

Bosch & van Rijn

Groenmarktstraat 56
3521 AV Utrecht
030 – 677 6466

Auteurs

Steven Velthuisen MSc.

Opdrachtgever

Eneco



Opbrengstberekening WP Landtong Rozenburg

t.b.v. een milieueffectrapportage



Opbrengstberekening WP Landtong Rozenburg

t.b.v. een milieueffectrapportage

Datum
9 september 2018

Versie
0.3

Versie		
0.1	SV	Eerste opzet
0.2	SV	VKA toegevoegd
0.3	JD	verwerken commentaar v0.3

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>	4
HOOFDSTUK 2	BEREKENING	5
2.1	<i>Inleiding</i>	5
2.2	<i>Windsnelheid</i>	5
2.3	<i>Vermogen</i>	7
HOOFDSTUK 3	RESULTATEN	8
3.1	<i>Bruto-productie</i>	8
3.2	<i>Netto-productie</i>	8
3.3	<i>Mitigatie slagschaduw</i>	9
HOOFDSTUK 4	CONCLUSIE	10
BIJLAGE A	IN- EN UITVOERGEGEVENS	11

Hoofdstuk 1 Inleiding

1.1 Inleiding

In het MER voor windpark Landtong Rozenburg 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 KNMI-database met langtijdgemiddelden die wordt gebruikt door het softwarepakket GeoMilieu.
- 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 Windturbinetypes

Het MER beschouwt drie alternatieven, die met name verschillen door de afmetingen, de aantallen en daarmee ook de turbinelocaties (zie tabel hieronder).

Naast de MER-alternatieven en de windturbines die momenteel op de landtong staan zijn er in 2015 twee extra windturbines gebouwd. Deze windturbines blijven staan. Om wel de volledige milieueffecten goed in beeld te krijgen zijn deze windturbines meegenomen bij de beschrijving van zowel de referentiesituatie als de MER-alternatieven. Het betreft twee windturbines van het type Vestas V90-3MW, met een ashoogte van 80 meter en een rotordiameter van 90 meter.

Tabel 1 MER-alternatieven.

	100/100	120/120	140/140	Referentie
Aantal nieuwe windturbines	13	12	8	0
Aantal bestaande windturbines	2	2	2	12
Aantal te verwijderen windturbines	10	10	10	0
Afmetingen				
Ashoogte (m)	100	120	140	78
Rotordiameter (m)	100	120	140	64
Tiphoogte (m)	150	180	210	110
Onderlinge afstand (ca.) (m)	400	400	750	300
Onderlinge afstand (aantal D)	4	3,3	5,4	4,7

1.2.1 Windturbinetypes

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

	Windturbintype	Vermogen (MW)
Bestaand, te verwijderen	Neg Micon NM64-1,5	1,5
Bestaand, blijven staan	Vestas V90 3MW	3,0
100/100	Vestas V100-2MW	2,0
120/120	Siemens SWT-2.5-120	2,5
140/140	Enercon E-141 EP4	4,2

Deze typen en vermogens leiden tot de volgende beschouwde situaties:

Opstelling	Vermogens	Parkvermogen (MW)
Referentie	10 x 1,5MW + 2 x 3 MW	21,0 MW
100/100	13 x 2MW + 2 x 3 MW	32,0 MW
120/120	12 x 2,5MW + 2 x 3 MW	36,0 MW
140/140	8 x 4,2MW + 2 x 3 MW	39,6 MW

1.3 Voorkeursalternatief

Mede op basis van de MER-alternatieven is een voorkeursalternatief bepaald, dat bestaat uit 11 windturbines die qua afmetingen binnen de volgende bandbreedte moeten vallen:

- Tiphoogte: minimaal 165 meter, maximaal 195 meter
- Rotordiameter: minimaal 110 meter, maximaal 130 meter
- Ashoogte: minimaal 110 meter, maximaal 130 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	V110—2MW	110/110	22,0 MW
VKA boven	GE-3.2-130	130/130	35,2 MW

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

Voor het windaanbod op de locatie maken wij gebruik van de KNMI-dataset met langtijdgemiddelden. Deze dataset bevat gemodelleerde windsnelheden op hoogtes van 80 t/m 120 meter. Voor het alternatief met een ashoogte van 140 meter zijn de bijbehorende Weibull-factoren van de windsnelheidsverdelingen op 80, 100 en 120 meter geëxtrapoleerd naar 140 meter om een nieuwe windsnelheidsverdeling te verkrijgen.

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;

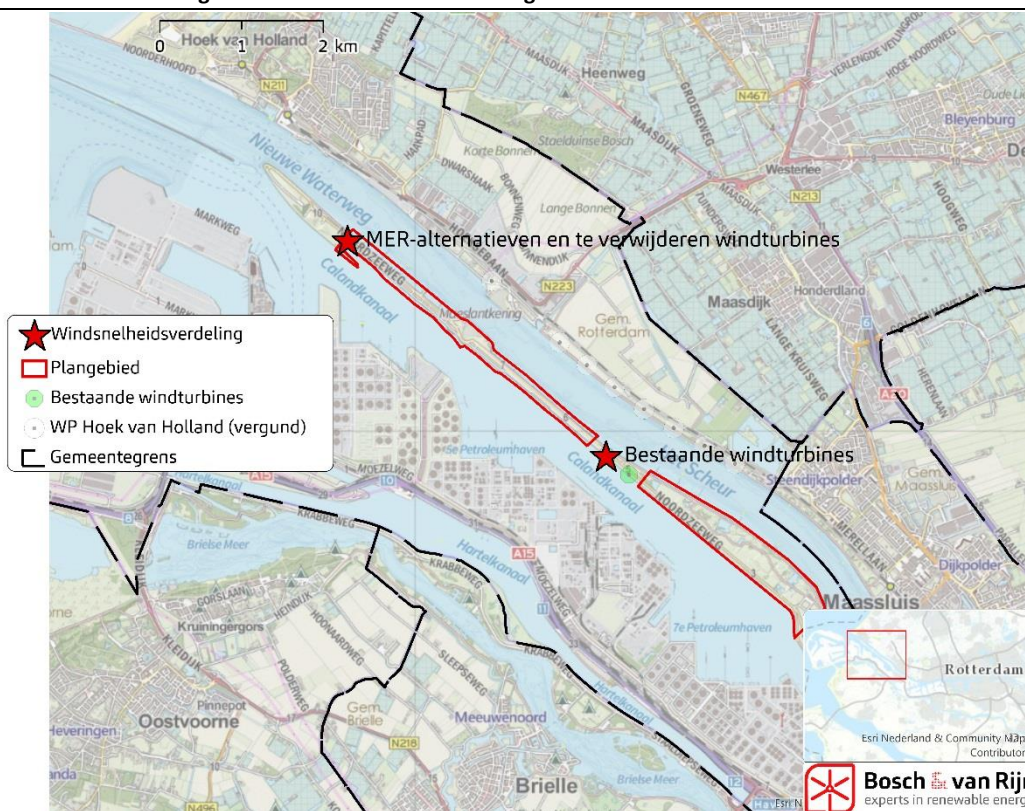
k: de Weibull-vormfactor, een maat voor de vorm van de verdeling, met een waarde tussen 1 en 3. Een kleine waarde voor k leidt tot een brede piek (veel verschillende windsnelheden). Een grote k (smalle piek) leidt tot een constanter windaanbod.

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.

Doordat de verschillende lijnopstellingen over een gebied van meerdere kilometers zijn uitgestrekt verschilt het windaanbod tussen de oost en de westzijde. Voor elk van de opstellingen is de windsnelheid aan de westzijde van de lijn berekend, hiermee wordt het maximale (positieve) effect in beeld gebracht.

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

Figuur 1 Locatie van de gebruikte windsnelheidsverdelingen.



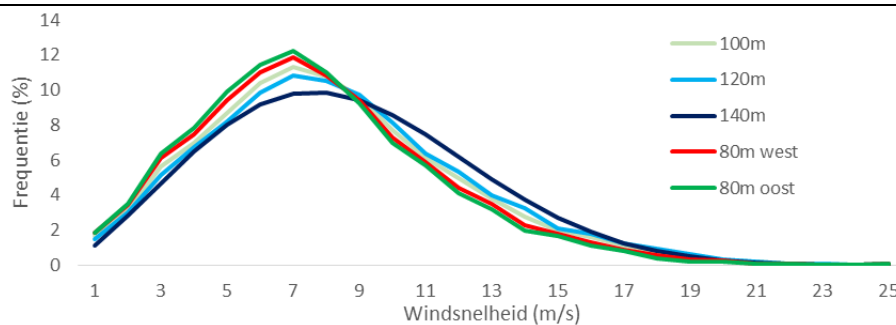
Tabel 2 Windsnelheidsgegevens op relevante ashoogtes. Bron: KNMI.

Ashoogte (m)	Weibull-A (m/s)	Weibull-k	gem. windsnelheid (m/s)
80m oost	8,63	2,19	7,2
80m west	8,82	2,19	7,4
100	9,19	2,18	7,7
110	9,34	2,19	7,9
120	9,46	2,20	8,0
130	9,59	2,34	8,1
140*	9,71	2,34	8,2

* De waarden op 130 en 140 meter zijn geëxtrapoleerd uit de gegevens op 80, 100 en 120 meter.

De relevante windsnelheden zijn in onderstaande figuur weergegeven.

Figuur 2 Windsnelheidsverdelingen op de verschillende relevante ashoogten.

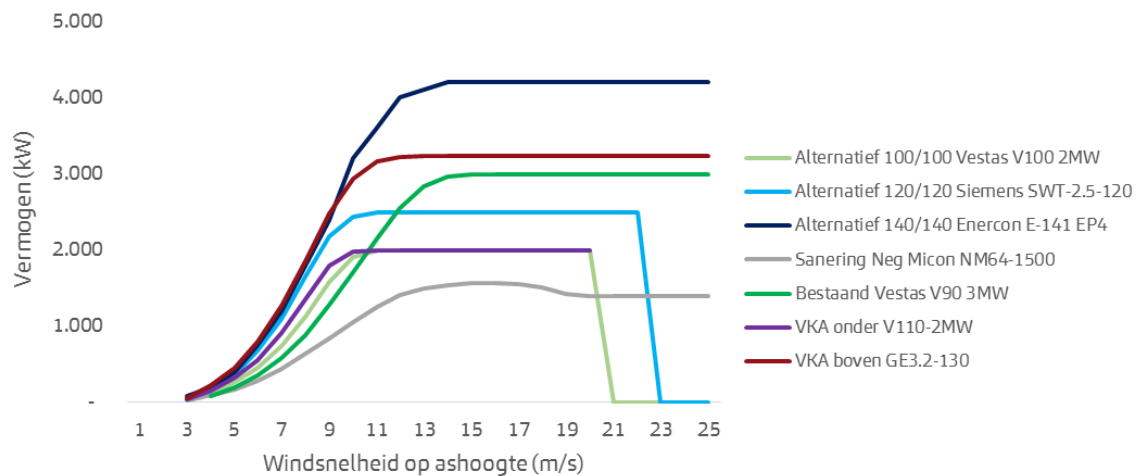


Voor het onderscheid tussen dag-, avond- en nachtperioden wordt alsnog gebruik gemaakt van de KNMI-gegevens, door per periode en per windsnelheid de procentuele afwijking van de etmaalwaarde toe te passen op de windsnelheidsgegevens uit de windstudie.

2.3 Vermogen

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

Figuur 3 Power curves van de onderzochte windturbintypes.



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 bruto productie per windturbine en per park.

	Alternatief	Type	Bruto per type	aantal	Bruto wp
MER	100/100	V100-2MW	7.868	13	102.281
	120/120	SWT-2.5-120	10.944	12	131.322
	140/140	E-141 EP4	15.734	8	125.870
VKA	VKA onder	V110-2MW	8.703	11	95.734
	VKA boven	GE-3.2-130	13.815	11	151.966
Bestaand	Saneren	NM64-1500	4.722	10	47.219
	Bestaand	V90-3MW	7.368	2	14.736

Zie ook Bijlage A.

3.2 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 schatting van de afslag te maken die optreedt door parkverliezen, onderhoud, storing en transportverliezen.

Hierbij is, op basis van expert judgment van de auteurs, de volgende verliesfactoren aangehouden:

Tabel 3 Schatting van de verliesfactoren per opstelling om te komen van een netto- tot een brutoproductie, op basis van de onderlinge tussenafstand. Uitgedrukt in het aantal rotordiameters D.

Opstelling	Tussenafstand*	Verliesfactor
Bestaand, te verwijderen	4,7D	11%
Bestaand, blijven staan	4,0D	12%
100/100	4,0D	12%
120/120	3,3D	15%
140/140	5,4D	10%
VKA onder	3,5D	12%
VKA boven	2,9D	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 4 **Netto-productie per alternatief. De opbrengst van de twee windturbines die blijven staan is apart opgenomen.**

Alternatief	Type	Aantal	Afslag	Vermogen (MW)		Productie (MWh/jaar)	
				per wtbt	park	per wtbt	park
Bestaand, te verwijderen	NM64-1500	10	11%	1,5	15,0	4.202	42.024
Bestaand, blijven staan	V90-3MW	2	12%	3,0	6,0	6.484	12.967
100/100	V100-2MW	13	12%	2,0	26,0	6.923	90.005
120/120	SWT-2.5-120	12	15%	2,5	30,0	9.302	111.626
140/140	E-141 EP4	8	10%	4,2	33,6	14.160	113.281
VKA onder	V110-2MW	11	12%	2,0	22,0	7.659	84.246
VKA boven	GE-3.2-130	11	15%	3,2	35,2	11.743	129.171

3.3 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.**

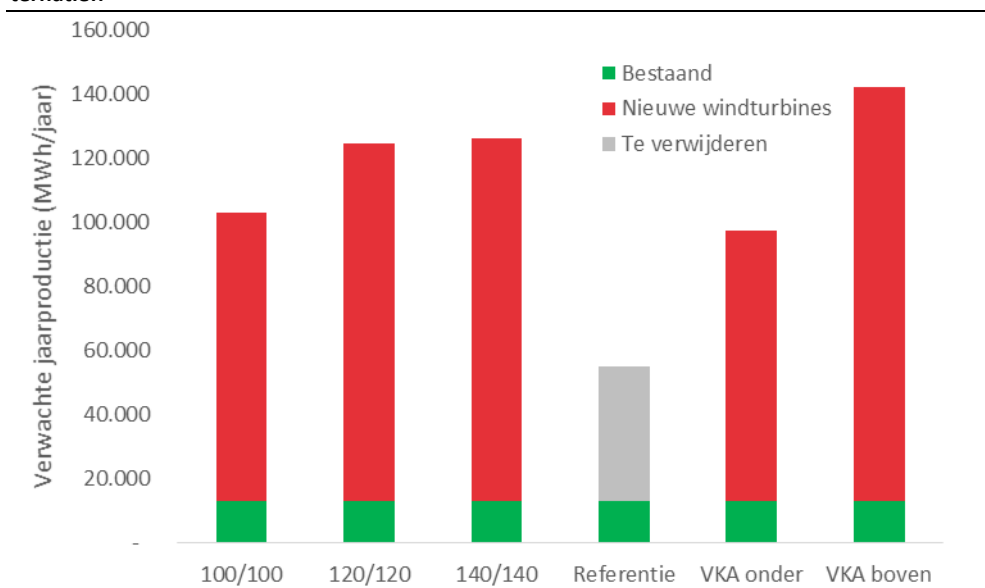
Alternatief	Type	Stilstand (uren/jaar)	Derving (MWh/jaar)	Derving (%)
100/100	V100-2MW	3:40	4	0,00%
120/120	SWT-2.5-120	18:02	26	0,02%
140/140	E-141 EP4	15:56	34	0,03%
VKA onder	V110-2MW	4:35	5	0,01%
VKA boven	GE-3.2-130	29:18	54	0,04%

Hoofdstuk 4 Conclusie

In dit rapport is van 3 MER-alternatieven en 2 VKA-alternatieven de verwachte jaar-opbrengst 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 4 Opbrengst in MWh/jaar van de drie MER-alternatieven, de referentiesituatie en het voorkeursalternatief.



Doordat de windturbines soms stilgezet moeten worden om normoverschrijdende slagschaduw te voorkomen treedt er enige derving op. Deze is voor alle alternatieven gering (max. 0,04% van de totale productie, in geval van VKA bovengrens).

Bijlage A In- en uitvoergegevens

Tabel 6 Windsnelheidsverdeling, power curve en productie.

Windsnelheidsverdeling (%)								Power curves (kW)							Bruto productie (MWh/jaar)													
m/s	80m west	80m oost	100m	110m	120m	130m	140m	V100	SWT-2.5	E-141	NM64	V90	V110	GE-3.2	V100	SWT-2.5	E-141	NM64	V90	V110	GE-3.2							
1	1,8	1,9	1,7	1,6	1,5	1,2	1,1													-	-							
2	3,4	3,5	3,1	3,1	3,0	2,9	2,8													-	-							
3	6,1	6,4	5,6	5,3	5,1	4,8	4,7	16	49	80	29		33	56	8	22	33	16		15	24							
4	7,5	7,8	7,0	6,8	6,7	6,6	6,5	113	165	200	87	77	149	215	69	97	114	56	53	89	125							
5	9,4	9,9	8,7	8,4	8,2	8,2	8,0	261	363	400	160	190	321	449	199	260	281	132	165	237	323							
6	11,0	11,5	10,4	10,1	9,9	9,3	9,1	448	674	750	273	353	554	791	408	583	601	263	354	489	646							
7	11,9	12,3	11,3	11,1	10,8	9,9	9,8	741	1.090	1.200	441	581	909	1.263	734	1.035	1.027	459	624	883	1.098							
8	10,8	11,0	10,7	10,6	10,5	9,9	9,8	1.119	1.644	1.800	632	886	1.354	1.857	1.053	1.513	1.554	599	853	1.256	1.619							
9	9,4	9,2	9,6	9,6	9,7	9,5	9,4	1.577	2.183	2.400	840	1.273	1.788	2.473	1.332	1.863	1.983	692	1.030	1.507	2.052							
10	7,3	7,0	7,7	8,0	8,1	8,6	8,6	1.901	2.441	3.200	1.052	1.710	1.973	2.933	1.289	1.740	2.409	672	1.047	1.384	2.203							
11	5,9	5,7	6,1	6,2	6,4	7,4	7,5	1.986	2.495	3.600	1.246	2.145	1.998	3.164	1.065	1.396	2.356	639	1.066	1.092	2.050							
12	4,4	4,1	5,0	5,2	5,3	6,1	6,2	2.000	2.500	4.000	1.408	2.544	2.000	3.221	871	1.169	2.174	543	922	909	1.718							
13	3,5	3,2	3,8	3,9	4,0	4,8	4,9	2.000	2.500	4.100	1.490	2.837	2.000	3.230	666	880	1.768	457	800	675	1.354							
14	2,3	2,0	2,8	3,0	3,3	3,6	3,7	2.000	2.500	4.200	1.542	2.965	2.000	3.230	488	712	1.375	306	520	529	1.017							
15	1,8	1,7	2,0	2,1	2,1	2,6	2,7	2.000	2.500	4.200	1.562	2.995	2.000	3.230	345	464	998	242	433	365	729							
16	1,3	1,1	1,6	1,7	1,8	1,8	1,9	2.000	2.500	4.200	1.564	3.000	2.000	3.230	278	387	693	178	298	292	500							
17	0,9	0,8	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	2.000	2.500	4.200	1.553	3.000	2.000	3.230	196	267	460	123	215	216	327							
18	0,6	0,4	0,8	0,9	1,0	0,7	0,8	2.000	2.500	4.200	1.512	3.000	2.000	3.230	134	208	292	73	105	158	205							
19	0,3	0,2	0,5	0,6	0,6	0,4	0,5	2.000	2.500	4.200	1.424	3.000	2.000	3.230	79	135	177	40	57	96	122							
20	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,2	0,3	2.000	2.500	4.200	1.400	3.000	2.000	3.230	44	77	103	29	48	47	70							
21	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	-	2.500	4.200	1.400	3.000		3.230		44	57	10	22	-	38							
22	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	-	2.500	4.200	1.400	3.000		3.230		22	30	12	26	-	20							
23	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	-	-	4.200	1.400	3.000		3.230			15	6	13	-	10							
24	-	-	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	-	-	4.200	1.400	3.000		3.230			7			-	5							
25	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	-	-	4.200	1.400	3.000		3.230			3	8	18	-	2							
gem.	7,81	7,64	8,14		8,38		8,60								Bruto productie (MWh/jaar)							9.256	12.875	18.510	5.555	8.668	10.239	16.253
															Verliesfactor							12%	15%	10%	11%	12%	12%	15%
															Netto productie (MWh/jaar)							8.146	10.943	16.659	4.944	7.628	9.010	13.815
															Vollasturen							4.073	4.377	3.966	3.296	2.543	4.505	4.317



Bosch & van Rijn
experts in renewable energy

Groenmarktstraat 56
3521 AV Utrecht
www.boschenvanrijn.nl

