

Slagroomkloppers, grasmaaiers of wakkels?

*Een onderzoek naar de implementatie van kleine
windturbines in de gebouwde omgeving van Noord-
Brabant*

Afstudeerder:	Etienne Vermeer
Identiteitsnummer:	498615
Stroom:	Technologie en Innovatiebeleid, Advanced Economies
Opleiding:	Techniek en Maatschappij
Faculteit:	Technologie Management
Universiteit:	Technische Universiteit Eindhoven

Begeleiding:
Dr. Ing. G.P.A. Mom
Technische Universiteit Eindhoven

Drs. R.P.G. van Rijn
Energie 2050

Ir. H.F.A. Sidler
C.O.R.E. International

Datum: November 2003

Voorwoord

Voor u ligt het verslag van mijn afstudeeronderzoek dat heb ik uitgevoerd in het kader van mijn opleiding Techniek & Maatschappij aan de Technische Universiteit Eindhoven. Ik heb er de afgelopen maanden met veel plezier aan gewerkt en ben erg tevreden met het resultaat.

De afgelopen periode is er veel gebeurd. En niet alleen op het gebied van afstuderen, want afstuderen bij Energie 2050 betekent niet alleen afstuderen, maar ook meedraaien met de club. Zowel bedrijfsmatig, waar het stickeren van nieuwsbrieven een sociale happening is en het manusje-van-alles door ondergetekende wel erg serieus is genomen. Zo heb ik in mijn afstudeerperiode de volgende functies bekleed: cameraman, assistent systeembeheerder, databasebouwer, ceremoniemeester, excursieleider, spreker op een masterclass, organisator van een workshop, inkoop-adviseur op het gebied van audio-visuele apparatuur, denktank en bedrijfsc clown.

Ook niet-bedrijfsmatig ben ik bij Energie 2050 een hoop wijzer geworden: baby's, baby's en nog eens baby's, trouwerijen, bedrijfsuitjes en teambuilding-weekenden, ik ben tegenwoordig van alle markten thuis. Inge, Harmen, Ruud, Evert, Koos, Marike, Lisette en ook Lyanne, ik wil jullie allemaal heel erg bedanken voor een onvergetelijke tijd en al jullie steun. Ik zal jullie missen als collega's, hopelijk nog niet als vrienden.

Toch heb ik er naast het afstuderen veel naast kunnen doen, één dag in de week werken bij BAM Rail, en zelfs in de zomer de mogelijkheid gehad nog een weekje of anderhalf op vakantie te gaan. Ik zal nooit beweren dat het leven van een afstudeerder zwaar is, al heb ik wel in de laatste loodjes van mijn afstuderen regelmatig geklaagd over druk en stress. Maar ja, DAT heb ik mezelf aangedaan, IK moet zonnodig in januari naar Nieuw-Zeeland, waardoor in december alles af moest zijn.

Ik wil een aantal mensen nog in het bijzonder bedanken. Als eerste wil ik mijn vriendin Lonneke bedanken, die tijdens mijn afstuderen voor de nodige ontspanning en afleiding zorgde. Soms teveel afleiding in de vorm van telefoontjes overdag, toch ben ik er niet gestoord van geworden. Is maar een grapje hoor Lon, bedankt voor alle steun. Als tweede mijn afstudeerbegeleiders Ruud, Gijs en Dick, bedankt dat jullie me zo goed begeleid hebben in mijn afstudeertraject. Ik stond telkens weer verbaasd van jullie eensgezindheid en flexibiliteit, zeker met betrekking tot de strakke plannings die ik jullie voorlegde. Als derde wil ik mijn broer Raoul bedanken voor het maken van de illustraties van de verschillende kleine windturbines. De turbines staan niet alleen in dit rapport, maar ook in de vragen-en-antwoorden-boekjes die uitgegeven zijn naar aanleiding van de themabijeenkomst over kleine windturbines. Nog even en ik moet je royalties gaan betalen. En last-but-not-least wil ik mijn ouders bedanken, zonder jullie (financiële)steun in de afgelopen studiejaren had ik niet alles zo zorgeloos kunnen doorlopen.

En nu? Werken? Slapen? Nietsdoen? Voorlopig even niets van dit alles. Als 'beloning' voor de goede afloop van mijn studie heb ik mezelf een reis naar Nieuw-Zeeland kado gedaan. Dus januari 2004 zal voor mij en Lonneke in het teken staan van de Kiwi's!

NEW ZEALAND, HERE WE COME!!!

Etienne Vermeer,

November 2003.

Samenvatting

Er is een nieuwe technologie op de markt van elektriciteitsopwekking in de gebouwde omgeving: een kleine windturbine die op een dak geplaatst kan worden. Er zijn verschillende kleine windturbines op de markt die er elk anders uitzien, zo heeft de één het uiterlijk van een slagroomklopper, de ander van een grasmaaiër en lijkt weer een andere turbine op een wokkel. Natuurlijk zit er ook een traditionele turbine bij zoals we die kennen. Maar is het wel mogelijk om zo'n turbine op je dak te plaatsen, en wat brengt dat op? Om maar te zwijgen van de kosten en administratieve rompslomp bij de plaatsing van een dergelijke turbine.

Energie 2050 heeft in de markt gesignaleerd dat de opkomende technologie van kleine windturbines voor de gebouwde omgeving nogal wat vragen met zich meebrengt. Om deze reden heeft Energie 2050 besloten een onderzoek uit te laten voeren door een afstudeerder van de TU Eindhoven. Hiermee wil Energie 2050 een zo compleet mogelijk beeld krijgen van de nieuwe technologie van kleine windturbines voor de gebouwde omgeving. Binnen dit onderzoek is de volgende probleemstelling geformuleerd:

Op welke manier kan implementatie van kleine windturbines in de gebouwde omgeving gerealiseerd worden met inachtneming van de technische, economische en maatschappelijke haalbaarheid, alsmede het (huidige en/of nog te formuleren) beleid en regelgeving?

Om deze probleemstelling te kunnen beantwoorden is het onderzoek uitgevoerd met een theorie dat een integraal beeld geeft van deze technologie. Dit is de theorie van Strategisch Niche Management. Met deze theorie wordt een breed scala van factoren onderzocht die een rol spelen bij de ontwikkeling van een nieuwe technologie. Naast technologische aspecten wordt ook gekeken naar economische, maatschappelijke, beleidsmatige en juridische aspecten. Ook wordt breder gekeken naar de technologie aan de hand van meerdere niveaus, hierbij wordt gekeken naar de ontwikkelingen van andere nieuwe technologieën die concurreren met de technologie die onderzocht wordt. Daarnaast wordt gekeken naar gevestigde technologieën waarnaast de nieuwe technologie moet zien te overleven. Invloeden van een nog hoger niveau spelen hierbij een rol, zoals politiek klimaat of conjuncturele veranderingen.

Voor de markt van kleine windturbines in de gebouwde omgeving zijn binnen het kader van bovengenoemde theorie verschillende analyses uitgevoerd teneinde een beeld te krijgen van de niche van kleine windturbines in de gebouwde omgeving. Zo is een multilevel analyse uitgevoerd om de niche een plaats te geven binnen de verschillende niveaus. Hieruit is gebleken dat de heersende technologie die van de conventionele elektriciteitsopwekking is. Dit is een sterke technologie, waardoor het voor de niche van kleine windturbines moeilijk is hiertegen te concurreren, wat ook niet de opzet van kleine windturbines is. Gebleken is namelijk dat kleine windturbines voornamelijk moeten concurreren met andere kleinschalige, decentrale duurzame elektriciteitsopwekkers zoals PV-systemen en micro-WKK's. Kleine windturbines hebben binnen deze markt de beste opbrengst en hebben daarom potentie, dat verder onderzocht is in dit onderzoek.

Naast de andere niveaus en de andere concurrerende technologieën is de niche van kleine windturbines uitgebreid in kaart gebracht voor de verschillende factoren zoals al eerder genoemd. Hierbij is uitgebreid stilgestaan bij het actorennetwerk dat nodig is bij de implementatie van kleine windturbines in de gebouwde omgeving, en zijn de verschillende turbines op de huidige markt geïnventariseerd. De volgende turbines zijn onderzocht:

- De Turby;
- De WindWall;
- De Provane 5;
- De Windside.

Dit zijn de enige marktrijpe en/of bijna marktrijpe turbines die op gebouwen geplaatst kunnen worden van dit moment. Hierbij moet vermeld worden dat deze vier typen ook vrijwel de gehele lading dekken wat betreft turbineuitvoeringen, dus toekomstige ontwikkelingen kunnen in het licht van deze analyse beoordeeld worden. Van de turbines zijn verschillende technische eigenschappen in kaart gebracht en ook zijn experimenten en proefprojecten geïnventariseerd.

Uit deze gegevens zijn de knelpunten naar voren gekomen waar men tegenaan loopt bij de implementatie van kleine windturbines in de gebouwde omgeving.

De knelpunten die naar voren gekomen zijn in het onderzoek hebben betrekking op verschillende factoren. De volgende knelpunten zijn naar voren gekomen:

- Technisch: Men weet niet hoe wind zich boven gebouwen gedraagt, als gevolg hiervan zijn opbrengsten moeilijk in te schatten, de technologieën zijn nog niet uitontwikkeld.
- Beleidsmatig: De landelijke overheid doet niets met kleine windturbines want de landelijke overheid richt zich op grootschalige duurzame energieopwekking, de provincie en gemeenten hebben nog geen beleid ingevuld voor kleine turbines, waardoor er geen toetsingskaders zijn.
- Juridisch: Het vergunningstraject is ingewikkeld omdat het ruimtelijk beleid nog niet ingevuld is, en door de verschillende technologieën moet elk turbinetype anders beoordeeld worden. Daarnaast zijn er ook geen richtlijnen voor de turbines waar deze aan moeten voldoen (bijvoorbeeld veiligheid).
- Economisch: Van de opbrengsten kan nog geen vast beeld geschetst worden vanwege de veranderende gegevens van de turbines maar ook omdat de kosten nog niet vaststaan in verband met productiehoeveelheden. Wel is duidelijk dat er vrijwel geen stimuleringsmaatregelen voorhanden zijn voor kleine windturbines in de gebouwde omgeving.
- Maatschappelijk: Kleine windturbines worden vergeleken met grote windturbines. Dit is ongewenst, omdat de problematiek die speelt bij grote windturbines niet geldt voor kleine windturbines. Kleine windturbines moeten vergeleken worden met andere vormen van kleinschalige duurzame elektriciteitsopwekking.

Voor de hierboven genoemde knelpunten zijn integrale oplossingen geformuleerd. Hierbij zijn twee sporen bewandeld. In het eerste zijn de oplossingen voor de verschillende knelpunten toegewezen aan de verschillende actoren binnen het actorennetwerk dat in het onderzoek geformuleerd is. De actoren hebben de volgende rollen toebedeeld gekregen:

- De provincie moet invulling geven aan het beleid omtrent kleine windturbines in de gebouwde omgeving. Uit het onderzoek is gebleken dat met invulling van het provinciale beleid voor kleine windturbines in de gebouwde omgeving een groot deel van de vergunningenproblematiek opgelost kan worden. Door invulling te geven aan het provinciale beleid op het gebied van Ruimtelijke Ordening en invulling van de milieuaspecten voor kleine windturbine in de gebouwde omgeving, wordt implementatie van kleine windturbines sterk verbeterd;
- Gemeenten moeten aanvragen voor het plaatsen van kleine windturbines verwerken en vergunningen verlenen. Hiervoor moeten de gemeenten invulling geven aan het beleid voor kleine windturbines, dat vanuit de provincie gefaciliteerd wordt, waardoor een toetsingskader voor kleine windturbines mogelijk wordt;
- Advies- en ontwerp bureaus realiseren plaatsing van kleine windturbines door deze technisch mogelijk te maken op het gebied van constructie en projectuitvoering;
- Energie- en adviesbureaus adviseren over plaatsingen van kleine windturbines door de verschillende betrokkenen bij de implementatie van kleine windturbines bijeen te brengen, deze te informeren en ondersteunen;
- Voornamelijk fabrikanten ontwikkelen de kleine windturbines. Samen moeten ze een betrouwbaar beeld geven van de markt waarmee andere partijen binnen de niche de juiste afwegingen kunnen maken omtrent de toepassing van kleine windturbines in de gebouwde omgeving. Kleine windturbines zijn jonge technologieën, waardoor veel gegevens nog onbetrouwbaar en aan veranderingen onderhevig zijn. Toch wijzen de ontwikkelingen erop dat deze gegevens in de toekomst betrouwbaarder worden. Door de markt transparanter te maken door het genereren van betrouwbare gegevens wordt toepassing vergemakkelijkt en daarmee implementatie verbeterd. Dit is een rol die weggelegd is voor de fabrikanten;
- Eindgebruikers (woningcorporaties, bedrijven en instellingen) passen kleine windturbines toe in samenwerking met andere partijen binnen het netwerk zoals adviesbureaus en fabrikanten. Particulieren en particuliere woningen vormen geen doelgroep voor kleine windturbines.

In het tweede spoor zijn oplossingen geformuleerd voor een aantal knelpunten die nadere toelichting nodig hadden. Deze knelpunten zijn de fundamentele problemen waar de implementatie van kleine windturbines sterk door bemoeilijkt wordt. Het eerste hoofdprobleem dat uitgewerkt is, is de invulling van de rol van de provincie, waarvoor een uitgebreide beleidsvisie is beschreven waarmee de provincie invulling kan geven aan het provinciaal beleid voor kleine windturbines. Hierin zijn vooral de problematiek van de ruimtelijke ordening en de milieuaspecten in detail uitgewerkt. Het tweede hoofdprobleem is de ondoorzichtigheid van de markt. Ook hier is een concrete handreiking beschreven voor de technologieontwikkelaars. In hoofdlijnen komt het erop neer dat er een theoretisch model (wat al bestaat) verder uitgewerkt moet worden en dat de technologieontwikkelaars betrouwbare gegevens aanleveren zodat er eenduidige, reële theoretische berekeningen gemaakt kunnen worden van de verschillende turbines teneinde de markt overzichtelijker te maken voor de verschillende marktpartijen.

Als antwoord op de probleemstelling zoals hierboven genoemd kan geconcludeerd worden dat kleine windturbines voor de gebouwde omgeving technologieën zijn die zeer goed toepasbaar zijn als vorm van decentrale duurzame elektriciteitsopwekkers. Hierbij moet wel de kanttekening geplaatst worden dat het toepassingsgebied van kleine windturbines beperkter is dan vaak wordt geschetst. Toepassing moet in de gebouwde omgeving zoveel mogelijk op hogere gebouwen, dit vanwege betere opbrengsten en minimalisering van milieueffecten.

Inhoudsopgave

VOORWOORD	3
SAMENVATTING	4
INHOUDSOPGAVE	7
1 INLEIDING	9
1.1 AANLEIDING ONDERZOEK	9
1.2 VRAAGSTELLING	10
1.3 ONDERZOEKSTYPE	11
1.4 LEESWIJZER	11
2 THEORETISCH KADER	13
2.1 INLEIDING	13
2.2 PLANEVALUATIE	13
2.3 DE THEORIE VAN STRATEGISCH NICHE MANAGEMENT	14
2.4 HET PLUTO-EFFECT	18
3 MULTILEVEL ANALYSE KLEINE WINDTURBINES	20
3.1 INLEIDING	20
3.2 HET ENERGIEREGIME	20
3.3 DE INVLOEDEN VAN 'HOGERHAND'; HET SOCIOTECHNISCH LANDSCHAP	22
3.4 DE CONCURRERENDE NICHES VAN PV-SYSTEMEN EN MICRO-WKK	25
3.5 DE NICHE VAN KLEINE WINDTURBINES	27
4 HET AANBOD VAN KLEINE WINDTURBINES	33
4.1 INLEIDING	33
4.2 TURBY	34
4.3 WINDWALL	37
4.4 PROVANE 5	39
4.5 WINDSIDE	41
4.6 ANDERE KLEINE WINDTURBINES	43
4.7 EEN KRITISCHE NOOT VAN DE AUTEUR	44
4.8 FUNCTIES EN EIGENSCHAPPEN VAN KLEINE WINDTURBINES	45
5 FACTOREN DIE VAN INVLOED ZIJN OP DE IMPLEMENTATIE VAN KLEINE WINDTURBINES	47
5.1 INLEIDING	47
5.2 TECHNISCH UITONTWIKKELD? HELEMAAL NOG NIET!	47
5.3 ER IS NOG GEEN BELEID VOOR KLEINE WINDTURBINES	49
5.4 STADSTURBINES ZIJN JURIDISCH MOEILIJK TE DEFINIËREN EN IN TE PASSEN	50
5.5 IETS HEEL ANDERS DAN MEN GEWEND IS	52
5.6 KOSTEN EN OPBRENGSTEN; HET FINANCIËLE PLAATJE	53
5.7 RESUMEREND	57

6 VERBETERING VAN DE IMPLEMENTATIE VAN KLEINE WINDTURBINES IN DE GEBOUWDE OMGEVING	59
6.1 INLEIDING	59
6.2 ROLLEN VAN DE ACTOREN	60
6.3 SPECIFIEKE OPLOSSINGEN VOOR DE PROBLEMEN	62
6.4 DE ROL VAN ENERGIE 2050	67
7 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	69
7.1 CONCLUSIES	69
7.2 BESCHOUWING VAN DE TOEGEPASTE THEORIE	71
7.3 AANBEVELINGEN	71
BRONNEN	73
LITERATUUR	73
GERAADPLEEGDE PERSONEN	75
BIJLAGE 1: DEFINITIES BEBOUWDE GROND CBS	77
BIJLAGE 2: WERKINGSPRINCIPES KLEINE WINDTURBINES	80
BIJLAGE 3: WIND IN DE GEBOUWDE OMGEVING	82
BIJLAGE 4: OPBRENGSTENBEREKENINGEN TURBINES	85

1 Inleiding

1.1 Aanleiding onderzoek

De noodzaak voor het gebruik van duurzame energie, dit is energie uit hernieuwbare bronnen, in de samenleving wordt steeds duidelijker. Fossiele brandstoffen raken meer en meer uitgeput, en de vervuiling en emissies nemen alsmaar toe. Zowel nationaal als internationaal worden initiatieven genomen om de inzet van duurzame energiebronnen te vergroten en inzet van fossiele brandstoffen te vermijden of te verminderen. Dit principe komt voort uit de Trias Energetica¹, die het principe van een duurzame energievoorziening weergeeft (figuur 1.1); eerst moet de vraag naar elektriciteit en warmte zoveel mogelijk gereduceerd worden. De energie die dan nog nodig is, moet zoveel mogelijk met duurzame energiebronnen opgewekt worden. In de derde stap moet de energie die toch uit fossiele brandstoffen opgewekt wordt zo efficiënt en schoon mogelijk worden geproduceerd.



Figuur 1.1: De Trias Energetica.

In december 1997 zijn in Kyoto afspraken gemaakt teneinde de CO₂-uitstoot te reduceren met 8% t.o.v. de situatie in 1990². Dit moet gerealiseerd zijn in de periode 2008-2012. Om deze reductie te kunnen realiseren heeft de Nederlandse overheid als doelstelling dat in 2010 5% en in 2020 10% van onze energiebehoefte wordt opgewekt uit duurzame bronnen³. Deze reductie moet voornamelijk voortkomen uit energiebesparing in de gebouwde omgeving, energieopwekking uit biomassa, en elektriciteitsopwekking uit wind⁴. De bijdrage van grootschalige windenergie is als volgt: 1500 MW aan opgesteld vermogen op land in 2010⁵ en 6000 MW op zee in 2020. Om invulling te geven aan het vermogen op zee is het We@Sea kennisconsortium opgezet⁶, dat als doel heeft kennis over offshore windenergie te ontwikkelen om zo risico's te verkleinen en implementatie te versnellen. Het landelijk vermogen is verdeeld over de twaalf provincies van Nederland, wat beschreven is in de Bestuursovereenkomst Landelijke Ontwikkeling Windenergie (BLOW). Voor de provincie Noord-Brabant betekent dit dat zij op 31 december 2010 voor 115 MW aan windenergie opgesteld moet hebben⁷. In 2000 stond er in Noord-Brabant een vermogen van bijna 27 MW opgesteld⁸. Naast het landelijk beleid zoals de hierboven besproken BLOW-overeenkomst bestaat er het provinciaal en gemeentelijk beleid. Op dit moment richt het provinciale windenergiebeleid zich voornamelijk op het regisseren, ondersteunen en communiceren van grootschalige initiatieven op het gebied van windenergie. De provincie is hierin voorwaardenscheppend, en er vindt ondersteuning van de gemeenten plaats. Van de gemeenten wordt verwacht dat zij een actieve rol spelen, dat er regionaal samengewerkt wordt en dat regionale taakstellingen gerealiseerd worden⁹. Uit het provinciale beleid komt ook naar voren dat de gebouwde omgeving als kansrijk aangemerkt wordt voor toepassing van windenergie¹⁰. Realisatie van grootschalige windenergie projecten is hier zeer

¹ Centrum Technologie voor Duurzame Ontwikkeling, *Technologie en duurzaamheid. (elektronisch dictaat)* (Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 2001): paragraaf 5.7.1.

² Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN), *Het Kyoto protocol. Mijlpaal in een proces.* (Petten: ECN): 5.

³ Projectbureau Duurzame Energie, *Windenergie. Algemene informatie* (Arnhem: Informatiecentrum Duurzame Energie, 2003): 4.

⁴ In 2000 was de opwekking van elektriciteit uit wind 32% van alle opgewekte duurzame energie. Van de website: www.energie.nl geraadpleegd op 26-9-03.

⁵ Na 2010 worden nieuwe doelstellingen geformuleerd voor 2020 (of later).

⁶ Jet van Bochove et al., *Windenergie op zee* (Petten, Stichting We@Sea: 2003): 3.

⁷ PDE, *Windenergie. Algemene informatie*, 4-5.

⁸ P.R. Beaujean, *Windstille in Noord-Brabant?* (Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 2001): 12.

⁹ J.C.M. Farla et al., *Brabant voor de wind. Beleidsontwerp Windenergie Noord-Brabant 2002 (ontwerp)* ('s-Hertogenbosch: Servicecentrum Provincie Noord-Brabant, 2002): 45-47.

¹⁰ Farla, *Brabant voor de wind. (ontwerp)*: 27-28.

onwaarschijnlijk, gezien de voorwaarden die gesteld worden (afstand ten opzichte van bebouwing, locatiekeuze en visuele beleving). Kleinschalige opwekking van windenergie met kleine windturbines is in de gebouwde omgeving een reëlere optie.

Aangezien het huidige windbeleid gebaseerd is op grote windturbines (tot zelfs 2 MW nominaal vermogen) is het noodzakelijk apart te kijken naar de mogelijkheden van kleine windturbines, en specifiek de toepassing hiervan in de gebouwde omgeving. Dit betreft de verschillende technologieën die toegepast kunnen worden bij kleinschalige opwekking van windenergie, maar ook het beleid dat hierin gevoerd moet worden. Hierbij kan gedacht worden aan inbedding in het huidige windbeleid en parallellen tussen ander beleid in de gebouwde omgeving (zoals het antennebeleid en toepassing in het bouwbesluit). Het is evident dat implementatie van kleine windturbines in de gebouwde omgeving een andere sturing behoeft dan grote windturbines.

Bij de realisatie van duurzame energieprojecten spelen lagere overheden (gemeenten en provincies) een sleutelrol. Zij kunnen consumenten en marktpartijen enthousiasmeren en ondersteunen. Maar vooral dienen zij te zorgen voor de juiste randvoorwaarden zoals vergunningverlening¹¹. Ook is gebleken dat demonstratieprojecten de ontwikkeling en implementatie van een technologie versterken, omdat dit het leerproces op verscheidene vlakken bevordert (technologie, sociale- en milieu-impacts, beleid en regelgeving)¹². Dit is één van de hoofdredenen dat Energie 2050 opgericht is. Energie 2050 heeft als doel de Brabantse beleidsintenties over energie om te zetten in concrete uitvoering¹³. Energie 2050 is zich er bewust van dat er mogelijkheden bestaan voor de toepassing van kleine windturbines in de gebouwde omgeving. Dit gebied is echter nog onontgonnen terrein, waar nog vele vraagtekens staan omtrent de technische, economische, maatschappelijke, juridische en beleidstechnische haalbaarheid. Energie 2050 wil met deze afstudeeropdracht meer inzicht verkrijgen in het potentieel van windenergie in de gebouwde omgeving om naar aanleiding van de resultaten van dit onderzoek al dan niet concrete projecten op te starten.

1.2 Vraagstelling

Doelstelling

Energie 2050 richt zich met name op de uitvoering van concrete projecten met als doel het stimuleren van opwekking van energie uit duurzame energiebronnen, teneinde te komen tot CO₂-emissiereductie. Kleine windturbines in de gebouwde omgeving zijn een nieuwe vorm van duurzame energie, waar binnen Energie 2050 (maar ook de rest van Nederland) nog weinig over bekend is. Voordat Energie 2050 concrete projecten met kleine windturbines in de gebouwde omgeving gaat opstarten, wil het bureau meer inzicht krijgen in de stand van zaken van deze nieuwe technologie met betrekking tot technische, economische, maatschappelijke, juridische en beleidsmatige aspecten. Dit leidt tot de volgende doelstelling:

Het formuleren van aanbevelingen aan Energie 2050 met betrekking tot de implementatie van kleine windturbines in de gebouwde omgeving van provincie Noord-Brabant, die als basis kunnen dienen voor het opstarten van een concrete projecten.

Probleemstelling

Uit bovenstaande doelstelling kan de volgende probleemstelling gedestilleerd worden:

Op welke manier kan implementatie van kleine windturbines in de gebouwde omgeving gerealiseerd worden met inachtneming van de technische, economische en maatschappelijke haalbaarheid, alsmede het (huidige en/of nog te formuleren) beleid en regelgeving?

Deze probleemstelling is vrij breed gekozen, waardoor het noodzakelijk is hier wat randvoorwaarden aan te verbinden die opgenomen zijn in de volgende deelvragen:

1. Wat zijn de technische mogelijkheden en beperkingen van kleine windturbines in de gebouwde omgeving mede kijkend naar lange termijn ontwikkelingen en alternatieven?

¹¹ <http://www.duurzame-energie.nl/wat/procesaanpak.php> geraadpleegd op 24-3-03.

¹² Remco Hoogma et al., *Experimenting for Sustainable Transport* (New York: Spon Press, 2002): 12-35.

¹³ Koos de Bie, *Energie 2050 jaarverslag 2001* (Tilburg: Klijnsen drukkerij, 2002): 5.

2. Zijn kleine windturbines in de gebouwde omgeving economisch haalbaar?
3. Hoe ziet het actorennetwerk eruit bij de technologie van kleine windturbines in de gebouwde omgeving van Noord-Brabant, en wat zijn de rollen van deze actoren binnen het netwerk?
4. Welke regelgeving bestaat er omtrent het onderwerp van kleine windturbines in de gebouwde omgeving? Moet er nieuwe regelgeving geformuleerd worden of moet de technologie in bestaande regelgeving ingepast worden?
5. Wat is het huidige beleid van Nederland, de provincie Noord-Brabant en de gemeenten in Noord-Brabant omtrent het onderwerp van kleine windturbines in de gebouwde omgeving?

Uit deze vijf deelvragen zal per onderdeel de haalbaarheid van kleine windturbines in de gebouwde omgeving duidelijk worden. Ook zullen eventuele knelpunten naar boven komen. De resultaten van dit afstudeeronderzoek moeten als basis voor concrete projecten kunnen dienen. Dit betekent dat de resultaten uit bovenstaande deelvragen verwerkt moeten worden in een aanbeveling aan Energie 2050, waarin de implementatie van kleine windturbines in de gebouwde omgeving integraal beoordeeld wordt. Hiervoor wordt de theorie van Strategisch Niche Management toegepast. Deze theorie wordt in hoofdstuk 2 verder besproken.

1.3 Onderzoekstype

Dit onderzoek betreft een planevaluatie. Een planevaluatie bevat als hoofdonderdeel een te ontwerpen interventie om een gewenste situatie te creëren¹⁴. Over het algemeen komt het erop neer dat de bestaande en de gewenste situatie in kaart worden gebracht door middel van bestaande theorieën en inzichten. Hieruit wordt dan de interventie ontworpen. In dit afstudeeronderzoek zal hoofdzakelijk de theorie van Strategisch Niche Management¹⁵ (SNM) toegepast worden. Deze theorie bepleit het uitvoeren van experimenten en proefprojecten in een niche, teneinde te komen tot leerprocessen van een bepaalde technologie op verschillende niveaus en verschillende onderdelen. Het onderzoekstype planevaluatie en de theorie van SNM komen in het volgende hoofdstuk uitgebreid aan de orde.

Omdat de technologie van kleine windturbines SNM nog in de kinderschoenen staat en de besproken theorie van SNM een vrij recente theorie is, zal de dataverzameling hoofdzakelijk aan de hand van een deskstudie plaatsvinden. Daarnaast zal er veel informatie uit interviews gehaald worden.

1.4 Leeswijzer

In het volgende hoofdstuk zal het gebruikte onderzoekstype en de gebruikte theorie nader verantwoord en toegelicht worden. De uitleg in dit hoofdstuk legt de basis voor de uitwerking van de theorie van SNM voor het onderwerp kleine windturbines in de gebouwde omgeving.

In hoofdstuk 3 zal allereerst het technologisch regime¹⁶ van de energievoorziening in kaart gebracht worden. Invloeden hierop van een hoger niveau (sociotechnisch landschap) en een lager niveau (niches) worden hier meegenomen.

In het vierde hoofdstuk wordt de niche van kleine windturbines in de gebouwde omgeving geanalyseerd. Hiertoe is een inventarisatie gemaakt van de experimenten en projecten die plaatsvinden en plaatsgevonden hebben.

De knelpunten die uit hoofdstuk 4 naar voren komen worden in het vijfde hoofdstuk behandeld in het licht van de vijf hoofdonderdelen die in de deelvragen gedefinieerd zijn (te weten: technische, economische, maatschappelijke, juridische en beleidsmatige aspecten) om een antwoord te krijgen op deze deelvragen.

¹⁴ P.G. Swanborn, *Evalueren* (Amsterdam: Boom, 1999).

¹⁵ Hoogma et al., *Experimenting for sustainable Transport*.

¹⁶ Technologisch regime: the whole complex of scientific knowledge, engineering practices, production process technologies, product characteristics, skills and procedures, established user needs, regulatory requirements, institutions and infrastructures. Hoogma et al., *Experimenting for sustainable Transport*: 19.

Deze oplossingen worden in het zesde hoofdstuk beschreven. Van de oplossingen wordt ook aangegeven welke actoren binnen het netwerk van kleine windturbines in de gebouwde omgeving de problemen kunnen oplossen.
Tot slot worden in het zevende hoofdstuk de conclusies en aanbevelingen beschreven.

2 Theoretisch kader

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt het theoretisch kader beschreven waarbinnen dit onderzoek is uitgevoerd. Dit kader kan in twee delen gesplitst worden, te weten het onderzoekstype en de toegepaste wetenschappelijke theorie. Het onderzoekstype dat in dit onderzoek toegepast is, is planevaluatie. Dit klinkt in eerst instantie vreemd, omdat evaluatie achteraf plaatsvindt, terwijl in het eerste hoofdstuk is beschreven dat het een haalbaarheidsonderzoek betreft. In de volgende paragraaf is beschreven dat dit onderzoek toch onder de noemer van evaluatieonderzoek valt. Dit onderzoekstype geeft alleen een leidraad voor de uitvoering van het onderzoek, maar zegt nog niets over de inhoud ervan. Dit wordt toegelicht in de paragraaf over de toegepaste theorie. Deze theorie is die van Strategisch Niche Management (SNM), die op zijn beurt in te passen is in de transitietheorie. Beide theorieën zullen kort beschreven worden, waarin ook de aanpak voor de verdere uitvoering van het onderzoek meegenomen is.

2.2 Planevaluatie

Evaluatieonderzoek

Evaluatieonderzoek komt meestal voor in de vorm van onderzoek dat achteraf, na een interventie plaatsvindt. Dit is echter niet de enige vorm. Onderzoek dat gericht is op (het ontwerpen van) toekomstige interventies wordt ook vaak evaluatieonderzoek genoemd, evenals onderzoek dat uitgevoerd wordt bij lopende interventies¹⁷. Daarom wordt bij evaluatieonderzoek onderscheid gemaakt tussen planevaluatie (waar toekomstige interventies ontworpen worden), procesevaluatie (waar lopende interventies onderzocht worden) en de meeste bekende productevaluatie (waar onderzoek achteraf plaatsvindt). In dit onderzoek gaat het dus om planevaluatie.

Planevaluatie

Wanneer het om toekomstig beleid gaat, is het doel van het evaluatieonderzoek om succes belovende interventies te ontwerpen. Enerzijds doet de onderzoeker daartoe empirisch onderzoek in het te veranderen stukje van de werkelijkheid, anderzijds put hij of zij uit de (fundamenteel) wetenschappelijke kennisvoorraad, uit theorieën die mogelijk gebruikt kunnen worden om maatregelen te ontwerpen¹⁸. Deze vorm van evaluatieonderzoek heet planevaluatie en wordt in dit afstudeeronderzoek toegepast. Eigenlijk is de term planevaluatie wat misleidend. Het gaat immers om het ontwerpen van een interventie, het maken van een plan; het gaat niet om het empirisch evalueren van een bestaand plan¹⁹.

Hierbij moet vermeld worden dat planevaluatie slechts een onderzoeksvorm is en geen theoretisch kader. Het theoretische kader waarbinnen de vraagstelling concreet uitgevoerd zal worden komt in de volgende paragraaf aan de orde. Planevaluatie vormt een leidraad voor de uitwerking van het onderzoek, welke stappen doorlopen moeten worden en hoe hier invulling aan gegeven kan worden. Dit zal hieronder toegelicht worden. Inhoudelijk worden deze stappen uitgevoerd binnen het theoretisch kader.

Stapsgewijze aanpak

Stapsgewijs weergegeven houdt planevaluatie het volgende in²⁰:

1. Het inventariseren en analyseren van de bestaande situatie en van bestaande interventies (indien aanwezig). Informatie wordt verkregen uit documenten en interviews. Vanuit het theoretisch kader van SNM (dat in de volgende paragraaf uitgelegd zal worden) moeten interventies integraal benaderd worden, waardoor het verzamelen en analyseren van

¹⁷ Swanborn, *Evalueren*, 23.

¹⁸ Swanborn, *Evalueren*, 24.

¹⁹ Swanborn, *Evalueren*, 133.

²⁰ Swanborn, *Evalueren*, 135.

informatie breed aangepakt wordt, d.w.z. op zowel technisch gebied als maatschappelijk, juridisch, beleidsmatig en economisch gebied.

2. Verbindingen leggen tussen doelstellingen en interventies via probleemspecifieke en algemene theorieën. In deze stap vindt bestudering plaats van de verzamelde documenten en literatuur. Gesignaleerde problemen worden beschreven en verklaard aan de hand van probleemspecifieke en algemene theorieën. Het integraal analyseren en verklaren van de problemen vanuit de theorie van SNM zal in deze stap plaatsvinden, alsmede uitwerking van onderdelen binnen deze theorie. Zo wordt het multilevel model toegepast teneinde het huidige energieregime in kaart te brengen dat interacteert met het zogeheten 'sociotechnisch landschap'²¹ op macroniveau en verschillende niches op microniveau. Ook wordt de theorie van SNM als leidraad gebruikt voor de analyse van de huidige niche van kleine windturbines in de gebouwde omgeving.
3. Het ontwerpen van nieuwe interventies. Nadat de problemen beschreven en verklaard zijn kunnen oplossingen ontworpen worden vanuit de gebruikte theorieën om te komen tot succesvolle interventies en de juiste keuzes.
4. Uitvoering van een kosten/baten, of een kosteneffectiviteitanalyse. Tegenover een verwachte mate van doelbereik bij verschillende (interventie)alternatieven staan de kosten. Per alternatief moeten deze tegen elkaar afgewogen moeten worden, zodat een prioriteitsvolgorde ontwikkeld kan worden.
5. Prioritering van de alternatieve interventies als advies aan de opdrachtgever. In deze laatste stap worden de resultaten van het onderzoek beschreven.

Hierbij moet vermeld worden dat het advies naar Energie 2050 in dit onderzoek tweeledig is. Allereerst wordt de potentie van kleine windturbines in de gebouwde omgeving in het algemeen onderzocht. Dit is het hoofddoel van het onderzoek. Hieruit zal voortkomen op welke punten het fout gaat/kan gaan bij de implementatie van kleine windturbines in de gebouwde omgeving en hoe deze problemen integraal opgelost kunnen worden. Daarnaast vraagt Energie 2050 zich af of zij moet participeren in de ontwikkeling en implementatie van kleine windturbines in de gebouwde omgeving van Noord-Brabant. Hiervoor zal een aanbeveling aan Energie 2050 gedaan worden.

Planevaluatie is het onderzoekstype dat geschikt is voor het algemene kader van dit afstudeeronderzoek. Uit voorgaande komt naar voren dat binnen het onderzoek de theorie van SNM gebruikt wordt om tot het juiste interventieplan te komen. De theorie van SNM is in de volgende paragraaf beschreven.

2.3 De theorie van Strategisch Niche Management

Transities

De ontstaansgeschiedenis van SNM heeft zijn oorsprong in de transitietheorie, een term die stamt uit het vierde Nationaal Milieubeleidsplan (NMP4), waarin betoogd wordt dat energietransitiemanagement de maatschappelijke dilemma's over dit onderwerp moet oplossen²². De term transitie bestaat al veel langer en is oorspronkelijk ontstaan in de biologie en populatiedynamica²³, echter binnen de context van energietransities is het NMP4 het startpunt geweest²⁴.

In dit onderzoek wordt het begrip transitie gebruikt in de context van technologische veranderingen, de zogenoemde sociotechnische transities²⁵ ook wel Technologische Transitie²⁶ genoemd. Een transitie kan gedefinieerd worden als een gradueel continu proces van maatschappelijke verandering, waarbij de maatschappij (of een complex deelsysteem daarvan) structureel van karakter verandert²⁷. Deze veranderingen vinden plaats op meerdere

²¹ Het sociotechnisch landschap betreft materiële en immateriële elementen op macroniveau, zoals materiële infrastructuur in de vorm van bijvoorbeeld hoogspanningsnetten, maar ook politieke cultuur, maatschappelijke waarden en macro-economie.

²² Addo van der Eijk, "Transitiedenken moet het onoplosbare oplossen," *Vakblad duurzame energie* nr 4 (2003): 12.

²³ Jan Rotmans et al., *Transities en transitiemanagement* (ICIS en MERIT, 2000): 10.

²⁴ Rotmans et al., *Transities en transitiemanagement*, 8.

²⁵ Rotmans et al., *Transities en transitiemanagement*, 11.

²⁶ Frank Geels, *Understanding the Dynamics of Technological Transitions* (Enschede: Twente University Press, 2002): 412.

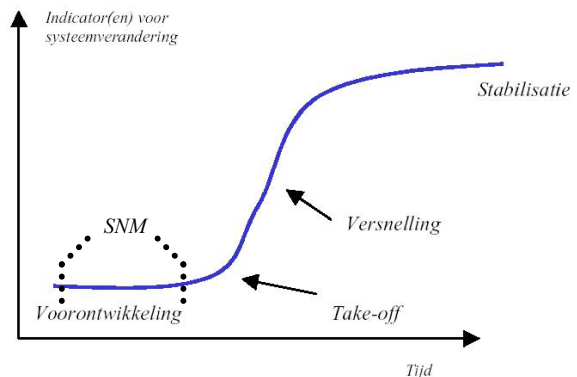
²⁷ Rotmans et al., *Transities en transitiemanagement*, 11.

terreinen: technologie, economie, instituties, gedrag, cultuur, ecologie en wereldbeelden/paradigma's²⁸. Ook vinden de veranderingen plaats op verschillende niveaus, hierover zal meer verteld worden in de volgende paragraaf.

Er kunnen vier transitiefasen onderscheiden worden²⁹ (zie figuur 2.1):

1. een voorontwikkelingsfase van dynamisch evenwicht waarin de status-quo niet zichtbaar verandert;
2. een take-off fase waarin het veranderingsproces op gang komt, doordat de toestand van het systeem begint te verschuiven;
3. een versnellingsfase waarin zichtbaar structurele veranderingen plaatsvinden;
4. een stabilisatiefase waarin de snelheid van maatschappelijke verandering afneemt en al lerend een nieuw dynamisch evenwicht wordt bereikt.

Het transitiemodel wordt gebruikt voor tijdrovende maatschappelijke transformaties, omdat het hierbij gaat over lange periodes (30-40 jaar) die op grote schaal plaatsvinden³⁰. Dit betekent dat het transitiemodel niet zomaar te pas en te onpas toegepast kan worden als het gaat om nieuwe technologieën, en dat nieuwe technologieën niet zonder meer een transitie teweeg brengen. Voor wat betreft de overstap van conventionele energieopwekking naar duurzame, emissiearme energieopwekking kan gesteld worden dat we hier te maken hebben met een transitie³¹.



Figuur 2.1: Vier fasen van een transitie (Rotmans, 14).

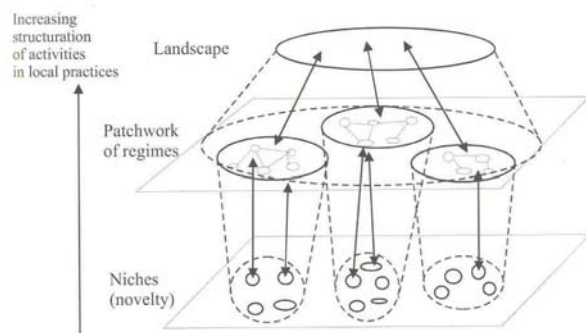
Deze korte uitleg van de transitietheorie maakt het makkelijker SNM een plaats te geven, omdat deze theorie hieruit ontsprongen is. SNM vindt namelijk plaats in de voorontwikkelingsfase van een transitie (zie figuur 2.1). In de volgende paragraaf zal aan de hand van het zogeheten multilevel model uitgelegd worden dat de veranderingen die hierboven beschreven zijn op meerdere niveaus plaatsvinden. In de daarop volgende paragraaf wordt SNM verder uitgewerkt, waar dit multilevel model ook bij toegepast wordt. Ook worden de stappen die -op basis van de theorie- in dit afstudeeronderzoek doorlopen zijn beschreven.

Het multilevel model

Zowel de transitietheorie als de theorie van SNM pleiten voor een integrale analyse op verschillende niveaus³². Deze niveaus zijn weergegeven in het zogenaamde multilevel model.

Dit model is uitgewerkt door Geels en Kemp³³. Hierin zijn drie niveaus te onderscheiden, die elkaar onderling beïnvloeden³⁴ (zie figuur 2.2):

- Een microniveau van technologische niches: dit betreffen technologieën of individuele actoren. In deze niches worden nieuwe technologieën beschermd omdat ze anders niet overleven in de markt. In niches vinden vele leerprocessen plaats op het gebied van de techniek, regelgeving, infrastructuur, gebruikswensen etc.



Figuur 2.2: Het multilevel model (Geels, 107).

²⁸ Rotmans et al., *Transities en transitie management*, 12.

²⁹ Rotmans et al., *Transities en transitie management*, 12.

³⁰ Geels, *Understanding the dynamics*, 412.

³¹ Rotmans et al., *Transities en transitie management*, 31.

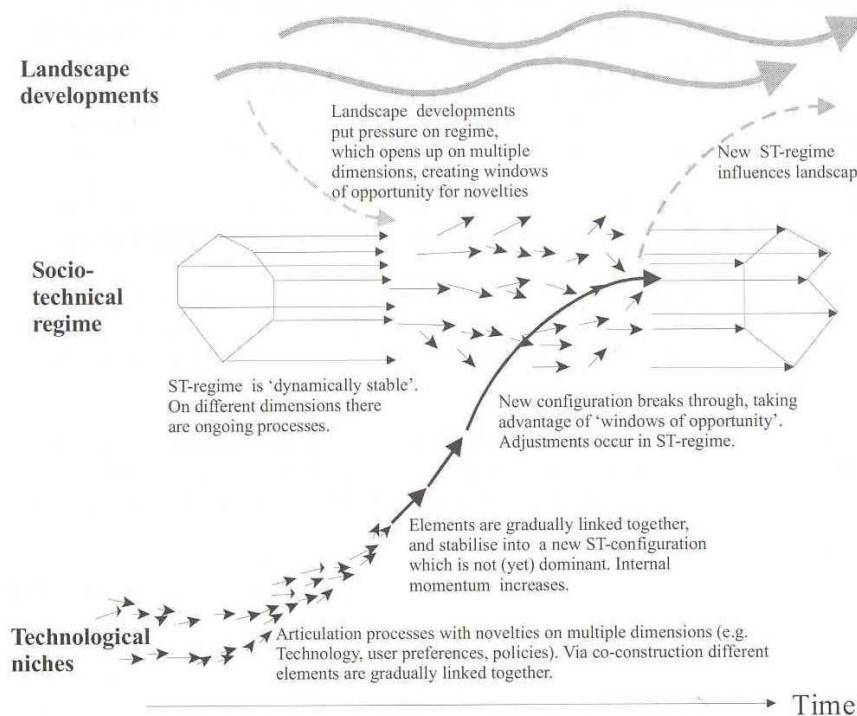
³² Rob Raven, *Workshop Strategisch Niche Management voor Biomassa* (Technische Universiteit Eindhoven, 2003): 11; Geels, *Understanding the dynamics*, 97; Rotmans et al., *Transities en transitie management*, 19.

³³ Frank Geels en René Kemp, *Transities van socio-technisch perspectief* (Universiteit Twente en MERIT, 2000).

³⁴ Rotmans et al., *Transities en transitie management*, 19; Geels, *Understanding the dynamics*, 412.

- Een mesoniveau van technologische regimes: dit betreffen de dominante praktijken, regels en gedeelde aannamen van een gevestigde technologie. Het regime bestaat voornamelijk uit netwerken, gemeenschappen en organisaties.
- Een macroniveau van sociotechnisch landschap: betreft materiële en immateriële elementen op macroniveau, zoals materiële infrastructuur in de vorm van bijvoorbeeld hoogspanningsnetten, maar ook politieke cultuur, maatschappelijke waarden en macro-economie.

De ontwikkeling van een gevestigde technologie vindt binnen een regime incrementeel plaats, dat wil zeggen met kleine stapjes. Vanuit het regime zal dus geen radicale verandering (en dus ook geen transitie) plaatsvinden. Dit kan wel gebeuren vanuit de niches. In de niches ontstaan radicaal nieuwe technologieën, die hier beschermd kunnen groeien tot ze uiteindelijk doorbreken en een regimeverschuiving teweeg (kunnen) brengen. De transitie die zo gestart wordt komt tot stand doordat op de verschillende niveaus veranderingen plaatsvinden die elkaar onderling beïnvloeden; zo creëren landschapsveranderingen druk op het regime en zorgen de ontwikkelingen in de niches ervoor dat de nieuwe technologie concurrerend wordt met de bestaande technologie. Verzwakking van het bestaande regime zorgt voor zogenaamde 'windows of opportunity' voor de nieuwe technologie³⁵. Andersom kan natuurlijk een sterk regime ervoor zorgen dat er geen doorbraak plaatsvindt of kunnen ontwikkelingen in het landschap het regime juist versterken. In figuur 2.3 is een en ander schematisch weergegeven.



Figuur 2.3: Invloeden binnen het multilevel model (Geels, 110).

Uit bovenstaande blijkt dat niches de kweekvijvers zijn voor innovaties die als basis kunnen dienen voor technologische transitie³⁶. Dit betekent dat niches een belangrijke rol spelen in de voorontwikkelingsfase van het transitieproces. Het belang van deze niches is dat er leerprocessen plaatsvinden met betrekking tot de nieuwe technologie, maar ook de omliggende factoren zoals infrastructuur, regelgeving, maatschappelijke effecten, etc³⁷. Dit is waar het op dit moment vaak aan schort bij de ontwikkelingen in niches. Er vinden vaak experimenten en proefprojecten plaats die enkel technologiegedreven zijn. SNM is ontwikkeld om een integraal beeld te krijgen van de technologie in de niche.

³⁵ Geels, *Understanding the dynamics*, 412-413.

³⁶ Rotmans et al., *Transities en transitie management*, 19.

³⁷ Hoogma et al., *Experimenting for sustainable Transport*, 28.

Strategisch Niche Management

Technologische ontwikkeling karakteriseert zich door ontwikkelingen in zeer veel kleine stapjes. Deze ontwikkelingen lopen via verschillende paden die men niet altijd voorzien heeft. Een technologische ontwikkeling meandert als het ware door de wereld van factoren die invloed hebben op en beperkingen geven aan een technische ontwikkeling. Deze factoren zijn al eerder benoemd in de zogenaamde regimes. Door vaste denkbeelden in de regimes ontstaat er een padafhankelijkheid die moeilijk te doorbreken is. De theorie van Strategisch Niche Management geeft uitleg over hoe deze padafhankelijkheden verbroken worden en hoe nieuwe paden ontstaan³⁸. Door de opkomst van nieuwe technologieën in niches, waar ontwikkeling kan plaatsvinden in een beschermde omgeving. Afhankelijk van de 'windows of opportunity' genoemd in de vorige subparagraaf beïnvloeden de niches het bestaande regime, en kunnen ze zelfs regimeverschuivingen veroorzaken (en dus mogelijk ook een transitie), met andere woorden: de padafhankelijkheid wordt doorbroken. Andersom kan ook gezegd worden dat niches juist nodig zijn om een regimeverschuiving te kunnen bewerkstelligen.

De theorie van SNM geeft invulling aan hoe richting aan deze niches gegeven kan worden. Door experimenten binnen een bepaalde niche in kaart te brengen is naar voren gekomen waar het vaak mis gaat in niches en nicheontwikkeling: er is weinig betrokkenheid van partijen, men richt zich voornamelijk op de technische ontwikkeling, diepere leerprocessen vinden niet plaats, en experimenten zijn vaak gericht op de beoogde uitkomst³⁹. Door deze problemen te signaleren en te ondervangen kan een niche zich beter ontwikkelen, SNM biedt een leidraad voor deze sturing. SNM staat tussen twee deterministische visies op technologische vooruitgang. De eerste visie betoogt dat technologie de oplossing van alle problemen in de maatschappij is. De tweede visie betoogt dat technologie een deel van het probleem is (en dus niet de oplossing). SNM is een aanpak die zowel naar de technische als de sociale kant van een technologische ontwikkeling kijkt. Dit wordt ook wel co-evolutie of co-constructie genoemd. Dit betekent ook dat bij problemen naar een integrale oplossing moet worden gezocht i.p.v. het afzonderlijk afwerken van de problemen per onderwerp⁴⁰.

In SNM staan drie processen centraal: verwachtingen, leerprocessen en netwerkvorming⁴¹. Verwachtingen vormen de legitimatie van actoren om deel te nemen, bijvoorbeeld op basis van oplossingen die de nieuwe technologie kan bieden voor problemen die met de bestaande technologie niet opgelost kan worden (bijvoorbeeld duurzame energieopwekking). Sterke verwachtingen van actoren zorgen ook voor de benodigde betrokkenheid bij experimenten en proefprojecten.

Leerprocessen leiden tot stabilisatie van de nieuwe technologie, bijbehorende wet- en regelgeving, beleid, (on)gewenste sociale en milieueffecten, productie- en vraagfactoren en infrastructuur⁴². Hierbij moet vermeld worden dat er een onderscheid gemaakt kan worden tussen de kwaliteit van verschillende leerprocessen. Eerste-orde leerprocessen kunnen beschouwd worden als leerprocessen over de nieuwe technologie, en bijbehorende aspecten zoals regelgeving en beleidsvorming. Tweede-orde leerprocessen gaan verder, deze gaan over bredere diffusie van de technologie en institutionele veranderingen. Ook hier moet over nagedacht worden bij het uitvoeren van experimenten en nichemanagement, zeker wanneer het een technologie betreft die een structurele verandering van de maatschappij kan veroorzaken wanneer deze doorbreekt.

Netwerkvorming wordt belangrijker naarmate de niche groeit binnen het bestaande regime. Binnen de niche moeten de verschillende rollen nog gedefinieerd worden. Actoren zullen participeren dan wel afhaken, afhankelijk van het aanwezige netwerk, de samenstelling ervan en de afstemming binnen dit netwerk⁴³. Uiteindelijk zal dit netwerk stabiliseren. In dit onderzoek zal gepoogd worden bovenstaande processen in kaart te brengen voor de niche van kleine windturbines in de gebouwde omgeving.

³⁸ Hoogma et al., *Experimenting for sustainable Transport.*, 180.

³⁹ Hoogma et al., *Experimenting for sustainable Transport.*, 191-193.

⁴⁰ Hoogma et al., *Experimenting for sustainable Transport.*, 2-3.

⁴¹ Raven, *Workshop Strategisch Niche Management*, 15-16.

⁴² Hoogma et al., *Experimenting for sustainable Transport.*, 13-17; Raven, *Workshop Strategisch Niche Management*, 15-16.

⁴³ Raven, *Workshop Strategisch Niche Management*, 16-17.

Stappen in het SNM-proces

Wat is nu de leidraad die SNM biedt? Dit zijn een aantal activiteiten die uitgevoerd kunnen worden teneinde een goed beeld van een nieuwe technologie te krijgen⁴⁴:

- Multilevel analyse: Om de regime dynamiek in kaart te brengen die invloed heeft op de niche van kleine windturbines moet een multilevel analyse uitgevoerd worden die de onderzochte niche in een bepaalde context plaatst. Vragen als 'Binnen welk regime groeit de niche van kleine windturbines?' en 'Hoe sterk is dit regime en welke (andere) niches of gebeurtenissen uit het sociotechnisch landschap hebben hier invloed op?' worden hierbij beantwoord.
- Inventarisatie van experimenten: Aan de hand van de uitgevoerde proefprojecten en experimenten kan de niche dynamiek van kleine windturbines in kaart gebracht worden. De resultaten van deze analyse vormen een beeld hoe binnen de niche van kleine windturbines invulling gegeven wordt aan de drie hoofdprocessen verwachtingen, leerprocessen en netwerkvorming.
- Problemen in kaart brengen: Deze fase volgt na de inventarisatie van de verschillende experimenten. In deze fase worden de problemen die voorkomen binnen de niche van kleine windturbines geïnventariseerd. In feite kunnen deze fase en de vorige fase samengevat worden onder de noemer 'analyseren van de niche dynamiek', in dit onderzoek zijn zij echter in de genoemde twee fasen verdeeld.
- Combinatie van inzichten: Door bovenstaande drie fasen te combineren kunnen hoofdknelpunten in de niche gesignaleerd worden. Hiervoor kunnen oplossingen geformuleerd worden. Tevens kan door de combinatie van inzichten de sterkte van de niche beoordeeld worden. Hieruit kan dan opgemaakt worden waar de sterkte of de zwakte van de niche ligt.

Zullen kleine windturbines in de gebouwde omgeving een transitie in de energievoorziening teweeg brengen? Die vraag moet nog beantwoord worden in dit onderzoek. Het is echter wel duidelijk dat de theorie van SNM een kader biedt om antwoord te kunnen geven op deze vraag alsmede de potentie van kleine windturbines in de gebouwde omgeving, en wat hieraan verbeterd kan worden.

Toch laat SNM een aantal vragen onbeantwoord, die interessant zijn voor de uitkomst van dit onderzoek. Het mist onder andere een kwalitatieve analyse van alternatieven voor kleine windturbines, een vraag die eigenlijk gesteld moet worden voor het onderzoek überhaupt aanvangt. Met andere woorden: zijn er geen andere (betere) technologieën die dezelfde functie uitoefenen als kleine windturbines, waar SNM op toegepast kan worden? Daarnaast wordt er ook geen kwalitatieve analyse gemaakt van de alternatieve technologieën binnen de niche van kleine windturbines, gericht op de gewenste functionaliteit van het product en technische eigenschappen van de verschillende producten. In het algemeen weet de SNM-theorie niet goed raad met kleine veranderingen op het microniveau van de techniek. Om invulling te geven aan deze analyses, is een theorie van dr. ing. Gijs Mom toegepast waarin het zogenaamde Pluto-effect geïntroduceerd wordt⁴⁵. In de volgende paragraaf zal hier verder op ingegaan worden.

2.4 Het Pluto-effect

Het Pluto-effect komt voort uit het onderzoeksveld van technische ontwikkeling en verandering. In dit onderzoeksveld wordt veel de nadruk gelegd op het gevecht dat een nieuwe technologie moet leveren tegen de bestaande technologie, waarbij op lange termijn de oude technologie het moet afleggen. Dit komt deels omdat het traject van deze nieuwe technologieën makkelijker te traceren is. Het beeld dat gegeven wordt zijn dus resultaten van de 'winnaars', nieuwe technologieën die de oude overwonnen hebben. Maar hoe zit het met de technologieën die het niet gehaald hebben? Hebben deze dan ook niet bijgedragen aan technische ontwikkeling? Dit zijn vragen waar het Pluto-effect onder andere een verklaring voor geeft.

⁴⁴ Raven, *Workshop Strategisch Niche Management*, 21-25.

⁴⁵ Gijs Mom, "Conceptualising technical change: alternative interaction in the evolution of the automobile," in: Helmuth Trischler and Stefan Zeilinger (eds.), *Tackling Transport* (London: Science Museum, 2003) (Artefact series: studies in the history of science and technology, eds.: Robert Bud, Bernard Finn and Helmuth Trischler, Vol. 3): 9-46.

Uit het onderzoek van dr. ing. Gijs Mom, dat zich richt op de interactie tussen verschillende technologieën (nieuwe met oude, maar ook concurrerende technologieën), is gebleken dat er meer speelt, waarmee ook niet-geslaagde technologieën uitgelegd kunnen worden. Zo vindt uitwisseling tussen de nieuwe en de oude technologie plaats. Niet alleen krijgt de nieuwe technologie dezelfde uiterlijke kenmerken van de oude technologie die ze eigenlijk niet nodig heeft (bijvoorbeeld een motorkap aan een elektrische auto), ook 'steelt' de oude technologie kenmerken van de nieuwe technologie. Hierbij moet vermeld worden dat deze uitwisseling niet persé een uitwisseling van fysieke onderdelen hoeft te zijn, maar vooral uitwisselingen van (technische) eigenschappen en (toepassings-)functies. Dit betekent dat de oude of dominante technologie mee ontwikkelt en profiteert van de nieuwe technologie, waardoor het voor de nieuwe technologie moeilijker wordt de oude technologie te verdringen.

Dr. ing. Gijs Mom heeft dit fenomeen benoemd als het Pluto-effect, waarbij de metafoor wordt toegepast van de hond Pluto van Walt Disney. Deze zit voor een kar gespannen en loopt achter een worst aan die hem voorgehouden wordt. Pluto is in dit geval de nieuwe alternatieve technologie, en de berijder van de kar met de worst is de oude, dominante technologie. Pluto volgt een bewegend doel, omdat de oude technologie ook ontwikkelt (mede dankzij de nieuwe technologie). In het ene geval zal Pluto zijn doel nooit bereiken, in een ander geval wel en eet Pluto de worst op: Pluto wordt dan de nieuwe, dominante technologie. Ook kan het doel voor de nieuwe technologie niet meer de moeite waard zijn. Het mechanisme stopt dan, waardoor de dominante technologie ook niet verder ontwikkelt⁴⁶.

Op welke manier is deze theorie van toepassing op dit onderzoek? Wanneer voorgaande ingepast wordt in de theorie van SNM kunnen verschillende vragen naar voren komen die de aanpak met SNM ter discussie stellen. Zo kan afgevraagd worden waarom SNM toegepast moet worden voor kleine windturbines, terwijl er misschien andere, betere technologieën zijn die dezelfde functies kunnen vervullen. Deze vraag is voor dit onderzoek minder van belang, omdat vooraf al gedefinieerd is dat het onderzoek over kleine windturbines in de gebouwde omgeving moest gaan, en niet over de beste technologie met een bepaalde functie of eigenschap.

Wat interessant is aan het Pluto-effect, en wat ook toegepast zal worden in dit onderzoek, is het benaderen van de technologieën aan de hand van de functies die het vervult (of zou moeten vervullen), in combinatie met de technische eigenschappen. Door deze (gewenste) functies in kaart te brengen en deze te koppelen aan de eigenschappen van de verschillende technologieën kan een kwalitatieve analyse van de verschillende technologieën uitgevoerd worden. Een dergelijke analyse zal aan het eind van hoofdstuk 4 gemaakt worden, waar de verschillende windturbines op deze manier beoordeeld zullen worden.

⁴⁶ Mom, *Conceptualising technical change*, 34-35.

3 Multilevel analyse kleine windturbines

3.1 Inleiding

Het multilevel model wordt zowel in de transitietheorie als in de theorie van SNM genoemd. De veranderingsprocessen die op de verschillende niveaus plaatsvinden karakteriseren telkens de fase waarin de transitie zich bevindt⁴⁷. In dit onderzoek is enkel de voorontwikkelingsfase uit de transitietheorie van belang. Dit is namelijk de fase waarop de theorie van SNM aangrijpt. In deze fase ontwikkelt een nieuwe technologie zich zonder dat de status-quo zichtbaar verandert⁴⁸. Kleine windturbines in de gebouwde omgeving bevinden zich in deze fase.

In dit hoofdstuk wordt de status-quo in kaart gebracht waarbinnen de niche van kleine windturbines zich ontwikkelt. Dit is het regime van energieopwekking en elektriciteitsproductie in het bijzonder, omdat kleine windturbines elektriciteit opwekken, echter op een andere manier dan we gewend zijn, namelijk kleinschalig en decentraal. Het mesoniveau van het energieregime wordt beïnvloed door zowel ontwikkelingen op het micro niveau (de niches) als op het macroniveau (het zogeheten sociotechnisch landschap). Ook deze niveaus worden in dit hoofdstuk in kaart gebracht teneinde een beeld te krijgen van de huidige stand van zaken omtrent kleine windturbines in de gebouwde omgeving.

3.2 Het energieregime

Een regime is een stelsel van wetenschappelijke kennis, resultaten van ontwikkelaars, productieprocessen, productkarakteristieken, vaardigheden, gebruikersbehoeften, regelgeving en infrastructuur⁴⁹. Met andere woorden: de status-quo van een bepaald (technologie)gebied. Wanneer over het energieregime gesproken wordt, gaat het over de opwekking van zowel elektriciteit als warmte. Deze opwekking kan op vele manieren gerealiseerd worden. Hierbij kan gedacht worden aan olie- en gasgestookte elektriciteitscentrale, windmolens, bio-energiecentrales, waterkrachtcentrales, warmtekrachtkoppelingen van de industrie naar een woonwijk, etc. Kleine windturbines leveren alleen elektriciteit en geen warmte. In de onderstaande analyse zullen daarom alleen de opties meegenomen worden waarbij elektriciteit opgewekt wordt. Hierbij moet vermeld worden dat in de tekst met energieregime en elektriciteitsregime hetzelfde bedoeld wordt.

Conventioneel versus duurzaam

De afgelopen jaren heeft er in de elektriciteitsproductie een verschuiving plaatsgevonden. Oorspronkelijk werd elektriciteit op de zogeheten conventionele manier opgewekt. Met conventioneel wordt bedoeld het verbruiken van fossiele brandstoffen als steenkool, bruinkool, olie en gas, later kwamen hier ook kerncentrales bij⁵⁰. De laatste jaren wordt echter steeds meer elektriciteit opgewekt uit hernieuwbare bronnen, zogenaamde duurzame energie. Er bestaan vele vormen van duurzame energieopwekkers, in allerlei soorten en maten. Duurzame elektriciteit kan worden opgewekt in waterkrachtcentrales die variëren tussen een turbine die gebruik maakt van het natuurlijk verval van een rivier, tot stuwdammen die elektriciteit kunnen opwekken equivalent aan achttien kerncentrales, zoals de Driekloovendam in China. Ook bio-energiecentrales leveren duurzame elektriciteit alsmede vaak ook duurzame warmte. Verder leveren windmolens duurzame elektriciteit, voornamelijk alleen door middel van grote windturbines alleenstaand of in windparken, maar in de toekomst misschien ook kleine windturbines. Een andere duurzame elektriciteitsopwekker is het PV-systeem, zo'n beetje de enige opwekker van duurzame elektriciteit die voor iedereen thuis toegankelijk is. Hier wordt expliciet thuis genoemd, om aan te geven dat er vrijwel geen methoden zijn voor de consument om thuis elektriciteit op te wekken. Wel kan iedereen gebruik maken van elders opgewekte duurzame elektriciteit, door het afsluiten van een zogeheten Groene Stroomcontract. Uit

⁴⁷ Matthias Weber et al., *Experimenting with Sustainable Transport Innovations. A Workbook for Strategic Niche Management* (Wierden: Promotioneel Drukwerk Services, 1999): 19-22.

⁴⁸ Rotmans et al., *Transities en transitie management*, 12.

⁴⁹ Hoogma et al., *Experimenting for sustainable Transport*, 19.

⁵⁰ Voor een breder historisch perspectief van het energieregime: Geert Verbong, *'De Nederlandse overheid en energietransities: een historisch perspectief.'* (Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 2000).

voorgaande blijkt dat er vele soorten van elektriciteitsopwekking zijn, die in twee categorieën ingedeeld kunnen worden kijkend naar de bronnen waaruit elektriciteit opgewekt wordt, te weten: conventionele of duurzame bronnen⁵¹.

Centraal, grootschalig versus decentraal, kleinschalig

Naast de indeling in conventionele of duurzame energiebronnen kan elektriciteitsopwekking nog op een andere manier ingedeeld worden⁵². Deze is gebaseerd op de locatie waar de elektriciteit opgewekt wordt en de hoeveelheid elektriciteit die opgewekt wordt. Conventionele energie wordt vaak centraal opgewekt in grote centrales zoals de Amercentrale te Geertruidenberg (1245 MW⁵³), de Clauscentrale te Maasbracht (1280 MW) en de Moerdijk (339 MW). In heel Nederland zijn er zo'n 25 grote centrales variërend van nog geen 100 MW (Den Haag) tot 2400 MW (Eemscentrale te Delfzijl)⁵⁴. Veel van deze centrales leveren naast elektriciteit ook warmte⁵⁵, om op deze manier zoveel mogelijk energie te benutten. Conventionele energie wordt ook wel decentraal opgewekt. Hierbij kan gedacht worden aan locaties op het platteland waar bijvoorbeeld boerderijen of glastuinderijen zelfvoorzienend moeten zijn omdat er geen elektriciteitsnet ligt. Hier wordt met grote aggregaten elektriciteit (en vaak ook warmte) opgewekt ten behoeve van het bedrijf. Ook noodsystemen die bij bedrijven en instellingen opgesteld staan zijn vaak diesel of gasgestookte aggregaten.

Uit voorgaande is af te leiden dat conventionele energie vooral centraal wordt opgewekt. Deze opwekking is grootschalig in de ordegrrootte van 100 MW tot 2400 MW, zoals hierboven genoemd. Voor duurzame energiebronnen is deze verdeling heel anders. Ook hier vindt opwekking grootschalig en kleinschalig plaats, echter deze is van een heel andere schaal en verhouding dan die van conventionele opwekking. Bij duurzame energiebronnen is een vorm van grootschalige opwekking bijvoorbeeld een windmolenpark, zoals het nog te realiseren windmolenpark te Moerdijk, dat een vermogen van 30 MW⁵⁶ heeft. In het kader van duurzame energieopwekking is dit een zeer grote hoeveelheid, terwijl het in vergelijking tot de conventionele energieopwekking drie keer kleiner is dan de kleinste conventionele centrale. Toch wordt dit grootschalige duurzame energieopwekking genoemd. Andere vormen van duurzame energieopwekking die op 'grote' schaal plaatsvinden zijn bio-energiecentrales en afvalverbrandingsinstallaties. De termen centrale en decentrale opwekking zijn dus voor duurzame energiebronnen anders gedefinieerd, maar toch is dezelfde tweedeling duidelijk zichtbaar. Windmolens, bio-energiecentrales, afvalverbrandingsinstallaties en WKK's zijn centrale vormen van duurzame energieopwekking, dit zijn echter veel meer locaties dan de centrale vormen van conventionele energiecentrales. Decentrale duurzame energiebronnen zijn in dit verhaal zeer kleinschalige elektriciteitsopwekkers in grote aantallen. Een drietal technieken komt hiervoor in aanmerking. Als eerste kunnen hier PV-systemen genoemd worden (met een vermogen van 100 W_{peak} per m²). De volgende is een vrij nieuwe techniek, namelijk microwarmtekrachtkoppelingen⁵⁷ (met een vermogen tot 5 kW_{elektrisch}⁵⁸). Als laatste kunnen kleine windturbines genoemd worden, deze hebben een vermogensrange die loopt van 500 W tot 4 kW⁵⁹, maar in de toekomst kunnen deze vermogens groter worden (door opschaling van de producten).

Uit bovenstaand stuk komt een tweede verdeling van elektriciteitsopwekkers naar voren, namelijk de verdeling in centraal, grootschalig en decentraal, kleinschalig. Hierbij moet vermeld worden dat de auteur zich ervan bewust is dat dit eigenlijk twee verdelingen zijn, maar omdat indeling in de categorieën centraal, grootschalig en decentraal, kleinschalig vrijwel altijd samen vallen, zijn deze ter vereenvoudiging samengevoegd. Anders zou een driedimensionale matrix zijn ontstaan die voor verwarring kan zorgen. In de volgende paragraaf zal een duidelijke tweedimensionale matrix gepresenteerd worden die het energieregime duidelijk indeelt.

⁵¹ Rotmans et al., *Transities en transitie management*, 31-32 onderschrijft deze verschuiving naar duurzame bronnen.

⁵² Deze scheiding wordt ook genoemd in: Rotmans et al., *Transities en transitie management*, 58.

⁵³ De vermogens die hier genoemd worden zijn nominale vermogens.

⁵⁴ Van de website: www.energie.nl/index2.html?stat/trends048.html, geraadpleegd op 9-9-2003.

⁵⁵ Dit zijn de zogeheten WarmteKrachtkoppelingen (WKK's).

⁵⁶ M. Harink, *Windenergie op industrieterrein Moerdijk. De plaatsingsmogelijkheden* (Nijmegen: Royal Haskoning, 2002): 68.

⁵⁷ Verder micro-WKK genoemd.

⁵⁸ Margot van Gastel, "(micro)-Warmte/kracht; veelbelovend voor de toekomst?!" *Sustain 2003 Seminar* (2003).

⁵⁹ Informatiefolders Turby, WindWall, Provane, Windside en Neoga.

Matrix energieregime

Met de hiervoor genoemde verdelingen in het energieregime (elektriciteitsregime) is het mogelijk verschillende vormen van elektriciteitsopwekking in te delen in verschillende categorieën. Door de verschillende opties uit te zetten in rijen en kolommen, ontstaat onderstaande 2x2-matrix, waarbij in de rijen de opties centraal, grootschalig en decentraal, kleinschalig weergegeven zijn. In de kolommen zijn de opties conventioneel en duurzaam weergegeven.

	Conventioneel	Duurzaam
Centraal, grootschalig	• Oliegestookte centrale • Gasgestookte centrale • Kolengestookte centrale • Kerncentrale	• Windmolen(park) • Bio-energiecentrale • Waterkrachtcentrale • Afvalverbrandingsinstallatie • WKK
Decentraal, kleinschalig	• Dieselaggregaat boerderij • Kleine gasturbine	• micro-WKK • PV-systeem • Kleine windturbine

Tabel 3.1: De matrix van verschillende vormen van elektriciteitsopwekking.

Deze matrix maakt duidelijk in welke categorie een bepaalde vorm van elektriciteitsopwekking ingedeeld kan worden. Dit is noodzakelijk om erachter te komen wat potentiële 'kapers op de kust' zijn binnen de markt van de technologie die onderzocht wordt, te weten kleine windturbines in de gebouwde omgeving. Uit de matrix blijkt dat een kleine windturbine een vorm van kleinschalige, decentrale elektriciteitsopwekking is uit duurzame energiebronnen (in dit geval de wind). Het potentieel van deze technologie moet bekeken worden in het perspectief van andere vormen van energieopwekking uit dezelfde categorie, in dit geval PV-systemen en micro-WKK's, oftewel zijn kleine windturbines concurrerend met PV-panelen en micro-WKK's (zie tabel 3.1)? De vraag die dus beantwoord moet worden is of kleine windturbines concurrerend zijn met andere niches binnen het energieregime met dezelfde functie. Dit komt boven op de vraag of kleine windturbines op zich een technologie met potentie is. De potenties van deze niches (PV-panelen en micro-WKK) zullen in paragraaf 3.4 en 3.5 verder besproken worden.

3.3 De invloeden van 'hogerhand'; het sociotechnisch landschap

Zoals al vermeld in paragraaf 3.2 is het energieregime een stelsel van wetenschappelijke kennis, resultaten van ontwikkelaars, productieprocessen, productkarakteristieken, vaardigheden, gebruikersbehoeften, regelgeving en infrastructuur⁶⁰. Dit energieregime verandert slechts langzaam, wat ook in de afgelopen jaren zichtbaar is geworden. Conventionele energieopwekking blijft de boventoon voeren, en de groei van het aandeel uit duurzame energiebronnen gaat maar langzaam. Invloeden van buitenaf kunnen de stabiliteit van dit regime versterken of verzwakken. Invloeden van 'hogerhand' worden in deze paragraaf besproken, dit is het zogeheten sociotechnisch landschap. Dit landschap wordt gevormd door politieke cultuur, maatschappelijke waarden, macro-economie, maar ook fysisch verschijnselen zoals (natuur)rampen. Uit deze invloeden zal moeten blijken of deze het energieregime versterken of verzwakken. In deze paragraaf worden een aantal van deze invloeden besproken, namelijk de invloeden van:

- de politiek;
- de liberalisering van de energiemarkt;
- het klimaat en de klimaatverandering.

Hier kunnen natuurlijk veel meer invloeden genoemd worden die in meer of mindere mate het energieregime beïnvloeden. Bovenstaande invloeden zijn beschreven omdat deze vrij direct aangrijpen op het energieregime (bijvoorbeeld wanneer de politiek besluit subsidies stop te zetten heeft dit directe gevolgen voor het energieregime, zoals het instorten van de markt van zonnecellen), en omdat de onderwerpen actueel zijn (we zitten midden in de liberalisering, en de afgelopen zomer heeft laten zien welke problemen in de toekomst verwacht kunnen worden).

⁶⁰ Hoogma et al., *Experimenting for sustainable Transport*, 19.

Kabinet Balkenende II werkt niet mee

Het politieke klimaat kan veel invloed hebben op de ontwikkeling van een technologie. Afhankelijk van de richting die door de politiek gekozen wordt kan dit voor een nieuwe technologie positief of negatief uitwerken. Dit geldt ook voor de dominante technologie (het heersende regime) en andere nieuwe technologieën. De energiesector ondervindt veel invloed vanuit de politiek. Regeerakkoorden zetten een lijn uit voor het milieu en de energiesector, waaraan in de daarop volgende jaren invulling gegeven wordt. Ontwikkelingen in de energiesector kosten tijd, vaak langer dan de kabinetsperiodes die voor vier jaar geformeerd worden. Hierdoor kunnen veranderende politieke opvattingen en doelen de ontwikkeling van de energiesector, of van specifieke ontwikkelingen binnen deze sector, sterk beïnvloeden.

Kabinet Balkenende I heeft in 2002 een 'strategisch akkoord'⁶¹ opgesteld waarin een aantal beleidswijzigingen zijn opgenomen voor het energie- en klimaatbeleid. Met betrekking tot duurzame energie en energiebesparing richt dit zich vooral op beperken en wijzigen van de subsidieregelingen. In een onderzoek van ECN en RIVM⁶² is dit nieuwe beleid vergeleken met het beleid van 'Paars II'. Hieruit is gebleken dat er voor duurzame energie een veel grotere onzekerheid is ontstaan met betrekking tot het behalen van CO₂-reducties in vergelijking tot het vorige beleid⁶³. Het politieke klimaat met betrekking tot duurzame energie is in de kabinetsperiode Balkenende I dus verslechterd.

Zoals bekend was de kabinetsperiode Balkenende I maar van korte duur. Van het nieuwe kabinet Balkenende II wordt wel gezegd dat het milieu beter tot zijn recht komt dan in kabinet Balkenende I⁶⁴. Op prinsjesdag heeft het kabinet zich duidelijk uitgesproken over het feit dat de Kyoto-doelstellingen moeten worden gehaald. Maar of deze uitspraak waargemaakt kan worden valt nog te betwijfelen. Kabinet Balkenende II bezuinigt nog eens 3,9 miljard euro bovenop de bezuinigingen van 13 miljard euro die in kabinet Balkenende I al aangekondigd werden. Daarnaast wordt in het nieuwe kabinet al concrete invulling gegeven aan het beperken van de verschillende subsidieregelingen zoals bijvoorbeeld de afschaffing van de EnergiePremieRegeling (EPR) en de korting voor afnemers van groene stroom.

Al met al kan gesteld worden dat het huidige politieke klimaat ervoor zorgt dat er minder kansen zijn voor duurzame energiebronnen en dat het huidige regime van energieopwekking versterkt wordt door het kabinet Balkenende II. Dat er minder kansen voor duurzame energiebronnen zijn komt vooral naar voren uit de steeds magerder wordende subsidies en andere maatregelen ten behoeve van het stimuleren van duurzame energie. Hiermee worden de marktpartijen voor energiebesparing en duurzame energie, die tenslotte de Kyoto-doelstellingen moeten waarmaken, in de steek gelaten door kabinet Balkenende II⁶⁵.

Liberalisering van de energiemarkt: goed of slecht?

De elektriciteitsmarkt maakt op dit moment een structurele verandering door. Een fase die een aantal jaren geleden gestart is, is de privatisering van de elektriciteitsbedrijven, die voorheen overheidsbedrijven waren. De volgende stap is de overgang van privatisering naar liberalisering van de energiemarkt. Deze stap wordt in verschillende fasen uitgevoerd, waarvan er al enkele hebben plaatsgevonden en anderen nog uitgevoerd moeten worden. Zo is de markt voor grijze⁶⁶ vermogens boven 2 MW en boven 51 kW per aansluiting al geliberaliseerd (op 1-1-1999 respectievelijk 1-1-2002), en ook de markt voor alle groene energie aansluitingen is geliberaliseerd (op 1-7-2001). Op dit moment rest alleen de liberalisering van de grijze consumentenmarkt nog.

⁶¹ Mr. J.P.H. Donner, *Werken aan vertrouwen, een kwestie van aanpakken. Strategisch akkoord voor kabinet CDA, LPF, VVD* (Den Haag: Sdu Uitgevers, 2002). (dit is het regeerakkoord voor 2002)

⁶² J.R. Ybema, et al., *Effecten van beleidswijzigingen Strategisch Akkoord op energiebesparing, duurzame energie en CO₂-emissies in 2010* (ECN, 2002).

⁶³ Ybema et al., *Effecten van beleidswijzigingen*, 6.

⁶⁴ Michel Jehae, "Meer geld, meer aandacht. Regeringspartijen: Balkenende II doet het beter," *Opinieblad Natuur en Milieu* 6 (2003).

⁶⁵ Econcern, *New Dutch government plans disaster for renewable energy market* (17 september 2003). Van de website: <http://www.greenprices.com/nl/newsitem.asp?nid=686> geraadpleegd op 23 oktober 2003.

⁶⁶ 'Grijze' stroom is stroom vanuit conventionele opwekking zoals we die van oudsher kennen en afnemen bij de lokale nutsbedrijven. Voor grijze stroom is de consument nog afhankelijk van deze lokale nutsbedrijven (grotere aansluitingen niet meer). Bij volledige liberalisering is dit niet meer het geval.

Maar wat houdt deze liberalisering precies in? Dit kan kort uitgelegd worden in een viertal punten:

- De elektriciteitsbedrijven zijn opgesplitst in twee delen, het leveranciersdeel en het netbeheerdersdeel. Hierdoor wordt ook de elektriciteitsrekening gedeeld. De vergoeding voor de netbeheerder wordt landelijk vastgesteld (dit is het gebruik van het netwerk), het leveranciersdeel (dit is de geleverde elektriciteit) kan per leverancier anders zijn (hier is het voordeel voor de consument te behalen). Hier komt nog een landelijk vastgestelde heffing bovenop als BTW en milieutoeslagen.
- De markt voor leveranciers zal groter worden. Er verschijnen nu al nieuwe leveranciers op de markt die via grote afnemers en groene stroom al een marktaandeel proberen te behalen. Dit zijn zowel producenten van als handelaars in elektriciteit.
- Er zullen bedrijven ontstaan die een nieuwe markt vormen, namelijk bedrijven die gebruikers gaan groeperen om daarmee kortingen bij de leveranciers te bedingen. Dit wordt dus een tussenmarkt tussen de gebruiker en de leverancier.
- Het laatste punt bouwt voort op het tweede punt, namelijk dat er ook buitenlandse leveranciers op de markt zullen verschijnen, die een veel lager prijspeil hebben dan Nederland heeft. Voor hen is Nederland dus een aantrekkelijke markt⁶⁷.

De liberalisering heeft zowel voordelen als nadelen voor de implementatie van kleine windturbines in de gebouwde omgeving, toch zijn er vooral nadelen te constateren. Doordat de energiemarkt vrijkomt, zal er een concurrentieslag ontstaan. Dit lijkt voordelig voor de consument, omdat de verwachting was dat prijzen dan zouden dalen. Vooralsnog zijn de prijzen echter alleen maar gestegen. Dit geldt niet alleen voor de gewone, grijze elektriciteit. Voor duurzame elektriciteit geldt dit ook, en zelfs sterker. Deze zal namelijk op dezelfde markt worden aangeboden samen met buitenlandse aanbieders van goedkopere grijze energie. Veel consumenten zullen dan eerder kiezen voor goedkoop dan duurzaam, dus voor de goedkopere, buitenlandse grijze stroom.

Een tweede nadeel van de liberalisering is dat de kans bestaat dat het elektriciteitsnet vaker storingen zal vertonen en dat dus de algehele beschikbaarheid van het elektriciteitsnet lager wordt. Dit komt voort uit het feit dat de netbeheerder een calamiteitenstrategie toepast, dus pas in actie komt bij storingen, in plaats van een preventieve onderhoudsstrategie. Als gevolg van de liberalisering moet ook met de netbeheerder een leveringsovereenkomst vastgelegd worden, waarin de minimale beschikbaarheid van het net vastgelegd moet worden. Dit is tegelijk een voordeel voor kleinschalige, decentrale opwekking van elektriciteit, omdat gebruikers wellicht gaan kiezen voor eigen opwekking om beschikbaarheid te garanderen. Hierbij kan bijvoorbeeld aan de functie van noodstroomaggregaten gedacht worden.

Een derde nadeel is de onbekendheid omtrent wet- en regelgeving ter bescherming van de consument. Als voorbeeld kan het faillissement van EnergyXS op 18 augustus 2003 genoemd worden. Deze leverancier is failliet gegaan, waardoor de klanten zonder leverancier kwamen te zitten. Er waren wel regels opgesteld waar deze consumenten naartoe gingen (naar de oorspronkelijke leverancier van het betreffende gebied), toch wist de consument zelf niet precies wat hij moest doen. Daar bovenop kregen de gebruikers een naheffing van het netwerkbedrijf, terwijl verondersteld werd dat dit deze inbegrepen was in de rekening van EnergyXS. Dit werd ook oorspronkelijk verrekend, echter na het faillissement klopte de netbeheerder aan bij de consumenten. Toch zijn er ook voordelen te vinden naar aanleiding van de liberalisering.

Één van de voordelen van de liberalisering is dat de leveranciers met elkaar gaan concurreren, waardoor ook op het gebied van het aanbieden van diensten en producten een concurrentiestrijd ontstaat. Milieubewuste gebruikers kunnen hierdoor kiezen voor die leverancier die voor hen het beste is. Het is mogelijk dat vooral leveranciers dan vooral duurzame energie gaan vermarkten. Dit kan in de vorm van groene stroom, maar ook eigen elektriciteitsopwekking. Op dit moment echter houden de huidige elektriciteitsproducenten zich vooral bezig met het verminderen van de kosten van energieopwekking, om zo goedkoop mogelijk elektriciteit aan te bieden. Aan aanvullende producten (zoals PV-systemen en kleine windturbines) begint men niet makkelijk⁶⁸. Daarnaast bestaan er wel aanbieders van groene

⁶⁷ Van de website: www.energysaver.nl/espaces/woningen/index/index.asp?qralglnkwn=ebesparing, geraadpleegd op 10-9-2003.

⁶⁸ Uit het interview met de heer Wultsch, productiemanager duurzame energie, Essent.

elektriciteit, deze leveren echter geen producten voor eigen opwekking, maar verhandelen groene elektriciteit die elders opgewekt wordt. Daardoor is de algemene conclusie dat de liberalisering van de energiemarkt ervoor zorgt dat de elektriciteitsproducenten en -leveranciers niet het traject van kleinschalige duurzame energie (zoals kleine windturbines) in stappen.

Gevolgen van de klimaatverandering?

In de zomer van 2003 heerste in Nederland een hittegolf. Het extreme weer zorgde ervoor dat er problemen ontstonden bij de energieproducenten. Deze konden namelijk haast niet meer voldoen aan de vraag naar elektriciteit. Toch is er ruim voldoende vermogen opgesteld om aan alle vraag te voldoen. Hier lag het probleem uiteindelijk ook niet. Het probleem lag bij het feit dat er niet genoeg koelwater beschikbaar was dat benodigd was bij de opwekking van energie. De temperatuur van het rivierwater, dat als koelwater gebruikt werd, had een te hoge temperatuur, waardoor de centrales niet meer op volle kracht konden draaien. Dergelijke extreme weersomstandigheden kunnen dus voor onvoorziene capaciteitsproblemen zorgen bij de opwekking van conventionele energie. Ook opwekking van windenergie lijdt hieronder, extreme hitte gaat vaak gepaard met weinig wind. Echter, andere vormen van duurzame energieopwekking, zoals PV-systemen brengen juist meer op bij extreme weersomstandigheden in de vorm van hittegolven (maar nog niet voldoende voor zelfvoorziening). Wanneer dergelijke extreme weersomstandigheden vaker voorkomen, kan het zijn dat de gebruiker zekerder van zijn of haar zaak wil zijn, door (een deel van) de gevraagde energie zelf op te wekken. Extreme weersomstandigheden kunnen dus het energieregime verzwakken en alternatieve, decentrale duurzame energieopwekking stimuleren.

3.4 De concurrerende niches van PV-systemen en micro-WKK

Zoals uit de matrix van het energieregime (tabel 3.1) naar voren is gekomen, bestaan er op de markt van kleinschalige, decentrale en duurzame elektriciteitsopwekking een aantal concurrerende niches, die mogelijk invloed uitoefenen op het potentieel van de niche van kleine windturbines in de gebouwde omgeving. Dit betreffen de niches van PV-systemen en micro-WKK's. In hoeverre deze niches bedreigend zijn voor kleine windturbines in de gebouwde omgeving zal in deze paragraaf beschreven worden.

Micro-WKK's

Micro-WKK, oftewel microwarmtekrachtkoppeling, is de gecombineerde opwekking van elektriciteit en warmte door middel van een lokaal opgesteld systeem. Dit systeem bestaat uit een motor, die verschillende variaties kent qua input zoals aardgas, LPG en diesel. De motor drijft een generator aan die elektriciteit opwekt. De warmte die vrijkomt uit de motor, generator en uitlaat wordt direct aan het bestaande verwarmingssysteem geleverd door middel van een geïntegreerde warmtewisselaar⁶⁹. WKK is niet een nieuwe technologie. Het wordt veelvuldig en grootschalig in de industrie toegepast, op dit moment vindt zelfs 35%⁷⁰ van de totale energieopwekking plaats met WKK's. Micro-WKK's (<5 kW_{elek}) zijn echter een nieuwe ontwikkeling op het gebied van WKK. Om deze reden zijn hier ook onderzoeken naar uitgevoerd teneinde te komen tot kansrijke opties voor micro-WKK's⁷¹.

Ook micro-WKK's hebben te maken met verschillende technologieën, wat dan vooral met het type motor te maken heeft; opties die hierbij mogelijk zijn, zijn de Stirlingmotor, gasmotor en de brandstofcel. Uit onderzoek van Cogen Projects is gebleken dat de aankomende jaren alleen de gas- en de Stirlingmotor verkleind kunnen worden voor gebruik van één huishouden. In de daarop volgende jaren zal de brandstofcel zich ontwikkelen voor de middelgrote schaal (wijkniveau), op kleine schaal zal dit pas mogelijk worden over tien jaar of later.⁷²

In tabel 3.1 is micro-WKK ingedeeld in de categorie duurzame elektriciteitsopwekker. Dit is eigenlijk onjuist, want de huidige WKK-units werken op een motor die fossiele brandstoffen verbruikt. Wat een WKK installatie wel doet is een grote reductie van het brandstofverbruik

⁶⁹ Uit de folder van Van der Beyl BV, *SenerTec mini, warmte/kracht unit*.

⁷⁰ Van Gastel, *Sustain 2003 Seminar*.

⁷¹ Onder andere de rapporten: P.C. van der Laag, Ruijg, G.J. *Micro-warmtekrachtsystemen voor de energievoorziening van Nederlandse huishoudens* (Petten: ECN Schoon Fossiel, 2002), en Arjaan Muntslag et al., *Micro W/K in huishoudens* (Amsterdam: Adviesgroep Vaillant, 2001).

⁷² Van Gastel, *Sustain 2003 Seminar*.

bewerkstelligen. Desondanks wordt WKK in dit onderzoek toch meegenomen als duurzaam, omdat de CO₂-emissiereductie die WKK bijdraagt aan de doelstelling van Kyoto zo aanzienlijk is, zodat WKK onder de noemer van duurzaam mag vallen. Dit wordt in de Trias Energetica ook zo benoemd, andere principes van een duurzame energievoorziening zijn namelijk ook besparing en efficiënte opwekking⁷³. Daar komt bij dat in de toekomst WKK's kunnen gaan draaien op brandstofcellen, waarmee de toekomstige WKK's nog meer het brandstofverbruik zullen reduceren. Ten opzichte van conventionele opwekking is WKK dus een stuk duurzamer. Micro-WKK heeft dus in de nabije toekomst zeker potentie een lokale elektriciteitsopwekker te worden, waarmee een deel van de elektriciteitsvraag zelf geproduceerd wordt.

PV-systemen

Bij fotovoltaiische zonne-energie (ook wel in de literatuur zon-PV, 'PhotoVoltaic' genoemd) wordt zonlicht opgevangen op zonnepanelen en direct omgezet in elektriciteit⁷⁴. Net als kleine windturbines is dit een echte vorm van duurzame energieopwekking, dit in tegenstelling tot de energiebesparende WKK zoals hiervoor besproken. De meest gebruikte zonnecel is gemaakt van silicium. Dit silicium bestaat uit twee lagen, de zogenaamde N-laag en de P-laag. Deze lagen ontstaan door chemische toevoegingen aan de lagen. Hierdoor ontstaat een spanningsverschil over het scheidingsvlak. Onder invloed van zonlicht komen er meer elektronen vrij. Door een verbinding tussen de lagen te maken, gaat er een stroom lopen⁷⁵. Er bestaan op dit moment een drietal productietechnieken voor zonnecellen, die elk voor- en nadelen hebben. De één is makkelijker (en dus goedkoper) te maken, maar heeft een lagere opbrengst, terwijl de duurdere, moeilijkere methode meer opbrengst genereert. Ondanks de vele ontwikkelingen op het gebied van PV-systemen blijven de systemen relatief duur. Uit de literatuur komen vele verschillende terugverdientijden naar voren, dit komt omdat er in verschillende jaren berekeningen zijn uitgevoerd. Ook zijn vaak andere uitgangspunten gebruikt (wel extra subsidie provincie, hogere of lagere energieprijzen in de berekening, etc.). Deze berekeningen zijn wel allen uitgevoerd met de stimuleringsmaatregelen (zoals de EnergiePremieRegeling) die op dat moment golden. Toch blijven de terugverdientijden liggen tussen de 10 en 17,5 jaar⁷⁶, wat vrij lang is. Met het wegvallen van de belangrijkste stimuleringsmaatregel voor PV-systemen, de EPR, worden de terugverdientijden nog veel groter, namelijk tussen de 32,5 en 42,5 jaar⁷⁶, waardoor de investering mogelijk niet binnen de levensduur van het PV-systeem terugverdiend wordt, deze is namelijk zo'n dertig jaar. Er zijn verwachtingen dat er voor PV een doorbraak op komst is, waardoor systemen stukken goedkoper worden en dus ook rendabeler, of deze doorbraak komt is nog maar de vraag, zeker door het wegvallen van de EPR (dit komt in hoofdstuk 5 aan de orde). Al met al is PV een vorm van lokale elektriciteitsopwekking, echter zijn de opbrengsten in verhouding met de kosten dermate laag dat de systemen zonder stimuleringsmaatregelen voorsnog niet rendabel te krijgen zijn.

Concurrentie voor kleine windturbines?

De drie niches die opereren op de markt van kleinschalige, decentrale en duurzame elektriciteitsopwekking hoeven geen echte bedreiging voor elkaar te zijn, ze kunnen zelfs juist aanvullend op elkaar zijn. Dit kan als volgt toegelicht worden. Overdag schijnt de zon, 's nachts niet. Maar uit onderzoek is gebleken dat het 's nachts harder waait dan overdag⁷⁷. Dit betekent dat op deze manier dag en nacht een continu aanbod is. Daarnaast heeft elektriciteit uit wind en voordeel boven elektriciteit uit zon, omdat vraag en aanbod beter op elkaar afgestemd zijn (bijvoorbeeld 's nachts schijnt er geen zon, maar is wel elektriciteit nodig, wind waait dan wel). De enige manier waarop PV in de weg kan staan voor kleine windturbines is op de letterlijke, fysieke manier; beide moeten namelijk op een dak geplaatst worden, waardoor het mogelijk is dat ze elkaars benodigde ruimte in beslag nemen. Wat opbrengsten betreft brengen kleine windturbines meer op dan PV-systemen. Echter de voorwaarden voor plaatsing van kleine

⁷³ *Technologie en duurzaamheid. (elektronisch dictaat)*, paragraaf 5.7.1.

⁷⁴ Van de website: www.pde.nl/de/photovoltze.php, geraadpleegd op 19-5-03.

⁷⁵ Van de website: www.pde.nl/downloads/factsheets/PV.pdf, geraadpleegd op 20-5-03.

⁷⁶ Van de website: www.beldezoon.nl, geraadpleegd op 05-11-03 en het informatienummer 0900-beldezoon.

⁷⁷ Frits van den Berg, Graaf, Richard de, *Hoge molens van veel wind II – geluidsbelasting door windturbines in de nacht* (Groningen: Natuurkundewinkel Rijksuniversiteit Groningen (RuG), 2002).

windturbines brengen veel meer problemen met zich mee, wat zal blijken uit de rest van dit rapport. Daarnaast bestaan er veel stimuleringsmaatregelen voor PV-systemen, waardoor investeringen lager zijn. Voor kleine windturbines is voor als nog onduidelijk of er financiële stimuleringsmaatregelen ingezet kunnen worden. Ook dit zal verder in dit rapport duidelijk worden.

Wat de concurrentiepositie ten opzichte van micro-WKK betreft: zoals al vermeld is micro-WKK een brandstofbespaarder, terwijl kleine windturbines geen brandstof verbruiken. Initieel kunnen beide opties naast elkaar werken teneinde het energieverbruik van een gebouw te verlagen. Dit kan omdat een WKK-installatie zijn productie aanpast op de warmtevraag, het kan zijn dat de elektriciteit die daarbij opgewekt wordt lager is dan de vraag naar elektriciteit. De elektriciteit die door de kleine windturbine opgewekt wordt vult dit tekort dan aan.

De niches van PV-systemen en WKK's concurreren dus niet met de niche van kleine windturbines, wat de niche van kleine windturbines een grotere kans geeft op de markt. Uit de rest van dit rapport moet blijken of de technologie van kleine windturbines potentieel heeft. In de volgende hoofdstukken wordt dit onderzocht.

3.5 De niche van kleine windturbines

De niche van kleine windturbines in de gebouwde omgeving heeft zich nog niet gevormd. Toch is het goed om te weten waar de potentie van kleine windturbines in de gebouwde omgeving ligt. In deze paragraaf zullen de betrokkenen en hun rollen in het netwerk van kleine windturbines in de gebouwde omgeving bepaald worden. Om dit juist te bepalen is beschreven wat onder de gebouwde omgeving verstaan wordt, en worden er parallellen getrokken met actorennetwerken van andere vormen van duurzame energie.

De provincie Noord-Brabant geografisch gezien

Provincie Noord-Brabant bestaat uit 69 gemeenten⁷⁸. Deze gemeenten moeten gezamenlijk met de provincie invulling gaan geven aan de doelstelling voor windenergie in Noord-Brabant, 115 MW in 2010, een doelstelling die uit BLOW voortkomt. Dit is alle elektriciteit die voortkomt uit wind, zowel van grote als kleine windturbines. Niet overal zijn grote windturbines mogelijk. Hiervoor is een kansenkaart gemaakt voor windenergie⁷⁹, hierin zijn de kansen voor wind in Noord-Brabant weergegeven met verschillende kleuren. Gebouwde gebieden zijn echter niet ingekleurd, maar worden wel door de provincie benoemd als 'te allen tijde kansrijk'⁸⁰. Uit gegevens van het CBS blijkt dat in 1996 55.000 hectare grond van het totale oppervlak van Noord-Brabant, 508.000 hectare, bebouwde grond is. Dit betekent dat zo'n 10,8% van Noord-Brabant bebouwd is, waar dus een hoop potentieel ligt voor kleine windturbines. Grond voor delfstoffenwinning moet hier echter niet meegenomen worden. Dit bedraagt slechts 500 ha, waardoor het percentage bebouwde grond in Noord-Brabant op 10,7% van de totale oppervlakte komt. Deze berekening is gebaseerd op de definities van bebouwde grond van het CBS. Naast bebouwde grond bestaan er nog andere vormen van grondgebruik met een specifieke bestemming, zoals verkeer, recreatie en overige gronden. Wanneer hier de bestemmingen geselecteerd worden die ook bij de gebouwde omgeving horen die buiten de eerdere definitie van het CBS vallen, zoals sportterreinen, dagrecreatie, begraafplaatsen, en bouwterreinen, komt het totale percentage bebouwde grond in Noord-Brabant op zo'n 11,5%⁸¹. Dit is een vrij groot deel wat niet ingevuld wordt door het provinciale windbeleid.

Definiëring van de doelgroepen

Om te komen tot de juiste doelgroepen die betrokken zijn bij kleine windturbines in de gebouwde omgeving is een studie gedaan vanuit verschillende invalshoeken teneinde te komen tot de doelgroepen zoals die aan het eind van deze paragraaf gedefinieerd zijn. Om deze doelgroepen vast te stellen is gekeken welke doelgroepen er bestaan bij duurzame energie in het algemeen, wat verstaan wordt onder gebouwde omgeving, en welke doelgroepen er

⁷⁸ Van de website: statline.cbs.nl, geraadpleegd op 12-5-03.

⁷⁹ Farla, *Brabant voor de wind*. (ontwerp): 63.

⁸⁰ Farla, *Brabant voor de wind*. (ontwerp): 28.

⁸¹ De definities zoals die door het CBS beschreven zijn, zijn weergegeven in bijlage 1.

bestaan bij bestaande duurzame technologieën zoals wind en duurzame energie in de gebouwde omgeving.

Informatiecentrum Duurzame Energie⁸² heeft haar informatie over duurzame energie ingedeeld in de volgende doelgroepen:

- Consumenten (als gebruikers van warmtepompen, zonneboilers, PV-systemen);
- Gemeenten (voor het geven van milieuvergunningen, het beheer van bestemmingsplannen, communicatie met projectontwikkelaars, het vormen van beleid);
- Provincies (voor het vormen van beleid, marktpartijen bij elkaar brengen);
- Onderwijs (voor lesmateriaal);
- Agrariërs (voor wind-, bio- en zonne-energie);
- Architecten (meenemen van duurzame energie in ontwerpen);
- Projectontwikkelaars (het uitvoeren van duurzame energieprojecten);
- Zorginstellingen (dit is een aparte tak: warmtevraag).

Uit voorgaande opsomming kunnen meteen een aantal opties geschrapt worden als doelgroep voor kleine windturbines in de gebouwde omgeving, namelijk agrariërs omdat deze niet in de gebouwde omgeving zitten en zorginstellingen omdat de turbines geen warmte leveren (de gebouwen kunnen wel meegenomen worden bij de gebouweigenaren). Hierbij moet vermeld worden dat agrariërs niet afvallen als potentiële doelgroep voor kleine windturbines, maar dat ze binnen dit onderzoek naar kleine windturbines in de gebouwde omgeving niet als doelgroep aangemerkt worden. Ook onderwijs valt af, omdat deze doelgroep voor het Informatiecentrum apart is genoemd t.b.v. het aanleveren van lesmateriaal.

Naast de doelgroepen die aangewezen kunnen worden via actoren bij duurzame energie, kan ook van de andere kant bekeken worden wat er onder de gebouwde omgeving wordt verstaan, zodat de betrokkenen ingedeeld kunnen worden in doelgroepen. Het CBS verdeelt de gebouwde grond in woongebied, delfstoffen, bedrijfsterreinen, dienstverlenende sector, openbare voorzieningen en sociaal-culturele voorzieningen⁸³. Als aanvulling op deze definitie noemt het CBS nog de sportterreinen, dagrecreatie, begraafplaatsen, en bouwterreinen. De definities van deze termen zijn opgenomen in bijlage 1. Deze definities zijn breed en noemen alle mogelijk vormen van bebouwing en de bijbehorende functies van deze bebouwing.

In de marktverkenning duurzame energie⁸⁴ wordt een werkwijze beschreven voor een verkenning van de markt en het speelveld van duurzame energie. In het rapport zijn een drietal formats uitgewerkt, namelijk windenergie, bio-energie en de gebouwde omgeving. Hierin zijn de actoren weergegeven binnen de verschillende speelvelden, dit zijn de leveranciers, adviesorganen, doelgroepen, etc. Uit de formats windenergie en gebouwde omgeving kunnen de volgende doelgroepen gedestilleerd worden die van toepassing zijn op windturbines gecombineerd met de gebouwde omgeving:

- Initiatiefnemers/gebruikers;
- Provincie;
- Gemeenten;
- Bedrijven;
- Woningcorporaties;
- Projectontwikkelaars;
- (provinciale) Energiebureaus⁸⁵.

Vanuit de besproken invalshoeken (doelgroepen duurzame energie algemeen, definities gebouwde omgeving en actoren in het speelveld van windenergie en gebouwde omgeving) kunnen de verschillende doelgroepen en actoren op het gebied van windturbines in de gebouwde omgeving bepaald worden. Wanneer alle doelgroepen op een rijtje gezet worden blijven de volgende doelgroepen over die van toepassing zijn op kleine windturbines in de gebouwde omgeving:

- Gebouweigenaren (woningcorporaties, verenigingen van eigenaren, bedrijvenparken);
- Bedrijven en instellingen (bedrijfspannen, fabrieksterreinen, overheidsinstellingen);
- Gemeenten;
- Provincie;

⁸² Van de website: www.duurzame-energie.nl/zelf/zelf.php, geraadpleegd op 12-5-03.

⁸³ Van de website: statline.cbs.nl

⁸⁴ *Marktverkenning Duurzame Energie. Uitvoeringsformat* (Arnhem: Projectbureau Duurzame Energie, 2002).

⁸⁵ *Marktverkenning Duurzame Energie*, 14-16 en 37-40.

- Projectontwikkelaars;
- (provinciale) Energiebureaus.

In deze doelgroepen zijn een aantal eerder genoemde groepen niet meegenomen. Architecten zijn niet meegenomen omdat deze vaak in opdracht werken van projectontwikkelaars (die al een doelgroep vormen). Daarnaast zijn de particulieren niet meegenomen. Dit is omdat de kleine windturbines niet op daken van normale woningen staan, maar op gebouwen met redelijke hoogte (minimaal vier woonlagen). De zeggenschap over deze gebouwen ligt nooit bij één persoon, dit is meestal verenigd in een vereniging van eigenaren. Hierdoor vallen de particulieren als doelgroep weg, maar zijn zij wel vertegenwoordigd in de doelgroep gebouweigenaren.

De rollen die de doelgroepen vervullen; de sociale kaart

In de voorgaande tekst is voornamelijk gesproken over doelgroepen, waarin het idee gewekt wordt dat elk van deze doelgroepen zelf kleine windturbines in de gebouwde omgeving zullen gaan plaatsen. Uit deze paragraaf zal duidelijk worden dat met doelgroepen in de context van dit onderzoek de actoren in het netwerk van kleine windturbines in de gebouwde omgeving bedoeld worden. Zij worden doelgroepen genoemd, omdat het potentiële doelgroepen zijn voor Energie 2050, die mogelijk met deze doelgroepen aan de slag gaat. Deze subparagraaf zal ook aangeven wat de rollen van de doelgroepen zijn.

Een overzichtelijke manier om het actorennetwerk van kleine windturbines weer te geven is het toepassen van een sociale kaart, zoals deze toegepast wordt in de methode van Technology Assessment. Technology Assessment omvat twee hoofdactiviteiten, namelijk het verkennen van nieuwe technologieontwikkelingen en het inschatten van de effecten van deze technologieontwikkelingen op maatschappij en milieu. Dit heeft tot doel terugkoppeling naar en beïnvloeding van technologieontwikkelingen in een gewenste richting met een eventuele maatschappelijke anticipatie op de nadelige effecten en het treffen van voorzieningen om deze effecten goed op te vangen⁸⁶. Hier wordt een vier stappenmodel voor toegepast:

1. Verkennen van technologieontwikkelingen
2. Inschatten van (maatschappelijke/sociale/milieu-) effecten
3. Normatieve beoordeling vanuit verschillende (groepsafhankelijke) perspectieven
4. Terugkoppeling naar technologieontwikkeling en/of naar maatschappelijke voorzieningen om ongewenste gevolgen te vermijden, te verminderen of op te vangen⁸⁷.

Dit model vertoont overeenkomsten met zowel het onderzoekstype (planevaluatie) als de toegepaste theorie (Strategisch Niche Management) van dit onderzoek, echter Technology Assessment is een wat globalere methode om een technologie in kaart te brengen, daarnaast is het ook meer technologieontwikkend gericht. Er wordt bijvoorbeeld gekeken naar een mogelijke nieuwe technologie of behoefte, die dan uitgewerkt wordt. Wel bevat de methode een aantal goede tools om gegevens in kaart te brengen. Één ervan is de sociale kaart uit de tweede stap van het bovenstaande stappenmodel, die in dit onderzoek toegepast wordt om de actorennetwerk van kleine windturbines in de gebouwde omgeving in kaart te brengen.

Om een goede sociale kaart te maken moeten eerst de verschillende actoren benoemd worden. Deze kunnen ingedeeld worden in vier groepen, te weten technologiegebruikers, technologieregulators, technologieontwikkelaars en overige groepen. Alle actoren moeten dan in een schema weergegeven worden, waarop duidelijk is welke koppelingen de actoren met elkaar hebben en tot welke van de vier genoemde groepen de actoren behoren; de sociale kaart⁸⁸. Deze zal hieronder geconstrueerd worden.

Technologiegebruikers

De technologiegebruikers van kleine windturbines in de gebouwde omgeving kunnen verdeeld worden in een viertal groepen. Als eerste kunnen de woningcorporaties genoemd worden. Deze willen kleine windturbines toepassen op de gebouwen die ze beheren. Zij zijn een belangrijke doelgroep, omdat corporaties vaak veel gebouwen bezitten die potentie hebben voor het plaatsen van kleine windturbines (zoals flats). De corporaties voeren een eigen beleid, waarbij

⁸⁶ Wim A. Smit et al., *De wederzijdse beïnvloeding van technologie en maatschappij* (Bussum: Uitgeverij Coutinho, 1999): 197.

⁸⁷ Smit et al., *De wederzijdse beïnvloeding*, 198.

⁸⁸ Smit et al., *De wederzijdse beïnvloeding*, 238-243.

duurzaamheid voor vooruitstrevende corporaties een belangrijke doelstelling kan zijn. Kleine windturbines zijn voor hen een mogelijke vorm van duurzame elektriciteitsopwekking. De corporaties kunnen het beleid, en dus het plaatsen van kleine windturbines, tot uitvoer brengen op de gebouwen die ze bezitten, waarbij er wel inspraak bestaat voor de bewoners, maar de corporatie dergelijke besluiten doorvoert. De corporaties zijn bij dergelijke projecten dus het aanspreekpunt.

Naast corporaties zijn er ook gebouwen met potentie in eigendom van particulieren, die vaak verenigd zijn in een vereniging van eigenaren. Hier beslist een groep mensen over het al dan niet doorvoeren van duurzame toepassingen. Hier is natuurlijk geen beleid voor geformuleerd, het is een filosofie die de verschillende bewoners moeten delen. Omdat het vaak moeilijk is alle neuzen dezelfde kant op te laten wijzen is dit een lastige doelgroep.

Naast woningen zijn er ook veel bedrijfsgebouwen en instellingen in de gebouwde omgeving. Ook bedrijven en instellingen voeren net als corporaties beleid, waarin ook invulling wordt gegeven aan de duurzame doelstelling. Bedrijven en instellingen die duurzaamheid hoog in het vaandel hebben staan, kunnen mogelijk kleine windturbines toepassen op hun bedrijfsgebouwen.

De vierde en laatste groep technologiegebruikers zijn de bedrijven die zich bezighouden met gebouwen die nog niet bestaan, de projectontwikkelaars. Het is mogelijk dat zij kleine windturbines willen toepassen om hun eigen duurzame doelstelling te verwezenlijken of uit te dragen, maar ook is het mogelijk dat zij de opdracht krijgen kleine windturbines toe te passen in een ontwerp.

Technologieregulators

Ook op het gebied van technologieregulators kunnen op het gebied van kleine windturbines in de gebouwde omgeving een aantal partijen genoemd worden. De belangrijkste technologieregulator is natuurlijk de overheid. Deze moeten echter wel onderverdeeld worden, omdat de verschillende overheden (landelijke overheid, provincies en gemeenten) andere rollen hebben in het netwerk van kleine windturbines in de gebouwde omgeving.

De landelijke overheid is vooral voorwaardenscheppend voor de provincies, gemeenten en fabrikanten in de vorm van wetgeving. Hierbij kan gedacht worden aan de Woningwet en het Bouwbesluit, dat door de landelijke overheid uitgedragen wordt naar de provincies en gemeenten, en als kader kan dienen voor de technologieontwikkelaars. De landelijke overheid regelt ook stimuleringsmaatregelen voor de technologieontwikkelaars en technologiegebruikers in de vorm van subsidies (bijvoorbeeld de EET en BSE/DEN⁸⁹, hierbij moet wel vermeld worden dat dit voornamelijk stimuleringsmaatregelen zijn voor pre-ontwikkelingstrajecten) of fiscale maatregelen (bijvoorbeeld de EIA⁹⁰).

De provincies geven invulling aan het landelijk beleid op provinciaal niveau, waardoor zij voorwaarden schept voor de gemeenten. Daarnaast regelt de provincie Noord-Brabant ook een stimuleringsmaatregel voor duurzame energie, het Duurzame Energie Fonds, een subsidieregeling die voor technologiegebruikers geldt.

Ook de gemeenten geven eigen invulling aan het landelijk beleid dat hen via de provincie bereikt. Dit betekent dat initiatieven en projecten altijd ingepast moeten worden in het gemeentelijk beleid. Praktisch betekent dit dat de technologiegebruiker altijd een vergunning moet aanvragen bij de gemeente. Realisatie van kleine windturbines gebeurt dus in samenwerking met de gemeenten.

Een wat minder voor de hand liggende rol is die van de standaardisatieorganisaties. Zij geven kaders en richtlijnen aan de technologieontwikkelaars. Hierbij kan gedacht worden aan standaard componenten die toegepast worden in kleine windturbines, maar ook kan het zijn dat standaardisatieorganisaties in de toekomst aan de windturbines zelf eisen, richtlijnen en certificering gaan verbinden.

⁸⁹ Besluit Subsidies Economie, Ecologie en Technologie respectievelijk Besluit Subsidies Energieprogramma's / Duurzame Energie Nederland 2003.

⁹⁰ Energie Investerings Aftrek.

Technologieontwikkelaars

Onderzoeksinstituten spelen vaak een belangrijke rol in de ontwikkeling van een nieuwe technologie. Zo ook bij de ontwikkeling van kleine windturbines. Hierbij moet vermeld worden dat de fabrikanten zelf het grootste deel van de productontwikkeling hebben uitgevoerd. De fabrikanten hebben dus een dubbelrol; zowel ontwikkelaar als fabrikant. Toch zijn er verschillende deelonderzoeken uitbesteed aan onderzoeksinstituten om onderzoek uit te voeren op bijvoorbeeld het gebied van wind in de gebouwde omgeving, gebouwvereisten, materialen, etc. Zij werken nauw samen met verschillende fabrikanten.

De hoofdontwikkelaars in het actorennetwerk van kleine windturbines zijn de fabrikanten. Zoals al vermeld zijn de verschillende fabrikanten elk met een eigen productfilosofie een ontwikkelingstraject ingestapt. Dit is ook een van de redenen waarom de turbines zo verschillend van elkaar zijn. De fabrikanten leveren hun producten aan de technologiegebruikers.

Overige betrokken groepen

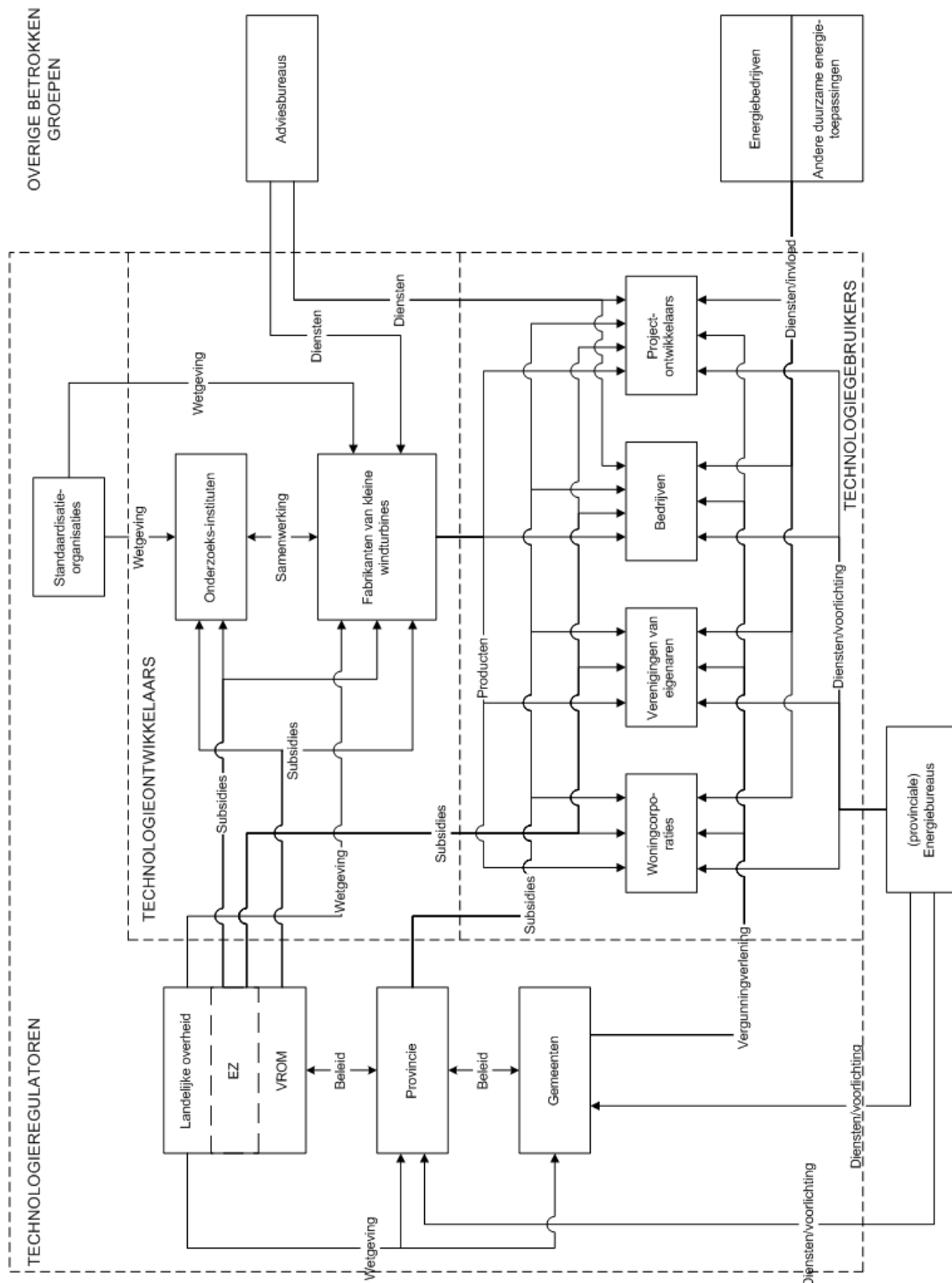
Naast de technologiegebruikers, -regulatoren en -ontwikkelaars bestaat er nog een restgroep, waarin verschillende organisaties zitten die invloed uitoefenen op andere groepen, of die een andere functies vervullen, zoals het leveren van diensten of het geven van voorlichting.

Zo is er een rol weggelegd voor adviesbureaus, die samen met de fabrikanten een compleet product op de markt zetten. Deze adviesbureaus zorgen voor de constructie en montage, en de fabrikanten leveren de turbine. Daarnaast kunnen deze adviesbureaus bedrijven en projectontwikkelaars ondersteunen in de toepassing van kleine windturbines. De woningbouwcorporaties en verenigingen van eigenaren verlangen een compleet product van de fabrikanten, waarbij de samenwerking met adviesbureaus en constructiebureaus vanuit de fabrikant geïnitieerd wordt.

Naast de adviesbureaus die (technische)ondersteuning bieden bij de toepassing van kleine windturbines is er ook een rol weggelegd voor (provinciale) energiebureaus. Deze bureaus kunnen als facilitator fungeren bij de uitvoering van projecten met kleine windturbines. Zij kunnen partijen bij elkaar brengen (regulatoren, gebruikers en ontwikkelaars) en kunnen de verschillende partijen ondersteunen en informeren.

Andere groepen die een rol spelen in het actorennetwerk van kleine windturbines zijn energiebedrijven en fabrikanten van andere duurzame energietoepassingen. Deze leveren soortgelijke producten aan de technologiegebruikers. Energiebedrijven bijvoorbeeld leveren duurzame energie in de vorm van Groene Stroom, en PV-systemen wekken ook lokaal elektriciteit op. Kortom, deze groepen hebben invloed op de markt van kleine windturbines.

Alle actoren die in voorgaande stuk beschreven zijn, zijn weergegeven in het schema op de volgende pagina.



Figuur 3.1: Sociale kaart van de technologie van kleine windturbines in de gebouwde omgeving.

4 Het aanbod van kleine windturbines

4.1 Inleiding

Welke kleine turbines zijn er allemaal beschikbaar? Hoe zien deze turbines eruit? Wat zijn de eigenschappen van deze turbines? Zijn er al projecten met de verschillende turbines gerealiseerd? Dit zijn enkele vragen die gesteld kunnen worden wanneer gekeken wordt naar de technologie van kleine windturbines. In dit hoofdstuk zal de stand van zaken beschreven worden van de verschillende producten in de niche van kleine windturbines in de gebouwde omgeving. Het betreft de stand van zaken tot 1 oktober 2003, dit omdat er zeer veel ontwikkelingen plaatsvinden bij de verschillende producenten van kleine windturbines, waardoor het noodzakelijk was een informatiestop toe te passen.

In het vorige hoofdstuk is vooral de structuur van de niche van kleine windturbines beschreven in termen van betrokkenen en relaties hiertussen. Ook is gekeken naar de structuur van de hogere niveaus in het multilevel model (het energieregime en het sociotechnisch landschap dat invloed uitoefent). Dit hoofdstuk is meer op de technologie van kleine windturbines zelf gericht. Zo worden de verschillende turbines beschreven. Enkele onderwerpen die aan bod komen zijn de technische gegevens, kosten en opbrengsten. Daarnaast worden de projecten en experimenten geïnterviewd die gedurende dit afstudeeronderzoek plaatsvinden of plaatsgevonden hebben. Resultaten die hieruit voortkomen worden in het volgende hoofdstuk gebruikt bij het in kaart brengen van de knelpunten bij implementatie van kleine windturbines.

Het in kaart brengen van de stand van zaken omtrent de nieuwe technologie, in de vorm van een technologiebeschrijving en een inventarisatie van uitgevoerde experimenten, is één van de fasen die doorlopen moeten worden bij SNM, zoals beschreven in paragraaf 2.3⁹¹. De fase heeft als doel de niche van een bepaalde technologie (in dit geval kleine windturbines) in kaart te brengen. Door de ontwikkelingen binnen de niche en de experimenten/projecten die hierbinnen uitgevoerd worden in kaart te brengen, kunnen problemen maar ook oplossingen voor de problemen aan het licht komen. Het is daarom van belang niet alleen de ontwikkelingen van succesvolle technologieën binnen de niche in kaart te brengen, maar ook voortijdig gestopte en mislukte ontwikkelingen; hieruit valt vaak het meest te leren. Resultaten en bevindingen uit deze analyse geven de sterktes en de zwaktes van de niche weer, waar oplossingen voor gezocht kunnen worden. Het formuleren van de knelpunten vindt plaats in het vijfde hoofdstuk, en de oplossingen zullen in het zesde hoofdstuk beschreven worden.

Er zijn al verschillende rapporten geschreven over windturbines in de gebouwde omgeving, waarin verschillende kleine windturbines genoemd worden. Zo beschrijft Lakeman (2002)⁹² de Neoga, de Turby, de Tulipo, de WindWall, de Globuan en de Virya 5 (deze heet nu Provane 5). Van Groningen en Tarrahi (2002)⁹³ voegen hier de WindRose nog aan toe. Ouwehand (2003)⁹⁴ neemt de Tulipo, de Globuan en de Windrose niet meer mee in zijn analyse. Dit komt omdat de ontwikkelingen van de turbines gestopt zijn. Wel voegt hij de windturbines van Fortis toe. Deze veranderingen geven al een beeld van de sterke dynamiek van de niche van kleine windturbines. Dit onderzoek beperkt zich tot nog minder turbines, namelijk de Turby, de WindWall, de Provane 5 en de Windside. Waarom de Neoga en de turbines van Fortis niet meer meegenomen zijn wordt beschreven in paragraaf 4.6.

⁹¹ Hoogma et al., *Experimenting for sustainable Transport*, Hoofdstuk 4 en 5.

⁹² L.G.J. Lakeman et al., *Opwekking van windenergie in de gebouwde omgeving* (Nijmegen: Royal Haskoning, 2002): 20-22.

⁹³ L.J. van Groningen en M. Tarrahi, *Stedelijke windturbines Den Haag. Case studie: Haagse Hogeschool* (Den Haag: Haagse Hogeschool, 2002): 39-49.

⁹⁴ Bas Ouwehand, *Windenergie. Kleine windturbines* (Arnhem: Informatiecentrum Duurzame Energie, 2003): 4-7.

4.2 Turby⁹⁵

Achtergrond

Ir. Dick Sidler heeft jaren geleden het bedrijf C.O.R.E. International opgericht. De doelstelling van het bedrijf was het realiseren van autonome woningen en clusters van woningen. Met autonoom wordt bedoeld woningen die compleet zelfvoorzienend zijn. Dit geldt voor de warmtevoorziening, elektriciteitsvoorziening, afvalverwerking, waterverwerking, etc. Een belangrijk deel van deze zelfvoorziening is de elektriciteitsvoorziening. Zoals al eerder in dit onderzoek naar voren is gekomen zijn er maar een beperkt aantal methoden om decentraal duurzame elektriciteit op te wekken (windturbine, PV-panelen, micro-WKK, op grotere schaal eventueel biomassa). C.O.R.E. International heeft geprobeerd invulling te geven aan elektriciteitsopwekking via een kleine windturbine die in Canada ontwikkeld werd. Nadat bleek dat deze technologie verre van optimaal was besloot ir. Dick Sidler zelf een kleine windturbine te gaan ontwikkelen: de Turby. Ondertussen is het bedrijf Turby bv opgericht, waar alle activiteiten met betrekking tot de Turby in ondergebracht zijn.

De ontwikkeling van de Turby loopt al een aantal jaren, en van begin af aan heeft Turby bv verschillende partijen betrokken bij de ontwikkeling van de turbine. Zo is de TU Delft al vanaf het begin betrokken bij de ontwikkeling van de Turby. Zij hebben meegewerkt (en doen dat nog steeds) aan de eerste modellen van de Turby. Hiervoor hebben zij de technologie ontwikkeld, prototypes gemaakt en getest, zowel in een windtunnel als op een proefveld⁹⁶. Daarnaast voert een promovendus aan de TU Delft⁹⁷ een onafhankelijk onderzoek uit naar het gedrag van wind in en boven de gebouwde omgeving. Ook TNO heeft in het verleden meegewerkt aan de ontwikkeling van de Turby. Zij hebben onder andere gekeken naar de mogelijkheden hoe kleine windturbines in en op gebouwen geïntegreerd kunnen worden alsmede de bouwkundige aspecten die hierbij komen kijken zoals trillingen en constructiesterkte. Arcadis zit ook in het plaatsingsproces van de Turby, omdat zij de gebouweigenschappen analyseren en de bouwkundige voorzieningen ontwerpen wanneer een Turby geplaatst wordt.

De ontwikkeling van de turbines kan in een bepaald perspectief geplaatst worden aan de hand van de innovatiecyclus van Rogers, die gekarakteriseerd wordt door een aantal fasen: behoeften, onderzoek, ontwikkeling, commercialisatie, diffusie en gevolgen⁹⁸. Voor de ontwikkeling van het product gebruiken we alleen de fasen onderzoek, ontwikkeling en commercialisatie, die in dit onderzoek verdeeld zijn in een aantal fasen: concept, ontwerp, prototype, veld test en commercialisatie. Van elke turbine zal aangegeven worden in welk stadium van ontwikkeling de turbine zich bevindt. De Turby zit nog in de prototypefase (er wordt op dit moment alleen getest op het proefveld bij de TU Delft), de eerste veldtesten bij klanten zullen naar alle waarschijnlijkheid in 2004 plaatsvinden.

Technische gegevens

De Turby ziet eruit als een grote, omgekeerde slagroomklopper. Het is een verticale asturbine, die nog het meest lijkt op de zogeheten H-rotor⁹⁹. Het is in werkelijkheid een verdere doorontwikkeling van de verticale asturbine. Het voordeel van een verticale asturbine is dat wind uit alle richtingen gevangen kan worden, zonder dat de turbine zich daar voor moet positioneren. De turbine is gebaseerd op het liftprincipe¹⁰⁰, wat erop neerkomt dat de turbine sneller draait dan de windsnelheid. Hierdoor is de turbine haast niet te zien wanneer hij draait (enkel de mast is zichtbaar).

De turbine heeft een rotordiameter van 1,99 meter en een hoogte van 3 meter. Dit zijn de afmetingen van de huidige Turby's, er zijn plannen voor de toekomst om een productfamilie voor de Turby te ontwikkelen waarbij de Turby opgeschaald wordt. De hierboven genoemde Turby weegt 90 kilogram en levert een nominaal vermogen van 2,5 kilowatt bij een windsnelheid

⁹⁵ Alle informatie over de Turby is verkregen uit verschillende gesprekken met de heer ir. Dick Sidler (directeur Turby bv), de heer ir. Sander Mertens, informatiebladen die genoemden verstrekt hebben, de rapporten Lakeman et al., *Opwekking van windenergie* en Van Groningen en M. Tarrahi, *Stedelijke windturbines* en de website www.turby.nl.

⁹⁶ Op het proefveld bij de TU Delft wordt ondertussen al ruim een jaar getest met een Turby (sinds maart 2002).

⁹⁷ Dit is de heer ir. Sander Mertens.

⁹⁸ Everett M. Rogers, *Diffusion of innovations* (New York: Free Press, 1995), 133.

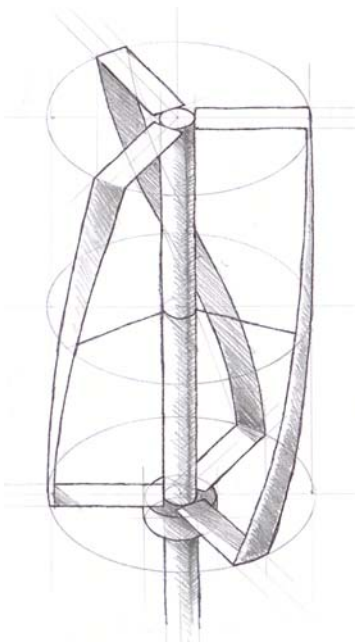
⁹⁹ Voor uitleg over de H-rotor: zie bijlage 2.

¹⁰⁰ Voor een toelichting over het liftprincipe: zie bijlage 2.

van 13 meter per seconde¹⁰¹. In figuur 4.1 is de Turby in een schets weergegeven. Deze schets, en de schetsen van de andere kleine windturbines op de volgende pagina's, zijn allen op dezelfde schaal weergegeven. Dit is gedaan om een beeld te geven van de verschillende turbineformaten.

De Turby wordt op een mast geplaatst. Deze getuide mast kan 5 of 7,5 meter hoog zijn (met een gewicht van ca. 100 respectievelijk 150 kilogram), afhankelijk van het gebouw waar de turbine op geplaatst wordt. Een hogere mast is vereist als het gebouw breder is, dit om uit meerdere richtingen wind op te kunnen vangen. Hierbij moet vermeld worden dat windstroming laag boven een gebouw turbulent is, en daardoor onbruikbaar is om energie uit te halen. Daarom moet een turbine op een gebouw op een zekere hoogte geplaatst moeten worden¹⁰². Voor een breder gebouw is dus een hogere mast nodig. De plaatsing en bevestiging van de turbine op een gebouw wordt uitgevoerd nadat de gebouweigenschappen geanalyseerd zijn en de bouwkundige voorzieningen ontworpen en doorgerekend zijn. Dit geschiedt zoals al eerder vermeld door onder andere Arcadis.

Het starten, regelen en beveiligen van de turbine is geïntegreerd in de generator-converter combinatie. Met dit systeem kan de turbine door de generator geremd worden. Op deze manier is geen mechanische rem nodig.



Figuur 4.1: De Turby.

Kosten en energetische opbrengsten

Van de Turby kan een vrij complete kostenindicatie gegeven worden. Deze kosten gelden vanaf 1 april 2003, maar kunnen zonder voorafgaande mededeling worden gewijzigd. Desalniettemin zijn de verschillende kosten goed gespecificeerd, waarbij een onderverdeling gemaakt is in levering af fabriek, montage, turn-key levering en bliksembeveiliging:

	Onderdeel	Prijs in €
Levering af fabriek	Turby compleet	11000
	Mast 5 meter	500
	Mast 7,5 meter	1150
Montage	Plaatsing en inbedrijfstelling	600
	Transport per km (alleen enkele reis)	2,5
Turn-key levering	Voorbereiding	1815
	Uitvoering bouwkundig	2585
Bliksembeveiliging	Bliksem aarding enkelvoudig/ringaarding	1400/2300
	Overspanningsbeveiliging	125

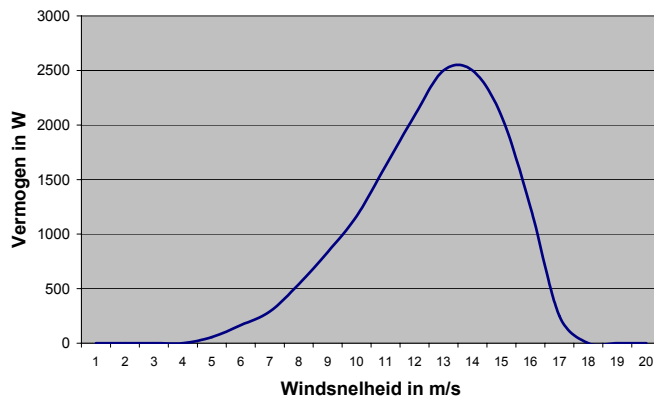
Tabel 4.1: Een kostenindicatie van de Turby.

Uit de tabel blijkt dat de voorbereidings- en plaatsingskosten van de Turby een groot deel van de totale kosten inhouden. Een Turby kost dus rond de €12.000,-, en met voorbereidings- en plaatsingskosten van zo'n €5.000,- komt een Turby op €17.000,- exclusief BTW. Hierin is de bliksembeveiliging niet meegenomen, dit omdat deze bij de andere turbines ook niet vernoemd wordt.

Van de verschillende turbines zijn opbrengstencurven beschikbaar, of te construeren vanuit de gegevens die aangeboden worden. Deze zogeheten PV-curven geven het afgegeven vermogen (P) weer bij verschillende windsnelheden (v). Ook van de Turby is een PV-curve beschikbaar. Deze is weergegeven in figuur 4.2. De gegevens komen rechtstreeks uit een figuur van de fabrikant.

¹⁰¹ Ter illustratie: Dit is windkracht 6, krachtige wind.

¹⁰² Voor meer informatie wordt verwezen naar: Sander Mertens, *The wind conditions at flat roofs for small wind turbines* (Delft: Delft University of Technology, 2003).



Figuur 4.2: PV-curve van de Turby.

Aan de hand van de PV-curve van een turbine kan een jaaropbrengst op een locatie berekend worden. Hiervoor heeft ir. Sander Mertens van de TU Delft een model ontwikkeld¹⁰³. Dit model maakt gebruik van verschillende parameters. Enkele van deze parameters zijn: de plaats van plaatsing op het gebouw, de lengte, breedte en hoogte van het gebouw waar de turbine op komt, de gebouwen in de omgeving, de afstand van het gebouw tot de rand van de bebouwing, de heersende gemiddelde windsnelheid en de frequentieverdeling hiervan, en de PV-curve van de turbine. Uit deze modelparameters blijkt dat het moeilijk is opbrengsten algemeen in te schatten. Met het model zijn deze theoretisch vrij goed te berekenen, het vergt echter wat rekenwerk. Binnen het kader van dit afstudeeronderzoek heeft ir. Sander Mertens de opbrengsten berekend van een aantal turbines waarvan de PV-curven bekend waren, dit zijn de Turby, de Provane 5 en de Windside¹⁰⁴. Van de WindWall is geen PV-curve beschikbaar, maar wel jaaropbrengstencurven. Deze kan niet zomaar omgerekend worden naar een PV-curve, omdat WindWall bv. hier eigen berekeningen in heeft gemaakt. In de volgende paragraaf is een inschatting gegeven van de opbrengsten van de WindWall. In bijlage 4 zijn de resultaten van de berekening van ir. Sander Mertens weergegeven. Hieruit blijkt dat de jaaropbrengst van de Turby 230 kilowattuur per vierkante meter per jaar oplevert. Dit geldt op een gebouw van 30 meter lang, 10 meter breed en 20 meter hoog, dat midden in Utrecht staat¹⁰⁵. Het oppervlak dat een Turby bestrijkt is 3 x 1,99 meter, dus is de totale opbrengst van een Turby op het genoemde gebouw 3 x 1,99 x 230 = 1373 kilowattuur per jaar. Er is ook een berekening gemaakt waarbij de ruwheid zeer laag is (dit geldt bijvoorbeeld aan de rand van een stad). In deze berekening is de totale opbrengst van een Turby 3940 kilowattuur per jaar. Wanneer het gebouw in een omgeving met dezelfde ruwheid staat, maar veel hoger is (bijvoorbeeld 40 meter), zijn de opbrengsten ook veel hoger. Een dergelijke berekening is niet gemaakt, dit zou te ver gaan, zeker gezien het feit de berekening slechts een illustratie is ter beeldvorming. In de volgende paragrafen zullen voor dezelfde locatie ook de opbrengsten van de andere turbines weergegeven worden bij een hoge en een lage ruwheid. Hierbij moet vermeld worden dat deze opbrengsten slechts indicatief zijn, en gebruikt zijn om een vergelijking te kunnen maken tussen de verschillende turbines in een vaste situatie, zodat de opbrengsten vergeleken kunnen worden. Door een extra berekening op te nemen met een lagere ruwheid kan geïllustreerd worden dat de onderlinge verschillen blijven bestaan, de opbrengsten nemen natuurlijk wel toe of af.

Projecten met de Turby

Nog voor de eerste Turby's geleverd zijn staan er voor Turby bv al flink wat projecten, projectvoorstellen en bestellingen op de plank. De eerste Turby's zouden op 24 september 2003 geplaatst worden in Tilburg en Breda bij de woningcorporatie Wonen Breda¹⁰⁶. Deze plaatsingen zijn helaas niet doorgegaan omdat enerzijds de vereiste vergunningen nog niet afgegeven waren. Anderzijds wil Turby bv. niet op de markt komen met een product waar ze

¹⁰³ Sander Mertens, *The wind conditions*.

¹⁰⁴ Wordt nog gepubliceerd in *The journal of Windengineering and industrial aerodynamics* door ir. Sander Mertens.

¹⁰⁵ Hier geldt een ruwheidslengte van 1 meter en is de jaarlijkse gemiddelde windsnelheid 3,3 meter per seconde op tien meter hoogte. Voor meer informatie over ruwheid en gemiddelde jaarlijkse windsnelheid zie bijlage 3.

¹⁰⁶ Dit is de nieuwe naam van de onlangs gefuseerde woningcorporaties WonenBreda en Wonen Midden-Brabant.

qua constructie niet volledig achter staan. Hierdoor zijn verschillende onderdelen verder ontwikkeld, waardoor de turbines niet geleverd konden worden. Ondertussen zijn de vergunningen verleend, en zal de turbine in februari 2004 gebruiksklaar zijn, dus de officiële eerste plaatsing zal niet lang op zich laten wachten. In het traject met Wonen Breburg was de plaatsing al enkele keren uitgesteld, omdat de techniek nog niet uitontwikkeld was. Dit is logisch omdat de Turby zich nog in de prototypefase bevindt. Naast het project met Wonen Breburg heeft Turby bv een viertal Turby's verkocht aan Cogas, die ze bij verschillende doelgroepen gaan plaatsen (gemeente, woonstichting, hogeschool en een industrieterrein)¹⁰⁷. Ook zullen er twee Turby's geplaatst gaan worden op het gebouw van Siemens te Den Haag en van de Haagse Tram Maatschappij (HTM) te Den Haag. Hier zullen ook tests plaatsvinden met een WindWall, een andere kleine windturbine die in de volgende paragraaf besproken zal worden. Ook de plaatsingen van deze Turby's zijn in dit project vertraagd omdat de vergunningen niet verkregen konden worden. Zoals te zien is, is er vraag genoeg naar de Turby's. Toch zijn er tot dusver niet veel turbines gerealiseerd. In hoofdstuk 5 zullen factoren besproken worden die hier de oorzaak van zijn.

4.3 WindWall¹⁰⁸

Achtergrond

Ir. Rob Roelofs maakte eind 2000 deel uit van de directie van een rotorbladenfabriek voor grote windturbines. Dit was een groot bedrijf, dat in 2001 failliet is gegaan waarbij de verschillende bedrijfsonderdelen verdeeld zijn onder verschillende andere bedrijven (zoals ENRON en GE). De heer Roelofs is met een twintigtal mensen uit dit bedrijf een nieuw bedrijf begonnen, genaamd NGUp, wat staat voor Never Give Up. Dit bedrijf produceert ook rotorbladen voor grote windturbines.

Uit pure interesse voor de verticale asturbines en visie op het integreren van de windfunctie in de gebouwde omgeving is ir. Rob Roelofs zo'n twee jaar geleden begonnen met het ontwikkelen van een gebouwgebonden windturbine. Door de vaktechnici aanwezig binnen het bedrijf NGUp vindt ontwikkeling geheel in eigen bedrijf plaats. Vanuit de filosofie van ir. Rob Roelofs, die aangeeft dat wind vooral boven een gebouw én aan de randen van een gebouw zit, is een liggende verticale asturbine ontstaan die aan de rand van een gebouw geplaatst moet worden: de WindWall. Kijkend naar de ontwikkelingsfase¹⁰⁹ waarin de WindWall zich bevindt kan gezegd worden dat de WindWall in een gecombineerde fase van prototype en een veld test bij klanten zit; deze bij een klant geplaatste turbine is tegelijk ook het eerste prototype van de turbine. Ondertussen is het product WindWall ondergebracht onder WindWall bv.

Technische gegevens

De WindWall lijkt nog het meest op een grasmaaiër. Het is een verticale asturbine die op zijn kant gelegd is, waardoor het dus een horizontale asturbine wordt. Doordat de turbine ligt, kan wind niet van alle kanten aanstromen, waardoor het voordeel van de oorspronkelijke verticale asturbine vervalt. Ook de WindWall is afgeleid van de H-rotor, net als de Turby, en is gebaseerd op het liftprincipe. Het meest opvallende aan deze turbine is het modulaire karakter ervan. Er is een basiselement met een vaste afmeting, en meerdere van deze elementen kunnen aaneengeschakeld worden. Het voordeel hiervan is dat er van enkele componenten van de windturbine (zoals de generator en omvormer) maar één nodig is, wat daardoor kostenverlaging met zich meebrengt.

Er is bij WindWall bv al nagedacht over een productfamilie van WindWalls. Zo worden er al verschillende mogelijkheden voor systemen aangeboden:

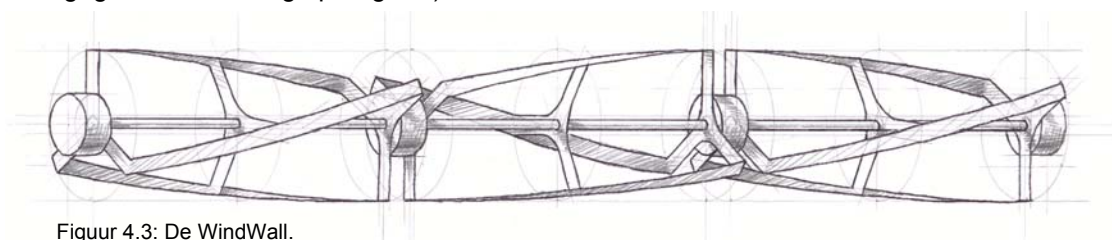
¹⁰⁷ Uit het interview met de heer Sidler, directeur C.O.R.E. International.

¹⁰⁸ Alle informatie over de WindWall is verkregen uit verschillende gesprekken met de heer Rob Roelofs (directeur WindWall bv), de heer Gert Harm ten Bolscher (medewerker DWA), mevrouw Jadranka Cache (medewerkster Rencom), informatiebladen die genoemden verstrekten hebben, de rapporten Lakeman et al., *Opwekking van windenergie* en Van Groningen en M. Tarrahi, *Stedelijke windturbines* en de website www.windwall.nl.

¹⁰⁹ zie vorige paragraaf.

- WindWall 1200: deze heeft een rotordiameter van 1,2 meter en een lengte van 9,5 meter (3 modules), het nominale vermogen is 3 kilowatt bij een windsnelheid van 11 meter per seconde¹¹⁰;
- WindWall 2000: deze heeft een rotordiameter van 1,99 meter en een lengte van 27 meter (6 modules), het nominale vermogen is 10 kilowatt bij een windsnelheid van 11 meter per seconde;
- WindWall 3600: deze heeft een rotordiameter van 3,6 meter en een lengte van 46 meter (6 modules), het nominale vermogen is 35 kilowatt bij een windsnelheid van 11 meter per seconde;
- WindWall 6250: deze heeft een rotordiameter van 6,25 meter en een lengte van 80 meter (6 modules), het nominale vermogen is 100 kilowatt bij een windsnelheid van 11 meter per seconde.

Voor alsnog is alleen de WindWall 1200 beschikbaar. Er is een WindWall 1200 in Zwolle gerealiseerd. Kerngetallen van dit systeem zullen in deze paragraaf toegepast worden omdat hier de gegevens van bekend zijn. Dit systeem bestaat uit vier WindWall 1200 modules, elk met een rotordiameter van 1,2 meter en een lengte van 2,8 meter. Het systeem is in zijn geheel 15 meter lang en weegt tussen de 1500 en 3000 kilogram, afhankelijk van het gekozen montageframe. In figuur 4.3 is dit systeem geschetst (op dezelfde schaal als de Turby, weergegeven in de vorige paragraaf).



Figuur 4.3: De WindWall.

Voor de WindWall moet een montageframe ontworpen worden, afhankelijk van het gebouw waar de turbine op komt te staan. De turbine moet aan de dakrand geplaatst worden, het liefst licht over de dakrand hellend, om zo ook wind te vangen die tegen het gebouw aan botst en via de dakrand omhoog gestuwd wordt. Per locatie moet dus een locatiespecifiek montageframe ontworpen worden.

Om de veiligheid van de WindWall te waarborgen worden zowel passieve als actieve veiligheidssystemen toegepast. Zo is er op het geplaatste prototype een kooi rondom de rotor geplaatst, dit ter voorkoming van gevaar wanneer rotorbladen los zouden schieten, en ter voorkoming dat vogels in de rotor terechtkomen. Het kan zijn dat in toekomstige modellen de kooi wordt weggelaten. De turbine kan op twee manieren tot stilstand worden gebracht. Ten eerste kan de generator de rotor tot stilstand brengen, door als weerstand te fungeren. Daarnaast kan de rotor mechanisch geremd worden.

Kosten en energetische opbrengsten

Van de verschillende WindWall systemen die hierboven genoemd zijn, zijn prijsindicaties beschikbaar. Deze zijn als volgt: WindWall 1200, €20.200,-, WindWall 2000, €48.500,-, WindWall 3600, €93.000,- en WindWall 6250, €208.000,-. Dit zijn prijzen voor het plaatsen op een 10 meter hoog dak in Nederland met 10 jaar garantie. De in deze paragraaf besproken WindWall 1200 kost €26.000,- inclusief voorbereiding en plaatsing (het is namelijk een systeem met vier modules in plaats van drie, dus is aangenomen dat de kostprijs daardoor 30% hoger is). Deze prijsindicatie geldt vanaf oktober 2003.

Van de WindWall kan geen PV-curve weergegeven worden, omdat WindWall bv deze niet vrijgeeft. WindWall bv. geeft wel jaaropbrengsten bij verschillende windsnelheden op verschillende locaties op verschillende hoogten¹¹¹. Dit zijn geschatte opbrengsten die voortkomen uit de berekeningen van WindWall bv. Deze opbrengsten kunnen niet vergeleken worden met de opbrengsten die uit het model van ir. Sander Mertens berekend zijn. Voor het inschatten van de opbrengsten van de WindWall is uitgegaan van 40% van de opbrengsten van

¹¹⁰ Ter illustratie: Dit is windkracht 6, krachtige wind.

¹¹¹ Van de website www.windwall.nl, geraadpleegd op 29 oktober 2003.

de Turby¹¹², in paragraaf 4.7 zal hier meer over gezegd worden. Het windvangend oppervlak van de hier besproken WindWall is 10,1 m², waarmee de totale opbrengst komt op 230 x 0,4 x 10,1 = 929 kilowattuur per jaar. Hierbij is rekening gehouden met het feit dat er een heersende windrichting is, waarop de WindWall gericht staat. Uit dezelfde berekening met lage ruwheid volgt dat de opbrengst in dit geval 2666 kilowattuur per jaar is.

Projecten met de turbine

Zoals al eerder vermeld is er een WindWall 1200 systeem, bestaande uit vier modules, in Zwolle gerealiseerd op het Deltion College. De inbedrijfstelling van deze turbine vond plaats op 5 september 2003. Dit project is (en wordt nog steeds) uitgevoerd met een brede groep participanten. Zo heeft de provincie Overijssel een subsidie verleend, heeft WindWall bv de turbine geleverd, geplaatst en zal de turbine gaan monitoren, en zijn de adviesbureaus Energiebureau Overijssel en DWA betrokken bij activiteiten als projectleiding, marktonderzoek, kennisoverdracht en afstemming. Dit project is voor WindWall bv heel belangrijk omdat breed gekeken wordt naar de inpassing van de WindWall. Het betreft een praktijkexperiment en is opgezet met een aantal specifieke doelstellingen, namelijk het opdoen van ervaring over de techniek, integratie, vergunningverlening en sociale aspecten. Naast het project in Zwolle bestaat er ook veel interesse voor de WindWall bij andere partijen. Zoals vermeld in de vorige paragraaf zullen er WindWalls geplaatst worden op de gebouwen van Siemens en de HTM te Den Haag. Ook is er interesse vanuit allerlei bedrijfstakken zoals defensie, woningcorporaties, sporthallen, Rijksgebouwendienst, etc.

4.4 Provane 5¹¹³

Achtergrond

De Provane 5 is oorspronkelijk ontwikkeld door het eenmans constructiebureau Kragten Design, onder de naam VIRYA. Ing. Adriaan Kragten ontwikkelt kleine windturbines, verleent consultancy en schrijft technische publicaties op het gebied van windenergie. Van negen typen windmolens met rotordiameters tussen de 1,2 en 5 meter (dit is de VIRYA-serie) zijn fabricage en verkooplicenties beschikbaar.

Prowin, een bedrijf dat onderdeel uitmaakt van Prisma Product Ontwikkeling bv, heeft in het voorjaar van 2001 het tekeningenpakket van de VIRYA 5 aangeschaft. Na productie en plaatsing bleek de turbine toch niet helemaal optimaal te functioneren waardoor de turbine opnieuw doorgerekend en doorontwikkeld is, dit in samenwerking met o.a. Ecofys en Projectal Engineering. Dit heeft geresulteerd in een vernieuwde turbine, die tot Provane 5 gedoopt is.

De Provane 5 is dus een doorontwikkeling van een bestaande windturbine, de VIRYA. Deze windturbine was al ver uitontwikkeld, ware het niet dat er problemen ontstonden bij het koppelen aan het net en plaatsing op een dak. Deze problemen zijn opgelost in het model Provane 5. Algemeen kan gesteld worden dat de Provane een marktrijp product is, dat zich niet meer in de ontwikkelingsfase of prototypefase bevindt; de Provane 5 kan commercieel aangeboden worden, veldtests bij klanten hebben namelijk ook al plaatsgevonden, hierover later meer.

Technische gegevens

De Provane 5 is een horizontale asturbine van het standaardtype¹¹⁴. Visueel doet de Provane 5 denken aan de grote windturbines die in het Nederlandse landschap staan. Het is echter geen verkleinde grote windturbine. De techniek die toegepast wordt is namelijk erg verschillend. Zo

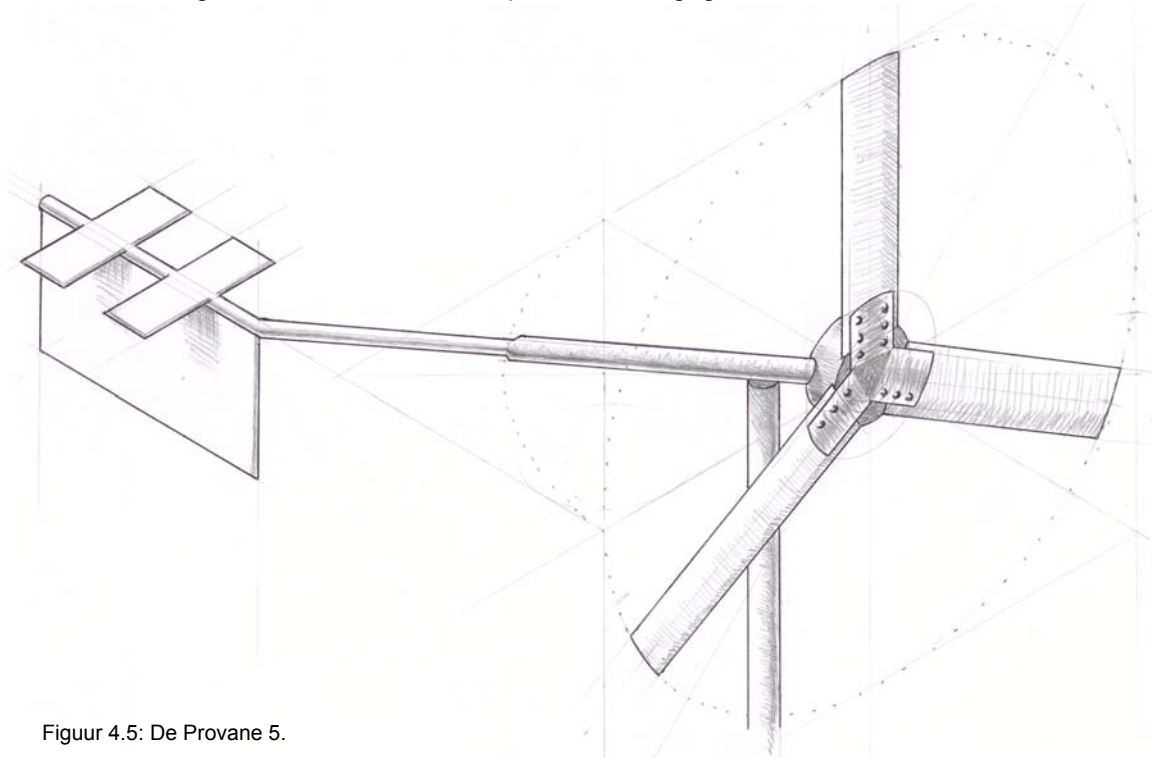
¹¹² Bij de berekening van ir. Sander Mertens is uitgegaan van de volledige windroos, 360° rond. Wind uit drie richtingen is niet op te vangen met de WindWall, namelijk van achteren, loodrecht links en loodrecht rechts. Hierdoor blijft 180° over. Er is aangenomen dat wind dat instroomt onder een hoek van 30° ook geen input geeft, waardoor in totaal een inblaashoek van 180-30-30=120° overblijft, dit is 30% van alle wind. Omdat bij de berekening rekening gehouden is met een windverdeling met een overheersende windrichting komt de schatting uit op 40%. Hierover meer in paragraaf 4.7.

¹¹³ Alle informatie over de Provane 5 is verkregen uit verschillende gesprekken met de heer Hans Hopman (directeur Prowin), de heer ing. Adriaan Kragten (directeur Kragten Design) en de heer Martin Boermans (medewerker EnergyXS), informatiebladen die genoemden verstrekt hebben, de rapporten Lakeman et al., *Opwekking van windenergie* en Van Groningen en M. Tarrahi, *Stedelijke windturbines* en de website www.prowin.nl.

¹¹⁴ Voor een toelichting over de standaard horizontale asturbine: Zie bijlage 2.

heeft de Provane 5 een vaan, die ervoor zorgt dat de turbine naar de juiste windrichting draait. Grote windturbines hebben hiervoor een uitgebreid energieverbruikend kruisysteem. Dit is ook meteen een belangrijk verschil met verticale asturbines: een horizontale asturbine moet in de wind draaien, terwijl een verticale asturbine wind uit alle windrichtingen kan vangen. De vaan zorgt er ook voor dat bij harde wind de turbine deels uit de wind draait. Hierdoor kan de turbine blijven draaien zonder op hol te slaan. Een ander verschil met een grote turbine is dat de Provane 5 geen tandwielkast heeft, maar direct op de generator aangesloten is. Kortom, de Provane 5 lijkt op een grote windturbine, maar is technisch wel degelijk anders.

De Provane 5 heeft een rotordiameter van 5 meter, en weegt compleet 720 kilogram. Dit is inclusief de zes meter dakmast waarmee de turbine op een gebouw geplaatst wordt. Deze dakmast wordt los op een gebouw geplaatst en verzwaard met grindtegels als ballast. Tussen het dak en de constructie worden rubberen tegels geplaatst om trillingen op te vangen. Het nominale vermogen van de turbine is 2 kilowatt bij een windsnelheid van 11 meter per seconde¹¹⁵. In figuur 4.5 is de Provane 5 op schaal weergegeven.



Figuur 4.5: De Provane 5.

De turbine heeft een gelijksoortige beveiliging als de Turby en de WindWall om de turbine tot stilstand te brengen, wat ook de karakteristieke manier van afremmen is voor een direct aangedreven generator. Ook bij de Provane wordt de generator kortgesloten waardoor de weerstand toeneemt en de rotor tot stilstand komt. De generator is ruim gedimensioneerd zodat deze niet doorbrandt bij het kortsluiten.

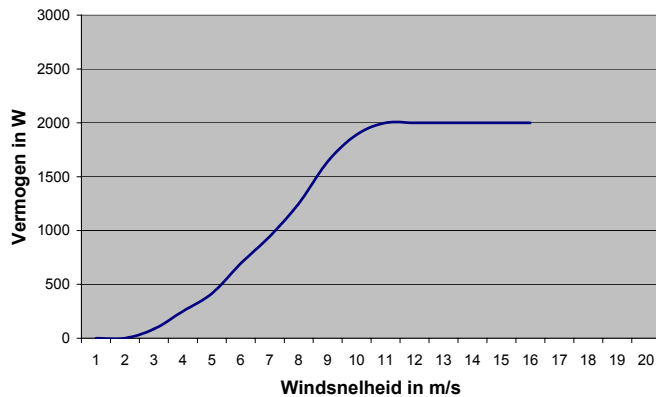
Kosten en energetische opbrengsten

De Provane 5 wordt los op een dak geplaatst. Hierdoor zijn voorbereidings- en plaatsingskosten laag. Het plaatsen en aansluiten van een Provane 5 kost €9.500,-. Deze prijs geldt vanaf maart 2003. Dit is exclusief bijkomende kosten als vervoer en een kraan. Deze worden ingeschat op €2000,- waarmee de Provane 5 op een totaalbedrag van €11.500,- komt. In figuur 4.6 is de PV-curve weergegeven van de Provane 5. Net als bij de Turby zijn de gegevens rechtstreeks overgenomen uit een figuur van de fabrikant.

Uit de berekening van ir. Sander Mertens blijkt dat de Provane 5 per jaar 3136 kilowattuur kan genereren op de locatie zoals beschreven in paragraaf 4.2 en bijlage 4. Hieruit blijkt dat de Provane 5 de grootste opbrengst genereert van de vier besproken turbines in dit hoofdstuk, echter dit komt voornamelijk omdat de turbine vrij groot is, namelijk 19,6 m². Per vierkante

¹¹⁵ Ter illustratie: Dit is windkracht 6, krachtige wind.

meter is deze namelijk lager dan de Turby: 160 kilowattuur per vierkante meter per jaar. Uit de berekening met lage ruwheid blijkt dat de opbrengst in dit geval 5488 kilowattuur per jaar is.



Figuur 4.6: PV-curve van de Provane 5.

Projecten met de turbine

Er zijn al volop proefprojecten met de Provane 5 uitgevoerd. De turbine is ook als compleet product verkocht en geplaatst. Hieronder volgt een korte beschouwing van de uitgevoerde (proef)projecten. De eerste twee geproduceerde modellen (na aanschaf van het tekeningenpakket) hebben in 2001 op de Sustain beurs gestaan, waarvan er één na de beurs geschonken is aan het ROVC te Ede, om ontwikkelaars daar het elektronisch deel verder uit te laten werken op het gebied van netkoppeling. Het systeem functioneert daar inmiddels 2 jaar, en is eind 2002 ook op het elektriciteitsnet aangesloten. Het andere proefmodel is aan installatiebedrijf G. van Dam verkocht, vanwege interesse in dealerschap. In deze periode is de turbine aangepast zoals al eerder vermeld en omgedoopt tot de Provane 5.

Ook zijn er nog andere projecten uitgevoerd, of zijn de opdrachten hiervoor binnen. Zo gaat de gemeente Zaanstad een turbine plaatsen en is de Technische Hogeschool Rijswijk gestart met een project op één van hun gebouwen. Daarnaast heeft EnergyXS de Provane 5 in hun productpakket opgenomen en is door EnergyXS in juni 2003 een turbine gerealiseerd bij de gemeente Waddinxveen. EnergyXS is echter in augustus 2003 failliet gegaan, waardoor een marktpartij voor Prowin weggevallen is. Desalniettemin zijn er al verschillende turbines gerealiseerd.

4.5 Windside¹¹⁶

Achtergrond

De Windside is eind jaren zeventig ontwikkeld door de Fin Risto Joutsinimie. De turbine is oorspronkelijk ontwikkeld voor werking in zogeheten eilandbedrijf, dus voor plaatsen waar geen elektriciteitsnet is, zoals offshore en in afgelegen gebieden. Mede vanuit dit oogpunt is de robuuste, duurzame Windside ontstaan. De Windside is al sinds 1982 op de markt en wordt overall ter wereld toegepast binnen het toepassingsgebied dat door de ontwerper beoogd was: in eilandbedrijf. De Windside wordt geproduceerd in Pihlajavesi, Finland.

Wim Stevenhagen van het bedrijf SET (Stevenhagen Energie & Tractie) is het product tijdens een bezoek aan Finland tegengekomen en vermarkt de Windside nu binnen de Benelux. Naast het toepassingsgebied voor de robuuste turbine (eilandbedrijf) ziet Wim Stevenhagen nog een ander toepassingsgebied voor de Windside: als elektriciteitsleverend kunstobject, zowel vrijstaand als op gebouwen. Ook voor dit toepassingsgebied bestaat volop interesse voor de turbine, hierover later meer.

¹¹⁶ Alle informatie over de Windside is verkregen uit verschillende gesprekken met de heer Wim Stevenhagen (directeur SET), informatiebladen die genoemde verstrekt heeft en de websites www.set.nl en www.windside.com.

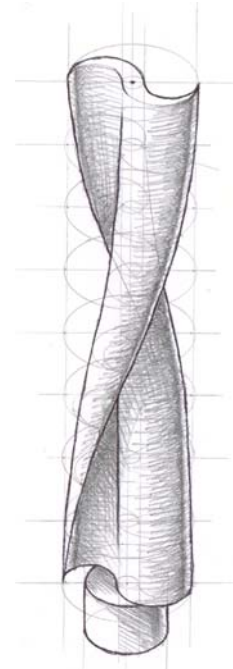
De Windside windturbine is een uitontwikkeld product. Het product bestaat al twintig jaar en wordt overal ter wereld toegepast. De fase van ontwikkeling waar de turbine zich in bevindt is dus de commerciële fase.

Technische gegevens

De Windside ziet eruit als een grote wokkel. De turbine is van het Savonius¹¹⁷ type, die vernoemd is naar zijn uitvinder, de heer Savonius, een Fin die deze turbine in de jaren twintig van de vorige eeuw ontwikkeld heeft. Het is een verticale asturbine, die niet werkt met het liftprincipe, maar als een soort zeil¹¹⁸. De turbine draait daarom nooit sneller dan de wind. Ook deze turbine kan wind uit alle richtingen vangen.

Er bestaat een complete productfamilie van de Windside, waarbij de naamgeving aangeeft hoe groot het windvangend oppervlak van de turbine is in vierkante meter. Hieronder zullen kort de gegevens van een aantal Windside turbines weergegeven worden:

- WS 0,15C: deze heeft een rotordiameter van 0,34 meter en een hoogte van 0,5 meter (exclusief generator), het nominale vermogen is 45 Watt bij een windsnelheid van 13 meter per seconde¹¹⁹;
- WS 0,3C: deze heeft een rotordiameter van 0,3 meter en een hoogte van 1 meter (exclusief generator), het nominale vermogen is 90 Watt bij een windsnelheid van 13 meter per seconde;
- WS 2,0B: deze heeft een rotordiameter van 1,02 meter en een hoogte van 2 meter (exclusief generator), het nominale vermogen is 450 Watt bij een windsnelheid van 13 meter per seconde;
- WS 4C: deze heeft een rotordiameter van 1 meter en een hoogte van 4 meter (exclusief generator), het nominale vermogen is 900 Watt bij een windsnelheid van 13 meter per seconde.



Figuur 4.7: De Windside

Daarnaast zijn er op papier nog grotere turbines met oppervlaktes van 12, 30 en zelfs 75 vierkante meter. Hier zijn voor alsnog geen gegevens over bekend met betrekking tot opbrengsten en prijzen. In deze analyse zullen de gegevens van de WS 4C meegenomen worden, deze turbine past wat afmetingen betreft bij de andere turbine die in voorgaande paragrafen beschreven zijn. De WS 4C weegt 700 kilogram, en wordt geplaatst op een standaardmast van 2 of 4 meter, zowel op daken als op de grond. In figuur 4.7 is de WS 4C geïllustreerd.

Over de bevestiging van de Windside windturbines op daken is nog weinig bekend. Plaatsing van Windside turbines wordt op dit moment uitgevoerd door een drietal bedrijven: Hoeflake Elektrotechniek te Hedel, Amec Spie Zuid te Breda en Kaal Mastenbouw te Oss. Zij ontwerpen per plaatsing de bevestiging van de turbine.

De Windside kent, in tegenstelling tot de andere windturbines, geen vorm van beveiliging om de turbine stop te zetten. Dit is volgens de fabrikant ook niet nodig, want de turbine draait niet snel, waardoor de turbine makkelijk met de hand stilgezet kan worden. Daarnaast hoeft de turbine niet stilgezet te worden bij zeer hoge windsnelheden, de turbine is namelijk robuust genoeg om te blijven werken.

Kosten en energetische opbrengsten

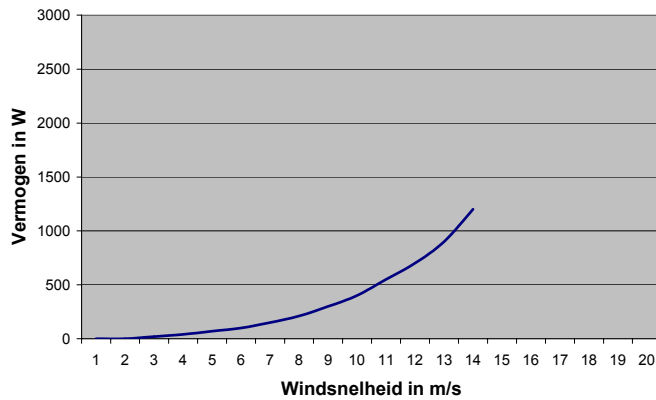
De Windside is al een compleet marktproduct, waardoor er ook een complete prijslijst beschikbaar is. De prijzen zijn als volgt: WS 0,15C, €2.550,-, WS 0,30C, €3.355,-, WS 2,0B, €15.950,-, WS 4C, €21.750,-. Deze prijzen zijn exclusief BTW, mast en plaatsing, en inclusief omvormer, bevestigingscilinder, smeermiddel, verpakingskist en verzending. Deze prijzen dateren van januari 2003. De turbine besproken in deze paragraaf, de WS 4C, kost dus €21.750,- exclusief voorbereidings- en plaatsingskosten. Na rondvraag bij de verschillende bedrijven die de Windside turbines plaatsen, bleek nog onduidelijk wat de plaatsingskosten van

¹¹⁷ Voor uitleg over de Savonius turbine: zie bijlage 2.

¹¹⁸ Voor een toelichting over het zeilprincipe: zie bijlage 2

¹¹⁹ Ter illustratie: Dit is windkracht 6, krachtige wind.

de Windside zijn op een gebouw. Ook kijkend naar de plaatsingskosten van een Turby komen grove schattingen komen uit op zo'n €5.000,-, waarmee de totale plaatsing van de WS 4C op ruim €26.750,- komt.



Figuur 4.8: PV-curve van de Windside.

Van de Windside zijn volop gegevenstabellen¹²⁰ beschikbaar, waarmee de PV-curve van de WS 4C geconstrueerd kan worden. Deze is weergegeven in figuur 4.8.

Ook uit deze PV-curve van de Windside kan met het model van ir. Sander Mertens de theoretische jaaropbrengst berekend worden. Voor de Windside is deze laag, namelijk 560 kilowattuur per jaar, wat neerkomt op 140 kilowattuur per vierkante meter per jaar. In de berekening met de kleine ruwheid komt dit op 1200 kilowattuur per jaar. In het volgende hoofdstuk zal met deze opbrengsten een kostenberekening gemaakt worden waar de opbrengsten en kosten tegen elkaar uitgezet worden.

Projecten met de turbine

Zoals al eerder aangegeven bestaat de Windside turbine al twintig jaar. In deze periode zijn er al vele projecten uitgevoerd met de turbines¹²¹. Zo staan er onder andere Windside turbines in Finland, in de Sahara, Midden-Azië en zelfs in de Pacifische Oceaan (op boeien). Op deze locaties wordt de Windside in zijn oorspronkelijke toepassing gebruikt: als robuuste, duurzame elektriciteitsopwekker in eilandbedrijf. Maar ook zijn er projecten uitgevoerd en in uitvoering met betrekking tot de toepassing van de Windside in de gebouwde omgeving, als duurzame elektriciteitsopwekker en kunstobject. Zo is er een Windside gerealiseerd bij Hoeflake Elektrotechniek, waar de Windside op een mast bevestigd is waar ook PV-panelen aan bevestigd zijn. Daarnaast is er interesse vanuit de gemeente Eindhoven voor kleine windturbines, en wordt is de Windside toegepast in ontwerpen van nieuwe gebouwen (bij onder andere ontwerpwedstrijden).

4.6 Andere kleine windturbines

Neoga van Ecofys¹²²

Ecofys is een adviesbureau dat opereert in een zestal landen in Europa, waar het aan beleidsadvisering en haalbaarheidsonderzoeken doet van EU tot kleinbedrijf, en voert projecten uit op het gebied van duurzame energie. Ecofys zag de potentie van wind in de gebouwde omgeving en heeft daarom een kleine verticale asturbine ontwikkeld, de Neoga. Deze verticale asturbine is zowel van het Darrieustype met een Savonius aanloop¹²³. De hoofdrotor is een Darrieusturbine, die de elektriciteit opwekt. De secundaire rotor is een Savonius-turbine, die ervoor zorgt dat de hoofdrotor begint te draaien, een Savoniusrotor hoeft namelijk niet opgestart

¹²⁰ Van de website: www.set.nl.

¹²¹ Voor een verzameling van voorbeelden wordt verwezen naar de website van Windside: www.windside.com.

¹²² Alle informatie over de Neoga is verkregen uit verschillende gesprekken met de heer ir. Geert Timmers (business director Urban Turbines), informatiebladen die genoemde verstrekt heeft, de rapporten Lakeman et al., *Opwekking van windenergie* en Van Groningen en M. Tarrahi, *Stedelijke windturbines* en de website www.urbanturbines.com.

¹²³ Voor uitleg over verschillende typen windturbines en hun werking zie bijlage 2.

te worden en draait al bij lage windsnelheden. De turbine bevond zich tijdens dit afstudeeronderzoek nog in de conceptfase, ondertussen is met de ontwerpfase gestart. Doordat de ontwikkeling zich nog in een vroeg stadium bevindt kan er nog niets gezegd worden over opbrengsten en andere kenmerken van de Neoga; de turbine of een prototype ervan bestaan nog niet. Dit is ook de reden waarom de Neoga niet verder meegenomen is in de analyse in dit rapport.

Turbines van Fortis¹²⁴

Fortis is een fabrikant van kleine windturbines. Het bedrijf maakt al 25 jaar windturbines voor eilandbedrijf en ook voor netgekoppelde systemen. De vermogensrange die het bedrijf aanbiedt loopt van 100 Watt tot 30 kilowatt. In de serie kleine windturbines levert Fortis een drietal windturbines, de Espada (0,8 kilowatt), de Passaat (1,4 kilowatt) en de Montana (5 kilowatt). Het betreffen horizontale asturbines van het standaardtype¹²⁵ met diameters van respectievelijk 2,2, 3,14 en 5 meter.

Afzet van de Fortis windturbines vindt plaats over de hele wereld. De windturbines worden vooral gebruikt in gebieden waar geen elektriciteit is (zogenaamd eilandbedrijf). Fortis heeft nog geen turbine op een dak geplaatst, en zijn dit ook niet van plan, omdat de turbines van Fortis hier niet voor zijn ontwikkeld¹²⁶. Met andere woorden: Fortis stort zich niet op de markt van kleine windturbines in de gebouwde omgeving. De turbines van Fortis worden echter in de literatuur wel genoemd als potentiële windturbines voor de gebouwde omgeving¹²⁷, wat dus niet het geval is. In dit onderzoek worden de molens van Fortis daarom buiten beschouwing gelaten.

4.7 Een kritische noot van de auteur

In deze paragraaf zal kort ingegaan worden op de verschillende berekeningen en aannames zoals gepresenteerd in dit hoofdstuk. De auteur is zich ervan bewust dat verscheidene aannames erg grof geschat zijn, en dat de verschillende berekeningen enigszins arbitrair kunnen zijn. Verschillende punten zullen hier besproken worden:

- **Opbrengsten WindWall:** De opbrengsten worden in dit hoofdstuk ingeschat op 40% van die van de Turby. Opbrengsten vergelijken aan de hand van een ander product is zeer arbitrair. De aanname is op deze manier tot stand gekomen omdat de turbine in principe een liggende Turby is, die uit veel minder richtingen wind vangt. Hiervoor is 30% aangenomen van de totale windroos van 360°, oftewel 120°. Uit deze hoek kan de WindWall wind vangen. In de berekening is uitgegaan van een overheersende windrichting, waarmee tot het getal van 40% van de Turby gekomen is.
- **Windstuwing:** Verticale asturbines als de Turby en de Windside kunnen wind onder een bepaalde hoek van schuin onder en boven ook gebruiken. Op gebouwdaken treedt deze stuwing op, waardoor opbrengsten vergroten. Voor horizontale asturbines als de Provane verkleint de opbrengst wanneer de wind schuin van boven of onder komt. Dit verschijnsel is meegenomen in het model van ir. Sander Mertens. Echter is nog niet van alle turbines bekend wat hun gedrag precies is bij het verschijnsel windstuwing (en dus hoeveel extra opbrengst gegenereerd wordt). Tot dusver zijn alleen de getallen van de Turby hiervan bekend.
- **Kosten:** De verschillende turbines worden elk op een andere manier aangeboden. De ene fabrikant geeft een compleet plaatje inclusief bijkomende kosten als constructieberekening, transport en plaatsing op een gebouw, terwijl andere fabrikanten alleen de kosten van de turbine geven. Om het kostenplaatje zo nauwkeurig mogelijk te maken is voor elke turbine het totale kostenplaatje inclusief constructieberekening, transport en plaatsing op een gebouw ingeschat, waardoor voor verschillende kosten aannames zijn gemaakt die arbitrair kunnen zijn, toch zijn deze zoveel mogelijk gebaseerd op de gegevens van andere fabrikanten waar de gegevens wel bekend van waren.

¹²⁴ Alle informatie over de turbines van Fortis zijn verkregen uit verschillende gesprekken met de heer Johan Kuikman (directeur Fortis Windenergy), informatiebladen die genoemde verstrekt heeft en de website www.fortiswindenergy.com.

¹²⁵ Voor uitleg over de standaard horizontale asturbine en haar werking zie bijlage 2.

¹²⁶ Uit het interview met de heer Kuikman, directeur Fortis.

¹²⁷ Ouwehand, *Kleine windturbines*, 5.

- Geluidsproductie en trilling: Deze twee aspecten van kleine windturbines zijn in deze analyse niet meegenomen. Dit omdat gegevens over geluidsproductie en trilling nog vrijwel niet beschikbaar zijn voor zowel proefopstellingen als praktijksituaties. Daarnaast zijn er voor geluidsproductie en trillingen normen en richtlijnen beschikbaar die voor de fabrikant als uitgangspunt zouden moeten dienen bij de ontwikkeling van een turbine. Wanneer elke fabrikant hieraan voldoet is er geen discussie meer nodig over dit onderwerp.

4.8 Functies en eigenschappen van kleine windturbines

In dit hoofdstuk zijn vele (technische) eigenschappen van vier totaal verschillende kleine windturbines geïnventariseerd. Zo is gekeken naar de afmetingen en het gewicht van de turbines (met en zonder mast/draagconstructie), het nominale vermogen bij een bepaalde windsnelheid en ook de vermogenscurven bij verschillende windsnelheden. Daarnaast zijn de kosten in kaart gebracht en is een berekening uitgevoerd waarmee een opbrengstindicatie gemaakt is, geldend voor één locatie, waardoor een opbrengstvergelijking van de vier besproken turbines mogelijk wordt. Al deze gegevens zijn (technische) eigenschappen van de turbines. Op basis van deze eigenschappen is het moeilijk een keuze te maken welke turbine de beste is. Dit hangt namelijk af van de beoogde functie die de turbine moet gaan vervullen. Op basis van deze gewenste functie kunnen de turbines kwalitatief beoordeeld worden. Dit betekent niet dat er één turbine uitkomt die de beste is. Het gaat erom dat, afhankelijk van de functie die de turbine moet gaan vervullen, een keuze tussen de verschillende turbines gemaakt kan worden afhankelijk van de technische eigenschappen die de verschillende turbines bezitten. Er zal dus een beoordeling gemaakt worden aan de hand van de mogelijke functies die de turbines moeten vervullen. Deze functies mogen breed gekozen worden. Zo kan een functie zijn dat de turbine via een lift naar het dak getransporteerd moet kunnen worden. Een andere functie kan zijn dat de turbine de hoogst mogelijke opbrengst per vierkante meter moet genereren. Op basis van deze functies kunnen de turbines beoordeeld worden. Bij het toepassen van een kleine windturbine in de gebouwde omgeving kan dan een keuze gemaakt worden op basis van de gewenste functies. Wat hieruit naar voren komt is dat er niet één beste oplossing is voor alle situaties, maar dat er per situatie de beste oplossing bepaald kan worden. Deze beoordeling op basis van functies en technische eigenschappen komen voort uit het Pluto-effect van dr. ing. Gijs Mom zoals beschreven in paragraaf 2.4. In onderstaande tabel 4.2 zijn de functies uitgezet tegen de technische eigenschappen van de vier turbines besproken in dit hoofdstuk. Hierbij is in een driepuntsschaal aangegeven per turbine in hoeverre de technische eigenschap de gewenste functies vervult ten opzichte van de andere turbines. Hierbij is kort de eigenschap beschreven zodat de beoordeling duidelijk wordt.

Eigenschap	Turby	WindWall	Provane 5	Windside
	Gegeven	Gegeven	Gegeven	Gegeven
Functie	Beoordeling	Beoordeling	Beoordeling	Beoordeling
Plaatsing:				
Eenvoudig te plaatsen (weinig mensen en middelen)	via lift	via grote kraan	via lift/kleine kraan	via kleine kraan
	xxx	x	xx	xx
Eenvoudig te plaatsen (juridisch/vergunningen)	vergunning moeilijk	vergunning redelijk snel	vergunning moeilijk	vergunning moeilijk
	x	xx	x	x
Plaatsing midden op dak / langs dakrand	voorkeur midden	voorkeur dakrand	voorkeur midden	voorkeur midden
	xxx / x	x / xxx	xxx / x	xxx / x
Directe / indirecte bevestiging op dak	direct	direct	indirect	direct
	xxx / x	xxx / x	x / xxx	xxx / x
Lichtgewicht constructie	100 / 150 kg	1500-3000 kg	720 kg	700 kg
	xxx	x	xx	xx
Kosten en opbrengsten:				
Hoogste opbrengsten per m ² (2 ruwheden als in berekening)	230 / 660 kWh/m ²	92 / 264 kWh/m ²	160 / 280 kWh/m ²	140 / 300 kWh/m ²
	xxx	x	xx	xx
Hoogste opbrengsten geplaatst systeem (2 ruwheden)	1373 / 3940 kWh	929 / 2666 kWh	3136 / 5488 kWh	560 / 1200 kWh
	xx(x)	xx	xxx	x
Kortste terugverdientijd (2 ruwheden)	61,8 / 21,6 jr	139,8 / 48,8 jr	18,3 / 10,5 jr	247,8 / 115,6 jr
	xx(x)	xx	xxx	x
Laagste initiële kosten	€ 17.000	€ 26.000	€ 11.500	€ 27.750
	xx	xxx	xxx	x
Hoogste opbrengst in wattuur per jaar per geïnvesteerde € (gunstigste ruwheid)	232 Wh/€ x jr	103 Wh/€ x jr	477 Wh/€ x jr	43 Wh/€ x jr
	xx(x)	xx	xxx	x
Visuele uitstraling:				
Weinig geluid produceren	onbekend, wel geluid	onbekend, wel geluid	onbekend, wel geluid	bijna geen geluid
	x / xx	x / xx	x / xx	xxx
Zichtbaar vanaf de grond (wanneer turbine op gebouw staat)	niet goed te zien	ja, direct zichtbaar	niet goed te zien	niet goed te zien
	x	xxx	x	x
Inpasbaar in de lijnen van een gebouw	inpasbaar	goed in te passen	niet goed inpasbaar	inpasbaar
	xx	xxx	x	xx

x : voldoet slecht aan gewenste functie
 xx : voldoet redelijk aan gewenste functie
 xxx : voldoet goed aan gewenste functie

Tabel 4.2: Functies en eigenschappen van kleine windturbines.

5 Factoren die van invloed zijn op de implementatie van kleine windturbines

5.1 Inleiding

De vorige hoofdstukken zijn vooral beschrijvend van karakter geweest. In hoofdstuk 3 is een beeld gevormd van het energieregime waarbinnen de niche van kleine windturbines zich ontwikkelt. Hierin is beschreven hoe het energieregime in een matrix opgedeeld kan worden in een duurzaam en een conventioneel deel, en in een grootschalig centraal en een kleinschalig decentraal deel. Ook is beschreven wat de invloeden van hogeraf (het sociotechnisch landschap) zijn op dit regime. Hierbij wordt de politieke besluitvorming beschreven, die ervoor zorgt dat er minder aandacht besteedt wordt aan duurzame energiebronnen, en ook de liberalisering van de energiemarkt. Het derde niveau van het multilevel model dat beschreven wordt in hoofdstuk 3 zijn de niches. Deze zijn aanwezig in het energieregime, en concurreren met elkaar. Dit zijn de niches van PV-systemen, microwarmtekrachtkoppelingen en kleine windturbines. Van PV-systemen en microwarmtekrachtkoppelingen is de huidige stand van zaken beschreven, bij de niche van kleine windturbines wordt dieper ingegaan op de structuur van de niche, zoals de actoren die in de niche opereren, en de rollen van de doelgroepen binnen de provincie Noord-Brabant. In het vierde hoofdstuk is uitgebreid de stand van zaken besproken van de niche van kleine windturbines. Hierin zijn de verschillende typen kleine windturbines besproken en hun eigenschappen, teneinde een beeld te krijgen van de huidige markt¹²⁸. Per type is ook aangegeven hoe de techniek zich ontwikkeld heeft, waar de techniek staat, en welke projecten en experimenten uitgevoerd zijn of worden. Ook zijn enkele kentallen van de besproken windturbines op een rij gezet voor de beeldvorming.

Strategisch Niche Management (SNM) pleit voor een zogenaamde co-evolutie van een nieuwe technologie¹²⁹, hiermee wordt bedoeld dat de ontwikkeling van een technologie zowel moet plaatsvinden op het technologische als het sociale vlak. Deze ontwikkeling moet gelijktijdig plaatsvinden, en is een interactief proces (vandaar de term co-evolutie). In de praktijk vindt de ontwikkeling van een nieuwe technologie echter vaak alleen plaats vanuit de technologie. Hierdoor ontstaan er problemen bij introductie van een dergelijke technologie, omdat op dat moment pas de (negatieve) sociale aspecten zichtbaar worden, waar in het ontwikkelingstraject geen rekening mee gehouden is. Het is in het kader van SNM van belang deze andere aspecten binnen de niche in kaart te brengen om leerprocessen op gang te brengen die de nicheontwikkeling positief kunnen beïnvloeden.

Binnen de theorie van SNM worden nog zes factoren naast de technologische factoren genoemd die van invloed zijn op de ontwikkeling van een technologie, namelijk beleid en regelgeving, culturele en psychologische factoren, vraagfactoren, productiefactoren, infrastructuur en onderhoud, en (ongewenste) sociale- en milieueffecten¹³⁰. Met hoofdstuk 3 en 4 als basis zullen deze factoren in dit hoofdstuk beschreven worden voor de niche van kleine windturbines. De factoren worden niet per stuk besproken zoals hierboven opgesomd, maar zijn samengevoegd tot vijf factoren, te weten technische (paragraaf 5.2), beleidsmatige (paragraaf 5.3), juridische (paragraaf 5.4), maatschappelijke (paragraaf 5.5) en economische (paragraaf 5.6) factoren, dit naar analogie van de deelvragen gedefinieerd in hoofdstuk 1.

5.2 Technisch uitontwikkeld? Helemaal nog niet!

Wind in en boven de gebouwde omgeving

Één van de eerste problemen die van grote invloed is op alle kleine windturbines in de gebouwde omgeving is de geringe kennis van de eigenschappen van windstroming in de gebouwde omgeving. Over het gedrag van wind in het algemeen is al veel onderzoek

¹²⁸ Waarbij 1 oktober 2003 als mijlpil is gesteld; alle geschreven stukken zijn gebaseerd op beschikbare gegevens tot deze datum.

¹²⁹ Hoogma et al., *Experimenting for sustainable Transport.*, 3.

¹³⁰ Hoogma et al., *Experimenting for sustainable Transport.*, 13-17.

gedaan¹³¹. Zo bestaan er modellen die berekenen in welke mate de windsnelheid met de hoogte toeneemt. Een ander model wijst op een andere factor die wind beïnvloedt, namelijk het uiterlijk van het landschap, de zogenaamde ruwheid. Deze ruwheid zorgt voor turbulentie boven het landschap (bijvoorbeeld boven een stad), waardoor deze wind niet bruikbaar is om energie uit te halen¹³². Daarnaast heeft wind een wispelturig karakter in het algemeen, hierbij valt te denken aan windvlagen, stormen, etc. Met de huidige rekenmodellen kan op een bepaalde locatie in het open veld vrij goed het karakter van de wind op die plaats bepaald worden. Op die manier kunnen bijvoorbeeld de dimensies en voorwaarden voor een grote windturbine bepaald worden.

Voor de gebouwde omgeving is het echter een ander verhaal. Ook hier is onderzoek naar gedaan¹³³, maar dit gaat met name over bouwconstructies en eisen waar deze aan moet voldoen. Bouwkundige aspecten als stroming van wind langs een gebouw of gebouwclusters, drukverschillen op bepaalde punten van een constructie, invloed van gebouwvormen en meer bouwkundige aspecten zijn onderzocht. Waar nog niet veel onderzoek naar gedaan is, is windsnelheden boven de gebouwde omgeving, dus op de plaatsen waar kleine windturbines geplaatst worden. Ir. Sander Mertens, promovendus aan de TU Delft, houdt zich bezig met het fenomeen wind boven de gebouwde omgeving. Enkele tussenresultaten van zijn onderzoek¹³⁴ geven aan dat de windsnelheid boven een gebouw niet aan de hand van de hierboven genoemde standaardmodellen berekend kan worden. Hiervoor is een nieuw model ontwikkeld, waarbij parameters als gebouwhoogte, gebouwvorm en ruwheid van de omgeving een rol spelen. Dit model berekent alleen de invloeden van het landschap, de gebouwhoogte en de gebouwvorm, er is nog niets gezegd over het windregime¹³⁵ dat op de betreffende locatie heerst. Hieruit volgt dat er moeilijk te bepalen is hoeveel wind er waait op een specifiek gebouw, dit moet per situatie berekend worden. Hieruit volgt een nieuw probleem, dat in onderstaand knelpunt beschreven is.

De opbrengsten zijn moeilijk in te schatten per locatie

Van de meeste turbines besproken in hoofdstuk 4 zijn PV-curven¹³⁶ beschikbaar. Deze curven zijn het resultaat van metingen aan de turbines in een windtunnel met vrije aanstroming. De Windside turbine en de Provane 5 hebben al in de praktijk gefunctioneerd, waardoor de opbrengsten gedeeltelijk geverifieerd zijn. De Turby heeft al resultaten van metingen van het proefveld bij de TU Delft, maar moet samen met de WindWall nog in de praktijk (op gebouwen) uitwijzen of ze de in de windtunnel of op het proefveld gemeten opbrengsten halen. Uit de vorige paragraaf is gebleken dat het moeilijk te bepalen is hoeveel wind er waait op een bepaald gebouw op een bepaalde locatie, dit vanwege allerlei factoren. Hierdoor kan niet algemeen aangegeven worden wat de opbrengst van een kleine windturbine is, dit moet per geval berekend worden. De opbrengst van een windturbine is dus afhankelijk van een PV-curve van de turbine en een windberekening op een bepaalde locatie. De verschillende producenten geven echter wel algemene inschattingen van de jaaropbrengst, wat gezien de grote variatie aan factoren (windregime, gebouwvorm, gebouwhoogte, ruwheid omgeving) onmogelijk is. De conclusie die uit voorgaande getrokken kan worden is dat geschatte opbrengsten zeer kritisch bekeken moeten worden. Algemeen kan vermeld worden dat de geschatte opbrengsten te hoog zijn ingeschat¹³⁷. In hoofdstuk 4 zijn een aantal voorbeeldberekeningen uitgevoerd voor één gebouw op een bepaalde locatie.

De technologie staat nog in de kinderschoenen

Elk van de verschillende turbines bevindt zich in een andere fase van het ontwikkelingsproces. Zo is de Windside uitontwikkeld, en is er van bekend wat de opbrengsten zijn. Wat nog niet

¹³¹ Basisinformatie over wind is ontleend uit: M.H. de Wit, *Wind in de gebouwde omgeving* (Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 2001).

¹³² Turbulentie is wind met een chaotisch karakter, oftewel de wind komt uit alle richtingen, waardoor de energie niet gebundeld opgevangen kan worden.

¹³³ De Wit, *Wind in de gebouwde omgeving*.

¹³⁴ Sander Mertens, *The wind conditions*.

¹³⁵ Het windregime is de gemiddelde windsnelheid, richting, etc. van een bepaalde locatie die voortkomt uit historische meetgegevens.

¹³⁶ Een PV-curve is een grafiek waarbij het vermogen (P) is uitgezet tegen de windsnelheid (v).

¹³⁷ Dit blijkt uit de berekening van ir. Sander Mertens in bijlage 4 en de opgaven van de fabrikanten.

bekend is, is het gedrag van de turbine in de gebouwde omgeving, omdat hier nog geen projecten mee uitgevoerd zijn. De Provane 5 is ook uitontwikkeld, en is ook al op een gebouw geplaatst. Echter is met de Provane 5 nog niet lang genoeg getest om te kunnen zeggen wat de opbrengsten zijn, én of de constructie voldoende sterk is voor plaatsing op een dak. De Turby is nog niet uitontwikkeld, de ontwikkelingen blijven doorlopen. Daarnaast is de Turby ook nog niet in de gebouwde omgeving getest, enkel op het (open) proefveld bij de TU Delft, dus het gedrag van de turbine in de gebouwde omgeving is niet bekend. De WindWall is nog niet uitontwikkeld, wel is een eerste proefmodel geplaatst, om te gaan meten hoe het systeem zich in de praktijk gedraagt.

Uit het bovenstaande blijkt dat de verschillende turbines elk op verschillende vlakken nog een en ander te leren en ontwikkelen hebben. Voor de ene turbine beperkt zich dit tot implementatie in de gebouwde omgeving, voor de andere turbine zijn er veel meer onzekerheden met betrekking tot constructie en opbrengsten. Al met al kan gezegd worden dat de technologie nog in de kinderschoenen staat, en het onduidelijk blijft hoe en of de turbines hun pretenties kunnen waarmaken.

Er zijn geen richtlijnen

Aan bouwwerken, installaties, etc. zitten vaak eisen, regels en certificering verbonden. Zo moet de elektrotechnische installatie van een utiliteitsgebouw aan de NEN-1010 voldoen, en moeten elektrische apparaten een KEMA-keur of CE-keur hebben. Ook moeten bijvoorbeeld machines aan de machinerichtlijnen voldoen. Voor kleine windturbines bestaan deze regels, richtlijnen en veiligheidseisen niet. De meeste turbines bestaan uit de (draag)constructie, de turbine, een generator, en een omvormer. Verschillende van deze componenten die los geproduceerd worden, zoals bijvoorbeeld de generator en de omvormer, kunnen wel aan bepaalde eisen en certificering voldoen, omdat dit voor deze componenten wel bestaat. Van de turbines echter zelf, die op de gebouwen geplaatst worden, is nog niets bekend over vereiste beveiliging, constructie-eisen en eventuele certificering. Wat het gevolg hiervan is geweest, is dat de verschillende fabrikanten hier elk een eigen invulling aan gegeven hebben, waardoor het op een later tijdstip moeilijk zal zijn hier regels aan te verbinden, omdat fabrikanten hun (op dat moment wel uitontwikkelde) producten moeten gaan aanpassen aan de regels en certificering.

5.3 Er is nog geen beleid voor kleine windturbines

De landelijke overheid laat kleine windturbines links liggen

Vaak wordt beleid vanuit de landelijke overheid globaal uitgezet en vullen de lagere overheden het eigen beleid aan de hand van deze richtlijnen verder in. Voor wind is in de Bestuursovereenkomst Landelijke Ontwikkeling Windenergie (BLOW) overeengekomen hoeveel vermogen op 31 december 2010 aan windenergie opgesteld moet staan. Landelijk is dit 1500 MW op land en 6000 MW op zee. Voor de provincie Noord-Brabant is dit 115 MW¹³⁸. Hierin geeft de landelijke overheid dus alleen een getal aan hoeveel vermogen de provincies opgesteld moeten hebben staan, de provincies geven hier zelf invulling aan, dit zal in de volgende subparagraaf toegelicht worden.

De grotere spelers die veranderingen in het landelijk beleid omtrent kleine windturbines kunnen bewerkstelligen, zoals het ministerie van Economische Zaken (EZ) en het ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM), doen vooralsnog niets met kleine windturbines. Dit komt omdat EZ zich richt op het grootschalig opwekken van duurzame energie, met name bio-energie en grootschalige windparken¹³⁹. VROM heeft voorlopig afgezien van stimulering van kleine windturbines na een onderzoek dat ze heeft laten uitvoeren door de Rijksgebouwendienst, de afdeling van VROM. Het onderzoek¹⁴⁰ heeft uitgewezen dat er voor toepassing van windturbines op de hoofdzetel van VROM nog te veel onduidelijkheden en onzekerheden zijn voor verdere uitvoering van een project. Onduidelijkheden zitten vooral in

¹³⁸ Farla, *Brabant voor de wind*. (ontwerp): 9.

¹³⁹ Kabinetsnota: 'Een wereld en een wil'. Nationaal Milieubeleidsplan 4 (2001).

¹⁴⁰ L.A. de Ruiter, *Haalbaarheidsstudie: Toepassing Windenergie op de hoofdzetel van VROM* (Den Haag: Rijksgebouwendienst/Advies&Architecten/Ingenieurs, 2003).

regelgeving, opbrengsten en plaatsing¹⁴¹. Wel geven de ministeries via NOVEM en Senter verschillende stimuleringsmaatregelen uit omtrent duurzame energie in de vorm van subsidies en fiscale regelingen, deze worden verder besproken in paragraaf 5.6.

Er is (nog) geen rol voor de provincie weggelegd

Zoals in voorgaande tekst is vermeld, moet de provincie Noord-Brabant in 2010 115 MW aan windenergie opgesteld hebben staan. Hoe dat zij dit moeten realiseren, mag de provincie zelf invullen. Zij zijn hierbij gebonden aan de voorwaarden vanuit BLOW en de Vijfde Nota Ruimtelijke Ordening. Hiervoor heeft de provincie voor de periode 2003-2006 een uitvoeringsnota opgesteld¹⁴². In deze uitvoeringsnota staat beschreven hoe invulling gegeven moet gaan worden aan deze doelstelling. De uitvoeringsnota behandelt echter alleen grote windturbines, aan kleine turbines wordt één subparagraaf gewijd: 'De provincie volgt de ontwikkeling van nieuwe ontwerpen. Als het mogelijk en zinvol is, stimuleert en ondersteunt Noord-Brabant nieuwe ontwerpen. De provincie zal haar windenergiebeleid heroverwegen als nieuwe ontwikkelingen in de windturbintetechnologie daar om vragen.'¹⁴³ De provincie Noord-Brabant neemt dus voor alsnog een afwachtende positie in. Uit gesprekken met de provincie blijkt dat de provincie in het proces van implementatie van kleine windturbines van betekenis kan zijn in het verlenen van subsidies (het Duurzame Energie Fonds 2, dat in paragraaf 5.6 besproken zal worden), het stimuleren van projecten, en ook kan de provincie kleine windturbines opnemen in een beleidsnota als aanvulling op het huidige windenergiebeleid.

De gemeenten zijn de spil van het spel

Een belangrijke rol bij de implementatie van kleine windturbines in de gebouwde omgeving is weggelegd voor gemeenten. Dit komt omdat projecten/experimenten met kleine windturbines in de gebouwde omgeving één voor één uitgevoerd worden, zoals uit hoofdstuk vier is gebleken. Uit paragraaf 5.4 zal blijken dat bij het plaatsen van elk van de kleine windturbines in de gebouwde omgeving vooral problemen ontstaan bij de vergunningverlening. Hier zal niet op vooruitgelopen worden, maar wat wel vermeld kan worden is dat dit hoofdzakelijk regelgeving betreft die door gemeenten uitgevoerd wordt.

Waar het probleem ligt voor de gemeenten is dat er nog geen regelgeving, beleid en certificering bestaat omtrent kleine windturbines in de gebouwde omgeving. Gemeenten moeten dus bij een aanvraag van een project met een kleine windturbine zelf beslissen welk traject zij instappen met betrekking tot kleine windturbines (zoals bijvoorbeeld beleid opstellen, de technologie beoordelen en proberen in te passen in de regelgeving). Deze keuze willen de gemeenten liever niet maken, dus spelen zij op safe, waardoor de procedures onnodig lang gaan duren of zelf tot stranden van het project leiden. Het gevolg hiervan is dat de gemeenten van de provincie Noord-Brabant een lappendeken van verschillende beoordelingen van kleine windturbines gaan vormen.

5.4 Stadsturbines zijn juridisch moeilijk te definiëren en in te passen

Een ingewikkeld vergunningentraject

Voor het realiseren van een kleine windturbine is minimaal één, en soms ook twee vergunningen benodigd, namelijk in ieder geval een bouwvergunning en soms een milieuvergunning. Deze moeten elk aan een aantal voorwaarden getoetst worden. De bouwvergunning bestaat uit drie delen, te weten:

- Toetsing aan het Bouwbesluit;
- Toetsing aan het bestemmingsplan;
- Beoordeling door welstand.

¹⁴¹ Uit het interview met de heer Jansen, landelijke projectmanager energie, ministerie VROM.

¹⁴² P.R. Beaujean en J. Meulenbeld, *Brabant voor de wind. Uitvoeringsnota Windenergie Noord-Brabant 2003-2006* ('s Hertogenbosch: Provincie Noord-Brabant, 2003).

¹⁴³ Beaujean, *Brabant voor de wind*, 42.

In de eerste, toetsing aan het Bouwbesluit¹⁴⁴ is aangegeven waar een aanbouw op of aan een gebouw aan moet voldoen. Hierin zijn de veiligheidseisen aangegeven, constructie-eisen van gebouw en aanbouw, en normen waaraan de verschillende componenten moeten voldoen (zoals bijvoorbeeld componenten voor nutsvoorziening). Het betreffen algemene regels en voorwaarden voor het gebouw waar de nieuwe constructie op aangrijpt. De beoordeling vanuit dit bouwbesluit gebeurt op verschillende manieren, namelijk vergunningsvrij, lichte toetsing en normale, volledige toetsing. Allereerst is voor verschillende bouwwerken vastgelegd dat ze vergunningsvrij zijn, zodat deze zonder allerlei administratieve rompslomp uitgevoerd kunnen worden¹⁴⁵. Een tweede vorm van toetsing is lichte toetsing aan het bouwbesluit. Hierin zijn een aantal voorwaarden vast beschreven, en moet de overige invulling ingediend en getoetst worden. De derde vorm is normale, volledige toetsing. Dit is een aparte categorie, die alle stappen voor de vergunning moet doorlopen, dus moet aan heel het bouwbesluit (voor zover van toepassing) voldoen, inclusief de stappen die hieronder nog beschreven worden, te weten toetsing aan het bestemmingsplan en beoordeling door welstand. Kleine windturbines moeten deze normale, volledige toetsing doorlopen.

De volgende stap in het verkrijgen van de bouwvergunning is de toetsing aan het bestemmingsplan. De belangrijkste voorwaarde uit het bestemmingsplan is het niet overschrijden van de maximale bouwhoogte. Het bestemmingsplan wordt in grote lijnen door de provincie vastgesteld, echter de gemeenten mogen hier nog een extra beperking op bepalen. Zo heeft de gemeente Breda bijvoorbeeld bepaald dat er niet hoger gebouwd mag worden dan de 15^e eeuwse Grote Kerk op de markt in het centrum van Breda¹⁴⁶. Per gemeente moet dus bekeken worden hoe het bestemmingsplan ingevuld is. Enkele kleine windturbines blijven onder de hoogtemarge die de gemeenten aangeven, andere overschrijden deze hoogte, waardoor er een wijziging van het bestemmingsplan ingediend moet worden, een zogenaamde 'artikel 19-procedure', dit is een langlopende procedure, waardoor plaatsing van een kleine windturbine sterk vertraagd kan worden.

De derde en laatste stap is de beoordeling van de kleine windturbine door de welstandscommissie. Deze beoordeelt het bouwwerk op inpassing in de omgeving. Dit is een erg subjectieve beoordeling, die per persoon verschillend kan zijn, maar waarbij ook gemeentelijke doelstellingen van invloed kunnen zijn. Hierbij moet wel vermeld worden dat de beoordeling door de welstandscommissie slechts een advies is. De vergunningverlener hoeft dit advies niet op te volgen.

De tweede vergunning die soms vereist is bij het plaatsen van een kleine windturbine is een milieuvergunning. Hierbij staat soms omdat deze vergunning niet altijd nodig is. Dit zal uit onderstaande blijken. Het bouwbesluit toetst aan voorwaarden vanuit het gebouw zelf waar het bouwwerk op of aan geplaatst wordt, terwijl de milieuvergunning er is om de impact op de omgeving te beoordelen. In het geval van kleine windturbines is het op twee manieren mogelijk dat een milieuvergunning aangevraagd moet worden. Als eerste is er een milieuvergunning nodig wanneer de kleine windturbine binnen de normen en voorwaarden van grote windturbines valt. Dit is echter niet vaak het geval, wat is gebleken uit onderzoek van de provincie Zeeland¹⁴⁷. Hieruit is gebleken dat een kleine windturbine alleen een milieuvergunning nodig heeft wanneer het een inrichting betreft (waarmee bedrijfsmatige activiteiten worden uitgevoerd), met een rotordiameter groter dan twee meter én niet voldoet aan het Besluit voorzieningen en installaties milieubeheer. Hierdoor hoeft een kleine windturbine vaak niet binnen het huidige milieuspoor beoordeeld te worden.

De tweede mogelijkheid voor het vereist zijn van een milieuvergunning is wanneer het gebouw waarop of waaraan een kleine windturbine geplaatst wordt al valt onder de Wet milieubeheer. Dit is wanneer het gebouw al ooit een milieuvergunning heeft moeten verkrijgen voor bijvoorbeeld een installatie (ook wel inrichting genoemd) in of op het gebouw. Wanneer dit het geval is moet voor de kleine windturbine ook een milieuvergunning aangevraagd worden. Dit betreft dan niet de normen en voorwaarden voor grote windturbines uit de Wet milieubeheer, maar de normen en voorwaarden die gesteld worden aan de aanwezige installatie.

¹⁴⁴ Bouwbesluit 2003 zoals gepubliceerd in staatsblad 2001, 410, zoals deze luidt na de wijzigingen, gepubliceerd in Staatsblad 2002, 203; Staatsblad 2002, 516 en Staatsblad 2002, 518.

¹⁴⁵ Hierbij kan gedacht worden aan een dakkapel van niet al te groot formaat, aan de achterkant van het huis.

¹⁴⁶ Uit een gesprek met de heer De Blaaij, adjunct directeur BAM NBM Rail BV.

¹⁴⁷ C.A. Louws, *Provincie Zeeland, beleidsvisie kleine windturbines* (Middelburg: Adviesbureau RBOI, 2003).

Uit voorgaande blijkt dat per situatie (en ook per turbine) bekeken moet worden of er een milieuvergunning nodig is.

Uit deze paragraaf blijkt dat er voor de verschillende turbines nogal verschillende vergunningstrajecten zijn. Keuzes die gemaakt zijn door de verschillende fabrikanten bepalen de weg die ze bewandelen op het vergunningenpad. De een bewandelt dit pad makkelijker dan de ander, dit pleit voor een bredere aanpak bij het ontwerpen van een nieuwe technologie, waarbij niet alleen gekeken moet worden naar technologieontwikkeling, maar ook naar inpassing van deze technologie in de praktijk. Uit het onderzoek is gebleken dat de vergunningverlening één van de grootste bottlenecks is bij het toepassen van kleine windturbines in de gebouwde omgeving.

De landelijke overheid wil geen regelgeving en richtlijnen formuleren

Zoals al vermeld in subparagraaf 5.2.4 zijn er geen regels, certificering of (veiligheids)normen waar de kleine windturbines aan moeten voldoen. Hier wordt invulling aan gegeven door de componenten die deze richtlijnen wel hebben hieraan te toetsen. Daarnaast geven de fabrikanten zelf invulling hiervoor aan hun nieuwe product, de kleine windturbine. Zo wordt bij de Turby de generator zo gedimensioneerd dat middels kortsluiting de turbine te allen tijde elektrisch te remmen is. De WindWall heeft daarentegen naast de elektrische rem ook een mechanische rem, als dubbele beveiliging. Ook hebben zij een gaas om de turbine geplaatst om rondvliegende delen op te vangen wanneer het echt mis gaat, en om er tevens voor te zorgen dat er niets in de turbine komt. De Provane 5 heeft ook een elektrische rem ter beveiliging en draait uit de wind wanneer de windsnelheid te hoog wordt. Omdat de Windside met de snelheid van de wind ronddraait, en daardoor niet gevaarlijk is bij nadering en aanraking, acht de fabrikant het niet nodig allerlei beveiligingen toe te passen.

De overheid heeft zich nog niet uitgesproken over kleine windturbines, dit kan een aantal redenen hebben. Om te beginnen zijn kleine windturbines er in verschillende soorten en maten, wat ook uit hoofdstuk 4 naar voren is gekomen. Deze turbines zijn technisch nog niet helemaal uitontwikkeld, en de markt heeft zich nog niet gevormd. De overheid is daarom afwachtend met betrekking tot het maken van regelgeving en richtlijnen voor kleine windturbines, omdat ze anders tijd en geld gaan stoppen in een product dat binnen afzienbare tijd weer van de markt verdwenen kan zijn. Ze wachten op een 'winnaar'. Een tweede reden waarom de overheid geen regelgeving en richtlijnen opstelt voor kleine windturbines is omdat zij terughoudender zijn geworden in het gedoogbeleid vanwege kritiek van buitenaf. De overheid heeft een aantal jaren geleden een uitzondering gemaakt voor GSM-antennes, wat toen uit de hand gelopen is en waar forse kritiek op gekomen is. Herhaling van deze situatie wil men voorkomen.

Onverwachte problemen uit de juridische hoek

Naast de algemene regelgeving die voortkomt uit het bouwbesluit en de milieuwet, kunnen er onverwachte problemen ontstaan uit de juridische hoek. Zo is een gebouw intellectueel eigendom van de architect die het gebouw ontworpen heeft. Dus wanneer een turbine ingrijpende veranderingen veroorzaakt aan het aanzicht van het gebouw, moet toestemming aan de architect gevraagd worden.

Een tweede probleem kan om de hoek komen kijken wanneer het gebouw waarop de turbine geplaatst wordt een monument is. Op en aan monumenten mag niet zomaar gebouwd worden. Hiervoor is een monumentenvergunning benodigd. Elk monument is uniek. Daarom wordt ieder bouwplan afzonderlijk getoetst. Dit gebeurt door de Commissie Beeldkwaliteit (voorheen Monumentencommissie) en in het geval van een rijksmonument tevens door de Rijksdienst voor de Monumentenzorg. Hierbij is van belang dat het karakter van het monument behouden blijft.

5.5 Iets heel anders dan men gewend is

Grote windturbines zijn verkeerd vergelijkingsmateriaal

De enige ervaring die de Nederlandse maatschappij heeft met windturbines zijn de soms omstreden grote windturbines die in het Nederlandse landschap verspreid staan. Windenergie is een lastig toe te passen vorm van duurzame energie, vanwege de grote weerstand die het bij

implementatie ervaart. Dit is deels weerstand die gegrond is, zoals de mogelijkheid van schittering van de rotorbladen en geluidsproductie. Hier zijn echter regels voor opgesteld, zodat deze problemen ondervangen kunnen worden. Andere weerstand is erg subjectief. Zo vinden veel mensen het landschapsvervuiling, niet mooi, of komt het NIMBY¹⁴⁸-effect om de hoek kijken. Een ongegronde weerstand is dat grote windmolens 'vogelmassamoordenaars' zijn. Niets is minder waar, want uit onderzoek is gebleken dat er per jaar veel meer vogels sterven aan de jacht, verkeer en hoogspanningskabels¹⁴⁹. Men heeft dus over het algemeen een negatieve attitude ten opzichte van grote windmolens. Hier schuilt een probleem voor de kleine windturbines. Nu al blijkt uit reacties van het publiek dat men hetzelfde beeld heeft van kleine windturbines als van de grote: een negatieve, met als argumenten dezelfde negatieve aspecten als bij grote windmolens¹⁵⁰. Dit terwijl kleine windturbines er totaal anders uit zien, en daardoor ook geheel anders functioneren dan de grote windturbines.

Esthetisch nut versus praktisch nut

Bij toepassing van kleine windturbines moet de vraag beantwoord worden welke functie de turbine moet gaan vervullen. Voor de ene gebruiker is de opbrengst het belangrijkste, de andere gebruiker kiest wellicht voor de turbine met de (voor hem of haar) duurzaamste uitstraling zonder naar de opbrengst te kijken.

De Turby en de Provane 5 zijn geheel ontwikkeld voor maximale opbrengst. De Turby is gebaseerd op een principe waarmee uit alle richtingen tegelijk wind gevangen kan worden, waardoor de opbrengsten verbeteren. Daarnaast maakt hij ook gebruik van windstuwing, dat is wind die via het gebouw schuin over het dak van het gebouw vloeit, waardoor de opbrengsten ook groter worden. De Provane 5 ziet eruit als een conventionele, grote turbine. Dit type turbine heeft praktisch het grootste rendement, waardoor de opbrengst ook hoger zal zijn in vergelijking tot de andere turbines. De Provane 5 werkt beter op lagere gebouwen, waar de wind horizontaal aanstroomt. Op hoge gebouwen (waar de hiervoor genoemde windstuwing optreedt), zal de opbrengst relatief lager zijn. Beide turbines draaien sneller dan de wind, en de rotorbladen van de Turby zijn zelfs haast niet te zien wanneer hij draait.

De Windside daarentegen is oorspronkelijk ontwikkeld om zo robuust mogelijk te zijn en om zonder uitval te werken onder barre omstandigheden. Voor toepassing in de gebouwde omgeving geldt voor de Windside echter een heel ander verhaal. De turbine is esthetisch gezien een lust voor het oog¹⁵¹. Zijn grootste nadeel is dat er slechts een geringe opbrengst is. In de kostenberekening in paragraaf 5.6 wordt deze geringe opbrengst nog sterker benadrukt vanwege de hoge kosten van het systeem. Ook de WindWall heeft opbrengst ingeleverd voor esthetische waardering. De filosofie achter de liggende grasmaaier zit ook in integratie met het gebouw, dus het plaatsen van de WindWall in het verlengde van de ramen of hoofdlijnen van het gebouw. Het komt hierbij goed van pas dat de WindWall uit verschillende modules opgebouwd kan worden. Door het plaatsen van de WindWall langs de dakrand, wordt er wel een beperking gelegd aan de opbrengst, omdat er maar wind uit één richting opgevangen kan worden, en deze richting staat ook vast, omdat het systeem niet in de wind kan draaien.

Welke turbine de mooiste is, is natuurlijk een kwestie van smaak, alle turbines zijn op hun eigen manier esthetisch verantwoord, wanneer ze in gebruik zijn zal dit voor de ene turbine zichtbaarder zijn dan voor de andere.

5.6 Kosten en opbrengsten; het financiële plaatje

Een globale kostenberekening

De eerste vragen die opkomen bij het toepassen van kleine windturbines zijn: "Wat levert zo'n turbine op?" en andersom: "Wat kost zo'n turbine?". Vaak speelt de economische haalbaarheid en de terugverdientijd een rol bij het toepassen van kleine windturbines. Toch is dit een lastig onderwerp, omdat er onzekerheden bestaan zowel aan de kostenkant als de opbrengstenkant.

¹⁴⁸ Not In My Back Yard.

¹⁴⁹ Uit een vergelijking op www.noordenwind.org/vogels.htm, geraadpleegd op 26-9-03, blijkt dat er jaarlijks 2 miljoen vogels sterven door het verkeer, 1,5 miljoen door de jacht, 1 miljoen door hoogspanningsmasten en kabels, en slechts 20.000 (geschat) ten gevolge van windturbines.

¹⁵⁰ N.a.v. een reactie op het artikel: *Alsnog windturbine op Tilburgse flat*, Brabants Dagblad van 7 maart 2003.

¹⁵¹ Voor veel visuele voorbeelden: www.windside.nl

De kosten van een kleine windturbine hangen namelijk sterk af van de productiemethode. Omdat de meeste turbines nog in ontwikkeling zijn of net in hun marktfase zitten worden ze nog per stuk gefabriceerd, wat de turbines duur maakt. Wanneer in de toekomst de vraag stijgt, kunnen de turbines in series geproduceerd worden waardoor de kosten omlaag gaan. In deze berekening zullen de gegevens van het moment gebruikt worden, zonder te kijken naar de mogelijke prijsontwikkeling in de toekomst.

De opbrengsten van kleine windturbines hangen van veel factoren af, zoals al aangegeven in hoofdstuk 4. In dit hoofdstuk is al een berekening gemaakt van een voorbeeldlocatie, namelijk een gebouw van 30 meter lang, 10 meter breed en 20 meter hoog dat midden in Utrecht staat. Van deze locatie is bekend hoe de omgeving eruit ziet (de zogeheten ruwheid), en is bekend hoe hard de wind gemiddeld waait op jaarbasis. Van deze voorbeeldlocatie zijn de opbrengsten van de vier besproken turbines berekend. Deze berekening is twee maal uitgevoerd, één maal met de heersende ruwheid, en éénmaal met een zeer lage ruwheid. Aan de hand van deze opbrengsten zal de kostenberekening gemaakt worden.

Tabel 5.1 geeft een beeld van de huidige kosten, opbrengsten en terugverdientijden van de verschillende windturbines besproken in hoofdstuk 4. Deze berekening is slechts globaal van opzet, gezien de continu veranderende prijzen van zowel de turbines als elektriciteit. In de berekening zijn, voor zover bekend en beschikbaar, de volgende gegevens meegenomen: totale kosten turbine (inclusief voorbereiding en plaatsing), jaaropbrengst zoals berekend in hoofdstuk 4, terugverdientijd op basis van vermeden ingekochte elektriciteit. Voor het gemak is een elektriciteitsprijs van € 0,20 per kilowattuur gehanteerd.

	Turby	WindWall	Provane 5	Windside
Kosten turbine in €	17.000	26.000	11.500	27.750
Zeer ruwe omgeving:				
Opbrengsten per jaar in € (opbrengst x 0,2 euro)	275	186	627	112
Terugverdientijd in jaren	61,8	139,8	18,3	247,8
Energieopbrengst in wattuur per jaar per geïnvesteerde €	81	36	272	20
Vlaakse omgeving:				
Opbrengsten per jaar in € (opbrengst x 0,2 euro)	788	533	1098	240
Terugverdientijd in jaren	21,6	48,8	10,5	115,6
Energieopbrengst in wattuur per jaar per geïnvesteerde €	232	103	477	43

Tabel 5.1: Globale kosten en opbrengstenberekening

Uit de tabel blijkt dat de opbrengsten in een zeer ruwe omgeving laag zijn vanwege de turbulente omgeving. Wanneer de ruwheid laag is of een mindere rol speelt (bijvoorbeeld aan de rand van een bebouwing, of een heel hoog gebouw ten opzichte van de omliggende bebouwing) zijn de opbrengsten hoger en wordt het kostenplaatje beter, waar zelfs terugverdientijden van nog geen tien jaar behaald worden. Voor hoge gebouwen kan dit plaatje nog gunstiger worden. In hoofdstuk vier is aangegeven dat deze berekening echter niet in dit rapport meegenomen is. Uit de tabel blijkt ook dat sommige turbines niet rendabel zijn wat opbrengsten betreft. Ook is ter indicatie aangegeven wat de energieopbrengst per jaar is per geïnvesteerde euro. Deze maat wordt vaak gehanteerd bij subsidieverleningen. Wel moet vermeld worden dat in deze berekening geen financiële stimuleringsmaatregelen zoals subsidies of fiscale regelingen meegenomen zijn. Deze maken het overzicht natuurlijk gunstiger.

Tot slot van deze paragraaf moet nogmaals vermeld worden dat de opbrengsten slechts indicatief zijn, en gebruikt zijn om een vergelijking te kunnen maken tussen de verschillende turbines in een vaste situatie, zodat de opbrengsten vergeleken kunnen worden. Door een extra berekening op te nemen met een lagere ruwheid kan geïllustreerd worden dat de onderlinge verschillen blijven bestaan, maar dat de opbrengsten hierbij wel kunnen toe- of afnemen.

Door het subsidiebos de bomen niet meer zien

In Nederland bestaan tal van maatregelen die het gebruik van en investeringen in duurzame energie stimuleren. Deze maatregelen zijn echter nogal aan veranderingen onderhevig. Dit ligt met name aan het politieke klimaat. De subsidies komen uit een pot die periodiek vastgesteld wordt. Wanneer het economisch minder gaat, zoals nu, worden deze subsidiepotten minder gevuld of zelfs afgeschaft. Bij fiscale maatregelen is dit wat minder, omdat dit financiële voordeel verrekend wordt via de belasting (er hoeft dus geen subsidiepot gereserveerd te

worden). Toch worden deze maatregelen verder beperkt, door bijvoorbeeld de eisen van de regeling te verscherpen. Een ander probleem met de stimuleringsmaatregelen voor duurzame energie is dat vaak onbekend is waar de maatregelen wel of niet op toepasbaar zijn, vooral wat nieuwe vormen van duurzame energie betreft. Dit is het geval bij kleine windturbines in de gebouwde omgeving. In deze paragraaf zullen de verschillende stimuleringsmaatregelen op een rij gezet worden¹⁵² en zal gekeken worden welke maatregelen toepasbaar zijn voor kleine windturbines in de gebouwde omgeving.

- Als eerste kan de Energiepremieregeling (EPR) genoemd worden. Van deze subsidieregeling is de afgelopen jaren veel gebruik gemaakt. Bij de aanschaf van duurzame energieapparaten kan via de EPR subsidie hierop verkregen worden. De EPR is echter half oktober 2003 uitgeput en de overheid beëindigt de energiepremie, kijkend naar de budgetten van de afgelopen jaren (120 miljoen in 2001, 150 miljoen in 2002, 54 miljoen in 2003 en slechts 9 miljoen in 2004)¹⁵³. Van de EPR hoeft dus niet veel meer verwacht te worden.
- De volgende regelingen die genoemd kunnen worden zijn de MIA en de VAMIL¹⁵⁴. Dit zijn fiscale instrumenten waarmee investeerders in milieuvriendelijke bedrijfsmiddelen een fiscaal voordeel kunnen behalen. Middelen die hiervoor in aanmerking komen staan op de Milieulijst. In 2003 heeft echter een wijziging in de regeling plaatsgevonden, waardoor duurzame energieopwekking niet meer meegenomen is in de MIA en VAMIL (vanwege bezuinigingen); dit wordt ondervangen in de EIA, REB en MEP (deze worden nog besproken)¹⁵⁵.
- Ook de vierde en vijfde regeling kunnen samen besproken worden, omdat ze op dezelfde grond niet beschikbaar zijn voor kleine windturbines. Dit zijn de REB en de MEP¹⁵⁶. De REB is een belastingmaatregel waarvan het opwekkingsdeel in 2003 in de MEP is overgegaan. De REB is voornamelijk voor verbruikers van energie (zuinige en groene verbruikers krijgen belastingvoordeel). Deze stimulering wordt echter in 2005 afgeschaft en zal tot die tijd afgebouwd worden¹⁵⁷. De MEP blijft nog wel gehandhaafd, echter voorwaarde voor duurzame elektriciteitsproducenten is dat ze de installatie op het Nederlandse elektriciteitsnet aansluiten en deze laten monitoren. Uit de volgende paragraaf zal blijken dat voor kleine windturbines het leveren achter de meter de beste optie is, waardoor ook deze stimuleringsmaatregel afvalt.
- Een zesde maatregel, het CO₂-reductieplan valt ook af omdat de maatregel inzet op grote reducties, wat met kleine windturbines niet haalbaar is. Ook DEF (2)¹⁵⁸ heeft een te hoge voorwaarde voor het verkrijgen van een subsidie.

Het lijkt alsof er niet veel overblijft aan stimuleringsmaatregelen die toepasbaar zijn voor kleine windturbines in de gebouwde omgeving. Toch is er een aantal maatregelen die uitkomst kunnen bieden.

- Zo bestaat er de EIA¹⁵⁹, een fiscaal instrument dat bestemd is voor ondernemers die investeren in duurzame energie. Doordat er via de EIA een percentage van de investering (55%) van de fiscale winst mag worden afgetrokken, ontstaat er belastingvoordeel voor de ondernemer. Om in aanmerking te komen voor de EIA moet het duurzame bedrijfsmiddel op de Energielijst¹⁶⁰ staan. Windturbines staan op deze Energielijst, met als voorwaarde dat ze (voor zover de normen daarop van toepassing zijn) gecertificeerd zijn volgens NVN 11400-0¹⁶¹. De toevoeging 'voor zover de normen daarop van toepassing zijn' maakt het mogelijk dat kleine windturbines hierin toepasbaar zijn. Alle vier de turbines kunnen door

¹⁵² Hierbij is gebruik gemaakt van de stimuleringsmaatregelen uit: Projectbureau Duurzame Energie, *Duurzame energie. Financiële stimuleringsmaatregelen* (Arnhem: Informatiecentrum Duurzame Energie, 2003) en Energie 2050, *Duurzame Energie Fonds Noord Brabant (2)* ('s Hertogenbosch: Energie 2050, 2003).

¹⁵³ Piet Voorter, "Einde energiepremie," *Stromen nieuwsblad 16* (2003): 1.

¹⁵⁴ Milieu Investerings Aftrek respectievelijk Regeling Willekeurige Afschrijving Milieu-investeringen.

¹⁵⁵ Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM), *Milieulijst 2003* (Den Haag: VROM, 2003): 5.

¹⁵⁶ Regulerende Energiebelasting respectievelijk Milieukwaliteit electriciteitsproductie.

¹⁵⁷ Harmen Weijer, "Vraagstimulering groene stroom met ingang van 2005 geschrapt," *Stromen nieuwsblad 16* (2003): 1.

¹⁵⁸ Duurzame Energie Fonds Noord Brabant (2).

¹⁵⁹ Energie Investerings Aftrek.

¹⁶⁰ Belastingdienst/Senter, *Energielijst 2003* (Breda: belastingdienst / Zwolle: Senter, 2003).

¹⁶¹ Indien certificatie heeft plaatsgevonden op of na 1 april 2001, voor deze datum is de norm NEN 6096/2 van toepassing.

deze toevoeging ingepast worden in de voorwaarden van de Energielijst, waardoor de EIA een optie is voor alle in dit rapport besproken kleine windturbines.

- Tot slot blijven er nog een tweetal stimuleringsmaatregelen over, die potentie hebben, mits ze gehandhaafd blijven, en dat ze op de juiste manier toegepast worden. Deze maatregelen zijn de EET en de BSE/DEN¹⁶² regelingen. Het betreffende beide subsidieregelingen die meer gericht zijn op de ontwikkeling van een technologie. Hierbij kan gedacht worden aan kiemprojecten, waarin de haalbaarheid van een technologie onderzocht wordt, maar ook praktijkexperimenten, demonstratieprojecten of marktintroductieprojecten. Kleine windturbines in de gebouwde omgeving is een technologie waarvan nog een aantal vragen open staan, waarop via deze trajecten antwoord gevonden kan worden. De EET geeft subsidies uit aan de hand van tenderronde, waarvan de laatste onlangs is gesloten (30 juni 2003), hier komen in de toekomst waarschijnlijk nieuwe tenders voor beschikbaar, er is echter nog niet bekend wanneer en hoeveel dit zal zijn. Wat de BSE/DEN regeling betreft, de huidige vorm is de invulling van de regeling voor 2003, waarvan de laatste tender sluit op 11 december 2003. Hiervan is nog niet bekend of de regeling voortgezet wordt op dezelfde wijze, wel is bekend dat er nieuwe gelden beschikbaar komen voor een soortgelijke invulling.

Uit deze paragraaf blijkt wel dat het vaak moeilijk is om door het subsidiebos de bomen nog te zien, maar achteraf blijkt dat er uiteindelijk maar enkele bomen blijven staan. Dit is mede te danken aan het politieke klimaat, dat er vrolijk op los hakt in het subsidiebos. Toch zijn de regelingen die overblijven goed toe te passen. Hoe dit het beste gedaan kan worden is beschreven in hoofdstuk 6.

Achter de meter versus voor de meter

Wanneer elektriciteit lokaal opgewekt wordt, kan er op verschillende manieren met deze opgewekte elektriciteit omgegaan worden:

- De turbine kan los van het elektriciteitsnet geplaatst worden, waarbij de opgewekte elektriciteit opgeslagen wordt in accu's, of direct verbruikt wordt. De aard van de spanning en stroom is hier niet verder onderzocht (wisselspanning of gelijkspanning, voltages en stroomsterktes). Afhankelijk van de eisen van de accu's of de apparatuur die aangesloten wordt kan zelf bepaald worden hoe de stroom en spanning eruit moeten zien. Deze vorm wordt vooral in zogeheten eilandbedrijf toegepast, bijvoorbeeld in afgelegen gebieden waar geen elektriciteitsnet voorhanden is.
- De turbine kan op het elektriciteitsnet aangesloten worden. Dit kan op twee manieren: voor of achter de elektriciteitsmeter van het leverende energiebedrijf. Eerst zal achter de meter toegelicht worden. Hierbij wordt de opgewekte elektriciteit eerst omgezet naar de netspanning en frequentie, waarna de elektriciteit verbruikt kan worden. Achter de meter betekent dat de opgewekte elektriciteit achter de meter van het leverende energiebedrijf zit. Er wordt hierdoor elektriciteit van het energiebedrijf vermeden, omdat eerst de zelf opgewekte kilowatturen verbruikt worden. Wanneer de turbine meer opwekt dan er verbruikt wordt, verdwijnt het overschot in het elektriciteitsnet zonder hier een vergoeding voor te ontvangen.
- Wanneer een turbine voor de meter geplaatst wordt, wordt de opgewekte elektriciteit ook eerst omgezet naar de netspanning en frequentie, waarna de elektriciteit via de elektriciteitsmeter van het leverende energiebedrijf gemeten wordt. Deze elektriciteit kan direct verbruikt worden of aan het elektriciteitsnet teruggeleverd worden. Omdat geregistreerd is hoeveel elektriciteit opgewekt is, kan hier een vergoeding voor gegeven worden door het leverende energiebedrijf.

Voor welke optie gekozen wordt is voornamelijk een financiële overweging. Hiervoor moeten een aantal kostensoorten op een rijtje gezet worden. Hierbij kan bij voorbaat de optie voor het plaatsen van accu's geschrapt worden. Energieopslag in accu's gebeurt namelijk met een rendement van zo'n 50%¹⁶³. Dit betekent dat per opgeslagen kilowattuur er ongeveer €0,10 bespaard wordt¹⁶⁴. Dit bedrag is ongeveer gelijk aan de maximale terugleververgoeding (hierop

¹⁶² Besluit Subsidies Economie, Ecologie en Technologie respectievelijk Besluit Subsidies Energieprogramma's / Duurzame Energie Nederland 2003.

¹⁶³ Uit een gesprek met de heer Sidler.

¹⁶⁴ Uitgaande van €0,20 per kilowattuur.

wordt zometeen verder ingegaan). Het verschil in deze bedragen is te klein om hier accu's voor te plaatsen, onderhoud op uit te voeren, afvoeren van accu's, etc. Daarom valt het gebruik van accu's meestal af.

Zo blijven leveren voor en achter de meter over. Bij leveren voor de meter kan een aantal kostensoorten genoemd worden. Als eerste kan de opgewekte elektriciteit direct verbruikt worden. Hierbij kan dan gerekend worden met vermeden afgenomen elektriciteit van het leverende energiebedrijf. Dit is per regio verschillend, maar voor het gemak is hier €0,20 per kilowattuur genomen. Daarnaast kan voor de teruggeleverde elektriciteit een vergoeding ontvangen worden. Dit kan op twee manieren, namelijk met het leverende energiebedrijf kan een prijs per teruggeleverde kilowattuur afgesproken worden, daar bovenop is het mogelijk een vergoeding te ontvangen vanuit de MEP-regeling, hiervoor zijn groencertificaten¹⁶⁵ benodigd. Deze terugleververgoeding is maximaal de helft van de elektriciteitskosten. Hier wordt maximaal genoemd, omdat de leveranciers niet verplicht zijn een terugleververgoeding te geven. Naast de extra opbrengsten zijn er ook extra kosten voor het plaatsen van een andere meter en contributies om lid te zijn van het groencertificatenbeheer. Deze kosten moeten afgezet worden tegen het aandeel dat teruggeleverd wordt (en dit kan weinig zijn).

Bij het leveren achter de meter zijn de opbrengsten gelijk aan de vermeden afgenomen elektriciteit van het leverende energiebedrijf, €0,20 per kilowattuur. Op het moment dat meer opgewekt dan verbruikt wordt verdwijnt deze elektriciteit in het elektriciteitsnet zonder hier een vergoeding voor te ontvangen. Toch is deze methode vaak de beste, omdat er bij terugleveren voor de meter allerlei kostensoorten verrekend moeten worden waarvan de toekomst onstabiel is (verdwijnen van subsidies, leveranciers die verschillende teruglevertarieven hanteren), en de totale extra opbrengsten laag.

De verschillende fabrikanten kiezen zelf op welke manier deze met de opgewekte elektriciteit omgaan. Zo is de Windside aanvankelijk ontwikkeld voor eilandbedrijf, dat wil zeggen losgekoppeld van het elektriciteitsnet. In de gebouwde omgeving wordt de turbine achter de meter geplaatst. Doordat de Windside weinig elektriciteit levert, is het niet nodig het voor de meter de plaatsen, omdat alle opgewekte elektriciteit zeker direct verbruikt wordt. De Turby en de WindWall hanteren dezelfde constructie van levering achter de meter. Dit omdat de opbrengsten van kleine windturbines vrij laag zijn (1500-5000 kWh per jaar¹⁶⁶), waardoor bij plaatsing op een groot gebouw veel elektriciteit die opgewekt wordt door het gebouw verbruikt wordt, waardoor er maar een klein deel overblijft om terug te leveren. Daarvan is zojuist aangegeven dat dit niet veel opbrengt. De leverancier van de Provane 5 daarentegen heeft ervoor gekozen vóór de meter te leveren, om in aanmerking te komen voor de hierboven genoemde groencertificaten en dus ook de MEP-subsidie. Hierbij moet vermeld worden dat dit de filosofie is van de elektriciteitsmaatschappij Energy XS, die de eerste Provane 5 geplaatst hebben. Aangezien dit bedrijf in augustus 2003 failliet is gegaan, is het onduidelijk of de Provane 5 in de toekomst nog steeds voor de meter geïnstalleerd zal gaan worden.

5.7 Resumerend

In dit hoofdstuk zijn verschillende knelpunten besproken die ontstaan of aanwezig zijn bij de implementatie van kleine windturbines in de gebouwde omgeving. Deze knelpunten grijpen aan op verschillende onderwerpen:

- Technisch: Men weet niet hoe wind zich boven gebouwen gedraagt, als gevolg hiervan zijn opbrengsten moeilijk in te schatten, de technologieën zijn nog niet uitontwikkeld.
- Beleidsmatig: De landelijke overheid doet niets met kleine windturbines want de landelijke overheid richt zich op grootschalige duurzame energieopwekking, de provincie en gemeenten hebben nog geen beleid ingevuld voor kleine turbines, waardoor er geen toetsingskaders zijn.
- Juridisch: Het vergunningentrajec is ingewikkeld omdat het ruimtelijk beleid nog niet ingevuld is, en door de verschillende technologieën moet elk turbintype anders beoordeeld worden. Daarnaast zijn er ook geen richtlijnen voor de turbines waar deze aan moeten voldoen (bijvoorbeeld veiligheid).

¹⁶⁵ Deze groencertificaten zijn het bewijs van de leveranciers dat er groene elektriciteit is opgewekt. Wanneer dit niet vastgelegd is, is het niet mogelijk in aanmerking te komen voor stimuleringsmaatregelen zoals de MEP.

¹⁶⁶ Het verbruik van ½ tot 1½ gezin per jaar.

Economisch: Van de opbrengsten kan nog geen vast beeld geschetst worden vanwege de veranderende gegevens van de turbines maar ook omdat de kosten nog niet vaststaan in verband met productiehoeveelheden. Wel is duidelijk dat er vrijwel geen stimuleringsmaatregelen voorhanden zijn voor kleine windturbines in de gebouwde omgeving.

Maatschappelijk: Kleine windturbines worden vergeleken met grote windturbines. Dit is ongewenst, omdat de problematiek die speelt bij grote windturbines niet geldt voor kleine windturbines. Kleine windturbines moeten vergeleken worden met andere vormen van kleinschalige duurzame elektriciteitsopwekking.

Uit de vele factoren is gebleken wat in de theorie van SNM betoogd wordt: De ontwikkeling van een nieuwe technologie moet niet alleen op technologisch vlak plaatsvinden, maar er moet co-evolutie plaatsvinden met de andere genoemde factoren; uit dit hoofdstuk is gebleken dat ook op deze andere vlakken nog ontwikkelingen moeten plaatsvinden teneinde de niche van kleine windturbines in de gebouwde omgeving in goede banen te leiden. De theorie van SNM betoogt ook deze knelpunten integraal op te lossen. Om dit te bewerkstelligen zijn een tweetal hoofdproblemen geformuleerd die volgen uit de knelpunten in dit hoofdstuk. Hiertoe zijn verschillende knelpunten geïntegreerd tot een integraal probleem. De volgende hoofdproblemen zijn gedefinieerd: 1. het vergunningentraject en 2. de ondoorzichtigheid van de markt. In het volgende hoofdstuk zal hier verder op ingegaan worden. Hierbij wordt gekeken naar oplossingen voor de twee hoofdproblemen en de partijen die hierbij betrokken zijn.

6 Verbetering van de implementatie van kleine windturbines in de gebouwde omgeving

6.1 Inleiding

In dit onderzoek zijn veel aspecten van kleine windturbines onderzocht. Zo is gekeken naar ontwikkelingen op verschillende niveaus aan de hand van het multilevel model, waaruit voortgekomen is welke invloeden de niche van kleine windturbines ondervindt van ontwikkelingen op andere niveaus. Daarnaast is gekeken naar invloeden van technologische ontwikkelingen op hetzelfde niveau zoals PV-systemen en micro-WKK's. In de volgende stappen van het onderzoek is meer specifiek ingegaan op de niche van kleine windturbines in de gebouwde omgeving. Er is een sociale kaart geconstrueerd waarin de verschillende actoren binnen de niche beschreven zijn. Ook is de huidige markt van kleine windturbines in kaart gebracht in een meer technisch georiënteerd hoofdstuk. Hierbij zijn vele technische aspecten van de verschillende turbines besproken en is een kwalitatieve analyse gemaakt op basis van de verschillende functies en technische eigenschappen van de turbines. Door te kijken naar de implementatietrajecten die plaatsgevonden hebben (of nog plaatsvinden), de technologische ontwikkelingen, het huidige beleid en regelgeving en andere factoren omtrent het toepassen van kleine windturbines zijn de factoren in kaart gebracht die invloed uitoefenen op de implementatie van kleine windturbines in de gebouwde omgeving.

Voor deze knelpunten kunnen oplossingen geformuleerd worden. Van deze knelpunten kan ook aangegeven worden door wie deze opgelost moeten worden. Dit zal uitgewerkt worden in dit hoofdstuk. Hiervoor wordt de sociale kaart zoals geformuleerd in paragraaf 3.5 gecombineerd met de factoren die van invloed zijn op de implementatie van kleine windturbines zoals geformuleerd in hoofdstuk 5. Hieruit zal voortkomen welke knelpunten door welke actoren in de niche opgelost kunnen worden. Wat hierbij meteen vermeld kan worden is het belang van een integrale aanpak zoals deze beschreven wordt in de theorie van SNM. Dit geldt zowel voor de knelpunten als voor de betrokkenen.

Niet alle knelpunten zullen en kunnen opgelost worden. Dit is ook niet voor alle knelpunten nodig. Sommige factoren die van invloed zijn op de implementatie van kleine windturbines zijn namelijk slechts een gegeven waar rekening mee gehouden dient te worden bij het implementeren van kleine windturbines in de gebouwde omgeving. Oplossingen zijn hier dus niet specifiek voor nodig. Voor een aantal andere hoofdknelpunten is juist nodig de oplossingen verder uit te werken, omdat alleen signalering van de knelpunten en de actoren die dit kunnen oplossen niet voldoende is ter verbetering van de implementatie van kleine windturbines in de gebouwde omgeving. Deze hoofdknelpunten bestaan uit meerdere factoren die genoemd zijn in hoofdstuk 5 en onderschrijven daarmee ook de noodzaak voor een integrale benadering voor het formuleren van oplossingen.

Uit dit onderzoek is naar voren gekomen dat er een tweetal hoofdknelpunten zijn die de implementatie van kleine windturbines vermoeilijken en vertragen, namelijk:

1. Het vergunningentraject: uit hoofdstuk 5 is gebleken dat verschillende knelpunten bij elkaar komen in het vergunningentraject. Zo is er geen ruimtelijk beleid gedefinieerd voor kleine windturbines (noch landelijk, noch provinciaal), waardoor het verlenen van de bouwvergunning bemoeilijkt wordt voor gemeenten, omdat er geen toetsingskader is op het gebied van ruimtelijke ordening. Ook zijn er geen richtlijnen en normen voor kleine windturbines waardoor het milieuvergunningentraject niet ingevuld kan worden.
2. De ondoorzichtigheid van de niche van kleine windturbines: ook kunnen verschillende knelpunten samengevoegd worden die samen de niche van kleine windturbines erg onoverzichtelijk maken. Zo zijn kosten/baten analyses onbetrouwbaar omdat aan de kostenkant de kosten aan vele veranderingen onderhevig zijn. Dit komt omdat de turbines nog in ontwikkeling zijn. Ook de opbrengsten zijn moeilijk te bepalen omdat technische gegevens niet compleet zijn, en men nog niet goed weet hoe wind zich boven de gebouwde omgeving zich gedraagt, waardoor opbrengstenberekeningen niet nauwkeurig zijn.

In paragraaf 6.3 zullen voor beide hoofdknelpunten oplossingstrajecten geformuleerd worden.

6.2 Rollen van de actoren

In deze paragraaf zullen dezelfde actoren besproken worden zoals beschreven in paragraaf 3.5. Voor een inzicht in de onderlinge relaties en een beschrijving van de actoren wordt ook verwezen naar paragraaf 3.5. In deze paragraaf zullen de rollen verder uitgewerkt worden, specifiek kijkend naar de implementatie van kleine windturbines in de gebouwde omgeving.

Technologieregulators

Van de landelijke overheid is aangegeven dat zij de wetgeving (zoals de Woningwet en het Bouwbesluit) en stimuleringsmaatregelen bepaalt. Uit de knelpunten is gebleken dat de landelijke overheid niet makkelijk aanpassingen zal maken in de wetgeving, omdat zij zich ten eerste gericht hebben op grootschalige duurzame energieopwekking en ten tweede omdat zij nog in afwachting zijn wat de markt van kleine windturbines gaat doen. Hierdoor zullen er niet snel aanpassingen in bijvoorbeeld het Bouwbesluit opgenomen worden ten behoeve van kleine windturbines.

Kijkend naar de mogelijkheden voor stimuleringsmaatregelen heeft de landelijk overheid slechts een kleine rol. Er blijven nagenoeg geen stimuleringsmaatregelen over wanneer deze in het licht van kleine windturbines bekeken worden. De EET en de BSE/DEN¹⁶⁷ regelingen kunnen een mogelijkheid zijn voor financiering van onderzoeksprojecten, dus biedt dit mogelijkheden voor de fabrikanten en onderzoeksinstituten. Dit zijn beide subsidies die aangeboden worden via tenders, dus er is geen garantie dat de subsidies verkregen zullen worden. De EIA¹⁶⁸ daarentegen geldt voor iedere investeerder in kleine windturbines, waarmee een belastingvoordeel behaald kan worden.

Uit voorgaande blijkt dat de landelijke overheid slechts een kleine rol heeft (administratief t.b.v. de EIA). Dit is voldoende, wat zal blijken uit de rollen die de provinciale overheid en de gemeenten kunnen vervullen.

De provincie Noord-Brabant geeft invulling aan het ruimtelijk beleid van de provincie. Tot dusver heeft de provincie alleen beleid opgesteld ten behoeve van grote windturbines. Van kleine turbines is slechts aangegeven dat er potentie bestaat binnen de gebouwde omgeving, en dat de provincie haar windbeleid zal heroverwegen als nieuwe turbineontwikkelingen (zoals kleine windturbines in de gebouwde omgeving) daarom vragen. Uit de knelpunten is gebleken dat vergunningverlening voor kleine windturbines in de gebouwde omgeving lastig is, vooral bij het toetsen aan het bestemmingsplan¹⁶⁹. In de huidige situatie kunnen de gemeenten zelf invulling geven aan het ruimtelijk beleid dat men wil voeren met betrekking tot kleine windturbines. Dit zorgt voor onduidelijkheid en subjectieve beleidsvoering, afhankelijk van hoe men tegenover kleine windturbines staat. Daarom is het van belang dat de provincie het ruimtelijk beleid voor kleine windturbines in de gebouwde omgeving invult, zodat de gemeenten deze lijn kunnen volgen. Naast de problematiek op ruimtelijk vlak bestaat er ook de problematiek op het vlak van milieuaspecten. Het gaat hier om veiligheid (certificering), geluid, trilling, etc. Ook deze zijn gezien de verschillen in turbines moeilijk te beoordelen. Ook hier zal de provincie richting aan moeten geven. De invulling van dit ruimtelijk en milieubeleid vanuit de provincie is in paragraaf 6.3 uitgewerkt.

Ook beheert de provincie Noord-Brabant ook een subsidieregeling, het DEF (2)¹⁷⁰. Uit de analyse is echter gebleken dat deze niets kan betekenen voor kleine windturbines in de gebouwde omgeving.

Gemeenten hebben direct te maken met de implementatie van kleine windturbines in de gebouwde omgeving omdat aanvragen voor plaatsing door de gemeenten beoordeeld moeten worden; de gemeenten verlenen de vergunningen. Omdat kleine windturbines nieuwe technologieën zijn, is het moeilijk deze te beoordelen. Zoals in voorgaande al beschreven is vooral de inpassing in het ruimtelijk en milieubeleid een probleem. Het is daarom van belang dat

¹⁶⁷ Besluit Subsidies Economie, Ecologie en Technologie respectievelijk Besluit Subsidies Energieprogramma's / Duurzame Energie Nederland 2003.

¹⁶⁸ Energie Investerings Aftrek.

¹⁶⁹ Hieruit blijkt ook dat de landelijke regelgeving (zoals het Bouwbesluit) niet de bepalende factor is.

¹⁷⁰ Duurzame Energie Fonds Noord Brabant (2).

de gemeenten hun ruimtelijk en milieubeleid kunnen invullen met betrekking tot kleine windturbines. Hieruit blijkt dat eerst een provinciale invulling van het beleid noodzakelijk is.

Technologieontwikkelaars

De fabrikanten zijn de belangrijkste technologieontwikkelaars van kleine windturbines in de gebouwde omgeving. De technologieontwikkeling van kleine windturbines in de gebouwde omgeving is nog volop bezig. Dit betekent dat gegevens niet altijd voorhanden zijn, onnauwkeurig zijn of nog niet definitief. Dit is ook gebleken uit bijvoorbeeld de opbrengstenberekening die van de verschillende turbines gemaakt is, de steeds veranderende prijsindicaties, etc. Veel berekeningen zijn nog op theoretische modellen gebaseerd. Praktijkresultaten zijn niet altijd voorhanden. Hierdoor is de markt erg ondoorzichtig. Het is daarom voor de fabrikanten van belang dat zij proefprojecten en experimenten realiseren. Door het uitvoeren van proefprojecten en experimenten kunnen de turbines verder uitontwikkeld worden, en kunnen de gegevens waar de technologiegebruiker om vraagt (plaatsingsmogelijkheden, kosten opbrengsten) gekwantificeerd worden. Hiermee worden de verschillende turbines ook beter te vermarkten.

Onderzoeksinstituten kunnen de fabrikanten hierbij helpen. Door het uitvoeren van wetenschappelijk onderzoek omtrent de verschillende turbines (de ontwikkeling van de turbines, maar ook onderzoek naar wind in het algemeen) kunnen theoretische modellen ontwikkeld worden die de verschillende fabrikanten kunnen gebruiken om (opbrengst)berekeningen eenduidig uit te voeren om zo vragen vanuit de markt wetenschappelijk onderbouwd te kunnen beantwoorden. Daarnaast kunnen onderzoeksinstituten vragen uit de markt voor de fabrikanten beantwoorden. Hierbij kan gedacht worden aan de ontwikkeling van certificering van kleine windturbines, zodat de vraag uit de markt (bijvoorbeeld veiligheid) door de fabrikanten geïntegreerd kan worden in hun product.

Overige betrokken groepen

In de groep van overige betrokken groepen zitten onder andere de advies- en ontwerp bureaus. Deze werken vaak nauw samen met de fabrikanten van kleine windturbines. Waar de fabrikanten zich bezighouden met de turbineontwikkeling houden deze advies- en ontwerp bureaus zich bezig met de daadwerkelijke plaatsing van kleine windturbines. Zij verzorgen het projectmanagement bij het implementeren van kleine windturbines en berekenen en ontwerpen de constructies waarmee de turbines op gebouwen geplaatst kunnen worden. Deze bureaus zijn nodig voor de expertise die zij in huis hebben met betrekking tot het doorrekenen en plaatsen van turbines op bouwwerken.

Naast de bureaus die zich bezig houden met de praktische uitvoering van projecten met kleine windturbines is het ook belangrijk dat er organisaties zijn die zich bezig houden met het voortraject van implementatie van kleine windturbines. Uit de knelpunten en de analyse van de niche van kleine windturbines is naar voren gekomen dat de niche erg ondoorzichtig is. Ook is gebleken dat er verschillende partijen betrokken zijn bij de implementatie van kleine windturbines in de gebouwde omgeving. Adviesbureaus (en dus ook provinciale energiebureaus zoals Energie 2050) kunnen hier een rol in spelen. Hierbij valt te denken aan de rol van aanjager, waarbij de verschillende partijen bijeen gebracht worden om samenwerkingsverbanden te realiseren. Ook kan gedacht worden aan de rol van informatieverstrekker, waarbij de adviesbureaus optreden als vraagbaak voor alle partijen, om zo de markt transparant te maken. Dit onderzoek is een poging tot het transparanter maken van de markt. Een andere rol die mogelijk te vervullen is door de adviesbureaus is het begeleiden van complete projecten.

Technologiegebruikers

Zoals al aangegeven in paragraaf 3.4 bestaat er een viertal doelgroepen voor kleine windturbines in de gebouwde omgeving: woningbouwcorporaties, verenigingen van eigenaren, bedrijven/instellingen en projectontwikkelaars. Aan hen kan niet een specifieke rol gegeven worden bij de implementatie van kleine windturbines in de gebouwde omgeving. Wel kan aangegeven worden dat woningcorporaties en bedrijven/instellingen de meest kansrijke doelgroepen zijn. Dit omdat zij de meeste hoge gebouwen in de gebouwde omgeving bezitten

of beheren, en omdat er vaak een beleid of visie ten grondslag ligt achter de toepassing van duurzame energie, waardoor het draagvlak groot is. Dit is een stuk minder bij een vereniging van eigenaren. Projectontwikkelaars zijn ook een interessante doelgroep, echter nieuwbouw vormt maar een klein deel van het totale gebouwenaanbod, waardoor het potentieel minder bij deze doelgroep ligt.

Kenmerkend voor de technologiegebruikers die kleine windturbines implementeren is dat het zogeheten 'innovators' zijn, wat wil zeggen dat ze een nieuwe technologie willen toepassen, ook al zijn de initiële kosten en risico's hoog. Deze eerste groep is nodig om de eerder genoemde proefprojecten te realiseren.

Een ander belangrijk kenmerk van de technologiegebruikers is dat zij zich bij de keuze van een turbine niet laten leiden door de technische eigenschappen van een turbine, maar meer door de functies die de turbine voor de eindgebruiker moet vervullen. Om deze reden is de kwalitatieve analyse uitgevoerd in hoofdstuk 4. Enkele voorbeelden hiervan zijn de keuze voor een Windside omdat deze er mooi uitziet, terwijl deze een laag rendement heeft, of om pertinent niet te kiezen voor de Provane 5, omdat deze eruit ziet als een grote windturbine. Kortom, de keuze voor een turbine is een subjectieve keuze op basis van de functie van de turbine.

6.3 Specifieke oplossingen voor de problemen

Uit het onderzoek is een aantal hoofdproblemen naar voren gekomen die opgelost moeten worden teneinde de implementatie van kleine windturbines in de gebouwde omgeving beter te laten verlopen. In de inleiding van dit hoofdstuk (paragraaf 6.1) zijn deze hoofdproblemen al beschreven, dit zijn namelijk:

1. Het vergunningentraject;
2. De ondoorzichtigheid van de niche van kleine windturbines.

Uit voorgaande paragraaf 6.2 is duidelijk geworden dat een aantal actoren binnen de niche van kleine windturbines belangrijkere rollen vervullen dan andere. Vooral de provincie speelt met het invullen van het provinciale beleid een grote rol. Gemeenten zijn hierin volgend. Een andere grote rol is weggelegd voor de fabrikanten van kleine windturbines. Zij moeten duidelijkheid scheppen voor de andere partijen. Hiermee creëren zij draagvlak voor kleine windturbines. Een derde grote rol is weggelegd voor de (provinciale) energiebureaus. Zij moeten partijen bij elkaar brengen, projecten faciliteren en informatie overdragen. De overige partijen hebben kleinere rollen en zijn meer participanten in het netwerk van kleine windturbines.

In deze paragraaf worden deze hoofdproblemen nader besproken en zullen concrete oplossingen voor deze problemen beschreven worden. Samen met invulling van de rollen uit de voorgaande paragraaf vormt dit hoofdstuk een concreet beeld hoe en door wie implementatie van kleine windturbines in de gebouwde omgeving verbeterd kan worden. In de volgende paragraaf zal nog ingegaan worden op een rol in het bijzonder: die van Energie 2050.

Aanpassing van het vergunningentraject

Zoals al eerder aangegeven is er geen beleids- of toetsingskader voor kleine windturbines in de gebouwde omgeving. Dit geldt zowel voor provinciaal als gemeentelijk niveau. In deze paragraaf wordt invulling gegeven aan een beleidsvisie op provinciaal niveau, waarmee invulling gegeven wordt aan het provinciaal beleid op het gebied van kleine windturbines in de gebouwde omgeving en als handreiking kan dienen voor gemeenten voor het formuleren van beleid omtrent kleine windturbines in de gebouwde omgeving. Hierbij moet vermeld worden dat de visie weergegeven in deze paragraaf specifiek geldt voor gebouwgebonden kleine windturbines in de gebouwde omgeving. In dit onderzoek is namelijk uitgegaan van gebouwgebonden turbines om het onderzoek goed te kunnen afbakenen. Onderstaande visie is goed uit te breiden naar overige plaatsingsmogelijkheden van kleine windturbines zoals vrijstaande kleine windturbines, en kleine windturbines buiten de gebouwde omgeving.

Om kleine windturbines in de gebouwde omgeving in te passen in het huidige beleid moet er eerst sprake zijn van een duidelijke definiëring van wat een kleine windturbine precies is. Met deze definitie kan een turbine geclassificeerd worden om daarna getoetst te worden aan de voorwaarden die voor de turbine van toepassing zijn. Voor de definiëring is een tweetal aspecten van belang: de afmetingen en de mogelijkheid tot plaatsing in de gebouwde omgeving. Wat de afmetingen betreft moeten er maximale rotordiameters aangegeven worden

voor zowel een HAT als een VAT¹⁷¹. Dit dient door de provincie bepaald te worden. 5 meter diameter voor een HAT en 2 meter diameter en 4 meter hoog voor een VAT zijn reële waarden, kijkend naar de markt van dit moment. Wil de provincie toekomstige ontwikkelingen ondervangen (wanneer bijvoorbeeld productfamilies ontstaan met grotere diameters), dan kunnen grotere diameters gehanteerd worden. De provincie is vrij deze afmetingen te definiëren. Het tweede aspect dat gedefinieerd moet worden is de mogelijkheid tot plaatsing in (lees: op) de gebouwde omgeving. Dit betekent dat kleine windturbines niet de ingrijpende effecten op de leefomgeving mogen hebben zoals grote windturbines dat hebben. Effecten die hiermee bedoeld worden zijn ruimtelijke uitstraling, hinder (geluid, slagschaduw) en gevaar (ijsafzetting, vogels). Deze effecten zijn echter door het formaat en uiterlijk van de kleine windturbines minimaal.

Wanneer duidelijk is wat er onder een kleine windturbine voor de gebouwde omgeving verstaan wordt, kan het beleid hiervoor ingevuld worden. Uit de vorige paragraaf en ook het vorige hoofdstuk is gebleken dat het beleid voor twee sporen ingevuld moet worden, namelijk Ruimtelijke Ordening en de Milieuwetgeving.

Ruimtelijke Ordening

Uit paragraaf 5.4 is gebleken dat er voor een kleine windturbine die in de gebouwde omgeving op een gebouw geplaatst wordt een bouwvergunning aangevraagd moet worden. Hiervoor moet aan drie criteria worden voldaan:

- Toetsing aan het Bouwbesluit: in het Bouwbesluit is opgenomen aan welke constructie-eisen een op- of aanbouw moet voldoen, deze regels zijn ook toepasbaar voor kleine windturbines, dus toetsing aan het Bouwbesluit levert procesmatig geen problemen op;
- Beoordeling door de welstandscommissie: de welstandscommissie geeft slechts een advies af, wat een gemeente niet hoeft op te volgen. Daarnaast is de welstand vaak onderdeel van een gemeente, waardoor gemeentelijk beleid en welstandseisen op elkaar afgestemd kunnen worden;
- Toetsing aan het bestemmingsplan: Bij toetsing aan het bestemmingsplan spelen twee aspecten een rol, namelijk de bestemming en de hoogte. De bestemming van het gebouw mag niet gewijzigd worden (bijvoorbeeld een woongebouw mag geen energieopwekker worden). Een kleine windturbine voorziet voornamelijk in de eigen elektriciteitsbehoefte dus het aspect van bestemming is niet van toepassing. Het tweede aspect, de hoogte, vormt meestal de bottleneck bij de vergunningverlening. Dit probleem zal in deze paragraaf verder uitgewerkt worden.

Waar het op neer komt is dat de hoogtebepalingen van het bestemmingsplan ervoor zorgen dat kleine windturbines vaak niet te plaatsen zijn op gebouwen. Wanneer in het huidige beleid de plaatsing van een kleine windturbine op een gebouw niet mogelijk is, kan een vrijstelling aangevraagd worden (de zogeheten artikel 19-procedure). Wanneer deze vrijstelling gegund wordt kan de turbine wel geplaatst worden. Deze procedure is echter duur (ongeveer €5.000,- per plaatsing) en levert een grote vertraging op (minimaal negen maanden). Dit komt plaatsing van kleine windturbines niet ten goede. Daarom moet een wijziging van het bestemmingsplan plaatsvinden.

Alle kleine windturbines zoals besproken in dit onderzoek zijn toepasbaar op gebouwen. Door invulling te geven aan kleine windturbines binnen het bestemmingsplan kan gedefinieerd worden waar en op welke gebouwen deze geplaatst mogen worden. Hiervoor moet een aantal criteria gedefinieerd worden:

- Op welke gebouwtypen mogen kleine windturbines geplaatst worden (bijvoorbeeld alleen op geheel platte daken of juist niet op schuine daken), hierbij kan ook gekeken worden naar de gebouwfunctie (bijvoorbeeld gemeentehuis of school t.b.v. een voorbeeldfunctie);
- Minimale hoogte van het gebouw; door de geringe opbrengsten op lage gebouwen en de afmetingen van de turbine ten opzichte van het gebouw waar de turbine op staan is het van belang een minimale gebouwhoogte aan te geven. Gebouwen die minimaal vier à vijf woonlagen bezitten is een reële minimale hoogte;
- Maximale hoogte van de turbine op een gebouw; hierbij moet wel rekening gehouden worden met het feit dat sommige turbines op een mast geplaatst moeten worden, waardoor de turbine al een redelijke hoogte heeft. Door een verdeelsleutel toe te passen in

¹⁷¹ Horizontale As Turbine respectievelijk Verticale As Turbine.

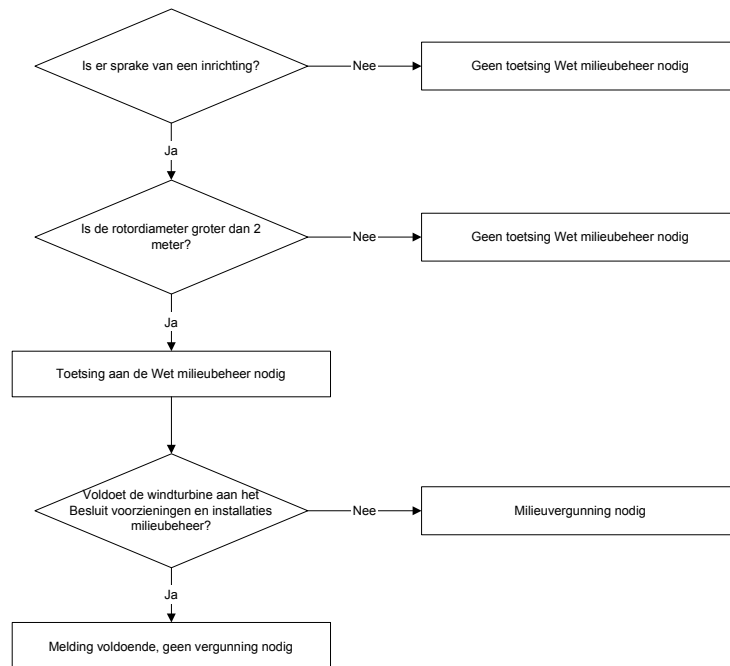
combinatie met de minimale gebouwhoogte wordt voorkomen dat gehele categorieën turbines direct uitgesloten worden voor plaatsing. Een oplossing is bijvoorbeeld dat de turbine met mast maximaal een derde van de hoogte van het gebouw mag zijn, met een maximum van 12,5 meter, deze laatste toevoeging zorgt voor beperkingen op de hogere gebouwen (anders kan op een gebouw van honderd meter hoog een turbine van 33 meter hoog geplaatst worden). Vanzelfsprekend moeten ook deze getallen nog gedefinieerd worden, in deze berekeningen zijn deze slechts voorbeeldgetallen.

Op deze manier kunnen kleine windturbines in het provinciale beleid opgenomen worden waarbij er voor de provincie mogelijkheden zijn voor eigen invulling en definiëring. Wel moet nog genoemd worden dat er mogelijkheden open moeten blijven voor uitzonderingen, zowel in het toestaan van kleine windturbines (in bijvoorbeeld voorbeeldprojecten) of juist in het niet toestaan van kleine windturbines (in bijvoorbeeld beschermde stadsgezichten).

Milieuwetgeving

Het tweede spoor waar onduidelijkheid over bestaat en waar door de provincie richting aan gegeven kan worden is de milieuwetgeving. Uit paragraaf 5.4 is gebleken dat kleine windturbines in de gebouwde omgeving niet eenduidig te beoordelen zijn binnen het milieuspoor. Dit heeft een aantal redenen. Ten eerste is het Besluit voorzieningen en installaties milieubeheer opgesteld ten behoeve van grote horizontale asturbines. Hierin is geen rekening gehouden met de groei van kleine windturbines en verticale asturbines.

Hierdoor is voor geen enkele kleine windturbine in de gebouwde omgeving toetsing aan de Wet milieubeheer nodig. Zo is een kleine windturbine geen inrichting en heeft veelal een kleinere diameter dan 2 meter, waardoor geen toetsing nodig is. Dit blijkt uit figuur 6.1¹⁷²:



Figuur 6.1: Toetsingsschema Wet Milieubeheer

Ten tweede is los van bovenstaand schema een vergunning wel verplicht als het bouwwerk waar de turbine op geplaatst wordt al onder de Wet milieubeheer valt, en dus een milieuvergunning heeft. De turbine moet dan passen in de voorwaarden van de heersende vergunning. Wanneer dit niet mogelijk is moet alsnog een milieuvergunning aangevraagd worden volgens het hierboven beschreven schema, met het verschil dat aan de eerste voorwaarde wel voldaan is (er is sprake van een inrichting, daar is namelijk al een milieuvergunning voor afgegeven).

Toch is het wenselijk een aantal richtlijnen voor de milieuaspecten vast te stellen, omdat uit voorgaande naar voren komt dat in de meeste gevallen geen invulling gegeven wordt aan de

¹⁷² C.A. Louws, *Provincie Zeeland, beleidsvisie kleine windturbines* (Middelburg: Adviesbureau RBOI, 2003), 13.

milieuaspecten. Kleine windturbines worden midden in de leefomgeving geplaatst, waardoor het zinvol is invulling te geven aan de milieuaspecten, omdat deze vaak onderwerp zijn in maatschappelijke discussies. In het Bouwbesluit worden wel eisen gesteld aan de veiligheid van de bouwconstructie maar aan andere milieuaspecten (die normaal door de milieuwetgeving ondervangen worden) is geen invulling gegeven voor kleine windturbines. Hierbij kan de vergelijking getrokken worden met de voorwaarden die gesteld worden voor grote horizontale asturbines zoals opgenomen in het Besluit voorzieningen en installaties milieubeheer. Voorwaarden die hierin gesteld worden zijn: veiligheid van de turbines zelf (dus niet de bouwconstructie), geluid, slagschaduw, lichtschittering en trilling. Deze voorwaarden kunnen vertaald worden voor kleine windturbines (zowel horizontaal als verticaal). Deze zelf gedefinieerde voorwaarden kunnen dan opgenomen worden in een provinciale verordening zodat ook voor kleine windturbines in de gebouwde omgeving een aantal milieuaspecten getoetst kunnen worden. In onderstaande zullen de verschillende criteria besproken worden.

- **Veiligheid:** Veiligheid is een belangrijk criterium dat ingevuld moet worden voor kleine windturbines. Er zijn wel veiligheidsnormen voor kleine windturbines beschikbaar¹⁷³, echter deze geldt alleen voor horizontale asturbines met een rotoroppervlak kleiner dan 40 vierkante meter. Voor verticale asturbines bestaat geen certificering. Afzonderlijke certificering of een verklaring van een onderzoeksinstituut als TNO dat de turbine veilig is, is mogelijk, echter gaat samen met zeer hoge kosten. Certificering blijft daardoor moeilijk, mede vanwege de totaal verschillende turbinetechnologieën. Het is daarom van belang dat de fabrikant of de partij die de turbine plaatst kan aantonen dat de turbine veilig is en hiervoor de verantwoordelijkheid draagt. Dit zal ook in de volgende paragraaf terug komen;
- **Geluid:** Het Besluit voorzieningen en installaties milieubeheer hanteert normen met betrekking tot geluidsbelasting. Deze normen geven aan hoeveel geluidsbelasting er op de gevel van naburige gebouwen mag zijn, en ook in gebouwen ten gevolge van geluid van windturbines. Deze normen geven maximale belasting en gemiddelde belasting op verschillende tijden (nachts, overdag, avond). Deze normen kunnen ook toegepast worden voor kleine windturbines, omdat deze normen gelden voor de belasting op de omgeving. De fabrikant of de partij die de turbine plaatst moet kunnen aantonen dat de normen niet overschreden zullen worden;
- **Slagschaduw en lichtschittering:** Door de geringe afmetingen van kleine windturbines en de plaats waar deze opgesteld worden op een gebouw zullen problemen met slagschaduw en lichtschittering niet voorkomen. Hiervoor hoeven daarom geen voorwaarden aan gesteld te worden;
- **Trilling:** Trillingen die een kleine windturbine afgeeft aan het gebouw waar het op staat mogen niet hinderlijk zijn voor personen in het gebouw. Hiervoor is een richtlijn opgesteld, de Richtlijn Hinder voor personen in gebouwen door trillingen. Het is belangrijk dat de partij die de kleine windturbine plaatst deze richtlijnen in acht neemt.

Door een provinciale verordening op te stellen kan invulling gegeven worden aan het milieuspoor. Samen met de invulling van het Ruimtelijke Ordeningstraject is in deze paragraaf een heldere en reële aanpak beschreven die implementatie van kleine windturbines op gebouwen in de gebouwde omgeving kan vergemakkelijken.

Het transparanter maken van de markt

In deze paragraaf zal de problematiek verder uitgewerkt worden die in paragraaf 6.2 al naar voren is gekomen bij de technologieontwikkelaars en de technologiegebruikers: er bestaat nog te veel onduidelijkheid omtrent kleine windturbines op verschillende vlakken. Hierbij gaat het wat de technologie betreft vooral om betrouwbare gegevens: wat zijn de kosten, wat zijn de opbrengsten, welke beveiliging is aanwezig, welke locaties zijn geschikt. De technologiegebruiker moet hier een duidelijk beeld van krijgen. Het is de taak van de technologieontwikkelaar om dit beeld de te scheppen. Met andere woorden: de markt moet transparanter worden. Om dit te kunnen bewerkstelligen zal een aantal punten behandeld worden die dit beeld kunnen bewerkstelligen.

¹⁷³ IEC 61400-2 "Safety requirements of small windturbines", 1996.

Veiligheid

Zoals uit de voorgaande paragraaf duidelijk is geworden is veiligheid een belangrijke vereiste voor kleine windturbines. Tegelijkertijd is gebleken dat certificering moeilijk is om een aantal redenen:

- Al bestaande certificering en veiligheidsnormen zijn alleen geldig voor horizontale asturbines;
- Het realiseren van afzonderlijke certificering is zeer duur, €50.000,- tot €100.000,-. Door de verschillende turbinetechnologieën moeten deze kosten per turbinetype gemaakt worden. Het is irreal van de technologieontwikkelaars te verlangen dat zij deze kosten dragen.
- Onderzoeksinstituten kunnen een veiligverklaring afgeven, de kosten zijn lager dan voor het realiseren van certificering, maar desondanks nog te hoog om deze te verplichten.

Dit betekent dat certificering niet verplicht is vanuit regelgeving. Wel is aangegeven dat de fabrikant of de plaatsende partij verplicht is aan te tonen dat de turbine veilig is. Technologieontwikkelaars moeten dus ieder voor hun eigen product aantonen dat het veilig is. Hiervoor kan een lijst samengesteld worden van risico's die kleine windturbines met zich meebrengen met betrekking tot de veiligheid. Met deze lijst kunnen de technologieontwikkelaars invullen hoe zij het risico ondervangen hebben. Enkele voorbeelden van de lijst zijn de beveiliging tegen blikseminslag, tegen direct contact met de turbine, of gevolgen van het losraken van onderdelen. Deze lijst kan samengesteld worden door bijvoorbeeld een onderzoeksinstituut dat alle risico's met betrekking tot veiligheid op een rij zet, dit kan in samenwerking met de technologieontwikkelaars en ook met de technologieregulators.

De veiligheid dient een zeer belangrijk doel bij de implementatie van kleine windturbines in de gebouwde omgeving. Wanneer er zich ongelukken voordoen, kan dit het einde betekenen van kleine windturbines in de gebouwde omgeving en windturbines in het algemeen. Vragen omtrent veiligheid moet dus serieus behandeld worden.

Eenduidige opbrengsten

De opbrengsten van de verschillende turbines zijn moeilijk te bepalen, dit is al verscheidene malen in dit onderzoek naar voren gekomen. Dit komt door een aantal factoren:

- Men weet niet precies hoe wind zich boven de gebouwde omgeving gedraagt. Ir. Sander Mertens heeft een theoretisch model ontwikkeld waarmee windsnelheden boven een gebouw berekend kunnen worden. Dit model is vrij ver uitontwikkeld. Dit model in combinatie met gegevens van een bepaalde locatie en de gegevens van een turbine levert een reële theoretische opbrengst.
- De fabrikanten leveren hun meetgegevens op verschillende manieren aan. De fabrikanten hebben in hun eigen ontwikkelingstraject metingen gedaan en hier opbrengstencurven voor opgesteld. Deze presenteren zij op hun eigen manier aan de technologiegebruikers (via PV-curven, jaaropbrengstencurven, gegevenstabellen).
- Verschillende turbines zijn afhankelijk van extra factoren. Zo kan de WindWall maar wind uit één hoofdrichting vangen. Wind van achteren of loodrecht van links of rechts wordt niets mee gedaan. Dit geeft beperkingen aan de opbrengst. Een ander voorbeeld is het plaatsvinden van zogeheten windstuwing. Dit is wind die via het gebouw schuin over het gebouw stroomt. Hierdoor vindt concentratie van wind plaats boven een gebouw. Verticale asturbines gaan hierdoor grotere opbrengsten genereren, horizontale asturbines juist minder. Verschillende fabrikanten nemen deze gegevens mee in de berekening, de vraag is of deze berekeningen altijd kloppen.

Voor bovenstaande problematiek moet een oplossing gevonden worden. Door de verschillende factoren samen te voegen kan een integrale oplossing geformuleerd worden waarmee de theoretische opbrengsten eenduidig en betrouwbaar geconstrueerd kan worden.

De gegevens van de verschillende turbines moeten door een onafhankelijke partij (bijvoorbeeld de vakgroep wind van de TU Delft) verzameld en geverifieerd worden, eventueel moeten nieuwe metingen uitgevoerd worden. Hierdoor ontstaan eenduidige theoretische PV-curven voor alle turbines. Deze PV-curven kunnen daarna in het theoretisch model van ir. Sander Mertens ingevuld worden (dit is wat voor de beschikbare gegevens gedaan is in hoofdstuk 4). Op deze manier ontstaat een theoretisch model waarmee voor elke turbine theoretisch berekend kan worden wat de opbrengsten op een bepaalde locatie zijn. Per plaatsing moeten dan enkel nog de locatieafhankelijke gegevens worden ingevuld zoals de afmetingen van het gebouw, de ruwheid van de omgeving, de heersende windsnelheid en de verdeling van de

windrichting (uniform of voornamelijk uit één richting). Wel moeten de extra factoren zoals hierboven aangegeven (onder andere beperkte windrichtingen en windstuwing) meegenomen worden in het model of bij bepaalde turbines.

Met deze oplossing kunnen fabrikanten maar ook andere partijen eenduidige en reële opbrengstenberekeningen maken van de verschillende turbines. Hierdoor wordt de markt transparanter op het gebied van elektrische opbrengsten en kunnen ook betrouwbaardere kostenafwegingen gemaakt worden.

Uitvoeren van experimenten

Omdat er nog weinig kleine windturbines in de gebouwde omgeving gerealiseerd zijn, is het bovengenoemd theoretisch model belangrijk voor het transparanter maken van de markt. Toch blijft de vraag staan wat de turbines in de praktijk zullen opbrengen. Het is daarom van belang dat de technologieontwikkelaars projecten realiseren, zodat in de praktijk gekeken kan worden of de theoretische opbrengsten gehaald worden en wat eventuele afwijkingen hierop zijn. Dit kunnen in aanvank experimenten of (tijdelijke) proefprojecten zijn, waar uitgebreid metingen en ontwikkeling plaatsvinden zowel van technische aspecten als andere aspecten (dit wordt ook aangegeven in de theorie van SNM). In een volgende fase kunnen de turbines als compleet product geleverd worden, inclusief een reële inschatting van de opbrengst van een turbine. Op dit moment is een turbine pas echt klaar voor de markt.

Classificatie aan de hand van gewenste functies

De keuze voor een bepaald type kleine windturbine door de technologiegebruiker is niet altijd gebaseerd op optimale technische eigenschappen. Dit is ook gebleken uit de analyse in paragraaf 4.7. De keuze wordt gemaakt aan de hand van de functie die de turbine moet vervullen. Om deze reden kan ook niet de beste turbine gekozen worden op basis van de technische eigenschappen, zoals bijvoorbeeld de hoogste opbrengst per vierkante meter. Dit kan slechts gedaan worden per functie. Op basis van verschillende functies die een turbine moet vervullen volgens de technologiegebruiker kan voor de betreffende gebruiker de beste keuze gemaakt worden. Wanneer deze gebruiker de functie 'zo hoog mogelijke opbrengst' als belangrijkste definieert, dan is de turbine met de hoogste opbrengst de beste. Bij een voorkeur voor een andere functie kan een andere turbine als de beste geclassificeerd worden. Technologieontwikkelaars kunnen hierop inspelen door hun turbine te vermarkten op basis van de functies in plaats van getallen en feiten (technische eigenschappen). Het voordeel hiervan is dat de technologiegebruiker een goede afweging maakt bij de keuze van een turbine, dit voordeel wordt versterkt vanwege het feit dat de getallen en feiten nog vaak niet eenduidig zijn.

6.4 De rol van Energie 2050

De hoofddoelstelling van Energie 2050 is het reduceren van de CO₂-emissie. Om tot kwantificeerbare emissiereductie te komen heeft Energie 2050 begin 2003 een aantal grote projecten gedefinieerd, waarmee de hoofddoelstelling van Energie 2050 grotendeels ingevuld wordt. Naast deze hoofddoelstelling heeft Energie 2050 ook nog een aantal subdoelstellingen. Hieronder vallen de rollen van Energie 2050 als informatieverstrekker, aanjager en het uitvoeren van kleine projecten. Kijkend naar de voorgaande paragrafen in dit hoofdstuk kan er een aantal rollen voor Energie 2050 gedefinieerd worden met betrekking tot kleine windturbines in de gebouwde omgeving.

Beleidsadvies aan de provincie

In dit onderzoek is naar voren gekomen dat de provincie Noord-Brabant invulling moet geven aan het beleid voor kleine windturbines in de gebouwde omgeving. Hoe hier invulling aan gegeven moet worden is in dit hoofdstuk beschreven, namelijk het invullen van het ruimtelijk beleid en het invullen van de milieuaspecten. Het is de taak van Energie 2050 deze resultaten bij de provincie Noord-Brabant neer te leggen, zodat deze hiermee aan de slag kan. Met de vergaarde kennis in dit onderzoek over kleine windturbines kan Energie 2050 de provincie ondersteunen in het invullen van het beleid, om te komen tot een juiste definiëring van en toetsingskader voor kleine windturbines in de gebouwde omgeving.

Informatieverstrekker

Tijdens het onderzoek zijn steeds meer vragen aan Energie 2050 gesteld over kleine windturbines voor de gebouwde omgeving. Deze vragen kwamen van vele verschillende partijen zoals gemeenten, bedrijven, particulieren, woningcorporaties, adviesbureaus, etc. Uit het onderzoek zelf is gebleken dat er veel onduidelijkheden zijn omtrent kleine windturbines, wat de vele vragen verklaart. Met de resultaten uit dit onderzoek kan Energie 2050 haar rol vervullen als informatieverstrekker over het onderwerp kleine windturbines in de gebouwde omgeving. Integrale vragen over kleine windturbines kunnen beantwoordt worden, van technische vragen tot vergunningen.

Initiatiefnemer voor projecten

Energie 2050 is ook een uitvoerder van kleine projecten. Hierin kan Energie 2050 de aanjager van een project zijn door potentiële doelgroepen bijeen te brengen. Ook kan Energie 2050 proefprojecten opzetten en de projectcoördinatie voor haar rekening nemen, waardoor betrokken partijen minder kosten hebben en daardoor eerder zullen participeren in dergelijke proefprojecten. Uit het onderzoek is gebleken dat gegevens over kleine windturbines nog onbetrouwbaar zijn. Het is daarom van belang proefprojecten uit te voeren om de markt overzichtelijker te maken aan de hand van concrete resultaten. Energie 2050 moet hierin de rol van initiatiefnemer op zich nemen door partijen bijeen te brengen en eventueel proefprojecten uit te voeren.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

In dit hoofdstuk zullen de conclusies van dit afstudeeronderzoek besproken worden. Dit zal gedaan worden aan de hand van de deelvragen en de probleemstelling zoals gedefinieerd in hoofdstuk 1. Tevens zal in dit hoofdstuk kort de toegepaste theorie beschouwd worden en als laatste zullen aanbevelingen geformuleerd worden. Dit zijn algemene aanbevelingen en aanbevelingen voor specifieke doelgroepen.

Deelvraag 1: Wat zijn de technische mogelijkheden en beperkingen van kleine windturbines in de gebouwde omgeving mede kijkend naar lange termijn ontwikkelingen en alternatieven?

- Allereerst moet geconcludeerd worden dat kleine windturbines niet vergeleken moeten worden met grote windturbines. De opschaling van de grote windturbines maken deze steeds rendabeler, waardoor kleine windturbines nooit dezelfde rendementen kunnen halen. Dit wordt mede veroorzaakt door de lagere praktische rendementen van de technologieën toegepast bij kleine windturbines (Savonius, Darrieus, H-rotor);
- Kleine windturbines in de gebouwde omgeving moeten vergeleken worden met PV-systemen, en in de nabije toekomst ook met micro-WKK. De elektrische opbrengsten van kleine windturbines zijn gunstiger dan van PV, voor micro-WKK kan nog geen vergelijking gemaakt worden. Dit hoeft ook niet want kleine windturbines en micro-WKK kunnen naast elkaar bestaan (windturbine levert tekort van WKK of genereert brandstof voor WKK);
- Kleine windturbines zijn technisch goed te plaatsen op gebouwen, hierbij moet wel de constructie goed doorgerekend worden en moet de constructie met turbine veilig zijn. De technologieontwikkelaars moeten hier zorg voor dragen;
- Gebouwen moeten een zekere hoogte hebben om opbrengst te kunnen genereren, daarnaast is de omgeving ook een sterk bepalende factor. Hierdoor moet het potentieel van kleine windturbines voor de gebouwde omgeving niet overschat worden. Voorkeur gaat uit naar hoge gebouwen en randen van bebouwing. Hierdoor zullen kleine windturbines minder breed toepasbaar zijn dan soms geschetst wordt. De markt van kleine windturbines in de gebouwde omgeving zal daarom een niche-markt blijven;
- Gegevens van turbines zijn nog vaak onnauwkeurig, onbetrouwbaar en aan veranderingen onderhevig. Hierdoor is het voor de technologiegebruiker moeilijk de beste keuze te maken tussen de verschillende turbines.

Deelvraag 2: Zijn kleine windturbines in de gebouwde omgeving economisch haalbaar?

De hoofdconclusie die voor deze deelvraag getrokken kan worden is dat het nog te vroeg is om hier een betrouwbaar antwoord op te kunnen geven. Verschillende kleine windturbines zitten nog in het ontwikkelingstraject waardoor productiekosten van kleine windturbines op maatwerk gebaseerd zijn. Wanneer serieproductie in zicht komt zullen kosten drastisch dalen. Toch kunnen een aantal conclusies getrokken worden met betrekking tot de huidige economische haalbaarheid:

- Vrijwel alle kleine windturbines (op de Windside na) zijn in de huidige situatie al rendabeler dan PV-systemen, kijkend naar de elektriciteitsopbrengst per geïnvesteerde euro.
- De huidige terugverdientijden zijn nog lang, variërend van 8,7 jaar tot 100 jaar in een gunstig windklimaat. Toch zijn voor sommige kleine windturbines (zoals de Provane) de terugverdientijden al acceptabel. Uit bovenstaande blijkt dat dit in de toekomst alleen maar gunstiger wordt.
- Gezien het huidige politieke klimaat en de beschikbaarheid van stimuleringsmaatregelen kan geconcludeerd worden dat stimulering van kleine windturbines met subsidies en dergelijke niet gauw zal gebeuren. Kijkend naar voorgaande punten lijkt dit ook niet nodig.

Deelvraag 3: Hoe ziet het actorennetwerk eruit bij de technologie van kleine windturbines in de gebouwde omgeving van Noord-Brabant, en wat zijn de rollen van deze actoren binnen het netwerk?

Uit het onderzoek is naar voren gekomen dat er een aantal rollen duidelijk gedefinieerd kunnen worden bij het implementeren van kleine windturbines in de gebouwde omgeving:

- De provincie moet invulling geven aan het beleid omtrent kleine windturbines in de gebouwde omgeving. Dit geldt voor het gebied van de ruimtelijke ordening en milieuaspecten;
- Gemeenten moeten aanvragen voor het plaatsen van kleine windturbines verwerken en vergunningen verlenen. Hiervoor moeten de gemeenten invulling geven aan het beleid voor kleine windturbines, dat vanuit de provincie gefaciliteerd wordt, waardoor een toetsingskader voor kleine windturbines mogelijk wordt;
- Advies- en ontwerp bureaus realiseren plaatsingen van kleine windturbines door deze technisch mogelijk te maken op het gebied van constructie en projectuitvoering;
- Energie- en adviesbureaus realiseren plaatsingen van kleine windturbines door de verschillende betrokkenen bij de implementatie van kleine windturbines bijeen te brengen, deze te informeren en te ondersteunen;
- Fabrikanten en onderzoeksinstituten ontwikkelen de kleine windturbines. Samen geven ze een betrouwbaar beeld van de markt waarmee andere partijen binnen de niche de juiste afwegingen kunnen maken omtrent de toepassing van kleine windturbines in de gebouwde omgeving;
- Eindgebruikers (woningcorporaties, bedrijven en instellingen) passen kleine windturbines toe in samenwerking met andere partijen binnen het netwerk zoals adviesbureaus en fabrikanten. Particulieren en particuliere woningen vormen geen doelgroep voor kleine windturbines.

Deelvraag 4: Welke regelgeving bestaat er omtrent het onderwerp van kleine windturbines in de gebouwde omgeving? Moet er nieuwe regelgeving geformuleerd worden of moet de technologie in bestaande regelgeving ingepast worden?

- Er bestaat verschillende regelgeving voor kleine windturbines. Vaak valt de nieuwere generatie kleine windturbines hier niet onder omdat ze nog veel kleiner zijn dan waar de regelgeving op gebaseerd is, of de technologie die toegepast is, is niet meegenomen in de regelgeving, zoals verticale asturbines.
- De bouwvergunningverlening verloopt moeizaam, dit ligt echter niet aan de wetgeving (het Bouwbesluit), maar aan het (provinciale) beleid, dit komt in de volgende deelvraag terug. Dit wordt namelijk veroorzaakt door de invulling van het beleid op het gebied van Ruimtelijke Ordening.
- De milieuwetgeving is erg onduidelijk, waardoor een milieuvergunning in de ene situatie wel en in de andere situatie niet aangevraagd hoeft te worden. Deze vergunningverlening verschilt ook per turbine.
- Uit voorgaande blijkt dat landelijke wet- en regelgeving niet aangepast hoeft te worden ten behoeve van kleine windturbines, de problematiek kan via provinciaal beleid opgelost worden.

Deelvraag 5: Wat is het huidige beleid van Nederland, de provincie Noord-Brabant en de gemeenten in Noord-Brabant omtrent het onderwerp van kleine windturbines in de gebouwde omgeving?

- Op dit moment is er geen provinciaal beleid voor kleine windturbines in de gebouwde omgeving. Ook gemeenten hebben nog geen beleid geformuleerd voor kleine windturbines in de gebouwde omgeving.
- Kijkend naar voorgaande conclusie en voorgaande deelvraag wordt aanbevolen dat de provincie beleid moet formuleren voor kleine windturbines zodat de problemen omtrent de vergunningverlening opgelost kunnen worden en dat de gemeenten een toetsingskader krijgen voor kleine windturbines in de gebouwde omgeving.

Probleemstelling: Op welke manier kan implementatie van kleine windturbines in de gebouwde omgeving gerealiseerd worden met inachtneming van de technische, economische en maatschappelijke haalbaarheid, alsmede het (huidige en/of nog te formuleren) beleid en regelgeving?

Als antwoord op de probleemstelling kan aangegeven worden dat kleine windturbines voor de gebouwde omgeving technologieën zijn die zeer goed toepasbaar zijn als vorm van decentrale duurzame energieopwekkers. Hierbij moet wel de kanttekening geplaatst worden dat het toepassingsgebied van kleine windturbines beperkter is dan vaak wordt geschetst. Toepassing moet in de gebouwde omgeving zoveel mogelijk op hogere gebouwen, dit vanwege betere opbrengsten en minimalisering van milieueffecten.

Kleine windturbines zijn jonge technologieën, waardoor veel gegevens onbetrouwbaar en aan veranderingen onderhevig zijn. Toch wijzen de ontwikkelingen erop dat deze gegevens in de toekomst gunstiger worden. Door de markt transparanter te maken door het genereren van betrouwbare gegevens wordt toepassing vergemakkelijkt en daarmee implementatie verbeterd.

Naast deze ontwikkeling van de technologie moet ook ontwikkeling nog plaatsvinden van de regelgeving en het beleid. Uit het onderzoek is gebleken dat met invulling van het provinciale beleid voor kleine windturbines in de gebouwde omgeving een groot deel van de vergunningenproblematiek opgelost kan worden.

Door invulling te geven aan het provinciale beleid op het gebied van Ruimtelijke Ordening en invulling van de milieuaspecten voor kleine windturbine in de gebouwde omgeving, wordt implementatie van kleine windturbines sterk verbeterd.

7.2 Beschouwing van de toegepaste theorie

Kijkend naar de theorie die toegepast is in dit onderzoek, te weten Strategisch Niche Management, kan een aantal punten met betrekking tot deze theorie genoemd worden. Ten eerste geeft de theorie een goede handreiking om tot een integraal beeld te komen van een bepaalde technologie. Met de multi-level analyse kan een goed beeld gevormd worden van het regime waarbinnen de technologie zich ontwikkelt en invloeden die hier plaatsvinden. Door de niche zelf in kaart te brengen en hiervan verschillende aspecten te onderzoeken naast alleen technologische aspecten wordt de problematiek ook inzichtelijk gemaakt. Door het in kaart brengen van experimenten en proefprojecten worden de verschillende knelpunten duidelijk. De oplossingen voor de problematiek worden echter vanuit de theorie achteraf verklaard. Dit maakt de theorie van SNM eerder geschikt voor evaluatie van trajecten die al doorlopen zijn dan voor trajecten die nog lopen. Met andere woorden: Het is moeilijk om met SNM gericht te sturen in een bepaalde richting.

Wanneer SNM bijvoorbeeld vergeleken wordt met een andere richtinggevende methode zoals Technology Assessment blijkt dat een dergelijke theorie er juist veel meer op gericht is richting te geven aan een bepaalde technologie. Hierbij moet wel vermeld worden dat SNM veel breder en ook grondiger naar een technologie kijkt, waardoor eerder minder voorziene problemen signaleerd worden (bijvoorbeeld vanuit het regime of het sociotechnisch landschap). Technology Assessment is in dit aspect veel meer technologiegedreven.

Toch vallen er verschillende gaten binnen de analyse van SNM, die in het kader van dit onderzoek toch belangrijk waren. Zo is aan de hand van Technology Assessment een sociale kaart geconstrueerd om de verschillende actoren binnen de niche in kaart te brengen en is het Pluto-effect toegepast om een kwalitatieve analyse uit te kunnen voeren voor de verschillende technologieën binnen de niche.

Al met al is de theorie van SNM geschikt gebleken voor dit afstudeeronderzoek, zij het met verschillende aanvullingen van andere theorieën en methoden.

7.3 Aanbevelingen

Dit afstudeeronderzoek heeft betrekking op kleine windturbines in de gebouwde omgeving waarbij specifiek is gekeken naar de plaatsing van kleine windturbines op gebouwen. Om het beeld van kleine windturbines compleet te maken is het van belang dat een soortgelijke studie gedaan wordt naar kleine windturbines buiten de gebouwde omgeving. Hierin zullen andere actoren een rol spelen, zoals boeren, beheerders van infrastructuur etc., en zullen andere knelpunten opgelost moeten worden.

Naast de algemene aanbevelingen zoals hierboven besproken worden er ook aanbevelingen gedaan aan specifieke doelgroepen, deze zijn grotendeels al geformuleerd in hoofdstuk 6, ook komen de aanbevelingen voort uit de conclusies uit paragraaf 7.1.

Aanbevelingen voor de provincie Noord-Brabant:

- Het is van belang dat het provinciaal beleid voor kleine windturbines in de gebouwde omgeving ingevuld wordt. Hierin moeten twee aspecten uitgewerkt worden: Ten eerste de Ruimtelijke Ordening, waardoor kleine windturbines in de bestemmingsplannen opgenomen kunnen worden. Ten tweede een provinciale verordening voor milieuaspecten van kleine windturbines, waarmee milieuaspecten voor kleine windturbines beoordeeld kunnen worden

Aanbevelingen voor gemeenten:

- Gemeenten moeten ook het beleid formuleren voor kleine windturbines in de gebouwde omgeving, om op een eenduidige manier om te kunnen gaan met aanvragen voor het plaatsen van kleine windturbines. Dit beleid kunnen zij opstellen naar aanleiding van de hoofdlijnen die de provincie ontwikkelt.

Aanbevelingen voor fabrikanten en adviesbureaus:

- Er moet een rekenmodel komen waarmee op een uniforme manier berekeningen voor kleine windturbine uitgevoerd kunnen worden. Uit het onderzoek blijkt dat een dergelijk model al grotendeels bestaat. Hiermee kan een duidelijk beeld geschept worden van de potentie van een kleine windturbine op een bepaalde locatie.
- Als vervolg op voorgaande aanbeveling moeten de technologieontwikkelaars betrouwbare en eenduidige gegevens genereren en vrijgeven van de turbines, om zo met het model ook betrouwbare berekeningen te kunnen maken.
- Naast theoretisch modellen moeten vooral ook praktijksituaties gerealiseerd worden om enerzijds het theoretisch model te verifiëren en anderzijds om draagvlak te kunnen creëren voor kleine windturbines, hiervoor gelden de credo's: 'zien is geloven' en 'meten is weten'.

Aanbevelingen specifiek voor Energie 2050:

- Het beleid van de provincie Noord-Brabant voor kleine windturbines moet ingevuld worden. Aanbevolen wordt dat de resultaten van dit onderzoek door Energie 2050 in ieder geval bij de provincie neergelegd worden. Daarnaast kan Energie 2050 met de resultaten van dit onderzoek de provincie hierbij helpen.
- Zoals al aangegeven is de markt van kleine windturbines nog erg ondoorzichtig. Waar vele partijen behoefte aan hebben is informatie over kleine windturbines. Energie 2050 kan met dit rapport de rol als informatieverstrekker vervullen, aan de hand van de resultaten uit dit onderzoek. De rol van Energie 2050 als informatieverstrekker over kleine windturbines in de gebouwde omgeving is al deels ingevuld door het organiseren van een themabijeenkomst over het onderwerp op 26 november 2003. Daarnaast kan Energie 2050 het rapport actief uitgeven aan belangstellenden en zeker ook aan de betreffende partijen en doelgroepen besproken in dit rapport.
- Daarnaast is het van belang dat er proefprojecten uitgevoerd worden om betrouwbare gegevens van kleine windturbines te kunnen genereren die de markt doorzichtiger maken. Energie 2050 kan de rol vervullen als initiator en trekker van deze proefprojecten.

Bronnen

Literatuur

Beaujean, P.R. en J. Meulenbeld. *Brabant voor de wind. Uitvoeringsnota Windenergie Noord-Brabant 2003-2006*. 's Hertogenbosch: Provincie Noord-Brabant, 2003.

Beaujean, P.R. *Windstilte in Noord-Brabant?* Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 2001).

Belastingdienst/Senter. *Energielijst 2003*. Breda: Belastingdienst / Zwolle: Senter, 2003.

Berg, Frits van den, Graaf, Richard de. *Hoge molens van veel wind II – geluidsbelasting door windturbines in de nacht*. Groningen: Natuurkunde Rijksuniversiteit Groningen (RuG), 2002.

Bie, Koos de. *Energie 2050 jaarverslag 2001*. Tilburg: Klijsen drukkerij, 2002.

Bochove, Jet van, Lucia Bakker en Hans Mulder. *Windenergie op zee*. Petten, Stichting We@Sea: 2003.

Bouwbesluit 2003 zoals gepubliceerd in staatsblad 2001, 410, zoals deze luidt na de wijzigingen, gepubliceerd in Staatsblad 2002, 203; Staatsblad 2002, 516 en Staatsblad 2002, 518.

Centrum Technologie voor Duurzame Ontwikkeling. *Technologie en duurzaamheid. (elektronisch dictaat)*. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 2001.

Donner, Mr. J.P.H. *Werken aan vertrouwen, een kwestie van aanpakken. Strategisch akkoord voor kabinet CDA, LPF, VVD*. Den Haag: Sdu Uitgevers, 2002.

Eijk, Addo van der. "Transitiedenken moet het onoplosbare oplossen." *Vakblad duurzame energie nr 4* (2003): 12-13.

Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN), *Het Kyoto protocol. Mijlpaal in een proces. 1^e hoofdstuk 'focus' in het Energie Verslag Nederland 1997*. Petten: Energieonderzoek Centrum Nederland.

Energie 2050, *Duurzame Energie Fonds Noord Brabant (2)*. 's Hertogenbosch: Energie 2050, 2003.

Farla, J.C.M., P.R. Beaujean, J. Meulenbeld. *Brabant voor de wind. Beleidsontwerp Windenergie Noord-Brabant 2002 (ontwerp)*. 's-Hertogenbosch: Servicecentrum Provincie Noord-Brabant, 2002.

Fischer, R.H. en Pas, J.W.G.M. van der. *Strategisch Niche Management en duurzame energie*. Eindhoven, 2003.

Gastel, Margot van. "(micro)-Warmte/kracht; veelbelovend voor de toekomst?!" *Sustain 2003 Seminar* (2003).

Geels, F., Kemp, R. *Transities van socio-technisch perspectief*. Universiteit Twente en MERIT, 2000.

Geels, Frank. *Understanding the Dynamics of Technological Transitions*. Enschede: Twente University Press, 2002.

Groningen, L.J. van en M. Tarrahi, *Stedelijke windturbines Den Haag. Case studie: Haagse Hogeschool*. Den Haag: Haagse Hogeschool, 2002.

Harink, M. *Windenergie op industrieterrein Moerdijk. De plaatsingsmogelijkheden* Nijmegen: Royal Haskoning, 2002.

Hoogma, Remco, René Kemp, Johan Schot, Bernhard Truffer. *Experimenting for Sustainable Transport*. New York: Spon Press, 2002.

Jehae, Michel. "Meer geld, meer aandacht. Regeringspartijen: Balkenende II doet het beter." *Opinieblad Natuur en Milieu* 6 (2003).

Kabinetsnota: 'Een wereld en een wil'. Nationaal Milieubeleidsplan 4. 2001.

Laag, P.C. van der, Ruijg, G.J. *Micro-warmtekrachtsystemen voor de energievoorziening van Nederlandse huishoudens*. Petten: ECN Schoon Fossiel, 2002.

Lakeman, L.G.J., D.J. Peters, K.M. Brüssau, R. Lichtenberg, H. Cleijne, R.J. Hoeve. *Opwekking van windenergie in de gebouwde omgeving*. Nijmegen: Royal Haskoning, 2002.

Louws, C.A. *Provincie Zeeland, beleidsvisie kleine windturbines*. Middelburg: Adviesbureau RBOI, 2003.

Marktverkenning Duurzame Energie. Uitvoeringsformat. Arnhem: Projectbureau Duurzame Energie, 2002.

Mertens, S. *The wind conditions at flat roofs for small wind turbines*. Delft: Delft University of Technology, Faculty Civil Engineering and Geosciences, Section Wind Energy, 2003.

Mertens, Sander. "Wind energy in urban areas." *ReFocus* March/April (2002): 22-24.

Mom, Gijs, "Conceptualising technical change: alternative interaction in the evolution of the automobile," in: Helmuth Trischler and Stefan Zeilinger (eds.), *Tackling Transport* (London: Science Museum, 2003) (Artefact series: studies in the history of science and technology, eds.: Robert Bud, Bernard Finn and Helmuth Trischler, Vol. 3): 9-46.

Muntslag, Arjaan, Hans van der Heide, Stefan de Boer en Thomas Beffers. *Micro W/K in huishoudens*. Amsterdam: Adviesgroep Vaillant, 2001.

Ouwehand, Bas. *Windenergie. Kleine windturbines*. Arnhem: Informatiecentrum Duurzame Energie, 2003.

Projectbureau Duurzame Energie, *Duurzame energie. Financiële stimuleringsmaatregelen*. Arnhem: Informatiecentrum Duurzame Energie, 2003.

Projectbureau Duurzame Energie, *Windenergie. Algemene informatie*. Arnhem: Informatiecentrum Duurzame Energie, 2003.

Raven, Rob. *Workshop Strategisch Niche Management voor Biomassa*. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, Faculteit Technologie Management, Sectie Technologie en Duurzaamheidsstudies, 2003.

Rogers, E.M. *Diffusion of innovations*. New York: Free Press, 1995.

Rotmans, Jan, René Kemp, Marjolein van Asselt, Frank Geels, Geert Verbong, Kirsten Molendijk. *Transities en transitiemanagement*. ICIS en MERIT, 2000.

Ruiter, L.A. de. *Haalbaarheidsstudie: Toepassing Windenergie op de hoofdzetel van VROM*. Den Haag: Rijksgebouwendienst/Advies&Architecten/Ingenieurs, 2003.

Smit, Wim A., Ellen C.J. van Oost. *De wederzijdse beïnvloeding van technologie en maatschappij*. Bussum: Uitgeverij Coutinho, 1999.

Swanborn, P.G. *Evalueren*. Amsterdam: Boom, 1999.

Verbong, Geert. *'De Nederlandse overheid en energietransities: een historisch perspectief.'* Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 2000.

Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM). *Milieulijst 2003*. Den Haag: Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 2003.

Voorter, Piet. "Einde energiepremie." *Stromen nieuwsblad 16* (2003): 1+3.

Weber, Matthias, Remco Hoogma, Ben Lane, Johan Schot. *Experimenting with Sustainable Transport Innovations. A Workbook for Strategic Niche Management*. Wierden: Promotioneel Drukwerk Services, 1999.

Weijer, Harmen. "Vraagstimulering groene stroom met ingang van 2005 geschrapt." *Stromen nieuwsblad 16* (2003): 1+3.

Wit, M.H. de. *Wind in de gebouwde omgeving*. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, Faculteit Bouwkunde, vakgroep FAGO, 2001. (Bewerking van *Wind en luchtverontreiniging in de gebouwde omgeving* door L.A. Wisse).

Ybema, J.R., R.A. van den Wijngaart, J.A. Annema, B.W. Daniels, A.T.J. Groot, R. Harmsen, H. Jeeninga. *Effecten van beleidswijzigingen Strategisch Akkoord op energiebesparing, duurzame energie en CO₂-emissies in 2010*. ECN, oktober 2002.

Geraadpleegde personen

In dit onderzoek zijn de volgende personen mondeling dan wel schriftelijk geïnterviewd:

Beaujean, ir. ing. P.R., ambtenaar dienst VELG, Provincie Noord-Brabant.

Boermans, M., account manager EnergyXS.

Bolscher, G.H ten, medewerker DWA.

Blaaij, drs. A. de, adjunct directeur, BAM Rail bv.

Cache, J, medewerker Rencom.

Hopman, H., directeur Prowin.

Jansen, ing. W.C.H.C., landelijke projectmanager energie, ministerie VROM.

Kragten, ing. A., directeur Kragten Design.

Kuikman, J., directeur Fortis windenergy.

Mertens, ir. S., promovendus TU Delft.

Meulenbeld, H., ambtenaar dienst VELG, Provincie Noord-Brabant.

Roelofs, ir. R., directeur WindWall bv.

Sidler, ir. D., directeur C.O.R.E. International en Turby bv.

Stevenhagen, W., directeur Stevenhagen Energie & Tractie.

Timmers, ir. G., business director Urban Turbines.

Wultsch, M., productiemanager duurzame energie, Essent.

Bijlage 1: definities bebouwde grond CBS

Bron: statline.cbs.nl, geraadpleegd op 12-5-2003. Hoofdgroep: milieu- en bodemgebruik → bodemgebruik in Nederland. Selectie: Onderwerp → bebouwde grond, regio → afzonderlijke regio's → Noord-Brabant, jaar → 1996. Via hyperlinks in de tabel worden de definities zichtbaar.

Woongebied

Tot het woongebied worden gerekend terreinen, die voornamelijk voor het wonen bestemd zijn, incl. primaire voorzieningen als winkels, scholen voor kleuter- en basisonderwijs en bijkantoren van o.a. banken, alsmede groenstroken, straten, parkeerplaatsen, grachten smaller dan 6 meter, erven, tuinen, trapveldjes en speelplaatsen. Wanneer woonwijken in bos zijn gesitueerd, wordt het gehele terrein als woongebied aangemerkt, d.w.z. indien er van een stratenpatroon sprake is. Lintbebouwing van overwegend niet-agrarische woningen wordt tot het woongebied gerekend zodra de afstand tussen de huizen onderling minder dan 50 meter bedraagt met een minimum van 5 woningen. Bij blokbebouwing mag de onderlinge afstand tussen de woningen maximaal 100 meter bedragen. Tot het woongebied worden eveneens gerekend woonwagenvelden (exclusief wrakkenopslagplaatsen > 0,1 ha), woonboothavens, service flats, studentenhuysvesting, woningen c.q. flats voor ziekenhuis personeel en studenten en bejaardenhuizen. Terreinen worden pas tot woongebied gerekend, nadat de woningen zijn opgeleverd.

Delfstoffenwinning

Hiertoe worden gerekend de terreinen die in beslag genomen worden, voor het winnen van grondstoffen bij zowel diepte- als oppervlaktewinning, zodra met de proefboring en met de exploitatie is begonnen. Ook tot een locatie behorende gebouwen, opslagplaatsen van winningproducten alsmede van afvalstoffen (bijv. mijnsteenbergen, uitgezonderd de beboste mijnsteenbergen van 1 ha en meer) worden eveneens hiertoe gerekend. De ontstane gaten in het terrein worden tot delfstoffenwinning gerekend, zolang dit de hoofdfunctie is. Zodra een gedeelte van het terrein een andere hoofdfunctie krijgt wordt het tot de desbetreffende categorie gerekend, zoals water met een recreatieve hoofdfunctie, dagrecreatieve objecten en terreinen, water en agrarisch gebruik. Terreinen, die al wel in concessie zijn gegeven (veen, grind enz.) maar waar de winning nog niet daadwerkelijk is begonnen worden niet tot de delfstoffenwinning gerekend. Tot grondstoffen worden gerekend aardgas, aardolie, gesteente, grind, klei, leem, mergel, veen, zand (niet de winning in bestaande meren, plassen en rivieren) en zout.

Bedrijfsterreinen

Hiertoe worden gerekend bedrijven en terreinen (inclusief de bijbehorende op- en overslagterreinen, parkeerterreinen, magazijnen, dienstwoningen, werkstraten en kantoorgebouwen, vloeivelden e.d.) zoals fabrieken, haventerreinen, veilingen, tentoonstellingsterreinen, veemarkten (al dan niet overdekt), groothandelscomplexen, opslagterreinen voor de handel (ook grondverwerkende bedrijven) en garages (incl. parkeergarages). De reeds door deze bedrijven aangekochte, gehuurde of in erfpacht genomen reserve- en uitbreidingsterreinen worden eveneens tot de bedrijfsterreinen gerekend, voor zover deze grenzen aan bestaande bedrijfsterreinen en voor zover deze al zijn onttrokken aan het oorspronkelijke gebruik. Niet tot deze categorie behoren braakliggende al dan niet bouwrijpe bedrijfsterreinen, terreinen waarop door bedrijven een optie is genomen, maar die nog niet zijn uitgegeven, havenbekkens, tichelgronden van steenfabrieken en niet meer in gebruik zijnde bedrijfsterreinen.

Dienstverlenende sector

Tot deze categorie behoren bedrijfsterreinen in de dienstverlenende sector zoals winkelcentra (ook al wordt daarboven gewoond), banken, verzekeringsmaatschappijen, ministeries, gemeentehuis (stadskantoor), kantoor openbare werken enz., grenskantoren (douane enz.), provinciehuis, politiebureaus, brandweerkazernes, rechtbanken, gevangenissen, goederenmarkten (indien twee of meer dagen per week voor dit doel in gebruik), bedrijven in de

horecasector, garages van busmaatschappijen, laboratoria. Niet tot deze categorie behoren zijn de laboratoria, welke vallen onder de categorie 'sociaal-culturele voorzieningen' (onderwijs, ziekenhuizen, gerechtelijke laboratoria), 'overige openbare voorzieningen' (waterleidingbedrijven, waterzuiveringsinstallaties) en 'industrie'.

Overige openbare voorzieningen

Hiertoe worden gerekend nutsbedrijven (gas, water, elektriciteit, stadsverwarming en centrale antenne-inrichtingen) inclusief de daarbij behorende terreinen, waterzuiveringsinstallaties en vuilverbrandingsinstallaties, alsmede de slibvelden, vloeivelden (behalve die behoren bij industrie) en opslagplaatsen, opslagterreinen ten behoeve van Rijk, Provincie en Gemeente (o.a. gemeentewerf) m.u.v. opslagterreinen voor het onderhoud van wegen, opslagterreinen van slib (bijv. baggerspecie en havenslib), militaire objecten, zoals munitiedepots, kazernes, mobilisatiecomplexen, radarposten en schietbanen exclusief de militaire oefenterreinen (deze worden tot natuurlijk terrein gerekend).

Sociaal-culturele voorzieningen

Hiertoe worden gerekend onderwijs (excl. kleuter- en basisonderwijs, dat wordt gerekend tot woongebied), internaten, conferentieoord, ziekenhuizen, sanatoria, verpleeghuizen, psychiatrische ziekenhuizen, inrichtingen voor zwakzinnigen, verzorgingstehuizen, kerken, kloosters, musea (ook voor het publiek toegankelijke kastelen), excl. openluchtmusea, schouwburgen, bioscopen, concert- en congresgebouwen; culturele centra, wijkgebouwen, verenigingsgebouwen, jeugdsociëteiten en sociale werkplaatsen. Ook de bijbehorende voorzieningen zoals parkeerplaatsen en tuinen worden tot de sociaal-culturele voorzieningen gerekend. Bossen behorend bij deze voorzieningen worden als bos aangemerkt als zij 1 ha of groter zijn.

Begraafplaats

Terrein in gebruik voor begraven en cremieren. Tot begraafplaats wordt gerekend:

- terrein voor het begraven van mensen of dieren;
- crematorium;
- bijbehorende gebouwen, parken, tuinen, parkeerterreinen en bos- of heesterstroken.

Bouwterrein

Terrein in gebruik als bouwlocatie. Tot bouwterrein wordt gerekend:

- terrein waarop wordt of zal worden gebouwd;
- braakliggende grond in bedrijfsterrein.

Sportterrein

Terrein in gebruik voor sportactiviteiten. Tot sportterrein wordt gerekend:

- terrein voor veldsport incl. draf- en rensport, golfterrein;
- zwembad, (kunst)ijsbaan;
- sporthal en manege;
- permanente motorcrossbaan (ook provisorisch ingericht);
- bijbehorende tribunes, parkeerterreinen en bos- of heesterstroken;
- bos voor zover gelegen in het sportterrein.

Dagrecreatief terrein

Terrein in gebruik voor dagrecreatie. Tot dagrecreatief terrein wordt gerekend:

- dagcamping;
- dierentuin en safaripark;
- sprookjestuin;
- pretpark;
- openluchtmuseum;
- jachthavens excl. het water, maar inclusief terrein voor aanverwante bedrijvigheid, met een minimale oppervlakte van 0,1 ha;

- bijbehorende parkeerterreinen en bos- of heesterstroken.

De volgende terreinen worden eveneens tot deze categorie gerekend als ze geen deel uitmaken van park en plantsoen:

- speeltuinen;
- picknickplaatsen;
- hertenkampen;
- kinderboerderijen;
- midgetgolfterreinen;
- speelweiden.

Bijlage 2: Werkingsprincipes kleine windturbines

Inleiding

Windturbines kunnen op verschillende manieren onderscheiden worden. Zo bestaat er het onderscheid tussen turbines met een horizontale as (HAT of HAWT¹⁷⁴) en turbines met een verticale as (VAT of VAWT¹⁷⁵). Ook kan onderscheid gemaakt worden tussen turbines gebaseerd op liftkracht of weerstandskracht. Deze laatstgenoemde verdeling geldt hoofdzakelijk voor VAT's, omdat HAT's hoofdzakelijk gebaseerd zijn op liftkracht. Op het gebied van de HAT's bestaat er dus weinig structurele variatie, namelijk de HAT van het standaardtype gebaseerd op het liftprincipe. Op het gebied van de VAT's bestaat er echter wel variatie. Zo zijn er de Darrieusturbine en de H-rotor, beide VAT's gebaseerd op het liftprincipe, echter wel structureel anders. Daarnaast is er ook de Savoniuusturbine, een VAT gebaseerd op het weerstandsprincipe. In deze bijlage zullen de werkingsprincipes van deze verschillende turbintypen globaal besproken worden, teneinde een beeld te geven van de verschillen tussen deze turbines.

Horizontale asturbine

Een HAT heeft, zoals de naam aangeeft, een horizontale as waar aan één zijde een rotor bevestigd is. Het aantal rotorbladen kan variëren van twee (een zogeheten tweewieker) tot zeer veel (zoals in een zogeheten Amerikaanse molen, die er twaalf heeft). De turbine is gebaseerd op het liftprincipe, wat betekent dat de rotor sneller draait dan de windsnelheid¹⁷⁶. Een grotere snellopendheid betekent dat de turbine aërodynamische beter presteert, wat een hoger rendement oplevert. Dit theoretisch rendement van een HAT ligt op maximaal 59%. Een nadeel van de hogere snellopendheid is dat er ook meer geluidsproductie zal zijn.

Een HAT vangt wind uit één richting, namelijk het vlak dat de bladen van de turbine beslaat. Dit betekent dat een HAT in de wind gedraaid moet worden. Grote HAT's worden met een kruisysteem in de wind gedraaid, terwijl bij kleine HAT's vaak een vaan ervoor zorgt dat de turbine zich in de wind draait (zie figuur 4.5 in hoofdstuk 4). Bij kleine HAT's kost het dus minder energie om de turbine in de wind te draaien, maar zowel bij grote als kleine turbines kost het in de wind



Figuur A: Een typische HAT.

draaien tijd, wat dus ook opbrengsten kost. Uit voorgaande is evident dat de opbrengsten van een HAT in een turbulente omgeving verminderen. De gebouwde omgeving is een turbulente omgeving (zie bijlage 3), waardoor de kleine HAT's hier slechter functioneren.



Figuur B: Een Darrieus turbine.

Verticale asturbine: Darrieus en H-rotor

Een Darrieus turbine is een VAT waarbij de rotorbladen boven en onder aan een rechtopstaande as bevestigd zijn, waardoor geronde bladen ontstaan (zie figuur B). Er worden voornamelijk twee rotorbladen gebruikt bij de grotere Darrieus turbines en drie bij de wat kleinere (zoals de Neoga, die kort besproken is in hoofdstuk 4).

Een H-rotor, of Heidelberg turbine is ook een VAT waarbij rechte rotorbladen evenwijdig aan een rechtopstaande as aan deze as bevestigd zijn (zie figuur C). Het is een doorontwikkeling van de Darrieus turbine, waarbij het middenstuk van de Darrieus turbine

¹⁷⁴ Horizontale As (Wind) Turbine.

¹⁷⁵ Verticale As (Wind) Turbine.

¹⁷⁶ Dit is de zogeheten snellopendheid van de turbine, deze wordt uitgedrukt in λ .

gehandhaafd is (waar de meeste energie opgewekt wordt), en de rest is weggelaten.

Beide turbines zijn gebaseerd op het liftprincipe, wat betekent dat de rotor sneller draait dan de windsnelheid. Het theoretisch rendement van een VAT, gebaseerd op het liftprincipe, ligt op maximaal 59%. Traditionele VAT's gebaseerd op het liftprincipe hebben vaak last van het zogeheten helikoptergeluid, wat ontstaat doordat de verticaal opgestelde rotorbladen bij de rotatie continu van kracht wisselen (naar buiten en binnen gericht). De nieuwere VAT's gebaseerd op het liftprincipe, zoals de Turby en de WindWall (wat in feite een liggende VAT is), hebben de bladen schuin aangebracht. Hierdoor vindt de krachtwisseling op de bladen niet in één keer, maar continu plaats, waardoor het helikoptergeluid (het klapperen) is teruggebracht tot ruis.

Het grootste voordeel van een VAT is dat de turbine windt uit alle richtingen kan vangen, zonder hiervoor in de wind te moeten draaien. Door deze eigenschap is de VAT zeer geschikt voor gebruik in een turbulente omgeving, en dus ook de gebouwde omgeving.



Figuur C: Een H-rotor.

Verticale asturbine: Savonius

Een Savonius turbine is een VAT die eigenlijk geen echte rotorbladen heeft, maar meer windvangende vlakken heeft. Deze vlakken kunnen verschillende vormen aannemen zoals halve bollen (als in een cup-anemometer, die vaak drie halve bollen heeft) of twee halve cilinders. De Savonius turbine komt in vele vormen voor (zie figuur D voor een voorbeeld).



Figuur D: Een Savonius turbine.

De turbine is gebaseerd op het weerstandsprincipe. Dit houdt in dat de turbine wind vangt zoals een zeil dat doet. De turbine gaat draaien omdat het 'zeil' vooruit geduwd wordt. Een Savonius turbine draait dus nooit (veel) sneller dan de windsnelheid, met andere woorden; de snellopendheid is nagenoeg 1. Door deze lage snellopendheid is het maximale rendement ook laag, maximaal 19%. Voordeel van deze turbine is dat er ook weinig geluid geproduceerd wordt, en de krachten en trillingen zijn een stuk lager dan bij turbines die op het liftprincipe gebaseerd zijn. Een ander voordeel is dat een Savonius turbine niet gestart hoeft te worden, wat wel moet bij liftturbines.

De Savonius turbine is ook een turbine die uit alle richtingen wind kan vangen.

Bijlage 3: wind in de gebouwde omgeving

Inleiding

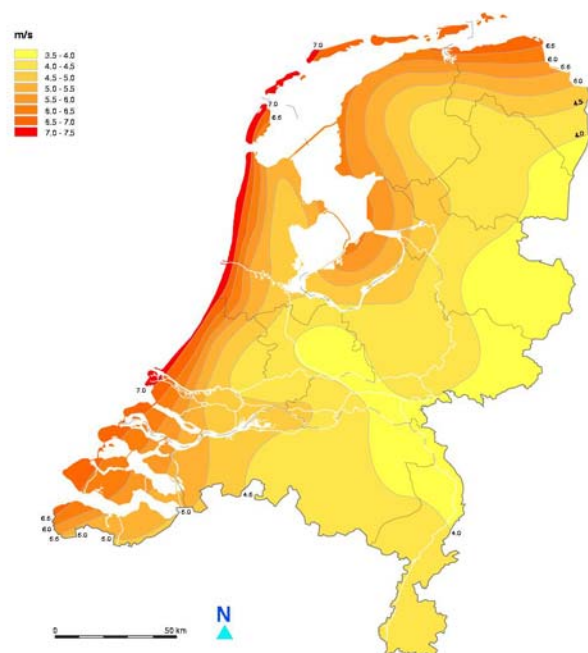
Dit onderzoek gaat over windturbines in de gebouwde omgeving. Hierin worden kleine windturbines besproken en de werking hiervan. Deze turbines kunnen echter alleen werken als de wind waait. In deze bijlage zal wat dieper op wind ingegaan worden. Besproken zal worden wat de gemiddelde windsnelheid is in Nederland en Noord-Brabant in het bijzonder. Ook zal kort toegelicht worden hoe hard nu eigenlijk een windsnelheid van 13 m/s is, of wat men moet voorstellen bij windkracht 7. Hiervoor is een tabel opgenomen.

Naast wind in het algemeen zal kort toegelicht worden hoe wind zich in de gebouwde omgeving gedraagt. Dit zal slechts een globaal beeld zijn, maar het geeft wel degelijk inzicht in hoe moeilijk het is te bepalen hoeveel wind er boven de gebouwde omgeving waait. Hieruit blijkt ook dat het moeilijk is de opbrengsten van kleine windturbines in de gebouwde omgeving in te schatten.

Wind algemeen

De klimatologie beschrijft met welke kans windsnelheden voorkomen als functie van temperatuur, neerslag, windrichting, etc. Figuur E geeft de gemiddelde potentiële windsnelheid in Nederland. Hieronder verstaat men de wind die zou waaien op 10 meter hoogte als ter plaatse de windmeter op een groot terrein zou staan met ruwheidslengte¹⁷⁷ van 0,03 meter, dit is een de ruwheid van gras. Uit de figuur is op te maken dat de gemiddelde windsnelheid boven Noord-Brabant tussen de 4 en 5 meter per seconde ligt. Dit ter illustratie, de gemiddelde windsnelheid is namelijk voor de meeste toepassingen onvoldoende informatie¹⁷⁸.

De figuur geeft namelijk alleen de gemiddelde windsnelheid. Uit de figuur is niet op te maken uit welke richting de wind komt, en hoe de frequentieverdeling van de verschillende windsnelheden en windrichtingen is. Uit het dictaat van De Wit (2001)¹⁷⁹ komt naar voren dat deze verdeling zeer scheef is, en dat deze verdeling niet is weer te geven aan de hand van een normale of Gaussische verdeling. Hiervoor zijn nieuwe frequentieverdelingen ontwikkeld, zoals de Weibull-verdeling. Uit deze verdeling kan opgemaakt worden hoe de frequentieverdeling van de windsnelheid eruit ziet, echter nog steeds niet uit welke richting deze wind komt. Daarnaast kan de lijn van de frequentieverdeling hoger of lager liggen, afhankelijk van de locatie (dit valt ook uit figuur 1 op te maken: richting de kust waait het gemiddeld harder, dus ligt de frequentieverdeling van de windsnelheden ook hoger). Uit voorgaande blijkt dat het zeer moeilijk te bepalen is hoeveel wind met welke snelheid uit welke richting waait. Veel gegevens komen voort uit historische meetgegevens die op verschillende plaatsen in Nederland gemeten zijn. In deze paragraaf is nog niet gekeken naar het gedrag van wind in de gebouwde omgeving, hierover zal een en ander in de volgende paragraaf beschreven worden.



Figuur E: Gemiddelde windsnelheid in Nederland (KNMI).

¹⁷⁷ Het begrip ruwheidslengte zal later (kort) toegelicht worden.

¹⁷⁸ M.H. de Wit. *Wind in de gebouwde omgeving* (Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, Faculteit Bouwkunde, vakgroep FAGO, 2001), 59.

¹⁷⁹ De Wit, *Wind in de gebouwde omgeving*, 60-62.

Ter informatie is in tabel 1 een conversietabel opgenomen van windsnelheden en ook is een toelichting weergegeven, dit om een beeld te krijgen van de verschillende windsnelheden.

Bft	Benaming	m/s	knopen	km/u	Kenmerken
0	Windstil	<0.2	< 1	< 1	Rook stijgt (recht) omhoog
1	Zwakke wind	0.3-1.5	1-3	1-5	Rookpluimen geven richting aan
2	Zwakke wind	1.6-3.3	4-6	6-11	Bladeren ritselen
3	Matige wind	3.4-5.4	7-10	12-19	Bladeren, twijgen voortdurend in beweging
4	Matige wind	5.5-7.9	11-16	20-28	Stof en papier dwarrelen op
5	Vrij krachtige wind	8.0-10.7	17-21	29-38	Takken maken zwaaiende bewegingen
6	Krachtige wind	10.8-13.8	22-27	39-49	Grote takken bewegen
7	Harde wind	13.9-17.1	28-33	50-61	Bomen bewegen
8	Stormachtige wind	17.2-20.7	34-40	62-74	Twijgen breken af
9	Storm	20.8-24.4	41-47	75-88	Takken breken af, dakpannen waaien weg
10	Zware storm	24.5-28.4	48-55	89-102	Bomen worden ontworteld
11	Zeer zware storm	28.5-32.6	56-63	103-117	Uitgebreide schade bossen en gebouwen
12	Orkaan	>32.6	>63	>117	Niets blijft meer overeind

Tabel A: Conversietabel windsnelheden met toelichting (KNMI)

Wind boven de gebouwde omgeving

De gemiddelde windsnelheid zoals weergegeven in figuur E in de vorige paragraaf was gebaseerd op een hoogte van 10 meter op een open grasvlakte. Dit gold ook voor de frequentieverdeling die genoemd werd. De windsnelheid hangt echter van meer factoren af, waaronder de al genoemde hoogte. Het waait dus harder op grotere hoogten. Ook de vorm van het aardoppervlak heeft invloed op de windsnelheid. Dit is de zogeheten ruwheid¹⁸⁰. Deze is verdeeld in een aantal ruwheidsklassen waarmee gerekend kan worden. Hier zal verder niet op ingegaan worden; deze berekeningen gaan te diep voor dit onderzoek. Wel kunnen een aantal voorbeelden genoemd worden van ruwheid: de kleinste ruwheid is een open zee of plas, middelmatige ruwheid zijn grote obstakels als bomenrijen, lage boomgaarden, etc. De hoogste ruwheidsklasse is een stadskern, dit is precies de plek waarnaar gekeken is in dit onderzoek. De ruwheid van het aardoppervlak bepaalt de mate van remming van de windsnelheid. Dit betekent dus dat in de gebouwde omgeving de wind maximaal geremd wordt. Het moge duidelijk zijn dat een kaart als figuur E voor de ruwheid het aardoppervlak een zeer versnipperd uiterlijk heeft.

Het berekenen van windsnelheid in de gebouwde omgeving is moeilijk, vanwege de grote ruwheid. Hierdoor is de windsnelheid laag bij de grond een lokale parameter, en dus niet algemeen te bepalen. Ook op gebouwdaken is het moeilijk de algemene eigenschappen van de windstroom te bepalen. Uit onderzoek van Mertens (2003)¹⁸¹ is gebleken dat de windsnelheid op hogere gebouwen voorspeld kan worden aan de hand van een theoretisch model. Hierbij moet wel vermeld worden dat dit theoretisch model alleen ingevuld kan worden wanneer verschillende parameters van de locatie bekend moeten zijn, zoals gebouwen in de omgeving, ruwheid van de omgeving, afstand tot de rand van de gebouwde omgeving, de gemiddelde windsnelheid, etc. Ook uit voorgaande blijkt nogmaals dat niet zomaar een opbrengst van een kleine windturbine geschat kan worden.

Ten slotte kan nog iets gezegd worden over het verloop van luchtstromen langs en over een gebouw. Binnen het vakgebied van de bouwkunde zijn al veel studies gedaan naar het gedrag van wind om gebouwen en wind in de gebouwde omgeving¹⁸². Hierbij is enerzijds gekeken naar maximale windbelastingen die kunnen optreden op een gebouw, dit ten behoeve van de bouwconstructie. Anderzijds is vooral ook gekeken naar windstromen om een gebouw ten behoeve van het leefklimaat. Met andere woorden: welke invloed heeft de vorm van een gebouw of de vorm van de gebouwde omgeving in het algemeen op het leefklimaat van de bewoners, kijkend naar de windstromen die veroorzaakt worden door deze gebouwde omgeving. Deze studies hebben vele gegevens opgeleverd die veelal in illustraties weergegeven zijn¹⁸³. Uit deze gegevens valt ook op te maken hoe wind zich gedraagt boven gebouwen. Aan de hand van figuur F zullen een tweetal eigenschappen besproken worden die

¹⁸⁰ De Wit, *Wind in de gebouwde omgeving*, 16-19.

¹⁸¹ S. Mertens, *The wind conditions at flat roofs for small wind turbines* (Delft: Delft University of Technology, Faculty Civil Engineering and Geosciences, Section Wind Energy, 2003).

¹⁸² De Wit, *Wind in de gebouwde omgeving*.

¹⁸³ Voor vele voorbeelden: De Wit, *Wind in de gebouwde omgeving*, 49-58 en 61-70.



Figuur F: Strooming over een gebouw loodrecht op de windrichting
(De Wit, 45)

belangrijk zijn voor het plaatsen van kleine windturbines op gebouwen. Als eerste vind windconcentratie plaats aan de dakrand waar de wind vandaan komt. Dit wordt ook wel windstuwung genoemd, wat uitgebreid onderzocht is aan de TU Delft¹⁸⁴. Door deze stuwung is de opbrengst hoger. De tweede

eigenschap die genoemde kan worden is dat de windlijnen vanaf de dakrand een paraboolvorm krijgen. Alleen wind boven deze lijn is bruikbaar. Onder deze lijn is de wind namelijk turbulent, dat wil zeggen dat de strooming een wervelend, statistisch karakter¹⁸⁵ heeft. Door deze fluctuaties in de windsnelheid en windrichting kan er geen energie uit de windstroom gehaald worden. Het is daarom belangrijk de windturbine boven dit turbulent gebied te positioneren.

¹⁸⁴ Mertens, *The wind conditions*.

¹⁸⁵ De Wit, *Wind in de gebouwde omgeving*, 12.

Bijlage 4: Opbrengstenberekeningen turbines

In deze bijlage zijn de berekeningen weergegeven die uitgevoerd zijn door ir. Sander Mertens. De berekeningen van de WindWall zijn niet meegenomen, omdat deze gegevens niet beschikbaar waren.

Energy yields of some wind turbines on the roof of a building¹⁸⁶ in a city¹⁸⁷ and in a rural area¹⁸⁸

Author: Sander Mertens (e-mail: s.mertens@citg.tudelft.nl), Delft University of Technology, The Netherlands

The wind turbine data

The energy yields are based on the following data of the wind turbines which are partly taken from the manufacturers (on 04-10-2003) and partly from assumptions when data were not or only partly available.

	Turby	Windwall 1200 (3 units)	Provane 5	Windside (WS4)	Fortis Montana
Cut in wind speed [m/s]	4	x	2	2	2
Rated wind speed [m/s]	13	x	10	14	17
Cut out wind speed [m/s]	18	x	16	60 ^a	25
Rated power [kW]	2500	x	2000	1200	5800
Rotor area [m ²]	6	x	19.6	4	19.6
Power coefficient ^b [.]	0.28	x	0.20	0.16 ^c	0.24
Wind turbine location	e	x	e	e	e

a) This is a very high (non economic) cut out wind speed but the effect on the energy yield at this site is negligible because such high wind speeds have low occurrence at this site

b) The value of the power coefficient is calculated from the power at wind speed 8 [m/s], the wind speed with the highest energy density at this roof at $z_0 = 1$ [m] and $z_0 = 0.03$ [m].

c) This power coefficient is according to the power curve given by the manufacturer but it is probably too high for an overall efficiency of a Savonius like wind turbine.

d) 1m above roof edge, the location with the highest wind speed for wind perpendicular to the building façade.

e) 5m above the roof center, just above the separation bubble

The calculated energy yield

The decrease in power coefficient for skewed flow is calculated with a factor $\cos^3\phi$ for wind with an angle ϕ to the rotor axes of the wind turbine except for Turby where Mertens [1] measured an increase of the power coefficient with a factor 1.5 for skewed wind at $\phi = 20^\circ$. According to Mertens [2] and the above mentioned wind turbine data we then have the following energy yields of the wind turbines (E_U for uniform and E_w for non uniform wind with a wind rose as measured in Beek, The Netherlands). The capacity factor is mentioned between brackets.

	Yearly MWh/m ²	Turby	Windwall 1200 (3 units)	Provane 5	Windside (WS4)	Fortis Montana
$z_0 = 1$ [m]	E_U	0.23 (0.06)	x	0.16 (0.18)	0.14 (0.05)	0.21 (0.08)
	E_w	0.23 (0.06)	x	0.16 (0.18)	0.14 (0.05)	0.21 (0.08)
$z_0 = 0.03$ [m]	E_U	0.65 (0.18)	x	0.29 (0.32)	0.30 (0.12)	0.43 (0.17)
	E_w	0.66 (0.18)	x	0.28 (0.31)	0.30 (0.11)	0.43 (0.16)

¹⁸⁶ Building dimensions $l \times b \times h = 30 \times 10 \times 20$ [m].

¹⁸⁷ Location Utrecht, The Netherlands, assumed roughness length $z_0=1$ [m], calculated yearly averaged velocity at 10 [m] height, 3.3 [m/s].

¹⁸⁸ Location Utrecht, The Netherlands, assumed roughness length $z_0=0.03$ [m], calculated yearly averaged velocity at 10 [m] height, 5.0 [m/s].

Conclusions

The highest yearly energy yield per square meter is achieved by Turby. Although this is not a profound measure for quality, it is certainly an indication for the suitability of Turby for roof operation. Compared to common values of the capacity factor of 0.25, the capacity factor of all small wind turbines (except the Provane 5) is too small. A bigger rotor area by the same generator size seems more economic since this increases the yearly operating hours.

References

- [1] Mertens, S., Keynote at the SWH conference (see www.swhconf.com/abstracts/SWH03_K_SMertens_1.pdf), Segovia, Spain, 2003
- [2] Mertens, S., The wind conditions at flat roofs for small wind turbines, EWEC, Feria de Madrid, Spain, 16 - 19 June 2003
- [3] www.turby.nl, www.windwall.nl, www.prowin.nl, www.windside.com, www.fortiswindenergy.com