

**Bosch & van Rijn**

Groenmarktstraat 56  
3521 AV Utrecht  
030 – 677 6466

**Auteurs**

Steven Velthuijsen MSc.

**Opdrachtgever**

WP Oude Mol BV



# Opbrengstberekening WP Oude Mol

t.b.v. MER



# Opbrengstberekening WP Oude Mol

## t.b.v. MER

Datum  
19-12-2018

Versie  
0.2

Bosch & Van Rijn  
Groenmarktstraat 56  
3521 AV Utrecht

Tel: 030-677 6466  
Mail: [info@boschenvanrijn.nl](mailto:info@boschenvanrijn.nl)  
Web: [www.boschenvanrijn.nl](http://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

<b>HOOFDSTUK 1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>3</b>
1.1	<i>Inleiding</i>	3
1.2	<i>Windturbinetypes</i>	3
1.3	<i>Voorkeursalternatief</i>	5
<b>HOOFDSTUK 2</b>	<b>BEREKENING</b>	<b>6</b>
2.1	<i>Inleiding</i>	6
2.2	<i>Windsnelheid</i>	6
2.3	<i>Vermogen</i>	6
<b>HOOFDSTUK 3</b>	<b>VOORKEURALTERNATIEF</b>	<b>8</b>
3.1	<i>Windaanbod</i>	8
3.2	<i>Vermogen</i>	8
<b>HOOFDSTUK 4</b>	<b>RESULTATEN</b>	<b>9</b>
4.1	<i>Bruto-productie</i>	9
4.2	<i>Netto-productie</i>	9
4.3	<i>Mitigatie slagschaduw</i>	11
<b>HOOFDSTUK 5</b>	<b>CONCLUSIE</b>	<b>12</b>
<b>BIJLAGE A</b>	<b>IN- EN UITVOERGEGEVENS</b>	<b>13</b>

# Hoofdstuk 1 Inleiding

## 1.1 Inleiding

---

In het MER voor windpark Oude Mol worden vijf MER-alternatieven vergeleken met elkaar en met een referentiesituatie (het bestaande windpark Clothildis) 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:

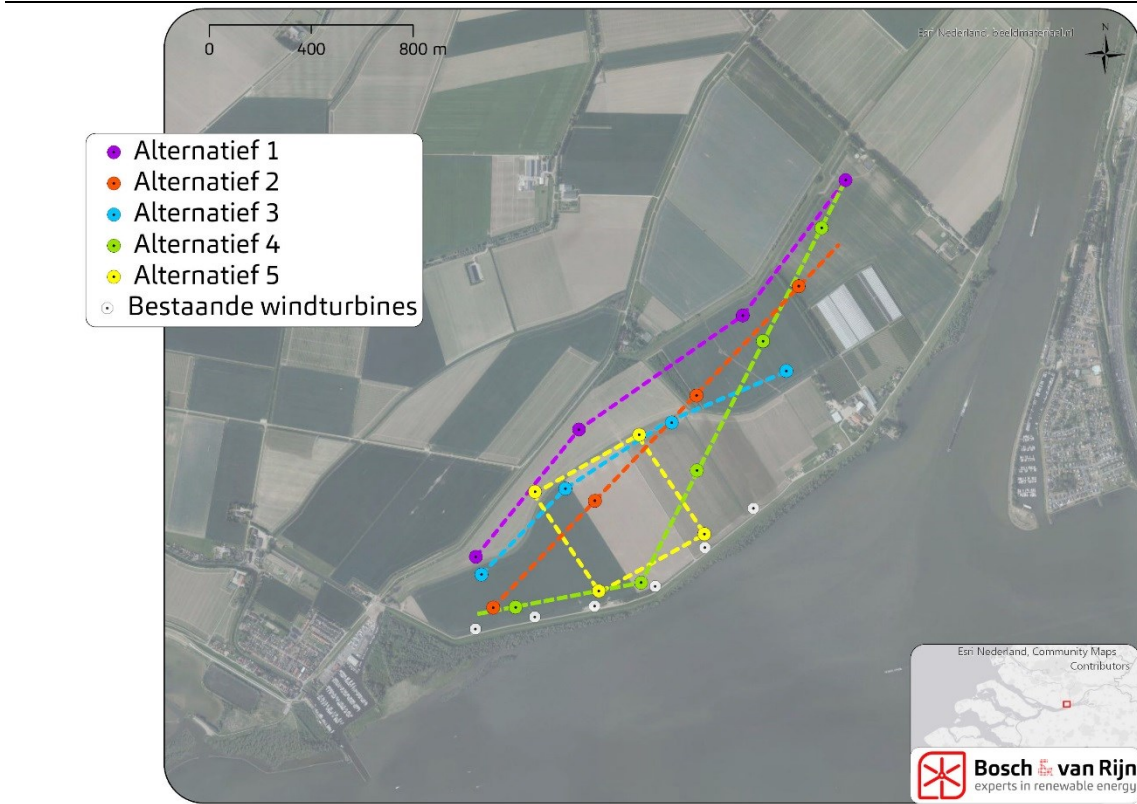
- Windsnelheidsverdeling op ashoogte; hiervoor is gebruik gemaakt van de KNMI-database met langjarige gemiddelde windsnelheden op ashoogte (HIRLAM). Omdat deze database tot een maximale ashoogte van 120 meter gaat is voor alternatieven 1 en 2 (met ashoogte 130 meter) een extrapolatie uitgevoerd.
- Windturbinetypen: 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

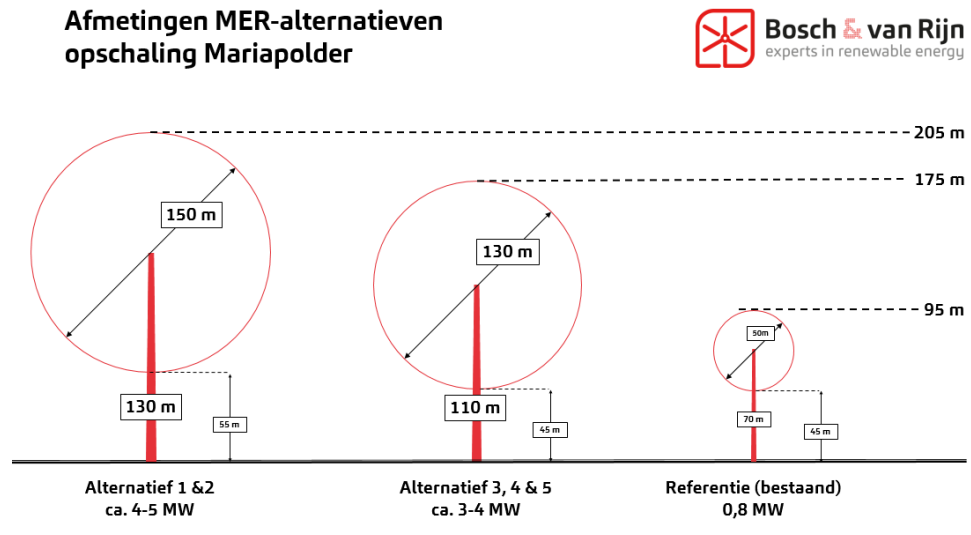
---

Het MER beschouwt vijf alternatieven, die verschillen door het aantal windturbines, de windturbinelocaties en afmetingen (zie figuren en tabel hieronder).

**Figuur 1 MER-alternatieven van windpark Piet de Wit.**

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

Alternatief	Ref.	1	2	3	4	5
Naam	WP Clothildis	Langs binnendijk	Rechte lijn	Langs de Oude Mol	Knik van 5	Cluster
Aantal windturbines	6	4	4	4	5	4
Ashoogte (m)	70	130	130	110	110	110
Rotordiameter (m)	50	150	150	130	130	130
Tiphoogte (m)	95	205	205	175	175	175
Ondertiphoogte (m)	45	55	55	45	45	45
Tussenafstand (m)	250	675	575	475	500	475
Afstand (aantal D)	5,0	4,5	3,8	3,7	3,8	3,7
Fabrikant	Nordex	Vestas	Vestas	Nordex	Nordex	Nordex
Type	N50	V150-4.2	V150-4.2	N131/3900	N131/3900	N131/3900
Vermogen (MW)	0,8	4,2	4,2	3,9	3,9	3,9
Parkvermogen (MW)	4,8	16,8	16,8	15,6	19,5	15,6
Max. bronsterkte (dB)	107	104,9	104,9	106,2	106,2	106,2

**Figuur 2** Schematische weergave van de afmetingen van de MERalternatieven.



### 1.3 Voorkeursalternatief

Mede op basis van de eerste resultaten van de onderzoeken naar de MER-alternatieven is een voorkeursalternatief bepaald, dat bestaat uit 4 windturbines in een clusteropstelling die qua afmetingen binnen de volgende bandbreedte moeten vallen:

- Tiphoogte: maximaal 210 meter
- Rotordiameter: 130-160 meter
- Ashoogte: 110-140 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	Windturbintype	Ash. / Rotordiam. (m)	Parkvermogen (MW)
VKA onder	GE Wind 3.4-130	110/130	15,6
VKA boven	GE Wind 4.8-158	140/158	19,2

# Hoofdstuk 2 Berekening

## 2.1 Inleiding

---

De verwachte jaargemiddelde elektriciteitsproductie is te berekenen met de jaargemiddelde windsnelheidsverdeling<sup>1</sup> van de windturbines en de zogenaamde 'power curve' die aangeeft hoeveel vermogen een bepaalde windturbine levert bij elke windsnelheid.

## 2.2 Windsnelheid

---

Voor de jaargemiddelde windsnelheidsverdeling op ashoogte is gebruik gemaakt van KNMI-gegevens die zijn opgenomen in het software GeoMilieu, dat wordt gebruikt voor de geluidsberekeningen van het windpark. De KNMI-database bevat windsnelheidsverdelingen voor ashoogtes van 80-120 meter. Voor de ashoogte 70m van de bestaande windturbines hanteren we de windsnelheid op 80 meter. Voor de ashoogte 130m van MER-alternatieven 1 en 2 is een extrapolatie uitgevoerd<sup>2</sup>. Zie voor een toelichting op deze extrapolatie Bijlage B van het akoestisch rapport bij het MER.

**Tabel 2** Windsnelheidsgegevens op relevante ashoogtes.

Ashoogte	Weibull-factoren		gem. windsnelheid	opmerking
m	A	k	m/s	
70	-	-	6,83	windsnelheidsverdeling op 80m gebruikt.
110	8,1	2,29	7,18	uit KNMI-database
130	8,30	2,32	7,36	extrapolatie o.b.v. 110 en 120m

Voor het onderscheid tussen dag-, avond- en nachtperioden op 130 meter wordt alsnog gebruik gemaakt van de KNMI-gegevens op 120 meter, door per periode en per windsnelheid de percentuele afwijking van de etmaalwaarde toe te passen op de windsnelheidsgegevens uit de windstudie.

## 2.3 Vermogen

---

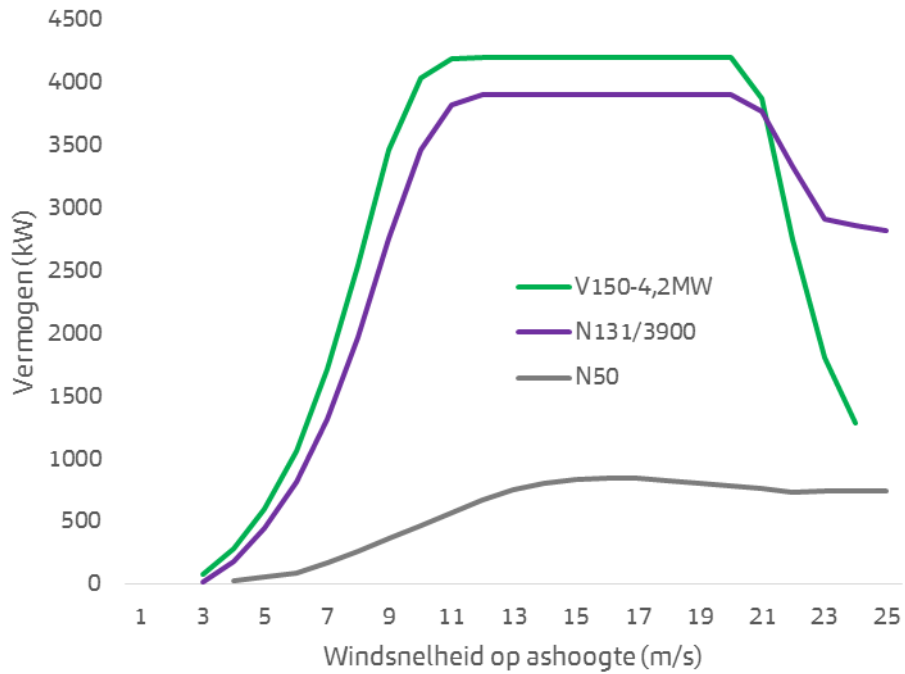
Elk windturbintype heeft een power curve, waaruit blijkt welk vermogen de windturbine heeft bij elke windsnelheid.

<sup>1</sup> Een windsnelheidsverdeling zegt hoe vaak elke windsnelheid naar verwachting voorkomt.

<sup>2</sup> Lineaire extrapolatie van de Weibull-factoren A en k op ashoogtes 110 en 120 meter.

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

**Figuur 3** Power curves van de onderzochte windturbinetypes.





# Hoofdstuk 3 Voorkeursalternatief

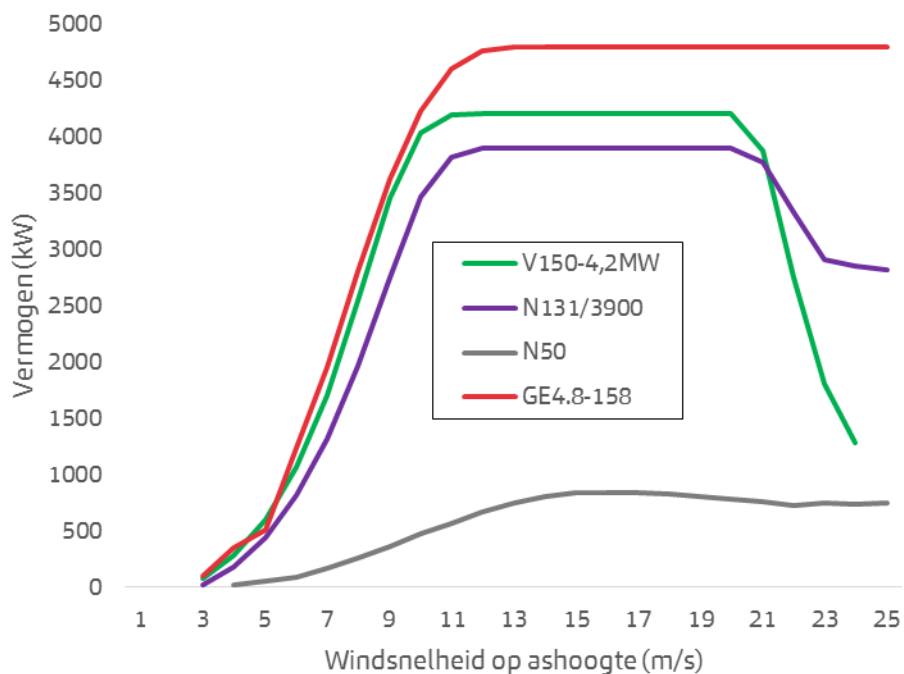
## 3.1 Windaanbod

Voor het windaanbod maken we gebruik van de eerder berekende maximale ashoogte van de MER-alternatieven (130 meter). Dit resulteert wellicht een kleine onderschatting van de maximale energieproductie van het voorkeursalternatief (wat immers uitgaat van 140 meter).

## 3.2 Vermogen

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

**Figuur 4** De power curve van de bovenvariant van het VKA is hieronder toegevoegd aan de grafiek. De ondervariant van het VKA is de N131/3900, die ook bij enkele MER-alternatieven werd gebruikt.



## Hoofdstuk 4 Resultaten

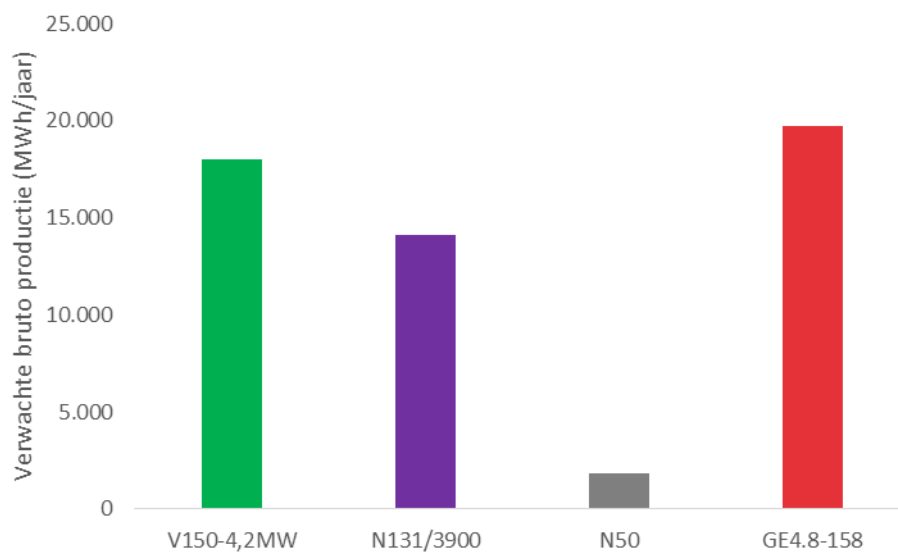
### 4.1 Bruto-productie

---

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 5** 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 op de bruto productie. Deze afslag is een schatting die termen bevat voor parkverliezen, onderhoud, storing en transportverliezen.

Voor het bepalen van deze afslag is gekeken naar de onderlinge afstand van de windturbines, de positie t.o.v. de overheersende windrichting en de opstellingsvorm. Alle lijnopstellingen liggen precies in een zuidwest-noordoost richting, wat zorgt voor meer zogeffect doordat de wind in Nederland het vaakst uit het zuidwesten waait en ook de meest krachtige wind uit het zuidwesten komt.

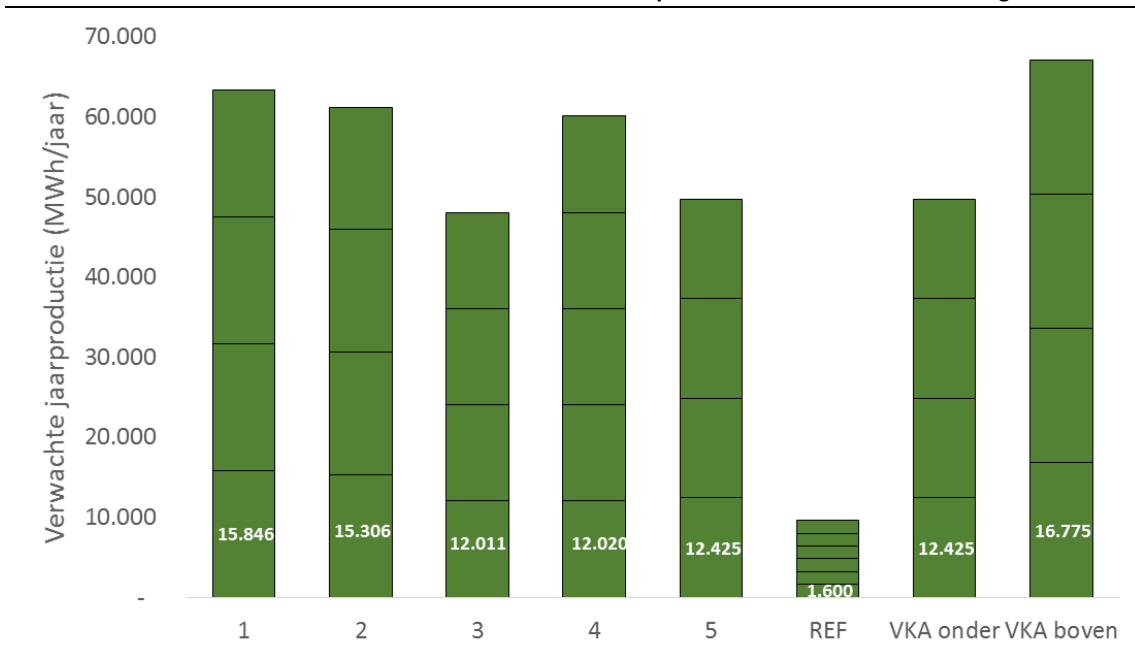
Alternatief	Onderlinge afstand	Opstellingsvorm	Schatting afslag
1	4,5 x rotordiameter	lijn	12%
2	3,8 x rotordiameter	lijn	15%
3	3,7 x rotordiameter	lijn	15%
4	3,8 x rotordiameter	gebogen lijn	15%
5 / VKA onder	3,7 x rotordiameter	cluster	12%
Referentie	5,0 x rotordiameter	geknikte lijn	12%
VKA boven	3,0 x rotordiameter	cluster	15%

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 3** Netto-productie per alternatief

Alternatief	Type	Aantal	Afslag	Vermogen (MW)		Productie (MWh/jaar)	
				per wtb	park	per wtb	park
1	V150-4,2	4	12%	4,2	16,8	15.850	63.400
2	V150-4,2	4	15%	4,2	16,8	15.300	61.200
3	N131/3900	4	15%	3,9	15,6	12.000	48.000
4	N131/3900	5	15%	3,9	19,5	12.000	60.100
5	N131/3900	4	12%	3,9	15,6	12.400	49.700
Referentie	N50/800	6	12%	0,8	4,8	1.600	9.600
VKA onder	N131/3900	4	12%	3,9	15,6	12.400	49.700
VKA boven	GE-4.8-158	4	15%	4,8	19,2	16.800	67.100

**Figuur 6** 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 4** 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.

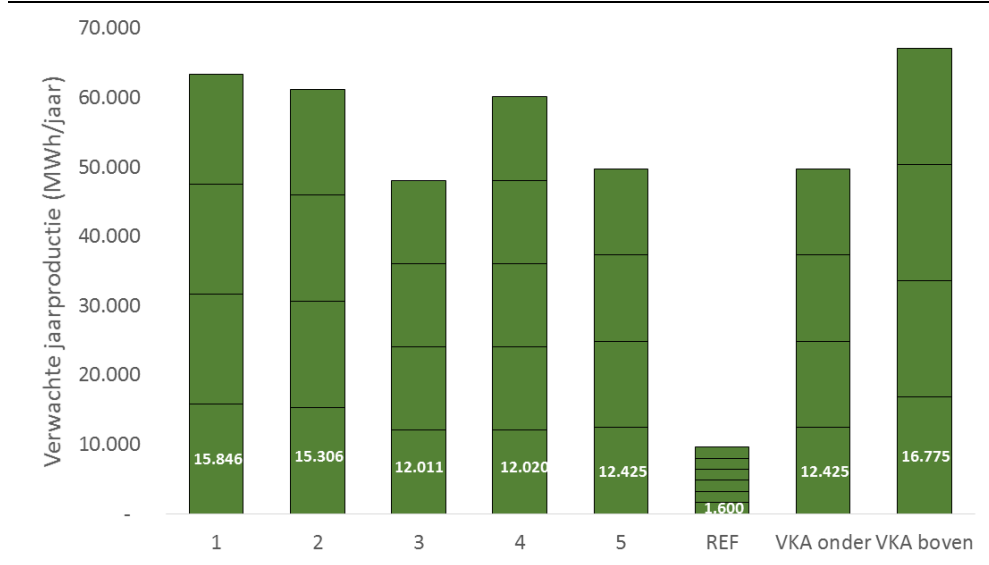
Alternatief	Type	Stilstand (uren/jaar)	Derving (MWh/jaar)	Derving (%)
1	V150-4,2	206	372	0,6%
2	V150-4,2	258	451	0,7%
3	N131/3900	211	289	0,6%
4	N131/3900	138	189	0,3%
5	N131/3900	60	85	0,2%
Referentie	N50/800	3	0	0,0%
VKA onder	N131/3900	93	132	0,3%
VKA boven	GE-4.8-158	166	317	0,5%

## Hoofdstuk 5 Conclusie

In dit rapport is van 5 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 7** Opbrengst in MWh/jaar van de 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 (minder dan 1% van de totale productie).

# Bijlage A In- en uitvoergegevens

Tabel 5 Windsnelheidsverdeling op ashoogte, power curve en productie.

vhub (m/s)	Windsnelheidsverdeling (%)			Power curves				Bruto productie			
	70m	110m	130m	V-150-4,2	N131/3900	N50/800	GE-4.8-158	V-150-4,2	N131/3900	N50/800	GE-4.8-158
1	1,9	1,6	1,7					0	0	0	
2	4,5	3,9	4,1					0	0	0	
3	7,2	6,3	6,6	81	20		106	47	11	0	62
4	9,9	8,9	8,9	285	184	23	346	222	143	20	269
5	12,8	11,6	10,5	597	447	57	507	551	453	64	468
6	14,2	13,3	11,4	1.062	816	90	1240	1.060	948	112	1.237
7	13,4	13,2	11,4	1.709	1.314	165	1956	1.707	1.520	194	1.954
8	10,6	11,2	10,6	2.545	1.967	257	2808	2.375	1.928	238	2.620
9	8,0	8,7	9,3	3.458	2.754	359	3623	2.824	2.096	252	2.959
10	5,7	6,5	7,7	4.038	3.468	470	4224	2.712	1.986	236	2.837
11	4,1	4,7	5,9	4.191	3.823	572	4604	2.179	1.581	204	2.394
12	2,7	3,6	4,3	4.200	3.900	668	4757	1.592	1.225	158	1.803
13	1,8	2,2	3,0	4.200	3.900	747	4800	1.094	735	118	1.250
14	1,3	1,5	1,9	4.200	3.900	805	4800	708	519	88	809
15	1,0	1,3	1,2	4.200	3.900	838	4800	432	439	72	493
16	0,4	0,8	0,7	4.200	3.900	842	4800	248	273	32	283
17	0,2	0,3	0,4	4.200	3.900	840	4800	134	114	13	153
18	0,2	0,2	0,2	4.200	3.900	827	4800	68	63	13	78
19	0,1	0,2	0,1	4.200	3.900	808	4800	33	51	4	37
20	-	0,1	0,0	4.200	3.900	785	4800	15	17	0	17
21	-	0,1	0,0	3.870	3.771	757	4800	6	17	0	7
22	0,1	-	0,0	2.745	3.327	728	4800	2	0	3	3
23	-	0,1	0,0	1.805	2.906	743	4800	0	13	0	1
24	-	-	0,0	1.283	2.855	742	4800	0	0	0	0
25	-	-	0,0		2.820	745	4800	0	0	0	0
gem.	6,8	7,2	7,4	Bruto productie (MWh/jaar)				18.007	14.131	1.822	19.735



**Bosch & van Rijn**  
experts in renewable energy

Groenmarktstraat 56  
3521 AV Utrecht  
[www.boschenvanrijn.nl](http://www.boschenvanrijn.nl)

