



Agentschap NL
Ministerie van Economische Zaken,
Landbouw en Innovatie

Praktische toepassing van mini-windturbines

Handleiding voor gemeenten

>> Als het gaat om energie en klimaat



Praktische toepassing van mini-windturbines

Handleiding voor gemeenten

Opdrachtgever

Agentschap NL

Ivo Blezer

Postbus 8242

3505 RE Utrecht

T 088 602 77 13

E ivo.blezer@agentschapnl.nl

Auteur

RenCom

Jadranka Cace, RenCom

Jan de Beijerhof 14

1191 EP Ouderkerk a/d Amstel

T 020 472 01 35

E Jadranka@rencom.nl

Inhoud

1	Voorwoord	3	6	Financiële aspecten	21
2	Inleiding	4	6.1	Investeringskosten en overige eenmalige kosten	21
2.1	Wat is precies een mini windturbine?	4	6.2	Onderhoudskosten	21
3	Technische beschrijving	5	6.3	Jaarlijkse besparingen	21
3.1	Technologie	5	6.4	Stimuleringsmaatregelen	22
3.1.1	Horizontale as-turbines (HAT)	5	6.4.1	Energie Investeringsaftrek	22
3.1.2	Verticale as-turbines (VAT)	6	6.4.2	SDE-regeling	22
3.2	Maatvoering	8	6.4.3	Lokale subsidies	22
3.3	Elektrische installatie	9	7	Contractuele afspraken met de leveranciers	23
3.4	Mastuitvoeringen en verankering	10	7.1	Toepassing van proefbedrijf protocol	23
4	Marktbeschrijving	11	7.2	Garanties	23
4.1	Actuele status	11	8	Veiligheidsaspecten	24
4.2	Markontwikkeling	11	8.1	Veiligheid en geluidsproductie	24
4.3	Ontwikkelingen in Nederland	11	8.2	Betrouwbaarheid	24
4.3.1	Overheidsbeleid	11	8.3	Flikkering	24
4.3.2	Brancheorganisatie	12	8.4	Slagschaduw	24
4.3.3	Proefprojecten	12	8.5	Vogelsterfte	24
4.4	Miniturbines in relatie tot andere duurzame opwekkers	14	9	Sociale aspecten	25
4.4.1	Vergelijking met grote windturbines	14	10	Vergunningen	26
4.4.2	Miniturbines in relatie tot zonnestroom installaties	14	10.1	Omgevingsvergunning	26
5	Aandachtpunten bij de toepassing van miniturbines	15	10.2	Bestemmingsplan	26
5.1	Windsnelheid	15	10.3	Welstand	26
5.1.1	Windaanbod op locatie	19	10.4	Bouwbesluit	26
5.1.2	Quickscan locatie	17	10.5	Milieuvergunning	26
5.2	Wind op het dak	17	10.6	Doorlooptijd projecten	27
5.2.1	Hoogte boven dak	17	10.7	Vaak voorkomende knelpunten bij vergunningverlening	27
5.2.2	Plaats op het dak	18	11	Stappenplan voor de plaatsing van miniturbines	28
5.2.3	Dakvorm	18	12	Bijlage	29
5.3	Turbineaspecten	18			
5.3.1	Rotoroppervlak	18			
5.3.2	Type turbine	18			
5.3.3	Overige componenten	18			
5.4	Vuistregel opbrengstberekening	18			
5.5	Milieuaspecten	19			
5.6	Energiebalans	19			
5.7	Ruimtelijke aspecten	19			
5.8	Bouwkundige aspecten	19			
5.8.1	Dakbelastingen	19			
5.8.2	Trillingen en contactgeluid	19			
5.8.3	Benodigde ruimte en toegankelijkheid	20			
5.9	Onderlinge afstand bij plaatsing van meerdere turbines	20			

Voorwoord

Miniturbines maken het mogelijk om windenergie te benutten voor elektriciteitsopwekking op locaties in de gebouwde omgeving, de landelijke omgeving en op industriegebieden. De opgewekte elektriciteit wordt ter plekke verbruikt of teruggeleverd aan het net. In die zin zijn miniturbines vergelijkbaar met fotovoltaïsche zonne-energie. De toepassing van miniturbines in de gebouwde omgeving is relatief nieuw en nog sterk in ontwikkeling. Hoewel enkele aanbieders al meer dan 20 jaar bestaan, begeeft de meerderheid van de producenten zich pas sinds enkele jaren op de markt. Miniturbines zijn in veel verschillende modellen en maten beschikbaar. Het grootste deel van de innovatieve turbines is na 2002 op de markt gebracht.

In Nederland zijn tussen 2002 en 2008 ruim 100 miniturbines geplaatst. De branche heeft de ambitie om de geplaatste capaciteit uit te breiden tot 7.200 turbines in 2012 en 48.000 turbines in 2020. Voor een dergelijke grootschalige toepassing moet de branche nog wel een aantal zaken organiseren. De belangrijkste is de certificering van de mini windturbines, waarmee de prestaties, veiligheid en impact op de omgeving inzichtelijk worden gemaakt.

Met deze brochure willen we gemeenten die nog geen ervaring hebben met windturbines inzicht geven in de wereld van mini windturbines. Een aantal Nederlandse gemeenten hebben in de periode 2007-2010 pilotprojecten met enkele miniturbines uitgevoerd. De kennis en ervaring die is opgedaan met deze pilotprojecten gebruiken we mede als input voor deze brochure.

2 Inleiding

Mini windturbines, ook miniturbines genoemd, zijn een relatief nieuw verschijnsel in het Nederlandse landschap. Dit is vooral het geval met de toepassing in stedelijke omgevingen. Gemeenten voeren een actief beleid op het gebied van energie, milieubesparing en duurzame energieopwekking. In dat kader kijken ze ook naar de toepassingsmogelijkheden voor mini windturbines. Tegelijkertijd spelen gemeenten een belangrijke rol bij de vergunningverlening.

Dit document biedt handvatten voor de praktische toepassing van miniturbines door gemeenten: de stappen die gezet moeten worden en de aandachtspunten die daarbij aan de orde zijn. Daaraan voorafgaand geven we een uitleg over miniturbines en een toelichting op de actuele marktsituatie.

2.1 Wat is precies een mini windturbine?

Miniturbines worden gebruikt voor kleinschalige opwekking van elektriciteit achter de meter. Ze worden ingezet om windenergie te benutten op locaties waar dat met grote windturbines niet

mogelijk is. De opgewekte elektriciteit wordt ter plekke verbruikt. Het eventuele overschot wordt geleverd aan het openbare net. In deze handleiding beperken we ons tot miniturbines met een vermogensbereik tussen 0,5 kW en 6 kW.



3 Technische beschrijving

3.1 Technologie

Traditioneel worden windturbines verdeeld in horizontale as-turbines (HAT) en verticale as-turbines (VAT).

3.1.1 Horizontale as-turbines (HAT)

Bij turbines van het HAT-type ligt de as evenwijdig aan de richting van de wind terwijl de wieken loodrecht op de richting van de wind staan. In actieve stand staan deze turbines 'met de neus' in de wind. Bij een verandering van de windrichting zoekt de turbine opnieuw naar de optimale stand ten opzichte van de wind met een

staart ('windvaan') achter de wieken. Sommige turbines hebben een kruimotor in plaats van een windvaan. In het verlengde van traditioneel ogende 'driewiekers', zien we de laatste tijd een ontwikkeling van turbines van het HAT-type met een innovatieve vormgeving. Een deel van deze turbines maakt gebruik van het zogenaamde venturi-effect, door de toepassing van een ring rondom de wieken. Door de vernauwing in de ring ontstaat een hogere luchtdruk vóór de rotor en een lagere luchtdruk achter de rotor. Hierdoor versnelt de luchtstroom door de ring waardoor de rotor sneller gaat draaien. Figuur 1 toont enkele voorbeelden van turbines van het HAT-type.

Figuur 1: Voorbeelden van horizontale as-turbines



Sirocco



Tulipo



Montana



Eclectic



Airdolphin

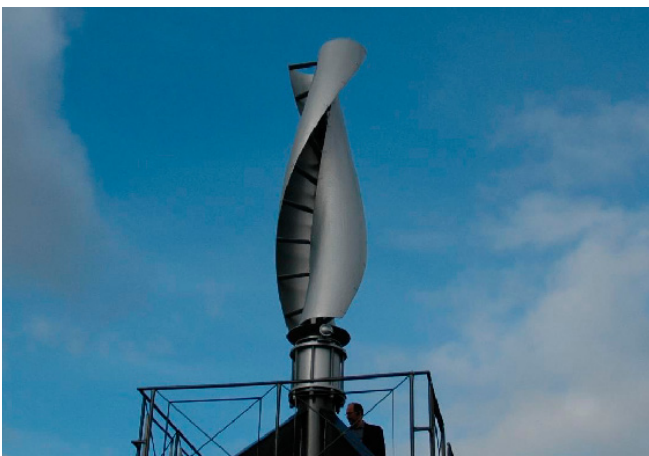


Swift

3.1.2 Verticale as-turbines (VAT)

Bij turbines van het VAT-type staat de as loodrecht op de richting van de wind, terwijl de wieken evenwijdig aan de as zijn bevestigd. Deze turbines vangen de wind die loodrecht op de wieken komt, ongeacht de richting. Turbines van het type VAT kunnen, afhankelijk van de vorm van de wieken, verdeeld worden in het Savonius-type (met een dicht rotorblad) en het Darrieus-type (met een open rotorblad).

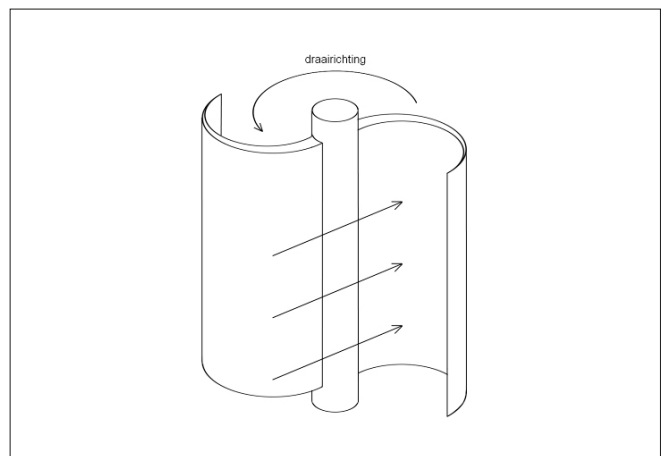
Figuur 2: VAT-type turbine met een Savonius rotor



Praktijkvoorbeeld

3.1.2.1 Savonius-rotor

Een Savonius-rotor bestaat meestal uit twee of drie schoepen. De schoepen bieden minder weerstand aan de ronde kant dan aan de open kant. Door dit verschil zal de turbine gaan draaien in de richting van de minste weerstand. Figuur 2 toont een praktijkvoorbeeld en het werkingsprincipe van een Savonius-turbine.



Werkingsprincipe

3.1.2.2 Darrieus-rotor

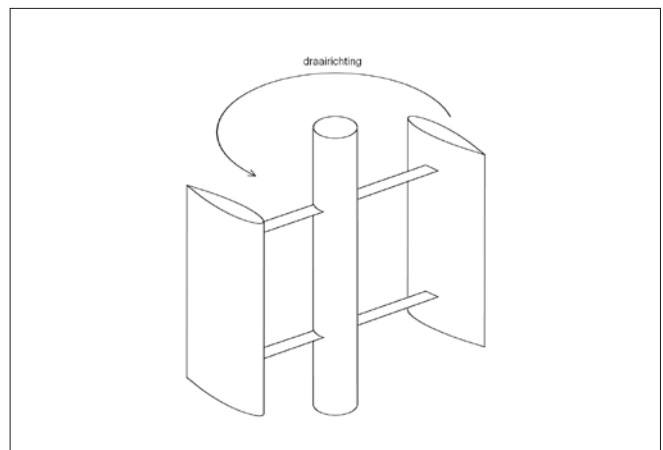
Er zijn twee basisvormen van een Darrieus-rotor, namelijk de 'eierklutser' en een H-type rotor. In beide gevallen gaat het om wieken met het profiel van een vliegtuigvleugel die evenwijdig aan een verticale as zijn gemonteerd. Wanneer de wieken door de lucht snijden, ontstaat er een drukverschil tussen de voor- en

de achterkant van de wijk. Dit drukverschil leidt tot een lifteffect die de turbine in beweging brengt. Om zover te komen, moet de turbine eerst een zetje krijgen vanuit een externe energiebron. Dat is een nadeel van deze turbine: hij is niet zelfstartend. Figuur 3 illustreert de twee basisvormen en het werkingsprincipe van een Darrieus-rotor.

Figuur 3: VAT-type turbines met Darrieus rotor



Rotor in de vorm van een 'eierklutser'



H-type rotor en het werkingsprincipe

De fabrikanten van moderne VAT-miniturbines maken gebruik van de basisprincipes van Savonius en/of Darrieus technologie, maar hebben deze naar eigen inzicht aangepast en geoptimaliseerd. Soms worden VAT-turbines ook horizontaal gemonteerd. Daardoor is een grote variëteit aan innovatieve vormen van VAT-turbines ontstaan. Een aantal voorbeelden is in figuur 4 weergegeven.

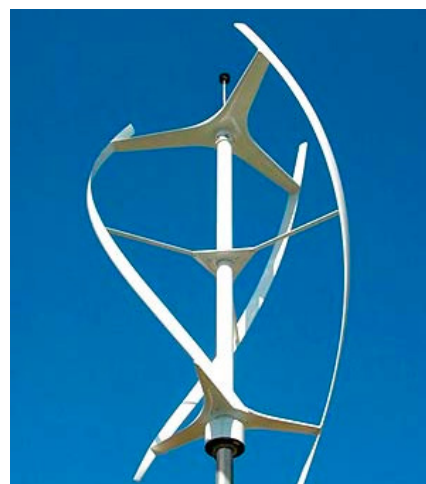
Figuur 4: Voorbeelden van verticale as-turbines



Ropatec



Turby



Quiet Revolution



WindSide



WindWall



EnergyBall

De bijlage bevat een overzicht van de turbintypes die op dit moment op de Nederlandse markt worden aangeboden. Voor elke turbine is een 'visitekaartje' gemaakt met daarop de volgende gegevens: een foto van de turbine, de maatvoering, het elektrisch vermogen, de richtprijs en de contactgegevens van de leverancier.

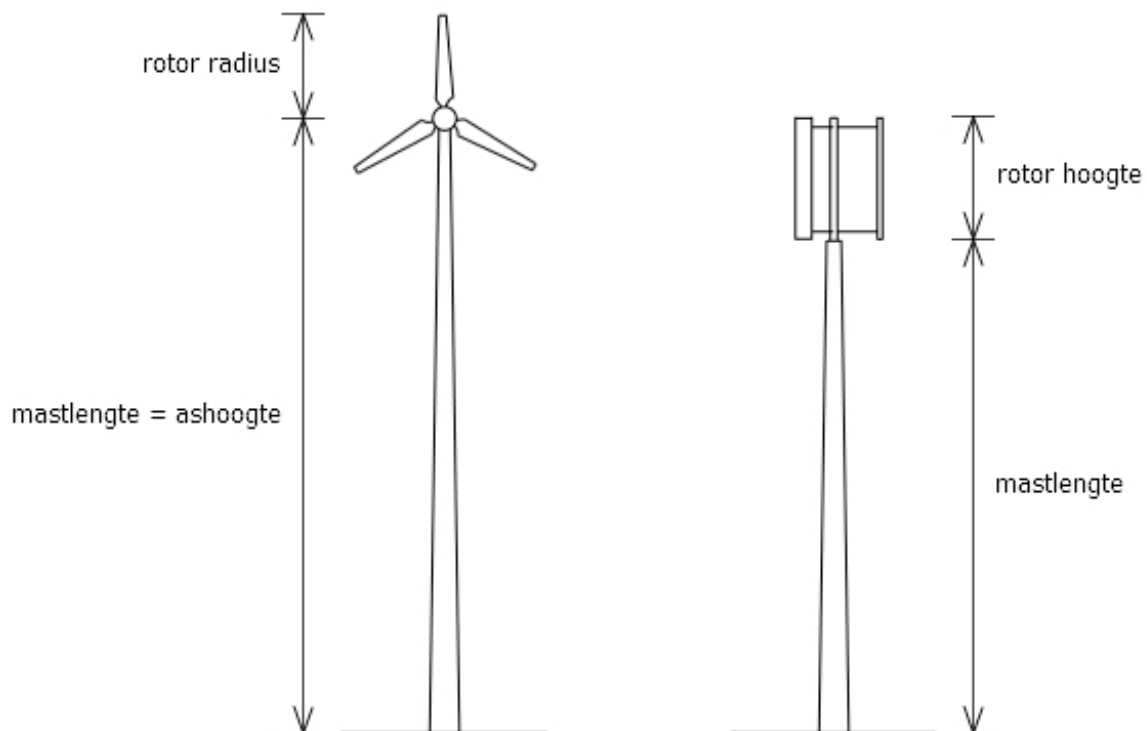
3.2 Maatvoering

De diameter van de rotor bij HAT-turbines varieert tussen circa 1 en 7 meter. Bij de VAT-turbines varieert de rotordiameter tussen 2 en 4,6 meter bij een rotorhoogte van 2 tot 5 meter. De maten van de afzonderlijke turbines zijn te vinden in het overzicht in de bijlage.

De constructie en de hoogte van de mast zijn afhankelijk van het type turbine en de plek waarop de turbine wordt geplaatst.

Bij plaatsing op het maaiveld worden meestal masten van 12 tot 15 meter gebruikt, terwijl bij dakmontage mastlengtes van 4 tot 8 meter volstaan.

De totale 'tiphoogte' bij de HAT-turbines wordt berekend als de som van de mastlengte en de radius van de rotor. Bij de VAT-turbines wordt de rotor bovenop de mast gemonteerd. Daarom wordt de tiphoogte berekend als de som van de masthoogte en de hoogte van de rotor. Figuur 5 illustreert de berekening van de tiphoogte van beide turbintypes.



Figuur 5: De tiphoogte van HAT en VAT-type turbines

Voorbeeldberekening:

Maximale tiphoogte van een HAT- turbine bij een grondopstelling: $15 \text{ m} + 2,5 \text{ m} = 17,5 \text{ m}$.

Minimale tiphoogte van een HAT-turbine bij een dakopstelling: $4 \text{ m} + 0,5 \text{ m} = 4,5 \text{ m}$.

Maximale tiphoogte van een VAT-turbine bij een grondopstelling: $12 \text{ m} + 4,4 \text{ m} = 16,4 \text{ m}$.

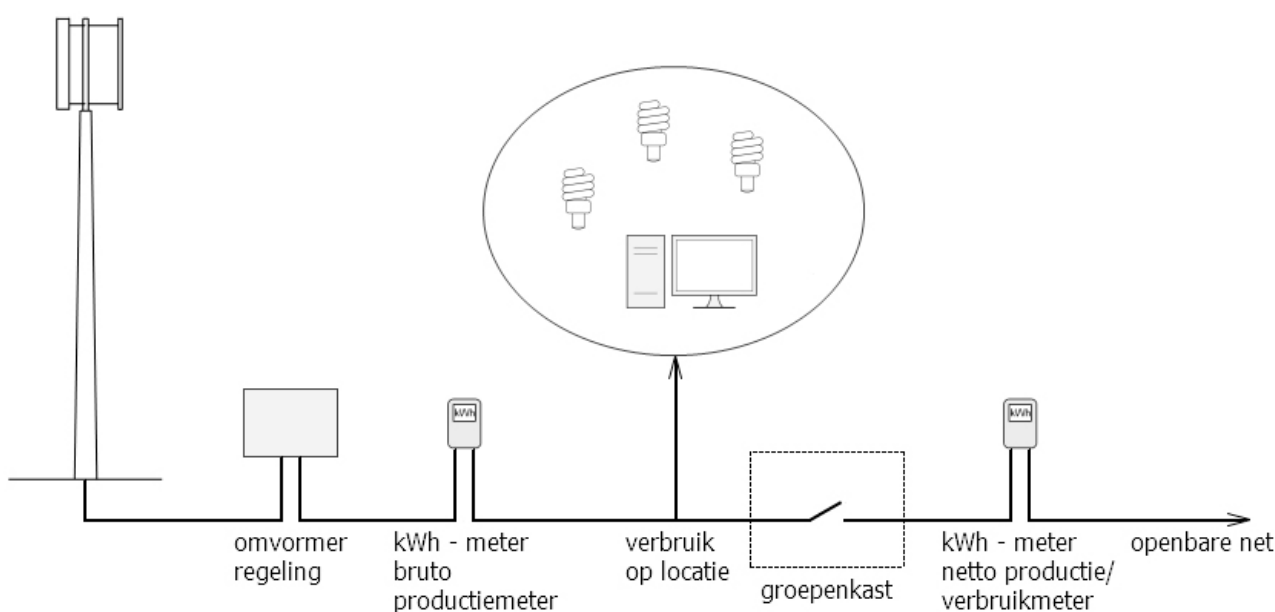
Minimale tiphoogte van een VAT-turbine bij een dakopstelling: $4 \text{ m} + 2,2 \text{ m} = 6,2 \text{ m}$.

3.3 Elektrische installatie

Een complete installatie van een miniturbine bestaat uit de volgende componenten: turbine (rotor met een ingebouwde generator), mast, fundering, omvormer met regelapparatuur, kabels en leidingen en meet- en beveiligingsapparatuur. De elektrische aansluiting van een miniturbine moet door een

erkende elektrotechnische installateur worden uitgevoerd.

Een omvormer zet de opgewekte elektriciteit om naar wisselstroom met dezelfde eigenschappen als elektriciteit uit het openbare net. De opgewekte elektriciteit wordt direct op locatie verbruikt en een eventueel overschot wordt aan het openbare net geleverd. Figuur 6 is een schematische afbeelding van de elektrische installatie van een miniturbine.



Figuur 6: Schema elektrische installatie van een miniturbine

Miniturbines worden op een aparte groep in de meterkast aangesloten, vergelijkbaar met een kleinschalige zonnestroom installatie. Een (geijkte) bruto productiemeter in de meterkast kan de elektriciteitsopbrengsten en daarmee het functioneren van turbine(s) in de gaten houden. De bruto productiemeter kan tegelijk met de turbine worden geïnstalleerd. De 'gewone' kWh-meter registreert het netto verbruik: het verschil tussen de uit het net getrokken elektriciteit en het aan het net geleverde overschot.

Sommige eigenaren plaatsen naast een bruto productiemeter, een informatiescherm op een zichtbare plek in het pand met daarop het actueel vermogen, de actuele energieproductie en de totaal opgewekte energie en/of de daarmee bespaarde hoeveelheid CO₂. Dit informatiescherm gebruiken ze vaak voor educatieve toepassingen en/of het zichtbaar maken van de elektriciteitsopbrengsten aan derden. In figuur 7 is een voorbeeld van een informatiescherm voor mini windturbines weergegeven.

Het informatiescherm kan voorzien worden van een tekstuele of schematische beschrijving van de windstroom installatie.



Figuur 7: Informatiescherm van een DONQI windturbine

3.4 Mastuitvoeringen en verankering

Er zijn drie basisvarianten van masten voor miniturbines:

- een zelfdragende ronde mast;
- een getuide mast;
- een vakwerkmast.

Bij een veldopstelling of bij plaatsing op niet al te hoge daken wordt meestal gebruikgemaakt van zelfdragende ronde masten. Bij hogere masten en bij toepassing op hoge gebouwen wordt gewerkt met getuide versies of met vakwerkmasten.

Figuur 8: Twee soorten masten



Zelfdragende ronde mast

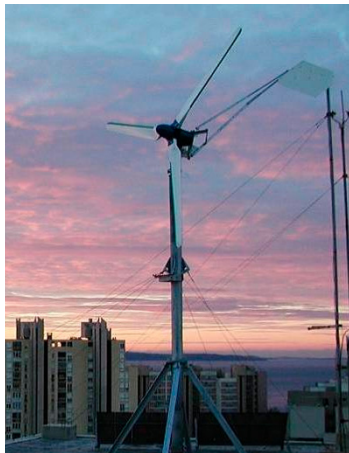


Vakwerkmast

Figuur 9: Bevestiging van turbinemasten



Flensbevestiging direct op het dakvlak



Getuide mast op een ballastvoet

Verankering van een mast is afhankelijk van de omstandigheden op locatie (soort ondergrond, windcondities) en de belastingen die de turbine met zich mee brengt. Bij plaatsing op het maaiveld wordt gebruikgemaakt van de zogenaamde ‘flensbevestiging’ op een betonnen fundering. Op betonnen daken maakt men vaak gebruik van de flensbevestiging direct op het dakvlak. Hierbij wordt een metalen voetplaat op het dakvlak verankerd met behulp van eerder aangebrachte draadeinden (bij nieuwbouw) of met behulp van chemische ankers (bij bestaande bouw). Als er geen mogelijkheid is voor een directe bevestiging, biedt een ballastvoet uitkomst. Om de stabiliteit van de mast te vergroten wordt soms gebruik gemaakt van een drie- of een vierpoot (zie figuur 9). In gevallen waar het dakvlak de belastingen niet kan dragen, kan een zogenaamd ‘secundair frame’ van stalen liggers oplossing bieden. Hierbij worden de liggers zo geplaatst dat de belastingen worden overgedragen op de draagmuren zonder het dakvlak te belasten.

4 Marktbeschrijving

4.1 Actuele status

In het kort kan de huidige marktstatus van miniturbines als volgt worden beschreven:

- de technologie bevindt zich aan het begin van de leercurve. Hierdoor is de efficiency nog te laag en zijn de kosten hoog;
- er is een groot aanbod van verschillende turbinetypes;
- turbines zijn nog niet gecertificeerd (enkele leveranciers zijn begin 2010 aan het certificeringstraject begonnen);
- wet- en regelgeving voor miniturbines is nog niet volledig ontwikkeld;
- er is grote belangstelling van de markt voor de praktische toepassing van turbines;
- praktijktoepassingen bevinden zich in de pilotfase;
- een aantal landen loopt vóór met de marktontwikkeling;
- Nederlandse fabrikanten spelen een belangrijke rol bij de technologieontwikkeling.

In de volgende paragrafen volgt een meer gedetailleerde beschrijving van de huidige marktsituatie.

4.2 Marktontwikkeling

Hoewel enkele types al meer dan twintig jaar bestaan, is de overgrote meerderheid van miniturbines pas na 2002 ontwikkeld. Daarmee is sprake van een zeer jonge technologie die nog volop in ontwikkeling is. Dat is ook te zien aan het aantal nieuwe ontwerpen dat elk jaar op de markt verschijnt. Op de website <http://www.allsmallwindturbines.com> zijn op dit moment meer dan 200 turbinetypes te vinden met een elektrisch vermogen van 0,5 tot 6 kW. Volgens een Engels marktonderzoek, bedroeg in 2008 het totaal wereldwijd geïnstalleerd vermogen aan mini windturbines 39,7 MW. Het gaat hierbij om turbines binnen de range van 0 tot 100 kW. In 2007 werd een marktgroei genoteerd van 53 procent. Het rapport is te vinden op de website van British Wind Energy Association (BWEA): http://www.bwea.com/media/news/articles/global_study_hails_growth_for.html. Volgens hetzelfde rapport is de grootste markt voor mini windturbines te vinden in de Verenigde Staten (VS), waar in 2008 17,3 MW aan mini windturbines is geïnstalleerd. In de VS worden jaarlijks ongeveer 7.000 mini windturbines geplaatst. Het Verenigd Koninkrijk (VK) is de tweede grote markt voor mini windturbines met 7,24 MW geïnstalleerd vermogen en 1.880 arbeidsplaatsen in 2008. In het Verenigd Koninkrijk worden vooral turbines met een vermogen van 0 tot 50 kW geplaatst. De totaal geïnstalleerde capaciteit in VK bedroeg meer dan 20 MW in 2008. In tegenstelling tot de VS waar ze vooral in landelijke gebieden worden geplaatst, worden miniturbines in Europese landen vaker in de gebouwde omgeving geplaatst.

Dat verklaart het verschil in de vermogensrange van de toegepaste turbines. Overige grote markten zijn Canada, China en India. In Europa worden, naast het Verenigd Koninkrijk, ook steeds meer miniturbines geïnstalleerd in Spanje en Frankrijk.

Deze landen gebruiken verschillende stimuleringsmaatregelen zoals: subsidie per geïnstalleerd kW-vermogen, een feed-in tarief en het vergunningvrij plaatsen van miniturbines. Zo kent het Verenigd Koninkrijk per 1 april 2010 een feed-in tarief van 26,7 p/kWh opgewekte elektriciteit, ongeacht of deze ter plekke wordt verbruikt of aan het openbare net wordt geleverd (bron: www.leturbines.com).

4.3 Ontwikkelingen in Nederland

In Nederland worden miniturbines overwegend in de gebouwde omgeving geplaatst. Daarom worden in dit document slechts turbines beschouwd met een vermogensrange van 0,5 tot 6 kW. Op de Nederlandse markt worden op dit moment 21 verschillende miniturbines in deze range aangeboden, waarvan er 11 in Nederland zijn ontwikkeld en gefabriceerd. Eind 2009 stonden in Nederland ongeveer 300 miniturbines. Het grootste deel van de turbines is geplaatst door particulieren, gemeenten, woningcorporaties en kleine bedrijven.

4.3.1 Overheidsbeleid

De overheid voert nog geen actief beleid ten aanzien van miniturbines, omdat deze nieuwe technologie zich nog niet heeft bewezen. Wel worden miniturbines steeds vaker als optie genoemd in de nieuwe beleidsdocumenten betreffende duurzame energie. Daarnaast is het ministerie van VROM, in overleg met de Nederlandse Windenergie Associatie (NWEA), bezig met aanpassing van de wet- en regelgeving. Het doel is om de praktische toepassing van gecertificeerde miniturbines te vereenvoudigen.

4.3.1.1 Provincies en gemeenten

Van een aantal gemeenten is bekend dat ze hun beleid ten aanzien van miniturbines reeds hebben vastgesteld. Hieronder een - niet uitputtend - overzicht van de reeds gemaakte beleidsplannen bij gemeenten.

- beleidsnotitie gemeente Den Helder: <http://www.denhelder.nl/foto/Beleidsvisie%20Kleine%20Windturbine2.pdf>
- beleidsnotitie gemeente Zaanstad: <http://decentrale.regelgeving.overheid.nl/cvdr/XHTMLoutput/Actueel/Zaanstad/20785.html>
- beleidsnotitie gemeente Oude IJsselstreek: <http://www.google.nl/custom?q=beleidsnotitie+gemeente+Oude+IJsselstreek+kleine+windturbines>

- beleidsnotitie gemeente Ridderkerk: <http://www.ridderkerk.nl/pdf/SO/subsidiefonds%20zonne%20energie%20final%202010.pdf>
- beleidsnotitie gemeente Wijchen: http://www.wijchen.nl/binaries/wijchen/bestuur-en-organisatie-downloads/verordeningen/openbare_gezondheid_milieu/windmolens.pdf
- beleidsnotitie provincie Zeeland: http://kreeft.zeeland.nl/zeesterdoc/ZBI-O/ZEE/ZEEo/7002/700264_1.pdf?lng=nl

Nog veel meer gemeenten hebben het voornemen om beleid voor miniturbines te ontwikkelen. Uit contacten met deze gemeenten blijkt dat ze behoefte hebben aan meer informatie over de praktische toepassing van miniturbines.

4.3.2 Brancheorganisatie

In 2007 is een brancheorganisatie opgericht in de vorm van de 'Commissie Miniturbines' binnen de Nederlandse Windenergie Associatie (NWEA). Deze commissie noemt vier gebieden waar op korte termijn inspanningen voor geleverd zullen worden, namelijk:

- de ontwikkeling van een certificeringstraject voor miniturbines;
- de ontwikkeling van een openbare databank voor de opslag van de meetresultaten van miniturbines;
- het aangaan van een dialoog met lokale en nationale overheden omtrent de wet- en regelgeving en de positie van miniturbines binnen de duurzame energieopwekking;
- het informeren van de markt over de ontwikkelingen op het gebied van miniturbines.

Naast deze gemeenschappelijke inspanningen via de brancheorganisatie, zetten de afzonderlijke leden zich in op het gebied van product- en serviceontwikkeling.

De visie van de commissie over de toekomstige marktontwikkelingen in Nederland is vastgelegd in het 'Visiedocument mini windturbines'. Het document is te vinden op de webpagina van de NWEA: <http://www.nwea.nl/nieuws/nwea-presenteert-visiedocument-mini-windturbines-00221>

Op initiatief van de commissie heeft Agentschap NL de opdracht verstrekt voor het ontwikkelen van de Nederlandse Beoordelingsrichtlijn Kleine Windturbines. De Beoordelingsrichtlijn is te vinden op de website van Agentschap NL (voorheen SenterNovem): http://www.senternovem.nl/duurzameenergie/publicaties/publicaties_windenergie/nederlandse_beoordelingsrichtlijn_kleine_windturbines.asp Dit document is een eerste aanzet tot certificering van miniturbines in Nederland. Als miniturbines officieel zijn gecertificeerd, zal het vergunningstraject aanzienlijk korter kunnen worden.

4.3.3 Proefprojecten

De eerste pilot met toepassing van miniturbines vond plaats op het Nederlandse paviljoen bij de Expo 2000 op de Hannover Messe. Daar werd de Tulipo gepresenteerd, een turbine die in samenwerking tussen de (inmiddels failliete) windturbinefabrikant Lagerweij en het energiebedrijf Nuon is ontwikkeld. De grote belangstelling die erop volgde, heeft veel fabrikanten en uitvinders in Nederland en daarbuiten geïnspireerd tot het ontwikkelen van nieuwe vormen van miniturbines. De foto in figuur 10 laat het Nederlands paviljoen met de Tulipo's op de Hannover Messe zien.



Figuur 10: Het Nederlandse paviljoen op Hannover Messe in 2000

4.3.3.1 Voor de wind gaan

In 2004 verleende Agentschap NL een subsidie aan de drie noordelijke provincies voor het pilotproject 'Voor de wind gaan'. Het doel van dit project was om ervaring op te doen met de praktische toepassing van miniturbines door plaatsing van 22 turbines van zes fabrikanten op verschillende locaties. Het project moest antwoord geven op de volgende vragen: waar en onder welke omstandigheden komt welke turbine het best tot zijn recht in de zin van rendement, inpasbaarheid, veiligheid, beleving en esthetische uitstraling? Door verschillende tegenvallers zijn uiteindelijk slechts 14 turbines geplaatst. De belangrijkste tegenvallers zijn geweest: provinciaal beleid staat geen (kleine) windturbines toe in landelijke gebieden, te lange vergunningsprocedures (tot twee jaar), onvrede over de relatie met de leverancier, protesten van omwonenden en zeer slecht functionerende turbines. Het project heeft belangrijke inzichten opgeleverd met betrekking tot de praktische toepassing van miniturbines in de gebouwde omgeving. De resultaten zijn beschreven door KNN Milieu in vier deelrapporten die zijn gepubliceerd in 2006 en 2007.

4.3.3.2 Testveld Schoondijke

In 2007 heeft de provincie Zeeland, in samenwerking met de gemeente Sluis, energiebedrijf Delta en de windcorporatie Zeeuwind, een veldtest ingericht voor de opbrengstmeting van miniturbines. Op een oud industrieterrein (zie figuur 11) zijn 12 miniturbines geplaatst met een tiphoogte van 12 meter. De ambitie was om er achter te komen wat de werkelijke opbrengsten zijn van verschillende soorten turbines. Na twee jaar meten kan de conclusie

worden getrokken dat het windaanbod op deze locatie veel te laag is om uitspraken te kunnen doen over de energieopbrengsten van miniturbines. De gemiddelde windsnelheid bedroeg namelijk 3,7 m/s in plaats van de verwachte 6 m/s. Ondanks het feit dat niet alle doelstellingen bereikt zijn, leverde het project een aantal waardevolle resultaten op. Het maakte duidelijk dat veel miniturbines technische mankementen vertonen en dat hun opbrengsten bij lage windsnelheden achter blijven bij de verwachte opbrengsten. Ook bleek dat twee van de geplaatste turbines wel aardig in de richting komen van de beloofde opbrengsten.



Figuur 11: Testveld in Schoondijke, provincie Zeeland

De opbrengstresultaten van het meetveld in Schoondijke zijn te vinden op: http://kreeft.zeeland.nl/zeesterdoc/ZBI-O/ZEE/ZEEo/9007/900786_1.pdf

4.3.3.3 Pilotproject Den Haag

In de zomer van 2007 startte de gemeente Den Haag een pilot voor de plaatsing van 30 tot 50 miniturbines. De deelnemers krijgen een projectondersteuning van € 2.000 per kW geïnstalleerd vermogen. In ruil daarvoor moeten ze hun opbrengstgegevens gedurende vijf jaar communiceren met de gemeente. Het doel van het project is om te leren omgaan met miniturbines. Aan de hand van de ervaringen met dit project wil de gemeente haar toekomstige beleid bepalen ten aanzien van miniturbines. De daadwerkelijke plaatsing van turbines heeft, mede als gevolg van een moeizaam vergunningstraject, bijna twee jaar op zich laten wachten. Tot juli 2010 zijn slechts 6 turbines vergund en geplaatst. Figuur 12 laat een montage zien van een flatgebouw met miniturbines van de woningcorporatie Staedion. Op deze locatie wilde Staedion 12 miniturbines op vier flatgebouwen plaatsen. Vanwege een lange vergunningstraject van 1,5 jaar en de felle protesten van de bewoners en omwonenden, is de plaatsing van turbines niet doorgegaan. Meer informatie over het pilot project is te vinden op <http://www.denhaag.nl/home/bewoners/to/Project-kleine-Haagse-windmolens.htm>

4.3.3.4 Pilotproject gemeente Rotterdam

In de gemeente Rotterdam is in de periode 2008-2010 een aantal DonQi windturbines op verschillende locaties geplaatst. De meetresultaten zijn nog niet geëvalueerd.

4.3.3.5 Haalbaarheidsonderzoek inkoopcombinatie provincie Zuid-Holland

In opdracht van de provincie Zuid-Holland onderzocht het onderzoeksbureau RenCom de haalbaarheid van een inkoopcombinatie voor miniturbines op provinciaal niveau.

Figuur 12: Fotomontage flatgebouw Heliotropenlaan in Den Haag



De conclusie is dat er geen draagvlak bestaat voor de oprichting van een provinciale inkoopcombinatie. Aan de hand van de uitgevoerde interviews bleek dat gemeenten, woningcorporaties en bedrijven weliswaar grote belangstelling voor miniturbines hebben, maar ook dat zij nog veel vraagtekens hebben bij de prestaties en de toepassingsmogelijkheden van miniturbines. De meeste partijen geven de voorkeur aan een landelijk leertraject in samenwerking met Agentschap NL omdat deze naar verwachting het meeste effect heeft op het gebied van de techniekontwikkeling en prijsverlaging. Het rapport is te vinden op: <http://www.urbanwind.net/pdf/RapportInkoopcombinatieDEF.pdf>

4.4 Miniturbines in relatie tot andere duurzame opwekkers

4.4.1 Vergelijking met grote windturbines

Hoewel de naam anders suggereert, zijn er grote verschillen tussen grote windturbines en miniturbines. Miniturbines worden gebruikt voor de kleinschalige opwekking van duurzame elektriciteit achter de meter en kunnen in geen geval gebruikt worden in plaats van grote windturbines. In de volgende tabel staan de verschillende kenmerken van beide soorten windturbines naast elkaar.

Tabel 1: Vergelijking tussen grote windturbines en miniturbines

ASPECT	GROTE WINDTURBINES	MINITURBINES
Technische oplossing	Driewiek turbine, HAT	Veel verschillende modellen van VAT- en HAT-turbines
Elektrisch vermogen	750 – 4.000 kW	0,5 – 6 kW
Rotordiameter	50 – 70 m	0,75 – 5 m
Ashoogte	60 – 85 m	4 – 15 m
Toerental rotor	~ 20 omwentelingen per min	150 – 400 omwentelingen per min
Elektriciteitsopwekking	Grootschalige elektriciteitsopwekking	Kleinschalige decentrale elektriciteitsopwekking achter de meter
Specifieke opbrengsten per m2 rotoroppervlak	800 – 1.100 kWh/m2	150 – 250 kWh/m2
Status technologie	Bijna uitontwikkeld, gecertificeerd	Aan het begin van de leercurve, niet gecertificeerd
Soort locaties	Open veld	Op of naast gebouwen of in open veld
Vergunningen	Duidelijke wet- en regelgeving	Onduidelijk wettelijk kader
Stimuleringsmaatregelen	EIA, VAMIL, SDE-regeling	EIA
Geïnstalleerde capaciteit t/m 2009	1.975 turbines met een totaal vermogen van 2.221 MW	Ongeveer 300 miniturbines met een totale capaciteit van circa 400 kW

De enige duidelijke overeenkomst tussen de grote windturbines en miniturbines is dat ze beiden gebruikmaken van de wind als energiebron.

4.4.2 Miniturbines in relatie tot zonnestroom installaties

Zonnestroom installaties en miniturbines vertonen veel meer overeenkomsten als het gaat om de technische eigenschappen en de manier van toepassing. De belangrijkste overeenkomsten zijn:

- toepassing op gebouwen;
- decentrale elektriciteitsopwekking achter de meter;
- de hoeveelheid van de opgewekte elektriciteit per installatie ligt over het algemeen onder het jaarlijks verbruik van een huishouden;

- elektriciteit wordt ter plekke verbruikt, het overschot gaat naar het openbare net;
- er is sprake van een grote verscheidenheid van technische modellen en toepassingsmogelijkheden.

Het belangrijkste verschil is dat zonnestroom technologie al bijna uitontwikkeld is terwijl moderne miniturbines nog aan het begin van hun leercurve staan. Ook is voor zonnestroom een SDE-regeling (Stimulering Duurzame Energieproductie) van toepassing, waardoor de gebruikers een subsidie krijgen van € 0,474 per opgewekte kWh (niveau 2010, kijk voor meer informatie op www.agentschapnl.nl/sde/zonnepanelen). Voor miniturbines bestaat op dit moment nog geen specifieke subsidieregeling. Voor meer informatie, zie ook de paragrafen 6.4.1 en 6.4.2.

5 Aandachtspunten bij de toepassing van miniturbines

5.1 Windsnelheid

De elektriciteitsproductie van windturbines is afhankelijk van de windsnelheid, het rotoroppervlak en het type turbine. De meeste miniturbines beginnen te draaien bij een windsnelheid van ongeveer 3 m/s (meter per seconde). Om elektriciteit te produceren hebben de meeste miniturbines een windsnelheid nodig van ongeveer 5 m/s.

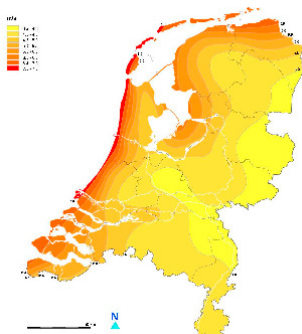
5.1.1 Windaanbod op locatie

De jaargemiddelde windsnelheid op ashoogte is de belangrijkste factor voor de elektriciteitsproductie van een windturbine. De elektriciteitsopbrengsten gaan omhoog met de derde macht van de windsnelheid. Dat betekent dat bij een verdubbeling van de windsnelheid, de opbrengsten met een factor acht omhoog gaan ($2^3 = 2 * 2 * 2 = 8$). Daarom is het erg belangrijk om turbines op windrijke locaties te plaatsen.

De wind op een bepaalde locatie wordt bepaald door de geografische ligging van deze locatie, de hoogte boven de grond en de ruimtelijke structuur van de locatie (bebouwing, onderlinge afstanden en oriëntatie). In de volgende paragrafen lichten we deze termen nader toe.

5.1.1.1 Windkaart

De windkaart in figuur 13 toont de geografische spreiding van de gemiddelde windsnelheden in het open veld, op 10 m hoogte in Nederland. Op de kaart is te zien dat langs de kust en op de Waddeneilanden windsnelheden van gemiddeld 7 tot 7,5 m/s gemeten worden. In het oosten van het land daalt de gemiddelde windsnelheid naar 3,5 tot 4,5 m/s. Over het algemeen geldt: hoe hoger boven de grond, des te hoger de windsnelheden.



Figuur 13: Windkaart van Nederland met windsnelheden op 10 m hoogte (bron: KNMI)

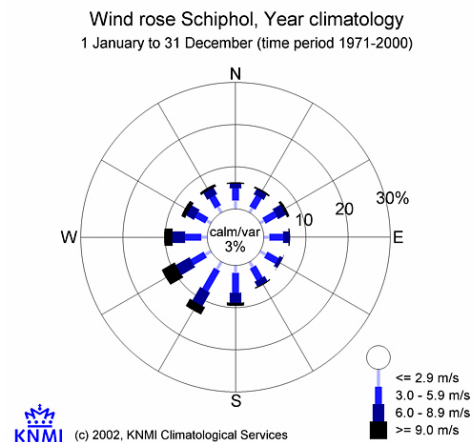
In de gebouwde omgeving hebben obstakels zoals gebouwen, geluidswallen, wegen, reclamemasten en bomen invloed op de windsnelheid en de windrichting. In windtermen spreekt men dan van een 'hoge omgevingsruwheid' waardoor de wind wordt afgeremd en in de buurt van obstakels turbulenties en/of luwtes ontstaan. In de dagelijkse praktijk blijkt dat sommige straten bij de wind uit een bepaalde richting in ware tochtgaten veranderen, terwijl andere straten juist in de luwte komen te liggen. Op grotere hoogtes verdwijnen de verstorende invloeden van obstakels en ontstaat opnieuw een homogene luchtstroom vergelijkbaar met die in het open veld.

De conclusie is dat er in open gebieden langs de kust op 10 meter hoogte voldoende windaanbod aanwezig is voor het aandrijven van miniturbines. Wanneer turbines in gebouwde omgeving worden geplaatst of verder het land in, dan zullen ze hoger in de lucht geplaatst moeten worden om de benodigde windsnelheid van gemiddeld 5 m/s te kunnen bereiken.

Voor de gebouwde omgeving wordt aangenomen dat op locaties boven de 20 m hoogte voldoende windaanbod is voor het aandrijven van miniturbines. De beste manier om daar zekerheid over te krijgen is door windmetingen te doen.

5.1.1.2 Windroos

De windcondities op een specifieke locatie kunnen in beeld worden gebracht door het meten van de zogenaamde windroos. Een windroos toont de verdeling van windsnelheden en -richtingen op een bepaalde locatie. De breedte van de staafjes geeft informatie over de snelheid van de wind en de lengte geeft in procenten weer hoe vaak de wind uit een bepaalde richting komt. De windrozen van verschillende locaties laten zien dat de wind in Nederland het meest uit zuidwestelijke richting komt. Dat is tevens de richting waar de sterkste winden vandaan komen. Deze richtlijn geldt voor vrijwel alle locaties in Nederland. Daarom is het essentieel dat de plek van de windturbine open staat aan de wind uit de zuidwestelijke richting.

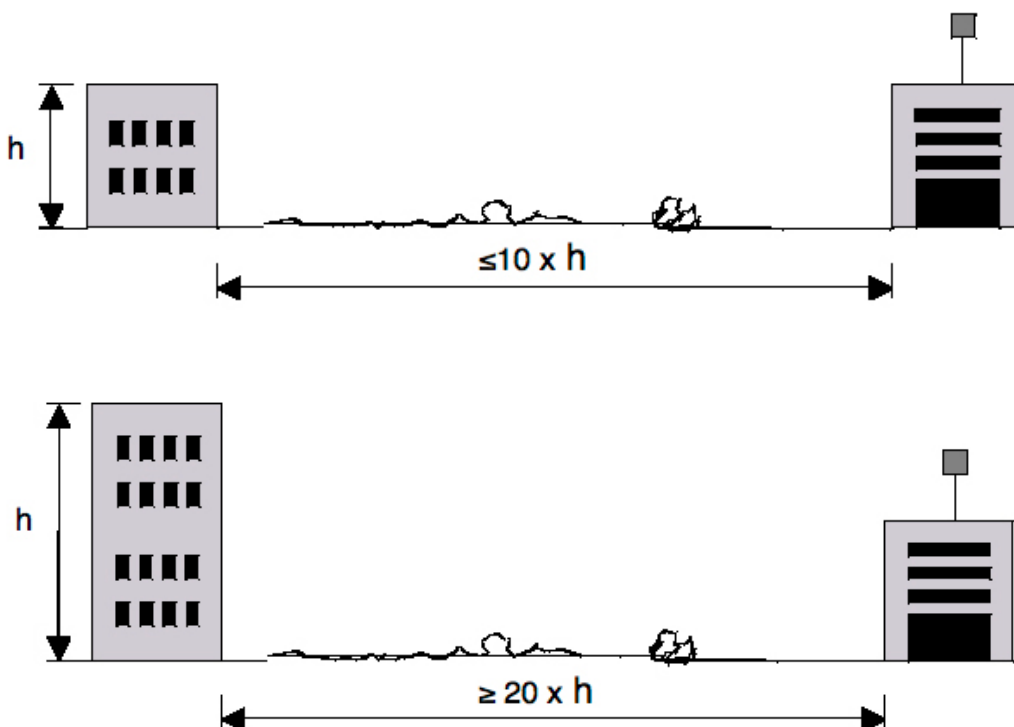


Figuur 14: Windroos van Schiphol

5.1.1.3 Obstakels in de buurt

Wanneer de wind tegen een obstakel aan botst, ontstaan rondom dat obstakel verstoringen in de luchtstroom die in de naaste omgeving voelbaar zijn. Bij de plaatsing van windturbines in de gebouwde omgeving moet daarmee rekening worden gehouden. Het verdient de voorkeur dat de kant van de prevalerende windrichting (voor Nederland is dat de zuidwestelijke richting) vrij is van obstakels.

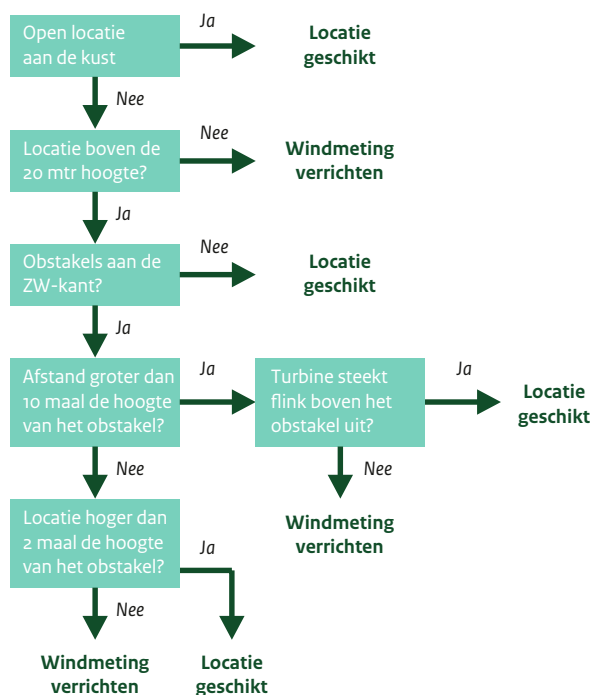
In geval van obstakels in de buurt hanteren de meeste leveranciers het volgende uitgangspunt: een afstand van minimaal 10 maal de obstakelhoogte als de afstand waar de verstoring is 'uitgewerkt'. Als een turbine veel hoger wordt geplaatst dan de obstakelhoogte, dan kan met kortere afstanden worden gewerkt. Bij obstakels die hoger zijn dan de turbine, is een afstand nodig van 20 maal de obstakelhoogte. Figuur 15 illustreert de vuistregels die bij de verschillende hoogteverhoudingen worden toegepast.



Figuur 15: Afstand tot obstakels in de buurt

5.1.2 Quickscan locatie

Aan de hand van de richtlijnen beschreven in de voorgaande paragrafen, kan een quickscan worden geformuleerd voor de snelle beoordeling van een locatie ten behoeve van miniturbines. Hierbij wordt benadrukt dat het gaat om een snelle beoordeling



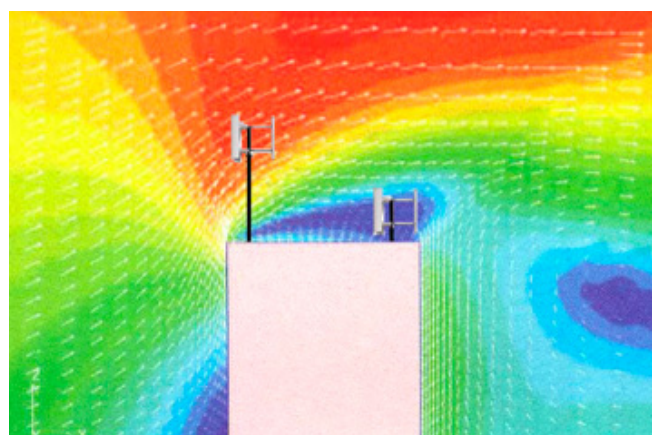
Figuur 16: Quickscan locatie

5.2 Wind op het dak

5.2.1 Windaanbod op locatie

In Nederland zullen miniturbines overwegend op gebouwen worden geplaatst. De verstoringen die gebouwen met zich meebrengen bepalen op welke plek en hoe hoog boven het dak de turbine moet worden gepositioneerd. Figuur 17 toont een CFD-simulatie (Computer Fluid Design) van de luchtstroming rondom een gebouw in geval van links naar rechts waaiende wind. Pijltjes geven de windrichting aan. De blauwe gebieden illustreren de luwtes, groene gebieden zijn turbulenties en roodoranje staat voor een sterke, homogene luchtstroming. De rotor moet in het roodoranje gebied komen te staan (en niet in het blauwe gebied). Wanneer de turbine in een turbulente omgeving wordt geplaatst, dan is deze vooral bezig met het zoeken naar de optimale windrichting in plaats van met elektriciteitopwekking. Daarnaast leiden turbulente omstandigheden tot snellere materiaalveroudering waardoor de levensduur van turbines korter wordt.

met behulp van algemeen geldende uitgangspunten. Een specifieke locatie kan, door bepaalde omstandigheden, alsnog ongeschikt zijn voor het plaatsen van miniturbines. De absolute zekerheid kan slechts met behulp van windmetingen worden bereikt.



Figuur 17: Hoogte boven dak (bron: Ropatec)

De optimale hoogte boven het dak wordt bepaald aan de hand van de afmetingen van het gebouw. Voor de berekening van de mastlengte kan gebruik worden gemaakt van het rekenmodel op: http://www.senternovem.nl/duurzameenergie/publicaties/publicaties_windenergie/nederlandse_beoordelingsrichtlijn_kleine_windturbines.asp

5.2.2 Plaats op het dak

Omdat de meeste locaties in de gebouwde omgeving zijn omgeven door obstakels, is het zaak om te kijken naar de mogelijke invloeden van deze obstakels op de windcondities op de beoogde locatie. Het kan namelijk gebeuren dat de omliggende objecten tot verstoringen leiden die op bepaalde plekken op het dak tot versnelling of juist tot vertraging van de windsnelheden of tot turbulenties kunnen leiden. In die zin kan het verschuiven van de turbine op het beoogde dak aanzienlijke effecten hebben op de energieopbrengsten. Verschillende leveranciers kunnen een CFD-simulatie maken van de luchtstroming boven het dak, maar de beste manier om deze effecten in kaart te brengen is door een windmeting op locatie te laten verrichten.

5.2.3 Dakvorm

Bij gebouwen met een koepelvormig dak of een hellende gevel krijgt de luchtstroom een opwaartse versnelling. Deze kan een positieve invloed hebben op de werking van miniturbines. Een poging om gebruik te maken van de opwaartse versnelling is gedaan door het Engelse bureau Bill Dunster Architects (zie figuur 18). Het is nog niet in de praktijk gemeten hoe groot het effect van deze versnelling precies is op de energieopbrengsten van miniturbines. Met betrekking tot het ontwerp zoals afgebeeld in figuur 18 dient te worden opgemerkt dat de kans op verstoring (turbulenties) door balkons mogelijk groter zal zijn dan het positieve effect van de versnelling.



Figuur 18: Hellende gevel voor de windversnelling (Solar Urban Blocks, Leicester Abbey Park Road, Bill Dunster Architects ZEDfactory Ltd)

5.3 Turbineaspecten

5.3.1 Rotoroppervlak

Naast de windcondities ter plekke, speelt de grootte van de rotor ook een belangrijke rol bij de hoeveelheid opgewekte energie. Omdat het rotoroppervlak (A) bij HAT-turbines (wiekturbines) evenredig is met de tweede macht van de rotordiameter ($A = d^2 / 4 * \pi$), resulteert een verdubbeling van de rotordiameter in een verviervoudiging van de elektriciteitsopbrengsten. Bij VAT-turbines wordt het rotoroppervlak berekend als een product van de rotordiameter en de hoogte van de rotor. Daarom geldt voor deze turbines dat een verdubbeling van de rotordiameter of van de rotorhoogte leidt tot een verdubbeling van de energieopbrengsten.

5.3.2 Type turbine

Het theoretische maximum aan energie dat uit de luchtstroom kan worden opgenomen bedraagt 59,3 procent. Dit wordt het getal van Bets genoemd. In de praktijk ligt het maximaal rendement flink onder het getal van Bets. Het rendement van een bepaalde turbine wordt uitgedrukt als vermogensfactor (C_{pe}). Deze is afhankelijk van het type rotor. Modelberekeningen laten zien dat voor een HAT-rotor een C_{pe} geldt van 42 procent, voor een Darrieus-rotor een C_{pe} van 35 procent en voor een Savonius-rotor een C_{pe} van 12 procent.

5.3.3 Overige componenten

Behalve de bovengenoemde aspecten heeft ook de kwaliteit en de efficiency van de overige componenten, zoals de omvormer en het besturingssysteem, een belangrijke invloed op de energieopbrengsten van miniturbines. Ook is van belang of de turbine zelfstartend is, of dat er gebruik moet worden gemaakt van hulpspanning.

5.4 Vuistregel opbrengstberekening

Op dit moment worden miniturbines nog niet structureel gemonitord. Daarom is het niet bekend hoe ze presteren en hoe ver ze verwijderd zijn van hun maximale rendement. Binnen de branchevereniging is afgesproken dat voor het maken van opbrengstvoorspellingen zal worden uitgegaan van een specifieke opbrengst in de gebouwde omgeving van 200 kWh/m²/jaar (kilowattuur per vierkante meter rotoroppervlak per jaar). Uit de praktijk blijkt dat deze vuistregel goed werkt voor de HAT-turbines. Op basis van zowel de theorie (zoals genoemd in paragraaf 4.3.2) als de praktijkmetingen in Schoondijke blijkt dat de VAT-turbines lagere opbrengsten halen per vierkante meter rotoroppervlak. Turbines met een venturi zijn relatief nieuw. Daarom is nog niet bekend wat het effect daarvan is op de energieopbrengsten. Om turbines onderling op prestaties te kunnen vergelijken is het belangrijk dat de door de leverancier opgegeven opbrengstgegevens in de praktijk zijn bewezen of dat deze door een onafhankelijke expert zijn gevalideerd.

5.5 Milieuaspecten

Door de opwekking van duurzame elektriciteit met behulp van miniturbines, is minder elektriciteit nodig uit grote energiecentrales. Met elke opgewekte kWh windstroom wordt 0,566 kg CO₂ bespaard (bron: Cijfers en tabellen, Agentschap NL). Een turbine die jaarlijks 1.000 kWh opwekt, bespaart 0,566 ton CO₂ per jaar.

Omdat miniturbines nog niet seriematig worden toegepast, is niet bekend wat hun bijdrage zal zijn aan de verlaging van EPC (Energieprestatiecoëfficiënt) in de nieuwbouw.

De branchevereniging NWEA heeft onlangs opdracht gegeven voor de uitvoering van een zogenaamde life cycle analyse (LCA) van een aantal miniturbines. Daaruit zal onder andere blijken hoeveel tijd miniturbines nodig hebben om de energie die nodig was voor de productie van de turbines terug te verdienen.

5.6 Energiebalans

De elektriciteitsopbrengsten van miniturbines liggen, afhankelijk van de locatie en het type turbine, tussen 200 kWh en 5.000 kWh per jaar. Het jaarlijks verbruik van een gemiddeld Nederlands huishouden ligt op ongeveer 3.500 kWh per jaar. Om de effectiviteit van miniturbines te vergroten is het aan te raden om van tevoren energiebesparende maatregelen in het pand te treffen. Bij de toepassing van miniturbines op grote gebouwen zoals kantoren of flatgebouwen heeft het plaatsen van meerdere turbines de voorkeur. Met meerdere turbines is de kans groter dat er voldoende elektriciteit wordt opgewekt voor een bepaalde collectieve energiefunctie in het gebouw, bijvoorbeeld de verlichting van de garage, de trappenhuisen of de balkons. Dit zal vooral het geval zijn wanneer energiezuinige verlichting wordt gebruikt.



Figuur 19: Fotomontage van NS-gebouw in Den Haag met miniturbines (bron: Kristel Meijer 'Miniturbines in beweging', oktober 2005)

5.7 Ruimtelijke aspecten

Spoor, snel- en waterwegen lopen meestal door windrijke open gebieden. In die zin zijn deze infrastructurele lijnen geschikt voor het plaatsen van miniturbines, vooral in gebieden waar grote windturbines niet zijn toegestaan. Een voorwaarde is dat op deze locaties sprake is van elektriciteitsverbruik en/of aanwezigheid van het openbare net.

In de gebouwde omgeving, met name oude stadskernen, kunnen miniturbines als storend worden ervaren. Dat kan ook het geval zijn in stiltegebieden waar geen andere bewegende elementen aanwezig zijn. In die zin passen miniturbines het beste in moderne nieuwbouwggebieden met veel hoge gebouwen en een hightech uitstraling. Ook open verkeerspunten, bedrijventerreinen, industriegebieden en andere gebieden waar veel beweging aanwezig is lenen zich goed voor het plaatsen van miniturbines.

Visueel gezien leveren meerdere turbines op één gebouw een rustiger beeld op dan slechts één turbine. Figuur 19 illustreert de toepassing van meerdere turbines op een gebouw. Turbines kunnen ook worden gebruikt om bepaalde architectonische elementen of het karakter van het gebouw beter tot uitdrukking te laten komen.

5.8 Bouwkundige aspecten

5.8.1 Dakbelastingen

Bij de toepassing van miniturbines moet men rekening houden met statische en dynamische belastingen van turbines op het dak en de dakconstructie. Het is in alle gevallen noodzakelijk om een constructeur te laten beoordelen of de dakconstructie de belastingen, zoals deze door de leverancier zijn opgegeven, kan verdragen. De praktijk leert dat een betonnen dak de belastingen van miniturbines vrijwel altijd kan dragen. In andere gevallen zal worden gekeken of de toepassing van een secundair frame afdoende zekerheid kan bieden voor de draagkracht van de dakconstructie (zie ook hoofdstuk 3.4 'Mastuitvoeringen en verankering'). Bij bestaande gebouwen met een houten dakconstructie wordt het plaatsen van miniturbines afgeraden omdat de aanpassingskosten te hoog worden.

5.8.2 Trillingen en contactgeluid

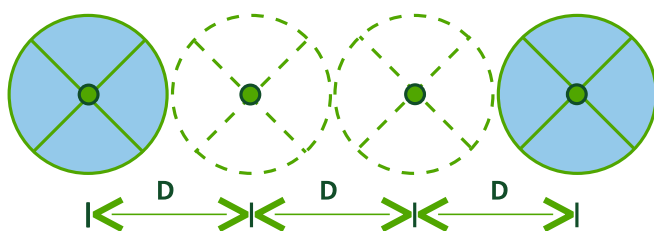
Doordat de rotor draait ontstaan er trillingen in de mast. Hoe langer de mast des te sterker de trillingen zullen zijn. In gevallen waar de dakbedekking niet van massief beton is, en vooral als er metalen constructies of beplating in de buurt zijn, is het mogelijk dat de trillingen worden overgedragen en er een contactgeluid ontstaat. Dit kan worden voorkomen door de toepassing van rubberen geluidsdempers onder de bevestigingsvoet van miniturbine. Een ander effect van trillingen is dat bij bevestiging op een andere soort ondergrond dan beton (bijvoorbeeld metselwerk), deze ondergrond in de loop van de tijd kan worden losgetrild. Daarom wordt afgeraden om miniturbines langs zijwanden of schoorstenen te bevestigen.

5.8.3 Benodigde ruimte en toegankelijkheid

Bij de plaatsing van miniturbines moet ook rekening worden gehouden met dakdoorvoeren voor de elektriciteitskabel, kabeltracé naar de ruimte waar de overige apparatuur (omvormer, verdeelkast en kWh-meter) geplaatst zal worden en met de fysieke ruimte die nodig is voor de apparatuur. In de meeste gevallen biedt de bestaande meterkast voldoende ruimte voor het plaatsen van deze apparatuur. De omvormer heeft de afmetingen van ongeveer $0,6 \times 0,4 \times 0,2$ m, maar omdat deze tijdens het bedrijf warm wordt, is er meer ruimte omheen nodig om warmte af te voeren. Zowel de turbine als de hulpapparatuur dienen altijd toegankelijk te zijn.

5.9 Onderlinge afstand bij plaatsing van meerdere turbines

In geval van de plaatsing van meerdere turbines op het dak moet er rekening worden gehouden met een afstand tussen de turbines zodat ze elkaar niet verstoren. Op dit moment zijn er nog weinig ervaringen met het plaatsen van meerdere turbines naast elkaar. Enkele leveranciers van VAT-turbines hanteren een minimale afstand van drie rotordiameters. Deze situatie is in figuur 20 weergegeven. Bij de grote turbines wordt een afstand van vijf rotordiameters aangehouden.



Figuur 20: Onderlinge afstand bij de plaatsing van meerdere miniturbines

6 Financiële aspecten

Voor het beoordelen van de kosten en baten van miniturbines is het belangrijk om alle kosten en baten goed in beeld te brengen. Aan de kostenkant staan de totale investeringen, operationele kosten en/of onderhoudskosten. De baten bestaan uit de bespaarde elektriciteitskosten. In de volgende paragrafen worden de kostenposten verder toegelicht.

6.1 Investeringskosten en overige eenmalige kosten

De investeringskosten voor miniturbines variëren, afhankelijk van het turbintype, tussen € 6.000 en € 35.000. De investeringskosten bevatten de volgende componenten: turbine, mast van een gemiddelde lengte en de bijbehorende basisapparatuur. In de bijlage zijn de investeringskosten genoemd per type turbine. De kosten van transport, montage en BTW zijn daarbij niet inbegrepen. Ook de extra kosten van bijvoorbeeld een extra lange mast, eventuele speciale draagconstructie, bruto productiemeter en/of display voor de presentatie van de opbrengstresultaten, eventuele toepassing van bliksembeveiliging en het onderzoek naar de draagkracht van de dakconstructie zijn niet inbegrepen in de basisprijs.

Een slecht bereikbare locatie kan tot additionele montagekosten leiden doordat er speciale hulpmiddelen aan te pas moeten komen. Bij locaties aan drukke straten moet rekening worden gehouden met verkeersomleiding en/of reservering van een aantal parkeerplaatsen tijdens de montagewerkzaamheden. Dit vergt extra organisatorische, logistieke en financiële inspanningen.

Daarnaast moet ook rekening worden gehouden met de legeskosten en de eventuele onderzoekskosten die voor sommige locaties, op verzoek van de vergunningverlener, moeten worden gemaakt (bijvoorbeeld een onderzoek naar effecten op flora en fauna of het maken van de ruimtelijke onderbouwing).

6.2 Onderhoudskosten

Er is nog geen duidelijkheid over de exacte hoogte van de onderhoudskosten. Vrijwel alle leveranciers noemen hun turbine 'onderhoudsvrij' of 'onderhoudsarm'. Maar de turbines moeten wel jaarlijks visueel gecontroleerd worden en sommige types moeten ook worden gesmeerd. Daarnaast moet er rekening worden gehouden met vervanging van de omvormer gedurende de levensduur van de turbine (meestal na ongeveer 10 jaar). Alle leveranciers noemen een levensduur van vijftien jaar voor hun miniturbines.

Verder moet de leverancier inzichtelijk maken of de turbine gebruik maakt van hulpspanning bij het opstarten. In dat geval moet het eigen verbruik in mindering worden gebracht bij de jaarlijkse energieopbrengsten van de turbine.

6.3 Jaarlijkse besparingen

De financiële baten van een miniturbine worden bepaald door de hoeveelheid opgewekte kilowatturen en het tarief dat de eigenaar van de turbine betaalt aan zijn leverancier. Het inkooptarief voor huishoudens bedraagt begin 2010 gemiddeld 0,22 €/kWh. De baten kunnen worden berekend volgens de formule:

$$\text{Jaarlijkse besparingen (€)} = (\text{hoeveelheid opgewekte energie (kWh)} - \text{eigen verbruik turbine (kWh)}) \times \text{inkooptarief (€/kWh)} - \text{jaarlijkse onderhoudskosten (€)}$$

Volgens de huidige wettelijke regeling (artikel 31c van de Elektriciteitswet 1998) mag het overschot opgewekte elektriciteit dat niet ter plekke wordt verbruikt, gevoed worden aan het openbare net tot een maximum van 3.000 kWh/jaar. Daarbij wordt de teruggeleverde elektriciteit tegen het inkooptarief verrekend (gesaldeerd) met de gekochte hoeveelheid elektriciteit.



Figuur 21: Voorbeelden van de toepassing van miniturbines als communicatiemiddel

Nast de directe financiële besparingen kijken sommige investeerders ook naar de indirecte baten die voortvloeien uit het gebruik van miniturbines, bijvoorbeeld voor communicatiedoeleinden. Bij gemeenten en provincies gaat het om een voorbeeldfunctie die op deze manier zichtbaar wordt vervuld. Bij commerciële partijen gaat het om het vestigen van een duurzaam imago (zie voorbeelden in figuur 21). Om die redenen kiezen sommige partijen voor de financiering van miniturbines uit het promotiebudget.

6.4 Stimuleringsmaatregelen

Op dit moment bestaan nog geen specifieke stimuleringsmaatregelen voor miniturbines. Dat heeft te maken met het feit dat een nieuwe technologie is die nog zeer kleinschalig wordt toegepast. Wel kan men gebruikmaken van de reguliere stimuleringsmaatregelen voor duurzame energie zoals de EIA- en de SDE-regeling voor grote windturbines. De branchevereniging NWEA voert overleg met het ministerie van EZ over de invoering van een regeling voor miniturbines.

6.4.1 Energie Investeringsaftrek

De EIA-regeling is een fiscale regeling voor bedrijven die het mogelijk maakt om investeringen in duurzame energie in mindering te brengen op de vennootschapsbelasting. De netto korting door de EIA bedraagt ongeveer 11 procent van de totale investeringskosten. Voor mini windturbines met een nominaal vermogen kleiner dan 25 kW bedraagt de maximale investeringsaftrek € 3.000.

6.4.2 SDE-regeling

Binnen de SDE-regeling (Stimulering Duurzame Energieproductie) is het mogelijk om bij de toepassing van miniturbines gebruik te maken van de subsidieregeling voor grote windturbines. Het subsidiebedrag voor 2010 bedraagt 0,068 €/kWh (*bron: http://www.agentschapnl.nl/sde/wind_op_land/index.asp*). De vergoeding wordt verrekend over de hoeveelheid van de aan het net geleverde energie. Aangezien het overgrote deel van de opgewekte elektriciteit ter plekke wordt benut en de SDE-vergoeding zo laag is, heeft de aanvraag van SDE-subsidie voor miniturbines weinig zin.

6.4.3 Lokale subsidies

In de voorgaande jaren hebben sommige provincies en gemeenten een subsidieregeling gehad voor miniturbines. Zo konden de inwoners van de provincie Noord-Holland een subsidie ontvangen van € 950 per kW geïnstalleerd vermogen voor miniturbines onder de 3 kW. Informatie over de maatregel is te vinden op: <http://www.co2-servicepunt.nl>
Deze regeling is ook in 2010 voortgezet.

7 Contractuele afspraken met de leveranciers

Het is wenselijk om met de leverancier afspraken te maken over de kwaliteit van de geleverde installatie. In de volgende paragrafen noemen we de verschillende mogelijkheden. Voor alle opties geldt dat de afspraken van tevoren contractueel moeten worden vastgelegd.

7.1 Toepassing van proefbedrijfprotocol

De leverancier biedt een protocol aan voor de officiële ingebruikname van de turbine. Meestal wordt afgesproken dat de turbine, na de inbedrijfstelling, eerst in proefbedrijf wordt genomen voor bijvoorbeeld een week. Voor deze periode wordt een percentage van beschikbaarheid (bijvoorbeeld 96 procent) afgesproken dat gehaald moet worden. De officiële overname volgt nadat de proefperiode succesvol is afgerond.

7.2 Garanties

De leverancier biedt garantie aan voor het functioneren van miniturbine. Het kan gaan om:

- een systeemgarantie voor bijvoorbeeld vijf jaar;
- een minimale opbrengstgarantie in kWh/jaar bij een bepaalde gemiddelde windsnelheid. Men kan een beroep doen op deze garantie onder voorwaarde dat zowel de energieopbrengsten, alsook het windaanbod worden gemeten;
- een beschikbaarheidgarantie in procenten gedurende een aantal jaren.

Bovengenoemde afspraken gaan meestal samen met het afsluiten van een servicecontract. Hierin spreken de partijen af binnen hoeveel dagen de leverancier moet reageren en binnen hoeveel dagen de storing verholpen moet worden. Ook staat erin welke boete staat op het niet (kunnen) verlenen van de service.

Bovengenoemde afspraken gaan meestal samen met het afsluiten van een servicecontract. Hierin spreken de partijen af binnen hoeveel dagen de leverancier moet reageren en binnen hoeveel dagen de storing verholpen moet worden. Ook staat erin welke boete staat op het niet (kunnen) verlenen van de service.

8 Veiligheidsaspecten

8.1 Veiligheid en geluidsproductie

Miniturbines moeten voldoen aan een aantal internationale en nationale normen en richtlijnen. Deze worden regelmatig vernieuwd. Op dit moment worden de volgende normen gehanteerd:

- IEC - EN - NEN 61400-2 (2006), ontwerpisen voor kleine windturbines;
- IEC - EN - NEN 61400-11 (2003) + A1 (2006), meettechnieken voor akoestisch geluid;
- IEC – EN 61400-12-1 (2006), power performance measurements of Electricity producing wind turbines;
- EN 1991 – 1 – 4, belastingen op constructies - Windbelasting;
- BWEA rapport: Small Wind Turbine performance and Safety Standard (2008);
- NVN 11400 - 0: 1999, voorschriften voor typecertificatie - Technische eisen;
- NEN 6700:2005/A1: 2008, technische grondslagen voor bouwconstructies;
- NEN 6702:2007/A1: 2008, belastingen en vervormingen;
- NEN 6720: 1995 nl, voorschriften Beton - Constructieve eisen en rekenmethoden
- CE-markering, 93/68/EEC.

Bij de beoordeling van de tekeningen die bij de bouwaanvraag worden ingediend, gelden de volgende normen:

- NEN 2302: 1983, constructietekeningen in de bouw;
- NEN 47: 1970, materiaalaanduidingen op bouwkundige tekeningen.

De meeste leveranciers geven aan dat hun turbines aan de bovengenoemde normen voldoen. De beste manier om er achter te komen of ze inderdaad aan de normen voldoen is het laten certificeren van turbines door een onafhankelijke instantie. Certificering is een langdurige en kostbare aangelegenheid. Een bijkomend probleem is dat in Nederland geen instellingen bestaan die officieel bevoegd zijn om miniturbines te certificeren. Om op korte termijn zekerheid aan de markt te bieden, heeft Agentschap NL de Nederlandse Beoordelingsrichtlijn ontwikkeld. De bedoeling was om, vooruitlopend op de certificering, de turbines door een Nederlandse partij volgens deze richtlijn te laten beoordelen. Turbines die aan de Beoordelingsrichtlijn voldoen krijgen een 'Kleinwind-keur'. In januari 2010 heeft één leverancier concrete stappen ondernomen om zijn turbines in het buitenland officieel te laten certificeren. Verwacht wordt dat de overige leveranciers op korte termijn actie zullen ondernemen in de richting van certificering of beoordeling. Daarmee zal met voldoende zekerheid

worden aangetoond dat turbines veilig zijn en geen geluidsoverlast produceren.

8.2 Betrouwbaarheid

Uit proefprojecten tot nu toe blijkt dat miniturbines nog niet helemaal storingsvrij zijn. Voor een deel heeft dat te maken met het feit dat de techniek nog niet helemaal uitontwikkeld is.

8.3 Flikkering

Flikkering ontstaat doordat het licht van de rotorbladen wordt gereflecteerd. In het verleden was dit een veel voorkomend probleem bij grote windturbines. Tegenwoordig worden de wieken behandeld met antireflectie-coating waardoor flikkering niet meer voor komt. Deze coating wordt ook op de bladen van miniturbines toegepast.

8.4 Slagschaduw

Als de zon de rotor van een grote windturbine belicht, leidt dit tot een bewegende schaduw. Doordat de wieken van een grote windturbine heel lang zijn (30 tot 50 meter) en dus een lange schaduw kunnen maken en bovendien relatief langzaam bewegen (20 omwentelingen per minuut), kan deze schaduw door mensen als hinderlijk worden ervaren, of zelfs tot epileptische aanvallen leiden. Miniturbines kunnen geen slagschaduw maken. Enerzijds heeft dat te maken met een korte en smalle wiek (maximale wieklengte is 2,5 meter) en anderzijds door een hoog aantal (150 tot 400) omwentelingen per minuut. Met andere woorden: de wieken van een miniturbine zijn te klein en draaien te snel om een hinderlijke schaduw te kunnen veroorzaken.

8.5 Vogelsterfte

Wanneer het vermoeden bestaat dat miniturbines gevaarlijk kunnen zijn voor overvliegende vogels of vleermuizen, eist de vergunningverlener om een flora en faunaonderzoek te laten doen door een deskundige partij. Daaruit moet blijken of de risico's voor de vogelsterfte op de desbetreffende locatie acceptabel zijn.

9 Sociale aspecten

De toepassing van windturbines gaat gepaard met weerstand van de omwonenden: het zogenaamde NIMBY-effect (not in my backyard). Daarbij worden de volgende argumenten gebruikt: onveilig, geluidsoverlast, slagschaduw, flikkering, horizonvervuiling en waardedaling van de koopwoningen in de buurt.

Hoewel de meeste van de genoemde bezwaren relatief makkelijk met argumenten kunnen worden ontkracht (zie de voorgaande paragrafen), moeten deze bezwaren wel serieus worden opgevat en vanaf het begin structureel worden behandeld. Mensen moeten vertrouwen hebben dat ze serieus worden genomen. De ervaringen met grote turbines leren dat overleg, informatieverstrekking en participatie in veel gevallen tot positieve uitkomsten leiden. Dat is dan ook de gewezen weg voor de aanpak van deze problemen bij de toepassing van miniturbines.

10 Vergunningen

Miniturbines zijn regulier vergunningplichtig. Het indienen van een aanvraag gaat volgens een landelijk vastgesteld protocol. Per 1 oktober 2010 is de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht (Wabo) in werking getreden. Daarmee zijn aparte trajecten voor de bouw- en milieuvergunning voor miniturbines samengevoegd tot één aanvraag.

10.1 Omgevingsvergunning

De partijen kunnen via <https://www.omgevingsloket.nl/#> zien welke procedure ze moeten volgen en hun vergunning direct bij het digitale loket aanvragen. Via dezelfde link is het ook mogelijk om eerst een conceptaanvraag te maken en deze tijdens een vooroverleg bij de gemeente te bespreken. Het vooroverleg heeft geen officiële status, maar verkleint het risico dat een aanvraag wordt ingediend die later zal worden afgewezen. De beoordeling van bouwaanvragen verloopt in stappen. Per stap wordt de aanvraag getoetst aan de daarvoor geldige regelgeving. Hieronder volgt een korte beschrijving per stap.

10.2 Bestemmingsplan

In bestemmingsplannen wordt de bestemming bepaald en de maximale bouwhoogte in een bepaald gebied. Door het plaatsen van miniturbines wordt de toegestane hoogte in de meeste gevallen overschreden. Dit kan leiden tot afwijzing, of er moet een ontheffingsprocedure volgens de Wro (Wet ruimtelijke ordening) worden gevolgd.

Ontheffingsmogelijkheden

De wet biedt een aantal mogelijkheden voor een planologische ontheffing, namelijk:

- kruimelontheffing of buitenplanse ontheffing (art. 3.23 Wro);
- binnenplanse ontheffing (art. 3.6, lid 1 c Wro);
- tijdelijke ontheffing voor maximaal 5 jaar (art. 3.22 Wro);

Vanuit de positie van de aanvrager is een kruimelontheffing de meest aantrekkelijke optie.

In het kader van de Crisis- en Herstelwet heeft het ministerie van VROM een pilot opgestart waarbinnen miniturbines in gemeenten Utrecht, Amersfoort, Houten, Woerden en Nieuwegein volgens een aangepaste procedure kunnen worden geplaatst. Deze houdt in dat miniturbines op en nabij bebouwing, bestemd voor eigen verbruik en geplaatst op een niet gevoelige bestemming (zoals bedrijventerreinen), een kruimelontheffing zullen krijgen. Een voorwaarde is dat de toegepaste miniturbines niet hoger zijn dan 10 m gemeten vanaf de voet en voldoen aan IEC 61400-12 (2006) norm of gecertificeerd zijn volgens de standaarden van de American

Wind Energy Association (AWEA) of de British Wind Energy Association (BWEA) of het Kleinwind keur hebben op basis van de Nederlandse beoordelingsrichtlijn Kleine Windturbines. Het besluit experimenten mini-turbines is gepubliceerd in het Staatsblad van juli 2010. Langs deze weg zal worden uitgezocht of het mogelijk is miniturbines in de toekomst op de kruimellijst op te nemen.

10.3 Welstand

Miniturbines worden beoordeeld in de context van de architectuur van het pand waarop ze geplaatst worden, de omgeving en/of de kwaliteit van de openbare ruimte. Bij de meeste gemeenten bevatten de huidige welstandsnota's geen duidelijke richtlijnen en/of criteria voor de beoordeling van miniturbines.

Om de toepassing van miniturbines mogelijk te maken zou de welstand een toetsingskader moeten bepalen waarin staat beschreven in welke delen van de gemeente de plaatsing van turbines niet wenselijk is en waar dat, onder voorwaarden, wel mogelijk is. Daarbij kan men kijken naar de locaties waar miniturbines visueel acceptabel zijn of een bijdrage kunnen leveren aan de moderne of hightech uitstraling van de architectuur of het accentueren van de ontwerplijnen van gebouwen en de ruimte. Daarnaast zou ruimte moeten komen voor de plaatsing van miniturbines in delen van de gemeente waar veel beweging aanwezig is. Voorbeelden daarvan zijn industriële omgevingen, bedrijventerreinen, buitengebieden en verkeersroutes.

De ervaring leert dat de welstand geneigd is om windturbines buiten het zicht te houden. In dat kader wordt vaak gevraagd om turbines naar het midden van het dak te verschuiven. Echter, met het oog op de energieopbrengsten is de plaats aan de rand van het dak in de zuidwestelijke richting het meest aantrekkelijk. Bij de plaatsing midden op het dak zijn veel hogere masten nodig om het opbrengstniveau enigszins te behouden.

10.4 Bouwbesluit

In het kader van het Bouwbesluit wordt een technische veiligheidstoets gedaan. Daarbij wordt gekeken naar de veiligheidsaspecten van de gehele configuratie van de turbine en de bijbehorende constructies. Tevens naar de optredende belastingen die van invloed kunnen zijn op het gebouw waar de turbine komt. In dat kader moeten indieners een volledige technische onderbouwing meeleveren.

10.5 Milieuvergunning

In dit kader worden de windturbines getoetst aan de Wet milieubeheer. In de praktijk is een vrijstellingstraject aan de orde voor turbines die aan Besluit voorzieningen en installaties milieubeheer (de zogenaamde AMvB: Algemene Maatregel van Bestuur) voldoen.

10.6 Doorlooptijd projecten

Bij het maken van projectplanning voor de toepassing van miniturbines moet men rekening houden met de doorlooptijd die nodig is voor het verkrijgen van vergunningen. Afhankelijk van de gemeente en van het gekozen besluitvormingstraject, neemt het vergunningstraject 3 tot 6 maanden in beslag. Het afhandelen van de eventuele bezwaren van omwonenden is daarbij niet meegerekend.

10.7 Vaak voorkomende knelpunten bij vergunningverlening

De meest genoemde knelpunten zijn:

- de aanvragen worden incompleet ingediend;
- de vergunningverlener beschikt niet over achtergrondinformatie omtrent miniturbines.

Om het indienen van incomplete aanvragen te voorkomen en om meer gevoel te krijgen voor het toetsingskader, kan de indiener gebruikmaken van de mogelijkheden om zijn aanvraag van tevoren met de vergunningverlener te bespreken. De mogelijkheden voor een vooroverleg verschillen per gemeente.

Aan de hand van praktische ervaringen blijkt dat in veel gevallen de volgende documentatie wordt gevraagd:

- technische specificaties van de te plaatsen windturbine;
- informatie over de geluidsproductie van de turbine (geluidsrapport);
- technische beschrijving van de bevestigingsconstructie; visuele impressie van de turbine (een foto met daarop de gefotoshopte turbine);
- aanzichttekening van het gebouw met daarop de hoogtes van het gebouw en van de turbine;
- situatieschets met daarop de plaats van de turbine.

11 *Stappenplan voor de plaatsing van miniturbines*

1. Locatiebeoordeling: maak gebruik van de quickscan in figuur 16.
2. Voorselectie windturbines: kies twee of drie verschillende leveranciers uit het overzicht in de bijlage.
3. Aanvraag offertes op maat: maak afspraken met de leveranciers om de locatie te komen bekijken en een offerte op maat uit te brengen. Vraag aan de leverancier of de locatie geschikt is voor zijn type turbine. Laat de leverancier ook een inschatting maken van de verwachte opbrengsten. Stel ook vragen over de eventuele extra kosten (zie hoofdstuk 6 'Financiële aspecten'), garanties en beheer en onderhoud (zie ook paragraaf 7.2 'Garanties').
4. Onderzoek naar de draagkracht van het dak: laat een constructeur de dakconstructie beoordelen aan de hand van de genoemde belastingen in de offertes.
5. Onderzoek naar de financieringsmogelijkheden bij de gemeente, provincie en/of Agentschap NL.
6. Besluitvorming 'go-no go': als het dak de belastingen kan verdragen, maak dan een financiële berekening aan de hand van de investeringskosten en de verwachte energieopbrengsten zoals de leverancier ze heeft berekend. Houd hier ook rekening met de kostenposten die niet in de offerte zijn genoemd (zie hoofdstuk 6 'Financiële aspecten').
7. Overleg met omwonenden: het is aan te raden om de omwonenden te informeren over de voorgenomen plaatsing van miniturbines en wat dat voor hen zal betekenen. Op deze manier is de kans groter dat zij de turbines accepteren en geen bezwaar zullen maken tijdens de vergunningsprocedure.
8. Het indienen van de bouwaanvraag: maak gebruik van de mogelijkheid voor het vooroverleg met de vergunningverlener. Zorg ervoor dat de aanvraag compleet is, want incomplete aanvragen zorgen voor onnodige vertragingen.
9. Aanschaf en plaatsing: na ontvangst van de bouwvergunning kan de opdracht worden verleend voor de levering en plaatsing van de miniturbine. Maak in dit kader duidelijke afspraken met betrekking tot leveringsvoorwaarden, garanties, aansprakelijkheden en verantwoordelijkheden, monitoring, beheer en onderhoud.
10. Monitoring, beheer en onderhoud: houd de elektriciteitsopbrengsten van de turbines in de gaten. Het beheer en onderhoud kan door de eigenaar zelf gebeuren of door de leverancier (via een onderhoudscontract).

Monitoring van de opbrengsten kan op verschillende manieren:

- via de omvormer (sommige omvormers hebben een teller voor de opgewekte kWh) of op afstand (via de PC en/of via een aparte display);
- via een bruto kWh-meter, speciaal voor het meten van de elektriciteitsopbrengsten (zie paragraaf 2.3 'Elektrische installatie').

12 Bijlage

In de bijlage is een overzicht gemaakt van miniturbines die begin 2010 op de Nederlandse markt te koop zijn. Omdat de aanbodmarkt van miniturbines met de dag groter wordt, bestaat er een kans dat het overzicht niet compleet is. De genoemde data zijn verkregen via de leveranciers en/of distributeurs van turbines.

De genoemde vermogens in het overzicht zijn vermogens bij een windsnelheid van 10 tot 12 m/s. De meeste turbines bereiken bij deze windsnelheid hun nominaal vermogen. Dit vermogen is lager dan het zogenaamd piekvermogen (het maximaal vermogen dat wordt bereikt bij een hogere windsnelheid). Doordat sommige leveranciers in hun folders slechts het piekvermogen noemen, is het genoemde vermogen in de bijlage lager dan de leverancier in de informatiefolder vermeldt.

De prijzen in het overzicht behelzen de materiaalkosten van een basisinstallatie, exclusief de BTW, het transport en de montagekosten. De totale investeringskosten zijn afhankelijk van de locatie (masthoogte, transport en montagekosten), wensen van de klant wat betreft monitoring en beveiliging en specifieke eisen van de vergunningverlener. Meer informatie staat in hoofdstuk 6 'Financiële aspecten'.



ENERGY BALL V100

Vermogen*	0,15 kW
Rotor diameter	1 meter
Rotor hoogte	n.v.t.
Rotor oppervlak	1 m ²
Mast hoogte	9,11 meter
Kosten**	€ 3.500
Leverancier	HomeEnergy T +31 (0)23 558 00 22 www.homeenergy.nl/contact.php



TWFI-1.6

Vermogen*	0,6 kW
Rotor diameter	1,6 meter
Rotor hoogte	n.v.t.
Rotor oppervlak	2 m ²
Mast hoogte	6-18 meter
Kosten**	€ 5.900
Leverancier	The Wind Factory International b.v. T +31 (0)20 342 21 37 info@thewindfactory.com



PIQO

Vermogen*	0,65 kW
Rotor diameter	1,32 meter
Rotor hoogte	n.v.t.
Rotor oppervlak	1,37 m ²
Mast hoogte	3-14 meter
Kosten**	€ 6000
Leverancier	Everkinetiq T +31 (0)17 441 21 14 info@everkinetig.com



ENERGY BALL V200

Vermogen*	0,7 kW
Rotor diameter	1,98 meter
Rotor hoogte	n.v.t.
Rotor oppervlak	3,8 m ²
Mast hoogte	12, 15 meter
Kosten**	€ 7.100
Leverancier	HomeEnergy T +31 (0)61 523 95 16 www.homeenergy.nl/contact.php



ROPATEC EASY VERTICAL

Vermogen*	0,75 kW
Rotor diameter	1,8 meter
Rotor hoogte	1,15 meter
Rotor oppervlak	2 m ²
Mast hoogte	5,7-10,5 meter
Kosten**	€ 12.000
Leverancier	Ropatec T +31 (0)64 134 84 68 info@ropatec.com



TWFI-3.0

Vermogen*	0,95 kW
Rotor diameter	3,1 meter
Rotor hoogte	n.v.t.
Rotor oppervlak	7,65 m ²
Mast hoogte	12-18 meter
Kosten**	€ 8,900
Leverancier	The Wind Factory International b.v. T +31 (0)20 342 21 37 info@thewindfactory.com



FORTIS, PASSAT

Vermogen*	1 kW
Rotor diameter	3,12 meter
Rotor hoogte	n.v.t.
Rotor oppervlak	7,6 m ²
Mast hoogte	12-18 meter
Kosten**	€ 6.600
Leverancier	GreenChoice T +31 (0)10 478 23 26 richardvanpelt@greenchoice.nl



RAUM

Vermogen*	1,3 kW
Rotor diameter	2,9 meter
Rotor hoogte	n.v.t.
Rotor oppervlak	6,8 m ²
Mast hoogte	variabel meter
Kosten**	€ 8.000
Leverancier	FENERGY T +31 (0)70 325 32 32 frans@fenergy.nl



SWIFT

Vermogen*	1,5 kW
Rotor diameter	2,1 meter
Rotor hoogte	n.v.t.
Rotor oppervlak	3,14 m ²
Mast hoogte	variabel meter
Kosten**	€ 8.000
Leverancier	Swiftwindmolen T +31 (0)88 808 07 50 info@swiftwindmolen.nl



DONQI

Vermogen*	1,75 kW
Rotor diameter	1,5 meter
Rotor hoogte	n.v.t.
Rotor oppervlak	1,77 m ²
Mast hoogte	3,5-11,5 meter
Kosten**	€ 6.500
Leverancier	DonQI Quandary Innovations T +31 (0)62 181 41 16 info@donqi.eu



SKYSTREAM 3,7

Vermogen*	1,8 kW
Rotor diameter	3,72 meter
Rotor hoogte	n.v.t.
Rotor oppervlak	10,87 m ²
Mast hoogte	variabel meter
Kosten**	€ 10.000
Leverancier	Eco-energy T +31 (0)23 537 14 70 info@rietpol.nl



ROPATEC SIMPLY VERTICAL

Vermogen*	2,5 kW
Rotor diameter	3,3 meter
Rotor hoogte	2 meter
Rotor oppervlak	6,6 m ²
Mast hoogte	5,7-10,5 meter
Kosten**	€ 21.000
Leverancier	Ropatec T +31 (0)64 134 84 68 info@ropatec.com



WES5 TULIPO

Vermogen*	2,5 kW
Rotor diameter	5 meter
Rotor hoogte	n.v.t.
Rotor oppervlak	19,6 m ²
Mast hoogte	6-12 meter
Kosten**	€ 21.800
Leverancier	The Wind Factory International b.v. T +31 (0)20 342 21 37 info@thewindfactory.com



TWFI-5.0

Vermogen*	2,7 kW
Rotor diameter	5 meter
Rotor hoogte	n.v.t.
Rotor oppervlak	19,63 m ²
Mast hoogte	12-24 meter
Kosten**	€ 17.500
Leverancier	The Wind Factory International b.v. T +31 (0)20 342 21 37 info@thewindfactory.com



PROVEN 7

Vermogen*	2,8 kW
Rotor diameter	3,5 meter
Rotor hoogte	n.v.t.
Rotor oppervlak	9,6 m ²
Mast hoogte	6,5 en 11 meter
Kosten**	€ 15.000
Leverancier	BCON Energy Systems T +31 (0)16 665 43 35 info@bcon-energysystems.nl



TURBY	
Vermogen*	2,8 kW
Rotor diameter	2,2 meter
Rotor hoogte	2,65 meter
Rotor oppervlak	5,83 m ²
Mast hoogte	5-12 meter
Kosten**	€ 17.000
Leverancier	Turby b.v. T +31 (0)57 325 63 58 info@turby.nl



WINDSIDE WS-4B	
Vermogen*	3 kW
Rotor diameter	1 meter
Rotor hoogte	4
Rotor oppervlak	4 m ²
Mast hoogte	variabel meter
Kosten**	€ 30.000
Leverancier	SET energy & tractie T +31 (0)49 252 30 08 info@set.nl



FORTIS MONTANA	
Vermogen*	4 kW
Rotor diameter	5 meter
Rotor hoogte	n.v.t.
Rotor oppervlak	19,6 m ²
Mast hoogte	12-24 meter
Kosten**	€ 15.000
Leverancier	GreenChoice T +31 (0)10 478 23 26 richardvanpelt@greenchoice.nl



QR5

Vermogen*	4,2 kW
Rotor diameter	3,1 meter
Rotor hoogte	5 meter
Rotor oppervlak	15,5 m ²
Mast hoogte	3-15 meter
Kosten**	€ 42.000
Leverancier	Enicon T +31 (0)73 644 21 58 info@enicon.nl



ROPATEC MAXI VERTICAL

Vermogen*	5 kW
Rotor diameter	4,7 meter
Rotor hoogte	2,5
Rotor oppervlak	11,75 m ²
Mast hoogte	6-10,5 meter
Kosten**	€ 25.900
Leverancier	Ropatec T +31 (0)64 134 84 68 info@ropatec.com



PROVEN 11

Vermogen*	6 kW
Rotor diameter	5,5 meter
Rotor hoogte	n.v.t.
Rotor oppervlak	23,75 m ²
Mast hoogte	9 en 15 meter
Kosten**	€ 24.000
Leverancier	BCON Energy Systems T +31 (0)16 665 43 35 info@bcon-energysystems.nl



TWFI-7.0

Vermogen*	6,6 kW
Rotor diameter	7 meter
Rotor hoogte	n.v.t.
Rotor oppervlak	38,5 m ²
Mast hoogte	18-36 meter
Kosten**	€ 35.100
Leverancier	The Wind Factory International b.v. T +31 (0)20 342 21 37 info@thewindfactory.com



FORTIS ALIZE

Vermogen*	10 kW
Rotor diameter	7 meter
Rotor hoogte	n.v.t.
Rotor oppervlak	38,5 m ²
Mast hoogte	18-36 meter
Kosten**	€ 32.000
Leverancier	GreenChoice T +31 (0)10 478 23 26 richardvanpelt@greenchoice.nl



Dit is een publicatie van:

Agentschap NL
NL Energie en Klimaat
Croeselaan 15
Postbus 8242 | 3503 RE Utrecht
T +31 (0) 88 602 77 13
www.agentschapnl.nl/duurzameenergie

© Agentschap NL | november 2010
Publicatie-nr. 2DENB1013

Agentschap NL is een agentschap van het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie. Agentschap NL voert beleid uit voor diverse ministeries als het gaat om duurzaamheid, innovatie en internationaal. Agentschap NL is hét aanspreekpunt voor bedrijven, kennisinstellingen en overheden. Voor informatie en advies, financiering, netwerken en wet- en regelgeving.

De divisie NL Energie en Klimaat versterkt de samenleving door te werken aan de energie- en klimaatoplossingen van de toekomst.