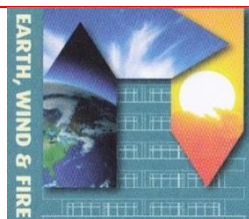


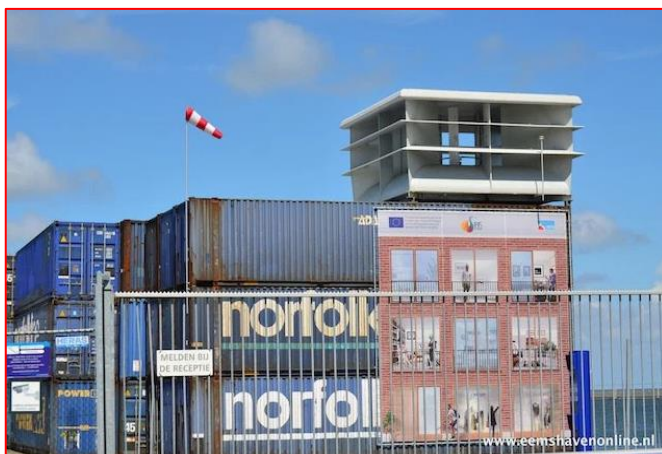
Bronsema Consult
Prof. Boerhaaveweg 37
2251HX Voorschoten
T 071 561 1876
E bronconsult@planet.nl
I www.bronconsult.org



Project Windenergie in de Gebouwde Omgeving
Onderwerp Het PowerNEST van Ibis Power nader bekeken¹ (Versie 2a)²
Datum 21 juli 2017 / 23 maart 2018
Auteur Ben Bronsema

1 Inleiding en Samenvatting

Met veel publiciteit is in de zomer 2016 door IBIS POWER het PowerNEST gelanceerd, een prefab dakopbouw voor duurzame energieproductie in de Gebouwde Omgeving met behulp van Wind en Zon. Een testmodel van het PowerNEST 1.0 is eind juni 2016 aangebracht op gestapelde zeecontainers in de Eemshaven. Metingen zullen de niet geringe beloofde energieprestaties moeten bevestigen. Naast het PowerNEST 1.0 wordt ook het PowerNEST 2.0 aangeboden, waarmee volgens de fabrikant het volledige dakoppervlak kan worden benut



Voor EWF Hotel BREEZE is in een tweejarige onderzoeksperiode naar een oplossing gezocht voor een kosteneffectieve productie van windenergie in de Gebouwde Omgeving met behulp van verticale-as-windturbines (VAWT) op het dak. Hierbij werden achtereenvolgens de uitvoering en de prestaties het Powerdak 1.0, 2.0 en 3.0 geanalyseerd. Een dergelijk manier van energieproductie is als zodanig zonder meer mogelijk, maar de praktische toepassing voor Hotel BREEZE werd helaas onmogelijk door de prohibitief hoge kWh prijs die deze faciliteit opleverde. Dit was de directe aanleiding om het PowerNEST 1.0 eens onder de loep te nemen.

In de documentatie van IBIS POWER wordt voor het PowerNEST 1.0 een jaarlijkse energieprestatie geclaimd van 13,3.....30 MWh. De grote spreiding zit uiteraard in de hoogte van het gebouw, waarbij de laagste waarde betrekking heeft op een gebouw van 30m hoog, de minimumhoogte voor het concept.

Het PowerNEST 1.0 is juni 2017 geplaatst op een 10 verdiepingen hoog flatgebouw aan de Henriette-dreef in Utrecht. De oorspronkelijke windturbine met H-rotor is om niet vermelde redenen vervangen door een hybride Darieus-Savonius turbine. Bij de hierna omschreven uitgangspunten is de jaarlijkse opbrengst aan windenergie berekend op ca. 528 kWh.

Het modulair opgebouwde PowerNEST 2.0 wordt gepresenteerd als "Full Roof Solution" voor "The entire surface of the building", waarbij meerdere modules op het dak worden gekoppeld. In de navolgende analyse wordt een PowerNEST 2.0 geplaatst op een 10 verdiepingen hoog flatgebouw aan de Henriette-dreef in Utrecht. Hiervoor zijn bij de hierna omschreven uitgangspunten jaarlijkse ener-

¹ Een eerdere editie van dit rapport is geplaatst op www.OliNo.org onder de categorie windenergie. De bevindingen zijn aan Ibis Power voorgelegd met verzoek om commentaar. Ibis Power heeft echter tot op heden geweigerd commentaar te leveren. Ook een verzoek om een prijsopgave van het PowerNest is niet gereageerd.

² Addendum paragraaf 10 toegevoegd

gieprestaties berekend van ≈ 13.500 kWh via PV-panelen en 3600 kWh via de windturbine, totaal 17.100 kWh.

De kosten van het PowerNest zijn niet bekend. Om een indruk te krijgen van de kosteneffectiviteit van het PowerNest zijn ramingen gemaakt van de energieopbrengsten en de investerings- en exploitatiekosten. De hieruit berekende kWh prijs is $\approx \text{€ } 0,44$ inclusief BTW.

Als de PV-panelen rechtstreeks op het dak zouden worden aangebracht is de kWh prijs $\approx \text{€ } 0,23$ inclusief BTW. Bij een kWh prijs van (zon+ wind) $\text{à } \text{€ } 0,44$ en een kWh prijs van $\text{€ } 0,23$ voor de zonne-energie sec is de kWh prijs van de windenergie sec $\approx \text{€ } 0,86$. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de windenergie in het PowerNest in belangrijke mate wordt “gesubsidieerd” door de zonne-energie. Het betreft hier slechts *quick and dirty* ramingen maar op basis hiervan kan met zekerheid worden vastgesteld dat het opwekken van windenergie met behulp van een geïntegreerde VAWT in het PowerNest in hoge mate onrendabel is.³

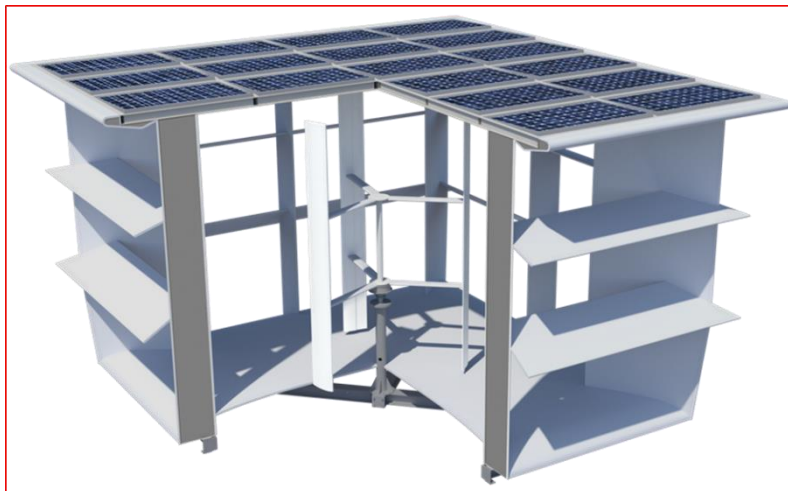
2 PowerNest 1.0

2.1 Uitvoering volgens de oorspronkelijke documentatie

Figuur 1 toont een *exploded view* van het PowerNEST 1.0, afmeting 6X6 meter, en uitgevoerd met een 3,6 kWp turbine en 24 zonnepanelen met een totaal vermogen 8 kWp. Voor de totale jaarlijkse energieprestatie van zon + wind bij plaatsing op een 30 m hoog gebouw wordt een waarde van 370 – 830 kWh.m⁻² aangegeven, overeenkomend met $(6*6)*(370-830) = 13.320 - 29.880$ kWh.

Van de verticale as windturbine (VAWT) wordt een vermogen van 3,6 kWp vermeld, maar verdere gegevens worden niet vermeld.

Figuur 1 laat zien dat het gaat om een H-rotor met een geschatte diameter van ≈ 2 m en een rotorhoogte van $\approx 3,5$ m, geprojecteerd oppervlak $2*3,5 \approx 7,0$ m².



Figuur 1 - Exploded view PowerNEST 1.0 met H-rotor

2.2 Gewijzigde uitvoering

IBIS Power heeft informatie verstrekt over de prestaties van het PowerNest bij metingen van de opstelling in de Eemshaven⁴. In tegenstelling tot het beeld in de oorspronkelijke brochure is er in het PowerNest geen VAWT met H-rotor geïnstalleerd, maar een hybride Darrieus-Savonius turbine- zie figuur 2. De Savonius-turbine (met schoepen) begint reeds bij lage windsnelheden te draaien en brengt daardoor de Darrieus- turbine (met rotorbladen) op gang.

De turbine is van het fabriekaat Hi-VAWT Technology Corp, model DS 700, met een vermogen van 0,7 kWp. Rotordiameter 1,93 m, rotorhoogte 1,6 m, geprojecteerde oppervlak 2,2 m². De vermogenscurve van deze turbine is ontleend aan de website van het bedrijf- zie figuur 3. Op basis van deze grafiek

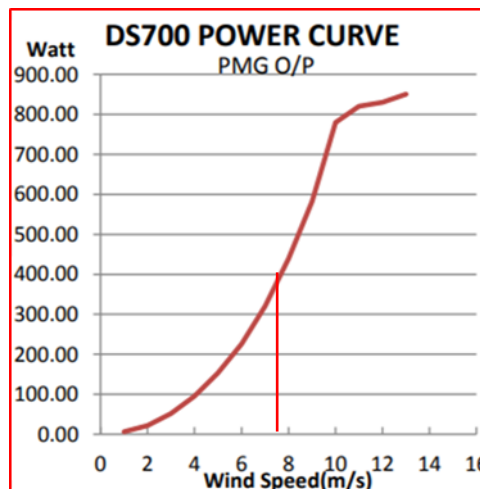
³ Nadere informatie van IbisPower laat zien dat bovenstaande getallen nog aan de optimistische kant zijn- zie Addendum paragraaf 10

⁴ PowerNest Demonstrator Unit Validation Public Version d.d. 07-11-2016

worden onwaarschijnlijk hoge waarden van C_{pow} berekend, bij lage windsnelheden zelfs onmogelijke waarden $> 1,0!$ De fabrikant heeft toegegeven dat de gegevens niet kloppen en toegezegd e.e.a. te onderzoeken⁵.



Figuur 2 - Hybride Darrieus-Savonius VAWT DS 700



Figuur 3 – Vermogenscurve DS 700³

Deze grafiek kan niet kloppen!
 Bijvoorbeeld
 $U = 4 \quad [m \cdot s^{-1}]$
 $P \approx 100 \quad [Watt]$
 $A = 2,2 \quad [m^2]$
 $\rho = 1,2 \quad [kg \cdot m^{-3}]$
 $C_{pow} \approx 100 / (0,5 * 2,2 * 1,2 * 4^3) = 1,18$

De door Ibis Power gemeten versnellingsfactor t.o.v. de referentiewindsnelheid F_{ac} is 1,07. Bij een gemiddelde windsnelheid van $7,74 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ leverde de turbine een vermogen van $\approx 222 \text{ W}$. Volgens figuur 3 zou de turbine bij deze windsnelheid ca. 380 W moeten leveren.

3 Nieuwe testlokatie

3.1 Verhuizing naar Utrecht

Begin juli 2017 is het PowerNest met de DS 700 turbine naar Utrecht getransporteerd en daar geplaatst op een 10 verdiepingen hoog flatgebouw aan de Henriëttedreef in de wijk Overvecht, aan de Oostelijke kant van de stad- zie figuur 4

⁵ Ik heb de fabrikant gevraagd om gecertificeerde vermogensgegevens te verstrekken, maar die zijn voor de DS 700 niet beschikbaar. Voorzichtigheid m.b.t. websitegegevens is dus geboden!



Figuur 4 PowerNest 1.0 in Utrecht

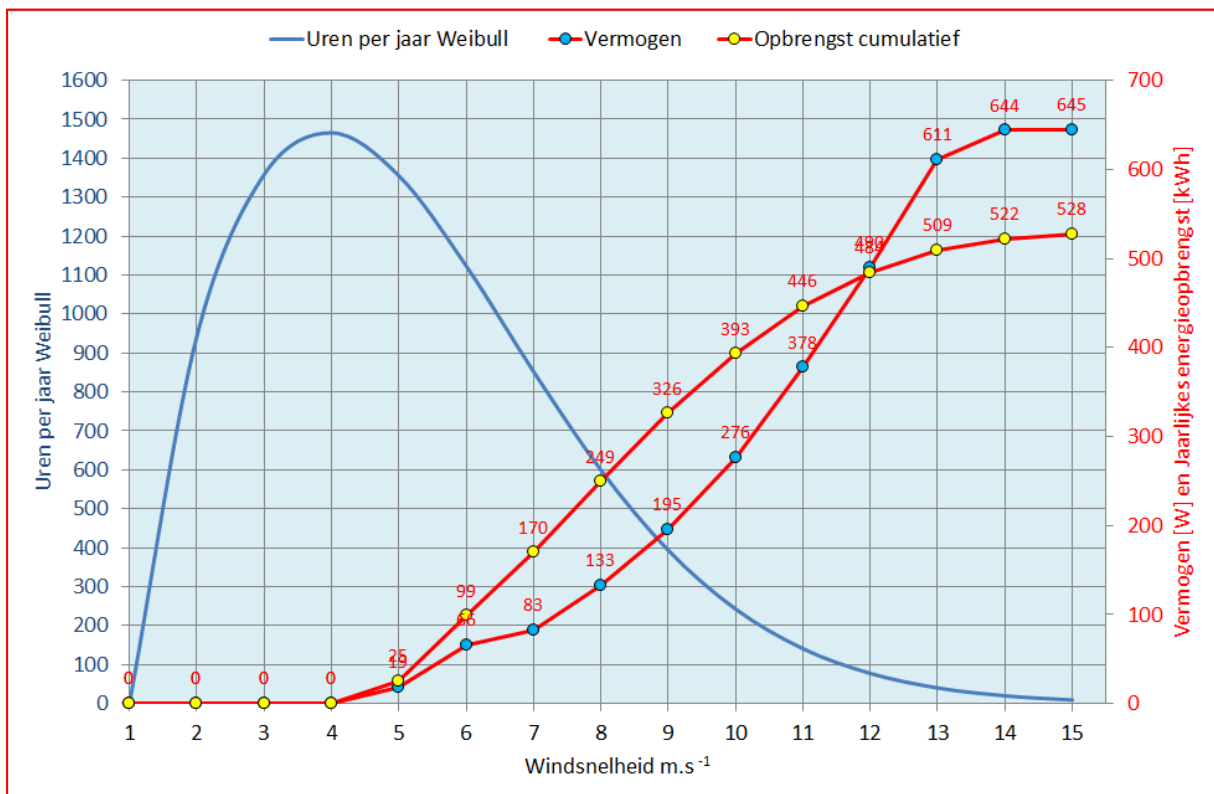
3.2 Raming van de prestaties

De gemiddelde windsnelheid op deze locatie is met behulp van de windviewer SDE+ voor een hoogte van 32 m bepaald op $4,74 \text{ m.s}^{-1}$.

De energieprestaties, berekend met de Weibull formule $f(U) = \frac{k}{a} \left(\frac{U}{a}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{U}{a}\right)^k\right)$

en de onderstaande gegevens is weergegeven in figuur 4. Omdat de vermogenscurve van figuur 3 niet juist is, zijn voor de prestatieberekening de wel betrouwbaar geachte C_{pow} waarden van de turbine DS 3000 gebruikt

$$H = 32 \text{ m} - U_{gem} = 4,74 \text{ m.s}^{-1} - k=1,75 - a=1,123*4,74 = 5,32 - \text{DS 700}$$



Figuur 4 – Vermogensberekening PowerNest 1.0 met VAWT DS 700

De berekende jaarlijkse opbrengst is 528 kWh waaruit een aantal vollasturen kan worden berekend van $(528/0,7) = 754$ per jaar.

De berekening is gebaseerd op vrije aanstroming rondom de turbine, hetgeen echter niet het geval is. Het PowerNest staat op de hoek van het dak en kan in feite alleen vanaf Zuidzuidwestelijke richting worden aangestroomd. Enerzijds zou de hoekopstelling een hogere versnellingsfactor voor deze windrichting kunnen opleveren, maar anderzijds is vanuit andere windrichtingen de opbrengst veel minder of nihil.

3.3 Effectieve windsnelheid

Bij plaatsing van een windturbine in het vrije veld is de effectieve windsnelheid over het turbineoppervlak in het algemeen gelijk aan de referentiewindsnelheid. Bij plaatsing in of op een gebouw moet rekening worden gehouden met enkele correctiefactoren, te weten:

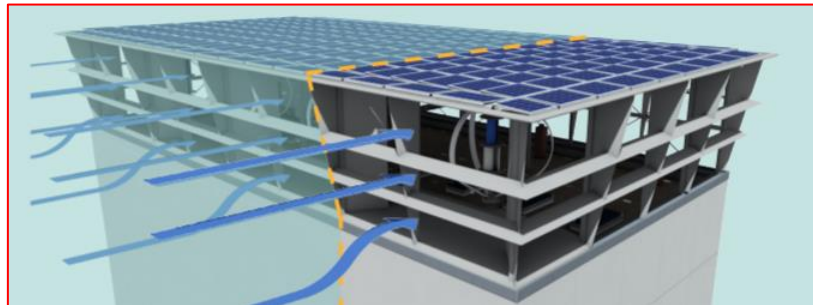
- Versnellingsfactor F_{ac} : De effectieve windsnelheid wordt hierbij versneld door venturiwerking of door een gekromde dakvorm.
- Blokkeerfactor F_{bl} : De effectieve windsnelheid wordt hierbij door de luchtweerstand van de constructie en door de ingebouwde windturbine verlaagd. De constructie blokkeert a.h.w. de vrije doorstroming, waarbij minder lucht door de turbine stroomt. Een deel van de luchtstroom wordt om de constructie heengeleid.

Beide factoren kunnen voor concrete gevallen met behulp van CFD worden berekend. Aangezien de energieproductie van windturbines evenredig is met de derdemacht van de windsnelheid zijn ze van groot belang voor de bepaling van de energieprestaties.

Voor het PowerNEST kan de vorm en de hellingshoek van de lamellen een positieve invloed hebben op de effectieve windsnelheid. Deze wordt echter naar alle waarschijnlijkheid sterk door de blokkeerfactor gereduceerd. Bij de voorgaande schattingen van de energieproductie is uitgegaan van $F_{ac} = 1,15$ en $F_{bl} = 0,9$ waardoor het totaaleffect ongeveer neutraal wordt verondersteld.

4 PowerNEST 2.0

Het modulair opgebouwde PowerNEST 2.0 wordt gepresenteerd als “Full Roof Solution” voor “The entire surface of the building”, waarbij meerdere modules op het dak worden gekoppeld- zie figuur 5.



Figuur 5 – PowerNest 2.0

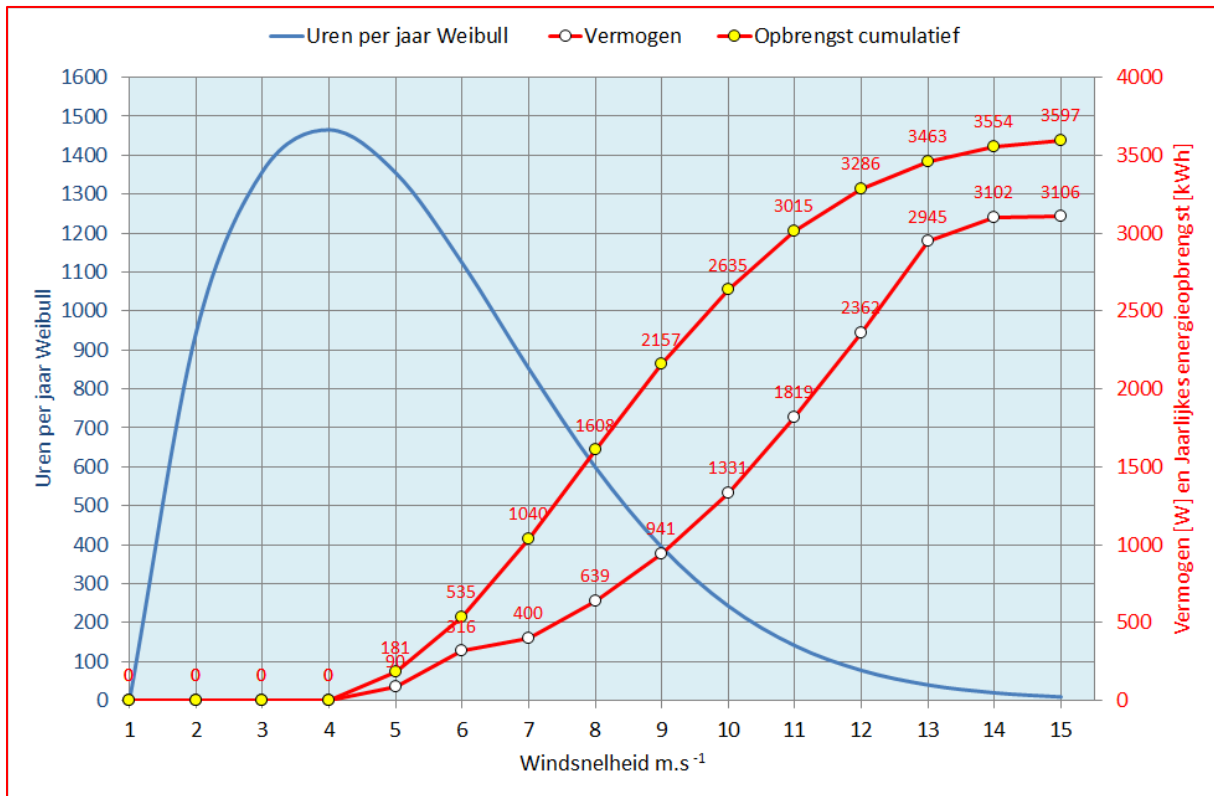
De langsgewel van het gebouw moet hierbij op de overheersende windrichting georiënteerd zijn, voor Nederland globaal tussen Noordwest en Zuidwest. Bij wind op de kopgevels staan de turbines in elkaars zog hetgeen uiteraard de energieprestaties negatief beïnvloedt. Het PowerNest 2.0 is dus niet windrichting onafhankelijk.

Interessant zijn de schuin naar buiten overhellende zijkanten waardoor de effectiviteit van de horizontale schoepen als windvanger wordt verbeterd. De versnellingsfactor F_{ac} wordt hierdoor in principe verbeterd. Tevens wordt het voor de zonnepanelen beschikbare dakoppervlak vergroot.

Gezien het geringe vermogen van de DS 700 turbine heeft Ibis Power besloten het PowerNest uit te rusten met een zwaardere turbine. Gekozen is voor een model DS 3000 van Hi-VAWT Technology Corp. met een vermogen van 3 kWp. Rotordiameter 4 m, rotorhoogte 4,16 m, geprojecteerd oppervlak 10,6 m². In tegenstelling tot de DS 700 turbine zijn voor deze turbine wel gecertificeerde opbrengstgegevens beschikbaar. Deze turbine veel groter dan de DS 700 in het PowerNest 1.0, en het PowerNest 2.0 is dan ook aanzienlijk groter dan het PowerNest 1.0.

De energieprestatie is op dezelfde wijze berekend als in paragraaf 3.2 aangegeven, echter met een versnellingsfactor $F_{ac} = 1,25$ en een blokkeerfactor $F_{bl} = 0,9$ - zie figuur 6. Bij de berekende jaaropbrengst van 3597 kWh is het aantal vollasturen ($3597/3$) ≈ 1200 per jaar.

De berekening is gebaseerd op vrije aanstroming rondom de turbine, hetgeen door de windrichting-afhankelijke uitvoering echter niet het geval is. Bij de raming van de opbrengst is dit effect buiten beschouwing gelaten.



Figuur 6 – Vermogensberekening PowerNest 2.0 met VAWT DS 3000

5 Zonne-energie

Op het PowerNEST 1.0 zijn mono kristallijne zonnepanelen geplaatst met een rendement van $\approx 20\%$ en een vermogen van 333 Wp. Op het PowerNEST 2.0 worden 45 zonnepanelen aangebracht- zie figuur 5- met een totaal vermogen van $(45 \cdot 333) \approx 15.000$ W_p

Bij 850 vollasturen per jaar is de jaarlijkse energieproductie van de zonnepanelen $(850 \cdot 15) = 12.750$ kWh $\equiv 12750/45 \approx 283$ kWh per paneel van 333 Wp. De vermogens degradatie van dergelijke panelen over een periode van 20 jaar kan worden gesteld op $\approx 1\%$ per jaar. Over 20 jaar gerekend is de gemiddelde jaarlijkse energieproductie $(0,9 \cdot 15000) \approx 13.500$ kWh.

45 horizontaal gelegde zonnepanelen, met afmetingen 1559 x 1046 mm, beslaan totaal een oppervlak van $(45 \cdot 1,559 \cdot 1,046) = 73,4$ m², waarmee het beschikbare dakoppervlak maximaal wordt benut.

Om zonnepanelen op een plat dak optimaal te laten presteren worden ze doorgaans onder een hoek van 13^o....30^o graden opgesteld, waardoor het aantal te plaatsen panelen kleiner wordt. De vrijwel horizontale plaatsing van de 45 panelen in het PowerNEST maakt het concept onafhankelijk van de oriëntatie en minder windgevoelig, hetgeen waarschijnlijk door de ontwerpers ook is beoogd. Hemelwater wordt afgevoerd via de spleten tussen de panelen.

Door de vrijwel horizontale plaatsing verliezen de zonnepanelen voor een deel hun zelfreinigende eigenschappen. Het (schoonmaak)onderhoud zal van onderaf moeten worden gebeuren.

6 Energieopbrengst Zon + Wind

Bij de omschreven uitgangspunten wordt de jaarlijkse energieopbrengst van het PowerNEST 2.0 met DS 3000 VAWT berekend op maximaal ≈ 13.500 kWh via PV-panelen en ≈ 3.600 kWh via de VAWT, totaal 17.100 kWh.

7 Kosten

7.1 Investeringskosten

Ibis Power wilde geen kostenopgave doen voor het PowerNest 1.0 en derhalve is hiervan *quick and dirty* een schatting gemaakt.

- Voor de zonnepanelen wordt uitgegaan van € 1.500 per kWp inclusief installatie, electronica en BTW. Totaal $15 * € 1.500 = € 22.500,-$
- Een turbine DS 3000 kost \$ 15.000,- fob Taiwan $\equiv € 13.000,-$ Inclusief shipping (10%), installatie (10%), elektronica (18%) en BTW (21%) worden de totale kosten geschat op € 20.000,-
- De kosten van het PowerNEST frame zijn moeilijk te schatten. Het gewicht van een complete module is volgens Ibis Power 9.000 kg. Het gewicht van 45 zonnepanelen is ca. 900 kg. Het gewicht van de turbine DS 3000 is 680 kg. Het gewicht van het PowerNEST frame is dan $(9000-900-680) = 7.420$ kg. Bij een geschatte prijs van € 3,- per kg zijn de kosten van de staalconstructie dan $\approx € 22.000,-$ excl. BTW. Inclusief transport en BTW wordt uitgegaan van een bedrag van € 28.000,-
- Rekening moet worden gehouden met tussentijdse vervanging van de omvormers à € 500,- per kWp excl. BTW . Inclusief installatie en BTW ca. € 700,-/kWp. Totaal $€ (15+3,6)*700 \approx € 13.000,-$

De totale kosten van het PowerNEST worden op basis hiervan als volgt geraamd:

- Zonnedak: € 22.500,-
- VAWT DS 3000: € 20.000,-
- PowerNest: € 28.000,-
- Totaal afgerond € 70.000,- inclusief BTW

7.2 Afschrijving, Rentelasten en Onderhoud

Bij lineaire afschrijving over een periode van 20 jaar zijn de jaarlijkse afschrijvingskosten	€ 3.500,-
Voor rentelasten te rekenen op 4% van het gemiddelde investeringsbedrag	€ 1.400,-
Voor onderhoud te rekenen op 2% van het investeringsbedrag	€ 1.400,-
Vervanging omvormers	<u>€ 1.300,-</u>
Totaal	€ 7.600,-

7.3 Prijs per kWh

De jaarlijkse energieopbrengst voor wind + zon is $(3600 + 13500) = 17.100$ kWh. De kWh prijs is dan $(7600/17100) \approx € 0,44$ inclusief BTW

Als de zonnepanelen rechtstreeks op het dak zouden worden aangebracht zijn de investeringskosten $\approx € 22.500,-$ en bedragen de kosten voor afschrijving, rentelasten en onderhoud bij dezelfde condities als vermeld in paragraaf 7.2 $\approx (1125+450+450+1050) = € 3.075,-$ Bij een jaarlijkse opbrengst van 13.500 kWh is dan de kWh prijs $(3075/13500) \approx € 0,23$ inclusief BTW. Hierbij moet wel worden aangetekend dat voor een zonnepark van 15 kWp een veel groter dakoppervlak nodig zou zijn.

8 Conclusie

Bij een kWh prijs van (zon+ wind) à € 0,44 en een kWh prijs van € 0,23 voor de zonne-energie sec is de kWh prijs van de windenergie sec $\approx € 0,86$.

Hieruit kan worden geconcludeerd dat de windenergie in het PowerNest in belangrijke mate wordt "*gesubsidieerd*" door de zonne-energie. Het opwekken van windenergie met behulp van het PowerNEST is in hoge mate onrendabel.

9 Referentie

Bronsema, B. 2013. *EARTH, WIND & FIRE NATUURLIJKE AIRCONDITIOING*. Proefschrift TU Delft – ISBN 978 90 5972 762 5 – zie ook Repository TU Delft (<https://repository.tudelft.nl>) earth, wind & fire: ben bronsema

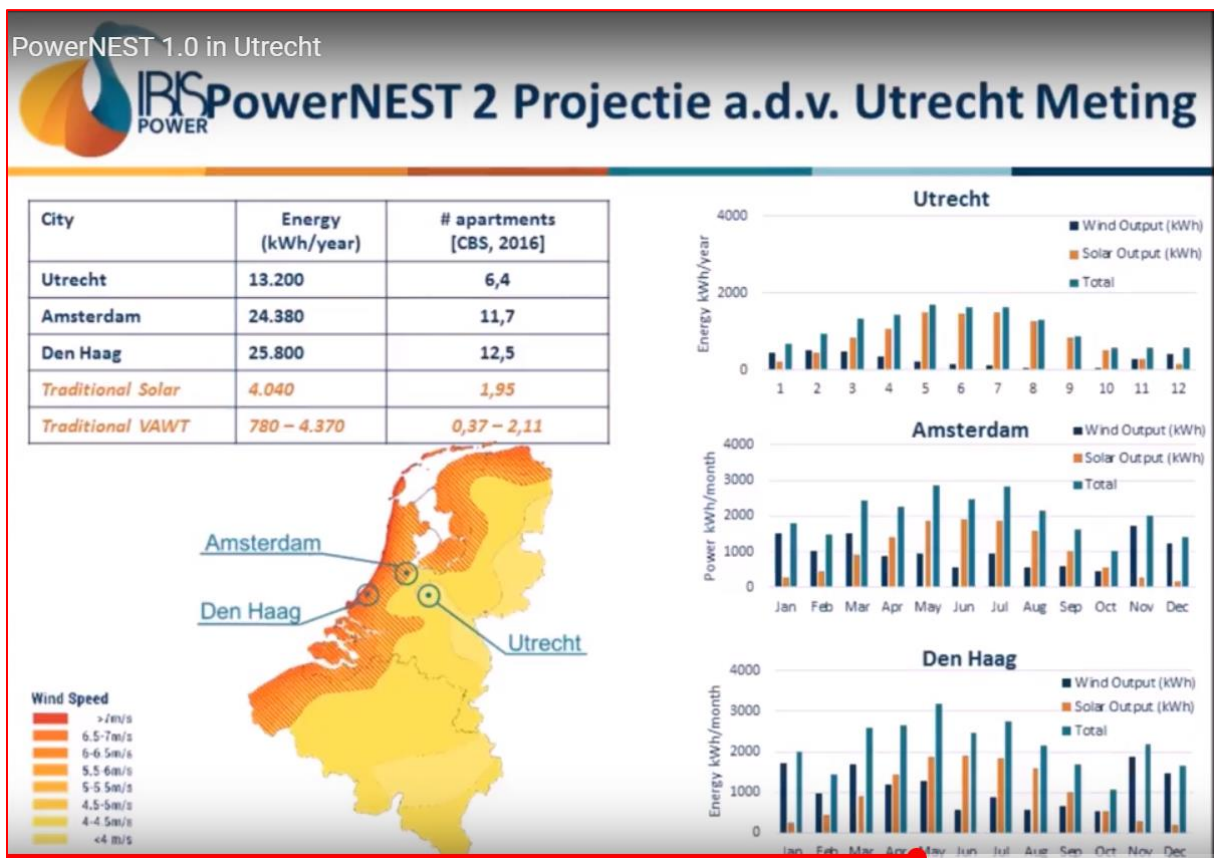
10 Addendum maart 2018

Ibis Power heeft resultaten bekend gemaakt van de energieprestaties van het PowerNest 1.0 in Utrecht, en deze voor het PowerNest 2 geëxtrapoleerd voor lokaties in Amsterdam en Rotterdam - zie onderstaand screenshot (<https://www.youtube.com/watch?v=b3pKNQZDs3Q>)

Voor de lokatie Utrecht wordt een totale jaarlijkse energieopbrengst Zon + Wind aangegeven van 13.200 kWh, hetgeen 3.900 kWh, ofwel $\approx 23\%$ minder is dan de berekende opbrengst van 17.100 kWh volgens paragraaf 6. Op basis van het staafdiagram rechtsboven kan de totale opbrengst globaal worden verdeeld in ≈ 10.000 kWh PV en 3.200 kWh VAWT. Het laatste getal komt redelijk overeen met de berekende waarde van 3.600 kWh. De vermelde PV-opbrengst daarentegen lijkt wel erg pessimistisch.

Bij dezelfde kosten als vermeld in paragraaf 7 komt de kWh-prijs dan uit op $(7.600/13.200) = \text{€ } 0,58$ inclusief BTW. Bij een kWh-prijs van (zon+ wind) à $\text{€ } 0,58$ en een kWh prijs van $\text{€ } 0,23$ voor de zonne-energie sec is de kWh prijs van de windenergie sec $\approx \text{€ } 1,67$. De conclusie dat het PowerNest in hoge mate onrendabel is, wordt hierdoor bevestigd, althans voor de lokatie en hoogte in Utrecht.

Voor de lokatie Amsterdam word een jaarlijkse opbrengst aangegeven van 24.380 kWh. Uitgaande van een jaarlijkse PV-opbrengst van 10.350 kWh⁶ zou de VAWT dan $(24.380 - 10.350) = 14.030$ kWh moeten leveren, $(14.030/3.168) \approx 4,4$ x zoveel als in Utrecht. Dit is echter onwaarschijnlijk! Volgens de Windviewer SDE+ is de gemiddelde windsnelheid op de lokatie Utrecht $4,74 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en voor de lokatie Amsterdam $5,31 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Globaal genomen zou de windopbrengst dan $(5,31/4,74)^3 \approx 1,4$ x zoveel kunnen zijn als in Utrecht.



Screenshot <https://www.youtube.com/watch?v=b3pKNQZDs3Q>

⁶ Amsterdam heeft iets meer zonuren dan Utrecht

