



Efficiënte inpassing van onshore windturbines

In welke mate een selectiemodel inzicht kan bieden in de ruimtelijke inpasbaarheid van onshore windturbines in Nederland

Witteveen+Bos

13 juni 2016

Project	Efficiënte inpassing van onshore windturbines
Datum	13 juni 2016
Auteur	Rick Dijkstra
Studentnummer	335597
Opleiding	Milieukunde
Contact	rickdykstra094@hotmail.com +31(0)615404880
Opdrachtgever	Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. Van Twickelostraat 2 Postbus 233 7400 AE Deventer +31 (0)570 69 79 11
Praktijkbegeleider	Teun v. Breukelen
Contact	teun.van.breukelen@witteveenbos.com +31(0)622683432
Begeleider Saxion	Ricardo Cronie
Contact	r.j.a.cronie@saxion.nl +31(0)618545148
Beoordelaar	Antoine v. Brussel
Contact	a.vanbrussel@saxion.nl +31(0)653706015

SUMMARY

Motive research

The Dutch government has agreed with the provinces to invest more in onshore wind energy. A total of 6000 Megawatts (MW) of wind power has to be achieved before the end of 2020. This wind power provides green electricity for 4 million households (SER, 2013). In order to realize this increasing demand of wind energy it is essential to accelerate wind projects, innovate in the field of wind energy and create more political and public support for the use of wind energy.

At the moment, the current method of selecting a sufficient location and type of wind turbine is not as efficient as it should be. The current selection method doesn't look directly at aspects such as external security, suitable wind turbine types and possibilities for foundations. Furthermore, in the current method, the same steps are repeatedly executed even if the outcome can already be pictured, making it a time consuming process. For Witteveen+Bos it is interesting to know what the possibilities are for a new selection method which gives insight into the possibilities for wind energy for a certain location. This leads to the following research question for this study:

With which, to be designed and tested, selection model could the different model types of onshore wind turbines in the Netherlands be compared to each other according to integration criteria?

In order to give an answer to this research question experts in the field of wind energy were interviewed and consulted. Experts from among others: project developers, contractors, governmental organisations and Witteveen+Bos itself. For each integration criterion the relevant laws and regulations were examined. And by doing so, what the standard is and how this is assessed. Each criterion was analysed to evaluate if it is decisive for determining the possibilities for wind energy. These decisive criteria were processed in the selection model. A test case was used in order to give input for the selection model and to test it on the workability. This led to a couple of improvements, considering the workability and quality of the model.

Results

In the selection model two components are assessed. These are the wind turbines and the integration criteria. Before this assessment can take place input is needed. At first an inventory of onshore wind turbines was made. This inventory consists of 37 different model types ranging from 1 MW till 7 MW. These model types were processed into the selection model. Second of all, integration criteria were analysed and selected. The wind turbines have to be assessed according to these criteria to determine if a location is suitable for wind energy or not. These are criteria such as, noise hindrance, external safety, ecology and disturbance for aviation. The study shows that seven integration criteria are decisive in determining the possibilities for wind energy. These decisive criteria were processed into the selection model.

In order to design a selection model, which gives both insight in suitable wind turbines and suitable locations, a combination was made between two different models. The first selection process takes place in an Excel-model.

In this model the wind turbines are selected. This Excel-model provides a range of suitable wind turbines with related data such as noise hindrance in decibel. The resulting wind turbines are used as input for the selection process which takes place in a model based on a Geographical Information System (GIS). In this GIS-model the suitable locations are selected. Two existing models were used for the calculation of specific data. These models are Windpro and Geomilieu.

By using this selection model insight can be given in the possibilities for wind energy for a certain location. This insight can be generated in a short amount of time (around 2 days). This model should not be used as a final decision maker for the integration of wind energy. Integrating wind energy involves a lot of specific research which can't be done in a selection model. Research focused on aspects such as the effects on ecology and radar. Further steps have to be made after the results of this selection model. This involves more detailed work and studies.

By applying the selection model on a test case the workability and quality of the model could be analysed. The selection model was applied in the municipality of Oldenzaal. The test case shows that there are a couple of weaknesses in the current selection model. A couple of improvements have to be made considering the workability and quality of the model. These are:

- making the model more user-friendly by further automating the models;
- developing a guide for using the GIS-model;
- calculating specific safety distances for the assessment of external safety;
- expanding the range of wind turbines used in the model;
- using a qualitative analysis for the assessment of noise hindrance in the GIS-model;
- using a qualitative analysis for the assessment of external safety in the GIS-model;
- applying the selection model on a second large-scale test case in order to validate the results of the model.

A further development of the selection model can be achieved by implementing these improvements. In the course of time, more integration criteria could be processed in the model. Aspects such as financial feasibility are interesting topics to focus on.

VOORWOORD

Voor u ligt de scriptie dat is geschreven in het kader van mijn afstudeeronderzoek, binnen de opleiding Milieukunde aan de Saxion Hogeschool te Deventer. Dit afstudeeronderzoek heb ik in opdracht van Witteveen+Bos uitgevoerd en hier heb ik met veel plezier aan gewerkt. Dit onderzoek zag ik als een flinke uitdaging en binnen twintig weken tijd heb ik veel ervaring en kennis opgedaan op het gebied van windenergie.

Graag wil ik Teun van Breukelen bedanken voor zijn leerzame begeleiding en het bijdragen aan mijn afstudeeronderzoek. Daarnaast wil ik ook Koen Haans en Bert van Dorp bedanken voor het geven van de kans om deze opdracht uit te voeren. Ik wil ook graag alle betrokken personen binnen Witteveen+Bos bedanken voor het helpen dit selectiemodel te ontwerpen, op te stellen en het bieden van een prettige werksfeer. Ook dank ik alle betrokken personen binnen Raedthuys, NWEA, Van Hattum en Blankevoort, RVO en RWE voor de samenwerking en de tijd die zij hebben genomen om mij te woord te staan.

Als laatste wil ik mijn begeleiders Ricardo Cronie en Antoine van Brussel vanuit Saxion bedanken voor de feedback en tips gedurende de afstudeerperiode.

Rick Dijkstra
Deventer, juni 2016.

INHOUDSOPGAVE

SUMMARY	3
VOORWOORD	5
1 INLEIDING	8
1.1 Situatieschets	8
1.2 Doel- en probleemstelling	9
1.3 Begripsbepaling	10
1.4 Leeswijzer	11
2 THEORETISCH KADER	12
2.1 De vraag naar windenergie	12
2.1.1 Energietransitie	12
2.1.2 Huidige selectiemethode	13
2.2 Mogelijke parameters inpassingcriteria	13
2.2.1 Parameters windenergie	13
2.2.2 Parameters lokale effecten windturbine	15
2.3 Verband theoretisch kader en onderzoeksopzet	17
3 ONDERZOEKSMETHODE	18
3.1 Onderzoeksvragen	18
3.2 Onderzoeksaanpak	19
4 MODELTYPEN WINDTURBINES IN NEDERLAND	22
4.1 Gerealiseerde modeltypen	22
4.2 Verwachte modeltypen onshore windturbines	23
4.3 Deelconclusie	24
5 INPASSINGCRITERIA	25
5.1 Geluidhinder	25
5.2 Slagschaduw	27
5.3 Externe veiligheid	28
5.4 Funderingsmogelijkheden	30
5.5 Energieopbrengsten	30
5.6 Netaansluiting	31
5.7 Luchtvaartstoring	31
5.7.1 Radarverstoring	32
5.7.2 Hoogtebeperkingen luchthavens	33
5.7.3 Laagvliegroutes	34
5.8 Onderlinge plaatsingsafstand	35
5.9 Ecologie	35
5.10 Eisen beleid	37

5.11	Deelconclusie	38
6	OPZET SELECTIEMODEL	39
6.1	Doorslaggevende inpassingcriteria	39
6.1.1	Geluidhinder	39
6.1.2	Slagschaduw	40
6.1.3	Externe veiligheid	40
6.1.4	Energieopbrengsten	40
6.1.5	Luchtvaartstoring	40
6.1.6	Onderlinge plaatsingsafstand	41
6.1.7	Ecologie	42
6.1.8	Eisen beleid	42
6.2	Verwerking selectiemodel	42
6.2.1	Geluidhinder	43
6.2.2	Externe veiligheid	43
6.2.3	Energieopbrengsten	44
6.2.4	Luchtvaartstoring	44
6.2.5	Onderlinge plaatsingsafstand	45
6.2.6	Ecologie	45
6.2.7	Eisen beleid	46
6.3	Deelconclusie	46
7	TESTCASE	47
7.1	Testcases	47
7.2	Beleidskaders	48
7.3	Resultaten testcase	49
7.4	Deelconclusie	51
8	VERBETERPUNTEN SELECTIEMODEL	52
8.1	Verbeterpunten selectiemodel	52
8.2	Deelconclusie	54
9	DISCUSSIE	55
10	CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN	56
10.1	Conclusie	56
10.2	Aanbevelingen	57
	LITERATUURLIJST	58

1 INLEIDING

1.1 Situatieschets

De vraag naar duurzame energie wordt steeds groter. De voornaamste reden hiervoor is klimaatverandering (Energieonderzoek Centrum Nederland, 2014). De gemiddelde temperatuur op aarde stijgt door het versterkt broeikaseffect. Steeds meer broeikasgassen in de vorm van CO₂ komen vrij door het gebruik van fossiele brandstoffen voor energieopwekking en transport. Wereldwijd brengt deze temperatuurstijging risico's met zich mee voor mens en milieu (Milieu centraal, 2015).

Een andere reden voor de stijgende vraag naar duurzame energie is de afname in de beschikbaarheid van fossiele brandstoffen. De huidige wereldeconomie werkt op fossiele brandstoffen. In Nederland is circa 93% van de gebruikte energie afkomstig van fossiele brandstoffen (voornamelijk aardgas). Geschat wordt dat brandstoffen zoals aardgas en olie binnen 60 jaar uitgeput zijn (Milieu centraal, z.d.). Door deze toenemende schaarste zullen de energieprijzen stijgen. Bovendien wordt Nederland afhankelijk van andere landen voor de levering van fossiele brandstoffen. Door het gebruik van duurzame energie kan een betrouwbare energievoorziening verzekerd worden en de uitstoot van broeikasgassen verminderd (Milieu centraal, z.d.).

Overheden, niet-gouvernementele organisaties (ngo's) en andere stakeholders proberen bedrijven en particulieren te stimuleren om duurzame energie te gebruiken. Hiervoor zijn doelstellingen en ambities opgesteld. Zo moet de gehele energievoorziening van Nederland in 2020 voor 14% uit duurzame energie bestaan (Rijksoverheid, 2015). Windenergie is één van de manieren om Nederland te voorzien van duurzame energie. Het Rijk heeft in een akkoord met de provincies afgesproken om te investeren in wind op land. Dit levert een garantie op van 6000 MW windvermogen in 2020. Hierdoor kunnen 4 miljoen huishoudens van duurzame elektriciteit worden voorzien (SER, 2013).

Windenergie kan in principe op drie manieren worden geproduceerd. De eerste manier om energie uit wind te onttrekken is door gebruik te maken van weerstand. Dit principe wordt bijna niet gebruikt aangezien de energieopbrengst vrij laag is (Ouwehand, et al., 2011). De meest gebruikte manier om energie te onttrekken uit wind is door het liftprincipe. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de liftkracht door wind. Hierbij kan onderscheid gemaakt worden tussen twee hoofdtypen windturbines, turbines met een verticale- en horizontale as. De huidige windturbines maken gebruik van een horizontale as (Ouwehand, et al., 2011). Uit deze hoofdtypen kan onderscheid gemaakt worden tussen verschillende modeltypen windturbines. In bijlage I is, ter beeldvorming, een overzicht weergegeven van de verschillende onderdelen in een windturbine.

Om de vraag naar meer windenergie op land te realiseren is het essentieel om inpassingplannen te versnellen, te innoveren op het gebied van windenergie en politiek en maatschappelijk draagvlak te creëren voor de inpassing van windenergie.

Momenteel is de verwachting dat de gestelde doelstelling (6000 MW in 2020) niet gehaald zal worden (Rijksdienst voor ondernemend Nederland, 2016). Verschillende partijen zoals adviesbureaus, provincies en gemeenten zijn druk bezig om de opschaling van windenergie waar te maken (SER, 2013).

Advies- en ingenieursbureau Witteveen+Bos is één van deze partijen. Witteveen+Bos houdt zich onder andere bezig met windenergie. Hiervoor worden verschillende werkzaamheden uitgevoerd (Witteveen+Bos, 2015). Het bureau onderzoekt welke locaties geschikt zijn voor het plaatsen van windturbines, waarbij de wettelijke eisen en fysieke mogelijkheden in beeld worden gebracht (Witteveen+Bos, 2015). Het bedrijf wil een groter marktaandeel als het gaat om windenergie. Het gaat hier om onshore windturbines met een horizontale as (pers. comm. Haans, van Dorp, 2016; Ouwehand, et al., 2011). Witteveen+Bos is op zoek naar een nieuwe methode waarmee inzicht kan worden gegeven in de mogelijkheden voor windenergie. In de huidige selectiemethode wordt alleen op basis van wetgeving en beleidskaders een geschikte locatie aangewezen. Hierbij wordt niet direct gekeken naar aspecten zoals funderingsmogelijkheden en geschikte modeltypen windturbines. Daarnaast is dit een tijdrovend proces. Met de huidige benadering worden herhaaldelijk dezelfde stappen uitgevoerd. Eerst wordt een potentieel geschikt gebied aangewezen voor windturbines waarop vervolgens vanuit het oogpunt van de turbine gekeken wordt of het past binnen het aangewezen gebied (pers. comm. Haans, van Dorp, 2016).

In de nieuwe selectiemethode moeten modeltypen windturbines met elkaar vergeleken kunnen worden aan de hand van inpassingcriteria. Dit zijn criteria waaraan getoetst moet worden bij de inpassing van windturbines. Dit zijn criteria zoals geluidhinder en externe veiligheid. Op basis van deze toetsing kunnen adviezen worden gegeven aan gemeenten en bedrijven betreffende de plaatsing en selectie van windturbines (pers. comm. Haans, van Dorp, 2016). Verschillende technische en locatiespecifieke parameters moeten hiervoor inzichtelijk gemaakt worden. Voor het onderzoek worden alleen inpassingcriteria in het selectiemodel verwerkt die doorslaggevend zijn bij het bepalen van een geschikte locatie. Met doorslaggevend wordt verwezen naar criteria die bepaalde locaties en/of modeltypen windturbines kunnen uitsluiten. Het doel van dit onderzoek is om voor Witteveen+Bos een selectiemodel te ontwerpen en te testen waarin verschillende modeltypen windturbines in Nederland met elkaar vergeleken kunnen worden op het gebied van inpassingcriteria. Dit betreft alleen modeltypen onshore windturbines die een vermogen hebben van 1-7 MW die de afgelopen 5 jaar zijn gerealiseerd en waarvan verwacht wordt dat die de komende 5 tot 10 jaar worden gerealiseerd.

1.2 Doel- en probleemstelling

De doelstelling van dit onderzoek is als volgt:

“Voor 1 juli 2016 het ontwerpen en testen van een selectiemodel waarin verschillende modeltypen onshore windturbines in Nederland vergeleken kunnen worden aan de hand van inpassingcriteria, zodat Witteveen+Bos efficiënter en beter adviezen kan geven m.b.t. de plaatsing van windturbines.”

Om deze doelstelling te behalen moet de volgende probleemstelling worden beantwoord:

“Met welk, te ontwerpen en te testen, selectiemodel kunnen de verschillende modeltypen onshore windturbines in Nederland met elkaar vergeleken worden aan de hand van inpassingcriteria?”

1.3 Begripsbepaling

De volgende begrippen zijn in dit onderzoek als volgt gedefinieerd:

Inpassingcriteria: In dit onderzoek vormt de term ‘inpassingcriteria’ een overkoepelend begrip. Hiermee wordt verwezen naar de criteria waaraan getoetst moet worden om te bepalen waar de plaatsing van windturbines mogelijk is. Uit het onderzoek moet blijken welke criteria dit zijn. Ter illustratie: criteria zoals geluidhinder, energieopbrengsten en funderingmogelijkheden. Verschillende technische en locatiespecifieke parameters zijn nodig bij het toetsen aan deze criteria (pers. comm. Haans, van Dorp, 2016).

Locatiespecifieke parameters: Gegevens die verschillen per locatie, zoals windsnelheid, geluidgevoelige objecten (woningen, scholen), bodemtype en terreingesteldheid (Ouwehand, et al., 2011).

Technische parameters: Dit zijn technische kenmerken van de windturbine. Hieronder vallen kenmerken zoals de ashoogte, rotordiameter en vermogen in MW (Ouwehand, et al., 2011).

Doorslaggevend: Dit is het criterium dat gebruikt wordt om de inpassingcriteria te selecteren voor het te ontwerpen selectiemodel. Alleen doorslaggevende inpassingcriteria worden meegenomen. Met doorslaggevend wordt naar de criteria verwezen die bepalen of een locatie en/of modeltype windturbine uitgesloten wordt voor de plaatsing van windturbines. Uit het onderzoek moet blijken welke criteria dit zijn.

Onshore windturbines: In het voorlopige selectiemodel worden alleen onshore windturbines gebruikt. Met onshore windturbines wordt verwezen naar windturbines op land.

Modeltypen windturbines: Dit zijn de modeltypen windturbines die gebruikmaken van een horizontale as. Deze typen dienen als input voor het selectiemodel. Aan de hand van deze typen windturbines worden de energieopbrengsten en lokale effecten vastgelegd.

Selectiemodel: Het uiteindelijke model waarin modeltypen windturbines geselecteerd worden op basis van inpassingcriteria om inzicht te bieden in de geschikte locatie(s) en modeltype windturbine(s). Het model kan bestaan uit meerdere elementen, zoals een GIS-model, Excel-model en WindPro-model. Dit model is geen doorrekenmodel, dat wil zeggen, het model biedt (in eerste instantie) alleen inzicht in de mogelijkheden voor windenergie, niet concrete opstellingsvarianten.

1.4 Leeswijzer

De scriptie is als volgt opgebouwd:

In hoofdstuk 1 wordt de aanleiding van dit onderzoek gepresenteerd. Hierop volgt het theoretisch kader in hoofdstuk 2. De huidige trends met betrekking tot de vraag naar windenergie en mogelijke parameters worden hier beschreven. De eerste twee hoofdstukken resulteren in een onderzoeksopzet en keuzes voor de aanpak van het onderzoek. Deze onderzoeksmethodiek wordt in hoofdstuk 3 behandeld. Aan de hand van de onderzoeksvragen staat beschreven hoe het onderzoek is aangepakt en uitgevoerd.

Het onderzoek bestaat uit drie delen. Allereerst zijn modeltypen windturbines geïnterviewd en inpassingcriteria onderzocht (vooronderzoek). Dit wordt gepresenteerd in hoofdstuk 4 en 5. Het vooronderzoek is input voor het ontwerpen van het selectiemodel. Het tweede deel van het onderzoek is het uitwerken en beoordelen van de geïnterviewde windturbines en inpassingcriteria (analyse). Hoe deze resultaten hebben geresulteerd tot het eerste opzet van het selectiemodel staat uitgewerkt in hoofdstuk 6. Per criterium wordt inzicht gegeven in hoe dit is verwerkt in het ontworpen selectiemodel.

Vervolgens is het selectiemodel toegepast en getest op basis van de testcase, dit is het derde deel van het onderzoek (testfase). Dit wordt beschreven in hoofdstuk 7. In dit hoofdstuk staat de uitwerking van de testcase en worden de resultaten behandeld. Op basis van deze testcase en een brainstormsessie zijn verbeterpunten opgesteld. Deze verbeteringen staan puntsgewijs beschreven in hoofdstuk 8.

Een korte discussie ten aanzien van de onderzoeksopzet- en uitvoering wordt behandeld in hoofdstuk 9. Daarna wordt antwoord gegeven op de hoofdonderzoeksvraag. Dit wordt gepresenteerd in hoofdstuk 10. Uit deze conclusie volgen aanbevelingen voor vervolgonderzoek en het selectiemodel. Dit is het advies voor Witteveen+Bos.

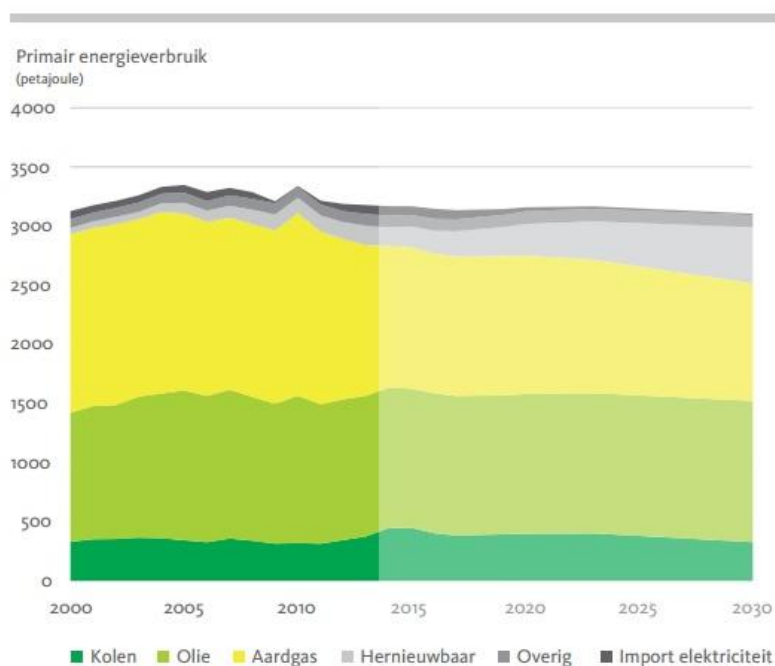
2 THEORETISCH KADER

2.1 De vraag naar windenergie

In deze paragraaf wordt ingegaan op de energietransitie en de huidige methode voor het bepalen van de geschikte locatie voor windturbines. Daarnaast worden de mogelijke technische en locatiespecifieke parameters beschreven.

2.1.1 Energietransitie

Door het gebruik van duurzame energie wordt een schonere energievoorziening verzekerd. Het huidige kabinet ziet het nut hiervan ook in. Om hier stappen toe te zetten heeft het kabinet doelstellingen opgesteld. Zo moet de gehele energievoorziening van Nederland in 2050 volledig duurzaam zijn (SER, 2013). Om dit doel te behalen is een energietransitie nodig. Hernieuwbare energiebronnen zoals wind- en zonne-energie zullen steeds belangrijker worden (Energieonderzoek Centrum Nederland, 2014). Momenteel is het aandeel hernieuwbare energie in Nederland laag (zie figuur 1), ongeveer 5,6 procent in 2014 (Centraal Bureau voor de Statistiek, 2015). De verwachting is dat het aandeel hernieuwbare energie vanaf 2017 flink gaat groeien naar ongeveer 11,1 procent in 2020 (Energieonderzoek Centrum Nederland, 2014).



Figuur 1. Primair energieverbruik per energiebron (Energieonderzoek Centrum Nederland, 2014).

2.1.2 Huidige selectiemethode

Door de groeiende vraag naar hernieuwbare energie heeft het Rijk in samenwerking met de provincies een energieakkoord gesloten over het realiseren van 6000 MW operationeel windvermogen in 2020 (SER, 2013). Dit betekent dat meer windparken gebouwd moeten worden. In totaal zijn 237 projecten gepland voor het realiseren van deze doelstelling (NWEA, 2011). Windenergieprojecten kunnen niet overal gerealiseerd worden. In het bestemmingsplan worden de randvoorwaarden of kaders voor windenergieprojecten vastgesteld. Dit wordt gedaan door de desbetreffende gemeente in samenwerking met de provincie. De bouw van windturbines moet passen binnen de vereisten die opgesteld staan in het bestemmingsplan. Zo niet, dan kan worden beoordeeld of van het bestemmingsplan valt af te wijken (van der Heijden, 2013). Wanneer bekend is of het plan voor een windpark- of turbine past binnen het bestemmingsplan wordt onderzocht welke locatie geschikt is. Het uitvoeren van locatieonderzoek wordt gedaan door adviesbureaus en kennisinstituten (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, z.d.). In het locatieonderzoek wordt aan de hand van criteria bepaald welke locatie geschikt is. Deze criteria worden afgeleid uit bestaande wetgeving en beleidskaders, criteria zoals:

- windturbines worden niet in stiltegebieden geplaatst;
- plannen voor windturbines houden rekening met terreinen van (zeer) hoge archeologische waarde;
- windturbines kunnen niet gebouwd worden in de nabijheid van kwetsbare objecten en nabij plekken waar de opslag of het transport van gevaarlijke stoffen plaatsvindt (Greenspread, 2012).

Nadat de geschikte locatie bepaald is, kan een milieueffectrapportage (m.e.r.) worden opgesteld (van der Heijden, 2013). Alleen windparken met ten minste 3 windturbines en een vermogen vanaf 15 MW, of van 10 turbines of meer zijn m.e.r.-plichtig. In de m.e.r. wordt beoordeeld wat de effecten zijn van het windenergieproject. Hierbij wordt getoetst op aspecten als geluidhinder, slagschaduw en externe veiligheid (Witteveen+Bos, 2015).

2.2 Mogelijke parameters inpassingcriteria

In deze paragraaf wordt ingegaan op de mogelijke parameters voor het toetsen aan de inpassingcriteria. De mogelijke parameters die nodig zijn voor het vaststellen van potentiële windenergie en de effecten van windturbines worden behandeld.

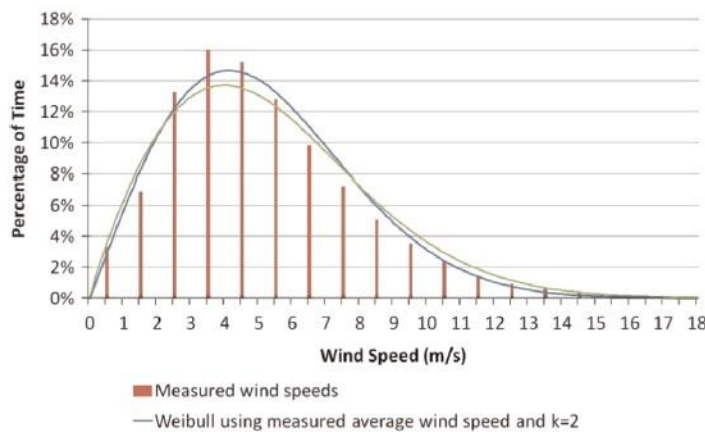
2.2.1 Parameters windenergie

Een windturbine kan niet overal geplaatst worden. Dit hangt af van een aantal aspecten. Een vanzelfsprekend aspect is potentiële windenergie (Ouwehand, et al., 2011). Aan de hand hiervan kan berekend worden wat de opbrengsten zullen zijn van de plaatsing van windparken. Een aantal parameters zijn bepalend voor het vaststellen van potentiële windenergie. Dit zijn zowel technische als locatiespecifieke parameters. Deze zullen worden omschreven in de volgende alinea's.

Locatiespecifieke parameter

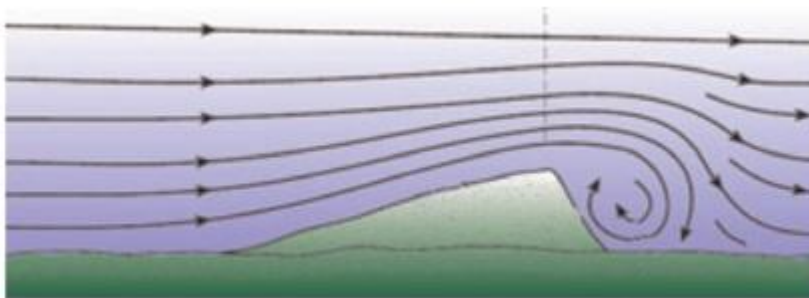
Een belangrijke parameter is de wind. Als eerste wordt hier gekeken naar de windsnelheid- en richting. Wind varieert voortdurend in snelheid en richting, per dag en seizoen. Hierdoor is het moeilijk om een duidelijk beeld te krijgen van de economische haalbaarheid van windturbines.

Simpelweg uitgaan van jaargemiddelden geeft geen goede weergave (Bukala, et al., 2015). Locatiespecifieke gegevens moeten hiervoor gebruikt worden. Dit wordt gedaan door gebruik te maken van windsnelheidsverdelingen. Hierin wordt voor een locatie de verdeling van de optredende windsnelheden over een heel jaar bepaald. Dit wordt gemeten op een hoogte van 10 meter boven de grond. Met behulp van de weibullverdeling kan de windsnelheidsverdeling gemodelleerd worden, in figuur 2 is een voorbeeld te zien. Aan de hand hiervan kan een prognose gemaakt worden van de windsnelheid (Ouweland, et al., 2011).



Figuur 2. Weibullverdeling windsnelheid (Bukala, et al., 2015).

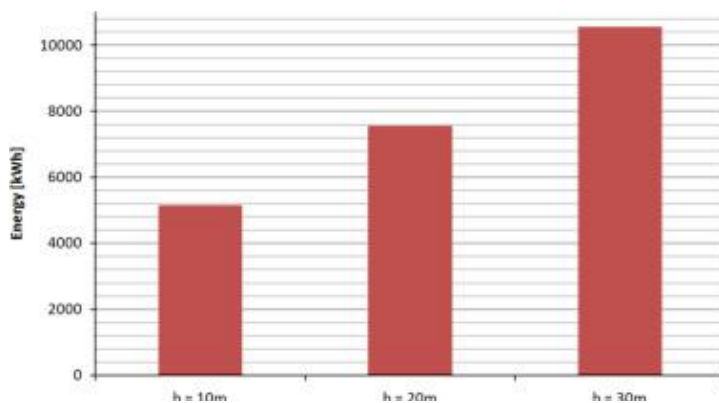
Een andere bepalende factor is de terreingesteldheid. Het aardoppervlak zelf werkt als weerstand voor de wind. Terreinen met een zeer dichte weerstand zoals bebouwing en bossen verminderen de windsnelheid. Bij gladde/vlakke oppervlakken zoals water zal de windsnelheid hoger zijn. Topografische elementen zoals heuvels (ontdaan van obstakels zoals bomen en gebouwen) kunnen de windsnelheid versterken. Dit komt doordat de luchtstroom samengeperst wordt, waardoor een tunnel effect ontstaat (zie figuur 3). Het nadeel hiervan is, is dat er meer sprake is van turbulentie. De turbine zal daardoor bloot worden gesteld aan verhoogde dynamische belastingen (Bukala, et al., 2015).



Figuur 3. Terrain acceleration effect (Bukala, et al., 2015).

Technische parameters

Naast parameters zoals windsnelheid- en richting zijn ook een aantal technische parameters belangrijk voor het bepalen van de potentiële windenergie. De rotorbladen zetten in een windturbine kinetische energie om in mechanische energie. Een generator zet deze energie om in elektrische energie. Door middel van een controle- systeem wordt automatisch de optimale benodigde elektrische energie bepaald. Een viertal technische factoren bepalen hoeveel vermogen een windturbine levert. Deze vier factoren zijn: de ashoogte, rotoroppervlak, hellingshoek van het rotorblad en het tiploopgetal (Petković, Shamshirband, 2015). De ashoogte van de windturbine is bepalend voor de windsnelheid. In figuur 4 is te zien hoe het vermogen verschilt per ashoogte.



Figuur 4. Geschatte energie per ashoogte (Bukala, et al., 2015).

De windsnelheid neemt toe naarmate de turbine hoger wordt geplaatst. Het tiploopgetal is bepalend voor de luchtstroom en aerodynamische krachten die spelen bij windenergie. Het is de ratio waarop het uiteinde van het rotorblad draait in relatie met de aanstromende wind. Een hoog tiploopgetal betekent een hogere efficiëntie van de windturbine, maar zorgt voor meer geluidsproductie (Bukala, et al., 2015). Het ontwerpen van het rotorblad is een belangrijke factor. Het rotoroppervlak is bepalend voor het vermogen. Een groter rotoroppervlak betekent meer windopvang. De laatste parameter is de hellingshoek van het rotorblad. De hellingshoek bepaalt de hoeveelheid lift die ontstaat. Lift is essentieel voor het bepalen van de energieopbrengst. Meer lift levert per saldo een hogere energieopbrengst op (Bukala, et al., 2015; Ouwehand, et al., 2011).

In het onderzoek wordt gekeken op welke manier deze locatiespecifieke en technische parameters van toepassing zijn bij de toetsing van de inpassingcriteria. Uiteindelijk worden de relevante parameters meegenomen in het selectiemodel.

2.2.2 Parameters lokale effecten windturbine

Het plaatsen van een windturbine heeft directe en indirecte invloeden op de omgeving. Dit zijn voornamelijk invloeden die plaatselijk hinder veroorzaken. Welke effecten dit zijn verschilt per locatie. Over het algemeen gaat dit om geluidhinder, slagschaduw, hinder voor vogels en vleermuizen, visuele hinder, verstoring van luchtstromen en externe veiligheid. Aan de hand van verschillende technische en locatiespecifieke parameters worden deze effecten vastgelegd.

Geluidhinder

Naast elektriciteit produceren windturbines ook geluid. Dit geluid wordt geproduceerd door de draaiende rotorbladen, de generator en de tandwielkast. De hoeveelheid geluid die een windturbine produceert in decibel (dB) is afhankelijk van het type turbine. De vormgeving van de rotorbladen en een goede isolatie van de gondel zorgen ervoor dat de geluid- emissie beperkt wordt.

Daarnaast is de afstand tot een geluidgevoelig object, bijvoorbeeld een woning, bepalend voor de geluidhinder. Als laatste is ook de windsnelheid- en richting bepalend. De hoeveelheid decibel die geproduceerd mag worden nabij gevoelige objecten staat vastgelegd in het Activiteitenbesluit (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2015). De modeltypen windturbines in dit rapport vallen onder de werking van het Activiteitenbesluit (zie toelichting in bijlage II).

Slagschaduw

Wanneer de zon schijnt veroorzaken de draaiende rotorbladen een zogeheten slagschaduw. Voornamelijk bij een lage zonnestand kan dit hinderlijk zijn. De bewegende schaduw kan door een raam binnen een woonkamer vallen. Een belangrijk aspect hierbij is, is hoe windturbines geplaatst worden ten opzichte van woningen. Per jaar mag een gevel niet meer schaduw vangen dan 17 dagen, waarvan 20 minuten per dag (Ouwehand, et al., 2011; Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2015).

Ecologische hinder

Naast invloeden op mensen, kan een windturbine ook negatieve effecten hebben op vogels en vleermuizen. Dit kan op verschillende manieren. Vogels en vleermuizen kunnen zich doodvliegen tegen de rotorbladen en mast. Verder kunnen windturbines ook als barrière werken. Vogels worden op deze manier verjaagd uit hun leefgebied of moeten omvliegen tijdens de trek. Als laatste kunnen vogels de omgeving waarin windturbines zich bevinden vermijden. Bij de plaatsing van windturbines moet dus rekening gehouden worden met trekroutes en vogelrichtlijnen. Dit staat vastgelegd in de Flora- en faunawet en Natuurbeschermingswet 1998 (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2015).

Visuele hinder

Een windturbine kan ook effect hebben op het landschap zelf, in de vorm van visuele hinder. Dit blijft een kwestie van smaak, het landschap wordt namelijk op verschillende wijze ervaren. Bij de plaatsing moet dus rekening gehouden worden met de ruimtelijke kwaliteit. Omdat dit een kwalitatief effect is, is het lastig om dit aspect te toetsen. Dit kan alleen aan de hand van vervolgonderzoek (Ouwehand, et al., 2011; Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2015).

Verstoring van luchtstromen

Naast het effect op milieu en omgeving, kunnen windturbines ook elkaar negatief beïnvloeden. De windrichting- en snelheid kan door een windturbine verstoord worden. Wanneer windturbines te dicht bij elkaar geplaatst worden treden onderlinge verliezen op in de energieopbrengst. Hoeveel verlies optreedt, hangt af van het type windturbine en of er een overheersende windrichting is (Ouwehand, et al., 2011).

De benodigde ruimte die moet worden vrijgehouden voor een optimaal gebruik van windenergie is dus van belang bij de plaatsing van windturbines.

Externe veiligheid

De laatste parameter is de externe veiligheid. Dit gaat over de veiligheidsrisico's die spelen voor de omgeving. Bij de plaatsing van een windturbine moet aangetoond worden wat de risico's zijn voor de omgeving. Mogelijke veiligheidsrisico's die hier spelen zijn een bladbreuk, mastbreuk, ijsafwerping en het afbreken van de gondel. Per type windturbine is dit verschillend. Om dit aan te tonen wordt eerst bepaald wat het beïnvloedsgebied van een windturbine is. Dit is de maximale afstand waarop een onderdeel van een windturbine terecht kan komen. Wanneer objecten zich binnen dit gebied bevinden moet een risicoanalyse uitgevoerd worden. In deze analyse wordt bepaald wat de mogelijke risico's zijn en hoe significant deze risico's zijn (Ouweland, et al., 2011; Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2014). In het onderzoek wordt gekeken op welke manier deze effecten van toepassing zijn bij het bepalen van de geschikte locatie.

2.3 Verband theoretisch kader en onderzoeksopzet

De theorie die behandeld is in dit hoofdstuk staat in relatie met de opzet van het onderzoek. Het theoretisch kader vormt de basis voor de opzet van het onderzoek. Uit het theoretisch kader blijkt dat windenergie een belangrijke functie zal vervullen in het leveren van een duurzame energievoorziening. Het Rijk, de provincies en gemeenten werken samen om de groeiende vraag naar windenergie te operationaliseren. In beleidsplannen en structuurvisies wordt hier invulling aan gegeven. Hierin worden concrete eisen gesteld aan de inpassing van windturbines. Voor het onderzoek is het van belang om deze concrete eisen inzichtelijk te maken. Deze eisen kunnen als input dienen voor het selectiemodel. Daarom is het onderzoek ook gericht op wet- en regelgeving. Dit maakt onderdeel uit van het vooronderzoek. Daarnaast blijkt dat verschillende variabele en vaste parameters van toepassing zijn bij het toetsen van criteria zoals externe veiligheid, energieopbrengsten en geluidhinder. Voor het onderzoek zijn deze parameters van belang. Deze dienen als input voor het selectiemodel. In het onderzoek wordt gekeken hoe in de praktijk getoetst wordt aan de genoemde inpassingcriteria, welke van de genoemde parameters van toepassing zijn en of deze criteria doorslaggevend zijn. Dit is verweven in de onderzoeksvragen. Visuele hinder valt buiten de focus van het onderzoek. Hoewel dit een belangrijk onderdeel is bij de inpassing van windturbines, is het lastig om visuele hinder te verwerken in een selectiemodel. Visuele hinder is een kwalitatief effect en deze hinder wordt van persoon tot persoon anders ervaren.

3

ONDERZOEKSMETHODE

In dit hoofdstuk worden de onderzoeksvragen gepresenteerd en toegelicht. Per deelvraag staat beschreven wat voor soort onderzoek is uitgevoerd, welke bronnen gebruikt zijn en hoe de resultaten zijn verwerkt.

De hoofdonderzoeksvraag luidt:

“Met welk, te ontwerpen en te testen, selectiemodel kunnen de verschillende modeltypen onshore windturbines in Nederland met elkaar vergeleken worden aan de hand van inpassingcriteria?”

Om antwoord te krijgen op deze hoofdonderzoeksvraag zijn meerdere deelvragen opgesteld. Deze worden in de volgende paragraaf besproken.

3.1 Onderzoeksvragen

- 1 *Welke modeltypen onshore windturbines met een vermogen van 3-5 MW zijn de afgelopen 5 jaar gerealiseerd en worden de komende 5 tot 10 jaar gerealiseerd in Nederland?*
 - 1.1 Voor welke geplande onshore windenergieprojecten zijn in Nederland vergunningen verleend?
 - 1.2 Welke modeltypen windturbines worden hierbij gerealiseerd?
- 2 *Aan de hand van welke inpassingcriteria wordt de geschikte locatie voor onshore windturbines bepaald?*
 - 2.1 Hoe worden inpassingcriteria getoetst om de locatiegeschiktheid voor onshore windturbines te bepalen?
- 3 *Op basis van welke doorslaggevende inpassingcriteria kan het selectiemodel ontworpen worden?*
 - 3.1 Welke inpassingcriteria zijn doorslaggevend bij het bepalen van de geschikte locatie en modeltype windturbine?
 - 3.2. Op basis van welk te ontwerpen selectiemodel kunnen de doorslaggevende inpassingcriteria getoetst worden?
- 4 *Op basis van welke testcase kan het selectiemodel getest worden?*
 - 4.1 Welke gegevens met betrekking tot de desbetreffende parameters zijn beschikbaar?
 - 4.2 Welke resultaten komen uit de testcase?
- 5 *Welke verbeterpunten biedt de testcase ten aanzien van het ontworpen selectiemodel?*
 - 5.1 Biedt het selectiemodel inzicht in de geschikte locatie voor onshore windturbines?

3.2 Onderzoeksaanpak

In deze paragraaf staat beschreven hoe het onderzoek is uitgevoerd. Per deelvraag is de gebruikte onderzoeksmethodiek beschreven. De methode voor dataverzameling en de analyse van data komen beknopt aan bod. Voor het onderzoek zijn interviews gehouden met interne en externe experts. De interviews zijn vastgelegd aan de hand van spraakopnames. Deze opnames zijn vervolgens uitgetypt in transcripties. De interviews zijn door de respondenten geaccordeerd (zie bijlage III).

Onderzoeksmethodiek: deelvraag 1.

Deelvraag één luidt: *Welke modeltypen onshore windturbines met een vermogen van 3-5 MW zijn in Nederland de afgelopen 5 jaar gerealiseerd en worden de komende 5 tot 10 jaar in Nederland gerealiseerd?*

Om antwoord te krijgen op deelvraag 1 is gebruik gemaakt van twee manieren van dataverzameling. Allereerst is een inventarisatie gemaakt van de modeltypen onshore windturbines die de afgelopen 5 jaar gerealiseerd zijn. Dit is gedaan op basis van bestaande data. Deze data is verzameld aan de hand van de statistieken uit Windstats. Op deze website staan de meest actuele gegevens over alle bestaande windprojecten in Nederland, offshore en onshore. De database van Windstats wordt continu geactualiseerd. De geleverde data van Windstats wordt zowel door Rijksoverheid als door de Nederlandse Windenergie Associatie (NWEA) gebruikt (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2016; NWEA, 2016). Daarnaast is het document 'RVO Monitor Wind op Land 2015' gebruikt voor het inventariseren van de modeltypen windturbines die gerealiseerd worden. In dit document staan de windenergieprojecten die de komende 5 jaar lopen. Deze monitor biedt zo compleet, nauwkeurig en objectief mogelijk inzicht in de voortgang van de windenergieprojecten. Voor alle vergunde projecten zijn de modeltypen windturbines geïnventariseerd die overwogen worden bij deze projecten. Het meest actuele rapport is gepubliceerd op 18 maart 2016 (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2016). Ten slotte zijn verschillende experts geraadpleegd om een beeld te schetsen van de modeltypen windturbines die komende 10 jaar gerealiseerd worden. Hieronder staat een overzicht van de geïnterviewde en geraadpleegde stakeholders.

Naam/functie	Rol expert	Organisatie
Björn Konink (Account manager)	Inzicht in de gemaakte inventarisatie van windenergieprojecten.	Van Hattum en Blankevoort is een bouwer/aannemer, actief op het gebied van windenergie.
Rik Harmsen (branchespecialist Wind op Land)	Inzicht in lopende windenergieprojecten	NWEA is de Nederlandse brancheorganisatie voor windenergie.
Rob Smit (ontwikkelaar onshore windenergie)	Inzicht in lopende windenergieprojecten.	RWE is een projectontwikkelaar op het gebied van duurzame energie.
Jelle de Waart (junior project-manager vergunningen) Dirk Jan Matthijsse (projectmanager)	Inzicht in lopende windenergieprojecten.	Raedthuys is een projectontwikkelaar op het gebied van windenergie.
Gert van der Weijden (commercial technical sales engineer)	Inzicht in verwachte modeltypen windturbines.	Lagerwey is een Nederlandse windturbinefabrikant.

Tabel 1. Geraadpleegde experts deelvraag 1.

Onderzoeksmethodiek: deelvraag 2.

Deelvraag twee luidt: *Aan de hand van welke inpassingcriteria wordt de geschikte locatie voor onshore windturbines bepaald?*

Om antwoord te krijgen op deze deelvraag is eerst een literatuurstudie uitgevoerd. In de literatuurstudie komen verschillende wettelijke kaders en beleidskaders aan bod. Dit is van landelijk, naar regionaal tot lokaal niveau verwoord. Hier zijn de algemeen geldende eisen/criteria voor het bepalen van geschikte locaties voor windturbines beschreven. Vervolgens is per wettelijk kader beschreven welke eisen gelden aan de plaatsing van windturbines en de manier waarop hieraan getoetst wordt. Deze informatie komt uit locatieonderzoeken, opgestelde reken- en meetvoorschriften, adviesrapporten en bestemmingsplannen voor windparken. Naast de literatuur zijn zowel interne als externe experts geraadpleegd. Aan de hand van de uitgevoerde literatuurstudie zijn interviews opgesteld. In tabel 2 staat een overzicht van de geïnterviewde en geraadpleegde experts. De informatie uit de literatuurstudie en de interviews is vervolgens verwerkt per inpassingcriterium.

Naam/functie	Rol expert	Organisatie
Björn Konink (account manager) Gerrit Koldewee (manager duurzame infra)	Inzicht in fundatie-mogelijkheden en netaansluiting.	Van Hattum en Blankevoort is een bouwer/aannemer, actief op het gebied van windenergie.
Johannes van Steenis (adviseur hernieuwbare energie)	Inzicht in de parameters voor externe veiligheid.	Rijksdienst voor ondernemend Nederland
Nelleke de Weerd (specialist effectstudies natuurwetgeving en beleid)	Inzicht in de parameters voor ecologie.	Witteveen+Bos
Maarten Andel (specialist geluidhinder, slagschaduw windturbines)	Inzicht in de parameters voor energieopbrengsten, geluidhinder en slagschaduw.	Witteveen+Bos
Robin Vervoorn (specialist funderingen windturbines offshore)	Inzicht in de parameters voor fundatiemogelijkheden.	Witteveen+Bos
Jimme Zoete (specialist externe veiligheid)	Inzicht in de parameters voor externe veiligheid	Witteveen+Bos
Jelle de Waart (junior projectmanager vergunningen) Dirk Jan Matthijse (projectmanager Raedthuys)	Inzicht in hoogtebeperkingen.	Raedthuys is een projectontwikkelaar op het gebied van windenergie.
Onno van Gent (adviseur windturbines en radar)	Inzicht in werking van radarverstoring	TNO laat berekeningen uitvoeren voor de toetsing van radarverstoring.

Tabel 2. Geraadpleegde experts deelvraag 2.

Onderzoeksmethodiek: deelvraag 3.

Deelvraag drie luidt: *Op basis van welke doorslaggevende inpassingcriteria kan het selectiemodel ontworpen worden?*

Niet alle inpassingcriteria zijn even belangrijk bij het bepalen van een geschikte locatie voor windturbines en het modeltype windturbine. In het selectiemodel zijn de inpassingcriteria verwerkt die doorslaggevend zijn. Deze selectie is gemaakt om het onderzoek af te bakenen.

Om tot een keuze te komen en invulling te geven aan het efficiënter en beter bepalen van de geschikte locatie en type windturbine worden eerst de doorslaggevende inpassingcriteria verwerkt in het selectiemodel.

Om antwoord te krijgen op deze vraag is per criterium beoordeeld of het doorslaggevend is. Een inpassingcriterium is pas doorslaggevend als het de keuze bepaalt voor de locatie en/of selectie van de modeltype windturbine. Dit wordt bepaald door te toetsen aan de gestelde norm en/of eis. Hierbij moet de vraag worden gesteld of de plaatsing van windturbines nog steeds mogelijk is als niet aan de gestelde norm/eis wordt voldaan. Door te kijken hoe in de praktijk aan een gestelde norm/eis getoetst wordt, kan beoordeeld worden of dit doorslaggevend is. Ter illustratie, door het toepassen van een silstandvoorziening kan een windturbine alsnog geplaatst worden op een locatie waar anders de norm overschreden zou worden. Dit maakt slagschaduw geen doorslaggevend criterium (meer hierover in § 6.1.2).

Onderzoeksmethodiek: deelvraag 4.

Deelvraag vier luidt: *Op basis van welke testcase kan het selectiemodel getest worden?*

Om tot een testcase te komen zijn meerdere varianten besproken in overleg met de projectontwikkelaar Raedthuys. De testcase heeft twee functies. Allereerst dient de testcase als invulling voor het selectiemodel. De locatiespecifieke parameters kunnen zonder een concrete locatie niet ingevuld worden, waardoor de selectie niet kan plaatsvinden. Daarnaast dient de testcase als toetsing op de bruikbaarheid van het selectiemodel. Het selectiemodel is vervolgens aan de hand van de testcase verder ingevuld, uitgewerkt en getest. Door het selectiemodel in de praktijk te gebruiken kon gekeken worden hoe het model werkte en waar verbeteringen lagen.

Onderzoeksmethodiek: deelvraag 5.

Deelvraag vijf luidt: *Welke verbeterpunten biedt de testcase ten aanzien van het ontworpen selectiemodel?*

De laatste vraag biedt inzicht in de verbeterpunten ten aanzien van het ontworpen selectiemodel. Om antwoord op deze vraag te krijgen zijn de resultaten van de testcase geanalyseerd. De testcase diende o.a. als input voor het beantwoorden van deze deelvraag. Daarnaast is een brainstormsessie gehouden met Bert van Dorp (specialist duurzame energie) en Maarten Veerman (specialist modeleren en data-analyses). Deze sessie diende als input voor verbeterpunten en aandachtspunten voor het selectiemodel. De hoofdrollen van de deelnemers waren achtereenvolgend: feedback voor inhoudelijke kwaliteit en feedback voor de werking van het model. De resultaten van de testcase en de brainstormsessie dienden als basis voor de beantwoording van deelvraag 5. Door naar twee aspecten is gekeken om verbeterpunten op te stellen. Het eerste aspect is de werking van het model. Hierbij is geanalyseerd of het selectiemodel werkt en of het inzicht biedt in de mogelijkheden voor windenergie. Het tweede aspect is de inhoudelijke kwaliteit. In deze analyse is beoordeeld of het resultaat dat het selectiemodel biedt significant is. Het doel hiervan is om te analyseren of de resultaten enigszins betrouwbaar zijn en in hoeverre nog maatwerk uitgevoerd moet worden. Op basis van deze twee aspecten zijn verbeterpunten opgesteld. Voor de punten is zowel beschreven wat beter kan en hoe dit beter kan.

4 MODELTYPEN WINDTURBINES IN NEDERLAND

In dit hoofdstuk worden de modeltypen windturbines in Nederland gepresenteerd en toegelicht. Deze modeltypen dienen als input voor het selectiemodel. Hiermee wordt antwoord gegeven op deelvraag 1:

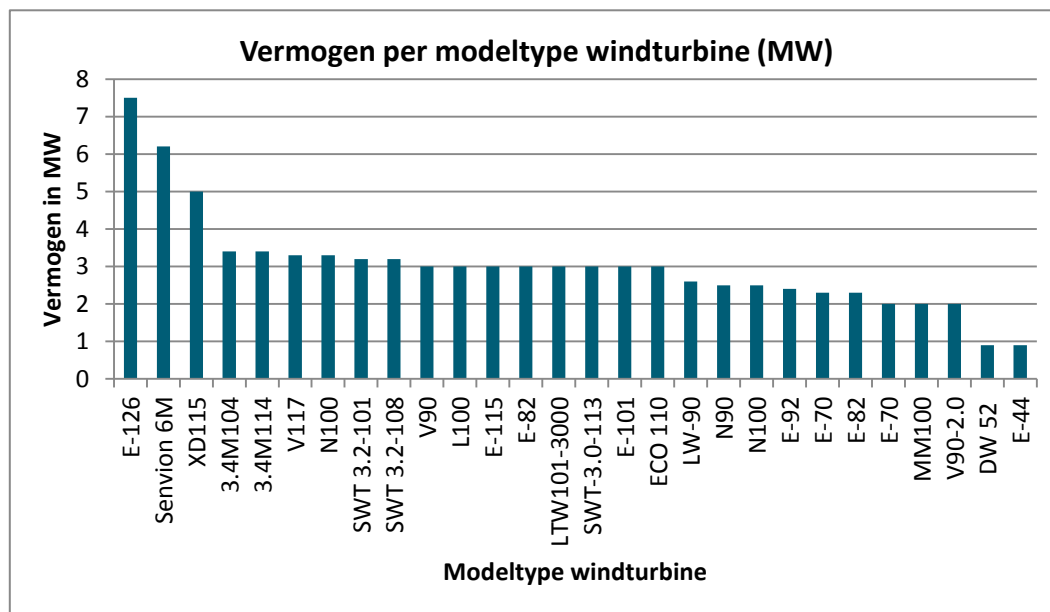
Welke modeltypen onshore windturbines met een vermogen van 1-7 MW zijn in Nederland de afgelopen 5 jaar gerealiseerd en worden de komende 5 tot 10 jaar in Nederland gerealiseerd?

Als eerste zijn de gerealiseerde modeltypen windturbines uitgewerkt. Dit zijn de modeltypen windturbines die de afgelopen 5 jaar in Nederland zijn ontwikkeld. In paragraaf 4.2 zijn de verwachte modeltypen windturbines uitgewerkt. De modeltypen windturbines worden in grafieken weergegeven met het bijbehorende vermogen in Megawatt (MW). Hierdoor kan onderscheid gemaakt worden tussen de verschillende modeltypen windturbines. De geïnventariseerde modeltypen windturbines zijn vervolgens in het selectiemodel verwerkt.

4.1 Gerealiseerde modeltypen

Geïnstalleerd vermogen

Op basis van Windstats zijn de modeltypen onshore windturbines geïnventariseerd die tussen januari 2010 en februari 2016 gerealiseerd zijn. In figuur 5 staan de verschillende modeltypen weergegeven op basis van vermogen. Dit zijn de modeltypen die van 2010 tot 26 februari 2016 gerealiseerd zijn met een vermogen tussen de 0,9 en 7,5 MW. In totaal zijn 416 windturbines met een vermogen van 0,9 tot 7,5 kW gerealiseerd gedurende deze periode. Uit figuur 5 valt af te leiden dat het grootste deel van de modeltypen een vermogen hebben van rond de 3 MW. Van de 416 gerealiseerde windturbines hebben 40% een vermogen van 3 tot 5 MW. Hiervan is grotendeels van de turbines rond de 3 MW.

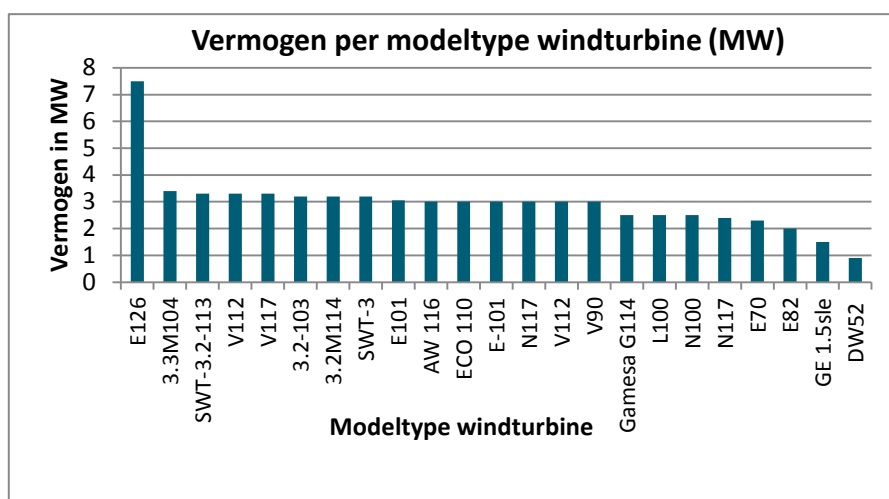


Figuur 5. Geïnstalleerd vermogen per modeltypen onshore windturbine in MW.

In bijlage IV staat een uitgebreide inventarisatie van deze 170 windturbines. De verschillende modeltypen uit figuur 5 worden meegenomen in het selectiemodel.

4.2 Verwachte modeltypen onshore windturbines

De technologie betreffende windturbines is continu in ontwikkeling. Om een compleet mogelijk beeld te krijgen van de huidige stand der techniek is een inventarisatie gemaakt van de verwachte modeltypen onshore windturbines. Deze inventarisatie is gemaakt op basis van de 'RVO Monitor Wind op Land 2015' en gesprekken met meerdere experts in de windbranche. In het onderstaande figuur staan de modeltypen die de komende 5 jaar gerealiseerd zullen worden.



Figuur 6. Verwachte modeltypen onshore windturbine in MW.

In bijlage V staat een uitgebreide inventarisatie van de verwachte windturbines. Bij een aantal windprojecten is (ten tijde van het opstellen van dit rapport) nog onbekend welke windturbines gerealiseerd zullen worden. Volgens R. Harmsen (branchespecialist Wind op Land van de NWEA) en R. Smit (projectontwikkelaar bij RWE) is onbekend welke modeltypen windturbines de komende 10 jaar gerealiseerd zullen worden.

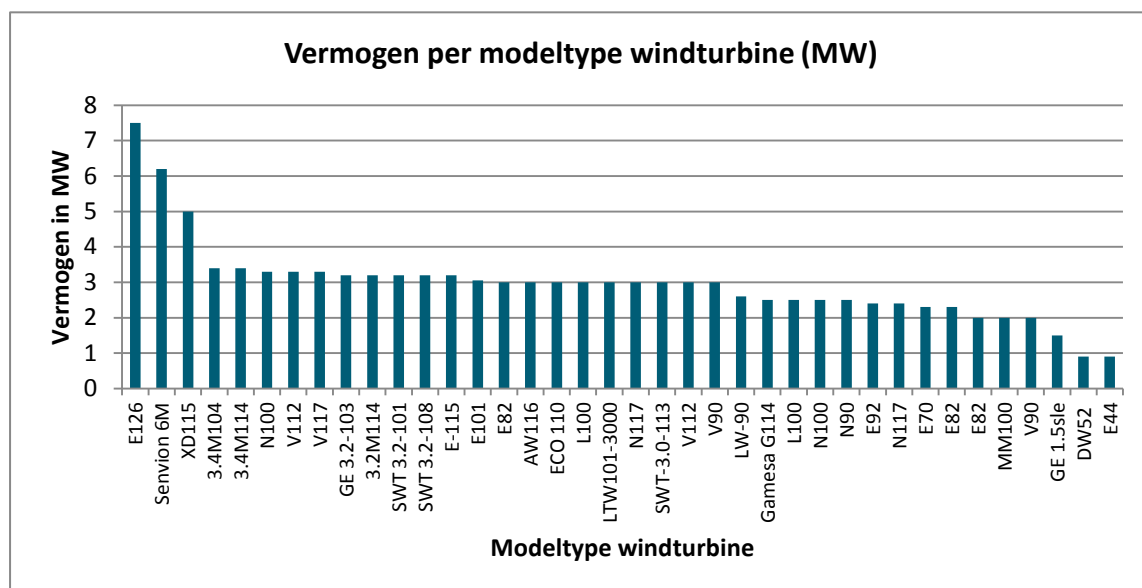
Projectontwikkelaars en fabrikanten willen deze informatie niet delen in verband met vertrouwelijkheid. Dit is ook afhankelijk van de regelgeving. Hier gaat het voornamelijk om beperkingen voor bouwhoogtes. Daarnaast is de geldende subsidieregeling ook een bepalende factor. Om windenergie financieel aantrekkelijk te maken moet het concurrerend zijn met de huidige en goedkopere energiebronnen. Om dit te realiseren is de SDE+ subsidie nodig. Deze subsidieregeling verandert jaarlijks. Bovendien is dit ook afhankelijk van de energiemarkt (pers. comm. Van der Weijden, 2016). Deze bovenstaande factoren zijn variabel. Om voor de lange termijn (10 jaar) een indicatie te geven welke modeltypen windturbines gerealiseerd worden is dus lastig. Wel kan worden verwacht dat de meeste modeltypen een vermogen zullen hebben tussen 2 en 4 MW (pers. comm. Harmsen, 2016; pers. comm. Smit, 2016).

Hoewel de ashoogte en rotordiameter van windturbines in grootte zullen toenemen, zal het vermogen tussen de 2 en 4 MW blijven (pers. comm Smit, 2016). De voornaamste reden is doordat grootschalige projecten al gerealiseerd zijn. Deze projecten bevinden zich in gebieden zoals de Noordoostpolder.

Om de gestelde doelstelling tot 2020 te behalen worden nu voornamelijk kleinschalige projecten ontwikkeld (pers. comm. de Waart, Matthijssse, 2016). Dit zijn projecten waar windturbines met een vermogen boven de 3 MW niet realistisch en inpasbaar zijn (pers. comm. de Waart, Matthijssse, 2016). Daarnaast heeft het ook te maken met een verschuiving in de techniek en de financiële haalbaarheid. Windturbines met een groot vermogen (5-7,5 M) zijn vaak financieel minder aantrekkelijk in vergelijking met windturbines met een lager vermogen (2-3 MW) (pers. comm, Konink, 2016). Dit komt doordat de energieopbrengsten relatief gezien lager zijn dan windturbines met een lager vermogen. Windturbines met een hoog vermogen benutten vaak niet het volle vermogen. Verder zijn de kosten ook hoger voor windturbines met een hoog vermogen door de grote omvang. Bovendien vinden meer technische ontwikkelingen plaats op het gebied van de rotordiameter en ashoogte. Deze twee parameters nemen in omvang toe, terwijl het vermogen rond de 2 en 4 MW blijft. Dit komt doordat de energieopbrengsten meer afhankelijk zijn van de rotordiameter en ashoogte, niet zozeer het vermogen. Deze twee parameters bepalen namelijk de hoeveelheid wind die afgevangen kan worden door de windturbine (pers. comm. de Waart, Matthijssse, 2016).

4.3 Deelconclusie

De gerealiseerde windturbines (figuur 5) en de verwachte windturbines (figuur 6) zijn samengevoegd in figuur 7. Hierin zijn de modeltypen windturbines weergegeven die in Nederland gebruikt worden en de komende 5 jaar zullen worden. Uit onderstaand figuur valt te concluderen dat het vooral gaat om modeltypen met een vermogen rond de 2 en 3 MW. De modeltypen windturbines die in figuur 7 worden weergegeven dienen als basis voor het selectiemodel. Door deze modeltypen windturbines te verwerken in het selectiemodel kan een vergelijking gemaakt worden tussen de modeltypen op basis van de inpassingcriteria. Van de bovenstaande modeltype windturbines zijn de benodigde technische parameters per modeltype achterhaald en verwerkt in het selectiemodel. Welke technische parameters dit zijn, wordt beschreven in hoofdstuk 5. In bijlage VI is te zien hoe de modeltypen windturbines zijn verwerkt in het model.



Figuur 7. Modeltypen windturbines selectiemodel.

5 INPASSINGCRITERIA

In dit hoofdstuk zijn de verschillende inpassingcriteria uitgewerkt. Op basis van de geldende wet- en regelgeving, beleidskaders en locatiestudies zijn de relevante inpassingcriteria beschreven. Allereerst is gekeken welke inpassingcriteria van toepassing zijn bij het bepalen van de geschikte locatie voor onshore windturbines. Per criterium staat beschreven hoe dit getoetst wordt en welke parameters hiervoor nodig zijn. Deze informatie dient als input voor het selectiemodel. Hiermee wordt antwoord gegeven op deelvraag 2:

Aan de hand van welke inpassingcriteria wordt de geschikte locatie voor onshore windturbines bepaald?

Op basis van wet- en regelgeving, beleidskaders en verschillende locatiestudies zijn inpassingcriteria opgesteld. Deze criteria dienen als input voor het selectiemodel. Het gaat om de volgende criteria:

- geluidhinder;
- slagschaduw;
- externe veiligheid;
- funderingsmogelijkheden;
- energieopbrengsten;
- netaansluiting;
- luchtvaartstoring;
- onderlinge plaatsingsafstand;
- ecologie;
- eisen beleid.

In de volgende paragrafen komen deze criteria aan bod. Per criterium is toegelicht hoe hieraan wordt getoetst.

5.1 Geluidhinder

In deze paragraaf wordt aandacht besteed aan geluidhinder door windturbines. Naast elektriciteit produceren windturbines ook geluid. De hoeveelheid decibel die een windturbine produceert is afhankelijk van het type turbine. In wet- en regelgeving staat vastgelegd wanneer geluid als wettelijke hinder kan worden beschouwd. Om geluidhinder te meten zijn verschillende parameters nodig. Dit zijn zowel technische als locatiespecifieke parameters.

Norm

De hoeveelheid decibel die geproduceerd mag worden door windturbines staat vastgelegd in het Activiteitenbesluit (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2015). Hierin staat vermeld: *"Een windturbine of een combinatie van windturbines voldoet ten behoeve van het voorkomen of beperken van geluidhinder aan de norm van ten hoogste 47 dB L_{den} en aan de norm van ten hoogste 41 dB L_{night} op de gevel van gevoelige gebouwen, tenzij deze zijn gelegen op een gezoneerd industrieterrein, en bij gevoelige terreinen op de grens van het terrein."* (Activiteitenbesluit milieubeheer, 2016, § 3.2.3, artikel 3.14a).

De bovenstaande norm is opgesteld om geluidshinder en slaapverstoring bij omwonenden door windturbines te voorkomen. In Nederland is dit gesteld op 47 dB L_{den} en 41 dB L_{night} . L_{den} staat voor 'level day-evening-night'. Dit is de indicator voor de jaargemiddelde geluidsbelasting voor het hele etmaal (dag, avond en nacht) (Kennissplatform Windenergie, 2015). L_{night} is de indicator voor de jaargemiddelde geluidsbelasting over de nacht (23-7 uur). Deze twee indicatoren komen voort uit de Europese richtlijn voor omgevingslawaai. Onder gevoelige gebouwen vallen: gebouwen die op grond van het bestemmingsplan worden aangewezen als geluidsgevoelige gebouwen en woningen (Activiteitenbesluit milieubeheer, 2016, § 1.1.1, artikel 1.1). Onder gevoelige terreinen vallen terreinen die op grond van het bestemmingsplan bescherming tegen geluid nodig hebben (Wet geluidhinder, 2016 § 1, artikel 1).

Toetsen geluidhinder

Om te bepalen of aan de norm voldaan kan worden, wordt bij de inpassing van een windpark- of turbine berekend hoe hoog het geluidsniveau bij geluidsgevoelige bestemmingen in de omgeving is. Met verschillende berekeningen wordt dit vastgesteld. Deze berekeningen moeten uitgevoerd worden conform de reken- en meetvoorschriften die zijn opgenomen in de Activiteitenregeling (Activiteitenbesluit milieubeheer, 2016, § 3.2.3, artikel 3.15). De berekening bestaat uit vier delen (Rijksoverheid, 2010):

- 1 het bepalen van de geluidsemissie van de windturbine;
- 2 het bepalen van de geluidoverdracht;
- 3 het bepalen van de meteocorrectieterm;
- 4 het bepalen van de cumulatieve effecten.

Door het uitwerken van deze vier onderdelen kan het jaargemiddelde geluidsniveau uitgedrukt worden in L_{den} en L_{night} . Dit wordt gemodelleerd doormiddel van contouren. Op basis van deze contouren kan bepaald worden of het geluidsniveau bij de gevoelige bestemmingen voldoet aan de norm (pers. comm. Andel, 2016). In het geluidsmodel 'Geomilieu' worden de geluidcontouren gemodelleerd. Hiervoor zijn verschillende parameters nodig. De voornaamste parameters zijn (pers. comm. Andel, 2016):

- het geluidsvermogen van de windturbine (bronsterkte);
- windsnelheidsverdeling op ashoogte;
- terreingesteldheid.

Voor een uitgebreid overzicht van de parameters en de manier waarop deze gebruikt worden bij het bepalen van het geluidsniveau wordt verwezen naar bijlage VII.

5.2 Slagschaduw

In deze paragraaf wordt aandacht besteed aan hinder door slagschaduw. Wanneer de zon schijnt veroorzaken de rotorbladen een zogeheten slagschaduw. Voornamelijk bij een lage zonnestand. De bewegende schaduw kan door een raam binnen een woonkamer vallen. Hoewel dit effect niet direct tot gezondheidsklachten leidt, wordt dit wel als hinderlijk beschouwd voor omwonenden. Om omwonenden hiertegen te beschermen is een norm vastgesteld voor slagschaduw (Vogelaar, 2015).

Norm

In het Activiteitenbesluit staat een maat opgegeven voor slagschaduw. Hier staat het volgende vermeld: *“Ten behoeve van het voorkomen of beperken van slagschaduw en lichtschittering is de windturbine voorzien van een automatische stilstandvoorziening die de windturbine afschakelt indien slagschaduw optreedt ter plaatse van gevoelige objecten voor zover de afstand tussen de windturbine en de gevoelige objecten minder dan 12 maal de rotordiameter bedraagt en gemiddeld meer dan 17 dagen per jaar gedurende meer dan 20 minuten per dag slagschaduw kan optreden en voor zover zich in de door de slagschaduw getroffen uitwendige scheidingsconstructie van gevoelige gebouwen of woonwagens ramen bevinden. De afstand geldt van een punt op ashoogte van de windturbine tot de gevel van het gevoelige object.”* (Activiteitenregeling milieubeheer, 2016, § 3.2.3, artikel 3.12).

Wanneer de gemiddelde duur van slagschaduw meer is dan 20 minuten per dag gedurende 17 dagen in het jaar, dan moet de winturbine voorzien zijn van een stilstandvoorziening. Met deze voorziening wordt de turbine automatisch tot stilstand gebracht wanneer slagschaduw wordt veroorzaakt. Dit betreft alleen slagschaduw bij gevoelige objecten die zich bevinden binnen een radius van twaalfmaal de rotordiameter. Onder gevoelige objecten wordt verstaan: gevoelige gebouwen en gevoelige terreinen (Activiteitenbesluit milieubeheer, 2016, § 1.1.1, artikel 1.1).

Toetsen slagschaduw

Om aan de norm te toetsen is slagschaduw vertaald in de verwachte hinderduur. Dit is het aantal uren in een jaar dat slagschaduw wordt veroorzaakt. Afgerond mag dit niet meer zijn dan 6 uur per jaar (Pondera services, 2014). De hinderduur wordt gerepresenteerd in contouren. In figuur VII.2 van bijlage VII is een visualisatie te zien van schaduwcontouren. In dit figuur wordt met een groene, rode en grijze contour de verwachte hinderduur weergegeven. Deze bedragen respectievelijk 0, 5 en 15 uur. Bij gevoelige objecten buiten de rode contour wordt voldaan aan de norm (Pondera services, 2014). Geheel modelmatig wordt de hinderduur berekend in het model ‘Windpro’. Voor deze berekening moeten een aantal parameters bekend zijn (pers. comm. Andel, 2016):

- het schaduwgebied;
- de potentiële schaduw;
- het percentage zonneschijn;
- de distributie van de windrichting;
- de bedrijfstijd van windturbine.

Voor een uitgebreid overzicht van de parameters en de manier waarop deze gebruikt worden bij het toetsen van slagschaduw wordt verwezen naar bijlage VII.

5.3 Externe veiligheid

In deze paragraaf wordt aandacht besteed aan externe veiligheid. Bij de plaatsing van windturbines wordt rekening gehouden met de risico's voor de omgeving. De mogelijke risico's bij windturbines zijn (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2014):

- het omvallen van de windturbine door mastbreuk;
- het naar beneden vallen van de gondel door breuk;
- bladworp door het afbreken van het rotorblad;
- het naar beneden vallen van kleine onderdelen.

Vanuit wet- en regelgeving zijn normen vastgesteld voor deze risico's. In een risicoanalyse wordt bepaald of aan de norm wordt voldaan. Hiervoor wordt eerst het beïnvloedgebied van een windturbine bepaald. Dit is het gebied rondom een windturbine waar risico's kunnen ontstaan (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2014). Dit wordt met risicocontouren bepaald. Deze contouren zijn verschillend per windturbine. Wanneer objecten zich binnen deze contour bevinden moet een risicoanalyse worden uitgevoerd (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2014).

Norm

In het Activiteitenbesluit zijn normen vastgesteld aan de risico's van windturbines. Hierin staat het volgende vermeld:

- "1. Het plaatsgebonden risico voor een buiten de inrichting gelegen kwetsbaar object, veroorzaakt door een windturbine of een combinatie van windturbines, is niet hoger dan 10^{-6} per jaar.*
- 2. Het plaatsgebonden risico voor een buiten de inrichting gelegen beperkt kwetsbaar object, veroorzaakt door een windturbine of een combinatie van windturbines, is niet hoger dan 10^{-5} per jaar.*
- 3. Ten behoeve van het bepalen van het plaatsgebonden risico, bedoeld in het eerste en tweede lid, kunnen bij ministeriële regeling afstanden worden vastgesteld, die minimaal aanwezig moeten zijn tussen een windturbine of een combinatie van windturbines en een buiten de inrichting gelegen kwetsbaar dan wel beperkt kwetsbaar object.*
- 4. Indien op grond van het derde lid afstanden zijn vastgesteld, worden die in acht genomen en zijn het eerste en tweede lid niet van toepassing.*
- 5. Bij ministeriële regeling kunnen regels worden gesteld over de berekening van het plaatsgebonden risico."* (Activiteitenbesluit milieubeheer, 2016, § 3.2.3, artikel 3.15a).

Het plaatsgebonden risico wordt uitgedrukt in de kans op overlijden ten gevolge van het falen van een windturbine. Deze kans mag niet hoger zijn dan 10^{-6} (1 op 1 miljoen) per jaar bij kwetsbare objecten en 10^{-5} (1 op 100.000) per jaar bij beperkt kwetsbare objecten. Het derde en vierde lid stellen dat minimale veiligheidsafstanden kunnen worden opgenomen.

Ten tijde van het opstellen van dit rapport zijn deze afstanden nog niet opgesteld. Om die reden wordt getoetst aan de hand van lid 1 en 2. Onder kwetsbare objecten vallen onder andere, woningen, ziekenhuizen, scholen en kantoorgebouwen groter dan 1500 m² (Besluit externe veiligheid inrichtingen, 2016, § 1, artikel 1l). Onder beperkt kwetsbare objecten vallen onder andere restaurants, hotels, winkels en kantoorgebouwen kleiner dan 1500 m², (Besluit externe veiligheid inrichtingen, 2016, § 1, artikel 1b).

Toetsen risico's

Om te toetsen aan de gestelde normen moet eerst het beïnvloedgebied van de windturbine(s) berekend worden. Dit is het gebied rondom een windturbine waar mogelijke risico's kunnen ontstaan door het falen van een windturbine. Het beïnvloedgebied wordt uitgedrukt in de maximale werpafstand van een windturbine. De maximale werpafstand is het gebied rondom de windturbine waarin een afbrekend rotorblad terecht kan komen (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2014). De werpafstand wordt bepaald door de windsnelheidsverdelingen, de rotordiameter en het toerental van de windturbine. De werpafstand verschilt per locatie en windturbine. In het beïnvloedgebied wordt geanalyseerd of beperkte kwetsbare objecten en kwetsbare objecten aanwezig zijn. Bevinden objecten zich buiten het beïnvloedgebied dan is een risicoanalyse niet noodzakelijk en voldoet de windturbine aan de norm (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2014; pers. comm. Zoete, 2016).

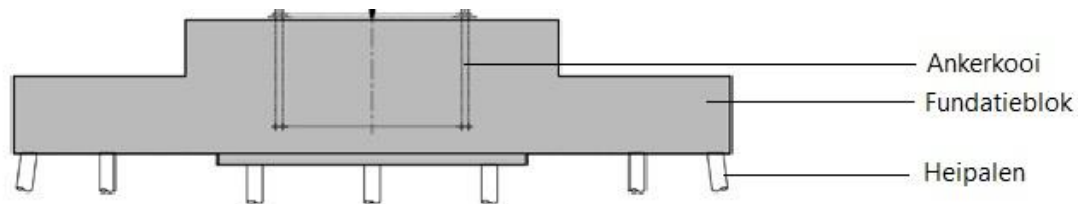
Bevinden objecten en/of activiteiten zich binnen het beïnvloedgebied, dan moet een risicoanalyse uitgevoerd worden. Uit deze analyse moet blijken of aan de gestelde normen wordt voldaan. Alle activiteiten en objecten die in het beïnvloedgebied bevinden moeten hiervoor geïnventariseerd worden. Deze objecten en activiteiten zijn onderverdeeld in acht hoofdcategorieën (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2014):

- 1 bebouwing;
- 2 wegen;
- 3 vaarwegen;
- 4 spoorwegen;
- 5 industrie;
- 6 buisleidingen;
- 7 hoogspanningsinfrastructuur;
- 8 dijklichamen en waterkeringen.

Per categorie zijn minimale afstanden vastgesteld die aangehouden moeten worden bij de plaatsing van windturbines. Zo moet bijvoorbeeld een minimale afstand van 30 meter liggen tussen een rijksweg en een windturbine. In de risicoanalyse wordt per object en activiteit geanalyseerd of aan de gestelde afstandeis wordt voldaan. Wordt niet aan de afstandeis voldaan, dan wordt de trefkans berekend (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2014). Dit is de kans dat een object getroffen wordt door een onderdeel van een windturbine waarbij een dodelijk slachtoffer het gevolg is. Met de trefkansberekening wordt getoetst of het plaatsgebonden risico groter is dan de gestelde normering (Rijksdienst voor ondernemend Nederland, 2016). Voor een uitgebreid overzicht van de parameters en de manier waarop deze gebruikt worden bij het bepalen van externe veiligheid wordt verwezen naar bijlage VII.

5.4 Funderingsmogelijkheden

In deze paragraaf wordt aandacht besteed aan de funderingsmogelijkheden voor windturbines. Bij de inpassing van windturbines wordt rekening gehouden met de mogelijkheden voor de fundatie van windturbines. In een interview met Björn Konink (Visser & Smit Hanab) en een intern gesprek met Robin Vervoorn (sector Ondergrondse Infrastructuur Witteveen+Bos) is dit criterium besproken. De fundering voor een onshore windturbine bestaat uit een fundatieblok dat rust op heipalen (zie schematische weergave figuur 8).



Figuur 8. Schematische weergave fundering onshore windturbine (Koch, 2013).

De afmetingen van de fundatie zijn afhankelijk van het modeltype windturbine, het gewicht en de ankerkooi. Daarnaast zijn bodemgegevens nodig zoals archeologische verwachtingen (pers. comm. Konink, 2016). Wat bepalend is voor de mogelijkheden van de fundatie zijn de kosten. Het realiseren van een fundatie is op land technisch gezien vrijwel altijd mogelijk, kostentechnisch gezien niet (pers. comm. Vervoorn, 2016). Om de mogelijkheden voor funderingen te bepalen wordt niet alleen gekeken worden naar technische en locatiespecifieke parameters, maar ook naar de economische haalbaarheid van de fundatie. Op de ene locatie kost de fundatie meer, dan op de andere locatie. Dit heeft o.a. te maken met bodemgesteldheid (pers. comm. Konink, 2016). In het opgestelde plan van aanpak is bepaald dat economische haalbaarheid niet meegenomen wordt in het onderzoek. Het criterium 'funderingsmogelijkheden' wordt om die reden niet meegenomen in het selectiemodel.

5.5 Energieopbrengsten

In deze paragraaf wordt aandacht besteed aan energieopbrengsten. De energieopbrengsten van een windturbine worden uitgedrukt in de hoeveelheid MWh per jaar dat een windturbine kan opleveren. Om dit te bereken moeten een aantal parameters bekend zijn. Uit een intern gesprek met M. Andel is gebleken dat het gaat om een aantal wind- en windturbineparameters (pers. comm. Andel, 2016). De hoeveelheid MWh/jaar dat een windturbine kan opleveren hangt af van de windsnelheid en windrichting die heersen op de desbetreffende locatie. Wind varieert voortdurend in snelheid, richting, dag en seizoen. Met windsnelheidsverdelingen wordt dit vastgesteld (zie figuur 2 in § 2.2.1). De windsnelheidsverdelingen worden in Windpro op basis van actuele windmetingen berekend. De meetgegevens geven zo nauwkeurig mogelijk weer welke windrichting en windsnelheden heersen op de desbetreffende locatie (pers. comm. Andel, 2016).

Verder moeten de volgende technische parameters bekend zijn van de modeltype windturbine (pers. comm. Andel, 2016):

- vermogen in MW;
- ashoogte in meters;
- rotordiameter in meters;
- cut-in speed;
- cut-out speed.

Met de cut-in speed wordt de windsnelheid uitgedrukt die nodig is om een windturbine te laten functioneren. Met de cut-out speed wordt de windsnelheid uitgedrukt waarbij de windturbine tot stilstand wordt gebracht (Ouwehand, et al., 2011). Met de bovenstaande parameters wordt geheel modelmatig de energieopbrengst per windturbine in Windpro berekend. De ideale opstelling van de windturbine(s) wordt onder andere op met van de windparameters bepaald. De windsnelheid- en richting bepalen wat voor vermogen, ashoogte en rotordiameter het meest geschikt is voor de desbetreffende locatie. Ter illustratie: een windturbine met een vermogen van 6 MW zal in een gebied waar de gemiddelde windsnelheid 7 m/s is minder efficiënt zijn, dan een windturbine met een vermogen rond de 2 en 3 MW. Dit heeft te maken met de capaciteitsfactor van de turbine. Deze factor geeft aan hoeveel procent van de tijd de turbine op vol vermogen zou moeten draaien om de jaarlijkse energieproductie te halen (Ouwehand, et al., 2011). Een 6 MW windturbine zal met deze windsnelheid niet het volledige vermogen kunnen benutten. Een windturbine met een lager vermogen wel.

5.6 Netaansluiting

De netaansluiting is een belangrijk criterium bij het bepalen van de opstelling van een windpark en/of turbine. De windturbines worden met transformatoren aangesloten op het dichtstbijzijnde elektriciteitsnet. Dit gebeurt door het leggen van kabels. Deze worden zowel ondergronds als bovengronds aangelegd. De doorslaggevende factor het bepalen van de netaansluiting is de economische haalbaarheid een doorslaggevende factor. Hoe verder een windpark en/of windturbine zich van het elektriciteitsnet bevindt, des te langer het kabeltracé en hoger de kosten (pers. comm. Koldewee, 2016; pers. comm. Konink, 2016). Net zoals bij de fundatiemogelijkheden is het technisch gezien vrijwel altijd mogelijk. In het opgestelde plan van aanpak is bepaald dat economische haalbaarheid niet wordt meegenomen in het onderzoek. Het criterium 'netaansluiting' wordt om die reden niet meegenomen in het voorlopige selectiemodel.

5.7 Luchtvaartstoring

In deze paragraaf wordt aandacht gegeven aan de hinder die windturbines kunnen veroorzaken voor de luchtvaart. Bij de inpassing van windturbines moet rekening gehouden worden met radarverstoring, hoogtebeperkingen bij luchthavens en laagvliegroutes. Per onderwerp is beschreven welke norm van toepassing is en hoe hieraan wordt getoetst.

5.7.1 Radarverstoring

In het Besluit algemene regels ruimtelijke ordening (Barro) staan regels over de hoogte van windturbines in verband met de mogelijke verstoring van de werking van radarstations. Eerst wordt er ingegaan op de normen die van toepassing zijn en tot slot de manier waarop radarverstoring getoetst wordt.

Norm

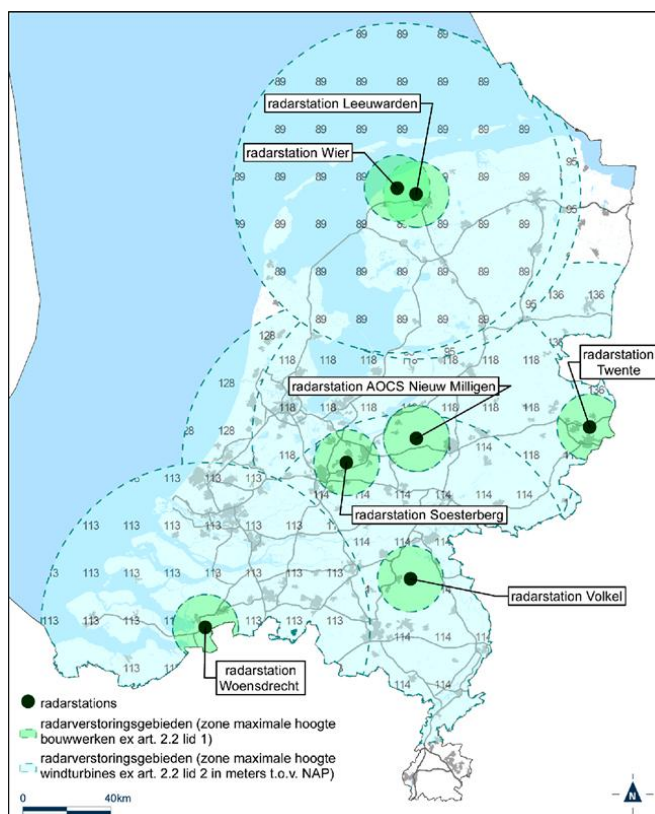
In het Barro staan een aantal artikelen met betrekking tot windturbines. De volgende artikelen zijn relevant:

- artikel 2.6.8 (zend- en ontvangstinstallaties en beperkingen in de nabijheid daarvan) het eerste en tweede lid;
- artikel 2.6.9 (militaire radarstations, beperkingen rondom een radarstation en beoordeling gevolgen van bouwwerken).

Artikel 2.6.8 gaat over zend- en ontvangstinstallaties en de beperkingen in de nabijheid daarvan. Hierin staat vermeld dat in het bouwbeperkinggebied geen bestemmingen opgenomen worden die hoger zijn dan 22 meter, gemeten vanaf het maaiveld. In artikel 2.6.9 staan regels voor bouwbeperkingen rondom radarstations en de beoordeling en gevolgen van bouwwerken. Hierin staat vermeld dat rondom een radarstation geen windturbines gebouwd kunnen worden die negatieve gevolgen hebben voor de werking van de radar. In de Regeling algemene regels ruimtelijke ordening (Rarro) komen deze bepalingen zoals de maximale bouwhoogten in detail aan bod.

Toetsen radarverstoring

Om negatieve effecten voor de werking van radarstations te voorkomen zijn kaarten opgesteld waarin radarverstoringsgebieden worden weergegeven. Met deze gebieden worden de maximale bouwhoogten weergegeven per radarstation. In figuur 9 staan de maximale bouwhoogtes voor windturbines weergegeven.



Figuur 9. Locaties en zones bouwhoogtes radarstations (Regeling algemene regels ruimtelijke ordening, 2016, bijlage 8).

De volgende artikelen zijn relevant:

- artikel 2.4 (bouwbeperkingen radarverstoringsgebieden) eerste tot en met het derde lid;
- artikel 2.5 (procedure beoordeling gevolgen) eerste tot en met het vierde lid;
- artikel 2.6 (inhoud beoordeling gevolgen) eerste tot en met het zesde lid;
- bijlage 8 als bedoeld in de artikelen 2.1. achtste lid en 2.4 eerste lid van de Rarro;
- bijlage 8.4 van de Rarro;
- bijlage 10 als bedoeld in artikel 2.4 tweede lid van de Rarro.

In artikel 2.4 staat de methode vermeld om de maximale bouwhoogten van windturbines te bepalen. Deze hoogtes zijn verschillende per radarstation en zijn opgenomen in Bijlage 8 van de Rarro (Regeling algemene regels ruimtelijke ordening, 2016, § 2.6, artikel 2.4). De maximale bouwhoogte, ten opzichte van het hoogste punt van het radarstation, loopt met 0,25 graden op tot 15 kilometer vanaf het radarstation. Dit betekent dat op 15 kilometer vanaf het radarstation de maximale bouwhoogte 65 meter hoger ligt ten opzichte van het radarstation. De tiphoogte (rotorbladen) van de windturbine mag niet deze bouwhoogte niet overschrijden. Wanneer de maximale bouwhoogtes niet overschreden worden hoeven geen maatregelen genomen te worden. Wanneer de tiphoogte de maximale bouwhoogte overschrijdt, dan moet getoetst worden of de werking van het radarstation daadwerkelijk verstoord wordt. Deze toetsing wordt alleen uitgevoerd door de 'Nederlandse Organisatie voor Toegepast-Natuurwetenschappelijk onderzoek' (TNO). Wat belangrijk is om te weten, is dat in juni 2016 het Rarro wordt aangepast. Er wordt een nieuw radarstation gebouwd in Noord-Brabant. Hierdoor zal een radarverstoringsgebied toegevoegd worden (pers. comm. van Gent, 2016).

5.7.2 Hoogtebeperkingen luchthavens

In de Regeling burgerluchthavens zijn hoogtebeperkingen vastgesteld rondom luchthavens. Deze hoogtebeperkingen gelden voor alle objecten, hieronder vallen ook windturbines. Eerst wordt ingegaan op de normen die van toepassing zijn, daarna op welke manier deze normen getoetst worden.

Norm

In het Besluit burgerluchthavens zijn twee verbodsbepalingen vastgesteld met betrekking tot hoogtebeperkingen rondom luchthavens. Hierin staat het volgende vermeld:

"1. In het gebied met hoogtebeperkingen in verband met de vliegveiligheid is geen object toegestaan dat hoger is dan de bij ministeriële regeling vastgestelde waarden.

2. In het gebied met hoogtebeperkingen in verband met de goede werking van de apparatuur voor luchtverkeerscommunicatie, -navigatie of -begeleiding is geen object toegestaan dat hoger is dan bij de ministeriële regeling vastgestelde waarden." (Besluit burgerluchthavens, 2016, § 3.2.4, artikel 14; Besluit burgerluchthavens, 2016, § 3.2.4, artikel 15).

Toetsen hoogtebeperking

In Nederland zijn voor elk vliegveld specifieke bouwhoogtes vastgesteld. Deze bouwhoogtes worden met obstakelbeheergebieden aangeduid. Dit staat in het desbetreffende luchthavenbesluit vastgesteld. In bijlage XII is te zien voor welke luchthavens dit is vastgesteld. Voordat windturbines nabij een luchthaven geplaatst kunnen worden, is het van belang om vast te stellen welke bouwhoogtes gelden. Voor de specifieke bouwhoogtes wordt uitgeweken naar het desbetreffende luchthavenbesluit, of de gedetailleerde regels van de provincies. In het luchthavenbesluit wordt onderscheid gemaakt tussen twee obstakelbeheergebieden, elk met een eigen bouwhoogte. De zogenaamde 'outer horizontal surface' en de 'concial surface' (Inspectie Leefomgeving en Transport, 2011). In figuur VI.4.1 en 4.2 van bijlage VII is te zien hoe dit wordt uitgewerkt. Van de geldende hoogtebeperkingen valt af te wijken mits een toetsing door de 'Inspectie Leefomgeving en Transport' uitwijst dat dit mogelijk is (Inspectie Leefomgeving en Transport, 2011).

5.7.3 Laagvliegroutes

In deze subparagraaf wordt aandacht besteed aan de zogenaamde laagvliegroutes. In deze routes wordt geoefend op laagvliegen. Piloten in jacht- en transportvliegtuigen vliegen in deze routes op zeer lage hoogtes (Ministerie van Defensie, z.d.).

Norm

In het Barro staat een hoogtebeperking vastgesteld voor laagvliegroutes. Hierin staat het volgende vermeld: *"Bij de eerstvolgende herziening van een bestemmingsplan dat betrekking heeft op een laagvliegroute voor jacht- en transportvliegtuigen worden geen bestemmingen opgenomen die het oprichten van bouwwerken met een hoogte van meer dan 40 meter te meten vanaf het maaiveld mogelijk maken."* (Besluit algemene regels ruimtelijke ordening, 2016, hoofdstuk 2, artikel 2.6.10)

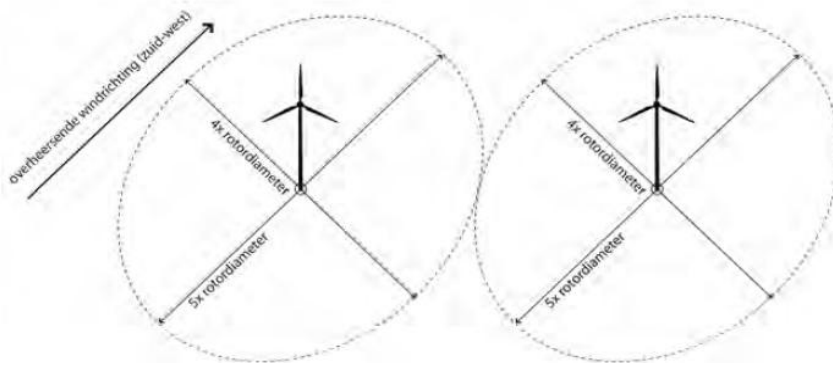
Dit betekent dat, vanaf het maaiveld niet hoger dan 40 meter gebouwd mag worden in laagvliegroutes. In bijlage 11 van het Barro zijn deze laagvliegroutes vastgesteld. Het gaat om laagvliegroute 10 en 10a (zie figuur 10).



Figuur 10. Laagvliegroutes in Nederland (Regeling algemene regels, 2016, bijlage 11).

5.8 Onderlinge plaatsingsafstand

In deze paragraaf wordt aandacht besteed aan de onderlinge plaatsingsafstand van windturbines. Wanneer windturbines te dicht bij elkaar staan treedt turbulentie op. Hierdoor vangen de turbines elkaars wind af, wat resulteert in lagere energieopbrengsten. Om dit te voorkomen moet een onderlinge plaatsingsafstand tussen windturbines gehanteerd worden (Ouwehand, et al., 2011). Voor de onderlinge plaatsingsafstand is een vuistregel opgesteld. Afhankelijk van de overheersende windrichting en opstelling wordt de onderlinge plaatsingsafstand van windturbines bepaald (pers. comm. de Waart, Matthijsse, 2016). In figuur 11 is een schematische weergave te zien van de onderlinge plaatsingsafstand. Het gebied waarin de wind verstoord wordt is achter de windturbine groter dan aan de zijkanten. Dit gebied achter de turbine wordt ook wel het zog genoemd (Ouwehand, et al., 2011). Wanneer windturbines in het zog worden gepositioneerd, wordt een onderlinge plaatsingsafstand van vijfmaal de rotordiameter gehandhaafd. Bij de onderlinge plaatsingsafstand tussen de zijkanten van windturbines wordt viermaal de rotordiameter gehandhaafd. De onderlinge plaatsingsafstand is pas belangrijk wanneer opstellingen voor een windpark worden bepaald. Dit gemodelleerd in modellen zoals Windpro (AgentschapNL, 2013; pers. comm. de Waart, Matthijsse, 2016).



Figuur 11. Vuistregel onderlinge plaatsingsafstand (AgentschapNL, 2013).

5.9 Ecologie

In deze paragraaf wordt aandacht besteed aan de effecten van windturbines op ecologie. In de Natuurbeschermingswet 1998 en de Flora- en faunawet staan beschermende regels om negatieve effecten voor dier- en plantensoorten te beperken. Eerst wordt ingegaan op de normen die van toepassing zijn en tot slot de manier waarop de toepassingen getoetst en beoordeeld worden.

Norm

In de Natuurbeschermingswet 1998 en Flora- en faunawet staan verschillende verbodsbepalingen die van toepassing zijn bij het plaatsen van windturbines.

De volgende artikelen uit de Natuurbeschermingswet 1998 zijn relevant voor dit onderzoek:

- artikel 16, eerste lid (verbodsbepaling uitvoeren projecten beschermd natuurmonument);
- artikel 19d, eerste lid (verbodsbepaling uitvoeren projecten Natura 2000-gebieden).

In artikel 16 staat een verbodsbepaling om zonder een vergunning handelingen te verrichten in een beschermd natuurmonument die schadelijk kunnen zijn voor het natuurschoon, voor de natuurwetenschappelijke betekenis van het beschermd natuurmonument of voor dieren of planten in het beschermd natuurmonument of die het beschermd natuurmonument ontsieren (Natuurbeschermingswet 1998, 2016, § 1, artikel 16). Als beschermende natuurmonumenten binnen het desbetreffende Natura 2000-gebied vallen, gelden de instandhoudingdoelen van dat Natura 2000-gebied. In het eerste lid van artikel 19d staat een verbodsbepaling om zonder een vergunning projecten of andere handelingen te realiseren, die gelet op de gestelde instandhoudingdoelen, de kwaliteit van de natuurlijke habitats en de habitats van soorten in een Natura 2000-gebied kunnen verslechteren of een significant verstorend effect kunnen hebben op de soorten waarvoor het gebied is aangewezen (Natuurbeschermingswet 1998, 2016, § 2, artikel 19d). Deze instandhoudingdoelen zijn per Natura 2000-gebied opgesteld. In deze doelen staat vastgelegd hoe habitattypen en soorten in een Natura 2000-gebied beschermd worden (Rijkswaterstaat, z.d.). In de Flora- en faunawet zijn planten- en diersoorten aangewezen die beschermd moeten worden. De volgende artikelen uit de Flora- en faunawet zijn relevant voor dit onderzoek:

- artikel 8 (bescherming inheemse plantensoorten);
- artikel 9 (verbod doden beschermde inheemse dieren);
- artikel 10 (verbod verontrusten beschermde inheemse dieren);
- artikel 11 (verbod beschadigen of verstoren rust- of verblijfplaatsen beschermde inheemse dieren);
- artikel 12 (verbod vernielen eieren behorend tot beschermde inheemse dieren).

In de bovenstaande artikelen staan verbodsbepalingen om beschermde, inheemse dieren te doden, verontrusten, dan wel hun nesten, holen of andere voortplantings- of vaste rust- of verblijfplaatsen te beschadigen, te vernielen, uit te halen of te verstoren. Het plaatsen van windturbines kan effect hebben op beschermde planten- en diersoorten.

Toetsen ecologie

Bij de plaatsing van windturbines moet rekening gehouden worden met de aanwezigheid van Natura 2000-gebieden, beschermende natuurmonumenten en aanwezige beschermende planten- en diersoorten. In een korte natuurtoets wordt gekeken naar de mogelijke significante effecten op beschermende planten- en diersoorten. Wanneer windturbines worden geplaatst in of nabij een Natura 2000-gebied moet onderzocht worden of er kans is op een significant negatief effect op de instandhoudingdoelen. Hiervoor moet oriënterend onderzoek uitgevoerd worden.

Het bepalen van de significante effecten van windturbines is per locatie verschillend. Dit hangt af van de gestelde instandhoudingdoelen van de nabije Natura 2000-gebieden. Daarnaast is de externe werking van een Natura 2000-gebied van belang. Vogels en vleermuizen uit het Natura 2000-gebied kunnen gebruik maken van de omgeving. Bij deze werking geldt de beschermde status van een Natura 2000-gebied voor een foerageergebied en/of broedgebied waar een windturbine negatief effect op heeft (Epe, Kistenkas, Winkelman, 2008; Gemeente Deventer, 2012). Om de kans op externe werking te beperken worden afstanden aangehouden rondom Natura 2000-gebieden. Uit een intern gesprek met N. de Weerd (expert ecologie en natuurwetgeving) is gebleken dat een afstand van 5 kilometer rondom een Natura 2000-gebied aangehouden kan worden. Daarnaast wordt aanbevolen om hotspots zoals riviergebieden te mijden. Riviergebieden worden door verschillende vogelsoorten gebruikt als trekroute en foerageergebied (pers. comm. de Weerd, 2016).

5.10 Eisen beleid

De provincies en gemeenten hebben in verschillende beleidskaders eisen vastgesteld die bepaalde gebieden uitsluiten voor de plaatsing van windturbines. Dit is per provincie en gemeente apart vastgesteld. Bij het plaatsen van windturbines is het van belang om te achterhalen welke eisen gesteld worden voor het desbetreffende gebied.

Provinciaal beleid

De provincies zijn verantwoordelijk om ruimte te bieden voor de plaatsing van windturbines. Er zijn twee beleidskaders die belangrijk zijn betreffende ontwikkelingen op het grondgebied van de provincie. Dit zijn de omgevingsvisie en omgevingsverordening (Stibbe, 2014). De omgevingsverordening moet het beleid van de omgevingsvisie waarborgen. Het geeft onder andere regels en instructies voor gemeenten en waterschappen betreffende ruimtelijke plannen, waterbeheer, verkeer en grondwaterbescherming (Stibbe, 2014). In deze verordening kunnen ook concrete regels en eisen staan betreffende windenergie. Zo kunnen regels opgesteld worden die bepalen waar de plaatsing van windturbines is toegestaan en waar niet. Dit is per provincie anders geregeld. Bij het plaatsen van windturbines is het dus van belang om te achterhalen welke gestelde eisen in de omgevingsverordening staan.

Gemeentelijk beleid

Het door de provincie opgelegde windenergiebeleid werkt door op de verschillende gemeenten. In samenwerking met de provincie werkt de gemeente aan de gestelde doelstellingen van de desbetreffende provincie. Hiernaast kunnen gemeenten ook hun eigen klimaatbeleid hebben. Hierin wordt een integrale visie voor duurzame energie vastgesteld. Net als de provincie kan een gemeente eisen en regels stellen aan de plaatsing van windturbines. Dit kan vastgesteld zijn in verschillende beleidsplannen en klimaatagenda's. Zo staan er eisen in voor de maximale bouwhoogtes, geluidszones en natuurontwikkeling. Windprojecten hebben een grote ruimtelijke impact. Een dergelijk project moet passen binnen het bestemmingsplan of inpassingsplan. Vaak is dit niet het geval (pers. comm. Smit, 2016). Door middel van een verleende omgevingsvergunning kan worden afgeweken van het bestemmingsplan (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, z.d.; Kenniscentrum InfoMil, 2016; van der Heijden, 2013).

Natuurnetwerk Nederland

Het Natuurnetwerk Nederland (voorheen Ecologische Hoofdstructuur) heeft als doel om natuurgebieden beter met elkaar te verbinden, te beheren en de biodiversiteit van Nederland te behouden. In 2014 is vastgesteld dat de provincies hiervoor verantwoordelijk zijn (Rijksoverheid, z.d.). Op basis van het Barro zijn de provincies verplicht om in de omgevingsverordening regels vast te stellen voor het natuurnetwerk (Besluit algemene regels ruimtelijke ordening, 2016, hoofdstuk 2, artikel 2.10.4). In de praktijk wordt het natuurnetwerk vaak uitgesloten voor windturbines. Voordat windturbines geplaatst kunnen worden nabij of in een natuurnetwerk, is het van belang om vast te stellen wat voor regels van toepassing zijn op het desbetreffende natuurnetwerk (pers. comm. de Weerd, 2016).

5.11 Deelconclusie

Uit dit hoofdstuk blijkt dat een tiental criteria van belang zijn bij het bepalen van een geschikte locatie en modeltype windturbine. Aan deze criteria wordt op verschillende wijze getoetst. Hiervoor moeten meerdere parameters bekend zijn. Dit zijn zowel vaste- als variabele parameters. Voornamelijk parameters zoals de windsnelheidsverdeling, ashoogte en rotordiameter zijn belangrijk. De inpassingcriteria zijn vertaald in een stroomschema in bijlage VIII. Per criterium zijn de achterliggende parameters uitgewerkt en de manier waarop getoetst wordt. Dit schema dient als beeldvorming voor de uitwerking van het selectiemodel. Bij de plaatsing van windturbines moet op al deze criteria getoetst worden. Hoewel deze criteria allemaal van belang zijn, zijn niet alle criteria even doorslaggevend. Voor het eerste selectiemodel worden alleen doorslaggevende criteria gebruikt. In hoofdstuk 6 komt dit verder aan de orde. Netaansluiting en fundatiemogelijkheden zijn niet meegenomen. Deze twee criteria worden onder andere bepaald op basis van economische haalbaarheid.

6

OPZET SELECTIEMODEL

In dit hoofdstuk staat beschreven hoe de doorslaggevende inpassingcriteria zijn verwerkt in het selectiemodel. Hiermee wordt antwoord gegeven op deelvraag 3:

Op basis van welke doorslaggevende inpassingcriteria kan het selectiemodel ontworpen worden?

In dit hoofdstuk zijn eerst de doorslaggevende inpassingcriteria geselecteerd die in het selectiemodel verwerkt zijn. Een doorslaggevend criterium bepaalt of een locatie uitgesloten wordt voor de plaatsing van windturbines. Op basis van de doorslaggevende criteria is het selectiemodel ontworpen. De manier waarop deze criteria verwerkt zijn in het selectiemodel staat in § 6.2 beschreven.

6.1 Doorslaggevende inpassingcriteria

In deze paragraaf is een selectie gemaakt van de inpassingcriteria die verwerkt zijn in het selectiemodel. De inpassingcriteria komen voort uit hoofdstuk 5. Uit de volgende inpassingcriteria is selectie gemaakt:

- geluidhinder;
- slagschaduw;
- externe veiligheid;
- energieopbrengsten;
- luchtvaartstoring;
- onderlinge plaatsingsafstand;
- ecologie;
- eisen beleid.

Alleen de doorslaggevende inpassingcriteria zijn in het ontworpen selectiemodel verwerkt. Deze inpassingcriteria zijn in eerste instantie het belangrijkste bij het bepalen van een geschikte locatie voor windturbines en het modeltype windturbine. Door het toetsen aan doorslaggevende inpassingcriteria kunnen bepaalde locaties en windturbines uitgesloten worden. In de volgende subparagrafen komt dit aan bod.

6.1.1 Geluidhinder

In het Activiteitenbesluit staan concrete regels voor de toegestane geluidbelasting van windturbines. Met geluidscontouren wordt dit getoetst. Deze contouren geven de gebieden weer waar de norm overschreden wordt. Dit resulteert in een minimale afstand die aangehouden moet worden om te voorkomen dat de geluidsbelasting de norm overschrijdt. Deze gebieden zijn per definitie uitgesloten voor de plaatsing van windturbines.

Hoewel maatregelen getroffen kunnen worden om deze geluidsbelasting te verminderen, zal altijd een gebied overblijven waar de geluidsbelasting hoger is dan de gestelde norm en dus uitgesloten is. Geluidhinder is in die zin dan ook doorslaggevend bij het bepalen van een geschikte locatie en type windturbine.

6.1.2 Slagschaduw

Slagschaduw kan voor omwonenden zeer hinderlijk zijn. Bij de inpassing van windturbines is dit een belangrijk criterium om aan te toetsen. In het Activiteitenbesluit staan concrete normen om de hoeveelheid slagschaduw te beperken. Met schaduwcontouren wordt dit getoetst. Met deze contouren worden de gebieden aangegeven waar de hoeveelheid slagschaduw de norm overschrijdt. Deze gebieden worden, in tegenstelling tot andere criteria, niet uitgesloten voor windturbines. Door het toepassen van een stilstandvoorziening in de windturbine wordt voorkomen dat de norm wordt overschreden. Met het toepassen van deze maatregel kan een windturbine alsnog geplaatst worden op een locatie waar anders de norm zou worden overschreden. Slagschaduw wordt hierdoor niet beschouwd als een doorslaggevend criterium. Hoewel een stilstandvoorziening resulteert in lagere energieopbrengsten, is de afname in vergelijking met de totale energieopbrengsten in MWh/jaar relatief weinig. Vaak gaat het hier om tienden van procenten. Zelfs in extreme gevallen zal het verlies aan energieopbrengsten maar beperkt zijn in vergelijking met de totale opbrengsten (pers. comm. de Waart, Matthijsse, 2016).

6.1.3 Externe veiligheid

Op het gebied van externe veiligheid zijn strenge eisen gesteld. Om de risico's van windturbines te beperken zijn normen opgesteld. Aan deze norm wordt getoetst door het plaatsgebonden van een windturbine te berekenen. Deze kans wordt uitgedrukt in een risicocontour. Deze contouren geven de gebieden weer waar de norm overschreden wordt. In deze gebieden wordt de plaatsing van windturbines uitgesloten. Het criterium externe veiligheid wordt daarom als doorslaggevend beschouwd.

6.1.4 Energieopbrengsten

In een later stadium zijn energieopbrengsten bepalend voor de keuze van de locatie en modeltype windturbine. De energieopbrengsten bepalen grotendeels de financiële haalbaarheid van een windpark- of turbine. Er zal altijd worden gekozen voor de maximaal haalbare energieopbrengsten. Wanneer blijkt dat meerdere locaties geschikt zijn voor de inpassing voor windturbines zal de locatie geselecteerd worden waar de energieopbrengsten het hoogste zullen zijn. Daarnaast zal altijd gekozen worden voor de maximale afmetingen voor een windturbine. Voor de selectie van de modeltypen windturbines zijn de energieopbrengsten doorslaggevend.

6.1.5 Luchtvaartstoring

Een belangrijk criterium voor het bepalen van de geschikte locatie en windturbine is luchtvaartstoring.

Uit het vooronderzoek (§ 5.7) is gebleken dat luchtvaartstoring valt te verdelen in drie aspecten:

- radarverstoring;
- hoogtebeperkingen luchthavens;
- laagvliegroutes.

Het radarverstoringgebied dat zich 15 kilometer rondom het station bevindt is een zwaarder geldende zone dan het uiterste gebied (zone 75 km). In de 15 kilometer zone worden bouwhoogtes uitgesloten die hoger zijn dan de norm. Deze zone kan als doorslaggevende factor gezien worden bij het bepalen van het modeltype windturbine en de geschikte locatie. Het uiterste radarverstoringgebied (zone 75 km) is niet doorslaggevend. In deze zone kunnen bouwhoogtes overschreden worden, mits de toetsing door TNO uitwijst dat dit mogelijk is.

Nabij luchthavens gelden maximale bouwhoogtes. Met zogenaamde obstakelbeheergebieden worden deze bouwhoogtes aangegeven. De bouwhoogtes zijn verschillend per luchthaven. Van deze hoogtebeperkingen valt af te wijken, mits een toetsing door de 'Inspectie Leefomgeving en Transport' uitwijst dat dit mogelijk is. Deze toetsing kan niet verwerkt worden in het selectiemodel. Alleen een afwijking is toegestaan voor de hoogtebeperkingen die gelden voor de 'concial surface', 'inner horizontal surface' en 'outer horizontal surface'. Van de hoogtebeperkingen die gelden voor de aan- en uitvliegroutes valt niet af te wijken (Inspectie Leefomgeving en Transport, 2011). In de praktijk blijkt dat de mogelijkheden voor het afwijken van hoogtebeperkingen in de 'inner- en concial surface' erg beperkt zijn (pers. comm. Matthijsse, 2016). Deze zones kunnen in eerste instantie als doorslaggevend worden beschouwd. Verder is de regelgeving voor luchthavens overgedragen naar de provincies. Voordat windturbines geplaatst kunnen worden in het obstakelbeheergebied is het van belang om de geldende regels in de omgevingsverordening vast te stellen. Voor de geldende hoogtebeperkingen van laagvliegroutes valt niet af te wijken. Dit criterium wordt dit als doorslaggevend beschouwd.

6.1.6 Onderlinge plaatsingsafstand

Een belangrijk criterium bij het bepalen van de opstelling van een windpark is de onderlinge plaatsingsafstand. Wanneer windturbines te dicht bij elkaar staan beïnvloeden ze elkaar. Deze werking kan de energieopbrengsten aanzienlijk verlagen. Om dit te voorkomen worden minimale afstanden aangehouden. Deze afstanden moeten aangehouden worden om zo de ideale opstelling voor een windpark vast te stellen. Bij al bestaande windparken en solitaire turbines is het van belang om deze afstanden ook aan te houden. In een later stadium zijn deze afstanden bepalend voor de opstelling van een windpark- of turbine. Daarom kan dit criterium beschouwd worden als doorslaggevend.

6.1.7 Ecologie

Hoewel het bepalen van de significante effecten voor beschermende planten- en diersoorten in het selectiemodel niet mogelijk is, is het toetsen doormiddel van de beschermde status van Natura 2000-gebieden wel mogelijk. In Natura 2000-gebieden wordt de plaatsing van windturbines in vele gevallen uitgesloten. In sommige gevallen is de plaatsing van windturbines in een Natura 2000-gebied mogelijk, ook al zijn er significante negatieve effecten. Dit is alleen toegestaan als er geen alternatieven zijn en de maatschappelijke en economische belangen zwaarder wegen. Dit wordt bepaald door een zogenaamde ADC-toets (pers. comm. de Weerd, 2016). Daarnaast is niet altijd sprake van negatieve effecten op een Natura 2000-gebied. Dit ligt aan de gestelde instandhoudingsdoelstellingen. Om te bepalen of sprake is van een significant negatief effect moet maatwerk uitgevoerd worden. Dit kan niet meegenomen worden in het selectiemodel. Natura 2000-gebieden tot het Natuurnetwerk Nederland. In beleidsplannen komt het vaak voor dat het Natuurnetwerk Nederland (waaronder Natura 2000-gebieden) uitgesloten wordt voor windturbines. Om te bepalen of Natura 2000-gebieden uitgesloten worden voor windturbines moet gekeken worden welke eisen gesteld worden in beleidsplannen (meer hierover in (§ 6.1.8).

6.1.8 Eisen beleid

In beleidsplannen kunnen eisen worden gesteld aan de inpassing van windturbines. Hoewel beleidsplannen in de loop de jaren gewijzigd kunnen worden, is het een doorslaggevende factor bij de inpassing van windturbines. Hierin kunnen bepaalde gebieden en windturbines uitgesloten worden. Bij de plaatsing van windturbines is het van belang om de geldende eisen in beleidsplannen inzichtelijk te hebben. Dit is per provincie en gemeente verschillend. In de omgevingsverordening van de provincie Overijssel staan bijvoorbeeld concrete regels die bepaalde gebieden uitsluiten voor de plaatsing van windturbines. Gebieden die behoren tot Nationale Landschappen en het Natuurnetwerk Nederland worden uitgesloten (Provincie Overijssel, 2015). De eisen die beleidsplannen gesteld worden zijn in die zin doorslaggevend.

6.2 Verwerking selectiemodel

De volgende doorslaggevende inpassingcriteria zijn verwerkt in het selectiemodel:

- geluidhinder;
- externe veiligheid;
- energieopbrengsten;
- luchtvaartstoring;
- onderlinge plaatsingsafstand;
- ecologie;
- eisen beleid.

De bovenstaande criteria zijn uitgewerkt in twee modellen, een Excel-model en een GIS-model. Deze twee modellen vormen in samenhang het selectiemodel. Windpro en Geomilieu dienen als ondersteunende onderdelen voor het selectiemodel. Deze modellen geven input voor de criteria geluidhinder en energieopbrengsten.

Per criterium is een korte toelichting gegeven hoe het verwerkt is in het selectiemodel. Vanwege de grote omvang van de modellen zijn de verschillende uitwerkingen in de bijlagen opgenomen.

6.2.1 Geluidhinder

Zoals beschreven staat in hoofdstuk 5, wordt doormiddel van geluidcontouren getoetst aan geluidhinder. Om deze toetsing te kunnen vertalen in een selectiemodel is gekozen om gebruik te maken van het GIS-model, Windpro en Geomilieu. In Windpro en Geomilieu wordt de geluidbelasting in decibel berekend. Zowel voor het hele etmaal (dag, avond en nacht), als over de nacht (23-7 uur). Voor deze berekeningen wordt gebruik gemaakt van de maximale windturbineafmetingen. Hierdoor wordt de keuze voor de afmetingen van de windturbine niet gelimiteerd. De berekende geluidbelasting is in het GIS-model doorvertaald tot een geluidcontour. Met deze contour wordt het gebied weergegeven waar de hoeveelheid decibel de norm overschrijdt. Voor elk geluidgevoelig object is dit toegepast. Deze gebieden zijn uitgesloten voor de plaatsing van windturbines. In figuur IX.1 van bijlage IX is te zien hoe dit in het GIS-model is verwerkt. De geluidcontouren zijn per modeltype windturbine en locatie verschillend. Op basis van deze verschillen kan mede de meest geschikte locatie en turbine geselecteerd worden.

6.2.2 Externe veiligheid

Uit het vooronderzoek (§ 5.3) is gebleken dat voor elk risico-object een minimale afstandeis is vastgesteld. Windturbines dienen minimaal op de gestelde afstandeis geplaatst te worden om te voorkomen dat het plaatsgebonden risico de norm overschrijdt. Zoals staat weergegeven in het stroomschema in bijlage VIII kan een windturbine ook binnen deze afstandeis geplaatst worden, mits de trefkansberekening aantoont dat aan de norm wordt voldaan. De trefkans wordt berekend op basis van specifiek maatwerk. Hiervoor moet onder andere de concrete opstelling van de windturbine(s) bekend zijn. In dit huidige selectiemodel kan hier geen invulling aan worden gegeven. Om te kunnen toetsen aan externe veiligheid is gekozen om op basis van de gestelde afstandeisen de geschikte modeltypen windturbines en locaties te selecteren. Deze afstanden zijn per modeltype windturbine en locatie verschillend. Op basis van deze verschillen kan een selectie plaatsvinden. Deze selectie is verwerkt in het GIS- en Excel-model. In het Excel-model wordt per modeltype windturbine de afstandeis van het desbetreffende risico-object berekend. De afstanden worden op basis van de windklasse, ashoogte en generieke werpafstanden berekend. Voor een visuele weergave van de verwerking in het Excel-model wordt verwezen naar bijlage X. Deze berekende afstanden zijn vervolgens vertaald in afstandcontouren. Deze contouren kunnen in het GIS-model gevisualiseerd worden. Met deze contouren wordt het gebied nabij risico-objecten weergegeven die uitgesloten wordt voor de plaatsing van windturbines. In figuur IX.2 van bijlage IX is te zien hoe dit verwerkt is in het GIS-model. De risico-objecten 'industrie' en 'waterkeringen' zijn niet verwerkt in het selectiemodel. Hier zijn geen algemene wettelijke afstandeisen voor vastgesteld. De afstandeis voor deze twee objecten kan uitsluitend bepaald worden met een trefkansberekening. Dit is maatwerk en kan dus niet in het model verwerkt worden (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2014).

6.2.3 Energieopbrengsten

Uit het gesprek met M. Andel is gebleken dat het model Windpro gebruikt wordt om specifieke energieopbrengsten voor windturbines te berekenen (pers. comm. Andel, 2016). Om te kunnen toetsen aan energieopbrengsten is gekozen om Windpro te gebruiken als input voor het selectiemodel. De energieopbrengsten verschillen per locatie en modeltype windturbine. Op basis van deze verschillen kan de meest geschikte locatie en modeltype windturbine bepaald worden. Voor de resulterende windturbines en geschikte locaties uit het Excel- en GIS-model worden de energieopbrengsten berekend in MWh/jaar. De benodigde technische en locatiespecifieke parameters worden uit databases van Windpro achterhaald. De energieopbrengsten worden vervolgens berekend in Windpro. In bijlage XI is te zien hoe dit wordt berekend in Windpro.

6.2.4 Luchtvaartstoring

Het criterium luchtvaartstoring wordt getoetst op de volgende drie onderdelen:

- radarverstoring;
- hoogtebeperkingen luchthavens;
- laagvliegroutes.

In de volgende alinea's staat uitgelegd hoe deze toetsing is verwerkt in het selectiemodel.

Radarverstoring

Uit hoofdstuk 5 is gebleken dat de ligging van het projectgebied ten opzichte van een radarstation bepaalt op welke manier getoetst moet worden aan de norm (maximale bouwhoogte). Ligt het projectgebied in een zone van 15 kilometer rondom een radarstation, dan wordt het overschrijden van de maximale bouwhoogte uitgesloten (pers. comm. Matthijsse, 2016). Ligt het projectgebied buiten de 15 kilometerzone, maar in het beïnvloedgebied van een radarstation, dan kan de norm overschreden worden. In het laatste geval kan alleen de norm worden overschreden als dit wordt toegelaten door TNO. Dit kan alleen getoetst worden door TNO en kan daarom niet meegenomen worden in het selectiemodel (pers. comm. van Gent, 2016). Om invulling te geven aan radarverstoring wordt in het selectiemodel alleen gebruik gemaakt van de 15 kilometerzone rondom een radarstation. Dit is zowel in het Excel-model, als in het GIS-model verwerkt. In het Excel-model worden de windturbines geselecteerd op de geldende maximale bouwhoogte. De maximale bouwhoogte wordt berekend op basis van de hoogte van het radarstation en de afstand van het projectgebied ten opzichte van het radarstation. De tiphoogte is per modeltype windturbine verschillend. Door deze verschillen kunnen de modeltypen geselecteerd worden die de maximale bouwhoogte niet overschrijden. In bijlage XII is te zien hoe de selectie in het Excel-model is verwerkt. De aangegeven minimale afstanden worden vervolgens in het GIS-model gevisualiseerd. De visualisatie in het GIS-model is te zien in bijlage IX (figuur IX.5).

Hoogtebeperkingen luchthavens

De hoogtebeperkingen bij luchthavens is op een soortgelijke manier verwerkt in het selectiemodel als radarverstoring. Voor luchthavens zijn obstakelbeheergebieden opgesteld. In deze gebieden gelden maximale bouwhoogtes. Per luchthaven is dit apart vastgesteld in een luchthavenbesluit. In het GIS-model wordt het obstakelbeheergebied van de desbetreffende luchthaven uitgewerkt. Voor het projectgebied kan vervolgens geanalyseerd worden in welke zone het gebied zich bevindt ('conial surface of outer horizontal surface'). Dit is bepalend voor de geldende maximale bouwhoogte. Wanneer bekend is welke bouwhoogte van toepassing is wordt deze ingevoerd in het Excel-model. Per windturbine wordt de maximale bouwhoogte berekend. Voor vliegveld Twente geldt geen luchthavenbesluit. In de huidige provinciale omgevingsverordening (geraadpleegd op 14-04-2016) is vastgesteld dat de maximale bouwhoogte in het obstakelbeheergebied van vliegveld Twente 40 meter ten opzichte van het maaiveld bedraagt (Provincie Overijssel, 2015).

Laagvliegroutes

Zoals vermeld staat in hoofdstuk 5 wordt in Nederland gebruik gemaakt van twee laagvliegroutes. De maximale bouwhoogte in deze routes bedraagt 40 meter. De tiphoogtes van de geïnventariseerde modeltypen windturbines overschrijden allemaal deze bouwhoogte. De laagvliegroutes zijn daarom uitgesloten voor de plaatsing van windturbines. In het GIS-model zijn deze routes uitgewerkt. In figuur IX.4 van bijlage IX is deze uitwerking te zien.

6.2.5 Onderlinge plaatsingsafstand

De onderlinge plaatsingsafstand wordt berekend in het Excel-model. In het Excel-model wordt per modeltype de afstand berekend die aangehouden moet worden. Dit zijn twee verschillende afstanden (viermaal en vijfmaal de rotordiameter). De berekende afstanden zijn te zien in bijlage VI. Deze afstanden zijn van belang bij bestaande windparken en solitaire windturbines. Bovendien zijn de plaatsingsafstanden belangrijk voor het bepalen van de opstelling van de windturbine(s). In Windpro kan de optimale opstelling van een windpark- en/of turbine gemodelleerd worden. Naast de onderlinge plaatsingsafstand zijn ook andere criteria van toepassing voor het bepalen van de optimale opstelling. Dit zijn criteria zoals fundatiemogelijkheden en netaansluiting. Deze criteria vallen buiten de focus van dit onderzoek, hierdoor kan in het huidige selectiemodel niet inzicht worden gegeven in de optimale opstelling.

6.2.6 Ecologie

Uit het vooronderzoek (§ 5.9) is gebleken dat om te toetsen aan het criterium ecologie grotendeels maatwerk moet worden uitgevoerd. Om te bepalen of de plaatsing van een windturbine negatief effect heeft op plant- en diersoorten moet oriënterend onderzoek uitgevoerd worden. Deze manier van toetsing kan niet in een selectiemodel verwerkt worden. Wel kan rekening gehouden worden met de beschermende status van Natura 2000-gebieden. In deze gebieden wordt de plaatsing van windturbines in vele gevallen uitgesloten. De beschermende werking van een Natura 2000-gebied staat in relatie met het Natuurnetwerk Nederland. Vaak zijn Natura 2000-gebieden onderdeel van dit netwerk.

Wanneer windturbines uitgesloten worden in het Natuurnetwerk Nederland is het belangrijk om na te gaan of Natura 2000-gebieden ook onder deze uitgesloten gebieden vallen. De Natura 2000-gebieden zijn uitgewerkt in het GIS-model. De uitwerking is te zien in figuur IX.6 (bijlage IX). In het GIS-model kan worden geanalyseerd of Natura 2000-gebieden onderdeel uitmaken van het Natuurnetwerk Nederland. Daarnaast kan getoetst worden doormiddel van de instandhoudingdoelstellingen van een Natura 2000-gebied. Deze informatie wordt opgevraagd uit de 'Gebiedendatabase' van het Ministerie van Economische Zaken (Ministerie van Economische Zaken, 2016; pers. comm. de Weerd, 2016). Zijn in een Natura 2000-gebied geen vogel- en/of vleermuissoorten aanwezig, dan kunnen negatieve effecten op ecologie worden uitgesloten. Wanneer dit wel het geval is, dan wordt een contour getrokken om het Natura 2000-gebied van 5 kilometer pers. comm. de Weerd, 2016). Binnen deze zone is nader onderzoek nodig naar de effecten van windturbines op de instandhoudingdoelstellingen. De verdere effecten voor ecologie kunnen alleen bepaald worden aan de hand van een natuurtoets en zo nodig, een passende beoordeling worden (pers. comm. de Weerd, 2016).

6.2.7 Eisen beleid

In verschillende beleidskaders en visiedocumenten staan eisen voor de plaatsing van windturbines. Per provincie en gemeente zijn deze eisen apart vastgesteld. Zo worden bepaalde gebieden zoals het Natuurnetwerk Nederland in deze beleidskaders uitgesloten voor de plaatsing van windturbines. In andere gevallen worden concrete eisen gesteld aan de eigenschappen van de windturbines zelf. Zo worden in de provincie Overijssel alleen windturbines in het landelijk gebied toegestaan met een minimaal vermogen van 2 MW (Provincie Overijssel, 2015). Doordat beleid per gemeente en provincie anders is, maakt dit het lastig om de eisen in een selectiemodel te verwerken. Dit moet per projectlocatie apart worden meegenomen.

6.3 Deelconclusie

Uit dit hoofdstuk blijkt dat niet alle inpassingcriteria even doorslaggevend zijn bij het bepalen van een geschikte locatie en windturbine. Sommige criteria sluiten locaties en modeltypen al uit voordat een volledige selectie heeft plaatsgevonden. Dit zijn criteria zoals geluidhinder en luchtvaartstoring. Deze inpassingcriteria zijn doorslaggevend. De doorslaggevende inpassingcriteria zijn vertaald in het selectiemodel. Om een selectie te kunnen maken van enerzijds geschikte modeltypen windturbines en anderzijds geschikte locaties, is het selectiemodel uit twee delen opgebouwd. In het Excel-model is het selectieproces van de modeltypen windturbines verwerkt. In dit model worden de geschikte modeltypen geselecteerd op basis van de geselecteerde criteria. Om geschikte locaties te selecteren is een GIS-model opgezet. In dit model wordt getoetst aan inpassingcriteria zoals geluidhinder en externe veiligheid. Ter ondersteuning van het selectiemodel wordt gebruik gemaakt van Windpro en Geomilieu. Deze modellen geven input voor de criteria geluidhinder en energieopbrengsten. Het selectiemodel is vervolgens in de testcase toegepast. De resultaten komen in het volgende hoofdstuk aan de orde. Op basis van deze testcase en de brainstormsessie zijn verbeterpunten opgesteld. In hoofdstuk 8 wordt dit beschreven.

7 TESTCASE

In dit hoofdstuk komt de testcase aan de orde. Hier wordt antwoord gegeven op deelvraag 4:

Op basis van welke testcase kan het selectiemodel getest worden?

Het belang van de testcase is om te analyseren hoe het model werkt in de praktijk. Zo kan bestudeerd worden wat de sterke en zwakke punten zijn van het ontworpen selectiemodel. Op basis hiervan kan geëvalueerd worden waar verbeterpunten liggen en hoe deze punten verbeterd kunnen worden. Daarnaast levert de testcase input voor het selectiemodel. Het selectiemodel werkt voor een deel op locatiespecifieke parameters, deze dienen als basis voor de selectie. Zonder deze parameters kunnen de windturbines niet aan elkaar worden getoetst. De testcase moet invulling geven aan deze parameters.

In overleg met Raedthuys zijn verschillende testcases besproken. Raedthuys is een projectontwikkelaar op het gebied van windenergie. Zij heeft inzicht in praktijkvragen op het gebied van windenergie. De keuze en onderbouwing van de testcase is eerst beschreven (§ 7.1). Daarna is een algemene beschrijving van de testcase gegeven (§ 7.2). Hier is ingegaan op het relevante provinciale en gemeentelijk beleid betreffende windenergie. Op basis van de geselecteerde testcase is het selectiemodel getest. De resultaten van de testcase komen in hoofdstuk 8 aan bod.

7.1 Testcases

In overleg met D.J. Matthijsse en J. de Waart zijn drie mogelijke testcases besproken. Het gaat om de volgende cases:

- gemeente Hof van Twente;
- gemeente Oldenzaal;
- A1 traject Barneveld - knooppunt Azelo.

Gemeente Hof van Twente

De gemeente Hof van Twente heeft in oktober 2015 de beleidsnota 'Grootschalige duurzame energie winning' opgesteld. Hierin staat vermeld dat in 2035 de gemeente volledig energieneutraal moet zijn. Om deze doelstelling te halen is geconcludeerd dat minimaal 7 windturbines gerealiseerd moeten worden. De gemeente is hierom op zoek naar de mogelijkheden voor windenergie. Momenteel loopt een windproject in Goor. De projectontwikkelaar Raedthuys is, ten tijde van het opstellen van dit rapport, de mogelijkheid voor een windturbine op het bedrijventerrein 'Zenkeldamshoek' in Goor aan het onderzoeken. De exacte locatie is hier bekend. Momenteel worden diverse onderzoeken gedaan naar onder andere geluidhinder, slagschaduw en externe veiligheid (pers. comm. de Waart, Matthijsse, 2016).

Gemeente Oldenzaal

Na aanleiding van het windproject in Goor is een vraag naar windenergie ontstaan in de gemeente Oldenzaal. De gemeente is geïnteresseerd in de mogelijkheden voor windenergie. Momenteel zijn nog geen windprojecten in de gemeente Oldenzaal gerealiseerd of gaande. Raedthuys gaat hier onderzoek naar verrichten (pers. comm. de Waart, Matthijssse, 2016).

A1 traject Barneveld - knooppunt Azelo

Het A1 traject van Barneveld tot en met knooppunt Azelo biedt veel mogelijkheden voor windenergie. Provincies en gemeenten kijken voornamelijk naar snelwegen voor het realiseren van windturbines. Tussen snelwegen en windturbines zit een goede koppeling. Omdat woningen vaak op grotere afstanden van snelwegen liggen en door het aanwezige achtergrondgeluid ontstaan veel kansen voor windenergie (pers. comm. de Waart, Matthijssse, 2016).

Keuze testcase

Voor het onderzoek is op basis van de volgende redenen gekozen om gemeente Oldenzaal als testcase te gebruiken:

- in de gemeente Hof van Twente loopt al een windproject en is voor een deel onderzoek gedaan naar de mogelijkheden voor windenergie. Aangezien in de gemeente Hof van Twente de mogelijkheid voor windenergie onderzocht wordt, biedt een testcase in Oldenzaal een grotere meerwaarde voor de gemeente en Raedthuys;
- het A1 traject van Barneveld tot en met Azelo is vanwege de tijdsduur van het onderzoek een te groot onderzoeksgebied. Om het A1 traject toch mee te nemen is wel gekeken naar de gemeenten die de A1 doorkruist;
- gemeente Oldenzaal biedt potentie door de aanwezigheid van een bedrijventerrein en het A1 traject. Daarnaast is de gemeente een relatief kleine gemeente. Vanwege de korte tijdsduur van het onderzoek en de testfase is dit meer geschikt.

7.2 Beleidskaders

In deze paragraaf zijn de huidige beleidskaders beschreven die relevant zijn voor de testcase op het gebied van windenergie. Hierin staan eisen vermeld die gelden voor de plaatsing van windturbines in de gemeente Oldenzaal.

Beleid provincie Overijssel

De provincie Overijssel heeft met het Rijk afgesproken dat 85,5 MW aan gezamenlijk vermogen van windturbines geplaatst moet zijn voor 2020 (Rijksdienst voor ondernemend Nederland, 2016). In de opgestelde omgevingsvisie en omgevingsverordening heeft de provincie Overijssel haar beleid vastgesteld op het gebied van windenergie. In dit beleid wordt sturing gegeven aan de plaatsing van windturbines.

Hierin staat het volgende vermeld (Provincie Overijssel, 2015):

- gebieden gerekend tot het Natuurnetwerk Nederland, Nationaal Landschap, laagvliegroutes en funnel vliegveld Twente zijn uitgesloten voor de plaatsing van windturbines;
- in de groene omgeving (het grondgebied buiten steden, dorpen en hoofdinfrastructuur) zijn windturbines alleen toegestaan in de vorm van een windpark bestaande uit minimaal 4 windturbines, met een vermogen van 2 MW per windturbine;
- in overige gebieden (o.a. grote bedrijventerreinen met meer dan 40 hectare oppervlak en langs infrastructuur) zijn windenergie initiatieven ter plekke mogelijk, indien het planontwerp conform de gebiedskenmerken is;
- op bedrijventerreinen geldt het minimum van 4 windturbines niet.

Bij het plaatsen van windturbines in de provincie Overijssel moet rekening gehouden worden met de bovenstaande regels.

Beleid gemeente Oldenzaal

Ten tijde van het opstellen van dit rapport heeft gemeente Oldenzaal nog geen specifiek beleidskader opgesteld gericht op windenergie. Wel heeft de gemeente in het document 'Toekomstvisie 2025 Duurzaam Oldenzaal' vastgesteld dat het van belang is om in de gemeente de mogelijkheden voor onder andere windenergie te verkennen. Voor de gemeente Oldenzaal geldt het eerder genoemde beleid van provincie Overijssel (Gemeente Oldenzaal, 2015).

7.3 Resultaten testcase

In deze paragraaf worden de resultaten van de testcase weergegeven. Voor de gemeente Oldenzaal is het selectiemodel toegepast. Het selectiemodel moet uitwijzen welke locatie en modeltype windturbine geschikt is. Allereerst worden de resultaten betreffende de geschikte windturbines beschreven. Daarna komen de geschikte locaties aan bod. Als laatste worden de beperkingen van het ontworpen selectiemodel beschreven.

Geschikte modeltypen windturbines

Om een selectie te maken in het Excel-model zijn een aantal randvoorwaarden opgesteld. Aan de hand van deze randvoorwaarden kunnen de windturbines geselecteerd worden in het Excel-model. Deze randvoorwaarden hebben betrekking op de windklasse, radarverstoring en de maximale bouwhoogte. In bijlage XIII is te zien hoe dit is uitgewerkt voor de testcase. Hierin worden de randvoorwaarden weergegeven die gelden voor de gemeente Oldenzaal. De selectie, op basis van de ingevulde randvoorwaarden in het Excel-model, is te zien in figuur XIII.10. In deze selectie worden de geschikte windturbines aangewezen. De windturbines weergegeven in rood voldoen niet aan de randvoorwaarden, de windturbines weergegeven in groen wel. Een windturbine kan pas aangemerkt worden als geschikt wanneer het voldoet aan alle randvoorwaarden. Uit het Excel-model blijkt dat voor de gemeente Oldenzaal twee modeltypen windturbines geschikt zijn. Dit zijn de DW52 en de E70. In tabel 3 staan de exacte gegevens weergegeven.

Doordat gemeente Oldenzaal zich in zijn geheel bevindt in het radarverstoringsgebied van het radarstation Twente geldt een maximale bouwhoogte van 102,46 meter (zie figuur XIII.4). De meeste windturbines overschrijden deze bouwhoogte. Hierdoor wordt de keuze voor modeltypen windturbines erg beperkt.

Modeltype windturbine	Fabrikant	Vermogen (MW)	Ashoogte (m)	Rotordiameter (m)
DW52	EWT	0,9	50	52
E70	Enercon	2,3	57	70

Tabel 3. Gegevens windturbines.

Geschikte locaties

Op basis van de geselecteerde windturbines zijn de geschikte locaties aangewezen in het GIS-model. In het Excel-model zijn de benodigde gegevens berekend voor het GIS-model. Dit zijn gegevens zoals afstanden tot risico-objecten en maximale bouwhoogtes. Voor een uitgebreid overzicht van deze gegevens wordt verwezen naar figuur XIII.1. In het GIS-model zijn deze gegevens vervolgens ingevoerd. Voor een uitgebreid overzicht van de verwerking per windturbine in het GIS-model wordt verwezen naar figuur XIII.2 en 3. Dit heeft tot twee geschikte locaties geresulteerd. In figuur XIII.5 zijn de resulterende locaties in het GIS-model te zien. In tabel 4 worden voor beide locaties de geschikte modeltypen windturbines weergegeven die geplaatst kunnen worden. Hierbij wordt uitgegaan van de maximale configuratie betreffende ashoogtes. Voor een gedetailleerd overzicht per locatie wordt verwezen naar figuur XIII.6 en 7.

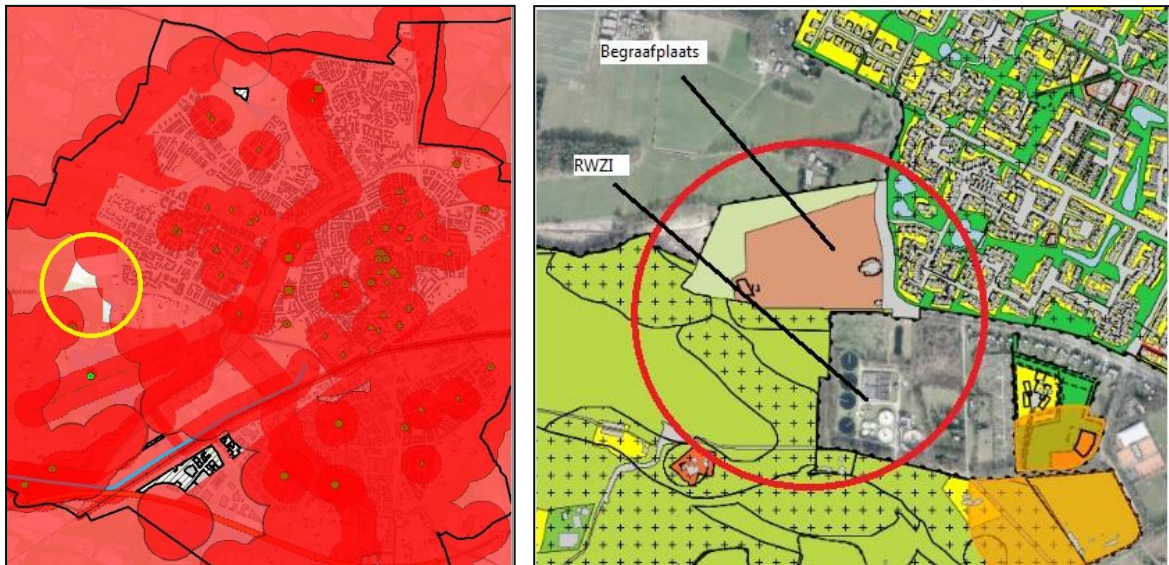
Locatie	Modeltype windturbine	Ashoogte (m)	Energieopbrengsten (MWh/jaar)
De Graven Es	DW52	50	1.929,1
	E70	57	4.101,6
Bedrijventerrein Haze-winkel Noord-West	DW52	50	1.929,1

Tabel 4. Geschikte locaties.

In de gemeente Oldenzaal is maar een beperkt gebied geschikt voor de plaatsing van windturbines. Dit komt doordat luchthaven Twente vlakbij de gemeente is gelegen en een groot deel van de gemeente onderdeel is van het Nationaal Landschap en Natuurnetwerk Nederland. Deze gebieden zijn door de provincie Overijssel uitgesloten (Provincie Overijssel, 2015). In figuur XIII.8 is een totaaloverzicht te zien van de uitgesloten gebieden in het GIS-model. Zoals te zien is in figuur XIII.9 valt de locatie 'De Graven Es' onder het landelijk gebied. In de omgevingsverordening van de provincie Overijssel staat vastgelegd dat alleen windturbines in de vorm van een windpark geplaatst kunnen worden in het landelijk gebied (Provincie Overijssel, 2015). Door de kleine locatie is geen ruimte voor een windpark met een minimum van 4 windturbines. Op verzoek van Raedthuys is dit gebied wel meegenomen als 'geschikt' gebied (pers. comm. de Waart, Matthijsse, 2016).

Beperkingen selectiemodel

De testcase heeft inzicht gegeven in de beperkingen van het selectiemodel. Uit de analyse van de resultaten blijkt dat het GIS-model gebieden selecteert die in de werkelijkheid niet geschikt zijn voor windturbines. In figuur 12.1 worden deze gebieden weergegeven met de gele cirkel. Uit het bestemmingsplan en een actuele luchtfoto blijkt dat deze gebieden al bestemd zijn. Zoals wordt weergegeven in figuur 12.2 zijn deze gebieden bestemd als begraafplaats en rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI).



Figuur 12.2. Bestemmingen selectie.

Omdat deze gebieden al bestemd zijn wordt de plaatsing van windturbines uitgesloten. Het GIS-model is opgezet op basis van openbare data. Deze bestemmingen ontbraken in de gebruikte data. Om deze data te achterhalen wordt gebruik gemaakt van luchtfoto's en het bestemmingsplan.

7.4 Deelconclusie

Uit de testcase blijkt dat de mogelijkheden voor windenergie in de gemeente Oldenzaal beperkt zijn. Door het opgestelde beleid van de provincie Overijssel wordt een groot gebied uitgesloten voor windenergie. Twee locaties zijn aangewezen als geschikt. Hiervoor is het van belang om vervolgstappen te nemen om tot een definitief oordeel te komen. Deze stappen zullen ondernomen moeten worden door Raedthuys. Uit de testcase blijkt ook dat het selectiemodel niet even nauwkeurig is in het aanwijzen van geschikte locaties. Zo worden potentiële gebieden aangewezen die in de werkelijkheid al bestemd zijn

Figuur 12.1. Resultaat selectie GIS-model. voor andere functies. Uiteindelijk zal het resultaat geanalyseerd moeten worden met hulp van actuele luchtfoto's en het bestemmingsplan.

8

VERBETERPUNTEN SELECTIEMODEL

In dit hoofdstuk is beschreven waar verbeterpunten liggen ten aanzien van het ontworpen selectiemodel. Deze punten resulteren uit hoofdstuk 7 en de gehouden brainstormsessie. Hierdoor kan antwoord worden gegeven op deelvraag 4:

Welke verbeterpunten biedt de testcase ten aanzien van het ontworpen selectiemodel?

Zowel voor de werking als voor de inhoudelijke kwaliteit van het selectiemodel zijn verbeterpunten beschreven. Bij de werking van het model is beoordeeld of het model inzicht biedt in de mogelijkheden voor windenergie en op welke manier inzicht wordt geboden. Gebruiksvriendelijkheid is hier ook van belang. Het tweede aspect is de inhoudelijke kwaliteit van het selectiemodel. Voor dit aspect is geanalyseerd of het selectiemodel kwalitatief inzicht biedt in de locatiegeschiktheid voor de plaatsing van windturbines. Het gaat om de volgende verbeterpunten:

- automatische verwerking selectie windturbines;
- opstellen stappenplan GIS-model;
- berekenen specifieke werpafstanden;
- vergroten bandbreedte modeltypen windturbines;
- kwalitatieve analyse geluidhinder;
- kwalitatieve analyse externe veiligheid.

In de volgende paragraaf komen deze verbeterpunten aan bod.

8.1 Verbeterpunten selectiemodel

In deze paragraaf is beschreven waar verbeteringen liggen en hoe deze punten verbeterd kunnen worden.

Automatische verwerking selectie windturbines

Het eerste verbeterpunt is een automatische verwerking van de selectie windturbines in het Excel-model. Momenteel is handmatig een bandbreedte vastgesteld van de geselecteerde modeltypen windturbines. Voor een betere werking van het model zou deze bandbreedte geheel automatisch vastgesteld moeten worden op basis van de gemaakte selectie. Dit moet geprogrammeerd worden. Dit vergt aandacht van een expert op het gebied van Excel (pers. comm. Veerman, 2016).

Stappenplan GIS

Een ander verbeterpunt is de gebruiksvriendelijkheid van de modellen. Hoewel in het Excel-model een kort stappenplan is opgenomen (zie bijlage XIV), vergt het GIS-model meer ervaring met de gebruikte software. Hiervoor zou een uitgebreid stappenplan voor moeten worden geschreven die stap voor stap beschrijft welke data verzameld en verwerkt moet worden.

Specifieke werpafstanden

Het derde verbeterpunt is het gebruik van specifieke werpafstanden. In het huidige selectiemodel is gebruik gemaakt van de generieke werpafstanden uit het 'Handboek Risicozonering Windturbines'. Deze werpafstanden zijn op conservatie wijze berekend en kunnen verschillen met de werkelijke werpafstanden (zie tabel 5).

Afstandcontouren	Generieke afstanden 3MW klasse (meter)
Afstand tot 10 ⁻⁵ contour	52
Afstand tot 10 ⁻⁶ contour	145/176
Werpafstand nominaal toerental	176
Werpafstand 2x nominaal toerental	507
Afstandcontouren	Specifieke afstanden 3.4MW windturbine
Afstand tot 10 ⁻⁵ contour	22
Afstand tot 10 ⁻⁶ contour	134
Werpafstand nominaal toerental	139
Werpafstand 2x nominaal toerental	285

Tabel 5. Verschil generieke werpafstanden en specifieke werpafstanden (Witteveen+Bos, 2014).

In de bovenstaande tabel is het verschil te zien tussen specifieke werpafstanden en generiek werpafstanden. In de generieke werpafstanden zijn parameters zoals windsnelheidsverdelingen niet verwerkt. In het 'Handboek Risicozonering Windturbines' wordt geadviseerd om de exacte werpafstanden te berekenen. Dit wordt gedaan in speciale modellen. Witteveen+Bos heeft (ten tijde van het opstellen van dit rapport) geen beschikking tot deze modellen. Wel zijn in het handboek methodes beschreven die gebruikt kunnen worden voor het berekenen van specifieke werpafstanden. Deze methodes vergen echter de aandacht van een expert op het gebied van het berekenen van trefkansen en werpafstanden.

Bandbreedte modeltypen windturbines

Het vierde verbeterpunt is het uitbreiden van de bandbreedte aan modeltypen windturbines. Momenteel is een selectie gemaakt van 37 verschillende modeltypen onshore windturbines. Deze bandbreedte kan vergroot worden door alle modeltypen windturbines van de grootste windturbinefabrikanten mee te nemen (bijv. Nordex, Enercon, Vestas). In de loop der tijd kan deze bandbreedte aangepast worden.

Kwalitatieve analyse geluidhinder

Het huidige selectiemodel geeft een indicatie weer van de afstand tot de gestelde norm (47 dB). In het rood is de geluidbelasting hoger dan de norm, buiten de rode zone is deze lager dan de norm. Een kwalitatieve analyse kan beter inzicht bieden in de mogelijkheden voor windenergie. In het huidige selectiemodel wordt niet gebruik gemaakt van exacte geluidcontouren. Parameters zoals tussenliggende reflecterende of absorberende objecten zijn niet meegenomen in de berekeningen voor geluidhinder.

Door gebruik te maken van bijvoorbeeld 3 kleuren (rood-oranje-groen) kan een indicatie worden gegeven van de geluidzones (pers. comm. van Dorp, Veerman, 2016). In het rood, de zone waar de hoeveelheid decibel in alle gevallen boven de gestelde norm is. Hier is de plaatsing van windturbines niet mogelijk. In het oranje wordt de zone weergegeven waar de hoeveelheid decibel rond de norm (+/- 47 dB) is. Bij de plaatsing van windturbines in de oranje zone is naslagwerk nodig. Hier moet een specifieke berekening gemaakt worden om tot exacte geluidscontouren te komen. In de groene zone is de hoeveelheid decibel in alle gevallen onder de norm. Hier is de plaatsing van windturbines altijd mogelijk (pers. comm. van Dorp, Veerman, 2016).

Kwalitatieve analyse externe veiligheid

Een kwalitatieve analyse van externe veiligheid kan beter inzicht bieden in de mogelijkheden voor windenergie. In het huidige selectiemodel wordt geselecteerd op basis van de gestelde afstandeisen van risico-objecten. Dit is verwerkt in contouren die de minimale afstand ten opzichte van een risico-object weergeven. Met deze benadering wordt alleen het gebied geselecteerd waar een windturbine geplaatst kan worden. Hiermee wordt niet weergegeven waar een windturbine mogelijk geplaatst kan worden. Een manier om deze kwalitatieve analyse te waarborgen is door met drie kleuren (rood-oranje-groen) een indicatie te geven voor de mogelijkheden van externe veiligheid (pers. comm. van Dorp, Veerman, 2016). In het rood wordt de zone weergegeven waar in elk geval het risico boven de gestelde norm is. Hier kan in geen gevallen een windturbine geplaatst worden. In de oranje zone wordt het gebied weergegeven waar een trefkansberekening nodig is om het risico te bepalen. In deze zone is de plaatsing van windturbines mogelijk, mits een trefkansberekening aangeeft dat aan de gestelde norm wordt voldaan. In de groene zone wordt voldaan aan de gestelde norm (pers. comm. van Dorp, Veerman, 2016).

8.2 Deelconclusie

Uit dit hoofdstuk is gebleken dat verbeterpunten liggen in zowel de inhoudelijke kwaliteit als de werking van het selectiemodel. De winst valt voornamelijk te halen in de inhoudelijke kwaliteit. Door het toepassen van relatief kleine aanpassingen kan het selectiemodel beter inzicht bieden in de mogelijkheden voor windenergie. Het gebruiken van een kwalitatieve analyse bij de toetsing van een aantal criteria verschaft meer inzicht in de mogelijkheden voor windenergie. Hierdoor kan het selectiemodel een grotere selectie maken van geschikte locaties. Andere punten zijn gericht op het verbeteren van de werking van het model en de gebruiksvriendelijkheid. Het selectiemodel moet gebruikt kunnen worden door Witteveen+Bos. Door het opstellen van een stappenplan voor het GIS-model en het verder automatiseren van het Excel-model kan de gebruiksvriendelijkheid verbeterd worden.

9 DISCUSSIE

In dit hoofdstuk wordt gereflecteerd op de opzet en uitvoering van het onderzoek. Hier wordt een beschrijving gemaakt of de juiste methoden van onderzoek zijn gebruikt en of andere methoden wellicht tot betere resultaten hadden kunnen leiden.

Onderzoeksopzet

Dit onderzoek is gebaseerd op literatuuronderzoek en gesprekken met experts van verschillende partijen, werkende in de windenergiebranche. Door een combinatie van geraadpleegde literatuur en experts, is vanuit verschillende perspectieven gewerkt aan dit onderzoek. Deze diversiteit aan methodiek zorgt ervoor dat de resultaten betrouwbaar zijn.

Gezien de korte tijdsduur van de testfase is gekozen om het selectiemodel toe te passen op een kleinschalige testcase. Deze testfase heeft voor dit onderzoek voldoende inzicht geboden in de werking van het model. Om het selectiemodel te valideren en meer inzicht te bieden in de werking van het selectiemodel had een tweede grootschalige testcase gebruikt kunnen worden. Door dit toe te passen op een bestaand windpark kan gekeken worden naar de validiteit van het model. Hierdoor kan geanalyseerd worden of de resultaten van het selectiemodel overeenkomen met het bestaande windpark. Op basis van eventuele verschillen kunnen verbeterpunten opgesteld worden ten opzichte van het huidige selectiemodel.

Onderzoeksuitvoering

Tijdens het uitvoeren van het onderzoek is er niets fout gegaan. Wel hebben een aantal wijzigingen plaatsgevonden in de uitvoering. De intentie was eerst om de inventarisatie van verwachte windturbines te achterhalen bij projectontwikkelaars en windturbine-fabrikanten. Tijdens het onderzoek bleek dit niet meer nodig te zijn aangezien op 18 maart 2016 een actueel rapport van de 'RVO Monitor Wind op Land 2015' werd gepubliceerd. Op basis van dit rapport kon het grootste gedeelte van de windturbines geïnventariseerd worden. Daarnaast bleek dat het niet haalbaar was om de exacte verwachte modeltypen windturbines die de komende 10 jaar worden gerealiseerd te inventariseren. Dit hangt af van veel factoren. Wel kon een indicatie gegeven worden van de modeltypen windturbines.

10

CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

In dit hoofdstuk is antwoord gegeven op de hoofdonderzoeksvraag. Deze luidt:

Met welk, te ontwerpen en te testen, selectiemodel kunnen de verschillende modeltypen onshore windturbines in Nederland met elkaar vergeleken worden aan de hand van inpassingcriteria?

Op basis van de resultaten uit het onderzoek is hier antwoord op gegeven. Vervolgens zijn aanbevelingen opgesteld betreffende het selectiemodel en vervolgonderzoeken.

10.1 Conclusie

Door modeltypen onshore windturbines te vergelijken aan de hand van inpassingcriteria in een selectiemodel kan op een efficiëntere manier inzicht worden gegeven in de mogelijkheden voor windenergie. Dit onderzoek is gericht op het ontwerpen en testen van een selectiemodel. Hiervoor is eerst een inventarisatie gemaakt van de verschillende modeltypen onshore windturbines in Nederland. Daarna zijn doorslaggevende inpassingcriteria verwerkt. Deze criteria zijn bepalend voor de keuze van een geschikte locatie en modeltype windturbine. Om een selectiemodel te kunnen ontwerpen dat, enerzijds inzicht geeft in geschikte modeltypen windturbines en anderzijds geschikte locaties, is gekozen om een combinatie te maken van twee verschillende modellen. Het selectieproces voor de geschikte modeltypen windturbines is uitgewerkt in een Excel-model. Dit resulteert in een bandbreedte aan windturbines met bijbehorende inpassingcriteria zoals geluidhinder en externe veiligheid. Een aantal van deze criteria worden berekend door gebruik te maken van de modellen Windpro en Geomilieu. Het resultaat is input voor het selectieproces van de geschikte locatie(s). Dit is uitgewerkt in een GIS-model. Op basis van een praktijkvraag is het selectiemodel toegepast en getest. Deze testcase (gemeente Oldenzaal) heeft tot een aantal verbeterpunten geresulteerd.

Een belangrijk aspect om te benoemen is dat het selectiemodel geen doorrekenmodel is. Dat wil zeggen, het selectiemodel kan niet toegepast worden om definitieve opstellingsvarianten te berekenen en concrete plannen te maken voor windparken. Een groot deel van de inpassing van windturbines is maatwerk. Onderdelen zoals de impact voor radarstations kunnen niet in een selectiemodel verwerkt worden. Hier moeten onderzoeken voor uitgevoerd worden door externe partijen zoals TNO. Het selectiemodel dient toegepast te worden om inzicht te bieden in de mogelijkheden voor windenergie. Het toepassen van dit selectiemodel resulteert in geschikte locaties per modeltype windturbine. Door het gebruik van dit selectiemodel kan in een zeer korte tijd (circa 2 dagen) een duidelijk beeld opgeleverd worden waar mogelijkheden liggen voor de plaatsing van windturbines.

10.2 Aanbevelingen

Op basis van de conclusie zijn een aantal aanbevelingen opgesomd. Dit zijn aanbevelingen voor een betere invulling van het selectiemodel en vervolgonderzoeken.

Aanbevelingen voor het selectiemodel

Door op de korte termijn onderdelen van het selectiemodel aan te passen en uit te breiden kan de werking en de inhoudelijke kwaliteit van het model verbeterd worden. De grootste verbeterslag valt te behalen in de inhoudelijke kwaliteit van het model. In de loop der tijd kunnen meerdere onderdelen toegevoegd worden aan het selectiemodel. Onderdelen zoals economische haalbaarheid en visuele hinder. Voor het verbeteren van het selectiemodel wordt het volgende geadviseerd aan Witteveen+Bos:

- het verbeteren van de gebruiksvriendelijkheid door het Excel-model verder te automatiseren;
- het opstellen van een stappenplan voor het GIS-model;
- het berekenen van specifieke werpafstanden voor de toetsing van externe veiligheid;
- het uitbreiden van de bandbreedte aan modeltypen windturbines in het Excel-model;
- het gebruiken van een kwalitatieve analyse bij de toetsing van geluidhinder in het GIS-model;
- een kwalitatieve analyse gebruiken bij de toetsing van het criterium externe veiligheid in het GIS-model;
- de werking van het selectiemodel valideren door een toetsing op basis van een tweede grootschalige testcase.

Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

Op basis van dit onderzoek wordt aanbevolen om vervolgonderzoeken te laten uitvoeren. Een interessant vervolg is een onderzoek naar de mogelijkheden om windsnelheids-verdelingen te generaliseren op basis van windklassen.

Windsnelheidsverdelingen kunnen erg variëren op grotere afstanden, maar binnen een klein gebied hoeven ze maar met tienden van procenten te verschillen. Door het generaliseren van windsnelheidsverdelingen zou veel tijd bespaard kunnen worden en kan snel inzicht gegeven worden in potentiële energieopbrengsten in een gebied.

Een ander vervolgonderzoek is gericht op de financiële haalbaarheid. Dit is een belangrijk en bepalend criterium voor het bepalen van de mogelijkheden voor windenergie in een gebied. Hierbij is het interessant om de mogelijkheden te onderzoeken voor het verwerken van financiële haalbaarheid in het selectiemodel. Daarnaast moet ook onderzocht worden op welke manier dit verwerkt kan worden in het selectiemodel. Hierdoor kunnen inpassingcriteria zoals netaansluiting en fundatiemogelijkheden toegevoegd worden in het selectiemodel.

LITERATUURLIJST

Activiteitenbesluit milieubeheer. (2016). http://wetten.overheid.nl/BWBR0022762/2016-01-01#Hoofdstuk3_Afdeling3.2_Paragraaf3.2.3.

Geraadpleegd op 01-03-2016.

Activiteitenregeling milieubeheer. (2016). http://wetten.overheid.nl/BWBR0022830/2016-01-01#Hoofdstuk3_Afdeling3.2_Paragraaf3.2.3. Geraadpleegd op 02-03-2016.

AgentschapNL. (2013). *Handreiking waardering landschappelijke effecten van windenergie*. http://www.rvo.nl/sites/default/files/2013/09/Handreiking%20waardering%20Landschappelijke%20Effecten%20Windenergie_0.pdf. Geraadpleegd op 05-04-2016.

Besluit algemene regels ruimtelijke ordening. (2016).

http://wetten.overheid.nl/BWBR0030378/2015-07-01#Hoofdstuk2_Titeldeel2.6_Afdeling2.6.1_Artikel2.6.8. Geraadpleegd op 29-03-2016.

Besluit burgerluchthavens. (2015).

http://wetten.overheid.nl/BWBR0026525/2015-07-01#Hoofdstuk3_Titeldeel3_Afdeling3.2_Paragraaf3.2.4_Artikel14. Geraadpleegd op 13-04-2016.

Besluit externe veiligheid inrichtingen. (2016).

http://wetten.overheid.nl/BWBR0016767/2016-01-01#Paragraaf1_Artikel1. Geraadpleegd op 08-03-2016.

Bukala J., et al. (2015). *Investigation of parameters influencing the efficiency of small wind turbines*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 146. 29-38.

Geraadpleegd op 11-02-2016.

Centraal Bureau voor de Statistiek. (2015). *CBS: Sterke groei aandeel hernieuwbare energie*. <http://www.cbs.nl/nl-NL/menu/themas/industrie-energie/publicaties/artikelen/archief/2015/sterke-groei-aandeel-hernieuwbare-energie.htm>. Geraadpleegd op 14-03-2016.

Energieonderzoek Centrum Nederland. (2014). *Nationale energieverkenning 2014*.

http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2014-nationale-energieverkenning-2014_01364.pdf. Geraadpleegd op 10-02-2016.

Epe, M.J., Kistenkas, F.H., Winkelman, J.E. (2008). *Ecologische en natuurbeschermingsrechtelijke aspecten van windturbines op land*.

<http://edepot.wur.nl/2061>. Geraadpleegd op 08-04-2016.

Gemeente Deventer. (2012). *Ontwerp bestemmingsplan Windturbines Kloosterlanden*.

<http://api.commissiemer.nl/docs/mer/p27/p2704/2704-062ontwerpbestemmingsplan.pdf>. Geraadpleegd op 08-04-2016.

Gemeente Oldenzaal. (2015). *Toekomstvisie 2025 Duurzaam Oldenzaal*.
<http://oldenzaal.nl/download.asp?link=%27/files/8165/Toekomstvisie%20Duurzaam%20Oldenzaal%202025.pdf%27&linkID=39561>. Geraadpleegd op 14-04-2016.

Greenspread. (2012). *Locatieonderzoek windenergie*. <https://www.pijnacker-nootdorp.nl/web/file?uuid=f57014ed-3309-46b9-a673-f6d4c43854a6&owner=06df2d6e-b001-4f56-82f8-72c1ccdc169c&contentid=4365>.
Geraadpleegd op 10-03-2016.

Inspectie Leefomgeving en Transport. (2011). *Luchtvaart*.
https://www.ilent.nl/Images/Informatiebulletin%20hoogtebeperkingen%20luchthavens%20_2__tcm334-318893.pdf. Geraadpleegd 25-04-2016.

IPO. (2013). *Laatste MW's windenergie verdeeld over de provincies*.
<http://www.ipo.nl/publicaties/laatste-mws-windenergie-verdeeld-over-de-provincies/>.
Geraadpleegd op 23-03-2016.

Kenniscentrum InfoMil. (2016). *De Wro in het kort*.
<http://www.infomil.nl/onderwerpen/ruimte/wet-ruimtelijke-0/wro-kort/#Hoofdstuk3Bestemmings-eninpassingsplannen>. Geraadpleegd op 23-03-2016.

Kenniscentrum InfoMil. (z.d.). *Milieu-effectrapportage*.
<http://www.infomil.nl/onderwerpen/ruimte/mer/regelgeving/>. Geraadpleegd op 17-02-2016.

Kennisplatform Windenergie. (2015). *Kennisbericht Geluid van windturbines*.
<http://www.rivm.nl/dsresource?type=pdf&disposition=inline&objectid=rivmp:281685&versionid=&subobjectname=>. Geraadpleegd op 01-03-2016.

Koch M. (2013). *Fundaties windturbines Vlissingen*.
<http://www.cementonline.nl/Uploads/Publications/Cement/Large/CT2013-5-Fundaties-windturbines-Vlissingen.5.png>. Geraadpleegd op 05-04-2016.

Luchthavenbesluit Lelystad. (2015). <http://wetten.overheid.nl/BWBR0036490/2015-04-01>.
Geraadpleegd op 13-04-2016.

Milieu centraal. (2015). *Klimaatverandering*. <http://www.milieucentraal.nl/klimaat-en-aarde/klimaatverandering/>.
Geraadpleegd op 08-02-2016.

Milieu centraal. (z.d.). *Kolen, olie en gas*. <http://www.milieucentraal.nl/klimaat-en-aarde/energiebronnen/kolen-olie-en-gas/>.
Geraadpleegd op 08-02-2016.

Ministerie van Defensie. (z.d.). *Geluidhoeveelheid en vlieghoogten*.
<https://www.defensie.nl/onderwerpen/vliegbewegingen-en-oefeningen/inhoud/geluidhoeveelheid-en-vlieghoogten>. Geraadpleegd op 08-05-2016.

Ministerie van Economische Zaken. (2016). *Natura-2000 gebieden per provincie*.
<http://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/gebiedendatabase.aspx?subj=n2k&groep=0>.
Geraadpleegd op 03-05-2016.

Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2014). *Structuurvisie Windenergie op land*.
<https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/rapporten/2014/03/31/bijlage-1-structuurvisie-windenergie-op-land/structuurvisie-windenergie-op-land.pdf>.
Geraadpleegd op 16-03-2016.

Natuurbeschermingswet 1998. (2016). http://wetten.overheid.nl/BWBR0009641/2015-07-01#HoofdstukIII_Titeldeel2_Paragraaf1_Artikel16. Geraadpleegd op 06-04-2016.

NWEA. (2011). *Actualisatie Projectenboek Windenergie*.
<http://www.nwea.nl/sites/default/files/Actualisatie%20Projectenboek%20Windenergie,%202011.pdf>. Geraadpleegd op 15-02-2016.

Ouwehand J. et al. (2011). *Toegepaste Energietechniek*. Den Haag, Nederland: Sdu.
Geraadpleegd op 12-02-2016.

Plazilla. (2014). *H3 Onderdelen windturbine*. <http://plazilla.com/page/4295138422/titel>.
Geraadpleegd op 03-06-2016.

Petković, D., Shamshirband, S. (2015). *Soft methodology selection of wind turbine parameters to large affect wind energy conversion*. *Electrical Power and Energy Systems* 69, 98–103. Geraadpleegd op 11-02-2015.

Pondera services. (2012). *Akoestisch onderzoek windpark Kloosterlanden te Deventer*.
Geraadpleegd op 02-03-2016.

Pondera services. (2014). *Bijlage 3, rapportage akoestiek en slagschaduw*.
Geraadpleegd op 03-03-2016.

Provincie Overijssel. (2015). *Omgevingsverordening Overijssel 2009*.
http://www.overijssel.nl/loket/provinciale/omgevingsverordening_overijssel_2009#H55822_0_15_. Geraadpleegd op 14-04-2016.

Provincie Overijssel. (2015). *Omgevingsvisie Overijssel*.
http://www.overijssel.nl/publish/pages/151329/omgevingsvisie_overijssel_geconsolideerd_tot_en_met_21_oktober_2015.pdf. Geraadpleegd op 14-04-2016.

Regeling algemene regels ruimtelijke ordening. (2016).
http://wetten.overheid.nl/BWBR0031018/2014-01-22#Paragraaf2_Artikel2.4.
Geraadpleegd op 29-03-2016.

Regeling burgerluchthavens. (2016).
<http://wetten.overheid.nl/BWBR0026564/2015-07-01#Bijlage5>.
Geraadpleegd op 13-04-2016.

Regiegroep Natura 2000. (2016). *Kernboodschap Natura 2000*.
<http://www.natura2000.nl/pages/kernboodschap.aspx>. Geraadpleegd op 11-02-2016.

Regiegroep Natura 2000. (2016). *Naslagwerk Natura 2000*.
http://www.natura2000.nl/pages/naslagwerk_2_5_3.aspx. Geraadpleegd op 11-02-2016.

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (2014). *Handboek Risicozonering Windturbines*.
<http://www.rvo.nl/sites/default/files/2014/09/Handboek%20Risicozonering%20Windturbines%20versie%20september%202014.pdf>.
Geraadpleegd op 10-02-2016.

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (2014). *Provinciaal beleid windenergie*.
<http://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/duurzame-energie-opwekken/windenergie-op-land/beleid/provinciaal-beleid>. Geraadpleegd op 22-03-2016.

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (2015). *Flora- en faunawet (FFW)*.
<http://www.rvo.nl/onderwerpen/agrarisch-ondernemen/beschermde-planten-dieren-en-natuur/flora-en-faunawet-ffw>. Geraadpleegd op 10-02-2016.

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (2015). *Geluid*.
<http://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/duurzame-energie-opwekken/windenergie-op-land/milieu-en-omgeving/geluid>. Geraadpleegd op 10-02-2016.

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (2015). *Landschappelijke beleving windenergie*.
<http://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/duurzame-energie-opwekken/windenergie-op-land/ruimtelijke-ontwikkeling/landschappelijke-beleving>
Geraadpleegd op 12-02-2016.

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (2015). *SDE+ 2015*.
<http://www.rvo.nl/sites/default/files/2015/02/Digitale%20Brochure%20SDE%2B%202015%20kleur.pdf>. Geraadpleegd op 10-02-2016.

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (2015). *Slagschaduw*.
<http://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/duurzame-energie-opwekken/windenergie-op-land/milieu-en-omgeving/slagschaduw>.
Geraadpleegd op 12-02-2016.

Rijksdienst voor ondernemend Nederland. (2016). *RVO Monitor Wind op Land 2015*.
<https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/rapporten/2016/03/18/monitor-wind-op-land-2015/monitor-wind-op-land-2015.pdf>. Geraadpleegd op 04-04-2016.

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (z.d.). *Stap 1: Voorverkenning (quick scan)*.
<http://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/duurzame-energie-opwekken/windenergie-op-land/ruimtelijke-ontwikkeling/stappenplan-windproject/stap-1-voorverkenning-quick-scan>. Geraadpleegd op 14-03-2016.

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (z.d.). *Vliegveiligheid*.
<http://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/duurzame-energie-opwekken/windenergie-op-land/milieu-en-omgeving/vliegveiligheid>. Geraadpleegd op 23-03-2016.

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (z.d.). *Wabo- Omgevingsvergunning*.
<http://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/duurzame-energie-opwekken/windenergie-op-land/wetten-en-regels/wabo-omgevingsvergunning>. Geraadpleegd op 23-03-2016.

Rijksoverheid. (2010). *Reken- en meetvoorschrift windturbines*.
<https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/rapporten/2010/02/02/reken-en-meetvoorschrift/reken-en-meetvoorschrift.pdf>. Geraadpleegd op 10-03-2016.

Rijksoverheid. (2015). *Stimulering Duurzame Energieproductie (SDE)*.
<http://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/stimulering-duurzame-energieproductie-sde>. Geraadpleegd op 10-02-2016.

Rijksoverheid. (2015). *Windenergie*.
<https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/duurzame-energie/inhoud/windenergie>. Geraadpleegd op 08-02-2016.

Rijksoverheid. (z.d.). *Natuurnetwerk Nederland*.
<https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/natuur-en-biodiversiteit/inhoud/natuurnetwerk-nederland>. Geraadpleegd op 13-04-2016.

Rijkswaterstaat. (z.d.). *Doelstellingen natura 2000*.
<http://www.infomil.nl/onderwerpen/klimaat-lucht/handboek-water/thema's/waterkwaliteit-0/doelstellingen/>. Geraadpleegd op 03-05-2016.

SER. (2013). *Energieakkoord voor duurzame groei*.
http://www.ser.nl/~media/files/internet/publicaties/overige/2010_2019/2013/energieakkoord-duurzame-groei/energieakkoord-duurzame-groei.ashx. Geraadpleegd op 10-02-2016.

Stibbe. (2015). *Op weg naar de Omgevingswet*.
http://www.estibbe.com/pgo/documenten/Bundel_Omgevingswet.pdf#page=10. Geraadpleegd op 23-03-2016.

van der Heijden, I.M. *Windturbines op het land*.
http://www.feltz.nl/uploads/publicaties/http_www_legalintelligence_com_frontend_doc_pdf_docid8265771hl0hf1_xmlhttp_www_legalintelligence_com_frontend_pdfhighlight.pdf. Geraadpleegd op 14-03-2016.

Vogelaar, B. (2014). *Notitie slagschaduw berekenmethode*.
<http://ponderaconsult.com/ponderaconsult/wp-content/uploads/2015/08/Notitie-Slagschaduw-berekenmethoden.pdf>. Geraadpleegd op 03-03-2016.

Vogelaar, B. (2015). *Slagschaduw: 'simpel' probleem, maar lastig te berekenen*.
<http://ponderaconsult.com/slagschaduw-simpel-probleem-maar-lastig-te-berekenen/>.
Geraadpleegd op 03-03-2016.

Witteveen+Bos. (2014). *Bijlage IV Externe veiligheid en risicozonering Windpark Slufterdam*. http://api.commissiemer.nl/docs/mer/p28/p2892/2892-004b_externeveiligheid.pdf. Geraadpleegd op 01-04-2016.

Witteveen+Bos. (2015). *Notitie Reikwijdte en Detailniveau Bestemmingsplan Oosterhorn*.
<http://www.delfzijl.nl/document.php?m=45&fileid=32276&f=33d38f580d62f3d4be9ad48d94ddcbdc&attachment=0&c=67703>. Geraadpleegd op 10-03-2016.

Witteveen+Bos. (2015). *Windenergie*. <http://www.witteveenbos.nl/nl/windenergie>.
Geraadpleegd op 08-02-2016.