

**Onderwerp:** Opbrengsberekening Windpark Goyerbrug  
**Datum:** 22 augustus 2019  
**Auteur:** ir. B. Williams  
**Versie:** 1.1

### Inleiding

Windpark Goyerbrug is een windpark in ontwikkeling. Op 12 januari 2019 heeft Windpark Goyerbrug de omgevingsvergunning aangevraagd bij de gemeente Houten. Op 3 juni 2019 heeft de gemeente het ontwerpbesluit genomen om de omgevingsvergunning te verlenen. Windpark Goyerbrug heeft aangegeven dat zij 67 GWh per jaar aan duurzame energie kan produceren. Om te kunnen voldoen aan de vergunnings- en ontheffingsvereisten heeft Windpark Goyerbrug te maken met mitigerende maatregelen. Windpark Goyerbrug heeft aan Blue Bear Energy gevraagd om een productieberekening te maken waarbij duidelijk wordt wat de effecten van deze mitigerende maatregelen zijn. In deze memo wordt uiteengezet hoeveel energie Windpark Goyerbrug jaarlijks kan produceren zowel voor als na de mitigerende maatregelen. De volgende maatregelen worden nader toegelicht: geluid, slagschaduw, stilstand ivm vleermuizen en overige verliezen.

### Windpark Goyerbrug

Windpark Goyerbrug is voornemens om vier windturbines te realiseren in een rechte lijn ten zuiden van en evenwijdig aan het Amsterdam-Rijnkanaal tussen Houten en Wijk bij Duurstede. De windturbines hebben een minimale ashoogte van 145 meter en een maximale ashoogte van 166 meter. De maximale rotordiameter bedraagt 150 meter.



**Figuur 1:** Ligging Windpark Goyerbrug evenwijdig aan het Amsterdam-Rijnkanaal

Verschillende turbintypes van verschillende turbinefabrikanten voldoen aan deze specificaties en kunnen worden gebouwd. In de onderzoeken bij de vergunningsaanvraag zijn een aantal specifieke turbintypes nader onderzocht.

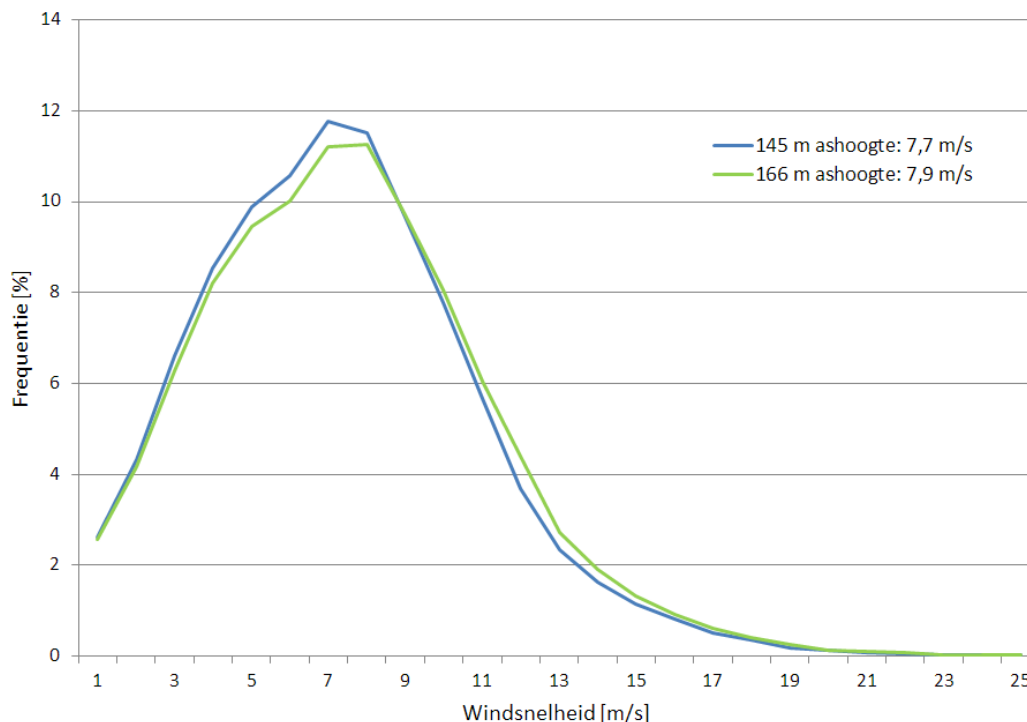
**Tabel 1:** Turbinetypen die ten behoeve van de vergunningsaanvraag nader zijn onderzocht

Type	Vermogen	Ashoogte	Rotordiameter
Nordex 131	3,9 MW	145 meter	131 meter
Nordex 149	4,0 - 4,5 MW	164 meter	149 meter
Senvion 3.7M140	3,7 MW	160 meter	140 meter
Senvion 4.2M148	4,2 MW	165 meter	148 meter
Vestas 136	3,6 MW	149 meter	136 meter
Vestas 150	4,0 – 4,2 MW	166 meter	150 meter

In deze memo wordt de productie van de kleinste en de grootste turbine geanalyseerd. Het gaat hier om de Nordex N131 met een ashoogte van 145 meter en om de Vestas V150 met een ashoogte van 166 meter. De overige onderzochte turbines zullen vergelijkbare opbrengsten laten zien.

### Opbrengstberekening

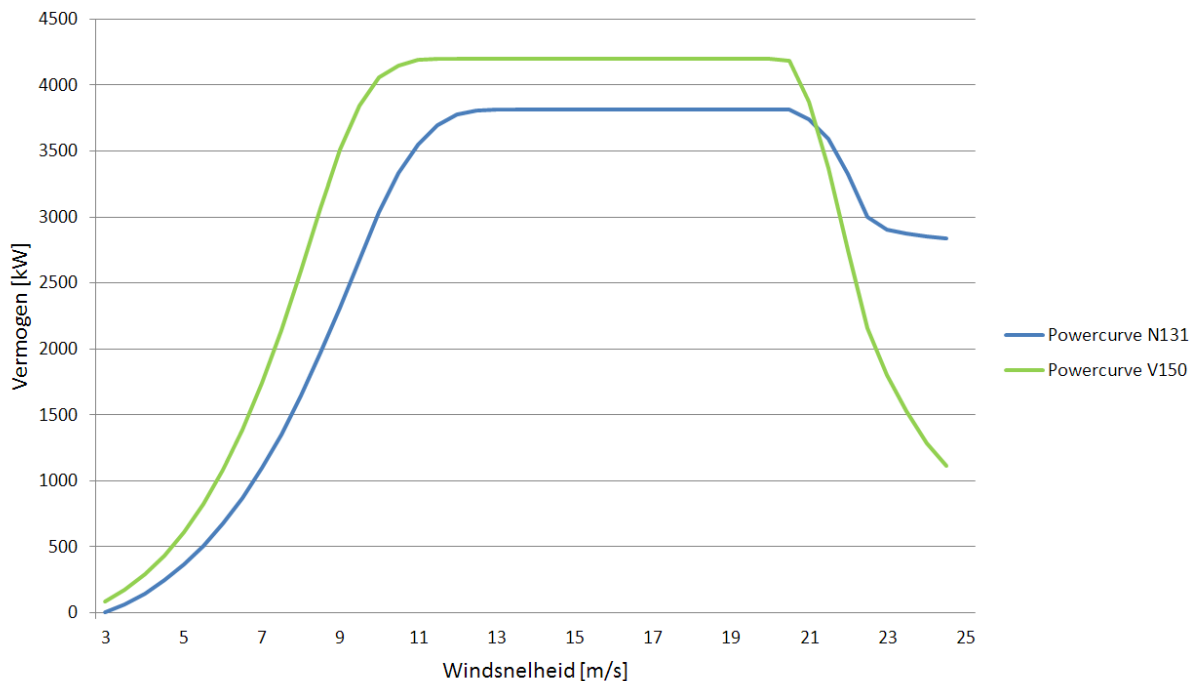
Om te bepalen hoeveel elektriciteit een windturbine op een bepaalde locatie kan opwekken, is het van belang om de gemiddelde windsnelheid te bepalen. Hierbij wordt gekeken naar de windverdeling. Met andere woorden, hoe vaak komt welke wind voor? Op grotere hoogtes komen vaker sterkere winden voor. Daarom wekken hogere turbines meer energie op lagere turbines. In onderstaand figuur is per ashoogte de windverdeling voor Windpark Goyerbrug weergegeven.



**Figuur 2:** Verdeling windsnelheid per ashoogte

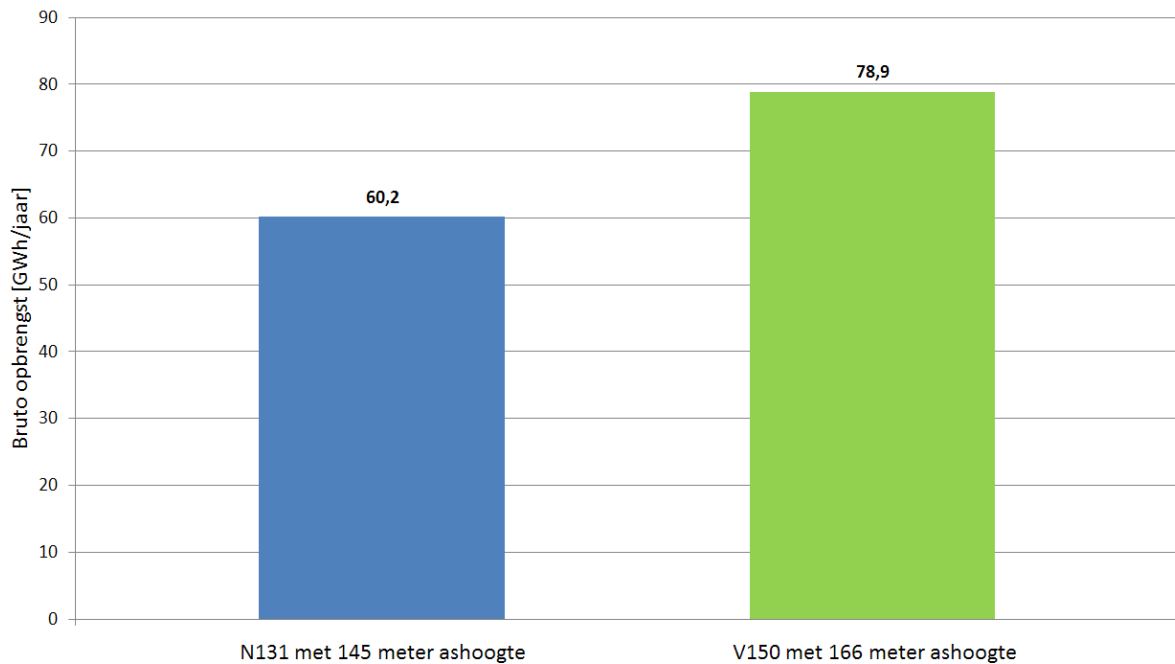
Er zijn goede en minder goede windjaren. De gegeven winddistributie gaat echter uit van langjarige tijdsreeksen, waardoor er een goed beeld ontstaat van de gemiddelde windsnelheid op locatie. De winddistributie is bepaald aan de hand van het High Resolution Limited Area Model (HIRLAM) van het KNMI. De gemiddelde windsnelheid op de laagst mogelijke ashoogte (145 meter) bedraagt 7,7 m/s. De gemiddelde windsnelheid op de hoogst mogelijke ashoogte (166 meter) bedraagt 7,9 m/s. De winddistributie kan per jaar verschillen.

De energie die de wind in zich draagt wordt door de klassieke natuurkundige wet  $E_k = \frac{1}{2} mv^2$  bepaald en is daarmee dus afhankelijk van de massa van de lucht en de windsnelheid. Waarbij de massa van de lucht wordt bepaald door het soortelijk gewicht van de lucht en het volume. Het volume aan lucht dat iedere seconde beschikbaar is voor de turbines wordt bepaald door de windsnelheid en de rotordiameter. Hiermee kan het momentane vermogen in de wind worden uitgedrukt als  $P = \frac{1}{2} \rho Av^3$  (met  $P$  = potentiële mechanische vermogen van de windturbine,  $\rho$  = soortelijk gewicht van de lucht,  $A$  = rotoroppervlak en  $v$  = windsnelheid). Windturbines op locaties met grotere windsnelheden en windturbines met een grotere rotoren wekken daarom meer energie op.



**Figuur 3:** Powercurves van de Nordex N131 en de Vestas V150

Wanneer windturbines in elkaars omgeving staan, hebben windturbines een effect op elkaars productie. Dit effect heeft het parkeffect. Het parkeffect verlaagt de productie van een windturbine. De windturbines van Windpark Goyerbrug staan gunstig opgesteld ten opzichte van de hoofdaanstreamrichting van de wind. Die hoofdaanstreamrichting is op locatie - maar ook in Nederland - zuidzuidwest (ZZW). Rekeninghoudend met de windverdeling, de powercurves en het parkeffect, is voor Windpark Goyerbrug de volgende jaarlijkse bruto productie berekend. Voor de N131 met een ashoogte van 145 meter geldt een bruto productie van 60,2 GWh/jaar. Voor de V150 met een ashoogte van 166 meter geldt een bruto productie van 78,9 GWh/jaar.



**Figuur 4:** Bruto jaaropbrengst in GWh voor de N131 met 145m ashoogte en de V150 met 166m ashoogte

### Opbrengstreductie door geluidsbepalende maatregelen

Draaiende windturbines maken geluid. Het geluidsniveau is mede afhankelijk van het type windturbine. Om geluidshinder zoveel mogelijk te beperken, zijn regels opgesteld. De regels voor het geluidsniveau zijn vastgelegd in het Activiteitenbesluit. Volgens dit besluit geldt voor geluid een jaargemiddelde norm van 47 dB  $L_{den}$  en 41 dB  $L_{night}$  ter plaatse van woningen van derden en andere gevoelige objecten. Het gevolg van deze normen is dat sommige turbines van Windpark Goyerbrug op sommige momenten in een stillere modus moeten draaien. Een paar voorbeelden van hoe windturbines kunnen voldoen aan de geluidsnormen zijn hieronder gegeven. Per windturbine is aangegeven wanneer en welke geluidsmodus gedraaid wordt om aan de normen te voldoen.

**Tabel 2:** Voorbeelden geluidsmodi bij een Nordex N131 en Vestas V150

Turbintype	Turbine	Dag (07:00 – 19:00 uur)	Avond (19:00 – 23:00 uur)	Nacht (23:00 – 07:00 uur)
Nordex N131	1	--	Mode 8 (-4,1 dB)	Mode 8 (-4,4 dB)
	2		--	Mode 6 (-3,6 dB)
	3		Mode 8 (-4,1 dB)	Mode 8 (-4,4 dB)
	4		--	--
Vestas V150	1	--	--	S012 (-4,3 dB)
	2			S02 (-2,1 dB)
	3			S012 (-4,3 dB)
	4			--

Bovenstaande geluidsmodi zorgen voor een productieverlies van 4,7 procent voor de N131 met een ashoogte van 145 meter en van 8,9 procent voor de V150 met een ashoogte van 166 meter.

### Opbrengstreductie door slagschaduwbeperkende maatregelen

Slagschaduw betreft de lichtflikkeringen die optreden vanwege de passerende schaduw veroorzaakt door de draaiende rotorbladen van een windturbine. Deze lichtflikkeringen treden op als vanaf de ontvanger gezien de rotorbladen van een windturbine de zonnestrallen onderbreken. Slagschaduw wordt beïnvloed door de grootte van de turbine (hoogte en rotordiameter), de windrichting, de windverdeling en het zonklimaat op locatie. Bij de omgevingsvergunningsaanvraag is een zogenaamd slagschaduwrapport gevoegd dat inzicht geeft in de effecten van slagschaduw op de omgeving. Op basis van het Activiteitenbesluit is het een vereiste om het windpark met een slagschaduwstelsel uit te rusten. Per windturbine is (gebaseerd op een worst case scenario, te weten een V150 met een ashoogte van 166 meter) de verwachte stilstand berekend.

**Tabel 3:** Verwachte stilstand in verband met slagschaduw gebaseerd op een V150 met een ashoogte van 166 meter

Turbintype	Turbine	Verwachte stilstand [uur/jaar]
Vestas V150	1	110:06
	2	152:34
	3	112:05
	4	47:03

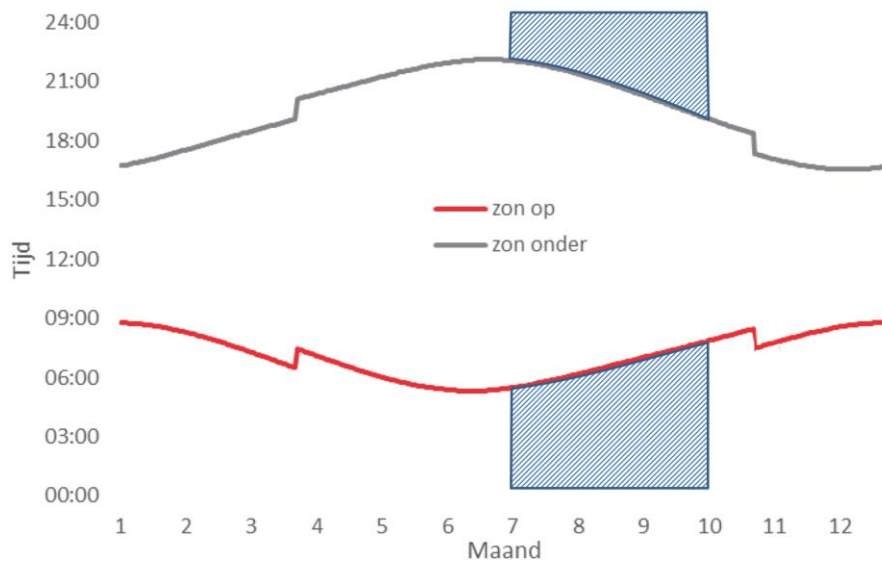
Bovenstaande stilstand in verband met slagschaduw zorgt voor een productieverlies van 1,2 procent. Hoewel de N131 met een ashoogte van 145 meter minder slagschaduw veroorzaakt dan de V150 met een ashoogte van 166 meter, wordt gemakshalve ook 1,2% productieverlies aangehouden.

### Opbrengstreductie door mitigerende maatregelen voor vleermuizen

Op 14 december 2018 heeft Windpark Goyerbrug een ontheffing van Provincie Utrecht ontvangen inzake de Natuurbeschermingswet. In deze ontheffing zijn voorschriften opgenomen. Het voorschrift dat bedoeld is ter bescherming van de verschillende vleermuissoorten, geeft aan dat onder bepaalde condities de windturbines stilgezet moeten worden. Hoewel de ontheffing nog niet onherroepelijk is, gaat deze opbrengstberekening uit van de voorwaarden zoals deze in de ontheffing van 14 december 2018 door Provincie Utrecht gesteld zijn.

De turbines moeten worden stilgezet:

- *bij windsnelheden tot en met 5 m/s ter hoogte van de tiplaagte; en*
- *bij een temperatuur hoger is dan 10°C; en*
- *geen neerslag; en*
- *tussen zonsondergang en zonsopkomst; en*
- *in de periode van 1 juli en 1 oktober.*



**Figuur 5:** Blauw gearceerd is de periode waarin stilstand voor vleermuizen nodig kan zijn onder bepaalde condities

Door de tijd waarin stilstand voor vleermuizen kan optreden te vermenigvuldigen met de kans waarop deze condities zich voor kunnen doen, wordt de totale stilstand berekend. De opgelegde stilstandvoorziening voor vleermuizen leidt tot een stilstand van 3,9 procent van de totale operationele tijd van Windpark Goyerbrug. De stilstand wordt verlangd in een periode dat het gemiddeld minder hard waait. Door de stilstand in deze periode te vergelijken met de berekende productie in die periode, is de stilstand als percentage van de totale productie berekend. De stilstand in verband met mitigerende maatregelen voor vleermuizen zorgt voor een productieverlies van 2,9 procent.

### Overige verliezen

Om de netto jaarproductie van het windpark te bepalen wordt een afslag voor overige verliezen van 5,0 procent aangehouden. Deze afslag wordt in mindering gebracht op de bruto productie na parkeffect. Deze afslag is een gemiddelde voor onderhoud, stilstand door te harde wind, bladdegradatie en transport- en transformatorverliezen.

### Netto productie

Door rekening te houden met de verschillende verliezen zoals in deze memo beschreven, wordt de netto productie berekend.

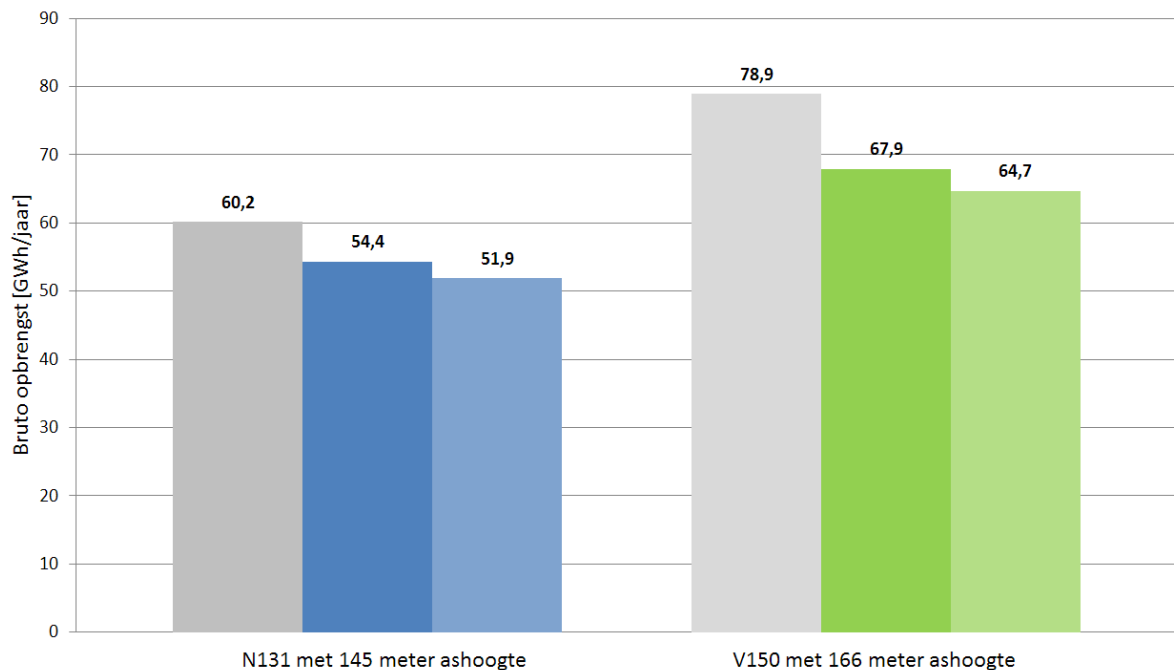
**Tabel 4:** Samenvatting: verliezen per maatregel / onderwerp

Turbintype	Verlies door stilstand ivm geluidnormen	Verlies door stilstand ivm slagschaduwnormen	Verlies door stilstand voor vleermuizen	Overige verliezen
Nordex N131 @145 m ashoogte	4,7 %	1,2 %	2,9 %	5,0 %
Vestas V150 @166 m ashoogte	8,9 %	1,2 %	2,9 %	5,0 %

Wanneer alle worst case verliezen bij elkaar opgeteld worden, dan is het totale verlies ten opzichte van de bruto opbrengst na parkeffect voor de N131 met een ashoogte van 145 meter 13,8 procent en voor de V150 met een ashoogte van 166 meter 18,0 procent. Deze vergelijking is echter niet correct. Het is namelijk zo dat het windpark te maken heeft met 1,2% productieverlies door stilstand voor slagschaduw en 2,9% productieverlies door stilstand voor vleermuizen. De turbines staan op de voorgeschreven momenten daadwerkelijk stil. Dat betekent dat het windpark gedurende deze stilstand geen geluid produceert. En dat betekent weer dat er door de stilstand voor slagschaduw en vleermuizen geluidruimte ontstaat. Wanneer de turbines in de zomermaanden minder geluid produceren (door bijvoorbeeld stilstand voor vleermuizen), dan mogen ze in de herfst en wintermaanden meer geluid produceren zolang er wordt voldaan aan het Activiteitenbesluit (47 dB  $L_{den}$  en 41 dB  $L_{night}$ ). Hierdoor worden de verliezen voor vleermuizen en slagschaduw als het ware geneutraliseerd. In een worst case scenario is het totale verlies ten opzichte van de bruto opbrengst na parkeffect voor de N131 met een ashoogte van 145 meter dan 9,7 procent en voor de V150 met een ashoogte van 166 meter 13,9 procent. Voorgaande leidt tot de volgende netto productie.

**Tabel 5:** Mogelijke netto productie Windpark Goyerbrug (N131 met 145 meter ashoogte en V150 met 166 meter ashoogte)

Turbintype	Bruto productie [GWh/jaar]	Netto productie (max) [GWh/jaar]	Netto productie (min) [GWh/jaar]
Nordex N131 @ 145 m ashoogte	60,2	54,4	51,9
Vestas V150 @ 166 m ashoogte	78,9	67,9	64,7



**Figuur 6:** Mogelijke bruto (in grijs) en netto (in blauw en groen) jaaropbrengst van Windpark Goyerbrug

## **Conclusie**

Windpark Goyerbrug heeft met verschillende mitigerende maatregelen te maken die tot productieverliezen leiden. Van de in de vergunningsaanvraag nader onderzochte windturbines, zijn in deze memo de productieberekeningen van zowel de kleinste (Nordex N131 met 145 meter ashoogte) als de grootste (Vestas V150 met 166 meter ashoogte) windturbinevariant geanalyseerd. De productieverliezen zijn goed kwantificeerbaar en zijn gemiddeld te noemen. Zowel de bruto als netto jaaropbrengst van Windpark Goyerbrug kwalificeren zich in beide onderzochte varianten als goed. De financierbaarheid van Windpark Goyerbrug is gegeven de verwachte opbrengsten goed.





Blue Bear Energy bv  
Padangstraat 68  
3531 TD, Utrecht

Web: [www.bluebearenergy.com](http://www.bluebearenergy.com)  
Mail: [info@bluebearenergy.com](mailto:info@bluebearenergy.com)  
Tel: +31 (0)6-28412124

#### DISCLAIMER

Blue Bear Energy is a company that develops wind energy projects. Blue Bear Energy develops own projects but also shares knowledge and experience with partners across the field of wind energy.

Blue Bear Energy strongly believes that our society can and must operate more sustainable. Wind energy is one of the most efficient, effective and elegant forms of renewable energy.

Blue Bear Energy is specialized in wind energy, project development, project management, business analysis, procurement, marketing, mergers and acquisitions, contract management, due diligence.

Blue Bear Energy does not accept any liability for loss or damages in any form due to this report. Reproduction of this report in any form without written consent of the writer is strictly prohibited.