



Fachhochschule
Münster University of
Applied Sciences



HWK
HANDWERKSKAMMER
MÜNSTER

Regionale kleine windmolens in de EUREGIO

Eindverslag van het onderzoeks- en ontwikkelingsproject

looptijd: 01/01/2013 – 30/06/2014



juni 2014

Projectmanagement:



www.deutschland-nederland.eu

Co-Financiering door:



Auteurs:

Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter, Fachhochschule Münster

Dr.-Ing. Elmar Brüggling, Fachhochschule Münster

Jan Ortmann B.Eng., Fachhochschule Münster

Philipp Wiggers B.Eng., Fachhochschule Münster

Joke Emaus, Regio Achterhoek

Hajo Canter-Cremers, CC-Advies

Otto Willemsen, Coöperatie Synprofect UA

Frederik Wanink, DNL-contact GmbH & Co KG

| INHOUD | PAGINA |
|--|---------------|
| 1 Inleiding | 3 |
| 2 Kleine Windmolens | 4 |
| 2.1 Basis van het windenergiegebruik | 4 |
| 2.2 Types en bouwvormen | 5 |
| 2.3 Certificering | 10 |
| 3 Locaties | 12 |
| 3.1 Windmetingen | 12 |
| 3.2 Bestaande databronnen voor de locatiekeuze | 14 |
| 3.3 Opbrengstvoorspelling | 18 |
| 3.4 Grove potentiebepaling in het projectgebied | 19 |
| 3.5 Windpotentieelkadaster | 21 |
| 4 Technische Infrastructuur | 23 |
| 4.1 Integratie in een Smart Grid | 23 |
| 4.2 Correlatie met zonne-energie | 24 |
| 5 Juridische Voorwaarden | 27 |
| 5.1 Situatie in Duitsland | 27 |
| 5.2 Situatie in Nederland | 35 |
| 6 Kosten-batenanalyse | 41 |
| 6.1 Factoren voor een Kosten-Batenanalyse | 41 |
| 6.2 Voorbeelden van rentabiliteitsanalyses | 42 |
| 6.3 Conclusies uit de rentabiliteitsberekening | 50 |
| 6.4 Marktoverzicht | 51 |
| 6.5 Geschikte technologie voor het projectgebied | 58 |
| 7 Implementatie en Potentieel | 60 |
| 7.1 Toepassingsgebieden kleine windmolens | 60 |
| 7.1.1 Uitgangspunten | 60 |
| 7.1.2 Drijfveren voor duurzame energie | 60 |
| 7.1.3 Doelgroepen | 62 |
| 7.2 Wat moet worden onderzocht: houding t.o.v. kleine molens | 66 |

| | | |
|-------|--|----|
| 7.2.1 | Bewegingsfactoren voor kleine windmolens | 66 |
| 7.2.2 | Wanneer ligt een kleine windmolen voor de hand | 68 |
| 7.2.3 | Houding doelgroepen en NL/DE | 68 |
| 7.2.4 | Eerste verkenning: drijfveren voor kleine windmolens | 69 |
| 7.2.5 | Advies voor verder onderzoek | 70 |
| 7.3 | Wat moet worden gedaan om de beste benadering van de doelgroepen te vinden | 70 |
| 7.4 | Potentiële marktomvang/aantallen | 71 |
| 7.5 | Stappenplan voor marktintroductie kleine windmolens | 73 |
| 8 | Samenvatting | 75 |
| 9 | Opgaven | 78 |
| 9.1 | Literatuur | 78 |
| 9.2 | Afbeeldingen | 79 |
| 9.3 | Tabellen | 81 |
| 9.4 | Afkortingen | 82 |
| 9.5 | Formuletekens | 82 |

1 INLEIDING

Grote windmolens worden sinds een aantal jaar, in het bijzonder in Duitsland met voorkeur gerealiseerd. Ook vóór de windenergieboom in Duitsland en in Nederland werd windenergie al op kleinere schaal gebruikt. Uit film en televisie zijn bijvoorbeeld zogenoemde “Westernmills” bekend: simpele, kleine windmolens met een hoog aantal rotorbladen, die in de VS gebruikt werden en worden voor het pompen van grondwater. Maar ook op andere locaties zonder stroomaansluiting, bij voorbeeld op schepen of berghutten, zijn al langer kleinere windmolens te vinden.

Door een stijging van de stroomprijzen wordt het zelf-opwekken en –gebruiken nu ook in goed ontsloten streken, zowel voor privé- als ook voor commercieel gebruik interessant. De laatste jaren werden gekenmerkt door PV (fotovoltaïsch), maar inmiddels worden kleine windmolens steeds meer ook door huiseigenaren en bedrijven ontdekt. Het voordeel hiervan is duidelijk: wind waait meestal wanneer de zon niet schijnt en andersom. Vooral ’s avonds laat en ’s nachts kan men de energiebehoefte gedeeltelijk met zelf opgewekte stroom voorzien. Er ontstaan echter nieuwe problemen en belemmeringen die bij zonne-energie niet voorkomen.

Dit rapport belicht alle aspecten van het onderwerp kleine windmolens, met de focus op de Duits-Nederlandse projectregio dicht bij de grens, om deze problemen te kunnen identificeren. Verder wordt de principiële geschiktheid van verschillende bouwwijzen en maten onderzocht, zowel vanuit technisch als ook vanuit economisch oogpunt. Belangrijke aspecten zijn de vergunningsprocedures en vergoedingsstructuren aan de Nederlandse en aan de Duitse kant. In het maatschappelijk relevante deel van dit onderzoek worden de doelgroepen voor kleine windmolens door middel van verschillende factoren geïdentificeerd. Naast de locatie en de rentabiliteit spelen factoren, zoals een groen imago, persoonlijke overtuiging van een bedrijf en de milieuvriendelijkheid van een windmolen een belangrijke rol.

Afsluitend worden aanbevelingen gegeven voor de verdere aanpak voor de ontwikkeling van kleine windmolens in Nederland en in Duitsland.

2 KLEINE WINDMOLENS

2.1 Basis van het windenergiegebruik

Het gebruik van windenergie is geen hedendaagse uitvinding. Al in de oudheid gebruikten mensen zeilen om hun schepen voort te bewegen of om bijvoorbeeld water te pompen of graan fijn te malen. Hiervan is ook het vaak nog gebruikte begrip windmolen afkomstig.

Onder andere door stijgende energie- en grondstofkosten worden molens pas de laatste decennia interessant voor de opwekking van elektrische energie. Voor een economisch zinvol gebruik wordt door middel van nieuwe constructies en hoogwaardige vleugelprofielen gepoogd maximale energie uit de wind te verkrijgen. De theoretische basis hiervoor gaat terug op Albert Betz, die in 1926 in zijn boek “Wind-Energie und ihre Ausnutzung durch Windmühlen”[1] de wet van Betz presenteerde. Volgens Betz kan maximaal 16/27, ofwel 59,3%, van de windenergie omgezet worden in effectief vermogen, omdat de lucht achter de molen niet volledig geremd kan worden maar nog een bepaalde restsnelheid moet hebben. Met het oog daarop voerde Betz de “Gütefaktor” in, vandaag meestal prestatiecoëfficiënt genoemd, die de verhouding van de gebruikte prestatie tot de in de wind aanwezige prestatie aangeeft.

$$c_p = \frac{P_{Nutz}}{P_0}$$

Grote windmolens van vandaag bereiken al prestatiecoëfficiënten van rond 50 %. De elektrische prestatie die uit de wind gebruikt kan worden, wordt berekend door

$$P = c_p \cdot \eta_{Reibung} \cdot \eta_{mech} \cdot \eta_{elektr} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

Hierbij geeft P de elektrische prestatie van de molen, c_p het rendement volgens Betz, $\eta_{Reibung}$ het rendement door stromingsverliezen, η_{mech} het rendement van de mechanische delen, η_{elektr} het rendement van de elektrische delen, ρ de dichtheid van de lucht, A de bestreken oppervlakte van de rotoren en v de windsnelheid aan.

Omdat de windsnelheid tot de macht 3 meegaat in de vergelijking, is de keuze van de locatie de doorslaggevende factor. Door bebouwing en vegetatie gegenereerde grondeffecten is de hoogte van het toestel zeer belangrijk, omdat de windsnelheid met iedere meter verder stijgt.

Hier ligt dus het probleem van kleine windmolens die per definitie kleiner zijn dan grote toestellen.

Definitie “kleine windmolens“

Het begrip “kleine windmolen“ is niet op een uniforme manier gedefinieerd. In Noordrijn-Westfalen wordt het door de „Windenergie-Erlass“ van 11 juli 2011 op de volgende manier aan de hand van de totale hoogte van het toestel gedefinieerd:

„Kleine molens zijn toestellen beneden een totale hoogte van 50 m, die volgens de regels van de 4. BImSchV niet tot de emissierechtelijke vergunningsplicht horen.“ [2]

Volgens “Windenergieanlagen - Teil 2: Anforderungen für kleine Windenergieanlagen“ (IEC 61400-2) [3] is er sprake van kleine windmolens wanneer de bestreken rotoroppervlakte minder dan 200 m² is en de opgewekte spanning < 1.000 V AC oftewel < 1.500 V DC. Een definitie op basis van de bestreken oppervlakte heeft het voordeel dat het daadwerkelijke windenergiepotentieel gebruikt wordt. Het geïnstalleerde vermogen benoemt alleen de mate van de generator, die niet altijd optimaal hoeft te zijn.

Een andere veel voorkomende definitie wordt door middel van het geïnstalleerde vermogen gemaakt. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen micro-, mini- en middelgrote windmolens (zie tabel 2-1).

Tabel 2-1: Definitie van windmolens volgens hun geïnstalleerd vermogen [5]

| Benoeming | geïnstalleerd vermogen |
|------------------------|------------------------|
| Microwindmolens | < 5 kW |
| Miniwindmolens | 5 kW tot < 30 kW |
| middelgrote windmolens | 30 kW tot 100 kW |

2.2 Types en bouwvormen

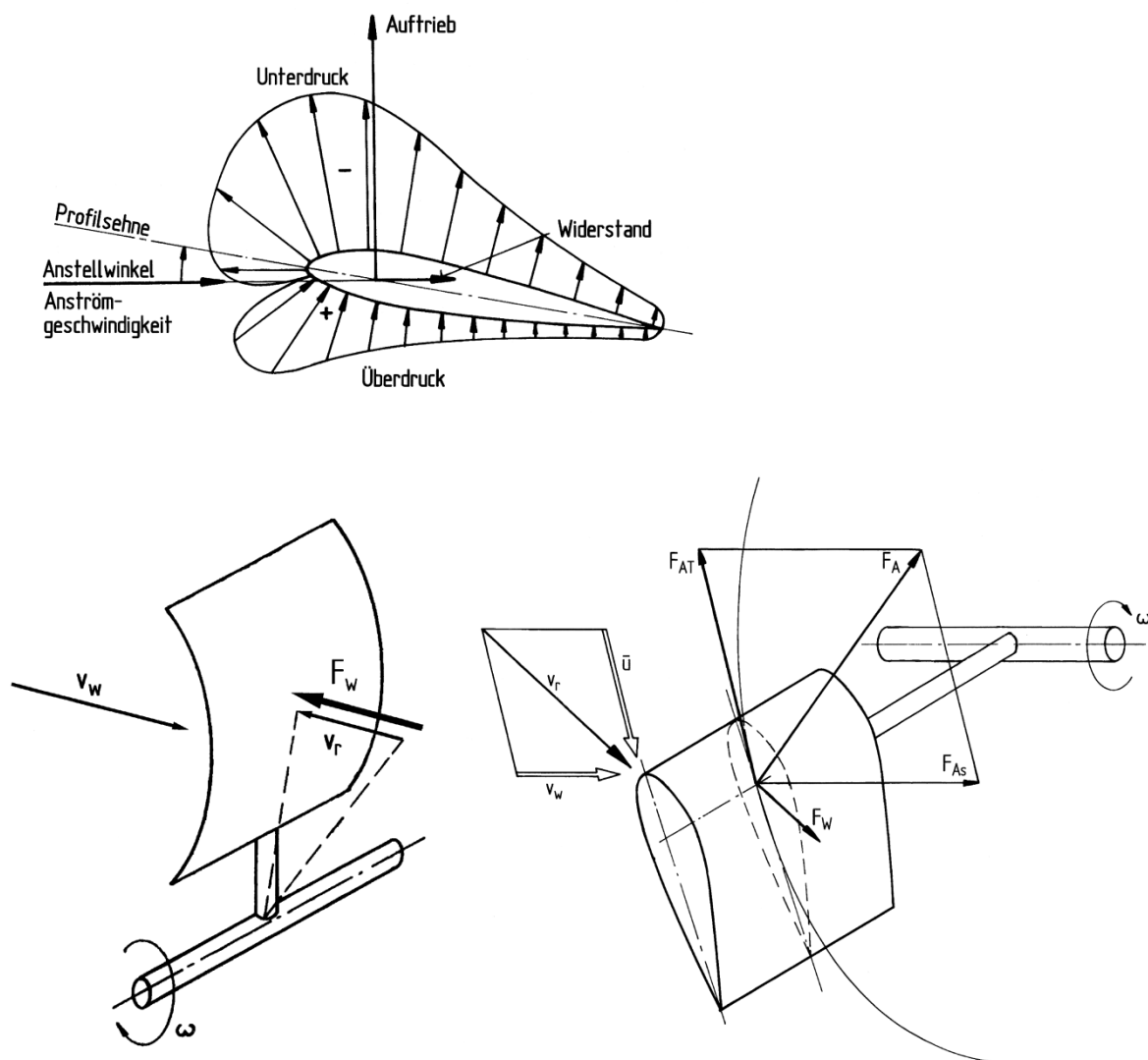
Weerstandsen stijgkrachtprincipe

In principe zijn er twee mogelijkheden om windenergie om te zetten in een draaibeweging: door een weerstands- of door een stijgkrachtprincipe. Bij het weerstandsprincipe drukt de wind tegen een in de weg staand object. De van reclameborden voor kiosken bekende Savonius-rotors horen bijvoorbeeld tot dit type. Het grootste deel van de moderne windmolens functioneert echter, ten minste gedeeltelijk, volgens het stijgkrachtprincipe. De

wezenlijke fysica is identiek met die van een vliegtuigdraagvlak: een naar het profiel toestromend luchtstroming v_w en de wind u uit de draaibeweging veroorzaken een drukonderscheid tussen beide kanten van het profiel, waardoor een stijgingskracht ontstaat.

De resulterende stijgingskracht F_A kan worden opgedeeld in de tangentialcomponenten F_{AT} die het stijgingsmoment van de rotor vormt en in F_{AS} , die de rotoraandrijving opwekt.

Afbeelding 2-1 illustreert de werkingsprincipes aan de hand van een vereenvoudigde vorm van weerstands- en stijgingskrachtmolens.



Afbeelding 2-1: Werkingsprincipe van een weerstandswindmolen (l.) en van een stijgingskrachtmolen (r.). [5]

Het grootste deel van de horizontale as windmolens functioneert volgens het stijgkrachtprincipe.

Horizontale as windmolens

Horizontale as windmolens volgens het propellerprincipe kunnen wind alleen vanuit één richting omzetten in een draaibeweging, dat betekent dat zij de windrichting altijd moeten volgen (azimutregeling/kruien). Bij grote windmolens en bij grotere kleine windmolens gebeurt dit door middel van actieve aandrijving, bij kleine windmolens kan dit ook passief gebeuren, bijvoorbeeld door een windstaart, een hulpwindmolen of door een lijzijdige ordening van de rotor (zie Afbeelding 2-3).



Afbeelding 2-2: Links: Het kruien door windstaart (bron: Aldatec). Rechts: Het kruien door actieve aandrijving (bron: Schaeffler)

Optisch gezien verschillen horizontale as windmolens vooral door het aantal rotorbladen. In principe draait een windmolen langzamer naarmate er meer bladen zijn. Meestal wordt het geluidsvolume bij een stijgend toerental hoger en de prestatiecoëfficiënt kleiner. Grote molens hebben meestal drie, kleine meestal twee tot en met vier bladen.

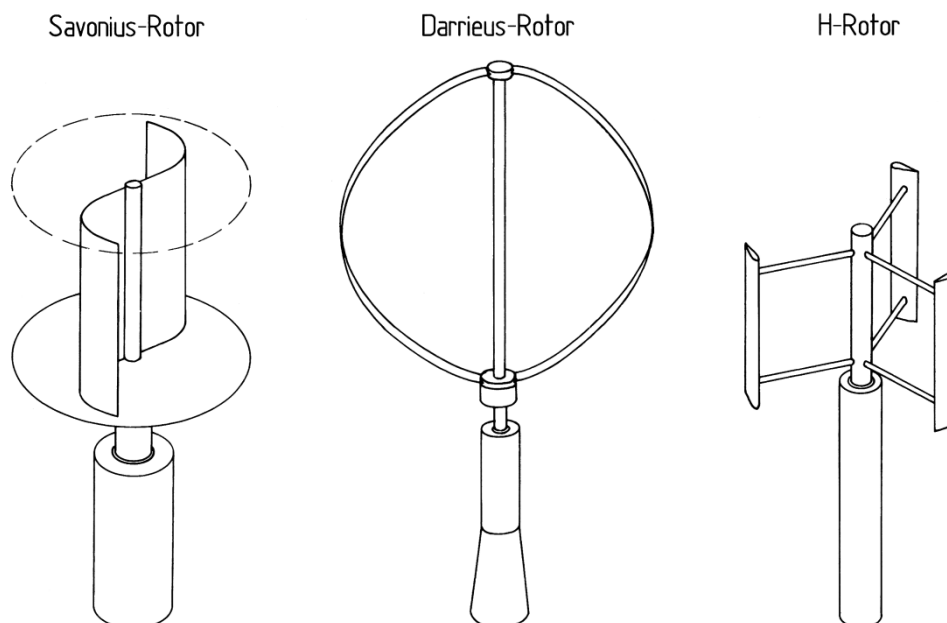
Het voordeel van de horizontale bouwwijze is de hoge bereikbare prestatiecoëfficiënt tot maximaal 0,5 bij grote molens, daarom gebruikt men bijna alleen maar horizontale as windmolens.

Verticale as windmolens

Darrieus-rotoren

Darrieus-rotoren functioneren net als de horizontale as windmolens volgens het stijgkrachtprincipe, met het verschil dat de vleugelprofielen niet “proppellerachtig”, maar in cirkelbogen en de as verticaal geordend zijn (zie Afbeelding 2-3). Een groot voordeel van deze bouwwijze is de onafhankelijkheid ten opzichte van de windrichting, omdat de as niet in de windrichting moet worden gedraaid. Darrieus-rotoren zijn daarom geschikt voor locaties met vaak wisselende windrichtingen. Deze eigenschap is gelijktijdig ook het grootste nadeel: een deel van de rotor draait tegen de wind, daardoor wordt de prestatiecoëfficiënt in vergelijking met horizontale as windmolens tot maximaal 0,4 kleiner en de molens kunnen niet vanzelf aanlopen. Verder kunnen vanwege de verschillende toestroomomstandigheden de optimale vleugelprofielen niet worden gebruikt, zodat ook daardoor prestatie teloorgaat. Ook aan de generator worden hogere eisen gesteld vanwege kleinere tiploopgetallen in vergelijking met horizontale as windmolens. Er zijn inmiddels veel verschillende vormen en variaties die deze problemen gedeeltelijk zullen oplossen, maar vaak levert dat dan weer nieuwe nadelen op. [5]

Er zijn maar weinig Darrieus-rotoren in de vorm van grote windmolens. In de vorm van kleine molens zijn zij echter veel voorkomend vanwege hun eigenschappen in turbulente stromingen en vanwege de lage geluidsoverlast.



Afbeelding 2-3: Verschillende rotorvormen bij windmolens met een verticale as. [5]

H-Darrieus-rotoren

Een H-Darrieus-rotor is een speciale versie van de Darrieus-bouwwijze. De vleugels zijn dan niet in de vorm van een halve cirkel aan de as geplaatst, maar worden verticaal over de steunbalken met deze verbonden (zie Afbeelding 2-3). Voor- en nadelen zijn vergelijkbaar met die van de klassieke Darrieus-rotor. Het is echter een groot voordeel dat het profiel over de hele lengte gelijk snel toegestroomd wordt en op deze manier nadelige effecten kunnen worden verminderd.

Savonius-rotoren

Savonius-rotoren bestaan uit twee schopvormige vleugels die tegenover elkaar geplaatst zijn en elkaar gedeeltelijk overlappen (zie Afbeelding 2-3). Omdat zij weerstandswindmolen zijn, ligt de maximale tiploopgetal bij 1,5. De prestatiecoëfficiënt bereikt met maximaal 0,25 slechts de helft van een grote horizontale as windmolen.

Savonius-rotoren worden vanwege hun kleine toerental en de lage prestatiecoëfficiënt niet vaak ingezet voor de stroomopwekking, maar eerder voor toepassingen waarbij deze twee factoren niet zo belangrijk zijn. Voorbeelden hiervan zijn de toepassing bij ventilatie, als waterpomp of als reclamedrager. Reclamedragers zijn vaak te vinden bij kiosken. Ook, maar niet zo vaak zijn zij als starthulp voor grotere Darrieus-Rotors te vinden.

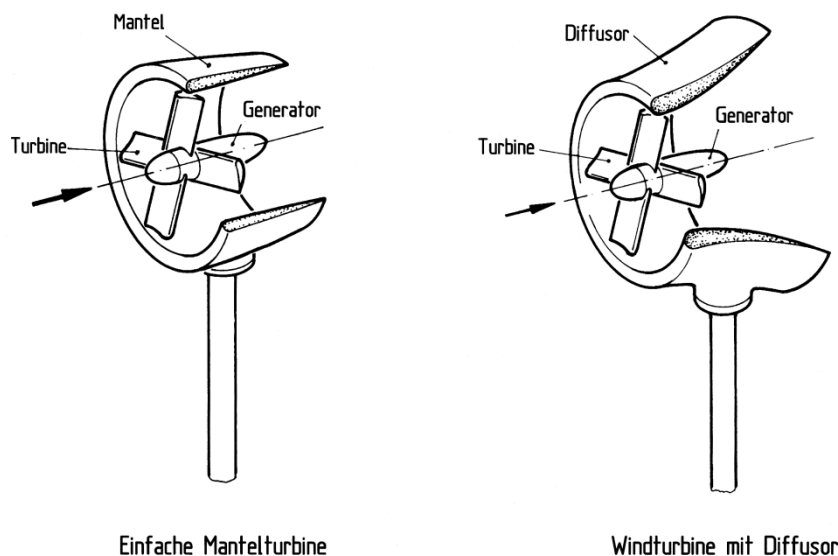
Savonius-rotoren kunnen theoretisch ook als horizontale as windmolens ontworpen worden, maar daardoor verliest men het grootste voordeel – de onafhankelijkheid ten opzichte van de windrichting.

Loef en lij windmolens

Een ander onderscheidingssteken van windmolens is de positie van de rotor. Vandaag de dag domineren loefwindmolens, dat betekent dat de rotor in de windrichting vóór de toren loopt. Lijwindmolens veroorzaken door de loop door de luwte van de toeren meer geluidsoverlast en zijn daarom nadelig. Hetzelfde effect leidt ook tot sterke materiaalbelastingen. Het voordeel van de lijwindmolens is dat passief kruien mogelijk is. Hiervan wordt bij kleine windmolens ook geprofiteerd en dat bespaart gelijktijdig kosten. [6]

Speciale vormen

Er zijn vele ideeën om de energiewinst bij windmolens te laten stijgen. Hierbij horen bijvoorbeeld de manteling van de rotoren (zie Afbeelding 2-4). Dergelijke bouwwijzen hebben zich echter tot nu toe nog niet doorgezet.



Afbeelding 2-4: Windrotoren met bouwgroepen voor de concentratie van de windenergie. [3]

2.3 Certificering

Vele producenten van kleine windmolens berekenen de prestatiecurve aan de hand van slecht te controleren omstandigheden en ook de constructie wordt meestal niet door een onafhankelijk persoon getoetst en beoordeeld. Er bestaat echter de mogelijkheid dat producenten hun modellen kunnen laten certificeren.

Certificeringsprocedures zijn onder andere

- IEC 61400-2 (International Electrotechnical Commission)
- MCS 006 (Microgeneration Certification Scheme)
- AWEA Standard 9.1 (American Wind Energy Association) (zie Afbeelding 2-5)



Afbeelding 2-5: Certificaten voor kleine molens [bronnen: iec.ch, microgenerationcertification.org, smallwindcertification.org]

Bij de certificeringsprocedure horen volgens IEC 61400-2 de beoordeling van de constructie, de meting van het prototype (zekerheid/functie, meting prestatie, bestedigheidstoets, andere

toetsen), de beoordeling van de producent en optioneel ook de beoordeling van de fundamentconstructie en de specifieke eigenschappen. Deze procedure is de enige internationaal erkende. MCS 006 is Brits, AWEA Standard 9.1 is Amerikaans, maar zorgen ook hier voor een bepaalde maat van zekerheid en vertrouwen, omdat er volgens specifieke regels beoordeeld wordt. MCS 006 und AWEA Standard 9.1 beoordelen echter alleen het toestel zelf, niet de constructie/het design en de zekerheid.

Tot nu toe hebben maar weinig modellen echt een certificaat. Producenten uit bijvoorbeeld Groot-Brittannië hebben vaak een certificaat voor hun modellen, omdat dat een voorwaarde is voor het verkrijgen van subsidies. Vooral de certificering volgens IEC 61400-2 is echter tamelijk duur, waardoor het in het bijzonder voor nieuwe producenten met een lage afzet niet te financieren is. Een simplificering en een kostenreductie van de procedure zou voor meer zekerheid en duidelijkheid op de markt zorgen.

In principe zijn kleine molens in de Europese Unie onderworpen aan de algemene productzekerheid en aan de CE-richtlijnen. Deze zijn een voorwaarde voor de introductie van nieuwe producten in de Europese Unie. Het CE-teken zegt echter niets over het prestatievermogen van een toestel of over de betrouwbaarheid van de opgeleverde data.

3 LOCATIES

Bij de zoektocht naar een locatie is wind de beslissende factor. De belangrijkste meetwaarde is de gemiddelde windsnelheid, waardoor simpele opbrengstvoorspellingen mogelijk zijn. Het wordt preciezer naarmate de data verfijnder zijn en direct op de geplande locatie of door een dichtbij gelegen weerstation verzameld worden. In dit hoofdstuk wordt zowel ingegaan op verschillende bronnen voor meetgegevens en hun gebruik als op een beoordeling van het projectgebied.

3.1 Windmetingen

Eigen windmetingen op de geplande locatie zijn de meest betrouwbare methode om een inschattig van de wind op deze plek te verkrijgen. Er zijn diverse simpele systemen vanaf ca. 100 € en preciezere, robuustere meetapparaten vanaf ca. 500 € verkrijgbaar. Professionele systemen kunnen gedeeltelijk ook bij handelaars of producenten van kleine windmolens gehuurd worden. Ook kan de hele meting doorgevoerd worden door een externe dienstverlener. Hoe langer wordt gemeten, hoe beter. Een compleet jaar levert een goed aantal data voor een opbrengstvoorspelling op. Ook enige maanden kunnen soms al voldoende zijn als er vergelijkingsdata verkrijgbaar zijn (hoofdstuk 3.3); een meting van minder dan 6 maanden is echter niet aan te bevelen.

Meettechniek

In het kader van het project zijn op alle gekozen locaties eigen windmetingen doorgevoerd. Hiervoor is het systeem PCE-WL 2 van het bedrijf PCE Deutschland GmbH, een combinatie van anemometer, windstaart, temperatuursensor en datalogger, ingezet. De meetapparatuur is op een hoogte van 2,5 m op het dak aan de mast vastgemaakt en deze meet op de ashoogte van een kleine windmolen. De datalogger neemt

- windrichting in graden
- windsnelheid in m/s
 - het gemiddelde
 - standaardafwijking
 - maximum
- temperatuur in °C

als minuten-, 10-minuten of uurwaarde op. De data wordt op een SD-kaart in CSV-formaat opgeslagen, zodat de gegevens makkelijk af te lezen zijn.

Locaties van de metingen

Er is voor gekozen om op de gebouwen van de hogeschool Münster in Steinfurt en van de Regio Achterhoek in Doetinchem te meten. De hogeschool Münster ligt in het randgebied van Steinfurt in de bebouwde kom, die vooral uit eengezinswoningen bestaat. In de hoofwindrichting (zuid tot west) liggen vooral velden, heggen en boerderijen. Op het dak staan er voor dit soort gebouwen typische hindernissen, zoals stellingen, delen van de beluchting van gebouw en een zonnepaneel. De hoofwindrichting is wel vrij van hindernissen. Het gebouw van de Regio Achterhoek staat centraal in Doetinchem en is met vijf verdiepingen net zo hoog als de omliggende gebouwen. In de hoofwindrichting zijn er geen hindernissen op het dak, in één richting is er echter een extra verdieping. Afbeelding 3-1 laat de meetapparaten op de meetlocaties zien.

Tabel 3-1: Locaties voor eigen windmetingen

| Locatie | Typ gebouw | Omgeving |
|---------------------------|---|--|
| Hogeschool Münster | Openbaar gebouw, 2 verdiepingen, platte dak | N, O, Z: bebouwde kom, max. 3 verdiepingen, W: velden en heggen |
| Regio Achterhoek | kantoorgebouw, 5 verdiepingen, Platte dak | In alle richtingen stedelijke omgeving, max. 5 verdiepingen |



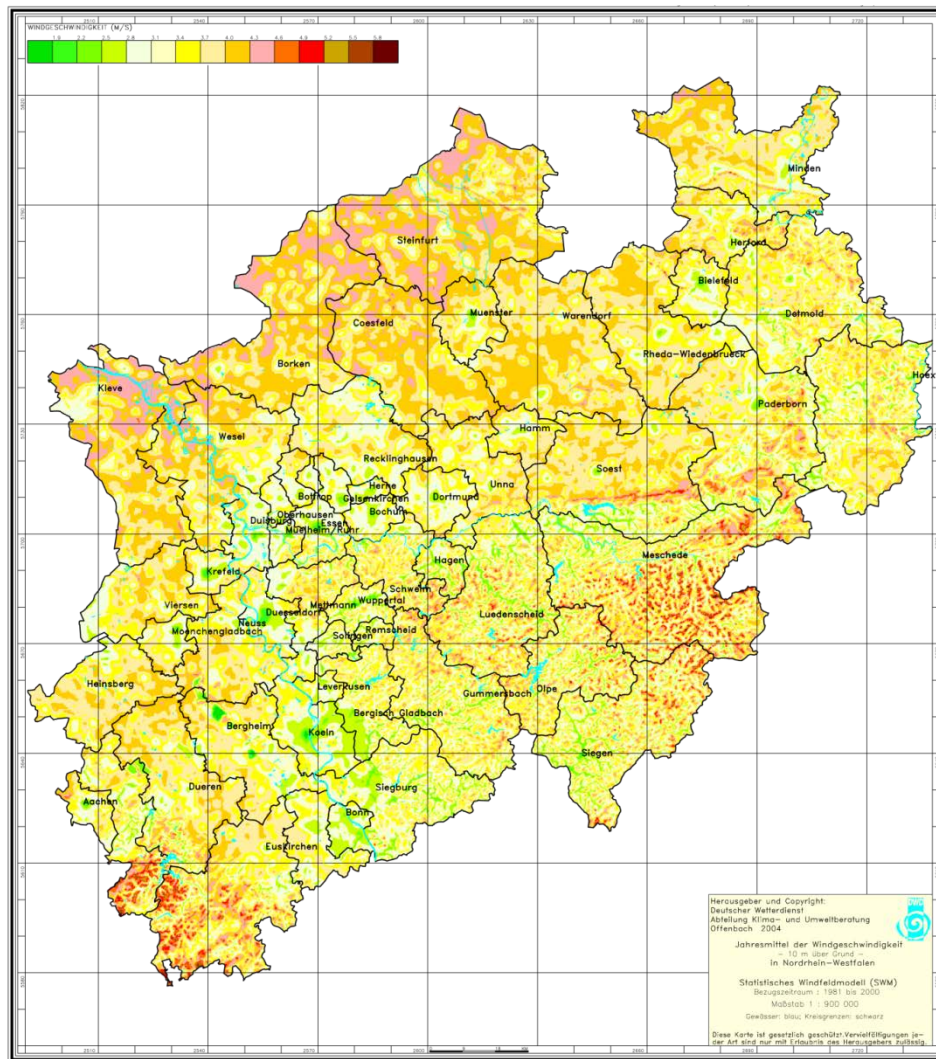
Afbeelding 3-1: Windmetingen op het dak van de hogeschool Münster (l.) en op het dak van de Regio Achterhoek (r.)

3.2 Bestaande databronnen voor de locatiekeuze

Voor het geval dat meteen, zonder lange termijnmetingen, voorspellingen gemaakt moeten worden, kunnen ook bestaande databronnen tot bruikbare resultaten leiden.

Weerdiensten

Weerdiensten zoals de Deutsche Wetterdienst (DWD) beschikken over omvangrijke dataverzamelingen van hun eigen weerstations, die gedeeltelijk als weerkaarten ter beschikking worden gesteld. Afbeelding 3-2 laat een kaart zien van de Deutsche Wetterdienst, die de gemiddelde windsnelheden op een hoogte van 10 m afbeeldt. Zulke kaarten kunnen een meting echter niet vervangen en zouden alleen voor een eerste beoordeling van de locatie gebruikt worden.



Afbeelding 3-2: Windkaart 1981-2000 Noordrijn-Westfalen (10 Meter) van de Deutscher Wetterdienst [Bron: Deutscher Wetterdienst]

Voor het geval dat er een weerstation in de buurt van een potentiële locatie is, kunnen ook deze data gebruikt worden. Bij commerciële stations zijn deze data meestal tegen betaling verkrijgbaar en worden er pakketten voor windenergievoorspellingen aangeboden. Er zijn echter ook vele hobby-meteorologen die men naar data kan vragen. Voor Duitsland kunnen professionele data betrokken worden

- bij de **Deutsche Wetterdienst** (<http://www.dwd.de/windenergie>)
 - verwerkte meetdata van bepaalde stations
 - gemiddelde windsnelheden in 200 mm-rasteren voor willekeurige hoogtes tussen 10 m en 100 m
 - parameter voor de berekening van de verdeling van de windsnelheid
 - windkaarten (in 10 m en 80 m hoogte; gratis)

- van de **MeteoGroup Deutschland GmbH**
(<http://www.meteogroup.com/de/de/branchen/energie/erneuerbare-energien/produkte.html>)
 - klant specifieke weerkaarten
 - locatiebeoordeling gebaseerd op klimatologische en op historische meetdata.
Klant specifieke verwerking van de data
 - prestatievoorspellingen op basis van voorspellingsdata (t/m 14 dagen vooruit)

Omrekening van de meetdata op andere hoogtes

Voor het geval dat de hoogte waarop wordt gemeten niet dezelfde is als de hoogte van de geplande windmolens, is een omrekening van de data mogelijk. Een aanpassing van de hoogte (bij weerstations in de regel 10 m) kan door middel van de logaritmische hoogteformule

$$v(z) = v_r \frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_r}{z_0}\right)}$$

gemaakt worden, waarin v_r de referentiesnelheid, z_r de referentiehoogte, z de doelhoogte en z_0 de ruwheidscoëfficiënt is (zie Tabel 3-2). De resultaten zijn echter alleen een richtgetal, omdat vooral in bebouwde gebieden lokale hindernissen, zoals bomen en gebouwen een veel sterkere invloed op de wind uitoefenen dan een hoogteverandering.

Voorbeeld: Op een weerstation, dat in een gebied met vele heggen en kleine bosjes staat, werd in een hoogte van $z_r = 10 \text{ m}$ een gemiddelde windsnelheid van $v_r = 3,44 \text{ m/s}$ gemeten. Dit zijn de referentiewaarden voor de berekening. In de directe omgeving zal een kleine molen met een ashoogte (doelhoogte) van $z = 20 \text{ m}$ geïnstalleerd worden. Uit tabel 3-2 wordt de waarde $z_0 = 0,2$ voor een omgeving met vele bomen en/of struiken gekozen. Door de boven genoemde formule leidt dit op een hoogte van 20 m tot een gemiddelde windsnelheid van

$$v(z) = 3,44 \text{ m/s} * \frac{\ln\left(\frac{20\text{m}}{0,2\text{m}}\right)}{\ln\left(\frac{10\text{m}}{0,2\text{m}}\right)} = 4,05 \text{ m/s}$$

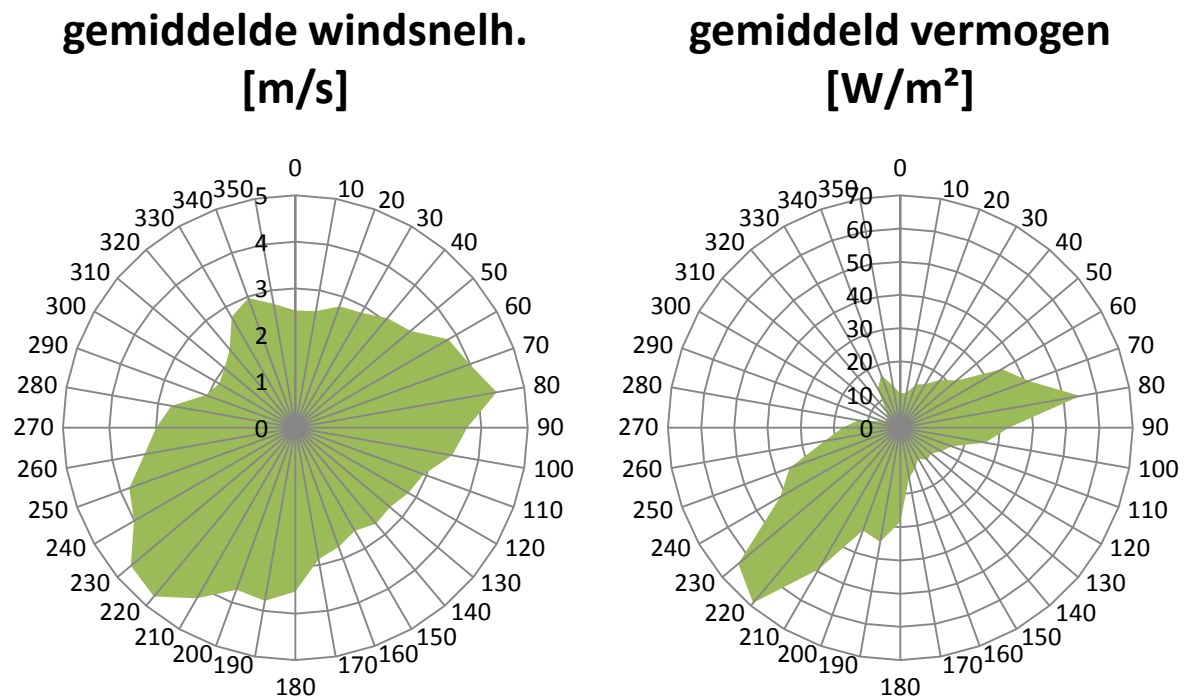
In dit voorbeeld is de gemiddelde windsnelheid op een hoogte van 20 m 0,61 m/s of 18 % hoger dan op een hoogte van 10 m.

Tabel 3-2: Ruwheidscoëfficiënt voor de omrekening van windsnelheden in andere hoogtes. Volgens [5]

| z₀ [m] | Types omgevingoppervlaktes |
|--------------------------|--|
| 1,0 | Stad |
| 0,5 | Voorsteden |
| 0,3 | bebouwde omgeving |
| 0,2 | vele bomen en/of struiken |
| 0,1 | agrarische omgeving met gesloten structuur |
| 0,05 | agrarische omgeving met open structuur |
| 0,03 | agrarische omgeving met zeer weinig bomen/struiken |
| 0,01 | luchthavens, start-en landingsbaan |
| 0,005 | blanke aarde (glad) |
| 0,001 | sneeuwoppervlakte (glad) |
| 0,0003 | zandoppervlakte (glad) |
| 0,0001 | wateroppervlakte (meren, fjorden en de zee) |

Weerstation van de Hogeschool Münster

Als databron staat het weerstation van het vakgebied Energie • Gebäude • Umwelt van de Hogeschool Münster ter beschikking. Dit station staat op de campus in Steinfurt (52° 08' 31" N, 07° 19' 14" E) op 75 m boven Normaal Amsterdams Peil (NAP) en is geïntegreerd in het meetnet van de Meteogroup Deutschland GmbH. Hier worden volgens de meteorologische standaard windrichting en –snelheden op een hoogte van 10 m tweedimensionaal geregistreerd en opgenomen. Het voorbeeld uit het jaar 2013 laat goed zien, uit welke richtingen de wind meestal kwam en vanuit welke richting de grootste windprestatie te verwachten is. Uit Afbeelding 3-3 is goed af te lezen dat de hoofdwindrichtingen op deze locatie zuidwest en oost-zuid-oost zijn. Houdt men rekening met het energiepercentage, dan wordt dit nog geïntensiveerd. De verklaring van een dergelijke analyse is – onder de voorwaarde dat de wind van alle kanten vrij naar het weerstation kan toestromen – dat bij het oprichten van een kleine windmolen in de buurt van het weerstation met name voorkomen moet worden dat er hindernissen in de hoofdwindrichting zijn, omdat vanuit deze richting de grootste opbrengst te verwachten valt.



Afbeelding 3-3: ·De gemiddelde windsnelheid (l.) en de gemiddelde prestatie van de wind (r.) afhankelijk van de windrichting bij de hogeschool Münster, locatie Steinfurt

De gemiddelde windsnelheid was in het jaar 2013 3,44 m/s op de meethoogte. Dat komt overeen met een **extrapoleerde** gemiddelde windsnelheid van 4,12 m/s op een hoogte van 20 m (logaritmische hoogteformule: $z_0 = 0,3$ voor bebouwd terrein). In vergelijking met de kaart op Afbeelding 3-2 wordt duidelijk dat de waarde voor een randgebied van een stad volstrekt op het langjarig gemiddelde ligt.

Omdat de locatie op slechts ca. 200 m afstand dichtbij het meetpunt van de hogeschool Münster ligt, zijn de data van beide meetpunten ook geschikt voor een vergelijking. Bovendien kunnen hierdoor conclusies getrokken worden over de principiële invloed van het dak op de wind.

3.3 Opbrengstvoorspelling

Er staan omvangrijke hulpmiddelen in de vorm van computers en tabellencalculaties voor de opbrengstvoorspelling ter beschikking. Een relatief overzichtelijke tabellencalculatie is de Small Wind Turbine Yield Estimator van het Fraunhofer-Institut für Windenergie & Energiesystemtechnik (IWES) [7], waarin wind- en toesteldata en kaderparameters ingezet kunnen worden zodat men relatief omvangrijke resultaten krijgt. De windgegevens kunnen hierbij uit

de boven genoemde bronnen komen, onder de voorwaarde dat deze aangepast zijn op de exacte locatie (hoogte en frequentieverdeling).

Een andere gebruikersvriendelijke calculator, speciaal voor kleine molens, is te vinden op www.klein-windkraftanlagen.com [8]. Hier kunnen verkregen data van verschillende locaties in heel Duitsland en verschillende toesteltypes gevonden worden, om een indruk te krijgen van de amortisatietijd.

Vaak – en vooral bij grotere windmolens – wordt de opbrengstvoorspelling van de handelaar of producent gegeven, hier moet echter in ieder geval getoetst worden of deze plausibel is.

3.4 Grove potentiebepaling in het projectgebied

Om te kunnen beoordelen welke bijdrage kleine windmolens voor de toekomstige energieconsumptie kunnen leveren, is eerst een grove potentiebepaling nodig. Hiervoor zijn data van de Duitse kadasterbureaus gebruikt, vooral de gegevens van het aantal gebouwen en terreinen, gecategoriseerd op basis van de exploitatieaard. Op basis van deze data zijn scenario's voor de uitbouwgraad van kleine windmolens geconstrueerd. Windcondities zijn expliciet buiten beschouwing gelaten, alleen het geïnstalleerde vermogen is bekeken. In het volgende deel wordt een dergelijke beschouwing gedaan aan de hand van het voorbeeld van de Kreis Steinfurt.

Kreis Steinfurt

Het kadasterbureau van de Kreis Steinfurt heeft data over het aantal gebouwen en over de gebruikte oppervlakte ter beschikking gesteld, waarbij onderscheid gemaakt wordt tussen bebouwde kommen, industriële en agrarische bebouwing. In het totaal zijn er in de Kreis Steinfurt 113.500 woongebouwen, 21.600 bedrijfsgebouwen en 4.600 agrarische gebouwen (houdt men rekening met bijgebouwen zijn er in totaal 34.000 agrarische gebouwen) geregistreerd. De concentratie van de gebouwen per km² wordt met behulp van de oppervlaktebehoefte van de respectievelijke exploitatieaard berekend (Tabel 3-3). Hierbij moet rekening gehouden worden met het feit dat bij de oppervlakte geen openbare oppervlaktes horen, zoals straten, paden, groenvoorzieningen, etc., er is dus alleen rekening gehouden met privé-gebouwen.

Desalniettemin past deze waarde voor woongebouwen ongeveer bij de kenwaarden van de woonwijktypologie volgens Blesl met gebouwenconcentraties tussen 900 en 2.000 gebouwen per km² voor de onderzochte regio. Voor bedrijfsgebieden en voor agrarische gebouwen zijn er geen verdere opgaven.

Tabel 3-3: Gebouwenstructuur in de Kreis Steinfurt [Bron: Katasteramt (kadasterbureau) Kreis Steinfurt]

| | aantal gebouwen [1] | behoefde oppervlakte [km ²] | concentratie gebouwen [1/km ²] |
|---------------------------------|------------------------|---|--|
| wonen | 113.500 | 85,7 | 1.324 |
| bedrijven | 21.600 | 16,1 | 1.340 |
| landbouw (incl. bijgebouwen) | 4.600 (34.000) | 40,5 | 114 (840) |

Basisaannames voor de berekeningen:

- Voor woongebouwen wordt een maximale uitbouwquota van 10 % aangenomen, wat overeenkomt met een aantal van 132 kleine molens per vierkante meter; dit aantal zal in randgebieden wat hoger en in dorpscentra wat kleiner zijn.
- Op bedrijfsterreinen wordt er op basis van de verschillen in grootte van de gebouwen een concentratie van 50 kleine molens per vierkante meter ingeschat.
- Bij agrarische bedrijven wordt het aantal van de landbouwtelling van 2010 (2.291 bedrijven) gebruikt en een maximale uitbouwquota van 50 % (1.395 kleine windmolens) aangenomen, omdat vooral hier de voorwaarden voor kleine windmolens zeer voordelig zijn.

De gemiddelde grootte van de windmolens betekent voor deze beschouwing

- op/aan woongebouwen 1,0 kW
- op/aan bedrijfsgebouwen 5,0 kW
- op/aan agrarische bedrijven 10 kW

Het resultaat van de grove potentiebepaling voor de Kreis Steinfurt (Tabel 3-4) laat een maximale geïnstalleerde totaalprestatie van ca. 43 MW zien, wat overeenkomt met 15-20 grote windmolens van de categorie 2-3 MW. Ter vergelijking: Begin 2014 waren er in de Kreis Steinfurt 235 windmolens met een prestatie van 278 MW_p geregistreerd. Bij 1.650 volle draaiuren[10] volgt hieruit een opbrengst van ca. 70.950 MWh/a van de kleine windmolens. Bij een consumptie van 2.936.000 MWh/a zou daarmee 2,4 % van de stroombehoefte van de Kreis Steinfurt gedekt kunnen worden. [11]

Tabel 3-4: Resultaat van de grove potentieschatting voor de Kreis Steinfurt

| | concentratie van de toestellen | Totale aantal toestellen | gem. toestelgrootte | geïnstalleerd vermogen |
|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------|---------------------|------------------------|
| woongebouwen | 10 % van de gebouwen | 11.349 | 1 kW | 11.3 MW |
| bedrijfsgebouwen | 50 toestellen per km ² | 806 | 5 kW | 4.0 MW |
| agrarische bedrijven | 50 % van de gebouwen | 1.395 | 10 kW | 27.9 MW |
| som | - | 13.550 | - | 43.2 MW |

3.5 Windpotentieelkadaster

De op de locatie aanwezige wind is de belangrijkste factor voor de rentabiliteit van de kleine windmolens. Ligt de locatie vast, dan zijn er maar weinig mogelijkheden om deze parameter te kunnen beïnvloeden. De hoogte van de windmolen heeft echter de grootste invloed. Wordt een hogere mast toegevoegd aan de hoogte van het gebouw, dan kan dat de opbrengsten positief beïnvloeden. Dit kan echter alleen in een beperkte mate (hoofdstuk 5).

Om de focus voor een potentieanalyse te leggen op gebouwen met een absolute minimaalhoogte of met een minimale hoogteonderscheid in vergelijking met omliggende gebouwen, is een kaart nuttig die de hoogtes van de gebouwen, gebouwtypes en het landschapsprofiel laat zien. Afbeelding 3-4 laat zo'n kaart zien. Hierin is ook het aantal verdiepingen van de gebouwen weergegeven.

Door middel van deze informatie kunnen geschikte gebouwen snel geïdentificeerd worden. In het geval van Afbeelding 3-4 zouden bijvoorbeeld windmetingen op de vijf gebouwen die drie verdiepingen hebben interessant zijn.

4 TECHNISCHE INFRASTRUCTUUR

Integratie in de gebouw-infrastructuur

De integratie in de elektrische infrastructuur van het gebouw is normaal gesproken dezelfde als bij een PV-installatie. De grootste verschillen bestaan bij het aantal uitgangspareters (frequentie, stroomsterkte, spanning, AC/DC) van de kleine windmolens en in een ander opwekkingsprofiel, waarbij eerst genoemde de keuze aan regelaars sterk kan beperken. Bovendien is de daadwerkelijk benodigde apparatuur sterk afhankelijk van de manier waarop deze gebruikt zal worden.

Invoeding in het net

Net als bij PV kan de zelf opgewekte windstroom ook ingevoerd worden in het stroomnet. De voorwaarden zijn hetzelfde als bij PV-toestellen. Om economische redenen is het echter beter dat een groot deel van de zelf opgewekte stroom ook zelf gebruikt wordt, omdat het bedrag dat men voor de invoeding kan krijgen maar 4-6 cent/kWh in Nederland en rond 9 cent/kWh in Duitsland is. Het aandeel dat zelf wordt gebruikt kan verhoogd worden door accusystemen. Dit verhoogt natuurlijk ook de investeringskosten. Het moet per geval gekeken worden of een dergelijk systeem rendabel is. In Nederland is een hoog eigegebruik door saldering makkelijker te bereiken. Tot en met 10.000 kWh aan stroombehoefte kunnen direct verrekend worden. Hierdoor worden kosten gedurende 10 jaar voorkomen en wordt er een korting van 7,5 cent/kWh mogelijk. Sinds 01-01-2014 is deze saldering zelfs mogelijk binnen wijken met dezelfde postcode en aangrenzende gebieden.

Eiland

Klassieke eilandsituaties zijn in de regel te vinden op afgelegen locaties, waar de aansluiting op het openbaar net veel te hoge kosten zou veroorzaken. Dit is bijvoorbeeld bij onderzoeksstations of berghutten het geval. Onder zulke omstandigheden is het zinvol, een gebouwintern draai-/wisselstroomnet met eigen opwekking te hebben. Naast kleine molens kunnen dat b.v. ook PV-toestellen en een dieselaggregaat als noodverzorging zijn. Een accu geeft stroom in tijden zonder wind of zon. Een dergelijk systeem is echter vanwege de hoge kosten niet geschikt voor kleine molens die in een goed ontsloten gebied staan.

4.1 Integratie in een Smart Grid

Smart Grids en Smart Meter worden gezien als een elementair deel van de 'Energiewende'. Smart Grids zijn netten, die alle aangesloten gebruikers (opwekkers, gebruikers, accu's) met

elkaar verbinden en op een intelligente manier coördineren, om de efficiëntie, betrouwbaarheid en rentabiliteit van het hele systeem – vooral bij een hoog percentage van decentrale opwekkers – te verhogen.

Kleine molens kunnen ook deel worden van zo'n net, voor het geval dat de kenwaarden bekend zijn bij de netbeheerder. Dit is bij netbedrijf toepassing naast het net sowieso het geval. Bij een intelligente coördinatie hoort echter ook het tijdelijk uitschakelen van de generator, als er teveel stroom geproduceerd wordt. Voor opbouw en onderhoud van Smart Grids is de netbeheerder verantwoordelijk. Hierop hoeft dus niet verder ingegaan te worden.

SmartHome en Smart Building systemen spelen echter wel een belangrijke rol voor eigenaars van kleine windmolens. Deze coördineren waar de stroom binnen een gebouw naartoe gaat en dragen bij aan de verhoging van het eigenaandeel van het stroomgebruik (zie Afbeelding 4-1).



Afbeelding 4-1: Mogelijke opbouw van een Smart Home systeem [Bron: SMA Solar Technology AG]

Naast de gebouw klimatisering zijn ook elektrotoestellen denkbaar, die afhankelijk van de stroomopwekking of van de stroomprijs gebruikt worden. Diepvriezers kunnen bijvoorbeeld als er veel stroom opgewekt wordt sterk afgekoeld worden, zodat er in een fase waarin weinig stroom opgewekt wordt geen extra stroom gekocht hoeft te worden. Een andere mogelijkheid is de aansturing warmtepompen, omdat er vaak waterreservoirs zijn.

4.2 Correlatie met zonne-energie

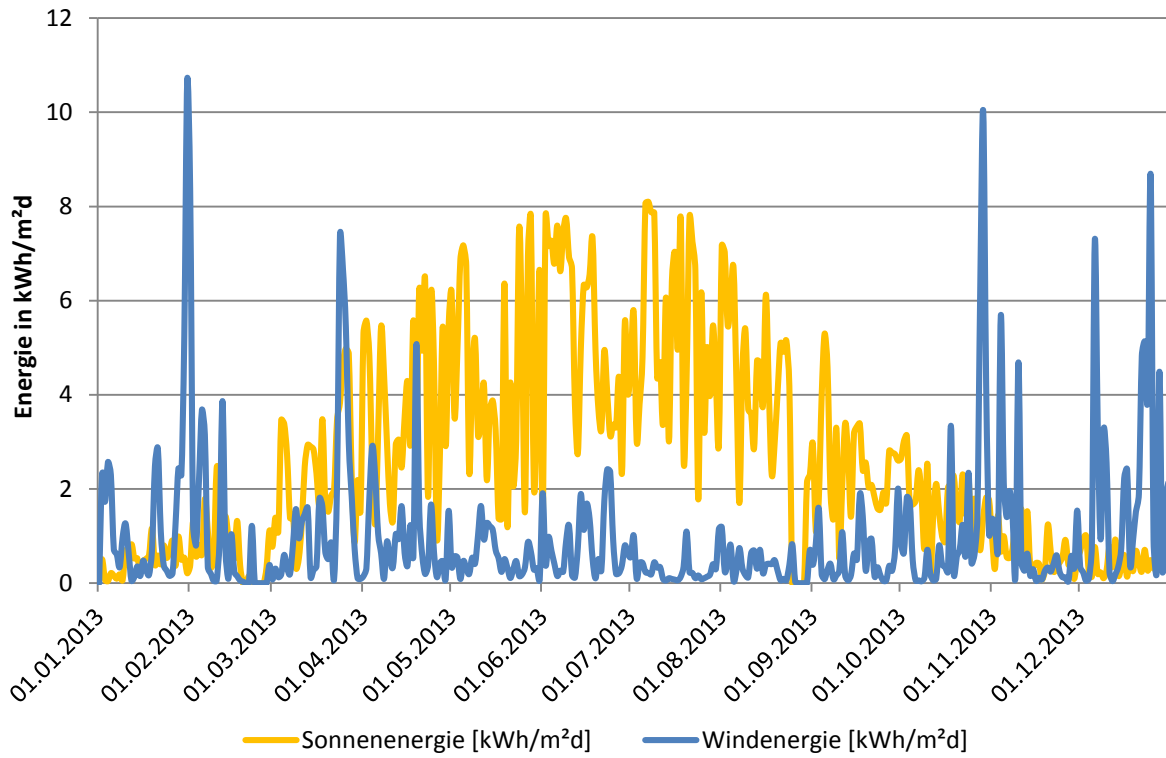
PV- en windenergie kunnen onder bepaalde voorwaarden goed met elkaar gecombineerd worden. Onderzoeken over dit onderwerp laten echter vaak gemiddelde waarden over een aantal weken, maanden of jaren en grote gebieden zien, waardoor extreme stroompieken en

fases zonder wind, oftewel weinig zon, buiten beschouwing blijven (zie Afbeelding 4-2). Dit is echter van groot belang voor een business case, waarin wordt uitgegaan van een hoog eigengebruik. Het voorbeeld in Afbeelding 4-3 laat de energie per vierkante meter en dag zien die de zon of de wind in het jaar 2013 in Steinfurt (locatie hogeschool Münster) opbracht. Ook bij dit voorbeeld wordt de algemene trend duidelijk dat de opbrengsten uit de wind in de winter groter zijn en dat de opbrengsten uit de zon in de zomer groter zijn. Er zijn echter dagen met duidelijke pieken en langere fases met kleine windsnelheden.



Afbeelding 4-2: Gemiddelde PV- en windopbrengsten voor de jaren 2011 tot 2013 in Duitsland [Bron: Fraunhofer ISE]

Voor projecten met een combinatie uit kleine windmolens en PV, maar ook voor projecten met maar een optie betekent dat, dat een hoog eigengebruik alleen maar mogelijk is, als de stroom in accu's opgeslagen kan worden, of als de toestellen zo klein zijn dat het grootste deel van de opgewekte stroom ook zelf gebruikt kan worden. De eerste mogelijkheid verhoogt het totale investeringsbedrag, de tweede variant heeft kleinere toestellen en misschien hogere specifieke investeringen per kW geïnstalleerde prestatie nodig.



Afbeelding 4-3: Jaaroverzicht over de energie, die de zon, oftewel wind per vierkante meter en per dag (locatie Steinfurt) levert

5 JURIDISCHE VOORWAARDEN

5.1 Situatie in Duitsland

Bouwvergunning

Kleine molens in Noordrijn-Westfalen zijn voor het eerst genoemd in het “Erlass für die Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen und Hinweise für die Zielsetzung und Anwendung (Windenergie-Erlass)” van 11-07-2011. Volgens dit stuk zijn kleine windmolens kleiner dan 50 m. In principe worden kleine molens als toestellen volgens het (i.S.d.) § 29 BauGB gezien, zodat zij bouwvergunningplichtig zijn.

Binnen de bebouwde kom kunnen kleine molens ook als “untergeordnete Nebenanlage” goedgekeurd worden, dat betekent dat de opgewekte stroom voor het merendeel (> 50 %) zelf moet worden gebruikt en dat de windmolen niet gelijkwaardig mag zijn aan het hoofdgebouw. Verder mag het het hoofdgebouw niet verdringen; dit zou bij kleine windmolens ook niet het geval zijn. Is dit wél zo, dan kunnen kleine windmolens in principe in alle gebieden, inclusief de bebouwde kommen goedgekeurd worden. Zij moeten wel nuttig zijn voor het bebouwde gebied, zij moeten dus in hun functie en in verschijningsbeeld ondergeschikt zijn. In elk geval mogen de molens de eigenheid van het gebied niet aantasten. Hierbij spelen b.v. de aard van de bebouwing en de gestalte van het gebied een rol. Ieder geval moet daarom individueel beoordeeld worden.

In het buitengebied moeten kleine molens als “untergeordnete Nebenanlagen zu privilegierten Vorhaben” goedgekeurd worden als het toestel vooral gebruikt wordt door agrarische bedrijven (> 50 % eigegebruik van de opgewekte stroom).

Het is echter zo dat kleine windmolens in het buitengebied, ook als zij niet ondergeschikt zijn, als toestel voor het gebruik van windenergie goedgekeurd kunnen worden, omdat zij vanwege hun kleine hoogte niet worden gezien als omgevingsveranderende toestellen. Heeft de gemeente “Windvorranggebiete” (windvoorkeurgebieden) aangewezen en zou een kleine molen in een dergelijk gebied gebouwd worden, dan is een grote molen misschien rendabeler. Buiten een windvoorkeurgebied zijn vergunningen ook mogelijk als er in specifieke gevallen vastgesteld wordt dat de windmolen niet bij die toestellen hoort die de gemeente met de voorkeurgebieden had willen controleren (bij voorbeeld door hoogte van een toestel of door eigegebruik).

In Noordrijn-Westfalen kunnen alleen kleine windmolens met een totale hoogte van 10 m zonder vergunning gebouwd worden. Dat betekent echter wel dat deze molens aan alle richtlijnen van de “Landesbauordnung” en aan het “BimSchG” moeten voldoen. Daardoor kan een ontbrekende vergunning ook problemen geven, omdat er niet officieel wordt voldaan aan de richtlijnen. [2]

Als de totale hoogte kleiner is dan 30 m, is een bouwvergunning volgens de vereenvoudigde procedure noodzakelijk.

Vergunning volgens het Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG)

Hoewel een vergunning volgens het BimSchG niet nodig is bij windmolens beneden de 50 m, toch moet aan alle richtlijnen uit het BimSchG en van de “Technische Anleitung (TA) Lärm” worden voldaan. Deze geeft toestemming aan een maximale lawaainiveau van 55 decibel (dB)(A) overdag en van 40 dB (A) ´s nachts in de bebouwde kom. Idealiter heeft de producent van de kleine windmolens al een geluidsrapport gemaakt.

In de praktijk

Kleine molens zijn anders dan grote windmolens nog niet zo gangbaar en hebben gevolgen voor het uiterlijk van het stadsbeeld. Dat heeft grote onzekerheid ter gevolg, zowel bij aanvrager, als bij de instantie die een vergunning moet verlenen. Bij twijfelgevallen wordt deze vergunning vaak niet verleend. Ook de onduidelijke formuleringen in wetten en richtlijnen leveren problemen op, omdat zij te veel interpretatieruimte voor een individuele beslissing laten, zoals bijvoorbeeld bij de vraag of een kleine windmolen te dominant is binnen een woongebied.

Om dit soort problemen vroeg te kunnen herkennen is het aan te raden de verantwoordelijke overheidsinstantie op tijd te informeren. Hierbij hoort ook een goede planning en voorbereiding van de vergunning.

Tabel 5-1 bevat een checklist met daarin de stappen die relevant zijn voor de planning van een kleine molen. Tabel 5-2 helpt bij de voorbereiding van de aanvraag op basis van de juridische gegevens in Noordrijn-Westfalen.

Tabel 5-1: Checklijst kleine windmolens

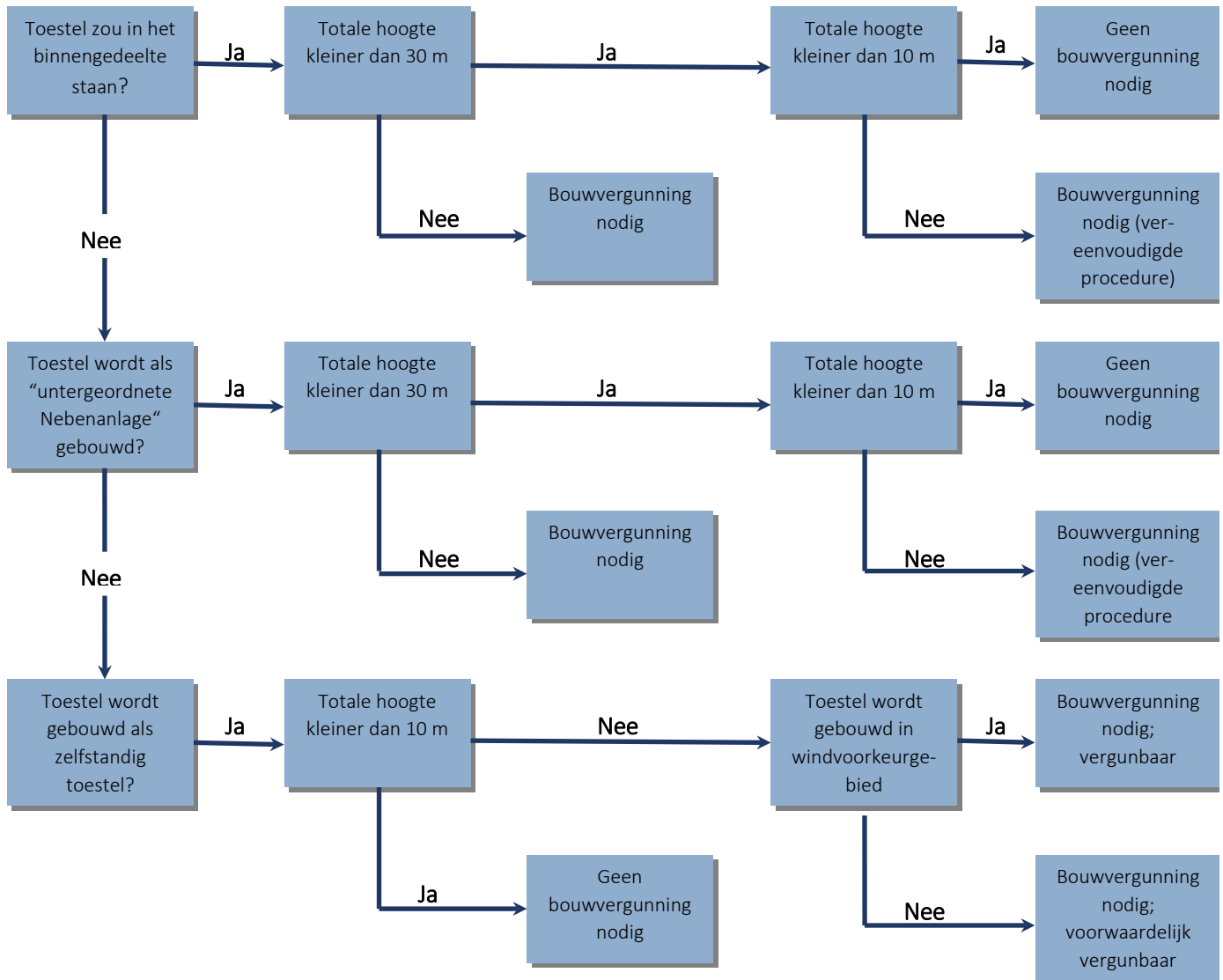
| | | |
|--|---|--|
| Locatie (niet alle punten nodig) | Beoordeling van de regio aan de hand van windkaarten (b.v. Deutscher Wetterdienst) | |
| | Winddata van metingen die in de buurt van de potentiële locatie worden/werden gemaakt (b.v. weerstations, burens met windmolens) | |
| | Aanpassing van andere windmetingen aan de potentiële locatie (hoogtecorrectie) | |
| | Zichtbeoordeling van de directe omgeving (hoge hindernissen in hoofdwindrichting) | |
| | Winddata uit eigen metingen op potentiële locatie | |
| | Vergelijking van de winddata met langjarige windomstandigheden | |
| Toestel/techniek | Toesteltype gebaseerd op de winddata kiezen (zie hoofdstuk 2.2) <ul style="list-style-type: none"> • horizontaleaswindmolens • verticaleaswindmolens | |
| | Documenten van producenten aanvragen <ul style="list-style-type: none"> • prestatiecurve • geluidsrapport • Certificaat volgens International Electrotechnical Commission (IEC), Microgeneration Certification Scheme (MCS), American Wind Energy Association (AWEA) o.d. • Andere rapporten (vibraties, stand zekerheid, etc.) | |
| | Statica van het dak van het gebouw, oftewel draagkracht van de grond en oprichtingsmogelijkheden onderzoeken | |
| | Beslissing nemen over een manier van toepassing en identificeren van elektrische aansluitingsmogelijkheden (zie hoofdstuk 4) <ul style="list-style-type: none"> • Eiland • Net-parallel | |

| | | |
|----------------------|---|--|
| Rentabiliteit | Opbrengstvoorspelling op basis van de winddata maken | |
| | Schatting van eigen gebruik (bij netkoppeling) | |
| | Rentabiliteitsberekening op basis van de investeringskosten/lopende kosten, van de voorspelde opbrengst en bijhorende inkomsten/besparingen | |
| Vergunning | Onderzoek naar benodigde vergunningsprocedures (zie Tabel 5-2) | |
| | Gesprek met burens zoeken en goedkeuring verkrijgen (vooral met betrekking tot schaduw/disco-effect) | |
| | Vergunningsaanvraag voorbereiden: <ul style="list-style-type: none"> • Gesprek met verantwoordelijke overheidsinstantie: wat is nodig voor de vergunningsprocedure? • Acceptatie van de bewoners • Toestellen in de omgeving die al goedgekeurd zijn • Documenten van de producent • Andere rapporten (b.v. vleermuizen-/vogelrapport) | |
| | Vergunningsaanvraag indienen | |
| | Bij netbedrijf: aanvraag over aansluiting aan het net indienen bij lokale netbeheerder | |

Tabel 5-2: Checklijst vergunning voor kleine windmolens in Noordrijn-Westfalen

| | | | |
|----------------|----------------|--|--|
| Locatie | Bebouwde kom | Principieel als “untergeordnete Nebenanlagen” te vergunnen (eigengebruik > 50 %) | |
| | Bedrijfsgebied | Per definitie gepland als locatie voor storende bedrijvigheid. Ook grotere toestellen mogelijk | |
| | Buitengedeelte | Principieel als “untergeordnete Nebenanlagen” voor geprivilegieerde ondernemingen (=landbouw) vergunbaar (eigengebruik > 50 %) | |

| | | | |
|----------------------|--|--|--|
| Totale hoogte | < 10 m | Geen vergunning nodig. Aan juridische eisen voor bouw en immissie moet worden voldaan. Dit is niet van toepassing in zuivere, algemene en bijzondere woongebieden of in gemengde gebieden. Bouw toestel moet doorgegeven worden aan verantwoordelijke overheidsinstantie | |
| | > 10 m en < 30 m | Bouwvergunning volgens de vereenvoudigde procedure nodig. Aan juridische eisen voor immissie moet wel worden voldaan. | |
| | > 30 m en < 50 m | Bouwvergunning nodig. Aan juridische eisen voor immissie moet wel worden voldaan. | |
| | > 50 m | Bouwvergunning en vergunningsprocedure volgens het BImSchG nodig; er is geen sprake meer van kleine windmolens | |
| Invoeding | Geen invoeding in het openbaar net (eilandnet) | Geen aanmelding bij de lokale netbeheerder | |
| | Invoeding in het openbaar net | Aanvraag naar aansluiting indienen bij lokale netbeheerder | |



Afbeelding 5-1: Beslisboom vergunning van kleine windmolens in Noordrijn-Westfalen volgens BImSchG, BauO NRW en het Winderlass NRW

Financieringsmogelijkheden en vergoeding

Voor de financiering van kleine windmolens stelt de Duitse “Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW)” kredieten onder de naam “Erneuerbare Energien – Standard“ met lage rentes ter beschikking. Doelgroepen zijn privépersonen, bedrijven en boeren. De totale investeringssom kan bij dit product met een looptijd tot 20 jaar gefinancierd worden. Verder kan men overeenkomen dat de eerste drie jaar aflossingsvrij zijn.

Boeren kunnen ook voor het product “Energie vom Land” van de Rentenbank kiezen. Hier is een financiering tot 30 jaar en, net zo als bij de KfW, een aflossingsvrije tijd van drie jaar mogelijk. Voorwaarde is dat de stroom wordt ingevoed in het net.

Naast deze specifieke producten bestaat er ook nog de mogelijkheid om een kleine windmolen gewoon door een bouwkrediet te financieren. De condities hiervan zijn echter meestal niet voordelig.

Tabel 5-3: Financieringsmogelijkheden specifiek voor duurzame energie in Duitsland

| | Looptijd | Aflossingsvrije tijd | Verdere informatie |
|--|-----------------|-----------------------------|---------------------------|
|--|-----------------|-----------------------------|---------------------------|

| | | | |
|---|-------------|---------------|---|
| Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) „Erneuerbare Energien – Standard“ | 1 – 20 jaar | tot 3 jaar | https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/Finanzierungsangebote/Erneuerbare-Energien-Standard-(270-274-275)/ |
| Rentenbank „Energie vom Land“ | 4 – 30 jaar | tot 3 jaar | http://www.rentenbank.de/cms/beitrag/10012911/291623 |

Bij vergoedingen van stroom uit windmolens is er volgens het Erneuerbare-Energien-Gesetz een specifieke regeling voor toestellen met een geïnstalleerde prestatie van minder dan 50 kW. Deze toestellen worden principieel gezien als toestellen met een opbrengst van minder dan 75 % van hun referentieopbrengst. Hierdoor wordt de periode van de beginvergoeding vastgezet op 20 jaar. De beginvergoeding is in dit geval evenredig aan de vergoeding over de complete vergoedingstijd en bedraagt in de opzet van het Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) van 2014 ca. 8,9 ct./kWh. De degressie van de vergoeding is echter afhankelijk van de algemene uitbreiding van windenergie zodat de vergoeding vanaf het jaar 2016 tot 1,2 % per kwartaal daalt. [12]

Omdat de invoedingsvergoeding in ieder geval duidelijk onder de stroomprijs voor iedere huishouden en bedrijf ligt, zou er gestreefd moeten worden naar een hoog eigengebruik.

5.2 Situatie in Nederland

Inleiding

Een onderdeel van het INERREG onderzoek naar de mogelijkheden van de nieuwste generaties kleine windmolens is het in kaart brengen van de wet en regelgeving. Daarbij is het in de eerste plaats van belang na te gaan waar kleine windmolens met de minste problemen te plaatsen zijn. Ook is van belang inzicht te krijgen in de uniformiteit van de manier waarop de verschillende Achterhoekse gemeenten in de regelgeving omgaan met de plaatsing van kleine windmolens, alsook de duur en de kosten van het vergunningetraject. Hieronder volgt een beknopt verslag van de voornaamste bevindingen.

Pilot

In andere delen van Nederland is al eerder gekeken naar het stelsel van wet en regelgeving waaraan moet worden voldaan bij de plaatsing van kleine windmolens. De conclusie daarvan is tot nu steeds hetzelfde: het is lastig want het verschilt per gemeente. In 2010 is daarom in het kader van de crisis en Herstelwet een pilot gestart die het mogelijk maakte kleine wind-

molens op bedrijfsgebouwen op industrieterreinen te plaatsen zonder vergunning. Diverse gemeenten (Utrecht, Amersfoort) hebben hiervoor specifieke bedrijfsterreinen aangewezen. De pilot duurt tot 2020. Voor zover bekend doet geen van de Achterhoekse gemeenten mee aan deze pilot.

Wat is klein?

De eerste vraag waar men in dit verband aandacht aan moet schenken is de definitie: wat is een kleine windmolen? In de Nederlandse situatie is dat niet eenduidig. Verschillende geraadpleegde vertegenwoordigers van Achterhoekse gemeenten wijzen daarbij op van elkaar verschillende zaken: zoals het draaioppervlak van de rotor, het vermogen van de generator, de doorsnede van de rotor, de ashoogte en/of een combinatie van voorgaande. Een rapport van de provincie Gelderland definieert een kleine windturbine als een windturbine met een vermogen van 0,5 tot 20 kW (dit is conform de definitie van Case & Ter Horst, 2007). Het maakt daarbij wel de kanttekening dat wat een windturbine tot een kleine windturbine maakt in de praktijk en voor de meeste mensen de ruimtelijke verschijningsvorm is. In het rapport worden alle windturbines tot een totale hoogte van 25 meter (inclusief rotorbladen) tot de kleine windturbines gerekend. Voor deze hoogte is gekozen om aan te sluiten bij de hoogte van een flinke boom (boomgrens). De Achterhoekse gemeente Bronckhorst legt de grens bij 15 meter.

In een handleiding van het Agentschapnl, onderdeel van het ministerie van Economische Zaken (EZ) wordt een andere norm gehanteerd: Een vermogensbereik tussen 0,5 en 6 kW, rotor diameter van 0,75 tot 5 m en een ashoogte tot 15 m. (Praktische toepassing van mini-windturbines, handleiding voor gemeenten). Al met al is er zeker geen eenduidigheid over wat nu een kleine windmolen is, maar het meest praktische lijkt de definitie van het ministerie EZ te volgen.

Ruimtelijk onderscheid

In de Nederlandse wetgeving wordt onderscheid gemaakt voor de plaatsing van kleine windmolens op industrieterreinen, de bebouwde kom (woonhuizen) en het buitengebied. In algemene zin is het zo dat plaatsing van kleine windmolens op industrieterreinen en het buitengebied makkelijker is dan in de bebouwde kom. Dit heeft er deels mee te maken dat er bij plaatsing op een woonhuis in de bebouwde kom simpel meer mensen in de directe omgeving bezwaar kunnen aantekenen tegen de plaatsing. Daarnaast worden er daar meer gelet op het hoorbare en onhoorbare geluid dat windmolens (zouden) kunnen produceren. Op industrieterreinen en in het buitengebied speelt geluid minder een rol. Op industrieterreinen zijn de geluidsnormen niet erg strikt vanwege de aanwezige bedrijvigheid. In het buitengebied zijn de

afstanden tussen de woonplekken over het algemeen zo groot dat het geluid van een kleine windmolen alleen gehoord zal worden door de eigenaar (en zijn gezinsleden). Wel kan de plaatsing van een kleine windmolen in het buitengebied conflicteren met (beschermde) stilte gebieden.

Wet milieubeheer

De eerste wet waar bij plaatsing van kleine windmolens rekening mee moet worden gehouden is de wet milieubeheer. In deze wet is namelijk de definitie van een windpark vastgelegd. Hiervan is sprake wanneer drie of meer windmolens worden geplaatst. Indien dit het geval is zal een Milieueffectrapportage (MER) beoordeling moet worden uitgevoerd. Deze moet aangeven of een milieueffectrapportage moet worden uitgevoerd en waarop daarin specifiek moet worden ingegaan. Zowel vanwege het kostenaspect als vanwege de duur van dit soort procedure wordt in de praktijk meestal gekozen voor het plaatsen van maximaal twee windmolentjes.

Omgevingsbesluit

De volgende wet waar ieder kleine windmolen plaatsing mee te maken krijgt is het omgevingsbesluit en de omgevingsvergunning. Deze wordt bij de gemeente aangevraagd in de vorm van een Wet algemene bepalingen omgevingsrecht (WABO) aanvraag. De WABO is ingevoerd om het aanvragen van vergunningen te vereenvoudigen. Het is een verzamelnaam voor de aanvraag van een bouw-, milieu- en ruimtevergunning.

De snelheid en eenvoud waarmee het bouw en milieu gedeelte doorlopen kunnen worden hangt sterk af van de specificaties en de certificering van de windmolen zelf. Wanneer de fabrikant van de windmolen testrapporten op het gebied van de bouw, technische veiligheid en milieubelasting (vooral akoestisch onderzoek naar geluidsbelasting) kan overleggen is dit gedeelte betrekkelijk eenvoudig te doorlopen.

Het grootste struikelblok in dit verband in de Achterhoek is het bestemmingsplan. In de bestemmingsplannen van de meeste gemeenten is in de plaatsing van kleine windmolens in het geheel niet voorzien. Voor de plaatsing van een of twee kleine windmolens moet dan een wijziging van het bestemmingsplan worden aangevraagd. Dit vergt een procedure die een aantal stappen omvat (zie bijvoorbeeld <http://www.ro-web.nl/2010/01/termijnen-bestemmingsplan-procedure/>). In de praktijk duurt de procedure minimaal een half jaar. Daarna worden er kosten in de vorm van leges in rekening gebracht.

WABO en ervaringen uit de praktijk

Bij een proef in de gemeente Montferland stuitte de plaatsing van kleine windmolens op het dak van een bedrijf op het industrieterrein aan de grens met Duitsland ook op de regels van vergunningen en bestemmingsplannen. De oplossing is uiteindelijk gezocht in een raadsbesluit waarmee toestemming voor de plaatsing van twee windmolens werd gegeven als proef gedurende een periode van twee jaar. Dit kon omdat het gemeentebestuur het initiatief omarmde.

Bij deze proef kwam ook aan de orde dat een gemeente wettelijk verplicht is bij wijzigingen op het dak van een pand de dakbelasting door te rekenen. In de praktijk betekent het dat degene die een windmolen wil plaatsen de kosten hiervan zal moeten dragen. In de regel zijn dit al snel bedragen van enkele honderden euro's. Vanwege de relatief kleine opbrengsten kunnen dit soort vergunning technische kosten grote gevolgen hebben voor de terugverdientijd van de windmolen en daarmee voor de bereidheid een windmolen te plaatsen. In dit specifieke geval heeft men uiteindelijk van de berekening afgezien omdat het gewicht van de molen verwaarloosbaar (in de orde van 20 a 30 kg, bij het ontwerp is ervan uitgegaan dat een persoon de molen het dak op moet kunnen dragen) is t.o.v. normale dakbelastingen en de staander (een driepoot) voor de plaatsing drie eenvoudige stoeptegels per poot voldoende waren. Overigens mocht de molen niet direct aan de rand van het gebouw geplaatst worden. Deels vanwege de veiligheid van voetgangers voor het gebouw, deels vanwege het aanzien van het gebouw moest een afstand tot dakrand worden aangehouden van enkele meters (de hoogte van de staander). Het achterliggende idee was onder andere dat wanneer hij omvalt op het dak terecht zou komen en van het gebouw naar beneden zou vallen. Voor het rendement van de molen heeft dit natuurlijk wel weer gevolgen omdat de stuwning van de wind langs de dakrand wordt gemist. Dit is ondervangen door de staander iets hoger te maken.

Situatie in andere gemeenten

De bestemmingsplannen voor het buitengebied van de gemeente Berkelland voorzien in de plaatsing van kleine windmolens. De andere bestemmingsplannen niet.

De gemeente Bronckhorst heeft de plaatsing van kleine windmolens niet opgenomen in de bestemmingsplannen en zal dat voorlopig niet doen. Voor de komende vier jaar is men bezig met een pilot met kleine windmolens op een vijftal locaties. Na afloop van deze pilot gaat men eerst evalueren en daarna verder zien.

De situatie in de gemeente Doetinchem lijkt op die in de gemeente Berkelland. Voor de drie onderscheiden ruimtelijke ordening gebieden (buitengebied, industrieterrein, bebouwde kom) heeft de gemeente tabel 5-4 aangeleverd waarin per situatie duidelijk wordt gemaakt waarmee men bij de plaatsing van een kleine windmolen rekening moet houden. De plaatsing is relatief eenvoudig bij actieve boerderijen in het buitengebied (zie tabel 5-4).

Tabel 5-4: Overzicht situatie t.a.v. kleine windmolens in de gemeente Doetinchem

| | Bij of op boerderij | Op bedrijfspand | Op woning |
|---|---|---|---|
| Is er een maat waaronder een windmolen vergunningsvrij is? | Nee, je hebt altijd een omgevingsvergunning nodig voor bouwen. | Nee, je hebt altijd een omgevingsvergunning nodig voor bouwen. | Nee, je hebt altijd een omgevingsvergunning nodig voor bouwen. |
| Niet vergunningsvrije windmolen, welk traject, vergunning en kosten? | Binnen de bestemming “Agrarisch” of de bestemming “Agrarisch met Waarden” is het toegestaan om op de grond een windmolen met een maximale hoogte van 15 meter te realiseren. Vergunningentraject op een gebouw is afhankelijk van het bestemmingsplan per locatie, de aanwezige situatie (monument, asbest, etc.) Hoogte leges is afhankelijk van de bouwkosten | Vergunningentraject op een gebouw is afhankelijk van het bestemmingsplan per locatie, de aanwezige situatie (monument, asbest, etc.) Hoogte leges is afhankelijk van de bouwkosten | Vergunningentraject op een gebouw is afhankelijk van het bestemmingsplan per locatie, de aanwezige situatie (monument, asbest, etc.) Hoogte leges is afhankelijk van de bouwkosten |

Welstand

In de meeste gemeenten is nog een welstandcie actief. Deze adviseert over de inpassing van bouwwerken in de omgeving. In de praktijk worden ze ook geraadpleegd over de plaatsing van kleine windmolens. In het algemeen wordt gesignaleerd dat deze commissies de neiging hebben de windmolens uit het zicht te plaatsen. Dit kan in voorkomende gevallen een tegenstrijdigheid van belangen opleveren omdat de opbrengst (&rendabiliteit) van (kleine) windmolens nauw samenhangt met de hoeveelheid wind die ze ontvangen.

Voor kleine windmolens geldt een gemiddelde windsnelheid van circa 4,5 m/sec als ondergrens. In de Achterhoek moet een kleine windmolen daarvoor in rondom relatief open gebied geplaatst zijn en vanaf hoogten van circa 10 meter boven maaiveld. Dit zijn in het algemeen goed zichtbare locaties. Een betrokkene bij een pilot van een kleine windmolen in Bronckhorst kreeg hier bijvoorbeeld mee te maken: „Van de welstandcie moest de windmolen uit het zicht vrijwel in een bomenrij worden geplaatst. Dan kan ik hem net zo goed niet plaatsen want

dan levert hij nauwelijks iets op want hij vangt daar nauwelijks wind door de bomen die er dan omheen staan.“

Leges

Voor de plaatsing van kleine windmolens in gemeenten in de Achterhoek moeten bij de gemeenten zoals beschreven vergunningen worden aangevraagd. Los van de kosten voor het opstellen van de aanvragen zelf betekent het doorgaan dat ook geld aan de gemeente moet worden betaald in de vorm van leges. Bij een project in Montferland moest voor de plaatsing van twee windmolens ongeveer €800,- aan leges worden betaald. Bij de pilot in Bronckhorst wordt gesproken over vergelijkbare bedragen aan leges.

Deze leges maken een significant deel uit van de projectkosten: tussen de 6 en 15 %. Uitgaande van een gemiddelde opbrengst van circa 400 tot 600 kWh per jaar moet een kleine windmolen circa 7 jaar draaien om dit bedrag aan leges terug te verdienen. In de praktijk zijn de kosten van leges derhalve een belemmering voor de brede uitrol van kleine windmolens.

Conclusie

Zoals aangegeven is er verschil in de mogelijkheden voor de plaatsing van kleine windmolens tussen de verschillende gemeenten. Binnen een gemeente kan de specifieke locatie ook van grote invloed zijn. Verder moet bij plaatsing rekening worden gehouden met leges kosten die een serieus nadelig effect hebben op de terugverdientijd. De uitgangssituatie voor kleine windmolens in de Achterhoek is daardoor op dit moment ongunstig. Hier kan verandering in komen door het realiseren van afstemming in het beleid tussen de verschillende gemeenten zodat uniformiteit in regelgeving ontstaat en een duidelijke procedure voor de plaatsing van een kleine windmolen in elke situatie kan worden omschreven. De hoogte van de leges is daarbij een aandachtspunt. Er zijn grote kansen voor de ontwikkeling van een stimuleringsbeleid. Het kan de opwekking van duurzame energie met behulp van kleine windmolens snel aanjagen.

6 KOSTEN-BATENANALYSE

Een algemeen geldige uitspraak over de rentabiliteit van kleine molens is niet makkelijk, omdat de opbrengsten zeer afhankelijk zijn van een verandering van de windsnelheid. Zo kan een montage op een dak van maar 1 meter hoger zorgen voor significant hogere opbrengsten en daardoor van doorslaggevende betekenis zijn of er sprake is van een rendabele kleine windmolen of niet.

In het volgende deel zullen nu enige voorbeelden berekend worden om te kunnen laten zien met welke factoren men rekening moet houden bij een rendabele windmolen en welke invloed de verschillende onderdelen kunnen hebben.

6.1 Factoren voor een Kosten-Batenanalyse

De beslissende waarde voor een rendabele windmolen is de **windsnelheid**. Zoals in hoofdstuk 2 en 3 beschreven, wordt de capaciteit die door de wind wordt opgeleverd acht keer groter als de windsnelheid verdubbelt. Iedere kleine verbetering van de locatie wordt dus zichtbaar in de opbrengsten. De windsnelheid zou idealiter op locatie gemeten worden of er moeten data uit een andere geschikte bron gehaald worden.

Aan de opbrengstkant staat de **Erneuerbare Energien Gesetz (EEG)-vergoeding** ofwel de vermeden **stroomontvangskosten**. Het eerst genoemde daalt waarschijnlijk in de volgende jaren, het tweede gaat eerder stijgen. De “EEG-Umlage” ligt in Duitsland tegenwoordig (EEG 2012) bij 8,93 ct./kWh, in Nederland kan de stroom volgens de marktprijs worden ingevoerd. Die ligt, afhankelijk van de tijd van de dag en van de seizoen bij ca. 3-6 ct./kWh. Die stroomkosten die relevant zijn voor het eigengebruik liggen in Duitsland momenteel bij rond 0,28 €/kWh (stand april 2014; bedrijfsklanten en klanten met een speciaal contract betalen wellicht minder). In Nederland kan zelf opgewekte stroom direct gesaldeerd worden met de stroom die men krijgt van de stroomverzorger, het net werkt vanuit de positie van de verzorger dus als reservoir. Het nadeel hiervan is echter een goedkope stroomprijs van maar ca. 0,23 ct./kWh en al vanaf 10.000 kWh/a is er een duidelijk lagerenergiebelastingtarief.

Omdat de invoedingsvergoeding voor kleine windmolens tangentieel dezelfde is als voor grote molens, maar de stroomproductiekosten duidelijk hoger zijn, **zou zo veel mogelijk stroom zelf gebruikt moeten worden**. De opbrengsten komen in het geval van een quota van 100 % overeen met de stroomontvangskosten. Om dat te kunnen bereiken, is afhankelijk van

de locatie en het aangesloten gebouw een specifiek concept nodig, waarin ook met opslagmogelijkheden en warmteopwekking rekening gehouden zou worden.

De **investeringskosten** maken het grootste deel uit van een kleine windmolen-project. Behalve de generator zelf moet ook gekeken worden naar de kosten voor het fundament, de mast, elektro installaties, de aflevering en de montage.

Bij kleinere types zijn de **lopende kosten** van ondergeschikte betekenis. Het grootste deel betreft het onderhoud, de verzekering voor het toestel die gedeeltelijk deel kan zijn van een al beschikbare gebouwenverzekering, en een eigenaars-aansprakelijkheidsverzekering.

Wordt het toestel niet door eigen middelen gefinancierd, dan ontstaan **kapitaalkosten**.

6.2 Voorbeelden van rentabiliteitsanalyses

Voor de rentabiliteitsbeschouwingen worden eerst standaard-windomstandigheden volgens de literatuur [5] als uitgangspositie genomen. Deze bestaan uit een gemiddelde windsnelheid en een snelheidsverdeling volgens Weibull met de vormfactor k . Deze factor k wordt hier aangenomen met $k = 2$, waardoor het gaat over een Rayleigh-verdeling. Voor de gemiddelde windsnelheid worden drie scenario's bekeken:

- **Scenario 1:** 3 m/s in 10 m hoogte (stedelijke omgeving met slechte windcondities),
- **Scenario 2:** 4 m/s in 10 m hoogte (stedelijk randgebied en gesloten agrarisch landschapsbeeld met goede windcondities),
- **Scenario 3:** 5 m/s in 10 m hoogte (open agrarisch landschapsbeeld met zeer goede windcondities)

De windsnelheid is op de respectievelijke aangeboden masthoogtes geëxtrapoleerd, de resultaten hiervan staan in Tabel 8-1. Hierbij is een ruwheidscoëfficiënt van 0,3 m aangenomen. Voor de opbrengstschatting zijn de prestatiecurves van de producent gebruikt.

De volgende toestellen zijn onderzocht:

- Aircon 10 (Lely Aircon)
- Antaris 6.5 (Braun Windturbinen GmbH)
- Montana 5 kW (Fortis Wind Energy)
- Cyclone 4.8 kW (Cyclone Green Power Inc.)
- Basis Windchallenge 1.7 (Windchallenge BV)
- Skystream 3.7 (XZERES Wind Corp)

De keuzecriteria voor de toestellen waren: een zo groot mogelijke sturingsmogelijkheid van de toestelgrootte, ervaringen van de producent, certificering van de toestellen en toestellen die op basis van de prijs of de bouwvorm interessant waren. Verticale as windmolens zijn in dit onderzoek niet meegenomen, omdat voorafgaande onderzoeken al hebben laten zien dat de investeringskosten in een significant slechte verhouding staan tot de opbrengst van deze toestellen.

Dit leidt tot de in Tabel 8-2 weergegeven resultaten per jaar.

Tabel 8-1: Windsnelheden in de drie onderzochte scenario's op ashoogte

| | Ashoogte [m] | Scenario 1 [m/s] | Scenario 2 [m/s] | Scenario 3 [m/s] |
|--------------------------|-----------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Aircon 10 | 24 | 3,75 | 5,00 | 6,25 |
| Antaris 6.5 | 24 | 3,75 | 5,00 | 6,25 |
| Montana 5 kW | 24 | 3,75 | 5,00 | 6,25 |
| Cyclone 4.8 kW | 9 | 2,91 | 3,88 | 4,85 |
| Windchallenge 1.7 | 24 | 3,75 | 5,00 | 6,25 |
| Skystream 3.7 | 21 | 3,63 | 4,85 | 6,06 |

Tabel 8-2: Jaaropbrengsten voor verschillende gemiddelde windsnelheden

| | Nominaal vermogen | Ashoogte [m] | Scenario 1 [kWh/a] | Scenario 2 [kWh/a] | Scenario 3 [kWh/a] |
|--------------------------|----------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Aircon 10 | 9,8 kW | 24 | 7.998 | 18.204 | 29.572 |
| Antaris 6.5 | 7,5 kW | 24 | 5.643 | 12.751 | 20.913 |
| Montana 5 kW | 5,8 kW | 24 | 2.993 | 6.140 | 10.218 |
| Cyclone 4.8 kW | 4,8 kW | 9 | 2.538 | 5.305 | 8.888 |
| Windchallenge 1.7 | 0,3 kW | 24 | 312 | 675 | 1.100 |
| Skystream 3.7 | 2,1 kW | 21 | 1.260 | 3.126 | 5.453 |

Om een vergelijking te kunnen maken, is de opbrengstschatting ook gemaakt voor het jaar 2013 aan de hand van de metingen van het weerstation op de hogeschool Münster, locatie

Steinfurt. De meting werd verricht op een hoogte van 10 m (hoofdstuk 3.2). De windsnelheden op een hoogte van 24 m werden met behulp van de logaritmische hoogteformule met de ruwheidcoëfficiënt $z_0 = 0,3$ (bebouwd gebied) geëxtrapoleerd, om de effecten van een hogere mast te kunnen beoordelen. Tabel 8-3 laat de opbrengsten zien, die voor de locatie Steinfurt zijn berekend.

Tabel 8-3: Jaaropbrengsten voor de locatie hogeschool Münster in Steinfurt op basis van de metingen van het jaar 2013

| Hoogte (gemiddelde windsnelheid) | 10 m hoogte bij (3,4 m/s)* [kWh/a] | 24 m hoogte bij (4,25 m/s)** [kWh/a] |
|-------------------------------------|--|--|
| Aircon 10 | 5.745 | 11.756 |
| Antaris 6.5 | 4.174 | 8.181 |
| Montana 5 kW | 2.323 | 4.113 |
| Cyclone 4.8 kW | 3.814 | 6.595 |
| Windchallenge 1.7 | 233 | 445 |
| Skystream 3.7 | 991 | 2.116 |

*gemeten resultaat

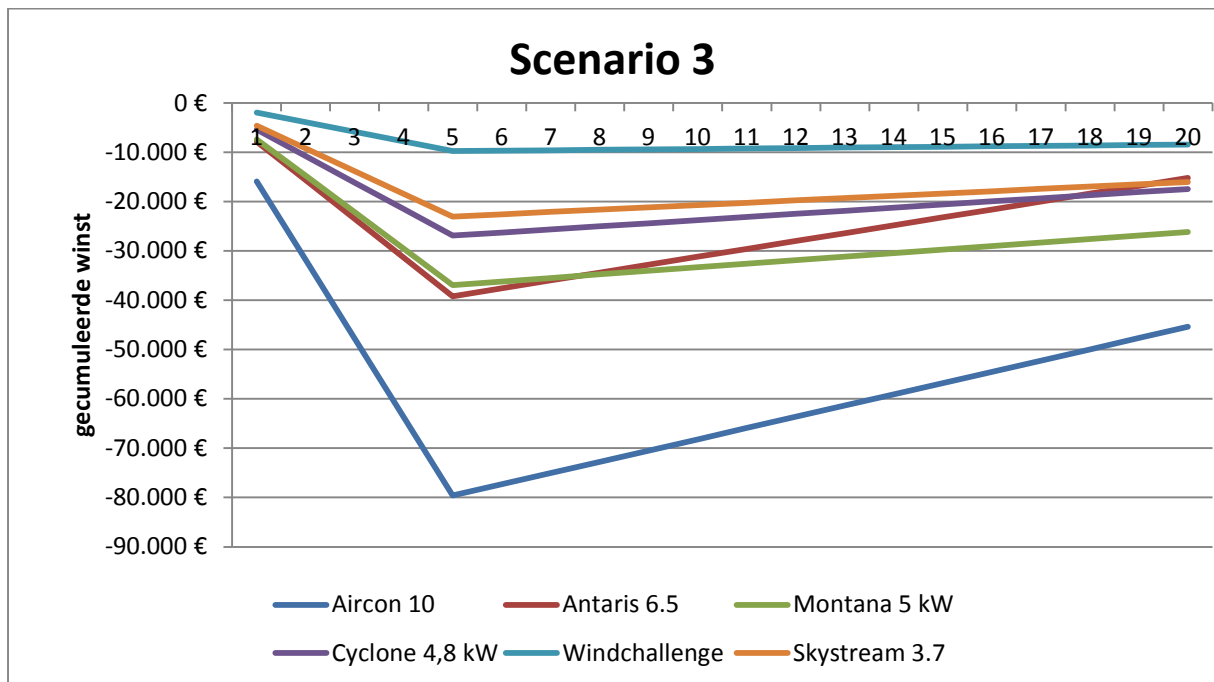
**berekend resultaat

Het belangrijkste criterium voor de rentabiliteitsberekening is de rentabiliteitsdrempel, ook “Break-Even-Point” genoemd. In de rentabiliteitsbeschouwing is verder rekening gehouden met de exploitatiekosten van 30 Euro per kilowatt en jaar, kosten voor onderhoud, reparatie, verzekering en andere leges inbegrepen [13]. Bij de berekening is een projectlooptijd van 20 jaar aangenomen. Voor de financiering wordt een lening afgesloten. Deze loopt globaal 5 jaar, met een rentetarief van 2 procent per jaar en een constante annuïteit. De prijzen van de toestellen zijn aanbiedingen van de producenten, eventueel aangevuld door niet in het aanbod inbegrepen, maar essentiële aspecten, zoals fundament, vergunning en opbouw. Een verdere aanname is een toestelbeschikbaarheid in 98 % van de tijd. De invoedingsvergoeding ligt bij 8,93 ct./kWh volgens het EEG-Gesetz (2012), de stroomontvangstkosten bij 0,28 €/kWh, waarbij een jaarlijkse prijsstijging van 3 % wordt aangenomen. In Nederland komt de invoedingsvergoeding overeen met de marktprijs van ca. 3-6 ct./kWh buiten de saldering. De gemiddelde stroomontvangstkosten liggen bij rond 23 ct./kWh.

Er is voor ieder toesteltype in alle scenario's de jaarlijks gecumuleerde winst of verlies achterhaald, dat betekent dat voor ieder jaar de (misschien negatieve) winst opgeteld wordt

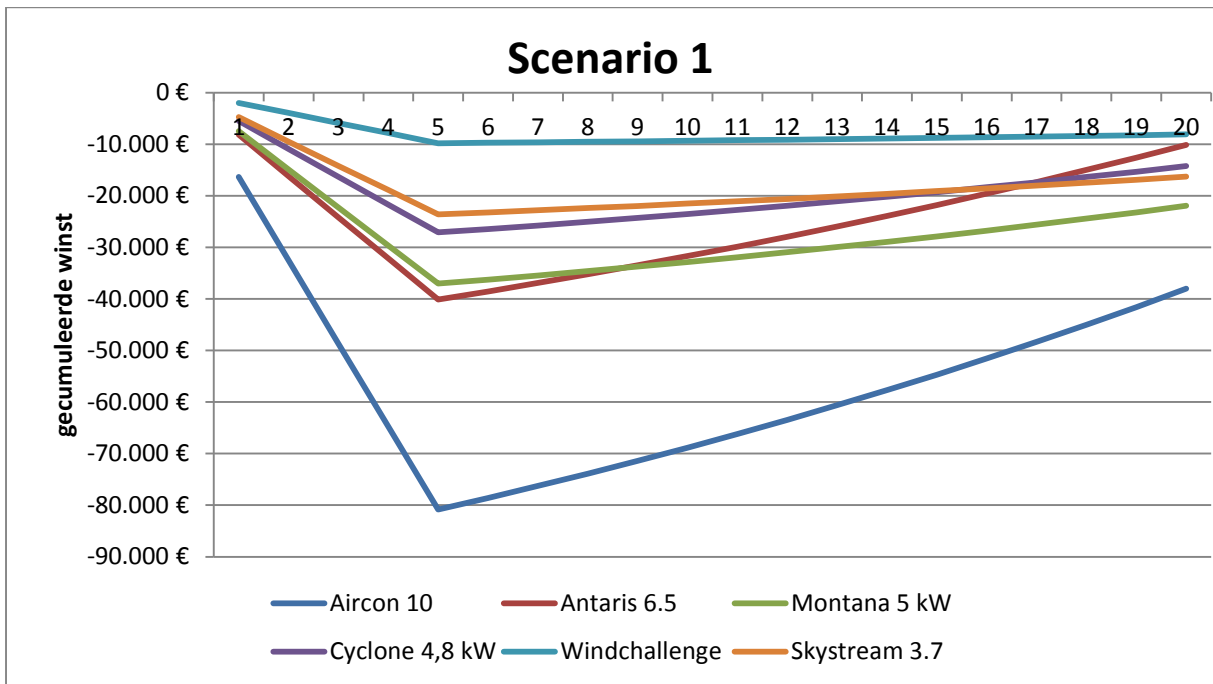
met de winst uit het voorafgaande jaar. Als deze bij nul ligt, is het “Break-Even-Point” bereikt. De gecumuleerde winst aan het einde van de projectlooptijd geeft gelijktijdig ook het beschikbare kapitaal aan het einde van de projectlooptijd weer. Andere kenwaarden voor de vergelijking van de kleine windmolens zijn de kapitaalopbrengst; deze wordt ontwikkeld uit de deling van de totale winst door de investeringskosten, en de gemiddelde stroomproductiekosten die berekend worden door de optelling van de investeringskosten en de exploitatiekosten over de projectperiode, gedeeld door de energieopbrengsten van de hele projectperiode. Een rendabel project wordt gekenmerkt door een positieve kapitaalopbrengst.

Eerst zijn de onderzochte toestellen zonder eigengebruik van de stroom met elkaar vergeleken. In Afbeelding 8-1 kan men zien dat zelf in het voordeligste scenario 3 geen van de toestellen de investeringskosten door de opbrengsten weer kan terugverdienen. De beschouwing van scenario 1 en 2 is daarom overbodig bij uitsluitende netinvoeding.

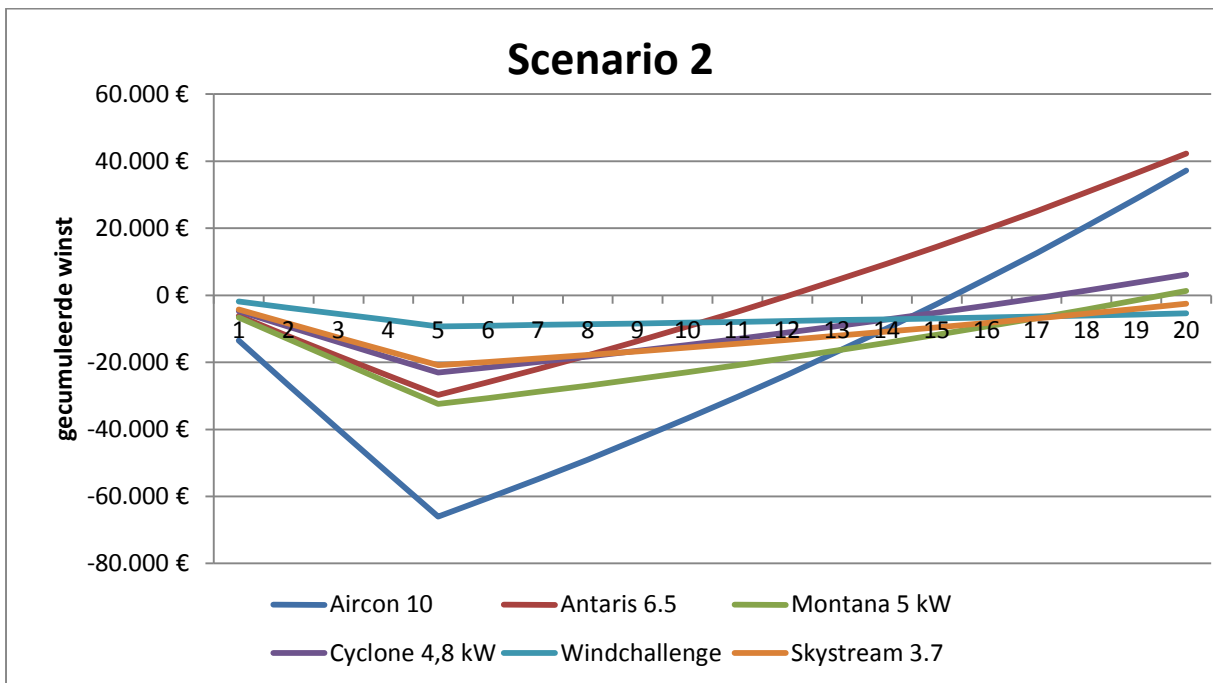


Afbeelding 8-1: gecumuleerde winst/verlies van de onderzochte toestellen over een periode van 20 jaar en een gemiddelde windsnelheid van 5 m/s op een hoogte van 10 m en 100 % netinvoeding

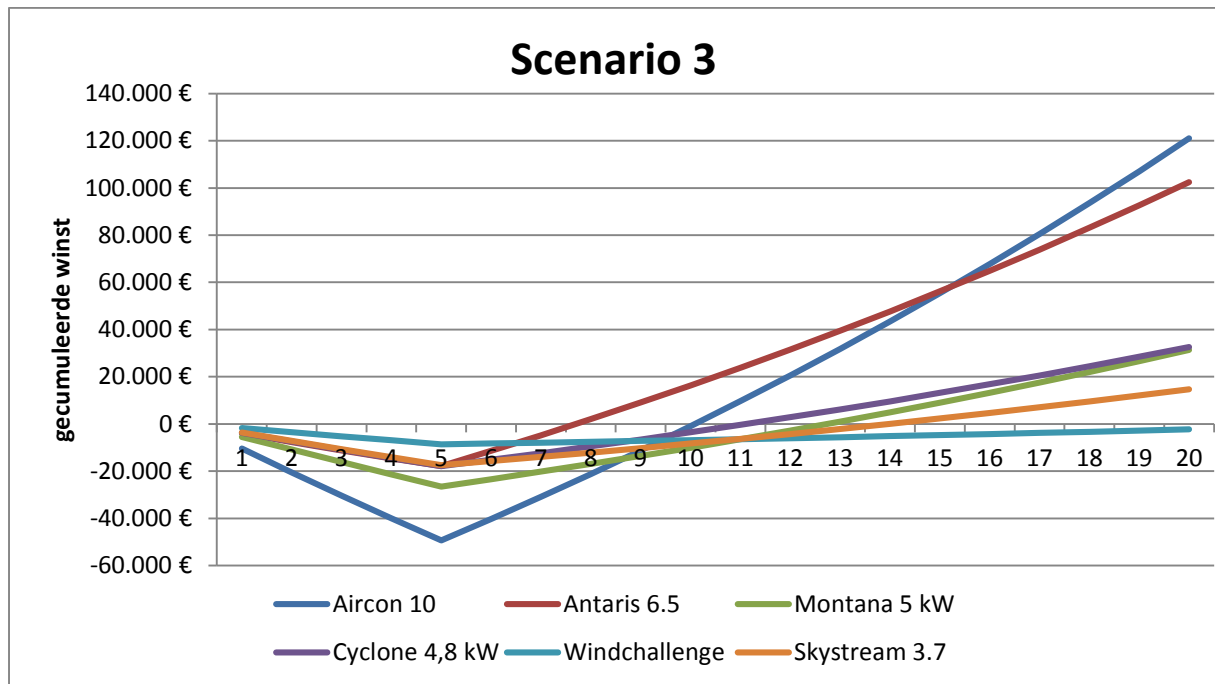
De situatie verandert als de opgewekte stroom voor 100 % zelf wordt gebruikt. In scenario 1 en 3 bereikt geen van de toestellen een rentabiliteit (Afbeelding 8-2), maar in scenario 2 zijn twee van de toestellen al bij 4 m/s op een hoogte van 10 m rendabel, twee andere verdienen ten minste de investeringskosten binnen 20 jaar weer terug (Afbeelding 8-3). In scenario 3 bereiken alle onderzochte kleine windmolens, behalve de kleinste (Windchallenge 1.7), de rentabiliteit en zelfs het Break-Even-Point binnen 15 jaar (Afbeelding 8-4).



Afbeelding 8-2: Gecumuleerde winst/verlies van de onderzochte toestellen over een periode van 20 jaar en een gemiddelde windsnelheid van 3 m/s op een hoogte van 10 m en 100 % eigegebruik



Afbeelding 8-3: Gecumuleerde winst/verlies van de onderzochte toestellen over een periode van 20 jaar en een gemiddelde windsnelheid van 4 m/s op een hoogte van 10 m en 100 % eigegebruik



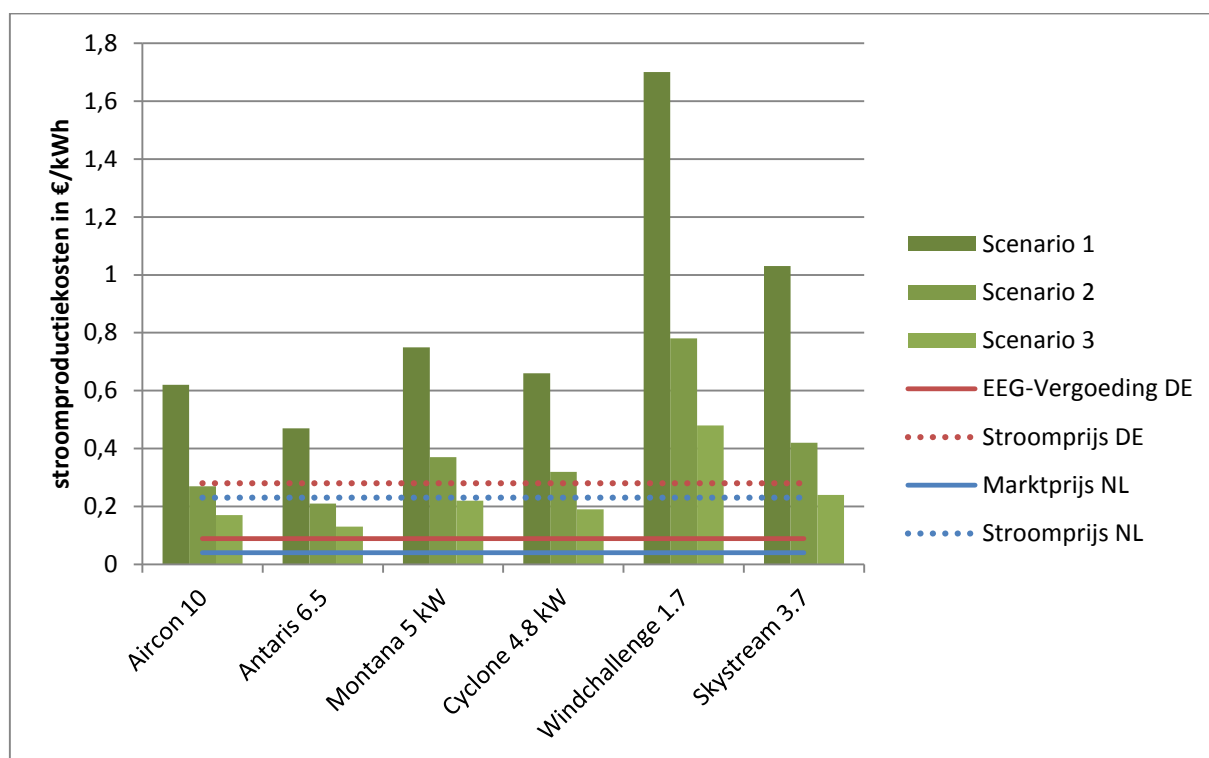
Afbeelding 8-4: Gecumuleerde winst/verlies van de onderzochte toestellen over een periode van 20 jaar en een gemiddelde windsnelheid van 5 m/s op een hoogte van 10 m en 100 % eigengebruik

Uit deze omstandigheden volgen de in Tabel 8-4 aangegeven kapitaalopbrengsten en stroomproductiekosten. De kapitaalopbrengst ligt voor de twee grootste toestellen bij een goede tot zeer goede wind twee tot drie maal hoger. Zij zijn dus best interessant, als de kapitaalopbrengst het belangrijkste criterium is.

De stroomproductiekosten liggen bij alle onderzochte kleine windmolens in ieder scenario boven de huidige invoedingsvergoeding van rond 9 ct/kWh en zijn daardoor dus zonder eigengebruik niet rendabel (Afbeelding 8-5). Een invoedingsvergoeding van 25 tot 30 ct./kWh zou pas grotere toestellen (vanaf 10 kW) op goede locaties interessant maken voor de invoeding.

Tabel 8-4: Kapitaalopbrengst bij 100 % eigegebruik en stroomproductiekosten naar 20 jaar looptijd







| | Scenario 1 | | Scenario 2 | | Scenario 3 | |
|--------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | Kapitaal-opbrengst [%] | Kosten per kWh [€/kWh] | Kapitaal-opbrengst [%] | Kosten per kWh [€/kWh] | Kapitaal-opbrengst [%] | Kosten per kWh [€/kWh] |
| Aircon 10 | - 44 | 0,62 | 43 | 0,27 | 141 | 0,17 |
| Antaris 6.5 | - 23 | 0,47 | 95 | 0,21 | 230 | 0,13 |
| Montana 5 kW | - 57 | 0,75 | 3 | 0,37 | 82 | 0,22 |
| Cyclone 4.8 kW | - 50 | 0,66 | 22 | 0,32 | 115 | 0,19 |
| Windchallenge 1.7 | - 84 | 1,70 | -56 | 0,78 | -24 | 0,48 |
| Skystream 3.7 | - 68 | 1,03 | -10 | 0,42 | 61 | 0,24 |



Afbeelding 8-5: Stroomproductiekosten in de drie onderzochte scenario's bij een looptijd van 20 jaar

Tabel 8-5 laat de samenvatting van de rentabiliteitsbeschouwing voor de zes toestellen zien. Aanvullend op de al genoemde data zijn de maximale kosten berekend, waarbij de amortisatie binnen 20 jaar onder de onderzochte omstandigheden mogelijk is.

Tabel 8-5: Samenvatting van de resultaten voor de projectregio onder goede windcondities van 4 m/s (scenario 2)

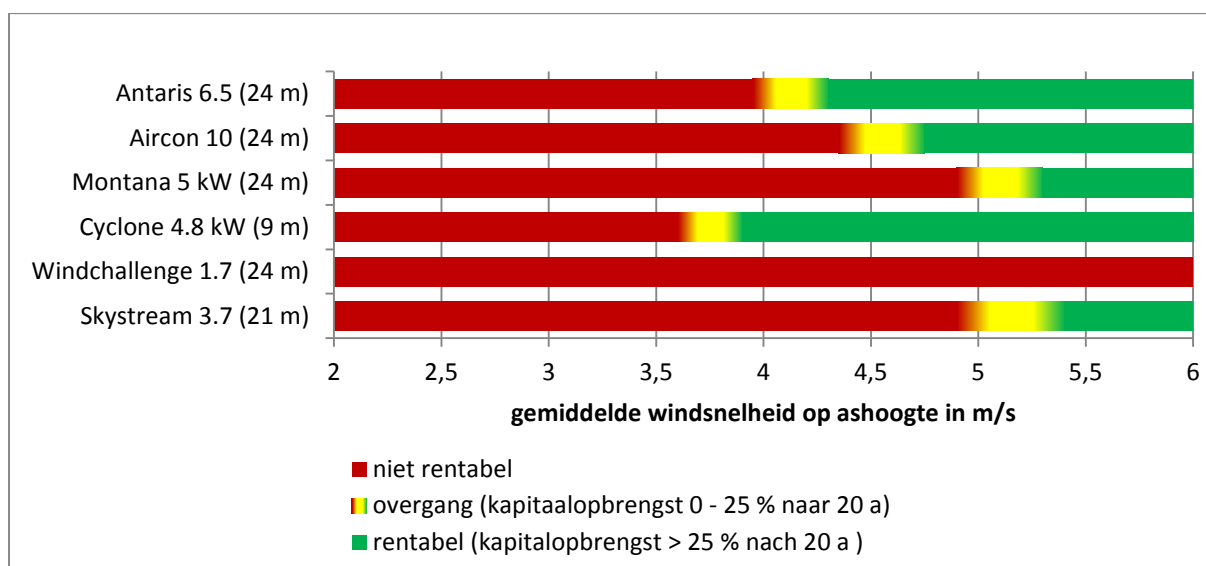
| | Aircon 10 | Antaris 6.5 | Montana 5 kW |
|---|---|--|---|
| |  |  |  |
| Nominaal vermogen | 10 kW | 7,5 kW | 5,8 kW |
| Rotoroppervlakte | 41,3 m ² | 22,1 m ² | 19,6 m ² |
| Jaarlijkse opbrengst | 18.204 kWh/a | 12.751 kWh/a | 6.140 kWh/a |
| Stroomproductiekosten | 0,27 €/kWh | 0,21 €/kWh | 0,37 €/kWh |
| Investeringskosten | 85.775 € | 44.482 € | 38.185 € |
| Max. Investeringskosten voor rentabiliteit (EEG-vergoeding 2012) | 24.000 € | 16.500 € | 6.700 |
| Max. Investeringskosten voor rentabiliteit (100 % eigegebruik) | Al rentabel | Al rentabel | Rentabel bij een looptijd van 20 a en 3 %/a stroompreisstijging |
| | Cyclone 4,8 kW | Windchallenge 1.7 | Skystream 3.7 |
| |  |  |  |
| Nominaal vermogen | 4,8 kW | 0,3 kW | 2,1 kW |
| Rotoroppervlakte | 19,6 m ² | 2,3 m ² | 10,8 m ² |
| Jaarlijkse opbrengst | 5.305 kWh/a | 675 kWh/a | 3.126 kWh/a |
| Stroomproductiekosten | 0,32 €/kWh | 0,78 €/kWh | 0,42 €/kWh |
| Investeringskosten | 28.345 € | 9.614 € | 23.919 € |
| Max. Investeringskosten voor rentabiliteit (EEG-vergoeding 2012) | 6.000 € | 940 € | 4.900 € |
| Max. Investeringskosten | Rentabel bij een looptijd van 20 a en | 4.500 € | 21.000 € |

**voor rentabiliteit
(100 % eigegebruik)**

3 %/a
stroompreisstijging

De maximale specifieke investeringskosten voor een EEG-vergoeding liggen tussen 1.150 €/kW (Montana 5 kW) en 3.130 €/kW (Windchallenge 1.7). Voor het eigegebruik verdienen zich bij 4 m/s alleen twee van de onderzochte toestellen niet binnen de 20 jaar terug. Uit terugverdienen binnen de 20 jaar volgen in deze voorbeelden maximale investeringskosten van 10.000 €/kW (Skystream 3.7) oftewel 15.000 €/kW (Windchallenge 1.7).

Zou een van de onderzochte toestellen geplaatst worden, is het aan te raden om windmetingen op ashoogte te maken voor een zo ideaal mogelijke opbrengstvoorspelling. Afbeelding 8-6 laat zien, vanaf welke windsnelheid op ashoogte de toestellen binnen een periode van 20 jaar rendabel zijn.



Afbeelding 8-6: Rentabiliteit van de onderzochte toestellen in afhankelijkheid van de gemiddelde windsnelheid op ashoogte

6.3 Conclusies uit de rentabiliteitsberekening

Er kunnen, met de beperking dat bij deze rentabiliteitsberekening alleen sommige toesteltypes, windcondities en andere parameters onderzocht werden, de volgende conclusies getrokken worden:

- Horizontale kleine windmolens zijn op basis van lage investeringskosten, hogere prestatiecoëfficiënten en daardoor hogere opbrengsten een stuk beter dan verticale kleine windmolens

- Miniwindmolens en middelgrote windmolens (> 5 kW) worden boven de microwindmolens verkozen, vanwege hun kleine specifieke investeringskosten. Bovendien is de vergunningsprocedure bij alle toestellen vergelijkbaar, alleen zijn bij de microwindmolens maar kleine opbrengsten te verwachten. Een uitzondering hiervan zijn de toestellen die geen bouwvergunning nodig hebben.
- Er zou naar een zo groot mogelijk eigenverbruik gestreefd moeten worden. De opbrengst per opgewekte kW/h stroom is bij eigenverbruik in Duitsland drie keer zo hoog als bij een netinvoeding. In Nederland kan stroom alleen voor marktprijzen ingevoerd worden.
- Om te bereiken dat goede miniwindmolens volgens een horizontale bouwwijze op geschikte locaties (ten minste 4 m/s gemiddelde windsnelheid op een hoogte van 10 m) ook met een invoedingsvergoeding rendabel zijn, zou een verhoging van de vergoeding naar 0,30 €/kWh nodig zijn, dan kunnen de twee beste van de onderzochte toestellen ook zonder eigengebruik rendabel zijn.
- Hoge windsnelheden zijn cruciaal voor hogere opbrengsten. Toestellen zouden dus zo hoog mogelijk gebouwd moeten worden (binnen de vergunningsrichtlijnen op de locatie).

6.4 Marktoverzicht

De markt voor kleine windmolens is relatief overzichtelijk. Vaak komen nieuwe producenten op de markt die een prototype ontwikkelen maar dan weer verdwijnen. Gedeeltelijk worden niet realistische opgaven gedaan over de prestatie, waarbij prestatiecoëfficiënten boven de maximale waarden beloofd worden. In Tabel 8-6 zijn producenten opgesomd die al vele toestellen hebben verkocht, oftewel gecertificeerde toestellen in het assortiment hebben. Bovendien kunnen nominale windsnelheden van producent tot producent en zelfs van model tot model variëren zodat een directe vergelijking moeilijk wordt. De nominale windsnelheden kenmerken het uitgangspunt van het toestel, in zoverre zijn verschillende nominale windsnelheden afhankelijk van de locatie zinvol, maar toch zijn deze niet handig voor de vergelijking.

Bij een marktoverzicht zouden echter vergelijkbare kenwaarden aangegeven moeten worden. Een belangrijke kenwaarde is de door de rotor bestreken oppervlakte. Aan de hand daarvan kan het maximale windpotentieel van de rotor onderzocht en vergeleken worden. De keuze van de generator zou moeten afhangen van de omstandigheid of er een sterke of een zwakke wind op een locatie overheerst.

Tabel 8-6: Producenten van kleine windmolens

| Producent | Land | Website |
|---------------------------------|---------------------|---|
| Ampair Energy Ltd. | Verenigd Koninkrijk | http://www.ampair.com/ |
| Aventa AG | Zwitserland | http://www.avena.ch/ |
| Bergey WindPower Co. | VS | http://bergey.com/ |
| BRAUN Windturbinen GmbH | Duitsland | http://www.braun-windturbinen.com/ |
| C&F Green Energy | Ierland | http://www.cfgreenenergy.com/ |
| EasyWind GmbH | Duitsland | http://www.easywind.org/ |
| Eoltec | Frankrijk | http://www.eoltec.com/ |
| Evance Wind Turbines Ltd | Verenigd Koninkrijk | http://www.evancewind.com/ |
| Fortis Wind Energy | Nederland | http://www.fortiswindenergy.com/ |
| Gaia Wind Limited | Verenigd Koninkrijk | http://www.gaia-wind.com/ |
| HUAYING WIND | China | http://en.huayingwind.com/ |
| Kestrel Wind Turbines | Zuid-Afrika | http://www.kestrelwind.co.za/ |
| Kingspan Environmental | Ierland | http://www.kingspanwind.com/ |

| | | |
|--|-----------|---|
| Lely Holding S.à r.l. | Nederland | http://www.lely.com/ |
| PSW-Energiesysteme | Duitsland | http://www.psw-energiesysteme.com/ |
| S&W Energiesysteme | Duitsland | http://www.s-und-w-energie.de/ |
| Sonkyo Energy | Spanië | http://germany.windspot.es/ |
| Uni Wind GmbH | Duitsland | http://www.uniwindgmbh.de/ |
| winDual UG (beperkte aansprakelijkheid) | Duitsland | http://www.windkraft-anlagen.com/ |
| Xzeres | VS | http://www.xzeres.com/ |

In gebieden met weinig wind wordt liever dan in gebieden met zeer veel wind voor een generator gekozen die bij weinig wind zijn maximale prestatie bereikt, waardoor bij deellast een hoger rendement en een lagere aanloopsnelheid bereikt kan worden. Andersom worden grotere generatoren in gebieden met sterkere wind ingezet om ook vaak voorkomende sterke winden met veel energie te kunnen gebruiken. Uit de kenwaarde van de specifieke prestatie, dus de geïnstalleerde prestatie m.b.t. de bestreken rotoroppervlakte, kan de geschiktheid van de rotor voor de respectievelijke windconditie herkend worden. Toestellen die geschikt zijn voor weinig wind bereiken normaal gesproken een prestatie tussen 100 W/m² en 200 W/m², typische toestellen voor zeer veel wind bereiken een prestatie tot 500 W/m².

Van prestatiecurves kunnen vergelijkbare prestatiedata onder de verschillende windcondities afgelezen worden. Zijn deze afkomstig van de producent, zou men niet zo maar van de juistheid daarvan uit moeten gaan, als het toestel geen certificering heeft (zie hoofdstuk 2.3).

De “Bundesverband Windenergie (BWE)” publiceerde in maart 2013 de tweede druk van de “BWE Marktübersicht spezial Kleinwindanlagen”, waarin de kenwaarden voor de op de markt beschikbare toestellen opgesomd worden.

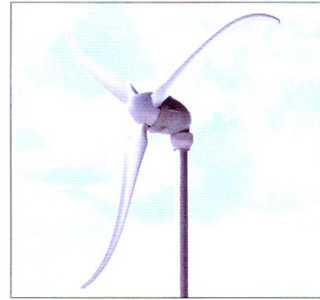
In Afbeelding 8-7 is als voorbeeld een dataformulier van het BEW-marktoverzicht specifiek voor kleine windmolens afgebeeld. Naast de boven genoemde kenwaarden worden ook rekenkundig onderzochte opbrengstdata voor geselecteerde locatiecondities genoemd. Deze waarden baseren zich echter meestal ook op gegevens die afkomstig zijn van de producent. Deze kunnen dan ook maar voor een voorlopige selectie gebruikt worden. Bij dit voorbeeld wordt echter een indicatie voor een MCS-certificering duidelijk zodat het begrijpelijk wordt, onder welke omstandigheden de prestatiecurve gemaakt werd.

Zoals al in hoofdstuk 2.2 genoemd, zijn op basis van hoge prestatiecoëfficiënten vooral horizontale as windmolens rendabel. In Tabel 8-7 is een aantal van op de markt beschikbare kleine windmolens met een certificaat te zien. Er zijn maar weinig modellen met een

nominaal vermogen van minder dan 5 kW die een certificaat volgens de in hoofdstuk 2.3 beschreven procedure hebben. Molens van Duitse of Nederlandse producenten zijn vaak niet volgens deze procedure gecertificeerd omdat dit niet nodig is voor een subsidie en omdat de kosten daarvoor best hoog zijn.

De het vermogen in W/m^2 en het nominale vermogen in kW van de toestellen uit Tabel 8-7 zijn ingevuld in Afbeelding 8-8. De geschiktheid voor verschillende windcondities wordt hierin duidelijk.

Skystream 3.7



Southwest Windpower Inc.
Flagstaff, AZ USA

ZERTIFIZIERT
nach MCS

LEISTUNG / JAHRESERTRAG

| | | | |
|-------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Nennleistung | 2,4 kW | Einschaltwindgeschwindigkeit | 3,0 m/s |
| Nennwindgeschwindigkeit | 13,0 m/s | Ausschaltwindgeschwindigkeit | |
| | | Überlebenswindgeschwindigkeit | 63,0 m/s |
| Leistung bei 5 m/s | 213 W | Leistung bei 11 m/s | 2.352 W |
| Spezifische Leistung | 221 W/m ² | | |
| Jahresertrag | $v_m = 4 \text{ m/s}; k = 1,8$ | $v_m = 5 \text{ m/s}; k = 2,0$ | $v_m = 6 \text{ m/s}; k = 2,2$ |
| | 2.429 kWh/a | 4.090 kWh/a | 6.164 kWh/a |

TECHNISCHE DATEN

| | | | |
|----------------------------------|---------------------|---------------------------|----------------------|
| Anlagentyp | Horizontalachser | | |
| Anzahl der Rotorblätter | 3 | Blattlänge | |
| Durchmesser | 3,72 m | Überstrichene Rotorfläche | 10,87 m ² |
| Rotordrehzahl bei Nennleistung | 330 U/min | | |
| Rotorblattspitzengeschwindigkeit | 64 m/s | | |
| Material | GFK, Stahl | | |
| Nabenhöhe | 20 m | Turmtyp | Stahlrohrturm |
| Gesamtgewicht | 77 kg | Getriebe | getriebelos |
| Generator | Permanentmagnet | | |
| Spannung | 120 / 240 V AC | | |
| Geschwindigkeitssteuerung | elektronisch | | |
| Windrichtungsnachführung | Leeläufer | | |
| Hauptbremse | elektronisch, Stall | | |

PREISE / SONSTIGES

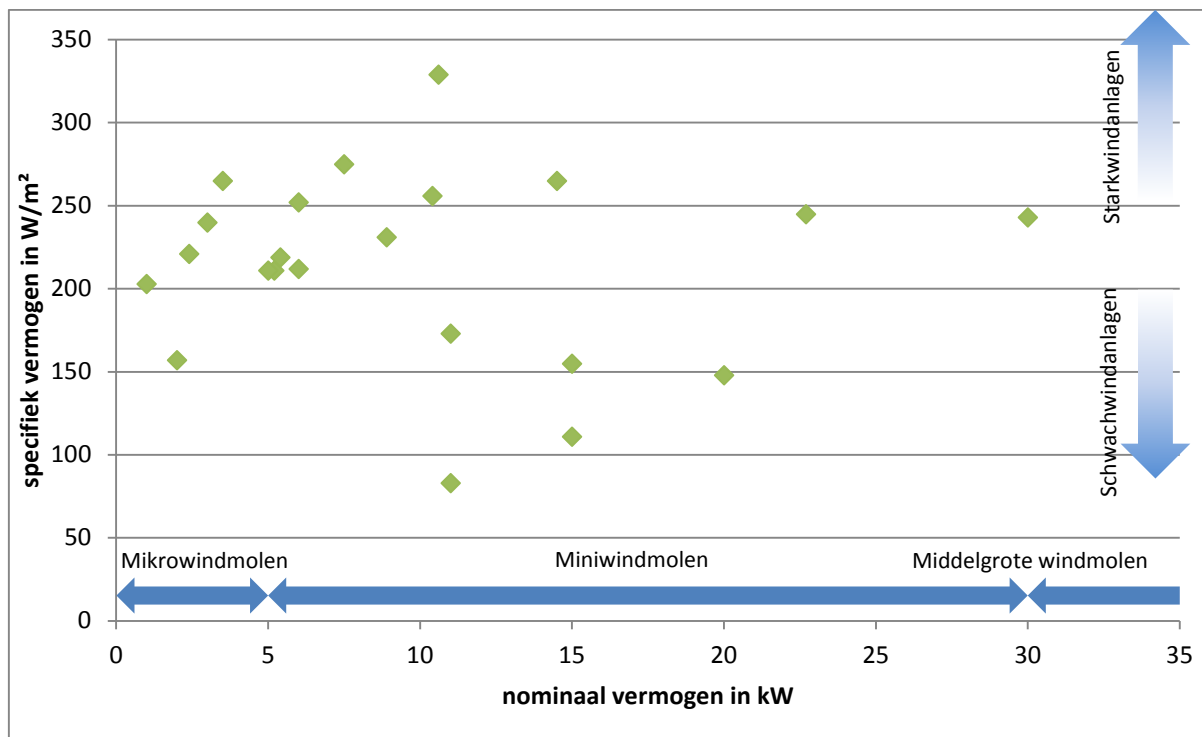
| | | | |
|----------------------|---|----------|---------|
| Preis | 6.400 € | Garantie | 5 Jahre |
| Installierte Anlagen | ca. 6.500 | | |
| Anmerkung | sehr gut als häusliche Netzeinspeiseanlage geeignet | | |

Afbeelding 8-7: Voorbeeld van een dataformulier uit het BWE-overzicht over kleine windmolens [14]

Tabel 8-7: Geselecteerde kleine windmolens met certificering [Bron: [14] en eigen eigene onderzoek]

| Producent | Type | Nominaal vermogen nominaal windsnelheid | Rotordiameter | Rotoroppervlakte | spec. prestatie | Prijs volgens producent | Certificering | categorieën* |
|---------------------------------|--------------------|---|---------------|-------------------|---------------------|----------------------------|--------------------|--------------|
| | | [kW] / [m/s] | [m] | [m ²] | [W/m ²] | [€] | | |
| Ampair Energy Ltd. | Ampair 6kW | 6,0 / 12,0 | 5,5 | 23,8 | 252 | k.A. | MCS | 2 |
| | Ampair 10kW | 10,6 / 12,0 | 6,4 | 32,2 | 329 | k.A. | MCS | 2 |
| | Ampair 20kW | 22,7 / 14,0 | 10,2 | 81,7 | 245 | k.A. | MCS | 2 |
| Bergey WindPower Co. | Bergey Excel 1 | 1,0 / 11,0 | 2,5 | 4,9 | 203 | 3.700 | SWCC/MCS | 1 |
| | Bergey Excel 10 | 8,9 / 11,0 | 7,0 | 38,5 | 231 | 24.500 | SWCC/MCS | 2 |
| C&F Green Energy | CF 11 | 11,0 / 9,0 | 9,0 | 63,6 | 173 | 43.000 | MCS | 2 |
| | CF 15 | 15,0 / 9,0 | 11,1 | 96,8 | 155 | 53.000 | MCS | 2 |
| | CF 15e | 15,0 / 8,0 | 13,1 | 134,8 | 111 | 65.000 | MCS | 2 |
| | CF 20 | 20,0 / 9,0 | 13,1 | 134,8 | 148 | 73.000 | MCS | 2 |
| Kingspan Environmental | KW6 | 5,2 / 11,0 | 5,6 | 24,6 | 211 | k.A. | SWCC/MCS | 2 |
| EasyWind GmbH | EasyWind 6 | 6,0 / 10,6 | 6,0 | 28,2 | 212 | 24.000 | IEC 61400-2 | 2 |
| PSW-Energiesysteme | EN-Drive 2000.2/15 | 14,5 / 11,2 | 8,5 | 56,7 | 265 | k.A. | MCS | 2 |
| Evance Wind Turbines Ltd | Evance R9000 | 5,0 / 12,0 | 5,5 | 23,7 | 211 | 30.000 | SWCC/MCS | 2 |
| Gaia Wind Limited | Gaia 133 | 11,0 / 9,5 | 13,0 | 132,0 | 83 | 54.000 | MCS | 2 |
| Kestrel Wind Turbines | Kestrel e400i | 3,0 / 11,0 | 4,0 | 12,5 | 240 | 5.300 | MCS | 1 |
| Eoltec | Scirocco | 5,4 / 11,0 | 5,6 | 24,7 | 219 | 29.000 | MCS | 2 |
| HUAYING WIND | HY-2K AD4.0 | 2,0 / 9,0 | 4,0 | 12,6 | 157 | 3.700 | IEC 61400-2 MCS | 1 |
| | HY-30K AD12.5 | 30,0 / 12,0 | 12,5 | 123,7 | 243 | 33.000 | IEC 61400-2 MCS | 3 |
| Xzeres | Skystream 3.7 | 2,4 / 13,0 | 3,7 | 10,9 | 221 | 6.400 | MCS | 1 |
| | 442SR | 10,4 / 11 | 7,2 | 40,7 | 256 | k.A. | SWCC/MCS | 2 |
| Sonkyo Energy | WINDSPOT 3.5 | 3,5 / 12,0 | 4,1 | 12,9 | 265 | 7.800 | IEC 61400-2 MCS | 1 |
| | WINDSPOT 7.5 | 7,5 / 11,0 | 5,9 | 27,3 | 275 | k.A. | IEC 61400-2 MCS | 2 |

*categorieën: 1 = Microwindmolen
2 = Miniwindmolen
3 = Middelgrote windmolens



Afbeelding 8-8: Specifiek vermogen en nominaal vermogen van de toestellen

Afbeelding 8-9 laat als voorbeeld de windmolen Windspot 7.5 van de Spaanse producent Sonkyo Energy en EasyWind 6 van de Duitse producent Easywind GmbH zien. Verdere typische vertegenwoordigers van miniwindmolens zijn de 2000.2 15kW van het Duitse bedrijf PSW Energiesysteme en de Gaia 133 van het Britse bedrijf Gaia Wind Limited (Afbeelding 8-10). Goed herkenbaar zijn de verschillende bladaantallen en passief kruien via een windvaan in Afbeelding 8-9.



Afbeelding 8-9: Windspot 7.5 (l.) en EasyWind 6 (r.) [Bron: Sonkyo Energy; Easywind GmbH]



Afbeelding 8-10: PSW 2000.2 15kW (l.) en Gaia 133 (r.) [Bron: PSA Energiesysteme; silverford.com]

6.5 Geschikte technologie voor het projectgebied

Zowel de windsnelheid als het marktoverzicht laten zien dat momenteel kleine windmolens vanaf ca. 5 kW en meer (miniwindmolens) in aanmerking komen voor een rendabel project. Verder heeft de rentabiliteitsberekening laten zien dat verticale as windmolens wel sommige theoretische voordelen hebben, zoals een klein geluidsniveau en geschiktheid voor turbulente winden, maar omdat zij kleine opbrengsten leveren en hoge investeringskosten vergen, zijn zij vaak toch niet rendabel. Zoals uit Tabel 8-6 en Tabel 8-7 duidelijk wordt, zijn er enkele

producenten in dit marktsegment die beproefde technologie in hun programma hebben.

Samenvattend kan gesteld worden dat

- toestellen met een nominaal vermogen van minimaal 5 kW,
- horizontale as windmolens en
- gecertificeerde of in de praktijk beproefde toestellen

momenteel de meest interessante opties zijn.

7 IMPLEMENTATIE EN POTENTIEEL

7.1 Toepassingsgebieden kleine windmolens

Om vast te stellen welke doelgroepen er zijn voor kleine windmolens worden eerst de uitgangspunten vastgesteld. Op basis van die uitgangspunten wordt gekeken naar drijfveren voor het plaatsen van een kleine windmolen. Vanuit de drijfveren worden doelgroepen geïdentificeerd met daarbij waarom zij tot de doelgroep van kleine windmolens behoren of wat er voor nodig is om ze tot de doelgroep te laten behoren.

7.1.1 Uitgangspunten

- <1 kW is een financieel rendement niet te verwachten (meting Steinfurt 27.6.2013)
- Zelfvoorziening is belangrijk thema
- Klein is tot 50 meter mast hoogte en bij of op een gebouw
- Geen speciaal subsidie stelsel voor kleine windmolens. EEG Duitsland, saldering Nederland
- Geschikte locaties zijn gebouwen boven de 20 meter hoogte en geen obstakels aan de zuidwest kant op 10x as-hoogte van de molen. (bron pagina 17 quick scan locatie Rapport praktische toepassing van mini windturbines AgentschapNL)
- Windmolens kunnen worden ingezet in 4 soorten installaties:
 1. Alleen maar levering aan het openbare netwerk
 2. Leven in een elektrische installatie van een gebouw met maximaal eigenverbruik of salderen van stroom
 3. Leveren aan een energie autarke/eiland oplossing
 4. Leveren voor een noodstroom systeem

7.1.2 Drijfveren voor duurzame energie

Aan de slag te gaan met duurzame energie kunnen mensen en organisaties op verschillende gronden doen. Dit kan uit puur energie oogpunt, uit milieu / CO₂ oogpunt, voor een groen imago of een drijfveer kan economie en innovatie zijn. Hieronder een aantal drijfveren opgesomd en kort toegelicht. Het niet aanwezig zijn een drijfveer kan blokkerend werken. Afhankelijk van een doelgroep of gebouw kan een drijfveer meer of minder impact hebben.

7.1.2.1 Energie oogpunt

- Besparen op energiekosten en borgen energielasten / eigenverbruik mogelijk

- Voor de meter of achter de meter (eigenverbruik tegen kleinverbruikers tarief)
- Nederlandse Belastingstructuur / aftrek mogelijkheden
- Duitsland EEG
- Aanvulling op zonne-energie om 's nachts en in de winter ook energie te hebben (onafhankelijkheid energieleverancier en borging energie lasten)
- Energie onafhankelijkheid/autarkisch systeem
- Backup

7.1.2.2 Milieu /CO₂ besparing

- Energiebesparing
- Certificeringen voor een gebouw *Energy Performance Certificate* (EPC)/Energy Performance of Buildings Directive (EPBD)/ Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology (BREEAM)/ Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)/NLGreenlabel icm Kleinschaligheids Investerings Aftrek (KIA)/ Milieu Investeringsaftrek (MIA) 28 % en 26 % extra belasting aftrek.
- Extra productierechten door groen te zijn.
- Energie hobby/overtuiging

7.1.2.3 Groen imago

- Imago en onderscheidend vermogen
- Stimuleren gedragsverandering
- Voorbeeldfunctie overheidsinstellingen bv.

7.1.2.4 Innovatie en economie

- Werkgelegenheid
- Export kansen
- Bijdragen aan de regionale energie ambitie
- Belang van het netwerk: geen verzwaring nodig, geen netverliezen transport

7.1.2.5 Vergunbaarheid

- Kosten van een vergunning
- Tijdsimpact of moeite die moet worden gedaan voor een vergunning

7.1.3 Doelgroepen

Op basis van de drijfveren en uitgangspunten is onderstaande verkennende lijst van doelgroepen ontstaan met een vooronderstelde drijfveren waarom deze doelgroepen iets met duurzame energie, cq windmolens zouden willen.

Woningen eengezinswoningen

- Locatie: de meeste woningen zijn onder de 20 meter en een mast plaatsen is in de bebouwde omgeving niet altijd realiseerbaar. Daarnaast zijn er veel objecten in de directe omgeving. Vrijstaande woningen in het buitengebied zijn zeer kansrijk, temeer omdat daar het energieverbruik laag is en de kosten voor energie hoog zijn.
- Energie: consumenten/bewoners betalen de hoogste prijs voor energie. De opbrengst per kWh is dus erg hoog in een woning > 10.000 kWh. Postcode roossalderen lijkt interessant te zijn voor middelgrote molens. Een business case is dan ca. 16 cent per kWh, maar geldt maar voor 10 jaar.
- Milieu CO₂; Bewoners die erg bewust zijn en hobby hebben aan energie zijn een doelgroep of bij nieuwbouw in verband met energieprestatiecertificaat (EPC) normering. Concurrent is zonnepanelen op eigenhuis.
- Groen imago voor bewoners beperkte invloed. De een vindt het mooi, de ander lelijk. Er is ook weerstand te verwachten.
- Innovatie/economie voor de individuele bewoner niet van belang. Waarde impact op gebouw is niet goed in te schatten.
- Vergunbaarheid is afhankelijk van waar het object zich bevind. (binnen of buiten de bebouwde kom en of er in de directe omgeving woningen zijn.)

Flats/hoogbouw

- Locatie: als er geen objecten in de nabije omgeving op het zuidwesten zijn erg kansrijk.
- Energie: consumenten/bewoners betalen de hoogste prijs voor energie. De opbrengst per kWh is dus erg hoog in een woning > 10.000 kWh. In collectieve woongebouwen zijn er mogelijkheden voor salderen achter de meter voor de wooneenheden in het gebouw
- Milieu CO₂; Bewoners die erg bewust zijn en hobby hebben aan energie zijn een doelgroep of bij nieuwbouw i.v.m. EPC normering. Concurrent is zonnepanelen op het dak, anderzijds zijn de windmolens een aanvulling op zon om energie onafhankelijk te zijn als gebouw.

- Groen imago voor bewoners beperkte invloed. De een vindt het mooi, de ander lelijk. Er is ook weerstand te verwachten. Voor een eventuele woningbouwcorporatie is het imago van belang. Stimuleren van gedragsverandering bij huurders kan een verdere overweging zijn.
- Innovatie/economie voor de individuele bewoner niet van belang. Verhuurbaarheid van wooneenheden kan beter zijn door lagere energierekening, belangrijk voor woningcorporatie.
- Vergunbaarheid is afhankelijk van de ligging van het complex en de impact. (binnen/buiten de bebouwde kom, nabijheid van andere objecten)

Openbare gebouwen

- Locatie: veel overheidsgebouwen zijn hoger dan 20 meter of hoogbouw. Niet allemaal zijn ze vrij van obstakels binnen 10x de ashoogte.
- Energie: vaak zijn de overheidsgebouwen grootafnemers van energie. Daardoor is de gemiddelde energieprijs relatief laag < 10 cent per kWh. Groene energie en commitment de energie tegen een bepaalde prijs af te nemen voor een grotere periode kan een keuze zijn.
- Milieu CO₂; Overheid heeft grote ambitie op gebied van CO₂ en milieu.
- Groen imago; voorbeeldfunctie overheid en stimuleren gedragsverandering.
- Innovatie/economie voor de overheid van grootbelang. Kan door launching customer te zijn markt aanjagen.
- Vergunbaarheid is afhankelijk van de ligging van het complex en de impact. (binnen/buiten de bebouwde kom, nabijheid van andere objecten)

Voorbeelden: sport accommodaties, cultuurhuizen, brandweerkazernes, zwembaden, scholen, ziekenhuizen, zorginstellingen, gemeente werven, gemeentehuizen, waterbedrijven, waterschappen, nuts bedrijven, winkelcentra.

Industrie gebouwen

- Locatie: veel industriegebouwen zijn hoger dan 20 meter of hoogbouw. Soms obstakels, maar een aanzienlijk deel van de industrieterreinen grenzen aan open veld.
- Energie: Afhankelijk van de aard van de activiteiten die in het gebouw plaats vinden is energie per kWh duur of niet (kleinverbruik vs. grootverbruik). De gemiddelde energie prijs kan fluctueren tussen 4 cent per kWh en 19 cent per kWh exc. Btw. Groene energie en commitment de energie tegen een bepaalde prijs af te nemen voor een gro-

tere periode kan een keuze zijn voor organisaties, zeker als energie een klein deel van de kostprijs van productie is. Verder kunnen bedrijven (milieu) investeringen (extra) aftrekken van de winst (belastingvoordeel) bij een BV is dit beperkt tot 22.5 % i.p.v. 52 % bij een eenmanszaak.

- Milieu CO₂; Bedrijven hebben ambities op gebied van milieu en CO₂, consumenten eisen dit ook meer en meer.
- Groen imago; uitstraling van een windmolen is groot, draagt groene ambitie uit.
- Innovatie/economie voor een bedrijf van groot belang zijn afhankelijk van de sector waarin hij opereert. In de praktijk is dit maar een kleine groep die direct in de energie-sector werkt.
- Vergunbaarheid zou over het algemeen goed mogelijk moeten kunnen zijn op industrieterreinen.

Agrarische sector/ locaties buiten de bebouwde kom

- Locatie: Veel locaties, meestal weinig obstakels en mogelijkheden een mast te bouwen op bouwblok
- Energie: Salderen mogelijk gemiddelde prijs ca. 12 cent excl. Btw.; Aanvulling op zonne-energie, stimuleren eigenverbruik als salderen niet (meer) kan; belasting mogelijkheden investeringsaftrek Nederland, vaak agrarische bedrijven, voordelen tot 52 % van het investeringsbedrag.
- Milieu CO₂; Friesland Campina en VION bijvoorbeeld hebben duurzaamheid in de focus. Toekomstig een punten systeem waaraan productierechten kunnen worden ontleend.
- Groen imago voor de sector beperkte rol
- Innovatie/economie voor de sector ja. Voor de investeerder, de individuele boer van minder groot belang.
- Vergunbaarheid: lijkt goed mogelijk, buitengebied.

Eilandsystemen / Backup systemen

Moelijk bereikbare plaatsen of locaties met een klein energieverbruik waar het zich niet loont een aparte netwerkaansluiting te realiseren.

Voorbeelden

- Kunstwerken bij waterschappen
- Langs wegen verkeerslichten, verlichting, informatieborden, enz.
- Openbare verlichting

In combinatie met zonnepanelen en kleine batterij zomer en winter, dag en nacht stroom.

- Moeilijk bereikbare plaatsen, combinatie met accu om bijvoorbeeld 48 uur te kunnen overwinnen en de rest uit zonne energie of wind die waait. Optie om daarna op over te gaan op een dieselaggregaat bij uitzonderlijke situatie van lange stroom uitval.
- Voorbeelden: zorginstellingen, boerderijen, winkels, enz. met een noodstroomverbruik

Bijzondere gebouwen bijvoorbeeld Wieken voor hanen

Kerken die geen functie meer hebben worden thans gebruikt voor andere dingen. Er zou bespreekbaar gemaakt kunnen worden om de hanen door een molentje te vervangen. De torens zijn sterk, er hangt een klokkenspel in, en zijn hoog zonder obstakels. Dit is een iets wat wild idee, maar willen dit toch genoemd hebben. Kerken zijn meestal monumenten maar zouden zo een extra functie kunnen hebben.



Afbeelding 10-1:Foto van: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Den_Hout_-_molen_De_Hoop_in_omgeving.jpg

Bovenstaande doelgroepen zijn samengevat in tabel 7-1.

Tabel 10-1: Doelgroepen

| Doelgroep | Locatie | Energie | Milieu/ CO ₂ | Groen imago | Innovatie/ economie | Vergun- baarheid |
|--------------------------|----------|---------|----------------------------|----------------|------------------------|---------------------|
| Woningen (eensgezins) | ++ of -- | ++ | + | +/- | +/- | - |
| Hoogbouw/flats | ++ | ++ | + | + | + | +/- |
| Openbare gebouwen | + | + | ++ | ++ | ++ | +/- |
| Industrie terreinen | ++ | +/- | ++ | ++ | + | + |
| Agrarische sector | ++ | ++ | + | + | +/- | + |
| Eilandsystemen | + | ++ | + | + | + | + |
| Bijzondere gebouwen | +/- | ++ | + | + | + | + |

7.2 Wat moet worden onderzocht: houding t.o.v. kleine molens

7.2.1 Bewegingsfactoren voor kleine windmolens

Om aan de slag te gaan met duurzame energie zijn er factoren die maken dat een beweging versneld of geremd wordt. In het boek “thuis in energie “(Willemsen 2013) staan onderstaande bewegingsfactoren voor burgers, organisaties en een regio gegeven voor de transitie naar duurzame energie (z. afb. 7-2).

7.2.1.1 Bewegingsfactoren

| Bewegingsfactoren vanuit de burgers | Bewegingsfactoren voor organisaties en bedrijven | Bewegingsfactoren voor de regio |
|--|--|--|
| <p>Positief</p> <ul style="list-style-type: none"> •enthousiasme; •duurzaamheid en milieu; •onafhankelijkheid; •borging van de energielasten; •woon- en leefcomfort. | <p>Positief</p> <ul style="list-style-type: none"> •besparing op energiekosten; •het verkrijgen van extra onderscheidend vermogen; •kans in de markt met innovatieve techniek; •overtuiging van het hogere doel, nut en noodzaak; •klanten en klanten van de klant vragen om duurzaamheid en duurzame energie; •streven naar onafhankelijkheid van energiebedrijven; •overtuiging om generatiebestendig te ondernemen. | <p>Positief</p> <ul style="list-style-type: none"> •mensen, organisaties en onderwijs verbinden; •de ambitie om energieneutraal te worden en als regio onderscheidend te zijn; •het oplossen van de regionale mest- en afvalproblematiek; •het aanpakken van de crisis in de bouw, de krimp en de vergrijzing. |
| <p>Negatief</p> <ul style="list-style-type: none"> •angst voor het onbekende; •waardevermindering van de woning; •aantasting van het uiterlijk van de woning, het landschap of het dorpsgezicht; •beperkte middelen om te financieren; •potentiële overlast. | <p>Negatief</p> <ul style="list-style-type: none"> •het is te duur om maatregelen te nemen; •de onbetrouwbare overheid werkt tegen; •de klanten en de klanten van de klant zijn er niet mee bezig; •er zijn beperkte middelen om te financieren; •de prioriteit bij investeringen ligt bij het primaire proces. | <p>Negatief</p> <ul style="list-style-type: none"> •de gevestigde orde van energiebedrijven werpt belemmeringen op; •de betrouwbaarheid van de overheid om een businesscase voor de langere termijn te ontwikkelen ontbreekt; •“de overheid verzint telkens weer iets anders om belastinggeld op te halen”; •partijpolitieke agenda's remmen. |

Afbeelding 10-2: Bewegingsfactoren

Bij het identificeren van doelgroepen moet worden onderzocht wat de bepalende factoren voor de doelgroepen zijn. De kunst is om de positieve in te zetten voor draagvlak en de negatieve weg te halen om weerstand te beperken.

7.2.1.2 Voor en nadelen van kleine windmolens

Voordeel

- Wind is complementair aan zonne energie. Vooral opbrengst in de wintermaanden. Zo kun je meer energie opwekken die je daadwerkelijk kunt gebruiken met een mix van zon en wind.
- Project is makkelijker realiseerbaar dan wind groot

Nadeel

- Kleine wind is duurder dan grote wind om een kWh per jaar op te wekken
- Kleine wind is duidelijk duurder dan zonne energie om een kWh op te wekken

- Nadeel van bewegende delen. Kans op geluid en trilling en slagschaduw, en visuele impact.
- Kosten voor vergunningen onduidelijk
- Regels nog niet uitgewerkt zoals bij zon PV.

7.2.2 Wanneer ligt een kleine windmolen voor de hand

Onderstaande opsomming van punten wanneer een kleine windmolen voor de hand ligt:

- Als mensen (wind) technisch geïnteresseerd zijn.
- Als het financieel aantrekkelijk is door prijs van stroom, of door meerwaarde in de markt voor eigen producten en diensten van een agrariër of industrie bedrijf.
- Mensen die streven naar een maximale autarkiegraad
- Als mensen met een voor PV ongeschikt (noord) dak zullen als ze met duurzame energie iets willen, in kleine windmolens een optie zien.
- Mensen door elektro mobiliteit meer energie verbruiken dan hun dak met zon PV kan opwekken (3 kWh vervangt 1 liter benzine)
- Bedrijven die fiscale mogelijkheden hebben met windmolens.
- Als wind kan zorgen voor een groter eigenverbruik aandeel, dit maakt dat wanneer salderen in Nederland wordt afgeschaft (verwacht 2020) dat de combinatie van wind en zonnepanelen leidt tot een maximaal eigenverbruik.
- Bij een gelijkwaardige business case t.o.v. andere duurzame alternatieven.
- Bijdragen aan onafhankelijkheid van (fossiel/grote energiebedrijven/beleid staat)

7.2.3 Houding doelgroepen en NL/DE

Er zijn verschillen ten opzichte van duurzame energie en met name windmolens tussen Nederland en Duitsland. Uit het rapport “Waait de wind harder in Duitsland” van Lesley ter Maat als Masterthesis Milieumaatschappijwetenschappen pag. 47 december 2013 komt tabel 7-2.

Tabel 10-2: Beleidssituatie NL/ DE

| | Nederland | Duitsland |
|---------------------------|--|---|
| Beleid | Voornamelijk faciliterend, initiatief wordt neergelegd bij burgers en bedrijven. | Zowel actief als faciliterend. Veel eigen initiatieven, maar ook ondersteuning van burgers en bedrijven |
| Wet en regelgeving | Beschermend | Stimulerend. |
| Beleidsdiscours | Rijk en provincie Economisch Gemeenten maatschappelijk | Alle overheden Klimatologisch/energiewende |

Uit interviews met omwonenden van windparken in Nederland en Duitsland en met burgers viel in dit rapport (Ter maat 2013) op dat in Duitsland het milieudiscours dominant is en in Nederland niet voorkomt. Het distributional justice discours komt terug in alle Nederlandse casussen, zowel omwonenden als burgers hechten er waarde aan dat ze zelf ook aan het windpark kunnen verdienen. De lokale sociale acceptatie hing in een park zelfs af van het feit of er gecompenseerd wordt of niet. De Nederlandse respondenten zijn dus meer economisch ingesteld, in tegenstelling tot de Duitse die daar minder waarde aan hechten.

Overeenkomst is dat het voor Nederland en Duitsland een ver van mijn bed discours heerst wat leidt tot positieve onverschilligheid. Nimby blijkt alleen effect te hebben op burgers, niet op de omwonenden.

7.2.4 Eerste verkenning: drijfveren voor kleine windmolens

Enkele gesprekken met mensen uit de doelgroepen bevestigen het beeld dat in de voorgaande paragrafen is geschetst op basis van aannames en literatuuronderzoek voor wat betreft kleine windmolens.

In eerste instantie moet er een financieel voordeel zijn, meestal als tweede wordt genoemd een verbeterd imago. Dat verbeterde imago leidt er toe dat op de lange termijn het (agrarisch) bedrijf mindersnel belemmeringen zal ondervinden in de bedrijfsvoering in de vorm van klachten uit de buurt of vergunningsprocedures en zou kunnen helpen bij duurzaamheids certificeringen. Drijfveren zijn bedrijfsmatig dus uiteindelijk financieel gedreven (moet zelfde kosten als grijze stroom) of moeten het bestaansrecht van de onderneming verstevigen.

Bij gemeenten en woningbouwcorporaties speelt het klimaat of CO₂ probleem een rol. Zij willen een voorbeeld zijn en dat mag projectmatig iets extra kosten. Met name bij woningbouwcorporaties wordt vanuit de huurder gedacht wat het voor hem of haar oplevert.

Het Nederlandse Postcoderoosdalen kan interessant zijn voor lokale initiatieven en energie coöperaties. Het betreft dan middelgrote molens die de helft van de energie zouden opwekken van gezinnen

Ook in Duitsland geldt dat het voor de koper van de windmolen financieel aantrekkelijk moet zijn. In het beleid en wetgeving (EEG) zijn daar de randvoorwaarden zo, dat er een bepaalde investeringszekerheid is van 20 jaar. Dit maakt dat partijen investeren, ook al is de terugverdientijd langer dan 5 jaar. Op de achtergrond speelt de klimaatbewustwording mee om iets te willen doen. het is al meer gemeengoed “*Erneuerbar*” te denken. Meer en meer wil men ook onafhankelijk zijn van politieke veranderingen en zelf bepalend zijn op gebied van energie (zekerheid kopen).

Vergunningen en procedures zijn voor kleine windmolens niet duidelijk en geven onzekerheden in de business case of leiden tot vertraging en hogere kosten door buitenproportionele onderzoekskosten en leges in het geval van een kleine windmolen.

7.2.5 Advies voor verder onderzoek

Om beter te kunnen voorspellen wat het omslagpunt is om te investeren in een kleine windmolens zijn volgende punten interessant nader te onderzoeken

- Welke factoren spelen een doorslaggevende rol bij de beslissing wel of niet in een windmolen te investeren in Duitsland en Nederland?
- Wat zijn alternatieven voor de windmolen en bijbehorende kosten voor de verschillende doelgroepen?
- Wat zijn randvoorwaarden vanuit de energiemarkt om kleine windmolens mogelijk te maken en hoe kan beleid en wetgeving hierop worden aangepast?
- Prijs is een belangrijke pijler. Hoe kansrijk zijn kleine windmolens op termijn. Hoe ver kan de kostprijs per kWh die per jaar wordt opgewekt omlaag en hoe krijgt de energie die wordt opgewekt de grootste waarde?
- Hoe kan klein wind bijdragen aan vergroting van de autarkiegraad op locaties?
- Wat is het goede moment om breed in de markt te gaan en te werven?

7.3 Wat moet worden gedaan om de beste benadering van de doelgroepen te vinden

Op dit moment zijn kleine windmolens nog een te duur alternatief ten opzichte van grote windmolens en of zonnepanelen op woonhuizen. Aangenomen dat de kosten voor energie

omhooggaan en de techniek van kleine molens zich ontwikkelt, kan het op termijn kansrijk zijn. Belangrijk is om te beginnen en te weten waar welke potentie is.

We stellen daarom een gefaseerde marktbenadering voor in de genoemde doelgroepen.

1. Pilot en prototype fase; vanaf nu in de doelgroepen zoeken naar een aantal locaties om bij de “first movers” eerste kleine windmolens te realiseren en zo data en ervaringen op te bouwen.
2. Eerste serie fase; vanuit de techniek zullen de beste oplossingen zich ontfouwen en zullen de beste marktomstandigheden/doelgroepen naar voren komen. Deze markten moeten gericht worden benaderd voor een volgende uitrol fase.
3. Brede markt benadering. Als de kleine windmolens verder in de leercurve zitten, is het interessant om ze breed uit te rollen. De markt moet het dan alleen doen.

Gerichte stimuleringsmaatregelen in fase 1 en 2 door middel van versoepelde regelgeving voor plaatsing en levering van stroom in de eerste 2 fases zijn belangrijk om kans te bieden aan kleine windmolens. In fase 3 moet de markt het zelf kunnen doen.

Op beleidsniveau zien we dat er een verschil zit tussen Nederland en Duitsland. Echter het is te verwachten dat de energiemarkt Europees naar elkaar toegroeit op beleidsniveau. Dat betekent dat er een balans komt tussen het Nederlandse economisch gedreven versus het Duitse klimaat gedreven beleid. Een Europese aanpak lijkt belangrijk.

7.4 Potentiële marktomvang/aantallen

De markt van kleine windmolens bevindt zich nog aan het begin van de leercurve wat betekent dat er nog kostprijsontwikkelingen te verwachten zijn. Daarnaast zijn er alternatieven uit andere duurzame bronnen zoals PV panelen die achter de energie meter stroom invoeden in de installatie van een object gericht op eigenverbruik van energie. Alleen opgewekte energie die je ook daadwerkelijk gebruikt heeft waarde. Zonnepanelen worden gemaakt in massaproductie, kleine windmolens (nog) niet. Afhankelijk van de kosten en de opbrengsten voor de klant zal er een markt zijn. Subsidies of (energie) belastingvoordelen horen hier bij. Bij zonnepanelen zag je een marktontwikkeling in Nederland dat er van 1998 tot 2003 als gevolg van subsidies ca. 40 MWp verkocht is. Daarna een paar jaar nauwelijks iets en door de Stimulering Duurzame Energieproductie (SDE) subsidies in 2008 en de daling van de prijs van zonnepanelen verdriedubbelde de markt jaarlijks (s. tab. 7-3).

Tabel 10-3: Geïnstalleerd PV-vermogen in NL (bron Polderpv.nl)

| Jaar | MWp |
|------|---|
| 2008 | 4,4 |
| 2009 | 1,7 |
| 2010 | 21 |
| 2011 | 60 |
| 2012 | 195 |
| 2013 | Waarschijnlijk minder agv afnemen subsidie en exportheffing, gegevens nog niet bekend |

In potentie is de markt voor wind net zo groot als die voor zonnepanelen. De marktgrootte voor kleine windmolens hangt met name af van toekomstig beleid.

- Mag er gesaldeerd worden achter de meter?
- Mag er stroom van een grote turbine naar een individuele aansluiting worden gebracht en tegen welke prijs?
- Wat is de ontwikkeling van de stroomprijs?

Afhankelijk van beleidsbeslissingen zullen kleine molens concurreren tegen zonnepanelen en wellicht ook tegen grote molens. In het eerste geval zal er sprake zijn van een relatief grote markt omdat zonnepanelen complementair zijn aan wind. In het tweede geval zal de markt beperkt zijn, want grote windmolens zijn veel kosten efficiënter neer te zetten. We nemen aan dat 50 % van de huishoudens in de basis energie wil gaan opwekken met een kleine windmolen op eigen terrein. Van deze 50 % zal niet iedereen een geschikte locatie hebben waar voldoende windenergie te oogsten is. We schatten in dat 10 % daadwerkelijk een locatie heeft waar een kleine molen kan worden gerealiseerd. Dat geeft het volgende beeld van de markt-omvang Achterhoek en de Duitse kant van Euregio.

Schatting van de markt:

- 300.000 inwoners Achterhoek in ca. 110.000 huishoudens, 400.000 inwoners euregio in ca. 130.000 huishoudens. Samen 240.000 huishoudens en 700.000 inwoners
- Aangenomen dat 50 % van de huishoudens energie **wil** opwekken met een kleine molen op eigen terrein
- Dat 10 % een geschikte locatie voor wind heeft en een windmolen **kan** plaatsen

- Maakt dat in potentie de markt ($240.000 \cdot 0,1 \cdot 0,5$) 12.000 molens is in de Euregio en Achterhoek op woningen en agrarische bedrijven. (Zwaartepunt buiten de bebouwde kom)
- Daarnaast schatten we in dat er ca. 13.000 gebouwen en bedrijven zijn waarvoor kleine windmolens mogelijk interessant zijn. (industrie, openbare gebouwen, hoogbouwoningen, enz.)

De totale potentie ligt daarmee geschat op 25.000 kleine windmolens in Achterhoek en Euregio. Voor nu zijn dit hele grove inschattingen. Verderop in het project kan het zinvol zijn een gedetailleerdere marktverkenning te doen.

7.5 Stappenplan voor marktintroductie kleine windmolens

Succesvolle marktintroductie kan plaatsvinden als een aantal dingen bij elkaar komen.

- De techniek moet zover zijn dat energie uit kleine windmolens bereikbaar is voor de woning/gebouweigenaar of past bij zijn drijfveer.
- De marktomstandigheden moeten dit mogelijk maken. Dan wel subsidie of wetgeving met betrekking tot saldering en eigenverbruik van energie. Opgewekte energie moet waarde vol kunnen worden gebruikt.
- De vergunningverlening en procedures om een kleine windmolen te plaatsen moeten duidelijk zijn.
- De potentiële koper moet vertrouwen krijgen in de techniek en de markt en overgaan tot koop.

Volgende stappen kunnen helpen om de introductie succesvol te laten verlopen:

1. Nut en noodzaak duidelijk maken bij beleidsmakers en bij de doelgroepen. Resultaat aangepaste wet en regelgeving (minimaal voor de pilot) en awareness bij de doelgroepen.
2. Starten met enkele pilots en daar goed over communiceren en leren. Rendementen en opbrengsten moeten aantoonbaar zijn en in te schatten voor de locaties van de doelgroep. Doel moet zijn 5 tot 10 molens in elke doelgroep te realiseren als pilot fase.
3. Aanbod faciliteren van kleine windmolens. Er zijn verschillende aanbieders nodig zodat klanten kunnen kiezen.
4. Onderzoek nieuwe verdienmodellen of financieringsmodellen. Zodat de klant ontzorgd wordt en voor zijn investering bruikbare energie in kWh terugkrijgt.

5. Wel gefaseerd aanpakken naar de doelgroepen toe. Verwachtingen managen en waar maken.

8 SAMENVATTING

Het onderwerp kleine windmolens is veelomvattend. De verschillende types, prijzen, geschiktheden, prestaties, rendementen, etc. zijn zeer divers en het is nodig dat men zich hier intensief mee bezig houdt om de ideale windmolen voor een locatie te kunnen vinden. Toch heeft dit project enige algemene resultaten opgeleverd.

In essentie konden volgende resultaten gevonden worden:

- Horizontale as molens zijn geschikter dan verticale as molens
- Toestellen moeten een nominaal vermogen van minimaal 5 kW bereiken
- De opgewekte stroom moet zo veel mogelijk zelf gebruikt worden
- Locaties moeten een gemiddelde windsnelheid van minimaal 4 m/s op 10 meter hoogte laten zien
- de ashoogte moet niet onder 20 meter blijven
- Bij de vergunningsprocedure moeten alle partijen vroegtijdig betrokken worden
- De toestellen van Lely Aircon B.V. en van Braun Windturbinen GmbH kunnen vanwege de langjarige ervaringen en goede resultaten in de rentabiliteitsbeschouwing aanbevolen worden

De techniek van de horizontale as windmolens laat zien dat zij rendabel zijn. Microwindmolens zijn echter vanwege hun hoge specifieke kosten niet zo geschikt voor een rendabel bedrijf aan het net. Als hobby of voor eilandmodellen zijn zij wel te gebruiken. Samenvattend is vastgesteld:

- Kleine horizontale as windmolens zijn vanwege lage investeringskosten, hoge prestatiecoëfficiënten en daardoor hogere opbrengsten beter dan kleine verticale as molens
- Toestellen van de categorie miniwindmolens (5 kW tot < 30 kW) en middelgrote windmolens (30 kW tot 100 kW) zijn eerder geschikt dan microwindmolens (< 5 kW) vanwege de lage specifieke investeringskosten. Bovendien is de vergunningsprocedure bij alle molens vergelijkbaar, microwindmolens leveren echter kleine opbrengsten op. Een uitzondering zijn alleen de molens die geen bouwvergunning nodig hebben.
- Er zou zo veel mogelijk energie zelf gebruikt moeten worden. De opbrengst per opgewekte kWh stroom is bij eigenverbruik in Duitsland drie keer zo hoog als bij een netinvoeding. In Nederland kan alleen voor marktprijzen ingevoerd worden.

- Om te bereiken dat mini-horizontale as windmolens op geschikte locaties (minimaal 4 m/s gemiddelde windsnelheid op een hoogte van 10 m) ook met een invoedingsvergoeding volgens het Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) rendabel kunnen zijn, zou een verhoging van de vergoeding op 0,30 €/kWh nodig zijn, om de twee beste onderzochte toestellen zonder eigengebruik rendabel te kunnen gebruiken.
- Hoge windsnelheden zijn beslissend voor hoge opbrengsten. Toestellen zouden dus zo hoog gebouwd moeten worden als volgens de vergunning op de locatie mogelijk is.

Verder werd duidelijk dat de markt voor kleine windmolens niet overzichtelijk is. Vele producenten halen het niet om op de markt te blijken, andere geven incomplete of fysiek niet mogelijke prestatiecoëfficiënten aan. Enige zekerheid bieden certificeringssystemen die door steeds meer producenten gebruikt worden.

Ook zijn er moeilijkheden aan de juridische kant. Of en, zo ja in welke omvang, er een milieurapport nodig is, verschilt per regio.

De Nederlandse wetgeving bevordert de introductie en brede uitrol van kleine windmolens niet. Bij plaatsing moet rekening worden gehouden met zowel nationale als gemeentelijke wetgeving. De nationale wetgeving geeft een drempel wanneer men meer dan twee kleine windmolens op een locatie, omdat dan een MER procedure moet worden doorlopen. Op gemeentelijk niveau is een plaatsing in het buitengebied het eenvoudigst. Wel moet er rekening mee worden gehouden dat in de Achterhoek iedere gemeente zijn eigen regels en definities hanteert. Verder moet rekening worden gehouden met relatief hoge kosten, bijvoorbeeld voor de uitvoering van een akoestisch onderzoek en de kosten van leges. In Duitsland is de situatie vergelijkbaar.

Bovendien hebben weinig aanvragers en vergunningverlenende instanties in Duitsland en in Nederland veel ervaring met kleine windmolens opgedaan. Ook de structureel zeer verschillende locaties voor kleine windmolens, zoals woongebieden, bedrijventerreinen en buitengebieden, maken deel uit van de onzekerheid. Duidelijke richtlijnen zijn noodzakelijk. Checklijsten voor de locatiezoektocht en voor de vergunningsprocedure zijn de vinden in hoofdstuk 5.

Als doelgroepen zijn

- Eengezinswoningen

- Flats/hoogbouwen
- Openbare gebouwen
- Industrie gebouwen
- Agrarische sector/ locaties buiten de bebouwde kom
- Eilandsystemen
- Bijzondere gebouwen

geïdentificeerd, waarbij in het bijzonder openbare gebouwen, industrie gebouwen en gebouwen in de agrarische sector/ locaties buiten de bebouwde kom geschikt zijn. Dit wordt beoordeeld onder de criteria locatie, energie, milieu/CO₂, groen imago, innovatie/economie en vergunbaarheid. Na afweging van de in de rentabiliteitsbeschouwing opgeleverde resultaten blijven vanwege de toestelgrootte en de hoge stroombehoefte vooral bedrijvengebieden en agrarische gebieden als interessante locaties over.

Er blijft nog onderzoek te doen naar de werking van kleine molens onder praktische omstandigheden. Hierbij moet vooral rekening gehouden worden met de nauwkeurigheid van de opbrengstvoorspellingen en met de bestedingen voor een zo hoog mogelijk eigenverbruik. Verder zijn analyses van de windcondities op lagere hoogtes in de Regio Achterhoek en in de Kreis Steinfurt nodig. Rekening houden met de topografie en de bebouwing is van cruciale betekenis bij windmolens op deze hoogtes.

9 OPGAVEN

9.1 Literatuur

- [1] Betz, A. (1926): *Wind-Energie und ihre Ausnutzung durch Windmühlen*, unveränderter Nachdruck der Originalausgabe, ISBN 3-922964-11-7, Ökobuch-Verlag, Staufen
- [2] Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz, Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Bauen, Wohnen und Verkehr, Staatskanzlei des Landes Nordrhein-Westfalen: *Erlass für die Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen und Hinweise für die Zielsetzung und Anwendung (Windenergie-Erlass)*, 11.07.2011, http://www.umwelt.nrw.de/klima/pdf/windenergie_erlass.pdf
- [3] IEC: *Windenergieanlagen - Teil 2: Anforderungen für kleine Windenergieanlagen (IEC 88/399/CD:2011)*, DIN EN 61400-2:2012-05, VDE 0127-2:2012-05, Ausgabe 05/2012
- [4] Bundesverband Kleinwindanlagen: *Definition von Kleinwindanlagen*, Abrufdatum 07.01.2014, <http://www.bundesverband-kleinwindanlagen.de/positionen/definition/>
- [5] Hau, E. (2008): *Windkraftanlagen*, ISBN: 978-3-540-72150-5, Springer-Verlag, Berlin
- [6] Gasch, R. (2011): *Windkraftanlagen - Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb*, 7. Auflage, ISBN 978-3-8348-1460-9, Vieweg+Teubner, Wiesbaden
- [7] Fraunhofer IWES: *Small Wind Turbine Yield Estimator*, Abrufdatum 17.04.2014, http://windmonitor.iwes.fraunhofer.de/windwebdad/www_reisi_page_new.show_page?page_nr=445&lang=de
- [8] Jüttemann, P.: *Kleinwindanlagen Rechner (Beta-Version)*, Abrufdatum 06.05.2014, <http://www.klein-windkraftanlagen.com/kleinwindanlagen-rechner/>
- [9] Blesl, M. et al. (2009): *Wärmeatlas Baden-Württemberg*, Abrufdatum 27.06.2014, <http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2009/4840/>
- [10] Fraunhofer ISE: *Photovoltaik ist mit 30 Gigawatt stärkste Stromerzeugungstechnik in Deutschland*, Abrufdatum 29.05.2014, <http://www.ise.fraunhofer.de/de/aktuelles/meldungen-2012/photovoltaik-ist-mit-30-gigawatt-staerkste-stromerzeugungstechnik-in-deutschland>
- [11] Fachhochschule Münster, *Handlungsleitlinie zur CO₂-Reduzierung im Münsterland - Kommunalsteckbrief Steinfurt*, https://www.fh-muenster.de/fb4/downloads/null-emissionskonzepte/Kreis_Steinfurt_2012-10-25.pdf
- [12] *Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG)*, Ausfertigungsdatum: 25.10.2008, Zuletzt geändert am 20.12.2012

- [13] Heier, S. (2005): *Windkraftanlagen: Systemauslegung, Netzintegration und Regelung*, ISBN: 978-3-519-36171-8, Vieweg+Teubner, Kassel
- [14] Bundesverband Windenergie e.V. (2013): *BWE Marktübersicht spezial Kleinwindanlagen*, 2. Auflage, ISBN 978-3-942-57917-9, Berlin

9.2 Afbeeldingen

| | |
|--|----|
| Afbeelding 2-1: Werkingsprincipe van een weerstandswindmolen (l.) en van een stijgingskrachtwindmolen (r.). [5] | 6 |
| Afbeelding 2-2: Links: Het kruien door windstaart (bron: Aldatec). Rechts: Het kruien door actieve aandrijving (bron: Schaeffler) | 7 |
| Afbeelding 2-3: Verschillende rotorvormen bij windmolens met een verticale as. [5] | 8 |
| Afbeelding 2-4: Windtorenen met bouwgroepen voor de concentratie van de windenergie. [3] | 10 |
| Afbeelding 2-5: Certificaten voor kleine molens [bronnen: iec.ch, microgenerationcertification.org, smallwindcertification.org] | 10 |
| Afbeelding 3-1: Windmetingen op het dak van de hogeschool Münster (l.) en op het dak van de Regio Achterhoek (r.) | 14 |
| Afbeelding 3-2: Windkaart 1981-2000 Noordrijn-Westfalen (10 Meter) van de Deutscher Wetterdienst [Bron: Deutscher Wetterdienst] | 15 |
| Afbeelding 3-3: De gemiddelde windsnelheid (l.) en de gemiddelde prestatie van de wind (r.) afhankelijk van de windrichting bij de hogeschool Münster, locatie Steinfurt | 18 |
| Afbeelding 3-4: Voorbeeldkaart van de hoogtes van de gebouwen | 22 |
| Afbeelding 4-1: Mogelijke opbouw van een Smart Home systeem [Bron: SMA Solar Technology AG] | 24 |
| Afbeelding 4-2: Gemiddelde PV- en windopbrengsten voor de jaren 2011 tot 2013 in Duitsland [Bron: Fraunhofer ISE] | 25 |
| Afbeelding 4-3: Jaaroverzicht over de energie, die de zon, oftewel wind per vierkante meter en per dag (locatie Steinfurt) levert | 26 |
| Afbeelding 5-1: Beslisboom vergunning van kleine windmolens in Noordrijn-Westfalen volgens BImSchG, BauO NRW en het Winderlass NRW | 33 |

| | |
|--|----|
| Afbeelding 8-1: gecumuleerde winst/verlies van de onderzochte toestellen over een periode van 20 jaar en een gemiddelde windsnelheid van 5 m/s op een hoogte van 10 m en 100 % netinvoeding | 45 |
| Afbeelding 8-2: Gecumuleerde winst/verlies van de onderzochte toestellen over een periode van 20 jaar en een gemiddelde windsnelheid van 3 m/s op een hoogte van 10 m en 100 % eigengebruik | 46 |
| Afbeelding 8-3: Gecumuleerde winst/verlies van de onderzochte toestellen over een periode van 20 jaar en een gemiddelde windsnelheid van 4 m/s op een hoogte van 10 m en 100 % eigengebruik | 46 |
| Afbeelding 8-4: Gecumuleerde winst/verlies van de onderzochte toestellen over een periode van 20 jaar en een gemiddelde windsnelheid van 5 m/s op een hoogte van 10 m en 100 % eigengebruik | 47 |
| Afbeelding 8-5: Stroomproductiekosten in de drie onderzochte scenario's bij een looptijd van 20 jaar | 48 |
| Afbeelding 8-6: Rentabiliteit van de onderzochte toestellen in afhankelijkheid van de gemiddelde windsnelheid op ashoogte | 50 |
| Afbeelding 8-7: Voorbeeld van een dataformulier uit het BWE-overzicht over kleine windmolens [14] | 55 |
| Afbeelding 8-8: Specifiek vermogen en nominaal vermogen van de toestellen | 57 |
| Afbeelding 8-9: Windspot 7.5 (l.) en EasyWind 6 (r.) [Bron: Sonkyo Energy; Easywind GmbH] | 58 |
| Afbeelding 8-10: PSW 2000.2 15kW (l.) en Gaia 133 (r.) [Bron: PSA Energiesysteme; silverford.com] | 58 |
| Afbeelding 10-1: Foto van: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Den_Hout_-_molen_De_Hoop_in_omgeving.jpg | 65 |
| Afbeelding 10-2: Bewegingsfactoren | 67 |

9.3 Tabellen

| | |
|---|----|
| Tabel 2-1: Definitie van windmolens volgens hun geïnstalleerd vermogen [5] | 5 |
| Tabel 3-1: Locaties voor eigen windmeetings | 13 |
| Tabel 3-2: Ruwheidscoëfficiënt voor de omrekening van windsnelheden in andere hoogtes. Volgens [5] | 17 |
| Tabel 3-3: Gebouwenstructuur in de Kreis Steinfurt [Bron: Katasteramt (kadasterbureau) Kreis Steinfurt] | 20 |
| Tabel 3-4: Resultaat van de grove potentieschatting voor de Kreis Steinfurt | 21 |
| Tabel 5-1: Checklijst kleine windmolens | 30 |
| Tabel 5-2: Checklijst vergunning voor kleine windmolens in Noordrijn-Westfalen | 31 |
| Tabel 5-3: Financieringsmogelijkheden specifiek voor duurzame energie in Duitsland | 34 |
| Tabel 5-4: Overzicht situatie t.a.v. kleine windmolens in de gemeente Doetinchem | 39 |
| Tabel 8-1: Windsnelheden in de drie onderzochte scenario's op ashoogte | 43 |
| Tabel 8-2: Jaaropbrengsten voor verschillende gemiddelde windsnelheden | 43 |
| Tabel 8-3: Jaaropbrengsten voor de locatie hogeschool Münster in Steinfurt op basis van de metingen van het jaar 2013 | 44 |
| Tabel 8-4: Kapitaalopbrengst bij 100 % eigegebruik en stroomproductiekosten naar 20 jaar looptijd | 48 |
| Tabel 8-5: Samenvatting van de resultaten voor de projectregio onder goede windcondities van 4 m/s (scenario 2) | 49 |
| Tabel 8-6: Producenten van kleine windmolens | 52 |
| Tabel 8-7: Geselecteerde kleine windmolens met certificering [Bron: [14] en eigen eigene onderzoek] | 56 |
| Tabel 10-1: Doelgroepen | 66 |
| Tabel 10-2: Beleidssituatie NL/ DE | 69 |
| Tabel 10-3: Geïnstalleerd PV-vermogen in NL (bron Polderpv.nl) | 72 |

9.4 Afkortingen

| | |
|---------|---|
| AC | Alternating Current - Wechselstrom |
| AWEA | American Wind Energy Association |
| BauGB | Baugesetzbuch |
| BImSchG | Bundes-Immissionsschutzgesetz |
| BImSchV | Bundes-Immissionsschutzverordnungen |
| BWE | Bundesverband Windenergie |
| CE | Konformitätskennzeichnung für Produktsicherheit in der Europäischen Union |
| dB(A) | Bewerteter Schalldruckpegel |
| DC | Direct Current - Gleichstrom |
| DWD | Deutscher Wetterdienst |
| EEG | Erneuerbare-Energien-Gesetz |
| EWR | Europäischer Wirtschaftsraum |
| IEC | International Electrotechnical Commission |
| ISE | Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme |
| IWES | Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik |
| KfW | Kreditanstalt für Wiederaufbau |
| kW | Kilowatt |
| MCS | Microgeneration Certification Scheme |
| MD | Messdaten |
| MW | Megawatt |
| MWh | Megawattstunde |
| NN | Normal Null |

9.5 Formuletekens

| | |
|------------------|--------------------------------------|
| A | Bestreken rotoroppervlakte |
| a | Jaar |
| C_p | Prestatiecoëfficiënt |
| F_A | Trekkkracht |
| F_{AS} | Rotor duwkracht |
| F_{AT} | Rotor aandrijfkracht |
| k | Vormparameter voor Weibull-Verdeling |
| P_0 | Totaalpotentieel |
| P_{Nutz} | Te gebruiken vermogen |
| u | Omvangssnelheid |
| v | Windsnelheid |
| v_r | Referentiesnelheid |
| Z | Hoogte |
| Z_0 | Ruwheidscoëfficiënt |
| Z_r | Referentiehoogte |
| η_{elektr} | Elektrische rendement |
| η_{mech} | Mechanische rendement |
| $\eta_{Reibung}$ | Aerodynamischer |
| ρ | Dichtheid van de lucht |