



Vrije Universiteit Brussel

UNIVERSITÉ LIBRE DE BRUXELLES

ULB



Eindrapport

BIM E11-359

Identificatie sites, opzetten windmetingscampagnes en uitvoering van haalbaarheidsstudies in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest

Mark RUNACRES (*projectcoördinator*)

Vrije Universiteit Brussel, 2014

Inleiding

Het Brussels Hoofdstedelijk Gewest (BHG) heeft van rationeel energiegebruik een belangrijke doelstelling gemaakt in het regeerakkoord, en geeft hierbij een centrale plaats aan duurzaam bouwen. In dit kader stelt zich de vraag of windenergie een plaats heeft in het BHG. Daarom werd door Leefmilieu Brussel een bestek uitgeschreven om een windmetingscampagne te realiseren in het Gewest en om hieraan verbonden haalbaarheidsstudies uit te voeren naar de plaatsing van kleinschalige windturbines op het grondgebied van het Gewest. Windenergie kan in principe immers een rol spelen in de duurzame elektriciteitsvoorziening voor Brusselse bedrijven en particulieren, maar de installatie van windturbines in een stedelijke omgeving gaat gepaard met specifieke uitdagingen. De windomstandigheden in het BHG zijn complex en niet goed gekend. Bovendien is de markt van de kleinschalige windturbines, die voor stedelijke toepassing het meest in aanmerking komen, een jonge markt met weinig turbines waarvan de kwaliteit en rendabiliteit onafhankelijk zijn vastgesteld. Dit alles maakt dat de economische en technische haalbaarheid van windenergie in het BHG niet gegarandeerd is. De onderhavige studie tracht de haalbaarheid op een systematische manier te onderzoeken en een antwoord te bieden op de vraag of kleine en middelgrote windturbines in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest voor particulieren en KMOs een zinvolle investering kunnen zijn.

De studie werd uitgevoerd door de Vrije Universiteit Brussel, door 3E en door de Université Libre de Bruxelles. De studie werd gecoördineerd door prof. Mark Runacres (VUB). Het onderhavige syntheserapport beschrijft de methodologie die in de studie werd gehanteerd en vat de belangrijkste resultaten en conclusies samen.

In het project werden windmetingscampagnes uitgevoerd op vier sites in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest. Voor deze sites is geschat wat de opbrengst zou zijn voor verschillende soorten kleinschalige windturbines, met nominale vermogens tussen de 1 en de 100 kilowatt. Voor twee van deze sites wordt de haalbaarheid onderzocht van het effectief plaatsen van een windturbine.

Methodologie

De studie omvatte de volgende luiken:

- Identificatie van 10 sites die in aanmerking komen voor het opzetten van een meetcampagne
- Windmetingen op 4 sites in het BHG
- Selectie van geschikte windturbines
- Voorspellingen van de windomstandigheden op lange termijn

- Haalbaarheidsstudie met inbegrip van de technische en economische haalbaarheid, en aspecten van veiligheid, geluid, slagschaduw, luchtverkeer en verwacht effect op de biodiversiteit.

De gehanteerde methodologie voor elk van deze luiken wordt hieronder kort uiteengezet.

Identificatie sites voor meetcampagne

Deze identificatie werd uitgevoerd vertrekkend van een lijst van 100 mogelijke sites, opgesteld door de opdrachtgever. De volgende criteria werden gehanteerd voor de selectie: topografische data, ligging van de site (het doel was om een beeld te krijgen van het windpotentieel over het BHG), hoogte van het gebouw waarop de meetapparatuur zou worden geïnstalleerd (indien de installatie op het dak van een gebouw zou gebeuren) en praktische toegankelijkheid van de meetsite. Om de diversiteit van de meetsites te garanderen werd er voor geopteerd om één locatie te kiezen waarbij de metingen zouden gebeuren op de typische ashoogte van een kleine windturbine op grondniveau, een locatie die in aanmerking zou kunnen komen voor een middelgrote windturbine en twee meet-sites bovenop gebouwen van verschillende hoogte in verschillende delen van het BHG. De bereikbaarheid van de site en de technische haalbaarheid van het plaatsen van een meetmast hebben een belangrijke rol gespeeld bij het selecteren van de sites.

Windmetingen

De windmetingen gebeurden volgens de IEC 61400 norm. De windsnelheid en -richting zijn gemeten met een frequentie van 1 Hz, met respectievelijk een cup-anemometer en een windvaan. Per interval van 10 minuten, worden de gemiddelde windsnelheid en de standaarddeviatie geregistreerd samen met de windrichting. De luchtdichtheid wordt bepaald aan de hand van metingen van de luchtdruk en temperatuur. Data werden wekelijks getransfereerd via een GPRS-module.

Selectie van windturbines

Vertrekkend van een database opgesteld door de projectcoördinator werden 17 windturbines met gecertificeerde vermogenscurves vergeleken naar kostprijs en verwachte jaaropbrengst. Dit gebeurde door de jaaropbrengst te schatten voor 33 sites in België. Op basis van deze geschatte opbrengsten werd een rangschikking gemaakt. Dan werden drie turbines gekozen, met verschillende eigenschappen:

- één kleine verticale as windturbine (VAWT), met een nominaal vermogen van 1 kW
- één kleine horizontale as windturbine met de laagste kost per opgewekte energie (nominaal vermogen 7.5 kW)
- één kleine horizontale as windturbine met een degelijke kost per opgewekte energie maar kleinere afmetingen om een potentiële installatie in de bebouwde omgeving (nominaal vermogen 3.5 kW) te vereenvoudigen.

Op vraag van 3E werden er, met het akkoord van de opdrachtgever, twee bijkomende turbines opgenomen in de selectie. Het gaat om twee middelgrote windturbines (beide met een nominaal vermogen van 100 kW) van het bedrijf Xant, waarin 3E partner is.

Voorspellingen windomstandigheden op lange termijn

Om de gemeten windomstandigheden op de 4 meetsites om te zetten naar windomstandigheden op lange termijn werd gebruik gemaakt van de measure-correlate-predict (MCP) methode (Rogers et al., 2005). Hierbij werden 4 verschillende MERRA (Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications) lange termijn datasets van nabijgelegen sites gebruikt. Voor één site was de correlatie met de referentie onvoldoende om de standaard regressie MCP-methode toe te kunnen passen en zijn de windomstandigheden op lange termijn voorspeld met de wind index MCP-methode (Thøgersen et al., 2007).

Haalbaarheidsstudie

De economische haalbaarheid van de 5 geselecteerde windturbines wordt beoordeeld voor 4 sites in Brussel en gebeurt aan de hand van volgende gegevens:

- de samenstelling van correcte marktgegevens voor de investerings- en installatiekosten;
- de inventarisatie van financiële steun voor de investering;
- de inventarisatie van beschikbare financiële steun voor de energieproductie: groenestroomcertificaten, vergoeding van geleverde (grijze) stroom (MWh);
- de operationele parameters: verwachte opbrengst, onderhoudskosten, vervangingskosten

De analyse werd uitgevoerd voor zowel een KMO als een particuliere eigenaar, waarbij telkens rekening werd gehouden met een gemiddeld verbruik en een representatieve elektriciteitskost. Er werd verondersteld dat de energie geproduceerd door de turbines in eerste instantie verbruikt zal worden door de eigenaar. De eigenaar spaart hierdoor de kost van de elektriciteit uit. Indien er bijkomende elektriciteit wordt geproduceerd die niet door de eigenaar verbruikt zal worden, dan wordt deze op het net geplaatst en verkocht aan de gangbare verkoopprijs. Op basis van de geïnventariseerde randvoorwaarden worden dan de terugverdientijd, NPV (net present value), IRR (internal rate of return) op 20 jaar berekend en geëvalueerd.

Voor twee sites wordt de haalbaarheid van het plaatsen van een windturbine verder onderzocht. Hierbij zijn aspecten zoals de veiligheid en de aansluiting op het elektriciteitsnet belicht. De haalbaarheidsstudie bevat ook een bespreking van de te verwachten geluids- en slagschaduwoverlast van een kleinschalige windturbine op de voorgestelde locatie en een bespreking van het mogelijke effect op de biodiversiteit en het vliegverkeer.

Resultaten

Voor de windmetingscampagne werden op basis van de bovenstaande criteria de volgende sites gekozen: The Hotel, de bedrijfsite van Elia, ULB Campus Solbosch, een site nabij de hoofdzetel van de Haven van Brussel (Redersplein). De ligging van de sites wordt weergegeven in figuur 1.

De hoogtes waarop de windsnelheid werd gemeten zijn:

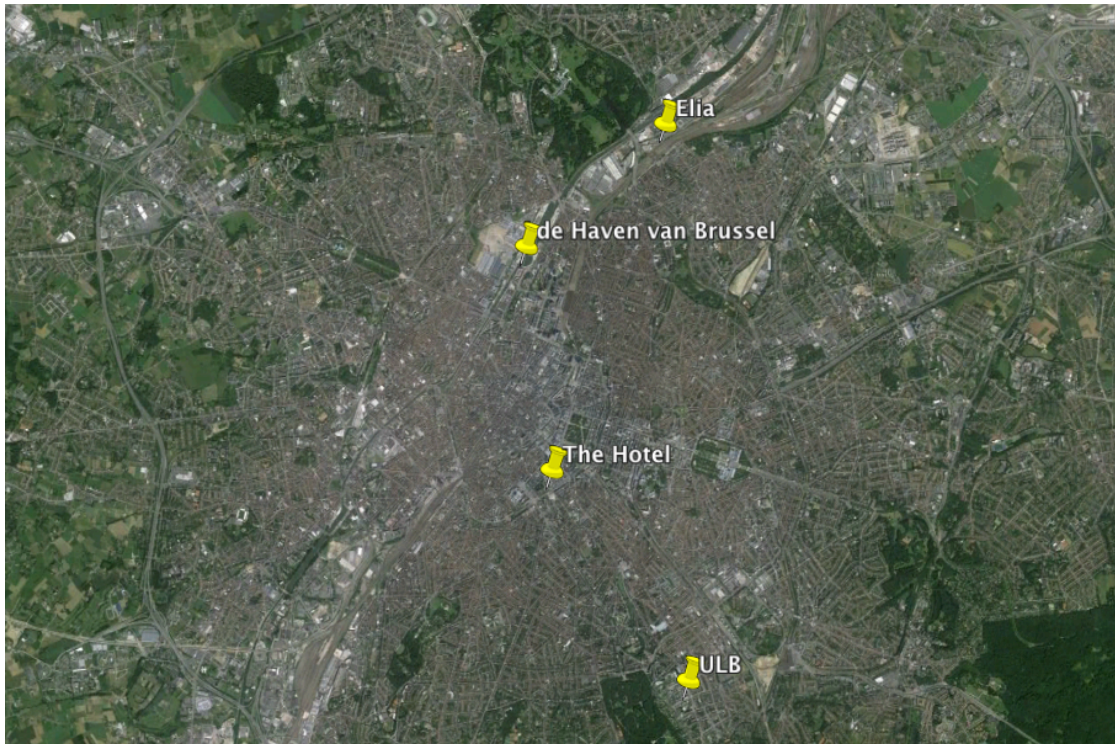
- 7 m gemeten vanaf het dak van het gebouw van 96 m voor The Hotel,

- 59 m, 43 m en 24 m gemeten vanaf grondniveau voor de Elia-site,
- 9 m gemeten vanaf het dak van het gebouw van 32 m voor de ULB-site en
- 12 m en 10 m gemeten vanaf grondniveau voor de site nabij de Haven van Brussel.

De totale duur van de metingen varieert van 13 maanden voor The Hotel tot 7 maanden voor de Elia-site. De metingen van de gemiddelde windsnelheid werden vergeleken met vier verschillende MERRA lange termijn datasets. Dit laat toe om voor elk van de meetsites de verwachte gemiddelde windsnelheid op lange termijn te schatten. Deze windsnelheden zijn voor respectievelijk The Hotel, de Elia-site, de ULB-site en de site nabij de Haven van Brussel gelijk aan 5.6 m/s, 4.4 m/s, 4.0 m/s en 3.8 m/s.

Voor elk van de sites werd de jaarlijkse energie-opbrengst geschat voor een aantal turbines met een gecertificeerde vermogenscurve. De gebruikte turbines hebben vermogens die gaan van ongeveer 1 tot 100 kilowatt. De energie-opbrengsten van de verschillende turbines op de verschillende sites werden vergeleken met de kosten, rekening houdend met de financiële steunmaatregelen, zowel bij investering als voor de energieproductie. De lagere elektriciteitsprijzen voor grote afnemers maken dat kleinschalige windturbines minder interessant zijn voor grote bedrijven. We hebben de economische analyse dan ook beperkt tot KMOs en particulieren.

De meetsite boven op The Hotel biedt van de vier sites de beste windomstandigheden. Zeker voor KMOs is het verwachte rendement van een kleine windturbine goed. Indien de plaatsing van de turbine zonder kraan mogelijk is dan bedraagt de dynamische terugverdientijd voor een KMO 7 jaar voor de betere twee turbines uit de selectie. Het intern rendement bedraagt in dat geval voor de beste turbine meer dan 17.6 %. Dit betekent



Figuur 1: Ligging van de vier meetsites in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest

dat een kleine windturbine voor een KMO op deze site zeker een zinvolle investering kan zijn, zelfs zonder overheidssteun. Voor een particulier is dit minder het geval (terugverdientijd van 11 jaar en intern rendement van 5.6% in de beste gevallen) maar zelfs een bescheiden verbetering van de randvoorwaarden zoals kostprijs of steunmaatregelen zou een turbine op deze site ook voor particulieren rendabel maken.

Voor de Elia-site liggen de terugverdientijden voor een windturbine met een ashoogte van 24 meter boven grondniveau (laagste meethoogte) voor alle turbines boven de 20 jaar. Dit betekent dat het noch voor KMOs noch voor particulieren zinvol is om te investeren in een kleine windturbine op deze locatie en op deze ashoogte. De windomstandigheden op grotere hoogte zijn beduidend beter en het investeren in een middelgrote windturbine op deze site zou eventueel een zinvolle investering kunnen zijn. De Xant-23 heeft met een ashoogte van ca. 40 m (gemiddelde windsnelheid 4.0 m/s) een statische terugverdientijd van 11 jaar en een dynamische terugverdientijd van 18 jaar.

Voor de ULB-site heeft geen enkele windturbine een dynamische terugverdientijd onder de 20 jaar. Voor deze site kan een investering niet worden aangeraden, hoewel een daling van de kostprijs van de turbine of een verbetering van de steunmaatregel dit negatief advies zou kunnen bijsturen.

Ook voor de site nabij de Haven van Brussel kan bij de huidige marktprijzen en steunmaatregelen het plaatsen van een kleine windturbine niet worden aangeraden. Voor een KMO met een gebruik groter dan 50 000kWh/jaar zou het plaatsen van een middelgrote windturbine een optie kunnen zijn. Reeds voor de windomstandigheden gemeten op 12 meter hoogte is de dynamische terugverdientijd 16 jaar voor de Xant-23. Op een typische ashoogte van 40 m, waar de windomstandigheden ongetwijfeld beter zijn, zal de terugverdientijd lager liggen. Het is met de windmetingen uit de onderhavige studie niet mogelijk om hier een scherpere kwantitatieve uitspraak over te doen.

Voor de aansluiting op het netwerk is een rechtstreekse aansluiting op het distributienet de meest kostenefficiënte oplossing, zonder noemenswaardige te verwachten problemen. Een vorm van afstandsbediening voor monitoring en controle verdient hierbij aanbeveling. De veroorzaakte geluidshinder voor de bestudeerde sites is verwaarloosbaar, hoewel voor een op een dak gemonteerde turbine het effect van trillingen en eventuele geluidsafstraling binnen in het gebouw verder zou moeten worden onderzocht alvorens tot een effectieve plaatsing over te gaan. Dit valt buiten het bestek van deze studie. De effecten op biodiversiteit zijn voor een plaatsing buiten de Natura 2000 zone zeer klein (de rol van het kanaal als eventuele migratieroute van vleermuizen en vogels dient verder te worden onderzocht). Voor geen van de bestudeerde sites zijn er problemen met vliegverkeer, veiligheid of slagschaduw, mits de in Europa gangbare normen voor plaatsing worden gehanteerd.

Conclusies

Van de vier bestudeerde sites biedt enkel The Hotel een site waarvoor het plaatsen van een kleine windturbine rendabel is onder de huidige omstandigheden. Hoewel we in de studie drie welbepaalde windturbines hebben gebruikt, zijn de resultaten representatief voor de betere moderne kleine windturbines. De windsnelheid is niet overal op het dak dezelfde, en de plaatsing op het dak moet dus zorgvuldig gebeuren. Er zijn voor deze sites geen fundamentele beperkingen op het vlak van technische haalbaarheid, noch op het vlak van geluidsoverlast, vliegroutes of biodiversiteit. In een eerdere studie voor Leefmilieu Brussel werden voor de Manhattantoren in de Noordwijk vergelijkbare goede windomstandigheden gemeten. Dit bevestigt dat op hoge gebouwen, die in Brussel

meer dan voldoende aanwezig zijn, het windpotentieel ronduit goed is (vergelijkbaar met kustgebieden in België). De onderhavige studie toont aan dat op hoge gebouwen een investering in een of meerdere kleine windturbines economisch rendabel is. Het verdient dan ook aanbeveling om op dergelijke gebouwen pilootstudies te realiseren.

Voor de andere sites zijn de windomstandigheden onvoldoende om onder de huidige financiële randvoorwaarden het plaatsen van een kleine windturbine aan te bevelen. Het is niet uitgesloten dat deze conclusie verandert indien de randvoorwaarden zouden verbeteren. Het plaatsen van een middelgrote windturbine kan voor sommige sites zoals de Elia-site en de Haven van Brussel eventueel een zinvolle investering zijn, hoewel het verwachte rendement onder de huidige randvoorwaarden eerder laag is.

Voor de vier onderzochte sites zijn het de windomstandigheden en financiële randvoorwaarden die de haalbaarheid van een kleine windturbine bepalen en veel minder de andere randvoorwaarden zoals netaansluiting, overlast door geluid en slagschaduw of het effect op biodiversiteit. Er wordt verwacht dat dit voor de meeste kandidaat-sites in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest het geval zal zijn. Uiteraard zullen er uitzonderingen zijn en is een zorgvuldige haalbaarheidsanalyse voor iedere site noodzakelijk. De onderhavige studie kan gebruikt worden als leidraad voor de hierbij te hanteren methodologie.

Introduction

La Région de Bruxelles-Capitale (RBC) a fait de l'utilisation rationnelle de l'énergie un objectif essentiel dans son accord de gouvernement et a accordé une position centrale à la construction durable. Dans ce cadre se pose la question si l'énergie éolienne pourrait avoir sa place dans la RBC. Pour répondre à cette question, l'IBGE a établi un cahier de charges concernant la réalisation de mesures du vent ainsi que l'exécution d'études de faisabilité d'implantation de petites éoliennes dans la Région. En effet, l'éolien peut en principe aider à fournir de l'électricité propre aux entreprises et aux particuliers bruxellois, mais l'installation des éoliennes en milieu urbain pose des défis spécifiques. Le comportement du vent à Bruxelles est complexe et peu connu. En outre, le marché du petit éolien – qui se prête mieux à une application urbaine – est un marché nouveau, où la fiabilité et la rentabilité des éoliennes sont rarement établies par un organisme indépendant. Ces éléments font que la faisabilité économique et technique de l'énergie éolienne à Bruxelles n'est pas certaine. La présente étude entend examiner d'une façon systématique cette faisabilité pour ainsi répondre à la question si l'installation d'une éolienne de petite taille ou de taille moyenne peut être un investissement rentable pour les entreprises et particuliers en RBC.

L'étude a été réalisée par la Vrije Universiteit Brussel, 3E et l'Université Libre de Bruxelles et a été coordonnée par le professeur Mark Runacres (VUB). Le présent rapport de synthèse décrit la méthodologie et résume les résultats et les conclusions les plus importants.

Dans le cadre du projet, quatre campagnes de mesure ont été réalisées sur le territoire de la Région Bruxelles-Capitale. Pour ces sites, la production annuelle d'électricité a été estimée pour différents types d'éoliennes, avec des puissances nominales variant de 1 à 100 kilowatts. Pour deux de ces sites la faisabilité de l'installation d'une éolienne petite ou moyenne a été étudiée.

Méthodologie

L'étude comprend les volets suivants :

- l'Identification de 10 sites qui se prêtent à l'exécution d'une campagne de mesure
- La réalisation d'une campagne de mesure sur quatre de ces sites
- La sélection des éoliennes adéquates
- La prévision du gisement éolien à long terme pour les quatres

- Deux études de faisabilité, tenant compte de la faisabilité technique et économique, ainsi que des aspects de sécurité, nuisance sonore, ombre portée, trafic aérien et les conséquences prévues pour la biodiversité.

Pour chacun des ces volets nous donnons ci-dessous un bref aperçu de la méthodologie utilisée.

Identification des sites pour la campagne de mesure

Cette identification a été faite à partir d'une liste de cent sites possibles, liste établie par le donneur d'ordre. Les critères qui ont été utilisés pour la sélection sont : la situation topographique, l'emplacement du site (le but étant d'obtenir une idée du potentiel éolien sur l'ensemble du territoire), la hauteur du bâtiment sur lequel les instruments de mesure seraient installés et l'accès pratique du site. Pour garantir la diversité des sites de mesures, la sélection comprend un site où les mesures se feraient à la hauteur typique d'une petite éolienne installée à même le sol, un site qui pourrait se prêter à l'installation d'une éolienne de taille moyenne et deux sites de mesure sur les toits de deux bâtiments de hauteurs différentes situées dans différentes parties de la RBC. L'accès au site et la faisabilité pratique de l'installation d'un mât de mesure étaient des facteurs déterminants dans la sélection des sites.

Mesure du vent

Les mesures du vent ont été exécutées conformément aux normes IEC 61400. La vitesse ainsi que la direction du vent sont mesurées avec une fréquence de 1 Hz, respectivement avec un anémomètre et une girouette. Toutes les dix minutes, la vitesse moyenne du vent et l'écart type sont enregistrés ainsi que la direction du vent. La densité de l'air est déterminée à base de la pression atmosphérique et la température de l'air. Les données ont été transférées chaque semaine avec un module GPRS.

Sélection des éoliennes

À partir d'une base de données établie par le coordinateur du projet, 17 éoliennes avec des courbes de puissance certifiées ont été comparées à base de leur prix d'achat et leur production annuelle estimée. Pour ce faire, leur production annuelle a été estimée pour 33 sites en Belgique. Les 17 éoliennes ont été classées selon leur production annuelle estimée sur les 33 sites. Finalement, trois éoliennes ont été retenues, avec les caractéristiques suivantes :

- une éolienne à axe verticale avec une puissance nominale d'un 1 kW
- une éolienne à axe horizontale qui donne le prix de l'électricité le plus bas (avec une puissance nominale de 7.5 kW)
- une éolienne qui donne un bon prix de l'électricité, mais qui est de taille réduite permettant l'installation sur toit (avec une puissance nominale de 3.5 kW)

À la demande de 3E et avec l'accord du donneur d'ordre, deux éoliennes supplémentaires ont été incluses dans la sélection. Il s'agit de deux éoliennes avec une puissance nominale de 100 kW, venant de l'entreprise Xant, dans laquelle 3E est un des partenaires.

Prédictions des conditions de vent à long terme

La méthode MCP (*measure-correlate-predict*) a été utilisée pour transformer les vitesses mesurées en un gisement éolien à long terme. Pour cela, 4 séries de données MERRA ont été utilisées (Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications) pour des sites proches des sites de mesure. Pour un site, la corrélation ne permettait pas d'appliquer la régression MCP standard et la méthode wind index MCP (Thøgersen et al., 2007) a été utilisée.

Étude de faisabilité

La faisabilité économique des 5 éoliennes sélectionnées a été déterminée pour 4 sites en RBC et cela à base des données suivantes :

- les données correctes du marché concernant les coûts de l'investissement et les frais d'installation
- l'inventaire de l'appui financier à l'investissement
- l'inventaire des mesures d'appui pour la production de l'énergie : certificats verts, remboursement du courant (gris) produit (MWh)
- les paramètres opérationnels : production estimée, évolution de la production pendant la durée de vie de l'installation, frais d'entretien en de remplacement

L'analyse économique a été effectuée pour les PME ainsi que pour les particuliers, en tenant compte dans les deux cas de la consommation moyenne et un prix représentatif de l'électricité. On est parti du principe que l'électricité produite sera tout d'abord consommée par le propriétaire de l'installation. Le propriétaire évite ainsi les frais d'électricité. Dans le cas d'une production supplémentaire d'électricité non consommée par le propriétaire, celle-ci sera remise au réseau au prix courant. À base des conditions actuelles, le temps de retour sur investissement, la valeur présente nette et le taux de retour interne sont calculés et évalués.

Pour deux sites, la faisabilité de l'implantation d'une éolienne a été évaluée plus en détail. Cette évaluation tient compte de différents aspects comme la sécurité et la connexion au réseau électrique. L'étude de faisabilité comprend également une évaluation des nuisances sonores et l'ombre portée, ainsi qu'une évaluation des effets à attendre sur la biodiversité et le trafic aérien.

Résultats

Pour la campagne de mesure du vent, quatre sites ont été retenus sur base des critères mentionnés ci-dessus : The Hotel, un site d'Elia, le Campus Solbosch de l'ULB et un site près du Port de Bruxelles (place des Armateurs). La localisation des sites est indiquée sur la figure 2.

Les hauteurs sur lesquelles la vitesse du vent a été mesurée sont

- 7 m au dessus du toit pour The Hotel (bâtiment de 96 m)
- 59 m, 43 m en 24 m au dessus du sol pour le site Elia
- 9 m au-dessus du toit pour le site ULB (bâtiment de 32 m)

- 12 m et 10 m au dessus du sol pour le site près du Port de Bruxelles.

La durée totale des mesures varie de 13 mois pour The Hotel à 7 mois pour le site Elia. Les mesures de la vitesse du vent ont été comparées avec quatre séries de données MERRA long terme. Cela permet d'estimer la vitesse du vent à long terme pour chacun des sites. Ces vitesses sont 5.6 m/s pour The Hotel, 4.4 m/s pour le site Elia, 4.0 m/s pour le site ULB et 3.8 m/s pour le site près du Port de Bruxelles.

Pour chacun des sites la production annuelle d'énergie a été estimée pour un nombre d'éoliennes avec une courbe de puissance certifiée. La production des différentes éoliennes sur les différents sites a été comparée avec les coûts, en tenant compte des mesures d'appui à l'achat ainsi que pour la production d'électricité. Les tarifs de l'électricité pour les grandes entreprises sont plus favorables, ce qui fait que les petites éoliennes présentent moins d'intérêt pour les grandes entreprises. Pour cette raison, l'analyse économique est limitée aux PME et aux particuliers.

Des quatre sites étudiés, The Hotel offre les meilleures conditions de vent. Surtout pour les PME, le rendement attendu est bon. Si l'installation sans grue est possible, le temps dynamique de retour à l'investissement est de 7 ans pour les deux meilleures éoliennes de la sélection. Le taux de rendement interne est plus que 17.6 %. Cela veut dire qu'une petite éolienne à ce site est un bon investissement. Pour un particulier, la rentabilité est moindre (temps de retour à l'investissement de 11 ans et taux de rendement interne de 5.6 % pour les meilleures éoliennes). Pourtant, une légère baisse des prix d'une éolienne où une augmentation des mesures d'appui pourraient rendre l'investissement intéressant même pour les particuliers.

Pour le site Elia les temps de retour à l'investissement pour une éolienne à 24 m au dessus du sol (hauteur de mesure la plus basse) sont supérieurs à vingt ans. Cela veut

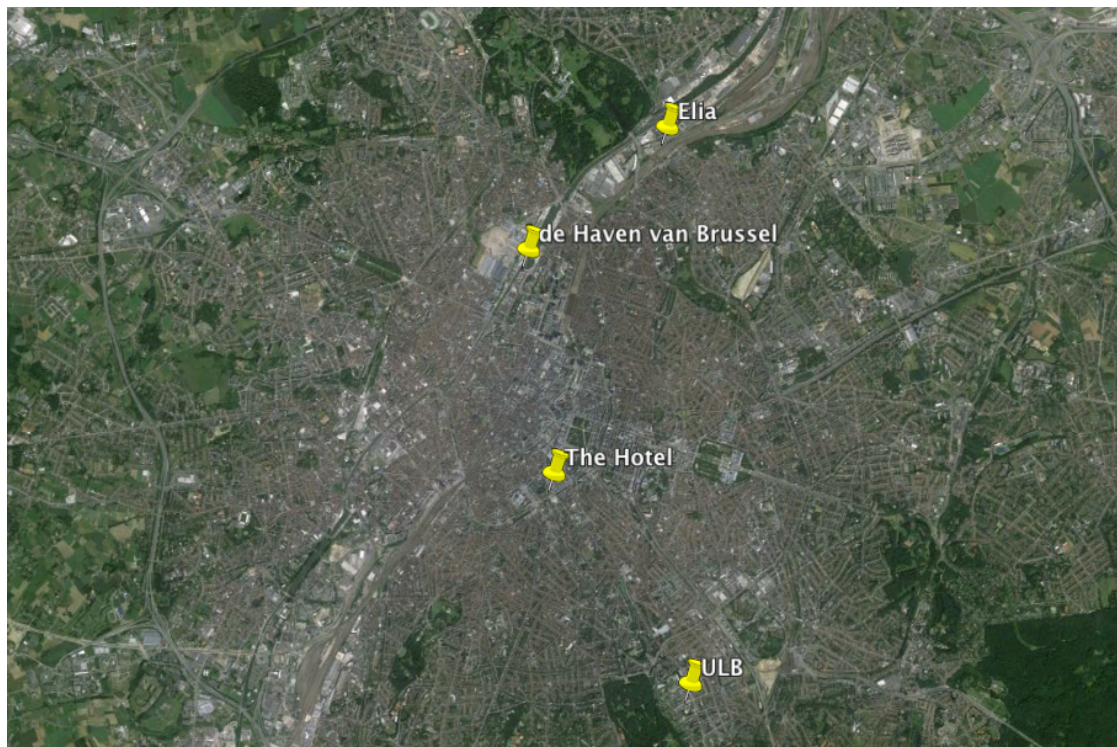


FIGURE 2: Localisation des quatre sites de mesure dans la Région Bruxelles Capitale

dire qu'il n'est pas recommandable d'investir dans une petite éolienne à cet endroit et à cette hauteur, ni pour les particuliers, ni pour les PME. La vitesse du vent est nettement meilleure à des hauteurs plus élevées où une éolienne de taille moyenne peut être un bon investissement. Avec une hauteur d'axe d'environ 40 m (vitesse moyenne de 4.0 m/s) le temps statique de retour à l'investissement est de 11 ans pour l'éolienne Xant-23. Le temps dynamique de retour à l'investissement est de 18 ans.

Pour le site ULB aucun temps dynamique de retour à l'investissement est inférieur à 20 ans. Le placement d'une petite éolienne n'est pas un bon investissement à cet endroit, quoiqu'une baisse de prix du petit éolien ou une amélioration des mesures de support pourraient changer cet avis négatif.

Aussi pour le site près du Port de Bruxelles le placement d'une petite éolienne ne peut être recommandé avec les prix du marché et les mesures de support actuels. Pour une PME avec une consommation annuelle de plus de 50 000 kWh/an une éolienne de taille moyenne pourrait être un bon investissement. Pour les conditions de vent mesurées à une hauteur de 12 m, le temps dynamique de retour à l'investissement est de 16 ans. Pour une hauteur d'axe typique de 40 m, où les conditions seront sans doute meilleures, le temps de retour sera moindre. Les mesures de la présente étude ne permettent pas de prévisions plus précises.

En ce qui concerne la connexion au réseau, le raccordement direct au réseau de distribution est la solution la moins onéreuse et la plus efficace ce qui ne devrait pas poser de problème pratique, et cela pour les différents sites étudiés. Une forme de télécommande est à envisager pour le contrôle et la surveillance. La nuisance sonore occasionnée par une petite éolienne est négligeable pour les sites étudiés, quoique l'effet des vibrations et le son qu'elle pourrait entraîner mérite d'être étudié. Cet effet n'est pas inclus dans la présente étude. Les effets sur la biodiversité sont négligeables pour un placement hors des zones Natura 2000. On notera que pour aucun des sites, des problèmes au niveau de sécurité, d'homme ou au niveau du trafic aérien ne sont à attendre à condition que les normes Européennes de placement soient respectées.

Conclusions

Des quatre sites étudiés, seul The Hotel offre un endroit propice à l'emplacement d'une petite éolienne rentable tenu compte des conditions actuelles. Bien que la présente étude a utilisé des éoliennes spécifique pour les prévisions de la rentabilité, les résultats sont représentatifs pour les meilleures petites éoliennes modernes. Les conditions du vent varient selon la position sur le toit, et l'endroit où l'éolienne sera installée doit donc être choisi soigneusement. Le site The Hotel ne présente pas d'inconvénients fondamentaux au niveau de la faisabilité technique, ni au niveau de la nuisance sonore, ni au niveau du trafic aérien. Aucun effet nuisible important sur la biodiversité n'est à prévoir. Dans une étude antérieure de la tour Manhattan, des vitesses de vent comparables ont été mesurées, ce qui démontre que sur les tours, qui ne manquent pas à Bruxelles, le potentiel pour le petit éolien est très bon (comparable à celui de la côte belge à une dizaine de mètres au-dessus du sol). La présente étude démontre que pour les bâtiments très élevés, l'investissement dans une ou plusieurs petites éoliennes est rentable. Il est donc à recommander de réaliser des projets pilotes sur des bâtiments de ce type.

Pour les autres sites, les conditions de vent ne sont pas suffisamment bonnes pour motiver l'emplacement d'une petite éolienne. Il n'est pas exclu que cette recommandation pourrait varier si les conditions financières changeaient. L'emplacement d'une éolienne de taille moyenne peut être recommandé pour certains sites comme Elia ou le Port

de Bruxelles, quoique le rendement prévu y est plutôt bas tenu compte des conditions actuelles.

Pour les quatre sites, ce sont les vitesses du vent et les conditions financières qui déterminent la faisabilité d'une petite éolienne et beaucoup moins les autres paramètres étant la connexion au réseau, la nuisance sonore, l'ombre portée ou l'effet sur la biodiversité. Il est probable que ce soit le cas pour la majeure partie des sites à Bruxelles. Évidemment, il y aura des exceptions et chaque site mérite une étude de faisabilité. La présente étude pourra être utilisée comme orientation pour la méthodologie à utiliser.

Syntheserapport	i
Rapport de synthèse	vii
Inhoudsopgave	xiii
1 Identificatie van best geschikte plaatsen	1
2 Meetcampagne	5
3 Installatierapport	7
3.1 The Hotel	7
3.2 Université Libre de Bruxelles campus Solbosch	9
3.3 De Haven van Brussel	11
3.4 Elia	13
4 Turbineselectie	17
4.1 Inventaris kleine windturbines	17
4.2 Analyse inventaris	19
4.3 Selectie windturbines	21
5 Data-Analyse	23
5.1 Data-Analyse: The Hotel	23
5.2 Data-Analyse: Elia	31
5.3 Data-Analyse: De Haven van Brussel	42
5.4 Data-Analyse: ULB campus Solbosch	48
6 Langetermijnvoorspelling	55
6.1 Methodologie	55
6.2 Langetermijnvoorspelling voor The Hotel	56
6.3 Langetermijnvoorspelling voor Elia	59
6.4 Langetermijnvoorspelling voor de Haven van Brussel	62
6.5 Langetermijnvoorspelling voor de ULB campus Solbosch	64
7 Haalbaarheidsstudie	67
7.1 Omgevingsparameters: Geluid	69
7.2 Omgevingsparameters: Schaduwhinder	77
7.3 Omgevingsparameters: Biodiversiteit	88
7.4 Omgevingsparameters: Zichtbaarheid	94
7.5 Technische en veiligheidsaspecten	100
7.6 Aansluiting op het netwerk	105

7.7	Analyse van de vliegroutes	110
7.8	Economische aspecten	115
7.9	Conclusies	134
	Bibliografie	137
A	Sélection de dix sites pour la réalisation de campagnes de mesures de vent en RBC	141
B	Biodiversiteit : Windturbines en vleermuizen	199
C	Biodiversiteit : Sterftcijfer vleermuizen	229

Identificatie van best geschikte plaatsen

De eerste stap in het project E11-359 “Identificatie sites, opzetten windmetingscampagnes en uitvoering van haalbaarheidsstudies in het Brussels Hoofdstedelijke Gewest”¹ is de identificatie van de tien meest geschikte plaatsen voor de uitvoering van een meetcampagne. Deze identificatie werd uitgevoerd aan de hand van een lijst van 100 mogelijke sites verstrekt door BIM (Brussels Instituut voor Milieubeheer). Er werden verschillende criteria gehanteerd voor deze eerste selectie: topografische data, ligging van de site (het doel was om een idee te hebben van het windpotentieel over heel Brussel) en de hoogte van het gebouw waarop de meetapparatuur zou geïnstalleerd worden (indien de installatie op het dak van een gebouw zou gebeuren). Deze eerste selectie is uitgevoerd door 3E en beschreven in het technisch rapport “Sélection de dix sites pour la réalisation de campagnes de mesures de vent en RBC” (zie Appendix A). In dit rapport werden de tien meest geschikte sites opgelijst:

- Site 9 : SISP,
- Site 13 : SISP,
- Site 16 : SISP,
- Site 36 : Av. Marius Renard,
- Site 41 : The Hotel,
- Site 44 : Finance tower,
- Site 45 : Midi tower,
- Site 46 : Bastion tower,
- Site 48 : Blue tower en
- Site 81 : Containerterminal 2.

De lijst werd verder gereduceerd in een overleg tussen de projectpartners tijdens een vergadering (datum 25/04/2012). Het doel was om vijf meetlocaties te identificeren met verschillende eigenschappen. Alle partners zijn overeengekomen om tenminste één locatie te selecteren waarbij de metingen op grondniveau zouden worden uitgevoerd (d.w.z op 10 tot 15 m hoogte, de typische ashoogte van een kleine windturbine). Tijdens deze vergadering zijn drie extra sites gekozen, indien er om een praktische redenen geen meetapparatuur op de geselecteerde sites zou kunnen geïnstalleerd worden. De vijf geselecteerde sites (met de hoogste prioriteit) zijn:

¹“L’identification des sites adéquats, mettre en place des campagnes de mesure de vent et l’exécution des études de faisabilités dans la RBC”

- Eén van de hoge SISP gebouwen (site 9,13 of 16),
- The Hotel (site 41) of de Bastion tower (site 46),
- Avenue Marius Renard (site 36),
- Erasmus ziekenhuis (Site 38) en
- een mast geïnstalleerd op grond niveau aan de Haven van Brussel (site 70, 76 of 81).

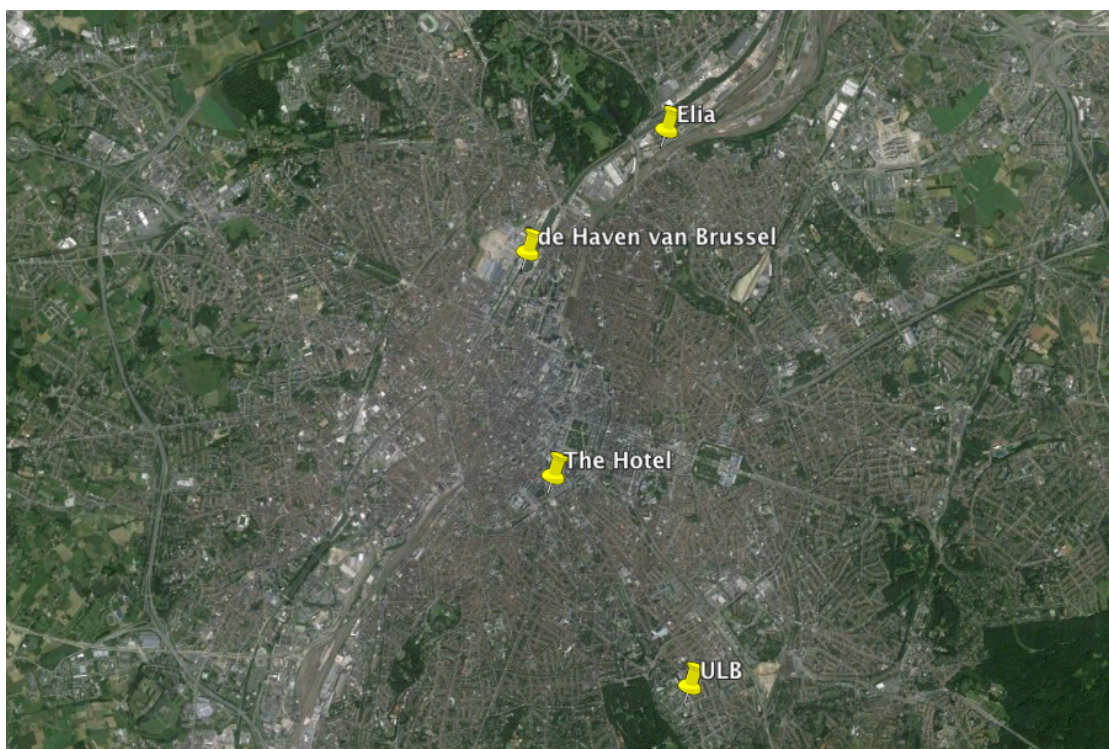
De drie extra sites die werden gekozen, zijn:

- Bedrijfssite Elia (site 58 of 59),
- Europees Parlement (site 69) en
- Université Libre de Bruxelles (ULB) campus Solbosch (site 63).

Op alle sites werd de praktische haalbaarheid om meetapparatuur te installeren onderzocht. Aangezien de apparatuur op een bepaalde hoogte boven het maaiveld moet geïnstalleerd worden, is een mast of structuur om de apparatuur te bevestigen noodzakelijk. Op het dak van alle SISP gebouwen uit de selectie en op het gebouw op de Avenue Marius Renard was er geen geschikte mast of structuur aanwezig. De mast op het dak van het Erasmus Ziekenhuis werd afgekeurd door AIB Vincotte voor het beklimmen van de mast en het monteren van de meetapparatuur. Aangezien The Hotel en de Bastion tower dicht tegen elkaar zijn gelegen, kon er slechts één van de twee geselecteerd worden. Door deze praktische moeilijkheden, zijn slechts twee van de vijf sites met de hoogste prioriteit geschikt voor het uitvoeren van een meetcampagne. Om deze reden werd (na overleg tussen de projectpartners en BIM) de drie extra sites ook geanalyseerd en werd het aantal meetcampagnes gereduceerd naar vier verschillende sites: twee meetcampagnes op een gebouw, één meetcampagne op grond niveau (op een verlichtingspaal met een hoogte van 12 m) en een uitgebreidere meetcampagne op een mast met een hoogte van 72 m. De finale lijst met de locaties voor de meetcampagnes is:

- The Hotel, Waterloolaan 38, 1000 Brussel (50.837553°N, 4.357487°O)
- ULB Campus Solbosch, Antoine Depagelaan 27, 1050 Elsene (50.811469°N, 4.383593°O)
- De Haven van Brussel, Redersplein 5, 1000 Brussel (50.864807°N, 4.352529°O)
- Elia, Vilvoordselaan 126, 1030 Schaarbeek (50.880601°N, 4.380237°O)

In figuur 1.1 worden de locaties voor de meetcampagne weergegeven op een kaart van Brussel. Deze figuur toont aan dat er een relatief goede spreiding is van de ligging van de verschillende sites.



Figuur 1.1: Ligging van de vier meetsite in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest

De horizontale windsnelheid wordt gemeten met een cupanemometer. De windvaan wordt zo dicht mogelijk tegen de hoogste anemometer geplaatst zonder de inkomende wind op de cup anemometer te verstoren. Het hoogteverschil tussen beide sensoren is gekozen aan de hand van de IEC 61400 normen. De windsnelheid en -richting worden gemeten met een frequentie van 1 Hz. Per interval van 10 minuten, worden de gemiddelde windsnelheid en de standaarddeviatie geregistreerd samen met de windrichting, luchtdruk en luchttemperatuur¹. De vergaarde data worden opgeslagen op een datalogger die geconnecteerd is met de sensoren. De data worden wekelijks getransfereerd via een GPRS module. De gebruikte meetapparatuur wordt getoond in figuur 2.1 en beschreven in onderstaande lijst:

- Cup anemometer : Thies first class anemometer (Thies Clima, 2014)
- Wind vaan : Thies compact wind vane (Thies Clima, 2014)
- Barometer : Thies baro transmitter (Thies Clima, 2014)
- Temperatuur sensor : Thies compact temperature sensor (Thies Clima, 2014)
- Datalogger : Campbell Scientific CR 800 (Campbell scientific, 2014)
- GPRS module : Erco & Gener Genpro 20e GSM/GPRS serial transmitter (Erco & Gener, 2014)

¹Op een aantal sites is het stroomverbruik beperkt door de druk slechts eenmaal per uur te meten. In verstedelijkte omgevingen waarin de metingen zijn uitgevoerd, is het gebruik van een zonnepaneel niet altijd voldoende om het stroomverbruik van de meetsetup binnen de perken te houden.



Figuur 2.1: In wijzerzin vanaf linksboven: Thies first class anemometer, Thies compact wind vane, Thies baro transmitter, Genpro 20e GSM/GPRS serial transmitter, Campbell Scientific CR 800 and Thies compact temperature sensor

3.1 The Hotel

Site

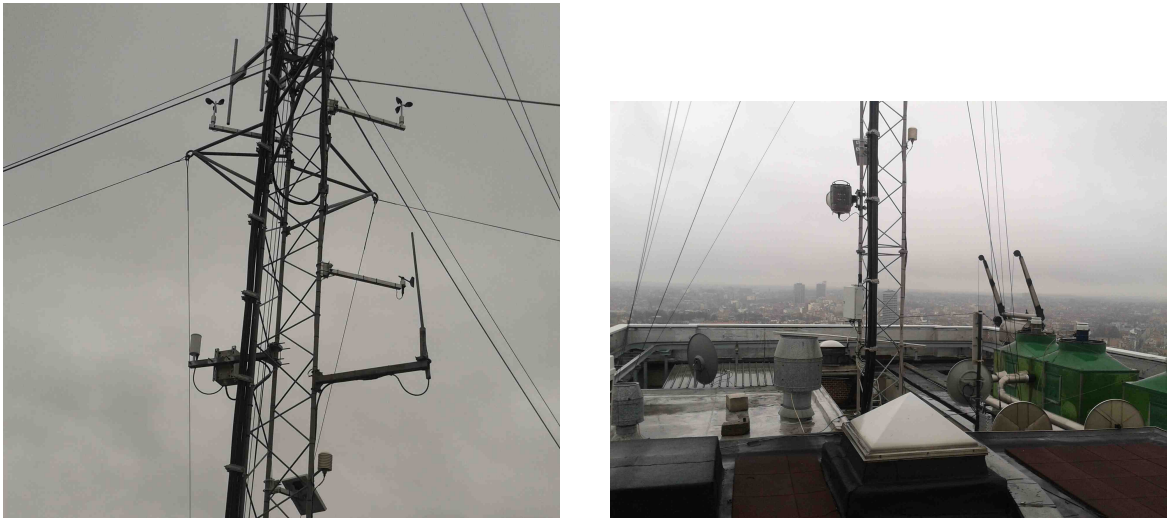
The Hotel, voorheen gekend als The Hilton hotel, is een gebouw van 94 m (figuur 3.1) en is gelegen in het zuidelijk deel van Brussel, dichtbij het centrum van Brussel. Op het gebouw zijn verschillende masten aanwezig voor telecommunicatie. Deze masten zijn eigendom van RTL. Na overleg met RTL hebben we toelating gekregen tot de mast van 18 m maar er werd wel een beperking van de meethoogte opgelegd tot 9 m (om geen hinder te vormen voor eventueel nieuw telecommunicatieapparatuur dat later zou geïnstalleerd worden). De mast staat op het midden van het gebouw en is 2 m onder het dakniveau van het gebouw geïnstalleerd. Daarom is de maximale toegelaten meethoogte beperkt tot 7 m gemeten van het dak van het gebouw. Door de aanwezige telecommunicatie apparatuur (die de inkomende wind verstoren) en de lage toelaatbare meethoogte is deze setup niet ideaal. Aangezien The Hotel, één van de hoogste (toegankelijke) gebouwen is van Brussel en de goede topografische eigenschappen van de ligging van het gebouw, is ervoor gekozen om deze locatie toch te gebruiken in het project.



Figuur 3.1: The Hotel

Setup

Om het effect van de mast op de metingen te verminderen, is de windsnelheid gemeten aan beide zijden van de mast. De meethoogte is 7 m gemeten van het dakniveau van het gebouw. De oriëntatie van de anemometers is zuidwest en noordoost. De windrichting wordt 2 m onder de meethoogte van de anemometers gemeten. De oriëntatie van deze sensor is zuidwest. Het zonnepaneel en de temperatuursensor zijn nog 2 m lager geplaatst en naar het zuiden georiënteerd. De datalogger (met de druksensor in de behuizing) is op ooghoogte geïnstalleerd voor gemakkelijke toegang. In figuur 3.2 wordt de meetsetup getoond. Deze installatie is uitgevoerd op 1 februari 2013 en is vanaf dan ook operationeel.



Figuur 3.2: Installatie meetapparatuur op The Hotel

3.2 Université Libre de Bruxelles campus Solbosch

Site

Campus Solbosch van de Université Libre de Bruxelles is gelegen in het zuidoostelijk deel van Brussel. Het hoogste gebouw op de campus is gebouw D (figuur 3.3). De hoogte van het gebouw is ongeveer 32 m. Op de top van het gebouw, is een structuur aanwezig van 3 m. Op deze structuur, staat ook een mast geïnstalleerd die niet toegankelijk is (afgekeurd door AIB Vincotte). Om deze reden was het nodig een extra mast te installeren. Gezien het beperkte budget voorzien voor de installatie van de meetapparatuur werd er geopteerd om een lage mast te installeren van 6 m op het dak van het gebouw.



Figuur 3.3: ULB Campus Solbosch

Setup

Door de mast te plaatsen op de reeds aanwezige structuur van 3 m kon de windsnelheid gemeten worden op 9 m hoogte (gemeten vanaf het dak). Om de verstoring van de inkomende windstroom van de mast op de metingen te verminderen, zijn twee cupanemometers geïnstalleerd langs beide zijden van de mast (oriëntatie noordoost en zuidwest). De windvaan is 1.5 m onder de cupanemometers geplaatst en georiënteerd naar de dominante windrichting (zuidwest). Het zonnepaneel, de datalogger, de temperatuursensor en de druksensor zijn op grond niveau geplaatst. De meetsetup wordt getoond in figuur 3.4. De meetapparatuur is geïnstalleerd op 15 april 2013 en vanaf dan is de apparatuur ook operationeel.



Figuur 3.4: Installatie meetapparatuur op het gebouw op de campus Solbosch van de ULB

3.3 De Haven van Brussel

Site

Om een idee te hebben van het windpotentieel op grondniveau, is er een meetcampagne uitgevoerd op een hoogte die vergelijkbaar is met de ashoogte van een kleine windturbine. Indien de metingen zouden worden uitgevoerd op een mast dichtbij een gebouw (zonder de uitvoering van een zorgvuldige studie die de plaats van de meting bepaald, een zogenaamde ‘siting study’), kan dit leiden tot een vertekend beeld van het werkelijk windpotentieel op grondniveau. Om deze reden moet een open ruimte worden gekozen om de meetcampagne uit te voeren. Het kanaal, dat voornamelijk een noordoostelijke naar zuidwestelijke oriëntering (dominante wind richting) heeft in Brussel, is een goede locatie met een relatief grote open ruimte. Nabij het hoofdkantoor van de Haven van Brussel, is de oriëntatie goed en is er een brug over het kanaal. Op deze brug is er een verlichtingspaal van 12 m aanwezig. Deze mast is dan ook gebruikt voor de meetcampagne. Deze meetsite (figuur 3.5) is gelegen in het noordelijk deel van Brussel.



Figuur 3.5: De meetsite nabij de Haven van Brussel

Setup

De bovenste anemometer is geïnstalleerd op een hoogte van 12 m. Om de windsnelheid te kunnen extrapoleren naar andere hoogtes en om de ruwheidslengte te schatten in deze bebouwde omgeving is er 2 m lager een tweede cupanemometer geplaatst. De windvaan, die de windrichting meet, is op een hoogte van 8 m geïnstalleerd. Deze drie sensoren zijn georiënteerd op een manier dat de wind in de richting van het kanaal niet verstoord wordt door de mast. Het zonnepaneel en de temperatuursensor zijn op 6 m geplaatst. De datalogger (met de druksensor in de behuizing) is op 5 m hoogte geïnstalleerd. Op die manier is de datalogger onbereikbaar voor onbevoegden, hetgeen nodig is omdat de mast op een publieke plaats gelegen is. Foto's van de installatie worden getoond in

figuur 3.6. Deze installatie is uitgevoerd op 22 maart 2013. Door technische problemen is de meetapparatuur pas operationeel vanaf 4 juni 2013.



Figuur 3.6: Installatie meetapparatuur nabij de Haven van Brussel

3.4 Elia

Site

Op de site van het bedrijf Elia (figuur 3.7), dat gelegen is in het noordoostelijk deel van Brussel, is een mast van 72 m aanwezig. Deze wordt voornamelijk gebruikt voor telecommunicatie. Op deze site is een uitgebreide meetcampagne uitgevoerd. De windsnelheid is gemeten op drie verschillende hoogtes. Zo kunnen de ruwheidsparameters geschat worden om het verticaal windprofiel te berekenen. Op deze manier kan de windsnelheid op een accurate manier worden geëxtrapoleerd naar andere hoogtes.



Figuur 3.7: De Elia site

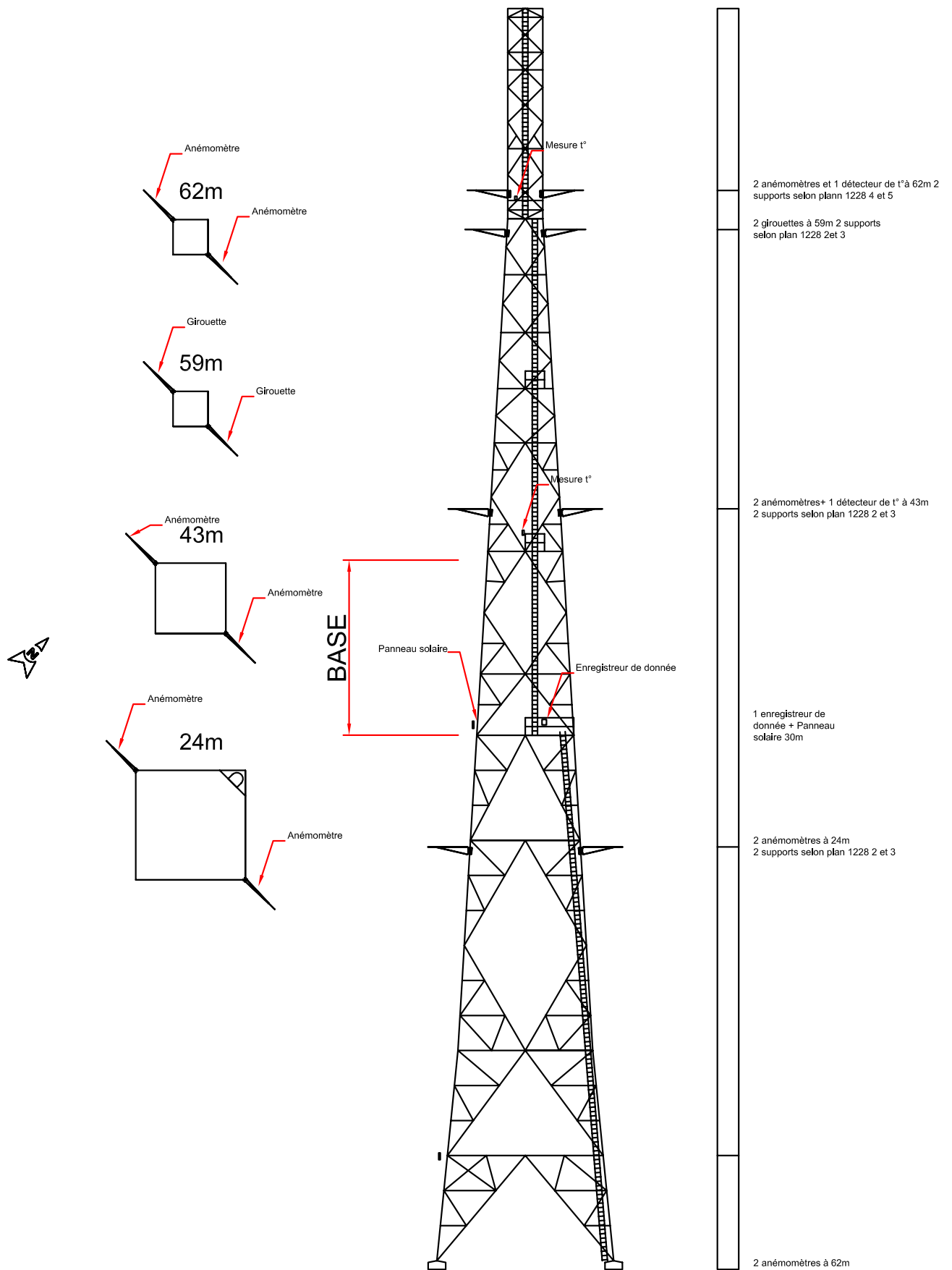
Setup

In figuur 3.9 wordt de schematische setup van de meetapparatuur getoond. Zoals eerder vermeld, wordt de windsnelheid op 3 verschillende hoogtes gemeten (59, 43 en 24 m). Om beïnvloeding van de metingen door de mast te vermijden, wordt de windsnelheid telkens gemeten door twee cupanemometers te plaatsen langs beide zijden van de mast. Ook worden er langere bevestigingsarmen gebruikt om de sensoren te monteren, zodat op elk moment de ongestoorde windsnelheid kan gemeten worden. De windvanes worden zo dicht mogelijk tegen de bovenste anemometers geplaatst (zonder de meting te verstoren). Ook worden hiervoor twee windvanes gebruikt langs beide zijden van de mast in combinatie met langere bevestigingsarmen. De oriëntatie van de sensoren is oost en west om technische redenen. De temperatuur wordt gemeten op twee verschillende hoogtes, nl. 59 en 43 m. Op deze manier kan de temperatuur gecorreleerd worden met de vier bovenste anemometers. De datalogger en druksensor zijn op een hoogte van 32 m geplaatst zodat ze gemakkelijk toegankelijk zijn via een ladder. De meetapparatuur is geïnstalleerd op 10



Figuur 3.8: Installatie van de meetapparatuur op een mast op de site van Elia

juli 2013 en is operationeel sinds die datum. Foto's van de geïnstalleerde meetapparatuur worden getoond in figuur 3.8.



Figuur 3.9: Setup bij Elia

4.1 Inventaris kleine windturbines

De winddata van de geselecteerde sites zullen gebruikt worden om de energieopbrengst te schatten van een geselecteerde set windturbines. Voor elke turbine zal de energieopbrengst geschat worden zowel door rechtstreeks gebruik te maken van de metingen (zie sectie 5) alsook op basis van een langetermijndataset (zie sectie 6). De betrouwbaarheid van deze schattingen is sterk afhankelijk van de betrouwbaarheid van de vermogenscurve van de windturbine.

Het eindrapport van het Tetraproject “Gebruik van microwindturbines voor het leveren van hernieuwbare energie aan KMO’s en particulieren” (Runacres et al., 2012) heeft aangetoond dat de markt van kleine windturbines zeer uitgebreid is. Daarentegen zijn er op dit moment weinig kleine turbintypes die beschikken over een gecertificeerde vermogenscurve. Voor dit project werd een nieuwe inventaris samengesteld, waarbij enkel windturbines met een vermogenscurve die door een onafhankelijke testinstantie werd opgesteld, werden opgenomen. Deze selectie van de windturbinemarkt verhoogt de betrouwbaarheid van de opbrengstschattingen.

Aangezien de turbines voor dit project in een bebouwde omgeving zouden geplaatst worden (op het dak van een gebouw, naast een gebouw,...) werd het nominaal vermogen in de inventaris beperkt tot 10 kW. Door deze beperking en de noodzaak voor het bezitten van een onafhankelijk geteste vermogenscurve is de inventaris gereduceerd tot 17 verschillende kleine windturbines. In tabel 4.1 worden al deze windturbines opgelijst en genummerd voor verdere analyse. De turbines zijn hier ook gerangschikt volgens hun nominale vermogen.

Turbine	Type	Producent	Nominaal vermogen	Rotor-diameter	Ashoogte
1	Windspire	Windspire components	1 kW	3 m (VAWT)	6.1 m
2	Swift	Cascade engineering	1.4 kW	2 m	13.7 m
3	Skystream	Xzeres wind corporation	2.4 kW	3.7 m	12 m
4	Kestrel	Kestrel wind	3 kW	4 m	12/18/24 m
5	Winderera	Ennera wind energy	3.5 kW	4.4 m	12 m
6	Windspot	Sonkyo energy	3.5 kW	4.1 m	12/15/18 m
7	Nheolis	Nheowind	3.5 kW	4 m	12 m
8	HY5kW	Huaying wind power	4.7 kW	5.6 m	15 m
9	R9000	Evance	5 kW	5.5 m	12/18 m
10	S-343	Endurance wind power	6 kW	6.4 m	28 m
11	KW6	Kingspan wind	6 kW	5.6 m	9 m
12	Excel5	Bergey wind	6.6 kW	6.2 m	18/24 m
13	Windspot	Sonkyo energy	7.5 kW	6.3 m	12/14/18 m
14	CS8	Viryd technologies	7.6 kW	8.5 m	25 m
15	ES10	Eole system	10 kW	8 m	11/18/24 m
16	Are 442	Abundent renewable energy	10 kW	7.2 m	31 m
17	TN535	Tozzi Nord	10 kW	13.2 m	15/18/24 m

Tabel 4.1: Inventaris van kleine windturbines. Alle windturbines in de inventaris met uitzondering van de Windspire hebben een horizontale as.

4.2 Analyse inventaris

Na deze eerste selectie werd de inventaris in detail geanalyseerd. In deze analyse werd ook de kostprijs van de windturbines in rekening gebracht. Aangezien het niet mogelijk was voor elke turbine een offerte aan te vragen bij de fabrikant, zijn een aantal kostprijzen bepaald door interpolatie (op basis van de rotordiameter van de andere turbines waarvoor de kostprijs wel gekend is). Vervolgens werd er een databank gebruikt (een databank¹ met winddata van 33 verschillende sites in België) en werd voor elke site en elke turbine de jaarlijkse energieopbrengst berekend. De investeringskost van de turbine werd dan telkens gedeeld door de energieopbrengst. Deze parameter geeft een indicatie van de kostprijs per opgewekte energie (€/kWh).

Aangezien de prestaties van de turbine site-afhankelijk zijn, werd er per site een rangschikking opgemaakt van de turbine met de hoogste kostprijs per opgewekte energie tot diegene met de laagste verhouding. Deze rangschikking wordt weergegeven in tabel 4.2. Elk cijfer in de tabel stelt een turbine voor. Deze cijfers komen overeen met de cijfers in de lijst van turbines in tabel 4.1. Kolom 2 in tabel 4.2 geeft voor elke site de turbine met de hoogste kostprijs per opgewekte energie weer. De laatste kolom bevat de turbine met de beste verhouding. De drie best presterende en de drie slechts presterende turbines zijn duidelijk af te leiden uit de tabel. Als we deze drie best en drie slecht presterende windturbines buiten beschouwing houden dan is het duidelijk dat niet noodzakelijk de windturbine met het hoogste nominaal vermogen de laagste kostprijs per opgewekte energie heeft (€/kWh).

¹Deze databank is eigendom van VUB en bevat winddata op lage hoogte van het jaar 2011 van 33 verschillende meetstations in België.

Site	Turbinenummer																
1	2	1	9	3	7	4	6	5	8	11	10	12	14	13	16	15	17
2	2	1	9	4	3	7	6	14	5	10	11	8	12	13	16	15	17
3	2	1	9	3	4	7	6	5	14	10	11	8	12	13	16	15	17
4	2	1	9	3	7	4	6	5	8	11	10	12	14	13	16	15	17
5	2	1	9	3	4	7	6	5	14	10	11	8	12	13	16	15	17
6	2	1	9	3	4	7	6	5	10	14	8	11	12	13	16	15	17
7	2	1	9	4	3	6	7	14	5	10	11	8	12	13	16	15	17
8	2	1	9	3	4	7	6	5	14	10	11	8	12	13	16	15	17
9	2	1	9	3	7	4	6	5	8	11	10	12	13	14	16	15	17
10	2	1	9	4	3	6	7	14	5	10	11	8	12	13	16	15	17
11	2	1	9	3	7	4	6	5	8	11	10	12	13	14	16	15	17
12	2	1	9	3	4	7	6	5	14	10	11	8	12	13	16	15	17
13	2	1	9	3	7	4	6	5	8	11	10	12	14	13	16	15	17
14	2	1	9	3	7	4	6	5	8	11	10	12	14	13	16	15	17
15	2	1	9	3	7	4	6	5	8	10	11	14	12	13	16	15	17
16	2	1	9	3	4	7	6	5	10	8	11	14	12	13	16	15	17
17	2	1	9	3	4	7	6	5	10	14	11	8	12	13	16	15	17
18	2	1	9	3	7	4	6	5	8	11	10	12	14	13	16	15	17
19	2	1	9	3	7	4	6	5	8	11	10	12	14	13	16	15	17
20	2	1	9	3	4	7	6	5	14	10	11	8	12	13	16	15	17
21	2	1	9	3	7	4	6	5	8	11	10	12	14	13	16	15	17
22	2	1	9	4	3	7	6	14	5	10	11	8	12	13	16	15	17
23	2	1	9	3	7	4	6	5	8	11	10	12	14	13	16	15	17
24	2	1	9	3	7	4	6	5	8	11	10	12	13	14	16	15	17
25	2	1	9	3	7	4	6	5	8	10	11	14	12	13	16	15	17
26	2	1	9	3	4	7	6	5	10	14	8	11	12	13	16	15	17
27	2	1	9	3	4	7	6	5	14	10	11	8	12	13	16	15	17
28	2	1	9	4	3	7	6	14	5	10	11	8	12	13	16	15	17
29	2	1	9	4	3	7	6	5	14	10	11	8	12	13	16	15	17
30	2	1	9	4	3	6	7	14	10	5	11	8	13	12	16	15	17
31	2	1	9	4	3	7	6	14	5	10	11	8	12	13	16	15	17
32	2	1	9	3	7	4	6	5	8	11	10	12	14	13	16	15	17
33	2	1	9	4	3	7	6	5	14	10	11	8	12	13	16	15	17

Tabel 4.2: Prestatietabel windturbines voor 33 sites. In de tweede kolom worden de turbines weergegeven die het slechts presteren. In de laatste kolom worden de turbines weergegeven die het beste presteren.

4.3 Selectie windturbines

De analyse in sectie 4.2 is besproken tijdens een vergadering (datum 15/10/2013) met de partners in dit project. Tijdens deze vergadering is er besloten om drie kleine windturbines te selecteren met verschillende eigenschappen:

- één verticale as windturbine (VAWT) om de visuele hinder te beperken,
- één windturbine met de laagste kost per opgewekte energie en
- één windturbine met een degelijke kost per opgewekte energie maar kleinere afmetingen om een potentiële installatie op een dak te vereenvoudigen.

Aangezien er op dit moment slechts één windturbine op de markt is met een verticale as in combinatie met een gecertificeerde vermogenscurve, is deze geselecteerd voor de studie. Na overleg tussen de projectpartners zijn turbines 14, 15, 16 en 17 uit tabel 4.1 geschrapt. De afmetingen van deze turbines zullen een te grote impact hebben op de bebouwde omgeving. Na het schrappen van deze turbines, heeft turbine 13 de laagste investeringskost per opgewekte energie. Daarnaast zien we in tabel 4.2 dat turbine 5, rekening houdend met de beperkte afmetingen, degelijke prestaties heeft voor alle sites. Na deze grondige analyse zijn de volgende drie kleine windturbines geselecteerd voor dit project:

- Windspire van Windspire components (figuur 4.1) met een nominaal vermogen van 1 kW en een standaard ashoogte² van 6.1 m,
- Windspot van Sonkyo energy (figuur 4.2) met een nominaal vermogen van 7.5 kW en standaard ashoogtes² van 12, 14 of 18 m en
- Windera van Ennera wind energy (figuur 4.3) met een nominaal vermogen van 3.5 kW en een standaard ashoogte² van 12 m.

Op vraag van 3E zijn twee middelgrote windturbines (Xant-21 en Xant-23) toegevoegd aan de studie om het windpotentieel van deze turbines in een bebouwde omgeving in te schatten. Aangezien deze niet in de eerste selectie zijn opgenomen worden deze enkel gebruikt in de data-analyse en de economische analyse en niet in de haalbaarheidsstudie. In figuur 4.4 wordt de Xant-21 getoond.

²De ashoogte wordt louter indicatief vermeld. De ashoogte kan voor elk van de geselecteerde windturbines aangepast worden door het gebruik van een mast met een andere hoogte.



Figuur 4.1: Windspire van Windspire components



Figuur 4.2: Windspot van Sonkyo energy



Figuur 4.3: Windera van Ennera



Figuur 4.4: Xant-21 van Xant

De data-analyse werd uitgevoerd door Jochem Vermeir, Industriële ingenieurswetenschappen (INDI), Vrije Universiteit Brussel (VUB) en Lien Van Breusegem, 3E. De analyses van de data van The Hotel en Elia werden uitgevoerd door VUB. De analyses van de data van de ULB campus Solbosch en de Haven Van Brussel werden uitgevoerd door 3E. Om het eindrapport consistent te houden, zijn beide analyses in dit eindrapport verwerkt. De vergaarde data worden in sectie 6 gebruikt om een langetermijnschatting uit te voeren van zowel de gemiddelde windsnelheid als de energieopbrengst van de geselecteerde windturbines voor elke site.

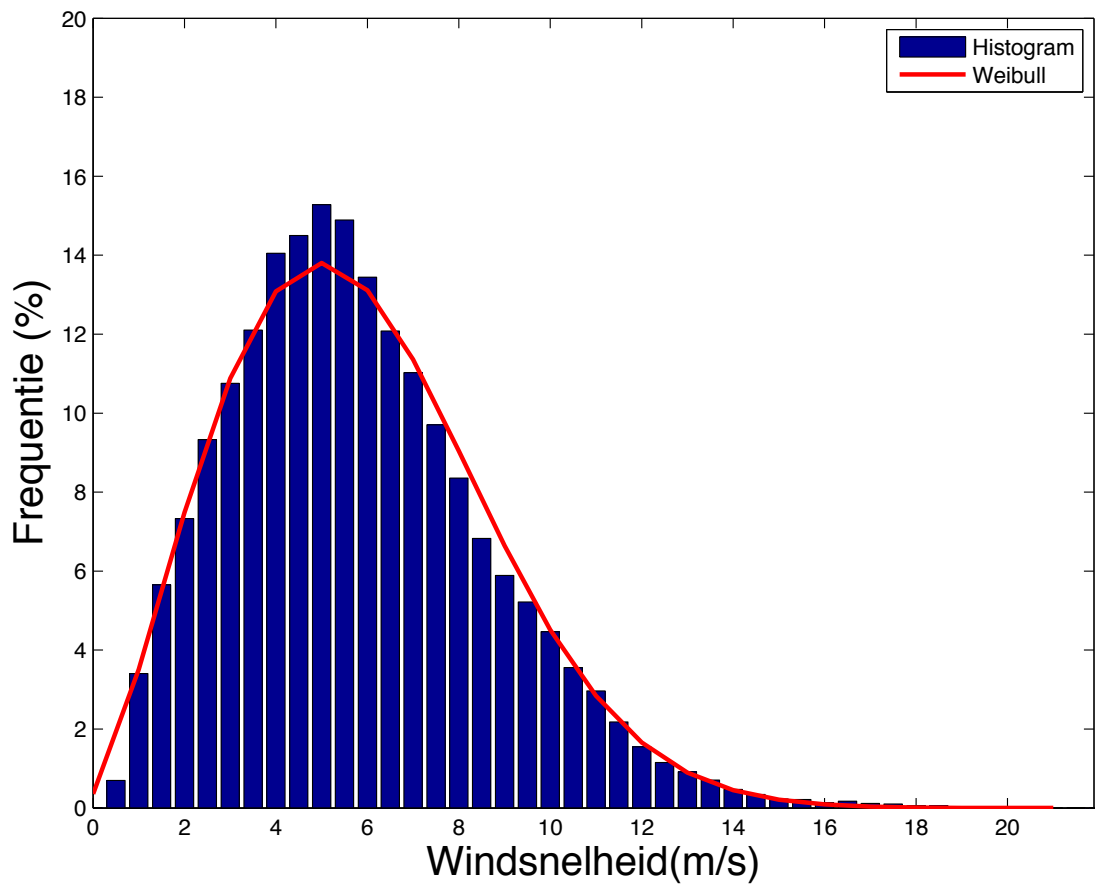
5.1 Data-Analyse: The Hotel

Algemene resultaten

De gemiddelde windsnelheid wordt gemeten aan de hand van twee cupanemometers. Aangezien er op de mast veel telecommunicatieapparatuur aanwezig is en deze de metingen kunnen beïnvloeden werden de cupanemometers aan beide kanten van de mast geplaatst. Hiermee werd dit effect gereduceerd (zie ook sectie 3). De cupanemometers staan op een hoogte van 9 m, gemeten vanaf het laagste punt van de mast. Het laagste punt van de mast staat ongeveer 2 m onder het dakniveau. In tabel 5.1 wordt de gemiddelde windsnelheid, dominante windrichting en Weibull parameters weergegeven. In figuur 5.1 wordt het histogram samen met de Weibull verdeling getoond. De meetperiode voor The Hotel waarvoor de data-analyse is uitgevoerd loopt van 1/02/2013 tot 28/02/2014.

Parameter	Waarde
Gemiddelde windsnelheid op 9 m	5.8 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$
Dominante Windrichting	West
Vorm parameter Weibull k	2.1869
Schaal parameter Weibull A	6.5795

Tabel 5.1: Resultaten The Hotel



Figuur 5.1: Windverdeling The Hotel

Analyse per maand

In onderstaande tabel wordt de maandelijks gemiddelde en maximale windsnelheid weer-gegeven. Per maand wordt ook de gemiddelde turbulentie-intensiteit berekend. Daarnaast wordt er ook een overzicht gegeven van de beschikbaarheid van van de metingen.

Maand	Gemiddelde windsnelheid op 9 m ($\frac{m}{s}$)	Maximale windsnelheid op 9 m ($\frac{m}{s}$)	Turbulentie Intensiteit at 9 m	Beschikbaar- heid
Februari 2013	5.3	14.5	24 %	98 %
Maart 2013	5.6	13.2	23 %	100 %
April 2013	5.5	14.5	26 %	100%
Mei 2013	5.0	12.4	27 %	98%
Juni 2013	5.3	13.7	26 %	100%
Juli 2013	4.3	12.7	26 %	100%
Augustus 2013	4.5	13.2	25 %	100%
September 2013	4.6	12.4	23 %	100%
Oktober 2013	6.7	19.5	38 %	100%
November 2013	5.3	15.0	24 %	100%
December 2013	7.6	21.9	22 %	100%
Januari 2014	7.7	15.6	23 %	100%
Februari 2014	8.7	18.8	23 %	100%
Totaal	5.8	21.9	26 %	99%

Tabel 5.2: Maandelijks gemiddelde en maximale windsnelheid, turbulentie-intensiteit en beschikbaarheid

In tabel 5.3 wordt de maandelijks gemiddelde temperatuur en druk weergegeven. Met deze twee parameters kan de gemiddelde luchtdichtheid voor de site worden afgeleid.

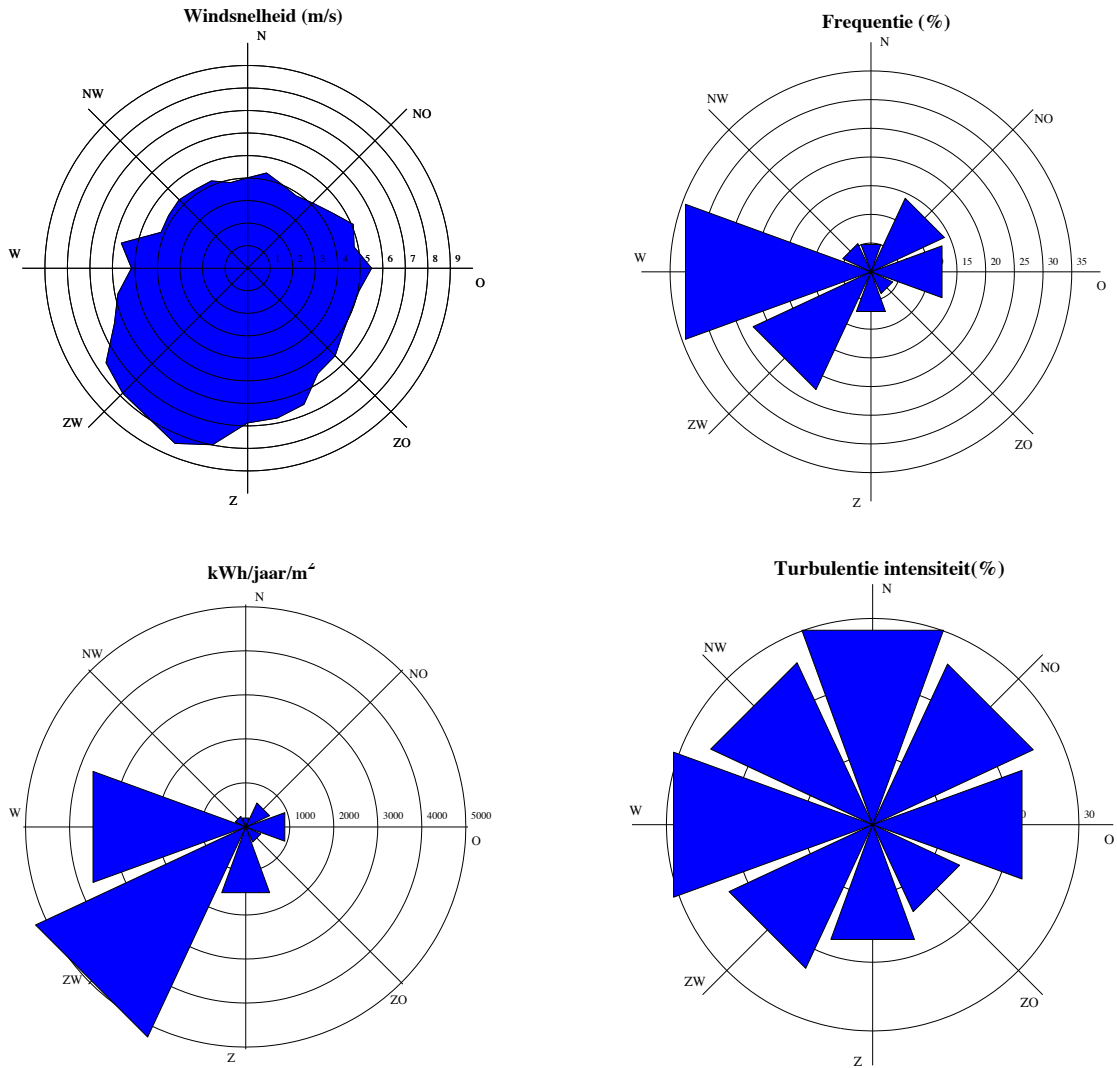
Maand	Gemiddelde druk (hPa)	Gemiddelde temperatuur ($^{\circ}\text{C}$)	Gemiddelde luchtdichtheid ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)
Februari 2013	995.8	2.1	1.26
Maart 2013	987.9	3.5	1.25
April 2013	994.6	8.1	1.23
Mei 2013	991.6	9.9	1.22
Juni 2013	998.0	14.3	1.21
Juli 2013	1000.0	18.9	1.19
Augustus 2013	997.7	17.6	1.20
September 2013	995.7	13.8	1.21
Oktober 2013	993.0	11.8	1.22
November 2013	995.5	5.7	1.24
December 2013	997.8	5.5	1.25
Januari 2014	985.3	5.1	1.23
Februari 2014	983.4	5.5	1.23
Totaal	993.5	9.4	1.23

Tabel 5.3: Maandelijks gemiddelde temperatuur, druk en luchtdichtheid

Analyse per windrichting

In figuur 5.2 wordt een windroos van de gemiddelde windsnelheid, frequentie, energie en turbulentie-intensiteit van The Hotel weergegeven. Hierbij zien we dat de meest voorkomende windrichting west is maar dat de wind in zuidwestelijke richting meer energie bevat. Dit wordt veroorzaakt door de hogere windsnelheden uit deze windrichting. We zien ook dat de meeste turbulentie in sector west zit. Dit wordt wellicht veroorzaakt door de vorm van het gebouw. In westelijke richting (alsook in de oostelijke richting) is er een grotere afstand tot de dakrand vanwege de lange smalle vorm van het gebouw. Aangezien de westelijke windrichting vaak voorkomt, staat het meetapparaat vaak in de recirculatiezone¹ van het gebouw. In deze zone is de turbulentie-intensiteit het grootst. Indien de afstand tot de dakrand korter is, heeft deze recirculatiezone nog niet de tijd gehad om zich volledig te ontwikkelen. Daarom is deze zone ook lager in de andere richtingen en is de turbulentie-intensiteit minder. De turbulentie is ook groot bij de noordelijke windrichting. Dit wordt veroorzaakt door lokale obstakels op het dak van het gebouw.

¹Bij gebouwen (en rechthoekige objecten) ontstaat boven het dak een gebied met een lage gemiddelde windsnelheid en een hoge turbulentiegraad. Dit wordt in de literatuur de recirculatiezone genoemd.



Figuur 5.2: Wind roos van de gemiddelde windsnelheid, frequentie, energie en turbulentie op 9 m hoogte van The Hotel

Schatting van de energieopbrengst

In tabel 5.4 worden de resultaten voor de schatting van de energieopbrengst per turbine weergegeven. De schatting van de jaarlijkse energieopbrengst wordt uitgevoerd in sectie 6. In onderstaande tabel wordt enkel de geschatte energieopbrengst tijdens de meetperiode berekend (voor deze site is de meetperiode meer dan één jaar). Extrapolatie van de wind is niet mogelijk aangezien de windsnelheid slechts op één hoogte gemeten is. Daarom wordt voor alle windturbines dezelfde ashoogte toegepast, die gelijk is aan de meethoogte (9 m). Daarnaast wordt er ook een operationeel verlies (stilstand van de turbine voor onderhoud, storingen,...) van 5% in rekening gebracht, een waarde die ook wordt teruggevonden uit duurtesten van kleine windturbines (Van Dam et al., 2010). Naast de geschatte energieopbrengst worden ook typische kenmerken van de geselecteerde windturbines getoond. De afmetingen van de Windspire zijn anders, aangezien dit een verticale as windturbine is. Voor deze turbine wordt ook de hoogte van de bladen getoond. In tabel 5.5 worden ook de resultaten getoond van twee niet geselecteerde middelgrote windturbines (Xant-21 en Xant-23). Deze werden op vraag van 3E in de studie opgenomen om het potentieel van deze turbines in te schatten.

Constructeur	Windspire Energy	Ennera Wind Components	Sonkyo Energy
Type	Windspire	Windera IN S	Windspot 7.5 kW
Nominaal vermogen	1.1 kW	3.3 kW	7.5 kW
Rotor diameter	D = 1.2 m H = 6.1 m	4.4 m	6.3 m
Gemiddelde Windsnelheid	5.8 $\frac{m}{s}$	5.8 $\frac{m}{s}$	5.8 $\frac{m}{s}$
Ashoogte	9 m	9 m	9 m
Gebouwhoogte	96 m	96 m	96 m
Energieopbrengst Bruto	2140 kWh	9698 kWh	16924 kWh
Operationeel verlies	5 %	5 %	5 %
Energieopbrengst Netto	2033 kWh	9213 kWh	16078 kWh

Tabel 5.4: Resultaten energieopbrengst voor de geselecteerde kleine windturbines voor op 9 m hoogte boven het dak van The Hotel

Constructeur	Xant	Xant
Type	Xant-21	Xant-23
Nominaal vermogen	100 kW	100 kW
Rotor diameter	21 m	23 m
Gemiddelde Windsnelheid	$5.8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$5.8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
Ashoogte	9 m	9 m
Gebouwhoogte	96 m	96 m
Energieopbrengst Bruto	249230 kWh	286480 kWh
Operationeel verlies	5 %	5 %
Energieopbrengst Netto	236769 kWh	272156 kWh

Tabel 5.5: Resultaten energieopbrengst voor de middelgrote wind turbines op 9 m hoogte boven het dak van The Hotel

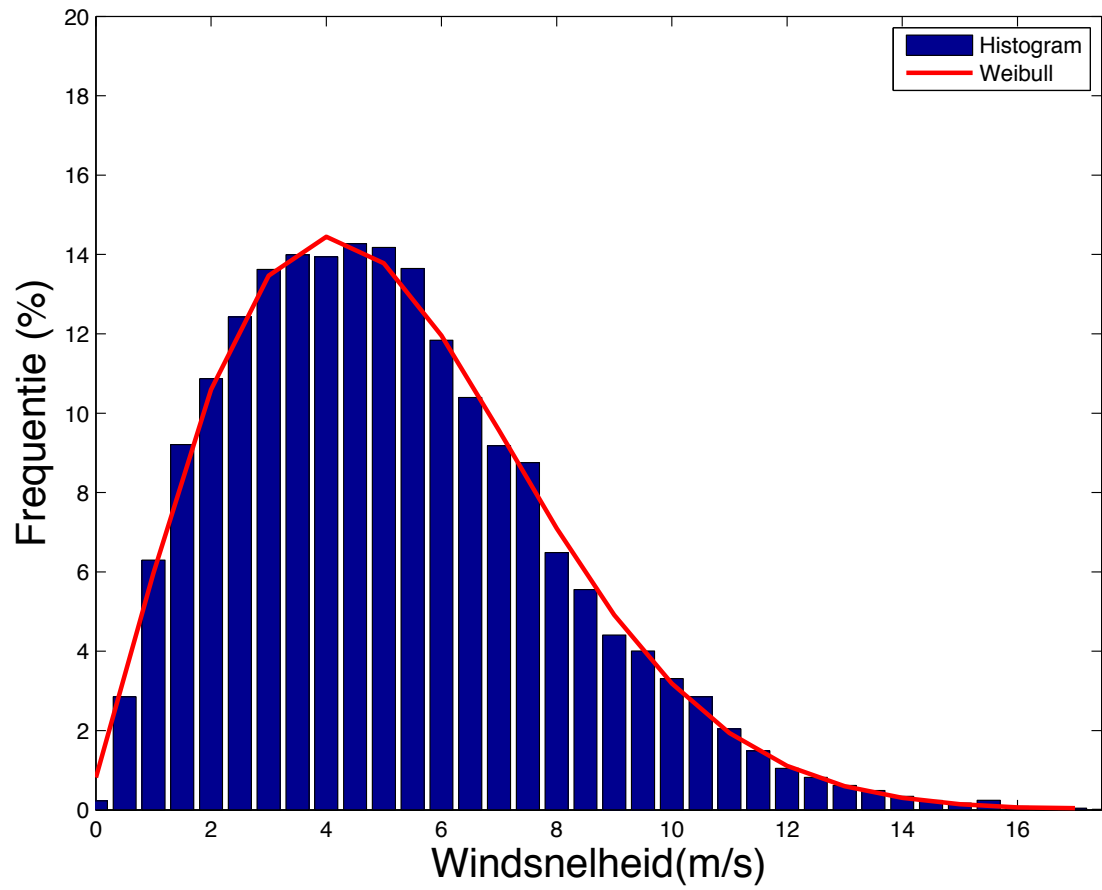
5.2 Data-Analyse: Elia

Algemene resultaten

De gemiddelde windsnelheid werd gemeten aan de hand van 6 cupanemometers. Om de invloed van de mast op de metingen te beperken werd er langs beide zijden van de mast gemeten. Op die manier wordt de windsnelheid gemeten op drie verschillende hoogtes (59 m, 43 m en 24 m). De windrichting wordt gemeten op 56 m hoogte, opnieuw langs beide zijden van de mast. De temperatuur wordt gemeten op 2 hoogtes, nl.: 59 en 43 m. In tabel 5.6 wordt de gemiddelde windsnelheid op verschillende hoogtes, de dominante windrichting en Weibull parameters weergegeven. In figuur 5.3 wordt het histogram samen met de Weibull verdeling getoond. De meetperiode voor Elia waarvoor de data-analyse is uitgevoerd loopt van 10/07/2013 tot 28/02/2014.

Parameter	Waarde
Gemiddelde windsnelheid op 59 m	5.2 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$
Gemiddelde windsnelheid op 43 m	4.7 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$
Gemiddelde windsnelheid op 24 m	3.8 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$
Dominante Windrichting	Zuid
Vorm parameter Weibull k	1.9575
Schaal parameter Weibull A	5.8263

Tabel 5.6: Resultaten Elia



Figuur 5.3: Windverdeling Elia op 59 m

Verticaal windprofiel

De windsnelheid wordt op 3 hoogtes gemeten, dus kan het verticaal windprofiel voor deze site bepaald worden. Het verticaal windprofiel gedraagt zich in een bebouwde omgeving volgens de logaritmische wet (Plate, 1995):

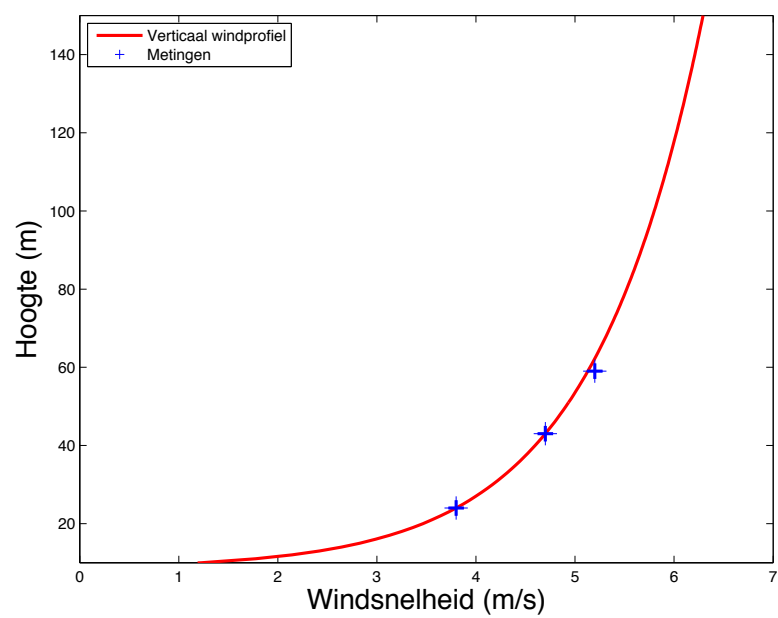
$$u(z) = \frac{u^*}{\kappa} \log \left(\frac{z - d}{z_0} \right) \quad (5.1)$$

waarbij $u(z)$ de windsnelheid is op hoogte z , u^* de wrijvingssnelheid, κ de von Karman constante (≈ 0.41), d de verplaatsingshoogte en z_0 de ruwheidslengte is. De ruwheidslengte z_0 geeft een indicatie over de ruwheid van het terrein. In de literatuur (Wieringa, 1992) kan men voor een bebouwde omgeving voor deze parameter waarden terugvinden van 1 tot 3 m. De verplaatsingshoogte d zorgt voor een verschuiving van het verticaal windprofiel tegenover grondniveau. Deze wet claimt dat onder deze hoogte, de windsnelheid gelijk is aan nul. In werkelijkheid is door allerlei locale effecten (kanalisering van de wind,...) deze claim niet correct, maar dit is niet belangrijk aangezien deze hoogte veelal te laag is voor het plaatsen van een kleine windturbine. De verplaatsingshoogte en ruwheidslengte zijn parameters die afhankelijk zijn van de locatie. De wrijvingssnelheid u^* bepaald de schaal van het windprofiel.

Door gebruik te maken van vergelijking 5.1 en de metingen kunnen de ruwheidsparameters geschat worden. In tabel 5.7 worden deze parameters voor de Elia-site weergegeven. In figuur 5.4 wordt het geschat verticaal windprofiel weergegeven en vergeleken met de gemeten waarde voor de drie overeenkomstige hoogtes. Hieruit blijkt dat op deze locatie de wind zich gedraagt volgens de logaritmische wet en de parameters goed geschat zijn.

Parameter	Waarde
Ruwheidslengte z_0	0.96 m
Verplaatsingshoogte d	6.0 m
Wrijvingssnelheid u^*	$0.53 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Tabel 5.7: Ruwheidsparameters voor de Elia-site



Figuur 5.4: Verticaal windprofiel

Analyse per maand

In tabellen 5.8 en 5.10 worden de maandelijkse gemiddelde en maximale windsnelheid weergegeven voor de drie meethoogtes. Per maand wordt ook de gemiddelde turbulentie-intensiteit berekend. Zoals verwacht neemt de windsnelheid toe met de hoogte en neemt de turbulentie af. De gemiddelde windsnelheid is ook merkkelijk hoger in de maanden oktober, december, januari en februari. Naast de windsnelheden en turbulentie-intensiteit, wordt er in tabel 5.8 ook een overzicht gegeven van de beschikbaarheid van de metingen. De beschikbaarheid op het einde van augustus en de hele maand september is laag. Door een probleem met het zonnepaneel en batterij in combinatie met een hoog stroomverbruik van de druksensor is het systeem een tijd off-line geweest. De toegang tot de mast op deze site was moeilijk te verkrijgen. Na een interventie begin oktober zijn deze problemen opgelost.

Maand	Gemiddelde windsnelheid op 59 m ($\frac{m}{s}$)	Maximale windsnelheid op 59 m ($\frac{m}{s}$)	Turbulentie Intensiteit op 59 m	Beschikbaarheid
Juli 2013	3,8	11,2	20 %	100 %
Augustus 2013	3,6	9,8	21 %	72 %
September 2013	2,9	6,3	17 %	13 %
Oktober 2013	5,1	16,3	20 %	84 %
November 2013	4,5	12,6	19 %	100 %
December 2013	6,0	17,5	19 %	100 %
Januari 2014	5,7	14,4	21 %	98 %
Februari 2014	7,0	17,2	20 %	100 %
Totaal	5,2	17,5	20 %	87 %

Tabel 5.8: Maandelijkse gemiddelde en maximale windsnelheid, turbulentie-intensiteit en beschikbaarheid op 59 m

Maand	Gemiddelde windsnelheid op 43 m ($\frac{m}{s}$)	Maximale windsnelheid op 43 m ($\frac{m}{s}$)	Turbulentie Intensiteit op 43 m
Juli 2013	3,5	9,9	23%
Augustus 2013	3,3	9,0	24%
September 2013	2,9	5,7	25%
Oktober 2013	4,7	15,0	22%
November 2013	4,0	11,4	22%
December 2013	5,5	16,5	21%
Januari 2014	5,3	12,9	23%
Februari 2014	6,3	15,9	22%
Totaal	4,7	16,5	22%

Tabel 5.9: Maandelijkse gemiddelde en maximale windsnelheid, turbulentie-intensiteit op 43 m

Maand	Gemiddelde windsnelheid op 24 m ($\frac{m}{s}$)	Maximale windsnelheid op 24 m ($\frac{m}{s}$)	Turbulentie Intensiteit op 24 m
Juli 2013	2,8	7,9	27%
Augustus 2013	2,5	7,7	27%
September 2013	2,2	4,7	26%
Oktober 2013	3,8	13,0	25%
November 2013	3,1	9,6	26%
December 2013	4,4	14,8	25%
Januari 2014	4,4	10,6	25%
Februari 2014	5,3	13,4	25%
Totaal	3,8	14,8	25%

Tabel 5.10: Maandelijksse gemiddelde en maximale windsnelheid, turbulentie-intensiteit op 24 m

De temperatuur wordt gemeten op de hoogte van de 4 bovenste anemometers (op 59 en 43m). In combinatie met de druksensor kan de luchtdichtheid op deze hoogtes worden afgeleid. Er werd echter gebruik gemaakt van slechts één druksensor op een hoogte van 30 m. Daarom werd de luchtdruk geëxtrapoleerd naar 59 en 43 m. Hiervoor werd gebruik gemaakt van de volgende vergelijking (Iribarne and Godson, 1981):

$$p(z) = p_0 \exp\left(\frac{-Z}{H}\right) \quad (5.2)$$

met H de hoogte van de atmosferische grenslaag 8000 m, z de hoogte, p de druk en p_0 de druk op zeeniveau. Met deze formule wordt de gemeten luchtdruk op 30 m, gebruikt om p_0 te berekenen. Met deze parameter kan de druk p op 43 m en op 59 m bepaald worden. In tabel 5.11 en 5.12 worden de resultaten weergegeven. Men kan vaststellen dat de luchtdichtheid tijdens de koelere maanden hoger is dan tijdens de zomermaanden.

Maand	Gemiddelde druk op 59 m (hPa)	Gemiddelde temperatuur op 59 m (°C)	Gemiddelde luchtdichtheid op 59 m ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)
Juli 2013	1009,6	22,1	1,19
Augustus 2013	1008,6	20,9	1,20
September 2013	1016,8	19,1	1,21
Oktober 2013	1004,7	15,0	1,22
November 2013	1006,1	8,4	1,25
December 2013	1008,2	8,3	1,25
Januari 2014	995,96	8,2	1,23
Februari 2014	994,02	8,7	1,23
Totaal	1005,8	12,5	1,23

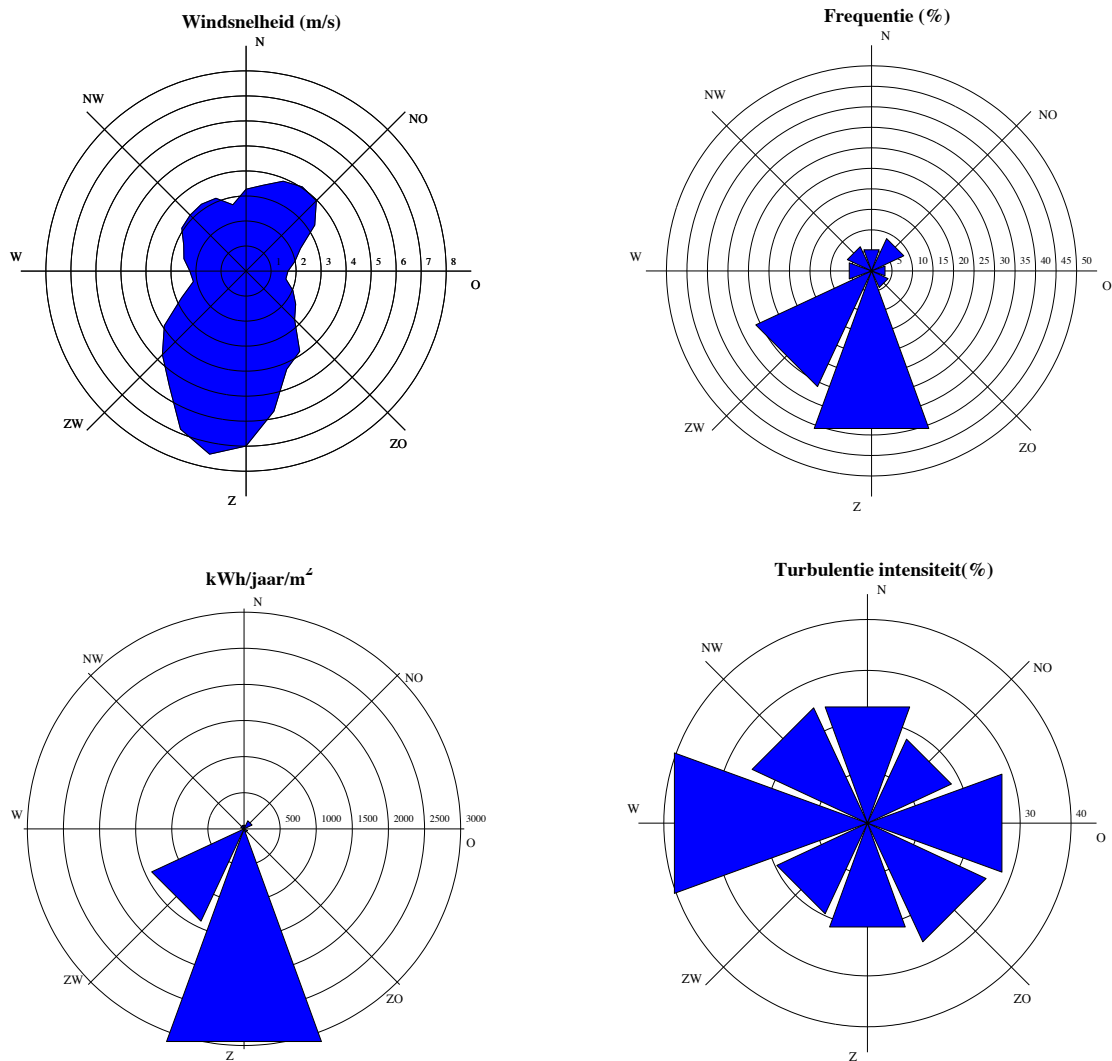
Tabel 5.11: Maandelijks gemiddelde temperatuur, druk en luchtdichtheid op 59 m

Maand	Gemiddelde druk op 43 m (hPa)	Gemiddelde temperatuur op 43 m (°C)	Gemiddelde luchtdichtheid op 43 m ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)
Juli 2013	1011,6	22,6	1,19
Augustus 2013	1010,6	21,3	1,20
September 2013	1018,9	19,5	1,21
Oktober 2013	1006,7	15,2	1,22
November 2013	1008,1	8,7	1,25
December 2013	1010,2	8,5	1,25
Januari 2014	997,95	8,4	1,24
Februari 2014	996,01	8,9	1,23
Totaal	1003,8	12,7	1,22

Tabel 5.12: Maandelijks gemiddelde temperatuur, druk en luchtdichtheid op 43 m

Analyse per windrichting

In figuur 5.5 wordt een windroos van de gemiddelde windsnelheid, frequentie, energie en turbulentie-intensiteit op de Elia-site weergegeven voor 59 m. In deze figuur is duidelijk de dominante windrichting af te lezen. Zowel de frequentie alsook de hoogste gemiddelde windsnelheid zijn zuid gericht. De turbulentie uit de westelijke richting is heel hoog. Dit wordt wellicht veroorzaakt door de gebouwen en Van Praetbrug ten westen van de mast.



Figuur 5.5: Wind roos van de gemiddelde windsnelheid, frequentie, energie en turbulentie op de Elia-site op 59 m

Schatting van de energieopbrengst

De windsnelheid op deze site is op drie verschillende hoogtes gemeten: 24 m, 43 m, en 59 m. Hierdoor kan de energieopbrengst voor elke turbine op elke meethoogte eenvoudig berekend worden. Toch moet er rekening gehouden worden met de praktische en economische haalbaarheid voor het installeren van een kleine windturbine op elke meethoogte. Het is bijvoorbeeld niet zinvol om een kleine windturbine op een mast van 59 m te plaatsen. Daarom werden de energieopbrengsten als volgt berekend:

- een installatie op grondniveau van de drie kleine (Windspire, Windspot en Windera IN S) en de twee middelgrote windturbines (Xant), alle op een ashoogte van 24 m,
- een installatie op grondniveau van de twee middelgrote windturbines (Xant) op een ashoogte van 43 m, en
- een installatie van de drie kleine windturbines met een totale ashoogte van 59 m, alsof ze op het dak van een imaginair gebouw op deze site geplaatst zijn (bijvoorbeeld een gebouw van 50 m met een aangepaste mast van 9 m).

In tabel 5.13 tot 5.16 worden de resultaten voor de schatting van de energieopbrengst per turbine en per meethoogte weergegeven. Aangezien hier over een kortere periode gemeten, is de energieopbrengst veel lager dan de bij Site 1. Door de kortere meetperiode kan ook de gemiddelde windsnelheid nog sterk veranderen. Door de data te extrapoleren naar een langere periode (zie sectie 6) kan er een betere vergelijking gemaakt worden tussen de verschillende sites.

Constructeur	Windspire Energy	Ennera Wind Components	Sonkyo Energy
Type	Windspire	Windera IN S	Windspot 7.5 kW
Nominaal vermogen	1.1 kW	3.3 kW	7.5 kW
Rotor diameter	D = 1.2 m H = 6.1 m	4.4 m	6.3 m
Gemiddelde Windsnelheid	5.2 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$	5.2 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$	5.2 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$
Ashoogte	59 m	59 m	59 m
Energieopbrengst Bruto	817 kWh	3789 kWh	6588 kWh
Operationeel verlies	5 %	5 %	5 %
Energieopbrengst Netto	777 kWh	3600 kWh	6259 kWh

Tabel 5.13: Resultaten energieopbrengst voor de geselecteerde kleine windturbines voor de Elia-site op 59 m

Constructeur	Xant	Xant
Type	Xant-21	Xant-23
Nominaal vermogen	100 kW	100 kW
Rotor diameter	21 m	23 m
Gemiddelde Windsnelheid	4.7 $\frac{m}{s}$	4.7 $\frac{m}{s}$
Ashoogte	43 m	43 m
Energieopbrengst Bruto	77241 kWh	90045 kWh
Operationeel verlies	5 %	5 %
Energieopbrengst Netto	73379 kWh	85543 kWh

Tabel 5.14: Resultaten energieopbrengst voor de middelgrote wind turbines voor de Elia-site op 43 m

Constructeur	Windspire Energy	Ennera Wind Components	Sonkyo Energy
Type	Windspire	Winder IN S	Windspot 7.5 kW
Nominaal vermogen	1.1 kW	3.3 kW	7.5 kW
Rotor diameter	D = 1.2 m H = 6.1 m	4.4 m	6.3 m
Gemiddelde Windsnelheid	3.8 $\frac{m}{s}$	3.8 $\frac{m}{s}$	3.8 $\frac{m}{s}$
Ashoogte	24 m	24 m	24 m
Energieopbrengst Bruto	340 kWh	1831 kWh	3143 kWh
Operationeel verlies	5 %	5 %	5 %
Energieopbrengst Netto	323 kWh	1739 kWh	2986 kWh

Tabel 5.15: Resultaten energieopbrengst voor de geselecteerde kleine windturbines voor de Elia-site op 24 m

Constructeur	Xant	Xant
Type	Xant-21	Xant-23
Nominaal vermogen	100 kW	100 kW
Rotor diameter	21 m	23 m
Gemiddelde Windsnelheid	$3.8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$3.8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
Ashoogte	24 m	24 m
Energieopbrengst Bruto	46681 kWh	54985 kWh
Operationeel verlies	5 %	5 %
Energieopbrengst Netto	44347 kWh	52236 kWh

Tabel 5.16: Resultaten energieopbrengst voor de middelgrote wind turbines voor de Elia-site op 24 m

5.3 Data-Analyse: De Haven van Brussel

De anemometers en de windvaan, alsook de temperatuur en luchtdruksensoren, loggers en het PV-paneel werden op een bestaande structuur (straatlamp), aanwezig op de site gemonteerd door de VUB in maart 2013. De straatlamp heeft een hoogte van 12m en werd uitgerust met twee anemometers (op 10 en 12 m boven grondniveau) en een windvaan (op 8m boven grondniveau) die de windsnelheid en windrichting meten, op drie niveaus. De VUB bezorgde 3E het installatierapport (zie sectie 3) en de 10-minuten meet data voor de periode van 22 maart tot 28 februari 2014. Er moet hierbij opgemerkt worden dat 3E aanneemt dat de ontvangen gegevens correct en accuraat zijn en dat de calibratiefactoren van de anemometers correct werden toegepast. Daar een sitebezoek geen deel uit maakt van deze studie en de kalibratiefactoren niet aangeleverd werden, kan 3E deze informatie niet verifiëren. Er werd nagegaan in hoeverre de meetcampagne de relevante criteria van de beste praktijken volgt ((IEA, 2003) en (MEASNET, 2009)). Hierbij worden volgende opmerkingen opgelijst:

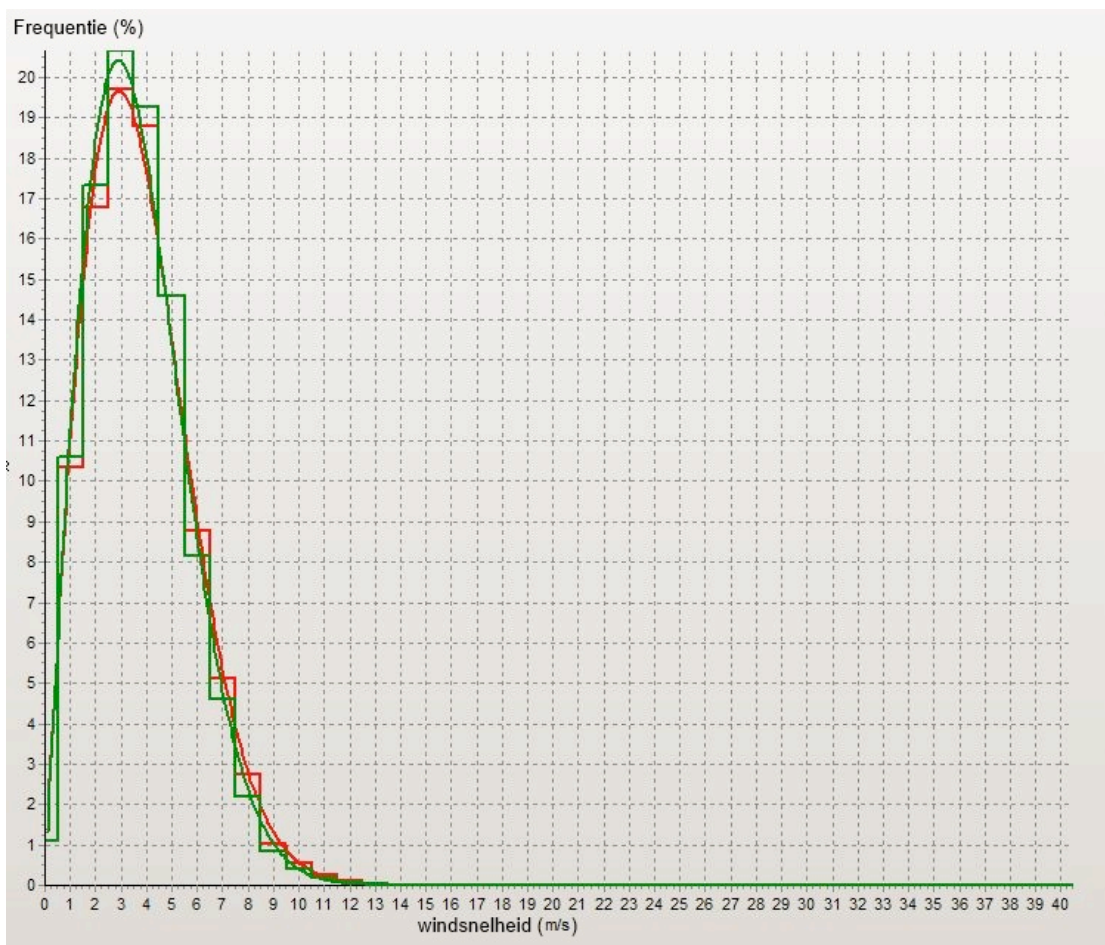
- Ondanks de installatie van de meettoestellen in maart, kon omwille van technische problemen de meetcampagne pas in juni starten.
- Op 17/06/2013, 18/06/2013 en 19/06/2013 werden afwijkende waarden geregistreerd. De periodes waarbij nulwaarden of te hoge waarden (windsnelheden boven 30 m/s) werden daarom verwijderd uit de metingen.
- Het masteffect kan niet worden gecorrigeerd daar slechts één anemometer per meethoogte werd geïnstalleerd.
- Tijdens de periode van 1/08/2013 en 10/08/2013 alsook de periode van 1/10/2013 tot 30/10/13 werd geen data ontvangen door problemen met de verzending van de data.
- Tussen 24/12/2013 en 17/01/2014 werd gedurende 18 dagen geen volledige dag aan data (2 tot 5 ontbrekende 10-minuut gemiddelde per dag) ontvangen. Op 14/01/2014 werd geen data ontvangen.
- De anemometers werden zo georiënteerd dat de wind in de richting van het kanaal niet beïnvloed wordt door de mast.

Algemene resultaten

De meetcampagne genereert bijna 9 maanden aan data (4 juni 2013 tot 28 februari 2014). Als gevolg van de dataverwerking werd hieruit een totale periode 7.4 maand data van voldoende kwaliteit geëxtraheerd. De gemiddelde windsnelheid, dominante windrichting en Weibull parameters kunnen teruggevonden worden in tabel 5.17. Figuur 5.6 geeft de frequenties en de Weibull verdeling weer.

Parameter	10m	12m
Gemiddelde windsnelheid	3.69 $\frac{m}{s}$	3.79 $\frac{m}{s}$
Dominante windrichting	SSW	SSW
Weibull A	4.14	4.26
Weibull k	1.9598	1.9279

Tabel 5.17: Resultaten Haven van Brussel



Figuur 5.6: Windverdeling van de site nabij de Haven van Brussel

Analyse per maand

Tabel 5.18 en 5.19 geeft de maandelijkse gemiddelde windsnelheid, turbulentie-intensiteit en beschikbaarheid weer. Deze waarden worden weergegeven voor zowel 10m als 12m.

Maand	Gemiddelde windsnelheid 10 m [$\frac{m}{s}$]	Turbulentie intensiteit 10m [%]	Beschikbaarheid 10 m [%]
juni 2013	3.72	22.70	96.7
juli 2013	3.28	21.46	100
augustus 2013	2.90	21.17	71
september 2013	3.01	21.61	100
oktober 2013	3.61	29.29	8.5
november 2013	3.28	24.65	100
december 2013	4.28	27.08	97
januari 2014	4.16	28.69	91.8
februari 2014	4.79	29.03	100
Totaal	3.69	25.63	84.5

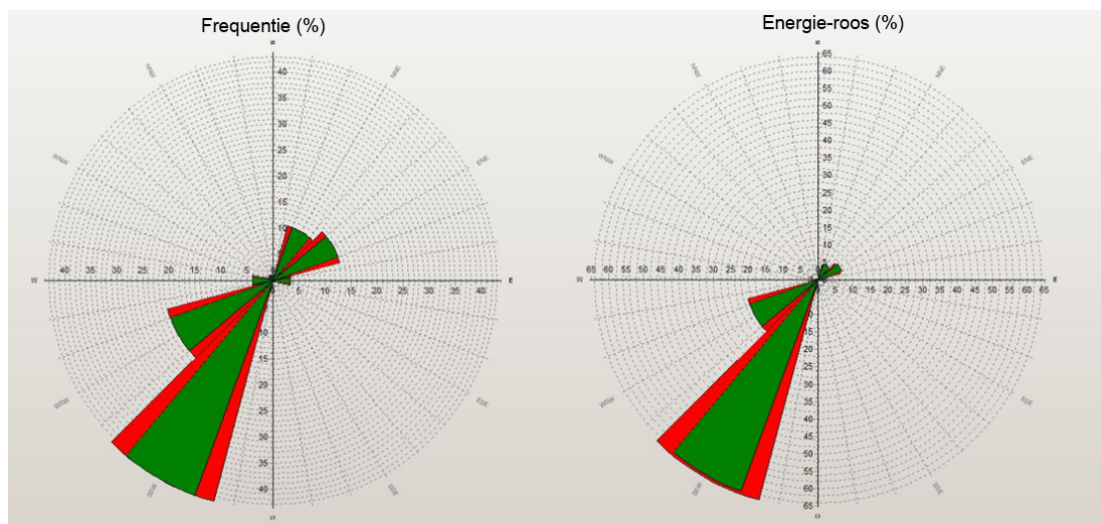
Tabel 5.18: Maandelijkse gemiddelde en maximale windsnelheid, turbulentie-intensiteit en beschikbaarheid op 10 m

Maand	Gemiddelde windsnelheid 12 m [$\frac{m}{s}$]	Turbulentie intensiteit 12 m [%]	Beschikbaarheid 12 m [%]
juni 2013	3.82	22.43	96.7
juli 2013	3.33	21.16	100
augustus 2013	2.96	20.69	71
september 2013	3.07	21.29	100
oktober 2013	3.76	28.55	8.5
november 2013	3.36	24.22	100
december 2013	4.43	26.49	97
januari 2014	4.31	28.13	91.8
februari 2014	4.98	28.53	100
Totaal	3.79	25.19	84.5

Tabel 5.19: Maandelijkse gemiddelde en maximale windsnelheid, turbulentie-intensiteit en beschikbaarheid op 12 m

Analyse per windrichting

In figuur 5.7 geeft de frequentie en energieroos weer. Westzuidwest is de meest voorkomende windrichting zowel qua frequentie als energie-inhoud. Doordat de wind langs het kanaal in zuidwestelijke of noordoostelijke richting wordt gestuwd, zijn de noordwestelijke en zuidoostelijke windrichtingen veel minder vertegenwoordigd.



Figuur 5.7: Windrozen op de site nabij de Haven van Brussel. De linkse figuur geeft de frequentie van de wind weer per windrichting op 12 m (rood) en 10 m (groen). De rechtse figuur geeft de energieroos weer op 12 m en op 10 m.

Schatting van de energieopbrengst

In een volgende stap werd de energieopbrengst voor verschillende types turbines berekend aan de hand van de uitgevoerde windmetingen en met behulp van de WindPro Software. Deze berekening werd uitgevoerd voor de vijf in een eerdere fase geselecteerde turbine types. De resultaten van de deze berekeningen worden weergegeven in tabellen 5.20 en 5.21. Op deze site is de windsnelheid op twee verschillende hoogtes gemeten dus kan in principe de windsnelheid geëxtrapoleerd worden naar de verschillende ashogtes van de windturbines. Toch kan deze extrapolatie niet uitgevoerd worden. Bij het verwerken van de data is er vastgesteld dat er geen logaritmische profiel (of toch met realistische parameters) door de data kan gefit worden. Dit wordt wellicht veroorzaakt door het trechtereffect door het kanaal. Het is dus niet wetenschappelijk verantwoord om een extrapolatie naar een andere ashoogte uit te voeren. De jaarlijkse energieopbrengst wordt daarom voor zowel de kleine als de middelgrote windturbines berekend op de grootste meethoogte.

Constructeur	Windspire Energy	Ennera Wind Components	Sonkyo Energy
Type	Windspire	Winder IN S	Windspot 7.5 kW
Nominaal vermogen	1.1 kW	3.3 kW	7.5 kW
Rotor diameter	D = 1.2 m H = 6.1 m	4.4 m	6.3 m
Gemiddelde Windsnelheid	3.8 $\frac{m}{s}$	3.8 $\frac{m}{s}$	3.8 $\frac{m}{s}$
Ashoogte	12 m	12 m	12 m
Energieopbrengst Bruto	493 kWh	3101 kWh	5321 kWh
Operationeel verlies	5 %	5 %	5 %
Energieopbrengst Netto	468 kWh	2946 kWh	5055 kWh

Tabel 5.20: Schatting van de jaarlijkse energieopbrengst voor de geselecteerde kleine windturbines aan de hand van de windmetingen voor de site nabij de Haven van Brussel op 12 m

Constructeur	Xant	Xant
Type	Xant-21	Xant-23
Nominaal vermogen	100 kW	100 kW
Rotor diameter	21 m	23 m
Gemiddelde Windsnelheid	$3.8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$3.8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
Ashoogte	12 m	12 m
Energieopbrengst Bruto	79188 kWh	94374 kWh
Operationeel verlies	5 %	5 %
Energieopbrengst Netto	75229 kWh	89655 kWh

Tabel 5.21: Schatting van de jaarlijkse energieopbrengst voor de middelgrote windturbines (Xant) aan de hand van de windmetingen voor de site nabij de Haven van Brussel op 12 m

5.4 Data-Analyse: ULB campus Solbosch

De anemometers en windvaan werden in april 2013 geïnstalleerd op een 9m hoge mast, boven op het hoogste gebouw van de ULB (35m hoog). De temperatuur en luchtdruk sensoren, logger en PV-paneel werden aan de voet van de mast opgesteld. De twee anemometers werden op dezelfde hoogte (9m), aan beide zijden van de mast (noordoost en zuidwest) geplaatst. De windvaan werd op 7.5m geïnstalleerd. De VUB bezorgde 3E het installatierapport (zie sectie 3) en de 10-minuten meetdata voor de periode van 15 april 2013 tot 28 februari 2014. Op deze meetdata werden de kalibratiefactoren reeds toegepast. Er moet hierbij opgemerkt worden dat 3E aanneemt dat de ontvangen gegevens correct en accuraat zijn en dat de kalibratiefactoren van de anemometers correct werden toegepast. Daar een sitebezoek geen deel uit maakt van deze studie en de kalibratiefactoren niet aangeleverd werden, kan 3E deze informatie niet verifiëren. Er werd nagegaan in hoeverre de meetcampagne de relevante criteria van de beste praktijken volgt ((IEA, 2003) en (MEASNET, 2009)). Hierbij worden volgende opmerkingen opgelijst:

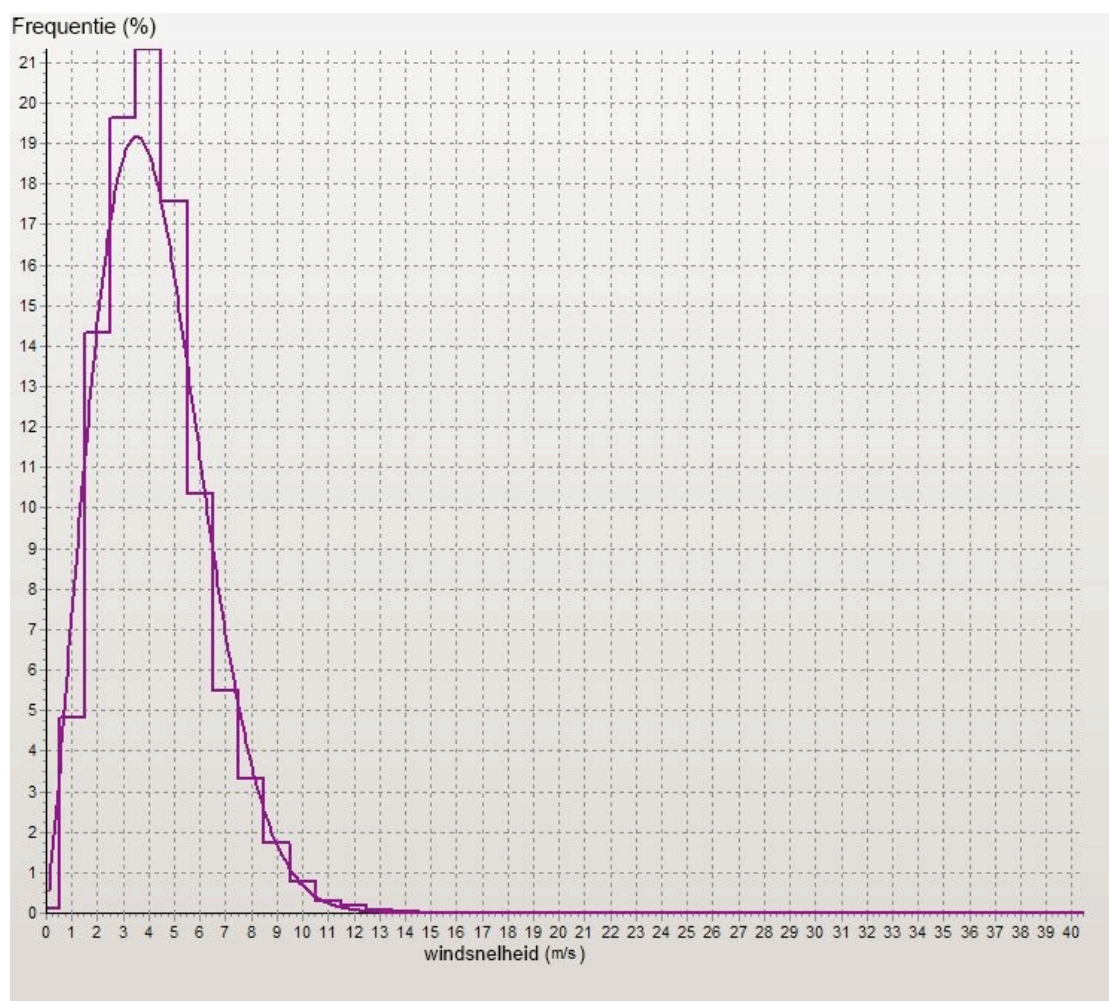
- Gedurende de volledige meetperiode werden afwijkende waarden (nulwaarden) van de windrichting geregistreerd. Daar de noordelijke windrichting geregistreerd wordt als 360° wijzen deze waarden op een foute, niet geregistreeerde waarde. Deze nulwaarden werden daarom verwijderd uit de metingen.
- Daar er twee anemometers op dezelfde hoogte geïnstalleerd werden, kon de meetdata worden gecorrigeerd voor masteffecten.

Algemene resultaten

De meetcampagne op deze site resulteert in 10.5 maanden aan winddata (15 april 2013 tot 28 februari 2014) van voldoende kwaliteit voor deze studie. De windmetingen werd uitgevoerd op slechts één meethoogte hetzij 9m. De twee anemometers werden aan beide zijden van de mast geplaatst waardoor het mogelijk was te corrigeren voor het masteffect. De gemiddelde windsnelheid, dominante windrichting en Weibull parameters kunnen teruggevonden worden in tabel 5.22. Figuur 5.8 geeft de frequenties en de Weibull verdeling weer.

Parameter	9 m
Gemiddelde windsnelheid	$4.22 \frac{m}{s}$
Dominante Windrichting	WSW, SSW
Vorm parameter Weibull k	4.70
Schaal parameter Weibull A	2.1528

Tabel 5.22: Resultaten ULB campus Solbosch



Figuur 5.8: Windverdeling ULB campus Solbosch

Analyse per maand

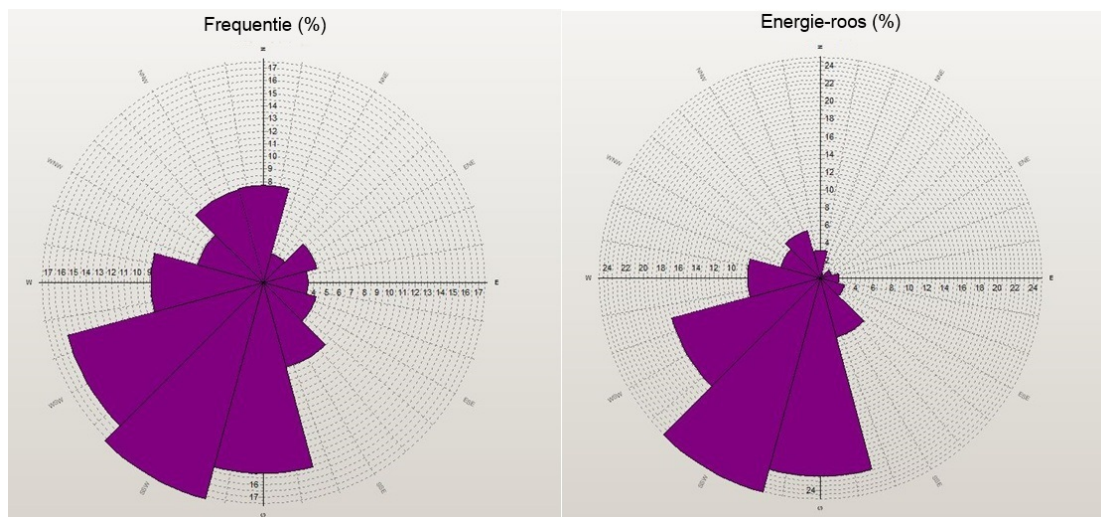
Tabel 5.23 geeft de maandelijkse gemiddeld windsnelheid, turbulentie-intensiteit en beschikbaarheid weer.

Maand	Gemiddelde windsnelheid op 9 m [$\frac{m}{s}$]	Turbulentie Intensiteit op 9 m [%]	Beschikbaarheid [%]
April 2013	3.81	27.47	94.8
mei 2013	3.95	25.17	95.8
juni 2013	4.00	26.13	92.7
juli 2013	3.09	26.48	93.5
augustus 2013	3.42	22.95	96.6
september 2013	3.61	22.70	99
oktober 2013	4.61	23.89	99.5
november 2013	3.94	25.25	95.2
december 2013	5.23	24.96	99.6
januari 2014	5.23	25.49	99.5
februari 2014	5.87	26.29	100
Totaal	4.22	25.26	97

Tabel 5.23: Maandelijkse gemiddelde, turbulentie-intensiteit en beschikbaarheid voor de ULB campus Solbosch

Analyse per windrichting

De windroos van de frequentie en energie wordt op figuur 5.9 weergegeven. Deze figuur toont aan dat zuidzuidwest en westzuidwest de meest voorkomende windrichtingen zijn. De zuidzuidwestelijke windrichting is tegelijk ook deze met de meeste energie-inhoud, gevolgd door de zuidelijke windrichting.



Figuur 5.9: Windrozen op de ULB campus Solbosch. De linkse figuur geeft de frequentie van de wind weer per windrichting. De rechtse figuur geeft de energieroos weer.

Schatting van de energieopbrengst

Ook voor deze site werd vervolgens de verwachte energie-opbrengst berekend op basis van de windmetingen en voor de geselecteerde turbinetypes. Tabellen 5.24 en 5.25 geeft de resultaten van deze berekeningen mee. Aangezien de windsnelheid slechts op één hoogte werd gemeten kan de windsnelheid niet geëxtrapoleerd naar de ashoogte van de verschillende windturbines. Daarom wordt voor alle windturbines éézelfde ashoogte (hoogte meetdata) toegepast.

Constructeur	Windspire Energy	Ennera Wind Components	Sonkyo Energy
Type	Windspire	Windera IN S	Windspot 7.5 kW
Nominaal vermogen	1.1 kW	3.3 kW	7.5 kW
Rotor diameter	D = 1.2 m H = 6.1 m	4.4 m	6.3 m
Gemiddelde Windsnelheid	4.2 $\frac{m}{s}$	4.2 $\frac{m}{s}$	4.2 $\frac{m}{s}$
Ashoogte	9 m	9 m	9 m
Gebouwhoogte	32 m	32 m	32 m
Energieopbrengst Bruto	641 kWh	3805 kWh	6549 kWh
Operationeel verlies	5 %	5 %	5 %
Energieopbrengst Netto	622 kWh	3615 kWh	6222 kWh

Tabel 5.24: Schatting van de jaarlijkse energieopbrengst voor de geselecteerde kleine windturbines op 9 m hoogte boven het dak van de ULB Campus Solbosch

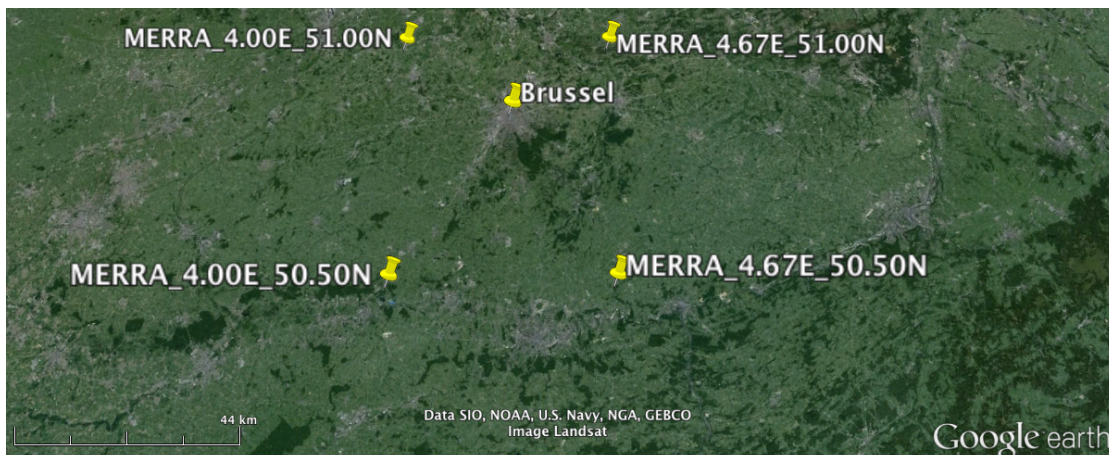
Constructeur	Xant	Xant
Type	Xant-21	Xant-23
Nominaal vermogen	100 kW	100 kW
Rotor diameter	21 m	23 m
Gemiddelde Windsnelheid	4.2 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$	4.2 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$
Ashoogte	9 m	9 m
Gebouwhoogte	32 m	32 m
Energieopbrengst Bruto	96894 kWh	115324 kWh
Operationeel verlies	5 %	5 %
Energieopbrengst Netto	92049 kWh	109558 kWh

Tabel 5.25: Schatting van de jaarlijkse energieopbrengst voor de middelgrote windturbines op 9 m hoogte boven het dak van de ULB Campus Solbosch

De langetermijnvoorspellingen werden uitgevoerd door Jochem Vermeir, Industriële ingenieurswetenschappen (INDI), Vrije Universiteit Brussel (VUB) (The Hotel en Elia) en Lien Van Breusegem, 3E (Haven van Brussel en ULB campus Solbosch). Om het eindrapport consistent te houden, zijn beide analyses in dit eindrapport verwerkt.

6.1 Methodologie

Aangezien de metingen over een korte meetperiode zijn uitgevoerd en om na te gaan of de metingen eventueel tijdens een uitzonderlijk jaar zouden uitgevoerd zijn, worden de vergaarde data geëxtrapoleerd naar een termijn van 20 jaar. Hiervoor wordt er gebruik gemaakt van 4 MERRA (Modern-era retrospective analysis for research and applications, 2014) datasets. Deze datasets worden gegenereerd door de combinatie van weerkundige modellen en metingen. Deze modellen bepalen verschillende weerkundige parameters (zoals windsnelheid, windrichting, temperatuur, druk,...) voor verschillende breedte- en lengtegraden. Voor deze studie gebruiken we vier punten dichtbij Brussel waarvoor data beschikbaar is. In figuur 6.1 zijn de locaties van de MERRA datasets weergegeven ten opzichte van Brussel. De meetperiode van deze datasets is van 1 januari 1993 tot 31



Figuur 6.1: Ligging MERRA datasets

januari 2014. Hierdoor kan er dus een schatting gemaakt worden van de gemiddelde windsnelheid en energieopbrengst van de geselecteerde windturbines over een periode van 20 jaar (wat algemeen wordt aangenomen als de verwachte levensduur van kleine windturbines). Vooral de MCP-methode (Measure-correlate-predict) wordt toegepast

voor de extrapolatie van de datasets, wordt de correlatiefactor bepaald. Deze geeft de correlatie aan tussen de twee datasets voor de overeenkomstige periode. Een correlatiefactor van 1 geeft een perfecte correlatie aan, 0 de afwezigheid van enige correlatie. Na het berekenen van de correlatiefactor wordt de dataset gekozen die de beste correlatie weergeeft. De MCP-methode (in deze studie wordt lineaire regressie toegepast (Rogers et al., 2005)) bepaalt de lineaire relatie tussen de kortetermijn- en de langetermijndataset voor de overeenkomstige meetperiode. Deze relatie wordt gebruikt om de windsnelheid op de kandidaat site (korte termijn dataset) \hat{u}_c , te schatten met de windsnelheid op de referentie site u_r (langetermijndataset):

$$\hat{u}_{c,\theta} = a_\theta u_{r,\theta} + b_\theta \quad (6.1)$$

In deze vergelijking is de helling a , de verhouding van de standaarddeviatie σ_c op de kandidaat site en de standaarddeviatie σ_r op de referentiesite voor de overeenkomstige periode:

$$a_\theta = \frac{\sigma_{c,\theta}}{\sigma_{r,\theta}} \quad (6.2)$$

De verschuiving b is afhankelijk van de gemiddelde windsnelheid (μ_r en μ_c) op beide sites alsook van de standaarddeviatie op beide sites:

$$b_\theta = \mu_{c,\theta} - \frac{\sigma_{c,\theta}}{\sigma_{r,\theta}} \mu_{r,\theta} \quad (6.3)$$

Vergelijkingen 6.1 en 6.3 worden dan gebruikt om een langetermijnschatting uit te voeren van de windsnelheid van de kandidaat site. Op deze manier kan dan ook de jaarlijkse energieopbrengst bepaald worden voor de kandidaatsite.

6.2 Langetermijnvoorspelling voor The Hotel

In tabel 6.1 worden de correlatiefactoren voor elke dataset weergegeven. Deze vergelijking toont aan dat voor The Hotel, dataset MERRA 4.0E 50.5N de beste correlatie heeft. Deze dataset wordt dan ook gebruikt om een langetermijnextrapolatie toe te passen. Het resultaat van de langetermijnextrapolatie is een nieuwe tijdreeks van verwachte windsnelheden en -richtingen op de locatie van de mast over een 21-jaar referentieperiode (1993-2014). Door gebruik te maken van de nieuwe tijdreeks kan de jaarlijkse energieopbrengst berekend worden voor elke turbine.

Dataset	R
MERRA 4.67E 51N	0.8663
MERRA 4.0E 51N	0.8663
MERRA 4.67E 50.5N	0.8790
MERRA 4.0E 50.5N	0.8783

Tabel 6.1: Correlatiefactor datasets

In tabel 6.2 en 6.3 worden de resultaten van de MCP methode getoond voor alle turbines. Zoals vermeld in sectie 5 wordt dezelfde ashoogte toegepast voor alle windturbines (er is geen extrapolatie van de windsnelheid naar een andere hoogte dan de meethoogte mogelijk). De 21-jarige gemiddelde windsnelheid verschilt minder dan 2%

Constructeur	Windspire Energy	Ennera Wind Components	Sonkyo Energy
Type	Windspire	Winder IN S	Windspot 7.5 kW
Nominaal vermogen	1.1 kW	3.3 kW	7.5 kW
Rotor diameter	D = 1.2 m H = 6.1 m	4.4 m	6.3 m
Gemiddelde Windsnelheid	5.6 $\frac{m}{s}$	5.6 $\frac{m}{s}$	5.6 $\frac{m}{s}$
Ashoogte	9 m	9 m	9 m
Energieopbrengst Bruto	1776 kWh/jaar	8173 kWh/jaar	14201 kWh/jaar
Operationeel verlies	5 %	5 %	5 %
Energieopbrengst Netto	1687 kWh/jaar	7764 kWh/jaar	13491 kWh/jaar

Tabel 6.2: Langetermijnschatting van de jaarlijkse energieopbrengst voor de geselecteerde kleine windturbines voor The Hotel op 9 m

van de gemeten gemiddelde windsnelheid. Hieruit kunnen we besluiten dat de metingen zijn uitgevoerd in een gemiddeld jaar wat betreft de windsnelheid.

Constructeur	Xant	Xant
Type	Xant ₂₁	Xant ₂₃
Nominaal vermogen	100 kW	100 kW
Rotor diameter	21 m	23 m
Gemiddelde Windsnelheid	5.6 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$	5.6 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$
Ashoogte	9 m	9 m
Energieopbrengst Bruto	208330 kWh/jaar	240590 kWh/jaar
Operationeel verlies	5 %	5 %
Energieopbrengst Netto	197914 kWh/jaar	228561 kWh/jaar

Tabel 6.3: Langetermijnschatting van de jaarlijkse energieopbrengst voor de middelgrote windturbines voor The Hotel op 9 m

6.3 Langetermijnvoorspelling voor Elia

In tabel 6.4 worden de correlatiefactoren voor elke dataset weergegeven. Deze vergelijking toont aan dat voor Elia de correlatiefactoren lager liggen dan voor The Hotel. Dit is wellicht te wijten aan de korte meetperiode. Voor deze site wordt MERRA 4.0E 50.5N gebruikt om de data te extrapoleren naar de langere termijn.

Dataset	R
MERRA 4.67E 51N	0.7744
MERRA 4.0E 51N	0.7805
MERRA 4.67E 50.5N	0.7861
MERRA 4.0E 50.5N	0.7889

Tabel 6.4: Correlatiefactor datasets voor de Elia-site

In tabellen 6.5 tot 6.8 worden de resultaten van de MCP methode getoond voor alle turbines en alle verschillende meethoogtes. Zoals vermeld in sectie 5 wordt een langetermijnschatting van de jaarlijkse energieopbrengst berekend voor:

- drie kleine windturbines op 59 m,
- twee middelgrote windturbines op 43 m en
- drie kleine en twee middelgrote windturbines op 59 m.

We zien dat na de extrapolatie de windsnelheid lager ligt dan wat gemeten werd gedurende de meetperiode. Dit wordt veroorzaakt door de relatief gunstige periode (herfst en winter) waarin de metingen hebben plaats gevonden.

Constructeur	Windspire Energy	Ennera Wind Components	Sonkyo Energy
Type	Windspire	Winder IN S	Windspot 7.5 kW
Nominaal vermogen	1.1 kW	3.3 kW	7.5 kW
Rotor diameter	D = 1.2 m H = 6.1 m	4.4 m	6.3 m
Gemiddelde Windsnelheid	4.4 $\frac{m}{s}$	4.4 $\frac{m}{s}$	4.4 $\frac{m}{s}$
Ashoogte	59 m	59 m	59 m
Energieopbrengst Bruto	941 kWh/jaar	4804 kWh/jaar	8280 kWh/jaar
Operationeel verlies	5 %	5 %	5 %
Energieopbrengst Netto	894 kWh/jaar	4564 kWh/jaar	7866 kWh/jaar

Tabel 6.5: Langetermijnschatting van de jaarlijkse energieopbrengst voor de geselecteerde kleine windturbines voor de Elia-site op 59 m

Constructeur	Xant	Xant
Type	Xant ₂₁	Xant ₂₃
Nominaal vermogen	100 kW	100 kW
Rotor diameter	21 m	23 m
Gemiddelde Windsnelheid	4.0 $\frac{m}{s}$	4.0 $\frac{m}{s}$
Ashoogte	43 m	43 m
Energieopbrengst Bruto	94016 kWh/jaar	111160 kWh/jaar
Operationeel verlies	5 %	5 %
Energieopbrengst Netto	89315 kWh/jaar	105602 kWh/jaar

Tabel 6.6: Langetermijnschatting van de jaarlijkse energieopbrengst voor de middelgrote wind turbines voor de Elia-site op 43 m

Constructeur	Windspire Energy	Ennera Wind Components	Sonkyo Energy
Type	Windspire	Winder IN S	Windspot 7.5 kW
Nominaal vermogen	1.1 kW	3.3 kW	7.5 kW
Rotor diameter	D = 1.2 m H = 6.1 m	4.4 m	6.3 m
Gemiddelde Windsnelheid	3.2 $\frac{m}{s}$	3.2 $\frac{m}{s}$	3.2 $\frac{m}{s}$
Ashoogte	24 m	24 m	24 m
Energieopbrengst Bruto	302 kWh/jaar	1956 kWh/jaar	3322 kWh/jaar
Operationeel verlies	5 %	5 %	5 %
Energieopbrengst Netto	287 kWh/jaar	1858 kWh/jaar	3156 kWh/jaar

Tabel 6.7: Langetermijnschatting van de jaarlijkse energieopbrengst voor de geselecteerde kleine windturbines voor de Elia-site op 24 m

Constructeur	Xant	Xant
Type	Xant-21	Xant-23
Nominaal vermogen	100 kW	100 kW
Rotor diameter	21 m	23 m
Gemiddelde Windsnelheid	$3.2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$3.2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
Ashoogte	24 m	24 m
Energieopbrengst Bruto	51692 kWh/jaar	61284 kWh/jaar
Operationeel verlies	5 %	5 %
Energieopbrengst Bruto	49107 kWh/jaar	58220 kWh/jaar

Tabel 6.8: Langetermijnschatting van de jaarlijkse energieopbrengst voor de middelgrote wind turbines voor de Elia-site op 24 m

6.4 Langetermijnvoorspelling voor de Haven van Brussel

Tabel 6.9 geeft de correlatie tussen de vier MERRA datasets en de meetcampagne weer. De resultaten tonen aan dat de MERRA-dataset 4.6E 51N resulteert in de beste correlatie. Deze dataset werd dan ook geselecteerd om de langetermijnextrapolatie uit te voeren.

Dataset	R
MERRA 4.67E 51N	0.7248
MERRA 4.0E 51N	0.7100
MERRA 4.67E 50.5N	0.6826
MERRA 4.0E 50.5N	0.6749

Tabel 6.9: Correlatiefactor datasets voor de Haven van Brussel

Gezien de lage correlatie tussen de dataset en de windmetingen, alsook de impact van de kanaalwind op de windstroming geeft 3E er de voorkeur om de Wind Index MCP methode te gebruiken (Thøgersen et al., 2007). Daar bij deze methode de maandelijkse correlatie, die meestal hoger ligt, wordt geëvalueerd, is deze methode ook bij lagere correlaties nog geschikt is. Gezien de lage beschikbaarheid met weinig data in verschillende maanden werd ervoor gekozen de dagelijkse wind Index te berekenen voor alle dagen waarvoor voldoende data beschikbaar was. Het resultaat van de Wind Index methode is een langetermijncorrectiefactor, die wordt gebruikt om de wind data van de kortetermijnperiode, te corrigeren.

Type turbine	Langetermijncorrectiefactor
Windspire	0.91
Winder IN S	1.00
Windspot	0.96
Xant-21	1.00
Xant- 23	0.98

Tabel 6.10: Langetermijncorrectiefactor

De correctiefactor, zoals weergegeven in tabel 6.10 werd vervolgens gebruikt om de resultaten van de productieberekening te herrekenen. Hiervoor werd een productieberekening uitgevoerd enkel rekening houdend met de dagen waarvoor meetdata voor (bijna) de volledige dag beschikbaar is maw enkel met die dagen waarvoor minstens 100 waarden werden geregistreerd . De resultaten van deze herrekening worden 6.14 en 6.15 meegegeven. Zoals vermeld in sectie5 is er geen extrapolatie mogelijk en dus wordt voor alle turbines éézelfde ashoogte toegepast van 12 m.

Constructeur	Windspire Energy	Ennera Wind Components	Sonkyo Energy
Type	Windspire	Winder IN S	Windspot 7.5 kW
Nominaal vermogen	1.1 kW	3.3 kW	7.5 kW
Rotor diameter	D = 1.2 m H = 6.1 m	4.4 m	6.3 m
Ashoogte	12 m	12 m	12 m
Energieopbrengst Bruto	372 kWh/jaar	2718 kWh/jaar	4471 kWh/jaar
Operationeel verlies	5 %	5 %	5 %
Energieopbrengst Netto	353 kWh/jaar	2582 kWh/jaar	4247 kWh/jaar

Tabel 6.11: Langetermijnschatting van de jaarlijkse energieopbrengst voor de geselecteerde kleine windturbines voor de site nabij de Haven van Brussel op 12 m

Constructeur	Xant	Xant
Type	Xant ₂₁	Xant ₂₃
Nominaal vermogen	100 kW	100 kW
Rotor diameter	21 m	23 m
Ashoogte	12 m	12 m
Energieopbrengst Bruto	69899 kWh/jaar	81785 kWh/jaar
Operationeel verlies	5 %	5 %
Energieopbrengst Netto	66404 kWh/jaar	77695 kWh/jaar

Tabel 6.12: Langetermijnschatting van de jaarlijkse energieopbrengst voor de middelgrote wind turbines voor de site nabij de Haven van Brussel op 12 m

6.5 Langetermijnvoorspelling voor de ULB campus Solbosch

In tabel 6.13 worden de correlaties met de vier omringende MERRA-datasets weergegeven. Ook hier geeft de MERRA-dataset 4.67E51N de beste correlatie met de windmetingen.

Dataset	R
MERRA 4.67E 51N	0.8463
MERRA 4.0E 51N	0.8264
MERRA 4.67E 50.5N	0.8258
MERRA 4.0E 50.5N	0.8100

Tabel 6.13: Correlatiefactor datasets voor de ULB campus Solbosch

De correlatie is voor deze site hoog genoeg om een langetermijnextrapolatie aan de hand van de lineaire regressie MCP methode uit te voeren. Op basis van deze extrapolatie kan de jaarlijkse energieopbrengst over de lange termijn berekend worden. Er is voor deze site slechts één meethoogte dus wordt voor alle windturbines éénzelfde ashoogte toegepast.

Constructeur	Windspire Energy	Ennera Wind Components	Sonkyo Energy
Type	Windspire	Winder IN S	Windspot 7.5 kW
Nominaal vermogen	1.1 kW	3.3 kW	7.5 kW
Rotor diameter	D = 1.2 m H = 6.1 m	4.4 m	6.3 m
Gemiddelde Windsnelheid	4.0 $\frac{m}{s}$	4.0 $\frac{m}{s}$	4.0 $\frac{m}{s}$
Ashoogte	9 m	9 m	9 m
Energieopbrengst Bruto	483 kWh/jaar	3201 kWh/jaar	5475 kWh/jaar
Operationeel verlies	5 %	5 %	5 %
Energieopbrengst Netto	459 kWh/jaar	3041 kWh/jaar	5202 kWh/jaar

Tabel 6.14: Langetermijnschatting van de jaarlijkse energieopbrengst voor de geselecteerde kleine windturbines voor ULB campus Solbosch op 9m

Constructeur	Xant	Xant
Type	Xant ₂₁	Xant ₂₃
Nominaal vermogen	100 kW	100 kW
Rotor diameter	21 m	23 m
Gemiddelde Windsnelheid	4.0 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$	4.0 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$
Ashoogte	9 m	9 m
Energieopbrengst Bruto	81547 kWh/jaar	97740 kWh/jaar
Operationeel verlies	5 %	5 %
Energieopbrengst Netto	77470 kWh/jaar	92853 kWh/jaar

Tabel 6.15: Langetermijnschatting van de jaarlijkse energieopbrengst voor de middelgrote windturbines voor ULB campus Solbosch op 9m

Na drie à vier maanden werden de windresultaten geëvalueerd op basis van een tussentijdsverslag. Op basis van deze resultaten werden twee sites geselecteerd met het grootste potentieel om een rendabele kleine windturbine te installeren. Dit zijn niet noodzakelijk de twee sites met de hoogste windsnelheden maar ook andere zaken, zoals een eenvoudige installatie van een kleine windturbine, werden in beschouwing genomen. De sites die zijn geselecteerd in overleg met de partners in dit project (op de tussentijdse vergadering van 17/09/2013) zijn:

- The Hotel, omwille van het grote windpotentieel
- De Haven van Brussel, redelijk windpotentieel in combinatie met een (wellicht) eenvoudigere installatie van een kleine windturbine

Deze twee sites zijn gebruikt voor de uitvoering van de haalbaarheidsstudie in dit project. In deze haalbaarheidsstudie worden de volgende aspecten bestudeerd:

- Omgevingsparameters
 - Geluid
 - Schaduwhinder
 - Biodiversiteit
 - Zichtbaarheid
- Technische en veiligheidsaspecten
- Aansluiting op het netwerk
- Analyse van de vliegroutes
- Economische aspecten

Al deze aspecten worden in dit hoofdstuk nader toegelicht. Deze haalbaarheidsstudie werd uitgevoerd door verschillende partners in het project. Hieronder een overzicht welke partner, welk deel van de studie heeft uitgevoerd:

- Geluid: Jan Decuyper en Tim De Troyer, Industriële ingenieurswetenschappen (INDI), Vrije Universiteit Brussel
- Schaduwhinder: Patrick Hendrick, Aéro-Thermo-Mécanique (ATM), Université Libre de Bruxelles
- Biodiversiteit: Patrick Hendrick, Aéro-Thermo-Mécanique (ATM), Université Libre de Bruxelles

- Zichtbaarheid: Jan Klaas Van Den Meersche, Multimedia en communicatietechnologie (Multec), Erasmushogeschool Brussel
- Technische en veiligheidsaspecten: Danny Van Hemelrijck en Alexandros Iliopoulos, Mechanica van Materialen en Constructies (MeMC), Vrije Universiteit Brussel
- Aansluiting op het netwerk: Tim De Troyer en Jochem Vermeir, Industriële ingenieurswetenschappen (INDI), Vrije Universiteit Brussel
- Analyse van de vliegroutes: Tim De Troyer, Industriële ingenieurswetenschappen (INDI), Vrije Universiteit Brussel
- Economische aspecten: Lien Van Breusegem en Nicolaz Guidon, 3E

7.1 Omgevingsparameters: Geluid

Oorsprong van het geluid

Bij het plaatsen van een windturbine in een dichtbevolkt gebied zoals het Brussels Hoofdstedelijk Gewest moet erop worden toegezien dat de mogelijke hinder voor de omwonenden minimaal is. Om de mate waarin geluidsoverlast een rol zou kunnen spelen na te gaan wordt een schatting gemaakt van de geluidsniveaus veroorzaakt door kleine windturbines op enkele relevante plaatsen rondom. Deze methode wordt herhaald voor de verschillende voorgestelde windturbines en voor de twee geselecteerde locaties voor de haalbaarheidsstudie. Deze resultaten worden dan vergeleken met de regelgeving omtrent geluidsoverlast.

Geluid geproduceerd door een windturbine kent in het algemeen twee mogelijke oorzaken: mechanisch of aerodynamisch. Het mechanisch geluid is afkomstig van de relatieve beweging van de roterende componenten en hun onderlinge interactie, resulterend in trillingen. Voorbeelden hiervan zijn de o.a. de lagers van de rotoras en de yawbeweging, en de generator. Deze mechanische trillingen planten zich vooral voort via de behuizing en de mast, en worden eerder in beperkte mate rechtstreeks afgestraald als een geluidsgolf. Dit is bijzonder relevant bij het plaatsen van een windturbine op het dak van een gebouw. Deze mechanische trillingen planten zich immers voort doorheen de structuur van het gebouw en kunnen bouwelementen (ramen, vloeren, plafonds) exciteren, met als gevolg extra geluidsafstraling binnen in het gebouw. Het aerodynamisch geluid van een windturbine, afkomstig van de interactie van de luchtstroom en de turbinebladen, straalt rechtstreeks af en plant zich voort door de lucht als een zuivere geluidsgolf.

Schatting van het geluid voortgeplant door de lucht

In deze sectie worden aan de hand van geluidsniveaus geleverd door de windturbinefabrikant, conform de IEC 61400-11 norm¹ voorspellingen gedaan met betrekking tot de te verwachten geluidproductie. In dit deel wordt daarbij gefocust op het geluid dat zich door de lucht voortplant. We berekenen het ontvangen geluid voor twee plaatsen, zijnde de ruimte net onder de turbine en het gebouw het dichtst gelegen bij de voorgestelde locatie van de turbine (rekening houdend met de overheersende windrichting). In het geval dat een openbare plaats, zoals een straat of park, dichterbij gelegen is wordt dit als referentie gebruikt.

Gezien slechts weinig akoestische data van de voorgestelde windturbine types voorhanden is, wordt geopteerd deze berekening twee maal uit te voeren:

- Een eerste maal voor een gelijkaardige kleine windturbine (de Evance R9000: HAWT met een nominaal vermogen van 5.2 kW en een rotordiameter 5.5 m) waarvoor akoestische data als functie van de windsnelheid gekend zijn.
- Een tweede maal voor de geselecteerde modellen: De Windspot en de Windspire. Om voor deze modellen tot akoestische data als functie van de windsnelheid te komen werden gegevens die door de fabrikant werden vrijgegeven, gecombineerd met de relatie tussen het geluidsniveau en de windsnelheid zoals deze is vastgesteld bij de Evance R9000. Door aan te nemen dat het geluid volgens een gelijkaardige trend

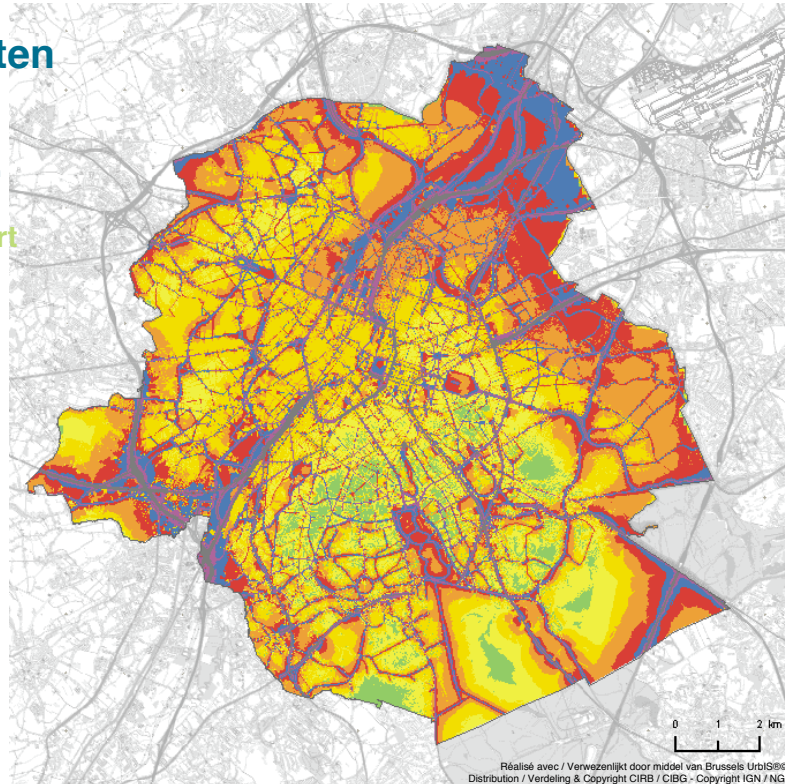
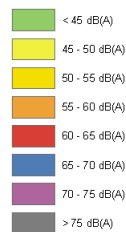
¹Wind turbine generator - Deel 11: Akoestische geluidsmeting technieken

Geluidskaarten

2006

Globale indicator L_{den}

Multi-
blootstellingskaart



Figuur 7.1: Omgevingsgeluid in Brussel: geluidsblootstelling aan wegverkeer, trein-, tram-, en vliegverkeer. (Uit: Strategische geluidskaarten voor het Brussels Hoofdstedelijk Gewest, BIM, 2010.)

zal evolueren bij andere windsnelheden, maken we een schatting van de geluidsniveaus geproduceerd door beide types. Voor de Windera zijn er geen akoestische gegevens ter beschikking.

De geluidsniveaus, gegeven per windsnelheid, worden vervolgens gecombineerd met de effectief waargenomen windsnelheden op de sites. Zo kan er een beeld geschetst worden van de grootte-orde maximale geluidsoverlast. Deze berekening wordt uitgevoerd voor de maand met de hoogst gemeten windsnelheden, met name december. Het resultaat is een vertaling van een procentuele weergave van de tijd dat een bepaalde windsnelheid gemeten werd naar een procentuele weergave van de tijd dat een bepaald geluidsniveau waarneembaar zou zijn. Verder wordt ook de dag geïdentificeerd waarop de windsnelheden het hoogst waren. Specifiek voor die dag wordt, conform met de Europese regelgeving², de L_{den} (level day-evening-night) waarde berekend. Dit is een maat om de geluidsbelasting door omgevingslawaai uit te drukken. Geluidskaarten worden aan de hand van L_{den} waarden opgesteld. Een recente geluidskaart voor Brussel uit 2006 is te zien in figuur 7.1. Bij de berekeningen is rekening gehouden met de internationaal erkende standaard ISO 9613-2, Acoustics-Attenuation of sound during propagation outdoors.

²Directieve omgevingsgeluid, 2002/49/EC

The Hotel

- **Locatie 1** Omdat voor The Hotel de wind overheersend uit het westen waait wordt als referentiepunt het dichtstbijzijnde gebouw in oostelijke richting geselecteerd. De onderlinge afstand tot op hub-hoogte wordt op 95 m geschat.

Voor de Evance R9000 bedraagt L_{den} 66.5 dB(A). De geluidsafstraling is verdeeld als volgt:

Bin (m/s)	dB(A)-range	% van de tijd
3.5 - 7.5	32-36	17
7.5 - 9.5	36-42	8
9.5 - \geq 12.5	42-48	20

Voor de Windspot bedraagt L_{den} 67.6 dB(A). De geluidsafstraling wordt geschat op:

Bin (m/s)	dB(A)-range	% van de tijd
3.5 - 6.5	25-30	11
6.5 - 8.5	30-34	10
8.5 - 10.5	34-38	9
10.5 - 13.5	38-43	10
13.5 - 15.5	43-47	2
15.5 - 17.5	47-51	1
17.5 - \geq 20.5	51-56	1

Voor de Windspire bedraagt L_{den} 66.9 dB(A). De geluidsafstraling wordt geschat op:

Bin (m/s)	dB(A)-range	% van de tijd
3.5 - 6.5	31-37	11
6.5 - 9.5	37-43	14
9.5 - \geq 12.5	43-48	19

- **Locatie 2** Het tweede referentiepunt wordt recht onder de turbine, in de bovenste ruimte van het gebouw gekozen en vervolgens gecorrigeerd met een gemiddelde akoestische-isolatiefactor voor het dak. Voor de Evance R9000 is de geluidsafstraling als volgt:

Bin (m/s)	dB(A)-range	% van de tijd
3.5 - 7.5	3-7	17
7.5 - 9.5	7-13	8
9.5 - \geq 12.5	13-19	19

De geluidsafstraling van de Windspot wordt geschat op:

Bin (m/s)	dB(A)-range	% van de tijd
6.5 - 9.5	1-7	14
9.5 - 12.5	7-12	12
12.5 - 14.5	12-16	4
14.5 - 16.5	16-20	2
16.5 - 18.5	20-24	2
18.5 - \geq 20.5	24-27	1

De geluidsafstraling van de Windspire wordt geschat op:

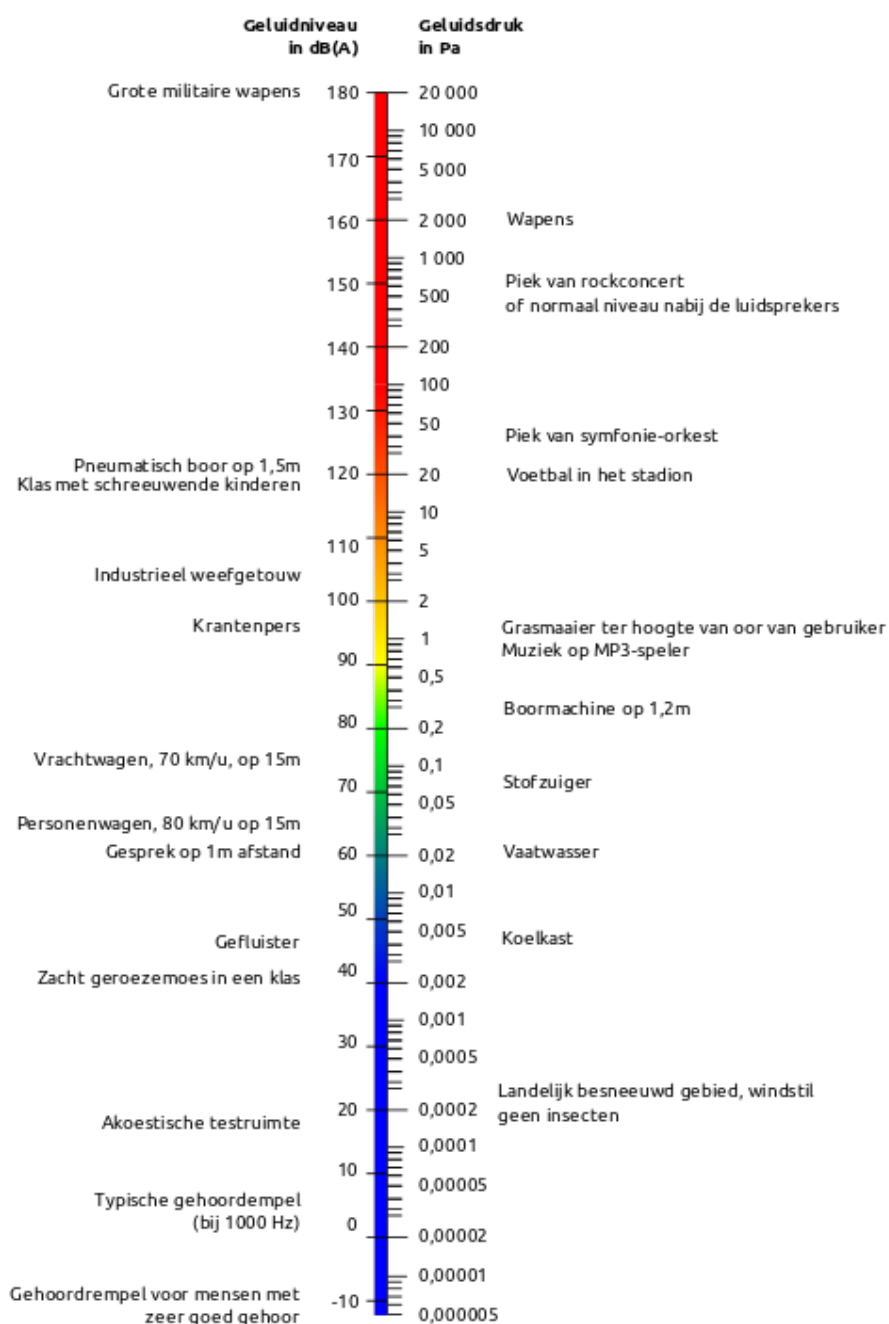
Bin (m/s)	dB(A)-range	% van de tijd
3.5 - 6.5	2-8	11
6.5 - 9.5	8-14	14
9.5 - \geq 12.5	14-19	19

Merk op dat de som van de tijdspercentages niet gelijk is aan 100%. We herinneren eraan dat hier de berekening van de grootst mogelijke geluidsoverlast gemaakt wordt, zijnde voor de bewoner die het dichtst bij in het zog van de turbine woont, rekening houdend met de dominante windrichting. Niet vervat in dit tijdspercentage zijn dus de momenten wanneer de wind uit een andere windrichting komt of wanneer er geen wind is. In die gevallen is het geluidsniveau voor de beschouwde omwonenden immers beperkt. Een geluidverzwakking van 3 à 4 dB(A) stroomopwaarts en in laterale richting is aannemelijk omwille van de geluidsgerichtheid. Hierdoor zullen de tijdspercentages zoals hierboven vermeld naar de lagere geluidsniveaus verschuiven.

Besluiten We kunnen besluiten dat zowel bij de Evance R9000 turbine als bij de schattingen van de Windspot en de Windspire de maximale geluidsniveaus laag blijven, zowel voor het dichtstbijzijnde gelegen gebouw als voor de ruimte net onder de windturbine (structurele geluidsoverdracht niet in rekening gebracht). De uitzonderlijk hoge tijdspercentages die gezien worden bij de hoge windsnelheden komen uiteraard voort uit de keuze van data van de meest winderige maand december, om zodoende het worst-case scenario te schetsen. Een maatstaf voor de grootte van de geluidsniveaus is gegeven in figuur 7.2. De berekenende L_{den} waarden vallen voor elke turbine binnen de ‘gematigde klasse’, zoals gehanteerd op een geluidskaart, niettegenstaande ze berekend werden voor de dag met de meest genoteerde wind van het jaar. Er kan verwacht worden dat een gematigde dag resulteert in een waarde voor L_{den} die als ‘laag’ wordt beschouwd.

Haven van Brussel

- **Locatie 1** In de haven van Brussel waait de wind dominant uit het zuid-zuid-westen. Een studie van het terrein wijst echter aan dat in noord-noord-oostelijke richting (zog van de turbine) het dichtstbijzijnde gebouw zich pas op een ruime 380 m bevindt. Rekening houdend met de schaal van de voorgestelde turbines kan gesteld worden dat op dit punt geen enkele geluidshinder waarneembaar zal zijn. Daarom wordt er voor deze site geopteerd de geluidsberekening door te voeren voor het dichtstbijzijnde gelegen bewoond gebouw. De onderlinge afstand tot op hub-hoogte wordt op 40 m geschat.



Figuur 7.2: Maatstaf voor de grootte van de geluidsniveaus

Voor de Evance R9000 is de geluidsafstraling als volgt:

Bin (m/s)	dB(A)-range	% van de tijd
3.5 - 5.5	39-41	0.2

De geluidsafstraling van de Windspot wordt geschat op:

Bin (m/s)	dB(A)-range	% van de tijd
3.5 - 5.5	32-36	0.2

De geluidsafstraling van de Windspire wordt geschat op:

Bin (m/s)	dB(A)-range	% van de tijd
3.5 - 5.5	39-43	0.2

- **Locatie 2** Het tweede referentiepunt wordt op de aanliggende straat gekozen. op zo'n 20 m afstand. Voor de Evance R9000 is de geluidsafstraling als volgt:

Bin (m/s)	dB(A)-range	% van de tijd
3.5 - 5.5	45-47	0.2

De geluidsafstraling van de Windspot wordt geschat op:

Bin (m/s)	dB(A)-range	% van de tijd
3.5 - 5.5	38-42	0.2

De geluidsafstraling van de Windspire wordt geschat op:

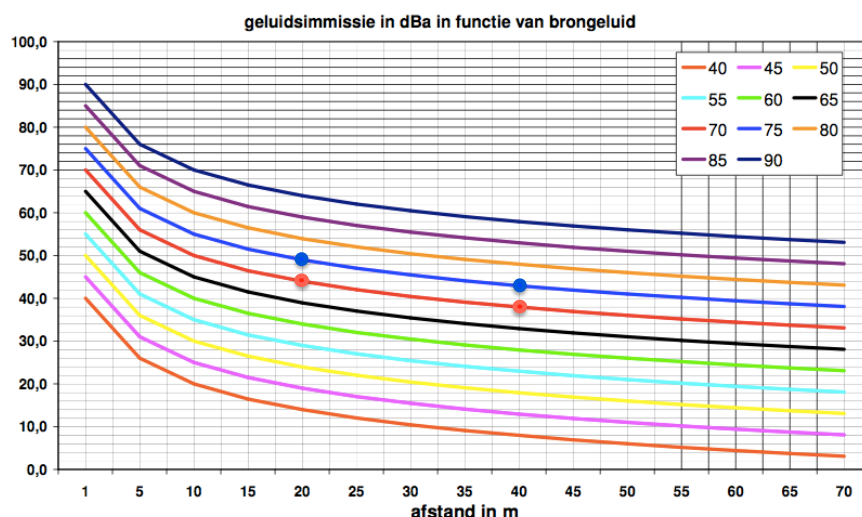
Bin (m/s)	dB(A)-range	% van de tijd
3.5 - 5.5	45-49	0.2

Besluiten Analyse van de winddata geeft weer dat het gebouw zich slechts in een heel beperkt percentage van de tijd in het zog van de windturbine zal bevinden en dat daarenboven de windsnelheden zich beperken tot lage waarden. Er kan daarom aangenomen worden dat er geen geluidshinder zal optreden. We herinneren eraan dat deze uitzonderlijk lage tijdspercentages gezien bij de lage geluidsniveaus in realiteit iets hoger zullen liggen door geluid geproduceerd wanneer de wind uit de overige windrichtingen komt. Ook de geluidsniveaus die op de aanliggende straat waarneembaar zijn vallen ruimschoots onder bvb. het geluid geproduceerd door een voorbijrijdende auto (zie figuur 7.3. Gezien het kleine tijdspercentage waarvoor een zeker geluid waarneembaar zou zijn was een berekeningen van L_{den} hier niet zinvol.

Richtlijnen van de Vlaamse overheid omtrent de inplanting van kleine en middelgrote windturbines

In een omzendbrief³ van de Vlaamse overheid, gericht aan lokale besturen en potentiële vergunningsaanvragers, worden enkele vereisten gesteld met betrekking tot de geluidsim-

³Omsendbrief LNE/2009/01 - RO/2009/01 Beoordelingskader voor de inplanting van kleine en middelgrote windturbines



Figuur 7.3: Geluidsmissie als functie van het brongeluid en de afstand van de bron

missie van kleine windturbines. De vergunningverlenende overheid zal bijgevolg slechts een vergunningsaanvraag aanvaarden wanneer aan deze criteria voldaan is.

De richtwaarden die gegeven worden zijn uitgedrukt als functie van het zogenaamde brongeluid (dit is het geluid dat de windturbine produceert bij een wind van 5 m/s, gemeten op een afstand van 1 m) en de afstand van de waarnemer tot de bron. Voor de site ‘The Hotel’ (woongebied) bedraagt deze waarde 39 dB(A). Gezien de site ‘De Haven van Brussel’ zich op minder dan 500 m van de haven van Brussel bevindt (industrie) geldt hier de richtwaarde 49 dB(A). De brongeluiden van de beschouwde windturbine modellen zijn als volgt:

	brongeluid db(A)
Evance R9000	73
Windspot	70
Windspire	74

Zoals te zien is in figuur 7.3 vallen de geluidsmissiewaarden van alle turbines op de afstanden 20 m en 40 m (de Haven van Brussel) onder de 49 dB(A) richtlijn. In het geval van ‘The Hotel’ is de afstand van 96 m niet meer weergegeven al geeft de trend duidelijk aan dat de waarden onder de 39 dB(A)-lijn zullen vallen.

Evaluatie van het geluid doorgegeven via structuregebonden trillingen

Aangezien in een stedelijke omgeving het dak van een gebouw qua windpotentieel bijzonder interessant is, is een evaluatie van de impact die mogelijke trillingen op het gebouw kunnen hebben zeker een vereiste. De structuregebonden trillingen kunnen, in uitzonderlijk krachtige gevallen, buiten het genereren van geluid ook de integriteit van de structuur in gedrang brengen. De mate waarin structuregebonden trillingen zullen voorkomen wordt beïnvloed door drie voornaamste factoren:

- de windturbine zelf, zijnde de bron van het geluid en trillingen,

- het bevestigingsmechanisme van de turbine op het dak; inclusief de mast en de aanhechting,
- het gebouw zelf, met haar eigen resonantiefrequenties, wat zorgt voor de voortplanting van de trillingen en de afstraling van geluid.

De grote afhankelijkheid van deze sitegebonden factoren maakt dat een gedetailleerde studie van structuregebonden trillingen, hoewel absoluut noodzakelijk voor een goede installatie met beperkte hinder, buiten de scope van deze haalbaarheidsstudie valt. Hierna geven we een beknopt overzicht van de bestaande methodologie, als startpunt voor een latere diepgaande haalbaarheidsstudie.

Aanpak voor de karakterisatie van structuregebonden geluidsbronnen

Aan de hand van de Europese Standaard⁴ wordt een karakteristiek structuregebonden *sound power level* (SPL) gedefinieerd, gebaseerd op het karakteristiek vermogen.

Voor de karakterisatie van structuregebonden geluidsbronnen is steeds meetdata van zowel de bron als de ontvanger (structuur) vereist. Twee mogelijke categorieën van methodes worden kort toegelicht. De eerste categorie beslaat vooral vereenvoudigde voorspellingsmethoden zoals de ontvangst-plaat-methode of verschillende andere methodes gebaseerd op het vergaren van de nodige data van de zogenaamde ‘vrije snelheid’ en van de ‘blocked-forces’. Doordat zulke standaardmethodes steeds een specifieke bevestigingsmethode voorschrijven, zijn deze voor dit specifiek geval van een windturbine niet realiseerbaar. Een aanpak die wel toepasbaar is, is de zogenaamde ‘in situ blocked force’ aanpak. Hierbij worden ter plaatse gemeten trillingsniveaus gecorrigeerd door het ‘verwijderen’ van de eigenschappen van de bevestigingsmethode, de mast en het gebouw resulterend in een intrinsieke karakterisatie van de bron in termen van ‘blocked forces’. Eenvoudig gesteld zijn dit de hypothetische dynamische krachten die de windturbine in kwestie zou uitoefenen op een perfect rigide basis onder gegeven omstandigheden.

Een tweede categorie is gebaseerd op een aantal theoretische concepten die uitgaan van de mogelijke manieren om de bron- en ontvangstdata te processen. De complexe vermogensfunctie die de interactie tussen de bron en de ontvanger beschrijft wordt hierbij gemanipuleerd wat twee coëfficiënten oplevert: een bronbeschrijving en een koppelfunctie. De bronbeschrijving is onafhankelijk van de ontvanger en kan geïnterpreteerd worden als de mogelijkheid van de bron om vermogen te leveren. Een uitbreiding hierop voor het geval van een meerpuntsbevestiging wordt gegeven door ‘het concept van effectieve mobiliteit’.

Conclusie

Op basis van deze beknopte akoestische haalbaarheidsstudie besluiten we dat de plaatsing van een kleinschalige windturbine op de voorgestelde sites niet zal leiden tot geluidshinder voor de buurt. Weliswaar biedt enkel een uitgebreidere studie, op basis van gedetailleerde akoestische gegevens en alle topografische en bouwtechnische aspecten van de site, een volledig overzicht van de impact van een windturbine. Voornamelijke de interactie van structuregebonden trillingen met de omgeving kan, afhankelijk van de site, een belangrijke impact hebben.

⁴EN 12354-5 Bouwakoestiek - Geluidsniveaus veroorzaakt door gebouwuitrusting

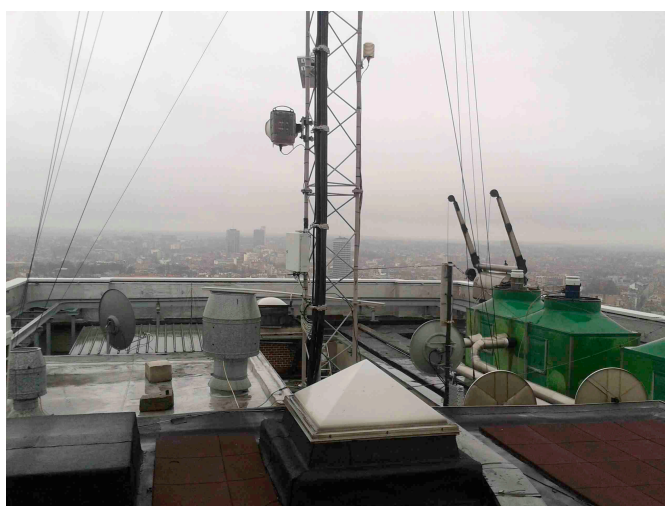
7.2 Omgevingsparameters: Schaduwhinder

Inleiding

Op basis van de resultaten van de windmeetcampagne uitgevoerd door de VUB werden twee sites in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest geselecteerd als potentiële kandidaten voor de installatie van een kleine windturbine. Er werden drie verschillende windturbine modellen voorgesteld, één VAWT en twee HAWT. Voor deze twee sites moet een haalbaarheidsstudie worden uitgevoerd; een onderdeel hiervan is een studie naar de visuele impact van de schaduw die op de omliggende gebieden geworpen wordt. De impact die de schaduw kan hebben wordt voor beide sites en voor elk moment van de dag onderzocht. Verder wordt ook de mogelijke hinder onderzocht die ondervonden kan worden door de reflectie van zonlicht en de daaruit volgende schittering op de windturbinebladen. De impact van windturbines (geluidshinder, slagschaduw, trillingen, veiligheidsaspecten, waardevermindering van het terrein) schrikken de gemeenschap af ((APERRE, 2004) en (Caca, 2007) en (Thielemans et al., 2009)). Al heerst er een toenemende wil om onafhankelijk te zijn op vlak van energie, kampen er nog velen met het NIMBY (not in my back yard)-syndroom.

Sites

Tijdens de vergadering van het consortium met het Brussels Gewest (IBGE-BIM) van 17 september 2013 werden de twee te bestuderen sites geselecteerd, zijnde 'The Hotel' en 'De haven van Brussel'. Voor de site 'The Hotel' (vroegere Hilton) betreft het het dak van het gebouw, gelegen dicht bij de Naamse poort. Het dak van het gebouw bevindt zich op een hoogte van 96 m, gemeten vanaf de aanliggende Waterloolaan, waarmee het tot de hoogste gebouwen van Brussel behoort (figuur 7.4).



Figuur 7.4: Zicht op het dak van The Hotel

Bij de site 'De haven van Brussel' gaat het in feite over de kanaalzone Brussel-Charleroi gelegen in de omgeving van het hoofdkwartier van de haven, het terrein van Tour en Taxis en de nieuwe site van IBGE-BIM (figuur 7.5).



Figuur 7.5: Site nabij de Haven van Brussel

Visuele impact, slagschaduw en reflecties

De visuele impact die windturbines kunnen hebben kent verschillende aspecten. Zo is er de verandering van het landschap en/of de bebouwde omgeving, het stroboscopisch effect afkomstig van de slagschaduw en in sommige gevallen (vaker het geval voor kleine windturbines) de reflectie van zonlicht op de windturbinebladen en constructiematerialen tijdens de installatie met een felle schittering als gevolg.

Slagschaduw en het stroboscopisch effect (shadow flicker)

De projectie van de schaduw van de roterende rotor kan een stroboscopisch effect tot gevolg hebben en zo aanleiding geven tot hinder, zeker wanneer deze schaduw op de binnenkant van een woonkamer of een werkplaats valt. Om van dit fenomeen last te ondervinden moeten echter elk van de volgende condities simultaan voorkomen (figuur 7.6 tot 7.9) :

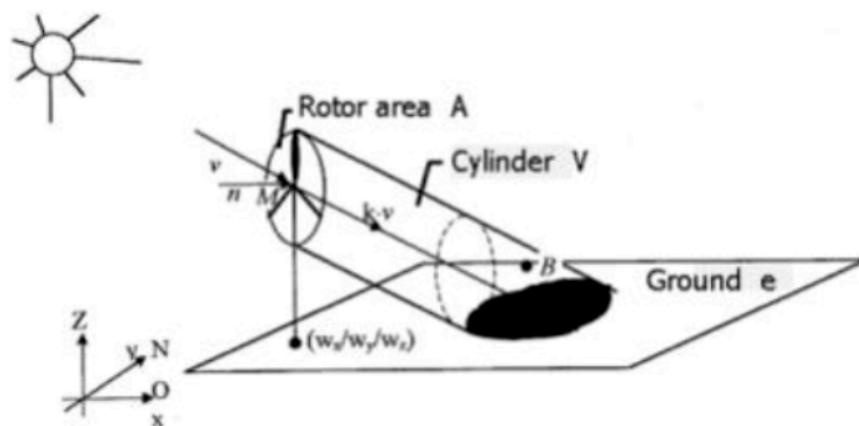
- Zonnig weer bij een heldere hemel.
- Voldoende wind om de rotor in beweging te brengen.
- De positie van de zon, rekening houdend met de positie van de windturbine, die aanleiding geeft tot een projectie van de schaduw op een aanliggend gebouw, een werkplaats of een woonzone.

- De oriëntatie van de ramen van het gebouw in kwestie, gericht naar de windturbine.
- Geen vegetatie of visuele obstructies gelegen in het pad tussen de windturbine en het gebouw in kwestie.



Figuur 7.6: Schaduw van een windturbine

Where Shadow Flicker Falls



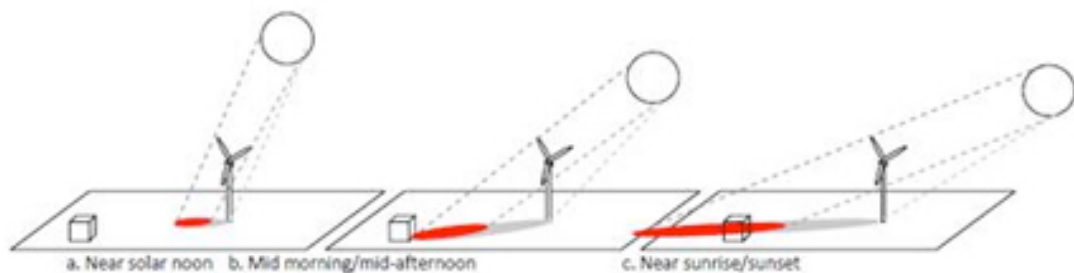
(from *Update of UK Shadow Flicker Evidence Base*)

Figuur 7.7: Schema dat het effect van schaduwhinder benadrukt

Het risico op hinder, gerelateerd aan het stroboscopisch effect, kan op een eenvoudige manier geïdentificeerd worden en vormt geen reëel probleem daar de oorzaak van de hinder kan worden aangepakt aan de bron, zijnde de windturbinebladen. Betreffende



Figuur 7.8: Schaduwhinder op een huis, op een schaal die representatief is voor middelgrote tot grote windturbines

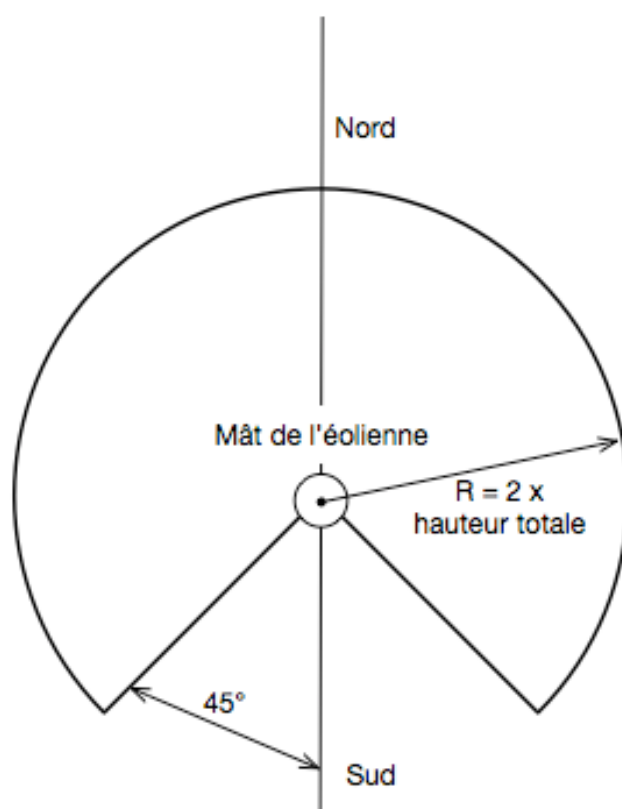


Figuur 7.9: Effect van de stand van de zon

de definitie van de maximale drempelwaarde qua blootstelling aan slagschaduw van een windturbine verwijst men steeds naar de Duitse norm. Hierin is vastgelegd dat de toelaatbare drempel equivalent is met 30 uren op jaarbasis en 30 minuten per dag bij een klare hemel (APERRE, 2004). Deze waarden vallen te berekenen op basis van de hoeveelheid uren zonneshijns (statistische gegevens afkomstig van het KMI) en tijdens dewelke schaduw zou kunnen geprojecteerd worden op een gebouw (statistische gegevens met betrekking tot windrichting, geleverd door het KMI). In het geval van een overschrijding van de norm zal een automatisch rotor-stop-systeem moeten voorzien worden, ook wel *shadow module* genoemd. De installatie van dergelijk systeem leidt uiteraard tot een meerkost. In sommige gevallen valt deze extra kost te verwaarlozen, bijvoorbeeld in het geval van een windpark, maar in het geval van een specifieke plaatsing van een laagvermogen-windturbine kan dit een substantieel verschil maken. Daarenboven mag het verlies aan geproduceerde elektriciteit tijdens een stop van de turbine niet verwaarloosd worden. Een andere optie is eenvoudigweg het voorzien van vegetatie tussen de windturbine en het gebouw of het werken met zonneschermen aan de ramen.

Binnen het kader van de referenties met betrekking tot de inplanting van windturbines in Wallonië, gepubliceerd door het RW (Région Wallonne), wordt een minimale afstand van 250 m aangeraden. Vanop dergelijke afstand kan de geprojecteerde schaduw als verwaarloosbaar beschouwd worden voor de menselijke omgeving. Logischerwijs is de onderlinge afstand tot de windturbine afhankelijk van zijn oriëntatie. De afstand wordt geschat op 300 m in de omgeving van het Noorden en gaande tot 700 m in de richting van het Oosten en het Westen. Deze waarden werden specifiek bekomen voor het geval van grote windturbines of windparken, niet voor kleine windturbines of het specifieke geval van een windturbine die bovenop een gebouw werd geplaatst.

In Vlaanderen werd in een recente omzendbrief een kader ter evaluatie van de inplanting van kleine en middelgrote windturbines gedefinieerd waarbinnen dezelfde waarden worden gehanteerd zoals gegeven in de Duitse norm, namelijk 30 uur/jaar maximaal. Maar dit is te beschouwen van op een afstand gelijk aan twee keer de totale hoogte van de windturbine. In het geval van een windturbine die op een dak van een gebouw wordt geplaatst, dient de hoogte van het gebouw toegevoegd te worden aan die van de windturbine. Figuur 7.10 toont een schema van de zone waarbinnen de schaduw afkomstig van een windturbine een bron van hinder zou kunnen vormen voor de omwonenden.



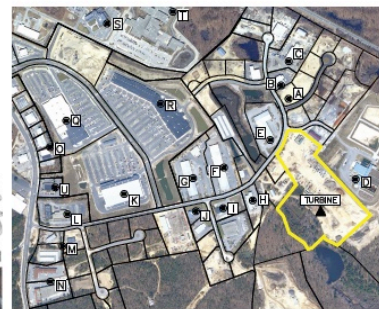
Figuur 7.10: Perimeter waarbij de schaduw een bron van overlast kan zijn (Van Mechelen and Crevits, 2009)

In Brussel bestaat er tot op heden geen enkele norm betreffende de specifieke impact van windturbines. We kunnen echter wel refereren naar de normen van de regionale buur-

gebieden. De principes zoals ze verklaard worden in de Vlaamse omzendbrief (Van Mechele and Crevits, 2009) lijken de meest adequate aangezien ze hier specifiek de parameter ‘kleine’ windturbine in rekening nemen (Mertens (2008) en Cace (2007)). Het is belangrijk te benadrukken dat de aanwezigheid van bewoners binnen de minimale aangeraden afstanden niet rechtstreeks tot de weigering van de inplanting van een windturbine leidt. In dit geval moet er een diepgaande studie plaatsvinden die gedetailleerd de perimeter in kwestie nader onderzoekt. Voor dergelijke gedetailleerde studies kan gebruik gemaakt worden van softwarepakketten, op de markt te verkrijgen (figuur 7.11 en 7.12).

Shadow Flicker Studies

Shadow flicker from wind turbines is the effect resulting from the shadows cast by the rotating turbine blades in a sunny day. Through the use of our software programs developed by EMD international, we can accurately calculate the experienced shadow flicker at specific locations surrounding a proposed turbine.



This modeling uses geometry and site specific data to estimate the number of hours per year that shadows could be cast on general areas as well as specific locations, or “receptors”, chosen around the site.

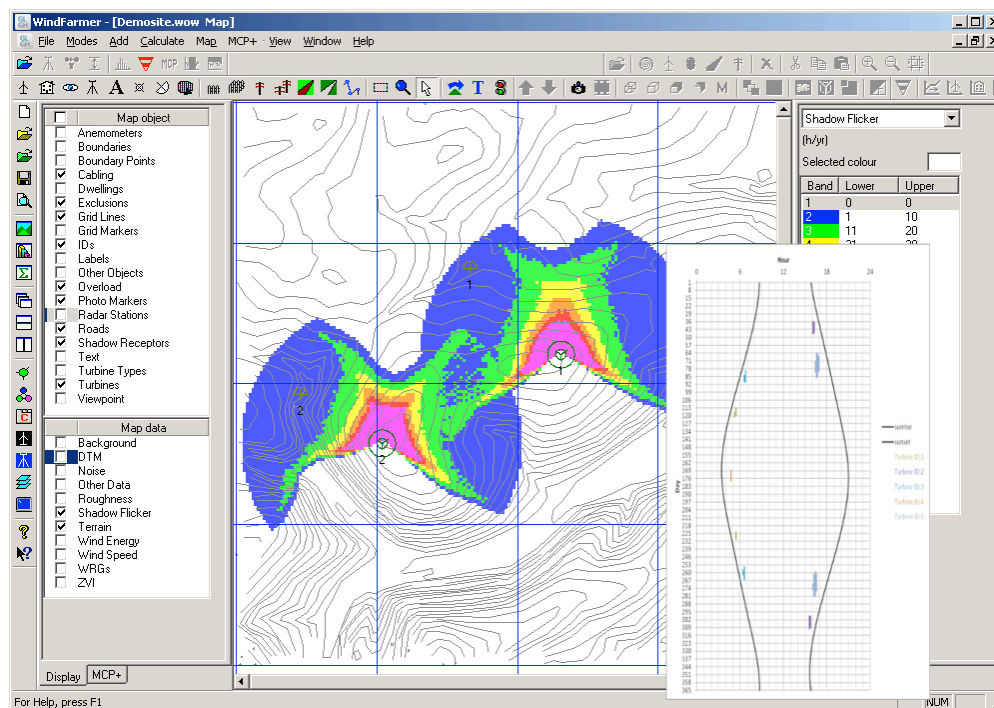
Figuur 7.11: Tool voor het voorspellen van de schaduwhinder

Reflecties en schitteringen van de turbinebladen

Buiten het stroboscopisch effect kan er ook een visueel ongemak ontstaan te wijten aan de reflectie van zonlicht op de bladen van de windturbine. Dit fenomeen kan in sommige gevallen door voorbijgangers als schitteringen worden waargenomen of erger nog, door voorbijrijdende wagens. Deze weinig frequente problemen kunnen worden vermeden door het aanbrengen van een speciale verf en materialen aangepast voor het gebruik bij windturbinebladen.

Hinder als gevolg van het stroboscopisch effect van windturbines

In een studie, recent uitgevoerd door het Massachusetts Clean Energy Center in opdracht van de Universiteit van Boston (Manwell and Grace, 2012), werden dezelfde criteria als beschouwd in de omzendbrief van de Vlaamse regio gehanteerd. Deze studie benadrukt dat er slechts zeer beperkte wetenschappelijke bewijzen bestaan die het verband leggen



Figuur 7.12: Resultaten van een studie voor het voorspellen van de schaduwhinder

tussen een langdurige blootstelling (meer dan 30 min/dag) aan slagschaduw en mogelijke gevolgen voor de gezondheid, zowel fysiek als mentaal/cognitief.

Een onafhankelijk onderzoeksrapport, gepubliceerd in 2011 door het DECC op de officiële site van de regering van Groot-Brittannië (Government, 2011) concludeert geheel in dezelfde richting en raadt aan de weinig voorkomende problemen aan te pakken met maatregelen die een kortstondige stillegging van de windturbine inhouden.

Toch zijn er bepaalde media die verklaren dat het stroboscopisch effect kan leiden tot langdurige hoofdpijn en dat het een bron zou zijn van buitensporige stress (zie bvb. Gray (2011) en Shields (2013)).

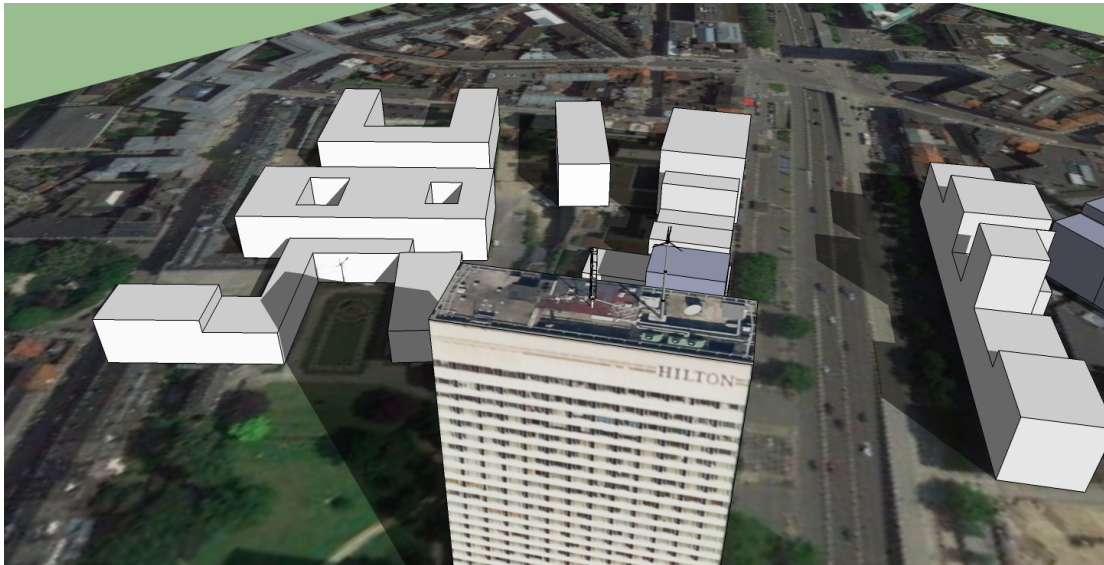
Analyse per site

Bij een studie naar slagschaduw afkomstig van een windturbine spreekt het voor zich dat de hinder die door de omgeving wordt ervaren sterk afhangt van de topografie van die omgeving. Een schaduw die zich over het dak van een gebouw uitstrekt zal in veel mindere mate leiden tot hinder dan een schaduw die op een verticale wand van een kantoorgebouw neerstrijkt. Daarenboven speelt de afstand tussen de schaduwvormende turbine en de plaats van de waarnemer ook een rol. Diffuus licht zorgt, naarmate de onderlinge afstand groter wordt, voor een afzwakking van de schaduw-effecten.

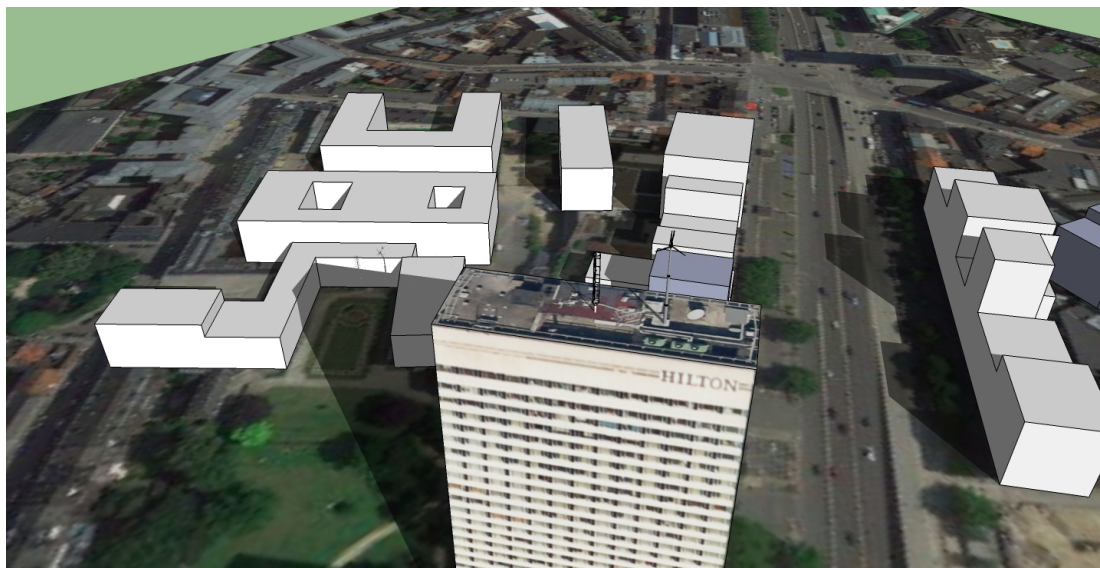
Als eerste analyse van de geselecteerde sites wordt het criterium, zoals vermeld in de Vlaamse omzendbrief nagegaan. Hierin wordt gesteld dat een grondoppervlak met een straal gelijk aan twee maal de totale hoogte van de windturbine aanzien kan worden als de zone met mogelijke hinder.

The Hotel

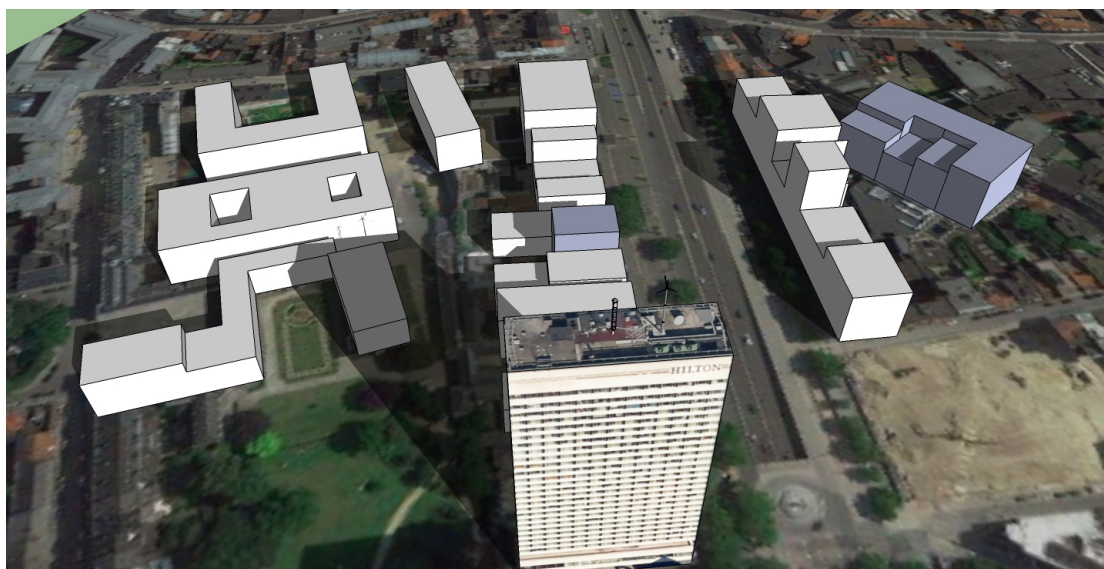
In de omzendbrief wordt de totale hoogte van de windturbine gespecificeerd als zijnde de hoogte van het hoogste punt van de windturbine met toevoeging van de gebouwhoogte op dewelke ze gemonteerd wordt. In het geval van deze site betekent dit, met een ashoogte van 15 m en een rotordiameter van 5 m op een gebouw van 96 m, dat de zone met mogelijke hinder beschreven wordt door een straal van 227 m. Gezien de dichte bebouwing in de omgeving van deze site vallen er een groot aantal gebouwen binnen deze straal. In dit geval is het aangeraden een uitgebreide schaduwanalyse uit te voeren met daartoe voorziene software. In onderstaande figuren wordt alvast een beeld geschetst van hoe de schaduw op de omgeving zal vallen. The Hotel werd hier uitgerust met zowel de Windspire (verticale as windturbine) als de Evance R9000 (representatieve horizontale as windturbine). Door 2 momentopnames (zie figuren 7.13 en 7.14) met een tijdspane van slechts 15 minuten tussen te vergelijken ziet men dat de schaduw al voldoende is opgeschoven om ver uit de buurt te blijven van de 30 min/dag grens. Merk wel op dat de gebouwen op deze voorstelling slechts een benadering zijn en dat schaduw die de windturbine genereert zal afhangen van moment van het jaar. Wel is duidelijk zichtbaar (zie figuur 7.15) dat de verticale as windturbine slechts een beperkte schaduw genereert.



Figuur 7.13: Schaduw hinder 1 maart om 13u40



Figuur 7.14: Schaduwhinder 1 maart om 13u55



Figuur 7.15: Schaduwhinder 1 maart om 14u26

De Haven van Brussel

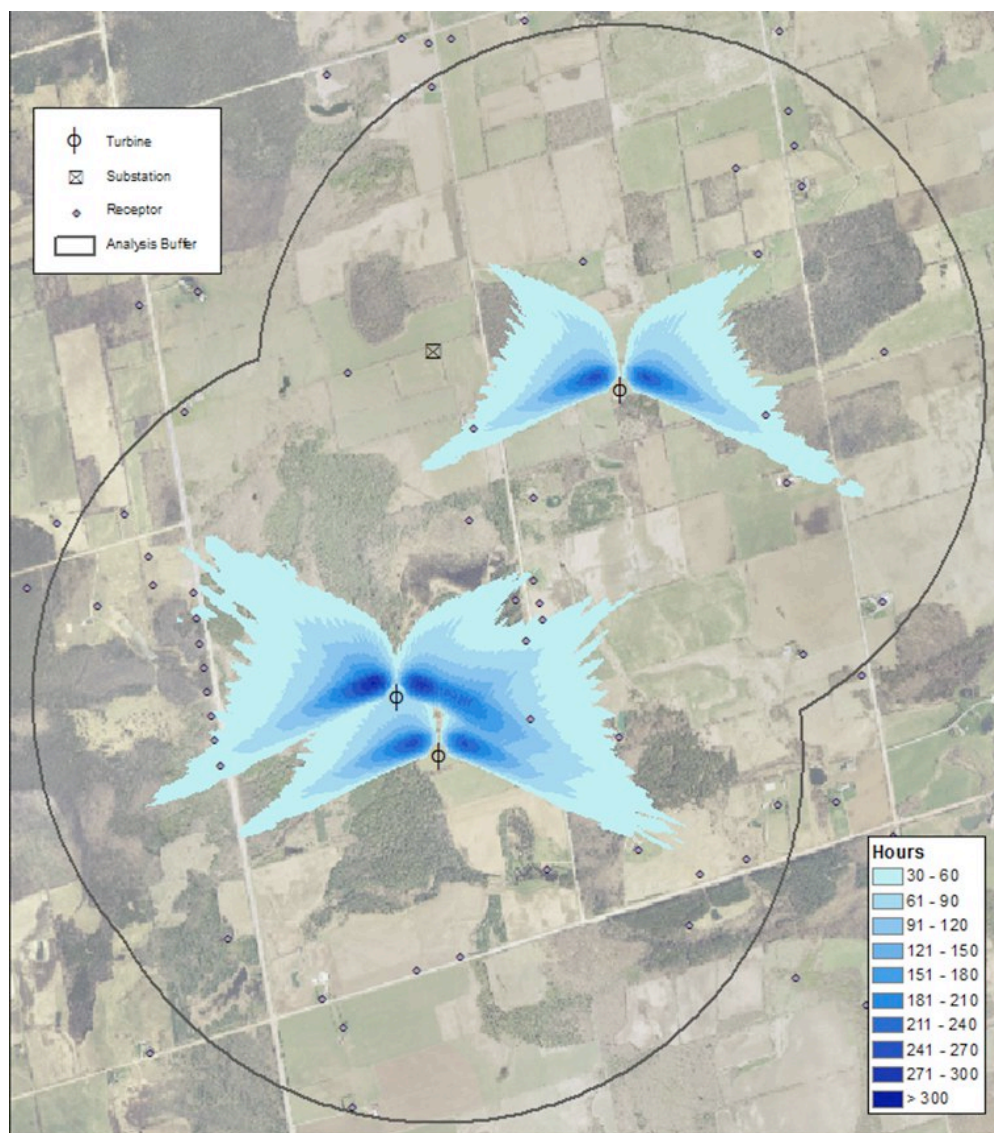
Wanneer we een kleine windturbine beschouwen met een ashoogte van 15 m en een rotordiameter van 5 m, die in dit geval op de grond gemonteerd wordt, volgt hieruit dat de zone met mogelijke hinder beschreven wordt door een straal van 35 m. Gezien op deze site de dichtstbijzijnde bebouwing zich pas op een afstand van 40 m bevindt, kan geconcludeerd worden dat plaatsing van een windturbine hier, conform met de Vlaamse omzendbrief, niet zal leiden tot hinder van slagschaduw.

Conclusies en aanbevelingen

Het stroboscopisch effect te wijten aan de schaduw die een windturbine en zijn roterende rotor veroorzaken kan leiden tot een bepaalde hinder maar het blijft een fenomeen dat zich relatief weinig voordoet aangezien het noodzakelijk is dat verschillende condities zich simultaan voordoen: zonneschijn, aanwezigheid van wind, specifieke positie van de zon en een specifieke oriëntatie van de ramen van het gebouw. Bovendien is de impact van de geprojecteerde schaduw in het geval van een verticale as windturbine veel minder sterk dan die bij een horizontale as.

Betreffende de reglementering is het interessant te refereren naar de Vlaamse omzendbrief (Van Mechelen and Crevits, 2009) aangaande de schaduw gegenereerd door kleine en middelgrote windturbines: deze definieert een straal van twee keer de hoogte van de windturbine als grondoppervlak waarbinnen de schaduweffecten zouden kunnen leiden tot een vorm van hinder en ze preciseert 30 uur per jaar en 30 minuten per dag als bovengrens waarboven dit fenomeen zich niet mag voordoen. Het is belangrijk te benadrukken dat de aanwezigheid van omwonenden binnen deze minimale aangeraden afstand niet rechtstreeks tot de weigering van de inplanting van een windturbine leidt. In dit geval moet er een diepgaande studie plaatsvinden die gedetailleerd de perimeter in kwestie nader onderzoekt (zoals weergegeven in figuur 7.16), of moet de turbine simpelweg worden stilgelegd tijdens momenten van hinder, niet tegenstaande dat dit een significant financieel verlies met zich meebrengt.

Deze beperkte analyse levert slechts een summiere voorstelling en stelt ons bijgevolg niet in staat conclusies met een zekere betrouwbaarheid te stellen met betrekking tot de slagschaduw van de geselecteerde windturbine types op de geselecteerde sites binnen het Brussels Hoofdstedelijk Gewest. We kunnen echter wel met een behoorlijke waarschijnlijkheid concluderen dat de impact van de schaduweffecten afkomstig van de geselecteerde kleine windturbine types op de site 'De Haven van Brussel' enorm laag zal zijn gezien de beperkte afmetingen van de turbine, hun plaatsing op lage hoogten boven de grond en de weinige gebouwen in de directe omgeving van de mogelijke plaatsingspunten. Voor de windturbine die op de site 'The Hotel' zou geplaatst worden is een gedetailleerde analyse van de schaduweffecten zeker vereist gezien de hoge gebouwhoogte en het grote aantal omliggende gebouwen (cf. figuur 7.16).



Figuur 7.16: Diagram van de jaarlijkse schaduwhinder van drie windturbines

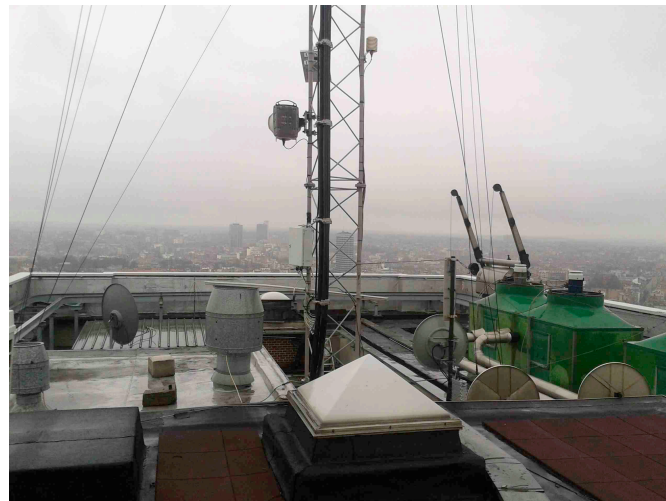
7.3 Omgevingsparameters: Biodiversiteit

Introductie

Op basis van de resultaten van de windmeetcampagne uitgevoerd door de VUB werden twee sites in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest geselecteerd als potentiële kandidaten voor de installatie van een kleine windturbine. Er werden drie verschillende windturbine modellen voorgesteld, één VAWT en twee HAWT. Voor deze twee sites moet een haalbaarheidsstudie worden uitgevoerd. Een onderdeel hiervan is een studie naar de mogelijke impact op de biodiversiteit. Tijdens deze studie zal voor beide kandidaatsites en hun omgeving aan de hand van een voldoende diepgaande analyse worden nagegaan in welke mate een installatie van een kleine windturbine een invloed zou kunnen hebben op de biodiversiteit. Bij deze studie werd in het bijzonder rekening gehouden met de migratiezones van vleermuizen en vogels, hun habitat en de jacht of de reproductie. Deze analyse baseert zich op bestaande studies. Er werden geen specifieke nieuwe studies naar de impact op het milieu uitgevoerd (zie Appendix B).

Sites

Tijdens de vergadering van het consortium met het Brussels Gewest (IBGE-BIM) van 17 september 2013 werden de twee te bestuderen sites geselecteerd, zijnde ‘The Hotel’ en ‘De haven van Brussel’. Voor de site ‘The Hotel’ (vroegere Hilton) betreft het het dak van het gebouw, gelegen dicht bij de Naamse poort. Het dak van het gebouw bevindt zich op een hoogte van 96 m, gemeten vanaf de aanliggende Waterloolaan, waarmee het tot de hoogste gebouwen van Brussel behoort (figuur 7.17).



Figuur 7.17: Zicht op het dak van The Hotel

Bij de site ‘De haven van Brussel’ gaat het in feite over de kanaalzone Brussel-Charleroi gelegen in de omgeving van het hoofdkwartier van de haven, het terrein van Tour en Taxis en de nieuwe site van IBGE-BIM (figuur 7.18).



Figuur 7.18: Site nabij de Haven van Brussel

Impact op de biodiversiteit

Over de impact die grote windturbines op de fauna in landelijke gebieden kunnen hebben, is een grote hoeveelheid informatie voorhanden. In het specifieke geval van kleine windturbines in stedelijke gebieden bestaat er echter, voor zover we weten, geen gedetailleerde studie van vergelijkbaar wetenschappelijk niveau, laat staan een studie specifiek voor Brussel. Daarenboven is de mogelijke impact van windturbines op de biodiversiteit in Brussel een complex vraagstuk wat een antwoord vraagt, aangepast aan elke bestudeerde situatie en functie. Volgende factoren spelen een rol:

- Het gekozen windturbinemodel (klein of middelgroot, horizontale as of verticale as windturbine, diameter en hoogte, soort rotor, rotatiesnelheid, geproduceerd geluid,...).
- De in acht genomen diersoorten (trek- of niet trekvogels, vleermuizen,...).
- De precieze geografische situering en de hub-hoogte van de windturbine.

Dergelijke gedetailleerde studie met een lokale impacts analyse kon binnen het kader van dit project (E11-359) niet verwezenlijkt worden. Een voorbeeld van een gedetailleerde te volgen procedure is gegeven in Appendix B.

Vormen van gecreëerde overlast

Algemeen gezien, de invloed op de flora niet in rekening gebracht (daar deze toch relatief beperkt blijft bij de plaatsing op een dak, zoals het geval is voor ‘The Hotel’), kunnen we verschillende types van overlast onderscheiden, te wijten aan de aanwezigheid van windturbines en waaronder de biodiversiteit zou kunnen lijden. Het gaat hier dan voornamelijk over de impact op de vogelsoorten en vleermuizen:

- Bij vogels: botsingen met mogelijks daaropvolgend een projectie naar de grond (in de meeste gevallen leidend tot hun dood; in het geval van grote windturbines in het algemeen zo’n 0 tot 2 vogels per jaar⁵) (Ligue pour la Protection des oiseaux, 2014).
- Bij vleermuizen: hun dood is meestal het gevolg van interne bloedingen veroorzaakt door plotse variaties in druk in de geïnduceerde stroombuis van de windturbine, dit in tegenstelling tot contact met de windturbine zoals bij vogels. Vleermuizen slagen erin contact te vermijden aan de hand van hun echolocatie-systeem (Eurobats, 2012) en (Eurobats, 2006) en zie ook de sterftcijfers van vleermuizen gegeven in Appendix C.
- Het vogelafschrikkend effect kan een verschuiving van eventuele broedzones, jachtgebieden en trajecten van trekvogels en migrerende vleermuizen tot gevolg hebben. Het gaat hier dan over seizoens-trekvogels maar ook over andere vogels waarvoor veilige zones kunnen gaan overlappen met jachtgebieden. Kennis van de trajecten van de trekvogels is een vereiste (de vallei van Woluwe of wellicht het Kanaal van Brussel,...). In dit opzicht zou het interessant zijn zich te baseren op een gedetailleerde kaart die per soort de trajecten van trekvogels en vleermuizen samen met hun habitat en jachtgebied aanduidt (zie Appendix B). Op deze wijze kunnen de meest belovende sites geselecteerd worden door bijvoorbeeld voldoende ver verwijderd te blijven van stromen of bossen. Hiermee rekening houdend lijkt de site ‘The Hotel’ geen enkel probleem te vormen.

Betrokken diersoorten

- Vleermuizen: er gedijen 17 verschillende soorten in Brussel van de 19 soorten die aanwezig zijn in België (BIM, 2013). Vleermuizen verplaatsen zich echter in het algemeen niet bij windsnelheden boven de 20 km/h, noch overdag noch tijdens de wintermaanden (winterslaap). Dit beperkt de zones en risicomomenten sterk. Bijgevolg zou voor de meest risicovolle locaties gezocht kunnen worden naar een uurregeling qua werking van de windturbines met het oog op een minimalisatie van het risico, rekening houdend met de hieruit voortvloeiende verliezen.
- Vogels: trekvogels (waarvan slechts weinigen geregistreerd zijn in het Brusselse) of sedentaire vogels.

Verschillende internationale studies hebben aangetoond dat windparken, de trekroutes voor vogels kunnen verstoren (Ledant, 2006) en (Clotuche, 2002). De bekende gevolgen zijn:

⁵Dit sterftcijfer ligt laag in vergelijking met het aantal slachtoffers gemaakt door andere constructies of menselijke activiteiten.

- verstoring van de trekroutes: windparken worden vogelverschrikkers of m.a.w er treedt een blockage-effect op,
- habitatverlies: Het veranderen van de omgeving en het ongemak resulteert in een verminderende aantrekkelijkheid voor de verschillende vogelsoorten en
- directe sterfte: Botsing met de bladen of projectie door de bewegende windturbinebladen.

Het blockage-effect (Everaert et al., 2011) is een variant van verstoring van de trekroutes voor trekvogels. Dit effect wordt meestal uitgedrukt in extra afstanden die deze vogelsoorten moeten afleggen door het omzeilen van de windparken. Het effect omvat eveneens de actieve migratie en maakt een verschil tussen rustgebieden en bewegingsgebieden. Het is afhankelijk van de vogelsoort maar ook van de configuratie van het windpark en de weersomstandigheden. Bij Kraanvogels bijvoorbeeld blijkt uit waarnemingen dat de extra afstand die ze typisch afleggen tussen de 300 tot 1000m bedraagt. Watervogels (zijnde eenden, ganzen,...) en duiven zijn vrij gevoelig, terwijl meeuwen en zangvogels hier minder gevoelig voor zijn en dus minder extra afstanden afleggen. Een goede zichtbaarheid is vooral belangrijk voor het anticiperen en dus het vermijden van een aankomend windpark.

Weersomstandigheden, het terrein en de configuratie van het windpark kan ook de zichtbaarheid van het windpark en de reactie voor het anticiperen verminderen. De reactie voor het anticiperen heeft als voordeel dat dit het risico op botsing met de bewegende windturbinebladen verminderd en zo dus directe sterfte reduceert. Het kan echter aanzienlijke ecologische gevolgen hebben als een obstakel wordt gecreëerd in een grote trekroute voor verschillende vogelsoorten. Het kan leiden tot uitputting van de energie van de vogels wanneer de afstand van uitwijking t.o.v de originele route significante proporties aanneemt (bijvoorbeeld bij een cumulatief blockage-effect) of wanneer om verschillende redenen de reactie van een groep vogels wordt vertraagd (andere route door paniek, opsplitsen van een groep vogels). Het Département Politique Générale de Natagora wordt regelmatig om advies gevraagd over windprojecten in Wallonië in het kader van diverse adviescommissies voor ruimtelijke ordening. Het beleid van de vereniging volgt in dit verband het officiële standpunt van Natagora over windturbines (Natagora, 2013).

Het rapport van De Viller (De Villers and Beck, 2013) geeft een zeer uitgebreid overzicht van alle plaatselijke en trekkende vogelsoorten en hun broedgebieden in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest. De sites die geselecteerd zijn in deze studie voor het installeren van één of meerdere kleine (of middelgrote) windturbines worden niet expliciet vermeld in het overzicht. Dit met uitzondering van het havengebied, dat niet echt ver gelegen is van het koninklijk domein van Laken wat als open of half-open gebied wordt beschouwd en waar een gemiddelde concentratie van vogels kan worden aangetroffen (dertig soorten per km²). Gezien de weinige informatie die tot op heden voorhanden is, is het in het geval van kleine windturbines, maar ook in een mindere mate voor middelgrote en grote windturbines slechts mogelijk de impact op de diversiteit na te gaan aan de hand van een gedetailleerde studie specifiek voor elke site, elk windturbinemodel en elke diersoort. Dit wordt ook vermeld in de literatuur ((Everaert et al., 2011) en (Natuurpunt, 2012)). Buiten het feit dat de lagere vertegenwoordiging van de diersoorten in de steden vergeleken met landelijk gebied een verlaging van het risico tot gevolg heeft, dienen volgende aspecten specifiek voor kleine windturbines nog onderzocht te worden:

- Rotatiesnelheid van de windturbinebladen: is de hogere rotatiesnelheid, kenmerkend voor een groot aantal kleine windturbines, een mogelijke extra risicofactor? Of draagt ze in tegenstelling bij tot een betere zichtbaarheid voor de vogels doordat de rotor meer op een vol lichaam gaat lijken in plaats van afzonderlijke bladen?
- In de veronderstelling dat men erin zal slagen stillere windturbinemodellen te gebruiken binnen de stedelijke gebieden, zullen deze dan ook minder gevaar inhouden? Of zal hun discrete aanwezigheid er net voor kunnen zorgen dat het risico voor vogels toeneemt?

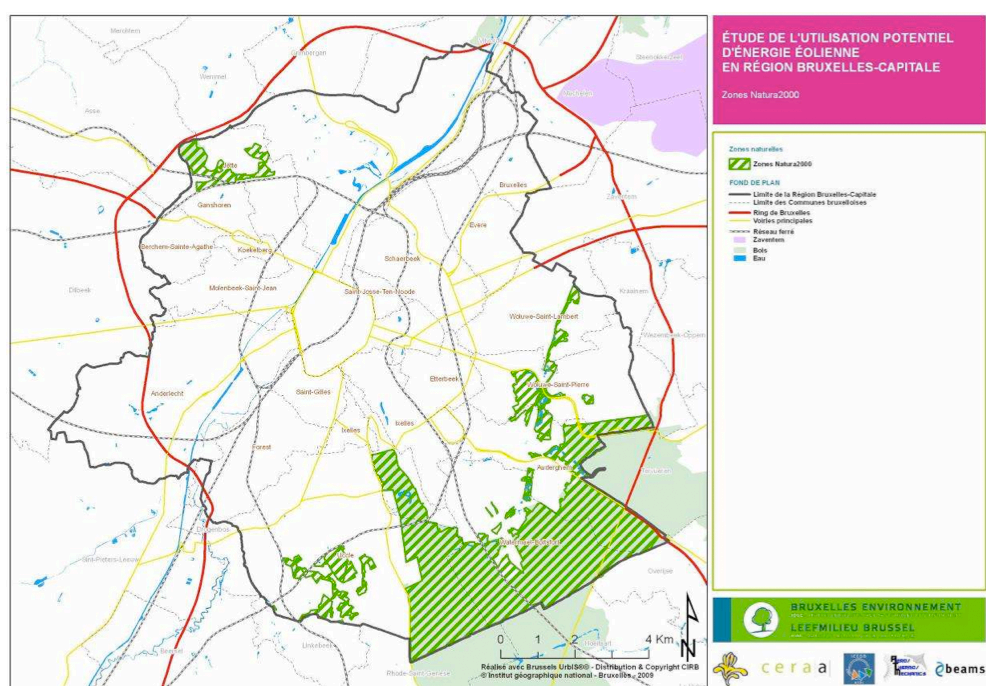
Uit te sluiten zones: Natura 2000

De plaatsing van een windturbine is onderworpen aan een groot aantal restricties, eigen aan het Brussels Hoofdstedelijke Gewest en die van zeer uiteenlopende aard kunnen zijn. Sommige zijn gerelateerd met de luchtvaart, hetzij de civiele, hetzij de militaire. Andere hebben betrekking op landgebruik of bescherming van ondergronds architecturaal erfgoed. Maar ook bescherming van de natuur is een belangrijk punt. Dit zijn essentiële gegevens bij het aanduiden van de zones waar het plaatsen van een windturbine mogelijk is in de Brusselse regio. Het komt er in principe op neer de zones te identificeren waar we er praktisch zeker van zijn dat het niet mogelijk zal zijn een windturbine te installeren vanwege ofwel: de natuurlijke kwaliteit van het gebied, de kwaliteit van het aanwezige erfgoed of wanneer het gebied van een andere aard is die ook niet verenigbaar is met de installatie van een windturbine.

Natura 2000 is een netwerk van natuurgebieden, opgericht door de Europese Unie. Het heeft als doel het instandhouden of herstellen van de gunstige condities noodzakelijk voor de natuurlijke habitats van wilde plant- en diersoorten. De zones behorende tot Natura 2000 kunnen bijgevolg worden aanzien als kwetsbare gebieden en thans binnen deze context, de installatie van windturbines, worden uitgesloten als mogelijke sites. Op figuur 7.19 is te zien dat de twee sites, beschouwd in deze analyse, geen deel uitmaken van deze zones.

Conclusie

Deze beperkte analyse levert slechts een summiere voorstelling en stelt ons bijgevolg niet in staat conclusies met een zekere betrouwbaarheid te trekken met betrekking tot de impact van de geselecteerde windturbine types op de twee gekozen sites. Bij weten van de ULB bestaat tot op heden geen enkele studie die de impact van een kleine windturbine op de biodiversiteit in een stedelijk milieu weergeeft en die in dit kader zou kunnen gebruikt worden voor de studie. We kunnen echter wel met een grote waarschijnlijkheid concluderen dat de impact op de diversiteit door de gekozen windturbine types specifiek op de geselecteerde sites 'The Hotel' en 'De Haven van Brussel' zeer beperkt zou zijn. Dit is te wijten aan de kleine rotoroppervlakken (voornamelijk vanuit het opzicht van vogels) en aan de slechts lage drukvariatië gecreëerd in de stroombuis van de turbine (vooral van toepassing voor de vleermuizen). De kanaalzone Brussel-Charlerloi (waartoe 'De Haven van Brussel' behoort) verdient echter een diepgaandere studie naar de impact op de biodiversiteit gezien dergelijke tamelijk smalle gang een migratiecorridor of een uitgesproken jachtgebied voor vleermuizen en vogels kan vormen (Eurobats, 2006).



Figuur 7.19: Natuur zones 2000 in Brussel (Thielemans et al., 2009)

7.4 Omgevingsparameters: Zichtbaarheid

Via digitale fotomontages (mockups) kan de impact van de implanting van een windturbine op het landschap voorgesteld worden. Hierbij wordt rekening gehouden met de geselecteerde windturbintetype (zie sectie 4) en ashoogte en worden belangrijke perceptie-determinerende landschapelementen opgenomen in de mockup. Voor de Windera turbine (Ennera Wind components) zijn geen bruikbare foto's gevonden op het net om mockups te maken. Zodoende zijn er enkel mockups van de Windspire (Windspire Components) en de Windspot (Sonkyo Energy). Deze mockups zijn uitgevoerd voor de twee geselecteerde sites voor de haalbaarheidsstudie (nl.: The Hotel en de Haven van Brussel). In figuren 7.20, 7.21 en 7.22 worden de mockups getoond van de Windspot voor resp. de Haven van Brussel en The Hotel. In figuren 7.23, 7.24 en 7.25 worden de mockups getoond van de Windspire voor resp. de Haven van Brussel en The Hotel.



Figuur 7.20: Mockup van de Windspot in de Haven van Brussel



Figuur 7.21: Mockup van de Windspot op The Hotel



Figuur 7.22: Mockup van de Windspot op The Hotel: Dichtbij



Figuur 7.23: Mockup van de Windspire in de Haven van Brussel



Figuur 7.24: Mockup van de Windspire in de Haven van Brussel met een hogere ashoogte



Figuur 7.25: Mockup van de Windspire op The Hotel

7.5 Technische en veiligheidsaspecten

Algemeen

Ver afgelegen locaties zijn traditioneel ideaal voor het installeren van kleine windturbines, zelden zijn ze ook geïntegreerd in het bestaand elektriciteitsnetwerk. Dit is echter sterk aan het veranderen: de markt voor kleine windturbines geïntegreerd in het net ondervindt een sterke groei voornamelijk in residentiële en industriële buurten. De voortdurend toenemende energieprijzen en de vraag naar lokaal geproduceerde energie spelen hierin zeker een grote rol. Voor een verdere penetratie van de markt moeten er wel een aantal belangrijke hindernissen overwonnen worden. De kostprijs moet zeker dalen. Ook de kwaliteit van het ontwerp is nog onvoldoende gegarandeerd aangezien de regelgeving en de normering voor het ontwerpen van dergelijke windturbines nog beperkt is. Anderzijds zijn de toelatingsvoorwaarden voor het plaatsen van kleine windturbines meestal te restrictief. Lokale besturen zijn in belangrijke mate verantwoordelijk voor de veiligheid en de gezondheid van hun inwoners en voor het beschermen van hun leefmilieu. In deze context is het zeer belangrijk certificatie-eisen te kunnen opleggen welke de kwaliteit van kleine windturbines garanderen.

Vanaf de jaren '80 is men begonnen met het opstellen nationale en internationale normen voor het ontwerpen van windturbines. De eerste publicatie die een set van normen voor de certificering van windturbines heeft ontworpen is Germanischer Lloyd (Lloyd, 1993). Momenteel zijn er verschillende normen in omgang, de meeste worden continu aangepast aan de noden van de windturbines (zowel voor kleine als grote windturbines). De beschikbare standaarden zijn:

- International Electromechanical Committee (IEC standards)
- EU Directives (CE marking)
- Nationale normen
- VSA (AWEA norm)
- UK (BWEA norm)
- Japan (JSWTA norm)
- International Energy Agency (IEA)

De norm die het meest gevolgd wordt is deze van het "International Electromechanical Committee (IEC)". Het technisch comité 88 (TC88), bestaande uit 22 deelnemende landen en 13 waarnemende landen, is verantwoordelijk voor het opstellen van de standaard IEC-61400 specifiek voor windturbines. The IEC normen die voor kleine windturbines gelden zijn:

- IEC 61400-2: Design requirements for small wind turbines (IEC, 2006b)
- IEC 61400-11: Acoustic noise measurement techniques (IEC, 2006a)
- IEC 61400-12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines (IEC, 2005b)
- IEC 61400-14: Declaration of apparent sound power level and tonality values (IEC, 2005a)

- IEC 61400-21: Measurement and assessment of power quality characteristics of grid connected wind turbines (IEC, 2008)
- IEC 61400-22: Conformity testing and certification (IEC, 2010)
- IEC 61400-23: Full scale structural testing of rotor blades (IEC, 2001)

In de IEC 61400-2 standaard worden de volgende aspecten toegelicht:

- **Externe condities:** verschillende windklimaten, omgevingscondities, de elektrische belastingscondities, en de verschillende klassen van kleine windturbines
- **Structureel design:** definitie van de belasting die moet worden onderzocht, en beschrijving van een vereenvoudigd aero-elastisch model en de toe te passen veiligheidsfactoren
- **Eisen voor de veiligheid en het afschakelsysteem**
- **Testen** (Ontwerptesten, mechanische belastingstesten, veiligheid en functionele testen, elektrotechnische testen)
- **Elektrotechnisch systeem**
- **Dragende structuren**
- **Documentatie**

Technische en veiligheidsaspecten met betrekking tot de IEC-61400-2 normen

De mechanische sterkte van de turbine moet bestudeerd worden met enkele vereenvoudigde vergelijkingen uit Sectie 7.4 van de normen (IEC, 2006b) in combinatie met de veiligheidsfactoren uit sectie 7.8 van diezelfde norm (zie figuur 7.26), of de met het aero-elastisch model uit de IEC norm (IEC, 2006b). Een evaluatie van tenminste de aanhechting van het rotorblad, rotor as en “yaw” as (voor horizontale as wind turbines (HAWT)) zal worden uitgevoerd met behulp van de resultaten van de vorige analyse. Een snelle controle van de rest van de structuur voor duidelijke gebreken of gevaren moet ook uitgevoerd worden en indien nodig is een aanvullende analyse noodzakelijk.

Load determination method	Safety factor for fatigue loads, γ_f	Safety factor for ultimate loads, γ_r
Simple load calculation	1,0	3,0
Aeroelastic modelling with design data (r.p.m., power)	1,0	1,35
Load measurements with extrapolation	1,0	3,0

Figuur 7.26: Partiële veiligheidsfactoren

Andere veiligheidsaspecten van de turbine die geëvalueerd moeten worden:

- procedures om de windturbine te bedienen

- voorzieningen die gevaarlijke werking bij hoge windsnelheden vermijden
- methodes om de windturbine te vertragen of te stoppen in geval van nood of onderhoud
- voorzieningen voor onderhoud en vervanging van onderdelen
- gevoeligheid voor extreme omgevingstemperaturen op de bediening en werking van de turbine

Een veiligheidstest en test van de werking van turbine moet worden uitgevoerd volgens sectie 9.6 van de norm (IEC, 2006b).

De producent moet ook de ontwerp eisen voor de mast voorleggen, waarbij de volgende aspecten aan bod komen:

- Mechanische en elektrische connecties
- Minimale afstand tussen rotorblad en mast
- Maximale belasting aan de top van de mast
- Maximale uitwijking van de top van de mast

Nationale normen

AWEA norm : AWEA Small wind turbine performance and safety standard (AWEA Standard 9.1-2009), hierna gerefereerd als AWEA norm. De AWEA norm bevat delen van de IEC 61400 normen gerelateerd met prestaties (IEC, 2005b), geluid (IEC, 2006a), en ontwerpeisen (IEC, 2006b).

BWEA norm : BWEA Small wind turbine performance and safety standard, hierna gerefereerd als BWEA norm. De BWEA norm bevat delen van de IEC 61400 normen gerelateerd met prestaties (IEC, 2005b), geluid (IEC, 2006a), en ontwerpeisen (IEC, 2006b).

JSWTA norm : JSWTA Small wind turbine performance and safety standard, hierna gerefereerd als AWEA norm. De JSWTA norm bevat delen van de IEC 61400 normen gerelateerd met prestaties (IEC, 2005b), geluid (IEC, 2006a), en ontwerpeisen (IEC, 2006b).

Het testrapport voor de certificering van kleine windturbines moet de volgende informatie bevatten:

- Samenvatting die de vermogenscurve, een jaarlijkse energieopbrengstcurve, en geluidsniveau (zie sectie 9.4 in de normen (IEC, 2006a)) bevat. Het rapport moet publiek beschikbaar gemaakt worden nadat het certificeringagentschap het rapport heeft goedgekeurd.
- Prestatietestrapport
- Geluidstestrapport
- De AWEA nominale jaarlijkse energieopbrengst
- Het AWEA nominale geluidsniveau
- Het AWEA nominale vermogen

- Het technische en veiligheidsrapport van de turbine
- De masteisen
- Duurtestrapport

Definities

AWEA nominaal vermogen: Het vermogen van de windturbine bij 11 m/s (24.6 mph) op de vermogenscurve opgesteld volgens de norm (IEC, 2005b), behalve bij een wijziging van sectie 2 van deze standaard.

AWEA nominale jaarlijkse energieopbrengst: De geschatte totale energie die zou worden opgebracht gedurende 1 jaar bij een gemiddelde windsnelheid van 5 m/s (11.2 mph), aannemende dat de wind een rayleigh verdeling heeft, een beschikbaarheid van de turbine van 100 % en de vermogenscurve is opgesteld volgens de norm (IEC, 2005b) (genormaliseerd naar zeespiegel), behalve bij een wijziging van sectie 2 van deze standaard.

AWEA nominale geluidsniveau: Het geluidsniveau dat gedurende 95 % van de tijd niet zal overschreden worden, aannemende dat de gemiddelde windsnelheid 5 m/s (11.2 mph) bedraagt, dat de wind een Rayleigh verdeling heeft, de beschikbaarheid van de turbine 100 % is, dat de waarnemer op een afstand van 60 m van het middelpunt van het rotorblad staat en berekend volgens de test resultaten in de norm (IEC, 2006a), behalve bij een wijziging van sectie 2 van deze standaard.

Algemene berekeningen van geluidsniveau voor verschillende afstanden van de waarnemer en verschillende achtergrond geluidsniveaus

Hoewel de studie van het geluidsniveau reeds in paragraaf 7.1 werd toegelicht, is hier voor de volledigheid van de technische aspecten een beknopt overzicht voorzien van de AWEA-norm ter zake. Het AWEA nominaal geluidsniveau is berekend op een afstand van de 60 m van de rotor as en houdt geen rekening met het achtergrondgeluid. Als de afstand tot de turbines toeneemt, wordt het achtergrondgeluid dominant en zal dit geluid het algemene geluidsniveau (turbine plus achtergrond) bepalen. Het achtergrondgeluid is sterk afhankelijk van de locatie en de aanwezigheid van wegen, bomen en andere geluidsbronnen. Het typische achtergrondgeluidsniveau is tussen de 35 dBA (stil) tot 50 dBA (verstedelijkte omgeving). Vergelijking 7.1 kan gebruikt worden om de bijdrage van de turbine tot het algemene geluidsniveau te berekenen volgens het AWEA nominale geluidsniveau. Vergelijking 7.2 kan gebruikt worden om het geluidsniveau van de turbine bij het achtergrondgeluidsniveau op te tellen om het algemene geluidsniveau te bepalen. Er wordt opgemerkt dat het algemene geluidsniveau en het achtergrondgeluid gekend zijn van de metingen en het AWEA nominale geluidsniveau gemakkelijk kan worden afgeleid volgens vergelijking 7.1 en 7.2.

$$L_T = L_{AWEA} + 10 \log(4\pi 60^2) - 10 \log(4\pi r^2) \quad (7.1)$$

met L_{AWEA} het AWEA nominale geluidsniveau (dBA), L_T het geluidsniveau van de turbine (dBA) en r de afstand van de waarnemer tot het middelpunt van de rotor (m).

$$L_{Overall} = 10 \log(10^{L_T/10} + 10^{L_b/10}) \quad (7.2)$$

met $L_{Overall}$ het algemeen geluidsniveau (dBA) en L_b het achtergrondgeluidsniveau (dBA). In figuur 7.27 kunnen de geluidsniveaus voor verschillende afstanden voor een bepaald AWEA nominale geluidsniveau worden afgeleid.

Distance from rotor center [m]	L _{AWEA} : 40 dBA					Distance from rotor center [m]	L _{AWEA} : 45 dBA				
	background noise level (dBA):						background noise level (dBA):				
	30	35	40	45	50		30	35	40	45	50
10	55.6	55.6	55.7	55.9	56.6	10	60.6	60.6	60.6	60.7	60.9
20	49.6	49.7	50.0	50.9	52.8	20	54.6	54.6	54.7	55.0	55.9
30	46.1	46.4	47.0	48.6	51.5	30	51.1	51.1	51.4	52.0	53.6
40	43.7	44.1	45.1	47.3	50.9	40	48.6	48.7	49.1	50.1	52.3
50	41.9	42.4	43.9	46.6	50.6	50	46.7	46.9	47.4	48.9	51.6
60	40.4	41.2	43.0	46.2	50.4	60	45.1	45.4	46.2	48.0	51.2
70	39.2	40.2	42.4	45.9	50.3	70	43.8	44.2	45.2	47.4	50.9
80	38.2	39.4	41.9	45.7	50.2	80	42.7	43.2	44.4	46.9	50.7
100	36.6	38.3	41.3	45.5	50.2	100	40.9	41.6	43.3	46.3	50.5
150	34.1	36.8	40.6	45.2	50.1	150	37.8	39.1	41.8	45.6	50.2
200	32.8	36.1	40.4	45.1	50.0	200	35.9	37.8	41.1	45.4	50.1

Distance from rotor center [m]	L _{AWEA} : 50 dBA					Distance from rotor center [m]	L _{AWEA} : 55 dBA				
	background noise level (dBA):						background noise level (dBA):				
	30	35	40	45	50		30	35	40	45	50
10	65.6	65.6	65.6	65.6	65.7	10	70.6	70.6	70.6	70.6	70.6
20	59.5	59.6	59.6	59.7	60.0	20	64.5	64.5	64.6	64.6	64.7
30	56.0	56.1	56.1	56.4	57.0	30	61.0	61.0	61.1	61.1	61.4
40	53.5	53.6	53.7	54.1	55.1	40	58.5	58.5	58.6	58.7	59.1
50	51.6	51.7	51.9	52.4	53.9	50	56.6	56.6	56.7	56.9	57.4
60	50.0	50.1	50.4	51.2	53.0	60	55.0	55.0	55.1	55.4	56.2
70	48.7	48.8	49.2	50.2	52.4	70	53.7	53.7	53.8	54.2	55.2
80	47.6	47.7	48.2	49.4	51.9	80	52.5	52.6	52.7	53.2	54.4
100	45.7	45.9	46.6	48.3	51.3	100	50.6	50.7	50.9	51.6	53.3
150	42.3	42.8	44.1	46.8	50.6	150	47.1	47.3	47.8	49.1	51.8
200	40.0	40.9	42.8	46.1	50.4	200	44.7	45.0	45.9	47.8	51.1

Figuur 7.27: Algemene geluidsniveau voor verschillende afstanden voor het AWEA nominale geluidsniveau van 40 dBA, 45 dBA, 50 dBA en 55 dBA.

Normering van de geselecteerde windturbines

Normering voor kleine windturbines blijft een heikel punt. Het is namelijk voor kleine windturbinefabrikanten niet verplicht om één van bovenstaande normen te behalen en daarnaast is het een dure investering om een certificering te laten uitvoeren door een erkende instantie. Daarom zijn er weinig kleine windturbinefabrikanten die één van bovenstaande normen bezitten. Toch zijn er twee normen die heel belangrijk zijn in het kader van dit project. Bij de selectie van de windturbines zijn er twee belangrijke eisen gesteld voor de turbines, nl.:

- de windturbine moet ontworpen zijn volgens een bepaalde norm om de sterkte en duurzaamheid te garanderen en
- de vermogenscurve dient getest te zijn door een onafhankelijke instantie.

In tabel 7.1 wordt per turbine de norm weergegeven hoe aan deze twee eisen zijn voldaan.

Windturbine-fabrikant	Mariah Power	Ennera	Sonkyo
Windturbine-type	Windspire	Winder IN S	Windspot 7.5kW
Ontwerp	IEC 61400-2	IEC 61400-2	IEC 61400-2
Vermogen	IEC 61400-12-1	IEC 61400-12-1	AWEA 9.1

Tabel 7.1: Normering geselecteerde turbines

7.6 Aansluiting op het netwerk

Deze taak omvat de studie van de noodzakelijke functies die het vermogenselektronische koppelingssysteem met het elektriciteitsnet moet verwezenlijken. De veilige koppeling en ontkoppeling met het elektriciteitsnet zijn essentieel.

Type's netkoppeling

In het algemeen zijn er drie opties om een windturbine in te schakelen voor elektriciteitsvoorziening:

1. de turbine wordt aan het net gekoppeld, zonder batterij,
2. de turbine wordt aan het net gekoppeld, met batterij,
3. de turbine wordt niet aan het net gekoppeld, men spreekt van eilandbedrijf (*off grid*).

Netgekoppeld, zonder batterij De eenvoudigste, efficiëntste en meest duurzame wijze om een windturbine in te schakelen voor elektriciteitsvoorziening is ze rechtstreeks koppelen aan het distributienet. Deze manier van werken heeft slechts een nadeel—het voorziet niet in een back-up wanneer het elektriciteitsnet uitvalt—en verder enkel voordelen: er is geen nood aan een dure batterij (die ook regelmatig moet worden vervangen), er is geen energieverlies (wanneer de batterij volledig opgeladen is), de batterij beperkt het vermogen van de turbine niet, en het is duurzaam. In feite fungeert het elektriciteitsnet zelf als een soort van batterij, in de zin dat het elektriciteit afneemt van de windturbine wanneer er lokaal meer wordt geproduceerd dan verbruikt, en levert het elektriciteit wanneer de productie van de turbine onvoldoende is om aan de lokale vraag te voldoen. Deze methode is wellicht het meest aangewezen voor windturbines in Brussel. De bestudeerde windturbines in dit document zullen immers slechts in een beperkte fractie van de lokale elektriciteitsvraag voorzien (bv. van een hotel of een universiteitsgebouw), en zijn niet bedoeld als back-up systeem voor een stroomuitval.

Netgekoppeld, met batterij De koppeling aan het distributienet via een batterij heeft het voordeel dat de installatie voorziet in een (meestal beperkte) back-up elektriciteitsvoorziening bij stroomuitval. Dit gaat evenwel gepaard met een toegenomen complexiteit en kostprijs. Bovendien verbruikt de batterij een deel van de geproduceerde elektriciteit, wat ten koste gaat van de totale efficiëntie van het systeem. Deze methode is enkel aangewezen wanneer de eindgebruiker een beperkte maar kritische elektriciteitsvraag wilt beantwoorden met een duurzame energiebron.

Eilandbedrijf Off-grid installaties zijn vaak goedkoper dan netgekoppelde windturbines, maar vereisen uiteraard wel een (dure) batterij als interface met de lokale verbruikers. Een batterij is bovendien niet enkel duur in aanschaf maar ook in onderhoud en dient regelmatig vervangen te worden. Een batterij vermindert eveneens de efficiëntie, zoals hierboven aangegeven. Een off-grid installatie in Brussel is wellicht niet aangewezen, aangezien het distributienet overal aanwezig is, en aangezien de bestudeerde windturbines onvoldoende elektriciteit produceren om te voorzien in de totale lokale elektriciteitsvraag.

Beschrijving van een typische set-up

De meeste kleine windturbines gebruiken een permanent-magneetgenerator (PMG) direct gekoppeld aan de rotor (zonder tandwielkast). Ook inductiegeneratoren worden soms gebruikt, maar in beduidend mindere mate. Zowel PMG als inductiegeneratoren leveren een wisselspanning waarvan de frequentie en het vermogen (spanning/stroom) variëren met de windsnelheid. Daarom wordt dit signaal meestal eerst gelijkgericht (AC-DC conversie) en nadien ofwel omgezet in een DC-signaal met een geschikte (constante) spanning (batterijgekoppeld systeem) of geïnverteerd naar een AC-signaal (een- of drie-fasig) voor de koppeling met het elektriciteitsnet. In dit gedeelte gaan we voortaan uit van een netgekoppelde installatie zonder batterij. Wanneer een batterij gebruikt wordt is er steeds nood aan een bijkomende DC-DC omzetting, wat hierna behandeld wordt in de paragraaf over DC-DC omzetting.

Het geheel gelijkrichter-omvormer wordt vaak aangevuld met een regelaar die instaat voor de controle van de windturbine. Met een omvormer en regelaar is het mogelijk om de werking van de generator af te stemmen op de aerodynamische eigenschappen van de turbine, en zo voor alle windsnelheden het maximaal vermogen uit de wind te halen (*maximum power point tracking, MPPT*). Deze regeling wordt soms ook gebruikt om te beschermen tegen een te hoge snelheid of als rem om de turbine stil te leggen of stil te houden.

Hierna bespreken we in meer detail de verschillende onderdelen van het koppelingssysteem:

- Regelaar: Deze converteert de wisselspanning (AC) van de generator naar gelijkspanning (DC). Daarnaast zit er ook een overspanningsbeveiliging ingebouwd in de regelaar. Indien het opgewekte vermogen een vooraf gedefinieerde waarde overschrijdt, wordt het overtollige vermogen gedissipeerd in weerstanden. Daarnaast kan via de regelaar de generator manueel worden kortgesloten. Door deze kortsluiting zal de generator geremd worden in geval van nood of onderhoud aan de windturbine.
- Rem regelaar: Dit onderdeel is niet aanwezig bij alle kleine windturbines en vooral aanwezig bij windturbines met een hoger nominaal vermogen. Dit is een regelaar die de rem (mechanisch, aerodynamisch of elektronisch) aanstuurt. Afhankelijk van de turbine kan dit zowel manueel als automatisch (bij stroomonderbreking of te hoge windsnelheden) gebeuren.
- Omvormer: Deze garandeert de koppeling met het elektrische net en zet de gelijkspanning van de regelaar om naar een wisselspanning van 230 V en een netfrequentie van 50 Hz.
- Hoofdschakelaar: Tussen de Omvormer en het elektrische net moet een hoofdschakelaar voorzien zijn om de koppeling tussen beide manueel in en uit te schakelen.
- Onkoppelingbeveiliging: Dit is een beveiliging die wordt opgelegd door de distributiebeheerder voor installaties met een maximaal vermogen boven 10 kW. Dit is een beveiliging die de koppeling met het elektrische net verbreekt bij stroompannes om elektrocutiegevaar te voorkomen.

DC-DC omzetting

Wanneer de turbine gekoppeld wordt aan een batterij (voor eilandbedrijf of als tussenstap naar het elektriciteitsnet), dan dient de variërende wisselspanning van de generator omgezet te worden naar een gelijkspanning. Nadien wordt elektronisch met behulp van een DC-DC omzetter (*boost converter* of *buck-boost converter*) de gelijkspanning omgezet naar een vaste gelijkspanning geschikt voor de batterij. Ook dit systeem laat toe om het maximaal vermogen na te streven via MPPT. Er is wel nood aan een controlesysteem dat het laden van de batterij beheert en overladen voorkomt. Dit maakt doorgaans deel uit van de vermogenselektronica die door de windturbinefabrikant wordt meegeleverd.

Veiligheid

Het vermogenselektronische koppelingssysteem dient zo ontworpen te zijn dat het rekening houdt met een aantal veiligheidsaspecten:

- mogelijkheid om de turbine stil te leggen,
- detectie van het uitvallen van het elektriciteitsnet,
- bescherming tegen blikseminslag.

Stilleggen van de turbine Een kortgesloten generator verhindert de opstart van een windturbine doordat het meteen een tegenkoppel genereert wanneer de rotor verdraait. Dit wordt heel vaak gebruikt om de rotor vast te houden. Hetzelfde principe kan ook gebruikt worden om de turbine af te remmen, maar dat gaat gepaard met veel warmteproductie (risico op doorbranden van de windingen) en de mogelijkheid dat de PMG-rotor demagnetiseert. Dit systeem mag dus enkel in werking treden wanneer de rotor voldoende is afgeremd, bv. met een mechanische rem, aerodynamisch (door het pitchen van de bladen of door furling), of elektrisch via de regelaar (dissiperen van het vermogen in weerstanden).

Uitval van het elektriciteitsnet Batterijgekoppelde systemen worden niet verstoord door het uitvallen van het elektriciteitsnet en behoeven geen extra voorzorgen. Netgekoppelde turbines zonder batterij zijn wel afhankelijk van het net voor de goede werking van de vermogenselektronica. Deze worden daarom stilgelegd wanneer het elektriciteitsnet uitvalt. Ofwel wordt een *dump load* voorzien (bv. een weerstand) waarin het vermogen gedumpt kan worden zodat de turbine vertraagt en uiteindelijk kortgesloten kan worden. Ofwel is er geen aparte *dump load* en zorgt de generator-omzetter voor de geleidelijke vertraging van de rotor door het vermogen om te zetten in warmte. Dit gaat wel gepaard met een grote stroom door de windingen, met dus het risico op doorbranden ervan of demagnetisatie van de permanente magneten. Een mechanisme of aerodynamische rem kan aangewend worden om een deel van het vermogen te absorberen.

Bescherming tegen blikseminslag De IEC 61400-2 norm over kleine windturbines onthefte deze expliciet van de noodzaak om beschermd te worden tegen blikseminslag. Voor grote windturbines beschrijft de norm IEC 61400-24 vrij gedetailleerd hoe de kans op blikseminslag berekend kan worden. Annex N van deze norm hiervan geeft meer uitleg over hoe kleine netgekoppelde windturbines beschermd kunnen worden. Wanneer

windturbines gemonteerd worden op het dak van hoge gebouwen dienen voldoende voorzorgen genomen worden. De mast zelf is meestal voldoende geaard, uiteraard moet deze wel deskundig gekoppeld worden aan de structuur van het gebouw.

Afstandsbediening

Een monitoringsysteem lijkt aangewezen voor windturbines in Brussel, zeker wanneer deze op het dak van gebouwen gemonteerd worden. Dit laat toe om de goede werking van de turbine op te volgen. In het kader van de toenemende belangstelling voor centrale controle en bewaking van verdeelde elektrische energieopwekking is het ook raadzaam om bediening op afstand toe te voegen.

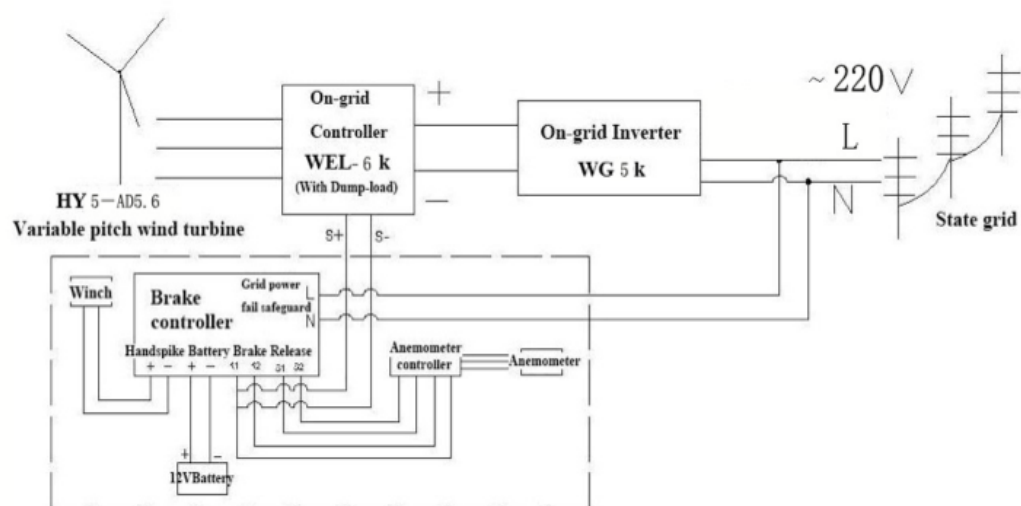
Conclusie

Deze studie toont aan dat er voor de geselecteerde windturbines geen enkel bezwaar is om deze te koppelen aan het elektriciteitsnet op de meetsites. De voorkeur gaat uit voor het koppelen van dergelijke installaties zonder het gebruik van een batterij. Op deze manier wordt de complexiteit en de kostprijs van de installatie gedrukt. Ook op vlak van veiligheid is er geen bezwaar. De turbine zal geremd worden bij het uitvallen van het elektriciteitsnet en bij nood of onderhoud kan de turbine ten allen tijde stilgelegd worden.

In figuur 7.28 wordt een voorbeeld gegeven van een koppelingssysteem met het elektriciteitsnet van een windturbine met een nominaal vermogen van 5 kW. Dit voorbeeld is representatief voor de aansluiting van de geselecteerde windturbines op de meetsites. Aangezien het nominaal vermogen lager is dan 10 kW (en dit het geval is voor de geselecteerde kleine windturbines), is een ontkoppelingsbeveiliging niet noodzakelijk (Laborelec, 2008). De specificaties van de onderdelen worden hierna verder beschreven ter illustratie:

- regelaar: Sungrow Wel 6-K
 - AC Ingangsspanning bereik: 0 - 550 V
 - DC Uitgangsspanning bereik: 0 - 780 V
 - Vermogen overspanningsbeveiliging: 0 - 6 kW (instelbaar)
 - Drempelspanning overspanningsbeveiliging: 290 - 590 V (instelbaar)
- Omvormer: Sungrow WG5-K
 - DC Ingangsspanning bereik: 200 - 780 V
 - Maximale ingangsstroom: 28 A
 - Nominaal bereik AC spanning: 180 - 260 V
 - Nominaal bereik AC netfrequentie: 47 - 51.5 Hz
 - Maximaal rendement: 94 %
- Rem regelaar: Huaying wind
 - Aerodynamische rem
 - Bekrachtigingsspanning Rem: 24 V
 - Bekrachtiging indien netspanning kleiner is dan 200 V
 - Bekrachtiging bij opgewekt vermogen groter dan 5.4 kW

- Hoofdschakelaar: EP102C25 Vynckier
 - Uitschakelstroom: 10 kA
 - Nominale stroom: 25 A
 - Dubbelpolig



Figuur 7.28: Standaard koppelingssysteem met het elektriciteitsnet (Zhejiang Huaying Wind Power Generator co., 2011)

7.7 Analyse van de vliegroutes

De stad Brussel en het grootste gedeelte van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest bevinden zich in het “plaatselijke verkeersgebied”, pal onder het luchtruim dat wordt gecontroleerd door de controletoren (CTR) van de Brusselse luchthaven, zoals geïllustreerd in figuur 7.29. Het is daarom nodig om voor elk nieuw obstakel de afweging te maken of het een hindernis vormt voor het luchtverkeer. De circulaire CIR/GDF-03⁶ over de richtlijnen betreffende de bebakening van hindernissen voor de luchtvaart, bepaalt de wijze waarop het directoraat-generaal (DG) Luchtvaart adviezen verstrekt betreffende bouwaanvragen van constructies die hinderlijk kunnen zijn voor de luchtvaart. Deze adviezen hebben (o.a.) betrekking op “vaste constructies waarvoor een bouwvergunning vereist is” en op “bestaande obstakels en objecten”. Het installeren van een windturbine op bestaande masten of gebouwen in de buurt van een luchthaven valt hier dus onder, een kleine windturbine op de grond niet. Een advies moet immers aangevraagd worden voor “elke vaste of mobiele constructie die, door haar vorm, afmetingen of plaats van inplanting, de veiligheid van het luchtverkeer kan in gevaar brengen”. Aangezien Brussel binnen de CTR gelegen is, wordt het opgedeeld in categorie A grondgebied, met bijhorende beoordelingscriteria en voorschriften, zoals vermeld in de circulaire.

De circulaire beschrijft de procedure voor de aanvraag van een advies. Elke aanvraag dient de volgende gegevens te bevatten, in drie exemplaren (de opsomming hierna is letterlijk overgenomen uit de circulaire):

- het hindernisformulier volledig ingevuld (cfr. Appendix 4 van de circulaire⁷);
- een situatieplan op schaal 1/10.000 (uittreksel van de kaart van het NGI bij voorbeeld) dat het terrein in een straal van 2 km rond het centrum van de constructie of van het zendstation voorstelt, met vermelding van de coördinaten in WGS84 (noorderbreedte en oosterlengte) en/of Lambertcoördinaten (X,Y) van dat centrum en de hoogte van het terrein en de hoogte van de top van de constructie of het zendstation boven het zeeniveau (Mean Sea Level);
- een tekening van de constructie of van het zendstation waarop de structuur van de constructie of van het zendstation, de hoogte boven de grond van de verscheidene platformen en van de top te zien zijn;
- een beschrijving van de gebruikte materialen;
- het nummer van de topografische kaart van het Nationaal Geografisch Instituut.

Ter voorbereiding van een toekomstige adviesaanvraag zijn voor de vier testsites reeds de coördinaten, de hoogte, en het nummer van de topografische kaarten verzameld:

- The Hotel
 - *Belgian Lambert 2008* coördinaten: X = 649201.27 m, Y = 669650.87 m
 - *WGS84*: Breedte = 50.837269444444445 graden N, Lengte = 4.357416666666667 graden E
 - Topografische kaart NGI: nr. 31/3Z

⁶http://www.mobilit.belgium.be/nl/binaries/cir_gdf03_tcm466-206692.pdf

⁷http://www.mobilit.belgium.be/nl/binaries/hindernisformulier_nl_tcm466-206710.doc

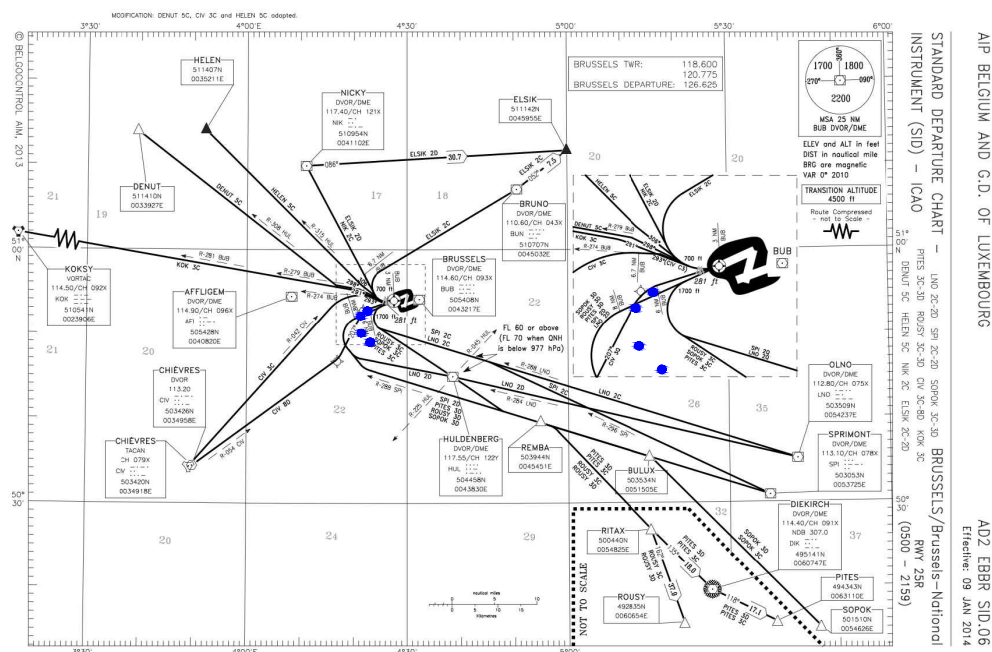
- Topografisch kaart NGI: nr. 31/3N
- Hoogte van het grondniveau (bij benadering): 13 m boven MSL
- Hoogte van de top van de constructie (bij benadering): 85 m boven MSL
- ULB
 - *Belgian Lambert 2008* coördinaten: X = 651139.32 m, Y = 666847.03 m
 - *WGS84*: Breedte = 50.812061111111106 graden N, Lengte = 4.384916666666667 graden E
 - Topografisch kaart NGI: nr. 31/7N bij NGI
 - Hoogte van het grondniveau (bij benadering): 103 m boven MSL
 - Hoogte van de top van het gebouw (bij benadering): 150 m boven MSL
- De Haven van Brussel
 - *Belgian Lambert 2008* coördinaten: X = 648848.38 m, Y = 672733.79 m
 - *WGS84*: Breedte = 50.864983333333335 graden N Lengte = 4.35240277777 graden E
 - Topografisch kaart NGI: nr. 31/3Z
 - Hoogte van het grondniveau (bij benadering): 16 m boven MSL
 - Hoogte van de top van de constructie (bij benadering): 31 m boven MSL

Het advies van het DG Luchtvaart is ofwel (letterlijk gekopieerd uit de circulaire):

- *Onvoorwaardelijk positief*: Indien de constructie of het zendstation geen gevaar oplevert voor het luchtverkeer.
- *Voorwaardelijk positief*: Indien de constructie of het zendstation een gevaar oplevert voor het luchtverkeer wordt er een voorwaardelijk positief advies gegeven wanneer het risico dat verbonden is aan dat gevaar door aanpassing van de constructie of door bebakening tot een aanvaardbaar niveau kan worden teruggebracht. DGLV zal in dit voorwaardelijk positief advies de aan te brengen signalisatie (kleurbekening, bakens of verlichting) opgeven of een beschrijving geven van de aan te brengen wijziging aan de constructie. Als de aanvrager van het advies deze signalisatie (bakens, kleurbekening of verlichting) niet of onvolledig wenst op te leggen in de bouwvergunning, moet het advies als negatief beschouwd worden.
- *Negatief*: Indien door het oprichten van de constructie of van het zendstation de veiligheid van het luchtverkeer niet meer gegarandeerd wordt en het aan het gevaar verbonden risico niet tot een aanvaardbaar niveau kan worden teruggebracht, wordt een negatief advies gegeven. Dit wil zeggen dat het DGLV van oordeel is dat de constructie of het zendstation niet mag opgericht worden.

Alle bestudeerde sites liggen buiten de binnenste zone met hindernisbeperkende vlakken, die de hoogte van obstakels in de directe omgeving van landingsbanen beperkt. De Elia-site moet wel onderzocht worden betreffende de mogelijke impact op de vliegprocedures beschreven in het ICAO PANS-OPS Document 8168 Volume II⁸. Deze site ligt immers pal onder de standaardroute bij vertrek van op baan 25R (zoals geïllustreerd in

⁸<http://tinyurl.com/n9c91s6>



Figuur 7.30: Standaard vertrekroute overdag vanaf landingsbaan 25R. De vier meetsites zijn opnieuw aangeduid met blauwe bollen, zo ook in de inzet.

figuur 7.30), en in de buurt van de route voor de VOR-nadering naar baan 07L. Ook de site The Hotel kan een impact hebben op de VOR-nadering naar baan 07R, hoewel enkel de Finance tower (WGS84: Breedte = 50.8528553 graden N, Lengte = 4.3643988 graden E) op de kaart vermeld wordt als obstakel. De ligging van de sites en hun impact op het verkeer worden geïllustreerd aan de hand van de officiële navigatiekaarten voor vertrek, nadering, en visuele navigatie in de buurt van de luchthaven.

Wellicht komt een op het dak gemonteerde kleine windturbine (sites The Hotel en ULB) niet uit boven reeds aanwezige objecten (masten en antenne's) of het dak zelf of de omringende gebouwen, zodat de toegevoegde hinder voor het luchtverkeer vrijwel onbestaande is. Ook de Elia-site komt in aanmerking, alleszins voor een turbine waarvan de maximale hoogte (van het wiekuiteinde in hoogste verticale stand) onder deze van de reeds aanwezige masten en obstakels blijft.

Het advies van het DG Luchtvaart schrijft mogelijk extra signalisatie voor, via kleurbebakening en/of verlichting, afhankelijk van het gebied en de hoogte van de turbine. Hoofdstuk 7 van de circulaire CIR-GDF 03 beschrijft specifiek de vereiste signalisatie voor windturbines. Dit kan de kleurbebakening van de wieken, de gondel, en de mast omvatten, en/of de verlichting van de gondel en de wiekuiteinden.

De maximale rotordiameter van de turbines Windspire, Windera en Windspot is 6.3 m. Bijgevolg is de radarsignatuur van deze turbines zeer klein, met een wellicht verwaarloosbare impact op de radarbeelden van de luchtverkeersleiding. Dit is niet vanzelfsprekend voor de Xant-21 en Xant-23, waarvan de rotordiameters respectievelijk 21 m en 23 m bedragen. Meer onderzoek is hiervoor aangewezen.

Conclusie

Het is noodzakelijk om een advies aan te vragen bij het DG Luchtvaart alvorens een windturbine te installeren op het dak van een gebouw in Brussel. Hoewel elke case afzonderlijk behandeld dient te worden door het DG, lijkt de impact van een windturbine op de voorgestelde sites beperkt.

- The Hotel is reeds aangeduid als obstakel op de visuele naderingskaart. Er zijn echter in de onmiddellijke omgeving andere obstakels die hoger uitkomen (Bastion tower, Finance tower). Een kleine windturbine op het dak van The Hotel, waarvan de maximale hoogte niet of nauwelijks boven de bestaande hoogste antenne zou uitkomen, heeft geen significante toegevoegde hinder, en maakt een goede kans om positief beoordeeld te worden.
- De Elia-site ligt op een kritisch traject van voornamelijk vertrekkende vliegtuigen. Toch zijn ook hier hogere obstakels in de nabije omgeving (de schouw van de verbrandingsoven van Neder-Over-Heembeek, het Atomium ook). Ook hier is de conclusie dat een kleine turbine waarvan de wieken niet boven de reeds aanwezige mast uitkomen, weinig hinder veroorzaakt, en een goede kans maakt om positief beoordeeld te worden.
- De kanaalsite ligt eveneens op een kritisch traject van vertrekkende vliegtuigen. Een kleine turbine op de grond gemonteerd heeft echter geen enkele impact op het luchtverkeer, en dient niet voorgelegd te worden aan het DG Luchtvaart.
- De ULB-site ligt niet op een kritisch traject. Een kleine windturbine gemonteerd op het dak van ULB heeft geen significante hinder voor het luchtverkeer, en maakt een goede kans om positief geadviseerd te worden.

7.8 Economische aspecten

Inleiding

In dit deel van de haalbaarheidsstudie worden de economische aspecten van kleine en middelgrote windturbines in acht genomen. Deze analyse behandelt de economische beoordeling van de vier meetsites voor zowel de drie geselecteerde kleine windturbines alsook de twee middelgrote windturbines (toegevoegd op vraag van 3E). Daarnaast wordt ook de economische haalbaarheid bepaald voor een site in Brussel (Manhattan toren) uit een vorige studie uitgevoerd door 3E in opdracht van BIM (Guidon, 2011). Met deze extra meetsites worden er dus vijf turbines en vijf meetsites gebruikt. In de analyse gebeurt op basis van de volgende gegevens:

- de samenstelling van correcte marktgegevens voor de installatiekost voor toepasbare technologieën,
- de inventarisatie van financiële steun voor de investering,
- de inventarisatie van beschikbare financiële steun voor de energieproductie: groenestroomcertificaten, vergoeding van geleverde (grijze) stroom (MWh) en
- de operationele parameters: verwachte opbrengst, evolutie van de opbrengst over de levensduur van de installatie, onderhoudskosten, vervangingskosten.

Methodologie

De analyse werd uitgevoerd voor enerzijds particuliere eigenaars alsook KMO's waarbij telkens rekening werd gehouden met een gemiddeld verbruik en een representatieve elektriciteitskost voor het type eigenaar. De analyse is gebaseerd op de aanname dat de energie geproduceerd door de turbines in eerste instantie verbruikt zal worden door de eigenaar. De eigenaar spaart hierdoor de kost van de elektriciteit uit. Indien er daarnaast nog elektriciteit wordt geproduceerd, die niet door de eigenaar verbruikt zal worden, dan wordt deze op het net geplaatst en verkocht aan de gangbare verkoopprijs. Deze gedetailleerde financiële analyse illustreert op welke wijze men de bouw van een kleine windturbine economisch dient te benaderen. De gebruikte parameters werden met zorg geschat om een zo accuraat mogelijk beeld te geven van het verloop van de investering. Het is belangrijk op te merken dat deze cijfers een eerste inschatting betreffen. Aannames over de prijzen, subsidies, evoluties en trends zijn gebaseerd op opgedane ervaring in gelijkaardige projecten of dienen soms in een latere fase nog te worden onderhandeld. Op basis van deze geïnventariseerde randvoorwaarden wordt de terugverdientijd, NPV (net present value), IRR (internal rate of return) op 20 jaar berekend en geëvalueerd.

Gebruikte gegevens

Turbinespecifieke gegevens

Volgende turbinespecifieke gegevens werden gebruikt in de analyse:

- energieproductie per jaar (zoals berekend in de analyse van de winddata (zie sectie 5) en hieronder samengevat),
- investeringskost van de turbine (aankoopprijs, installatiekost, fundering en kraan bij plaatsing op gebouw),

- jaarlijkse onderhoudskost en
- levensduur van de turbine.

De eigenschappen van de geëvalueerde turbinetypes, zoals geselecteerd in de eerdere studie en de vijf sites worden weergegeven in tabellen 7.2 en 7.3. De jaarlijkse energieopbrengsten die in deze economische analyse worden gebruikt, zijn op basis van de langetermijnschattingen in sectie 6.

Windturbine-fabrikant	Eenheden	Mariah Power	Ennera	Sonkyo
Windturbine-type	[-]	Windspire	Winderer IN S	Windspot 7.5kW
Nominaal vermogen	[kW]	1.1	3.3	7.5
Rotor diameter	[m] H=6.1m	D= 1.2m	4.3	6.3
Netto productie Elia site 24m (3.2 m/s)	[kWh/jr]	302	1956	3322
Netto productie Elia site 59m (4.4 m/s)	[kWh/jr]	941	4804	8280
Netto productie ULB site 41m (4.0 m/s)	[kWh/jr]	459	3041	5202
Netto productie Haven Site 12m	[kWh/jr]	353	2582	4247
Netto productie Hotel site 101m (5.6 m/s)	[kWh/jr]	1776	8173	14201
Netto productie Manhattan Toren 118.5m (4.97 m/s)	[kWh/jr]	1 384	6 526	11 255

Tabel 7.2: Eigenschappen van de kleine windturbines

Windturbine-fabrikant	Eenheden	Xant	Xant
Windturbine-type	[-]	Xant-21	Xant-23
Nominaal vermogen	[kW]	100	100
Rotor diameter	[m]	21	23
Netto productie Elia site 24m (3.2 m/s)	[kWh/jr]	51692	61284
Netto productie Elia site 43m (4.0 m/s)	[kWh/jr]	94016	111160
Netto productie ULB site 41m (4.0 m/s)	[kWh/jr]	77470	92853
Netto productie Haven Site 12m	[kWh/jr]	66404	77695
Netto productie Hotel site 101m (5.6 m/s)	[kWh/jr]	208330	240590
Netto productie Manhattan Toren 118.5m (4.97 m/s)	[kWh/jr]	166 363	193 527

Tabel 7.3: Eigenschappen van de middelgrote windturbines

Er wordt in de economische analyse geen rekening gehouden met een eventuele daling van de energieopbrengst omdat dit niet gebruikelijk is. De kosten en levensduur van de verschillende types zoals ontvangen van de fabrikanten worden weergegeven in tabellen 7.4 en 7.5. Voor de kleine windturbines die op een gebouw geïnstalleerd zijn is er nog een onderverdeling gemaakt in de totale investeringskost. Voor de Windera IN S werden nog geen finale waarden ontvangen van de fabrikant. De gebruikte waarden zijn de best mogelijke inschattingen op basis van de beschikbare informatie, ontvangen van de projectcoördinator.

turbine	Windspire	Windera IN S	Windspot
Aankoop	€7500	€15000	€30350
Totale installatie op grondniveau of op gebouw zonder kraan	€3000	€5500	€6500
Totale installatie op gebouw met kraan met kraan	€8000	€10500	€11500
installatie	€1000	€1500	€1500
fundering	€2000	€4000	€5000
kraan	€5000	€5000	€5000
Onderhoudskost	1% investering	2% investering	€200/ jaar
levensduur	15 jaar	20 jaar	20 jaar

Tabel 7.4: Kosten en levensduur van geselecteerde kleine turbines

turbine	Xant-21	Xant-23
Aankoop	€290 000	€290 000
Totale installatie op grondniveau of op gebouw zonder kraan	€36 000	€36 000
Totale installatie op gebouw met kraan met kraan	Geen installatie op gebouw	Geen installatie op gebouw
Onderhoudskost	€5200/ jaar	€5200/ jaar
levensduur	20 jaar	20 jaar

Tabel 7.5: Kosten en levensduur van de middelgrote windturbines

Omwille van het specifieke windklimaat op een site is het mogelijk dat de effectieve waarden bij plaatsing afwijken van de waarden aangeleverd door de fabrikant waardoor er hogere kosten zijn of een lagere levensduur van toepassing is. Een kost voor de verzekering van de windturbines werd niet opgenomen in deze financiële analyse. Er is weinig tot geen praktijkervaring met middelgrote en kleine windturbines in België waardoor de kost voor verzekering moeilijk in te schatten is.

Elektriciteitsprijs

De analyse werd uitgevoerd uitgaand van aankoop door particuliere personen alsook door KMO's. Voor een particuliere ontwikkelaar werd uitgegaan van een jaarlijkse eigen verbruik van 3500kWh, het gemiddelde voor een modaal gezin. De elektriciteitsprijs voor particulieren in het Brussels hoofdstedelijk gewest, zoals berekend door de CREG (Creg, 2014) in februari 2014 bedraagt 20.94 c€/kWh. Voor KMO's wordt uitgegaan van een gemiddeld verbruik van 50 000kWh en een elektriciteitsprijs van 16.28 c€/kWh, zoals eveneens berekend door de CREG. Er werd geen gemiddelde elektriciteitsprijs en gemiddeld verbruikt voor grote bedrijven teruggevonden, waardoor dit scenario niet in rekening werd gebracht. Voor de verkoopprijs van geproduceerde elektriciteit wordt een waarde van 4c€/kWh in rekening gebracht. Deze verkoopprijs wordt toegepast voor het gedeelte van de elektriciteitsproductie dat op het net wordt geplaatst. Het gaat daarbij om het deel van de elektriciteit dat niet door de eigenaar wordt verbruikt.

Subsidies of premies

Voor particulieren werd rekening gehouden met de mogelijkheid tot het verwerven van de energiepremie die door het Brussels Hoofdstedelijk gewest (BIM, 2014) wordt toegekend en die 25% van de investeringskost bedraagt. Het Brussels hoofdstedelijk kent eveneens een premie toe voor KMO's. De grootte van de premie is afhankelijk van de grootte van de onderneming en bedraagt 30 tot 40 % van de investeringskost. In deze economische analyse wordt rekening gehouden met een premie van 30 % van de investeringskost alsook een vrijstelling voor belasting op de winst ten belope van 14.5% van de investeringskost. De steun van het Brussels gewest is beperkt tot €80 000 per bedrijf en per kalenderjaar.

Groenestroomcertificaten

Het Brussels hoofdstedelijk gewest verzet groenestroomcertificaten voor kleine windturbines. Per MWh energie geproduceerd door windturbines wordt 1.81 groene stroomcertificaten voorzien. De verkoopprijs van deze certificaten voor het laatste kwartaal van 2013, zoals gecommuniceerd door Brugel (Brugel, 2013), bedraagt €83.25. Aan de hand van de geproduceerde energieproductie, zoals berekend in de eerdere analyse werd het aantal groene stroomcertificaten en de totale verkoopprijs van certificaten per jaar berekend. De waarde hiervan werd in de analyse in rekening gebracht.

Overige parameters

Tot slot wordt er ook rekening gehouden met onderstaande economische parameters:

- Inflatie: er wordt rekening gehouden met een inflatie van 2% (Mermuys, 2010);
- Stijging van energieprijzen bovenop inflatie: er wordt aangenomen dat de energieprijzen gemiddeld 1.5% sneller stijgen dan de inflatie (Mermuys, 2010);

- Actualisatievoet: de actualisatievoet wil in rekening brengen dat 1 euro vandaag meer waard is dan 1 euro volgend jaar. Als basis wordt hier een actualisatievoet van 4% genomen, dat het rendement weerspiegelt dat op kapitaal indien risicoloos wordt belegd. Als het geld geleend wordt, is de actualisatievoet de interestvoet die je op je kapitaal moet betalen (Mermuys, 2010).

Resultaten

Deze financiële analyse geeft tot doel een eerste inzicht mee te geven naar de grootorde van investering en bijhorende terugverdientijden. De randvoorwaarden waaronder de berekeningen werden gemaakt, worden steeds meegegeven. Merk op dat een wijziging in één van de randvoorwaarden, de financiële analyse kan beïnvloeden. Deze randvoorwaarden dienen dus steeds voorafgaand verder afgetoetst te worden aan de reële situatie. De opgegeven prijzen zijn betrouwbare inschattingen van de grootorde van de investering aangeleverd door de leveranciers gebaseerd op de momenteel beschikbare info. Deze prijzen kunnen variëren van project tot project en zijn niet bindend.

- Netto contante waarde over 20 jaar: Deze waarde geeft weer hoeveel een investering netto (dus rekening houdend met de investering en de actualisatievoet) waard is binnen 20 jaar. Als deze waarde positief is, betekent dit dat met je gegeven actualisatievoet de investering rendabel is. Indien deze negatief is, zal de investering een rendement (=IRR) opleveren die lager is dan de actualisatievoet. Deze wordt berekend door alle cashflows op te tellen (ook de eerste van jaar 0), die te verdisconteren volgens de actualisatievoet en vervolgens het resultaat te berekenen.
- IRR over 20 jaar: IRR is de afkorting van Internal rate of return. Hoe hoger de IRR van een project, hoe rendabeler het project. De interne rentevoet of het intern rendement is het (berekend) rentepercentage dat u ontvangt over uw geïnvesteerde kapitaal. Deze IRR wordt vergeleken met de actualisatievoet (bij een lening is dit gelijk aan de rentevoet op je lening): is de IRR groter dan de actualisatievoet, dan is de investering in principe rendabel. De IRR wordt bepaald door na te gaan bij welke actualisatievoet de netto contante waarde gelijk wordt aan nul.
- Statische terugverdientijd: Dit getal duidt aan hoelang het duurt vooraleer het geïnvesteerde kapitaal werd terugverdiend (dus als er €1000 wordt geïnvesteerd, is dit de periode waarop deze €1000 werd terugverdiend). Deze terugverdientijd houdt geen rekening met de actualisatievoet. De netto investering gedeeld door de cash flow in jaar 1.
- Dynamische terugverdientijd: De dynamische terugverdientijd wordt op dezelfde manier berekend als de statische, maar houdt nu wel rekening met de actualisatievoet. Hierdoor wordt een voorzichtiger beeld gegeven van de waarde van de investering. De cash flow van jaar 0 tem jaar 20 wordt geactualiseerd, door deze geactualiseerde cash flows te cumuleren wordt gekeken in welk jaar de geldstroom positief wordt.

De netto contante waarde, IRR, statische terugverdientijd en dynamische terugverdientijd moeten samen worden geïnterpreteerd om de rendabiliteit te beoordelen. Elke parameter heeft zijn specifieke eigenschappen en voor- en nadelen. Een negatieve netto contante waarde en een negatieve IRR waarde werden in de tabel weergegeven als zijnde Niet Van Toepassing (NVT). Voor de terugverdientijd werden waarden groter dan 20 jaar weergegeven als >20, daar dit de langste levensduur van de turbines is.

Elia-site

De Elia site is een site met een gemiddelde windsnelheid van 3.2m/s, 4.0 m/s en 4.4 m/s, gemeten op respectievelijk 24 m, 43 m en 59 m hoogte. Voor deze site werd de economische haalbaarheid nagegaan voor een plaatsing op 24 m voor alle turbines, op 43 m voor de middelgrote windturbines en op 59m (plaatsing van de turbine op een imaginair gebouw) voor de kleine windturbines.

Elia-site : KMO's De resultaten voor KMO's op de Elia-site worden weergegeven in tabel 7.6 tot 7.10. Uit de tabellen kan worden afgeleid dat voor een KMO een plaatsing op grondniveau (24m) niet aan te raden is. Bij plaatsing van de Xant turbines op een hoogte van 43m, komt de Xant-23 als beste naar voren. Vooral bij een groot eigen verbruik van de elektriciteit zijn de Xant turbines interessant. Voor de Windspot kan de plaatsing op een gebouw rendabel zijn. Bij de Windera is dit enkel het geval indien geen kraan nodig is bij de installatie.

kenmerk	eenheid	Windspire	Windera IN S	Windspot	Xant-21	Xant-23
NCW	[€]	NVT	NVT	NVT	NVT	NVT
IRR	[%]	NVT	NVT	NVT	NVT	NVT
Statische TVT	[Jaren]	> 20	> 20	> 20	> 20	19
Dynamische TVT	[jaren]	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20

Tabel 7.6: Resultaten Elia-site voor een KMO (plaatsing op 24m)

kenmerk	eenheid	Xant-21	Xant-23
NCW	[€]	NVT	16 396
IRR	[%]	3.0	4.9
Statische TVT	[Jaren]	13	11
Dynamische TVT	[jaren]	> 20	18

Tabel 7.7: Resultaten Elia-site voor een KMO (plaatsing op 43m)

Uitgaand van KMO's met een hoog eigen verbruik werd de analyse ook uitgevoerd bij volledig eigen verbruik van de geproduceerde energie.

kenmerk	eenheid	Xant-21	Xant-23
NCW	[€]	85478	159677
IRR	[%]	8.1	11.2
Statische TVT	[Jaren]	10	8
Dynamische TVT	[jaren]	12	9

Tabel 7.8: Resultaten Elia-site voor een KMO (plaatsing op 43m) met volledig eigen verbruik van de geproduceerde energie

kenmerk	eenheid	Windspire	Winder IN S	Windspot
NCW	[€]	NVT	335	7880
IRR	[%]	NVT	4.3	7.5
Statische TVT	[Jaren]	> 20	13	11
Dynamische TVT	[jaren]	> 20	20	13

Tabel 7.9: Resultaten Elia-site voor een KMO (plaatsing op 59m, zonder kraan)

kenmerk	eenheid	Windspire	Winder IN S	Windspot
NCW	[€]	NVT	NVT	4632
IRR	[%]	NVT	0.3	5.8
Statische TVT	[Jaren]	> 20	17	12
Dynamische TVT	[jaren]	> 20	>20	16

Tabel 7.10: Resultaten Elia-site voor een KMO (plaatsing op 59m, met kraan)

Elia-site : Particulieren De resultaten voor particulieren op de Elia-site worden weergegeven in tabel 7.11 tot 7.14. Voor particulieren is de Elia-site niet aan te raden. Op 59m hoogte is er voor de Winder IN S zonder kraan en voor de Windspot wel een positieve IRR en een Statische TVT korter dan 20 jaar.

kenmerk	eenheid	Windspire	Winder IN S	Windspot	Xant-21	Xant-23
NCW	[€]	NVT	NVT	NVT	NVT	NVT
IRR	[%]	NVT	NVT	NVT	NVT	NVT
Statische TVT	[Jaren]	> 20	> 20	> 20	> 20	>20
Dynamische TVT	[jaren]	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20

Tabel 7.11: Resultaten Elia-site voor een particulier (plaatsing op 24m)

kenmerk	eenheid	Xant-21	Xant-23
NCW	[€]	NVT	NVT
IRR	[%]	NVT	NVT
Statische TVT	[Jaren]	19	15
Dynamische TVT	[jaren]	> 20	> 20

Tabel 7.12: Resultaten Elia-site voor een particulier (plaatsing op 43m)

kenmerk	eenheid	Windspire	Winder IN S	Windspot
NCW	[€]	NVT	NVT	NVT
IRR	[%]	NVT	3.0	2.5
Statische TVT	[Jaren]	> 20	14	14
Dynamische TVT	[jaren]	> 20	> 20	> 20

Tabel 7.13: Resultaten Elia-site voor een particulier (plaatsing op 59m, zonder kraan)

kenmerk	eenheid	Windspire	Winder IN S	Windspot
NCW	[€]	NVT	NVT	NVT
IRR	[%]	NVT	NVT	1.1
Statische TVT	[Jaren]	> 20	17	12
Dynamische TVT	[jaren]	> 20	>20	16

Tabel 7.14: Resultaten Elia-site voor een particulier (plaatsing op 59m, met kraan)

ULB campus Solbosch

De ULB site betreft een site op het dak van het 35m hoge ULB gebouw. De windsnelheid op de meethoogte van 41m bedraagt 4.0m/s. Voor middelgrote windturbines is een installatie op een bestaand gebouw praktisch gezien niet haalbaar. Voor de overige types worden twee scenario's geëvalueerd. Enerzijds er van uitgaand dat er geen kraan nodig is, waarbij dezelfde installatiekost als op grondniveau werd toegepast. Anderzijds er van uitgaan dat een kraan noodzakelijk is voor de installatie waardoor een hogere installatiekost in rekening wordt gebracht. Voor de verschillende installatiekosten wordt verwezen naar tabellen 7.4 en 7.5.

ULB-site: KMO's De resultaten voor KMO's op de ULB-site worden weergegeven in tabellen 7.15 en 7.16.

kenmerk	eenheid	Windspire	Winder IN S	Windspot
NCW	[€]	NVT	NVT	NVT
IRR	[%]	NVT	NVT	1.2
Statische TVT	[Jaren]	> 20	> 20	17
Dynamische TVT	[jaren]	> 20	> 20	> 20

Tabel 7.15: Resultaten ULB-site voor een KMO met een plaatsing op gebouw, zonder kraan

kenmerk	eenheid	Windspire	Winder IN S	Windspot
NCW	[€]	NVT	NVT	NVT
IRR	[%]	NVT	NVT	NVT
Statische TVT	[Jaren]	> 20	> 20	20
Dynamische TVT	[jaren]	> 20	> 20	> 20

Tabel 7.16: Resultaten ULB-site voor een KMO met een plaatsing op gebouw, met kraan

ULB-site: Particulieren De resultaten voor particulieren op de ULB-site worden weergegeven in tabellen 7.17 en 7.18. Uit deze tabellen kan worden geconcludeerd dat het plaatsen van een kleine windturbine op de ULB site niet als rendabel kan worden beschouwd. De Windspot is het enige type met een positieve IRR en een statische terugverdientijd kleiner dan 20 jaar, en dit enkel voor KMO's.

kenmerk	eenheid	Windspire	Winder IN S	Windspot
NCW	[€]	NVT	NVT	NVT
IRR	[%]	NVT	NVT	NVT
Statische TVT	[Jaren]	> 20	> 20	20
Dynamische TVT	[jaren]	> 20	> 20	> 20

Tabel 7.17: Resultaten ULB-site voor een KMO met een plaatsing op gebouw, zonder kraan

kenmerk	eenheid	Windspire	Winder IN S	Windspot
NCW	[€]	NVT	NVT	NVT
IRR	[%]	NVT	NVT	NVT
Statische TVT	[Jaren]	> 20	> 20	> 20
Dynamische TVT	[jaren]	> 20	> 20	> 20

Tabel 7.18: Resultaten ULB-site voor een KMO met een plaatsing op gebouw, met kraan

De Haven van Brussel

Op de site nabij de Haven van Brussel werd windmetingen uitgevoerd op een hoogte van 12m boven het grondoppervlak. Er werd voor deze site m.a.w uitgegaan van de installatie op de grond.

Haven-site: KMO's De resultaten voor de site nabij de Haven van Brussel worden weergegeven in tabel 7.19. De tabel toont aan dat deze site of een site met identieke eigenschappen vanuit economisch standpunt niet geschikt is voor plaatsing van een kleine windturbine. Enkel voor KMO's met een verbruik groter dan 50 000kWh/jaar is de Xant-23 een mogelijkheid, daar in dat geval een groter deel van de productie van de turbine intern verbruikt kan worden. In tabel 7.20 wordt de situatie weergegeven bij volledig intern verbruik van de geproduceerde energie.

kenmerk	eenheid	Windspire	Winder IN S	Windspot	Xant-21	Xant-23
NCW	[€]	NVT	NVT	NVT	NVT	NVT
IRR	[%]	NVT	NVT	NVT	NVT	1.1
Statische TVT	[Jaren]	> 20	> 20	> 20	18	15
Dynamische TVT	[jaren]	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20

Tabel 7.19: Resultaten Haven site voor een KMO (plaatsing op grondniveau)

kenmerk	eenheid	Xant-21	Xant-23
NCW	[€]	NVT	14841
IRR	[%]	2.2	4.8
Statische TVT	[Jaren]	15	13
Dynamische TVT	[jaren]	> 20	19

Tabel 7.20: Resultaten voor de Haven-site voor KMO's met volledig verbruik van geproduceerde energie

Haven-site: Particulieren De resultaten voor particulieren op de Haven-site worden weergegeven in tabel 7.21. Voor particulieren is het vanuit economisch standpunt niet aan te raden een kleine turbine te plaatsen op deze site of een site met identieke karakteristieken.

kenmerk	eenheid	Windspire	Winder IN S	Windspot	Xant-21	Xant-23
NCW	[€]	NVT	NVT	NVT	NVT	NVT
IRR	[%]	NVT	NVT	NVT	NVT	NVT
Statische TVT	[Jaren]	> 20	> 20	> 20	> 20	>20
Dynamische TVT	[jaren]	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20

Tabel 7.21: Resultaten Haven site voor een particulier (plaatsing op grondniveau)

The Hotel

De Hotel site betreft een site op het dak van het hotel. De gemiddelde windsnelheid bedraagt 5.6m/s op een hoogte van 101m. Voor middelgrote windturbines is een installatie op een bestaand gebouw praktisch gezien niet haalbaar. Voor de andere types worden twee scenario's geëvalueerd. Enerzijds met dezelfde installatiekost als op grondniveau, ervan uitgaand dat er geen kraan nodig is. Anderzijds ervan uitgaand dat een kraan noodzakelijk is voor de installatie. In dat geval wordt een hogere installatiekost in rekening gebracht.

Hotel-site: KMO's De resultaten voor KMO's op de Hotel-site worden weergegeven in tabellen 7.22 en 7.23.

kenmerk	eenheid	Windspire	Winder IN S	Windspot
NCW	[€]	NVT	14918	33506
IRR	[%]	2.1	15.1	17.2
Statische TVT	[Jaren]	16	7	6
Dynamische TVT	[jaren]	> 20	7	7

Tabel 7.22: Resultaten Hotel-site voor een KMO met een plaatsing op gebouw, zonder kraan

kenmerk	eenheid	Windspire	Winder IN S	Windspot
NCW	[€]	NVT	9929	30159
IRR	[%]	NVT	10.4	14.7
Statische TVT	[Jaren]	> 20	9	7
Dynamische TVT	[jaren]	> 20	10	8

Tabel 7.23: Resultaten Hotel-site voor een KMO met een plaatsing op gebouw, met kraan

Hotel-site: Particulieren De resultaten voor particulieren op de Hotel-site worden weergegeven in tabellen 7.24 en 7.25. De resultaten tonen aan dat The Hotel of een site

met gelijkaardige karakteristieken vanuit economisch standpunt de meest geschikte site is voor de plaatsing van een kleine windturbine. Zowel de Windspot als de Windera IN S zijn haalbaar op dergelijke site en dit voor zowel voor KMO's als particulieren.

kenmerk	eenheid	Windspire	Windera IN S	Windspot
NCW	[€]	NVT	5433	8584
IRR	[%]	3.5	8.3	7.9
Statische TVT	[Jaren]	15	9	9
Dynamische TVT	[jaren]	> 20	11	11

Tabel 7.24: Resultaten Hotel-site voor een particulier met een plaatsing op gebouw, zonder kraan

kenmerk	eenheid	Windspire	Windera IN S	Windspot
NCW	[€]	NVT	41	4834
IRR	[%]	NVT	4.0	6.0
Statische TVT	[Jaren]	> 20	12	10
Dynamische TVT	[jaren]	> 20	20	15

Tabel 7.25: Resultaten Hotel-site voor een particulier met een plaatsing op gebouw, met kraan

Hotel-site: Resultaten zonder overheidssteun Daar de plaatsing van kleine of middelgrote turbines voor een soortgelijke site rendabel is, werd ook de rendabiliteit nagegaan indien de overheidssteun zou wegvallen. Deze resultaten worden weergegeven in tabel 7.26 tot 7.29. Voor de KMO's blijft de hotel site een economisch interessante investering, zelfs zonder eventuele overheidssteun. Voor de particulieren zal door het wegvallen van de overheidssteun de investering veel minder interessant worden, daar de IRR waarden dalen met ongeveer de helft.

kenmerk	eenheid	Windspire	Windera IN S	Windspot
NCW	[€]	NVT	8144	21329
IRR	[%]	NVT	8.4	10.1
Statische TVT	[Jaren]	> 20	10	9
Dynamische TVT	[jaren]	> 20	12	10

Tabel 7.26: Resultaten Hotel-site voor een KMO met een plaatsing op gebouw, zonder kraan en zonder overheidssteun

kenmerk	eenheid	Windspire	Winder IN S	Windspot
NCW	[€]	NVT	1503	16329
IRR	[%]	NVT	4.7	8.2
Statische TVT	[Jaren]	> 20	13	10
Dynamische TVT	[jaren]	> 20	19	12

Tabel 7.27: Resultaten Hotel-site voor een KMO met een plaatsing op gebouw, met kraan en zonder overheidssteun

kenmerk	eenheid	Windspire	Winder IN S	Windspot
NCW	[€]	NVT	NVT	308
IRR	[%]	0.5	3.8	4.2
Statische TVT	[Jaren]	20	12	12
Dynamische TVT	[jaren]	> 20	>20	20

Tabel 7.28: Resultaten Hotel-site voor een particulier met een plaatsing op gebouw, zonder kraan en zonder overheidssteun

kenmerk	eenheid	Windspire	Winder IN S	Windspot
NCW	[€]	NVT	NVT	NVT
IRR	[%]	NVT	0.5	2.2
Statische TVT	[Jaren]	> 20	16	14
Dynamische TVT	[jaren]	> 20	<20	<20

Tabel 7.29: Resultaten Hotel-site voor een particulier met een plaatsing op gebouw, met kraan en zonder overheidssteun

Manhattan toren

Naast de sites geselecteerd in de eerdere studie werd ook de site Manhattan toren geëvalueerd. Op deze toren werden van juli 2010 tot juli 2011 windmetingen uitgevoerd. De windsnelheid op 118.5m bedraagt 4.97m/s. Het betreft hier eveneens een site op het dak van het gebouw. Voor de middelgrote windturbines is een installatie op een bestaand gebouw praktisch niet haalbaar. Voor de andere types worden twee scenario's geëvalueerd. Enerzijds met dezelfde installatiekost als op grondniveau ervan uitgaand dat er geen kraan nodig is. Anderzijds ervan uitgaand dat een kraan noodzakelijk is voor de installatie. In dat geval wordt een hogere installatiekost in rekening gebracht.

Manhattan-site: KMO's De resultaten voor KMO's op de Hotel-site worden weergegeven in tabellen 7.30 en 7.31. De resultaten tonen aan dat de Windera IN S en Windspot turbines vanuit economisch standpunt voor KMO's een goede investering zijn en dit zowel bij plaatsing zonder, als met kraan.

kenmerk	eenheid	Windspire	Windera IN S	Windspot
NCW	[€]	NVT	7790	20757
IRR	[%]	NVT	10.2	12.6
Statische TVT	[Jaren]	> 20	9	8
Dynamische TVT	[jaren]	> 20	10	9

Tabel 7.30: Resultaten Manhattan-site voor een KMO met een plaatsing op gebouw, zonder kraan

kenmerk	eenheid	Windspire	Windera IN S	Windspot
NCW	[€]	NVT	2801	17410
IRR	[%]	NVT	5.9	10.5
Statische TVT	[Jaren]	> 20	11	9
Dynamische TVT	[jaren]	> 20	16	10

Tabel 7.31: Resultaten Manhattan-site voor een KMO met een plaatsing op gebouw, met kraan

Manhattan-site: Particulieren De resultaten voor particulieren op de Manhattan-site worden weergegeven in tabellen 7.32 en 7.33. Voor particulieren is deze site vooral economisch haalbaar indien er geen kraan nodig is bij de plaatsing van de turbines.

kenmerk	eenheid	Windspire	Windera IN S	Windspot
NCW	[€]	NVT	2163	2736
IRR	[%]	0.1	5.3	5.7
Statische TVT	[Jaren]	20	11	11
Dynamische TVT	[jaren]	> 20	> 20	17

Tabel 7.32: Resultaten Manhattan-site voor een particulier met een plaatsing op gebouw, zonder kraan

kenmerk	eenheid	Windspire	Winder IN S	Windspot
NCW	[€]	NVT	NVT	NVT
IRR	[%]	NVT	1.7	3.8
Statische TVT	[Jaren]	> 20	15	13
Dynamische TVT	[jaren]	> 20	> 20	> 20

Tabel 7.33: Resultaten Manhattan-site voor een particulier met een plaatsing op gebouw, met kraan

Resultaten zonder overheidssteun Ook voor deze site werd de plaatsing zonder overheidssteun nagegaan. De resultaten worden weergegeven in tabel 7.34 tot 7.37. Bovenstaande analyse toont aan dat zonder overheidssteun de site economisch niet rendabel is voor particulieren. Voor KMO's blijft de Windspot-turbine rendabel. De Winder IN S turbine zal enkel interessant zijn bij plaatsing zonder kraan.

kenmerk	eenheid	Windspire	Winder IN S	Windspot
NCW	[€]	NVT	1015	8580
IRR	[%]	NVT	4.6	6.6
Statische TVT	[Jaren]	> 20	13	11
Dynamische TVT	[jaren]	> 20	19	15

Tabel 7.34: Resultaten Manhattan-site voor een KMO met een plaatsing op gebouw, zonder kraan en zonder overheidssteun

kenmerk	eenheid	Windspire	Winder IN S	Windspot
NCW	[€]	NVT	NVT	3580
IRR	[%]	NVT	1.1	5.0
Statische TVT	[Jaren]	> 20	16	13
Dynamische TVT	[jaren]	> 20	> 20	18

Tabel 7.35: Resultaten Manhattan-site voor een KMO met een plaatsing op gebouw, met kraan en zonder overheidssteun

kenmerk	eenheid	Windspire	Winder IN S	Windspot
NCW	[€]	NVT	NVT	NVT
IRR	[%]	NVT	2.1	1.6
Statische TVT	[Jaren]	20	15	15
Dynamische TVT	[jaren]	> 20	>20	>20

Tabel 7.36: Resultaten Manhattan-site voor een particulier met een plaatsing op gebouw, zonder kraan en zonder overheidssteun

kenmerk	eenheid	Windspire	Winder IN S	Windspot
NCW	[€]	NVT	NVT	NVT
IRR	[%]	NVT	NVT	0.2
Statische TVT	[Jaren]	> 20	19	17
Dynamische TVT	[jaren]	> 20	>20	>20

Tabel 7.37: Resultaten Manhattan-site voor een particulier met een plaatsing op gebouw, met kraan en zonder overheidssteun

Plaatsing meerdere windturbines

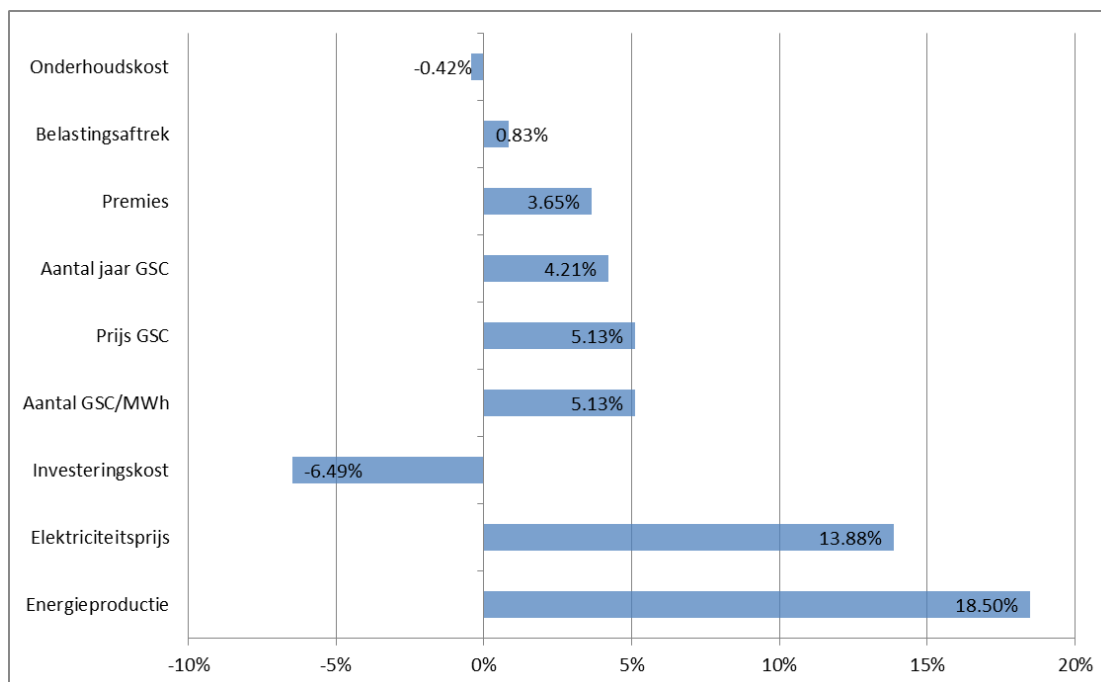
Voor bedrijven met een groot verbruik is het mogelijk dat de energieproductie door het plaatsen van één turbine niet aan de volledige energievraag kan voldoen. In dat geval is het plaatsen van meerdere turbines te overwegen. Voor particulieren zal dit niet erg interessant zijn gezien het beperkt verbruik, maar voor bedrijven met een verbruik ongeveer dubbel van de productie van één turbine, kan de plaatsing van een tweede turbine een goede optie zijn. De invloed op de economische cijfers door de installatie van een tweede turbine zal relatief beperkt zijn voor de terugverdientijd. De IRR zal stijgen, maar relatief beperkt. Vooral de NCW van het project zal toenemen.

Sensitiviteitsanalyse

In de sensitiviteitsanalyse wordt nagegaan in welke mate een wijziging aan één van de parameters een invloed zal hebben op de netto contante waarde. Om dit na te gaan worden eerst de verschillende parameters die een invloed zullen uitoefenen, geselecteerd. Er zijn variabelen die een fluctuerend karakter hebben, bv elektriciteitsprijs; Anderzijds zijn er ook variabelen die met meer zekerheid bepaald kunnen worden, maar die een grote bijdrage hebben in de totale uitgaven of inkomsten bv investeringskost. Op basis hiervan werden onderstaande parameters geselecteerd:

- aantal Groene stroom certificaten per MWh,
- aantal jaar Groene stroom certificaten,
- prijs per groene stroom certificaat,
- elektriciteitsprijs,
- onderhoudskost,
- investeringskost,
- energieproductie en
- steunmaatregelen

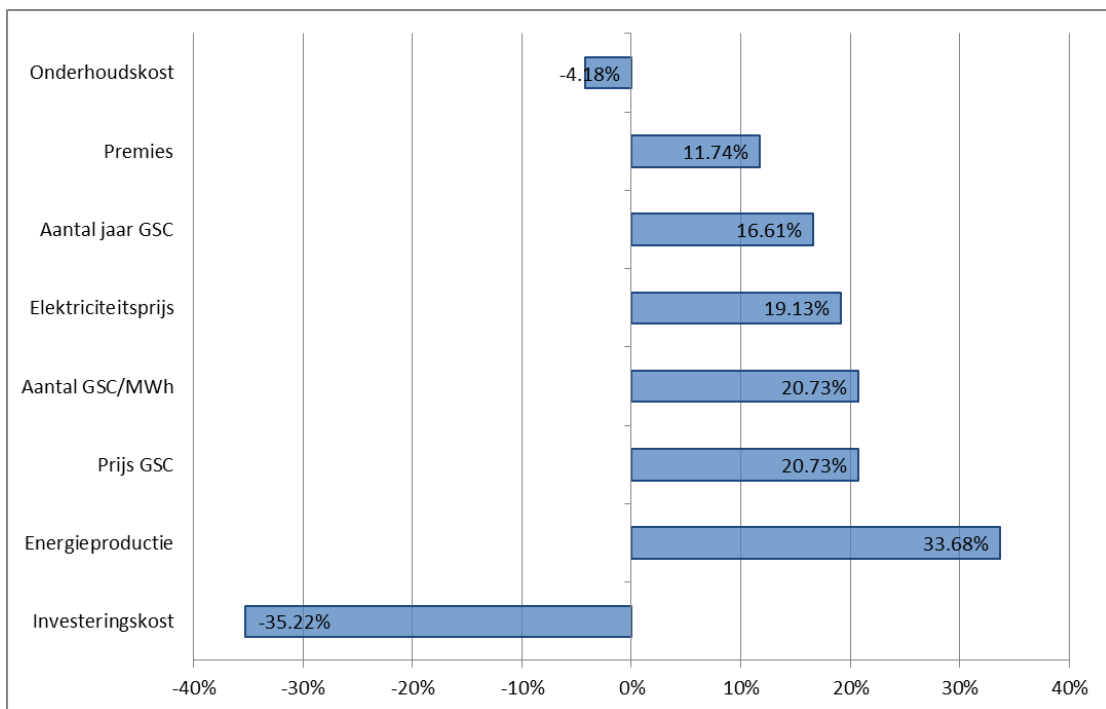
In de sensitiviteitsanalyse wordt nagegaan wat het effect op de netto contante waarde is door de verandering van één bepaalde parameter. De verschillende variabelen worden elk met een vaste waarde aangepast. In dit geval werd er voor gekozen de waarden met 10% aan te passen. Op die manier kan nagegaan worden hoeveel invloed de wijziging van één parameter heeft op de NVW en kan deze vergeleken worden met het effect op NCW van een vergelijkbare verandering in een andere parameter. Figuren 7.31 en 7.32



Figuur 7.31: Sensitiviteit van de verschillende parameter voor een KMO

geven dit weer voor KMO's en particulieren. De waarden werden berekend gebaseerd op de karakteristieken van de Hotel site, uitgaand van een Windspot turbine.

Aangezien de relatieve afwijking voor de verschillende parameters dezelfde is, geeft de breedte van de balken de gevoeligheid van de parameter t.o.v de netto contact waarde weer. De variabelen met positieve waarden, aan de rechterkant van de y-as zijn variabelen met een positief effect op de netto contante waarden. De variabelen met negatieve waarden, zullen een negatief effect op de NCW hebben. Uit de figuren kunnen we afleiden dat voor KMO's de energieproductie de meest sensitieve parameter is. De selectie van de site waarop de turbine geplaatst zal worden, is met andere woorden cruciaal. Daarnaast zijn de elektriciteitsprijs, gevolgd door de investeringskost de volgende parameters met een grote gevoeligheid. Pas daarna komen de parameters mbt Groene stroom certificaten en premies. Veranderingen in belastingaftrek en onderhoudskost. De gevoeligheid van de onderhoudskost is wel laag voor de Windspot. Voor de Windera IN S ligt deze waarde rond 4%, aanzienlijk hoger dan voor de Windspot. Voor particulieren hebben alle factoren een grotere sensitiviteit. De investeringskost en energieproductie zijn hier de gevoeligste parameters. De keuze van turbinetype en selectie van de site zijn dus beiden erg belangrijk. Ook de prijs van de groenestroomcertificaten of het aantal groenestroomcertificaten (deze hebben beiden telkens dezelfde impact) zullen een grote invloed hebben. Gevolgd door de elektriciteitsprijs.



Figuur 7.32: Sensitiviteit van de verschillende parameter voor een particulier

Conclusie

In het algemeen kunnen we stellen dat The Hotel en Manhattan toren als beste sites naar voren komen. De Windspire kwam in geen van de sites als rendabel naar voren. Gezien zijn beperkte energieproductie lijkt dit type voor slechts een beperkt aantal toepassingen nuttig. De Windera IN S en de Windspot zijn beiden goed types voor zowel particulieren als KMO's met een gemiddeld verbruik. De Windspot scoort meestal net iets beter dan de Windera IN S. De middelgrote windturbines Xant zijn vooral interessant voor bedrijven, zeker als deze een groot verbruik hebben. Bij de keuze van het turbinetype dient vooral gekeken te worden naar het verbruik van de eigenaar. Hoe meer de geproduceerde energie zelf verbruikt kan worden, hoe rendabeler een turbine wordt. Door, aan de hand van de keuze van de turbine de verwachte energieproductie zo goed mogelijk af te stemmen op het verwachte verbruik, kan de rendabiliteit op elke site gemaximaliseerd worden. Het is aangeraden hierbij na te gaan in hoeverre de uurprofielen van vraag (elektriciteitsverbruik van de eigenaar) en aanbod (elektriciteitsproductie van de turbine) overlappen teneinde rekening te houden met het tijdsverloop van beide profielen. Op die manier kan in detail nagegaan worden hoeveel van de geproduceerde energie direct verbruikt zal worden.

7.9 Conclusies

In deze haalbaarheidsstudie werd de economische en technische haalbaarheid bestudeerd voor de geselecteerde sites en windturbines. Deze technische haalbaarheid betrof de impact van de turbines op omgevingsparameters, de technische en veiligheidsaspecten, de aansluiting op het netwerk, en een analyse van de vliegroutes.

De meetsite boven op The Hotel biedt van de vier sites de beste windomstandigheden. Uit de economische analyse blijkt dat zeker voor KMOs het verwachte rendement van een kleine windturbine goed is. Indien de plaatsing van de turbine zonder kraan mogelijk is dan bedraagt de dynamische terugverdientijd voor een KMO 7 jaar voor de betere twee turbines uit de selectie. Het intern rendement bedraagt in dat geval voor de beste turbine meer dan 17.6 %. Dit betekent dat een kleine windturbine voor een KMO op deze site zeker een zinvolle investering kan zijn, zelfs zonder overheidssteun. Voor een particulier is dit minder het geval (terugverdientijd van 11 jaar en intern rendement van 5.6% in de beste gevallen) maar zelfs een bescheiden verbetering van de randvoorwaarden zoals kostprijs of steunmaatregelen zou een turbine op deze site ook voor particulieren rendabel maken.

Het dakoppervlak van The Hotel biedt de mogelijkheid om meerdere kleine windturbines te plaatsen. Het grootste deel van het windvermogen komt uit zuidwestelijke richting. Het dak van The Hotel is ruwweg 50 m lang en 18 m breed, met een lengte-as volgens de NW-ZO-richting. Daarom is een rij-opstelling van turbines aan de zuidwestelijke dakrand het meest aangewezen. Als we een turbine-afstand van 2.5 keer de diameter als minimum-afstand nemen, kunnen er 3 turbines van het type Windspot 7.5 kW geplaatst worden en 4 van het type Windera IN S met totale nominale vermogens van respectievelijk 22 en 13 kW.

Voor de Elia-site liggen de terugverdientijden voor een windturbine met een ashoogte van 24 meter boven grondniveau (laagste meethoogte) voor alle turbines boven de 20 jaar. Dit betekent dat het noch voor KMOs noch voor particulieren zinvol is om te investeren in een kleine windturbine op deze locatie en op deze ashoogte. De windomstandigheden op grotere hoogte zijn beduidend beter en het investeren in een middelgrote windturbine op deze site zou eventueel een zinvolle investering kunnen zijn. De Xant-23 heeft met een ashoogte van ca. 40 m (gemiddelde windsnelheid 4.0 m/s) een statische terugverdientijd van 11 jaar en een dynamische terugverdientijd van 18 jaar.

Voor de ULB-site heeft geen enkele windturbine een dynamische terugverdientijd onder de 20 jaar. Voor deze site kan een investering niet worden aangeraden, hoewel een daling van de kostprijs van de turbine of een verbetering van de steunmaatregel dit negatief advies zou kunnen bijsturen.

Ook voor de site nabij de Haven van Brussel kan bij de huidige marktprijzen en steunmaatregelen het plaatsen van een of meerdere kleine windturbines niet worden aangeraden. Voor een KMO met een gebruik groter dan 50 000 kWh/jaar zou het plaatsen van een middelgrote windturbine een optie kunnen zijn. Reeds voor de windomstandigheden gemeten op 12 meter hoogte is de dynamische terugverdientijd 16 jaar voor de Xant-23. Op een typische ashoogte van 40 m, waar de windomstandigheden ongetwijfeld beter zijn, zal de terugverdientijd lager liggen. Het is met de windmetingen uit de onderhavige studie niet mogelijk om hier een scherpere kwantitatieve uitspraak over te doen.

Voor de aansluiting op het netwerk is een rechtstreekse aansluiting op het distributienet de meest kostenefficiënte oplossing, zonder noemenswaardige te verwachten problemen. Een vorm van afstandsbediening voor monitoring en controle verdient hierbij

aanbeveling. De veroorzaakte geluidshinder voor de bestudeerde sites is verwaarloosbaar, hoewel voor een op een dak gemonteerde turbine het effect van trillingen en eventuele geluidsafstraling binnen in het gebouw verder zou moeten worden onderzocht alvorens tot een effectieve plaatsing over te gaan. Dit valt buiten het bestek van deze studie. De effecten op biodiversiteit zijn voor een plaatsing buiten de Natura 2000 zone zeer klein (de rol van het kanaal als eventuele migratieroute van vleermuizen en vogels dient verder te worden onderzocht). Voor geen van de bestudeerde sites zijn er problemen met vliegverkeer, veiligheid of slagschaduw, mits de in Europa gangbare normen voor plaatsing worden gehanteerd.

Zowel de site van The Hotel als de site nabij de Haven van Brussel zijn landschappelijk en planologisch gunstige locaties voor de inplanting van een windturbine. De Haven van Brussel heeft een nadrukkelijk industrieel karakter en de visuele impact van een kleine windturbine bovenop de site is beperkt. Om dezelfde reden zou de inplanting van een windturbine op deze locaties ook cultuurhistorisch een verwaarloosbare impact hebben.

- APERRE (2004). Implantation d'éoliennes en région de bruxelles capitale. Technical report, APERRE.
- BIM (2013). Biodiversiteit in brussel, een buitenkans. Technical report, Leefmilieu Brussel.
- BIM (2014). Energiepremie 2014 voor gebouwen van de tertiaire en industriële sector. Technical report, Leefmilieu Brussel.
- Brugel (2013). Observatorium van de gas- en elektriciteitsprijzen in het brussels hoofdstedelijk gewest. Technical report, Brusselse regulator voor Energie.
- Caca, J. (2007). Guidelines for small wind turbines in the built environment. Technical report, Intelligent Energy Europe.
- Cace, J. (2007). Rapport de la commission européenne, socio-economic issues related to the installation of small wind turbines in the built environment. Technical report, RenCom.
- Campbell scientific (2014). *Data logging equipment*. <http://www.campbellsci.com/cr800-specifications>.
- Clotuche, E. (2002). Eoliennes et oiseaux en région wallonne. Technical report, Aves a.s.b.l.
- Creg (2014). Maandelijkse boordtabel elektriciteit en aardgas februari 2014. Technical report, Creg.
- De Villers, J. and Beck, O. (2013). De gegevens van het bim : Fauna en flora in brussel. Observatorium voor milieugevens, Leefmilieu Brussel.
- Erco & Gener (2014). *Datacommunication equipment*. <http://www.ercogener.com/modem-embarque-gsm-gprs-genpro-20e.html>.
- Eurobats (2006). Eoliennes et chiroptères – recommandations pour la planification des projets et les études d'impact. Technical report, Eurobats.
- Eurobats (2012). Report of the iwg on wind turbines and bat populations. In *17th Meeting of the Advisory Committee*, Dublin, Ireland.
- Everaert, J., Peymen, J., and Van Straaten, D. (2011). Risico's voor vogels en vleermuizen bij geplande windturbines in vlaanderen. Inbo.r.2011.32, Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek.

- Gouvernement, U. (2011). Wind turbine shadow flicker study. Technical report, Department of Energy and Climate Change.
- Gray, L. (2011). Shadow flicker: rotating blades can cause headaches. Technical report, The Telegraph.
- Guidon, N. E. (2011). Etude de gisement éolien : Tour Manhattan. Technical report, Brussels instituut voor milieubeheer, Brussels, Belgium.
- IEA (2003). Recommended practices for wind turbine testing and evaluation. Wind speed measurement and use of cup anemometry. Technical report, IEA (International Energy Agency).
- IEC (2001). Full scale structural testing of rotor blades. Technical report, IEC (International Elektrotechnical Commission).
- IEC (2005a). Declaration of apparent sound power level and tonality values. Technical report, IEC (International Elektrotechnical Commission).
- IEC (2005b). Wind turbine - part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines. Technical report, IEC (International Elektrotechnical Commission).
- IEC (2006a). Wind turbine generator system - part 11: Acoustic noise measurement techniques. Technical report, IEC (International Elektrotechnical Commission).
- IEC (2006b). Wind turbines - part 2: Design requirements of small wind turbines. Technical report, IEC (International Elektrotechnical Commission).
- IEC (2008). Measurement and assessment of power quality characteristics of grid connected wind turbines. Technical report, IEC (International Elektrotechnical Commission).
- IEC (2010). Conformity testing and certification. Technical report, IEC (International Elektrotechnical Commission).
- Iribarne, J. and Godson, W. (1981). *Atmospheric Thermodynamics*. D. Reidel Publishing Company, Holland.
- Laborelec (2008). Specifieke technische voorschriften voor decentrale productie-installaties die in parallel werken met het distributienet. Technical report, Laborelec.
- Ledant, J. (2006). Une méthode d'aide au choix de la localisation des éoliennes selon leur impact présumé sur les oiseaux. Technical report, Aves 43.
- Ligue pour la Protection des oiseaux (2014). Eolien et biodiversité – éoliennes et oiseaux. Technical report, Ligue pour la Protection des oiseaux, Rochefort, Frankrijk.
- Lloyd, G. (1993). Regulations for the certification of wind energy conversion systems. Technical report, GL.
- Manwell, J. and Grace, S. (2012). Wind turbine health impact study: Report of independent expert panel. Technical report, Massachusetts Clean Energy Center.
- MEASNET (2009). Evaluation of site-specific wind condition. Technical report, MEASNET.

- Mermuys, K. (2010). Windmakers. Technical report, Provinciaal onderzoeks- en voorlichtingscentrum voor land- en tuinbouw.
- Mertens, S. (2008). Nederlandse beoordelingsrichtlijn kleine windturbines. Technical report, Ingreenious.
- Modern-era retrospective analysis for research and applications (2014). *Langetermijn datasets*. <http://gmao.gsfc.nasa.gov/merra/>.
- Natagora (2013). *Visie Natagora over windturbines*. <http://www.ercogener.com/modem-embarque-gsm-gprs-genpro-20e.html>.
- Natuurpunt (2012). Windturbines en windparken : het standpunt van de vleermuizenwerkgroep van natuurpunt vzw. Technical report, Natuurpunt.
- Plate, E. J. (1995). Urban climates and urban climate modelling: An introduction. *Wind climate in Cities*, J.E.:22–29.
- Rogers, A., J.W., R., and Manwell, F. (2005). Comparison of the performance of four measure-correlate. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 93:243–264.
- Runacres, M., Vermeir, J., and De Troyer, T. (2012). *IWT 090192 Final Report—On the use of small wind turbines for sustainable energy production for SME's and individuals*. Erasmushogeschool Brussel.
- Shields, B. (2013). Wind turbine flicker effect irritates kingston neighborhood. Technical report, CBS Boston.
- Thielemans, B., Gobbo, E., Scheray, L., F., P., and Watteeuw, O. (2009). Etude de l'utilisation du potentiel d'énergie éolienne en région de bruxelles-capitale. Technical report, BIM.
- Thies Clima (2014). *Wind measurement equipment*. <http://www.thiesclima.com/products.html>.
- Thøgersen, M., Motta, M., Sørensen, T., and Nielsen, P. (2007). Measure-Correlate-Predict Methods: Case Studies and Software Implementation. In *proceedings of the European Wind Energy Association Conference*, Milan. EWEA.
- Van Dam, J., Baker, D., and Jager, D. (2010). Wind turbine generator system duration test report for the are 442 wind turbine. Technical Report NREL/ TP - 500 - 47203, National Renewable Energy Laboratory, Colorado.
- Van Mechelen, D. and Crevits, H. (2009). Omzendbrief lne/2009/01 - ro/2009/01 "beoordelingskader voor de inplanting van kleine en middelgrote windturbines". Technical report, Vlaamse Regering.
- Wieringa, J. (1992). Updating the davenport roughness classification. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 41-44:357–368.
- Zhejiang Huaying Wind Power Generator co., l. (2011). Ec-hy-5000w user manual v1.0. Technical report, Zhejiang Huaying Wind Power Generator co.,ltd, Tongxiang (China).

Sélection de dix sites pour la réalisation de campagnes de mesures de vent en RBC



APPEL D'OFFRES E11-359

SÉLECTION DE DIX SITES POUR LA RÉALISATION DE CAMPAGNES DE MESURES DE VENT EN RBC

Cliant : IBGE
Personne de contact : An Verspecht
Adresse : Gulledele 100 - 1200 Bruxelles
3E Référence : PR105108
Personne de contact 3E : Nicolaz Guidon
Date : 05/04/2012
Version : Version finale
Classification : Document confidentiel

Conformément aux Conditions Générales de 3E, le Client reçoit le droit non-exclusif et non-transférable d'utiliser les résultats transmis par 3E à usage interne exclusivement. A moins d'un autre accord explicite, 3E ne peut être tenu responsable des conséquences de l'utilisation par le Client des résultats, rapports, recommandations ou autres données fournies par 3E dans le cadre d'un quelconque projet ou commande exécutée par 3E.

**LISTE DE DISTRIBUTION**

A

Nom :	An Verspecht
Organisation & Département :	IBGE
Adresse :	Gulledelle 100 - 1200 Bruxelles
Nombre de copies imprimées :	0
Copie électronique :	Oui

RÉSUMÉ

Dans le cadre de l'appel d'offre E11-359 relatif à la réalisation de campagnes de mesure de vent et d'études de faisabilité préalables à l'implantation de petites éoliennes en région de Bruxelles-Capitale, une première tâche consiste à identifier cinq sites sur lesquels seront menées les campagnes de mesure.

Cette tâche prévoit que soient d'abord identifiés par 3E les dix sites les plus favorables, suite à quoi cinq sites parmi ceux-ci seront sélectionnés collégialement au cours d'une réunion prévue le 25 Avril 2012.

Le présent rapport porte sur l'identification des dix sites les plus favorables.

79 sites/emplacements au total ont été suggérés à 3E, ce qui est nettement supérieur à l'objectif de 30 sites fixé dans le cadre de l'appel d'offre. Leur liste est fournie en section 2.

Le modèle de calcul utilisé par 3E a été validé sur base des mesures existantes dans la région. Les calculs ont ensuite été réalisés au niveau des 79 sites/emplacements repérés, au sol, en toiture, à différentes hauteurs selon les cas. Un éventuel effet d'accélération a été pris en compte pour certaines implantations au sol.

- D'une manière générale, les meilleurs résultats sont obtenus sur les bâtiments les plus hauts.
- A hauteur égale, les bâtiments situés en périphérie bruxelloise présentent un meilleur gisement éolien que ceux situés dans le centre ou le quartier Manhattan.
- Selon l'hypothèse d'un doublement possible des vitesses dans le cas d'une implantation au sol particulièrement favorable, on parvient à des résultats intéressants, bien qu'inférieurs à ceux rencontrés sur les bâtiments les plus élevés. Par ailleurs, à gisement éolien égal, la rentabilité à attendre dans le cas d'une implantation au sol est moindre (nécessité d'installer un modèle d'éolienne à axe vertical).

In fine, le tableau suivant présente les dix meilleurs emplacements identifiés par 3E.

Tableau 1: 10 sites recommandés par 3E (degrés décimaux géographiques)

Dénomination / Gestionnaire	Longitude	Latitude	Configuration
SISP	4.2930	50.8413	Toit
SISP	4.2954	50.8420	Toit
SISP	4.2940	50.8426	Toit
Europe, école, hopital, etc.	4.2863	50.8274	Toit
Hotel Hilton	4.3573	50.8373	Toit
Tour des Finances	4.3641	50.8528	Toit
Tour du Midi	4.3368	50.8378	Toit
Tour Bastion	4.3626	50.8383	Toit
Tour Blue Tower	4.3693	50.8233	Toit
Terminal à containers 2	4.4002	50.8934	Sol

TABLE DES MATIÈRES

1	Introduction	6
2	Sites	7
3	Méthodologie	13
3.1	Données d'entrée	13
3.2	Longueurs de rugosité et « displacement height »	13
3.3	Validation du modèle de calcul	14
3.4	Modèle d'éolienne considéré	14
3.5	Démarche pour la prise en compte d'éventuels effets d'accélération	15
4	Résultats	16
5	Résultats limités aux meilleurs sites	23
6	Sélection finale de 10 sites	24
6.1	Emplacements en toiture	24
6.2	Emplacement au sol	24
7	Conclusion	25
8	Références	26
ANNEXE A	Documents reçus par 3E	27
ANNEXE B	Rapports de certification	28

1 INTRODUCTION

Dans le cadre de l'appel d'offre E11-359 relatif à la réalisation de campagnes de mesure de vent et d'études de faisabilité préalables à l'implantation de petites éoliennes en région de Bruxelles-Capitale, une première tâche consiste à identifier cinq sites sur lesquels seront menées les campagnes de mesure.

Cette tâche prévoit que soient d'abord identifiés par 3E les dix sites les plus favorables, suite à quoi cinq sites parmi ceux-ci seront sélectionnés collégialement au cours d'une réunion prévue le 25 Avril 2012.

Le présent rapport porte sur l'identification des dix sites les plus favorables.

2 SITES

Les informations suivantes ont été transmises à 3E par l'IBGE:

- Une liste de sites préparée par l'IBGE.
- Une liste de sites supplémentaires suggérée par le cabinet de la ministre de l'environnement de la région Bruxelles-Capitale.
- Les cartes issues de l' « évaluation du potentiel d'énergie éolienne en Région de Bruxelles-Capitale » réalisée par ULB-ATM, ULB-BEAMS et ICEDD dans le cadre de l'appel d'offres référencé E08-201. Ces cartes identifient les bâtiments publics/privés émergeants.
- Des cartes du Port de Bruxelles indiquant des emplacements privilégiés pour l'implantation d'éoliennes.
- Des cartes de sites identifiés par Ecopower.

Ces éléments sont repris en annexe A.

Par ailleurs, il convient de noter les points suivants:

- Pour les communes d'Uccle, d'Anderlecht, de Forest et les bâtiments de la région des bâtiments sur la commune de Bruxelles, tous les bâtiments publics émergeants identifiés par l'ULB dans le cadre de son étude ont été sélectionnés. Par ailleurs, à la demande de l'IBGE, le site de l'hôpital Erasme à Anderlecht (qui ne figurait pas dans cette étude) a été ajouté.
- Dans un certain nombre de cas, l'information fournie ne permet pas d'identifier précisément les sites à étudier. En accord avec l'IBGE, ces sites n'ont pas été étudiés:
 - Fedesco
 - Serpentin 34
 - Art & Build Architects
 - IFMA
 - Hall de production froid EXKI

Malgré tout, 79 sites ont pu être identifiés, ce qui est nettement supérieur à l'objectif de 30 sites fixé dans le cadre de l'appel d'offre.

Sur ces sites, à l'exclusion des bâtiments émergeants, des tours de Bruxelles, des sites sur lesquels aucun bâtiment n'est présent (certains sites du port de Bruxelles le long du canal) et du site de l'école internationale (complètement cerné d'arbres), deux types d'implantation ont été étudiés: au sol et en toiture.

Les hauteurs des bâtiments proviennent préférentiellement des informations de la liste fournie par l'IBGE. Lorsque cette information n'était pas disponible, les hauteurs définies sur Google Earth ont été considérées, et à défaut, elles ont été estimées sur base du nombre d'étages observés sur les images Google Street View, en partant de l'hypothèse d'une hauteur de 3 mètres par niveau. Seule la hauteur de l'école internationale n'a pas pu être déterminée (non visible depuis Google Street View). Il a été fait l'hypothèse d'un bâtiment de 15 mètres.

Le tableau à la page suivante reprend la liste finale des sites et configurations étudiés.

Tableau 2: Liste des sites et configurations étudiés

Numéro	Dénomination / Gestionnaire	Adresse (approximative)	Longitude	Latitude	Niveaux	Hauteur (0 = sol)	Source
1	SISP	Bd Josse Leemans, Anderlecht	4.2800	50.8165	10	30	Google Street View
2	SISP	Bd Josse Leemans, Anderlecht	4.2809	50.8162	10	30	Google Street View
3	SISP	Rue Ferdinand Craps, Anderlecht	4.2812	50.8357	11	33	Google Street View
4	SISP	Rue du Sillon, Anderlecht	4.2838	50.8363	9	27	Google Street View
5	SISP	Rue du Sillon, Anderlecht	4.2845	50.8363	9	27	Google Street View
6	SISP	Rue du Sillon, Anderlecht	4.2852	50.8361	9	27	Google Street View
7	SISP	Rue de l'Agronome, Anderlecht	4.2919	50.8428	7	21	Google Street View
8	SISP	Rue de l'Agronome, Anderlecht	4.2926	50.8423	7	21	Google Street View
9	SISP	Rue de l'Agronome, Anderlecht	4.2930	50.8413	21	63	Google Street View
10	SISP	Rue de l'Agronome, Anderlecht	4.2942	50.8434	16	48	Google Street View
11	SISP	Rue de l'Agronome, Anderlecht	4.2950	50.8430	9	27	Google Street View
12	SISP	Rue de l'Agronome, Anderlecht	4.2946	50.8423	9	27	Google Street View
13	SISP	Rue de l'Agronome, Anderlecht	4.2954	50.8420	17	51	Google Street View
14	SISP	Rue de l'Agronome, Anderlecht	4.2933	50.8421	10	30	Google Street View
15	SISP	Rue de l'Agronome, Anderlecht	4.2941	50.8419	11	33	Google Street View
16	SISP	Rue de l'Agronome, Anderlecht	4.2940	50.8426	16	48	Google Street View
17	SISP	Rue de l'Agronome, Anderlecht	4.2929	50.8431	16	48	Google Street View
18	SISP	Rue de l'Orphelinat, Anderlecht	4.3078	50.8458		21	Google Earth
19	SISP	Rue de la Cordialité, Anderlecht	4.3122	50.8492		27	Google Earth
20	SISP	Rue Victor Rauter, Anderlecht	4.3127	50.8338	12	36	Google Street View



Numéro	Dénomination / Gestionnaire	Adresse (approximative)	Longitude	Latitude	Niveaux	Hauteur (0 = sol)	Source
21	SISP	Rue des Goujons, Anderlecht	4.3223	50.8343		58	Google Earth
22	SISP	Chaussée de Neerstalle, Uccle	4.3197	50.7995	9	27	Google Street View
23	SISP	Rue des Fleuristes, Bruxelles	4.3428	50.8361		35	Google Earth
24	SISP	Rue de la Querelle, Bruxelles	4.3448	50.8388		44	Google Earth
25	SISP	Rue Terre-Neuve, Bruxelles	4.3439	50.8392		37	Google Earth
26	SISP	Rue Terre-Neuve, Bruxelles	4.3446	50.8396		37	Google Earth
27	SISP	Rue des Brigittines, Bruxelles	4.3484	50.8404		32	Google Earth
28	SISP	Loofstraat, Bruxelles	4.3432	50.8450		42	Google Earth
29	SISP	Loofstraat, Bruxelles	4.3437	50.8447		26	Google Earth
30	SISP	Rue du Grand-Serment, Bxl	4.3417	50.8496		26	Google Earth
31	SISP	Rue du Grand-Serment, Bxl	4.3421	50.8500		26	Google Earth
32	SISP	Rue du Grand-Serment, Bxl	4.3425	50.8504		26	Google Earth
33	SISP	Rue du Grand-Serment, Bxl	4.3429	50.8507		26	Google Earth
34	SISP	Rue du Grand-Serment, Bxl	4.3425	50.8492		32	Google Earth
35	CPAS	Rue Eglise Van Ophem, Uccle	4.3292	50.7942	8	24	Google Street View
36	Europe, école, hôpital, etc.	Av Marius Renard, Anderlecht	4.2863	50.8274	31	93	Google Street View
37	Europe, école, hôpital, etc.	Place Bara, Anderlecht/St-Gilles	4.3358	50.8387		27	Google Earth
38	Hôpital Erasme	Route de Lennik, Anderlecht	4.2674	50.8130	10	30	Google Street View
39	Cesar de Paepe	Cellebroersstraat, Bruxelles	4.3496	50.8433		37	Google Earth
40	Europe, école, hôpital, etc.	Rue du Crdn Mercier, Bruxelles	4.3583	50.8464		45	Google Earth
41	Hôtel Hilton	Bd de Waterloo, Bruxelles	4.3573	50.8373		96	Google Earth



Bijlage A. Sélection de dix sites pour la réalisation de campagnes de mesures de vent en RBC

Numéro	Dénomination / Gestionnaire	Adresse (approximative)	Longitude	Latitude	Niveaux	Hauteur (0 = sol)	Source
42	Commune	Bd Anspach, Bruxelles	4.3514	50.8509		71	Google Earth
43	Anspach Center	Bd Anspach, Bruxelles	4.3527	50.8503		60	Google Earth
44	Tour des Finances	Kruidtuinlaan, Bruxelles	4.3641	50.8528		145	An Verspecht
45	Tour du Midi	Tour de Midi, Bruxelles	4.3368	50.8378		150	An Verspecht
46	Tour Bastion	Pl. du Champ de Mars, Ixelles	4.3626	50.8383		90	An Verspecht
47	Tour North Galaxy	Koning Albert II laan, Bruxelles	4.3585	50.8614		107	An Verspecht
48	Tour Blue Tower	Av. Louise, Bruxelles	4.3693	50.8233		88	An Verspecht
49	Tour Manhattan	Boulevardlaan, Saint-Josse	4.3569	50.8559		102	An Verspecht
50	Mabru	Werhuizenkaai, Bruxelles	4.3655	50.8748		0	
51	Mabru	Werhuizenkaai, Bruxelles	4.3655	50.8748		15	Google Street View
52	Caméléon	Rue Ariane, Bruxelles	4.4314	50.8584		0	
53	Caméléon	Rue Ariane, Bruxelles	4.4314	50.8584		19	Caméléon
54	STIB Haren	Houtweg, Bruxelles	4.4106	50.8792		0	
55	STIB Haren	Houtweg, Bruxelles	4.4106	50.8792		10	Google Street View
56	STIB Anderlecht	Quai Demets, Bruxelles	4.3209	50.8417		0	
57	STIB Anderlecht	Quai Demets, Bruxelles	4.3209	50.8417		16	Google Earth
58	ELJA	Keizerslaan, Bruxelles	4.3769	50.8813		0	
59	ELJA	Keizerslaan, Bruxelles	4.3769	50.8813		20	Bob Starc
60	Erasmus Hooge School	Nijverheidskaai, Anderlecht	4.3226	50.8422		0	
61	Erasmus Hooge School	Nijverheidskaai, Anderlecht	4.3226	50.8422		27	An Verspecht
62	ULB, campus Solbosch	Av. Roosevelt, Ixelles	4.3843	50.8119		0	



Numéro	Dénomination / Gestionnaire	Adresse (approximative)	Longitude	Latitude	Niveaux	Hauteur (0 = sol)	Source
63	ULB, campus Solbosch	Av. Roosevelt, Ixelles	4.3843	50.8119		46	An Verspecht
64	Ecole internationale	Kattenberg, Watermael	4.4185	50.7905		15	Hypothèse
65	D'ieteren	Maliestraat, Ixelles	4.3602	50.8222		0	
66	D'ieteren	Maliestraat, Ixelles	4.3602	50.8222		32	An Verspecht
67	Ikea	Bergensesteenweg, Anderlecht	4.2889	50.8114		0	
68	Ikea	Bergensesteenweg, Anderlecht	4.2889	50.8114		25	Google Street View
69	Parlement européen	Wiertzstraat, Bruxelles	4.3761	50.8385		63	An Verspecht
70	Thurn & Taxi	Havenlaan, Bruxelles	4.3480	50.8656		0	
71	Thurn & Taxi	Havenlaan, Bruxelles	4.3480	50.8656		25	Google Earth
72	Ecluse d'Anderlecht	Canal	4.3018	50.8196		0	
73	Bassin de Biestebroeck	Canal	4.3171	50.8336		0	
74	Bassin de batelage	Canal	4.3105	50.8280		0	
75	Ecluse de Molenbeek	Canal	4.3354	50.8498		0	
76	Siège social Port de Bruxelles	Canal	4.3510	50.8650		0	
77	Siège social Port de Bruxelles	Canal	4.3510	50.8650		17	Google Earth
78-80	Terminal à containers 1	Canal	4.3836	50.8843		0	
81-83	Terminal à containers 2	Canal	4.4002	50.8934		0	
84-86	Terminal à containers 3	Canal	4.4097	50.8993		0	
87-89	Terminal à containers 4	Canal	4.4123	50.9117		0	
90	Rijksdienst Sociale Zekerheid	Victor Hortaplein, Bruxelles	4.3354	50.8370		0	
91	Rijksdienst Sociale Zekerheid	Victor Hortaplein, Bruxelles	4.3354	50.8370		43	Google Earth



Numéro	Dénomination / Gestionnaire	Adresse (approximative)	Longitude	Latitude	Niveaux	Hauteur (0 = sol)	Source
92	Herpain Urbis	Rue de Genève, Evere	4.4033	50.8656		0	
93	Herpain Urbis	Rue de Genève, Evere	4.4033	50.8656	14	42	Google Street View
94	NV Robert Bosch/Rexroth	Henri Genessestraat, Anderlecht	4.3109	50.8216		0	
95	NV Robert Bosch/Rexroth	Henri Genessestraat, Anderlecht	4.3109	50.8216	5	15	Google Street View
96	Coca-Cola	Chaussée de Mons, Anderlecht	4.2912	50.8124		0	
97	Coca-Cola	Chaussée de Mons, Anderlecht	4.2912	50.8124	5	15	Google Street View
98	Audi	Britse Tweedelegerlaan, Forest	4.3150	50.8112		0	
99	Audi	Britse Tweedelegerlaan, Forest	4.3150	50.8112		25	Google Street View
100-102	Ecopower 1	Anderlecht	4.2731	50.8207		0	
103-105	Ecopower 2	Anderlecht	4.2772	50.8227		0	
106-108	Ecopower 3	Anderlecht	4.2494	50.8216		0	
109-111	Ecopower 4	Anderlecht	4.2556	50.8203		0	



3 MÉTHODOLOGIE

3.1 DONNÉES D'ENTRÉE

Dans le cadre d'un projet européen, 3E a récemment développé un nouvel Atlas des vents pour la Belgique [1]. Il consiste en un jeu de statistiques de vent géostrophique (à haute altitude), qui peuvent être utilisées par le logiciel WASP [2] afin de calculer les caractéristiques du vent à n'importe quelle emplacement et hauteur où le terrain a préalablement été modélisé (élévation, rugosité). Les données de vent issues de cet atlas ont été utilisées. Le modèle de relief est basé sur les données SRTM [3] (base de données altimétriques recueillies par le Space Shuttle), et le modèle de rugosité sur les données Corine Land Cover 2006 [4] (base de données sur l'occupation des sols, produite sur base de données satellites).

Il est à noter que ce modèle ne tient pas compte des bâtiments de manière individuelle, et n'est de ce fait pas prévu pour évaluer les régimes de vent directement perturbés par les bâtiments voisins.

3.2 LONGUEURS DE RUGOSITÉ ET « DISPLACEMENT HEIGHT »

La méthodologie habituellement utilisée par 3E a dû être modifiée afin de mieux représenter les caractéristiques du vent en milieu urbain. En effet, les longueurs de rugosité habituellement utilisées pour représenter l'effet de friction dû à l'occupation du sol ne sont pas adaptées aux milieux fortement urbanisés tels que les grandes villes.

Par ailleurs, en milieu urbain, le principe de « displacement height » doit être appliqué, qui consiste à modifier la hauteur à laquelle les calculs sont réalisés en fonction de la hauteur moyenne des bâtiments environnants. On tient ainsi compte d'une zone de blocage où le vent est nul.

Différentes méthodes existent dans la littérature, permettant d'évaluer longueur de rugosité et displacement height en fonction de la hauteur moyenne des bâtiments [5]. La plus simple d'entre elles a été appliquée, et semble fournir de bons résultats dans le cas de Bruxelles. Elle consiste à déterminer longueur de rugosité et displacement height comme suit :

- Longueur de rugosité $z_0 = f_0 \bar{z}_H$
- Displacement height $d = f_d \bar{z}_H$

Où \bar{z}_H est la hauteur moyenne des bâtiments, et f_0 et f_d des coefficients empiriques, qui peuvent être respectivement évalués à 0,1 et 0,5.

Dans le cas de la région bruxelloise, les valeurs de longueur de rugosité et displacement height suivantes ont été considérées :

- Quartier Manhattan: $\bar{z}_H = 50\text{m}$; $z_0 = 5\text{m}$; $d = 25\text{m}$
- Centre-ville: $\bar{z}_H = 25\text{m}$; $z_0 = 2.5\text{m}$; $d = 12.5\text{m}$
- Communes autour de Bruxelles-centre: $\bar{z}_H = 10\text{m}$; $z_0 = 1\text{m}$; $d = 5\text{m}$
- Zone industrielles et commerciales: $\bar{z}_H = 10\text{m}$; $z_0 = 1\text{m}$; $d = 5\text{m}$
- Espaces verts urbains et forêts: $\bar{z}_H = 20\text{m}$; $z_0 = 2\text{m}$; $d = 10\text{m}$

Pour les autres types d'occupation du sol, les valeurs usuellement utilisées par 3E restent inchangées, et $d=0$.

3.3 VALIDATION DU MODÈLE DE CALCUL

Les régimes de vent ont ainsi été calculés aux emplacements des stations météo d'Uccle et de Zaventem, ainsi qu'aux emplacements des mesures réalisées sur la tour Manhattan, sur la tour WTC2, sur le bâtiment Caméléon et sur le bâtiment de l'ULB. En modélisant la rugosité ainsi, et en calculant le régime de vent en retranchant d à la hauteur visée selon le quartier considéré, on parvient aux résultats suivants :

Tableau 3 : Résultats obtenus aux emplacements où des mesures de vent sont disponibles

	Mesuré		Calculé		Erreur
	Vitesse moyenne	Densité de puissance	Vitesse moyenne	Densité de puissance	Part de densité de puissance
	[m/s]	[W/m ²]	[m/s]	[W/m ²]	[%]
Uccle	3.52	48.4	3.51	60.6	25.2
Zaventem	3.93	78.6	3.77	80.4	2.3
Manhattan	4.97	148.6	5.08	151.6	2.0
Caméléon	3.10	35.8	3.10	40.8	14.0
ULB	2.82	31.7	4.19	93.9	196.2
WTC2	3.86	78.7	4.70	122.0	55.0

- On observe que les densités de puissance calculées sont très proches de ce qui est effectivement mesuré pour les sites de Zaventem et Manhattan (où les mesures peuvent être considérées comme peu perturbées).
- Dans une moindre mesure, les densités de puissance calculées sont relativement proches de ce qui est effectivement mesuré sur les sites d'Uccle et de Caméléon (où quelques obstacles perturbent légèrement les mesures, mais où les mâts sont suffisamment hauts par rapport aux bâtiments environnants ainsi qu'au bâtiment d'implantation).
- Les erreurs élevées observées pour les deux derniers sites peuvent s'expliquer par le fait que les mâts de mesure utilisés étaient trop courts, mesurant un vent fortement perturbé par les bâtiments environnants ainsi que par le bâtiment d'implantation.

3.4 MODÈLE D'ÉOLIENNE CONSIDÉRÉ

Un type unique d'éolienne a été considéré dans les calculs de production, dont les caractéristiques sont données au tableau suivant.

Tableau 4: Type d'éolienne étudié

Paramètre	Valeur
Type	Eolienne à axe horizontal

Constructeur	Southwest	
Modèle	Skystream	
Puissance nominale	[kW]	2.4
Diamètre du rotor	[m]	3.7
Hauteur du mât	[m]	10

La courbe de puissance utilisée est celle mesurée par Windtest au cours de la période 14/11/2008-22/03/2009 sur leur centre de test de Kaiser-Wilhelm-Koog (Allemagne).

Celle-ci est reprise dans les rapports de certification de BRE et SWCC (fournis en annexe B), permettant l'octroi de subsides au Royaume-Uni et aux Etats-Unis.

3.5 DÉMARCHE POUR LA PRISE EN COMPTE D'ÉVENTUELS EFFETS D'ACCÉLÉRATION

Pour les sites où une implantation au sol est envisagée, le régime de vent et la production attendus ont également été calculés en faisant l'hypothèse d'une accélération du vent par un facteur deux.

Il est considéré ici qu'une telle accélération est le maximum qu'on puisse raisonnablement espérer dans un cas particulièrement favorable (configuration des bâtiments permettant une accélération lorsque le vent provient du secteur dominant (quadrant sud-ouest)).

Dans quatre cas d'implantation au sol seulement, il a été considéré qu'aucun effet d'accélération n'était à espérer : il s'agit des sites Ecopower situés en dehors des zones urbanisées, et d'un site du port de Bruxelles (Terminal à containers 3) situé sur une voie de chemin de fer à l'écart des bâtiments.

Il convient de noter qu'un modèle d'éolienne à axe horizontal comme il a été sélectionné n'est pas adapté à ce type d'implantation. Un modèle à axe vertical serait plus approprié, mais produirait moins à puissance nominale égale (efficacité moindre de ce type de design, affecté par un effet de « drag »). Par ailleurs, le coût d'un modèle à axe vertical est considérablement plus élevé (de l'ordre du double, à puissance nominale identique).

4 RÉSULTATS

Le tableau à la page suivante reprend l'ensemble des résultats obtenus.

Par souci de lisibilité, à la section 5 est fournie une liste limitée aux 13 sites les plus intéressants.

Pour information :

- Les valeurs A et k désignent les paramètres de de la fonction de Weibull permettant d'approximer la distribution des vitesses de vent (fréquence d'occurrence de chaque gamme de vitesse).
- Les valeurs de production fournies sont des productions brutes, supposant une disponibilité des machines de 100% et aucune perte électrique. Des pertes d'au moins 5% sont à prévoir.
- Aucune valeur de production n'est fournie dans le cas de moyennes ou grandes éoliennes, mais les valeurs de vitesse de vent et les paramètres A et k sont fournis à titre informatif afin d'apprécier la différence de ressource selon la hauteur d'axe de l'éolienne (50m pour les moyennes éoliennes, 100m pour les grandes).

Il convient d'observer les éléments suivants :

- D'une manière générale, les meilleurs résultats sont obtenus sur les bâtiments les plus hauts.
- A hauteur égale, les bâtiments situés en périphérie bruxelloise présentent un meilleur gisement éolien que ceux situés dans le centre ou le quartier Manhattan.
- Selon l'hypothèse d'un doublement possible des vitesses dans le cas d'une implantation au sol particulièrement favorable, on parvient à des résultats intéressants, bien qu'inférieurs à ceux rencontrés sur les bâtiments les plus élevés. Il convient cependant de tenir compte des remarques énoncées en section 3.5 (efficacité et coût des éoliennes à axe vertical). Ainsi, à gisement éolien égal, la rentabilité à attendre dans le cas d'une implantation au sol est moindre.
- En section 6.2, est menée une analyse des implantations au sol où une telle accélération peut être espérée. Une implantation au sol potentiellement intéressante est ainsi mise en évidence.

Tableau 5: Résultats

Numéro	Configuration	Résultats hors accélération				Résultats si accélération			
		Vitesse	A	k	Production brute	Vitesse	A	k	Production brute
1	Toit	4.61	5.16	1.697	2993				
2	Toit	4.60	5.16	1.709	2970				
3	Toit	4.44	4.97	1.674	2732				
4	Toit	4.16	4.66	1.650	2321				
5	Toit	4.17	4.67	1.662	2323				
6	Toit	4.17	4.66	1.678	2298				
7	Toit	3.91	4.38	1.678	1923				
8	Toit	3.85	4.31	1.682	1820				
9	Toit	5.07	5.71	1.854	3625				
10	Toit	4.85	5.45	1.791	3304				
11	Toit	4.22	4.73	1.717	2343				
12	Toit	4.15	4.65	1.721	2225				
13	Toit	4.88	5.48	1.807	3332				
14	Toit	4.20	4.72	1.732	2300				
15	Toit	4.30	4.83	1.744	2440				
16	Toit	4.84	5.44	1.791	3282				
17	Toit	4.85	5.46	1.783	3319				
18	Toit	3.70	4.15	1.725	1562				
19	Toit	3.85	4.32	1.729	1774				



Numéro	Configuration	Résultats hors accélération				Résultats si accélération			
		Vitesse	A	k	Production brute	Vitesse	A	k	Production brute
20	Toit	4.11	4.61	1.756	2123				
21	Toit	4.56	5.12	1.807	2790				
22	Toit	3.48	3.91	1.771	1239				
23	Toit	3.36	3.76	1.670	1173				
24	Toit	3.60	4.03	1.666	1474				
25	Toit	3.35	3.74	1.615	1210				
26	Toit	3.32	3.71	1.635	1156				
27	Toit	2.98	3.33	1.666	755				
28	Toit	3.51	3.93	1.729	1298				
29	Toit	2.77	3.10	1.662	561				
30	Toit	2.75	3.08	1.658	553				
31	Toit	2.75	3.08	1.658	547				
32	Toit	2.74	3.07	1.662	535				
33	Toit	2.74	3.07	1.666	536				
34	Toit	3.05	3.42	1.689	812				
35	Toit	3.53	3.96	1.744	1320				
36	Toit	5.65	6.37	1.932	4611				
37	Toit	2.99	3.33	1.600	824				
38	Toit	4.66	5.23	1.740	3029				
39	Toit	3.22	3.61	1.689	944				



Numéro	Configuration	Résultats hors accélération				Résultats si accélération			
		Vitesse	A	k	Production brute	Vitesse	A	k	Production brute
40	Toit	3.68	4.14	1.803	1457				
41	Toit	5.25	5.93	2.002	3812				
42	Toit	4.39	4.95	1.896	2416				
43	Toit	4.09	4.60	1.846	1998				
44	Toit	5.86	6.62	2.045	4953				
45	Toit	5.94	6.70	1.947	5144				
46	Toit	5.18	5.85	1.998	3692				
47	Toit	4.91	5.54	2.037	3163				
48	Toit	5.34	6.02	1.979	3981				
49	Toit	5.06	5.71	2.033	3436				
50	Sol	1.60	1.77	1.529	0	3.19	3.54	1.537	1121
51	Toit	3.08	3.45	1.697	833				
52	Sol	1.58	1.76	1.604	0	3.15	3.52	1.612	1000
53	Toit	3.42	3.84	1.760	1163				
54	Sol	1.71	1.91	1.584	0	3.43	3.82	1.593	1357
55	Toit	2.95	3.31	1.717	689				
56	Sol	1.60	1.75	1.408	0	3.19	3.50	1.416	1265
57	Toit	3.17	3.54	1.619	1004				
58	Sol	2.26	2.49	1.432	317	4.52	4.98	1.442	3225
59	Toit	3.48	3.90	1.705	1305				



Bijlage A. Sélection de dix sites pour la réalisation de campagnes de mesures de vent en RBC

Numéro	Configuration	Résultats hors accélération				Résultats si accélération			
		Vitesse	A	k	Production brute	Vitesse	A	k	Production brute
60	Sol	1.55	1.70	1.400	0	3.10	3.40	1.411	1157
61	Toit	3.59	4.02	1.666	1486				
62	Sol	1.80	2.01	1.584	13	3.61	4.02	1.590	1596
63	Toit	4.45	5.01	1.877	2533				
64	Toit	2.37	2.66	1.744	225				
65	Sol	1.67	1.85	1.510	0	3.34	3.70	1.518	1323
66	Toit	3.97	4.46	1.764	1902				
67	Sol	1.78	1.97	1.506	26	3.55	3.94	1.512	1634
68	Toit	3.95	4.43	1.682	1971				
69	Toit	4.58	5.16	1.904	2719				
70	Sol	2.53	2.81	1.545	443	4.98	5.62	1.914	4009
71	Toit	3.29	3.70	1.764	1016				
72	Sol	1.55	1.72	1.479	0	3.11	3.44	1.486	1084
73	Sol	1.58	1.76	1.506	0	3.18	3.52	1.514	1132
74	Sol	1.64	1.82	1.533	0	3.28	3.64	1.539	1230
75	Sol	0.78	0.85	1.408	0	1.55	1.71	1.417	0
76	Sol	2.52	2.79	1.498	471	5.03	5.58	1.509	4015
77	Toit	3.09	3.45	1.604	934				
78	Sol, petite	2.06	2.29	1.525	142	4.12	4.58	1.533	2471
79	Sol, moyenne	4.22	4.75	1.830	NA				



Numéro	Configuration	Résultats hors accélération				Résultats si accélération			
		Vitesse	A	k	Production brute	Vitesse	A	k	Production brute
80	Sol, grande	5.24	5.92	2.053	NA				
81	Sol, petite	2.52	2.71	1.244	681	5.04	5.42	1.258	4149
82	Sol, moyenne	4.53	5.09	1.768	NA				
83	Sol, grande	5.42	6.12	2.025	NA				
84	Sol, petite	2.77	3.07	1.529	655				
85	Sol, moyenne	4.52	5.08	1.764	NA				
86	Sol, grande	5.47	6.18	2.041	NA				
87	Sol, petite	1.68	1.86	1.510	0	3.35	3.72	1.518	1354
88	Sol, moyenne	4.43	4.98	1.807	NA				
89	Sol, grande	5.52	6.23	2.021	NA				
90	Sol	1.63	1.69	1.096	154	3.25	3.38	1.111	1789
91	Toit	4.00	4.47	1.682	2027				
92	Sol	2.10	2.32	1.447	203	4.20	4.64	1.456	2690
93	Toit	4.46	5.02	1.822	2609				
94	Sol	1.65	1.83	1.537	0	3.29	3.66	1.545	1242
95	Toit	3.27	3.66	1.674	1064				
96	Sol	1.87	2.09	1.592	37	3.75	4.18	1.599	1802
97	Toit	3.46	3.87	1.662	1301				
98	Sol	1.71	1.89	1.475	11	3.42	3.78	1.481	1490
99	Toit	3.68	4.13	1.732	1529				



Numéro	Configuration	Résultats hors accélération				Résultats si accélération			
		Vitesse	A	k	Production brute	Vitesse	A	k	Production brute
100	Sol, petite	3.32	3.71	1.615	1181				
101	Sol, moyenne	4.92	5.53	1.791	NA				
102	Sol, grande	5.84	6.59	1.963	NA				
103	Sol, petite	3.48	3.89	1.615	1382				
104	Sol, moyenne	4.91	5.52	1.775	NA				
105	Sol, grande	5.83	6.58	1.955	NA				
106	Sol, petite	3.70	4.13	1.643	1649				
107	Sol, moyenne	5.02	5.65	1.838	NA				
108	Sol, grande	5.97	6.73	1.990	NA				
109	Sol, petite	3.63	4.06	1.631	1568				
110	Sol, moyenne	4.98	5.61	1.818	NA				
111	Sol, grande	5.92	6.68	1.979	NA				



5 RÉSULTATS LIMITÉS AUX MEILLEURS SITES

Tableau 6: Résultats limités aux meilleurs sites

Numéro	Dénomination / Gestionnaire	Adresse (approximative)	Configuration	Vitesse	A	k	Production brute	Remarque
9	SISP	Rue de l'Agronome, Anderlecht	Toit	5.07	5.71	1.854	3625	
13	SISP	Rue de l'Agronome, Anderlecht	Toit	4.88	5.48	1.807	3332	
16	SISP	Rue de l'Agronome, Anderlecht	Toit	4.85	5.46	1.783	3319	
36	Europe, école, hôpital, etc.	Av Marius Renard, Anderlecht	Toit	5.65	6.37	1.932	4611	
41	Hôtel Hilton (Commune)	Bd de Waterloo, Bruxelles	Toit	5.25	5.93	2.002	3812	
44	Tour des Finances	Kruidtuinlaan, 50 - 1000 Brussel	Toit	5.86	6.62	2.045	4953	
45	Tour du Midi	Tour de Midi, 1060 Brussel	Toit	5.94	6.7	1.947	5144	
46	Tour Bastion	5, Place du Champ de Mars	Toit	5.18	5.85	1.998	3692	
48	Tour Blue Tower	Av. Louise 324-326, 1000 Brussel	Toit	5.34	6.02	1.979	3981	
49	Tour Manhattan	Boulevardlaan 21, 1210 Sint-Joost-Ten-Node	Toit	5.06	5.71	2.033	3436	Mesures déjà effectuées
70	Thum & Taxi	Havenlaan 86, 1000 Brussel	Sol	4.98	5.62	1.914	4009	Suppose une accélération
76	Siège social Port de Bruxelles	N260a	Sol	5.03	5.58	1.509	4015	Suppose une accélération
81	Terminal à containers 2	N1	Sol	5.04	5.42	1.258	4149	Suppose une accélération



6 SÉLECTION FINALE DE 10 SITES

Parmi les 13 sites à meilleur potentiel, 3E recommande 9 sites en toiture et 1 site au sol.

6.1 EMBLEMES EN TOITURE

3E recommande que les neuf premiers sites listés page précédente soient envisagés pour des campagnes de mesure de vent sur toiture. Le dixième site (tour Manhattan) n'est pas proposé car il a déjà fait l'objet de mesures de vent en toiture.

6.2 EMBLEMES AU SOL

Parmi les emplacements au sol, tous situés le long du canal (orienté Sud-Ouest/Nord-Est sur les sections où sont situés les sites), compte-tenu des vents dominants (Ouest Sud-Ouest), on peut considérer que ceux situés en rive Sud/Est auront plus de chances de bénéficier d'un effet d'accélération dû aux bâtiments offrant des surfaces de blocage.

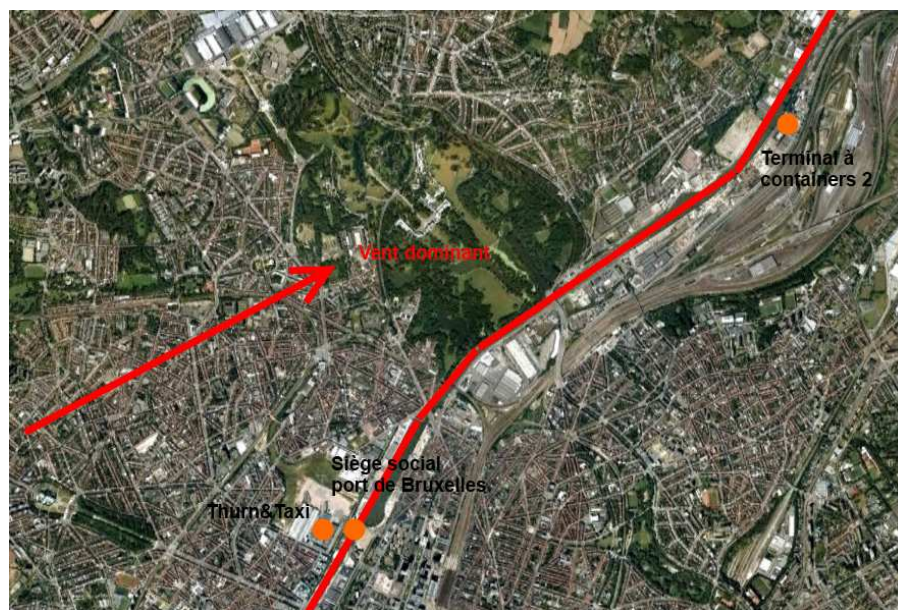


Figure 1: Justification de la préférence pour des implantations rive Sud/Est du canal

Par conséquent, si une campagne de vent venait à être menée au sol, 3E recommande que le site « Terminal à containers 2 » soit de préférence envisagé (sous réserve que cela n'entrave pas les activités sur site).

7 CONCLUSION

Comme prévu dans le cadre de la tâche 1 de l'appel d'offre E11-359 relatif à la réalisation de campagnes de mesure de vent et d'études de faisabilité préalables à l'implantation de petites éoliennes en région de Bruxelles-Capitale, dix sites potentiellement intéressants ont été mis en évidence.

Le modèle de calcul utilisé par 3E a été validé sur base des mesures existantes dans la région. Les calculs ont ensuite été réalisés au niveau des 79 sites/emplacements suggérés à 3E, au sol, en toiture, à différentes hauteurs selon les cas. Un éventuel effet d'accélération a été pris en compte pour certaines implantations au sol.

- D'une manière générale, les meilleurs résultats sont obtenus sur les bâtiments les plus hauts.
- A hauteur égale, les bâtiments situés en périphérie bruxelloise présentent une meilleure ressource que ceux situés dans le centre ou le quartier Manhattan.
- Selon l'hypothèse d'un doublement possible des vitesses dans le cas d'une implantation au sol particulièrement favorable, on parvient à des résultats intéressants, bien qu'inférieurs à ceux rencontrés sur les bâtiments les plus élevés. Par ailleurs, à gisement éolien égal, la rentabilité à attendre dans le cas d'une implantation au sol est moindre (nécessité d'installer un modèle d'éolienne à axe vertical).

In fine, le tableau suivant présente les dix meilleurs emplacements identifiés par 3E.

Tableau 7: 10 sites recommandés par 3E

Dénomination / Gestionnaire	Longitude	Latitude	Configuration
SISP	4.2930	50.8413	Toit
SISP	4.2954	50.8420	Toit
SISP	4.2940	50.8426	Toit
Europe, école, hopital, etc.	4.2863	50.8274	Toit
Hotel Hilton	4.3573	50.8373	Toit
Tour des Finances	4.3641	50.8528	Toit
Tour du Midi	4.3368	50.8378	Toit
Tour Bastion	4.3626	50.8383	Toit
Tour Blue Tower	4.3693	50.8233	Toit
Terminal à containers 2	4.4002	50.8934	Sol

8 RÉFÉRENCES

- [1] Nicolaz Guidon and Sophie Jacques, 3E - Belgian Wind Atlas produced as part of the FP7 European project ENDORSE (ENergy DOWNstReam SErviceS)
- [2] G. Mortensen, L. Landberg, I. Troen, E.L. Petersen. Wind Atlas Analysis and Application Program (WAsP). Risoe National Laboratory, Roskilde, Denmark, 1993 and updates
- [3] http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/SRTM_paper.pdf
- [4] <http://sia.eionet.europa.eu/CLC2000/docs/publications/corinescreen.pdf>
- [5] S. J. Burian, M. J. Brown, S. P. Velugubantla. Roughness Length and Displacement Height Derived from Building Databases
- [6] WindPro 2.7: user manual

ANNEXE A DOCUMENTS REÇUS PAR 3E



Bijlage A. Sélection de dix sites pour la réalisation de campagnes de mesures de vent en RBC

Entreprises/Pouvoir publics intéressés	Adresse	Endroit	Persone de contact	Mail	Tel
Communes					
Commune d'Uccle	Jean Vander Elstplein 29 - 1180 Uccle	Différents sites à Uccle	Quinier Mont	tom.williams@ecopower.be	02 348 65 11 (gén)
Commune d'Anderlecht	Neerpede & Zone industrielle	sol	Tom Williams		0488/365 851
Entreprises privés					
Port de Bruxelles	Redersplein 6, 1000 Brussel	Différents sites: le site de la Capitainerie le site du terminal à Containers le site du siège social le site d'écluse de Molenbeek les terrains en bordure du bassin de Biestebroek les berges du bassin de Bateilage le site de l'écluse d'Anderlecht canal	Pierre Demaeter Marc Heiman	pdemaeter@port.brussels.be mheiman@port.brussels.be	
Site MABRU abel Magazijn C	Werkhuizenlaan 22-23-1000 Brussel		Michiel Kowalski	m.kowalski@mkengineering.be	02 340 65 00 (gén)
Carrefour	Rue Arane, 1200 Bruxelles	tot site	Augustin Wijny	augustin@carrefour.be	02 705 37 21
STB - Site Haren	Houtweg 99, 1130 Haren	sol	Marie-Hélène Nodé	noelming@stb.risnet.be	02 515 21 28
Site Anderlecht	Quai Bernets, 1070 Bruxelles	sol	laire Masony Perrine Branders	laire.masony@brussels.be	02 535 53 46
NV Robert Bosch/Retroth	Rue Henri Van der Stuyvenberg, 1050 Anderlecht	sol	Estelle Veronck	estelle.veronck@elias.be	0496/893741
ELIA	Kaizerlaan 20, 1000 Brussel	site ELIA	Oliver Delvaux	oliver.delvaux@elias.be	02 536 51 11 (gén)
d'Ikteren	Mallestraat 50, 1050 Elene				
Écoles					
UdJ, campus Solbosch	Av. Franklin D. Roosevelt 50, 1050 Elene	le plus haut bâtiment du site	Oliver Waiteeuw		
PHI	Nijverheidskaai 170, 1070 Anderlecht	kanal	Marc Rancieres		
Tours de Bruxelles					
?	Boulevardlaan 21, 1210 Sint-Joost-Ten-Node	Tour Manhattan - 102m	Jean Linaires	jean.linaires@arcim.be	
POD Sociale Zekerheid	Kruidtuinlaan, 50 - 1000 Brussel	Tour des Finances - 145m	Frank Van Massenhove	Frank.VanMassenhove@minoc.fed.be	
FOO Financien	Koning Albert II laan 33, b.10 - 1030 Brussel	North Galaxy - 107m	Tom Olyebert	tom.olyebert@minfin.fed.be	hoofd-voorzitter
Rijksdienst voor Pensioenen	Tour de Midi, 1060 Brussel	Tour de Midi - 150m	Marc De Block	marc.deblock@vropub.fgov.be	
PODDO	Kruidtuinlaan, 50 - 1000 Brussel	Tour des Finances - 145m	Sophie Sokolowski	sophie.sokolowski@poddo.be	coördinator POD DO prc
Porte de Namur	5, Place du Champ de Mars	Tour de Bastoon - 90m			
?	Av. Louise 324-326, 1000 Brussel	Blue Tower - 88m			
Regie der Gebouwen	Gulden Vlieslaan 87 bus 2 - 1060 Brussel	Différents tours et bâtiments	Laurent Vrijdighs	laurent.vrijdighs@buildingagency.be	
Pouvoir publics					
Rijksdienst Sociale Zekerheid	Victor Hortaplein 11, 1060 Brussel		Françoise François	francoise.francoise@rsz.psof.fgov.be	
Autres					
Fedesco	Koningsstraat 47, 1000 Brussel	Différents sites	Christophe Madam	tristophe.madam@fedesco.be	
Serpentin 34	Spiraaluisstraat 34, 1050 Elene	toit logement collectif	Harold Grondel	harold@leago.be	0475 3 70 181
Vraagstukken over interesse - te confirmeren					
Parlement Européen	Wiertstraat, 1047 Brussel	?	Gregory Corbeau, Triodos	gregory.corbeau@triodos.be	(02) 548 28 16
Hall de production froid EXKI	1050 Elene ??	sol, bâtiment?	John Sandeman	john.sandeman@memo.ikea.com	
Ikea	Bergensesteenweg 1432, 1070 Anderlecht		Konraad van Nieuwenburg	konraad.vannieuwenburg@memo.ikea.com	te bekijken met IBGE: Barbara De wulf
Site Thurn & Taxis	Havenlaan 86, 1000 Brussel		Steven Beekers	ste@brb.be	02 588 42 11 (gén)
Ecole internationale	Kattenberg 19, 1170 Watermael-Boitsfort	Plateau de la foresterie	'tjes Stevens		0477 82 22 68
Art & Build Architects	Remdenstraat 21, 9100 Sint-Niklaas				
PMA 17	Rue de Genève, Evre	terrain approx. Immeuble			02 379 33 10
Distributeurs/fabrikants potentiels					
greenenergyCompany			oliver.femont@greenerco.com		0497/667 270
Windelo					

Funcitie	Remarques	contact Bob Starc - Amaay
Amfibaar emeente LIKiel laborateur Ecopower, fait le dossier Anderlosower - endroit avec grande valeur biologique (bourgmestre ne pas chaud)	est Institut Pasteur sur une colline	meeting scheduled in march 2011
assistent M Helman coördinateur technique et environnementale		
responsable bureau d'étude architect	bateux, nieuwbouw, pré-étude faite, avis négatif Belgo-control	meeting scheduled in march 2011
Coordination des Etudes Stratégiques rdination environnement & Développement	campagne de mesures de vent fait, vitesse de vent faible grande éolienne	
erantwoordelijk voor duurzame ontwikkeling Project Manager	Intéressante car au près du canal Urban Wind Turbine	answered the email, call him week of march 28th 3rd march positive, second meeting on march the 22
projectmedewerker ULB-BEAMS professor ENB		
technisch directeur hoofd - voorzitter van het directiecomité Directie algemeen personeelszorg r van de dienst voor de kabinetschef Y Letenne Adjunct administrateur generaal grammatorische federale overheidsdienst Duurzame Ontwikkeling		first meeting april
algemeen bestuurder Regie der Gebouwen goedspecialist van de federale staat, beheer van +/- 1500 gebouwen	Bress = beheerder van gebouw	
Administrateur generaal		
algemeen directeur particulier interessé	ex. nieuwbouw, log coll intéressé pour faire un projet démonstr contact T. Hermans à l'IBGE	
communication manager property manager	Urban Wind Turbine	answered the email, call him week of march 28th
Business development & marketing manager professionnelle vakvereniging voor professionals die actief zijn in contact via Bob Starc propriétaire bâtiment	A&B = architectenbureau	
	Prinac LMW	

Nicolaz Guidon (3E)

From: An VERSPECHT <avp@ibgebim.be>
Sent: 19 March 2012 11:39
To: Mark.Runacres@ehb.be; Nicolaz Guidon (3E)
Subject: Fwd: RE: TR: minutes Kick-off meeting E11-359
Attachments: Attach0.html

Bonjour Mark, Nicolaz,

Ci-dessous la contribution d'Ismaël par rapport aux sites possibles à Bruxelles. Je pense que la plupart est déjà mentionnée dans la liste excel, sauf Bruxelles-Proprété.

Mark, kan jij Ismaël in de mailinglist zetten voor alle mails betreffende dit project en hetgeen naar mij moet gecommuniceerd worden. Alvast bedankt.

Bien à vous

An

----- Origineel bericht -----

Bonjour An,

Merci.

Pourrais-tu me mettre en copie des mails qui impliquent le Comité d'Accompagnement (comme cette liste des sites potentiels fournie par le CA) ? Merci.

Au niveau des sites, on pourrait ajouter : Coca-cola, Audi Brussels, Bruxelles-Propreté, projet Belpower à Anderlecht, Commune de Forest.

Bien à toi,

Ismaël Daoud | Conseiller Politique Construction Durable & Energie

Cellule Énergie, Air, Climat, Construction Durable et Économie Verte

Rue du Marais | 49-53 | Broekstraat ~ Bruxelles | 1000 | Brussel

T +32 (0)2.517.14.34 - F +32 (0)2 517.14.90 - M +32 (0)493.18.65.30
 @ idaoud@huytebroeck.irisnet.be - W <http://evelyne.huytebroeck.be>

Cabinet d'Evelyne Huytebroeck
Kabinet van Evelyne Huytebroeck

Ministre de l'Environnement, de l'Energie et de la Rénovation urbaine du
 Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale / Minister van Leefmilieu,
 Energie en Stadsvernieuwing van de Brusselse Hoofdstedelijke Regering

Please don't print this email unless you really need to!

Ce courrier électronique a un caractère informel et ne lie en rien le Cabinet.

Les documents officiels sont dûment signés par la Ministre ou son Directeur de Cabinet et sont envoyés par courrier postal.



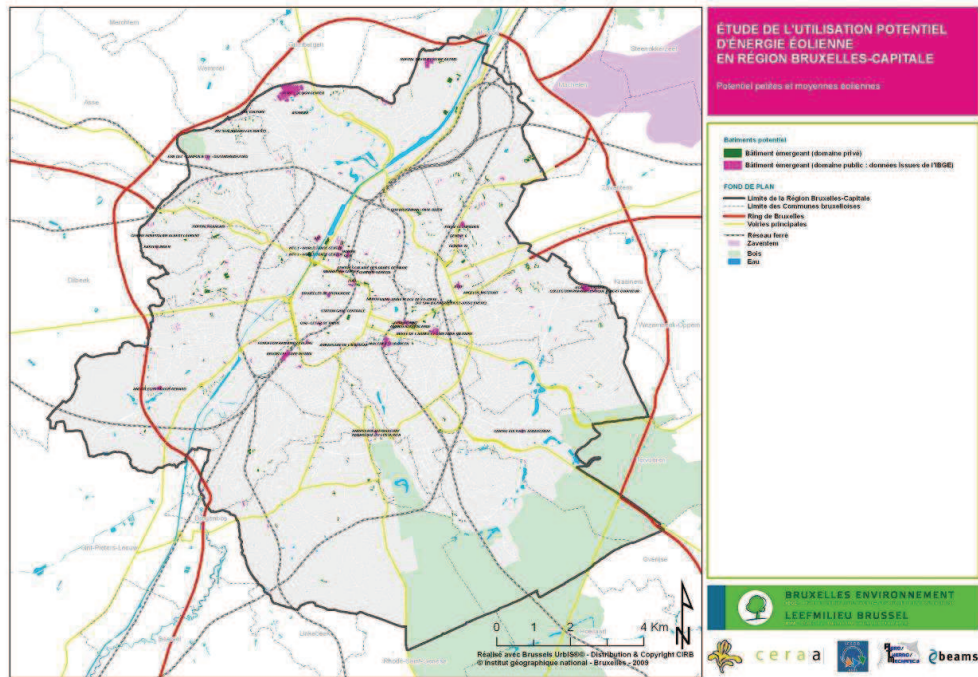


Figure 57: Carte des bâtiments sélectionnés avec distinction du domaine public-privé (données IBGE) (carte disponible en grand format en annexe du rapport)

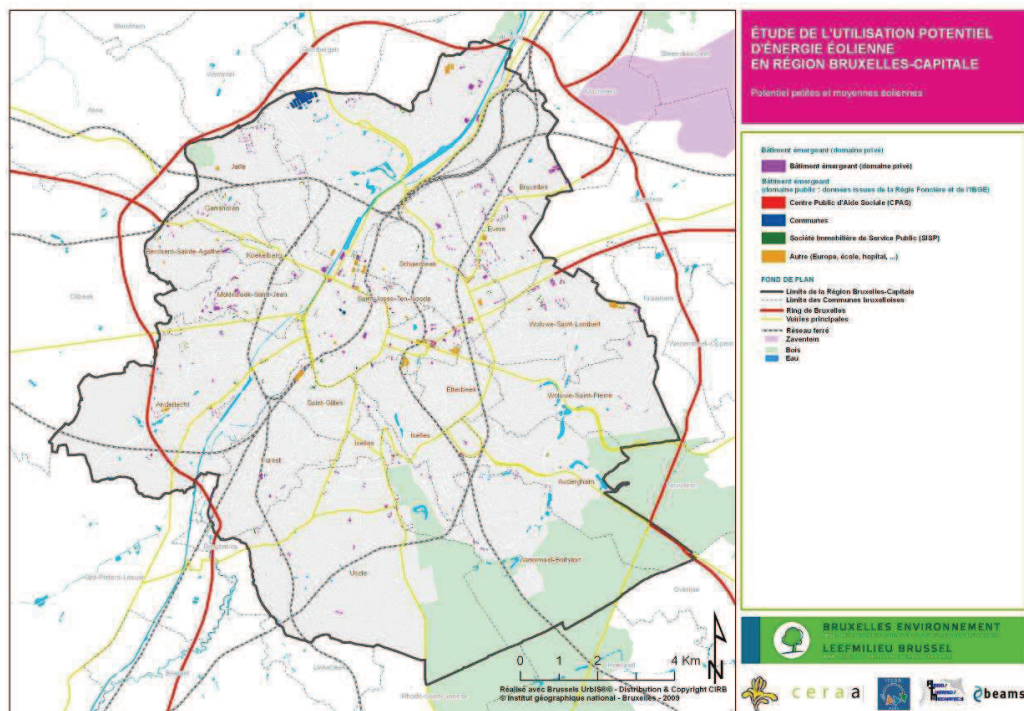
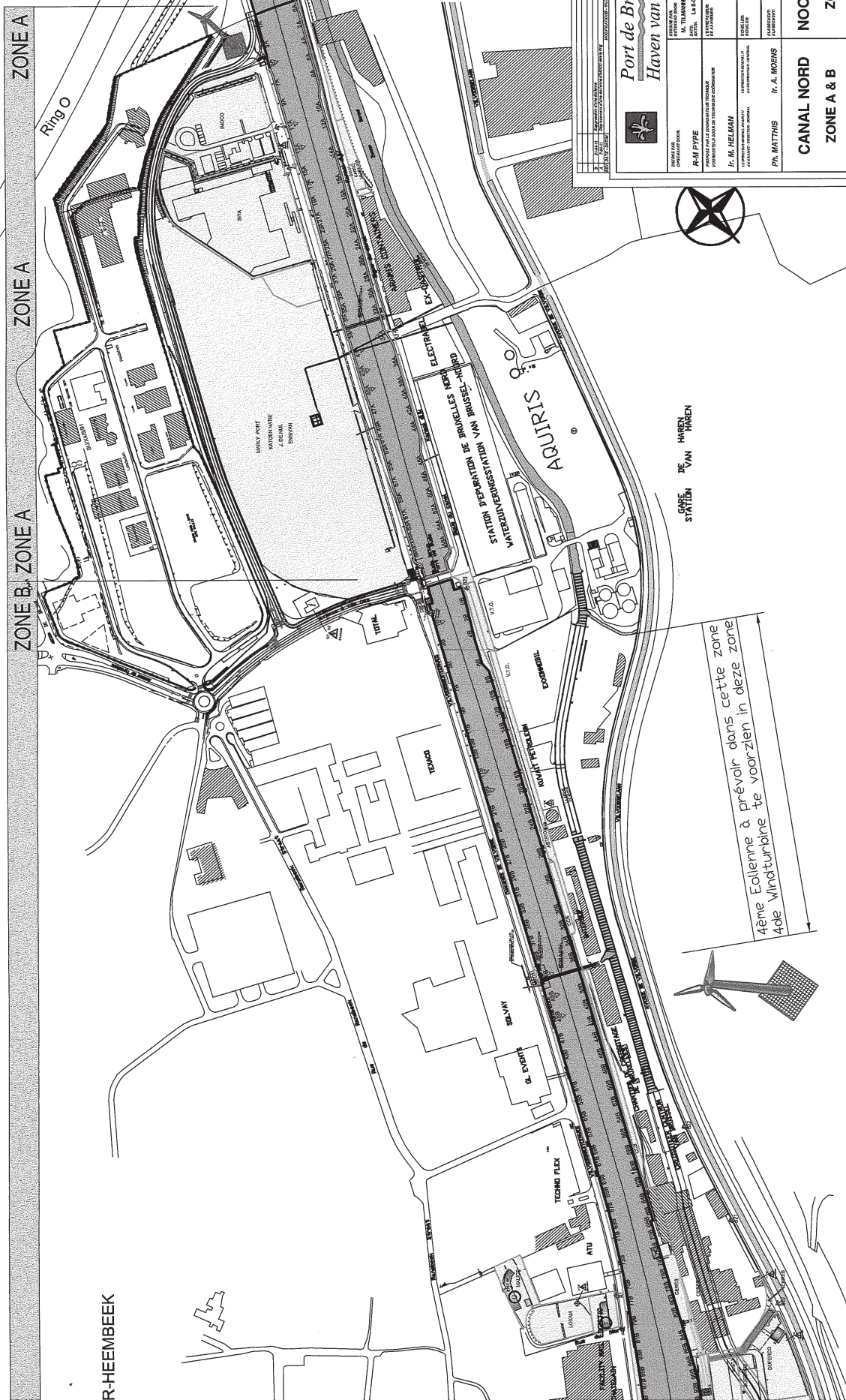


Figure 58: Carte des bâtiments sélectionnés avec distinction du domaine public-privé (données IBGE et régie foncière) (carte disponible en grand format en annexe du rapport)



Bijlage A. Selection de dix sites pour la réalisation de campagnes de mesures de vent en RBC

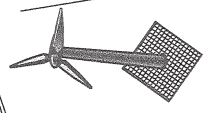


Port de Bruxelles Haven van Brussel		NOORDKANAAL ZONE A & B	
AUTEUR DU PROJET R-M PIPE	RESPONSABLE M. TILMARE	DATE 14-03-2011	PROJET INPLANTINGSPROEVEN VAN WINDTURBINE
AUTEUR DU PROJET Ir. M. HELMAN	RESPONSABLE Ir. A. JEGENS	DATE 14-03-2011	PROJET D'IMPLANTATION D'EOLIENNES
AUTEUR DU PROJET Ir. M. HELMAN	RESPONSABLE Ir. A. JEGENS	DATE 14-03-2011	PROJET D'IMPLANTATION D'EOLIENNES



TERRAIN PAR EOLIENNE
 TERREIN PER WINDTURBINE

4ème Eolienne à prévoir dans cette zone
 4de windturbine te voorzien in deze zone



R-HEEMBEEK



Ecopower cvba
Statiestraat 164^e
2600 Berchem
Tel: 03 287 37 78
www.ecopower.be

Copie 175 pour min
↳ Environnement
Tom Willems
↳ Urbanisme
tom.willems@ecopower.be
GSM: 0488 365 852

September 2009

Projectvoorstel Hernieuwbare Energie Industriezone Anderlecht-Vorst-Drogenbos

Ecopower

Ecopower is een erkende coöperatieve vennootschap met een maatschappelijk doel, een transparante structuur en meer dan 22 000 aandeelhouders. Ecopower wil projecten in hernieuwbare energie en rationeel energiegebruik financieren. Ecopower is momenteel een leverancier van groene stroom in Vlaanderen, maar wil ook de Brusselse elektriciteitsmarkt betreden.

Via de coöperatie verenigen we gebruikers van groene energie en sensibiliseren we onze leden om efficiënt met hun energieverbruik om te springen. Mensen die rechtstreeks betrokken zijn bij collectieve investeringen voor hernieuwbare energie aanvaarden gemakkelijker de impact van deze installaties en gaan bewuster om met hun energiegebruik. Zo werkt Ecopower aan een groter maatschappelijk draagvlak voor duurzame energie. Dit is nodig voor het halen van de toekomstige doelstellingen voor hernieuwbare energie.

Ecopower begeleidt zijn projecten steeds met een informatiecampagne. De buurtbewoners krijgen daarbij de kans om rechtstreeks te participeren in het project. Ze kunnen één of meerdere aandelen van 250 euro aankopen. Elke aandeelhouder krijgt, onafhankelijk van het aantal aandelen, één stem op de Algemene Vergadering. Als erkende coöperatie kan Ecopower jaarlijks een maximaal dividend van 6% uitkeren. De Algemene Vergadering heeft er tot hier toe voor gekozen om steeds het dividend van 6% uit te keren. De bevolking, de bedrijven en de gemeenten kunnen via het aandeelhouderschap rechtstreeks participeren in de winst die Ecopower maakt.

Situering van het projectvoorstel

Bij de conventionele wijze van elektriciteitsopwekking komen schadelijke stoffen in de atmosfeer zoals broeikasgassen, verzurende emissies en fijn stof. Of er wordt afval geproduceerd waarvoor nog

geen duurzame oplossing bestaat. Bovendien zijn de gebruikte grondstoffen eindig en is België voor zijn primaire energievoorziening sterk afhankelijk van import.

De Europees energie- en klimaatstrategie wil het probleem van de energiebevoorrading en de klimaatverandering tegelijk aanpakken. De EU heeft zich daarom als doel gesteld om tegen 2020 minstens 20% van zijn energiegebruik te halen uit hernieuwbare bronnen. Daartoe werd een nieuwe richtlijn hernieuwbare energie goedgekeurd. Hierbij zijn bindende doelstellingen per lidstaat vastgesteld. België zal tegen 2020 het aandeel hernieuwbare energie in zijn energiegebruik moeten optrekken van 2 naar 13%.

De EU heeft ook een strategie voor zuivere lucht. Er gelden steeds strengere emissieplafonds om de vorming van troposferische ozon, verzuring, eutrofiëring en de verspreiding van fijn stof tegen te gaan. Ook Brussel heeft momenteel moeite om deze milieu- en gezondheidsdoelstellingen te halen.

Om de energiebevoorrading voor de toekomst veilig te stellen en de milieuproblemen het hoofd te bieden, zal ons energiesysteem moeten verduurzamen. Dit betekent dat we rationeler moeten omgaan met ons energiegebruik en dat het aandeel hernieuwbare energie sterk moet stijgen. België is geografisch gunstig gelegen om gebruik te maken van windenergie.

De ruimte in het dichtbevolkte Vlaamse en Brusselse gewest is echter sterk versnipperd. Om de nog resterende open ruimte zoveel mogelijk te vrijwaren en de mogelijke hinder voor de omgeving te beperken, dienen grootschalige windturbines oordeelkundig ingeplant te worden. Windturbines worden daarbij het best gebundeld in de omgeving van grootschalige infrastructuur (kanalen, autosnelwegen, hoogspanningslijnen, ...) en dienen voldoende afstand te houden van de woonkernen. In het Brussels Gewest komen slechts een beperkt aantal sites in aanmerking voor de inplanting van grootschalige windturbines. De industriezone in Anderlecht-Vorst-Drogenbos lijkt in ieder geval een geschikte locatie voor een windmolenpark. Daarom onderzoekt Ecopower de mogelijkheid om in dit gebied een aantal windturbines van 2MW te installeren. We denken daarbij aan windturbines van Enercon, type E82, met masthoogte van 97 tot 108 meter en een rotordiameter van 82 meter. Eén windmolen kan daarbij stroom leveren voor 1200 gezinnen. Indien deze turbines te groot zijn (storing radar Belgocontrol) bestaat de mogelijkheid om voor een kleiner type van windturbine te kiezen. De E53 van Enercon heeft een masthoogte van 60 tot 73 meter en een rotordiameter van 53 m. Deze turbines hebben een vermogen van 800 kW.

Een grootschalig windproject kan een troef betekenen voor het hele industrieterrein en de betrokken ondernemingen. Het voordeel kan bestaan uit opstalvergoedingen, een gedeeltelijke directe levering van groene stroom of de positieve uitstraling van betrokken te zijn bij de verduurzaming van het bedrijventerrein. We moeten echter ook rekening houden met een aantal randvoorwaarden. De exploitatie van grootschalige windturbines op het bedrijventerrein kan immers hinder veroorzaken voor de gevestigde ondernemingen en de bijhorende woningen. De hinder kan bestaan uit geluid of slagschaduw.

De turbine E82 produceert op 95 % van het maximaal vermogen een brongeluid van 104 dB. Het brongeluid is een samengesteld geluid van de gondel (op 100 m. hoogte) en de ronddraaiende wieken. Simulaties tonen aan dat het geluidsniveau op grondniveau beperkt blijft tot maximaal 50 dB. Daarbij zal het geluid van de windturbines gedurende een groot deel van de tijd gemaskeerd worden door het achtergrondgeluid van het industrieterrein.

De slagschaduw is afkomstig van de ronddraaiende wieken en kan een stroboscopisch effect generen binnen woningen, kantoorgebouwen of werkplaatsen. De slagschaduw komt voor in een vliedervormig gebied ten Noorden van de windturbine. De mate van hinder hangt af van het tijdstip: binnen kantoren tijdens de kantooruren en bij woningen voornamelijk 's avonds. In onze projecten houden we er rekening mee dat het aantal uren effectieve slagschaduw binnen de woning op jaarbasis onder de 30 uren moet blijven. Soms kunnen remediërende maatregelen een oplossing bieden, zoals het plaatsen van een zonnewering of het tijdelijk stilleggen van de turbine.

Moderne windturbines zijn veilig. Toch bestaan er kleine risico's waarmee rekening moet gehouden worden. De mogelijkheid bestaat dat de mast, de gondel, een wiek of een onderdeel van de turbine faalt. Een studie van SGS in opdracht van het Vlaams energie agentschap¹ onderzocht de veiligheidsrisico's. Hieruit blijkt dat wanneer men dezelfde veiligheidseisen stelt als voor andere industriële installaties, windturbines op de meeste locaties een zeer laag tot aanvaardbaar risico opleveren. De berekeningen tonen dat de risico's van windturbines met masthoogte van 100 m. en rotordiameter van 80 m. aanvaardbaar zijn op een afstand van meer dan 200 m. van SEVESO installaties en bovengrondse SEVESO leidingen; en op een afstand van meer dan 100 m. t.o.v. ondergrondse SEVESO leidingen. Verder draait de rotor best niet boven kantoren of bedrijven waarbij een grote concentratie van werknemers onder de rotorovergang aanwezig is. Bij kleinere afstanden is een meer gedetailleerde risicoanalyse nodig.

Het risico van ijsworp wordt voorkomen door het ijsdetectiesysteem waarover moderne windmolens beschikken. Van zodra er minimale ijsvorming optreedt, veranderen de karakteristieken van de molen en wordt de rotor stilgelegd.

In het geval dat de afstand tot de hoogspanningslijnen kleiner is dan 3,5 maal de rotordiameter is een voorafgaandelijk advies van de netbeheerder Elia nodig. De minimale afstand die gerespecteerd moet worden bedraagt 1,5 maal de rotordiameter. Ten opzichte van de spoorlijnen moet een minimale afstand van 41 m gerespecteerd worden (rotor mag niet overdraaien). Voor autosnelwegen kan mits bebakening, tot een afstand van ongeveer 70 meter genaderd worden. Voor secundaire wegen zijn er geen richtlijnen.

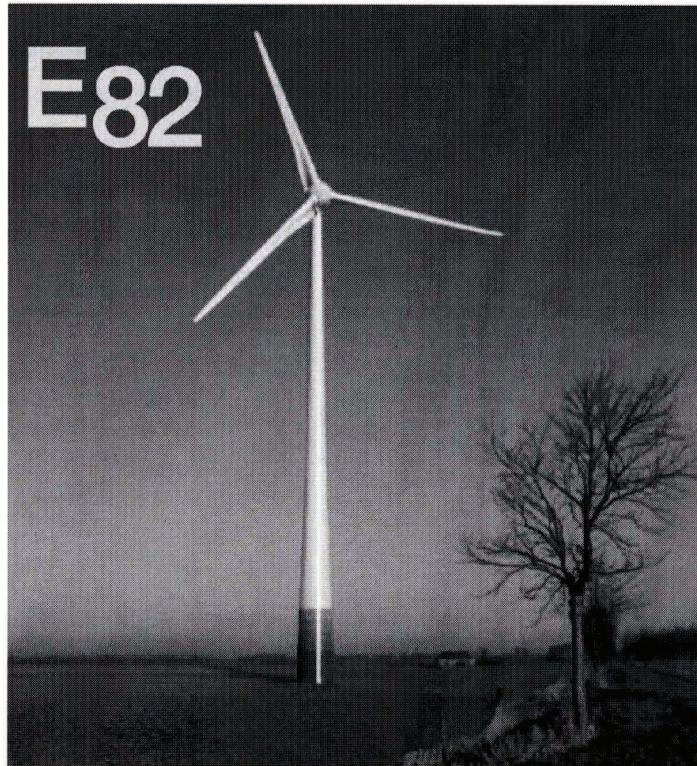
¹ SGS eindrapport, studie windturbines en veiligheid, januari 2007, <http://www.energiesparen.be/node/915>

Volgens de vogelatlas vindt een belangrijke seizoenstrek van bepaalde vogelsoorten plaats over het Brussels Gewest. De trekroute loopt echter niet langsheen het kanaal Brussel-Charleroi, maar meer langsheen het Zuid-Oosten van het Brussels Gewest. We verwachten niet dat het project bijkomende negatieve effecten heeft voor de avifauna.

1. Windturbine E82

Ecopower kiest in eerste instantie voor de windturbine E82 van Enercon (zie ook op www.enercon.de). Deze turbines hebben een rotordiameter van 82 m. en een masthoogte van 108 m. Daarmee voldoen ze aan de ideale verhouding waarbij de masthoogte minimaal 1,2 maal de rotordiameter bedraagt. Het zijn molens met drie wieken. Molens van dit type draaien langzamer en zijn daardoor rustgevender dan vele van hun directe concurrenten of oudere types. Ze hebben een maximale rotatiesnelheid van 19,5 omwentelingen per minuut. Dit type windturbine wordt door veel mensen als 'mooi' ervaren.

Enercon is de enige fabrikant van grote windturbines die gebruik maakt van een concept zonder tandwielkast. Door toepassing van een multipolengenerator, kunnen de wieken rechtstreeks op de naaf van de generator worden aangesloten, zonder dat een tussenliggende tandwielkast nodig is. Enercon heeft een nieuw type van wiek ontwikkeld waarbij het zovend geluid van de wieken minder is. Daardoor zijn deze machines van de stilste windturbines die op de markt te verkrijgen zijn. De windturbine van Enercon behoort tot de best beschikbare technologie om het geluidsniveau zo laag mogelijk te houden.



Figuur 2: foto van windturbine E-82

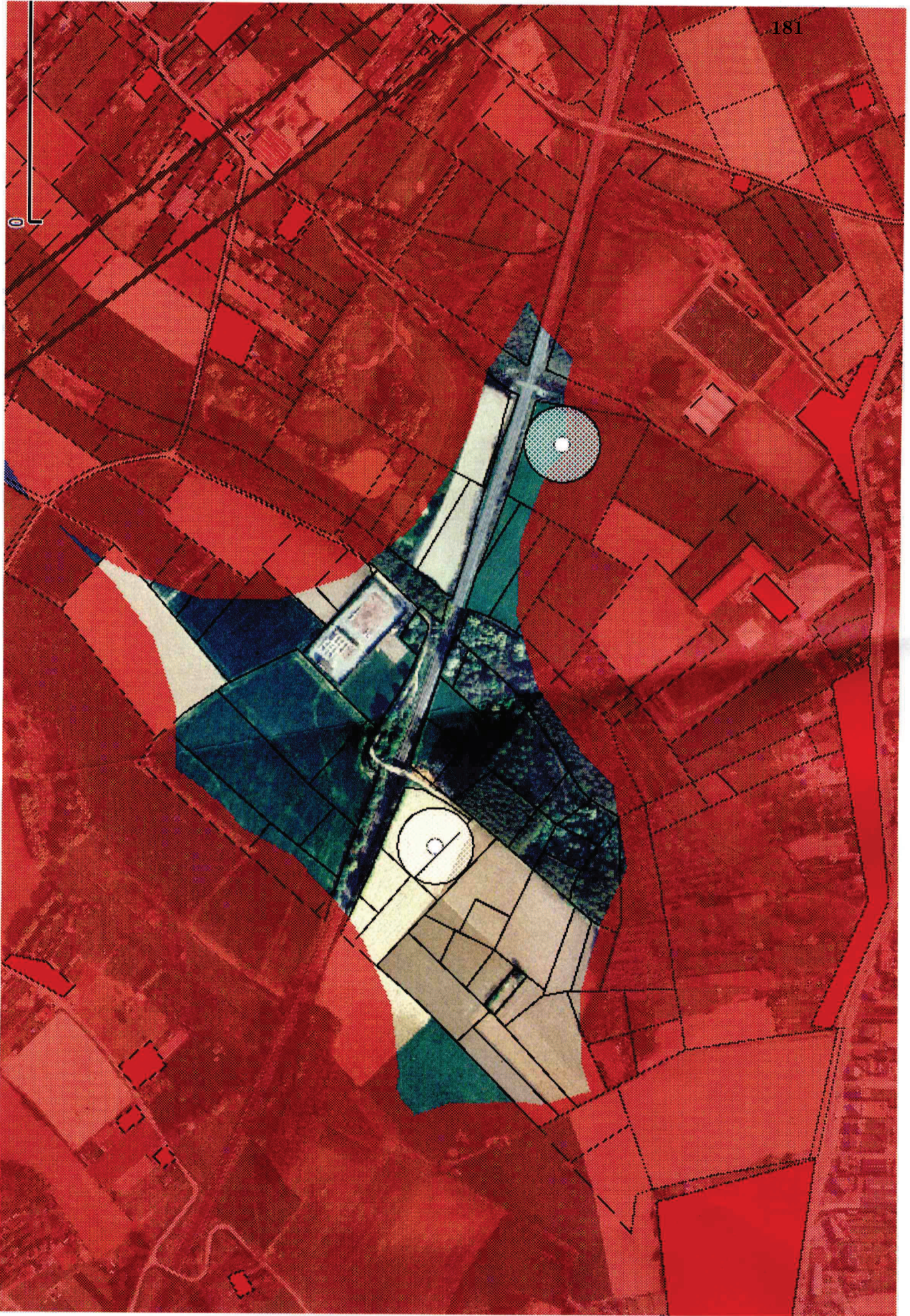
Voor de inplanting van een turbine is een terrein nodig van 20 op 20 meter. Op dit terrein wordt de fundering gelegd. De mast van de turbine heeft beneden een diameter van 7,5 meter. Het overige deel van de betonnen fundering kan nadien gebruikt worden als parkeer- of opslagplaats. Er gaat dus nauwelijks beschikbare ruimte verloren. De turbine moet wel bereikbaar zijn per wagen.

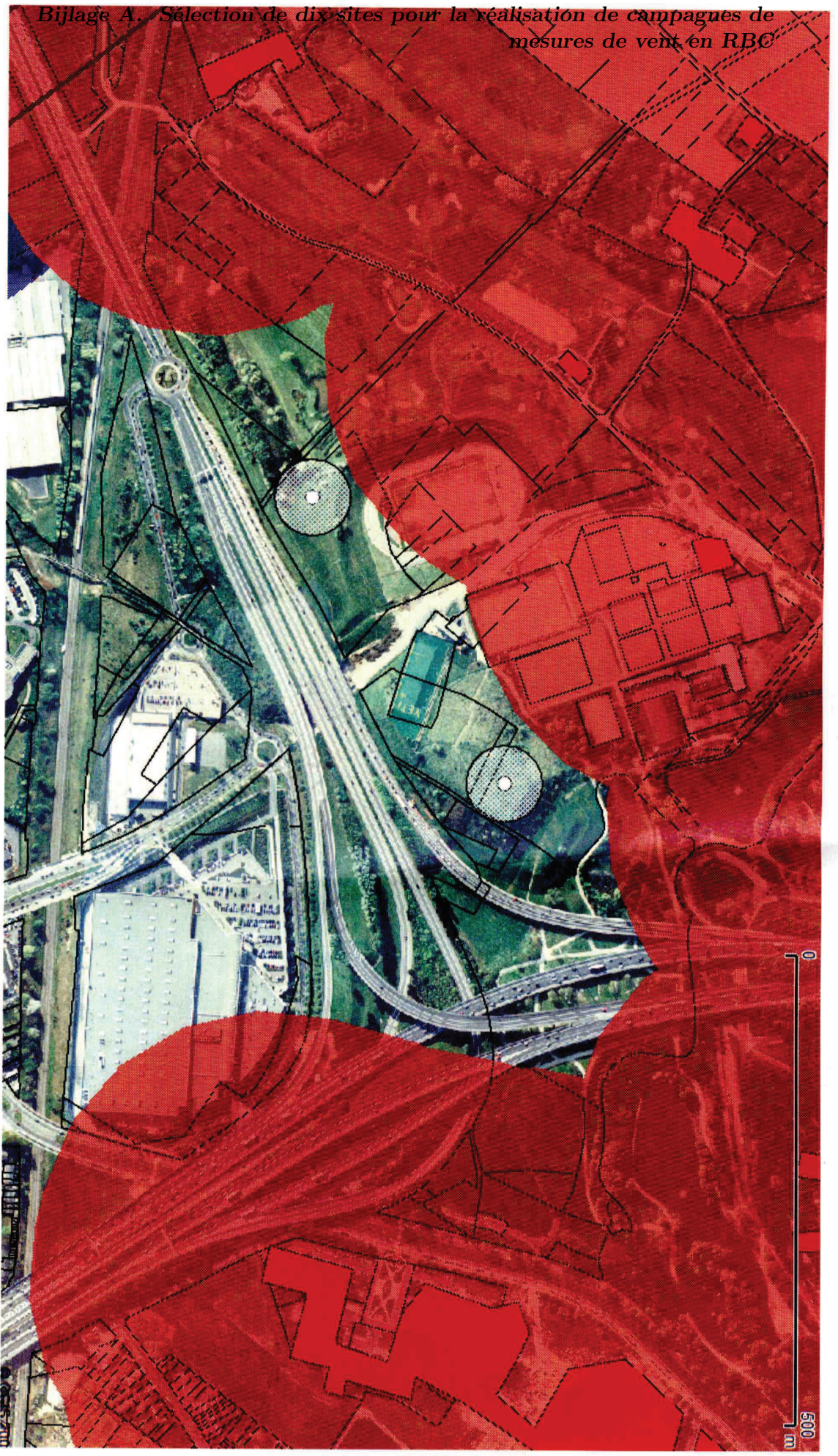
Recht van opstal

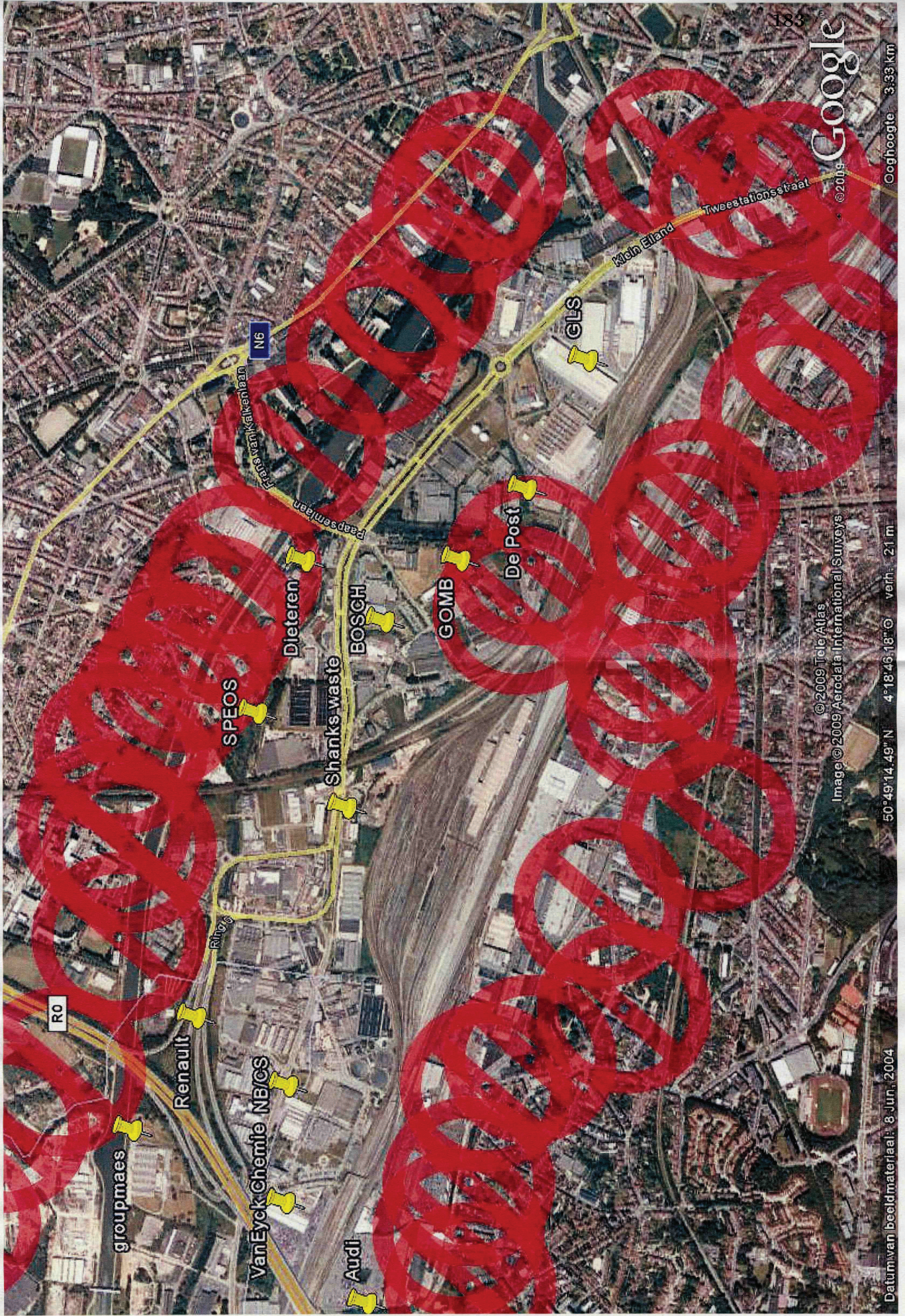
Om een project te realiseren, moeten er eerst overeenkomsten gemaakt worden met de eigenaars van de gronden. In het zogenaamde 'recht van opsta' worden de exploitatieperiode en de voorwaarden van de exploitatie van de windturbine vastgelegd. Hierbij wordt Ecopower verantwoordelijk gesteld voor alle risico's die verbonden zijn aan de exploitatie van de windturbine. Normaalgezien rekenen we op een exploitatieperiode van 20 jaar. Nadien is Ecopower verplicht om het terrein in de oorspronkelijke toestand te herstellen, indien de grondeigenaar hierom vraagt. Er kan ook gekozen worden om een nieuwe overeenkomst te sluiten. Bij verkoop van de grond, wordt het recht van opstal mee overgeheveld naar de nieuwe eigenaar.

In het geval dat de rotor over een aanpalend terrein van een andere eigenaar kan draaien (afhankelijk van de windrichting), moet ook een 'recht van overgang' ondertekend worden. De

eigenaar van de grond moet daarbij toestemming geven voor de overgang van de rotor. Aan het recht van opstal en het recht van overgang is uiteraard een vergoeding verbonden. In Vlaanderen loopt de opstalvergoeding momenteel op tot meer dan 12 000 euro per jaar voor turbines van 2 MW.







183
Google
© 2009

Ooghoogte 3,33 km

50°49'14.49" N 4°18'46.18" O verh. 21 m

Datum van beeldmateriaal: 8 Jun., 2004

© 2009 Tele Atlas
Image © 2009 Aerialdata International Surveys

R0

groepmaes

Renault

VanEyck Chemie NB/OS

Audi

SPEOS

Dieteren

Shanks waste

BOSCH

GOMB

De Post

ELS

Mijn Eiland

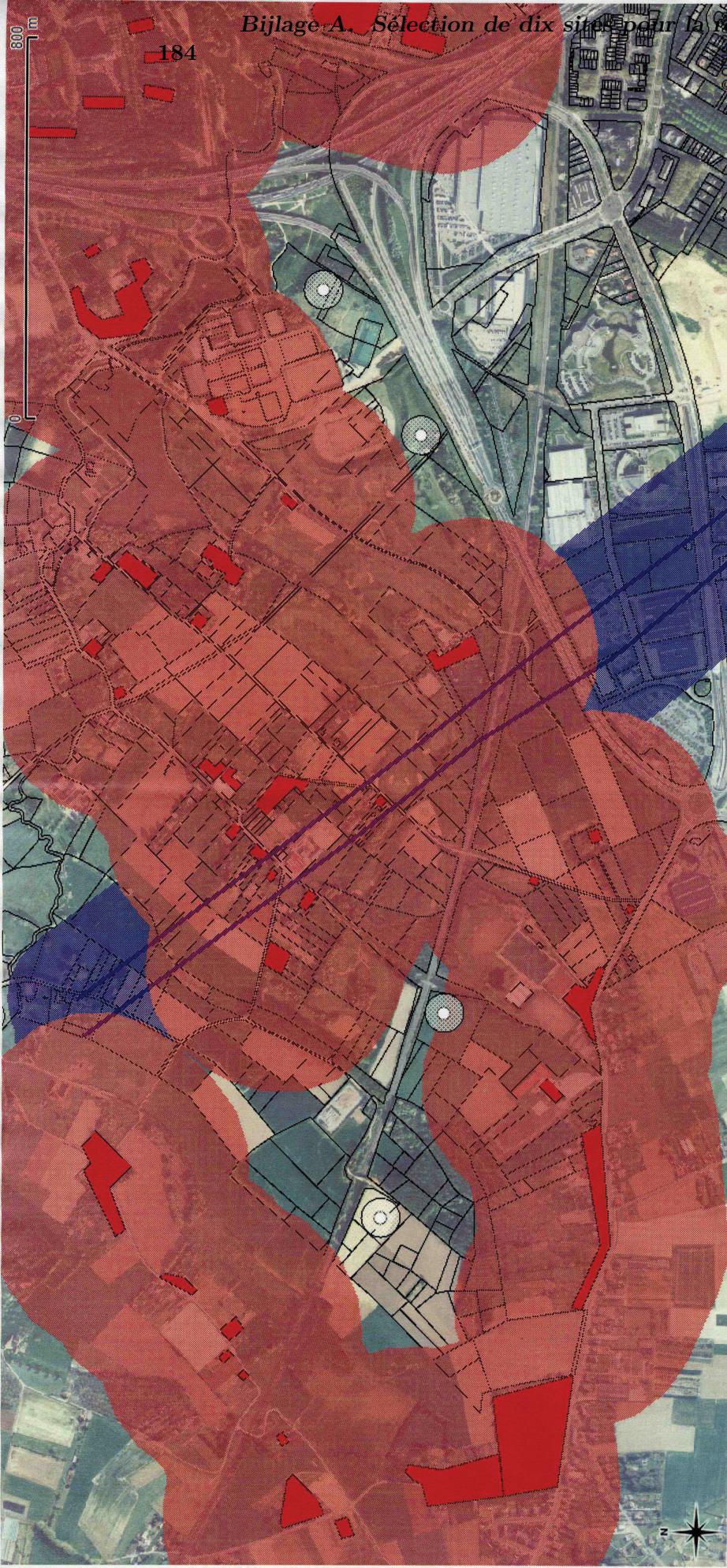
Tweestationsvaal

N6

Feria van Kakenlaan

Papembaan

Bijlage A. Sélection de dix sites pour la réalisation de campagnes de mesures de vent en RBC



mesures de vent en RBC

ANNEXE B RAPPORTS DE CERTIFICATION



SWCC Summary Report

Manufacturer: **Southwest Windpower**
 Wind Turbine: **Skystream 3.7** (240 VAC, 1-phase, 60 Hz)
 Certification Number: **SWCC-10-20**

The above-identified Small Wind Turbine is certified by the Small Wind Certification Council to be in conformance with the AWEA *Small Wind Turbine Performance and Safety Standard* (AWEA Standard 9.1 – 2009). For the SWCC Certificate visit: www.smallwindcertification.org



CERTIFIED
 SMALL WIND TURBINE
 SWCC-10-20

1. Introduction

This report summarizes the results of testing and certification of the Southwest Windpower Skystream 3.7 in accordance with AWEA Standard 9.1-2009. The Skystream 3.7 is a 3-blade, downwind, horizontal axis wind turbine with a swept area of 10.9 m². Power Performance testing was performed by WINDTEST in Kaiser-Wilhelm-Koog, Germany from November 14, 2008 to March 22, 2009. Acoustic testing was performed by WINDTEST in Kaiser-Wilhelm-Koog, Germany on August 13, 2009. The Acoustic data was re-analyzed by the National Renewable Energy Lab (NREL) to conform to the AWEA Standard. Safety and Function testing was performed by NREL in 2005 and 2008. Duration testing was conducted at the USDA/ARS facility in Bushland, Texas from January 29, 2007 to March 31, 2008. This turbine has also been granted certification to the Microgeneration Certification Scheme by BRE Global Limited as well as a Statement of Compliance for the turbine design to IEC 61400-2:2006 from Germanischer Lloyd.

2. Turbine Ratings

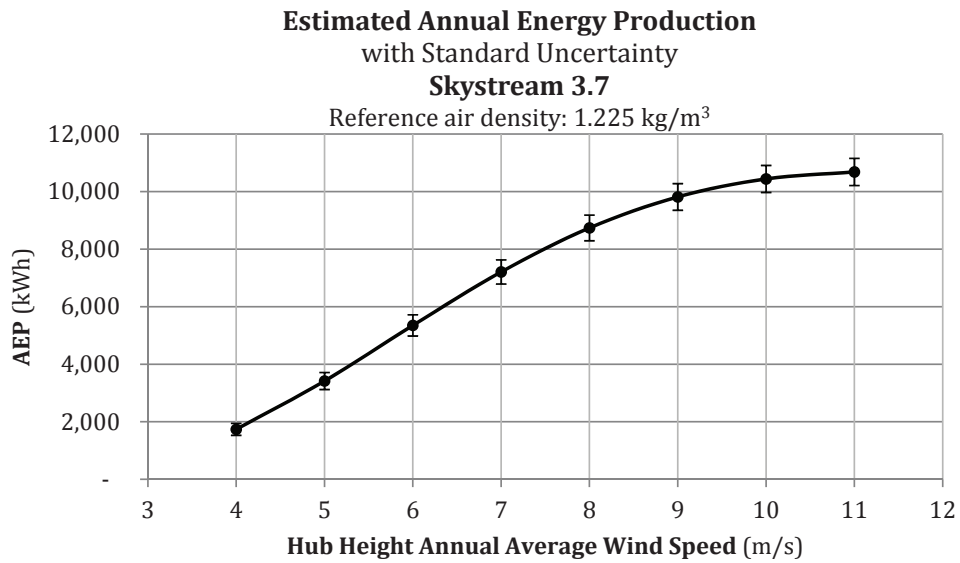
AWEA Rated Annual Energy @ 5 m/s	3,420	kWh
AWEA Rated Sound Level	41.2	dB(A)
AWEA Rated Power @ 11 m/s	2.1	kW

3. Tabulated Annual Energy Production (AEP)

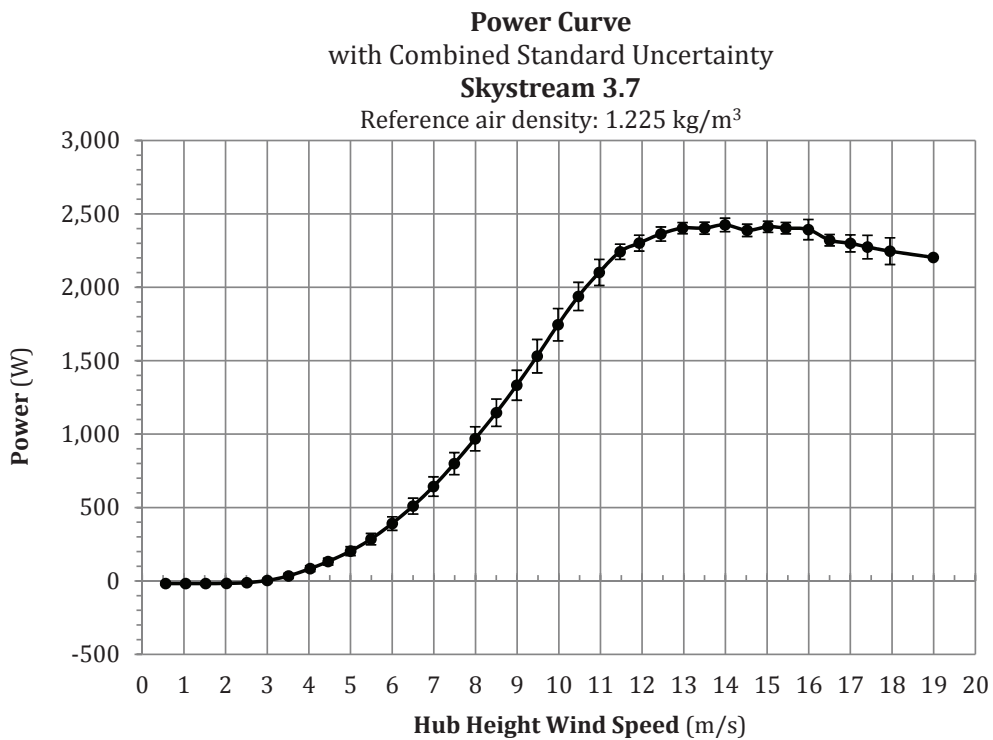
Corrected to a sea level air density of 1.225 kg/m³

Hub Height Annual Average Wind Speed (m/s)	AEP Measured (kWh)	Standard Uncertainty in AEP (kWh)	Standard Uncertainty in AEP (%)	AEP Extrapolated (kWh)
4	1,736	208	12.0	1,736
5	3,416	295	8.6	3,416
6	5,349	368	6.9	5,349
7	7,207	418	5.8	7,207
8	8,737	447	5.1	8,737
9	9,814	462	4.7	9,814
10	10,439	469	4.5	10,439
11	10,683	473	4.4	10,683

4. Annual Energy Production Curve



5. Power Curve



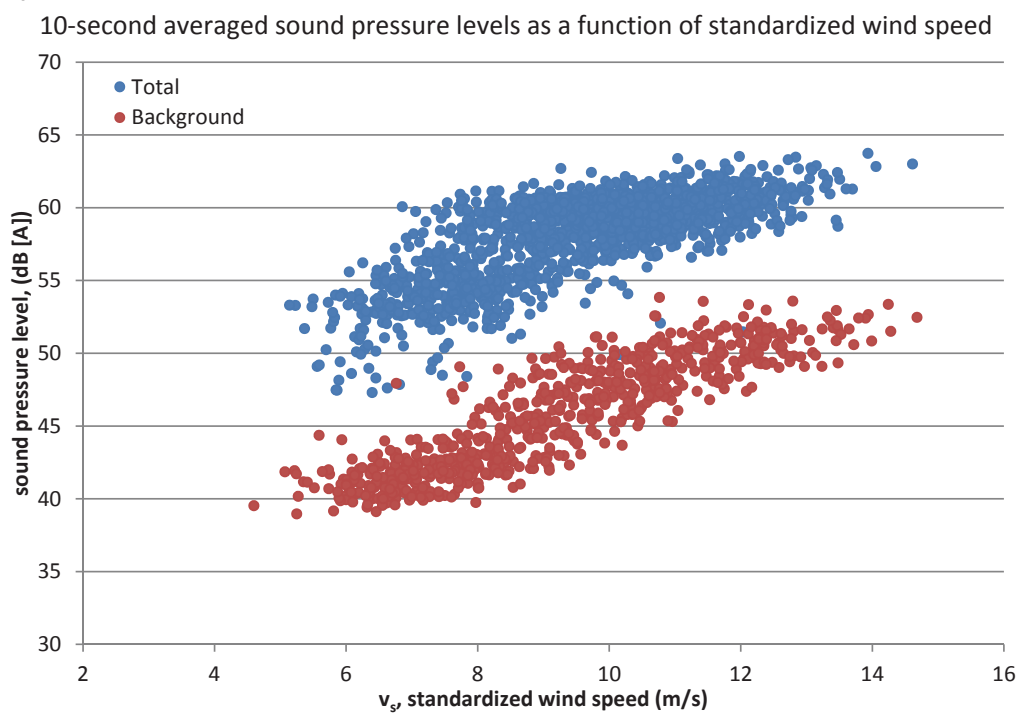
6. Tabulated Power Curve

Corrected to a sea level air density of 1.225 kg/m ³					Category A	Category B	Combined
Bin No.	Hub Height Wind Speed	Power Output	Cp	1-minute samples	Standard Uncertainty, Si	Standard Uncertainty, Ui	Standard Uncertainty, Ci
	<i>m/s</i>	<i>Watts</i>			<i>Watts</i>	<i>Watts</i>	<i>Watts</i>
1	0.56	-18	-	468	0	11	11
2	1.04	-18	-	1204	0.0	10.0	10.0
3	1.52	-18	-	2082	0.0	10.0	10.0
4	2.02	-17	-	3471	0.0	10.0	10.0
5	2.51	-12	-	5236	0.0	10.0	10.0
6	3.00	3	0.02	6353	0.0	11.0	11.0
7	3.51	34	0.12	6465	0.0	13.0	13.0
8	4.03	84	0.20	9502	0.0	17.0	17.0
9	4.46	132	0.23	9778	0.0	20.0	20.0
10	5.00	203	0.25	6018	1.0	23.0	23.0
11	5.49	285	0.26	5407	1.0	30.0	30.0
12	6.00	391	0.28	4924	1.0	39.0	39.0
13	6.50	510	0.28	4619	2.0	46.0	46.0
14	6.99	643	0.29	4570	2.0	54.0	54.0
15	7.49	799	0.29	4194	3.0	66.0	66.0
16	7.99	968	0.29	3534	3.0	75.0	75.0
17	8.50	1,146	0.28	3093	3.0	82.0	82.0
18	8.99	1,333	0.28	2543	3.0	93.0	93.0
19	9.48	1,531	0.27	1688	4.0	102.0	102.0
20	9.98	1,745	0.27	959	6.0	113.0	114.0
21	10.47	1,938	0.26	553	7.0	110.0	110.0
22	10.97	2,101	0.24	335	8.0	96.0	96.0
23	11.47	2,242	0.23	182	9.0	88.0	89.0
24	11.93	2,301	0.21	105	10.0	51.0	52.0
25	12.45	2,363	0.19	47	21.0	50.0	54.0
26	12.97	2,403	0.17	27	21.0	43.0	48.0
27	13.50	2,403	0.15	25	15.0	35.0	38.0
28	13.99	2,425	0.14	33	14.0	39.0	41.0
29	14.52	2,388	0.12	37	17.0	43.0	46.0
30	15.02	2,412	0.11	38	13.0	39.0	42.0
31	15.45	2,403	0.10	32	11.0	36.0	38.0
32	15.99	2,393	0.09	14	17.0	36.0	39.0
33	16.50	2,321	0.08	12	19.0	66.0	69.0
34	17.00	2,299	0.07	8	8.0	38.0	39.0
35	17.41	2,274	0.07	3	39.0	42.0	58.0
36	17.95	2,246	0.06	2	70.0	40.0	80.0
37	-	-	-	-	-	-	-
38	18.99	2,203	0.05	2	66.0	62.0	91.0

7. Tabulated Acoustic Data

Wind Speed Bin m/s	Sound Power Level dB(A)	Combined Uncertainty dB(A)
6	80.7	2.4
7	83.4	2.4
8	85.5	2.4
9	87.3	2.4
10	87.9	1.6
11	88.3	1.5
12	89.1	1.5

8. Graphical Acoustic Data



9. Duration Testing

The Skystream 3.7 successfully completed a Duration Test for an IEC Class II Small Wind Turbine. The testing was performed from January 29, 2007 to March 31, 2008 with an Operational Time Fraction of 90.8 %.

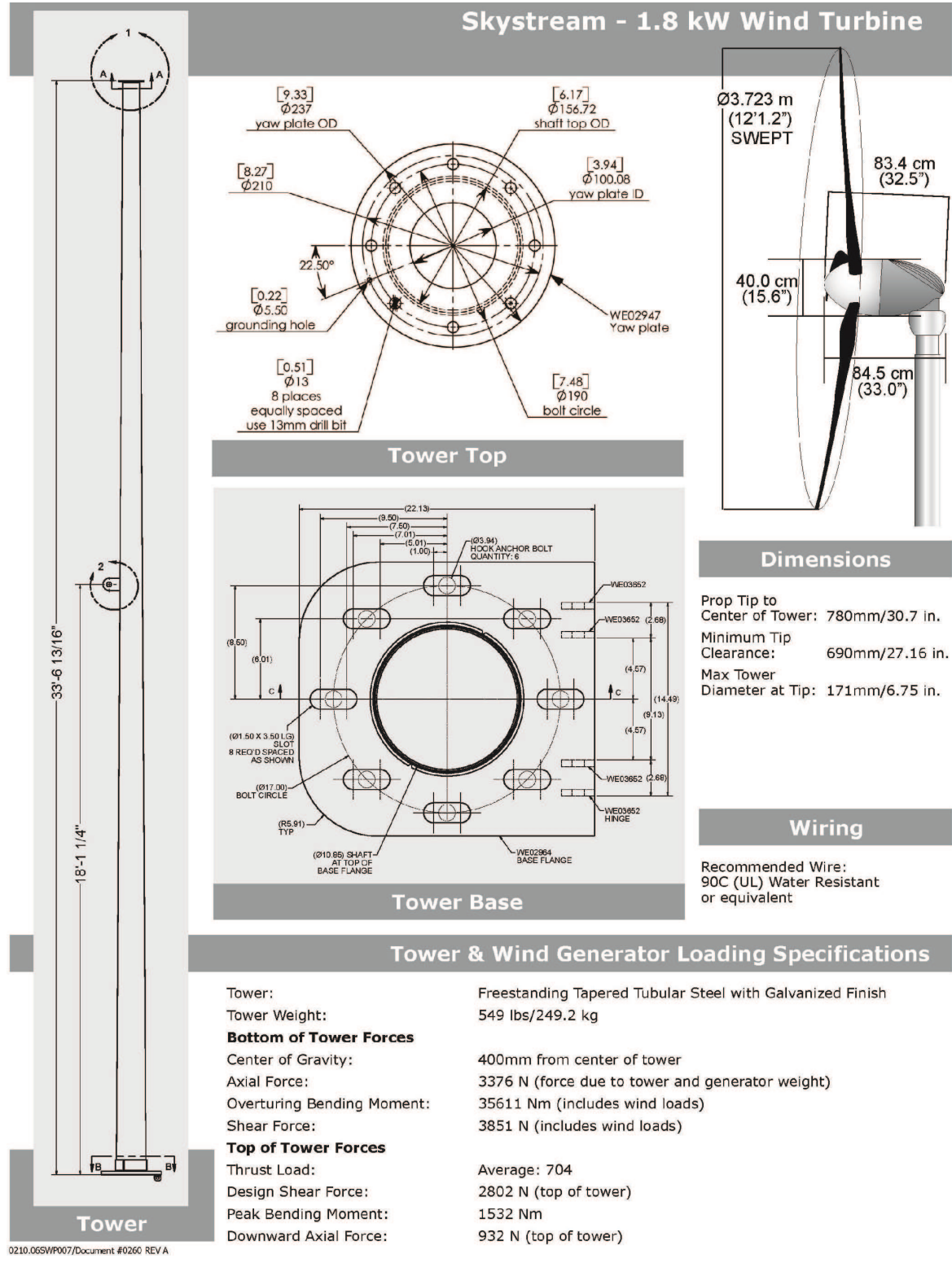
10. Mechanical Strength Analysis

The mechanical strength analysis was found to be in conformance with IEC 61400-2 as modified by AWEA Standard 9.1 – 2009 for an IEC Class II Small Wind Turbine.

11. Safety and Function testing

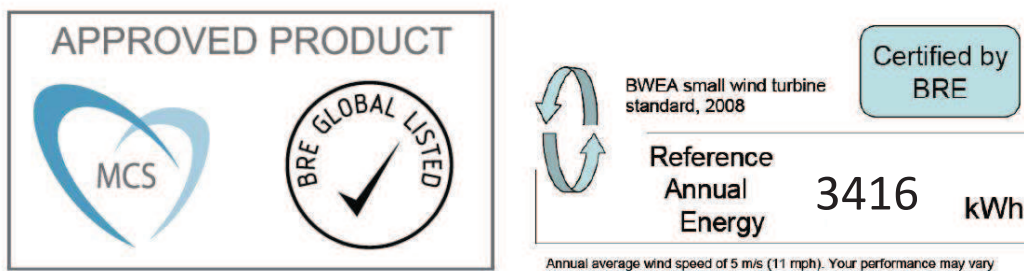
Safety and Function testing was found to be in conformance with sections 4.3 and 4.4 of AWEA Standard 9.1 – 2009.

12. Manufacturer Tower Design Requirements



Summary Details for Performance, Duration and Acoustic Measurements for Skystream 3,7 Wind Generator

UK MCS Certification Summary



Reference No. WT0043/01 & WT0043/02

Southwest Windpower, Inc.

1801 West Route 66
Flagstaff, Arizona 86001
Phone: 928-779-9463
Fax: 928-779-1485

Web: www.windenergy.com

NOTICE

These report summaries are results from third party testing of the Skystream 3,7 wind generator in accordance to the UK MCS product certification. Tests were performed in accordance to the BWEA (British Wind Energy Association) small wind Standard. This standard is based on the IEC-61400-2, 61400-11 and 61400-12.

Declaration of certified Wind turbines

The Skystream 3,7 wind generator currently produced and tested is fully representative of the wind generator tested by Germanischer Lloyd. No significant changes have been made to the original design. Any Skystream 3,7 wind turbine produced after January 1, 2010 meets the UK MCS certification requirements and any machine sold into the UK will be affixed with the "MCS Approved Product" label.

Sincerely,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'akruse', written in a cursive style.

Andrew Kruse
Executive VP of Business Development


ONE - POWER PERFORMANCE

Power Curve- The following tables demonstrate the power performance results at sea level air density for the Skystream wind generator in accordance to IEC 61400-12-1.

Power Curve according IEC 61400-12-1 and Measnet

responsible: Dipl.-Ing. Axel Sachse
 checked: Dipl.-Ing. Mike Lüdde
 Report: final
 site: TASWT KWK
 wind turbine type: Skystream 3.7
 anemometer: Vector
 no. of raw data: 107425
 database: 87563
 date: 2009-05-11

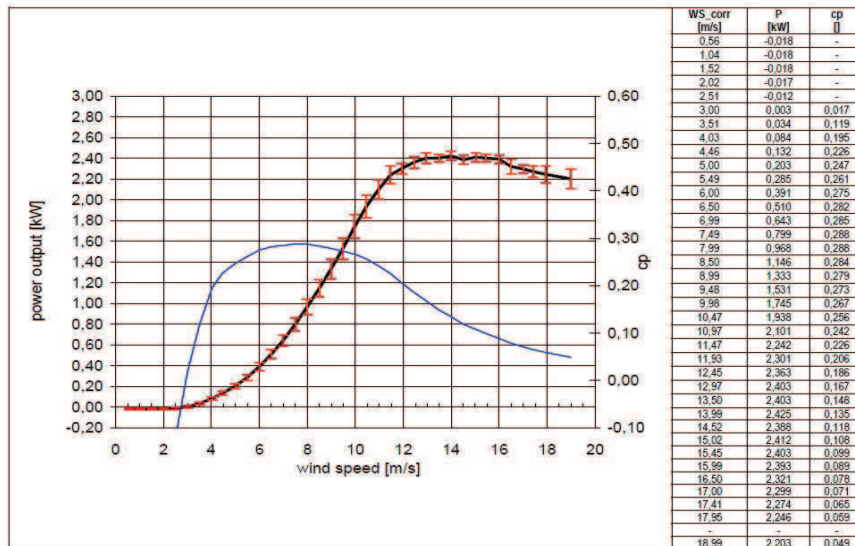
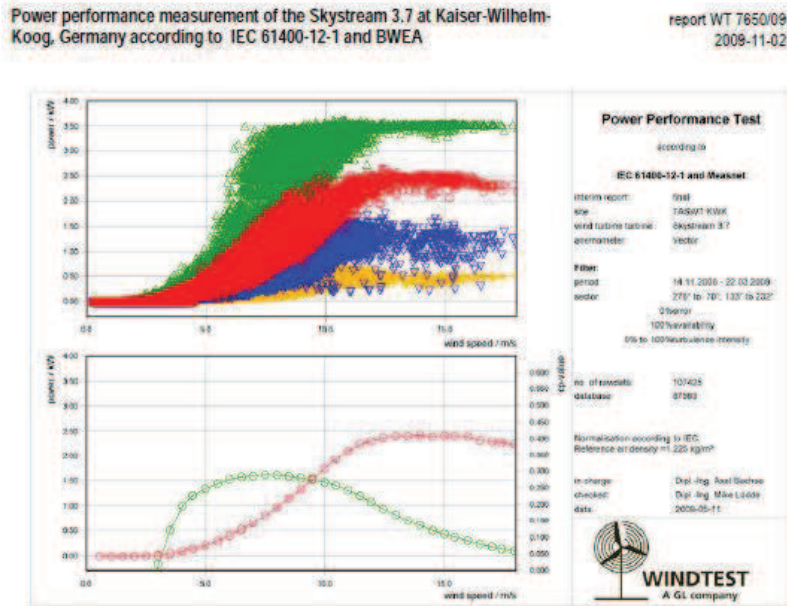
Filter: 14.11.2008 - 22.03.2009
 period: 278° to 70°, 133° to 232°
 sector: 0% failure
 100% availability
 0% to 100% turbulence intensity
 Database A



normalisation according to IEC to reference air density= 1.225 kg/m³

bin	from	to	no. of	average	standard	cp	ci	cp	ci	cp	ci	turb. intensity
	ms	ms	data	speed	dev.							[%]
	[m/s]	[m/s]	sets	[m/s]	[m/s]							
1	0.00	0.75	468	0.50	-0.018	-15.405	-0.020	-0.016	0.001	0.136	12.120	
2	0.75	1.25	1204	1.04	-0.018	-2.391	-0.019	-0.012	0.001	0.141	8.885	
3	1.25	1.75	2087	1.52	-0.018	-0.773	-0.020	-0.001	0.001	0.147	7.800	
4	1.75	2.25	3471	2.02	-0.017	-0.311	-0.019	0.021	0.004	0.144	8.021	
5	2.25	2.75	5236	2.51	-0.012	-0.118	-0.020	0.015	0.006	0.143	7.803	
6	2.75	3.25	6363	3.00	0.003	0.017	-0.020	0.128	0.020	0.143	6.356	
7	3.25	3.75	6885	3.51	0.034	0.119	-0.019	0.288	0.031	0.144	6.088	
8	3.75	4.25	9502	4.03	0.084	0.195	-0.019	0.315	0.040	0.141	6.050	
9	4.25	4.75	9778	4.46	0.132	0.226	-0.019	0.530	0.044	0.136	6.407	
10	4.75	5.25	6018	5.00	0.203	0.247	0.070	0.686	0.050	0.143	6.486	
11	5.25	5.75	5407	5.46	0.285	0.261	0.058	0.867	0.076	0.146	6.072	
12	5.75	6.25	4904	6.00	0.391	0.275	0.070	1.177	0.101	0.144	10.944	
13	6.25	6.75	4619	6.50	0.510	0.282	0.260	1.334	0.124	0.145	10.114	
14	6.75	7.25	4570	6.99	0.643	0.356	0.275	1.616	0.140	0.145	9.660	
15	7.25	7.75	4194	7.46	0.759	0.288	0.264	1.818	0.163	0.147	10.000	
16	7.75	8.25	2534	7.99	0.998	0.268	0.514	1.942	0.173	0.145	9.962	
17	8.25	8.75	3093	8.50	1.145	0.264	0.665	2.161	0.175	0.145	9.745	
18	8.75	9.25	2043	8.99	1.333	0.279	0.642	2.312	0.199	0.144	9.640	
19	9.25	9.75	1090	9.45	1.331	0.273	0.628	2.428	0.171	0.144	8.413	
20	9.75	10.25	659	9.98	1.765	0.267	1.149	2.512	0.175	0.146	9.441	
21	10.25	10.75	553	10.47	1.938	0.258	1.415	2.363	0.156	0.141	9.453	
22	10.75	11.25	335	10.97	2.101	0.242	1.416	2.516	0.152	0.145	9.730	
23	11.25	11.75	182	11.47	2.242	0.226	1.806	2.507	0.118	0.140	9.756	
24	11.75	12.25	105	11.93	2.501	0.200	1.840	2.526	0.108	0.135	8.761	
25	12.25	12.75	47	12.45	2.892	0.159	1.947	2.629	0.141	0.147	9.578	
26	12.75	13.25	27	12.97	2.403	0.167	2.125	2.966	0.111	0.140	10.402	
27	13.25	13.75	26	13.50	2.403	0.148	2.210	3.480	0.073	0.100	10.513	
28	13.75	14.25	33	13.96	2.429	0.126	2.180	2.523	0.067	0.156	10.548	
29	14.25	14.75	37	14.52	2.989	0.118	2.118	2.626	0.102	0.101	11.947	
30	14.75	15.25	38	15.02	2.412	0.108	2.063	2.520	0.082	0.148	11.203	
31	15.25	15.75	32	15.43	2.403	0.089	2.240	2.515	0.063	0.127	11.282	
32	15.75	16.25	14	15.96	2.363	0.089	2.369	2.486	0.063	0.181	10.354	
33	16.25	16.75	12	16.50	3.321	0.078	3.170	2.417	0.085	0.150	11.254	
34	16.75	17.25	8	17.00	2.289	0.071	2.254	2.324	0.023	0.115	9.906	
35	17.25	17.75	5	17.41	2.574	0.065	2.186	2.316	0.060	0.071	9.316	
36	17.75	18.25	2	17.95	2.246	0.059	2.177	2.316	0.098	0.146	7.834	
37	18.25	18.75	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
38	18.75	19.25	2	18.95	2.203	0.049	2.137	2.289	0.084	0.159	9.662	
39	19.25	19.75	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
40	19.75	20.25	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
41	20.25	20.75	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
42	20.75	21.25	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
43	21.25	21.75	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
44	21.75	22.25	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
45	22.25	22.75	--	--	--	--	--	--	--	--	--	

The valid datasets stated in the graphs below are normalized to sea level air density, referring to ISO standard atmosphere (1.225kg/m³). The Average of the measured air density (during periods of valid data collection) is 1.262 kg/m³, which is within the range.



BWEA Results:

BWEA Reference Power (Watts)	2101
Cut-in Wind Speed (m/s)	3,0 m/s
Maximum Power (Watts)	2425

Estimated Annual energy production – This data is extrapolated between the highest measured wind speed and the cut-out wind speed using a K factor of K=2

BWEA Reference Annual Energy Production (kWh)	3416
--	------

ESTIMATED ANNUAL ENERGY PRODUCTION (AEP) (database A)				
extrapolation of the power curve between the highest measured wind speed and the cut-out wind speed with the average power at highest measured wind speed		WT: cut-out wind speed: reference air density: coverage factor k:		IEC Test m/s 1,225 kg/m ³ 1
hub height annual average wind speed (Rayleigh) [m/s]	AEP-measured (measured power curve) [MWh]	Expanded uncertainty of AEP- measured		AEP-extrapolated (extrapolated power curve) [MWh]
		[MWh]	[%]	
4,0	1,736	0,208	11,980	1,736
5,0	3,416	0,295	8,626	3,416
6,0	5,349	0,368	6,883	5,349
7,0	7,207	0,418	5,798	7,207
8,0	8,737	0,447	5,116	8,737
9,0	9,814	0,462	4,709	9,814
10,0	10,439	0,469	4,497	10,439
11,0	10,683	0,473	4,427	10,683

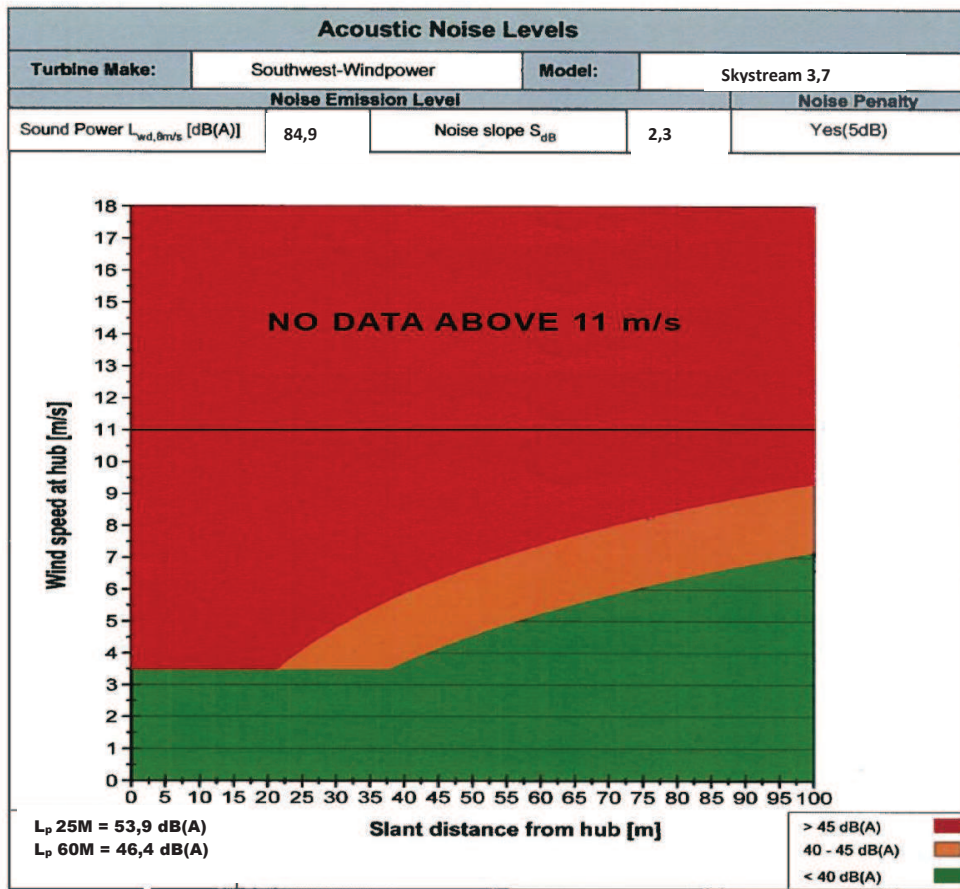
values marked with *: power curve incomplete acc. to IEC criteria for database

NOTE: Performance Measurements – The power transducer that measured the energy that Skystream produced during the test was located at the base of the tower directly next to a cabinet. This cabinet is where the grid connection is realized. The BWEA standard calls for a requirement that a minimum of “eight rotor diameters” separate the base of the tower from the power transducer. This distance is approximately 96’ Using a 4mm² (12 AWG) wire, which is specified in Appendix A of the European owner’s manual, the line loss would be less than 2% which is considered negligible.

TWO – ACOUSTICS

Acoustics Emission

The acoustics label for the Skystream 3,7 is indicated below. All measurements and analyses of the sound power level and tonality described in this report were made on the basis of the IEC-61400-11 Ed. 2,1 and the BWEA standard for small wind turbines.



The BWEA Reference Sound Levels at 25m and 60M at 8 m/s hub height wind speed are:

$$L_{p,25m} = 53,9 \text{ dB(A)}$$

$$L_{p,60m} = 46,4 \text{ dB(A)}$$

THREE – DURATION

Duration Testing

The turbine was observed during the visits at wind speeds between approximately 5 and 12 m/s for approximately 1,5 hours. During these observations no abnormal behavior was observed. Personnel have also reported no that noticeable oscillations had occurred during the test period.

Test start time: January 29 - 2007

Test end time: March 31 - 2008

Tower: 10-meter mono-pole

	TEST REQUIREMENT	RESULTS	PASS/FAIL
Operation	Minimum of 6 months operation	14 months	Pass
	2500 hours of power production at any wind velocity	3350 hours	Pass
	Power production at $1,2 * V_{ave}$ ($1,2 * 8,5$ m/s = 10,2 m/s) (Min 250 hours)	473 hours	Pass
	Power production at $1,8 * V_{ave}$ ($1,8 * 8,5$ m/s = 15,3 m/s) (Min 25 hours)	26,5 hours	Pass
Reliability	Operational time fraction of at least 90%	90,8%	Pass
	No major failure of the wind turbine occurred during test	Wind turbine was operational at end of test	Pass

The RF Radio Frequency (RF) board which communicates data from the wind turbine to a computer failed during the test. Because it was not material to the performance and operation of the wind turbine it was not considered material. The RF board was referred as a "RV-Board" in the duration report.

REFERENCE REPORTS:

- 1) **Power & Performance Test:** Report WT 7650/09 Tested near Wilhelm-Koog/Germany at the Windtest laboratory – November 2009
- 2) **Acoustics Test:** Report WT 7727/09 – Tested near Kaiser-Wilhelm-Koog/Germany at the Windtest laboratory – December 2009
- 3) **Duration Test:** Report WT 6534/08 – Tested in Bushland, Texas at the USDA laboratories – observed by Windtest - May 2008

-END -

INFORMATION QUALITÉ

Auteur(s) :

Nicolaz Guidon

Vérifié par :

Guillaume de Volder

05/04/2012

Approuvé par :

Liesbet Mijlemans

23/04/2012

Biodiversiteit : Windturbines en vleermuizen

Annexe 1 de la Résolution 5.6

**Eoliennes et Chiroptères :
Recommandations pour la planification des projets et les études d'impact**

Auteurs

Luisa Rodrigues (Présidente, Portugal), Lothar Bach (Allemagne), Laurent Biraschi (Luxembourg), Marie-Jo Dubourg-Savage (SFEPM, France), Jane Goodwin (Royaume-Uni), Christine Harbusch (NABU, Allemagne), Tony Hutson (UICN), Teodora Ivanova (Bulgarie), Lauri Lutsar (Estonie), Katie Parsons (BCT, Royaume-Uni), au nom du Comité Consultatif d'EUROBATS.

Sommaire

1. Introduction
 2. Aspects généraux de la conception des projets
 - 1.1 Phase de sélection du site
 - 1.2 Phase de construction
 - 1.3 Phase de fonctionnement
 - 1.4 Phase de démantèlement
 3. Réalisation des études d'impact
 - 3.1 Prédiagnostic
 - 3.2 Diagnostic
 - 3.2.1 Conception du diagnostic
 - 3.2.2 Méthodes de diagnostic
 - a) Eoliennes terrestres
 - b) Eoliennes en mer
 - 3.2.3 Effort de diagnostic
 - 3.2.4 Type de diagnostic
 - a) Diagnostic sur terre
 - b) Diagnostic en mer
 - 3.2.5 Rapport de diagnostic et évaluation
 - 3.3 Modification de puissance
 4. Suivi des impacts
 - 4.1 Perte d'habitats
 - 4.2 Suivi de la mortalité
 - 4.2.1 Recherche de cadavres de chauves-souris
 - 4.2.2 Estimation du taux de mortalité
 - 4.3 Migration
 - 4.4 Comportement
 5. Priorités en matière de recherche
 - 1.1 Mise au point de la méthodologie
 - 1.2 Mortalité et effets potentiels sur les populations de Chiroptères
 - 1.3 Migration
 - 1.4 Collision
 - 1.5 Dérangement, effet barrière
 - 1.6 Réduction et/ou suppression
 6. Conclusions et travaux ultérieurs
 7. Bibliographie
- Remerciements

1. Introduction

Suite à l'étude sur l'évidence des impacts des éoliennes sur les populations de chauves-souris, le Comité Consultatif d'EUROBATS a reconnu qu'il convenait de développer des recommandations générales pour la planification des projets et les évaluations environnementales, afin de déterminer les meilleurs sites d'implantation des éoliennes pour réduire leurs impacts sur les chauves-souris.

Des recommandations relatives au développement de parcs éoliens ont été préparées dans certains pays, mais il y a peu d'exemples où les chauves-souris sont prises en compte. Il est donc nécessaire de fournir des recommandations plus informatives pour les chauves-souris dans l'espace géographique de l'Accord EUROBATS. Le premier objectif de ces recommandations est de faire prendre conscience aux concepteurs et aux développeurs de la nécessité de tenir compte des chauves-souris et de leurs gîtes, de leurs voies de migration et de leurs terrains de chasse lors de l'évaluation des projets éoliens. Ces lignes directrices volontaires devraient aussi concerner les autorités locales et nationales délivrant les autorisations et chargées de concevoir des plans stratégiques pour les énergies renouvelables. Elles peuvent aussi servir de liste de référence utile aux autorités locales pour s'assurer, lors de l'examen des demandes de permis de construire, que les projets ont tenu compte de la présence éventuelle de chauves-souris et des impacts qu'ils peuvent avoir sur les Chiroptères.

L'Europe est confrontée à la nécessité de s'attaquer au problème du changement climatique et de la pollution de l'environnement et de trouver des méthodes soutenables et supportables pour répondre aux demandes de production d'énergie, conformément à la Directive 2001/77/CE du Parlement européen et du Conseil du 27 septembre 2001 sur le développement de l'électricité produite sur le marché intérieur à partir d'énergies renouvelables. Les gouvernements des pays européens se sont engagés à produire de l'électricité à partir d'énergies renouvelables, e.g. le Gouvernement du Royaume-Uni s'est engagé à ce que la part des énergies renouvelables dans la production d'électricité du pays soit de 10% en 2010/2011 en aspirant au doublement de ce pourcentage en 2020¹.

Les Parties signataires de l'Accord EUROBATS sont engagées vers un but commun : la conservation des chauves-souris dans toute l'Europe. Ces Parties n'oublient pas non plus la nécessité de freiner le changement climatique pour la survie à long terme des espèces migratrices. Les chauves-souris sont des espèces protégées par la Directive européenne Habitats et par la Convention de Bern. Les Chiroptères sont des espèces migratrices qui migrent régulièrement entre leurs gîtes d'été et leurs gîtes d'hivernation. Certaines espèces de chauves-souris migrent aussi sur plusieurs centaines de kilomètres, au-delà des frontières régionales et nationales. Là où la migration des chauves-souris franchit des frontières, toute évaluation stratégique environnementale des projets éoliens, avec possibilités d'impacts transfrontaliers, doit rechercher la coopération internationale d'autres gouvernements.

Il a été signalé, depuis de nombreuses années, que les éoliennes constituaient un problème pour les oiseaux (Winkelmann 1989, Phillips 1994, Reichenbach 2002) : la discussion porte principalement sur leur effet négatif par collision, mais aussi par l'évitement des parcs éoliens par certaines espèces d'oiseaux aux périodes de reproduction et de migration (Reichenbach 2002). Depuis les années 1990, parallèlement aux débats et aux découvertes d'oiseaux, on a supposé que les espèces de chauves-souris chassant en plein ciel pouvaient être affectées de façon similaire. Vers le milieu des années 1990, l'énergie éolienne se concentrait principalement dans les régions côtières et la problématique « chauves-souris et énergie éolienne » fut discutée pour la première fois dans deux articles publiés en 1999 (Bach *et al.* 1999, Rahmel *et al.* 1999 [Allemagne]). A peu près au même moment, aux Etats-Unis, Johnson *et al.* (2000) rapportaient la mortalité d'oiseaux par collision, montrant que le nombre de chauves-souris mortes trouvées sous des éoliennes était parfois plus élevé que le nombre d'oiseaux morts. Entre-temps, d'autres rapports ont corroboré les collisions de

¹ « Securing the Future – The UK Sustainable Development Strategy » HM Government, Mars 2005. Consultable sur http://www.sustainable-development.gov.uk/documents/publications/strategy/SecFut_complete.pdf

chauves-souris avec des éoliennes, en Allemagne et dans d'autres pays (e.g. Ahlén 2002 [Suède], Alcalde 2003 [Espagne], et Dürr 2001, Trapp *et al.* 2002, Dürr et Bach 2004 [Allemagne]). Se reporter au tableau 1 pour de plus amples détails. Au total 19 espèces européennes de chauves-souris ont été victimes de collisions et 21 espèces sont considérées comme potentiellement concernées (cf. tableau 2 pour de plus amples détails). Les éoliennes peuvent aussi avoir des impacts négatifs sur les populations de chauves-souris ainsi que sur leurs habitats et leurs proies, notamment :

- Dégradations, dérangement ou destruction des habitats de chasse et des corridors de transit
- Dégradations, dérangement ou destruction des gîtes
- Accroissement des risques de collision pour les chauves-souris en vol
- Désorientation des chauves-souris en vol par les ultrasons émis par les éoliennes

2. Aspects généraux de la conception des projets

Ces recommandations sont applicables aux projets en milieu urbain ainsi qu'en milieu rural, du projet domestique au projet industriel, et elles peuvent aussi être appliquées aux éoliennes en mer. Il faut aussi tenir compte de l'impact de l'installation de petites éoliennes à côté des propriétés bâties et de leur effet sur les gîtes à chauves-souris.

Il existe une sensibilité croissante du public au problème des changements climatiques et au rôle des énergies renouvelables dans la lutte contre ces changements. La planification du territoire s'organise généralement à l'échelle locale ou régionale et chaque localité ou région a ses propres stratégies spatiales pour traiter toute une gamme de plans divers, y compris le développement économique, les transports, le logement, l'environnement et l'énergie. Les politiques/stratégies de planification concernant les éoliennes doivent traiter différents facteurs environnementaux. Il est raisonnable de supposer que selon le site choisi il peut y avoir très peu d'impact sur les chauves-souris. Toutefois, là où la présence de chauves-souris est probable et où elles risquent d'être affectées par le développement, les autorités chargées de la planification territoriale doivent veiller à ce que les évaluations et les études écologiques soient réalisées aux périodes appropriées et par des personnes compétentes.

La nécessité de considérer les impacts possibles sur les chauves-souris comme partie du processus de contrôle du développement et la nécessité d'adapter les orientations et les pratiques en fonction de l'expérience découlant des éoliennes déjà installées sont un élément vital pour que les chauves-souris ne soient pas confrontées à une menace inutile pour leur survie. Les mesures d'atténuation possibles peuvent inclure des conditions, notamment la soumission d'obtention du permis de construire à l'acceptation de l'arrêt des turbines pendant les périodes critiques de l'année. Il existe en Allemagne, par exemple, des plans pour l'arrêt de certaines éoliennes pour des périodes variables entre août et octobre. Les éoliennes seront arrêtées soit toute la nuit ou la première moitié de la nuit et fin septembre/début octobre toutes les fins d'après-midi.

Les services chargés de l'aménagement du territoire peuvent réglementer la construction et le fonctionnement des éoliennes en fixant des conditions et/ou une obligation de planification. Ces conditions et obligations peuvent s'appliquer à toute une série de questions comprenant la taille, la nature et l'emplacement du projet. Lorsqu'ils évaluent les demandes d'autorisation de construction d'éoliennes et quand ils établissent des conditions ou obligations, les services instructeurs doivent se préoccuper des effets possibles des éoliennes sur les chauves-souris en termes de dérangement, d'obstacles sur les couloirs de migration ou de chasse, de perte ou de dégradation des habitats, et de collisions. Les autorités doivent aussi insister pour que les impacts de éoliennes fassent l'objet d'un suivi.

Les différents stades impliqués pour la production d'électricité d'origine éolienne peuvent avoir un impact plus ou moins important sur les chauves-souris :

2.1 Stade de sélection du site

Les développeurs doivent envisager de placer les éoliennes à distance des corridors étroits de migration des chauves-souris ainsi que des gîtes et des zones de chasse et de reproduction où elles se regroupent. Des zones tampons peuvent être créées autour des gîtes d'importance nationale et régionale. Il leur faut aussi tenir compte de la présence d'habitats tels que forêts, zones humides et bocage et des éléments tels que les arbres isolés, les plans d'eau ou les rivières que les chauves-souris ont de grandes chances de fréquenter. La présence de ces habitats augmentera la probabilité que les chauves-souris chassent en ces lieux. Les milieux très ouverts peuvent être moins importants pour la chasse, bien qu'ils puissent constituer des couloirs de transit ou de migration. Les informations sur les habitats et les lieux où les éoliennes peuvent avoir un impact seront une aide à la prise de décision.

Le tableau suivant présente les impacts les plus importants en lien avec le site et le fonctionnement des éoliennes et dans quelle mesure ils affectent soit les espèces locales, soit les espèces migratrices de chauves-souris. Pour plus de détails, consulter Bach et Rahmel (2004).

Impacts en lien avec le site (emplacement des éoliennes)		
Impact	En été	Aux périodes de migration
Perte des habitats de chasse pendant la construction des routes d'accès, des fondations, etc.	Impact faible à moyen, en fonction du site et des espèces présentes sur ce site	Impact faible
Perte de gîtes en raison de la construction des routes d'accès, des fondations, etc.	Impact probablement fort à très fort, en fonction du site et des espèces présentes sur ce site	Impact fort à très fort, e.g. perte de gîtes d'accouplement
Impacts relatifs au fonctionnement du parc éolien		
Impact	En été	Aux périodes de migration
Emission d'ultrasons	Impact probablement limité	Impact probablement limité
Perte de terrains de chasse car les chauves-souris évitent la zone	Impact moyen à fort	Impact probablement mineur au printemps ; impact moyen à fort en automne et en période d'hibernation
Perte ou déplacement de corridors de vol	Impact moyen	Impact faible
Collision avec les rotors	Impact faible à moyen, en fonction des espèces	Impact fort à très fort

2.2 Stade de construction

Les travaux de construction doivent être programmés aux périodes du jour et de l'année où les chauves-souris ne sont pas actives. Ceci implique de connaître localement les espèces présentes dans le secteur et de comprendre leur cycle annuel d'activité. L'année typique des chauves-souris comprend une période de grande activité (généralement d'avril à octobre) et une période de moindre activité ou d'hibernation (de novembre à mars). Toutefois pour chaque espèce ces périodes varient selon la position géographique, mais aussi d'une année à l'autre en fonction des conditions météorologiques. Le comportement de certaines espèces jouera aussi un rôle, car certaines chauves-souris tolérantes au froid seront plus actives en hiver que d'autres espèces de Chiroptères. Les travaux de construction doivent être clairement définis dans toute programmation pour garantir le confinement des opérations aux périodes les moins sensibles.

Les voies d'accès et les bâtiments permanents en lien avec la construction du site doivent aussi être considérés comme des sources potentielles de dérangement ou de préjudice. La construction doit avoir lieu aux heures appropriées pour minimiser les impacts du bruit, des vibrations, de l'éclairage et d'autres perturbations sur les chauves-souris.

2.3 Stade de fonctionnement

En fonction du site et du niveau d'impact, il faudra envisager de subordonner l'obtention des autorisations à certaines conditions, afin de limiter le fonctionnement des éoliennes pendant les périodes d'activité maximale des chauves-souris, telles que la période de migration automnale.

2.4. Stade de démantèlement

Les services instructeurs peuvent accompagner le permis de construire de conditions et/ou de conventions s'étendant jusqu'au stade de démantèlement. Les éoliennes peuvent être aisément et rapidement démantelées. Il faudra veiller à ce que le démantèlement intervienne à une période de l'année où le dérangement des chauves-souris et de leurs habitats sera réduit au minimum. En établissant les conditions de remise en état du site, les services instructeurs locaux doivent tenir compte de la nécessité d'inclure des conditions en faveur des chauves-souris et de leurs habitats.

3. Réalisation des études d'impact

Plusieurs études ont montré qu'au cours de l'année la plupart des cadavres de chauves-souris étaient trouvés en fin d'été et en automne (Alcade 2003, Johnson et al. 2003) et qu'il s'agissait fréquemment d'espèces migratrices (Ahlén 1997, Ahlén 2002, Johnson et al. 2003, Petersons 1990). Les chauves-souris locales peuvent aussi être affectées (Arnett et al. 2005, Brinkmann et al. 2006). Par conséquent une évaluation d'impact environnemental doit inclure les deux périodes : été et époques de migration. Ceci est particulièrement vrai parce que les éoliennes ne sont plus seulement un phénomène côtier : les turbines modernes, très performantes, se trouvent aussi à l'intérieur des terres et la migration des chauves-souris ne se limite pas à la frange côtière. Les éoliennes sont érigées de préférence au sommet des collines où elles sont mieux exposées au vent : ces sites sont souvent en bordure de boisements, voire en pleine forêt. En ces lieux, le parc éolien peut avoir un impact, comme cela est typique en plaine, mais sa situation et sa construction en milieu forestier peut aussi affecter les habitats des chauves-souris. Les milieux de chasse des Chiroptères peuvent être touchés et des gîtes détruits par le défrichage du site pour construire les éoliennes et les routes d'accès et pour mettre en place les câbles de raccordement au réseau électrique.

La méthodologie d'évaluation doit tenir compte de la situation en été et lors de la migration de printemps et d'automne, afin d'éviter et de réduire les impacts de manière satisfaisante. Il est recommandé que les services instructeurs (après consultation de chiroptérologues) tiennent compte et évaluent les impacts potentiels sur les chauves-souris lorsqu'ils examinent les demandes de permis de construire pour toutes les éoliennes proposées (e.g. Ahlén 2002, Bach et Rahmel 2004, Behr et v. Helversen 2005, Brinkmann *et al.* 2006, Dürr et Bach 2004, Endl *et al.* 2005, Johnson et Strickland 2004).

La section suivante fournit des informations sur des évaluations d'impact qui ne sont pas imposées par la loi. Les développeurs devront aussi entreprendre des études spécifiques pour répondre, si nécessaire, aux exigences de l'Évaluation d'Impact Environnemental. Là où il est probable qu'un projet de développement aura des effets environnementaux importants sur les chauves-souris (e.g. effets sur les gîtes ou/et les couloirs de vol, les zones d'alimentation et les migrations saisonnières), une évaluation d'impact environnemental sera requise avant qu'un service instructeur ne puisse décider ou non d'accorder le permis de construire.

3.1 Prédiagnostic

Le but du prédiagnostic est d'identifier les espèces ainsi que les structures paysagères utilisées par les chauves-souris courant potentiellement des risques dans la zone choisie pour l'implantation. Ces résultats forment la base de l'évaluation et de l'analyse de conflit qui permettra ensuite de donner des conseils pour éviter, réduire ou compenser les impacts. Compte tenu des impacts que les éoliennes ont sur les chauves-souris, il est recommandé d'entreprendre un prédiagnostic pour tous les nouveaux projets éoliens sur terre et en mer. Le prédiagnostic est une étape préliminaire pour recueillir des informations sur les effets probables du projet sur les chauves-souris pouvant être présentes, pour aider le développeur à prendre une décision et pour juger si une étude plus approfondie est nécessaire.

Il faudra veiller à inclure les éléments suivants dans le prédiagnostic :

a) Examen et comparaison des données existantes

Toutes les sources d'information devront être examinées pour identifier les habitats potentiels pour les chauves-souris et les impacts pouvant résulter d'un projet éolien.

Ces sources d'information comprennent :

- Photographies aériennes/cartes/cartographie des habitats ;
- Cartes de répartition des espèces/répartition des espèces considérées ;
- Données de gîtes et d'espèces observées. Pour les sites en mer, il faudra inclure les données obtenues à partir des plates-formes pétrolières, des phares et autres points d'observation en mer ou sur la côte ;
- Si possible les voies de migration d'oiseaux, car elles peuvent aussi fournir des indications sur les voies suivies par les chauves-souris en migration ;
- Données sur la migration des chauves-souris en Europe.

Si approprié, les organisations clefs susceptibles d'avoir des données sur les chauves-souris seront consultées, notamment :

- les groupes locaux de chiroptérologues ;
- les centres détenteurs d'archives biologiques ;
- les associations naturalistes ;
- les organisations officielles de conservation de la nature ;
- les associations pour la conservation des chauves-souris ;
- les muséums d'histoire naturelle ;
- les organismes universitaires de recherche ;
- les autorités régionales ;
- les bureaux d'étude ayant travaillé dans le secteur.

b) Évaluation de la présence probable de chauves-souris

Outre le travail de bureau il est recommandé de réaliser une étude préliminaire du site pour identifier/confirmer les structures potentielles de la zone d'étude susceptibles d'être utilisées par les chauves-souris. L'étude préliminaire nécessitera probablement une approche à grande échelle pour identifier les fonctions possibles de chaque partie de la zone d'étude, par exemple pour le gîte, la chasse ou le transit. Cette partie de l'évaluation devra aussi envisager les voies potentielles de migration.

c) Identification des impacts potentiels

L'information existante et l'étude du site doivent être utilisées pour décider si la présence des chauves-souris est connue, le nombre d'espèces, les structures paysagères qui leur sont favorables (gîte, chasse, corridors) et quels impacts sont probables ou potentiels. Pour chaque projet d'éolienne il faudra tenir compte de la façon dont il pourra affecter les chauves-souris. Les impacts suivants peuvent potentiellement résulter d'un projet éolien :

- Mort par collision avec les pales en mouvement
- Dérangement ou barrière sur les voies de migration
- Dérangement ou barrière sur les voies de transit local
- Dérangement ou perte d'habitat de chasse
- Dérangement ou perte de gîtes, bien que ceci soit plus probable pour des éoliennes en milieux forestiers ou près de bâtiments.

d) Identification de l'ampleur de l'évaluation et nécessité probable d'une étude complémentaire

Lorsque l'on considère les effets potentiels d'un projet éolien, il faut tenir compte des déplacements locaux des chauves-souris gagnant leurs terrains de chasse et en revenant, ainsi que des déplacements à longue distance entre les sites d'été et les sites d'hibernation, en particulier des voies de migration/grands déplacements, e.g. déplacements d'automne/regroupements.

Il faut tenir compte des voies de migration continentales et maritimes. Une attention particulière sera portée aux voies de migration pour les sites éoliens proches des structures paysagères marquantes telles que vallées fluviales, lignes de crête, cols et littoral. Pour les projets en mer il faudra aussi prendre en compte l'emplacement des éoliennes par rapport aux axes de vol entre les principales masses continentales et les îles, surtout s'il existe des données de chauves-souris sur les îles. Pour les éoliennes terrestres, le prédiagnostic devrait tenir compte de l'activité des chauves-souris dans un rayon de 10 km autour de l'éolienne.

3.2 Diagnostic

3.2.1 Conception du diagnostic

La conception du diagnostic variera en fonction du site proposé pour l'éolienne. Il faut toutefois tenir compte de l'échelle spatiale de l'étude qui traduira de près la taille et le nombre d'éoliennes, l'utilisation potentielle du site par les chauves-souris et comment ceci peut affecter la période d'étude.

Les grandes pales d'éoliennes ont un rotor situé à 25-180 mètres du sol et par conséquent il faut tenir compte de la hauteur à laquelle l'étude devra être réalisée. De telles éoliennes affecteront probablement des espèces de haut vol, mais il est recommandé de tenir compte de toutes les espèces et d'évaluer leurs effets sur toutes.

Etant donné les impacts potentiels sur les chauves-souris, il est irréaliste de vouloir présenter une EIE exacte et complète pour un projet éolien, sans tenir compte de la présence possible de chauves-souris pendant un cycle complet d'activité des Chiroptères. En fonction des espèces et de la situation géographique en Europe, ce cycle d'activité peut varier de la mi-février à la mi-décembre. L'intensité du travail de terrain pendant toute cette période peut aussi varier en fonction de l'emplacement proposé pour l'éolienne et de l'utilisation potentielle du site.

Bien que le moment choisi pour l'étude dépende fortement des conditions météorologiques, il ne doit pas seulement fournir une image exacte de l'utilisation du site pour la chasse et le transit, par les populations locales de chauves-souris, mais aussi mettre en évidence la migration de Chiroptères. En conséquence, il est recommandé d'intensifier l'effort de surveillance au printemps et en automne, quand les chauves-souris migrent. La prise en compte des données disponibles localement, e.g. les dates de sortie d'hibernation, de dispersion des colonies de reproduction, d'accouplement et de regroupement (« swarming »), pourra servir de guide pour déterminer les dates de réalisation de ces études.

3.2.2 Méthodes de diagnostic

a) Eoliennes terrestres

Les études sur les sites éoliens proposés doivent aussi tenir compte des bénéfices qu'il y a d'inclure les techniques suggérées pour les études de l'activité en terrain ouvert, telles que les études acoustiques avec détecteur d'ultrasons tenu en main ou automatisé, le radio-pistage si nécessaire et les captures (uniquement en forêt ou dans des zones à forte diversité paysagère). Mais il faut réfléchir à l'altitude à laquelle les études doivent être réalisées. Celle-ci doit refléter la hauteur proposée des éoliennes et il faut envisager des études avec détecteurs d'ultrasons automatisés au sol et/ou fixés à des cerfs-volants ou des ballons à hélium, en plus des études standard avec un détecteur manipulé. Les structures présentes sur le site d'étude (tours, mâts ou phares) peuvent être utilisées pour placer des stations d'enregistrements automatiques.

Il a été suggéré que l'utilisation du radar, placé le long des trajets de chasse et des routes de transit et de migration, combiné à des détecteurs d'ultrasons placés à différentes altitudes et à du matériel de vision nocturne (caméras infrarouges ou à image thermique), pouvait aussi apporter des informations sur l'altitude de vol des chauves-souris, mais il est nécessaire de tester davantage cette méthode pour authentifier les résultats et prouver l'utilité de ce matériel. Cette dernière technique n'est pas un outil à utiliser seul, mais il doit l'être associé aux méthodes conventionnelles. Il est conseillé de réaliser des études intensives d'activité dans un rayon de 1 km autour de chaque éolienne proposée, pendant toute la période d'étude, et de déterminer l'utilisation saisonnière des gîtes dans un rayon de 10 km. Pour fournir une indication des voies de migration, une étude intensive doit être réalisée au printemps et en fin d'été/début d'automne, dans un rayon de 1 km autour de chaque site d'implantation proposé, pour mettre en évidence une augmentation du nombre d'espèces migratrices.

En règle générale, les éoliennes ne doivent pas être installées dans les forêts, ni à une distance inférieure à 200 m, compte tenu du risque qu'implique ce type d'emplacement pour toutes les chauves-souris. A proximité des bois, la question de la hauteur doit être soulignée. L'activité des chauves-souris au-dessus de la canopée est d'un intérêt particulier. Des caméras thermiques et des ballons/cerfs-volants avec détecteurs d'ultrasons donneront une indication de hauteur. Les radars, s'ils s'avèrent opérationnels, peuvent être moins utiles dans ce cas-ci que dans les habitats moins fermés. On se concentrera sur les espèces de milieux ouverts ainsi que sur toutes les espèces connues pour voler au-dessus de la canopée, e.g. *Pipistrellus* sp., *Hypsugo savii*, *Myotis bechsteinii*, *Barbastella barbastellus*, *Myotis nattereri*, *Myotis myotis*, *Eptesicus* sp., *Vespertilio murinus* et *Nyctalus* sp.

b) Eoliennes en mer

Les éoliennes en mer doivent être étudiées de la même manière que les éoliennes terrestres, mais elles le seront à partir de bateaux, phares, etc. Toutefois les diagnostics en mer se concentreront sur les voies de migration plutôt que sur les terrains de chasse. Les études se focaliseront sur le printemps (avril/mai) et l'automne (août/septembre), à moins que des chauves-souris découvertes sur des plates-formes pétrolières, des îles, etc. fassent état de leur présence à d'autres périodes de l'année. Une étude réalisée en mer, en Suède, apportera bientôt davantage d'informations.

3.2.3 Effort de diagnostic

En fonction de la situation géographique et des espèces hibernant dans la région, les dates de début et de fin d'étude varieront, car l'hibernation est plus courte dans le sud de l'Europe que dans les régions septentrionales du continent. L'étude de terrain peut donc avoir lieu entre la mi-février et la mi-novembre (voire la mi-décembre), mais son intensité variera aussi. L'effort de surveillance sera déterminé, en fonction de chaque site éolien prévu et des impacts potentiels en se référant aux données locales.

Différentes phases d'activité des chauves-souris devront être étudiées (pour le calendrier se référer au paragraphe 3.2.4 a) 4. Calendrier de l'étude) :

- (a) Transit entre les gîtes de post-hibernation ;
- (b) Migration de printemps ;

- (c) Activité des populations locales, en vérifiant aussi les couloirs de vol, les terrains de chasse, etc., et en se concentrant sur les espèces de haut vol ;
- (d) Dispersion des colonies, début de la migration d'automne ;
- (e) Migration d'automne, gîtes et territoires d'accouplement.

3.2.4 Type de diagnostic

a) Diagnostic sur terre

1. Recherche de nouvelles colonies de parturition, par exemple dans un rayon de 5 km pour permettre l'évaluation des phases d'activité (c) et (d) (mai à août).
2. Etudes au sol
 - avec détecteur d'ultrasons (manuel et automatique, au sol) pour toutes les phases d'activité des chauves-souris afin de déterminer
 - un indice d'activité pour chaque habitat de la zone d'étude (1 km de rayon autour du site éolien proposé) et pour chaque emplacement d'éolienne prévu (indice d'activité = nombre de contacts par heure). Mais dans les résultats le pourcentage de bruits de capture de proie devra aussi figurer.
 - les espèces, de préférence, ou les groupes d'espèces
 - avec caméra infrarouge (ou une onéreuse caméra à image thermique si cela est possible).
3. Etudes en altitude
 - Enregistrements automatiques avec un détecteur d'ultrasons embarqué par un ballon ou un cerf-volant ou placé sur un mât de mesure ou toute autre structure appropriée (pour obtenir un indice d'activité et des groupes d'espèces, à tous les stades du cycle d'activité des chauves-souris).
 - L'utilité d'un radar associé à
 - un enregistrement automatique des microphones à ultrasons placés à différentes hauteurs sur la ligne d'attache du ballon (afin d'avoir une référence d'altitude),
 - une caméra infrarouge,
 doit encore être prouvée.
4. Calendrier de l'étude
En fonction de la situation géographique et de la présence d'espèces à très courte période d'hibernation :
 - **15/02-30/03**² : phase (a) : une fois par semaine, 2 heures en première moitié de nuit, en commençant ½ heure avant le crépuscule ;
 - **15/03**³-15/05 : phase (b) : une fois par semaine, 4 heures en première partie de nuit, à partir du coucher du soleil, et inclure 1 nuit complète en mai pour la phase (c) ;
 - **01/06-15/07** : phase (c) : quatre fois, toujours une nuit complète ;
 - **01/08-31/08** : phase (d) : une fois par semaine, 4 heures en première moitié de nuit, à partir du coucher du soleil, en incluant 2 nuits entières ;
 - **01/09-31/10** : phase (e) : une fois par semaine, 4 heures en première moitié de nuit, à partir du coucher du soleil, en incluant 2 nuits complètes en septembre, et en première moitié de nuit en octobre. Pendant cette période il faudra aussi rechercher les gîtes et territoires d'accouplement. A la fin de septembre et en octobre, sur le continent européen, de nombreuses *Nyctalus noctula* ont été observées chassant dans l'après-midi entre 5 et 100 m de hauteur. L'étude devra donc commencer 3-4 heures avant le coucher du soleil, là où ce comportement est suspecté pour la Noctule commune.

² S'applique principalement dans le sud de l'Europe pour *Miniopterus schreibersii*, *Rhinolophus euryale* et *Myotis capaccini*

³ Si la phase (a) ne s'applique pas pour la région

- **01/11-15/12⁴** : phase (e) : une fois par semaine (si les conditions climatiques permettent l'activité des chauves-souris), 2 heures en première moitié de nuit en commençant ½ heure avant le crépuscule.

Il est nécessaire de tenir compte des coûts impliqués (e.g. utilisation de caméras à image thermique, location d'un radar avec un technicien, coût de l'hélium pour le ballon, etc.).

La standardisation des études et suivis post-installation est importante pour que les impacts des éoliennes puissent être comparés entre les différents pays. Des recommandations pour le suivi post-installation sont fournies dans le chapitre 4.

b) Diagnostic en mer

Il est plus difficile d'étudier l'activité des chauves-souris pour les parcs éoliens en mer, en particulier parce que les méthodes n'ont pas été mises au point et testées. D'après l'expérience et les résultats acquis en mer Baltique, il peut être possible de combiner les observations depuis la terre et en mer :

- L'étude doit se concentrer sur la période de migration.
- Etude depuis la terre
 - à partir de certains repères côtiers supposés être pour les chauves-souris des points de départ en direction du projet éolien ;
 - études au détecteur d'ultrasons (en manuel et en automatique depuis le sol)
 - utilisation de caméras infrarouges ou à image thermique si cela est possible
 - enregistrements automatiques avec un détecteur d'ultrasons monté sur un cerf-volant, un phare ou une autre structure (pour déterminer un indice d'activité et des groupes d'espèces)
- Etude en mer
 - Transects en bateau dans la zone prévue pour le projet éolien (sans doute possible de les combiner avec des recensements nocturnes d'oiseaux) ;
 - si possible à partir de ferries faisant la traversée régulière, de nuit, entre deux pointes de terre supposées être importantes pour la migration des chauves-souris (e.g. Bornholm-Rügen en mer Baltique).
 - Radar de conduite de tir à partir d'un phare, associé à des transects en bateau pour vérifier la détermination de chauves-souris faite par le radar.
- Calendrier de l'étude
 - De début août à mi-octobre (en fonction de la localité) au moins deux fois par semaine.

3.2.5 Rapport de diagnostic et évaluation

Etant donné que le rapport de diagnostic est destiné à des personnes ayant peu ou pas de connaissances sur la biologie et l'étude des chauves-souris, le rapport devra indiquer :

- les espèces présentes dans la région géographique et administrative ainsi que leur statut ;
- les méthodes et le matériel utilisé, ainsi que leurs limites ;
- les dates d'étude et les conditions météorologiques ;
- les espèces contactées pendant l'étude et leur comportement déduit (passage, chasse, regroupement, migration), ainsi que la date et l'heure d'observation. Ces résultats peuvent apparaître sous forme de tableaux en individualisant les différentes saisons d'activité des chauves-souris (transit post-hibernation [ou migration de printemps], période de mise bas et d'élevage des jeunes, dispersion et regroupement, migration) pour faciliter la comparaison ;
- la différence d'activité selon les différentes phases de la nuit ;
- la différence d'activité à des altitudes différentes, si un ballon (ou une autre technique) a été utilisé. Toutefois la prudence est de mise lors de la comparaison des résultats au sol et des résultats en altitude obtenus avec différents types de détecteur d'ultrasons (la portée et la précision des détecteurs varient selon les systèmes et les fabricants) ;

⁴ Idem que la note 2

- la position exacte de chaque contact reportée sur des cartes, ainsi que le type d'enregistrement (détecteur tenu en main, boîtes d'enregistrement automatique au sol, en l'air, etc.)

En fonction des espèces présentes ou potentiellement présentes (en particulier dans les milieux agricoles ouverts), l'évaluation tiendra compte des situations locales et régionales en termes de statut de protection et de conservation, des fonctions et de l'utilisation des habitats décrits, des impacts différents dus au site ou au fonctionnement.

Une analyse de conflit doit alors être présentée pour chaque utilisation du site par chaque espèce contactée ; chaque emplacement d'éolienne sera évalué en conséquence et des propositions seront faites pour limiter les impacts. Les mesures proposées seront dans l'ordre : mesures d'évitement, de réduction et de compensation.

Pour plus de détails pour le rapport et l'analyse, voir Rahmel *et al.* (2004).

3.3 Modification de puissance

Il sera nécessaire de combiner un suivi de mortalité de chauves-souris sous les éoliennes existantes et un diagnostic d'activité qui tienne compte de l'emplacement et de la hauteur des futures éoliennes. La méthodologie de suivi proposée au chapitre 4 est recommandée, mais avec un nombre réduit de nuits d'étude en été. La recherche de cadavres permettra d'évaluer si le site a un impact par collision de chauves-souris.

Recherche de cadavres de chauves-souris

- Rechercher dans un rayon si possible égal à la hauteur hors tout de l'éolienne et de toute façon égal ou supérieur à 50 m.
- Même méthodologie que pour « Suivi des impacts ».
- Contrôler au moins la moitié des éoliennes existantes. A effectuer tous les 2 à 5 jours et contrôle associé à une étude au détecteur d'ultrasons la nuit précédente.

4. Suivi des impacts

Le suivi post-installation des parcs éoliens déterminera les impacts des éoliennes et les différentes espèces concernées et facilitera la compréhension des problèmes qui se posent. A ce jour, seuls des parcs éoliens individuels ont été suivis et aucune étude n'a été réalisée en ce qui concerne les effets cumulatifs des parcs éoliens groupés dans une même région. Pour évaluer les impacts des parcs éoliens sur les chauves-souris, les études doivent suivre une méthodologie standardisée pour donner des résultats comparables. L'objectif du présent travail est de présenter des méthodes pour atteindre ce but et tenter de trouver des moyens de réduire les impacts sur les chauves-souris.

L'impact direct dû au fonctionnement du parc éolien n'est pas totalement compris à l'heure actuelle, car dans la plupart des cas la cause de la collision est inconnue. Différentes hypothèses ont été proposées, telles que :

- les turbulences de l'air ;
- la non-perception du danger (nombre de cris d'écholocation des espèces migratrices trop faible ou trop grande vitesse de rotation des pales) ;
- la vitesse des pales trop élevée pour qu'elles soient perçues par le sonar des chauves-souris ;
- une concentration d'insectes plus forte autour de la nacelle, ce qui incite les chauves-souris à chasser dans cette zone.

Le suivi des impacts de l'énergie éolienne sur les chauves-souris n'a de valeur scientifique que s'il tient compte de l'état initial de leurs populations dans le secteur, avant l'installation du parc éolien. Une étude de type BACI (mesure des impacts avant et après construction) est donc nécessaire.

Un projet de suivi exhaustif doit se concentrer sur au moins 4 des thèmes de recherche suivants, soulignés dans le chapitre 5 : perte d'habitats, mortalité, migration et comportement.

4.1 Perte d'habitats

Pour déterminer si un parc éolien entraîne une perte d'habitats pour les chauves-souris, il est nécessaire de savoir :

1. (diagnostic, année 1) quelles espèces sont présentes dans le secteur avant la construction du parc, quelles sont celles qui y chassent et celles qui y passent pendant la migration. Un site témoin (voir ci-dessous) doit aussi être étudié.
2. (suivi, année 2) quelles espèces ne réapparaissent pas pendant la construction (vérifier les impacts que les travaux de construction ont sur les habitats et le dérangement qu'ils occasionnent aux chauves-souris).
3. (suivi, années 3 -5) pendant la phase de fonctionnement, étude d'impact sur les espèces résidentes (attractivité, changement de comportement et mortalité) et sur les espèces migratrices (comportement et mortalité) : 3 ans minimum et en fonction des résultats, 3 années supplémentaires si nécessaire pour faire une nouvelle analyse.

Ceci peut être réalisé en vérifiant au détecteur d'ultrasons les espèces encore présentes autour du parc éolien, s'il y a une diminution notable de l'indice d'activité et un changement de comportement par rapport aux résultats de l'année 1 (Bach 2002).

- Suivi au détecteur d'ultrasons au sol (en manuel et en automatique) et à différentes altitudes (ballons, zeppelins, cerfs-volants, radar).
- Observations visuelles en fin d'après-midi et caméras infrarouges pour l'étude comportementale et celle de la migration.
- Suivi de la mortalité de chauves-souris (voir ci-dessous).

Afin d'éviter de conclure que toute modification dans le type d'activité ou de comportement des chauves-souris est imputable au parc éolien quand elle peut être due à des variations annuelles, il faudra aussi réaliser, à proximité du parc éolien, le suivi d'un site témoin présentant des caractéristiques environnementales similaires (mêmes types d'habitats, même hauteur de végétation). Aucune éolienne ne pourra être construite sur ce site témoin pendant la durée de suivi des impacts.

4.2 Suivi de la mortalité

Le nombre d'accidents mortels varie de façon significative en fonction de l'emplacement du parc éolien et des espèces qui s'y trouvent. Le nombre de cadavres retrouvés est influencé par la prédation (temps nécessaire à un prédateur pour trouver la victime avant l'homme) et par l'efficacité du contrôleur (mais dépend aussi du type de couverture végétale sous les éoliennes). Par conséquent le suivi de la mortalité comportera deux étapes.

4.2.1 Recherche de cadavres de chauves-souris

a) Surface prospectée

Dans l'idéal, un rayon égal à la hauteur hors tout de l'éolienne devrait être contrôlé, car les cadavres de chauves-souris peuvent être emportés assez loin par des vents violents (Grünkorn *et al.* 2005). Comme dans la plupart des cas cette surface ne peut pas être correctement contrôlée en raison de la hauteur de la couverture végétale ou d'obstacles naturels, il est conseillé de contrôler une surface plus petite qui peut être libre de végétation toute l'année ou du moins couverte d'une végétation rase. Le rayon sera donc si possible égal à la hauteur totale, mais en aucun cas inférieur à 50 m.

La zone contrôlée (de préférence un carré plutôt qu'un cercle) sera marquée aux quatre coins par un piquet et deux côtés opposés avec d'autres piquets marquant des bandes de 10 m ou de 5 m de large. Les transects parcourus d'un piquet à l'autre permettront de contrôler une bande de respectivement 5 ou 2,5 m de large de part et d'autre du parcours.

Si pour une raison quelconque la zone ne peut être entièrement parcourue, le pourcentage de surface contrôlée devra être calculé pour chaque éolienne.

b) Nombre d'éoliennes contrôlées

Si possible, tous les aérogénérateurs du parc éolien devront être contrôlés. Dans le cas de parcs éoliens de grande envergure, les éoliennes proches des structures paysagères seront systématiquement contrôlées et certaines autres seront choisies au hasard. Le nombre dépendra de la taille du parc et de sa situation.

c) Intervalle de temps entre les contrôles

Plus le pas de temps entre les contrôles est petit, plus le nombre de cadavres récupérés est élevé et par conséquent plus le biais de prédation est faible. Pour les petits parcs il est suggéré de choisir un intervalle de 1 jour entre les contrôles et un intervalle de 5 jours (maximum) pour les parcs éoliens plus grands (pour la comparaison des résultats en fonction du pas de temps choisi, voir Arnett *et al.* 2005).

d) Calendrier du suivi

Le suivi de la mortalité doit commencer dès que les chauves-souris redeviennent actives après l'hibernation et il durera tant qu'elles n'auront pas pris leurs quartiers d'hiver. Mais ce calendrier variera en fonction de la situation géographique et des conditions météorologiques. Dans le sud de l'Europe, par exemple, le suivi pourra commencer dès la mi-février et se poursuivre jusqu'à la mi-décembre. Etant donné que la plus forte mortalité a été constatée pendant les périodes de migration, l'effort de recherche sera plus grand au printemps et en automne.

- 15/02-31/03 : 1 contrôle /semaine ou moins
- 01/04-15/05 : 1 contrôle tous les 2 ou 3 jours
- 16/05-31/07 : 1 contrôle/semaine
- 01/08-15/10 : 1 contrôle tous les 2 ou 3 jours
- 16/10-15/12 : 1 contrôle/semaine ou moins.

e) Méthodologie de suivi

Le contrôleur parcourra chaque transect d'un pas lent et régulier, cherchant les cadavres de part et d'autre de sa ligne de déplacement. Le contrôle débutera une heure après le lever du soleil, quand la lumière permettra de distinguer des chauves-souris mortes.

Le contrôleur notera la position du cadavre (coordonnées GPS, direction par rapport à l'éolienne, distance du mât), son état (cadavre frais, vieux de quelques jours, en décomposition, restes, etc.) avec le type de blessures, la hauteur de la végétation là où il a été trouvé (voir ci-dessous), etc.

Il sera nécessaire de noter les conditions météorologiques qui ont eu cours entre les contrôles (température, vent – force et direction – orage) et les phases de la Lune.

4.2.2 Estimation du taux de mortalité

Une analyse statistique sera nécessaire pour estimer le taux de mortalité du parc éolien suivi. Cette analyse devra tenir compte de biais (enlèvement de cadavres par des charognards ou des prédateurs, efficacité du contrôleur).

a) Tests de disparition des cadavres pour estimer le taux de prédation

Pour estimer le taux de disparition des cadavres par les prédateurs et les nécrophages, il faut procéder à des tests au moins 4 fois par an pour tenir compte des variations de hauteur de végétation dans la zone contrôlée. Comme la chair de chauves-souris est probablement moins alléchante pour les carnivores que celle des oiseaux, il est conseillé d'utiliser les cadavres congelés de chauves-souris disponibles (préalablement décongelés). Mais dans la plupart des cas les tests devront être pratiqués avec de petits passereaux morts ou des poussins d'un jour (de préférence de couleur sombre).

Chaque test durera 10 jours consécutifs pour déterminer combien de temps une carcasse reste au sol avant d'être dévorée, emportée ou enterrée par des mammifères, des oiseaux et des insectes.

b) Tests de détectabilité (efficacité du contrôleur)

- Classification du couvert végétal

Comme l'efficacité du contrôleur dépend du couvert végétal (hauteur de la végétation, type d'habitat affectant la visibilité et saison), il importe de déterminer des classes de détectabilité pour les cadavres. Ces classes vont combiner la hauteur et le pourcentage de couvert végétal et les caractéristiques de l'habitat (type de végétation, obstacles au sol, pente) – pour plus de détails voir e.g. Habitat Mapping p. 26 et 28 dans Arnett *et al.* 2005 ou dans Brinkmann *et al.* 2006. Ces classes sont importantes pour l'analyse statistique.

- Tests

L'efficacité du contrôleur sera testée pour différentes hauteurs de végétation (4 fois par an).

Les cadavres seront répartis au hasard sur l'aire de contrôle de certaines éoliennes, en notant les coordonnées de chaque emplacement (ainsi que la direction et la distance par rapport au mât, le type et la hauteur de végétation).

Le contrôleur procédera comme pour une recherche normale de cadavres.

- Utilisation de chiens dressés

Un chien dressé pour marquer l'arrêt sur des chauves-souris peut être utilisé pour rechercher les victimes, mais son efficacité sera testée de la même façon que précédemment. Il faut préférer un chien d'arrêt à un retriever pour que son maître puisse localiser et noter l'endroit exact où la victime est tombée.

4.3 Migration

Les grandes vallées fluviales sont généralement suivies par la plupart des espèces en migration et il faut prêter une attention particulière aux espèces migratrices autour des parcs éoliens situés dans ces vallées ou sur les plateaux ou crêtes adjacents. Ceci s'applique aussi au littoral.

Les observations visuelles commenceront en milieu d'après-midi, en cherchant particulièrement les noctules (*Nyctalus* sp.), et se poursuivront toute la nuit avec des détecteurs d'ultrasons (expansion de temps ou division de fréquence au sol, associés à des enregistrements automatiques à différentes altitudes en expansion de temps, division de fréquence ou en hétérodyne).

L'étude de la migration doit tenir compte des chauves-souris passant à des altitudes hors de portée des détecteurs d'ultrasons au sol. On ne peut y parvenir qu'avec des ballons, radar et/ou caméras infrarouges (de préférence des caméras à image thermique). Mais le coût d'utilisation du radar et des caméras implique que ce matériel ne pourra être utilisé que pour de très grands parcs éoliens, des sites problématiques ou pour la recherche scientifique.

Un ballon à hélium (de type zeppelin) avec dispositif d'enregistrement automatique des ultrasons (par Batbox) a été testé en France par le Muséum d'Histoire Naturelle de Bourges et utilisé avec succès en France (Sattler et Bontadina 2006) et en Belgique. Ce matériel montre que l'activité des chauves-souris est différente en altitude et près du sol. La comparaison des indices d'activité à différentes heures de la nuit peut montrer une augmentation soudaine du nombre de contacts indiquant éventuellement un phénomène migratoire.

4.4 Comportement

Exception faite des périodes crépusculaires (soir et matin) où les chauves-souris peuvent être vues, l'étude du comportement des Chiroptères repose sur des technologies onéreuses telles que des caméras infrarouges, soit à image thermique, soit avec un puissant illuminateur infrarouge. Compte tenu de son prix, l'utilisation de ce matériel est limitée soit à des sites problématiques, soit à la recherche. Cependant, avec un détecteur d'ultrasons, un manipulateur peut obtenir des indices sur le comportement des chauves-souris ou du moins différencier les actions de chasse du simple transit.

5. Priorités en matière de recherche

Nos connaissances sur l'impact des éoliennes et des parcs éoliens sur l'environnement et en particulier sur les chauves-souris sont actuellement limitées et il est nécessaire de poursuivre la recherche. Jusqu'à présent les études ont confirmé l'effet important que les parcs éoliens pouvaient

avoir sur les chauves-souris par collision et perte d'habitat de chasse. D'autres projets de recherche sont nécessaires pour accroître notre compréhension de l'impact des parcs éoliens sur les Chiroptères, au niveau soit des individus, soit des populations. La connaissance générale de la biologie des chauves-souris, comparée à celle des oiseaux, est plutôt sélective et peu de choses sont connues sur les voies de migration des Chiroptères en Europe. Cette information est indispensable pour évaluer les risques lors de la conception de nouveaux projets éoliens. Pour minimiser leur impact, il est urgent et nécessaire de trouver des solutions qui pourraient être appliquées pour planifier les futurs projets éoliens.

Plusieurs études européennes et américaines récentes ont identifié des besoins de recherche qui entrent dans six catégories :

- Mise au point de la méthodologie
- Mortalité et conséquences (sur les populations)
- Migration
- Collision
- Dérangement, effet barrière
- Réduction et/ou évitement

La section suivante passe en revue les besoins en matière de recherche et marque en italique ceux qui sont prioritaires. Outre la mise en relief de ces besoins, des méthodes possibles d'investigation sont également mentionnées.

5.1 Mise au point de la méthodologie

Développer des méthodes pour observer et mesurer autour des parcs éoliens en fonctionnement :

- La migration des chauves-souris
- Les chauves-souris à grande altitude
- La répartition des espèces à grande échelle (phase de prédiagnostic)

Projet de recherche	Méthodes possibles
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Poursuivre le développement et l'essai des méthodes existantes (telles que celles d'Arnett et al. 2005, Grünkorn et al. 2005, Traxler et al. 2004 pour les études de mortalité par collision), ainsi que des techniques novatrices pour mesurer les impacts de parcs éoliens, e.g. comment suivre les taux de collision des chauves-souris et les effets à long terme tels que la diminution possible de la forme physique des animaux en raison de la perte d'un habitat de chasse.</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Technique utilisée par Arnett <i>et al.</i> 2005 (pour fournir une comparabilité à travers tout un continent). • Construction d'un modèle statistique solide pour la mortalité par collision et d'application universelle pour assurer la comparabilité.
<ul style="list-style-type: none"> • Etablir des méthodes de recensement adéquates pour l'activité des chauves-souris à différentes altitudes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Caméra à image thermique • Radar de conduite de tir • Détecteur/séries de microphones • Système d'enregistrement de l'activité des chauves-souris • Au sol et en altitude
<ul style="list-style-type: none"> • Développer et tester des méthodes pour étudier l'activité des chauves-souris et le taux de collision sur les parcs éoliens en mer. 	<ul style="list-style-type: none"> • Radar de conduite de tir • Circuits en bateau • Boîtier d'enregistrement automatique des chauves-souris
<ul style="list-style-type: none"> • Développer et tester des méthodes pour étudier la migration des chauves-souris. Sur 	<ul style="list-style-type: none"> • Radio-pistage

terre et en mer.	<ul style="list-style-type: none"> • Radar de conduite de tir • Bague⁵ • Echantillonnages synchronisés et répétés, à grande échelle, à l'aide de détecteurs d'ultrasons
<ul style="list-style-type: none"> • Développer et tester des modèles méthodologiques de cartes géographiques et écologiques de répartition d'espèces. Ceci souligne les terrains de chasse les plus importants sur une large échelle géographique et fonctionne de manière progressive (du plus au moins important) (e.g. Jaberg et Guisan 2001). 	<ul style="list-style-type: none"> • Modèles SIG et de bonne adaptation de l'habitat (e.g. Analyse Factorielle de la Niche Ecologique).

5.2 Mortalité et effets potentiels sur les populations de Chiroptères

Des informations supplémentaires sont nécessaires pour savoir :

- Si la mortalité de chauves-souris se produit sur tous les sites éoliens ou s'il existe des différences entre les sites.
- Quels sont les facteurs de l'écologie et du comportement des chauves-souris, mais aussi quelles sont les caractéristiques du parc éolien et des aérogénérateurs individuels qui affectent la mortalité des Chiroptères ?
- S'il est possible d'utiliser l'information relative aux caractéristiques paysagères pour éviter ou réduire les problèmes.
- Les effets sur les populations : s'il y a mortalité, cela pose-t-il un problème pour les populations ?

Projet de recherche	Méthodes possibles
<ul style="list-style-type: none"> • A quelles périodes de l'année les collisions se produisent-elles ? Plusieurs études aux Etats-Unis montrent que les collisions se concentrent en fin d'été/début d'automne. Les données européennes confirment ceci, mais plusieurs études récentes ayant privilégié la fin de l'été et le début de l'automne, il n'existe pas de données statistiques sur la distribution saisonnière pour plusieurs localités différentes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Etudes systématiques de la mortalité par collision pendant toute la saison d'activité (méthodologies selon Arnett <i>et al.</i> 2005, Grünkorn <i>et al.</i> 2005)
<ul style="list-style-type: none"> • Il faut accorder une grande priorité à l'examen des taux de collision de chauves-souris par an et pour les différentes espèces, en ce qui concerne différents sites éoliens. Les études systématiques de mortalité des parcs éoliens de grande ampleur situés dans différentes zones à risques, c.-à-d. sur les voies de migration mais aussi en forêt et en zone bocagère sont nécessaires. 	<ul style="list-style-type: none"> • Etudes systématiques de la mortalité par collision pendant toute la saison d'activité (méthodologies selon Arnett <i>et al.</i> 2005, Grünkorn <i>et al.</i> 2005).
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Les impacts potentiels, sur les populations de chauves-souris, de la mortalité par collision sont complètement inconnus.</i>⁶ 	<ul style="list-style-type: none"> • Etudes systématiques de la mortalité par collision pendant toute la saison d'activité (méthodologies selon Arnett <i>et al.</i> 2005,

⁵ Voir aussi la Résolution 4.6 d'EUROBATS : Recommandations pour la délivrance d'autorisations pour la capture et l'étude des Chiroptères sauvages capturés

	Brinkmann <i>et al.</i> 2006, Grünkorn <i>et al.</i> 2005). <ul style="list-style-type: none"> • Etudes génétiques • Etudes de populations • Modèles de population
• Il y a une absence totale de données quantitatives sur les effets cumulatifs sur les chauves-souris, des parcs éoliens terrestres et en mer.	

5.3 Migration

Un complément d'information est nécessaire sur :

- Où (dans l'espace) et quand (dans le temps/saison) ?
- Des routes de vol/zones de migration existent-elles et sont-elles identifiables ?
- Dans l'affirmative, quelle est leur relation par rapport au paysage, à grande échelle et à échelle plus fine ?
- L'information sur un « pic d'activité migratoire » et des « routes de vol migratoire dans le paysage » peut-elle être utilisée pour éviter les problèmes ?

Projet de recherche	Méthodes
<ul style="list-style-type: none"> • Identifier les voies/corridors de migration et les haltes. Il existe plusieurs études sur la migration des chauves-souris en plusieurs lieux isolés d'Europe, mais pas de carte continue des voies de migration ou des haltes. Des informations spécifiques sur les voies de migration en mer font défaut, aussi bien pour la mer du Nord que pour la Baltique. Des études et des observations montrent bien que les chauves-souris traversent en pleine mer (Ahlén 1997, Ahlén <i>et al.</i> 2002, Ahlén <i>et Bach</i> non publié, Russ <i>et al.</i> 2001, 2003, Walter <i>et al.</i> 2004, Hüppop <i>com. pers.</i>). • Les structures paysagères (vallées fluviales, littoral, vallées de montagne...) servent-elles de points de repère pour la migration ? • Il nous faut prouver toute information anecdotique et comprendre que les sites de halte sont importants, notamment les forêts avec des gîtes traditionnels d'accouplement pour <i>Nyctalus noctula</i> et <i>Pipistrellus nathusii</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • Etudes génétiques internationales (cf. Petit <i>et Mayer</i> 2000) • Radio-pistage • Etudes par radar de conduite de tir • Etudes au détecteur d'ultrasons sur des points de migration choisis.
<ul style="list-style-type: none"> • On ignore par quelles conditions météorologiques a lieu la migration sur terre et en mer. En général le vent (et la visibilité) modifiera les routes et le comportement. Il n'existe que quelques exemples de conditions météorologiques différentes avec migration de chauves-souris. Arnett <i>et al.</i> (2005) <i>et Behr et Helversen</i> (2005) décrivent l'activité 	<ul style="list-style-type: none"> • Etudes au détecteur d'ultrasons au sol, sur des mâts, des éoliennes, des ballons, etc. • Etudes avec caméra à image thermique • Radar • Etudes physiologiques et comportementales

⁶ Ce n'est pas seulement la mortalité des chauves-souris par collision dans les parcs éoliens, dont les effets sur les populations sont inconnus, mais aussi ceux de la mortalité sur les routes ou d'une baisse de reproduction par dérangement des gîtes résultant d'autres types de développement. Ce type de recherche devrait être mis en place dans un sens plus large.

<p><i>principale des chauves-souris par vent <6 m/s, or beaucoup de collisions se produisent par vent > 6 m/s. La morphologie des Nyctalus et Miniopterus laisse à penser qu'il est fort probable qu'ils soient capables de migrer par vents plus forts. Il est nécessaire d'obtenir plus de données sur la migration des chauves-souris, notamment une information localisée sur les voies de migration, le nombre de chauves-souris qui les empruntent, les altitudes de vol selon les espèces, comment le moment choisi, l'itinéraire et la direction subissent l'influence des conditions météorologiques et combien de fois et de temps les chauves-souris s'arrêtent en route pour se reposer ou chasser.</i></p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Etude de l'orientation des chauves-souris en migration 	<ul style="list-style-type: none"> • Etudes physiologiques
<ul style="list-style-type: none"> • Existe-t-il une activité de chauves-souris en mer et à quelles distances de la côte ? Quelles sont les espèces actives en mer et est-ce seulement pendant la migration ? Est-ce que la migration implique aussi la chasse et est-ce en relation avec des déplacements vers des îles ? 	<ul style="list-style-type: none"> • Etudes au détecteur d'ultrasons à partir de phares, de transects en bateau (détecteur en main, systèmes d'enregistrement automatiques) • Caméra à image thermique • Radar (de conduite de tir)

5.4 Collision

Un complément d'information est nécessaire pour les questions suivantes :

- Pourquoi les chauves-souris entrent-elle en collision avec les éoliennes ?
- Est-il impossible/trop difficile pour les chauves-souris de percevoir l'éolienne et de comprendre le danger ?
- Peuvent-elles être attirées par les éoliennes ?
- Peut-on développer des techniques pour décourager les chauves-souris d'approcher ?

Projet de recherche	Méthodes
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Pourquoi les chauves-souris entrent-elles en collision avec les éoliennes ? Arnett et al. (2005) ont décrit le comportement d'évitement de plusieurs chauves-souris devant les pales, alors que d'autres ne présentaient aucun comportement d'évitement. Comment les chauves-souris perçoivent-elles la rotation des pales avec leur système d'écholocation ? Cette connaissance pourrait servir à trouver des moyens pour rendre les pales plus perceptibles aux chauves-souris.</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Etudes comportementales avec détecteurs d'ultrasons et caméras à image thermique • Expériences de laboratoire • Expérience d'écholocation • Etudes physiologiques et comportementales
<ul style="list-style-type: none"> • Des études récentes en Allemagne (e.g. Behr et Helversen 2005) indiquent que non seulement les chauves-souris migratrices entrent en collision avec les éoliennes, mais aussi les chauves-souris locales en action de chasse. Les migratrices peuvent aussi saisir une opportunité de chasse en cours de 	<ul style="list-style-type: none"> • Etudes génétiques • Caméra à image thermique et détecteur d'ultrasons • Radio-pistage • Etudes des insectes près de l'éolienne

<p>migration (e.g. Arnett <i>et al.</i> 2005, Ahlén et Bach inédit). Peu de données génétiques de chauves-souris résidentes et migratrices sont disponibles pour permettre la comparaison avec les données des victimes.</p>	
--	--

5.5 Dérangement, effet barrière

Il nous faut avoir davantage d'informations sur les réactions comportementales des espèces résidentes en chasse.

- Evitent-elles les éoliennes ou s'habituent-elles au bout d'un certain temps ?
- Est-ce que l'accoutumance entraîne des collisions ?

Projet de recherche	Méthodes
<ul style="list-style-type: none"> • On ignore comment les chauves-souris répondent aux éoliennes. Outre l'expérience acquise par les études sur les collisions, nous savons que les sérotines locales évitent de chasser près des éoliennes (Bach 2002). Nous devons en apprendre davantage sur la perte d'habitat de chasse des espèces de plein ciel telles que <i>Nyctalus</i>, <i>Vespertilio</i>, <i>Miniopterus</i> et l'effet que cela peut avoir sur leurs populations. 	<ul style="list-style-type: none"> • Radio-pistage • Etudes au détecteur d'ultrasons • Etudes sur l'utilisation des habitats • Etudes BACI (pré- et post-construction)
<ul style="list-style-type: none"> • Des études génétiques sont nécessaires : sur les études comportementales des différentes espèces basées sur leur éthologie, leur écologie, la dynamique des populations et leur abondance, en réponse à la construction, au fonctionnement et au démantèlement des parcs éoliens. Ceci établira les sensibilités des différentes espèces à plusieurs types de parcs éoliens de grande envergure et identifiera l'influence de l'éclairage des turbines sur les réponses comportementales des animaux. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Influence de la disponibilité d'habitats sur l'auto-délocalisation des chauves-souris 	<ul style="list-style-type: none"> • Radio-pistage • Etudes au détecteur d'ultrasons
<ul style="list-style-type: none"> • L'effet que peut avoir la hauteur des mâts sur l'activité de chasse doit être considéré. • Impacts potentiels sur les populations que peuvent avoir les déplacements (auto-délocalisations) de chauves-souris, obstacles dressés sur les routes de vol, la mortalité par collision, la perte ou la dégradation des habitats. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation de l'habitat • Etudes de population • Radio-pistage • Etudes au détecteur d'ultrasons
<ul style="list-style-type: none"> • L'effet barrière sur les chauves-souris en migration ou en transit est relativement inconnu. 	<ul style="list-style-type: none"> • Radio-pistage • Etudes au détecteur d'ultrasons • Etude de la réaction comportementale • Etudes de population
<ul style="list-style-type: none"> • Des études à long terme sont nécessaires pour déterminer les effets à long terme des parcs éoliens. De tels effets peuvent par exemple inclure une accoutumance des 	<ul style="list-style-type: none"> • Bagueage • Etudes de population

<p>chauves-souris aux éoliennes, dont la conséquence serait une diminution de leur impact, avec le temps. Il ne faut pas y compter pour les chauves-souris migratrices, mais cela pourrait être possible pour les espèces résidentes. Des impacts significatifs sur les populations ne deviennent apparents qu'à long terme.</p>	
--	--

5.6 Réduction et/ou suppression

Des informations complémentaires sont nécessaires pour répondre aux questions suivantes :

- Est-il possible de décourager les chauves-souris d'approcher ?
- Quelles techniques peut-on développer pour y parvenir ?
- Est-il possible d'éviter les problèmes ou de réduire les impacts ?

Projet de recherche	Méthodes
<ul style="list-style-type: none"> • Existe-t-il des moyens pour décourager les chauves-souris d'approcher des éoliennes ? Des études sont nécessaires pour déterminer si différents types de bruits/ signaux sonores et/ou signaux lumineux peuvent être utilisés pour décourager ou avertir les chauves-souris ou si cela peut en fait les attirer. Les chauves-souris pourraient réagir négativement en présence d'un puissant radar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Etude des émissions sonores (infrasons, sons audibles, ultrasons) • Etudes de radar
<ul style="list-style-type: none"> • Développer des méthodes et des instruments qui peuvent enregistrer automatiquement une activité intense de chasse ou des grands nombres de chauves-souris en transit, par exemple des senseurs thermiques et des radar pouvant faire remonter l'information et permettre d'arrêter temporairement les éoliennes pendant la migration et les périodes de mauvais temps. 	<ul style="list-style-type: none"> • Etudes systématiques de mortalité par collision pendant toute la saison d'activité (méthodes selon Arnett <i>et al.</i> 2005, Brinkmann <i>et al.</i> 2006) • Systèmes d'enregistrement automatique des chauves-souris en altitude • Caméra à image thermique
<ul style="list-style-type: none"> • Dans certaines parties de l'Allemagne et de la Suède on sait, ou l'on suspecte, que des chauves-souris cherchent des gîtes dans les nacelles. Celles-ci doivent être fermées pour empêcher les chauves-souris d'y entrer pour réduire les risques de mortalité par les engrenages ou par collision. On pense aussi que les chauves-souris peuvent trouver un gîte dans les autres structures humaines telles que les transformateurs (Lutsar, inédit) et en Finlande un individu de <i>V. murinus</i> et un de <i>P. pipistrellus/pygmaeus</i> ont été observés se posant sur des îlots entre 22h et 23h (Laanetu et Masing 2004). 	<ul style="list-style-type: none"> • Expériences de laboratoire • Observations de terrain

6. Conclusions et travaux ultérieurs

Le présent travail présente des recommandations générales pour la conception de projets et pour les évaluations d'impact afin de tenir compte des effets des éoliennes sur les chauves-souris. Il résume en outre les priorités pertinentes en matière de recherche. Il n'est absolument pas complet et doit absolument être développé, en particulier dans le contexte européen.

Il faut continuer à enquêter sur l'impact actuel des parcs éoliens sur les chauves-souris afin de trouver des solutions pour réduire au minimum les impacts du développement futur de l'énergie éolienne.

7. Bibliographie

Ahlén, I. (1997): Migratory behaviour of bats at south Swedish coasts. - *Zeitschrift für Säugetierkunde* 62:375-380.

Ahlén, I. (2002): Fladdermöss och fåglar dödade av vindkraftverk. - *Fauna och Flora* 97:3:14-22.

Ahlén, I., Bach, L. & Burkhardt, P. (2002): Bat migration in southern Sweden. – Poster at IXth European Bat Research Symposium, Le Havre, France 2002.

Alcalde, J.T. (2003). Impacto de los parques eólicos sobre las poblaciones de murciélagos. - *Barbastella* 2: 3-6.

Arnett, E.B., technical editor (2005): Relationships between Bats and Wind Turbines in Pennsylvania and West Virginia: an Assessment of Fatality Search Protocols, Pattern of Fatality, and Behavioral Interactions with Wind Turbines. A final report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA. 187 pp.

Bach, L., R. Brinkmann, H. Limpens, U. Rahmel, M. Reichenbach & A. Roschen (1999): Bewertung und planerische Umsetzung von Fledermausdaten im Rahmen der Windkraftplanung – *Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz* 4: 162-170

Bach, L. (2002): Auswirkungen von Windenergieanlagen auf das Verhalten und die Raumnutzungen von Fledermäusen am Beispiel des Windparks „Hohe Geest“, Midlum - Endbericht. – unpubl. report for Institut für angewandte Biologie, Freiburg/Niederelbe: 46 pp.

Bach, L. & U. Rahmel (2004): Überblick zu Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Fledermäuse - eine Konfliktabschätzung - *Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz* Band 7: 245-252.

Behr, O. & O. von Helversen (2005): Gutachten zur Beeinträchtigung im freien Luftraum jagender und ziehender Fledermäuse durch bestehende Windkraftanlagen. Wirkungskontrolle zum Windpark "Roßkopf" (Freiburg i. Br.). - Unpubl. report: 37 pp + maps.

Brinkmann, R., H. Schauer-Weissahn & F. Bontadina (2006): Untersuchungen zu möglichen betriebsbedingten Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Fledermäuse im Regierungsbezirk Freiburg. Report for Regierungspräsidium Freiburg by request of Naturschutzfonds Baden-Württemberg : 66 pp. <http://www.rp-freiburg.de/servlet/PB/show/1158478/rpf-windkraft-fledermaeuse.pdf>

Dürr, T. (2001): Fledermäuse als Opfer von Windkraftanlagen. – *Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg* 10: 182.

- Dürr, T. & L. Bach (2004): Fledermäuse als Schlagopfer von Windenergieanlagen - Stand der Erfahrungen mit Einblick in die bundesweite Fundkartei. - Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz Band 7: 253-264.
- Endl, P., U. Engelhart, K. Seiche, S. Teufert & H. Trapp (2005): Untersuchungen zum Verhalten von Fledermäusen und Vögeln an ausgewählten Windkraftanlagen im Landkreis Bautzen, Kamenz, Löbau-Zittau, Niederschlesischer Oberlausitzkreis, Stadt Görlitz Freistaat Sachsen. Unpubl. report for Staatliches Umweltfachamt Bautzen: 135 pp.
- Grünkorn, T., A. Diederichs, B. Stahl, D. Dörte & G. Nehls (2005): Entwicklung einer Methode zur Abschätzung des Kollisionsrisikos von Vögeln an Windenergieanlagen. Unpubl. report for Landesamt für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein: 92 pp.
- Jaberg, C. & A. Guisan (2001): Modelling the distribution of bats in relation to landscape structure in a temperate mountain environment. - Journal of Applied Ecology 38, 1169-1181.
- Johnson, G.D., W.P. Erickson, M.D. Strickland, M.F. Shepherd & D.A. Shepherd (2000): Avian monitoring studies at the Buffalo Ridge, Minnesota Wind Resource Area: Results of a 4-year study. Unpublished report for the Northern States Power Company, Minnesota: 262 pp.
- Johnson, G.D., W.P. Erickson, M.D. Strickland, M.F. Shepherd & D.A. Shepherd (2003): Mortality of bats at a Large-scale wind power development at Buffalo Ridge, Minnesota. - Am. Midl. Nat. 150: 332-342.
- Johnson, G.D. & M.D. Strickland (2004): An assessment of potential collision mortality of migrating indiana bats (*Myotis sodalis*) and Virginia big-eared bats (*Corynorhinus townsendii virginianus*) traversing between caves. Technical report prepared for NedPower Mount Storm by WEST, Inc.
- Laanetu, N. & M. Masing (2004). Bats near Hanko. Eptesicus 2. Electronic newsletter on boreal bats. <http://www.hot.ee/eptesicus/eptesicus2.htm>
- Petersons, G. (1990): Die Rauhhautfledermaus, *Pipistrellus nathusii* (Keyserling u. Blasius, 1839), in Lettland: Vorkommen, Phänologie und Migration. - Nyctalus 3: 81-98.
- Petit, E. & F. Mayer (2000): A population genetic analysis of migration: the case of the noctule bat (*Nyctalus noctula*). - Molecular Ecology 9: 683-690.
- Phillips, J.F. (1994): The effect of a wind farm on the upland breeding bird communities of Bryn Tili, Mid-Wales: 1993-1994. - RSPB, The Welsh Office, Bryn Aderyn, The Bank, Newtown, Powys.
- Rahmel, U., L. Bach, R. Brinkmann, C. Dense, H. Limpens, G. Mäscher, M. Reichenbach & A. Roschen (1999): Windkraftplanung und Fledermäuse. Konfliktfelder und Hinweise zur Erfassungsmethodik. - Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz, Band 4: 155-161.
- Rahmel, U., Bach, L., Brinkmann, R., Limpens, H. & A. Roschen (2004): Windenergieanlagen und Fledermäuse - Hinweise zur Erfassungsmethodik und zu planetarischen Aspekten - Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz Band 7: 265-271.
- Reichenbach, M. (2002): Auswirkungen von Windenergieanlagen auf Vögel - Ausmaß und planerische Bewältigung. - Diss. an der TU Berlin: 207 pp.

Russ, J.M., A.M. Hutson, W.I. Montgomery, P.A. Racey & J.R. Speakman (2001): The status of Nathusius' pipistrelle (*Pipistrellus nathusii* Keyserling and Blasius 1839) in the British Isles. - J. Zool. Lond 254:91-100.

Russ, J.M., M. Briffa & W.I. Montgomery (2003): Seasonal patterns in activity and habitat use by bats (*Pipistrellus* spp. and *Nyctalus leisleri*) in Northern Ireland, determined using a driven transect. - J. Zool. Lond. 259: 289-299.

Sattler, T. & F. Bontadina (2006) : L'évaluation écologique de deux secteurs d'installations éoliens en France sur la base de la diversité et l'activité des chauves-souris. Unpubl. report : 41 pp.

Trapp, H., D. Fabian, F. Förster & O. Zinke (2002): Fledermausverluste in einem Windpark der Oberlausitz. – Naturschutzarbeit in Sachsen 44: 53-56.

Traxler, A., S. Wegleitner & H. Jaklitsch (2004): Vogelschlag, Meideverhalten & Habitatnutzung an bestehenden Windkraftanlagen Prellenkirchen – Obersdorf – Steinberg/Prinzendorf.- unpubl. report for WWS Ökoenergie, EVN Naturkraft, WEB Windenergie, IG Windkraft und Amt der Niederrösterreichischen Landesregierung: 107 pp.

Walter, G. H. Matthes & M. Joost (2004): Fledermausnachweise bei Offshore-Untersuchungen im Bereich von Nord- und Ostsee. – Natur- und Umweltschutz (Zeitschrift Mellumrat) 3(2): 8-12.

Winkelmann, J.E. (1989): Vogels e het windpark nabij Urk (NOP): aanvarings slachtoffers en verstering van pleisterende eenden, ganzen en zwanen. – RIN-rapport 89/15: 169 pp.

Remerciements

Nous remercions Ingmar Ahlén, Robert Brinkmann, Colin Catto, Herman Limpens, Barry Nicholls, Ivo Niermann, Paul Racey, Christine Rumble, Linda Smith et Dean Waters pour leurs précieux commentaires et contributions à ce document.

Tableau 1 - Etudes réalisées en Europe

Etude (auteur, année, région)	Date	type d'éoliennes	méthodes	résultats	types d'habitat
Ahlén, 2002 et Ahlén, 2003, Sweden	août/septembre 2002	différents	160 turbines (Gotland 66, Öland 39, Blekinge 4, Skane 51)	- 17 CS (Enil 8, Vmur 1, Nnoc 1, Pnat 5, Ppip 1, Ppyg 1)	différents: ouvert et arbusitif à agricole (avec haies)
			- 1 contrôle / éolienne	- 0,1 CS/contrôle	
			- zone contrôlée 50m autour de l'éolienne	- Gotland 12, Öland 2, Blekinge 2, Skane	
				- distance 3-25m (moyenne 12m) autour éolienne	
				moitié des espèces résidentes	
		CS chassent souvent près des pales		Les espèces retrouvées mortes sont celles observées chassant près des pales	
Alcalde, 2003, Navarre - Espagne, com. pers.	1995-2003	hauteur: 40m (vieux modèle) et 60-80m	env. 1000 éoliennes	50 CS surtout Hsav (25), Nnoc, Nlas (2), mais aussi Ppip, Pkuh, Ppyg, Eser, Msch)	près des haies
				principalement août et septembre	
		pale 20m (vieux modèle) et 34m	rayon de la zone contrôlée égal à la hauteur de l'éolienne	présence des éoliennes n'affecte pas l'utilisation de l'habitat	
				nombre de CS en vol croît avec la température et décroît avec la force du vent	
		CS utilisent principalement les zones proches des arbres			
Bach, 2002, Basse Saxe, Allemagne	Avril 1998- Septembre 2002	1 parc, 70 turbines, hauteur 45m, diamètre rotor 30m	- milieu utilisé par Eser et Ppip - inventaire systématique au détecteur sur la totalité du parc et les environs - 7 fois/an - début un an avant la construction et jusqu'à 3 ans après.	nombre de CS en vol croît avec la température et décroît avec la force du vent	terrains agricoles avec de nombreuses haies distantes de 10-100m des éoliennes

Etude (auteur, année, région)	Date	type d'éoliennes	méthodes	résultats	types d'habitat
Benzal & Moreno, 2001. Navarre - Espagne			4 parcs éoliens avec les turbines sur 12,6km de long	Cadavres: Ppip, Pkuh, Hsav, Eser, Nnoc	
				Ppip, Pkuh, Hsav, Eser, Nnoc. Tten volent autour des éoliennes, mais quelques-unes seulement chassent à proximité	
				CS utilisent surtout la proximité des arbres	
Behr & v. Herversen 2006, Roskopf, Allemagne	fin avril à mi-octobre	1 parc éolien, 4 turbines, hauteur 98m, diamètre rotor 70m	2005: avril-juin tous les 3 jours, juillet-octobre tous les 4 jours; estimation de l'efficacité du contrôleur	2005: 31 C-S (23 Ppip, 4 Nlei, 4 Pip.indet) =0,18 CS/éolienne/nuit (avril à mi-juillet: 11 CS; mi-juillet à mi-octobre 20 CS ; après la réduction de la période de fonctionnement, le nombre de CS mortes diminua significativement .	forêt dans des zones avec chablis
Brinkmann 2006, Fribourg, Allemagne	2004: août-octobre 2005: avril à mi-mai et mi juillet à mi-octobre	différents; 2004: 16 turbines 69-98m de haut 44-80m diamètre de rotor 2005: 8 turbines sur les 16 contrôlées en 2004	2004: 9-18 contrôles/éolienne 2005: 12 contrôles au printemps et 18 contrôles en automne; zone contrôlée 50m diamètres autour des éoliennes; estimation efficacité du contrôleur; étude avec caméra thermique	2004: 35 CS (+ 5 CS sur un autre site, Ppip 31 Nlei 7, Vmur 1, Eser 1); 2005: 10 CS (Vmur 1, Ppip 8, Nlei 1) pas de cadavre au printemps	Forêt principalement, certaines en lisière forestière et dans les prairies
Cosson M., 2004 et 2005, France	ZICO, site Ramsar , ZPS possible. Etude oiseaux. Mortalité contrôlée du 23 juillet au 6 décembre 2003 et de janvier à décembre 2004	8 turbines N80 hauteur 100m	contrôle d'une superficie de 1 ha pour toutes les éoliennes de juillet à décembre selon méthodologie de J.E. Winkelman 16 contrôles of 8 éoliennes	40 CS (2003-2004) (Pnat 30, Nnoc 3, P spec. 5, Ppip 2), M=4,74/semaine (2003) M=3,1-3,6/semaine (2004) . Pour 2003-2004, M=20,3 à 23,5 CS/éolienne/an	polder cultivé ouvert, d'un côté et parcs à huîtres de l'autre

Etude (auteur, année, région)	Date	type d'éoliennes	méthodes	résultats	types d'habitat
Dürr, com pers, Brandebourg – Allemagne	2001-2003	Différents types	- 2001: 38 turbines (66 contrôles)	36 CS (0,04 CS/contrôle	- différents
			2002: 79 turbines (394 contrôles)	- principalement Pnat, Ppip, Nnoc	- souvent près des haies
			- 2003: 147 turbines (550 contrôles)	- sous tous les types d'éoliennes	
			- contrôles ± non-systématiques entre février et décembre, mais principalement en août/septembre	principalement 1ère & 2ème décades d'août	
			- zone contrôlée 50m autour de l'éolienne (en général!)		
Endl et al., 2005, Saxe, Allemagne	Mars 2004 - Novembre 2004	16 parcs, 92 éoliennes hauteur 65-80m, diamètre rotor 47-80m	- étude détecteur: 5-8 x /an (avril-octobre) - contrôle collision : 5-8 x /an (avril-octobre) moyenne tous les 24 jours - zone contrôlée ~ diamètre du rotor autour turbine - test avec poussins - contrôle efficacité contrôleur avec CS en papier!	- mortalité moyenne: 1,5 CS / turbine / an (de 1,1 à 4,6) - dans 2 autres parcs: 1,34 et 4,56 CS / turbine / an - Ppip: taux de collision plus fort près de la forêt - Nnoc + Pnat: taux de collision tout aussi élevé loin de la forêt	terrain agricole ouvert mais généralement très près de la forêt ou des haies (0-150m)
Göbel & Götsche 2005, Schleswig-Holstein, Allemagne	Juillet-première moitié de septembre	2 parcs, 4 et 2 turbines; 65m et 60m haut; diamètre rotor 80m	respectivement 16 et 14 contrôles	4 turbines: 6 CS (Ppip 1, Pnat 2, Mdau 1, Nnoc 1, Mdas 1); 2 turbines: 3 CS (Ppip 1, Nnoc 1, Pnat 1)	différents: ouvert (4 éol.) à près des haies (2 éol.)

Etude (auteur, année, région)	Date	type d'éoliennes	méthodes	résultats	types d'habitat
Grünkorn et al., 2005, Schleswig-Holstein, Allemagne	Septembre 2004 à mi-Novembre 2004	3 parcs, 24 turbines hauteur totale 100m; 2 turbines hauteur totale 120m	- étude méthodologique - 16 contrôles (tous les 5 jours) - zone contrôlée: hauteur de la turbine - tests avec des oiseaux de tailles différentes - tests de chute d'oiseaux - contrôle de l'efficacité du contrôle avec des oiseaux morts de tailles différentes	- nécessité de contrôler une surface égale à la hauteur totale de l'éolienne - zone doit être contrôlée pour les petits passereaux/CS par des transects aller et retour de 10m de large * zone contrôlée 10m de chaque côté: - faible couverture végétale (<10%): taux de découverte 44 % - couverture végétale plus forte (>30 %): taux de découverte 8 % * zone contrôlée 5m de chaque côté: - couverture végétale haute (>30 %): taux de découverte 10 % aucun cadavre de CS retrouvé	cultures, terrain découvert avec peu d'arbres et buissons
Haase & Rose, 2004	Mars-avril & août-octobre 2004	hauteur 60m, 70m, 89m; diamètre rotor: 48m; 58,5m; 58,5m	- 3 contrôles/turbine/mois - activité de CS contrôlée au détecteur autour des éoliennes (ca. 500-1000m autour des machines)	- 2 CS (Nleis 1, Plaur 1) - 0,06 CS/contrôle - pas d'activité observée de Nleis, Nnoc et Ppip près des éoliennes.	cultures, 50-200m des haies et de la forêt
Kusenbach, 2004, Thuringe - Allemagne	25 août - 23 septembre 2004	Différents types (taille généralement inconnue!)	94 turbines (18 parcs)	7 CS (Pnat 3 mâles ad., Vmur 2 mâles ad., Nnoc 1 femelle juv., Chirop. spec. 1)	- 20-100m des haies
			- 110 contrôles (1-3/turbine)	- 0,06 CS/contrôle	- parfois près de la forêt (3 x 200m)
			- test avec poussins	- 6 sur 7 CS trouvées dans un corridor de migration supposé. - distance éolienne: 3-15m - 1 CS avec substance huileuse sur le corps test avec poussins - 30 % retrouvés après 1 jour - 15% retrouvés après 2 jours	corridors de migration connus

Etude (auteur, année, région)	Date	type d'éoliennes	méthodes	résultats	types d'habitat
Latorre & Zueco, 1998, Aragon - Espagne				<p>6 CS</p> <p>estimation du nombre de CS mortes: 274,05 CS/an</p> <p>estimation du nombre de CS mortes: 10,15 CS/éolienne/an</p> <p>1998: 6 CS (P spec 5; Tten 1)</p> <p>estimation du nombre de CS mortes: 274,05 CS/an</p> <p>Pas de cadavres sous les lignes électriques</p> <p>1999: total 7 CS mortes (P spec 5, Hsav 1, Tten 1)</p> <p>estimation du taux de mortalité dans 2 parcs: 3,09 and 13,36 bats/turbine</p>	différents
Lekuona, 2001 et Petri & Munilla, 2002, Navarre - Espagne	Mars 2000-Mars 2001	hauteur 40 m	400 turbines	3 CS (Chiróp. spec. 1, Ppip 1, Hsav 1) (2 en août, 1 en mars)	différents: d'ouvert (4 turbines) à près des haies (2 turbines)
		diamètre du rotor: 40 m	- étude oiseaux!	taux de disparition: Juillet - 57% 24h et 70% 48h; Novembre - 67% 24h et 80% 48h	
		10 parcs; 400 turbines	4 parcs: 1 contrôle/semaine Mars 2000-Mars2001	distance moyenne (cadavres): 25m	
			1 parc: 1 contrôle/semaine entre juin 2000 et mars 2001	taux détection : juillet 13,2% et 11,6% Novembre	
			zone de contrôle prévue 50m autour des éoliennes; plusieurs fois seulement sur un plus petit rayon en raison de la végétation	estimation taux mortalité sur 2 parcs: 3,09 et 13,36 CS/éolienne estimation nombre CS mortes: 749 CS (selon formule de Winkelman)	

Etude (auteur, année, région)	Date	type d'éoliennes	méthodes	résultats	types d'habitat
Schröder, 1997, Basse-Saxe, Allemagne	Février et mars 1997	47 turbines dans des parcs différents avec différents types d'éoliennes	- étude possible des ultrasons des turbines avec un détecteur (Pettersson D980) - plage de fréquences contrôlée: 14-100 kHz - distances de mesure : 20m, 50m, 100m des éoliennes	- 12 x pas d'émission ultrasonore - 5 x faible émission ultrasonore - 13 x nette émission ultrasonore entre 14 - 30 kHz - 13 types of turbines émettant nettement des ultrasons mais: le même type de turbine avec et sans émission ultrasonore	
Trapp et al, 2002, Oberlausitz - Allemagne				34 CS (Vmur 6, Ppip 3, Pnat 10, Nnoc 12, Nleis 1, Chirop. Spec. 2)	
Traxler et al., 2004, Basse-Autriche	Septembre 2003-Septembre 2004	3 parcs, 4 turbines, hauteur 98m, diamètre rotor 70m; 2 turbines hauteur 100m, diamètre rotor 80m	5 turbines, - 1 contrôle/jour/éolienne - zone contrôlée 100m autour des éoliennes - test de l'efficacité du contrôleur, avec des oiseaux morts!		Terres agricoles, à 50-200m des haies et de la forêt

Biodiversiteit : Sterftcijfer vleermuizen

Mortalité par éoliennes en Europe de 2003 à 2012 - informations reçues au 02/04/2013

Espèces	AT	CH	CR	CZ	DE	ES	EE	FR	GR	IT	NL	NO	PT	PL	SE	UK	Total
<i>Nyctalus noctula</i>	24			3	597	1		12	10				1	5	1		654
<i>N. lasiopterus</i>						21		5	1				6				33
<i>N. leisleri</i>		1		1	81	15		32	57	2			192				381
<i>Nyctalus spe.</i>						2							16				18
<i>Eptesicus serotinus</i>				7	39	2		14	1	1			0	3			67
<i>E. isabellinus</i>						117							1				118
<i>E. serotinus / isabellinus</i>						11							15				26
<i>E. nilssonii</i>					2		2					1		1	8		14
<i>Vespertilio murinus</i>				2	70			2	1					3	1		79
<i>Myotis myotis</i>					2	2		2									6
<i>M. blythii</i>						4											4
<i>M. dasycneme</i>					3												3
<i>M. daubentonii</i>					4								2				6
<i>M. bechsteinii</i>								1									1
<i>M. emarginatus</i>						1		1									2
<i>M. brandtii</i>					1												1
<i>M. mystacinus</i>					2				2								4
<i>Myotis spe.</i>						3											3
<i>Pipistrellus pipistrellus</i>				3	344	73		263		1	15		229	1	1		930
<i>P. nathusii</i>	2			2	409			83	34	2	5			12	5		554
<i>P. pygmaeus</i>					41			120	5				28	1	1	1	197
<i>P. pipistrellus / pygmaeus</i>		1				483		24	54				34	1			597
<i>P. kuhlii</i>			4			44		82					32				162
<i>P. pipistrellus / kuhlii</i>													18				18
<i>Pipistrellus spe.</i>				2	21	20		85	2				81			3	214
<i>Hypsugo savii</i>			4		1	44		28	28	10			40				155
<i>Barbastella barbastellus</i>						1		2									3
<i>Plecotus austriacus</i>	1				6												7
<i>Plecotus auritus</i>					5												5
<i>Tadarida teniotis</i>						23		1					19				43
<i>Miniopterus schreibersii</i>						2		4					2				8
<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>						1											1
<i>Rhinolophus mehelyi</i>						1											1
<i>Chiroptère indéterminé</i>					36	320	1	175	8	1	15		96	2	30	7	691
Total	27	2	8	20	1664	1191	3	936	203	16	36	1	812	29	47	11	5006

AT = Autriche CH = Suisse CR = Croatie, CZ = Rep. tchèque, D = Allemagne ES= Espagne EE = Estonie, FR = France, GR = Grèce IT = Italie, NL = Pays-Bas
 NO = Norvège, PT = Portugal, PL = Pologne, SE = Suède, UK = Royaume-Uni