

Windpark A7-noord

VCBW NOORDENWIND

LEZING IR. BAUKE KUIPER DD 11-7-2019

Indeling voor vanavond

- ▶ 1. NHL-Stenden en uw spreker
- ▶ 2. Opbrengst vuistregels Zon en Wind
- ▶ 3. Hectare van Kuiper
- ▶ 4. A7 windturbines: belangrijkste (meet-)gegevens
- ▶ 5. A7 Wat meer de diepte in: Zog en Windrichting, Powercurves



Bauke Kuiper & NHL Stenden

- ▶ uw spreker: Bauke Kuiper
- ▶ UT Twente, Natuurkunde, Wat zegt Energie er zelf van?
- ▶ Automatisering, Elektrotechniek, Werktuigbouwkunde
- ▶ NHL-Stenden ; Fusie (niet goed voor “Zon en Wind”)
- ▶ Windonderwijs in het verleden (afstudeerrichting, minor): vandaag wat resultaten.
- ▶ (lid VCBW fryslân/ Noordenwind sinds oprichting)
- ▶ (bij de foto op de vorige sheet: Dit plaatje laat goed zien hoe ook windturbine wieken door de lucht klieven, aangedreven door aerodynamische krachten: het schip komt op je af, maar je ziet nauwelijks zeil; ook turbinebladen zeilen uiterst scherp aan de wind)

Opbrengst vuistregels Zon en Wind

- ▶ 1. NHL-Stenden en uw spreker
- ▶ 2. Opbrengst vuistregels Zon en Wind

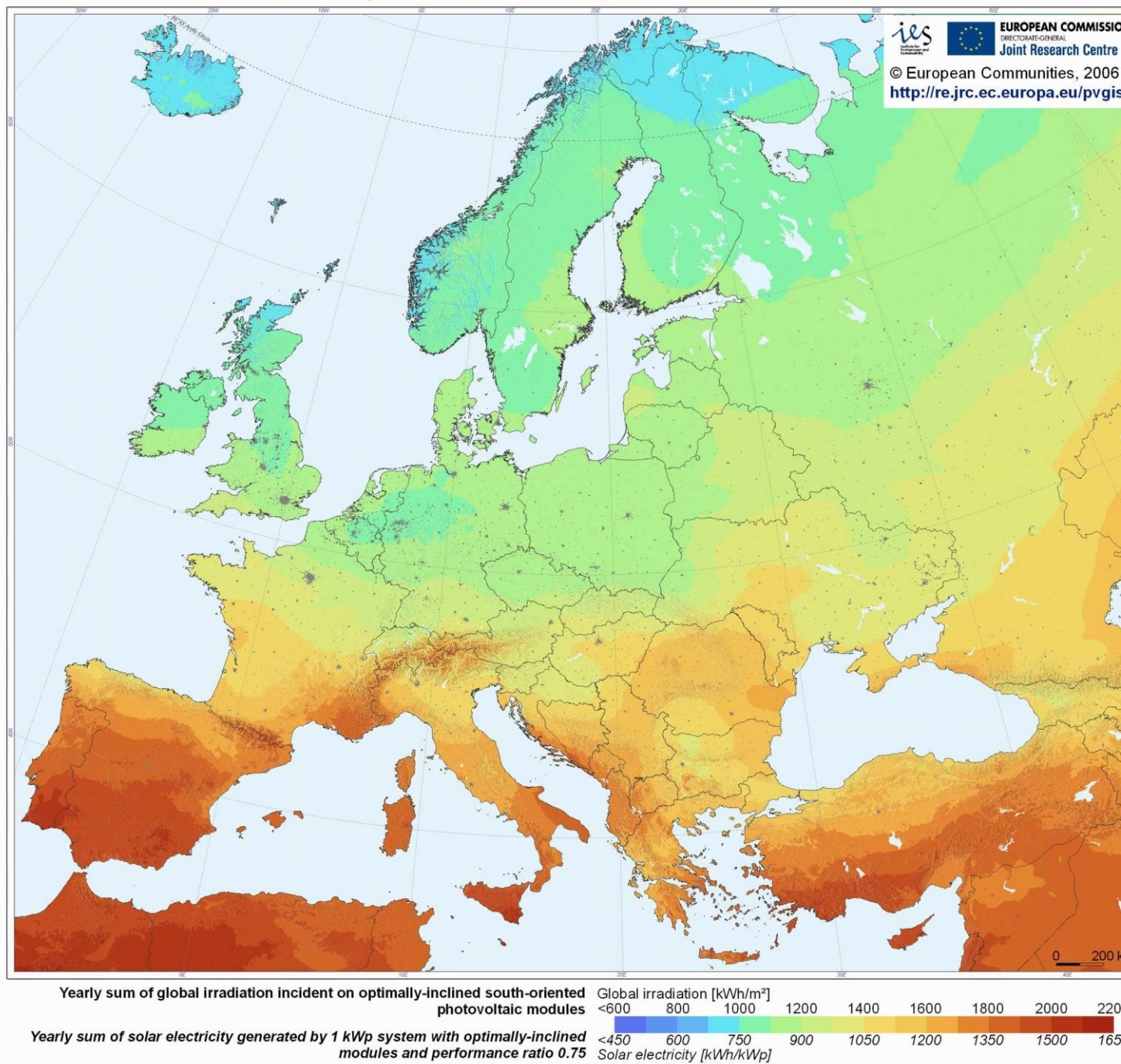


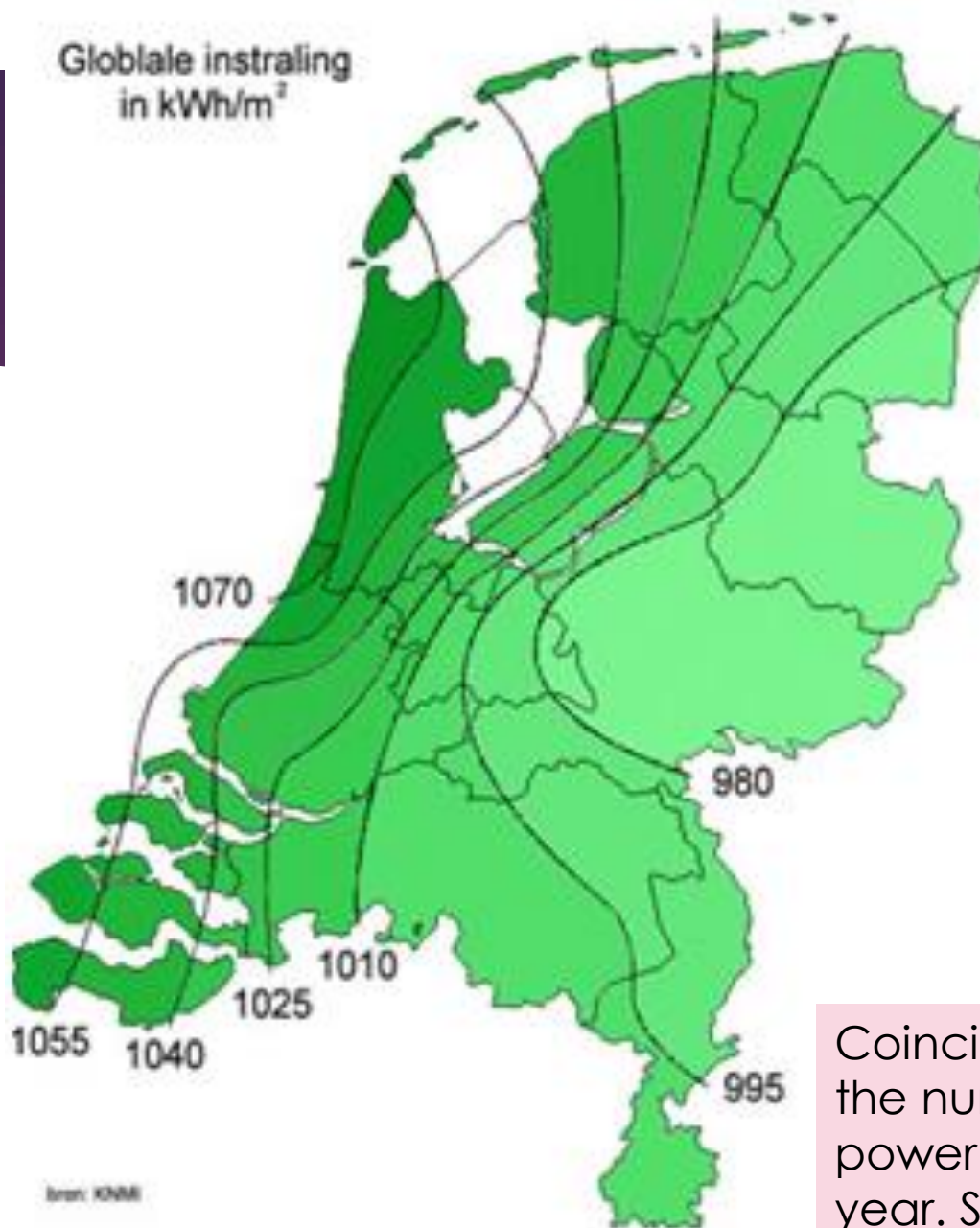
Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries



1. Europe

kWhs per m²
per year





Coincidentally this is also about the number of effective full power hours of PV in one year. So:
1Wp installed will give 1000 Wh

The number 1000

For calculations:

Energy Solar :

1. **Incident radiant energy per year per m^2 : avg. 1000 kWh.**
Netherlands coastal: Leeuwarden = 1040 kWh; see previous)
2. **Yearly PV production per 1000 Wp: 1000 kWh** (typical in literature: 0,9 kWh/Wp in The Netherlands, but higher along the coast/ Practical Measurements Kuiper (Leeuwarden) 0,92-0,99);
Modern systems > 1,0

Power (radiant Solar input):

1. **Maximum radiant input: 1000 W/ m^2 , perpendicular to PV panel.** (This is also “STC”: Standard Condition: 1000W/ m^2 ; 25 °C)
2. Typical (max=peak) yield PV: **150 - 200 Wp/ m^2** or 250 – 325 Wp for a 60 cels panel

Compare Solarfarm with Windfarm:

Yearly: (coastal Friesland)

PV-farm: **1000** effective full power hours; $C_f = 12\%$
Windfarm: (at least) **3000** effective full power hours; $C_f = 35\%$

(C_f = “Capacity factor” =percentage of total hours in a year (8544))

[NB: begrip “effectieve vollasturen”: = alsof de gehele jaaropbrengst geleverd werd door alleen maar uren vollast; = makkelijke manier om jaaropbrengst te voorspellen:
Die is: geïnstalleerd vermogen x dit aantal eff. vollasturen]

Which means that one 2MW windturbine needs 6 MW PV-park to replace it, for the same annual yield !!



Ameland: 6MWp





Garyp: 7 MWp

“Hectare van Kuiper”

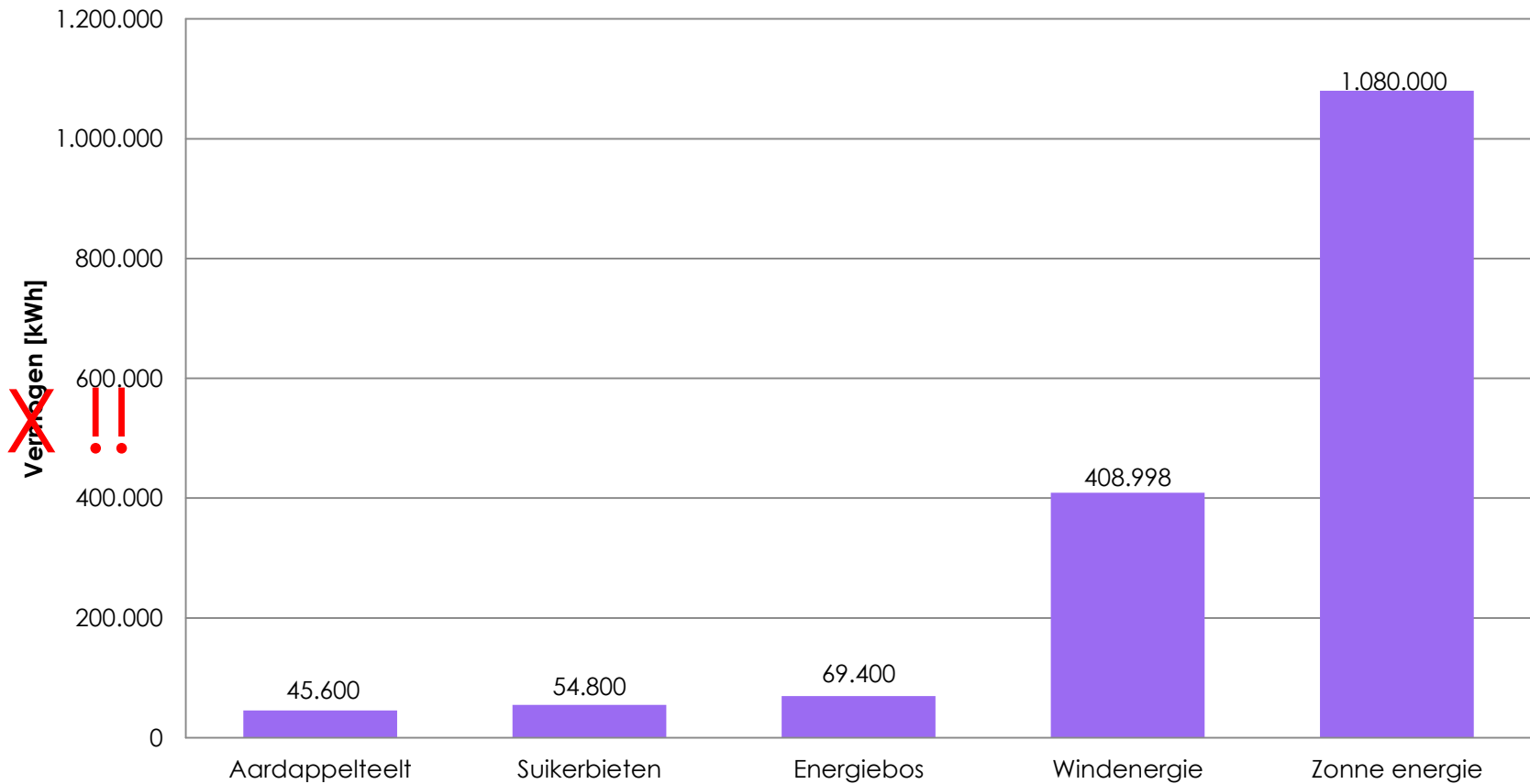
- ▶ 1. NHL-Stenden en uw spreker
- ▶ 2. Opbrengst vuistregels Zon en Wind
- ▶ 3. Hectare van Kuiper

De energieopbrengst van een Hectare:

- ▶ Overwegingen: Energie en grondstoffen, voedsel en levensbehoeften => wat is slim met het oog op duurzaam en CO₂
- ▶ Wie wint er? (PV, wind, aardappelen, bos, mais, koolzaad, enz.)
, => **vraag aan het publiek**
- ▶ Specifiek zaken aan Wind en Zon (o.a. turbine opbrengst verdelen over groter gebied, ivm met 4 a 5 D onderlinge afstanden)
- ▶ “Zonnepanelen kun je niet eten” (of de energie toch wel?)

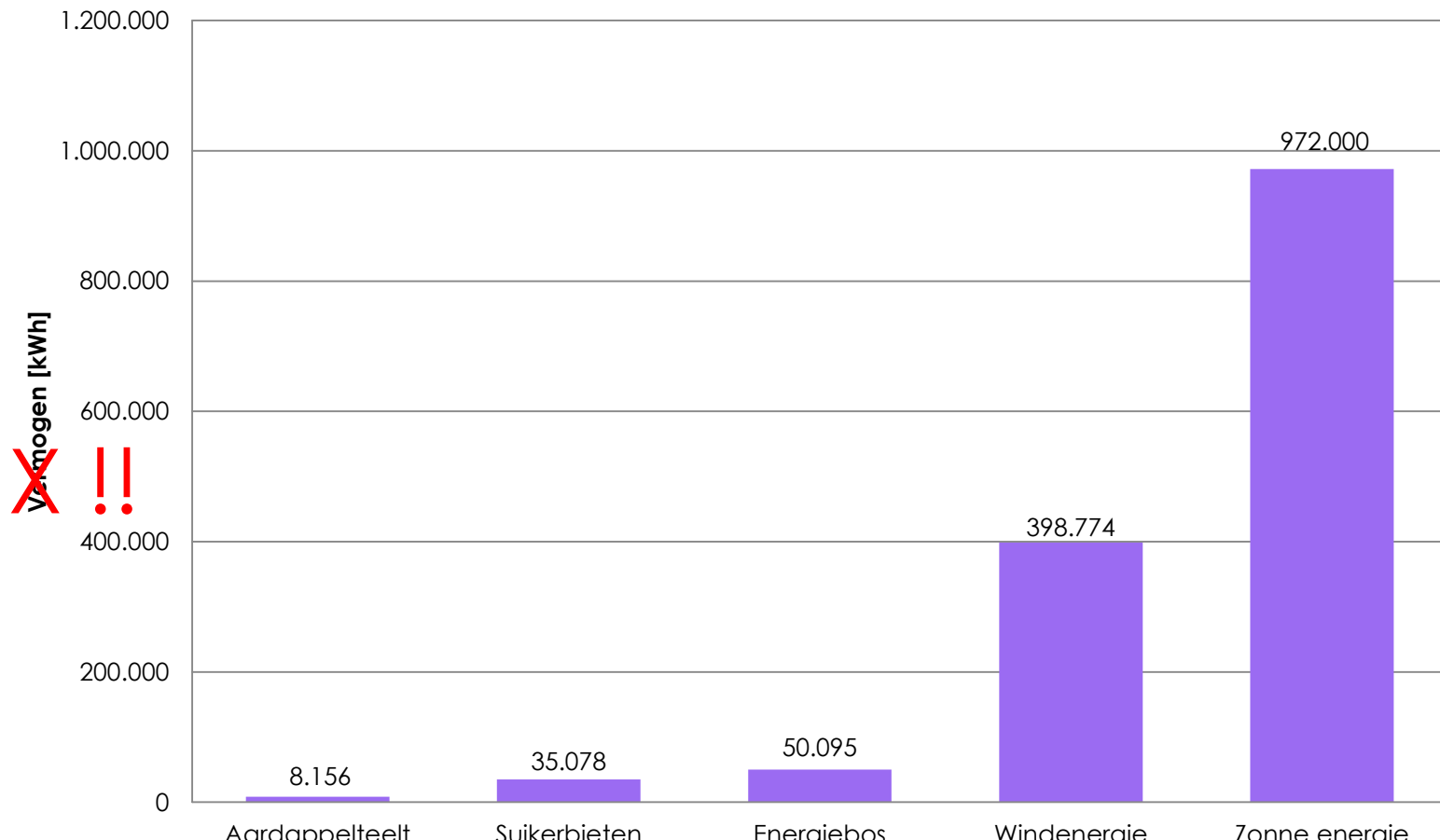
Evelien cs

Bruto energie opbrengst



Onder aftrek van energie nodig voor aanleg, maak en onderhoud

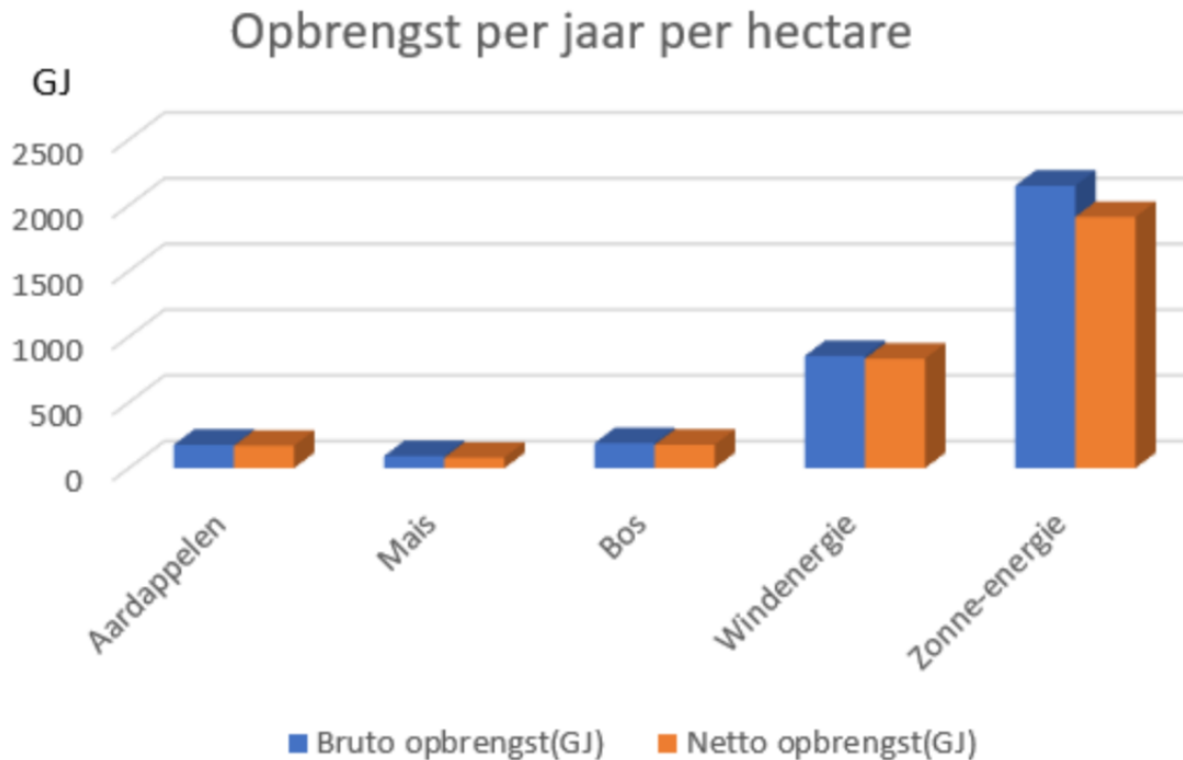
Netto energie opbrengst



Ander voorbeeld: iets andere getallen, zelfde globale beeld

Resultaten per jaar, per hectare:

	Bruto opbrengst(GJ)	Netto opbrengst(GJ)	Kosten per kWh (€)
Aardappelen	179,5	171,6	0,13
Mais	93,6	81	0,28
Bos	191,4	178,8	0,06
Windenergie	855,36	833,98	0,03
Zonne-energie	2150	1912	0,04



Pachtkosten
niet
meegerekend...

disclaimer:
Deze cijfers zijn niet bedoeld om "mee weg te lopen"; studenten maken wel eens een rekenfout, of verschillen in aannames. Maar uw spreker staat in voor de algemene trend in deze hectare-opbrengsten:

PV en Wind vele malen groter dan gewassen.

Wat betekent dit ? Volgens u (en mij?)

Aspecten:

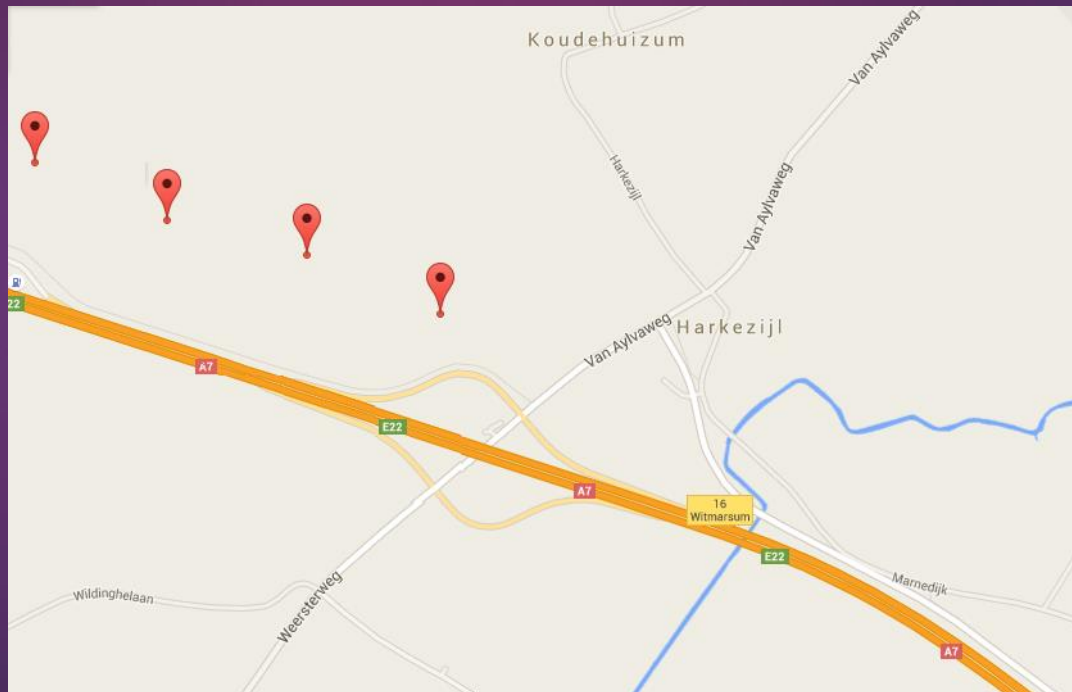
- ▶ Combinatie: Wind combineert met gewas! (En zon)
- ▶ PV conflicteert met gewas (maar wint er wel ruim van)
- ▶ CO₂ opname
- ▶ Geen voedsel in de benzinetank!
- ▶ Stads- en indoor (precizie)-landbouw. Kassen
- ▶ (Wind en zon vullen elkaar statistisch over het jaar goed aan)

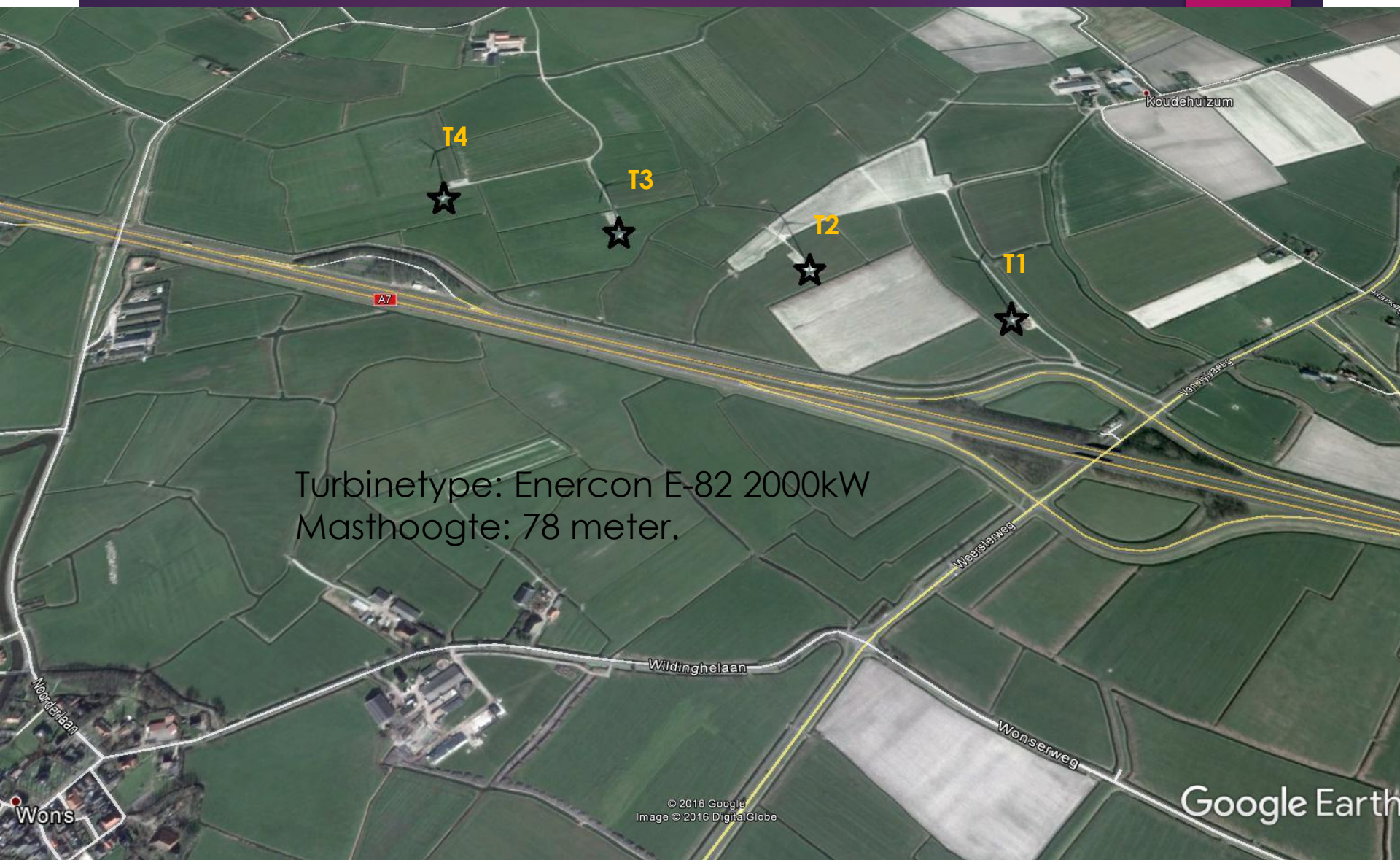
Indeling voor vanavond

- ▶ 1. NHL-Stenden en uw spreker
- ▶ 2. Opbrengst vuistregels Zon en Wind
- ▶ 3. Hectare van Kuiper
- ▶ 4. **A7 windturbines: belangrijkste (meet-)gegevens**
- ▶ 5. A7 Wat meer de diepte in: Zog en Windrichting, Powercurves

A7 Wind Farm Case Study

(dank aan Harout Charoian, 2016)





Turbine type: Enercon E-82 2000kW
Masthoogte: 78 meter.

Quick results

Opmerking van Kuiper:

Gedetailleerde opbrengstgegevens zijn hier niet opgenomen, vanwege privacy redenen van/voor de exploitant.

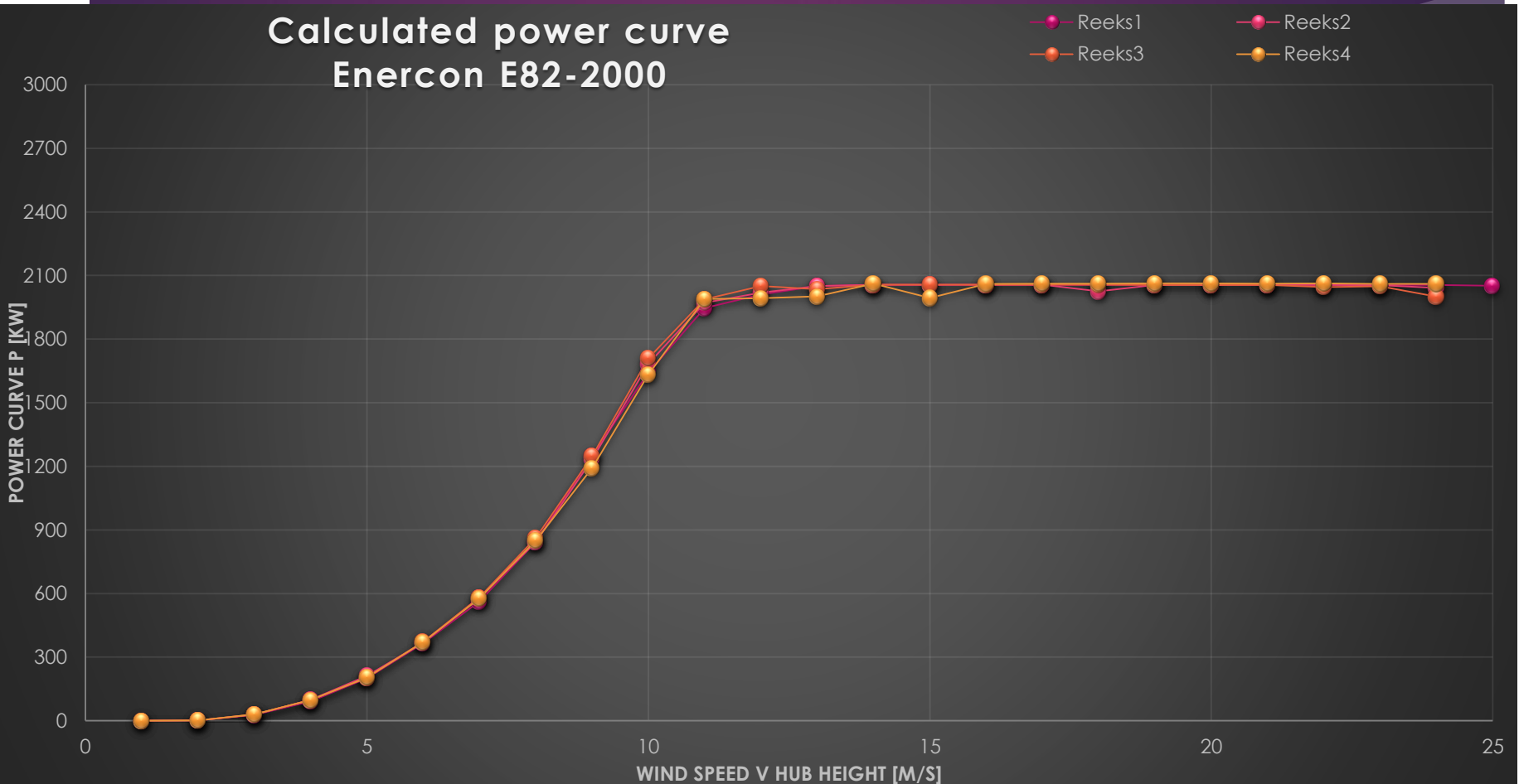
Wel wordt daarin het aantal effectieve vollasturen van de A7 turbines bepaald op minimaal zo'n 3700: ruim boven de 3000 die eerder als ruwe schatting voor de Friese kuststreek is gegeven.

Aannemelijke verklaringen:

- a) Goed windregiem ter plaatse
- b) Relatief grote rotor tov generatorvermogen

Berekende (gemeten) Powercurve voor de 4 turbines

(Delsink, cs)

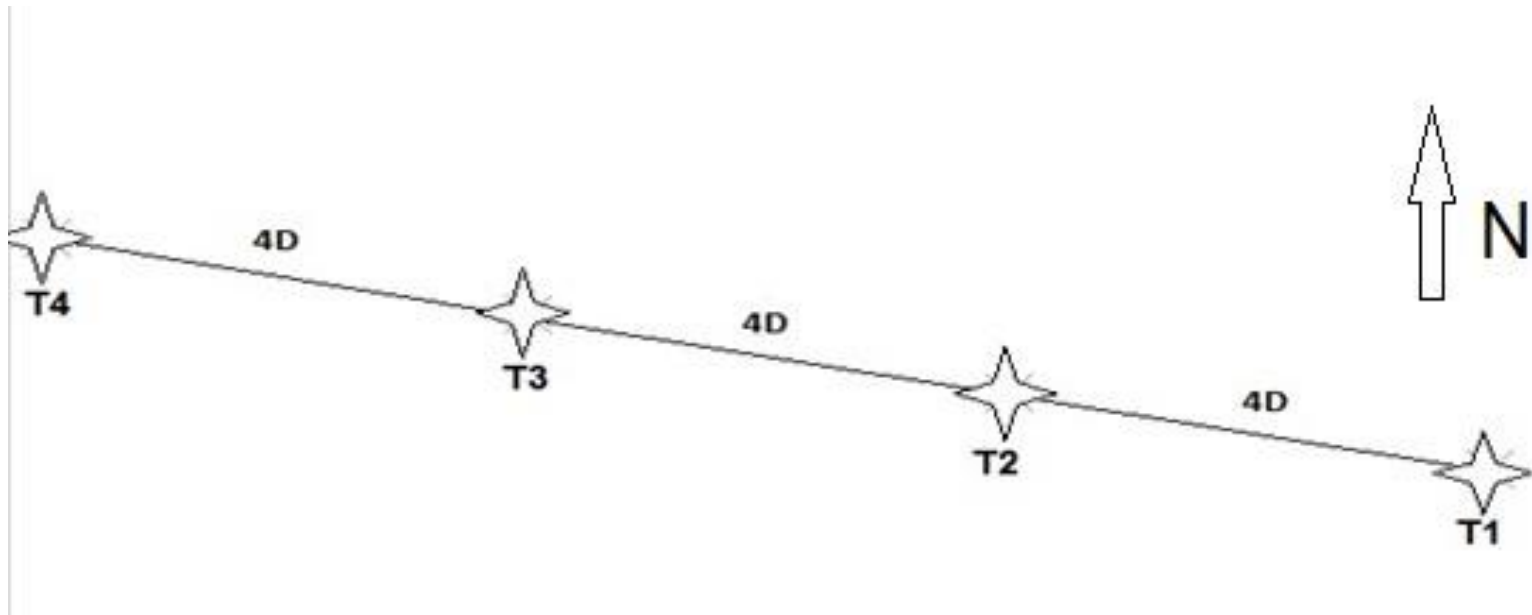


Opm. Kuiper: zeker zo goed als de fabrieksgegevens van Enercon...

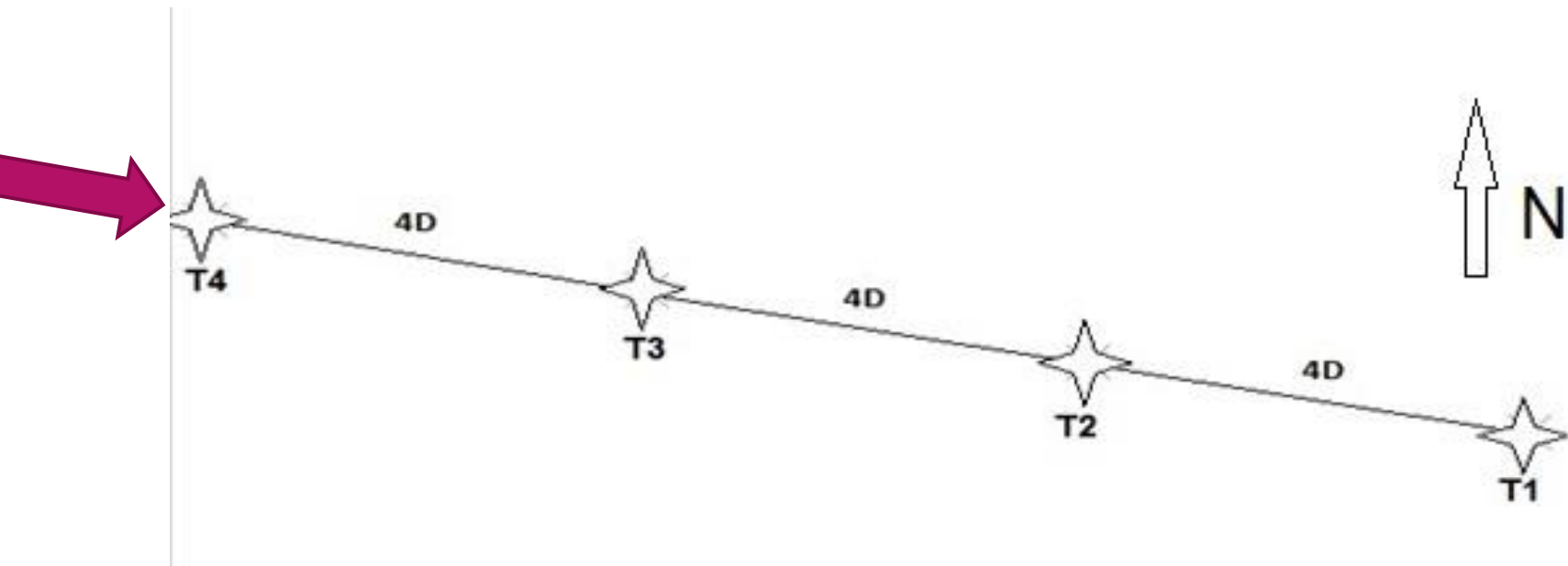
Indeling voor vanavond

- ▶ 1. NHL-Stenden en uw spreker
- ▶ 2. Opbrengst vuistregels Zon en Wind
- ▶ 3. Hectare van Kuiper
- ▶ 4. **A7 windturbines: belangrijkste (meet-)gegevens**
- ▶ 5. **A7 Wat meer de diepte in: Zog en Windrichting, Powercurves**

Wind Farm Line 109-289°



Wind Farm Line 109-289°



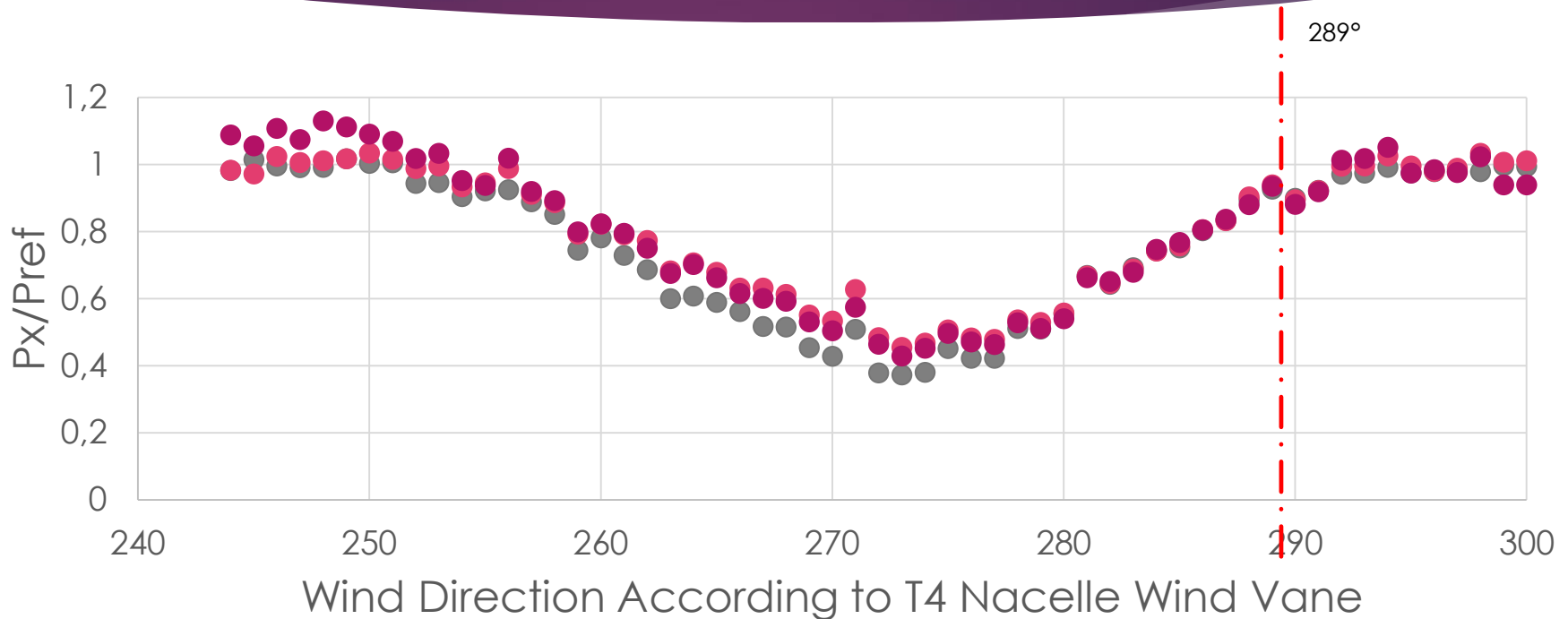
Windschaduw effect (voor een “midden-turbine | :)



Is er verschil tussen de (schaduw-) turbines?

Turbine 4 Readings as Reference

NHL Wind Farm (6-8m/s) T4 Nacelle Wind Speed and Wind Direction

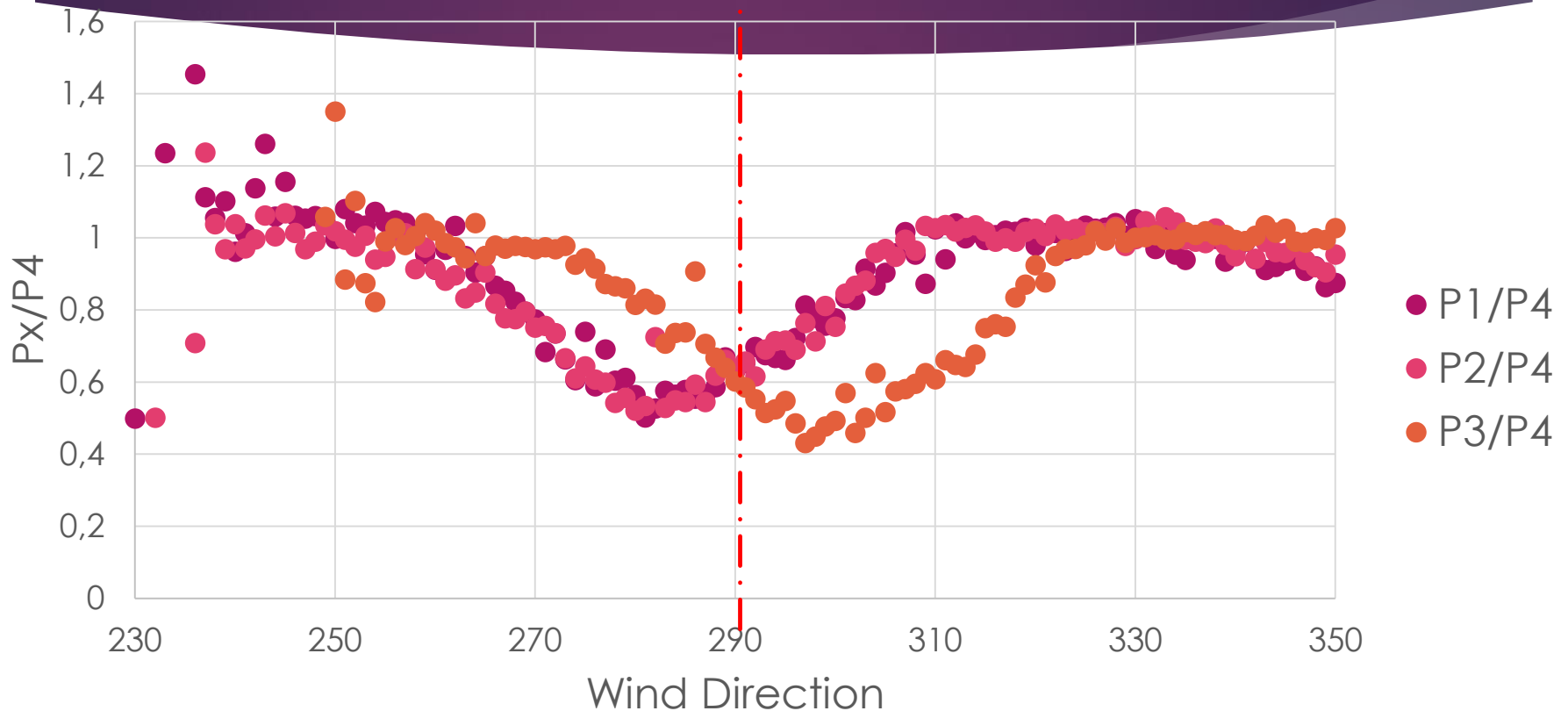


● P3/P4 Measurements ● P2/P4 Measurements ● P1/P4 Measurements

Toelichting Kuiper: Je ziet dat de eerstvolgende turbine (T3; grijze stippen)) de meeste last heeft van T4, de overige iets minder last! De opbrengst is ca 45% van de ongehinderde situatie

Individual reading from West

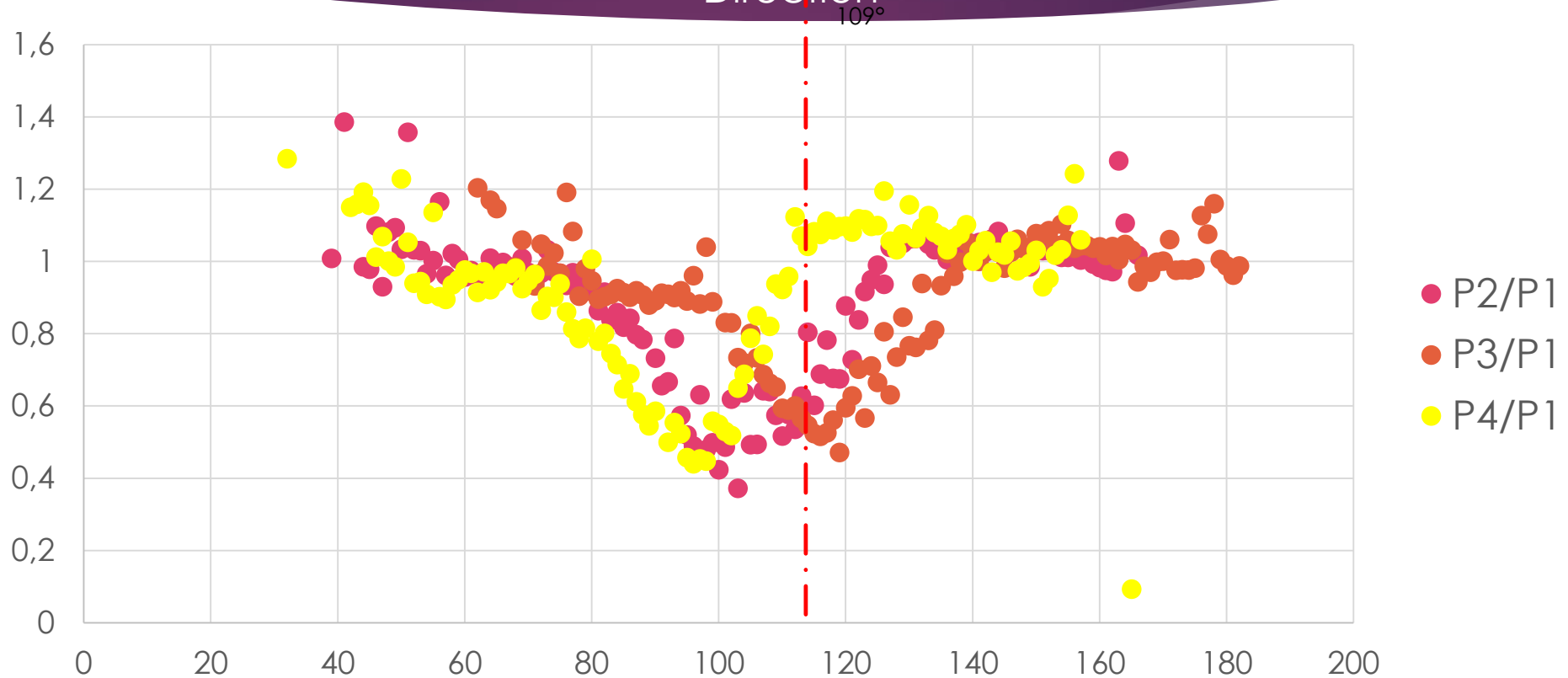
NHL Wind Farm (6-8m/s) Individual Nacelle Wind Speed and Wind Direction



- $\Rightarrow$ T1 & T2 have similar readings
- Kuiper: hier is te zien dat de windrichtingsdata van de turbines onderling verschillen $\Rightarrow$ kalibratiefouten? De dips zouden alle bij de zelfde richting moeten zitten

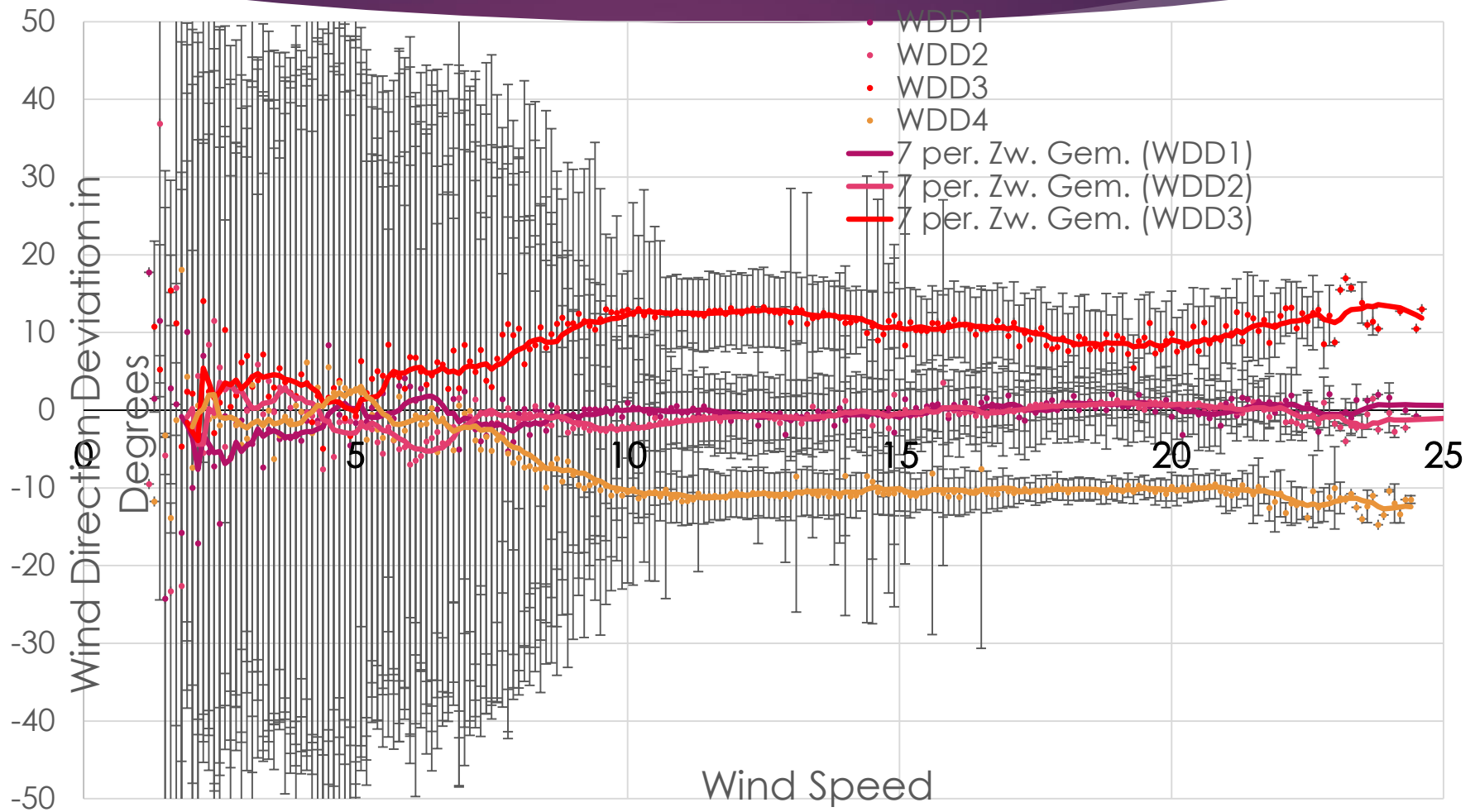
Individual reading from East

A7 Wind Farm (6-8m/s) Individual Nacelle WindSpeed and Wind Direction



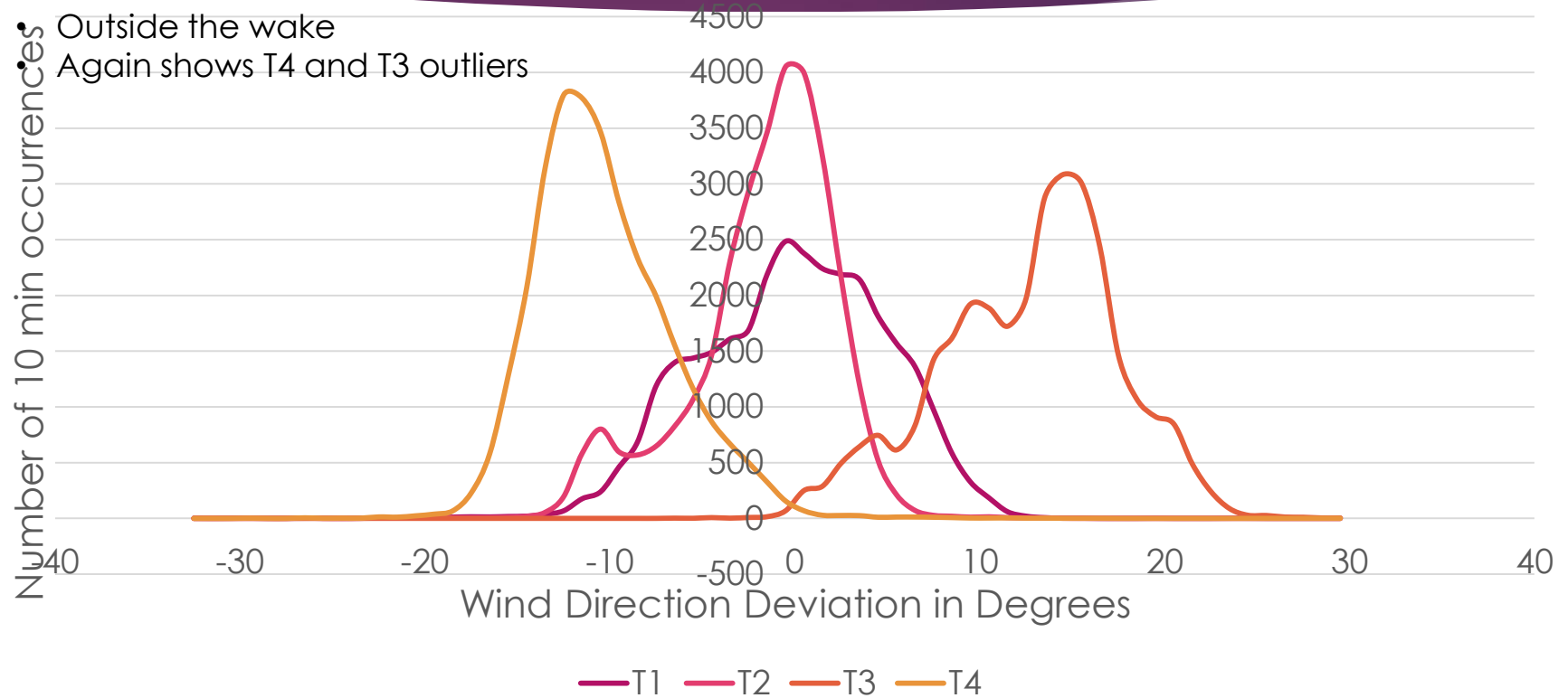
- T3&T4 are not in correlation.... (in direction)

Outside the wake region (155-245 degree) (average of all turbine readings)



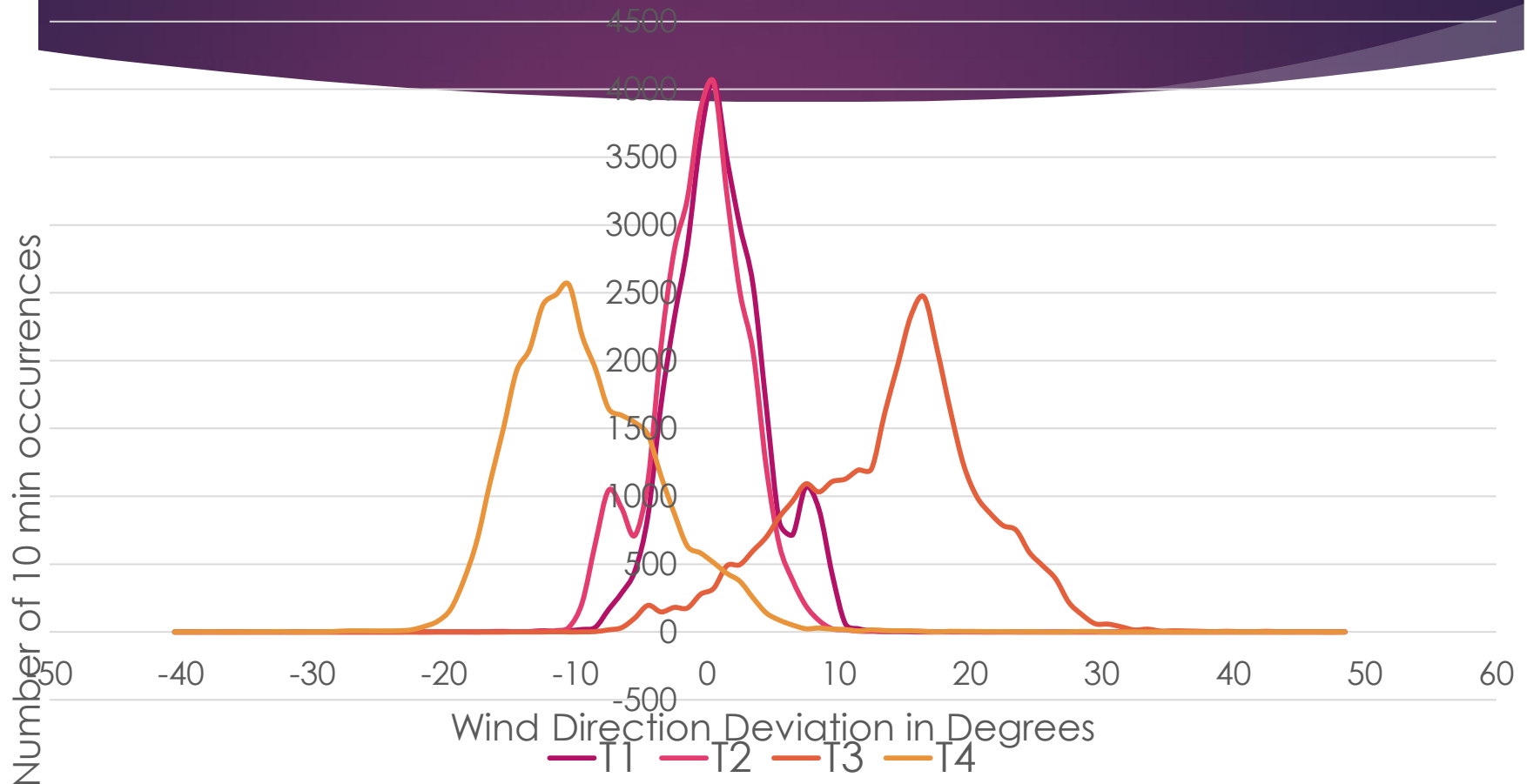
Wind Direction Variation for outside wake region

Compared to Avg of all WTs



Wind Direction Variation for outside wake region

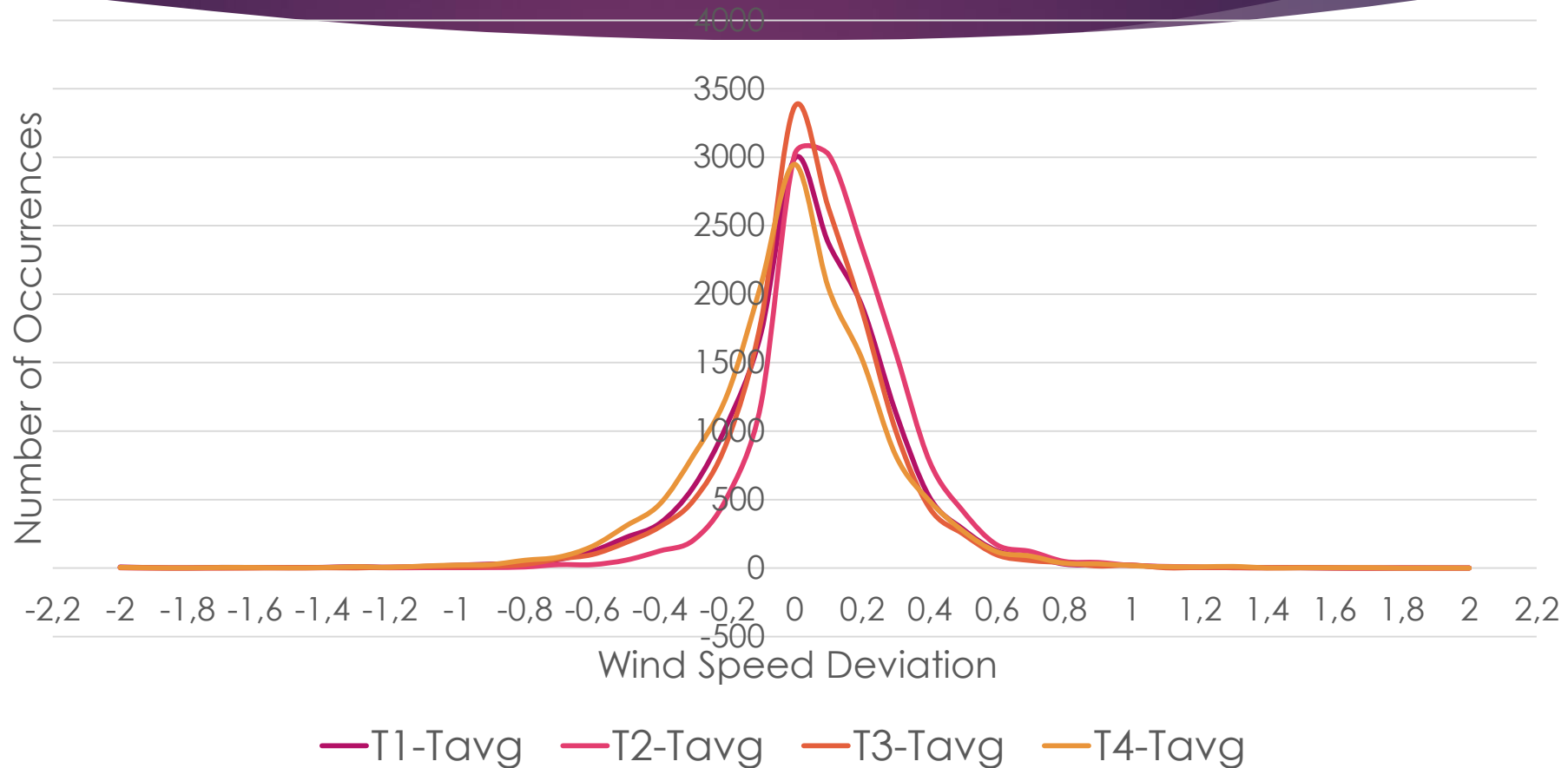
Avg WD of T1&T2 Compared



- Wind direction of T1&T2 as reference

Wind Speed Reading Variation outside wakes

- Wind speed reading deviation is normal



Measurements over 2.5 Years (only all-uptime hours)

- 154-244° wind directions investigated (outside wake)
- T1 & T2 was expected to produce most if there was a misalignment
- $T3 > T1$ so not as expected => check terrain

T1 (MWh)



6,006.8

T2 (MWh)



6,065.52

T3 (MWh)



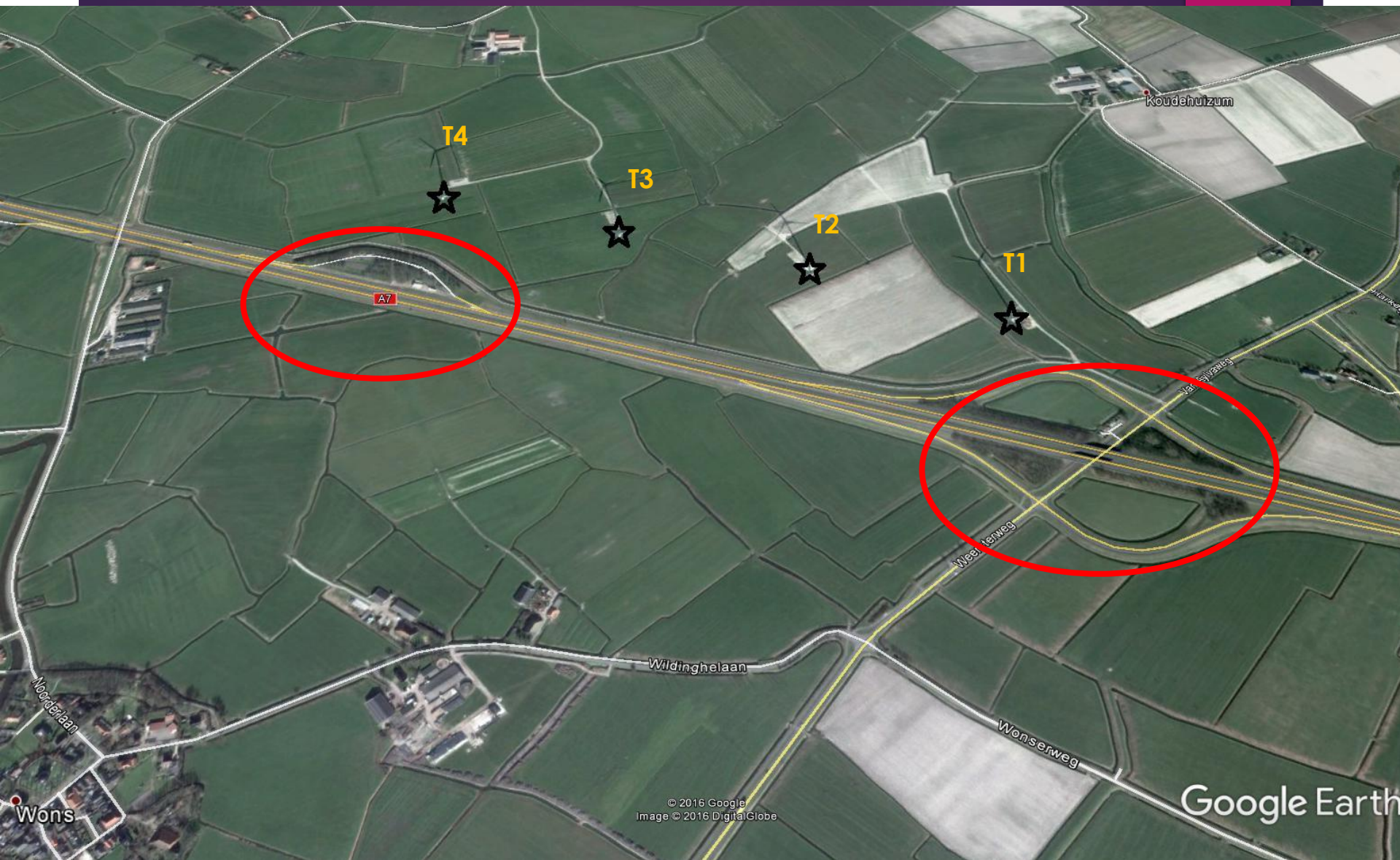
6,021.4

T4 (MWh)



5,969.2





`We observed that due to terrain complexity T1 & T4
Produced the Least

T1 (MWh)



6,006.8

T2 (MWh)



6,065.52

T3 (MWh)

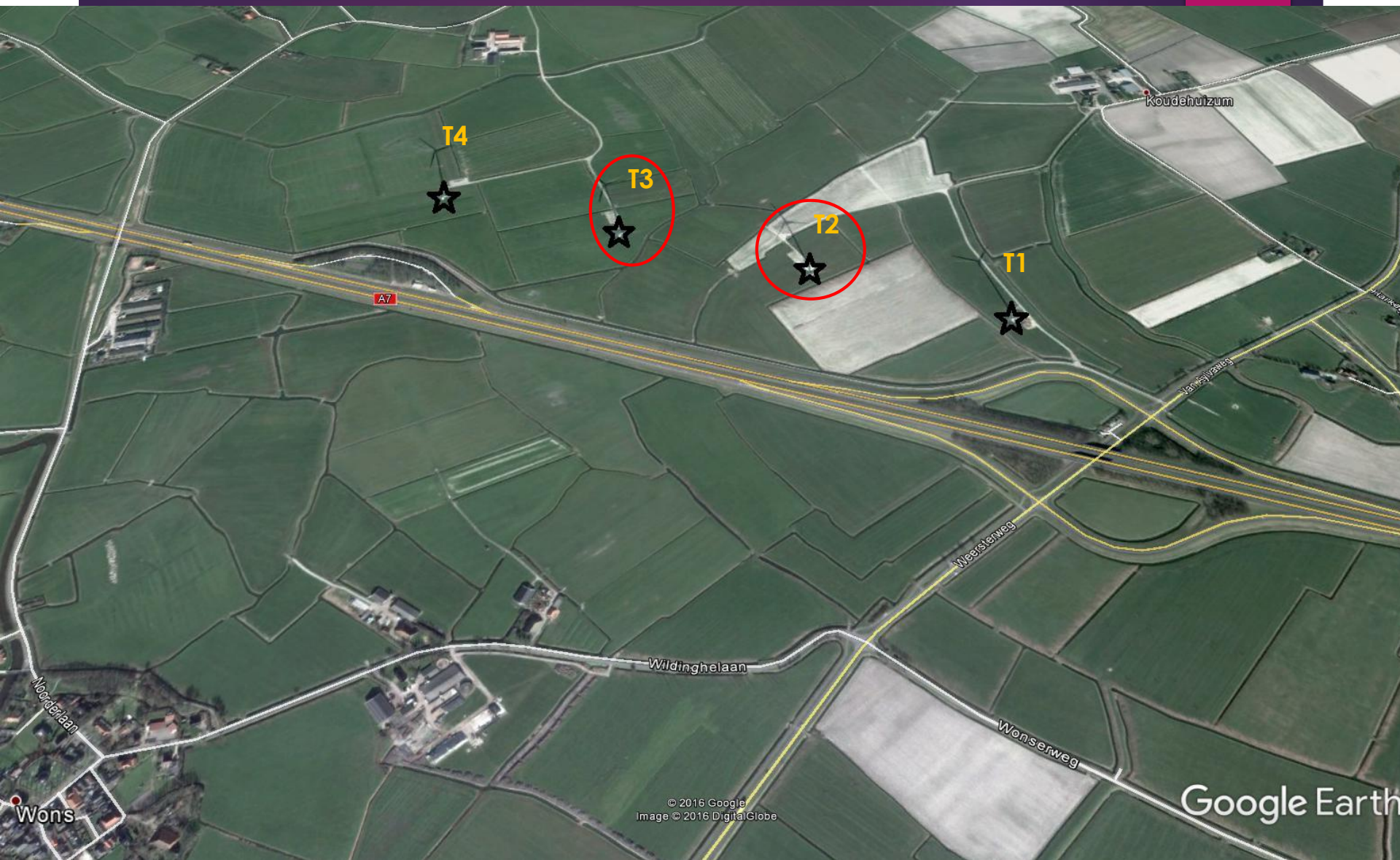


6,021.4

T4 (MWh)



5,969.2



Comparing T2 & T3

(NB: Transverse wind conditions, so no wake influences,
2,5 year of data)

- T2>T3 for same conditions
- T3 underperforming by 0.73%

T1 (MWh)



6,006.8

T2 (MWh)



6,065.52

T3 (MWh)



6,021.4

T4 (MWh)



5,969.2

**Terrain also might be
the reason for under
performance of T3**

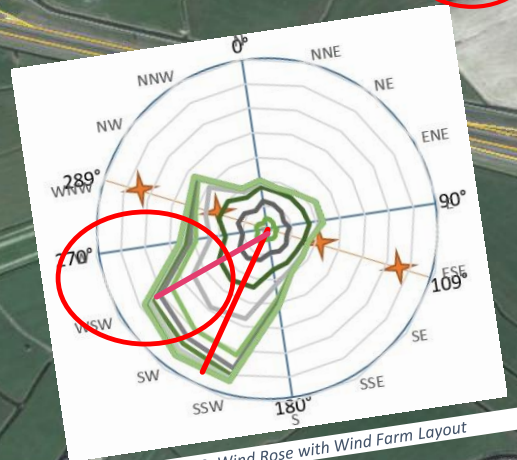


Figure 3: Wind Rose with Wind Farm Layout

Main Conclusion

- ▶ Differences in power production mainly due to terrain.
- ▶ Recommended to check wind vane calibrations of Turbine 3 & 4. (2014 situation)
- ▶ Effective fulltime hours A7 turbines at least 3700 hrs, = High, despite park-effects and normal maintenance stops.



The End.

► Thank you Alwin (A7 park),
Harout, Eveline, Ton and
many others!