

Bosch & van Rijn

Groenmarktstraat 56
3521 AV Utrecht
030 – 677 6466

Auteurs

Steven Velthuijsen MSc.

Opdrachtgever

De Plaet BV



Opbrengstberekening Piet de Wit

t.b.v. MER



Opbrengstberekening Piet de Wit

t.b.v. MER

Datum
23-3-2018

Versie
CONCEPT v4

Bosch & Van Rijn
Groenmarktstraat 56
3521 AV Utrecht

Tel: 030-677 6466
Mail: info@boschenvanrijn.nl
Web: www.boschenvanrijn.nl

© Bosch & Van Rijn 2018

Behoudens hetgeen met de opdrachtgever is overeengekomen, mag in dit rapport vervatte informatie niet aan derden worden bekendgemaakt. Bosch & Van Rijn BV is niet aansprakelijk voor schade door het gebruik van deze informatie

Inhoudsopgave

HOOFDSTUK 1	INLEIDING	3
1.1	<i>Inleiding</i>	3
1.2	<i>Windturbintypes</i>	3
1.3	<i>Voorkeursalternatief</i>	5
HOOFDSTUK 2	BEREKENING	6
2.1	<i>Inleiding</i>	6
2.2	<i>Windsnelheid</i>	6
2.3	<i>Vermogen</i>	7
HOOFDSTUK 3	VOORKEURALTERNATIEF	9
3.1	<i>Windaanbod</i>	9
3.2	<i>Vermogen</i>	9
HOOFDSTUK 4	RESULTATEN	10
4.1	<i>Bruto-productie</i>	10
4.2	<i>Netto-productie</i>	10
4.3	<i>Mitigatie slagschaduw</i>	11
HOOFDSTUK 5	CONCLUSIE	13
BIJLAGE A	IN- EN UITVOERGEGEVENS	14

Hoofdstuk 1 Inleiding

1.1 Inleiding

In het MER voor windpark Piet de Wit worden drie MER-alternatieven vergeleken met elkaar en met een referentiesituatie (het bestaande windpark) op het gebied van diverse milieueffecten. Een daarvan is de elektriciteitsproductie. Om de inrichtingsalternatieven met elkaar te kunnen vergelijken is in dit document een gefundeerde schatting gemaakt van de jaarlijkse elektriciteitsproductie van elk alternatief.

Voor het bepalen van de elektriciteitsproductie is een aantal invoergegevens van belang:

- Windsnelheidsverdeling op ashoogte; hiervoor is gebruik gemaakt van de windstudie die Bosch & van Rijn uitvoerde in opdracht van de initiatiefnemers¹.
- Windturbinetypen: per alternatief is een type bekend waarvoor de productie is berekend.
- Power curve van de windturbines; fabrikanten van windturbines publiceren gegevens over hoeveel vermogen een windturbine levert bij elke windsnelheid.

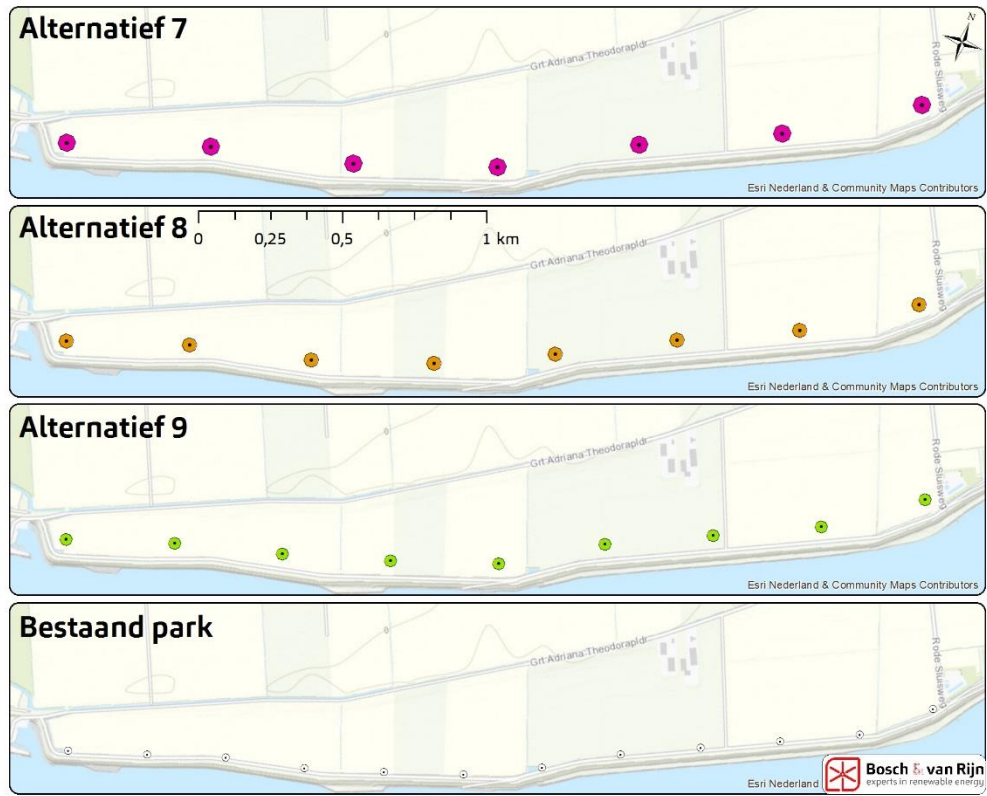
Op basis van de resultaten van de diverse sectorale onderzoeken i.h.k.v. de m.e.r. is een voorkeursalternatief geformuleerd. Ook hiervoor is de berekening uitgevoerd.

1.2 Windturbinetypen

Het MER beschouwt drie alternatieven, die met name verschillen door het aantal windturbines, en daarmee ook verschillen in turbinelocaties en afmetingen (zie figuren en tabel hieronder).

¹ E. Jaarsma, *Windstudie Windpark Piet de Wit, windstudie ten behoeve van de opschaling van Windpark Piet de Wit, Ooltgensplaat, Goeree-Overflakkee, januari 2017.*

Figuur 1 MER-alternatieven van windpark Piet de Wit.

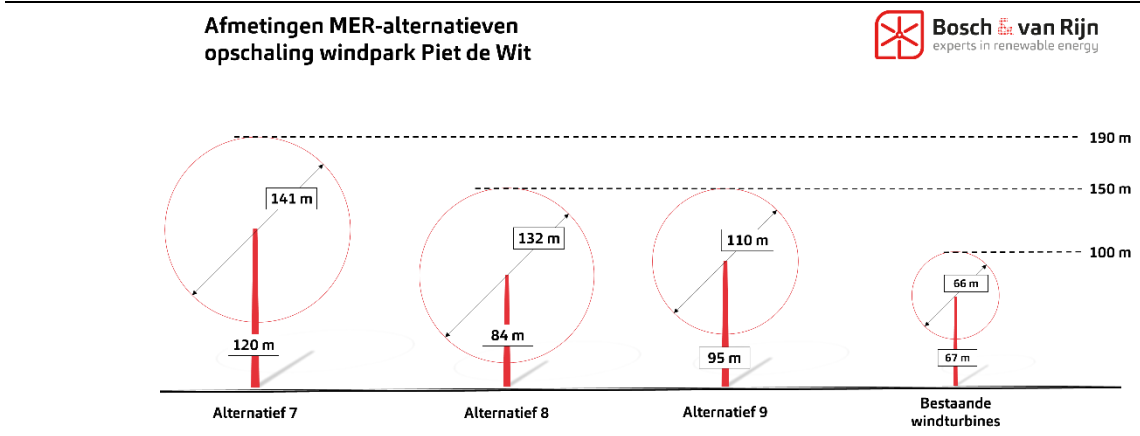


Tabel 1 MER-alternatieven. Zie ook hoofdstuk 6.4 in het MER.

	Alternatief 7	Alternatief 8	Alternatief 9	Referentie
Aantal windturbines	7	8	9	12
Afmetingen				
Ashoogte (m)	120 (= max)	84 (=min)	95	67
Rotordiameter (m)	141 (=max)	132	110 (=min)	66
Tiphoogte (m)	191*	150	150	100
Onderlinge afstand (m)	500	429	375	273
Onderlinge afstand (aantal D)	3,5	3,2	3,4	4,1

* Deze tiphoogte is niet toegestaan op Goeree. Voor de volledigheid en conform de NRD bevat het MER wel een dergelijk alternatief.

Figuur 2 Schematische weergave van de afmetingen van de MERalternatieven.



1.2.1 Windturbinetypes

Per alternatief is een windturbinetype geselecteerd dat representatief is voor de betreffende klasse van windturbines.

Alternatief	Windturbinetype	Vermogen (MW)	Parkvermogen (MW)
Referentie	Vestas V66-1,75 MW	1,75	21,0
Alternatief 7	Enercon E-141 EP4 4200	4,20	29,4
Alternatief 8	Gamesa G132-3465	3,47	28,0
Alternatief 9	Siemens SWT-2.3-113 ²	2,30	22,5

1.3 Voorkeursalternatief

Mede op basis van de eerste resultaten van de onderzoeken naar de MER-alternatieven is een voorkeursalternatief bepaald, dat bestaat uit 7 windturbines (dezelfde posities als Alternatief 7) die qua afmetingen binnen de volgende bandbreedte moeten vallen:

- Tiphoogte: <150 meter
- Rotordiameter: 115 - 136 meter
- Ashoogte (volgt uit het bovenstaande): 82 - 92,5 meter.

Om de opbrengst van deze uiterste afmetingen van het voorkeursalternatief te berekenen (en te vergelijken met de MER-alternatieven) beschouwen we de volgende types:

Alternatief	Windturbinetype	Ash. / Rotordiam. (m)	Parkvermogen (MW)
VKA onder	Enercon E-115 3MW	92,5/115	21
VKA boven	Vestas V136-3,6 MW	82/136	25,2

² Er zijn op dit moment geen windturbines verkrijgbaar met de precieze afmeting en vermogen zoals voor Alternatief 9 opgenomen in Figuur 2. Het geselecteerde type kan evenwel als representatief worden gezien voor de klasse windturbines met een vermogen van rond de 2,5 MW en een rotordiameter van rond de 110 meter.

Hoofdstuk 2 Berekening

2.1 Inleiding

De verwachte jaargemiddelde elektriciteitsproductie is te berekenen met de jaargemiddelde windsnelheidsverdeling³ van de windturbines en de zogenaamde 'power curve' die aangeeft hoeveel vermogen een bepaalde windturbine levert bij elke windsnelheid.

2.2 Windsnelheid

Op basis van een windstudie die gebruik maakt van KNMI-gegevens en productie-data van het bestaande windpark Piet de Wit is het windaanbod op de locatie bepaald.⁴

Door de auteur van de windstudie zijn ten behoeve van de geluidsstudie bij het MER ook de Weibull-parameters berekend van de windsnelheidsverdelingen op de ashoogten 67, 80, 90 en 120 meter.

Vervolgens is door middel van lineaire interpolatie van de 'Weibull-parameters' de windsnelheidsverdeling op 84 en 95 meter bepaald.

De 'Weibull-verdeling' is een goede benadering voor een windsnelheidsverdeling. Deze heeft de vorm:

$$f(v) = \frac{k}{A} \left(\frac{v}{A}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{v}{A}\right)^k\right),$$

Waarin v: de windsnelheid (m/s),
A: de Weibull-schaalfactor (m/s), een maat voor de karakteristieke windsnelheid;
K: de Weibull-vormfactor, een maat voor de vorm van de verdeling, met een waarde tussen 1 en 3. Een kleine waarde voor k leidt tot een brede piek (veel verschillende windsnelheden). Een grote k (smalle piek) leidt tot een constanter windaanbod.

Door de verschillende Weibull-parameters in te vullen in bovenstaande functie vinden we een voorspelling van de windsnelheidsverdeling op deze locatie, op de verschillende hoogten.

³ Een windsnelheidsverdeling zegt hoe vaak elke windsnelheid naar verwachting voorkomt.

⁴ E. Jaarsma, *Windstudie Windpark Piet de Wit, windstudie ten behoeve van de opschaling van Windpark Piet de Wit, Ooltgensplaat, Goeree-Overflakkee, januari 2017.*

Tabel 2 Windsnelheidsgegevens op relevante ashoogtes. Bron: Windstudie Bosch & van Rijn.

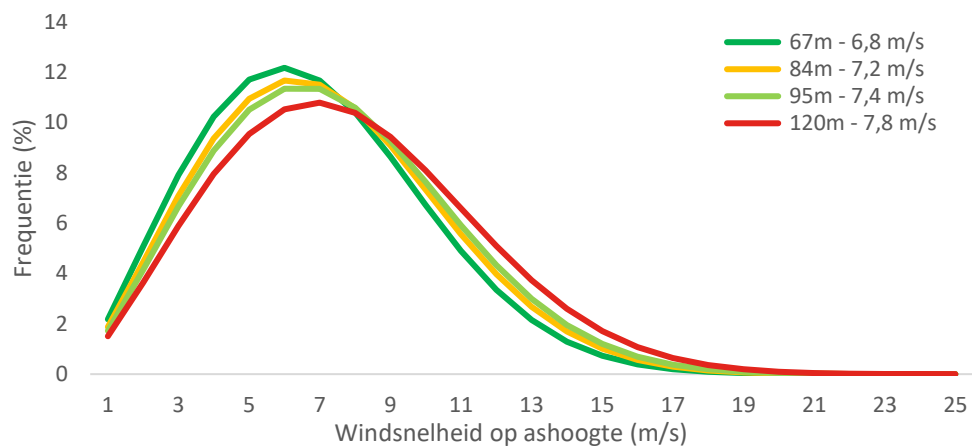
Ashoogte (m)	Weibull-A (m/s)	Weibull-k	gem. windsnelheid (m/s)
67	7,7	2,27	6,83
84	8,1	2,30	7,16
95	8,3	2,31	7,36
120	8,8	2,31	7,80

Ter vergelijking zijn ook de gemiddelde windsnelheden uit GeoMilieu bepaald, om te zien hoeveel de hierboven beschreven methode afwijkt van de 'standaard' aanpak zoals beschreven in de Activiteitenregeling (artikel 3.14b en bijlage 4, paragraaf 3.4.3).

Tabel 3 Verschil in de verwachte gemiddelde windsnelheid tussen 'standaard' methode o.b.v. landelijk KNMI-rekenmodel en de windstudie die voor deze locatie is uitgevoerd.

Ashoogte (m)	Gem. windsnelheid		verschil
	volgens KNMI-model (m/s)	volgens windstudie (m/s)	
67	niet beschikbaar	6,83	
84	7,03	7,16	+2%
95	7,16	7,36	+3%
120	7,47	7,80	+4%

Uit de windstudie blijkt dus dat het op deze locatie iets harder waait dan het KNMI-model aangeeft.

Figuur 3 Windsnelheidsverdelingen, op basis van de Weibull-factoren uit bovenstaande tabel.


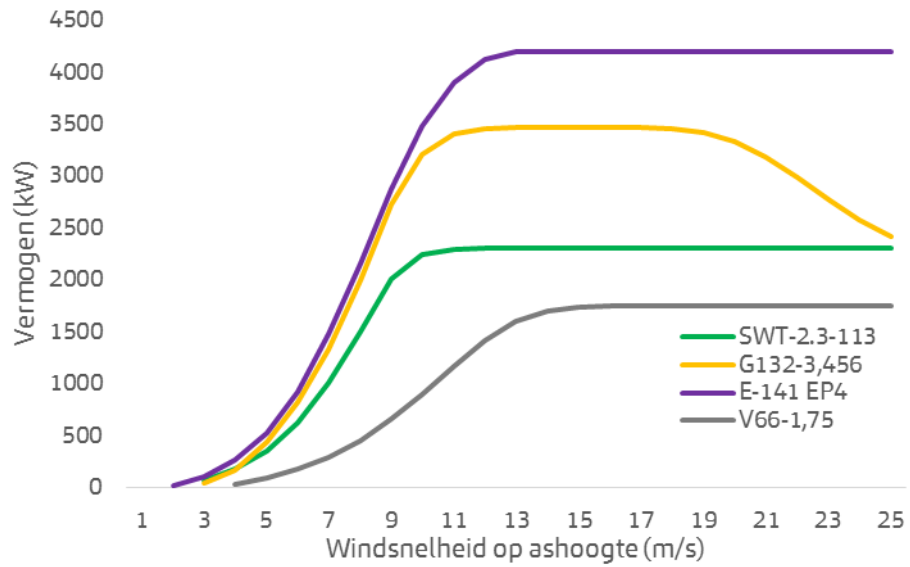
Voor het onderscheid tussen dag-, avond- en nachtperioden wordt alsnog gebruik gemaakt van de KNMI-gegevens, door per periode en per windsnelheid de procentuele afwijking van de etmaalwaarde toe te passen op de windsnelheidsgegevens uit de windstudie.

2.3 Vermogen

Elk windturbintype heeft een power curve, waaruit blijkt welk vermogen de windturbine heeft bij elke windsnelheid.

Zoals blijkt uit de figuur bereiken de windturbines hun maximale vermogen bij een windsnelheid van ca. 11-14 m/s op ashoogte.

Figuur 4 Power curves van de drie onderzochte windturbintypes.



Hoofdstuk 3 Voorkeursalternatief

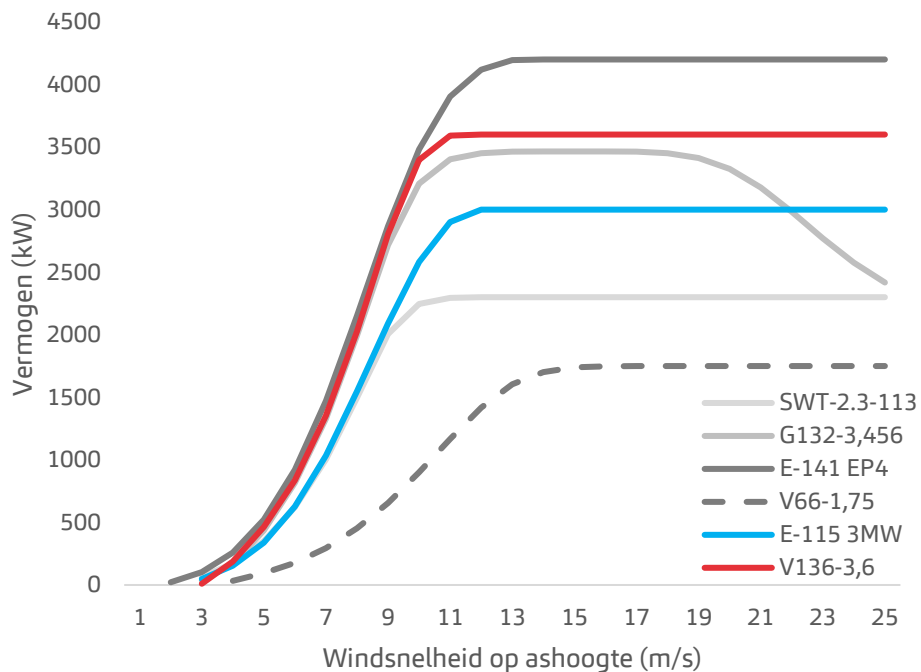
3.1 Windaanbod

Voor de boven- en ondergrens van het VKA (ashoogte respectievelijk 82 en 92,5 meter) zijn de windsnelheidsverdelingen op 80 en 90 meter gebruikt. Dit geeft een geringe *onderschatting* van de energieproductie.

3.2 Vermogen

De power curves van het voorkeursalternatief zijn in onderstaande figuur toegevoegd:

Figuur 5 Power curves van de onder- en bovenvariant van het VKA (blauw en rood). De MER-alternatieven zijn grijs herhaald.

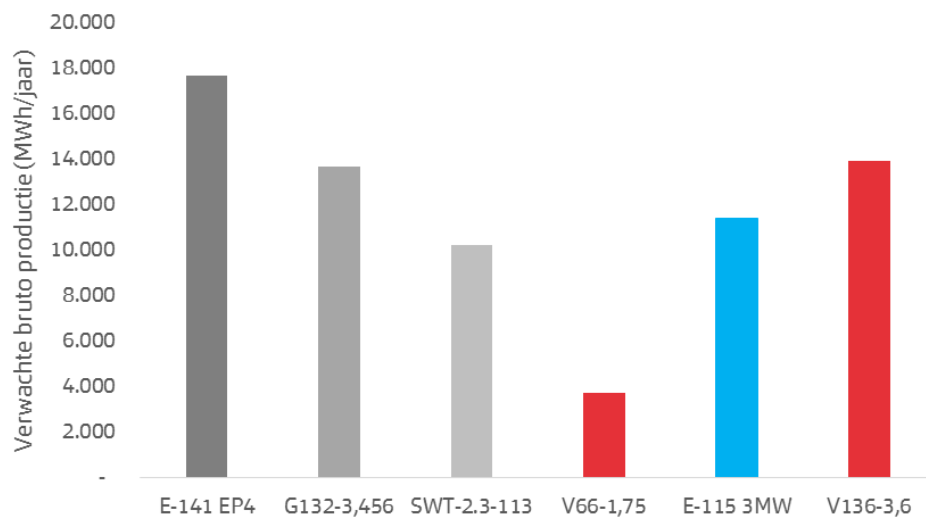


Hoofdstuk 4 Resultaten

4.1 Bruto-productie

Door voor elke windsnelheid het aantal verwachte uren in een jaar te vermenigvuldigen met het bij die windsnelheid horende vermogen is de bruto jaarproductie van elke windturbine te berekenen. Onderstaande tabel toont deze bruto productie per windturbine en per park.

Figuur 6 Bruto productie (per windturbine) van de onderzochte windturbinetypes.



Zie ook Bijlage A.

4.2 Netto-productie

De netto jaarproductie van de MER-alternatieven en het voorkeursalternatief is vervolgens berekend door de bruto productie te vermenigvuldigen met het aantal windturbines en een afslag te doen van 15% op de bruto productie. Deze afslag is een schatting die termen bevat voor parkverliezen, onderhoud, storing en transportverliezen.

N.B. 15% als werkelijke waarde voor de afslag is aan de hoge kant. Daarnaast hebben verschillende MER-alternatieven opstellingen verschillende zog-effecten. Omdat alternatieven met grotere rotordiameter ook verder uit elkaar staan is dit effect evenwel niet van groot belang bij het vergelijken van de alternatieven. Voor het voorkeursalternatief is gerekend met een iets lagere afslag, doordat de onderlinge

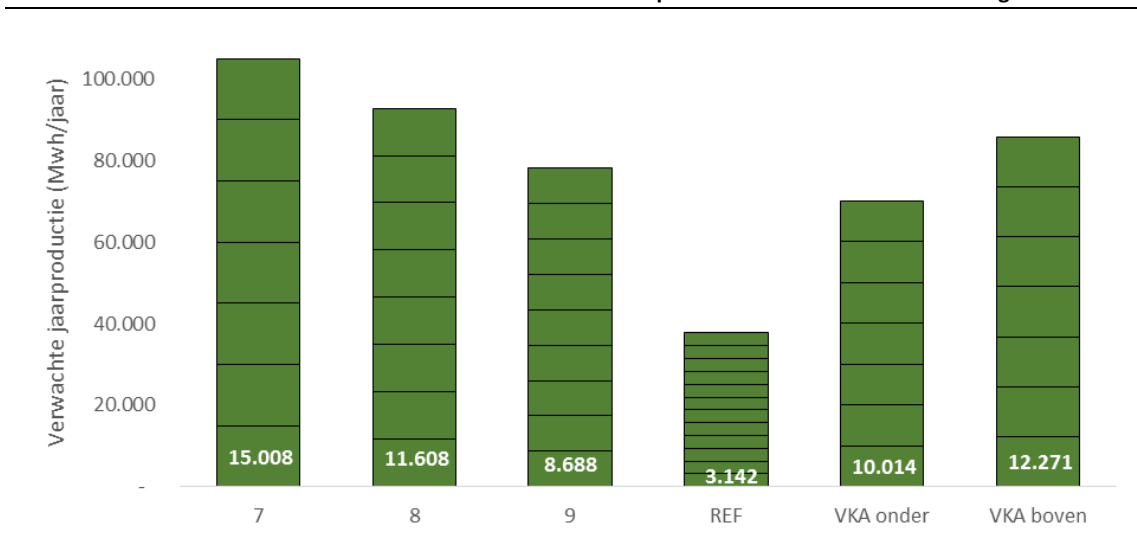
afstand van zowel onder- als bovenvariant kleiner is ten opzichte van de rotordiameter.

In een later stadium zal, ten behoeve van de financiële voorbereiding van een investeringsbeslissing, een uitgebreidere analyse gemaakt worden van de verwachte jaarproductie van de voorgenomen opstelling.

Tabel 4 **Netto-productie per alternatief**

Alternatief	Type	Aantal	Afslag	Vermogen (MW)		Productie (MWh/jaar)	
				per wtbt	park	per wtbt	park
Referentie	V66-1,75	12	15%	1,75	21,0	3.142	37.700
7	E-141 EP4	7	15%	4,2	29,4	15.008	105.100
8	G132-3,456	8	15%	3,456	28,0	11.608	92.900
9	SWT-2.3-113	9	15%	2,3	22,5	8.688	78.200
VKA onder	E-115 3MW	7	12%	3,0	21,0	10.014	70.100
VKA boven	V136-3,6	7	12%	3,6	25,2	12.271	85.900

Figuur 7 **Netto productie van de onderzochte alternatieven. De staven zijn onderverdeeld in het aantal windturbines waar elk alternatief uit bestaat. De nettoproductie van 1 windturbine is witgedrukt.**



Zie ook Bijlage A.

4.3 Mitigatie slagschaduw

Voor slagschaduw is bekend hoeveel uur de windturbines van elk alternatief per jaar moeten stilstaan om aan de norm te voldoen. In dit onderzoek maken we de aanname dat deze stilstand niet gerelateerd is aan de windsnelheid. Daardoor kunnen we de totale stilstand vermenigvuldigen met de windsnelheidsverdeling en de power curve om de mitigatieverliezen te berekenen.

De benodigde stilstand is berekend in het slagschaduwrapport dat ook een bijlage is bij het MER.

Tabel 5 Benodigde stilstand in uren per jaar om normoverschrijding a.g.v. slagschaduw te voorkomen, en de bijbehorende mitigatieverliezen (derving) in MWh/jaar en als percentage van de productie.

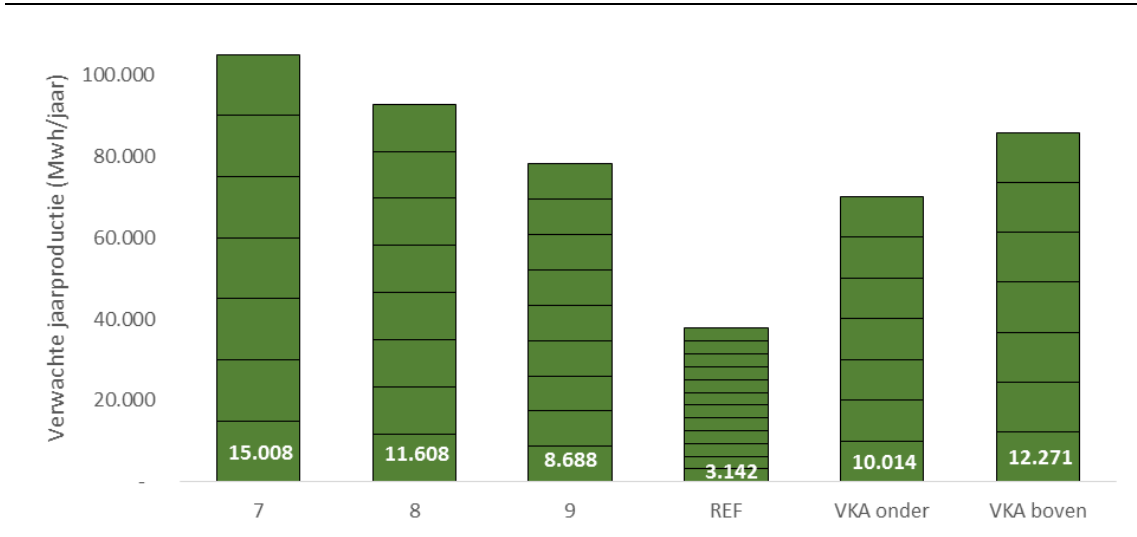
Alternatief	Type	Stilstand (uren/jaar)	Derving (MWh/jaar)	Derving (%)
Referentie	V66-1,75	00:36	-	-
7	E-141 EP4	130:10	223	0,2%
8	G132-3,456	62:18	82	0,1%
9	SWT-2.3-113	49:21	49	0,1%
VKA onder	E-115 3MW	48:11	54	0,1%
VKA boven	V136-3,6	55:15	82	0,1%

Hoofdstuk 5 Conclusie

In dit rapport is van 3 MER-alternatieven de verwachte jaaropbrengst berekend op basis van het lokale windaanbod en de power curves van de fabrikanten. Dezelfde berekening is ook uitgevoerd voor het huidige windpark en het voorkeursalternatief.

De resultaten staan samengevat in onderstaande figuur.

Figuur 8 Opbrengst in MWh/jaar van de drie MER-alternatieven, de referentiesituatie en het voorkeursalternatief. In de grafiek is ook de netto-productie per wtb weergegeven (in wit).



Doordat de windturbines soms stilgezet moeten worden om normoverschrijdende slagschaduw te voorkomen treedt er enige derving op. Deze is voor alle alternatieven gering (0,1 - 0,2% van de totale productie).

Bijlage A In- en uitvoergegevens

Tabel 6 Windsnelheidsverdeling, power curve en productie.

vhub	Windsnelheidsverdeling (%)				Power curves						Bruto productie						
	m/s	67m	84m	95m	120m	E-141	G132	SWT-2.3	V66	E-115	V136	E-141	G132	SWT-2.3	V66	E-115	V136
1	2,2	1,9	1,7	1,5								0	0	0	0	0	0
2	5,1	4,5	4,2	3,6	22							7	0	0	0	0	0
3	7,9	7,1	6,7	5,9	104	37	66		49	10		54	23	39	29	6	29
4	10,2	9,4	8,9	7,9	260	169	171	33	155	186		181	139	133	124	156	124
5	11,7	10,9	10,5	9,5	523	434	352	94	339	463		438	416	324	318	451	318
6	12,2	11,7	11,3	10,5	920	816	623	178	627	838		848	835	619	633	865	633
7	11,7	11,5	11,3	10,8	1.471	1.327	1.002	294	1.035	1.353		1.391	1.338	996	1.038	1.368	1.038
8	10,4	10,6	10,6	10,4	2.151	1.994	1.497	452	1.549	2.025		1.958	1.847	1.389	1.440	1.869	1.440
9	8,6	9,1	9,3	9,4	2.867	2.718	2.005	655	2.090	2.805		2.370	2.164	1.629	1.687	2.212	1.687
10	6,7	7,3	7,6	8,1	3.481	3.208	2.246	900	2.580	3.398		2.471	2.062	1.503	1.699	2.147	1.699
11	4,9	5,6	5,9	6,6	3.903	3.402	2.296	1.167	2.900	3.591		2.255	1.659	1.192	1.466	1.709	1.466
12	3,4	4,0	4,3	5,1	4.119	3.452	2.300	1.418	3.000	3.600		1.837	1.202	873	1.096	1.213	1.096
13	2,2	2,7	3,0	3,7	4.196	3.463	2.300	1.603	3.000	3.600		1.371	811	602	746	808	746
14	1,3	1,7	1,9	2,6	4.200	3.465	2.300	1.702	3.000	3.600		955	513	392	478	507	478
15	0,7	1,0	1,2	1,7	4.200	3.465	2.300	1.739	3.000	3.600		631	306	241	289	299	289
16	0,4	0,6	0,7	1,1	4.200	3.465	2.300	1.748	3.000	3.600		396	171	139	164	166	164
17	0,2	0,3	0,4	0,6	4.200	3.463	2.300	1.750	3.000	3.600		236	90	76	88	87	88
18	0,1	0,1	0,2	0,4	4.200	3.452	2.300	1.750	3.000	3.600		133	45	39	44	43	44
19	0,0	0,1	0,1	0,2	4.200	3.413	2.300	1.750	3.000	3.600		71	21	19	21	20	21
20	0,0	0,0	0,0	0,1	4.200	3.325	2.300	1.750	3.000	3.600		36	9	9	9	8	9
21	0,0	0,0	0,0	0,0	4.200	3.176	2.300	1.750	3.000	3.600		17	3	4	4	3	4
22	0,0	0,0	0,0	0,0	4.200	2.982	2.300	1.750	3.000	3.600		8	1	1	2	1	2
23	0,0	0,0	0,0	0,0	4.200	2.771	2.300	1.750	3.000	3.600		3	0	1	1	0	1
24	0,0	0,0	0,0	0,0	4.200	2.576	2.300	1.750	3.000	3.600		1	0	0	0	0	0
25	0,0	0,0	0,0	0,0	4.200	2.418	2.300	1.750	3.000	3.600		1	0	0	0	0	0
gem.	6,8	7,2	7,4	7,8	Bruto productie (MWh/jaar)						17.657	13.657	10.221	3.693	11.377		
					Netto productie (bruto min 15%)						15.008	11.608	8.688	3.139	9.670		
					Vollasturen (uren/jaar)						3.573	3.350	3.777	1.794	3.223	3.291	



Bosch & van Rijn
experts in renewable energy

Groenmarktstraat 56
3521 AV Utrecht
www.boschenvanrijn.nl

