

Bosch & van Rijn

Groenmarktstraat 56
3521 AV Utrecht
030 – 677 6466

Auteurs

Steven Velthuijsen MSc.

Opdrachtgever

Provincie Noord-Brabant



Opbrengstberekening Windenergie A16

t.b.v. MER



Opbrengstberekening Windenergie A16

t.b.v. MER

Datum
1 februari 2018

Versie
0.2

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>Windturbinetypes</i>	3
1.3	<i>MER-alternatieven</i>	3
1.4	<i>Voorkeursalternatief</i>	4
HOOFDSTUK 2	BEREKENING	5
2.1	<i>Inleiding</i>	5
2.2	<i>Windsnelheid</i>	5
2.3	<i>Vermogen</i>	6
HOOFDSTUK 3	RESULTATEN	8
3.1	<i>Bruto-productie</i>	8
3.2	<i>Netto-productie</i>	8
HOOFDSTUK 4	VOORKEURALTERNATIEF	10
HOOFDSTUK 5	CONCLUSIE	12
BIJLAGE A	WINDSNELHEIDSVERDELINGEN	13
BIJLAGE B	POWER CURVES EN ENERGIEOPBRENGST	14

Hoofdstuk 1 Inleiding

1.1 Inleiding

In het MER 'Windenergie A16' worden elf alternatieven met elkaar vergeleken 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; voor de 11 MER-alternatieven worden in eerste instantie KNMI-gegevens gebruikt. Wanneer deze voor een bepaalde ashoogte niet beschikbaar zijn wordt geëxtrapoleerd.
- Windturbinetypen: de MER-alternatieven bestaan elk uit windturbines van verschillende afmetingen. Per afmeting is uitgegaan van een windturbinetype.
- Power curve van de windturbines; fabrikanten van windturbines publiceren gegevens over hoeveel vermogen een windturbine levert bij elke windsnelheid.

1.2 Windturbinetypen

In de MER-alternatieven komen 3 formaten windturbines voor, met een tiphoogte van 150, 180 en 210 meter. Voor elk formaat is een representatief windturbinetype gekozen om concrete berekeningen te kunnen uitvoeren.

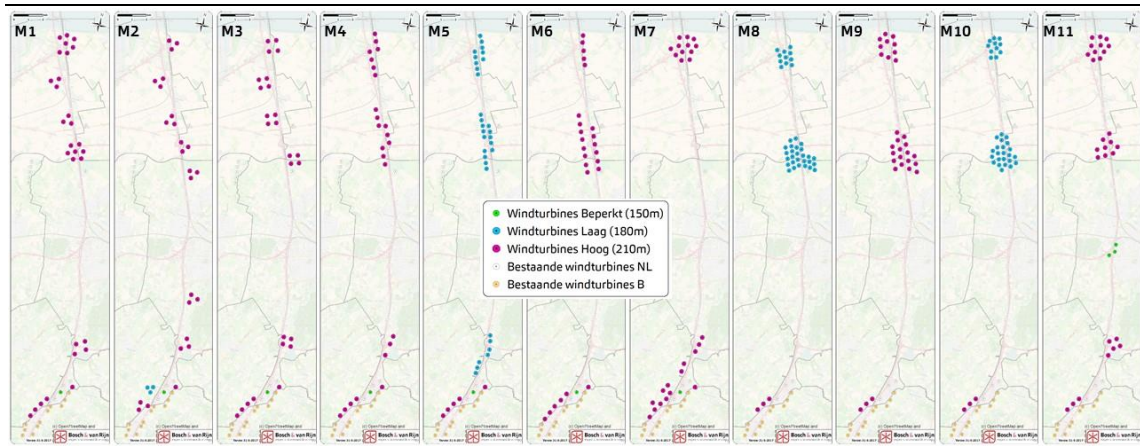
Tabel 1 Windturbinetypen

Afmeting	Tiphoogte	Type	Vermogen
Klein	150	Lagerwey L100 2,5MW SE	2,5 MW
Middel	180	Siemens SWT-2.5-120	2,5 MW
Groot	210	Enercon E-141 EP4	4,2 MW

1.3 MER-alternatieven

In het MER worden elf opstellingen doorgerekend die verschillen in aantal windturbines, afmetingen en opstellingsvormen. Onderstaande figuur

Figuur 1 - De 11 MER-alternatieven.



De aantallen windturbines per alternatief staan in Tabel 2.

Tabel 2 MER-alternatieven.

Alternatief	Aantal windturbines			totaal	Vermogen MW (±)
	beperkt	laag	hoog		
M1	1	0	29	30	124
M2	1	3	25	29	115
M3	1	0	25	26	108
M4	1	0	24	25	103
M5	1	32	5	38	104
M6	1	0	25	26	108
M7	1	0	26	27	112
M8	0	38	3	41	108
M9	0	0	30	30	126
M10	0	36	3	39	103
M11	3	0	28	31	125

1.4 Voorkeursalternatief

Nadat de elf MER-alternatieven zijn onderzocht en beoordeeld op alle milieuthema's is een voorkeursalternatief gedefinieerd. Dit VKA is een optimalisatie; bij de totstandkoming hebben zowel milieutechnische, financiële en politieke factoren een rol gespeeld.

In dit onderzoek is het VKA op dezelfde wijze beoordeeld als de MER-alternatieven, zodat een eerlijke vergelijking mogelijk is.

Hoofdstuk 2 Berekening

2.1 Inleiding

De verwachte jaargemiddelde elektriciteitsproductie is te berekenen met de jaargemiddelde windsnelheidsverdeling¹ van de windturbines en de zogenaamde 'power curve' die aangeeft hoeveel vermogen een bepaalde windturbine levert bij elke windsnelheid.

2.2 Windsnelheid

Het softwarepakket GeoMilieu, dat wordt gebruikt voor de geluidsberekeningen, beschikt voor het ashoogtebereik 80 - 120 meter over het windsnelheidsaanbod op basis van langjarige gemiddelden van het KNMI, voor zowel dag, avond en nacht, conform bijlage 4 van de Activiteitenregeling milieubeheer. Deze gegevens kunnen ook worden gebruikt om de jaarproductie te schatten.

Het plangebied is in 5 deelgebieden verdeeld; vervolgens is binnen elk deelgebied de windsnelheidsverdeling bepaald op de verschillende hoogten. Alle windturbines in de MER-alternatieven binnen hetzelfde deelgebied en van dezelfde klasse hebben dezelfde windsnelheidsverdeling gekregen.

Per deelgebied is op basis van de windsnelheidsverdeling op 80, 100 en 120 meter een extrapolatie uitgevoerd om de windsnelheidsverdeling op 140 meter ashoogte te schatten. Nadere toelichting is gegeven in Bijlage A. Hieronder zijn ter illustratie de windsnelheidsverdelingen op 100, 120 en 140 meter hoogte gegeven in deelgebied A. Op grotere hoogte komen hogere windsnelheden vaker voor, wat resulteert in een hogere gemiddelde windsnelheid.

Zie voor meer gedetailleerde informatie de bijlagen bij het akoestisch rapport bij het MER.



Figuur 2: Binnen elk van de vijf deelgebieden hebben windturbines met dezelfde ashoogte dezelfde windsnelheidsverdeling.

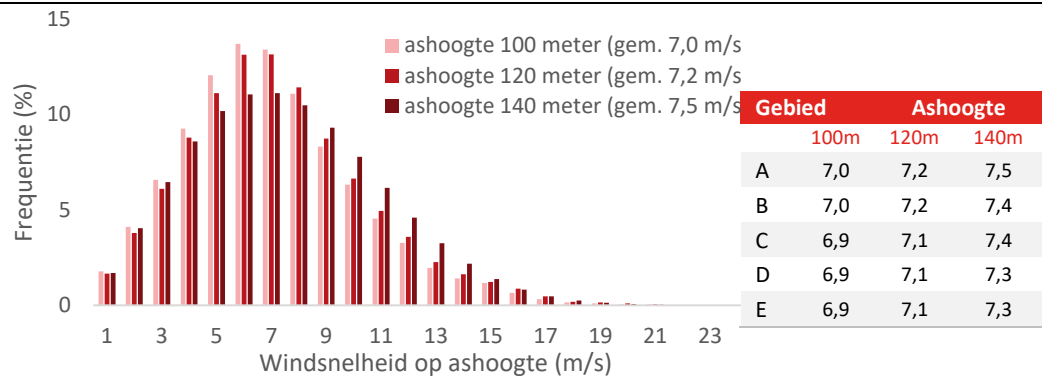
¹ Een windsnelheidsverdeling zegt hoe vaak elke windsnelheid naar verwachting voorkomt.

De windturbines in de MER-alternatieven zijn als volgt onder de deelgebieden verdeeld:

Tabel 3 Aantallen windturbines van elke klasse per deelgebied.

deelgebied	Beperkt					Laag					Hoog				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
M1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	10	10	0	4	5
M2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3	6	9	3	3	4
M3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	8	8	0	4	5
M4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	7	9	0	3	5
M5	0	0	0	0	1	10	14	0	8	0	0	0	0	0	5
M6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	5	14	0	0	6
M7	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	12	0	0	5	9
M8	0	0	0	0	0	11	27	0	0	0	0	0	0	0	3
M9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	17	0	0	3
M10	0	0	0	0	0	11	25	0	0	0	0	0	0	0	3
M11	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	11	9	0	5	3

Figuur 3 Windsnelheid. Links de windsnelheidsverdeling in deelgebied A. Rechts de gemiddelde windsnelheid in alle deelgebieden.



Deze windsnelheidsverdelingen tonen dat hogere windsnelheden minder vaak voorkomen. Op hogere hoogtes komen hoger windsnelheden vaker voor, wat resulteert in een hogere gemiddelde windsnelheid. Omdat de elektriciteitsproductie zich verhoudt met de derde macht van de windsnelheid zijn dergelijke verschillen zeer significant. De gemiddelde windsnelheid op de te onderzoeken hoogtes is voor de vijf deelgebieden hierboven weergegeven. De windsnelheidsverdelingen zijn te vinden in de bijlagen van het akoestisch onderzoek dat ook onderdeel uitmaakt van het MER.

2.3 Vermogen

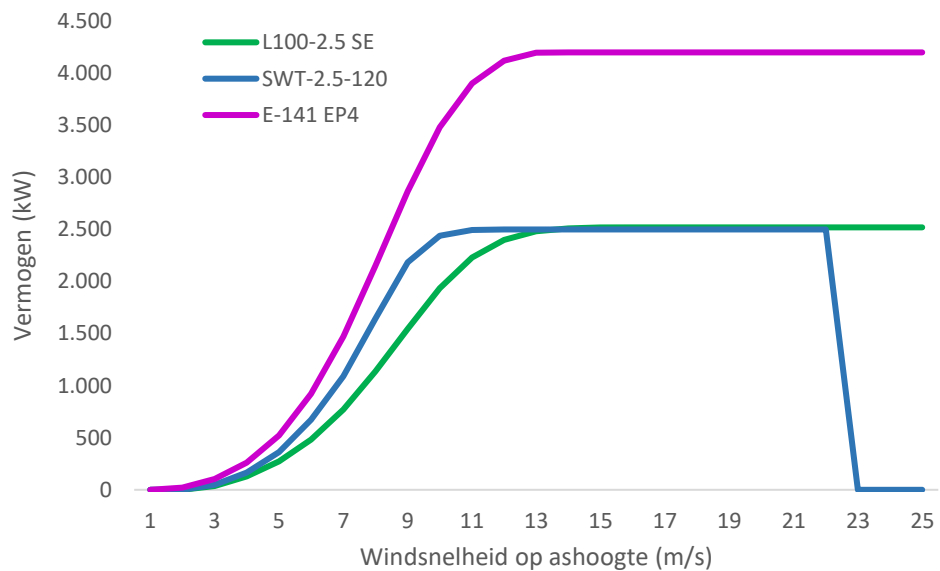
Elk windturbintype heeft een power curve, waaruit blijkt welk vermogen de windturbine heeft bij elke windsnelheid.

De power curves van de onderzochte types staan in onderstaande figuur.

- De Siemens windturbine heeft hetzelfde maximale vermogen als de Lagerwey. Door de grotere rotordiameter is dit maximale vermogen echter al eerder bereikt. Dit zorgt voor een hogere energieproductie.
- Het feit dat de Siemens al wordt uitgeschakeld vanaf 22 m/s maakt voor de jaarproductie weinig uit, omdat dergelijke windsnelheden weinig voorkomen.

Zoals blijkt uit de figuur bereiken de windturbines hun maximale vermogen bij een windsnelheid van ca. 11-13 m/s op ashoogte.

Figuur 4 Power curves van de drie onderzocht windturbinetypes.



Hoofdstuk 3 Resultaten

3.1 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 resultaten, per windturbintetype, per deelgebied. In sommige deelgebieden komt een bepaalde klasse windturbine niet voor. In dat geval zijn geen resultaten gepresenteerd.

Figuur 5 Bruto-productie per windturbine, voor alle klassen en deelgebieden. In MWh/jaar.

Deelgebied	Windturbineklasse		
	beperkt	laag	hoog
A		10.646	16.646
B		10.526	16.445
C	7.842		16.253
D		10.316	16.068
E	7.711	10.312	16.079

Zie ook Bijlage B.

3.2 Netto-productie

De netto jaarproductie van de MER-alternatieven is vervolgens berekend door de bruto productie te vermenigvuldigen met het aantal betreffende 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.

Tabel 4 Netto-productie per alternatief

Alternatief	Vermogen MW	Netto-productie (MWh)			Totaal
		Beperkt	Laag	Hoog	
M1	124	6.554	-	404.238	410.792
M2	115	6.554	26.296	347.785	380.635
M3	108	6.554	-	347.984	354.538
M4	103	6.554	-	334.155	340.709
M5	104	6.554	285.899	68.337	360.790
M6	108	6.554	-	348.442	354.996
M7	112	6.554	-	361.082	367.636
M8	108	-	341.114	41.002	382.116
M9	126	-	-	420.119	420.119
M10	103	-	323.220	41.002	364.222
M11	125	19.998	-	390.732	410.730

Figuur 6 Grafische weergave van de verwachte netto jaarproductie van de 11 MER-alternatieven. De productie is weergegeven in zowel megawattuur als in petajoule.



De energieproductie van de windturbines kan ook op andere manieren worden uitgedrukt dan MWh/jaar. In de tabel hieronder wordt ook de productie uitgedrukt in PJ/jaar (1 petajoule = 277.778 MWh).

Ook is het gemiddelde aantal vollasturen van elk alternatief gegeven; dit is de totale productie (in MWh/jaar) gedeeld door het totale vermogen (in MW).

Tabel 5 Netto-productie per alternatief (vervolg)

Alternatief	Netto-productie		Vollasturen
	MWh/jaar	PJ/jaar	uren/jaar
M1	410.792	1,48	3.313
M2	380.635	1,37	3.310
M3	354.538	1,28	3.283
M4	340.709	1,23	3.308
M5	360.790	1,30	3.469
M6	354.996	1,28	3.287
M7	367.636	1,32	3.282
M8	382.116	1,38	3.538
M9	420.119	1,51	3.334
M10	364.222	1,31	3.536
M11	410.730	1,48	3.286

Hoofdstuk 4 Voorkeursalternatief

Het voorkeursalternatief is op de figuur hiernaast afgebeeld en bestaat uit 28 windturbines. De verdeling over de deelgebieden is als volgt:

Deelgebied	Aantal 'beperkt'	Aantal 'hoog'
A	0	9
B	0	8
C	0	0
D	0	3
E	2	6

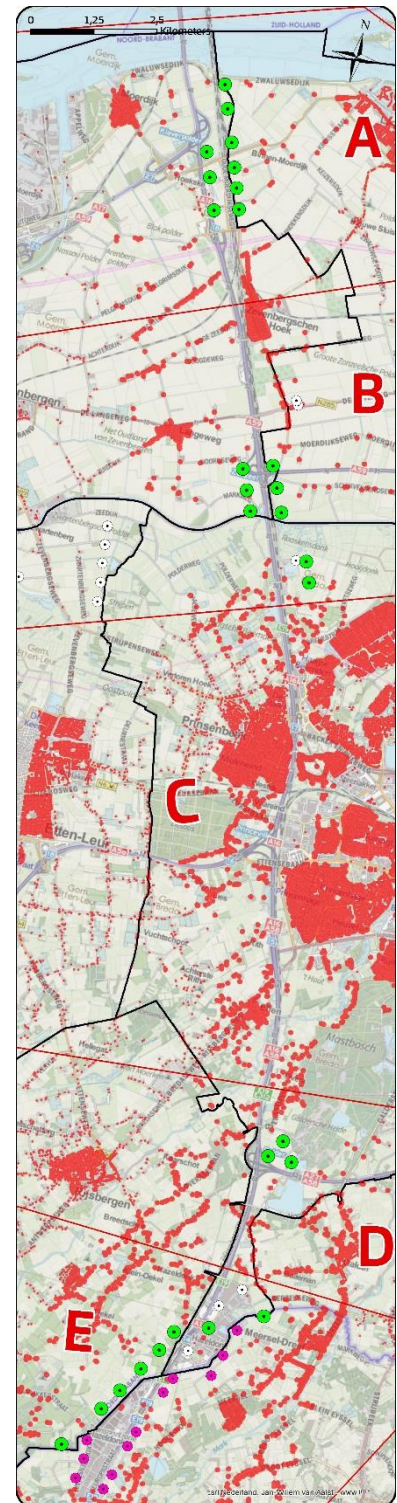
Het totale vermogen komt daarmee op ±114 MW.

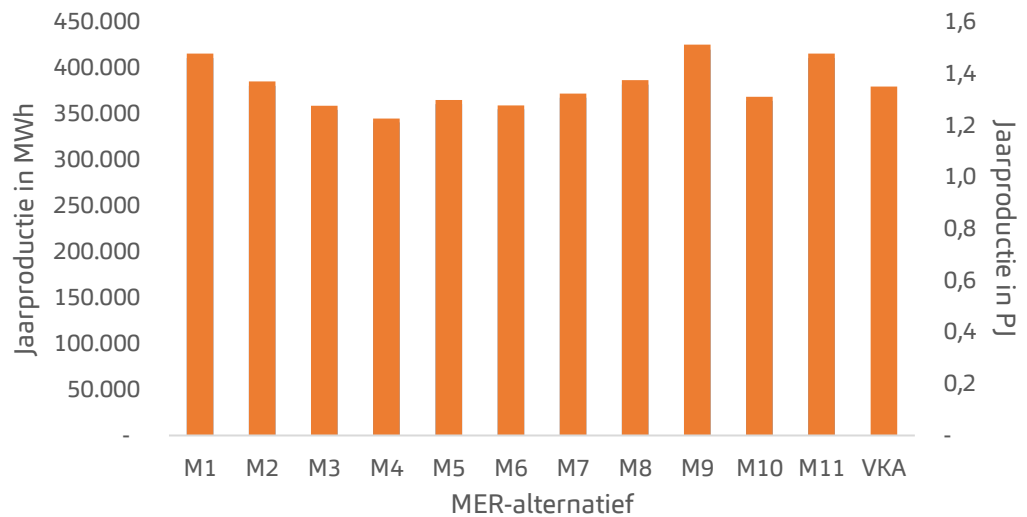
De berekening van de geschatte productie per windturbine per deelgebied is in hoofdstuk 2 uiteengezet. Hieronder worden, volgens dezelfde methode, de rekenresultaten uitgebreid met die van het VKA.

Tabel 6

Nettoproductie incl VKA

Alt.	Vermogen		Netto-productie (MWh)		
	MW	Beperkt	Laag	Hoog	Totaal
M1	124	6.554	-	404.238	410.792
M2	115	6.554	26.296	347.785	380.635
M3	108	6.554	-	347.984	354.538
M4	103	6.554	-	334.155	340.709
M5	104	6.554	285.899	68.337	360.790
M6	108	6.554	-	348.442	354.996
M7	112	6.554	-	361.082	367.636
M8	108	-	341.114	41.002	382.116
M9	126	-	-	420.119	420.119
M10	103	-	323.220	41.002	364.222
M11	125	19.998	-	390.732	410.730
VKA	114	13.108	-	362.142	375.250



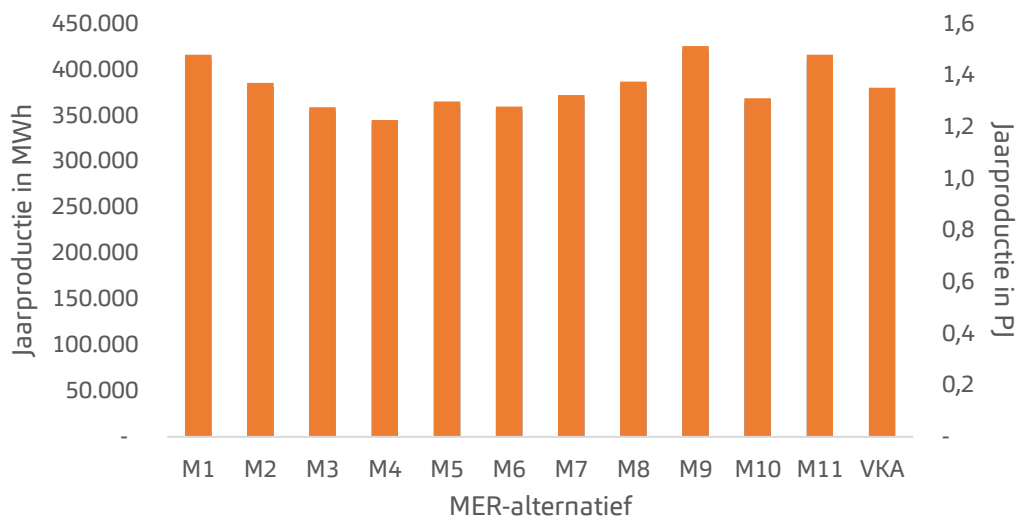
Figuur 7 Grafische weergave van de geschatte energieproductie van de alternatieven, inclusief VKA.

Tabel 7 Netto-energieproductie – vervolg.

Alternatief	Netto-productie		Vollasturen
	MWh/jaar	PJ/jaar	uren/jaar
M1	410.792	1,48	3.313
M2	380.635	1,37	3.310
M3	354.538	1,28	3.283
M4	340.709	1,23	3.308
M5	360.790	1,30	3.469
M6	354.996	1,28	3.287
M7	367.636	1,32	3.282
M8	382.116	1,38	3.538
M9	420.119	1,51	3.334
M10	364.222	1,31	3.536
M11	410.730	1,48	3.286
VKA	375.250	1,35	3.292

Hoofdstuk 5 Conclusie

In dit rapport is van 11 MER-alternatieven de verwachte jaaropbrengst berekend op basis van KNMI-gegevens van het windaanbod en de power curves van de fabriekanten. Daarnaast is ook een voorkeursalternatief beoordeeld.

De resultaten staan samengevat in onderstaande figuur.



Opmerkingen

- De alternatieven variëren in opgesteld vermogen van 103 t/m 126 MW. De energieproductie hangt niet alleen van het totale vermogen af, maar ook van de eigenschappen van de windturbines.
- Eventuele mitigatie die nodig is om normoverschrijding te voorkomen is in de beoordeling van de alternatieven niet meegenomen. In plaats daarvan is bij geluid en slagschaduw gerekend met het aantal woningen waar normoverschrijding plaatsvindt.

Bijlage A Windsnelheidsverdelingen

Tabel 8 Windsnelheidsverdeling per deelgebied, per ashoogte, in procenten.

Deelgebied	A			B			C			D			E		
Ashoogte	100	120	140	100	120	140	100	120	140	100	120	140	100	120	140
m/s															
1	1,8	1,7	1,7	1,8	1,7	1,7	1,8	1,7	1,6	1,8	1,7	1,6	1,8	1,7	1,7
2	4,1	3,8	4,0	4,2	3,9	4,1	4,1	3,9	4,0	4,2	3,9	4,0	4,2	4,0	4,1
3	6,6	6,1	6,4	6,7	6,2	6,5	6,7	6,2	6,5	6,8	6,3	6,6	6,8	6,3	6,7
4	9,3	8,8	8,6	9,4	8,8	8,7	9,5	8,9	8,8	9,7	9,1	8,9	9,7	9,1	8,9
5	12,0	11,1	10,2	12,1	11,3	10,3	12,2	11,4	10,5	12,3	11,5	10,6	12,3	11,5	10,6
6	13,7	13,1	11,0	13,8	13,3	11,2	14,0	13,5	11,4	14,1	13,6	11,6	14,2	13,7	11,4
7	13,4	13,1	11,1	13,5	13,3	11,2	13,5	13,4	11,4	13,5	13,4	11,6	13,4	13,4	11,4
8	11,1	11,4	10,5	11,0	11,4	10,5	11,0	11,4	10,7	11,1	11,4	10,8	11,1	11,4	10,6
9	8,3	8,7	9,3	8,3	8,7	9,3	8,3	8,6	9,4	8,3	8,7	9,4	8,3	8,7	9,3
10	6,3	6,6	7,8	6,2	6,5	7,7	6,2	6,4	7,7	6,1	6,4	7,7	6,0	6,4	7,6
11	4,5	4,9	6,1	4,4	4,9	6,1	4,4	4,8	6,0	4,2	4,6	5,9	4,1	4,5	5,9
12	3,3	3,6	4,6	3,1	3,5	4,5	3,0	3,5	4,4	3,0	3,4	4,3	2,9	3,3	4,3
13	2,0	2,3	3,3	2,0	2,2	3,1	1,9	2,2	3,0	1,9	2,1	2,9	1,9	2,2	2,9
14	1,4	1,6	2,2	1,4	1,6	2,1	1,4	1,5	1,9	1,4	1,5	1,8	1,4	1,5	1,9
15	1,2	1,2	1,4	1,1	1,3	1,3	1,0	1,2	1,2	0,9	1,1	1,1	0,9	1,1	1,2
16	0,7	0,9	0,8	0,6	0,8	0,8	0,6	0,7	0,7	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,7
17	0,3	0,5	0,5	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4
18	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2
19	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
20	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0
21	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
22	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
gem.	7,02	7,25	7,51	6,98	7,19	7,45	6,93	7,13	7,38	6,90	7,08	7,33	6,88	7,09	7,34

Bron voor 100 en 120m: KNMI.

Voor 140 meter hoogte is geëxtrapolerd. Zie de bijlagen van het akoestisch onderzoek bij het MER voor een toelichting.

Bijlage B Power curves en energieopbrengst

m/s	Power curves			Bruto productie, per deelgebied, per klasse											
	beperkt	laag	hoog	C - beperkt	E - beperkt	A - laag	B - laag	D - laag	E - laag	A - hoog	B - hoog	C - hoog	D - hoog	E - hoog	
	Lagerwey L100-2.5 SE	Siemens SWT-2.5-120	Enercon E-141 EP4	Lagerwey L100-2.5 SE	Lagerwey L100-2.5 SE	Siemens SWT-2.5-120	Siemens SWT-2.5-120	Siemens SWT-2.5-120	Siemens SWT-2.5-120	Enercon E-141 EP4	Enercon E-141 EP4	Enercon E-141 EP4	Enercon E-141 EP4	Enercon E-141 EP4	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	0	0	22	0	0	0	0	0	0	8	8	8	8	8	
3	35	49	104	21	21	26	26	27	27	59	60	59	60	61	
4	129	165	260	107	109	127	128	131	131	195	198	200	202	203	
5	273	363	523	292	295	353	359	367	366	466	472	480	487	484	
6	483	674	920	592	601	774	784	804	807	889	899	917	931	919	
7	772	1090	1471	915	905	1.254	1.265	1.283	1.278	1.431	1.444	1.474	1.494	1.469	
8	1137	1644	2151	1.096	1.102	1.642	1.644	1.639	1.639	1.974	1.983	2.020	2.040	2.004	
9	1546	2183	2867	1.124	1.120	1.670	1.654	1.654	1.664	2.333	2.332	2.361	2.372	2.334	
10	1934	2441	3481	1.042	1.019	1.418	1.393	1.369	1.365	2.370	2.354	2.361	2.353	2.326	
11	2230	2495	3903	850	807	1.078	1.064	1.009	991	2.101	2.071	2.050	2.022	2.016	
12	2399	2500	4119	627	613	785	767	734	730	1.658	1.620	1.576	1.536	1.548	
13	2482	2500	4196	417	402	496	482	467	475	1.195	1.156	1.101	1.056	1.082	
14	2511	2500	4200	297	297	358	339	321	318	801	766	711	670	700	
15	2519	2500	4200	210	191	266	274	245	237	508	479	432	399	426	
16	2520	2500	4200	125	110	190	164	124	124	305	284	247	222	244	
17	2520	2500	4200	66	55	102	88	80	80	173	159	132	116	132	
18	2520	2500	4200	15	22	40	40	33	33	93	84	67	57	67	
19	2520	2500	4200	22	15	33	22	15	15	47	42	32	26	32	
20	2520	2500	4200	11	15	22	22	15	22	23	20	14	11	14	
21	2520	2500	4200	4	11	11	11	0	0	10	9	6	4	6	
22	2520	2500	4200	11	0	0	0	0	11	4	4	2	2	2	
23	2520	0	4200	0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	1	
24	2520	0	4200	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	
25	2520	0	4200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Bruto productie			(MWh/jaar)	7.842	7.711	10.646	10.526	10.316	10.312	16.646	16.445	16.253	16.068	16.079	
Vollasturen			(uren/jaar)	3.137	3.084	4.258	4.210	4.126	4.125	3.963	3.915	3.870	3.826	3.828	
Netto productie			(bruto minus 15%)	6.666	6.554	9.049	8.947	8.768	8.765	14.149	13.978	13.815	13.658	13.667	

De power curves voor de Siemens en Enercon windturbines zijn betrokken uit de WindPRO database. Voor de Lagerwey is gebruik gemaakt van een document van de fabrikant (*Data curves L100-2.5MW SE 99m hub height Document number: SD210ENR2, 24 maart 2017*).



Bosch & van Rijn
experts in renewable energy

Groenmarktstraat 56
3521 AV Utrecht
www.boschenvanrijn.nl

