



Windmolens

Kracht met toekomst



Naam: Pascal Rottier
Klas: V6F
Vakken: Natuurkunde & Economie
Inleverdatum: 15 januari 2003

Inhoudsopgave

	Blz.
Titelpagina	1
Inhoudsopgave	2
Voorwoord	3
Inleiding	3
Hoofdstuk 1	4
§1.1 De geschiedenis van de windenergie wereldwijd	4
§1.2 De geschiedenis van de windenergie in Nederland	5
Hoofdstuk 2	6
§2.1 Waaruit bestaat een windmolen?	6
§2.2 Het vermogen en de gemiddelde jaarproductie	7
Hoofdstuk 3	9
§3.1 De kosten van een windmolen	9
§3.2 Fiscale en andere stimuleringsmaatregelen van de overheid	9
§3.3 De benodigde vergunningen voor het plaatsen van een molen	11
Hoofdstuk 4	12
§4.1 Hoe ga ik het onderzoek verrichten?	12
§4.2 Het eerste deel van het onderzoek	12
§4.3 Het tweede deel van het onderzoek	12
§4.4 Het derde deel van het onderzoek	16
Hoofdstuk 5	17
§5.1 Hoe kunnen we ons de situatie voorstellen?	17
§5.2 De lening	17
§5.3 De kosten en de opbrengsten	18
§5.4 De winst en de ROI	19
Conclusie	21
Notenlijst	21
Literatuurlijst	22
Overige bronnenlijst	23
Bijlagen	23
Bijlage 1 De windkaart van Nederland	23
Bijlage 2 Het interview	24
Bijlage 3 De lineaire aflossing	25

Profielwerkstuk Windmolens *kracht met toekomst*

Pascal Rottier

© havovwo.nl

januari 2003

Voorwoord

Het voortbestaan van de aarde gaat ons allen aan. Verspilling van grondstoffen en vervuiling van het milieu, veelal om economische motieven, komen helaas dagelijks voor. Weinig mensen maken zich er schijnbaar zorgen om en hoe langer we wachten met ingrijpen, hoe groter en ernstiger de gevolgen worden voor het milieu. Ik vind dat daar verandering in moet komen, het liefste zo snel mogelijk.

Overheid, bedrijven, instellingen en burgers: de hele samenleving draagt verantwoordelijkheid voor onze dierbare aarde, en ik ook. Daarom wil ik met dit verslag laten zien hoe, zonder aan economische waarde in te boeten, toch een bijdrage kan worden geleverd aan een schonere wereld.

Dit werkstuk zou niet tot stand zijn gekomen zonder de medewerking en de inzet van twee personen, die ik hierbij zou willen noemen en bedanken: allereerst dhr. Scherders, van wie ik enkele bedrijfsgegevens heb mogen overnemen en die zo vriendelijk is geweest om mijn vragenlijst in te vullen. Daarnaast ben ik dhr. Schoorel dankbaar, die mij gedurende de afgelopen maanden begeleid en geadviseerd heeft.

Inleiding

De club van Rome verkondigde in 1972: de fossiele brandstofbronnen zullen voor het jaar 2100 uitgeput zijn als de mensheid zo doorgaat! De wereld reageerde geschokt. Het duurde echter tot 1973, ten tijde van de oliecrisis, voordat men pas echt inzag hoe afhankelijk de samenleving was geworden van deze brandstoffen. Het werd tijd om van energiebeleid te veranderen, en zich te richten op andere, duurzamere energiebronnen. Bepaalde energieprojecten, zoals het onderzoek naar het gebruik als brandstof van waterstof en helium (van de maan), zijn nog voor de verre toekomst. Andere, meer toereikende, duurzame energiebronnen zijn daarentegen ook nu al te gebruiken. Eén van die bronnen is: *windenergie*.

Maar waarom is, naast de bovengenoemde reden, de ontwikkeling van windenergie zo essentieel? We leven vandaag de dag in een wereld, waarin de vraag naar energie met de dag groter wordt, en daarmee de druk op het milieu ook. Het is dus van vitaal belang om windenergie, dat niet milieubelastend is, verder te ontwikkelen om de druk op het milieu te verkleinen, voordat het te laat is.

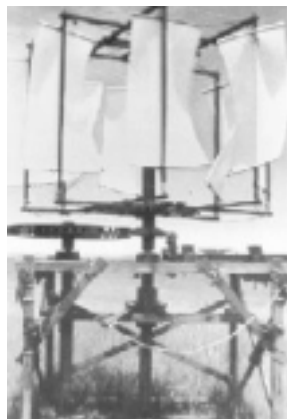
Deze ontwikkeling zou in de gehele samenleving moeten plaatsvinden; zo ook in de agrarische sector, waar relatief veel energie wordt gebruikt en waar er nog genoeg ruimte over is om grote windmolens te bouwen. Het probleem is echter dat niet iedere agrarische ondernemer zomaar een windmolen op zijn akker wil laten bouwen. Het is dus zaak de agrarische ondernemers te stimuleren en te motiveren om voor windenergie te kiezen. En hier spitst mijn onderzoek zich op toe: hoe kan ik het beste windenergie, als alternatieve energiebron, aan agrarische ondernemers presenteren?

Om hier achter te komen is het allereerst nodig de plaats en het belang van windenergie in de maatschappij te kennen. Dit is alleen mogelijk als je de geschiedenis van de windenergie in de wereld en in Nederland kent (hoofdstuk 1). Vervolgens is het noodzakelijk om te weten hoe een windmolen werkt (hoofdstuk 2), waaruit hij bestaat (hoofdstuk 2) en welke kosten er aan een windmolen verbonden zijn (hoofdstuk 3). Als dat allemaal gedaan is, kunnen de kosten van verschillende typen windmolens worden berekend (hoofdstuk 4). Een interview met een agrarische ondernemer zal uiteindelijk duidelijk maken hoe deze tegenover duurzame energie en windmolens staat, of hij verbaasd is door de resultaten van het onderzoek, en of hij overtuigd is om een windmolen aan te schaffen (hoofdstuk 4). Tenslotte, in het laatste hoofdstuk, zal ik proberen aan te tonen dat een dergelijk project financieerbaar is (hoofdstuk 5).

Hoofdstuk 1

De geschiedenis van de windenergie

§1.1 De geschiedenis van de windenergie wereldwijd



figuur 1

Het oudste bekende gebruik van windenergie is de zeilboot. De technologie waarop zeilschepen berustten had een enorme impact op de ontwikkeling van de latere windmolens.

De eerste bekende windmolens zijn ontwikkeld door de Perzen rond het jaar 500 na Christus. Deze hadden als doel het malen van graan of het oppompen van water. Deze windmolens hadden een verticale as met verticaal geplaatste zeilen. Een namaakmodel van zo'n molen ziet u in onderstaande figuur 1. In China zijn overigens ook dergelijke windmolens, met een verticale as, gevonden. Er wordt zelfs gedacht dat de windmolen in China 'geboren' is. Er zijn echter geen bewijzen gevonden van het bestaan van deze 'oudste' windmolens: het eerste bewijs in China dateert pas uit 1219 na Christus. Overigens werd ook deze molen gebruikt voor het malen van graan.

In 1270 ontstonden de eerste westerse windmolens, die een horizontale as hadden. De reden waarom de molens in het westen ineens deze horizontale as hebben gekregen is niet bekend. Een verklaring zou kunnen zijn dat de westerlingen erachter waren gekomen dat een molen met een horizontale as veel efficiënter werkt dan een molen met een verticale as. Een andere, waarschijnlijker, reden is dat de westerlingen het idee van de horizontale as hebben overgenomen van hun eigen waterraderen, die ook zo'n as hadden.



figuur 2

Deze eerste 'westerse molens' hadden 4 wieken, gemonteerd op een centraal geplaatste paal. Er werd een houten tand-op-wiel constructie gebruikt om een slijpsteen te laten draaien. De technologie die bij deze molens werd gebruikt was ongeveer even geavanceerd als de technologie die werd gebruikt door de Perzen.

In 1390 hebben de Nederlanders de 'toren molen' verbeterd, die al iets eerder rond de Middellandse Zee was ontstaan (figuur 2)¹. De Nederlandse 'toren molen' (figuur 3)¹ bestond uit een stenen toren met verschillende verdiepingen. Een verdieping voor het graan, een andere voor het malen van het graan, weer een andere voor de opslag van het gemalen graan en tenslotte een voor de molenaar en zijn gezin. Aan deze toren werden vervolgens houten wieken geplaatst.



figuur 3

De efficiëntie van de Nederlandse molens lag vele malen hoger dan die van de Perzische molens. Er wordt ook wel gezegd dat deze molens de 'elektrische motor' waren van het pre-industriële Europa.

Tijdens de industriële revolutie, rond 1800 kreeg de windenergie echter een concurrent: stoom. Deze nieuwkomer veroorzaakte het verdwijnen van de windmolens in Europa. In Amerika echter, werden nog wel windmolens gebruikt. Sterker nog: er werden zelfs nieuwe molens ontwikkeld. Daarbij werd de nadruk gelegd op kleine molens, voor kleinschalig gebruik (figuur 4)¹. Ze hadden over het algemeen stalen bladen en een staart om in de goede positie te staan. Het succes van deze molen blijkt uit het volgende: tussen 1850 en 1870 werden in de Verenigde Staten ruim 6 miljoen van deze kleine windmolens geplaatst. De kleine Amerikaanse windmolen had tot en met het einde van de 19e eeuw nog succes.

Aan het begin van de 20e eeuw werd er geëxperimenteerd met grote windmolens. Een voorbeeld daarvan is een windmolen, bedacht door de Amerikaan Brush. Deze molen had een diameter van ruim 17 meter en had een staart die ongeveer even lang was. Het succes van deze windmolen bleef echter uit.

Ook andere pogingen om grote windmolens te fabriceren kenden niet het succes van de kleine Amerikaanse windmolens.

Profielwerkstuk Windmolens *kracht met toekomst*

Pascal Rottier

© havovwo.nl

januari 2003



figuur 4

Het 'overlijden' van de windmolen in de Verenigde Staten heeft in feite twee oorzaken: het ging slecht met de Amerikaanse economie en de vraag naar stroom was in het begin van de 20^e eeuw enorm toegenomen.

Na de Tweede Wereldoorlog steeg de vraag naar windenergie weer enigszins, aangezien dat de toevoer van de fossiele brandstoffen moeilijk verliep als gevolg van de oorlog. Deze hernieuwde vraag naar windenergie was echter van korte duur.

De echte wederopleving van de windenergie vond in 1973 plaats. De aanleiding hiervan was de oliecrisis. Onderzoek naar en gebruik van duurzame energie nam weer enorm toe. Hiervan profiteerde natuurlijk de windenergie.

§1.2 De geschiedenis van de windenergie in Nederland

Voordat de stoommachine werd uitgevonden was wind de belangrijkste energiebron voor schepen en molens. Doordat deze rond 1600 intensief werden gebruikt kon de Hollandse economie van de grond komen.

De houtmolens verzaagden planken voor de scheepswerven, waar het ene schip na het andere schip werd gebouwd. Met deze zeilschepen kon men naar de andere kant van de wereld varen, waardoor de handel in exotische producten en grondstoffen, zoals koffie, thee, specerijen en slaven, op gang kon komen. Naast deze houtmolens waren er ook molens die ervoor zorgden dat het water van laag naar hoog werd gepompt. Dit maakte het mogelijk dat de Nederlanders plassen en hele stukken zee konden veranderen in polders. Weer andere molens leverden de energie voor een veelzijdige nijverheid: meel malen, hout zagen voor huizenbouw en scheepswerven, olie persen, gort en rijst pellen, van vodden papier maken en het malen van verfstoffen, mosterd, kriet, hennep, cacao, schuurpoeder en blauwsel. Daarnaast trokken de molens ook industrie aan van aanverwante bedrijven als anker- en kettingsmederijen en zeildoekweverijen, mastenmakerijen, en scheepsbesluitbak-kerijen. Streken als de Zaan, met een grote 'molen-dichtheid', groeiden al snel uit tot industriële centra.



figuur 5

In de 19^e eeuw werd de windenergie echter ook in Nederland vervangen door de kracht van stoom en de molens verdwenen op den duur uit het Nederlandse landschap. De molens die zijn overgebleven staan nu vrijwel allemaal op de monumentenlijst. Dit is niet altijd zo geweest: er was een tijd waarin ze werden

gezien als rustverstoorders en natuurbedervers. Dit kwam vooral door het lawaai van de molens, maar ook door landschapverstoring. Er werden zelfs complete wandeltuinen, theekepeltjes en tunnels van groen gebouwd om dit laatste tegen te gaan. Pas later, toen de molens plaats hadden gemaakt voor de fabriekscomplexen, ging men het heengaan van de molens betreuren.

De oliecrisis van 1973 deed de belangstelling voor windenergie in Nederland echter weer helemaal opleven. Toen bleek namelijk hoe afhankelijk we ons hadden gemaakt van kolen, gas en olie. Het werd tijd om het energiebeleid te wijzigen en op zoek te gaan naar andere, duurzame energievormen. Het onvermijdbare vond plaats: windenergie werd herontdekt.

Profielwerkstuk Windmolens *kracht met toekomst*

Pascal Rottier

© havovwo.nl

januari 2003

Hoofdstuk 2 Waaruit bestaan windmolens en wat leveren ze op

§2.1 Waaruit bestaat een windmolen?

Windmolens zijn tegenwoordig zeer ingewikkelde apparaten. Ze bestaan uit verschillende onderdelen. In deze paragraaf zal ik de belangrijkste onderdelen opnoemen evenals hun functie. Deze onderdelen zijn overigens ook in de illustratie op deze pagina (figuur 6)² aangegeven.

De rotor:

De moderne windturbine bestaat uit een rotor met twee of drie wieken of bladen. Ze worden gemaakt uit polyester versterkt met glasvezels of koolstofvezels of uit een hout-epoxy combinatie. Op de markt zijn bladen verkrijgbaar van 1 m, voor kleine windmolentjes, tot 30 m voor de heel grote molens van 1500 kW. Deze bladen zijn gemonteerd op een stalen tussenstuk, de naaf.

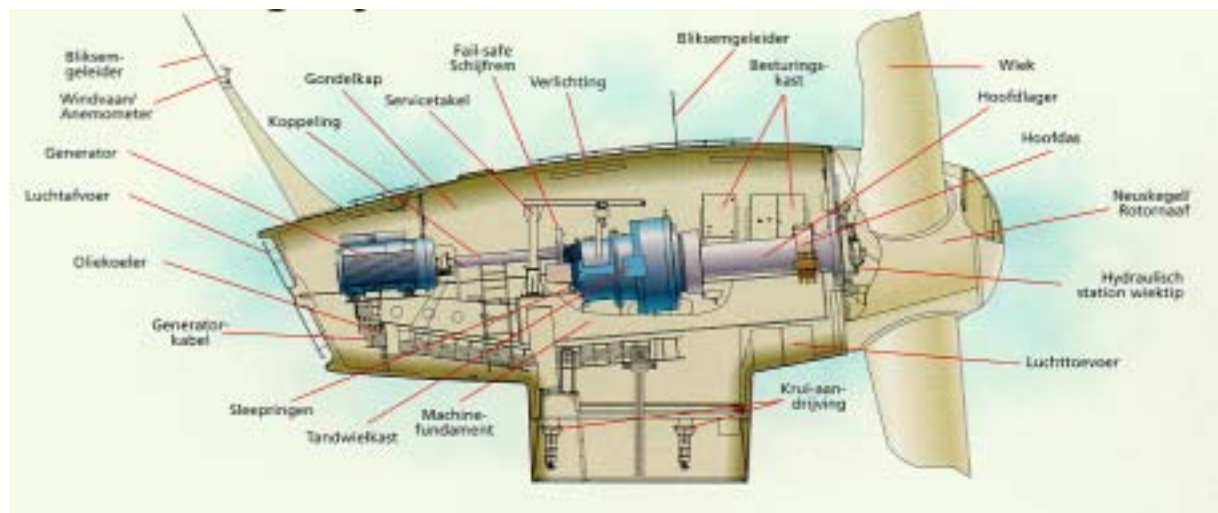
Maar hoe komt het nou dat deze rotor gaat draaien bij wind? Een moderne windmolen werkt op het liftprincipe. Dit is overigens hetzelfde principe dat ervoor zorgt dat vliegtuigen vliegen. Wanneer we een vleugelprofiel bekijken zien we dat de bovenkant boller is dan de onderkant, waardoor de 'bovenstroom' een langere weg moet afleggen dan de 'onderstroom'. Dit zorgt voor een opwaartse kracht: de liftkracht.

De doorsnede van een wiek of blad van een windturbine is ook een vleugelprofiel. Wanneer er wind waait, ontstaat er een liftkracht, waardoor de wieken gaan draaien.

De gondel:

De gondel kan beschouwd worden als de machinekamer van de windturbine. De gondel is draaibaar gemonteerd bovenop de meestal stalen toren, dit om de rotor in de goede windrichting te plaatsen of te 'kruien'. Dit gebeurt volledig automatisch door gebruik te maken van een hydraulisch of elektrisch aandrijfsysteem en wordt gestuurd door de windvaan op de gondel.

Deze machinekamer is via de toren bereikbaar en bevat alle belangrijke componenten zoals de hoofdas, de tandwielkast, de generator, de remmen en het kruisysteem.



figuur 6

De hoofdas

De rotornaaf is bevestigd aan de hoofdas die via de lagers alle krachten die inwerken op de rotor overbrengt op de structuur. Deze hoofdas brengt het koppel over naar de tandwielkast. Bij turbines kleinere kleiner dan 400 kW maakt de hoofdas soms deel uit van de tandwielkast.

De tandwielkast

De tandwielkast verhoogt het toerental van de rotor naar het noodzakelijke generator toerental. Een 1000 KW windmolen van 52 m diameter draait ongeveer 20 omwentelingen per minuut en de generator 1500 omwentelingen per minuut.

Profielwerkstuk Windmolens *kracht met toekomst*

Pascal Rottier

© havovwo.nl

januari 2003

De generator

Een moderne windturbine levert zijn stroom aan het openbare net. Dit gebeurt met een generator.

De rem:

Windmolens zijn zeer veilig uitgevoerd door middel van een aërodynamisch remsysteem. Voor noodsituaties of voor het parkeren van een turbine voor een onderhoudsbeurt is meestal een schijfrem voorzien.

Het kruisysteem:

Waar vroeger de molenaar de windgiek handmatig bediende om de molen in de wind te kruien, gebeurt dit nu volledig automatisch. Net zoals bij een torenkraan drijft een hydraulische of elektrische motor, de kruimotor, met een klein tandwiel een grote tandkrans aan om zo de gondel in de goede windrichting te plaatsen.

§2.2 Het vermogen en de gemiddelde jaarproductie van een windturbine

Bij windenergie wordt de kinetische energie in de wind door middel van de rotorbladen en een generator omgezet in elektrische energie.

Newton heeft ons geleerd dat een massa in beweging een hoeveelheid energie in zich heeft. Deze energie is evenredig met de massa en het kwadraat van de snelheid. Deze wet geldt ook voor lucht in beweging. De snelheid is dan gelijk aan de luchtsnelheid en de massa is gelijk aan de massa van het luchtvolume dat per seconde door de rotor stroomt. Deze massa moeten we ons voorstellen als een grote cilindervormige schijf met als oppervlakte het rotoroppervlak. De lengte van deze cilinder is evenredig met de windsnelheid. Hieruit leiden we een belangrijke eigenschap van de werking van windmolens af: als de snelheid van de lucht twee keer zo groot wordt, wordt de energie-inhoud 8 keer zo groot.

Om een nog beter beeld te krijgen van wat hierboven is verteld moeten we een formule opstellen voor het vermogen P van bewegende lucht (dus wind). Het vermogen P kunnen we als volgt omschrijven:

$$P = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Hierin is:

P	het vermogen in Nm/s of Watt
m	de luchtmassa in kg/s
v	de snelheid van de lucht in m/s

De massa van de lucht door de rotor per seconde kan echter ook anders worden omschreven, namelijk op de volgende manier:

$$m = \rho \cdot A \cdot v$$

Hierin is:

m	de luchtmassa in kg/s
ρ	de dichtheid van lucht in kg/m ³ (=1,23)
A	de rotoroppervlakte in m ²
v	snelheid van de lucht in m/s

Als we beide formules samenvoegen ontstaat er de volgende formule:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

Het vermogen dat ook daadwerkelijk wordt overgedragen aan de windturbine, het *as-vermogen*, wordt echter berekend met een andere formule. Het *as-vermogen* hangt namelijk ook af van de vorm en grootte van de wieken en de rest van de molen, het materiaal waarvan de wieken en de rest van de molen zijn gemaakt, de snelheid van de wind en van de wrijvingskrachten. Vooral dat laatste is heel erg belangrijk. Dat blijkt ook uit het diagram (figuur 7)³. Daarin is de zogenaamde *vermogenskarakteristiek* te zien (hoeveel procent van het maximaal haalbare vermogen bij welke windsnelheid wordt geleverd).

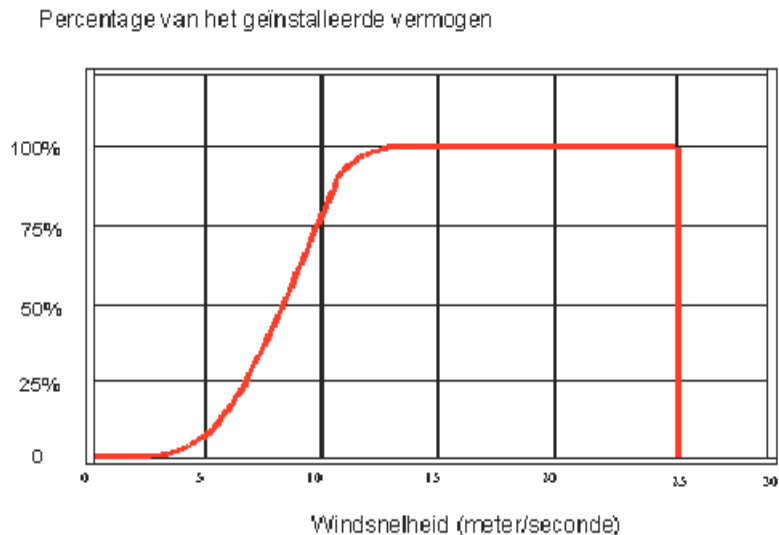
U kunt zien dat bij een snelheid van 1 m/s er nog geen vermogen wordt geleverd door deze molen. Dit komt door de wrijvingskrachten: er is een bepaalde hoeveelheid windenergie nodig om de rotor überhaupt te laten draaien. Deze energie wordt in dit geval bij 3 m/s geleverd: de rotor begint te draaien.

Profielwerkstuk Windmolens *kracht met toekomst*

Pascal Rottier

© havovwo.nl

januari 2003



figuur 7

Verder kunnen we uit de grafiek aflezen dat bij een windsnelheid van ongeveer 12 a 13 m/s het maximaal haalbare vermogen wordt geleverd. Bij extreem hoge snelheden (in dit geval rond de 25 m/s) is het te gevaarlijk om de rotor nog te laten draaien. De gondel wordt uit de wind gedraaid, waardoor er geen vermogen meer wordt geleverd.

Er kan nu een nieuwe formule worden opgesteld, ditmaal voor de gemiddelde jaaropbrengst van de windmolen:

$$E_{jr} = C \cdot V^3 \cdot A$$

Hierin is:

- E_{jr} de gemiddelde jaarproductie in kWh.
 C de opbrengstfactor of Beurskensfactor; dit is een maat voor het totale rendement van de turbine. De waarde van C wordt lager naarmate de gemiddelde windsnelheid hoger is en varieert in Nederland van 2,8 aan de kust tot 3,6 in het binnenland. Voor een gemiddelde windlocatie in Nederland en een goede turbine kan hiervoor 3,4 worden ingevuld. De opbrengstfactor is voor elke windmolen verschillend.
 V de jaargemiddelde windsnelheid in meters per seconde op ashoogte. . Deze varieert in Nederland van maximaal ca. 8,5 m/s op 60 meter hoogte aan de kust ⁴ tot 3 m/s op 30 meter hoogte in het binnenland. Een kaartje van de windsnelheden in Nederland kunt u vinden in bijlage 1.
 A het rotoroppervlak in vierkante meters.

Hoofdstuk 3 De economische, fiscale en rechtelijke aspecten van windmolens

§3.1 De kosten van een windmolen

Windenergie is op veel plaatsen in Nederland rendabel. Dit geldt zeker voor de locaties in de buurt van de kust of het IJsselmeer. Voor meer landinwaarts gelegen locaties kan een rentabiliteitsstudie duidelijkheid verschaffen. Bij deze studies wordt nader ingegaan op de financiële aspecten van wind-energieprojecten. Zo heb je niet alleen te maken met *investeringskosten*, maar ook met bijvoorbeeld de *exploitatiekosten*.

De investeringskosten:

Voor de kosten van een windturbineproject kan een richtlijn van $\text{i } 1150,-$ per kW geïnstalleerd vermogen ⁵ worden gehanteerd. Een voorbeeld: de investering per windmolen van 2,0 MW bedraagt zo'n $2000 * \text{i } 1150,- = 2,3$ miljoen euro.

De exploitatiekosten:

De exploitatiekosten kunnen we onderdelen in verschillende kostenposten. De belangrijkste zijn: afschrijving, rente, onderhoud, verzekeringen, belastingen en eventuele grondhuur. De jaarlijkse kosten voor onderhoud, verzekeringen en belastingen liggen tussen de 3 en 5 procent van de investeringskosten ⁵. In het hierboven gegeven voorbeeld zullen deze kosten ongeveer tussen de $\text{i } 69.000,-$ en de $\text{i } 115.000,-$ liggen. Als we aannemen dat een windmolen een levensduur heeft van ongeveer 20 jaar ⁶, heeft dat als gevolg dat de totale kosten voor verzekeringen, onderhoud en belastingen tussen de $\text{i } 1.380.000,-$ en de $\text{i } 2.300.000,-$ liggen. De precieze exploitatiekosten zijn natuurlijk erg moeilijk te berekenen, omdat ze van zeer veel (externe) factoren afhangen. Het is zelfs zo dat deze exploitatiekosten per windmolen en per jaar verschillend zijn. Een voorbeeld van de complexiteit: harde wind zorgt voor hogere energieopbrengsten tot aan een bepaald maximum, echter ook voor oplopende onderhoudskosten. Stelt u zich daarbij ook eens een zware storm voor. Deze storm is zo hevig, dat een wiek van een windmolen afbreekt. Deze wiek moet natuurlijk worden vervangen. De exploitatiekosten van deze windmolen zullen als een gevolg hiervan explosief stijgen. Alhoewel exploitatiekosten dus niet precies te voorspellen zijn, kunnen we ze wel goed inschatten.

§3.2 Fiscale en andere stimuleringsmaatregelen van de overheid

Tot 1996 stimuleerde de overheid de implementatie van windenergie vooral door het verstrekken van een directe kapitaalsubsidie voor projecten. Deze subsidies waren behoorlijk en bedroegen circa 30% van de investeringskosten. Vanaf 1996 is het subsidiestelsel vervangen door een pakket van indirecte fiscale regelingen voor duurzame energie, en dus ook voor windenergie.

In de sfeer van investeringen bestaan er de *VAMIL* (Willekeurige Afschrijving Milieu-investeringen), de *EIA* (Energie Investeringsaftrek) en de *EINP* (Energievoorziening In de Non-Profit en bijzondere sectoren). De precieze uitwerking van deze fiscale regelingen is afhankelijk van een aantal factoren waaronder de fiscale winst van de investerende onderneming. Daarnaast is het via Groenfondsen mogelijk om voor windenergieprojecten goedkoper geld te lenen op de kapitaalmarkt.

De overheid stelt fiscale faciliteiten en enkele subsidies ter beschikking om investeringen in windenergieprojecten te bevorderen. De belangrijkste zijn:

Regulerende Energie Belasting (REB):

De energiedistributiebedrijven innen Regulerende EnergieBelasting (REB) op conventioneel opgewekte elektriciteit en dragen deze af aan het rijk. Voor kleinverbruikers bedraagt de REB 12,11 NGL-cent per kWh in 2001 (tabel 1)⁷. De REB voor duurzaam geproduceerde elektriciteit is lager. Het verschil bedraagt 4,27 NGL-cent per kWh in 2001 (tabel 2)⁸ en moet worden betaald, doorgesluisd, aan de producenten van duurzame elektriciteit. De REB en daarmee ook het doorsluisstarief zijn de laatste jaren door de overheid sterk verhoogd zoals weergegeven in onderstaande tabel. De verwachting is dat ook de komende jaren de REB nog aanzienlijk verhoogd zal worden.

Profielwerkstuk Windmolens *kracht met toekomst*

Pascal Rottier

© havovwo.nl

januari 2003

Electriciteit [ct/kWh]	1996	1997	1998	1999	2000	2001
0-800 kWh	0	0	0	0	0	12,11
800-10000 kWh	2,95	2,95	2,95	4,95	8,2	12,11
10000-50000 kWh	2,95	2,95	2,95	3,23	3,54	3,85
50000-10 miljoen kWh	0	0	0	0,22	0,48	0,74
> 10 miljoen kWh	0	0	0	0	0	0

Tabel 1: Stijging REB in Nederlandse NGL-ct/kWh over de jaren voor consumenten

Jaar	REB doorsluisstarief [ct/kWh]
1998	2,95
1999	3,23
2000	3,54
2001	4,27

Tabel 2: REB doorsluisstarief in Nederlandse NGL-ct/kWh over de jaren

Energie-InvesteringsAftrek (EIA):

De EIA-regeling is een fiscale faciliteit voor ondernemers. Afhankelijk van het geïnvesteerde bedrag kunnen ondernemers 40%-50% hiervoor voor belasting in mindering brengen op de winst. Deze wetgeving geldt dus alleen voor producenten van windenergie die hun gewonnen energie aan andere mensen verkopen.

VAMIL:

Een ondernemer kan zijn investeringen in windenergie op elk willekeurig moment fiscaal afschrijven, desnoods in één jaar. Dit kan in bepaalde situaties een voordeel opleveren. Ook deze wetgeving geldt alleen voor producenten van windenergie die hun gewonnen energie aan andere mensen verkopen

Groen beleggen:

Dividend en rente die worden bereikt met beleggingen in milieuprojecten, waaronder windenergie, zijn vrijgesteld van belasting. Daardoor kan voor windenergieprojecten relatief goedkoop geld worden geleend.

Subsidieregeling Energievoorziening Non-profit en Bijzondere Sectoren (EINP):

Deze regeling komt in grote lijnen overeen met de EIA-regeling. De faciliteit bestaat uit een subsidie. Alleen natuurlijke personen kunnen beroep doen op de regeling.

CO₂-reductieplan:

Dit plan is een uitvloeisel van de internationale afspraken, die in Kyoto zijn gemaakt over de reductie van CO₂-emissie. Het plan biedt de mogelijkheid voor een subsidie aan grote windenergieprojecten. Men krijgt subsidie per vermeden ton CO₂. Uiteindelijk bedraagt de subsidie ongeveer 5% van de investering.

Specifieke subsidieregelingen:

Voor de ontwikkeling en inzet van duurzame energie zijn naast genoemde fiscale instrumenten nog een aantal specifieke subsidieregelingen van toepassing zoals het Besluit Subsidies Energieprogramma's (BSE), het Besluit subsidies Economie, Ecologie en Technologie (EET) en een subsidie voor grote (windenergie)projecten in het kader van het CO₂-reductieplan met een tender op subsidie per vermeden ton.

§3.3 De benodigde vergunningen voor het plaatsen van een windturbine

Het bouwen van een (grote) windturbine gaat natuurlijk niet zomaar. Er komen vele vergunningen en regelingen bij kijken. In deze paragraaf bespreek ik er een paar.

De bouwvergunning:

Elke gemeente maakt een bestemmingsplan van bepaalde gebieden. Dit zijn plannen waarin staat hoe het landschap er ongeveer uit moet komen te zien. Ook elke provincie maakt dergelijke plannen, de zogenaamde streekplannen. Beide overheden bekijken of een windmolen of meerdere windmolens passen in hun bestemmingsplan en streekplan. Vaak houdt het bestaande bestemmingsplan van een gemeente geen rekening met windenergie. De gemeente kan echter door het starten van een zogeheten 'artikel 19' afwijken van het bestemmingsplan. De provincie moet voor deze afwijkingsprocedure een verklaring van geen bezwaar afgeven. Voor deze verklaring moet de gemeente op haar beurt weer een onderbouwing geven, zoals een ruimtelijke visie voor windenergie.

Milieuvergunning:

Windmolens kunnen hinder opleveren voor de directe omgeving. Ze produceren geluid en de draaiende wieken veroorzaken schaduwwerking. Om deze reden moet de exploitant een milieuvergunning aanvragen. In het kader van de milieuvergunning beoordeelt de gemeente ook of er van een toelaatbaar veiligheidsrisico sprake is. Als er woonbebouwing in de directe omgeving van de molen aanwezig is, moet de exploitant een *akoestisch rapport* overleggen, met daarin gegevens over de geluidsbelasting ter plaatse van de woningen. Ook moet de exploitant gegevens aanleveren over de schaduwwerking van de molen en de eventuele hinder voor vogels.

Bezwaren:

De plannen voor het plaatsen van windmolens in een gebied kunnen veel bezwaren oproepen. Daardoor kunnen de procedures voor het verkrijgen van de benodigde vergunningen sterk worden vertraagd. Het is dan ook van belang om al in een vroeg stadium met alle betrokkenen (collega-boeren, omwonenden, de gemeente, het energiebedrijf, de milieubeweging) een draagvlak voor het project te creëren.

Meestal moet voor de termijn die ligt tussen de bekendmaking van het initiatief bij de gemeente tot het moment van oplevering worden gerekend op 1 tot 3 jaar. Dit geldt indien de gemeente de locatie als windenergielocatie in het bestemmingsplan heeft staan. Is dit niet het geval, dan moet worden uitgegaan van 3 tot 5 jaar.

Profielwerkstuk Windmolens *kracht met toekomst*

Pascal Rottier

© havovwo.nl

januari 2003

Hoofdstuk 4 Het onderzoek

§4.1 Hoe ga ik het onderzoek verrichten?

Het onderzoek bestaat uit drie delen. Allereerst ben ik gaan onderzoeken hoe de huidige stroomvoorziening is geregeld van een bepaalde boerderij. Uit verschillende gegevens, verstrekt door de eigenaar van dit boerenbedrijf, heb ik kunnen opmaken hoeveel stroom deze onderneming het afgelopen jaar heeft verbruikt en hoeveel dit heeft gekost.

Vervolgens ben ik gaan onderzoeken wat de beste manier is om zo'n windturbine te exploiteren. Ik heb twee mogelijkheden onderzocht: of de ondernemer laat een relatief kleine windmolen zetten alleen voor eigen gebruik; of de ondernemer verenigd zich met andere gelijkwaardige boeren om tegen dezelfde kosten per man een hele grote windmolen te kopen voor het gebruik van hun allen. Hierbij ben ik er vanuit gegaan dat de agrarische ondernemer(s) geen lening hoefde(n) af te sluiten.

Ten slotte heb ik aan een agrarische ondernemer gevraagd wat zijn mening was over de resultaten van mijn onderzoek en of hij bereid zou zijn een windmolen te laten bouwen. Dit heb ik gedaan met behulp van een interview.

§4.2 Het eerste deel van het onderzoek

Het eerste deel van het onderzoek heb ik uitgevoerd zoals in §4.1 is besproken. Ik ben in contact geraakt met een agrarische ondernemer. Deze is zo vriendelijk geweest om mij zijn stroomverbruik en zijn daaraan verbonden kosten mede te delen.

De resultaten van het eerste deel van mijn onderzoek, het bepalen van de huidige stroomvoorziening van een boerderij, is verwerkt in tabel 3. De gegevens zijn afkomstig van het bedrijf Maatschap Scherders.

	Daluren	Piekuren	Samen
Prijs per kWh	i 0,04667	i 0,08764	i 0,06756 *
Aantal kWh	23017 kWh	23945 kWh	46962 kWh
Totale kosten	i 1074,20	i 2098,54	i 3172,74

Tabel 3: Het verbruik van het bedrijf Maatschap Scherders in 2001

Het verbruik kunnen we dus stellen op zo'n 50.000 kWh per jaar met een gemiddelde kostprijs per kWh van i 0,06756.

* Dit bedrag is berekend door de totale kosten te delen door het totale aantal kWh.

§4.3 Het tweede deel van het onderzoek

Het betreffende bedrijf staat in een dorp, Moergestel, waar de gemiddelde windsnelheid op 10 meter hoogte 5 m/s bedraagt. Er zijn nu twee keuzes. Of dit bedrijf laat een relatief kleine windmolen bouwen voor eigen gebruik. Of dit bedrijf verenigd zich met anderen om een grote windmolen te exploiteren. Beide mogelijkheden ga ik onderzoeken.

Profielwerkstuk Windmolens *kracht met toekomst*

Pascal Rottier

© havovwo.nl

januari 2003

Een eigen windmolen X:

Als er per jaar 50.000 kWh nodig is, zal er per dag $50.000/365 = 137$ kWh nodig zijn. En als er 137 kWh per dag nodig is, zal er $137/24 = 5,71$ kWh per uur nodig zijn. Het gemiddeld geleverde vermogen moet dus 5,71 kW zijn. Maar aangezien het vermogen dat wordt gebruikt, slechts een klein percentage is van het maximale vermogen, moeten we dus eerst het maximale vermogen berekenen.

Uit figuur 7 kunnen we aflezen dat bij een windsnelheid van 5 m/s slechts 10% van het maximale vermogen echt wordt geleverd. In ons geval is 5,71 (het effectieve vermogen) dus de 10%, en is het maximale vermogen van onze imaginaire windmolen X dus 57,1 kW.

De investeringskosten van deze windmolen X zullen we berekenen op de manier waarop dat in §3.1 is gedaan, dus i 1150,- maal het aantal kW geïnstalleerd vermogen. Dit is slechts een richtlijn, maar desondanks komt het wel enigszins overeen met de werkelijkheid.

Dus: $i 1150,- * 57,1 = i 65.665,-$. De exploitatiekosten per jaar bedragen 3 a 5 % van de investeringskosten. Voor het gemak nemen we het gemiddelde van beide percentages, dus 4%. $0,04 * 65.665,- = i 2.626,60$ per jaar. De totale kosten bedragen na 20 jaar dus $i 65.665,- + 20 * i 2.626,60 = i 118.197,-$. Per jaar is dat dus gemiddeld i 5.909,85. Hiervoor krijgt de exploitateur 50.000kWh. De prijs van 1 kWh is dus: $i 5.909,85/ 50.000 = i 0,11820$.

Het huidige bedrag dat gemiddeld wordt betaald per kWh is gelijk aan i 0,06756. Dit betekent dat als het bedrijf Maatschap Scherders over zou stappen naar windenergie, de kostprijs per kWh zou stijgen met $(0,11820/0,06756 * 100\%) - 100 = 75,0 \%$.

Verder is de kans groot dat de aanschaf van zo'n windmolen wordt gesubsidieerd door de overheid (zie paragraaf 3.2) en dat geld relatief goedkoop kan worden geleend, door middel van het 'groen beleggen' (zie paragraaf 3.2).

Een gedeelde windmolen Y:

De windsnelheid is op 10 meter aan de kust is ongeveer 6 m/s. Op 60 meter hoogte echter, bedraagt deze 8,5 m/s. Dus: als er in Moergestel een windmolen Y wordt gebouwd met een ashoogte (zie figuur 8)⁹ van 60 meter, zal deze meer wind vangen dan als de ashoogte een stuk lager was geweest. We kunnen de windsnelheid op 60 meter hoogte met behulp van verhoudingen berekenen (zie tabel 4).

	Hoogte = 10 meter	Hoogte = 60 meter
Windsnelheid aan de kust	6,0 m/s	8,5 m/s
Windsnelheid Moergestel	5,0 m/s	???? m/s

Tabel 4: Verhoudingstabel over windsnelheid op 60 meter hoogte in Moergestel

Door middel van deze verhoudingstabel kunnen we benaderen hoe hard het op 60 meter in Moergestel moet waaien, namelijk: $5,0 * 8,5 / 6,0 = 7,0$ m/s. Uit figuur 7 kunnen we afleiden dat bij 7,0 m/s 20% van het maximaal haalbare vermogen ook daadwerkelijk wordt geleverd. Een windmolen met een ashoogte van 60 meter heeft al gauw een maximaal leverbaar vermogen van 300 kW. Het gemiddelde afgeleverde vermogen van onze windmolen Y is dan 20% van 300 kW = 60 kW. In een uur wordt dus geleverd: 60 kW * 1 = 60 kWh. In 1 dag wordt dan geleverd: 60 kWh * 24 = 1440 kWh. In het hele jaar wordt dan geleverd: 1440 kWh * 365 = 525.600 kWh. Als een gemiddeld bedrijf in Moergestel 50.000 kWh verbruikt, betekent dat, dat windmolen Y stroom kan leveren voor '10½' bedrijven.

De kosten berekenen we weer op de manier van §3.1, dus i 1150,- maal het aantal kW geïnstalleerd vermogen, in het geval van windmolen Y dus 300kW. Dus: $i 1150,00 * 300 = i 345.000,-$. Daarbij moeten de kosten voor onderhoud, reparatie, verzekeringen en voor belastingen worden bijgerekend. Deze bedragen ongeveer 4% per jaar. Dus: 4% van i 345.000,- = i 13.800,- per jaar. De levensverwachting van een windmolen is ongeveer 20

Profielwerkstuk Windmolens *kracht met toekomst*

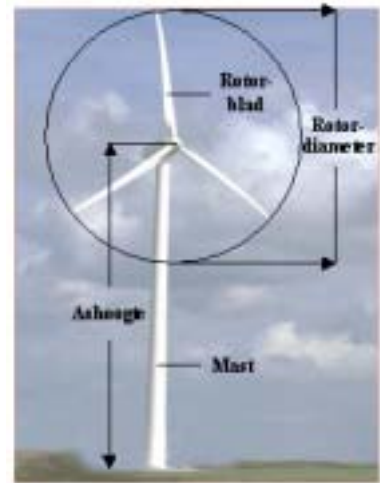
Pascal Rottier

© havovwo.nl

januari 2003

jaar, dus de totale variabele kosten na 20 jaar zijn: $20 * i 13.800,- = i 276.000,-$. De totale kosten na 20 jaar zijn dus $i 345.000,- + i 276.000,- = i 621.000,-$. Per jaar bedragen de kosten voor $10\frac{1}{2}$ onderneming dus $1/20 * i 621.000,- = i 31.050,-$. Voor 1 onderneming, die 50.000 kWh verbruikt, zijn de kosten per jaar dus: $i 31.050,- / 10,5 = i 2957,14$. De prijs per kWh is dus: $i 2957,14 / 50.000 = i 0,05914$. Dit is $|(0,05914/0,06756 * 100\%) - 100| = 12,5\%$ lager dan de prijs per kWh die nu wordt betaald, en dus een stuk voordeliger.

De resultaten van het tweede deel van het onderzoek heb ik in tabel 5 verwerkt.



figuur 8

	Maximaal haalbare vermogen	Gemiddelde kosten per kWh	Kosten per kWh in procenten ten opzichte van huidige situatie
Windmolen X	57,1 kW	i 0,11820	175 %
Windmolen Y	300 kW	i 0,05914	87,5 %

Tabel 5: Resultaten van het eerste deel van het onderzoek

N.B.

Het is niet secuur om zomaar de gemiddelde windsnelheid van 7 m/s te gebruiken in mijn berekening. Achter de windsnelheid zit namelijk een stochast verborgen (een kansverdeling). Dit, in samenspel met een logaritmische functie van het vermogenspercentage (zie figuur 7), maakt de generaliseerbaarheid van het gemiddelde, 7 m/s, een dubieuze onderneming. Echter, ik heb een stochast gevonden¹⁰ van het aantal uren per windsnelheid in m/s bij een gemiddelde windsnelheid van 7 m/s voor een andere molen van 2000 kWh (zie tabel 6)¹⁰.

Als we hiervoor de 7 m/s (het gem.) extrapoleren komen we op een beduidend lager totaal opgebracht vermogen uit. Dit is logisch want de opgeleverde energie loopt sterk exponentieel toe naar de gemiddelde windsnelheid van 7 m/s (zie tabel 6!).

Als we dus niet de stochast in acht nemen, maar alleen een gemiddelde windsnelheid komen we, zoals ik eerder heb gedaan op $482 \text{ kW} * 8.766 \text{ (uren)} = 4225212 \text{ kWh}$. Dit is maar 74.2 % van het werkelijk opgeleverd vermogen, zoals berekend in tabel 6. Ik had uiteraard hiervoor kunnen corrigeren in mijn eigen berekeningen. Uit hoofde van het voorzichtigheidsbeginsel heb ik dit echter niet gedaan. Of terwijl de economische raming zullen aan de voorzichtige kant zijn zoals het hoort.

Profielwerkstuk Windmolens *kracht met toekomst*

Pascal Rottier

© havovwo.nl

januari 2003

Wind (m/s)	Vermogen (kW)	Tijd (uren per jaar)	Energie (kWh)
1	0	188	0
2	0	408	0
3	0	646	0
4	44	850	37.559
5	170	988	168.404
6	297	1046	310.358
7	482	1021	492.119
8	750	926	694.847
9	1039	785	815.559
10	1356	623	844.677
11	1610	464	746.715
12	1857	324	601.173
13	1952	212	414.365
14	1974	131	257.819
15	1996	75	150.476
16	1997	41	81.572
17	2000	21	41.506
18	2000	10	19.766
19	2000	4	8.818
20	2000	2	3.683
21	2000	1	1.439
22	2000	0	526
23	2000	0	180
24	2000	0	57
25	2000	0	17
	TOTAAL	8.766	5.691.635

Tabel 6: Stochast met de jaarlijkse windsnelheden voor een molen met een gemiddelde windsnelheid van 7 m/s

Profielwerkstuk Windmolens *kracht met toekomst*

Pascal Rottier

© havovwo.nl

januari 2003

§4.4 Het derde deel van het onderzoek

Dit derde deel van het onderzoek bestaat uit een interview met een agrarisch ondernemer. Ik heb voor dit onderzoek de onderstaande vragen verzonnen. Het resultaat van dit derde deel van het onderzoek kunt u vinden in bijlage 2.

- Wat is uw naam?
- Wat is de naam van uw agrarische onderneming?
- Hoe denkt u over duurzame energie?
- Hoe denkt u over windenergie en windmolens?
- Heeft u er al eens aan gedacht om over te stappen naar een alternatieve, duurzame energiebron?
- Hecht u meer waarde aan de prijs van de stroom of hecht u meer waarde aan de manier waarop deze stroom is verwerkt? Waar liggen de grenzen voor u?
- Hoeveel denkt u dat u nu gemiddeld betaalt per kWh?
- Wat vindt u van het huidige tarief per kWh (i 0,06756)?
- Denkt u dat u geld kunt besparen door te investeren in windenergie?
- Als u investeert in een windmolen, doet u dat liever alleen of liever met andere mensen samen?
- Stelt u eens voor: u betaalt nu gemiddeld i 0,1000 per kWh. U heeft de mogelijkheid om te investeren in een eigen windmolen X. Hierdoor zal de gemiddelde kostprijs per kWh voor u stijgen naar i 0,1750 per kWh. Zou u deze windmolen X laten bouwen? Waarom wel/ niet?
- Stelt u eens voor: u betaalt nu gemiddeld i 0,1000 per kWh. U heeft de mogelijkheid om samen met 10 andere agrarische ondernemers te investeren in een windmolen Y. Hierdoor zal de gemiddelde kostprijs per kWh voor u dalen naar i 0,0875. Zou u investeren in deze windmolen Y? Waarom wel/ niet?
- Uit mijn onderzoek blijkt dat als u samen met andere mensen investeert in een relatief grotere windmolen, de kostprijs van 1 kWh voor u met 17,5 % daalt. Bent u verbaasd over deze gegevens? Waarom?
- Bent u bereid, nu dat u kennis heeft van bovenstaande gegevens, om ook daadwerkelijk over te stappen op windenergie, en dus een windmolen te laten bouwen? Waarom wel/niet?
- Welke nadelen heeft het overstappen op windenergie voor u?
- Welke voordelen heeft het overstappen op windenergie voor u?
- Zou u het erg vinden om een windmolen bij uw boerderij te hebben? Waarom wel/niet?
- Verwacht u dat er veel agrarische ondernemers in de toekomst zullen overstappen naar windenergie? Waarom wel/niet?
- Verwacht u dat er veel agrarische ondernemers in de toekomst zullen overstappen naar windenergie? Waarom wel/niet?
- Vindt u dat de overheid het investeren in windenergie meer zou moeten stimuleren? Bijvoorbeeld met behulp van subsidies of belastingvoordelen? Waarom wel/niet?
- Zou u het leuk vinden de beoordeling van mijn verslag te horen?

Profielwerkstuk Windmolens *kracht met toekomst*

Pascal Rottier

© havovwo.nl

januari 2003

Hoofdstuk 5 Het financiële plan

§5.1 Hoe kunnen we ons de situatie voorstellen?

De situatie is als volgt: 10 agrarische ondernemers hebben besloten om windmolen Y te laten bouwen. Er is echter een probleem: er moet $\text{i } 345.000,-$ op tafel worden gelegd en dat geld is niet aanwezig. Er moet dus worden geleend van een bank (§5.2).

Als het geld er eenmaal is en de windmolen draait, willen de tien ondernemers allereerst voldoen aan hun eigen stroomverbruik (50.000 kWh per eigenaar). Als er te weinig wordt geproduceerd, wordt het tekort van het net gekocht. Als er daarentegen meer wordt geproduceerd, wordt dit verkocht aan bijvoorbeeld andere agrarische ondernemers, voor dezelfde prijs als dat van het net ($\text{i } 0,06756$, zie §4.2).

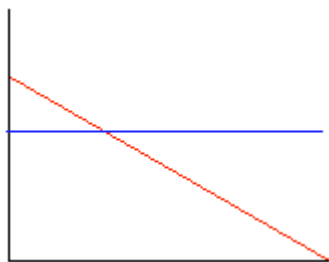
§5.2 De lening

De tien ondernemers gaan dus naar de bank en vragen een lening aan van $\text{i } 345.000,-$. De bedoeling is dat ze de lening na 20 jaar, de levensduur van een windmolen, hebben afgelost. Dit kan onder andere door een *lineaire aflossing*. Dat is een aflossing, waarbij men ieder jaar een vast bedrag terugbetaalt aan de bank. In dit geval is dat dus $1/20$ van $\text{i } 345.000,- = \text{i } 17.250,-$ per jaar, en dat gedurende 20 jaar. Daarnaast moet natuurlijk ook nog altijd de rente worden betaald over het te betalen bedrag. Als rente heb ik 4,25% ¹¹ genomen.

In Tabel 13 (bijlage 3) is voor ieder jaar berekend: de resterende schuld, de aflossing, het rentebedrag en het geld dat in dat jaar aan de bank is betaald. Tenslotte wordt onderaan vermeld welk bedrag er in totaal moet worden betaald, en hoeveel geld er gemiddeld per jaar moet worden betaald.

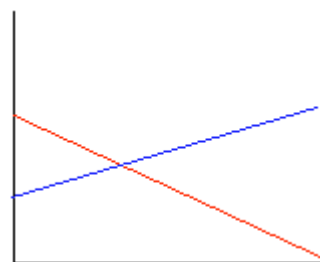
Zoals u kunt zien, is het totale bedrag dat per jaar aan de bank wordt betaald erg verschillend. Zo moet het eerste jaar bijna $\text{i } 32.000,-$ worden betaald, en het laatste jaar slechts een kleine $\text{i } 18.000,-$. De rentekosten zijn in de eerste jaren dus erg hoog. Men kan zich voorstellen dat de 10 ondernemers echter een gemiddeld, vast bedrag per jaar willen betalen, omdat ze anders in de beginjaren in geldproblemen komen. Dit is mogelijk door middel van *annuïteit*. Dit houdt in dat de aflossingen de eerste jaren wat lager zijn, als de rente nog relatief hoog is. Het totaal te betalen bedrag wordt daardoor in de eerste jaren wat lager. Daarentegen worden de aflossingen in de laatste jaren wat hoger. Dit is mogelijk doordat de rentes lager worden naarmate het nog af te lossen bedrag kleiner wordt. Het verschil tussen de *lineaire aflossing* en de *annuïteitaflossing* wordt duidelijker door onderstaande figuren.

Lineaire aflossing



figuur 9

Annuïteitaflossing



figuur 10

In figuur 9 en 10 stellen de blauwe lijnen de te betalen aflossing voor en de rode lijnen de te betalen rentes.

Verder stelt de x-as de tijd in jaren voor en de y-as de bedragen.

Het gemiddeld te betalen bedrag per jaar bij de annuïteitaflossing heb ik met behulp van de formule BET van Excel berekend. Deze is $\text{i } 25.950,84$ per jaar.

U merkt op dat dit bedrag hoger is dan het gemiddeld te betalen bedrag bij de lineaire aflossing (deze was $\text{i } 24.947,80$). Het verschil wordt natuurlijk veroorzaakt doordat je in de beginjaren minder hebt afgelost, waardoor je meer rente moet blijven betalen.

Profielwerkstuk Windmolens *kracht met toekomst*

Pascal Rottier

© havovwo.nl

januari 2003

§5.3 De kosten en de opbrengsten

De kosten van de windmolen bestaan uit de annuïteit en de exploitatiekosten. Voor de exploitatiekosten kunnen we, zoals u reeds in §3.1 hebt kunnen lezen, per jaar ongeveer 3 a 5% van de totale investering rekenen. Een overzicht van de kosten ziet u in tabel 7.

Totale kosten	Per jaar	Per 20 jaar
annuïteit	25.950,84	519.016,80
exploitatiekosten	13.800,00	276.000,00
TOTAAL	39.750,84	795.016,80

Tabel 7: De kosten van windmolen Y als er gebruik wordt gemaakt van een annuïteitaflossing

De opbrengsten kunnen worden gezien als de misgelopen kosten. Dat wil zeggen: de prijs per kWh op het net maal het aantal kWh. Een simpel voorbeeld zal voor meer duidelijkheid zorgen: als een windmolen 100 kWh heeft geproduceerd, en de gemiddelde prijs per kWh van het net is i 0,05, dan bedragen de misgelopen kosten dus $100 * 0,05 = i$ 5,00, en zijn de opbrengsten dus ook i 5,00.

U kunt zien dat de opbrengsten erg afhankelijk zijn van het aantal geproduceerde kWh, en u weet dat het aantal geproduceerde kWh erg afhangt van de plaats waar een windmolen staat. Het leek me daarom interessant om niet alleen de opbrengsten te berekenen die windmolen Y gemiddeld in Moergestel op zou leveren, maar ook de opbrengsten te berekenen die windmolen Y gemiddeld in andere plaatsen in Nederland op zou leveren. Ik heb als plaatsen Enschede en Scheveningen genomen, omdat de windsnelheden er respectievelijk lager en hoger zijn dan in Moergestel. De gemiddelde windsnelheden van Enschede en Scheveningen heb ik op dezelfde manier berekend als die van Moergestel (§4.3). De uitkomsten waren 6,0 m/s voor Enschede en 8,0 m/s voor Scheveningen.

Als we naar figuur 7 kijken kunnen we zien dat bij de gemiddelde windsnelheid van Moergestel (7,0 m/s), 25% van het geïnstalleerd vermogen wordt gebruikt. Dit levert jaarlijks ongeveer 525.000 kWh op. Als we in figuur 7 kijken naar de windsnelheid van Enschede, zien we dat slechts 15% van het geïnstalleerd vermogen wordt gebruikt. Als windmolen Y dus in Enschede zou staan, zou de windmolen slechts $525.600 \text{ kWh} / 25 * 15 \approx 315.000 \text{ kWh}$ opleveren. Tenslotte zien we dat bij de gemiddelde windsnelheid in Scheveningen (8 m/s) 50% van het geïnstalleerd vermogen wordt gebruikt. Dit betekent dat er per jaar maar liefst $525.600 \text{ kWh} / 25 * 50 \approx 1.050.000 \text{ kWh}$ wordt opgewekt.

Maar wat betekent dit dus voor de mislopen kosten, en dus voor de opbrengsten? In tabel 8 wordt dit duidelijk gemaakt. De totale opbrengsten per jaar zijn berekend door het aantal opgewekte kWh per jaar te vermenigvuldigen met de prijs van het net.

Locatie	Gemiddelde Windsnelheid	Opgewekte kWh per jaar	Prijs net	Opbrengsten totaal per jaar	Opbrengsten per eigenaar per jaar
Enschede	6,0 m/s	315.000	i 0,06756	i 21.281,40	i 2.128,14
Moergestel	7,0 m/s	525.000	i 0,06756	i 35.469,00	i 3.546,90
Scheveningen	8,0 m/s	1.050.000	i 0,06756	i 70.938,00	i 7.093,80

Tabel 8: De totale opbrengsten per jaar

N.B.

In de eerste paragraaf van dit hoofdstuk is gezegd dat de tien ondernemers allereerst wilden voldoen aan hun eigen energiebehoeften. Als we er van uitgaan dat iedere ondernemer 50.000 kWh per jaar nodig heeft, betekent dit dat er in totaal minimaal $10 * 50.000 \text{ kWh} = 500.000 \text{ kWh}$ moet worden opgewekt. Als er te weinig wordt geproduceerd, en dit is het geval voor Enschede, moet er extra stroom worden gekocht van het net. Er worden dus extra kosten gemaakt.

Profielwerkstuk Windmolens *kracht met toekomst*

Pascal Rottier

© havovwo.nl

januari 2003

Om deze kosten te berekenen moeten we eerst weten hoeveel extra kWh er nog nodig is. Dit is 500.000 kWh – 315.000 kWh = 185.000 kWh. De prijs van 1 kWh is i 0,06756. De extra kosten die gepaard gaan met een windmolen Y in Enschede zijn dus gelijk aan
i 0,06756 * 185.000 kWh = i 12.498,60.

§5.4 Het resultaat en de ROI

Het resultaat per jaar kunnen we berekenen door de jaarlijkse kosten af te trekken van de jaarlijkse opbrengsten. Een overzicht van de resultaten per jaar op de verschillende locaties is te zien in tabel 9.

Locatie	Totale kosten tabel 7	Extra kosten	Totale kosten	Totale opbrengsten	Resultaat per jaar
Enschede	i 39.750,84	i 12.498,60	i 52.249,44	i 21.281,40	- i 30.968,04
Moergestel	i 39.750,84	Geen	i 39.750,84	i 35.469,00	- i 4.281,84
Scheveningen	i 39.750,84	Geen	i 39.750,84	i 70.938,00	i 31.187,16

Tabel 9: De resultaten per jaar van windmolen Y op verschillende locaties

Als de winst berekend is kunnen we de ROI-waarden voor de verschillende locaties uitrekenen. ROI staat voor 'Return on Investment' en geeft aan wat het rendement is van je investering. Hiermee kun je dus nagaan of je je geld goed hebt geïnvesteerd, of dat je je geld beter ergens anders voor had kunnen gebruiken.

De ROI-waarde kun je berekenen door de volgende, simpele formule te gebruiken:

$$\text{ROI-waarde} = \frac{\text{Resultaat}}{\text{Totale investering}} \cdot 100\%$$

Hierin is 'Resultaat' het resultaat na twintig jaar. De totale investering is gelijk aan i 345.000,-

In tabel 10 kunnen we een overzicht zien met daarin de verschillende opbrengsten, de investeringen en de ROI-waarden voor de verschillende locaties.

Locatie	Resultaat per jaar	Resultaat per 20 jaar	Totale investering	ROI-waarden
Enschede	- i 30.968,04	- i 619.360,80	i 345.000,-	- 179 %
Moergestel	- i 4.281,84	- i 85.636,80	i 345.000,-	- 25 %
Scheveningen	i 31.187,16	i 623.743,20	i 345.000,-	181 %

Tabel 10: De ROI-waarden voor windmolen Y op de verschillende locaties

De bovenstaande ROI-waarden geven het rendement aan over een tijdsduur van 20 jaar. Waar wij echter in geïnteresseerd zijn, is wat voor invloed dit heeft op de waarde van het geïnvesteerde kapitaal. In andere woorden: met hoeveel procent neemt je kapitaal per jaar toe of af. In tabel 11 vindt u de resultaten.

Locatie	ROI-waarden	Tijdsduur	Jaarlijkse proc. verand. v. h. geïnvesteerde kapitaal
Enschede	- 179 %	20 jaar	- 8,95 %
Moergestel	- 25 %	20 jaar	- 1,25 %
Scheveningen	181 %	20 jaar	9,05 %

Tabel 11: De ROI-waarden voor windmolen Y op de verschillende locaties

Profielwerkstuk Windmolens *kracht met toekomst*

Pascal Rottier

© havovwo.nl

januari 2003

Tenslotte heb ik alle belangrijke gegevens op een rijtje gezet in tabel 12. De bedragen die in deze tabel staan gelden per eigenaar en dus niet voor de 10 eigenaren samen.

Locatie	Jaarlijkse kosten	Jaarlijkse opbrengsten	Jaarlijkse resultaat	Geïnv. kapitaal	ROI	Jaarl. Proc. Verand. v.h. geïnv. kapitaal
Enschede	i 5.224,94	i 21.281,40	- i 30.968,04	i 34.500,-	- 179 %	- 8,95 %
Moergestel	i 3.975,08	i 35.469,00	- i 4.281,84	i 34.500,-	- 25 %	- 1,25 %
Scheveningen	i 3.975,08	i 70.938,00	i 31.187,16	i 34.500,-	181 %	9,05 %

Tabel 12: Overzicht gegevens per eigenaar

N.B.

Het jaarlijkse resultaat, en daarmee de ROI en de jaarlijkse procentuele verandering van het geïnvesteerde kapitaal, hangen af van nog vele andere factoren. Zo is er in mijn model bijvoorbeeld geen rekening gehouden met inflatie. Indien ik dat echter wel gedaan had, had dat alleen een nog positiever resultaat kunnen opleveren. De totale opbrengsten stijgen namelijk mee met de inflatie. Daarentegen stijgen niet alle kosten mee. Zo blijft de annuïteit de twintig jaren lang op hetzelfde niveau. Dit betekent dat de kosten minder hard stijgen dan de opbrengsten, en dat het resultaat dus ieder jaar beter wordt. En dat heeft natuurlijk een positieve invloed op de ROI-waarde en de jaarlijkse procentuele verandering van het geïnvesteerde kapitaal.

Tenslotte komen de tien eigenaren natuurlijk ook nog in aanmerking voor allerlei subsidies en fiscale voordelen, zoals u in §3.3 heeft kunnen lezen. Het is voor mij echter niet na te gaan hoe groot deze voordelen precies zijn en wat hun precieze invloed is op het resultaat. Iets wat echter zeker is, is dat het resultaat er niet op achteruit zou gaan.

Profielwerkstuk Windmolens *kracht met toekomst*

Pascal Rottier

© havovwo.nl

januari 2003

Conclusie

Mijn onderzoeksvraag luidt: hoe kan ik het beste windenergie, als alternatieve energiebron, aan agrarische ondernemers aanbieden?

Nadat ik me door middel van een literatuurstudie heb verdiept in windmolens en windenergie, ben ik de kosten van twee type windmolens gaan onderzoeken: een kleine windmolen voor eigen gebruik, en een grote windmolen voor gezamenlijke exploitatie. Hierbij ben ik er van uitgegaan dat de ondernemer geen lening hoeft te sluiten om de kosten te kunnen dekken.

De resultaten zijn als volgt: als de agrarische ondernemer kiest voor de kleine windmolen, zullen zijn gemiddelde kosten per kWh stijgen met 75% ten opzichte van de huidige kostprijs per kWh. Als de agrarische ondernemer echter kiest voor de gezamenlijke windmolen, zal zijn gemiddelde kostprijs per kWh met 12,5% dalen ten opzichte van de huidige kostprijs per kWh. De agrarische ondernemer is dus goedkoper uit als hij overstapt op een gezamenlijke windmolen.

Als de agrarische ondernemer echter geen startkapitaal heeft, en dus moet gaan lenen, wordt de situatie geheel anders. Hij moet namelijk ook rente gaan betalen over zijn lening, waardoor zijn lasten toenemen. Het wordt hierdoor ook niet meer rendabel om een grote windmolen in Moergestel te laten bouwen. Zo toont Hoofdstuk 5 aan dat dit (gedurende 20 jaar) een kapitaalvermindering tot gevolg heeft van 1,25 % per jaar. Als de grote windmolen daarentegen in Scheveningen wordt gebouwd, zal dit (gedurende 20 jaar) een jaarlijkse kapitaaltoename tot gevolg hebben van ruim 9%. Een dergelijk project is hiermee niet alleen rendabel, maar zelfs aantrekkelijk.

Overigens zou een agrarische ondernemer die idealistische motieven heeft wel kunnen kiezen voor een investering in de bouw van een grote windmolen in Moergestel, aangezien dat de jaarlijkse kapitaalvermindering niet zo groot is. Mijn interview met een agrarische ondernemer toonde echter aan dat dergelijke motieven niet altijd ten grondslag zullen liggen aan de keuze voor windenergie. Het is zelfs zo dat voor de geïnterviewde agrarische ondernemer de prijs van de stroom veel belangrijker is dan de manier waarop de stroom wordt verwekt.

Er ligt hier een taak voor de overheid om te voldoen aan de economische motiveringen van de agrarische ondernemers, door middel van meer en betere subsidies. Daarnaast zou de overheid duurzame energie moeten stimuleren door landelijke campagnes te houden, die meer bekendheid zouden moeten verschaffen over de haalbaarheid en de rentabiliteit van dergelijke energieprojecten.

Als ik windenergie als alternatieve energiebron aan een agrarische ondernemer wil presenteren, moet ik er in de huidige situatie bovenal voor zorgen, eventueel geholpen door overheidssubsidies, dat de gemiddelde kosten per kWh bij de aangeboden windmolen lager liggen dan de huidige kostprijs per kWh. Dit kan worden bereikt door middel van participatie in grote windmolens langs de kust.

Notenlijst

- 1 <http://www.telosnet.com/wind/>
- 2 <http://stro9.vub.ac.be/wind/brochureGondel.html>
- 3 <http://home.planet.nl/~windsh/>
- 4 <http://home.planet.nl/~windsh/basics.html>
- 5 http://www.duurzame-energie.nl/zelf/Agrariers/ag_financien.html
- 6 <http://www.duurzame-energie.nl/zelf/Agrariers/mensenmolens.html>
- 7 ECN, 2000
- 8 Projectbureau Duurzame Energie, 2000
- 9 <http://home.wanadoo.nl/b.c.slikker/wnf/index.htm>
- 10 <http://home.planet.nl/~windsh/windber.html>
- 11 http://my.planet.nl/business/0,1230,72_961_1191350,00.html
Het Financieel Dagblad, Maandag 30 december 2002, pagina 1

Profielwerkstuk Windmolens *kracht met toekomst*

Pascal Rottier

© havovwo.nl

januari 2003

Literatuurlijst

Auteur	Titel	Uitgever	Plaats en datum uitgave	Druk	Pagina's
Chris Westra Producties	Wind werkt	Novem	Utrecht, 1992	1e	1 t/ m 25
Harmen Hoogenveen	Winst uit wind?	Bureau energie onderzoek projecten	Petten, 1983	1e	8 t/ m 24
G. Verbong e.a.	Een kwestie van lange adem	Aeneas	Boxtel, 2001	1e	135 t/m 172
Maarten Paul Wolsink	Maatschappelijke acceptatie wind-energie	Thesis	Amsterdam, 1990	1e	17 t/m 47

Overige bronnenlijst

Internet

Trefwoord(en):

Sites:

Duurzame energie

<http://duurzame-energie.pagina.nl/>

<http://www.kennemerwind.nl/>

<http://www.telosnet.com/wind/>

<http://home.planet.nl/~windsh/>

Werkstuk windenergie

<http://home.wanadoo.nl/b.c.slikker/>

Windenergie

<http://www.pde.nl/de/windenergie.php>

<http://stro9.vub.ac.be/wind/brochureInhoud.html>

Geschiedenis windenergie

<http://www.energiebureaulimburg.nl/denergie.htm>

Windenergie duurzame

<http://www.den.novem.nl/wind/wind.htm>

http://www.doris.nl/duurzame_energie.html

Profielwerkstuk Windmolens *kracht met toekomst*

Pascal Rottier

© havovwo.nl

januari 2003

Bijlage 1

Windkaart van Nederland



Profielwerkstuk Windmolens *kracht met toekomst*

Pascal Rottier

© havovwo.nl

januari 2003

Bijlage 2 Het interview

Wat is uw naam?

- *C. Scherders*

Wat is de naam van uw agrarische onderneming?

- *Maatschap Scherders*

Hoe denkt u over duurzame energie?

- *Duurzame energie is goed.*

4) Hoe denkt u over windenergie en windmolens?

- *Die zijn ook goed.*

5) Heeft u er al eens aan gedacht om over te stappen naar een alternatieve, duurzame energiebron?

- *Ja, daar heb ik wel eens over nagedacht.*

6) Hecht u meer waarde aan de prijs van de stroom of hecht u meer waarde aan de manier waarop deze stroom is verwerkt? Waar liggen de grenzen voor u?

- *Ik hecht meer waarde aan de prijs.*

7) Hoeveel denkt u dat u nu gemiddeld betaalt per kWh?

- *Weet ik niet.*

8) Wat vindt u van het huidige tarief per kWh (i 0,06756)?

- *Geen mening*

9) Denkt u dat u geld kunt besparen door te investeren in windenergie?

- *Ja, ik denk het wel.*

10) Als u investeert in een windmolen, doet u dat liever alleen of liever met andere mensen samen?

- *Dat doe ik liever met meerdere mensen.*

11) Stelt u eens voor: u betaalt nu gemiddeld i 0,1000 per kWh. U heeft de mogelijkheid om te investeren in een eigen windmolen X. Hierdoor zal de gemiddelde kostprijs per kWh voor u stijgen naar i 0,1750 per kWh. Zou u deze windmolen X laten bouwen? Waarom wel/ niet?

- *Nee, het is te duur. Daarom zou ik het liever met meerdere mensen doen, om de kosten te drukken.*

12) Stelt u eens voor: u betaalt nu gemiddeld i 0,1000 per kWh. U heeft de mogelijkheid om samen met 10 andere agrarische ondernemers te investeren in een windmolen Y. Hierdoor zal de gemiddelde kostprijs per kWh voor u dalen naar i 0,0875. Zou u investeren in deze windmolen Y? Waarom wel/ niet?

- *Ja, vanwege de kostprijs.*

13) Uit mijn onderzoek blijkt dat als u samen met andere mensen investeert in een relatief grotere windmolen, de kostprijs van 1 kWh voor u met 17,5 % daalt. Bent u verbaasd over deze gegevens? Waarom?

- *Nee, omdat de kostprijs wordt gedeeld door meerdere partijen.*

14) Bent u bereid, nu dat u kennis heeft van bovenstaande gegevens, om ook daadwerkelijk over te stappen op windenergie, en dus een windmolen te laten bouwen? Waarom wel/niet?

- *Dat weet ik nog niet.*

15) Welke nadelen heeft het overstappen op windenergie voor u?

- *Het is een vrij grote investering.*

16) Welke voordelen heeft het overstappen op windenergie voor u?

- *De prijs is voordeliger en ik ben op deze manier onafhankelijker.*

Profielwerkstuk Windmolens *kracht met toekomst*

Pascal Rottier

© havovwo.nl

januari 2003

17) Zou u het erg vinden om een windmolen bij uw boerderij te hebben? Waarom wel/niet?

- *Nee, als het bij het landschap past.*

18) Verwacht u dat er veel agrarische ondernemers in de toekomst zullen overstappen naar windenergie? Waarom wel/niet?

- *Dat weet ik niet.*

19) Vindt u dat de overheid het investeren in windenergie meer zou moeten stimuleren? Bijvoorbeeld met behulp van subsidies of belastingvoordelen? Waarom wel/niet?

- *Ja.*

20) Zou u het leuk vinden de beoordeling van mijn verslag te horen?

- *Ja.*

Bijlage 3 De lineaire aflossing

jaar	schuld	aflossing	rente	tot. bedrag
1	345.000,-	17.250,-	14.662,50	31.913,-
2	327.750,-	17.250,-	13.929,38	31.179,-
3	310.500,-	17.250,-	13.196,25	30.446,-
4	293.250,-	17.250,-	12.463,13	29.713,-
5	276.000,-	17.250,-	11.730,00	28.980,-
6	258.750,-	17.250,-	10.996,88	28.247,-
7	241.500,-	17.250,-	10.263,75	27.514,-
8	224.250,-	17.250,-	9.530,63	26.781,-
9	207.000,-	17.250,-	8.797,50	26.048,-
10	189.750,-	17.250,-	8.064,38	25.314,-
11	172.500,-	17.250,-	7.331,25	24.581,-
12	155.250,-	17.250,-	6.598,13	23.848,-
13	138.000,-	17.250,-	5.865,00	23.115,-
14	120.750,-	17.250,-	5.131,88	22.382,-
15	103.500,-	17.250,-	4.398,75	21.649,-
16	86.250,-	17.250,-	3.665,63	20.916,-
17	69.000,-	17.250,-	2.932,50	20.183,-
18	51.750,-	17.250,-	2.199,38	19.449,-
19	34.500,-	17.250,-	1.466,25	18.716,-
20	17.250,-	17.250,-	733,13	17.983,-
gemiddeld per jaar			7.697,82	24.947,80
Totaal	345.000,-	345.000,-	153.956,30	498.956,-

Tabel 13: De lineaire aflossing