, de verticale as de "prestatiecoëfficient" C_p

De *prestatiecoëfficiënt* $C_p = \frac{E_{\max}}{E}$ heeft een maximale waarde $C_{p,\max} = \frac{16}{27} = 0{,}593$.

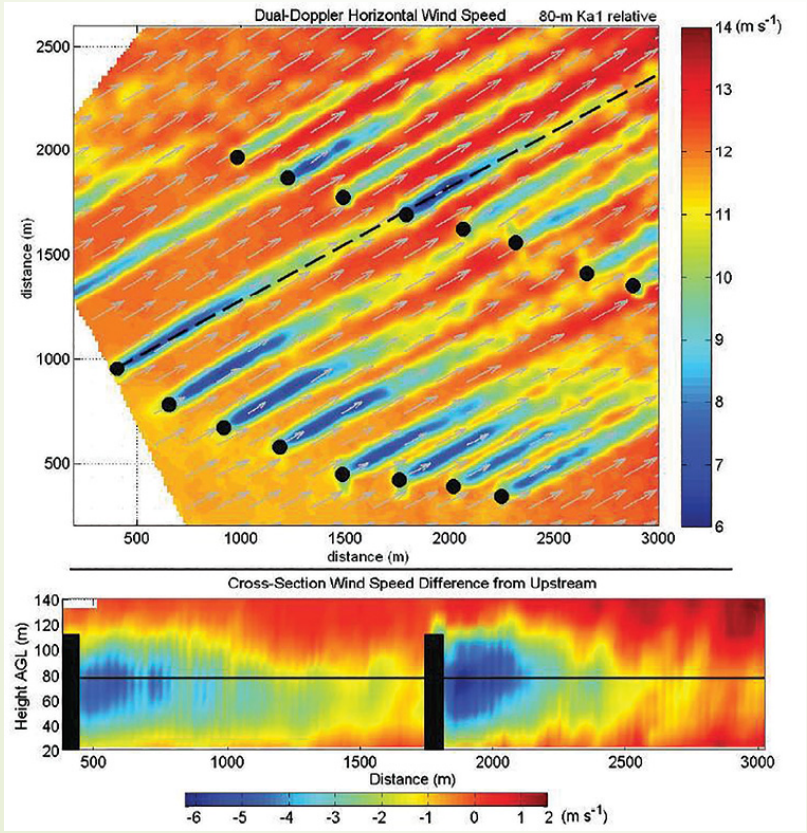
Verliezen door een rotor vormen de belangrijkste energieverliezen in, bijvoorbeeld, een windmolen. Het is belangrijk om deze dan ook zo klein mogelijk te maken. Moderne rotors hebben een C_p-waarde van ongeveer 0,4 tot 0,5, wat dus overeenkomt met ongeveer 70 tot 80% van wat theoretisch mogelijk is.

Fysica achter windturbines:
De prestatie-factor van een IWT

- Gevolg voor IWT's: de snelheid v_2 van de wind direct achter de rotor is voor IWT's met een C_p tussen 0,4 en 0,5:
  - $0{,}61 * v_1$ tot $0{,}74 * v_1$
- Door turbulentie-effecten (vermenging van langzamere lucht door de rotor met de snellere lucht langs de rotor) neemt dit na ongeveer 1,0 - 1,5 km weer toe tot ~ $0{,}85 * v_1$. Dit bepaalt de benodigde onderlinge afstand tussen IWT's
- Opmerking: De maximale C_p is **onafhankelijk** van de uitvoering van de energie-omzetting! Deze uitvoering brengt extra verliesfactoren met zich mee.
- Belangrijk: Naarmate de C_p dichter bij het maximum van 0,593 komt, daalt v_2 verder naar $0{,}33 * v_1$.
  Dit betekent dat turbulentie-effecten achter de rotor veel verder reiken en ook sterker zijn, zodat de onderlinge afstand tussen IWT's in zo'n geval nog groter moet zijn. Dus betere prestatie betekent verder uit elkaar.

Fysica achter windturbines:

- Kanttekening 1 opbrengstberekening VKA: 1700 m achter turbine-rij ~1 m/s minder windsnelheid t.o.v. ~11 m/s er voor (= meting).
- Dit is **9%** minder windsnelheid, maar dus **25%** minder vermogen!





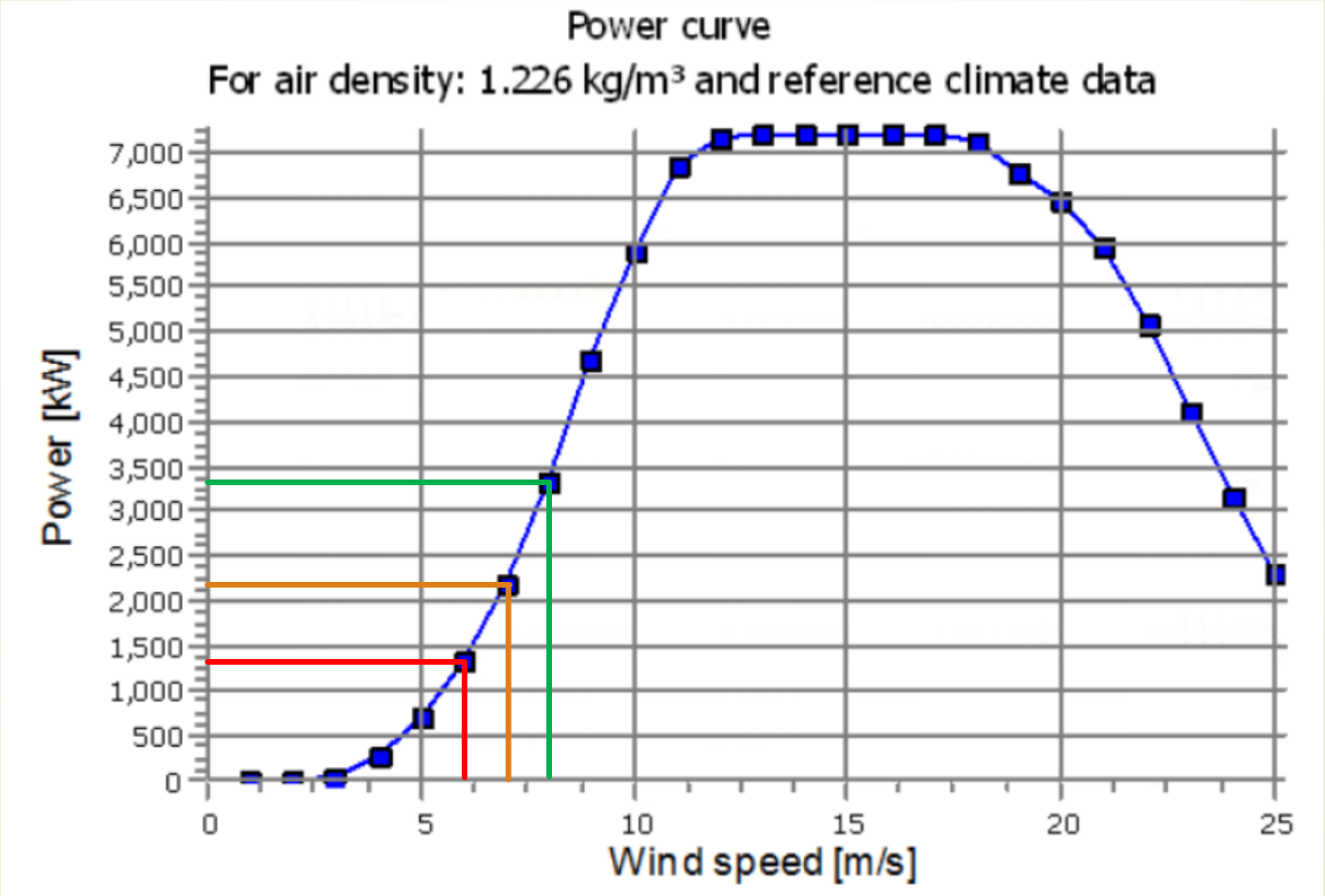
Fysica achter windturbines:

- Afvang tussen 9 en 13% met onderlinge afstand +/- 1000 m?
  - Dat betekent slechts 3-5% snelheidsverlies op ruim de helft van 1700 m afstand: niet realistisch



Fysica achter windturbines:

- Effect van afvang in beeld: de powercurve van de Vestas V172 (8 m/s, 7 m/s en 6 m/s)



Fysica achter windturbines (vorig TO)

- Betz limiet: Maximale hoeveelheid bewegingsenergie die 'uit de lucht te halen is', gelijk aan **59,3%** (=16/27)
- Verliezen door een rotor vormen de belangrijkste energieverliezen. Het is belangrijk om deze dan ook zo klein mogelijk te maken. Moderne rotors hebben een C_p-waarde van ongeveer **40** tot **50%**, ongeveer 70 tot 80% van wat theoretisch mogelijk is.
- Technische omzettingsefficiëntie van een generatorsysteem: tussen **35-45%**, conservatief is met **40%** gerekend.

De Amstelvogel in Ouder-Amstel

Door de fabrikant is de werkelijke powerfactor Cp van de E-70 gemeten en deze blijkt afhankelijk te zijn van de windsnelheid.

Powerfactor van de Enercon E-70 windturbine		
windsnelheid (m/s)	Powerfactor Cp E-70	Vermogen (MW)
1	0,0	0,0
2	0,1	0,0
3	0,27	0,02
4	0,36	0,06
5	0,42	0,13
6	0,46	0,24
7	0,48	0,40
8	0,50	0,62
9	0,50	0,88
10	0,50	1,21
11	0,49	1,58
12	0,45	1,89
13	0,39	2,08
14	0,34	2,26

Fysica achter windturbines (nieuw inzicht)

- Betz limiet in praktijk vrijwel niet haalbaar op land
- Verliezen door een rotor vormen de belangrijkste energieverliezen. Als uitgangspunt nemen we een optimistische C_p-waarde van ongeveer **50%**, ongeveer 80% van wat theoretisch mogelijk is.
- Technische omzettingsefficiëntie van een generatorsysteem: tussen **45 en 50%**, optimistisch is met **50%** gerekend.

De Amstelvogel in Ouder-Amstel

Door de fabrikant is de werkelijke powerfactor Cp van de E-70 gemeten en deze blijkt afhankelijk te zijn van de windsnelheid.

Powerfactor van de Enercon E-70 windturbine		
windsnelheid (m/s)	Powerfactor Cp E-70	Vermogen (MW)
1	0,0	0,0
2	0,1	0,0
3	0,27	0,02
4	0,36	0,06
5	0,42	0,13
6	0,46	0,24
7	0,48	0,40
8	0,50	0,62
9	0,50	0,88
10	0,50	1,21
11	0,49	1,58
12	0,45	1,89
13	0,39	2,08
14	0,34	2,26

Fysica achter windturbines

- C_p en rendement IWT (kanttekening 2 opbrengstberekening VKA):
  - Met deze iets gewijzigde opbouw komt de effectiviteit van de IWT op 24,3% uit, een fractie meer dan de eerdere 23,7%
  - Het projectteam komt in het VKA uit op een effectiviteit van 40%, waarbij het rendement van de gear-box het verschil moet maken.
    - Hiervoor moet deze gear-box (versnellingsbak) 69% tot 82% efficiënt zijn. Dit is niet realistisch, alleen al de geluidsproductie bedraagt 107 dB(A). Verder is smering nodig om slijtage te beperken, hetgeen ook veel energie kost.

	Berekening TO 1	Realistisch TO 2	Project met Betz limiet	Project met realistische Cp	Verlies-factoren
Rotor-as / Gear-box	41,2%	50,0%	69,0%	82,0%	Torsie, wrijving (warmte, slijtage), geluid
Generator	99,0%	99,0%	99,0%	99,0%	Inductieverlies (hysterese), warmte, weerstand, wrijving, geluid
Transport	98,0%	98,0%	98,0%	98,0%	Weerstand, opwarming kabels
Rendement IWT	39,9%	48,5%	66,9%	79,6%	
Cp IWT	59,3%	50,0%	59,3%	50,0%	Betz is maximaal 59,3%
Omzettingsefficiëntie	23,7%	24,3%	39,7%	39,8%	
Vollast-equivalent	2.074	2.125	3.478	3.485	uren/jaar

De praktijk

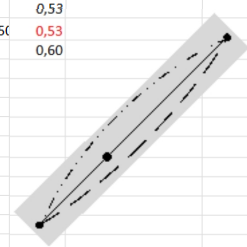
- Productiegegevens verzameld van 7 locaties met IWT's
- IWT-karakteristieken in het eerder gepresenteerde, gereviewde model gestopt en doorgerekend met C_p = 0,5 en 'machine'-rendement van 48,5%
  - Met gebruik van de hiervoor gegeven vermogensformule, met gemodelleerde winddata (https://globalwindatlas.info)
  - Vermogensberekeningsformule voor het kinetisch vermogen dat een IWT raakt:
  - **$P = 0{,}5 * A * \rho * v^3$**
  - Waarbij:
    - A = oppervlak rotor, in m^2
    - ρ = dichtheid lucht, in kg/m^3
    - v = windsnelheid, in m/s

De praktijk

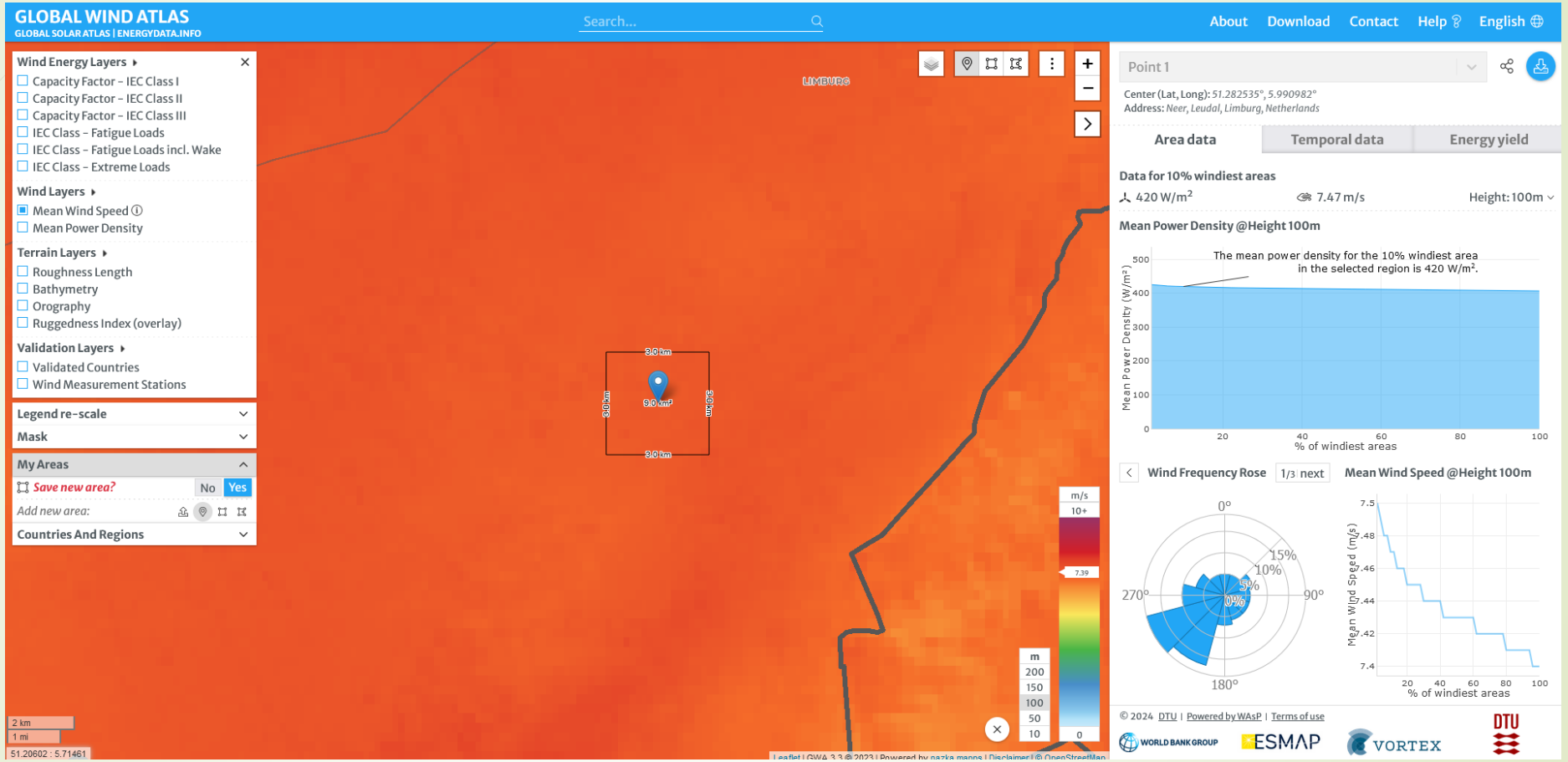
- Windsnelheid op ashoogte via lineaire inter-/extrapolatie bepaald (afwijking t.o.v. niet-lineair verloop is klein)
- Variatie over modelperiode meegewogen (Windspeed index in Global Windatlas)
  - Bandbreedte bepaald in onzekerheid windsnelheid via Wind Speed Variability (meestal 5-6% voor periode 2008-2017)
- Werkelijke opwek berekend en vergeleken met gemeten opbrengst voor betreffende locatie
  - *(Referenties naar opbrengst en karakteristieken van de locaties beschikbaar)*

De praktijk

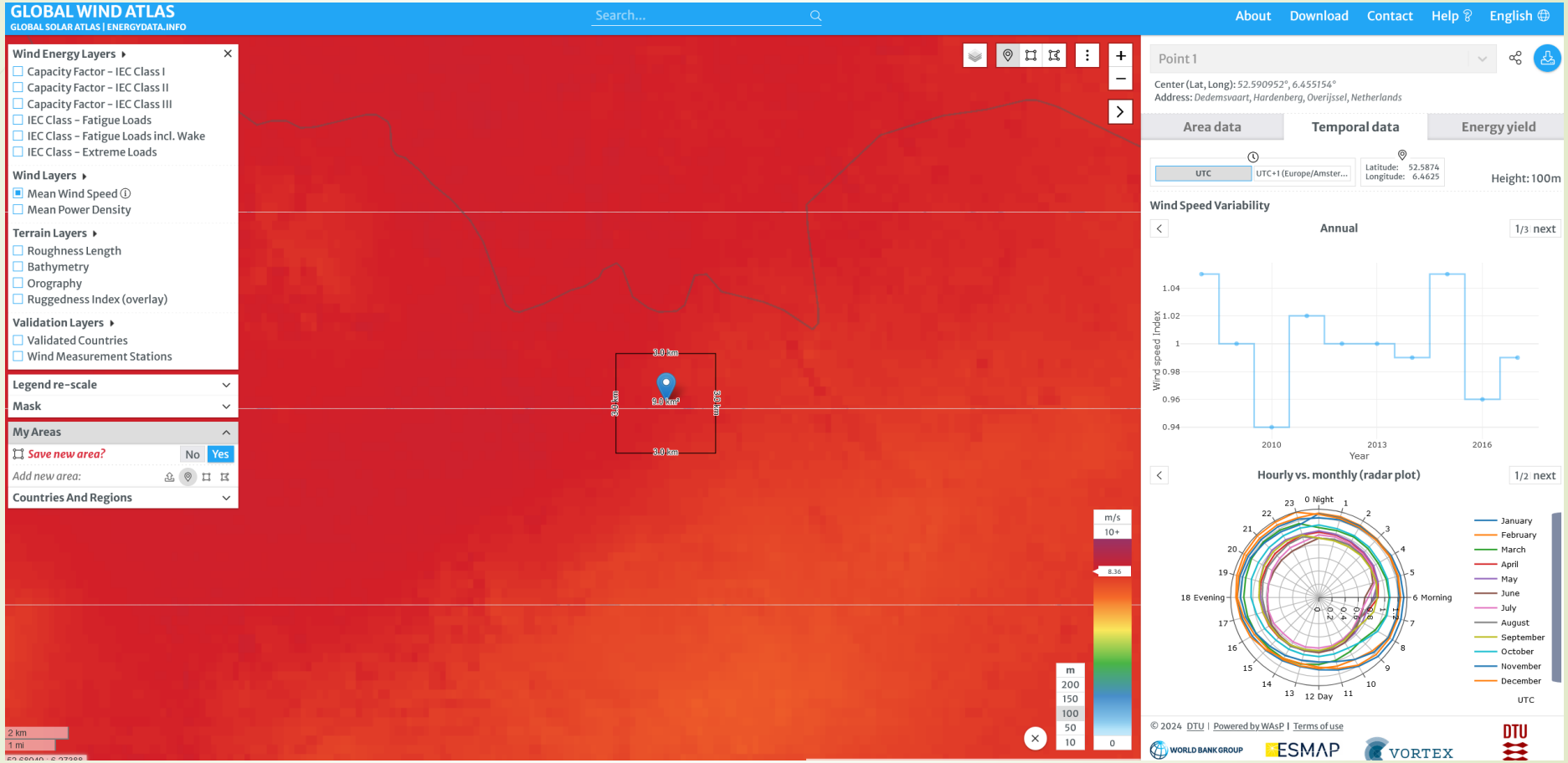
Vermogensberekeningsformule	Bron 1: https://www.dgem.nl/nl/windenergie/windenergie-en-opbrengstfactoren											
	Bron 2: https://www.olino.org/blog/nl/articles/2009/05/28/hoeveel-energie-levert-een-windmolen/											
Volgens Bron 1												
$P = 0,5 * A * \rho * v^3$	A is oppervlak rotor, m^2											
	ρ = dichtheid lucht, kg/m^3											
	v = windsnelheid, m/s											
Kentallen Turbines Nieuwegein	**Vestas V90**											
Tiphoogte (m)	149 meter											
Rotorblad (m)	45 meter											
Rotordiameter (m)	90 meter	https://media.mwps.world/static/2021/01/vestas-v90-technical-specifications.pdf										
Ashoogte (m)	105 meter											
Rotoroppervlak	6.362 m^2											
										Global wind atlas		
Vermogensberekening windturbine windpark Nieuwegein			**Upper bound**	**Lower bound**					Hoogte (m)	v		Onzekerheid in v, volgens de variatie in de windspeed index
A	6.362 m^2								100	8,11 m/s		*0,53*
ρ	1,225 kg/m^3								105	8,23 m/s	lineaire extrapolatie 100-150	0,53
v	8,2 m/s		*8,76*	*7,70*	Gemiddeld over het hele jaar, gehaald uit global windatlas				150	9,30 m/s		0,60
P	2.172.103,42 Watt		2.623.791,51	1.775.478,15 Watt								
	2,17 MW		**2,62**	**1,78** MW								
	Model JvdW	Model PT										
C_p	50,0%	59,3%	50,0%	50,0%								
Rendement turbine	49%	69%	49%	49%								
Werkelijke opwek	**0,53**	**0,89**	**0,64**	**0,43** MW								
Equivalent vollasturen	2.115											
Gerealiseerde opwek windpark Nieuwegein (5 Vestas V90 turbines)												
Aantal kWh/jaar	Joules/kWh	Joules opgewekt door park	PetaJoules opgewekt door park	Aantal turbines	Joules opgewekt per turbine	Draaiuren per jaar	Joules opgewekt per uur per turbine	Joules opgewekt per seconde (W) per turbine	Megawatt opwek per turbine			
25.135.000	3.600.000	90.486.000.000.000	0,090	5	18.097.200.000.000	8.720	2.075.366.972	576.491	**0,576**		Meer opbrengst dan verwacht, maar binnen de bandbreedte wat betreft de variatie in verwachte windsnelheid	
Bron:	https://www.eneco.nl/over-ons/wat-we-doen/duurzame-bronnen/windpark-nieuwegein/											
Geen correctie toegepast t.o.v. windmetingen KNMI, wel vastgesteld dat ook op hoogte er aanzienlijke variatie in het jaargemiddelde optreedt												
Het model van Globalwind Atlas is gebaseerd op 10 jaar (2008 t/m 2017), hiertussen varieert de windspeed index van 0,93 tot 1,06												



De praktijk


GLOBAL WIND ATLAS
GLOBAL SOLAR ATLAS | ENERGYDATA.INFO
Search...
About
Download
Contact
Help
English
Wind Energy Layers
Capacity Factor – IEC Class I
Capacity Factor – IEC Class II
Capacity Factor – IEC Class III
IEC Class – Fatigue Loads
IEC Class – Fatigue Loads incl. Wake
IEC Class – Extreme Loads
Wind Layers
Mean Wind Speed
Mean Power Density
Terrain Layers
Roughness Length
Bathymetry
Orography
Ruggedness Index (overlay)
Validation Layers
Validated Countries
Wind Measurement Stations
Legend re-scale
Mask
My Areas
Save new area?
No
Yes
Add new area:
Countries And Regions
LIMBURG
3.0 km
9.0 km²
m/s
10+
7.39
0
m
200
150
100
50
10
2 km
1 mi
51.20602 : 5.71461
Point 1
Center (Lat, Long): 51.282535°, 5.990982°
Address: Neer, Leudal, Limburg, Netherlands
Area data
Temporal data
Energy yield
Data for 10% windiest areas
420 W/m²
7.47 m/s
Height: 100m
Mean Power Density @Height 100m
The mean power density for the 10% windiest area in the selected region is 420 W/m².
Mean Power Density (W/m²)
% of windiest areas
Wind Frequency Rose
1/3 next
Mean Wind Speed @Height 100m
Mean Wind Speed (m/s)
% of windiest areas
© 2024 DTU | Powered by WAsP | Terms of use
WORLD BANK GROUP
ESMAP
VORTEX
DTU

De praktijk


GLOBAL WIND ATLAS
GLOBAL SOLAR ATLAS | ENERGYDATA.INFO
Search...
About
Download
Contact
Help
English
Wind Energy Layers
Capacity Factor – IEC Class I
Capacity Factor – IEC Class II
Capacity Factor – IEC Class III
IEC Class – Fatigue Loads
IEC Class – Fatigue Loads incl. Wake
IEC Class – Extreme Loads
Wind Layers
Mean Wind Speed
Mean Power Density
Terrain Layers
Roughness Length
Bathymetry
Orography
Ruggedness Index (overlay)
Validation Layers
Validated Countries
Wind Measurement Stations
Legend re-scale
Mask
My Areas
Save new area?
No
Yes
Add new area:
Countries And Regions
3.0 km
9.0 km²
m/s
10+
8.36
0
m
200
150
100
50
10
Point 1
Center (Lat, Long): 52.590952°, 6.455154°
Address: Dedemsvaart, Hardenberg, Overijssel, Netherlands
Area data
Temporal data
Energy yield
UTC
UTC+1 (Europe/Amster...
Latitude: 52.5874
Longitude: 6.4625
Height: 100m
Wind Speed Variability
Annual
1/3 next
Wind speed Index
Year
Hourly vs. monthly (radar plot)
1/2 next
0 Night
6 Morning
12 Day
18 Evening
January
February
March
April
May
June
July
August
September
October
November
December
UTC
© 2024 DTU | Powered by WAsP | Terms of use
WORLD BANK GROUP
ESMAP
VORTEX
DTU

De praktijk

- Resultaat:

Nr	Windpark	Aantal turbines	Type	Ashoogte (m)	Rotordiameter (m)	Prognose / resultaat	Aantal MW/turbine verkoopplaat	Aantal MW/turbine gemeten	Voorspelling model JvdW	Voorspelling MW/turbine volgens PT	Verschil tussen gemeten en model JvdW (%)	Verschil tussen gemeten en PT (%)
1	**Coöperwiek**	1	Enercon EP2	98	102	**Resultaat**	2,05	0,526	0,498	0,840	5,8%	-37,3%
2	**Deil**	11	Vestas V136	140	136	**Resultaat**	7,11	1,599	1,724	2,910	-7,3%	-45,1%
3	**Heijbloem**	2	Nordex Delta 4000	135	149	**Resultaat**	6,15	1,341	1,492	2,517	-10,1%	-46,7%
4	**Nieuwegein**	5	Vestas V90	105	90	**Resultaat**	2,17	0,576	0,527	0,889	9,4%	-35,1%
5	**Ospeldijk**	2	Nordex Delta 4000	135	149	**Resultaat**	6,31	1,552	1,530	2,581	1,5%	-39,9%
6	**Rietvelden**	4	Nordex N116	119	117	**Resultaat**	3,93	1,032	0,953	1,608	8,3%	-35,8%
7	**Veenwieken**	10	Enercon	98	103	**Resultaat**	2,82	0,626	0,685	1,156	-8,6%	-45,8%
		35								**Gemiddeld**	**-0,2%**	**-40,8%**

- Het in het vorige TO gepresenteerde rekenmodel is hiermee naast **wetenschappelijk getoetst** tevens **gevalideerd** met praktijkresultaten:

De met datzelfde rekenmodel voorspelde (veel) grotere aantallen benodigde IWT's voor het behalen van de 0,514 PJ doelstelling in het Osse deel van de Duurzame Polder zijn hiermee realistisch, want onderbouwd.

De praktijk

- 1 Sterk afwijkend resultaat validatie:

Nr	Windpark	Aantal turbines	Type	As hoogte (m)	Rotordiameter (m)	Prognose / resultaat	Aantal MW/turbine verkoopplaat	Aantal MW/turbine gemeten	Voorspelling model JvdW	Voorspelling MW/turbine volgens PT	Verschil tussen gemeten en model JvdW (%)	Verschil tussen gemeten en PT (%)
8	**Burgervlotbrug**	5	Vestas V52	70	55	**Resultaat**	0,81	0,296	0,233	0,332	27,0%	-10,8%

- Park ligt op 2,5 km van zee, in de kop van Noord-Holland
  - Hier is de C_p waarschijnlijk hoger dan 0,5 en zit echt op de Betz-limiet, ondanks kleinere IWT's
  - Het rendement van de 'machine' is niet hoger dan op de overige locaties (eerder lager, het park dateert uit 2013, de andere zijn recenter en veel groter)
  - Uitkomsten op bovengrens van bandbreedte windsnelheid
  - Vermogen IWT het kleinst van de gemeten locaties
- Mogelijke verklaring: Ander profiel van windsterkte in tijd door nabijheid van zee => significant meer vollasturen (3100 i.p.v. 2100), maar geen 3500

De praktijk

- Berekening werkelijke en model-opbrengst per turbine, zonder en met afvang:
  - Onderlinge afstand IWT's ongeveer 1 km rondom, dus veel last van afvang!
  - Hierdoor is de windsnelheid 10 - 20% lager bij ongunstige windrichting voor een groot deel van de IWT's gezien hun beoogde opstelling
    - **10%** minder windsnelheid betekent **37%** minder opbrengst!
    - **20%** minder windsnelheid betekent **49%** minder opbrengst!
  - De hierna berekende benodigde aantallen zijn gebaseerd op een getoetst en gevalideerd model

De praktijk

- Werkelijk benodigd aantal turbines voor de RES doelstelling volgens gevalideerd model, zonder afvang:

Turbines, zonder afvang	Lith type 1	Lith type 2	Elzenburg (aantal = vastgesteld op 4)
Geprojecteerd (volgens project, werkend op Betz-limiet)	10	6-8	4
Benodigd o.b.v. Global Wind Atlas en realistische parameters (Cp = 0,5 en rendement = 48,5%)	**15**	**11**	**6**

- Werkelijk benodigd aantal turbines voor de RES doelstelling volgens gevalideerd model, met afvang (Hoe beter de C_p, des te groter de afvang!!):

Turbines, met 20% afvang ($v_2 = 0,8 * v_1$)	Lith type 1	Lith type 2	Elzenburg (aantal = vastgesteld op 4)
Geprojecteerd (volgens project, werkend op Betz-limiet)	10	6-8	4
Benodigd o.b.v. Global Wind Atlas en realistische parameters (C_p = 0,5 en rendement = 48,5%)	**19**	**13**	**7**

Conclusies

- Met de beoogde aantallen IWT's in het concept VKA gaat de RES doelstelling voor de duurzame opwek van 0,514 PJ in de Duurzame Polder zonder meer **niet** worden gehaald
- Het niet (willen) nadenken over een Plan B is hierdoor niet alleen onverstandig, maar in feite roekeloos
- De overige, reeds eerder genoemde, nadelige effecten van IWT's, zoals:
  - Omgevingsbelasting met (infra-)geluid*
  - Trillingsbelasting
  - EM-veldbelasting
  - Vrijkomen van schadelijke stoffen (BPA, fijnstof, metalen, olieproducten) in de natuur

  worden door (veel) grotere aantallen IWT's eveneens veel erger.

* Volgens opgave van Vestas produceert een V172 tot 107 dB(A) in de gondel (1 m), dat is 47 dB(A) op 1000 m en 42 dB(A) op 1780 m !

Aanbevelingen

- Dringend pas op de plaats maken en de gekozen aanpak / richting heroverwegen;
- Direct inspanning/energie steken in de ontwikkeling van een plan B/C/.. :
  - Lokale opwek, kleinschalig: Opwek op daken, VAWT;
  - Onderzoek naar geothermie versnellen / intensiveren;
  - Participeren in nationale initiatieven: kernenergie, bijv. via thorium;
  - Alternatieven onderzoeken: o.a. emissievrije stoomturbines;

Vragen?