ALLES OVER WINDENERGIE

De feiten op een rij

Guido Bakema
Broer Scholtens

ALLES OVER WINDENERGIE

De feiten op een rij

Door Guido Bakema en Broer Scholtens

Titel	Alles over windenergie
Auteurs	Guido Bakema & Broer Scholtens
Creatie & realisatie	Laurens Oude Elberink, Geen Blad voor de Mond BV | www.gbvdm.nl
Ontwerp & illustraties	Niels klein Avink, Geen Blad voor de Mond BV
Meer informatie	www.allesoverwindenergie.nl

COPYRIGHT © 2015 - Geen Blad voor de Mond BV, Enschede. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of op enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a database or retrieval system, or published, in any form or in any way, electronically, mechanically, by print, photoprint, microfilm or any other means, without prior written permission of the publisher.

GEEN BLAD VOOR DE MOND
contentmarketing

ISBN/EAN 978-94-90286-07-1

VOORWOORD

Energie lijkt zo simpel. We zijn er aan gewend geraakt dat er altijd stroom uit het stopcontact komt. Als we de thermostaat hoger zetten stroomt er vanzelf gas naar de ketel. Wat daarvoor achter de schermen allemaal nodig is, onttrekt zich grotendeels aan onze waarneming.

Windturbines, op land en op zee, gaan een steeds belangrijker rol spelen bij de productie van stroom. Windenergie is één van de schone bronnen waar we het de komende decennia van moeten hebben om de energieproblemen het hoofd te bieden en de opwarming van de aarde, veroorzaakt door het onnatuurlijk snel opstoken van aardgas, aardolie en kolen, een halt toe te roepen.

Er draaien in Nederland inmiddels een kleine drieduizend windturbines. Voor 2020 moeten er nog duizenden grote turbines bijkomen, deels op land en deels op zee. Windturbines moeten over nog geen vijf jaar één-vijfde van de stroomproductie voor hun rekening nemen. Dat vergt grote inspanningen. De bouw van windparken verloopt niet zonder slag of stoot, en vergt vaak vele jaren werk op verschillende fronten en met brede kennis.

Windturbines roepen ook vaak weerstand op; ze zijn duidelijk zichtbaar en drukken zo een stempel op de omgeving. Goede informatie over nut en noodzaak is cruciaal om draagvlak voor de bouw te creëren.

In dit boek is voor het eerst de beschikbare kennis op heldere en overzichtelijke wijze bijeengezet, over onder meer de technologie van windturbines, die de afgelopen dertig jaar stapsgewijs tot wasdom is gekomen, over bouwkosten en de benodigde subsidies en over mogelijke ecologische gevolgen. Ook wet- en regelgeving en de inspraak rond windprojecten komen aan de orde. Het boek doet een poging de vele vragen rond windenergie objectief te beantwoorden.

Diepenveen, Zeist, september 2015

Guido Bakema
Broer Scholtens

VERWIJZINGEN

In dit boek worden alle relevante vragen over windenergie in Nederland beantwoord, is de gedachte. Ontwikkelingen staan echter niet stil: nieuwe onderzoeken, slimmere technieken, andere milieu-inzichten en aangepaste wet- en regelgeving maken dat antwoorden op 'windvragen' aan veranderingen onderhevig zijn. Er is hier voor een digitale oplossing gezocht: in het boek staan verwijzingen naar bronnen die te herkennen zijn aan een informatie-icoontje met een getal erachter. Dit getal correspondeert met een overzicht dat online is terug te vinden op www.allesoverwindenergie.nl/verwijzingen. De website wordt up-to-date gehouden waardoor dit boek voor de komende jaren actueel blijft.

INHOUDSOPGAVE

1. DE TOEKOMST IS AAN WIND
Pagina 15

- DE HUIDIGE ENERGIEVOORZIENING
- ANDERE ENERGIEVOORZIENING
- ENERGIE AKKOORD 2013

In korte tijd stookt de wereld haar voorraden fossiele brandstoffen zoals aardolie, aardgas en kolen op. De aarde wordt er langzaam warmer door. Onze energievoorziening moet overstappen op duurzame bronnen. Windenergie is er een van, zeker in Nederland.

Uitstapje: Duurzame energiebronnen

2. OVER WIND EN HOE DIE ONTSTAAT
Pagina 29

- WINDSNELHEID
- WINDRICHTING
- HOEVEEL ENERGIE ZIT ER IN DE WIND?
- HEBBEN WINDTURBINES EFFECT OP DE WIND

Om te begrijpen hoeveel elektriciteit een windturbine kan maken, moeten we weten hoeveel energie er in de wind zit, wanneer en uit welke richting het waait. Er zijn lokaal grote verschillen. Hoe kun je daar rekening mee houden bij het ontwerpen van een windpark en het kiezen van een bouwlocatie?

Uitstapje: Aeolus – Race tegen de wind

3. WINDSTROOM VOOR ELEKTRICITEITSNET
Pagina 41

- VERMOGENSCURVE
- JAARPRODUCTIE
- VARIATIE IN JAARPRODUCTIE
- BESCHIKBAARHEID

Een windturbine zet een deel van de wind die door het rotorvlak stroomt om in elektriciteit. Hoeveel stroom produceert een windturbine? Doet de turbine dit altijd, waarom draait hij weleens niet? Hoe bereken je de hoeveelheid elektriciteit die een windturbine produceert? En zijn windturbines nog beter te maken?

Uitstapje: De windschijf

4. VAN MOLEN NAAR WINDTURBINE
Pagina 51

- DE TRADITIONELE MOLEN
- ELEKTRICITEIT UIT WINDENERGIE

De windmolen heeft een enorme ontwikkeling doorgemaakt. De eerste maalwerktuigen voor het malen van graan ontstonden in de verre oudheid. Via markante houtzaagmolens en watermolens in de achttiende eeuw ontwikkelden zij zich tot moderne windturbines voor elektriciteitsproductie.

Uitstapje: Wind-pionier Henk Lagerweij

5. DE TECHNIEK VAN DE TURBINE
Pagina 61

- DE GONDEL
- DE ROTOR
- DE MAST
- DE FUNDERING
- BOUW EN BEHEER VAN EEN WINDPARK

Een moderne windturbine is een high-tech machine. Van de gondel, bladen, tandwielkast en generator tot mast en fundering, alles is ontworpen volgens de meest recente wetenschappelijke en technologische kennis en inzichten. Ze kunnen vele jaren onbemand stroom leveren aan het elektriciteitsnet.

Uitstapje: Windturbines met verticale as

6. WINDTURBINES: GROOT, GROTER...?
Pagina 81

- WINDTURBINES OP LAND
- WINDTURBINES OP ZEE
- MINI-WINDTURBINES

Windturbines worden groter en groter. Ze produceren steeds goedkoper stroom en de ruimte die ze in beslag nemen wordt effectiever benut. Megawatt-turbines hebben bladen van meer dan vijftig meter. Grenzen komen in zicht, technologische maar ook landschaps- en geluidsgrenzen. Een revival van kleine windturbines zit er echter niet in.

Uitstapje: NS en IKEA doen het op windstroom

7. DE PRIJS VAN WIND
Pagina 91

- INVESTERING EN JAARLIJKSE KOSTEN
- KOSTPRIJS
- VERKOOP OP DE BEURS
- SUBSIDIES

De prijs van windstroom is te berekenen uit de investeringskosten, de wijze van financiering en de jaarlijkse kosten, zoals voor onderhoud en grond. Exploitanten verkopen hun windstroom op de energiebeurs. De prijs van stroom is daar laag door overschotten op de Europese markt; lager dan windstroom. De overheid overbrugt dit verschil met subsidie.

Uitstapje: Molentransport heeft wind mee

8. WAAR KOMEN WINDTURBINES?
Pagina 103

- ONTWIKKELING OP LAND EN ZEE
- OVERHEIDSREGIE VOOR LOCATIES
- WINDTURBINES OP LAND EN ZEE

Windenergie is in Nederland veertig jaar geleden begonnen met de zelfbouw van kleine molentjes. Projectontwikkelaars zochten zelf locaties voor hun windparken. De rijksoverheid heeft samen met de provincies in 2013 de regie naar zich toe getrokken en wijst de gebieden voor windenergie op land en op zee aan.

Uitstapje: Hoger de lucht in

9. HINDER VAN WINDTURBINES
Pagina 115

- ZICHTBAARHEID
- GELUID
- SLAGSCHADUW
- ELEKTROMAGNETISCH VELD
- GEZONDHEID

Windturbines hebben negatieve kanten. Ze zijn groot, en daarmee van veraf te zien in het landschap. Turbines maken bovendien geluid en veroorzaken slagschaduw en lichtschitteringen. Dit kan hinderlijk zijn voor omwonenden. Wat is acceptabel en welke regels gelden hiervoor?

Uitstapje: Kunstenares July Leesberg

10. ECOLOGIE
Pagina 129

- VOGELS EN VLEERMUIZEN
- NATUURTOETS FLORA EN FAUNA
- AQUATISCH MILIEU: EFFECTEN OP ZEE

Windturbines staan vaak in de buurt van natuurgebieden. Er is regelgeving om fauna en flora te beschermen. Windturbines zouden veel slachtoffers maken onder vogels en vleermuizen, wordt vaak beweerd. Uit onderzoek blijkt dat dit niet zo is. Schade aan flora en fauna is beperkt.

Uitstapje: Windturbines en wolkenkrabbers

11. DRAAGVLAK EN PARTICIPATIE
Pagina 141

- DRAAGVLAK
- PLANSCHADE
- PARTICIPATIE

Windturbines dansen in het landschap, in polders en voor de kust. Niet iedereen is even gelukkig met de bouw van een windpark in de buurt. Dit leidt tot lokale weerstand. Hoe gaan eigenaren van windparken daar mee om? En hoe kunnen omwonenden bij een project worden betrokken?

Uitstapje: Windmolenhater - Jan Mulder

12. VERGUNNINGEN
Pagina 151

- DE MILIEUEFFECTRAPPORTAGE
- RUIMTELIJKE INPASSING
- DE OMGEVINGSVERGUNNING
- DE WATERWET EN KEURONTHEFFING
- NATUURBESCHERMINGSWET EN FLORA- EN FAUNAWET
- ELEKTRICITEITSWET

Om een windturbine ergens te mogen bouwen, moet in het bestemmingsplan 'windenergie' zijn opgenomen. Er moet vaak een milieueffectrapport komen en verschillende andere vergunningen zijn nodig. Een vergunningstraject kan vele jaren duren.

Uitstapje: Fotomontage als actiemiddel

13. RISICO'S EN VEILIGHEID
Pagina 163

- VEILIGHEIDSEISEN
- RISICOZONERING
- BLIKSEMINSLAG
- BRAND
- AFVALLEND IJS
- VLIEGVEILIGHEID
- RADAR

Er zijn mensen die windturbines als een gevaar zien. Wieken kunnen eraf vliegen, ze kunnen omvallen en schade veroorzaken aan mens en natuur. Het zijn bovendien gevaarlijke obstakels voor vliegtuigen en voor radar. Zijn er richtlijnen voor windturbines?

Uitstapje: Uit de postzegelverzameling

14. VAN WINDTURBINE TOT STOPCONTACT
Pagina 173

- ELEKTRICITEITSPRODUCTIE
- DE ELEKTRICITEITSBALANS
- HOE STROOM THUIS KOMT

Voordat er thuis stroom uit het stopcontact komt, is er een lange weg afgelegd. Tientallen elektriciteitscentrales, grote en kleine, leveren stroom aan het landelijke elektriciteitsnet. Windturbines spelen daarin ook een rol. Waarom het licht niet uitgaat als het niet waait.

Uitstapje: Salderen van stroom

HOOFDSTUK 1

In korte tijd stookt de wereld haar voorraden fossiele brandstoffen zoals aardolie, aardgas en kolen op. De aarde wordt er langzaam warmer door. Onze energievoorziening moet overstappen op duurzame bronnen. Windenergie is er een van, zeker in Nederland.

DE TOEKOMST IS AAN DE WIND

De uitvinding van de stoommachine door James Watt in 1769 markeert het begin van de Industriële Revolutie, waarin machines in toenemende mate het werk van mensenhanden en traditionele windmolens vervingen. Productieprocessen konden hierdoor worden opgeschaald en dat leidde tot grote economische groei. De verandering begon in Engeland en verspreidde zich vervolgens over de wereld. Deze overgang heeft in toenemende mate geleid tot het ongebreidelde gebruik van fossiele brandstoffen. In het begin nam vooral het gebruik van steenkolen een hoge vlucht. De eerste dertig jaar verdubbelde het kolengebruik waarna er nog een schepje boven op ging. In de vijftig jaren die volgden verviervoudigde het steenkoolgebruik wereldwijd.

In de 20ste eeuw werden kolen deels vervangen door beter hanteerbare aardolie, die na omzetting in raffinaderijen werd gebruikt om in het transport en in bedrijven benzine- en dieselmotoren te laten draaien. Steenkolen werden vooral gebruikt voor de productie van elektriciteit en ijzer (staal). In de tweede helft van de vorige eeuw deed aardgas zijn intrede om warmte te produceren voor huizen, kantoren en fabrieken en voor de productie van stoom en stroom voor industriële processen.

DE HUIDIGE ENERGIEVOORZIENING

Er wordt enorm veel energie gebruikt, over de hele wereld. Om een indruk te krijgen: we verbruiken jaarlijks – in energie gerekend – de inhoud van meer dan 400 miljoen tankauto's; of wel 150 rijen tankauto's die bumper aan bumper staan rond de evenaar. En dit elk jaar weer. Nederland neemt hiervan 0,6% voor haar rekening, oftewel één rij tankauto's.

Op dit moment is meer dan 80% van het wereldenergiegebruik gebaseerd op drie fossiele brandstoffen: kolen, aardolie en aardgas. Deze zijn op een beperkt aantal plaatsen in de wereld in grote hoeveelheden te vinden. Landen zonder fossiele brandstoffen zijn daardoor sterk afhankelijk geworden van een beperkt aantal andere landen met brandstoffen.

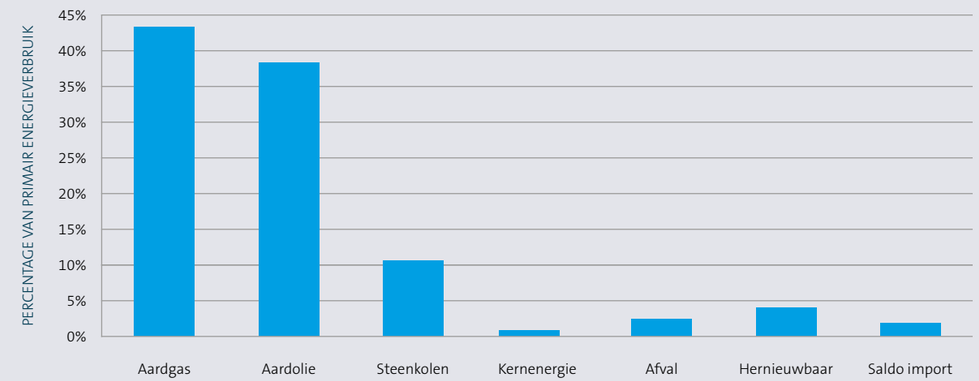
De energievoorziening is afhankelijk van enkele, soms politiek gevoelige landen

In 1973 werd deze geopolitieke afhankelijkheid van aardolie in Nederland pijnlijk duidelijk toen landen in het Midden-Oosten om politieke redenen de oliekraan dichtdraaiden. Nederland kwam daardoor (deels) zonder aardolie te zitten, en dus ook zonder de belangrijkste afgeleide daarvan, benzine. Het olietekort liep zo ver op dat er in oktober en november 1973 'autoloze

Autoloze zondag in 1973. Bron: NRC

ENERGIEVERBRUIK

Figuur 1-1. Verdeling energie-inzet in Nederland in 2012 (totaal 3.250 PJ). Bron: CBS



In 2010 bedroeg het totale gebruik aan primaire energie in de wereld 12.730 miljoen ton olie equivalent (MToe), blijkt uit cijfers van International Energy Agency (IEA) in Parijs ℹ 166. Het Nederlandse Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) berekent het landelijk energieverbruik niet in MToe maar gebruikt de officiële energie-eenheid Joule (zie het kader 'Rekenen in energieland'). Volgens het CBS bedroeg het primaire energiegebruik in 2012 in Nederland 3.250 PJ ℹ 167. Dit is 0,6% van het primaire verbruik wereldwijd.

In Nederland nemen fossiele brandstoffen meer dan 90% van de totale energievraag voor hun rekening; hernieuwbare energie, vooral biomassa en wind, leveren een bijdrage van ruim 4%, zoals figuur 1-1 laat zien. Iets meer dan 20% van de totale Nederlandse energie-inzet (690 PJ) wordt gebruikt voor de productie van elektriciteit. Elektriciteitscentrales, grote en kleine, duurzame bronnen en import van elektriciteit, produceerden in 2012 ongeveer 110 TWh (honderdtien-miljard kilowattuur) aan elektriciteit. In 2012 waren er 7,5 miljoen huishoudens in Nederland. Ze gebruikten bijna 30% van het totale energieverbruik in ons land. Ruwweg 40% ging naar verwarming, 40% naar transport en 20% naar elektriciteit (inclusief de verliezen bij de opwekking van elektriciteit). In onderstaand figuur is te zien hoeveel een Nederlands huishouden gebruikt van de belangrijkste drie energievormen.

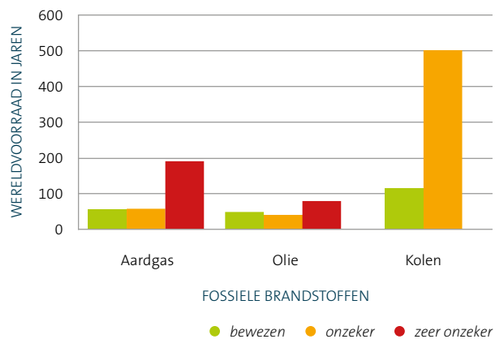
Figuur 1-2. Energieverbruik per huishouden in 2012. Bron ECN ℹ 168

Verbruik		
Aardgas	1341	m^3
Elektriciteit	3495	kWh
Motorbrandstoffen	1018	liter

zondagen' werden ingevoerd: op die dagen moest de auto thuis gelaten worden om benzine te besparen. Het is niet alleen aardgas of aardolie waarbij afhankelijkheid een rol speelt. Ook bij kernenergie is dit het geval. Kerncentrales draaien immers op uranium en ook uraniumreserves komen maar voor op een beperkt aantal plaatsen in de wereld.

Veel knoppen in hoofden van met name politici gingen door de energiecrisis in 1973 om. Voor het eerst was duidelijk geworden dat het licht uit kon gaan vanwege politieke beslissingen elders op de wereld. En dus ontstond het idee om dichter bij huis te kijken naar energiebronnen, om die afhankelijkheid te beperken. Zo werd er besloten Nederlandse aardgasvelden sneller tot ontwikkeling te brengen. Verder werden

Figuur 1-3. Bewezen en speculatieve reserves. Bron: IEA 004



REKENEN IN ENERGIELAND

Energie komt in verschillende vormen voor: verpakt in een chemische vorm, in een liter olie of in een ton kolen bijvoorbeeld, maar ook als warmte en elektriciteit. Afhankelijk van de verschijningsvorm wordt energie in verschillende grootheden uitgedrukt.

De officiële eenheid voor energie volgens het internationale SI-stelsel is de 'Joule'. Een Joule is de hoeveelheid energie die nodig is om één gram water één graad in temperatuur te doen stijgen. Omdat één Joule (met als afkorting 'J') in de energiesector erg weinig is, wordt de hoeveelheid energie uitgedrukt in duizenden, miljoenen, miljarden Joules, of nog meer. Om de getallen leesbaar te houden worden ze genoteerd met een voorvoegsel. We hebben het bijvoorbeeld over megajoule wat staat voor één miljoen Joule, en over petajoule als het gaat om duizend-biljoen Joule. In onderstaande tabel staan enkele voorvoegsels die veel worden gebruikt:

	Voorvoegsel
duizend	k (kilo)
miljoen	M (mega)
miljard	G (giga)
biljoen	T (tera)
duizend-biljoen	P (peta)

	Terugrekenen naar Joule
kilowattuur (kWh)	1kWh = 3,6 miljoen Joule (3,6 MJ)
aardgas-equivalent (m^3_{aeq})	1 m^3_{aeq} = 31,65 miljoen Joule (31,65 MJ)
megaton-olie-equivalent (Mtoe)	1Mtoe = 41,9 duizend-biljoen Joule (41,9 PJ)

GRENZEN AAN DE GROEI

In 1972 werd het rapport *Grenzen aan de groei* gepubliceerd 001, 002, 003. In dit rapport vroeg de Club van Rome, een particuliere stichting opgericht in 1968 door wetenschappers, aandacht voor de uitputting van grondstoffen: de snelheid waarmee de industriële samenleving haar voorraden grondstoffen aan het verbruiken was, zou snel tot tekorten leiden, zo luidde de stelling. De Club van Rome legde als eerste een link tussen economische groei, milieueffecten en de eindigheid van – onder andere – fossiele brandstoffen. Tien jaar later vormde de Verenigde Naties de Commissie Milieu en Ontwikkeling, voorgezeten door de premier van Noorwegen, Harlem Brundtland. De commissie publiceerde in 1987 het rapport 'Our Common Future' waarin het begrip 'Duurzame Ontwikkeling' werd geïntroduceerd: ga zo met natuurlijke hulpbronnen en grondstoffen om dat zowel huidige als toekomstige generaties er gebruik van kunnen maken 027.

schoorvoetend de eerste stappen gezet om windenergie – van oudsher een belangrijke pijler van de Nederlandse economie – weer tot bloei te brengen.

We gaan verspillend om met energie. Fossiele brandstoffen hebben zich in miljoenen jaren gevormd en vinden hun oorsprong in resten van planten en bomen of ander organisch afval op de zeebodem. Afhankelijk van plaats en omstandigheden (de afwezigheid van zuurstof in combinatie met hoge temperatuur en druk) zijn deze organische resten omgezet in kolen, olie en aardgas.

Fossiele brandstoffen raken in sneltreinvaart uitgeput

De voorraden ervan zijn groot, maar in relatie tot het enorme verbruik eigenlijk maar zeer beperkt. Alhoewel de meningen verdeeld zijn over de precieze grondstofreserves, is er de afgelopen jaren brede consensus ontstaan dat voorraden aardolie en aardgas binnen vijftig tot honderd jaar op zijn; de kolenreserves op de wereld zullen wat langer meegaan, mogelijk enkele honderden jaren, gerekend naar het huidige verbruik. Wat langzaam in miljoen jaren is gevormd, stoken we nu in enkele honderden jaren op.

Het gebruik van fossiele brandstoffen leidt tot vervuiling. Bij de verbranding komen allerlei vervuilende stoffen vrij. Zo'n vijftig jaar geleden werd de verzuring van het milieu, waardoor onder meer bossen afstierven, als grootste bedreiging gezien. Zwaveldioxide en stikstofoxiden, die in elektriciteitscentrales werden gevormd, waren de belangrijkste boosdoeners. Sindsdien zijn de nodige maatregelen genomen en worden deze verzurende stoffen in de centrales zelf (grotendeels) weggevangen en vervolgens opgeruimd. Zure regen is in de westerse wereld grotendeels teniet gedaan. De laatste jaren is de aandacht verschoven naar de gevaren van fijnstof voor de gezondheid. Dit zijn ultrakleine roetdeeltjes die bij verbranding van fossiele brandstoffen, met name steenkool en diesel, vrijkomen.

Platform voor oliewinning op zee.

Ze kunnen longklachten en longkanker veroorzaken. In beleidsplannen is inmiddels vastgelegd dat de uitstoot ervan drastisch zal worden teruggebracht. Dit gaat de komende jaren veel geld kosten waardoor de prijs van energie, elektriciteit en verwarming zal toenemen.

Fossiele brandstoffen vervuilen het milieu en verwarmen de aarde

Milieueffecten van fossiele brandstoffen treden niet alleen op bij de verbranding. Ook bij de winning komen afvalstoffen vrij die deels ter plaatse worden gestort. Het landschap wordt erdoor aangetast. Ook kernenergie is vervuilend. In kerncentrales komt radioactief afval vrij dat honderden tot duizenden jaren blijft stralen en daarom al die tijd veilig moet worden opgeslagen, zonder enig contact met het milieu. Dit kan bijvoorbeeld in diepe kleilagen of in zoutkoepels. Het zijn dure oplossingen. Verder kleven er risico's aan kernenergie. Het ongeluk in 2011 in de Fukushima-kerncentrale in Japan heeft dit wel aangetoond. En eerder waren er kernongelukken in het Oekraïense Tsjernobyl en in de Amerikaanse Three-Miles Island-reactor.

De belangrijkste vervuiling van fossiele brandstoffen is op dit moment de uitstoot van CO_2 waarvan de concentratie in de atmosfeer steeds verder toeneemt. Het zogenaamde broeikaseffect dat hierdoor ontstaat, warmt de aarde op (zie kader). De temperatuur op aarde is sinds 1980 met bijna één graad Celsius gestegen; de komende tien jaar zal daar nog eens 0,3 tot 0,7 graad Celsius bijkomen. Zonder verdere actie zal die temperatuur volgens berekeningen deze eeuw in totaal vier graden stijgen.

De temperatuur op aarde stijgt deze eeuw met 4 graden Celsius

Sinds de tachtiger jaren van de vorige eeuw is er serieuze aandacht voor die stijgende concentratie kooldioxidegas. In 1998 hebben honderden wetenschappers zich verenigd in het zogeheten Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), een organisatie van de Verenigde Naties ⓘ *006*. Zij verzamelen en analyseren alle gegevens over de uitstoot van kooldioxide. Eind 2014 verscheen hun laatste evaluatie ⓘ *007*. Er is een samenvatting van in het Nederlands ⓘ *147*. De CO_2-stijging in de atmosfeer gaat gepaard met talloze (bio)chemische processen in onder andere oceanen. Ze worden langzaam maar zeker beter begrepen. De temperatuur op aarde stijgt. Dit veroorzaakt een klimaatverandering waarvan de afgelopen jaren de eerste verschijnselen zichtbaar zijn geworden. Er treden meer, regionaal verschillende, extremiteiten op in het weer. Dit uit zich in

HET BROEIKASEFFECT

Fossiele brandstoffen zijn opgebouwd uit koolstof- en waterstofatomen. Bij de verbranding ervan worden koolstofatomen omgezet in kooldioxidegas (CO_2). De hoeveelheid verschilt per brandstof: bij de verbranding van steenkool komt ongeveer anderhalf keer zo veel CO_2 vrij als bij de verbranding van aardgas. Olie zit hier tussenin. Kooldioxidegas komt via de schoorsteen van elektriciteitscentrales, bedrijven en woningen en via de uitlaat van auto's in de lucht terecht. Het gas is niet giftig. Kooldioxidegas stijgt op naar de hogere luchtlagen terwijl een deel oplost in oceanen.

Kooldioxidegas laat zonlicht van buiten de atmosfeer door; warmtestraling vanaf aarde richting heelal wordt door de atmosfeer tegengehouden, net als bij een tuinbouwkas: zonne-energie die een kas binnenkomt wordt tegengehouden door de glasconstructie en kan zo bijna niet meer naar buiten.

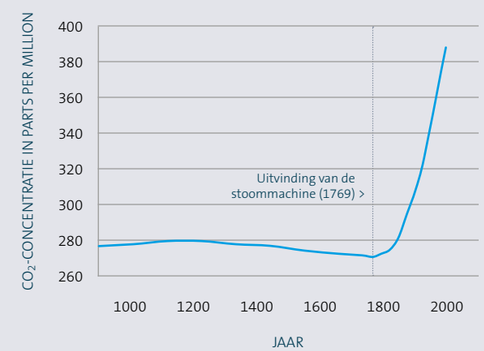
Op aarde is dit niet anders. Warmte kan door de kooldioxideschil rond de aarde niet weg waardoor de temperatuur op aarde toeneemt: het zogeheten broeikaseffect. Kooldioxidegas is het belangrijkste broeikasgas maar er zijn er meer zoals methaan (aardgas).

Sinds het begin van de Industriële Revolutie is de CO_2-concentratie in de atmosfeer met bijna vijftig procent gestegen van indertijd 280 p.p.m. (parts per million, deeltjes per miljoen deeltjes lucht) naar ongeveer 400 p.p.m. nu. Uit een recente studie van het Amerikaanse weerinstituut NOAA blijkt dat 2014 een extreem jaar is geweest ⓘ *158*. De CO_2-concentratie is onverwacht nog sneller gestegen. Klimaateffecten zijn meetbaar en wijzen in één richting: de zee- en landtemperatuur is sterk gestegen, en ook nog eens het hele jaar door.

Het broeikasteffect veroorzaakt klimaatverandering

Omdat er in het verre verleden door natuurlijke oorzaak ook grote fluctuaties in de kooldioxideconcentratie zijn geweest, stellen sceptici dat bij lange na niet wetenschappelijk vaststaat dat het gebruik van fossiele brandstoffen de oorzaak is van die klimaatverandering. Zij verwijzen daarbij onder meer naar de kleine ijstijd enkele eeuwen geleden om aan te tonen dat niet per se de gestegen CO_2-concentratie de oorzaak hoeft te zijn van een warmer wordende aarde.

Figuur 1-4: De stijging van de kooldioxideconcentratie. Bron: ⓘ 006



Windpark op land in Noord Duitsland.

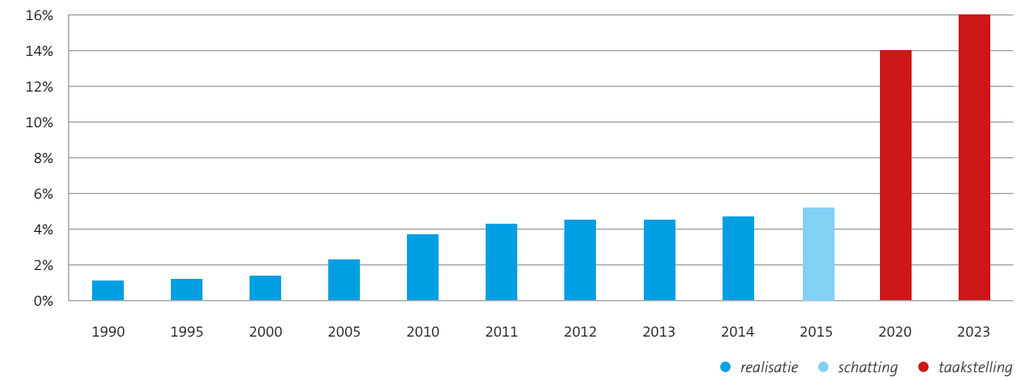
heftigere tornado's en stormweer en in minder koude winters en warmere zomers. De gevolgen ervan kunnen immens zijn zoals het smelten van ijskappen en een grote zeespiegelstijging.

De (model)berekeningen van het IPCC dienen als basis voor wereldwijd beleid onder auspiciën van de Verenigde Naties. Er zijn de afgelopen jaren moeizame, ellenlange en weinig succesvolle onderhandelingen gevoerd om te komen tot internationale afspraken om de uitstoot van CO_2 (drastisch) te beperken. Dit kan alleen door zuiniger om te gaan met fossiele brandstoffen en/of het afvangen van kooldioxidegas bij centrales om dat vervolgens op te slaan in 'lege' aardgasvelden of zoutholtes. Vage en onvoldoende politieke besluiten hebben tot nu toe, ook in Nederland, niet veel opgeleverd. De afwachtende houding van de Nederlandse regering schoot voor de zomer van 2015 ook de Haagse Rechtbank in het verkeerde keelgat: in een unieke uitspraak oordeelde de rechter dat Nederland meer moet doen om internationaal gemaakte afspraken na te komen *101, 102, 103*. De rechtszaak tegen de Staat was aangespannen door de Stichting Urgenda, een Nederlandse organisatie die duurzaamheid nastreeft *146*. De gevolgen van deze uitspraak zullen de komende jaren hun uitwerking hebben op de energievoorziening, zo is de verwachting.

ZON EN WIND GENOEG

De zon is een enorme bron van energie; heel het leven op aarde hangt ervan af. Het totale vermogen aan energie dat de zon uitstraalt, bedraagt ongeveer 386 x 10^{24} Watt. Een onvoorstelbare hoeveelheid. Slechts een klein deel daarvan bereikt de aarde. En dan wordt ook nog eens veel daarvan door de aardse atmosfeer teruggekaatst richting ruimte. Uiteindelijk komt er maar 0,23% van de uitgestraalde zonne-energie daadwerkelijk op aarde terecht. Het is een klein percentage maar het gaat om een immense hoeveelheid. De zonne-energie die het Nederlandse aardoppervlak bereikt, bedraagt in energie uitgedrukt 150.000 PJ per jaar. Dit is ongeveer vijftig maal het jaarlijkse energiegebruik in ons land. Rond de keerkringen is het nog zonniger. De instraling per vierkante meter is daar gemiddeld ongeveer anderhalf maal zo veel als in Nederland. Zonne-energie is er nog beter te gebruiken. Voor wind is dit niet veel anders. Een kleine fractie van de wind die ons land passeert, is (in energie gerekend) voldoende om onze totale energiebehoefte te dekken.

Figuur 1-5: Duurzame energie in procent van bruto eindverbruik in Nederland. Bron: CBS *167*



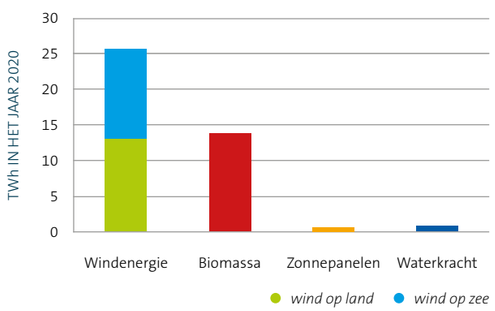
ANDERE ENERGIEVOORZIENING

Er is dus alle reden om over te schakelen op alternatieven, die niet opraken, minder vervuilen en geen broeikasgassen uitstoten. De zon levert dagelijks enorme hoeveelheden energie af op aarde (zie kader). Daarmee kunnen we onze energiebehoefte nu en in de verre toekomst dekken. De zon zelf is te gebruiken maar ook afgeleiden daarvan zoals windenergie (gevolg van thermodynamische processen door de instraling), waterkracht (door verdamping en neerslag) en biomassa (groei van bomen en planten) kunnen bijdragen. Het zijn hernieuwbare bronnen (renewables) die schoon zijn, onuitputtelijk en als het meezit de komende jaren ook betaalbaar. Ze vergroten bovendien de onafhankelijkheid. Zetten we deze hernieuwbare bronnen om in een bruikbare vorm zoals elektriciteit, en dit gebeurt zonder (bovenmatige) aantasting van het milieu, dan noemen we dit duurzaam. In het Engels: sustainable. Windenergie voldoet hier (voor de meeste mensen) aan.

Windenergie is 'duurzaam': de bron is onuitputtelijk, de omzetting schoon

De wereld zal een overschakeling moeten maken naar duurzame energiebronnen. Deze energie-transitie vraagt tijd en geld en acceptatie van een – op termijn – heel ander energiesysteem. Er zijn nieuwe technologieën voor nodig. De ontwikkeling daarvan kost geld en tijd: van een kleinschalig beginnetje in een laboratorium (of een windmolentje achter de schuur) naar grootschalige toepassing met megawatt-turbines kost dertig tot veertig jaar. We zitten in een overgangsfase. Zonne- en windenergie zullen de komende decennia, met horten en stoten, een steeds belangrijkere rol gaan spelen in die nieuwe energievoorziening en zullen fossiele brandstoffen geleidelijk vervangen.

Figuur 1-6. Duurzame elektriciteitsproductie in 2020. Bron: 010; (totaal elektriciteitsgebruik: 110 TWh/jaar).



De Europese Unie heeft maatregelen genomen. Afspraken zijn gemaakt geleidelijk over te stappen op een duurzame energievoorziening. De EU stimuleert daarom al jaren de ontwikkeling ervan. In 2009 werd een flinke stap gezet: de gezamenlijke lidstaten hebben zich verplicht in het jaar 2020 20% van hun energieverbruik te halen uit hernieuwbare bronnen 008, 009. Er is voor elk EU-land een (andere) doelstelling geformuleerd. Nederland moet zich houden aan een bijdrage van 14% hernieuwbare energie in 2020.

Nederland moet in 2020 14% van het energieverbruik uit hernieuwbare bronnen halen

Nederland liep in het begin van de negentiger jaren in Europa voorop om duurzame energie toe te passen. Sinds het begin van deze eeuw is er sprake van zwak en zwalkend overheidsbeleid. Er is al jaren bijna geen groei meer in het gebruik van hernieuwbare bronnen. Het percentage is iets toegenomen maar we bungelen wat prestatie betreft inmiddels onder aan in Europa. Nederland moet nog een flinke slag maken: het gebruik van hernieuwbare energie zal de komende vijf jaar moeten verdrievoudigen om die Europese doelstelling van 14% te kunnen halen.

ENERGIE AKKOORD 2013

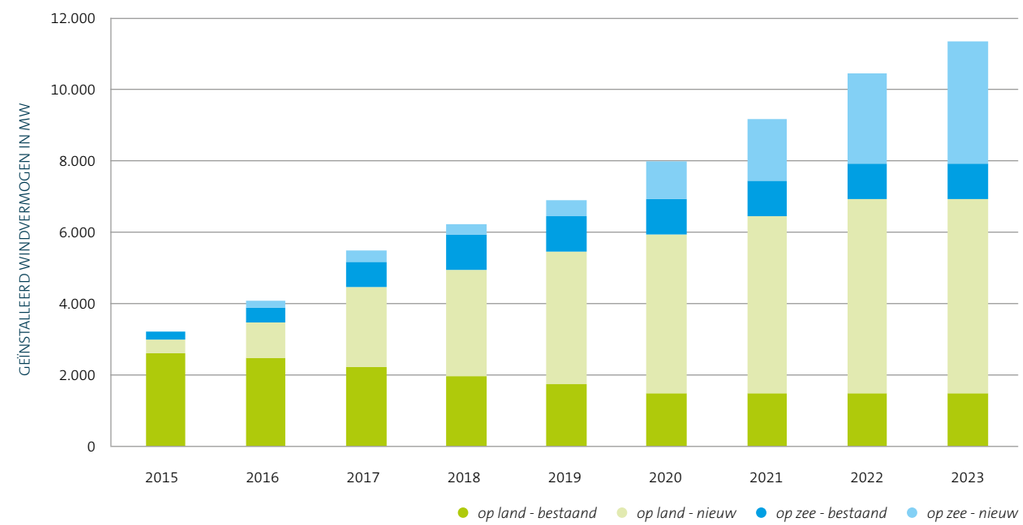
In 2013 heeft de overheid daarom met meer dan veertig partijen, variërend van VNO-NCW tot Greenpeace, het Energie Akkoord gesloten 011, 012. Hierin zijn in detail maatregelen uitgewerkt. Het Energie Akkoord borduurt voort op het Nationale Plan dat het demissionaire kabinet Balkenende-IV in 2010 heeft ingeleverd bij de Europese Commissie 010.

De afspraken rusten op een tiental pijlers zoals energiebesparing en het gebruik van hernieuwbare energie, maar ook het sluiten van kolencentrales en maatregelen om de mobiliteit terug te dringen. De belangrijkste afspraken zijn:

- Het energieverbruik moet de komende jaren jaarlijks met 1,5 procent omlaag.
- In 2020 moet de bijdrage van hernieuwbare bronnen 14% zijn; en in 2023 ongeveer 16%.
- Meer dan 35% van de elektriciteit wordt duurzaam opgewekt.
- Uitvoering van het plan levert de komende jaren 15.000 banen op.

Het Energie Akkoord is ambitieus omdat Nederland inmiddels een grote achterstand heeft opgelopen. Volgens het onderzoekscentrum ECN in Petten is het doel alleen haalbaar als alle gemaakte afspraken worden nagekomen 014. Er moet elk jaar een evaluatie komen. Als daaruit blijkt dat het niet lukt dan zijn bijstellingen nodig, adviseert het ECN. Uit de eerste voortgangsrapportage blijkt dat het plan in 2014 nog op koers lag 015.

Figuur 1.7 De geplande groei van het windvermogen 2015 – 2023, volgens het Energie Akkoord.



Het Energie Akkoord gaat er vanuit dat in 2020 meer dan een derde van de elektriciteit met hernieuwbare bronnen wordt geproduceerd. Wind zal een grote rol gaan spelen. Windturbines (op land en op zee) moeten in 2020 twee derde van de duurzame stroomproductie voor hun rekening nemen. In figuur 1-6 is dit te zien. Dat kan als er dan 6.000 MW aan windturbines op land staat, en (genoteerd voor 2023) nog eens 4.500 MW op de Noordzee. In figuur 1-7 is te zien hoe groot de inspanning is: de komende vijf jaar moeten er ongeveer tweeduizend turbines op land worden neergezet en duizend op zee.

Tot 2020 moeten drieduizend windturbines worden geplaatst, op land en op zee

Windpark Noordzeewind.

DUURZAME ENERGIEBRONNEN

Windenergie en biomassa zijn voor Nederland de belangrijkste en goedkoopste duurzame energiebronnen. Bij biomassa gaat het vooral om houtsnippers van afvalhout en van resthout uit Nederlandse bossen en import uit met name de VS en Canada. Deze biomassa wordt in poederkoolcentrales bijgemengd en vervangt zo kolen. Ongeveer vier procent van de elektriciteit in Nederland komt uit biomassa. Er zijn ook kleine, decentrale biomassacentrales waar afvalstromen zoals biogas uit mestvergisting en rioolwaterzuivering worden gebruikt. Zonne-energie is op afstand de derde duurzame energiebron. Het gaat om zonneboilers die warm (douche)water maken, maar vooral om zonnepanelen op daken van huizen en boerenschuren die elektriciteit produceren die lokaal in het elektriciteitsnet wordt gestopt. Het gebruik van zonnepanelen heeft de afgelopen jaren een enorme vlucht genomen omdat ze steeds goedkoper zijn geworden. Eind 2014 lag er op Nederlandse daken zo'n duizend megawatt aan elektrisch zonvermogen. De branche-organisatie Holland Solar verwacht de komende vijf jaar een vervijfvoudiging daarvan. Hiervoor zijn er daken op huizen en gebouwen genoeg, heeft de organisatie berekend. De kostprijs van deze stroom is nog 2 á 3 keer duurder dan windenergie op land. De kleinschalige opwekking is voor de consument interessant omdat zonnestroom tegen de kleinverbruikersprijs wordt afgerekend en niet tegen groothandelstarief (zoals bij windenergie).

Het Ecopark in Waalwijk, met zonnepanelen, windmolens en biogas.

Voor waterkracht, waarbij het hoogteverschil in stromend water wordt gebruikt om elektriciteit te maken, zijn in Nederland maar weinig mogelijkheden. Het hoogteverschil in de rivieren is meestal te gering. Zelfs in Limburg is dit maar enkele meters. In de sluis- en stuwcomplexen bij Lith en bij Linne in de Maas draaien sinds 1988/1990 twee waterkrachtcentrales. Een derde is in bedrijf bij de stuw bij Maurik in de Nederrijn. De drie zijn samen goed voor een elektrisch vermogen van een schamele 37 megawatt. Veel meer waterkrachtvermogen is in Nederland niet te verwachten.

Windenergie en biomassa zijn voor Nederland de belangrijkste duurzame bronnen

Nederland is daarom uitgeweken naar Noorwegen waar de waterkrachtpotentie enorm is vanwege grote hoogteverschillen daar. De Nederlandse netbeheerder TenneT heeft in 2008 een zeshonderd kilometer lange onderzeese kabel naar Noorwegen in gebruik genomen. Noorse waterkrachtstroom met een elektrisch vermogen van 550 megawatt komt nu bij de Eemshaven ons land in. In de daluren gaat stroom terug en wordt goedkope Nederlandse stroom gebruikt om waterbekkens in Noorwegen weer te vullen, als een vorm van energieopslag.

Getijdenenergie is ook een – zij het kleine – optie. Het verschil tussen eb en vloed in de Noordzee is maar enkele meters. In één van de schuifopeningen van de Oosterscheldekering is vanaf eind 2015 een kleine proefcentrale in bedrijf. Vijf turbines gaan er tijdens eb en vloed energie uit het langsstromende water omzetten in stroom. Het elektrische vermogen van deze centrale is 1,2 MW. Er zijn op papier plannen voor nog enkele kleine centrales. Veel zullen het er echter niet worden, het potentieel is te gering.

Het gebruik van aardwarmte (geothermie) is een andere duurzame optie. Warmte vanuit het binnenste van de aarde verwarmt het aardoppervlak. In Nederland moet je tot ongeveer drieduizend meter diepte gaan om water met een temperatuur van ongeveer 100 °C naar boven te kunnen halen. In de buurt van Pijnacker wordt warm water uit een diepe zandlaag naar boven gehaald voor de verwarming van enkele planten- en tuinbouwkassen. Ook enkele flats worden hierop aangesloten. Ook het gebruik van aardwarmte in Nederland is beperkt. Elektriciteitsproductie is niet in beeld – in tegenstelling tot in sommige andere landen – omdat de temperatuur van het opgepompte water te laag is.

HOOFDSTUK 2

Om te begrijpen hoeveel elektriciteit een windturbine kan maken, moeten we weten hoeveel energie er in de wind zit, wanneer en uit welke richting het waait. Er zijn lokaal grote verschillen. Hoe kun je daar rekening mee houden bij het ontwerpen van een windpark en het kiezen van een bouwlocatie?

OVER WIND EN HOE DIE ONTSTAAT

Wind, één van de belangrijkste natuurverschijnselen op aarde, heeft als ultieme veroorzaker de zon. Luchtdrukverschillen ontstaan omdat de zon de aarde niet gelijkmatig opwarmt. In de tropen en boven land is de opwarming over het algemeen hoger dan op hogere breedtegraden en op zee. Omdat warme lucht lichter is dan koude lucht, stijgt deze op. Er ontstaat hierdoor een 'tekort' aan lucht (lage druk) dat wordt aangevuld uit aanpalende gebieden met 'meer lucht' (hoge druk). Er gaat dan lucht stromen van een gebied met hoge druk naar een gebied met lage druk. Deze luchtstroming noemen we *wind*.

Wind is een luchtstroming die ontstaat door temperatuurverschillen op aarde

In West-Europa nestelt zich vaak een lagedrukgebied op de Noordzee of boven Schotland. De wind in Nederland waait hierdoor vaak uit zuidwestelijke richting. De draaiing van de aarde versterkt dit effect en zorgt ervoor dat op het noordelijk halfrond luchtstroming een afwijking naar rechts krijgt. Dit Coriolis-effect werd in het midden van de 19de eeuw ontdekt door de Nederlandse natuurkundige Buys Ballot. In een lagedrukgebied krijgt de wind daardoor een afwijking tegen de wijzers van de klok in; bij een hogedrukgebied is dit juist met de wijzers mee. Dit is te zien in figuur 2-1. Er is afgesproken dat met *windrichting* de richting wordt bedoeld waar de wind vandaan komt: zuidwestelijke wind komt uit het zuidwesten.

WINDSNELHEID

Omdat gebieden met hoge en lage druk zich verplaatsen over de aarde en in sterkte variëren, verandert de wind voortdurend van richting en sterkte. Die sterkte wordt meestal weergegeven in Beaufort, genoemd naar een in Ierland geboren Britse admiraal die in de 18de eeuw voor het eerst een windkrachtindeling maakte. De schaal loopt van 0 (windstil) tot en met 12 (orkaankracht). Voor huis-, tuin- en keukengebruik is dit nauwkeurig genoeg. Windmolenbouwers gebruiken een meer nauwkeurige, metrische schaal waarbij de snelheid wordt uitgedrukt in *meters per seconde* (m/s).

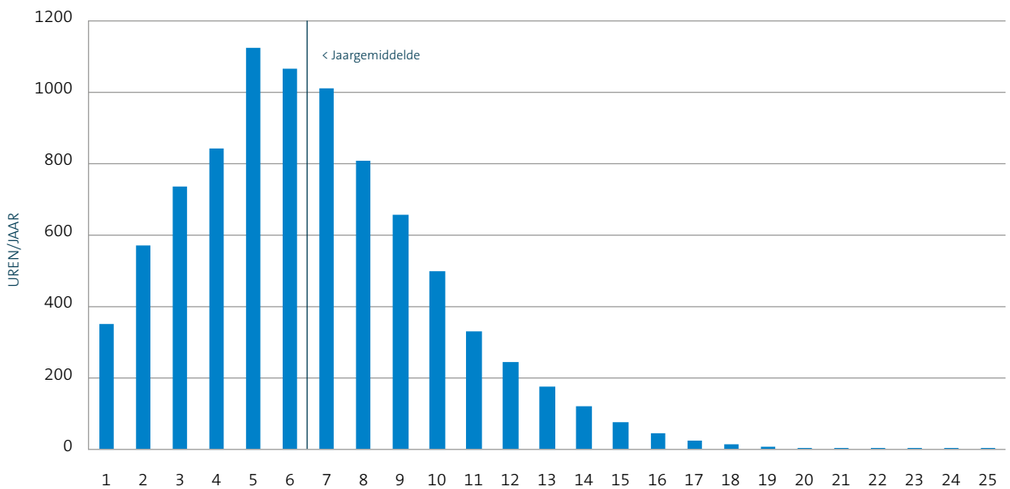
In Nederland kan het hard waaien, maar orkanen komen hier niet voor. De windsnelheid komt hier zelden boven 25 m/s (oftewel windkracht 10) uit. Windturbine-exploitanten willen weten hoe de windsnelheid varieert. Dit is een belangrijk gegeven omdat dit de stroomproductie en de daaraan gekoppelde economische opbrengst (rentabiliteit) bepaalt. Hiervoor wordt de *windsnelheidsverdeling* gebruikt, die aangeeft hoeveel uren in een jaar het hard en minder hard waait op een specifieke locatie.

Figuur 2-1. De overheersende windrichting in Nederland is zuidwest.

Figuur 2-2. Windsnelheid, de relatie tussen Beaufort en meters per seconde (m/s).

Beaufort	Windsnelheid		Benaming Wind op land	Kenmerken
	in m/s	in km/uur		
0	< 0,2	<1	Windstil	Rook stijgt recht of bijna recht omhoog
1	0,3 – 1,5	1 – 5	Zwakke wind	Windrichting goed herkenbaar aan rookpluimen
2	1,6 – 3,3	6 – 11		Bladeren beginnen te ritselen en windvanen kunnen gaan bewegen. Wind begint merkbaar te worden in het gelaat
3	3,4 – 5,4	12 – 19	Matige wind	Bladeren en twijgen zijn voortdurend in beweging
4	5,5 – 7,9	20 – 28		Kleine takken beginnen te bewegen. Stof en papier beginnen van de grond op te dwarrelen
5	8,0 – 10,7	29 – 38	Vrij krachtige wind	Kleine bebladerde takken maken zwaaiende bewegingen. Er vormen zich gekuifde golven op meren en kanalen
6	10,8 – 13,8	39 – 49	Krachtige wind	Grote takken bewegen. Paraplu's kunnen slechts met moeite worden vastgehouden
7	13,9 – 17,1	50 – 61	Harde wind	Gehele bomen bewegen. De wind is hinderlijk, wanneer men er tegenin loopt
8	17,2 – 20,7	62 – 74	Stormachtige wind	Twijgen breken af. Fietsen en lopen wordt bemoeilijkt
9	20,8 – 24,4	75 – 88	Storm	Lichte schade aan gebouwen. Schoorsteenkappen en dakpannen worden afgerukt
10	24,5 – 28,4	89 – 102	Zware storm	Ontwortelde bomen. Aanzienlijke schade aan gebouwen. (komt boven land zelden voor)
11	28,5 – 32,6	103 – 117	Zeer zware storm	Uitgebreide schade
12	> 32,6	> 117	Orkaan	Komt boven land uiterst zelden voor

Figuur 2-3. De windsnelheidsverdeling (in meter/seconde) in Oost-Nederland op 100 meter hoogte.



In figuur 2-3 is als voorbeeld de windsnelheidsverdeling weergegeven in Oost-Nederland (omgeving Deventer) op circa honderd meter hoogte, de tegenwoordige hoogte van windturbinemasten. De vorm van de figuur benadert een zogenaamde Weibullcurve, waaraan wiskundigen kunnen rekenen.

Het waait aan de kust harder dan in het binnenland

In de grafiek is te zien dat het in de buurt van Deventer meestal een klein beetje waait; echt hard waait het daar niet vaak. Het waait ruim achthonderd uur per jaar tussen 3,5 en 4,5 m/s . Dit is bijna tien procent van het aantal uren in een jaar. Uit deze verdeling is een *gemiddelde windsnelheid* te berekenen voor de betreffende locatie: 6,65 m/s.

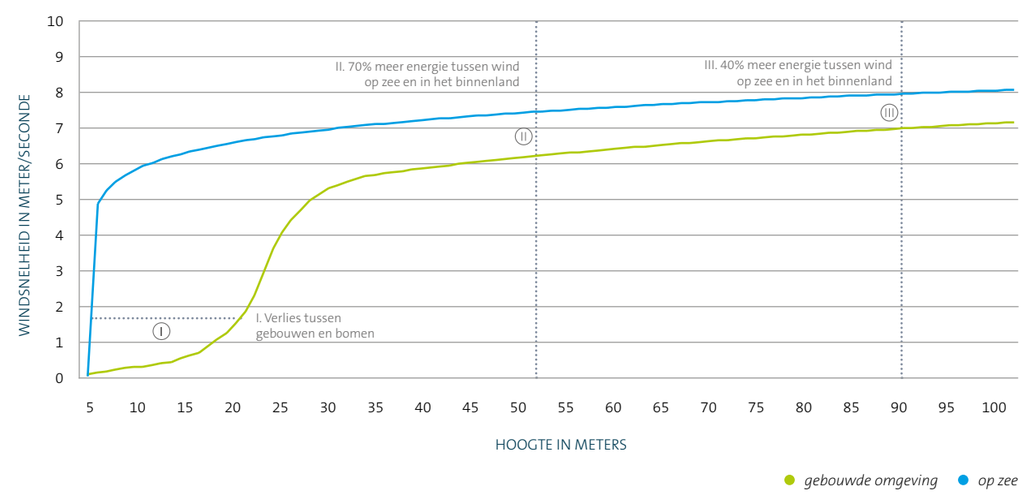
Om er achter te komen hoe hard het ergens waait, wordt met een windmeetmast gedurende een lange periode de gemiddelde windsnelheid gemeten over opeenvolgende perioden van tien minuten. In een gewoon jaar zitten 8.760 uren (365 dagen x 24 uren). Er ontstaat zo een meetreeks van ruim 50.000 waarnemingen om een windsnelheidsverdeling te kunnen maken. Het KNMI heeft op verschillende plaatsen in Nederland op verschillende hoogtes de windsnelheid gemeten, vaak vele jaren achtereen. Onderzoeksinstituut KEMA heeft in 2005 op basis hiervan de jaargemiddelde windsnelheid in Nederland berekend ⓘ *021*. In de klimaatatlas van het KNMI is een kaart van de gemiddelde windsnelheid te vinden, samengesteld op basis van weergegevens die dertig jaar achtereen (van 1981 tot en met 2010) zijn verzameld ⓘ *022*.

De Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) heeft in 2014 ook een kaart (figuur 2-5) uitgebracht op basis van gegevens van het KNMI en het CBS, uit de periode 2004 -2013 ⓘ *169*. In de kaart is, niet geheel verrassend, te zien dat het in de kustgebieden en rond het IJsselmeer het hardst waait. De rode en oranje gebieden op de kaart zijn de meest interessante voor de bouw van windturbines. Daar waait het vaak hard.

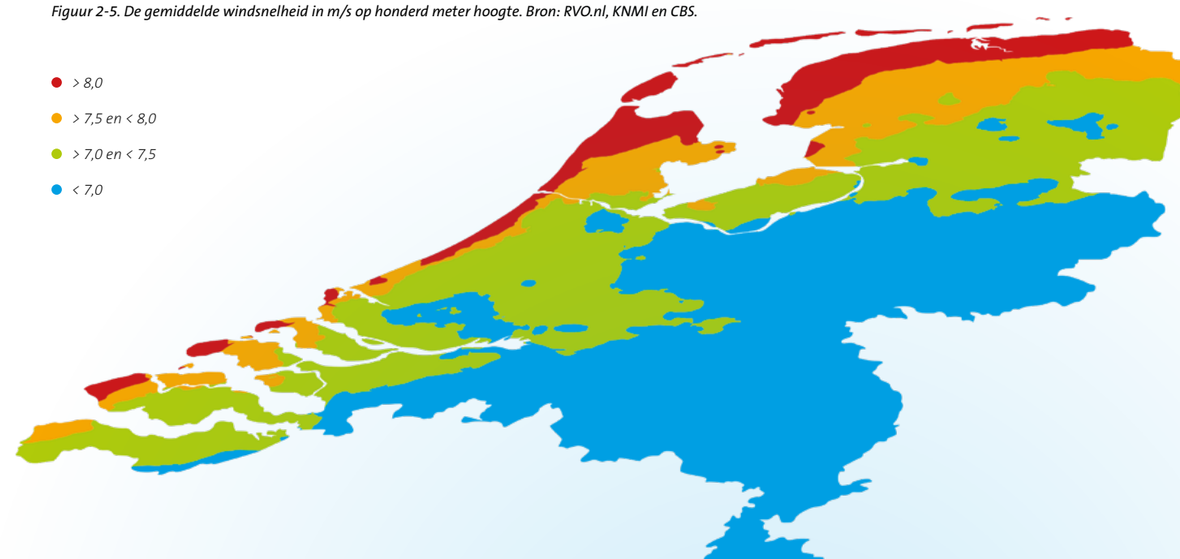
Op grote hoogte waait het harder dan aan de grond

In het binnenland wordt wind, die landinwaarts gaat, afgeremd door allerlei obstakels op de grond. Zijn er veel obstakels in een terrein dan is de zogeheten ruwheidsfactor daar groot. Hoe hoger je komt, des te harder waait het. Op grote hoogte is de ruwheidsfactor minder van invloed op de windsnelheid dan op de grond. Dit wordt aangegeven met de windgradiënt,

Figuur 2-4. Verloop van de windgradiënt in het binnenland en op zee.



Figuur 2-5. De gemiddelde windsnelheid in m/s op honderd meter hoogte. Bron: RVO.nl, KNMI en CBS.

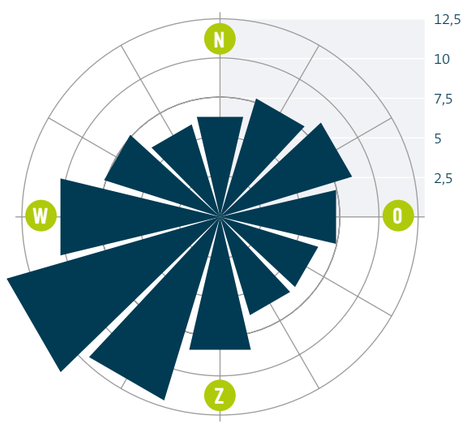


die aangeeft hoeveel de winsnelheid afwijkt van de ongestoorde windsnelheid op grote hoogte. In figuur 2-4 is het effect van de ruwheid van het terrein (binnenland en op zee) op de windgradiënt te zien.
De windsnelheid bepaalt hoeveel elektriciteit een windturbine produceert. Een hoge windturbine verdient daarom de voorkeur, zeker op land. De laatste jaren worden windrotoren daarom op steeds hogere masten geplaatst. Voortschrijdende technologie-ontwikkeling helpt daarbij een handje: er kunnen nu, dankzij betere materialen steeds grotere bladen en hogere masten worden gebouwd.

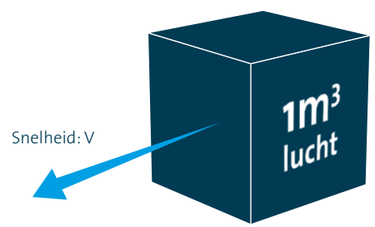
WINDRICHTING

De overheersende windrichting speelt een grote rol bij de inrichting van een windpark en de onderlinge afstand tussen turbines. Om de energieopbrengst van turbines te maximaliseren, wordt er op gelet dat ze

Figuur 2-6. De windroos voor Deventer geeft procentuele verdeling van de windrichting op de locatie.



Figuur 2-7. In stromende lucht zit energie.



in de meest voorkomende windrichting niet achter hoge obstakels of achter elkaar komen te staan. Met een zogeheten windroos is inzichtelijk te maken hoe de windrichting varieert in de tijd. In figuur 2-6 is zo'n *windroos* te zien. De lengte van de staafjes geeft voor elke windrichting aan hoe vaak de wind uit die hoek waait. Uit de figuur is af te lezen dat – op deze specifieke locatie – de wind het vaakst uit het westzuidwesten komt. Met speciale rekenprogramma's worden windsnelheid en windrichting van te voren uitvoerig geanalyseerd om een windpark optimaal te kunnen ontwerpen.

WINDVERMOGEN

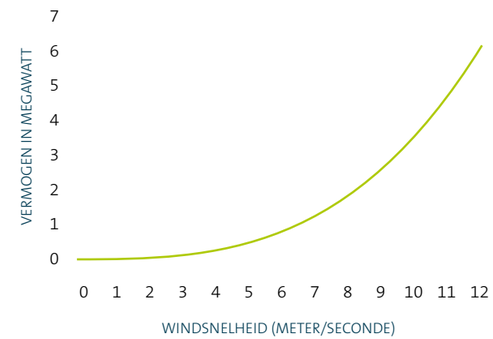
Het vermogen in de wind dat door de rotor van een windturbine stroomt, is te berekenen met een formule waarin de rotordiameter en de windsnelheid zit:

P (windvermogen) ≈ 0,42 x V^3 x D^2 (in Watt)

P = vermogen in Watt
V = de windsnelheid in meter per seconde
D = de diameter van de rotor in meter

Wanneer het twee keer zo hard waait, stroomt er acht maal zoveel energie door de rotor. Bij een twee keer grotere diameter is de hoeveelheid energie vier maal zo groot.

Figuur 2-8. Windvermogen door een rotor met een diameter van negentig meter.



De gemiddelde windsnelheid en windrichting kunnen van jaar tot jaar variëren. De windsnelheidsverdeling en de windroos worden daarom gebaseerd op de langjarige gemiddelde waarden die door het KNMI worden gepubliceerd ⓘ *022*. Ze geven gemiddelden en variaties weer over een periode van dertig jaar voor meerdere windmeetstations in Nederland.

HOEVEEL ENERGIE ZIT ER IN DE WIND?

Iedereen weet dat het heel wat meer energie kost om tegen harde wind in te fietsen dan een fietstochtje te maken bij windstil weer. Stormachtig weer is nog erger, maar hoeveel erger? Dan komt het begrip *kinetische energie* in beeld. Een voorwerp dat zich voortbeweegt heeft *bewegingsenergie*, ook wel kinetische energie genoemd. Deze wordt bepaald door de massa van het voorwerp en de snelheid. Ook in een kubieke meter lucht die zich verplaatst, zit kinetische energie. Een kubieke meter lucht weegt (eigenlijk: 'heeft een massa van') ongeveer 1,08 kg (een beetje afhankelijk van de omstandigheden). De natuurkunde leert dat de energie in een bewegend voorwerp toeneemt met het kwadraat van de snelheid. Bij wind is dit niet anders: een kubieke meter lucht die zich verplaatst met 20 m/s heeft vier keer zoveel bewegingsenergie als bij 10 m/s en zestien keer zoveel als bij 5 m/s.

De energie in de wind neemt toe met de derde macht van de windsnelheid

De energie die in één seconde door de rotor van een windturbine stroomt, is evenredig met de oppervlakte van de rotor en met de derde macht van de windsnelheid.

Dus als het twee maal zo hard waait, is de hoeveelheid energie die per seconde door de rotor stroomt acht keer zo groot. Zelfs als het maar iets harder waait, zal dit flink aantikken in de stroomproductie. In figuur 2-8 is het energetische vermogen van de lucht te zien, die een rotor met een diameter van 90 meter passeert. Tot een windsnelheid van 3 à 4 meter per seconde is de hoeveelheid energie in de wind nog gering. Bij 9,5 m/s is het vermogen in de wind al 3 miljoen watt (3 MW) en bij 12 m/s: 6 MW.

HEBBEN WINDTURBINES EFFECT OP DE WIND?

Een windturbine die energie uit de langskomende wind haalt, doet daar iets mee. Een rotor van een windturbine zet een deel van de kinetische energie van de wind om in een draaiende beweging. De snelheid van de wind achter de windturbine zal daardoor iets lager zijn. Dit wordt ook wel het *zog-effect*

genoemd. Achter de windturbine mengt de lucht, die om de rotor heen is gestroomd zich met lucht die door de rotor is gestroomd en herstelt de windsnelheid zich.

Windturbines halen dus energie uit de wind. Ter plekke van de rotor is dit veel, maar bekeken over een wat groter gebied eromheen, valt de onttrokken energie in het niet. Het plaatsen van een groot aantal windturbines in Nederland heeft dan ook een verwaarloosbaar effect op de wind.

Windturbines hebben een verwaarloosbaar effect op de wind

Er ontstaat wel enige turbulentie in de wind, direct achter de rotor. Turbulentie levert soms een mooi plaatje op bij specifieke weersomstandigheden, zoals de foto van het offshore windpark Horns-Rev in Denemarken laat zien. De aankomende wind voor de turbines ziet er nog rustig uit, achter de turbine zijn echter fraaie wervelingen zichtbaar.

Vanwege die turbulentie moet een volgende windturbine op voldoende afstand staan om hier niet te veel last van te hebben. In de praktijk wordt als vuistregel gehanteerd dat op een afstand van vier tot zeven keer de doorsnede van de rotor een volgende windturbine kan worden geplaatst zonder dat deze te veel last heeft van dit zog-effect. Op die afstand is de wind zodanig hersteld dat meer dan 90% van de oorspronkelijke hoeveelheid energie weer beschikbaar is voor de volgende windturbine.

Bij het windparkontwerp wordt vaak ook rekening gehouden met de overheersende windrichting ter plaatse. De afstand tussen turbines in deze richting moet wat groter zijn dan in een windrichting die nauwelijks voorkomt.

Turbulentie in het offshore-windpark Horns-Rev (Denemarken).

Start van windrace Aeolus in 2014. Bron: www.windenergyevents.com ❶ 170

AEOLUS, RACE TEGEN DE WIND

Sinds 2008 wordt hartje zomer op de zeedijk van Den Helder de Aeolus-race gehouden tussen zelfgebouwde skelters. Ze worden aangedreven door een windrotor en rijden dan zo hard mogelijk tegen de wind in. De skelters zijn meestal in elkaar gesleuteld door onderzoeksinstituten en universiteiten in binnen- en buitenland. Soms doet een particulier mee. De diameter van de rotor van de 'raceauto' mag niet groter zijn dan twee meter en de kar niet langer dan vier. De meeste skelters hebben één rotor; twee (of meer) mag ook. De meeste rotoren hebben een horizontale as die via een tandwielconstructie mechanisch is gekoppeld aan de wielas. Een elektrische koppeling mag ook, maar daar maakt niemand gebruik van; de energieverliezen zijn dan te groot.

De in elkaar gesleutelde windkarren moeten een aantal keren een afstand van een halve kilometer afleggen, verdeeld over drie dagen. Wie er in slaagt de meeste energie in de wind om te zetten in rijmeters wint. Een windkar kan bij windkracht 5 een topsnelheid halen van dertig kilometer per uur. Niet alleen de tijd die ze er over doen wordt gemeten, ook de gemiddelde windsnelheid tijdens de rit wordt geregistreerd. De verhouding tussen rijsnelheid en windsnelheid bepaalt de winst. Het wereldrecord is in handen van een Canadese wagen, de Chinook van een groep studenten van de École de Technologie Supérieur (ETS) in Montréal. Het wereldrecord werd gereden in 2014, bij ongeveer windkracht 5. De Canadese windkar reed bijna net zo hard tegen de wind in als het waaide. De Chinook, een skelter met een gestroomlijnde kunststof afschermkap, reed tegen de wind in met een snelheid van 96,91% van de actuele windsnelheid, op dat moment 28 km/uur. In 2013 lag het wereldrecord nog op 82,6%.

Windgod Aeolus, een figuur uit de Griekse mythologie werd, volgens de overlevering, door Zeus aangesteld als windregelaar. Aeolus gaf Odysseus als cadeautje een zak met tegenwinden mee zodat hij nooit meer last zou hebben van wind.

De Racing Aeolus in Den Helder is het windequivalent van een andere duurzaamheidsrace, de spectaculaire (tweejaarlijkse) World Solar Challenge-race in Australië. Om de twee jaar legt daar een tien- tot twintigtal zonneauto's, aangedreven door fotovoltaïsche cellen, een afstand af van vijfduizend kilometer tussen Darwin in het noorden van Australië en Adelaide in het zuiden. Een zonneauto van de TU Delft, gefinancierd door energiebedrijf Nuon, heeft de race (sinds 1987) meerdere malen gewonnen.

HOOFDSTUK 3

Een windturbine zet een deel van de wind die door het rotorvlak stroomt om in elektriciteit. Hoeveel stroom produceert een windturbine? Doet de turbine dit altijd, waarom draait hij weleens niet? Hoe bereken je de hoeveelheid elektriciteit die een windturbine produceert? En zijn windturbines nog beter te maken?

WINDSTROOM VOOR ELEKTRICITEITSNET

Enercon windturbine Delfzijl-zuid.

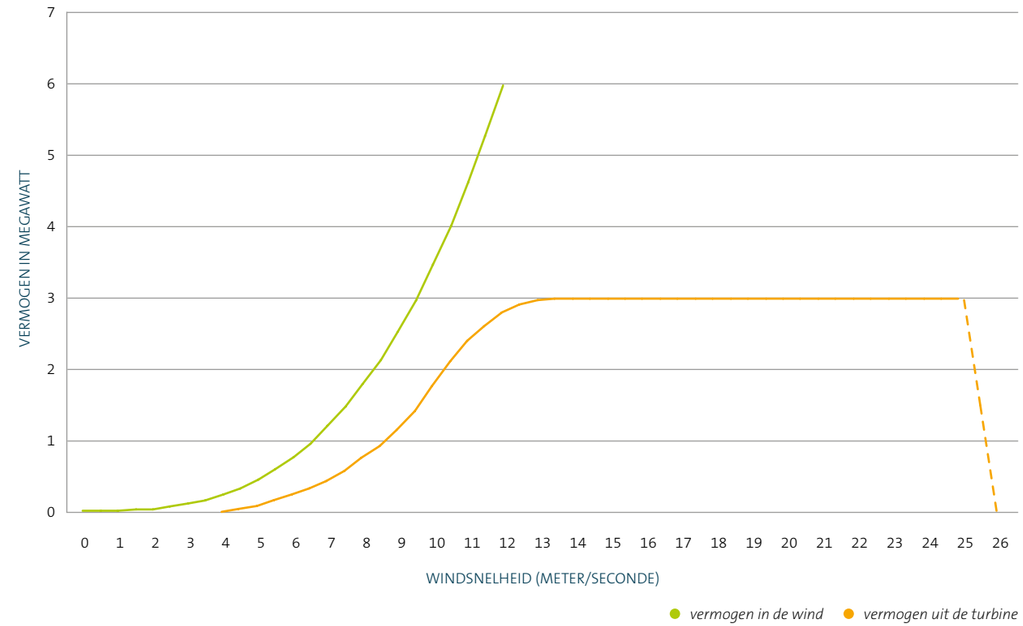
Het idee is simpel: met een windturbine is een deel van de kinetische energie in de wind om te zetten in elektriciteit. Wind stroomt door de rotor van de windturbine. De vorm van het windturbineblad is zo ontworpen dat een flink deel van de energie, die in de wind zit, wordt omgezet in een draaiende beweging van de rotor. De rotor onttrekt zo energie uit de wind. Die drijft vervolgens een elektrische generator aan om stroom te maken.

Een windturbine kan niet alle energie uit de wind halen. We lopen hier tegen natuurkundige beperkingen aan, die zijn neergelegd in het zogeheten Theorema van Betz. Albert Betz was een Duits scheepsbouwkundig ingenieur, gespecialiseerd in aerodynamica. Hij stelde in 1920 een wiskundige formule op waarmee te berekenen is dat een rotor met optimaal ontworpen bladen nooit meer dan 16/27 (59%) van de instromende windenergie kan omzetten in een draaiende beweging.

Een windturbine kan theoretisch maximaal 59% van de energie uit de wind halen

Een moderne rotor komt niet aan het theoretisch maximum van 59% maar haalt in de praktijk ongeveer 46% van de energie uit de wind en zet die om in een draaiende beweging van de wieken. Meer dan de helft van de energie blijft dus achter in de verder stromende wind. Hiermee zijn we er niet. Ook in de vervolgstappen, waarbij bewegingsenergie van de draaiende rotor wordt omgezet in elektriciteit, treden energieverliezen op in bijvoorbeeld de tandwielkast,

Figuur 3-1. Het vermogen in de wind en de vermogenscurve.



de elektrische generator en in de elektronica. In de praktijk is een rendement van ongeveer 40% haalbaar.

VERMOGENSCURVE

De elektriciteitsproductie van een windturbine varieert voortdurend. In figuur 3-1 is te zien hoeveel vermogen er in de wind zit en hoeveel de turbine er uit haalt, de zogeheten vermogenscurve. Uit die curve is af te lezen hoeveel netto elektrisch vermogen, na aftrek van verliezen, de turbine aan het stroomnet levert bij een specifieke windsnelheid. In dit geval gaat het om een windturbine met een generatorvermogen van 3 MW; de rotordiameter bedraagt 90 meter (zie ook figuur 2-8). Wanneer het nauwelijks waait, levert de windturbine helemaal geen elektriciteit; de energie-inhoud in de aanstromende lucht is nog te gering om de elektrische generator aan het draaien te krijgen. Vanaf de zogenaamde *cut-in*-windsnelheid (bij de meeste turbines 3 á 4 m/s) lukt dit wel. Neemt de windsnelheid verder toe dan produceert de windturbine steeds meer elektriciteit, totdat het maximale vermogen van de turbine wordt bereikt. Dit afkappunt wordt bereikt bij een windsnelheid van ongeveer 12 meter per seconde. Het is het maximum vermogen dat de turbine kan leveren, meer kan de elektrische generator niet.

De vermogenscurve geeft het netto elektrisch vermogen bij elke windsnelheid

Net zoals een autofabrikant auto's aanbiedt met verschillende motorvermogens, levert een wind-

fabrikant turbines met verschillende vermogenscurves en maximum vermogen. De curve is afhankelijk van de rotordiameter (bepalend voor de windvang) en de grootte van de elektrische generator (bepalend voor de maximale stroomproductie). Een investeerder kiest vervolgens uit het aanbod de turbine die het meest geschikt is voor de betreffende locatie. De vermogenscurve is hierbij een belangrijk technisch criterium.

JAARPRODUCTIE

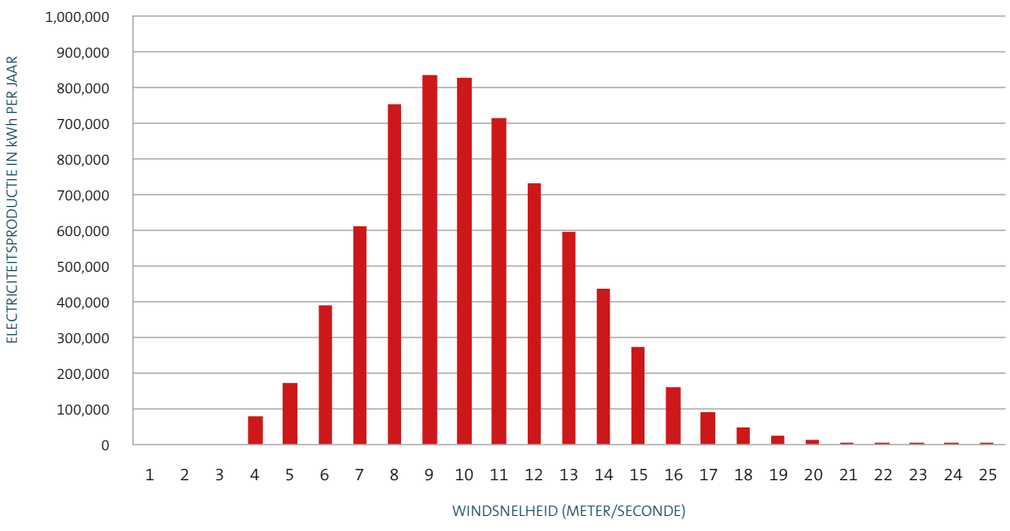
De elektriciteitsproductie van een turbine is te berekenen door het aantal uren met een bepaalde windsnelheid (op de hoogte van de rotor) te vermenigvuldigen met het vermogen dat de turbine daarbij levert. De windsnelheidsverdeling is in het vorige hoofdstuk geïntroduceerd. In figuur 2-3 is te zien dat (in het gekozen voorbeeld) een windsnelheid van 9 m/s ongeveer 700 uur per jaar voorkomt. Uit de vermogenscurve van afbeelding 3-1 is af te leiden dat bij die 9 m/s het elektrisch vermogen 1.250 kilowatt bedraagt. De turbine produceert in die tijd:

$E_{v=9}$ = 1.250 x 700 = 875 duizend kilowattuur

Zo is de stroomproductie voor alle windsnelheden te berekenen; de som geeft de elektriciteitsproductie in een jaar. In figuur 3-2 is dit weergegeven. De staafjes in figuur 3-2 tellen – in dit voorbeeld – op tot 6,3 miljoen kilowattuur. De wind tussen 6 en 13 meter per seconde (4 t/m 6 Beaufort) zet de grootste zoden aan de dijk, de perioden met weinig wind nauwelijks. Ook harde wind levert over een jaar gezien niet veel stroom. Het waait maar een beperkt aantal uren per jaar flink hard.

Uit het locale windregime is de jaarproductie van een windturbine te berekenen

Figuur 3-2. De stroomproductie bij de windsnelheidsverdeling van figuur 2-3 en de vermogenscurve van figuur 3-1.



VAN KILOWATT NAAR KILOWATTUUR

Er is vaak verwarring over het vermogen en de elektriciteitsproductie van een windturbine. Het zijn twee verschillende grootheden. In de gondel van een windturbine zit de elektrische generator die stroom produceert. Het vermogen van de generator, uitgedrukt in kilowatt (kW) en bij grote turbines in megawatt (MW), geeft aan hoeveel de generator maximaal aan stroom kan produceren.

Het vermogen zegt iets over de grootte van de turbine. Een windturbine haalt lang niet altijd dit maximale vermogen (ook wel: capaciteit genoemd) omdat de stroomproductie afhankelijk is van het windaanbod. Het vermogen van een windturbine varieert het hele jaar door, afhankelijk van de wind.

De elektriciteitsproductie is te berekenen door het vermogen dat gedurende een periode wordt gehaald te vermenigvuldigen met de tijdsduur ervan:

Elektriciteitsproductie (kWh) = vermogen (kW) x tijd (uur)

Draait de turbine één uur achtereen met een vermogen van 2.000 kW (2 MW), dan produceert de windturbine in die periode 2.000 kilowattuur (kWh), of wel twee megawattuur (MWh). De kilowattuur als eenheid wordt veel in het dagelijkse leven gebruikt; de energiesector rekent meestal in megawattuur of in gigawattuur (één GWh is duizend MWh en ook één miljoen kWh).

Omdat de kennis van de plaatselijke windomstandigheden essentieel is voor een juiste turbinekeuze begint elk windproject met een studie naar het windregime. De windkaart van Nederland, zoals in hoofdstuk 2 is gepresenteerd, is daarvoor onvoldoende. Er zijn inmiddels gespecialiseerde bureaus die betere schattingen voor een specifieke locatie kunnen maken. Bij een groot project wordt vaak tijdelijk een windmeetmast neergezet voor nauwkeurige metingen.

Er zijn inmiddels enkele rekenprogramma's op de markt, zoals Windpro en Windfarmer, die de gemiddelde jaarproductie van een windpark nauwkeurig kunnen bepalen 095, 096. Het zijn programma's die ook rekening houden met de onderlinge beïnvloeding van windturbines.

Windpark Volkerak.

VARIATIE IN JAARPRODUCTIE

De windsnelheidsverdeling, zoals die in figuur 2-3 als voorbeeld staat, geeft het langjarige gemiddelde weer. In de praktijk verschilt de windsnelheidsverdeling van maand tot maand en van jaar tot jaar. De stroomproductie van een windturbine verschilt daardoor ook jaarlijks. Een afwijking van 15% ten opzichte

van het jaargemiddelde is geen uitzondering. De jaarlijkse en maandelijkse afwijkingen van het gemiddelde worden in beeld gebracht met de zogenaamde *Windindex*.

BESCHIKBAARHEID

In de berekening van de jaarproductie van figuur 3-2 wordt er van uitgegaan dat de windturbine het altijd doet. Dat is natuurlijk niet zo. Elke windturbine heeft onderhoud nodig en zal dan tijdelijk buiten bedrijf zijn. Ook bij een storing of defect is de windturbine niet beschikbaar om stroom te produceren. Een windturbine zal in de praktijk de theoretische 8.760 uur beschikbaarheid (365 dagen x 24 uur per dag) in een jaar niet halen. De bedrijfszekerheid van turbines is de laatste jaren enorm toegenomen. Fabrikanten garanderen tegenwoordig een beschikbaarheid van 95% tot 97%. In de praktijk is een technische beschikbaarheid van 99% eerder regel dan uitzondering. Hooguit honderd uur zijn ze in een jaar buiten bedrijf. Toch lijkt het alsof windturbines vaker stil staan. Dat komt omdat technische beschikbaarheid iets anders is dan dat de turbine het ook daadwerkelijk doet.

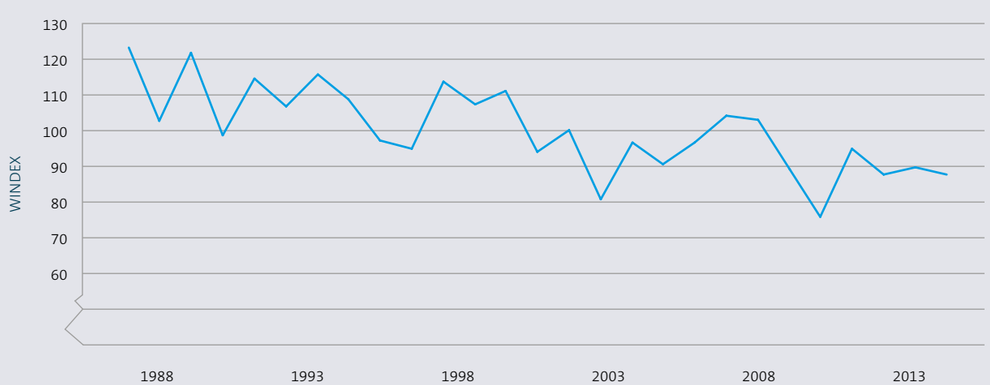
Ongeveer 25% van het jaar is er te weinig wind om een windturbine te laten draaien

De meeste windturbines leveren pas stroom boven een windsnelheid van circa 4 meter per seconde. Daarom staan turbines regelmatig meer dan 2.000 uur per jaar stil. Dit is ongeveer een kwart van de tijd en dat is natuurlijk net als jij er langs rijdt. Overigens staan niet alle windturbines stil. Er zijn er die rustig blijven rondraaien in een soort vrije stand zonder elektriciteit te maken. Dit heet *idle* (Engels voor: stationair). In het verleden gebeurde dit bij traditionele molens ook. Dat leverde de uitdrukking op: 'ze draaien voor de prins'. In een park kan dit soms een vreemd beeld opleveren: er zijn turbines die net door een vlaagje op gang zijn gekomen en draaien, terwijl een buurman die vlaag heeft gemist en (nog) stil staat. Voor de stroomproductie maakt dit niet veel uit: een windturbine produceert bij weinig wind toch niet veel elektriciteit.

DE WINDEX

De windsnelheid op een plaats verschilt van dag tot dag, van uur tot uur. De windsnelheid werkt tot de derde macht door in de hoeveelheid elektriciteit die een windturbine maakt. Kleine variaties in de windsnelheid hebben daarom grote invloed op de stroomproductie van een windmolen. Daarom is de zogeheten Windex geïntroduceerd. Sinds jaar en dag wordt nauwkeurig per regio in Nederland bijgehouden hoeveel energie er maandelijks uit de wind kan worden gehaald. Als referentie voor de berekeningen zijn metingen genomen uit de periode 1996 – 2005. Het gemiddelde over die periode is op 100 gesteld. De Windexgeeft per locatie de maandelijkse of jaarlijkse afwijking van dit langjarige gemiddelde weer.

Figuur 3-3. De jaargemiddelde Windex in Nederland (1988 – 2014).

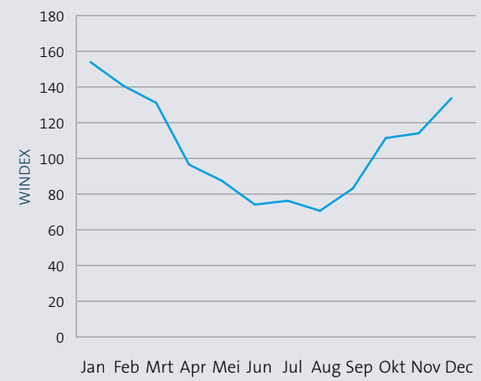


In figuur 3-3 is het verloop weergegeven van de Windex (gemiddeld over Nederland) over de afgelopen 25 jaar. De figuur laat zien dat het de afgelopen jaren gemiddeld wat minder hard is gaan waaien. De Windex is de laatste jaren regelmatig 10% lager dan in het verleden. De periode waarin data is verzameld, is vrij kort; dus statistisch kunnen er geen harde conclusies worden getrokken.

Figuur 3-4 laat de Windex per maand zien. Hieruit blijkt dat het in Nederland in de herfst- en wintermaanden, niet geheel verrassend, gemiddeld harder waait dan in de lente en zomers. Dit is gunstig. 's Winters is de vraag naar elektriciteit in Nederland namelijk ook groter dan in de zomer. De windproductie sluit dan beter aan bij de elektriciteitsvraag.

In de windenergiewereld is de Windex een belangrijke maat bij de keuze van turbinelocaties, bij berekeningen van de rentabiliteit van een windpark, enzovoort. De WINDEX is in de tachtiger jaren geïntroduceerd door het bedrijf Wind Service Holland ⓘ *023*. Het bedrijf verzamelde indertijd van een groot aantal windturbines in het land de werkelijke stroomproductie en berekende daaruit de Windex. Sinds 2004 heeft het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) deze berekeningen overgenomen en publiceert maandelijks de Windex ⓘ *024*.

Figuur 3-4. De maandgemiddelde Windex Nederland (1988 - 2014).



VOLLAST-UREN

In Nederland staan allerlei verschillende elektriciteitscentrales, zoals kolen- gas- en kerncentrales, maar ook windparken, die stroom produceren en leveren aan het landelijke elektriciteitsnet.

Kolen- en kerncentrales zijn minder snel regelbaar en worden daarom ingezet in wat de basislast heet. Ze draaien de hele dag, zoveel mogelijk op eenzelfde vermogen, tegen relatief lage brandstofkosten. Wanneer zo'n basislastcentrale zevenduizend uur per jaar (80% van de tijd) op maximaal vermogen draait, dan bedraagt het aantal vollast-uren van de centrale 7.000 uur. In jargon wordt in dit verband ook het begrip capaciteitsfactor gebruikt. In dit geval is die 80 procent.

Een windturbine is een totaal ander type centrale. De wind bepaalt het hele jaar door de stroom die wordt geleverd aan het net. De vraag naar stroom heeft geen invloed. Toch is voor een windturbine, net als bij die basislastcentrale, het aantal vollast-uren te berekenen door de jaarproductie in een periode te delen door het vermogen van de windturbine.

In dit hoofdstuk wordt als voorbeeld een drie megawatt-turbine genoemd met een productie van 6,3 miljoen kilowattuur per jaar. Het aantal vollast-uren van deze turbine is dan:

Vollast-uren = productie / vermogen = 2.100 uur

De windturbine draait in een jaar 2.100 virtuele uren op vol vermogen. De stroomproductie van een turbine is afhankelijk van het windpatroon op een bepaalde locatie. Het aantal vollast-uren op een locatie hangt af van de turbinekeuze: door het turbine-ontwerp af te stemmen op het lokale windpatroon kan een groter aantal vollast-uren worden gerealiseerd. Zo veel mogelijk vollast-uren is gunstig omdat de windturbine dan optimaler tred kan houden met de elektriciteitsvraag.

DE WINDSCHIJF

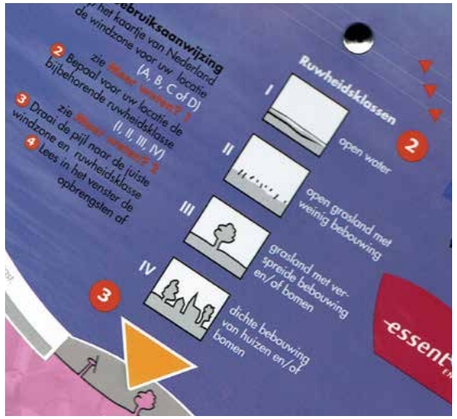
De windschijf van energiebedrijf Essent.

Rond 2000 heeft energiebedrijf Essent voor geïnteresseerde klanten een simpel hulpmiddel bedacht om een eerste indicatie te krijgen van de elektriciteitsproductie voor een windturbine: de windschijf.

Op basis van een eenvoudige windkaart (te vergelijken met de kaart van figuur 2-5) wordt Nederland in vier windregio's (A, B, C en D) verdeeld. Per regio kan vervolgens de ruwheid van het terrein worden gekozen door de pijl op de lokale ruwheidsklasse (I, II, III of IV) in te stellen. I is bijvoorbeeld in open water, IV is dichte bebouwing, zoals tussen woningen of bomen. In het venster kan vervolgens voor twee turbinegroottes (600 kW en 1.500 kW) en as-hoogtes (40 – 60 meter) de geschatte jaarproductie aan elektriciteit worden afgelezen. De windschrijf heeft een beperkte houdbaarheid. Door technologieontwikkeling zijn de turbines die toen konden worden gekozen grotendeels achterhaald; de turbines van het moment zijn megawatt-turbines.

De windschijf is gedegradeerd tot een nostalgisch unicum uit de beginperiode van de moderne windenergie

Tegenwoordig volstaat een dergelijke 'achterkant sigarendoos berekening' niet eens meer voor een eerste indicatie. Computerprogramma's hebben het werk vanaf de eerste analyse overgenomen. De windschijf is gedegradeerd tot een nostalgisch unicum uit de beginperiode van de moderne windenergie.



HOOFDSTUK 4

De windmolen heeft een enorme ontwikkeling doorgemaakt. De eerste maalwerktuigen voor het malen van graan ontstonden in de verre oudheid. Via markante houtzaagmolens en watermolens in de achttiende eeuw ontwikkelden zij zich tot moderne windturbines voor elektriciteitsproductie.

VAN MOLEN NAAR WINDTURBINE

Perzische windmolen in Nishtafun.

Het windmolen-principe is oud. Er zijn resten van oude windmolens teruggevonden in onder meer Perzië, China en Griekenland. Het zijn molens die zijn gebouwd met een verticale as. De molens werden gebruikt voor het malen van graan ('molen' is etymologisch afgeleid van het Latijnse 'molere', hetgeen 'malen' betekent). Daarvoor werd graan handmatig verpulverd in een pestel.

In Griekenland werd ongeveer 500 jaar voor Christus voor het eerst graan gemalen, waarbij twee stenen over elkaar werden gedraaid. In de bovenste steen zat in het midden een trechtervormig gat waardoor graan tussen de stenen werd 'gegoten' om verpulverd te worden. Spierkracht van mens en dier zorgden indertijd voor de ronddraaiende beweging van de stenen. Ook de tredmolen deed zijn intrede. Ossen en ezels wekten in zo'n molen een trekvermogen van ongeveer 500 Watt op.

De technologische ontwikkeling schreed voort: op plaatsen met voldoende stromend water werd de draaiende beweging door een waterrad geleverd en op plaatsen waar het voldoende waaide, deed wind als krachtbron zijn intrede. In wind zit veel minder energie per kubieke meter dan in stromend water. Vergeleken met de schepraderen van een waterrad moesten de koren- en graanmolens dus flinke wieken hebben om voldoende energie te kunnen leveren om twee zware stenen aan het draaien te krijgen.

DE TRADITIONELE MOLEN

Er zijn vele boeken geschreven over de historie van de windmolen. Het lezenswaardige boek *Spieren water wind* van Jaap Kamphuis, dat voor het eerst uitkwam in 2009, beschrijft de historische ontwikkeling van windmolens, onder andere in Nederland 025. In Noordwest Europa doken de eerste windmolens op rond het jaar 1.000 na Christus. Uit de geschiedschrijving blijkt dat in Europa de eerste molens werden gebouwd aan beide zijden van Het Kanaal, in het oosten van Engeland en langs de Vlaamse en Bretonse kust, waar het flink waaide. Deze windmolens werden – in tegenstelling tot de molens in Perzië en China – uitgerust met een horizontale as. De wieken ervan draaiden in een verticaal vlak, net als de huidige windturbines.

De standerdmolen in Ter Apel.

Oude windmolens in de Zaanse Schans.

Molens die tot ver in de 16de eeuw werden gebouwd, waren van het zogeheten *standerdmolen-type*. Het molenhuis van deze molens werd op een verticale paal ('standerd') geplaatst en kon zo in zijn geheel draaien om de wieken in de wind te kunnen plaatsen.

In de 16de eeuw werd de molen verder verbeterd en werden er nieuwe molentypes geïntroduceerd. Het type *bovenkruier* is daar één van. Bij dit type draaide alleen de kop van het molenhuis in de wind; de rest van het molenhuis kon niet bewegen.

In de loop der eeuwen werden de toepassingen van molens voor het mechaniseren van arbeid steeds verder uitgebreid. Naast het malen van graan werden molens ontwikkeld voor het zagen van hout en voor het verpompen van water om polders droog te leggen ('bemalen'). Molens waren onontbeerlijk bij vele industriële toepassingen en speelden een cruciale rol in de bloei van Nederland in de Gouden Eeuw. In de 19de eeuw stonden er in Nederland ongeveer tienduizend. Alleen in de Zaanstreek draaiden er toen al meer dan duizend.

Het wiekstelsel (de 'vlucht') van de meeste molens had indertijd een diameter van ongeveer 26 meter. Hoewel het mechanische vermogen al naar gelang de toepassing verschilde, moet het gemiddelde vermogen van zo'n windmolen ongeveer dertig kilowatt zijn geweest. Een rekensommetje leert dan dat er in de 19e eeuw voor verschillende toepassingen ongeveer 300 megawatt aan windvermogen moet hebben gestaan.

Rond 1900 draaiden in Nederland 10.000 windmolens, met een geschat (mechanisch) vermogen van 300 megawatt

Vanaf het begin van de vorige eeuw verloren traditionele windmolens geleidelijk aan hun functie. Stoommachines namen hun rol over. In de loop der jaren zijn vele molens in verval geraakt en ontmanteld. De ongeveer duizend historische molens die er nog in Nederland zijn, worden gekoesterd als industriële monumenten en karakteriseren ons landschap.

ELEKTRICITEIT UIT WINDENERGIE

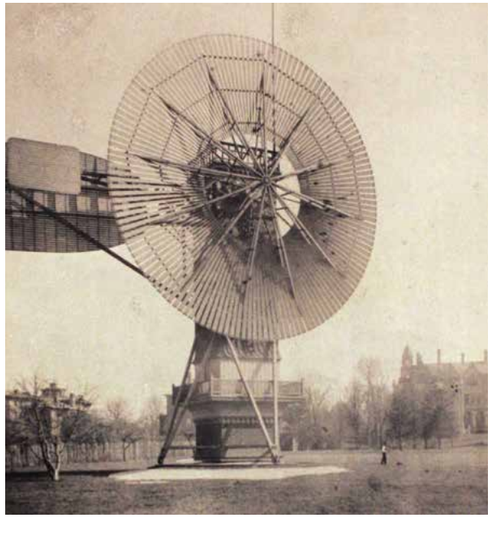
Elektriciteit deed aan het eind van de 19de eeuw schoorvoetend haar intrede. Na de uitvinding van de generator en de uitvinding van de gloeilamp voor verlichting werden stoomturbines ingezet voor elektriciteitsproductie. In een vroeg stadium werd er geëxperimenteerd met windmolens om elektriciteit op te wekken. In 1888 bouwde de Amerikaan Charles Brush (uitvinder van onder meer booglampen en de dynamo) in Cleveland in de Amerikaanse staat Ohio de eerste windmolen voor elektriciteitsproductie. Zijn molen, met een rotordiameter van 17 meter, kon een elektrisch vermogen leveren van twaalf kilowatt.

De Deense meteoroloog Poul la Cour was een andere windpionier. Hij bouwde in 1891 een windmolen voor elektriciteitsproductie en experimenteerde voor het ontwerp in windtunnels op de oudste hogeschool van Denemarken bij Askov. De molen was fors met een trits bolle stalen platen aan vier bladen. De Askov-turbine, met een rotordiameter van 25 meter, was gekoppeld aan een voor die tijd forse elektrische generator van tweehonderd kilowatt.

Het gebruik van wind voor elektriciteitsopwekking was in het begin geen succes; de concurrentie was indertijd groot. In de Verenigde Staten was er in de jaren dertig van de vorige eeuw sprake van enige serieproductie en waren er kleine windmolens te koop voor de lokale productie van elektriciteit. De molens hadden kleine bladen en een dynamo van nog geen honderd Watt.

Stoomturbines, draaiend op kolen en olie, waren echter goedkoper en bovendien beter te sturen en te controleren dan windmolens. Molens hadden alleen kansen in afgelegen gebieden waar steenkool moeilijk te verkrijgen was. Ook in Nederland kwam de windmolen halverwege de twintigste eeuw opnieuw in beeld. In 1940 publiceerde R. Wartena het eerste Nederlands boek over deze zogeheten *windgeneratoren* 026. Hij maakte er een soort leerboek voor de zelfbouwer van (zie kader volgende pagina). Wartena behandelde niet alleen de theorie, maar nam ook technische beschrijvingen en een bouwtekening van een 150 Watt-windmolen in zijn boek op. Het boek raakte na de Tweede Wereldoorlog in de vergetelheid, net als windenergie.

De windmolen van Charles Brush.



De Askov-windturbine van Poul la Cour.

De energiecrisis in 1973 ontsloot een nieuw windmolentijdperk

In de periode 1950 - 1975 werd de draad weer opgepakt en werd er op verschillende plaatsen in Nederland – meestal kleinschalig – geëxperimenteerd met windmolens voor elektriciteitsproductie; echter met matig succes vanwege twijfels over de economische rentabiliteit. Pas na de oliecrisis in 1973 kon de ontwikkeling van windenergie aan haar opmars beginnen.

In Europa ontpopten Nederland en Denemarken zich als toonaangevende naties op het gebied van windenergie. Er ontstond een bescheiden industrie die door onderzoeksprogramma's werd ondersteund. In 1976 begon het ECN (Energieonderzoek Centrum Nederland) in het Noord-Hollandse Petten een groot onderzoeksprogramma dat deels werd gefinancierd door de overheid. In het kader daarvan werd in Petten een testveld gebouwd waar bijvoorbeeld nieuwe bladen konden worden uitgetest op een grote experimentele windturbine, de HAT (Horizontale As Turbine).

Ook de TU Delft begon al in een vroeg stadium met onderzoek naar windenergie op de afdeling lucht- en ruimtevaart. Vliegtuigbouw en windenergie hebben per slot van rekening beide aerodynamica als basis, één van de belangrijke vakdisciplines in Delft. Het ECN en de windgroep op de TU Delft zijn nog steeds toonaangevende centra in Nederland voor windonderzoek.

De HAT op het ECN test-veld (1981).

Windturbines zijn windmolens die elektriciteit produceren

Aan het eind van de zeventiger jaren van de vorige eeuw kwam niet alleen het gestructureerde onderzoek op gang, ook werden er toen de eerste kleine bedrijfjes opgericht die moderne turbines voor stroomproductie gingen maken. Ze werden gerund door pioniers. De eerste molens, van hooguit enkele kilowatts, werden neergezet op erven van boeren. Ze werden windturbines genoemd om ze te onderscheiden van de oude zaag- en maalmolens.

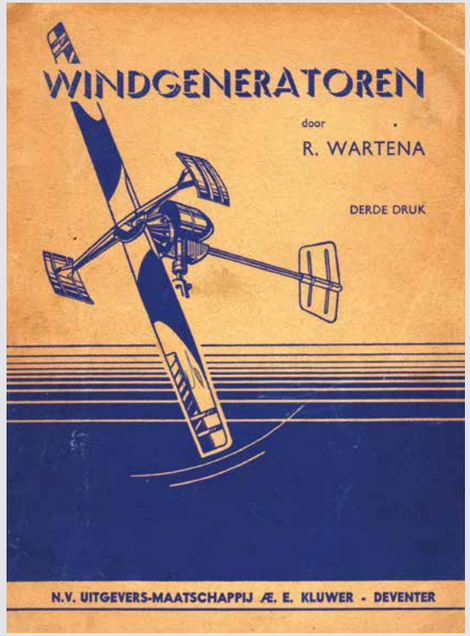
In Nederland pionierde onder meer Henk Lagerweij, die zijn eerste molen neerzette in de tuin van zijn schoonouders. De Deense multinational Vestas, op dit moment één van de grootste turbinefabrikanten ter wereld, heeft zijn oorsprong in de landbouwmechanisatie. Die romantisch ogende tijd van pionieren is voorbij. De windsector is met vallen en opstaan een volwassen bedrijfstak geworden met grote, internationaal georiënteerde fabrikanten. Zij leveren turbines die door grote investeerders worden gefinancierd.

WINDGENERATOREN DOOR R. WARTENA

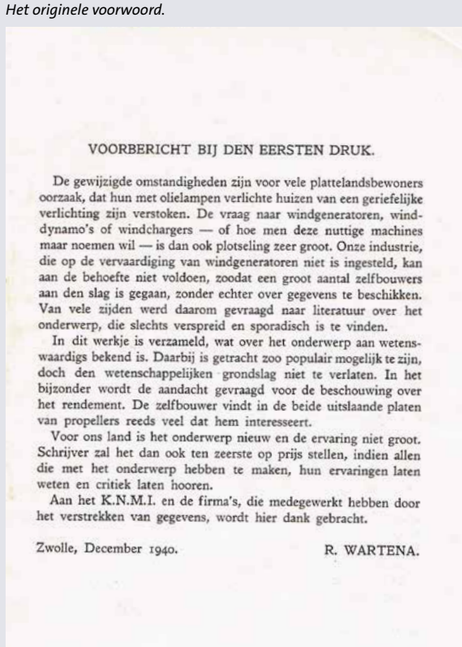
Het meest historische windmolenboek is 'Windgeneratoren' van de Friese ingenieur R. Wartena. Een eerste druk ervan verscheen in december 1940 bij uitgeverij Kluwer in Deventer, een half jaar na het begin van de Tweede Wereldoorlog. Een tweede druk verscheen in 1941.

Het is een doe-het-zelf boek van zestig pagina's, gevuld met formules, uitgebreide bouwbeschrijvingen en constructietekeningen van een tweebladige 150 Watt-molen met houten bladen van een kleine meter. In 1982, toen knutselaars windmolens opnieuw ontdekten, is nog een vijfde druk verschenen.

Omslag.



Het originele voorwoord.



VOORBERICHT BIJ DEN EERSTEN DRUK.

De gewijzigde omstandigheden zijn voor vele plattelandsbewoners oorzaak, dat hun met olielampen verlichte huizen van een geriefelijke verlichting zijn verstoken. De vraag naar windgeneratoren, windydynamo's of windchargers — of hoe men deze nuttige machines maar noemen wil — is dan ook plotseling zeer groot. Onze industrie, die op de vervaardiging van windgeneratoren niet is ingesteld, kan aan de behoefte niet voldoen, zoodat een groot aantal zelfbouwers aan den slag is gegaan, zonder echter over gegevens te beschikken. Van vele zijden werd daarom gevraagd naar literatuur over het onderwerp, die slechts verspreid en sporadisch is te vinden.

In dit werkje is verzameld, wat over het onderwerp aan wetenswaardigs bekend is. Daarbij is getracht zoo populair mogelijk te zijn, doch den wetenschappelijken grondslag niet te verlaten. In het bijzonder wordt de aandacht gevraagd voor de beschouwing over het rendement. De zelfbouwer vindt in de beide uitslaande platen van propellers reeds veel dat hem interesseert.

Voor ons land is het onderwerp nieuw en de ervaring niet groot. Schrijver zal het dan ook ten zeerste op prijs stellen, indien allen die met het onderwerp hebben te maken, hun ervaringen laten weten en critiek laten hooren.

Aan het K.N.M.I. en de firma's, die medegewerkt hebben door het verstrekken van gegevens, wordt hier dank gebracht.

Zwolle, December 1940. R. WARTENA.

OUDSTE WINDTURBINE STAAT IN JUTLAND

De oudste 'moderne' windturbine ter wereld staat aan de Noordzeekust bij het dorp Ulfborg, in het winderige Deense Jutland. De 'eerste paal' voor de driebladige windturbine Tvind, die zijn naam dankt aan de gelijknamige school in het dorp, werd in mei 1975 geslagen. Op 30 mei 2015 was dit op de kop af veertig jaar geleden, een gebeurtenis die met een officieel feestje werd gevierd.

De Tvind-turbine in 2003.

Tvind markeert het begin van de Deense windmolenindustrie. Leraren van de school kwamen in 1975 op het idee een windturbine te bouwen voor de stroomvoorziening van de school. Leerlingen en leraren hebben de turbine ontworpen met kennis van enkele Deense onderzoekinstituten en gebouwd met honderden vrijwilligers uit de verre omgeving. Ze deden drie jaar over dit technologische pionierswerk; de turbine leverde in 1978 voor het eerst elektriciteit. De turbine is groot, zeker voor die tijd en was met een elektrisch vermogen van twee megawatt zijn tijd ver vooruit. De eerste molens die in Nederland seriematig werden gebouwd kwamen niet verder dan een elektrisch vermogen van vijftien kilowatt met een rotordiameter van nog geen tien meter. De driebladige rotor van de Tvind-turbine heeft een rotordiameter van 54 meter. De toren van de turbine (onder met een diameter van vijf meter) is van gewapend beton, de loodzware gondel op de top, met versnellingsbak en elektrische generator, is van staal. Tvind levert al decennia stroom. De meeste onderdelen zijn nog origineel. Opmerkelijk omdat ze bij aanschaf al tweedehandsjes waren zoals de tandwielkast die uit een oude windmolen was gehaald. De drie bladen zijn na twintig jaar trouwe dienst vervangen door nieuwe kunststofbladen. Ze kregen in 1999 net als de mast een roodkleurige pop-artachtige beschildering.

De keuze voor een windturbine had indertijd een hoog symbolisch gehalte. Op het moment van de keuze werden er in Zweden twee grote kernreactoren gebouwd, aan de andere kant van De Sont. De weliswaar veel kleinere windturbine bij Tvind was het Deense antwoord. De Denen wilden geen kernenergie en kozen voor wind als begin van een schone energievoorziening. De symboliek gaat verder. Beide Zweedse kernreactoren zijn inmiddels gesloten. De windturbine heeft beide reactoren overleefd en produceert nog steeds stroom. Een technologisch hoogstandje. In Tvind ligt de bakermat van bedrijven als Vestas en Bonus Energy A/S (in 2004 overgenomen door het Duitse Siemens), nog steeds marktleiders op de wereldmarkt. Tvind is een historische plek geworden voor windadepten en trekt duizenden bezoekers per jaar.

WIND-PIONIER HENK LAGERWEIJ

De L100 is voor de komende jaren het werkpaard van de Nederlandse windmolenfabrikant, Lagerwey Wind. De driebladige megawatt-turbine heeft een compacte gondel die torent op een slanke stalen mast. Lagerwey speelt opnieuw een belangrijke rol in de windenergie. Bedrijfsnaamgever Henk Lagerweij (61) houdt kantoor op een bedrijventerrein in Barneveld waar een dertigtal medewerkers ontwerp- en engineeringwerk doen, niet ver van waar hij veertig jaar geleden begon, in Kootwijkerbroek achter de boerderij van zijn schoonvader.

Henk Lagerweij bekijkt zijn fotoboek vol herinneringen.

Lagerweij is dé pionier van de Nederlandse windmolenindustrie. Hij stapte als achttienjarige de windmolenarena in en heeft die – ondanks twee faillissementen gelijk de meeste andere windturbinebouwers overigens – niet meer verlaten. Hij studeerde elektrotechniek en snoof tijdens zijn studie veel werktuigbouwkundige kennis op. Zijn eerste stappen in windmolenland, tijdens zijn eerste studiejaren aan de HTS in Arnhem, zijn gelardeerd met anekdotes. Neem die storm in de vroege ochtend van 13 november 1972, één van de zwaarste stormen in de vorige eeuw. Lagerweij was achttien en zag talloze plat gewaaide bomen in de naaldbossen rond Kootwijk. “In wind zit veel energie verscholen waar wat mee te doen is”, zo filosofeerde hij. BV Lagerwey was geboren. Er werd een veertien meter hoge boomstam aangeschaft, als mast. Bij een sloophandel tikte hij een asynchroon motortje op de kop; hij zaagde en schaafde drie vurenhouten planken tot gebolde bladen van een meter. Lagerweij: “Het moment dat voor het eerst de stroommeter terugdraaide, zal ik nooit vergeten.”

Zijn bedrijf kwam goed op stoom in de jaren tachtig van de vorige eeuw, na de energiecrisis. De olieprijs was toen torenhoog gestegen waardoor de interesse in alternatieve energie explodeerde. Van zijn tweebladige 80 kilowatt-machine (rotordiameter 15 meter) werden er in de hoogtijdagen tussen 1986 – 1995 meer dan zeshonderd verkocht, aan boeren in vooral Friesland. Het waren degelijke molens: de helft, deels als tweedehands doorverkocht naar Italië en de Balkan, draait nog. Ook in Nederland draaien nog enkele tientallen exemplaren, herkenbaar aan hun twee witte bladen en blauwe gondel. Lagerwey staat er op de kap, met een y. Het staat er vanaf het begin zo op, net als op zijn visitekaartjes. De lange ij uit zijn paspoort is niet door buitenlanders uit te spreken, zo realiseerde hij zich toen al, toekomstgericht.

En zo staat het ook op zijn nieuwe high-tech megawatt-machines met een ontwerp waarin veertig jaar ervaring is verwerkt. Zo’n twintig windturbines per jaar gaan er nu de deur uit. Wat is de rode draad geweest in die veertig jaar waarin het elektrisch vermogen om de paar jaar verdubbelde? Lagerweij is beslist: “We bouwen de strategische onderdelen met slimmigheden in eigen huis. Nu dus onze lichte gondelconstructie en de compacte, zelf ontworpen elektrische *direct drive* generator. En dankzij ons slimme torenontwerp kunnen we onze hoge stalen mast met goed transporteerbare segmenten op de bouwplaats in elkaar zetten.”

Lagerweij is optimistisch over de toekomst: “Windenergie wordt de belangrijkste pijler van de toekomstige energievoorziening. Dankzij een forse technologieverbetering en geholpen door hogere masten kunnen we met onze megamolens nu ongeveer twee keer zoveel productie-uren halen als dertig jaar geleden.”

De tweebladige Lagerwey 80 kW windturbine uit 1994, nog steeds in bedrijf.

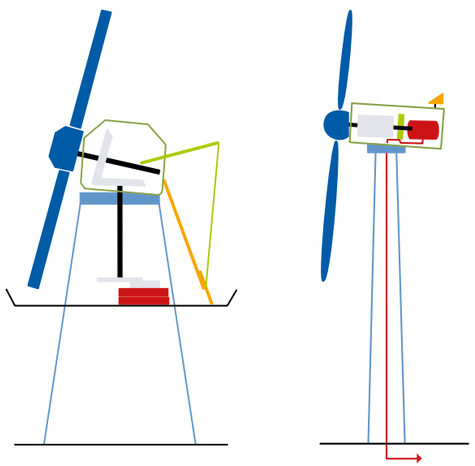
HOOFDSTUK 5

Een moderne windturbine is een high-tech machine. Van de gondel, bladen, tandwielkast en generator tot mast en fundering, alles is ontworpen volgens de meest recente wetenschappelijke en technologische kennis en inzichten. Ze kunnen vele jaren onbemand stroom leveren aan het elektriciteitsnet.

DE TECHNIEK VAN DE WINDTURBINE

De afgelopen veertig jaar heeft windenergie een grote techn(olog)ische ontwikkeling doorgemaakt. De windsector is uitgegroeid tot een volwassen bedrijfstak met internationaal georiënteerde fabrikanten die megawatt-turbines leveren voor land en op zee, geclusterd in windparken van – soms – tientallen machines. Er zijn veel overeenkomsten tussen een moderne windturbine en de oude windmolen. In figuur 5-1 staan beide schematisch naast elkaar.

Figuur 5-1. Vergelijking van de windmolen en de moderne windturbine.



- *molen kop*
- *wieken*
- *overbrenging*
- *maalstenen*
- *kruilager*
- *krui-inrichting*
- *vang*
- *gondel*
- *rotor bladen*
- *tandwielkast*
- *generator*
- *kruilager*
- *windvaan*
- *mechanische rem*

Het begint bij wat de *vlucht* heet, het deel met *wieken* of *bladen* waarmee de aanstromende wind wordt omgezet in een draaiende beweging. Bij een moderne turbine wordt dit deel de rotor genoemd. Deze is gekoppeld aan een horizontale as die de *gondel* ingaat. De as met toebehoren is te vergelijken met de houten assen, tandwielen en snaren die in een ouderwetse windmolen de molenstenen of zaagbladen onderin de molen (het rode deel) aandrijven. De molenstenen of zaagbladen zijn het equivalent van de elektrische generator in de gondel waarmee stroom wordt opgewekt.

Molens en windturbines hebben veel overeenkomsten

Zowel de oude als de nieuwe windmolen hebben een mechanische rem. In de traditionele molen was dit de zogeheten vang die door de molenaar met de hand vanaf de omloop kon worden bediend. In een moderne windturbine gebeurt dit vooral aerodynamisch door het verstellen van de bladen. Daarmee is de efficiency van de bladen en zo de draaisnelheid en de elektrische productie van de turbine te regelen. Voor een noodstop is er ook nog een schijfrem gemonteerd die veel gelijkenis vertoont met het remsysteem van een moderne auto. Dit komt bij calamiteiten automatisch in werking. Bij het moderne broertje van de windmolen is het brede molenhuis vervangen door een dunne 'mast' of 'toren'. Dun is overigens maar betrekkelijk: masten van grote turbines zijn enkele meters in diameter die vervolgens stevig gefundeerd worden om de enorme krachten bij flinke wind te pareren.

WAAROM DRIE BLADEN

Het zijn bekende beelden, die fraaie Amerikaanse windturbines met een groot aantal wieken, soms wel twintig die water oppompen. Ze ogen rustiek en komen bij geringe wind al in beweging. In schril contrast daarmee staan tweebladige molens, bijvoorbeeld van de firma Lagerwey, die met hun opvallende blauwe gondel op een gegalvaniseerde mast het begin van het nieuwe Nederlandse windtijdperk markeerden, zo'n veertig jaar geleden.

Het ligt voor de hand te veronderstellen dat er met meer wieken meer energie uit de wind te halen is. Dit is echter niet zo. De aerodynamica leert anders: het maximale rendement wordt bereikt als ongeveer vijf procent van het rotoroppervlak bestaat uit wiekoppervlakte en dus worden de wieken te smal als er meer worden gebruikt. Dit is constructief niet wenselijk: ze zijn dan niet sterk genoeg om de krachten op te vangen. Het streven is daarom naar een klein aantal brede wieken. Bij een kleiner aantal wieken neemt ook het toerental toe en dat is een voordeel bij de omzetting naar elektriciteit. Een rotor met twee of drie bladen ligt dan het meest voor de hand. Een nadeel van een beperkt aantal bladen is dat de rotor 'moeilijker op gang' komt. Het koppel is kleiner. Voor een windturbine, die elektriciteit maakt, is dit geen bezwaar.

In Nederland zijn er in het begin van de jaren tachtig (vorige eeuw) windturbines gebouwd met twee rotorbladen. Het zijn turbines die een onrustig visueel beeld geven; ze lijken – op afstand bekeken – onregelmatig rond te draaien terwijl dit niet zo is. De krachten in zo'n windturbine zijn minder goed in balans. Als de ene wiek in de top maximaal wind vangt, wordt de andere wiek maximaal gehinderd omdat die voor de mast langs draait. Windturbinefabrikanten hebben dit concept daarom verlaten en hebben gekozen voor een optimum met drie rotorbladen. Er zijn fabrikanten die voor offshore-toepassingen het tweebladige concept weer van stal halen.

Het Hengelose 2-B Energy ontwikkelt sinds 2007 een tweebladige turbine 182. De bladen van deze turbines kunnen in een horizontale stand worden gezet om een helikopter makkelijk op een platform op de gondel te laten landen.

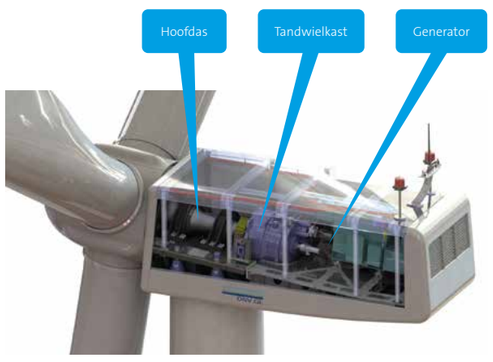
Een Amerikaanse watermolen nabij Zaandam.

In de moderne variant is de molenaar vervangen. Een computer heeft de besturing van een windturbine overgenomen, volledig automatisch. Een beveiligingssysteem kan desnoods ingrijpen. Een moderne windturbine heeft een viertal structurele componenten: gondel, wieken, mast en fundering ⓘ *028*. Er zijn op YouTube illustratieve filmpjes te vinden over deze opbouw ⓘ *029*.

DE GONDEL

De *gondel* (in het Engels *nacelle*), de afgesloten ruimte boven op de mast, is de machinekamer van de windturbine (zie figuur 5-2). Hierin huist de elektrische generator die de stroom opwekt. Deze wordt, meestal indirect, aangedreven door de rotor-as die in de gondel is gelagerd. Een standaard generator heeft een toerental van ongeveer vijftienhonderd toeren per minuut. De bladen van een grote windturbine draaien echter veel langzamer, tussen tien en twintig toeren per minuut. In de gondel zit daarom tussen rotor en generator een tandwielkast die het lage toerental van de rotor versnelt tot het vereiste toerental van de elektrische generator.

Figuur 5-2. Opengewerkt gondelmodel. Bron: DNV-GL



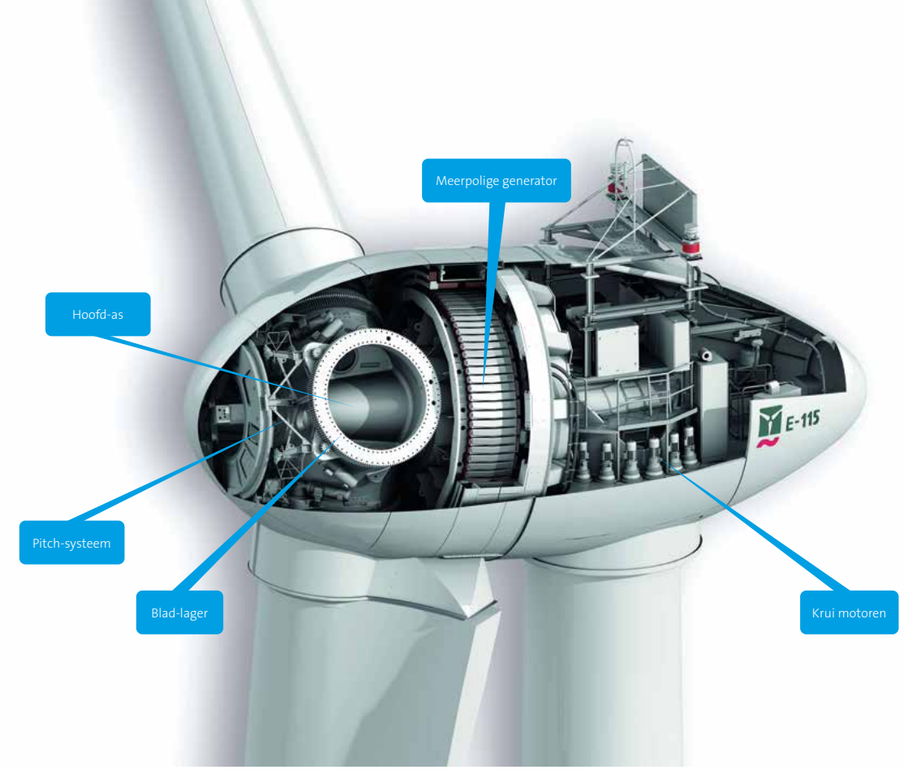
Een tandwielkast verhoogt het toerental van de rotor-as naar het toerental van de elektrische generator

Steeds meer fabrikanten maken gebruik van een – vaak zelf ontwikkelde - generator die stroom produceert bij een laag toerental en daarom direct kan worden verbonden met de rotor-as. In turbinejargon heet dit een *direct drive-systeem*. De turbine heeft dan geen tandwielkast meer waardoor het aantal bewegende delen minder is. Dit vergroot de betrouwbaarheid van de turbine.

De elektriciteit die uit de generator komt, is niet geschikt om in het elektriciteitsnet te stoppen; het spanningsniveau en de frequentie van de wisselspanning komen niet overeen met de specificaties van het net. De stroom wordt daarom eerst met geavanceerde elektronica bewerkt en aangepast aan de eisen van de netbeheerder. Deze elektronica zit soms in de gondel, maar meestal onder in de mast.

Een kruisysteem houdt de kop van de windturbine in de wind

De gondel moet vrij kunnen draaien op de mast om de rotor in de wind te kruien als de windrichting verandert. De gondel is daarom via een zogenaamd kruilager op de mast gemonteerd. Bij een oude windmolen zette de molenaar de kop van de molen met de hand op de wind. Bij moderne windturbines gebeurt dit automatisch: op de gondel zit een windvaan die voortdurend de windrichting meet en doorgeeft aan het besturingssysteem. Deze bedient de kruimotoren die de gondel 'met de kop in de wind' houden.



Figuur 5-3. Opengewerkte direct drive-gondel van de E-115. Bron: Enercon

De elektriciteitskabels van de windturbine, die de opgewekte stroom van de generator naar de grond afvoeren, hangen in het midden van het kruilager. Ze hangen een eind los naar beneden om te voorkomen dat ze het kruien blokkeren. Het besturingssysteem houdt het aantal omwentelingen van het kruimechanisme bij. Als er teveel twist in de kabels is ontstaan dan wordt de turbine even stil gezet en wordt de gondel teruggedraaid naar haar uitgangspositie zodat de kabels weer goed komen te hangen.

DE ROTOR

Bij de windturbine draait het, letterlijk en figuurlijk, allemaal om de *rotor*, het samenstel van *wieken* en *as*. De wieken zitten vast aan de *rotor-as* die in een aantal *lagers* in de gondel kan draaien. Het centrale deel van de rotor, de spinner of hub, is op het eind van de as vastgemaakt. De drie bladen worden daarop vastgemaakt met tientallen bouten. De wieken – bij de moderne windturbine zijn dat rotorbladen – zetten de energie in de aanstromende lucht om in een draaiende beweging. Bladen van moderne windturbines maken gebruik van het zogenaamde lift-principe, dat zich ook voordoet bij de vleugel van een vliegtuig.

Bladen van een windturbine werken volgens het lift-principe net als de vleugels van een vliegtuig

In figuur 5-4 is dit principe schematisch weergegeven. Een rotorblad is aan één kant licht gebold. Tijdens het draaien ontstaat er aan de bolle kant een onderdruk ten opzichte van de andere zijde. Dit geeft de rotor trekkracht die ook wel *lift* wordt genoemd. Bij een

Productie van een schaaldeel van een rotorblad bij Enercon.

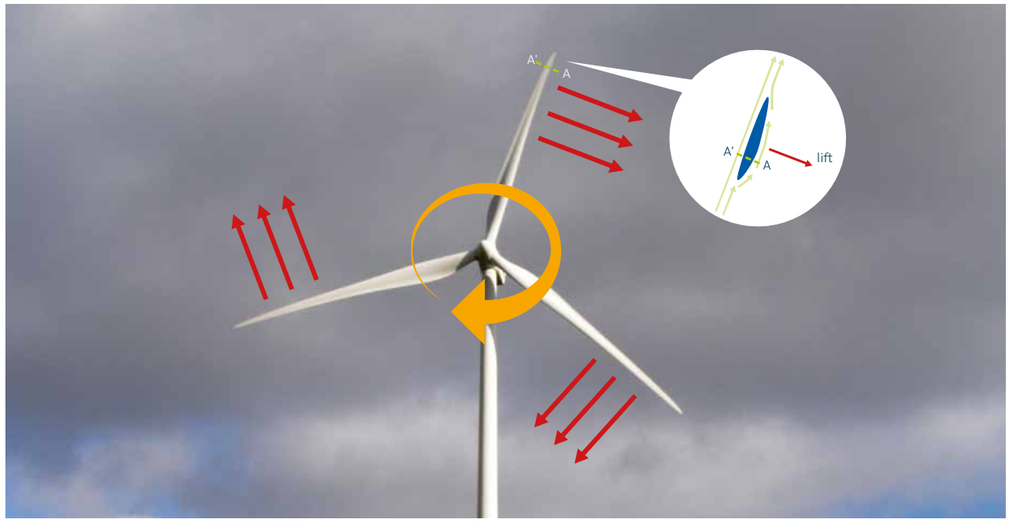
vliegtuig zorgt deze lift voor het opstijgen van het vliegtuig. Bij een windturbine gaat de rotor door deze trekkracht om zijn as draaien. In het begin van de turbineontwikkeling werden de rotorbladen van hout of van staal gemaakt. Ze zijn inmiddels vervangen door veel lichtere kunststoffen met een lange levensduur. Meestal worden daar glasvezelversterkte kunststoffen, zoals polyester of epoxy voor gebruikt. Glasvezel is nodig om de enorme buigkrachten van de wind op de bladen te weerstaan. De ontwikkelingen gaan verder:

MODERNE TURBINES DRAAIEN "VERKEERD" OM

Op gekkigheden moet je worden gewezen. Oude poldermolens draaien tegen de klok in terwijl moderne windturbines de andere kant op draaien. Het heeft te maken met de houten constructie van de wieken. En dat zou weer te maken hebben met de groeiwijze van bomen, die met de zon meegaat. De torsiekrachten in de houten wieken zouden beter kunnen worden opgevangen als hiermee rekening wordt gehouden. Zeker weten doet men dit overigens niet, en berekeningen hiernaar zijn niet gedaan.

Bij de moderne windturbine doet de draairichting er niet toe; de bladen worden niet van hout gemaakt maar van glasvezelversterkte kunststoffen. De draairichting is een ontwerpkeuze en wordt bepaald door de vorm van het rotorblad. Een rotorblad, waarvan de vorm spiegelbeeldig is gemaakt, zal gewoon de andere kant op draaien. In de jaren tachtig waren er windturbines te koop die rechtsom draaiden en anderen linksom. In de loop der jaren is de Deense windturbine-industrie, met Vestas als marktleider, de markt gaan domineren. De bladen van Deense turbines draaien met de klok mee en dus draaien nu alle moderne windturbines zo.

Poldermolen Goliath en moderne molens op de Eemshaven.



Figuur 5-4. Werkingsprincipe van het rotorblad van een windturbine.

fabrikanten vervangen glasvezel geleidelijk door koolstofvezel, een lichtere en veel sterkere vezel waarmee krachten van nog grotere bladen kunnen worden opgevangen.

De rotorbladen worden in enorme productiehallen met robots geproduceerd. Ze worden standaard opgebouwd uit twee helften, die in de fabriek op elkaar worden gelijmd tot één geheel. Deze seriematige bladenproductie is in de loop der jaren deels geautomatiseerd. Sommige fabrikanten produceren het blad in één productiegang in plaats van het lijmen van twee schaaldelen.

Het uiteinde van het rotorblad, de *'tip'*, is bij veel fabrikanten tegenwoordig, net als bij vliegtuigen, gebogen. Hierdoor is de turbulentie (wervelingen) aan het uiteinde van het blad minder en daarmee ook het geluid dat het blad produceert.

Windturbinebladen zijn tegenwoordig vaak veertig meter lang, of nog langer. Ze worden in hun geheel met speciale trailers van de fabriek naar de locatie van het windpark vervoerd. Het transport van onderdelen van deze lengte loopt steeds vaker tegen logistieke en verkeerstechnische grenzen aan. Nog grotere bladen zijn bijna niet meer over land te vervoeren.

Op zee kunnen in principe grotere bladen worden gebruikt, omdat een schip veel grotere onderdelen (of wellicht de windturbine in zijn geheel) naar een locatie kan transporteren dan een vrachtwagen over de weg. Bladen van tachtig meter lengte worden op zee al toegepast.

Turbines zijn zo ontworpen dat ze optimaal presteren bij een toerental dat evenredig toeneemt met de windsnelheid: de verhouding tussen de snelheid van de tip van het blad en de windsnelheid is een vast getal, de snellopendheid.

SNELLOPENDHEID

De *snellopendheid* van een windturbine is de verhouding tussen de snelheid van de tip van het rotorblad en de windsnelheid. Een windturbine presteert optimaal bij een snellopendheid van ongeveer 8, blijkt uit aerodynamische berekeningen die onder meer te maken hebben met de geluidsproductie bij hoge snelheid en het bladontwerp.

Grote windturbines draaien langzamer dan kleine

De snellopendheid is niet afhankelijk van de diameter van de rotor. Blad-tips kunnen hoge snelheden bereiken. Bij een windsnelheid van zeven meter per seconde (windkracht 4) draait de tip acht maal zo snel rond: 56 meter per seconde dus; en dat is gelijk aan tweehonderd kilometer per uur.

De omtrek van de rotor is evenredig met de doorsnede (π x diameter). Dus legt de tip van een rotorblad in één omwenteling bij een grote windturbine een veel grotere afstand af dan bij een kleine windturbine.

Wil de tipsnelheid gelijk blijven, dan moet een grote windturbine een lager toerental hebben. Dit wordt door het ontwerp bepaald.

De rotorbladen worden bij het installeren van de windturbine met een groot aantal bouten (zie de foto) op de lagers in het centrale deel van de rotor, de hub, vastgezet. De lagers zorgen ervoor dat de bladen om hun lengteas kunnen worden gedraaid, het zogenaamde pitchen. Hierdoor kan het toerental van de rotor worden begrensd. Er wordt dan minder efficiënt energie uit de wind gehaald. Pitchen is een soort aerodynamische rem. Zo wordt voorkomen dat de generator bij te harde wind boven zijn maximale vermogen komt en de molen 'op hol slaat'. Op de foto zijn tijdens het hijsen van het centrale deel van de rotor de pitchmotoren goed te zien.

De voet van het rotorblad met de bevestigingsbouten.

In de maximale pitchstand, de zogenaamde vaanstand, staan de rotorbladen dwars op de wind, zoals een vlag met de wind meewaait. De bladen nemen dan geen energie meer op uit de wind en de rotor komt stil te staan. Deze standaard beveiliging wordt automatisch toegepast bij hevige storm of bij een storing (zie figuur 5-5).

DE MAST

Windturbines, of ze nu op land of op zee staan, hebben meestal een *toren* of *mast* met een masthoogte van tussen de zeventig en 130 meter. Een buismast wordt opgebouwd uit een aantal segmenten. Ze zijn maximaal vier meter in doorsnede en dertig meter lang om transport over de weg mogelijk te maken. Vaak is een mast boven smaller dan aan de voet. Masten zijn zwaar. De mast van een grote megawattwindturbine weegt al gauw tweehonderd ton.

Bij het hijsen van de hub zijn de pitchmotoren te zien.

Figuur 5-5. Windturbine met de bladen in vaanstand.

Een conische mast van zeventig tot 130 meter is opgebouwd uit segmenten

De meeste fabrikanten gebruiken stalen masten. Er worden ontwerpgrenzen bereikt nu ze steeds hoger worden. Het wordt met name moeilijker om het voetsegment over land te vervoeren. Het dwingt tot innovaties. Zo heeft de Nederlandse fabrikant Lagerwey een mast ontworpen als een bouwpakket van stalen halfronde segmenten, die samen de doorsnede van de mast vormen. Deze delen zijn in een standaard container te vervoeren en ter plekke tot een mast samen te stellen.

Eén windturbinefabrikant (Enercon) gebruikt voor zijn grote megawatt-turbines beton. De segmenten van geprefabriceerd beton worden als (delen van) ringen aangevoerd en op locatie gestapeld tot een taps oplopende mast. De segmenten worden met stalen kabels bij elkaar gehouden.

Masten zijn onderin voorzien van een toegangsdeur en hebben aan de binnenkant een ladder om naar

Ladder en kabels in de toren van een windturbine.

de gondel te klimmen. In de grotere windturbines is een servicelift aangebracht. Door de mast lopen ook de elektrische kabels waarmee de opgewekte stroom naar de aansluiting op het net wordt gebracht.

DE FUNDERING

De kracht die de wind op de rotor van een windturbine uitoefent, is vergelijkbaar met de druk op een zeil ter grootte van één of meer voetbalvelden, maar dan op honderd meter hoogte. Die enorme kracht moet worden opgevangen in de fundering van de mast. Een fundering op land wordt op een groot aantal (meestal dertig of meer) heipalen gezet. Die gaan, afhankelijk van de bodemgesteldheid, vijftien tot dertig meter de grond in. Hierop wordt een betonblok gestort en vastgezet; de heipaalkoppen dienen als basis. Zo'n betonnen fundering van een megawatt-turbine weegt honderden tonnen.

Windturbines op land staan op een zware betonnen fundering

De mast van de windturbine wordt met een groot aantal dikke bouten vastgezet op het betonblok. Elektriciteitskabels gaan door de fundering heen de mast in.

Op zee wordt een zware stalen buis (monopile) als fundering in de bodem geheid

Funderen in het water gaat anders. Daar wordt meestal een zogenaamde *monopile* gebruikt: een grote stalen buis met een diameter van ongeveer vijf meter, die tientallen meters de zeebodem in wordt geheid. Op de stalen buis komt een *transitiestuk* dat ruim boven de zeespiegel uitkomt. De windturbine wordt op dit transitiestuk gemonteerd. Vanaf een boot kunnen onderhoudsploegen via het transitiestuk bij de turbine komen om hun werk doen.

Monopiles zijn te gebruiken in de Nederlandse windparken op de Noordzee, tot een waterdiepte van ongeveer dertig meter. Locaties, met name dicht onder de kust en op zandbanken, zijn niet erg diep. Voor grotere waterdieptes tot circa vijftig meter zijn andere constructies bedacht (zie figuur 5-8), waarvan enkele in de praktijk zijn getest. Voor nog grotere waterdieptes is een vaste constructie onbegonnen werk. Er zijn daarom proeven gedaan met drijvende windturbines, voor de diepzee. Siemens deed dit voor de kust van Noorwegen.

LEVENS CYCLUS ANALYSE (LCA)

In een Levens Cyclus Analyse *(LCA)* worden alle energiestromen tijdens de levensfases van een product, vanaf de 'wieg tot het graf', bekeken 51. De energie die wordt gebruikt voor het winnen van materialen zoals staal en kunststoffen, voor de productie in de fabriek, het transport naar de bouwlocatie tot aan de ontmanteling wordt bij een windturbine afgezet tegen de hoeveelheid elektriciteit die tijdens het werkzame leven wordt geproduceerd. Er is een standaardmethode ontwikkeld om zo'n *LCA* te berekenen. De werkwijze is vastgelegd in ISO-norm 14040. In figuur 5-6 is dit heel schematisch weergegeven.

Figuur 5-6. Levens Cyclus Analyse. Bron: Siemens

Windturbines op land produceren in een half jaar de energie die nodig is om ze te maken

Een windturbine moet ongeveer zes maanden draaien om de elektriciteit (energie) te maken die nodig is om de machine te maken en te installeren. Een windturbine wekt in zijn 'leven' dus ongeveer veertig keer zoveel stroom op als nodig was voor de productie. Turbines op zee doen hier, met minstens tien maanden, langer over. Uit onderzoek blijkt dat 80 procent van de benodigde energie gaat zitten in de winning van de materialen zoals staal, beton en kunststoffen. Deze terugverdientijd speelt een rol bij de beoordeling of een product milieuvriendelijk is of niet. Windturbinebouwers zoals Vestas (52) en Siemens (53, 54, 55, 56) hebben de afgelopen jaren verschillende LCA's gemaakt voor megawatt-turbines, zowel voor op land als voor op zee. De studies zijn vaak gemaakt in opdracht van de Europese Unie. De conclusies in de rapporten zijn redelijk eenduidig. Amerikaanse studies van onder andere de Oregon State University komen tot vergelijkbare getallen voor de Amerikaanse situatie. Ter vergelijking: zonnepanelen, één van de andere alternatieven voor de opwekking van schone elektriciteit, hebben een energie-terugverdientijd van enkele jaren, blijkt uit verschillende internationale studies, uitgevoerd zowel in de VS als in Europa.

CERTIFICERING

Windturbines staan bloot aan grote, wisselende krachten. De rotorbladen draaien bij elke omwenteling één maal door het hoogste punt, waar het meestal het hardst waait. Elk blad komt tijdens elke omwenteling één maal langs de mast waar de wind juist wordt geremd. Deze wisselende belastingen treffen de rotorbladen en worden vervolgens via de as doorgegeven aan tandwielkast en generator. De wind kan bovendien plotseling wisselen van richting of van kracht. Alle onderdelen moeten bestand zijn tegen deze wisselende belastingen. De hoofdcomponenten moeten minstens twintig jaar meegaan; in de toekomst nog langer. Er is een tendens windturbines te ontwerpen voor een levensduur van 25 tot 30 jaar.

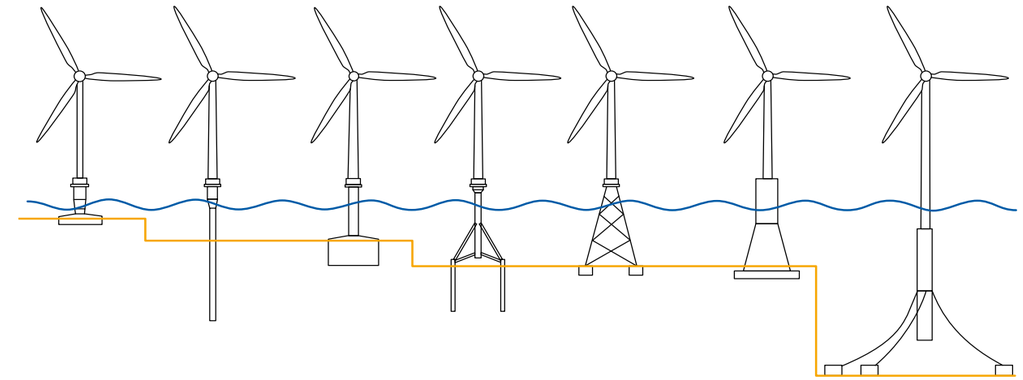
Met rekenmodellen worden de krachten berekend die windturbines gedurende hun technische levensduur voor de kiezen krijgen. Ze houden rekening met de wisselende belasting en de vermoeiing van de materialen door de jaren heen. Alle hoofdcomponenten worden met deze modellen doorgerekend en voor toepassing uitvoerig getest. In Nederland heeft bijvoorbeeld het onafhankelijke Energie Onderzoek Centrum (ECN) in Petten en in de Wieringermeer faciliteiten om dit onderzoek uit te voeren 45. In die faciliteiten worden de krachten op turbinecomponenten versneld gesimuleerd.

Er zijn Europese normen (IEC 61400 serie) ontwikkeld waar turbines aan moeten voldoen 46. Prototypes worden in het open veld uitgebreid getest. In zo'n test wordt onder verschillende windomstandigheden nagegaan of de berekende waarden van het ontwerp overeenkomen met de praktijk. Verder worden alle veiligheidsmechanismen uit en te na beproefd. Deze tests worden uitgevoerd door een onafhankelijk instituut dat een type-certificaat afgeeft als de windturbine aan alle eisen voldoet.

Windturbines krijgen een certificaat voor een zogenaamde windklasse. De indeling in deze windklassen is gebaseerd op de gemiddelde windsnelheid en de maximale sterkte van windvlagen en hoe vaak die voorkomen. Binnen de windklasse is er nog een onderverdeling in A en B die de mate van turbulentie in de wind weergeeft. In figuur 5-7 zijn de windklassen weergegeven. Fabrikanten ontwerpen windturbinetypes voor verschillende klassen, of te wel voor een locatie met een specifiek windregiem.

Figuur 5-7. Windklassen volgens de IEC-norm.

Windklasse	Jaarlijks gemiddelde windsnelheid	Extreme windvlaag (eens per 50 jaar)
1	10,0 m/s (op as-hoogte)	70 m/s
2	8,5 m/s (op as-hoogte)	59,5 m/s
3	7,5 m/s (op as-hoogte)	52,5 m/s
4	6,0 m/s (op as-hoogte)	42 m/s



Figuur 5-8. Alternatieve funderingsconcept voor windturbines op zee. Bron: we@sea.

BOUW EN BEHEER VAN EEN WINDPARK

De bouw van een windpark vergt vele jaren. De meeste tijd gaat zitten in de voorbereidingen. Vaak moet een bestemmingsplan worden aangepast en moeten vergunningen worden verleend. In Nederland kost het vijf tot zeven jaar om de benodigde stappen, inclusief juridische procedures, te doorlopen. Er zijn projecten geweest waar dit meer dan tien jaar heeft geduurd.

Zijn alle vergunningen er en is de financiering rond dan gaat de bouw betrekkelijk snel. Een windturbine kan binnen een jaar op de locatie staan. Fabrikanten hanteren een levertijd van zes tot negen maanden, afhankelijk van de grootte van de windturbine en de omvang van het windpark. Veel werk zit in de voorbereidingen zoals het bereikbaar en bouwrijp maken van de locatie; dit kan in die besteltijd gebeuren.

Het funderingsblok afgewerkt (Eemshaven).

Transitiestuk voor het plaatsen van een windturbine (Siemens, IJsselmeer).

De bouw van een windturbine duurt niet meer dan een jaar

De fundering is vervolgens het eerste karwei. Wanneer de heipalen zijn geslagen en de fundering is gestort, moet het beton uitharden. Hier staat ongeveer zes weken voor. Daarna gaat het snel en neemt de bouwtijd van de turbine hooguit nog enkele weken in beslag. De fabrikant levert de verschillende delen van de turbine, gondel, mast en elektrische generator, als een soort bouwpakket aan. De segmenten van de stalen mast worden in één of twee dagen met bouten op de fundering en onderling vastgezet. De samenbouw van betonnen mastsegmenten vraagt één of twee weken meer.

Staat de mast dan kan de gondel worden gehesen en kan de rotor met bladen daarop worden bevestigd. Hier komt veel takelwerk met een grote kraan aan te pas. In deze fase speelt het weer een belangrijke rol: er kan niet worden gehesen en gemonteerd bij te harde wind. Vooral bij het hijsen van de rotorbladen is de windsnelheid kritisch. Te harde wind kan snel tot vertraging leiden.

Het voorbereiden van de rotor voor het hijsen (Delfzijl-Zuid)

Moderne windturbines kunnen ongeveer 99% van de tijd draaien

Als alle hoofdcomponenten zijn gemonteerd vindt binnen in de turbine de afbouw en verbinding met het elektriciteitsnet plaats. De windturbine wordt uitgebreid op alle functies getest, voordat deze aan de eigenaar wordt overgedragen.

Dan begint de periode van stroomproductie. De windturbine kan dit minstens twintig jaar vol houden. Er is regelmatig onderhoud nodig door gespecialiseerd personeel. De exploitant sluit vaak met de fabrikant van de turbine een onderhoudscontract voor ten minste tien tot vijftien jaar. Er komt dan zo'n twee tot vier keer per jaar een onderhoudsteam een dag langs voor controle- en onderhoudswerk. De monteurs komen fysiek naar de turbine toe en zijn binnenin aan het werk. Ook aan de buitenkant wordt een visuele inspectie van mast en bladen uitgevoerd. Er zijn inmiddels bedrijfjes die ter inspectie met drones, vliegende camera's, dicht langs en over windturbines vliegen. Ze maken videobeelden en haarscherpe foto's om zeker te zijn dat er nergens scheurtjes zijn ontstaan.

Windturbines zijn tegenwoordig technologische wonderen, opgebouwd uit degelijke onderdelen. Een moderne turbine is meestal meer dan 99% van de tijd beschikbaar voor zijn taak. Turbinefabrikanten geven beschikbaarheidsgaranties af van minstens 95%. Het is alleen nog wachten op de wind; dan kan de turbine wind omzetten in stroom.

WINDTURBINES AAN HUN EINDE

Een windturbine gaat zo'n 20 tot 25 jaar mee; dan zit de technische levensduur van de belangrijkste componenten zoals rotorbladen, lagers en tandwielkast er op. Ze zijn dan versleten of sterk verouderd. De turbines zijn dan rijp voor de sloop. Zoveel mogelijk gaat richting recycling.
Voor gondel en mast is dit geen groot probleem: ze bestaan hoofdzakelijk uit metalen onderdelen die naar de sloop kunnen en waarvoor een goede sloopprijs te krijgen is. Deze komen vervolgens opnieuw in staal terecht.

Na de technische levensduur kunnen windturbines grotendeels worden gerecycled

De fundering is meestal niet meer geschikt voor een tweede leven. Het betonblok wordt verwijderd; de resten gaan naar een puinbreker. De fundatiepalen worden ruim onder het maaiveld afgeknipt, en ook die brokstukken gaan naar de puinbreker. Het resterende deel van de betonnen palen blijft in de grond achter. Het gebroken puin wordt toegepast in de (wegen)bouw.

Er is een 2de-hands markt voor windturbines in het buitenland

De recycling van de bladen, gemaakt van glasvezel versterkte kunststoffen, werd lange tijd als het grootste probleem gezien 47. Er is lange tijd geen directe toepassing voor geweest. Het kunststofmateriaal lijkt inmiddels goed te gebruiken als grondstof in de cementindustrie, waar hoge temperaturen vereist zijn. De kunststof zorgt via verbranding voor de noodzakelijke hitte en het glasvezel dient als vulstof in de cement 48.

Regelmatig worden windturbines afgebroken voordat de technische levensduur er op zit. Exploitanten hebben dan geconstateerd dat de turbine eerder weg moet omdat deze niet meer economisch rendabel is en plaats moet maken voor een grotere. Er is een levendige tweedehands markt ontstaan; turbines worden verkocht naar landen in het voormalige Oostblok, zoals Roemenië of Kazachstan, of naar ontwikkelingslanden, waar windenergie nog in de kinderschoenen staat. Met lage arbeidskosten loont het daar windturbines een tweede leven te geven. Er zijn meerdere makelaars op dit terrein actief 49 50.

Ontmanteling van een 24-jaar oude turbine (Westermeerdijk, Noordoostpolder)

Een moderne windturbine draait volledig onbemand. Een computersysteem neemt de hele besturing en beveiliging voor zijn rekening. De computer bestuurt niet alleen het pitch-systeem en het kruimechanisme, maar slaat ook allerlei systeem-gegevens op en houdt de ingebouwde veiligheidssystemen in de gaten. Zo nodig schakelt het systeem de windturbine uit.

Een monteur kan de meeste parameters aflezen op een bedieningspaneel. De beheerder van een windpark zit meestal op afstand en ontvangt daar automatisch de nodige signalen van de besturingscomputer, op een laptop of op zijn mobiele telefoon. Bij grote windturbines en bij windparken wordt de bewaking centraal vanuit een controlekamer geregeld. Hier is vaak 24 uur per dag iemand aanwezig om te voorkomen dat een windturbine onnodig door een storing buiten bedrijf is.

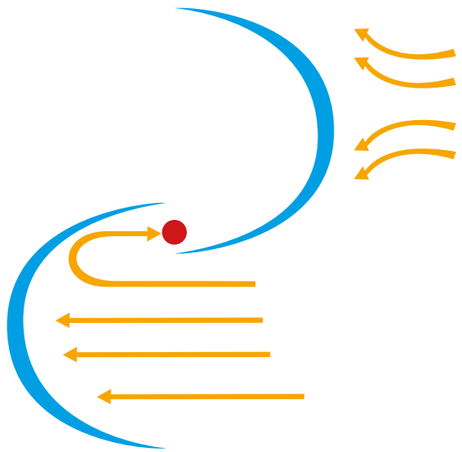
Het onderhoud op zee is anders en vereist een eigen expertise. Het kost veel tijd om er met een boot te komen. De monteur is bij het overstappen op de windturbine afhankelijk van het weer. Bij hoge golfslag kan er niet vanaf een deinend schip worden overgestapt op een vaste constructie. Met name 's winters kan een windturbine in storing daarom niet altijd direct worden bereikt. De beschikbaarheid van windturbines op zee is dan ook lager dan op land.

Aan de TU-Delft is een constructie ontwikkeld *(de Ampelmann)* voor op een schip ⓘ *174*. Deze corrigeert voortdurend de scheepsbeweging waardoor het aanlandings-platform stabiel blijft ten opzichte van de windturbine. Turbineleverancier Senvion levert 6 MW-offshore windturbines met een platform boven op de windturbine ⓘ *181*. Een monteur kan hierop met een helikopter worden afgezet.

Transport van een stalen mastsegment in de Eemshaven.

Het plaatsen van een stalen mastsegment (Repower, Eeemshaven)

WINDTURBINES MET VERTICALE AS



Figuur 5-9. De Savonius-rotor

De meeste turbines draaien volgens het liftprincipe: wanneer de lucht langs de bladen stroomt, zal er langs het turbineblad, tussen voor- en achterkant, een drukverschil ontstaan dat het blad aan het draaien zet rond een horizontale as. Er is een ander principe, het zogeheten weerstandsprincipe. De Finse ingenieur Savonius heeft in 1922 een zogenaamde *'Savonius'*-rotor geïntroduceerd. Zijn rotor bestaat uit twee gebogen delen, die rond een verticale as draaien. Aanstromende wind veroorzaakt een drukverschil tussen de twee rotordelen. In de afbeelding is dit te zien. De rotor gaat draaien door dit drukverschil.

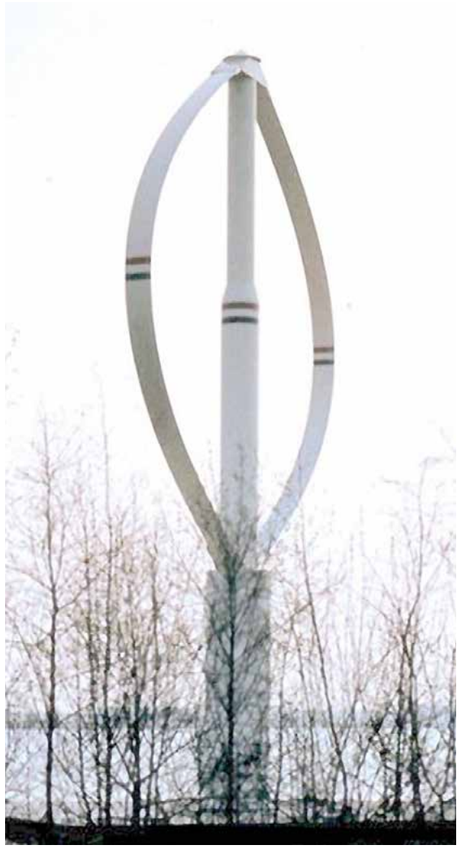
Het principe is eenvoudig en vraagt weinig onderhoud. De werking komt in grote lijnen overeen met de oudste windmolens, die voor de jaartelling in China en Perzië werden gebouwd. Het energetisch rendement is echter laag. Voor elektriciteitsopwekking wordt dit systeem daarom niet toegepast. Soms zie je ze nog wel eens bij simpele toepassingen zoals de aandrijving van een ventilator op een fabrieksdak of als reclamebord. Het toerental van een Savonius-molen is recht evenredig met de windsnelheid. Windsnelheidsmeters (*'cup-anemometer'*) maken daarom gebruik van dit principe.

De cup-anemometer.

In moderne windturbines met horizontale as liggen in de gondel op de mast een zware elektrische generator en een tandwielkast. Hiervoor is een stevige mastconstructie nodig. De Franse luchtvaarttechnicus Georges Darrieus pakte het daarom anders aan. Hij bouwde een windturbine met een verticale as, gebaseerd op het lift-principe. De zware generator kan op de grond staan. In 1931 kreeg hij een patent op zijn idee. Er kleven nadelen aan. De gekromde bladen zijn bijvoorbeeld lastig te construeren. Omdat de positie van de bladen voortdurend anders komt te staan op de wind worden turbineonderdelen continu blootgesteld aan veranderende krachten. Dit heeft bij prototypes tot vele trillingen en storingen geleid. Ook is het rendement van de rotor lager dan bij een horizontale as-turbine omdat de snellopendheid lager is. Er zijn daarom maar weinig Darrieus-rotoren gebouwd. Het principe lijkt verlaten. Alhoewel: voor windturbines op zee wordt zo hier en daar overwogen het principe van de Darrieus-windturbine van stal te halen.

In Nederland heeft in 1982 tijdens de Floriade in Amsterdam-Zuidoost enkele maanden een kleine Darrieus-rotor met een diameter van vijftien meter stroom geleverd voor de tentoonstellingsgebouwen en daarna nog enkele jaren stroom aan het net geleverd. De turbine werd ontworpen door vliegtuigbouwer Fokker en gebouwd door het kunststofbedrijf Polymarin. De grootste Darrieus-rotor is in Canada gebouwd, bij Cap Chat, ten noordoosten van Quebec. De verticale rotor van deze machine had een diameter van ongeveer honderd meter en een elektrisch vermogen van vier megawatt. De rotor heeft tien jaar gedraaid in het Eole-windpark, tussen vele turbines met een horizontale as. De turbine werd in 1992 tijdens een storm ernstig beschadigd en is inmiddels gesloopt.

De Darrieus-windturbine van Polymarin in de Gaasperplas.



HOOFDSTUK 6

Windturbines worden groter en groter. Ze produceren steeds goedkoper stroom en de ruimte die ze in beslag nemen wordt effectiever benut. Megawatt-turbines hebben bladen van meer dan vijftig meter. Grenzen komen in zicht, technologische maar ook landschaps- en geluidsgrenzen. Een revival van kleine windturbines zit er echter niet in.

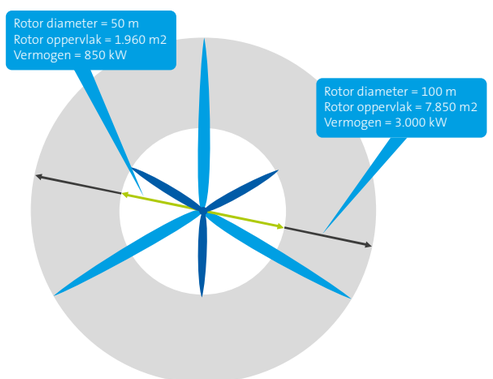
WINDTURBINES: GROOT, GROTER...?

De grootte van de windturbine heeft een stormachtige ontwikkeling doorgemaakt. Moderne, commerciële windturbines (met een horizontale as), zoals die vandaag de dag worden geplaatst, zijn aanzienlijk groter dan de eerste windturbines die dertig jaar geleden werden neergezet. Een voorbeeld: de afgelopen dertig jaar is de rotordiameter ruwweg verachtvoudigd van vijftien meter in 1985 naar meer dan 120 meter nu.

De reden is simpel. De hoeveelheid windenergie die door de rotor stroomt is afhankelijk van het rotoroppervlak dat de bladen bestrijken bij een omwenteling. Als de diameter van de rotor toeneemt, neemt het rotoroppervlak kwadratisch toe en stroomt er dus veel meer windenergie door de rotor (figuur 6-1).

De productie van elektriciteit neemt evenredig toe. Het vergroten van het rotoroppervlak is de eenvoudigste manier om meer elektriciteit te maken.

Figuur 6-1. Relatie tussen diameter, oppervlakte en vermogen.



Grotere rotoren worden vaak op een hoge mast geplaatst. Op grotere hoogte waait het harder dan aan de grond (zie hoofdstuk 2) waardoor de stroomproductie nog eens extra toeneemt. In het begin van de turbine-ontwikkeling draaiden bladen rond op een mast van nog geen twintig meter. De masten van nu zijn soms 135 meter hoog.

De energie die uit de wind te halen is, neemt kwadratisch toe met de rotordiameter

Als gevolg van deze ontwikkelingen is het elektrische vermogen van de windturbine in dertig jaar tijd met bijna een factor honderd toegenomen. Dertig jaar geleden hadden turbines een elektrisch vermogen van ongeveer vijftig kilowatt. Turbines die nu op land en op zee staan hebben een vermogen van drieduizend kilowatt of meer.

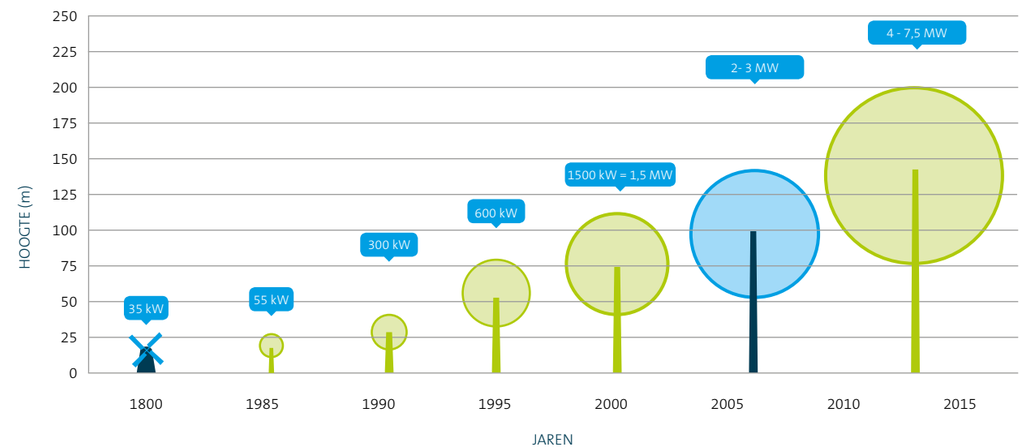
In figuur 6-2 is deze ontwikkeling over de afgelopen dertig jaar geschetst. Het gaat om windturbines die in serieproductie worden gemaakt en te koop zijn, niet om prototypes in een experimenteerfase. De ouderwetse Hollandse molen is ook in de figuur gezet.

Windturbines met een vermogen van 2 – 4 MW zijn de 'werkpaarden' op land

WINDTURBINES OP LAND

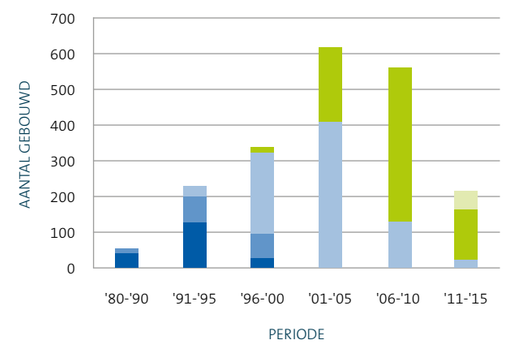
Grote turbines worden in groepen bij elkaar neergezet, in zogenaamde *windparken*. Figuur 6-3 laat zien hoe in de loop der tijd de bouw van windturbines is verschoven van kleine naar steeds grotere exemplaren.

Figuur 6-2. De windturbinegrootte is flink gestegen.

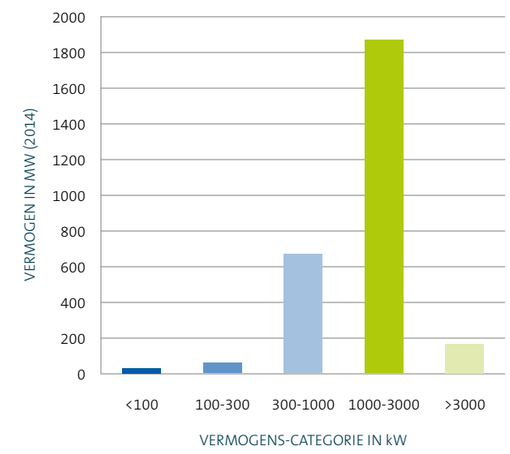


Dertig jaar geleden gingen vooral turbines van (een paar) honderd kilowatt over de toonbank; de laatste vijf jaren worden alleen maar megawatt-turbines gebouwd. Het aantal kleinere turbines, met een vermogen onder de één megawatt, is in de meerderheid, maar er komen nauwelijks nog nieuwe bij. Veel kleinere turbines uit de begintijd zijn inmiddels ontmanteld. De komende jaren zullen meer kleine turbines – na jarenlang trouwe dienst – worden vervangen en uit het landschap verdwijnen.

Figuur 6-3. Het aantal geplaatste turbines per periode en grootteklasse.



Figuur 6-4. Het geïnstalleerd vermogen, per grootte-cluster (2014).



0-100 kW · 100-300 kW · 300 kW - 1 MW · 1-3 MW · >3 MW

Megawatt-turbines (vermogen van meer dan één megawatt) nemen hun werk over. Ze produceren nu ongeveer drie kwart van alle windstroom. Dit is in figuur 6-4 te zien. De 'werkpaarden op land' van het komende decennium zijn turbines van twee tot vier megawatt (in figuur 6-2 in blauw aangegeven). Dit turbinetype heeft een as-hoogte van 90 tot 110 meter en een rotordiameter van 80 tot 110 meter. De grootte van rotor en masthoogte wordt afgestemd op het lokale windaanbod. Aan de kust – waar het gemiddeld harder waait – kan een kleinere rotor volstaan, of krijgt de elektrische generator een groter vermogen. In het binnenland – met minder wind – ligt een turbine met grotere diameter en een kleinere generator meer voor de hand. Bijna alle turbineleveranciers leveren deze megawatt-turbines. In onderstaand figuur staan de meest gangbare megawattturbines in 2015 in Nederland.

De grootste windturbine op land is in 2015 de Enercon E-126. De turbine is in 2013 bij Medemblik voor het eerst in Nederland neergezet ter vervanging van een oude windturbine van 1 MW (troetelnaam 'de Ambtenaar'). De turbine heeft een vermogen van 7,5 MW (7.500 kW). In de Noordoostpolder, langs de dijken van het IJsselmeer, is in 2014 de bouw begonnen van windpark met 38 van deze megawatt-turbines. Kleine windturbines waren gemakkelijk over de weg te vervoeren; voor het transport van de onderdelen van MW-turbines zijn speciale diepladers nodig en voor de installatie hoge kranen, waarvan er maar een paar in Europa beschikbaar zijn. Wegen moeten soms tijdelijk worden aangepast voor dergelijke transporten. De praktijk leert dat er met deze grote turbines op land grenzen van een aantal technische, logistieke en inpassings-problemen worden bereikt.

WINDTURBINES OP ZEE

Op zee neemt de ontwikkeling naar megawatt-turbines een nog grotere vlucht. Offshore-turbines zijn tot nu toe afgeleid van landturbines. Zo zijn de eerste

Figuur 6-5. Leveranciers windturbines op land (2015).

Merk	Vermogen (MW)		Rotordiameter (m)		Markt-aandeel	Ref
Alstom	2,7	3,0	100	122	1%	036
Enercon	2,0	7,5	71	127	29%	037
GE-Wind	1,6	2,5	82,5	120	1%	038
Lagerwey Wind	2,3	4,0	82	136	1%	137
Nordex	2,4	3,3	90	131	6%	039
Senvion (Repower)	2,0	6,2	82	126	5%	040
Siemens	2,3	3,0	101	113	2%	041
Vestas	2,0	3,3	80	126	54%	042

Bron: Windstatts 035; in percentage van opgesteld vermogen en inclusief overgenomen bedrijven.

WERKGELEGENHEID

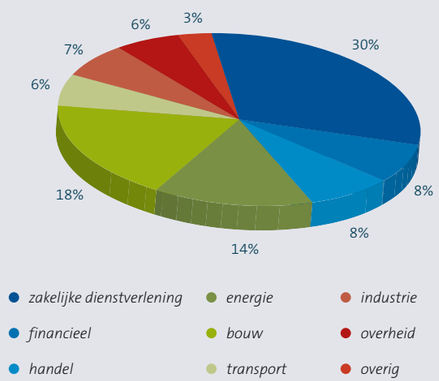
Werkgelegenheid is voor de Nederlandse overheid een belangrijke (indirecte) drijfveer om duurzame energie te stimuleren. Het economisch adviesbureau Decisio heeft in 2014 berekend dat de windsector in Nederland direct en indirect (zie presentatie op de Nationale Winddag in 2014) aan achtduizend fte's werk biedt 174. De zakelijke dienstverlening, ingenieurs- en adviesbureaus zijn goed voor een derde van deze banen. De rest is gelijkelijk verdeeld over de energiesector, de transportsector en de bouw. Zie figuur 6-6. Hun bedrijven zijn goed voor een omzet van naar schatting drie miljard euro per jaar, gelijkelijk verdeeld over land- en windprojecten. Energiebedrijven nemen een derde van deze omzet voor hun rekening.

Decisio baseert zich op een enquête van het marktonderzoeksbureau TNS-NIPO onder wind-gerelateerde bedrijven. TNS stuurde 250 organisaties in de windenergiesector een enquêteformulier; 30 procent vulde de vragenlijst in. Decisio heeft de antwoorden waar nodig aangevuld met informatie uit relevante jaarverslagen. De ondernemers in de windsector zijn positief over de toekomst. Ze verwachten de komende vijf jaar een stijging van de omzet. De helft van de bedrijven heeft vacatures, een kwart heeft moeite ze in te vullen.

In het Energie Akkoord van 2013 wordt werkgelegenheid als aparte pijler genoemd: maatregelen moeten leiden tot zo'n 15.000 extra arbeidsplaatsen, zo is als doelstelling geformuleerd. Het ECN en het Plan Bureau voor de Leefomgeving (PBL) hebben een analyse gemaakt en becijferd dat het Energie Akkoord leidt tot minstens 4.700 directe banen in de windsector, gelijkelijk verdeeld over wind op land en wind op zee 013. Windenergie op zee zal flink aantrekken. Nederland ligt gunstig als uitvalsbasis voor windactiviteiten op de hele Noordzee, ook op het Duitse en Britse deel. En Nederlandse bedrijven hebben een goede naam in de olie-offshore.

De meeste banen, met name op land, zijn gerelateerd aan de constructie en het beheer van windparken. De werkgelegenheid zal enigszins beperkt blijven omdat er in Nederland niet veel windturbines meer worden geproduceerd. Nederlandse bedrijven zijn in de negentiger jaren van de vorige eeuw in buitenlandse handen overgegaan. De turbineproductie is bijna volledig uit Nederland verdwenen. Er zijn enkele kleine productiebedrijven die recentelijk (opnieuw) zijn begonnen zoals EWT, Lagerwey, en XEMC-Darwind. Ze ontwerpen windturbines die ze grotendeels samenstellen uit componenten die in het buitenland worden vervaardigd.

Figuur 6-6. Werkgelegenheid windenergie per sector (totaal 8.000 banen).



twee Nederlandse windparken op zee gebouwd met Vestas-windturbines uit de twee- en drie-megawatt-klasse. Daarvan zijn er wereldwijd inmiddels duizenden op land neergezet. Het windpark Noordzeewind was het eerste Nederlandse windpark op zee met 36 van zulke turbines 43. Het is sinds 2007 in bedrijf en staat op zo'n tien tot achttien kilometer voor de kust bij Egmond aan Zee. Het tweede Nederlandse offshore-park is windpark Prinses Amalia op 23 kilometer uit de kust van IJmuiden 44. In het park draaien sinds 2008 zestig windturbines van Vestas.

Er zijn op zee minder beperkingen voor grote turbines dan op land. De turbines, masten en bladen kunnen gemakkelijker over het water worden vervoerd met schepen, dan met vrachtauto's over land. Nieuwe offshore-windparken die tegenwoordig op de Noordzee worden gebouwd hebben turbines van 4 - 6 MW. Een voorbeeld is het Typhoon-windpark ten noorden van Schiermonnikoog 18. Daar komen 150 megaturbines die vanaf 2018 zullen draaien, 55 kilometer uit de kust. De komende jaren zullen er op zee veel meer windturbines van dit formaat worden neergezet.

En de ontwikkeling op zee is niet ten einde. Zo heeft de Deense fabrikant Vestas een offshore-windturbine in zijn productpakket met een rotordiameter van 164 meter en een vermogen van 8 MW 109. Het Deense energiebedrijf Dong heeft er 32 van besteld voor het Britse windpark Burbo Bank, in de baai bij Liverpool. Op de tekentafels gaat men verder. Windturbines met een rotordiameter van tweehonderd meter en een elektrisch vermogen van meer dan tien MW zijn in ontwikkeling. Het is onduidelijk wanneer technische grenzen voor windturbines op zee worden bereikt.

Mini-windturbines bij een benzinestation in Pesse (Dr).

MINI-WINDTURBINES

Grote windturbines domineren de markt. Ze zijn vaak manifest in het landschap en niet iedereen is daarvan gediend. Er wordt daarom nogal eens een pleidooi gehouden voor kleine 'mini'-turbines, ook wel *urban* (stads) turbines genoemd, omdat ze minder opvallen in het landschap. Ze kunnen bovendien op het dak van een bedrijfsgebouw worden gezet of op een woning.

Op de Nederlandse markt worden verschillende mini-turbines aangeboden. Een aantal is in Nederland ontwikkeld en wordt hier gefabriceerd. Ze hebben een vermogen van vijfhonderd watt tot zes kilowatt. De rotordiameter ligt ruwweg tussen één en vijf meter. Op de foto hiernaast zijn twee van die mini-windturbines te zien bij een benzinestation in Pesse (Dr). Shell Green Planet wil hiermee het milieuvriendelijker karakter van zijn station benadrukken. Ze zijn er in alle maten en soorten en worden vaak aangeprezen als serieus alternatief voor turbines met bladen van vele tientallen meters. Er zijn de afgelopen jaren verschillende testprojecten uitgevoerd om de potentie van miniturbines in kaart te brengen, zoals een testproject in Zeeland en een test door Essent op het Zernicke-park in Groningen. De conclusies zijn negatief: kleine windmolens draaien dicht aan de grond waar de windsnelheid laag is en dus de stroomopbrengst beperkt. Ze zijn bovendien storingsgevoelig en hebben veel onderhoud nodig. Ze zijn duur; de rentabiliteit is niet hoog.

Gemeenten spelen een belangrijke rol bij de vergunningverlening omdat de meeste van deze windmolens in de gebouwde omgeving worden neergezet. Ze zijn regulier vergunning-plichtig. De bouwer mag ze alleen neerzetten als hij een omgevingsvergunning heeft. Agentschap NL van het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, dat beleid uitvoert op het gebied van duurzaamheid, heeft daarom in 2011 voor gemeentes een overzicht laten maken van de markt aan mini-apparaten. In een brochure *"Praktische toepassing van mini-windturbines, een handleiding voor gemeenten"* wordt aangegeven aan welke wettelijke richtlijnen mini-turbines moeten voldoen 030.

De fabrikanten van mini-windturbines hebben zich enkele jaren geleden verenigd in de 'Commissie Miniturbines' van de Nederlandse Windenergie Associatie (NWEA). De branche had toen de ambitie duizenden turbines te plaatsen, oplopend tot 48.000 turbines in 2020. Bij die ambitie is het gebleven ondanks de vele plannen die er gemaakt zijn. Zo was er een idee van de gemeente Den Haag voor een pilot van dertig tot vijftig mini-turbines op flatgebouwen. Zes ervan zijn er uiteindelijk geplaatst; de meeste plannen zijn gesneuveld vanwege felle protesten van omwonenden.

Mini-windturbines zijn duur en leveren geen bijdrage aan de stroomproductie

In totaal zijn er in Nederland naar schatting enkele honderden mini-windturbines neergezet. De opgewekte elektriciteit wordt meestal ter plekke verbruikt; een klein deel wordt teruggeleverd aan het elektriciteitsnet. Mini-turbines zijn qua productie en aansluiting vergelijkbaar met zonnepanelen die de afgelopen jaren op veel daken van woonhuizen zijn neergezet. Met als belangrijk verschil dat zonnestroomtechnologie uitontwikkeld lijkt, terwijl moderne miniturbines aan het begin van hun leercurve staan, oordeelt het Agentschap NL.

De toekomst van miniwindturbines ziet er niet rooskleurig uit. Ze zijn hooguit een marketinginstrument om bijvoorbeeld het groene karakter van een onderneming te benadrukken. Hun bijdrage aan Nederlandse windstroom zal beperkt blijven.

Een proef met mini-windturbines in Groningen.

NS EN IKEA DOEN HET OP WINDSTROOM

'Maatschappelijke verantwoordelijkheid' is een steeds belangrijker drijfveer van bedrijven die werkelijkheid wordt en die niet alleen meer functioneert als mooi voornemen in stoffige beleidsrapporten. Zo zullen alle elektrische treinen in Nederland vanaf 2018 rijden op groene stroom, en in 2015 zal dat al de helft zijn. De groene stroom komt straks voor de helft uit windparken in Nederland; de andere helft komt van windturbines in Noorwegen, Zweden en België. De treinvervoerders hebben hiervoor in 2014 een tienjarig contract afgesloten met energiebedrijf Eneco. Reizigers gaan niet meer betalen voor hun kaartje. De vervoersbedrijven zullen de komende jaren minder stroom gaan gebruiken, zo belooft NS. Treinen gaan namelijk zuiniger rijden en dat beperkt de kosten.

Een honderdtal windturbines gaat de benodigde 1,4 miljard kilowattuur per jaar, een hoeveelheid die vergelijkbaar is met het stroomverbruik van de stad Amsterdam, leveren.

NS koopt de stroom in bij een energiebedrijf. Er zijn ook bedrijven die voor een deel met eigen geproduceerde duurzame energie hun stroomverbruik proberen te compenseren. Het woningwarenhuis IKEA is er zo één. Bij de nieuwe vestiging in Zwolle doen ze dit op kleine schaal met negen kleine windturbines en 5.500 zonnepanelen op het dak. De winkel is daarmee nog niet energieneutraal.

IKEA heeft de afgelopen jaren elders bijna twee miljard euro geïnvesteerd in duurzame projecten, vooral in windparken. De keten betrekt stroom van meer dan driehonderd grote windturbines. De meeste draaien in de Scandinavische landen, zoals Zweden en Denemarken. Maar ook in andere landen wordt eigen duurzame energie geproduceerd. En nu dus ook op het dak van de nieuwe vestiging bij Zwolle. IKEA wil in 2020 volledig energieneutraal zijn. In Zweden is het bedrijf dat al na de inbedrijfstelling dit jaar van een 90 megawatt windpark (dertig Vestas V90-machines) in Glötesvålen (Midden-Zweden). IKEA heeft hiervoor een exclusief leveringscontract gesloten met het stroombedrijf OX2. In de VS en Canada wordt al 80 procent van het energiegebruik duurzaam opgewekt.

Windturbines bij IKEA Zwolle.

HOOFDSTUK 7

De prijs van windstroom is te berekenen uit de investeringskosten, de wijze van financiering en de jaarlijkse kosten, zoals voor onderhoud en grond. Exploitanten verkopen hun windstroom op de energiebeurs. De prijs van stroom is daar laag door overschotten op de Europese markt; lager dan windstroom. De overheid overbrugt dit verschil met subsidie.

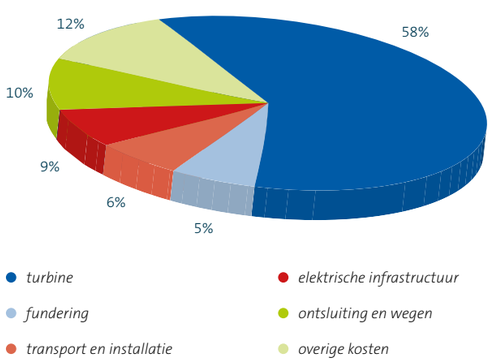
DE PRIJS VAN WIND

Commerciële marktpartijen, of dit nu particulieren, energiebedrijven of investeringsmaatschappijen zijn, steken geld in windenergie als ze dit met een acceptabel rendement terugkrijgen. Ze maken daarom in een zogenaamde *business-case* een schatting van alle kosten en baten, gerekend over de levensduur van een project.

De karakteristieke kengetallen in deze berekening zijn de *kostprijs* en de geldelijke *opbrengst* van de geproduceerde kilowatturen over de hele levensduur van het windproject. De rekensom is opgebouwd uit vele componenten. De uitkomst is echter simpel: komt de opbrengst boven de kostprijs uit dan wordt er winst gemaakt. Is er voldoende winst, subsidie meegerekend, dan wordt er geïnvesteerd.

Eerst zijn er de voorbereidingskosten voor de ontwikkeling van het park, het verkrijgen van de benodigde vergunningen, en het verkrijgen van de financiering.

Figuur 7-1. Verdeling van de investeringskosten (totaal € 1.350 per kilowatt). Bron: ECN / DNV-GL *122, 112, 144*



Als de business-case na het voorbereidende werk er goed uitziet, kan een positief investeringsbesluit worden genomen. De bestellingen vinden dan plaats en de bouw kan beginnen.

INVESTERINGSKOSTEN

Figuur 7-1 geeft een overzicht van de kostenposten (in procenten) voor een windturbine op land. De turbine zelf neemt ongeveer 60% van de totale kosten voor zijn rekening.

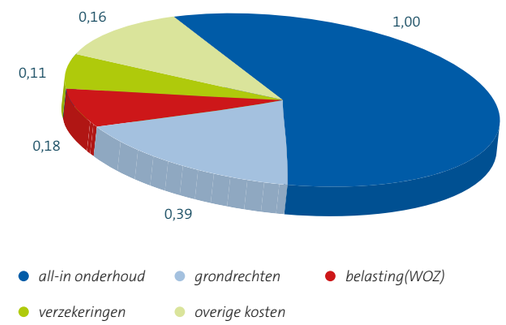
Maar ook de aanlegkosten van wegen om de locatie bereikbaar te maken voor transporten, het voorbereiden van de plek waar de kraan moet komen te staan, de kosten voor de fundering en de aansluiting op het elektriciteitsnet zijn niet gering. De bouw van een windturbine op land kost op dit moment ongeveer € 1.350 per geïnstalleerde kilowatt. Voor een 3 MW-turbine in een windpark moet dus ongeveer vier miljoen euro worden neergeteld. De afgelopen jaren is veel ervaring opgedaan met de bouw van individuele turbines en met grote windparken. De inschatting van deze investeringskosten zijn op ervaringscijfers gebaseerd en kunnen door lokale omstandigheden een paar procent afwijken.

JAARLIJKSE KOSTEN

Investeringskosten worden gespreid afgeschreven over een periode van vijftien tot twintig jaar. Meestal wordt er ook een lening afgesloten voor een deel van de investering. Afschrijving, rente en aflossing van de lening vormen de belangrijkste kostenposten. Er zijn verder nog andere kosten die elk jaar terugkomen. Onderhoud is daarvan de belangrijkste post. Er worden tegenwoordig vaak onderhoudscontracten afgesloten met de turbinefabrikant voor een periode van twaalf tot vijftien jaar. Het gaat hier om een bedrag van ongeveer 1 eurocent per geproduceerde kilowattuur. In dit bedrag zijn alle kosten voor reparaties inbegrepen. Als een onderhoudscontract bij de fabrikant wordt afgesloten, garandeert hij de goede werking van de windturbine.

Ook het huren van de grond is tegenwoordig een belangrijke, jaarlijks terugkerende kostenpost. Hiervoor wordt een vast bedrag per jaar aan de grondeigenaar betaald; er zijn ook grondcontracten waarin de vergoeding afhankelijk is van de productie van de windturbine. Tegenwoordig zijn bedragen van vele tienduizenden euro's per jaar voor een drie MW-turbine eerder regel dan uitzondering. Tot slot zijn er de jaarlijkse vaste lasten zoals de gemeentelijke WOZ-belasting, premies voor verzekeringen en het vast recht voor de elektrische aansluiting *119, 120*. In figuur 7-2 zijn alle exploitatiekosten zonder de financiële lasten opgesplitst; de onderhoudskosten vormen de grootste post. Deze jaarlijks terugkerende posten bij elkaar geteld bedragen ongeveer 2 eurocent per kilowattuur. De kosten groeien mee met de inflatie.

Figuur 7-2. De jaarlijkse kosten, in eurocent per kWh.



KOSTPRIJS

Om een inschatting te kunnen maken hoeveel subsidie er op een bepaalde moment moet worden betaald, is inzicht in alle kosten noodzakelijk. De energie-onderzoeksinstituten ECN (Energieonderzoek Centrum Nederland in Petten) en DNV-GL (het vroegere KEMA in Arnhem) berekenen elk jaar de kostprijs van diverse duurzame energieprojecten, dus ook van windturbines. Dit gebeurt in opdracht van de subsidiegever, het ministerie van Economische Zaken *112, 113, 114*. De instituten maken bij hun berekening gebruik van een standaard rekenmodel. Het model is op de website van het ECN en op de website bij dit boek terug te vinden *121, 122*. Bij het maken van hun schatting van investeringskosten en jaarlijkse kosten maken ze gebruik van reële offertes en marktprijzen.

Voor de jaarlijkse lasten (afschrijving en aflossing en rente van de lening) wordt een veel gebruikte financieringswijze van windparken als standaard gehanteerd. Er wordt bij de berekeningen uitgegaan van een economische levensduur van twintig jaar. ECN en DNV-GL gaan uit van een rendement op het eigen vermogen van 15%. Ze berekenen zo een kostprijs per kilowattuur over de hele periode van 20 jaar. Ze noemen dit het *basisbedrag*.

Dit bedrag kan afhankelijk van de locatie variëren. Voor een windpark aan de kust is het basisbedrag lager dan voor een vergelijkbaar windpark meer landinwaarts. Naast windprojecten op land wordt door de onderzoeksinstituten ook gekeken naar de kosten

KOSTEN VAN GROND

In de begindagen van windenergie was de grond waarop de windturbine werd geplaatst nauwelijks een kostenpost. De turbine werd vaak op het erf van een boerderij neergezet of op een ongebruikt stukje grond van een waterschap of van Rijkswaterstaat. De contracten tussen de turbine-eigenaren en grondeigenaren waren schappelijk en goedkoop.

Aan het begin van deze eeuw is dit veranderd. De locaties voor windturbines bleken schaars en projectontwikkelaars waren bereid er goed voor te betalen. De jaarlijkse grondvergoeding is in een paar jaar tijd omhoog gevlogen naar tienduizenden euro's 'per paal'.

Niet alleen privé-grondeigenaren ontdekten de windwaarde van hun grond. Ook overheden die in het bezit waren van goede windlocaties, zagen hun kans schoon en hebben een bijdrage geleverd aan de stijging van de grondkosten. Havenbedrijven zoals Groningen Seaports (beheerder van de haven van Delfzijl en de Eemshaven) en het Havenbedrijf Rotterdam (beheerder van haventerreinen als de Maasvlakte) schreven tenders uit voor hun locaties, waardoor de grondprijs werd opgedreven. En ook de Rijksoverheid droeg haar steentje bij. Zo koppelde het vastgoedbedrijf RVOB (het vroegere "Domeinen") de jaarlijkse vergoeding voor grondgebruik aan de geraamde opbrengsten van windprojecten. Inmiddels draaien op deze locaties honderden megawatts aan windvermogen.

Turbine-exploitanten betalen fors voor het gebruik van de grond. Het gaat vaak om meer dan € 10.000 per jaar per geïnstalleerde megawatt. Dit is vele malen meer dan de (agrarische) waarde. Plaatsing van windturbines is zo zeer lucratief geworden voor grondeigenaren.

Een hoge grondvergoeding drijft de prijs voor windstroom op. Hierdoor moeten ook hogere subsidies door de overheid worden uitgekeerd. Dit is maatschappelijk ongewenst. De hoge grondkosten leiden ook tot frustratie bij omwonenden die geen grond voor het windpark leveren. Zij ervaren wel de lasten van het windpark in de buurt maar ontvangen er geen vergoeding voor. De windsector doet daarom pogingen de stijgende spiraal in de grondkosten te doorbreken. De windorganisatie NWEA heeft in 2015 een initiatief genomen om de grondkosten terug te brengen naar een redelijker niveau. Er liggen inmiddels voorstellen die door een aantal grondeigenaren worden gedragen. De NWEA probeert met name het vastgoedbedrijf RVOB van de Rijksoverheid, één van de veroorzakers van de oplopende grondkosten, bij afspraken te betrekken.

van windturbines op andere, duurdere locaties, zoals windturbines die worden geïntegreerd in dijken of die in het IJsselmeer worden neergezet. Hun inschatting is dat investeringen van dergelijke locaties 10% tot 25% hoger uitvallen dan plaatsing op land.

ECN en DNV-GL berekenen jaarlijks basisbedragen voor de diverse locaties en categorieën. Voor 2016 is er een nieuwe categorie toegevoegd: de vervanging van een bestaande turbine door een nieuwe op dezelfde locatie. De kosten zijn dan aanmerkelijk lager, omdat een deel van de investering niet opnieuw hoeft te worden gedaan.

Het basisbedrag dat voor 2016 is berekend, bedraagt – afhankelijk van de locatie – 7,3 tot 9,6 eurocent per kilowattuur voor windturbines op land. Voor windturbines in het (IJssel)meer is dit bedrag nog wat hoger: 11,3 eurocent per kilowattuur. De basisbedragen voor de diverse categorieën zijn samengevat in figuur 7-3. De berekeningen die het ECN voor windparken op land maakt, worden door de overheid gebruikt voor het vaststellen van de hoogte van subsidies.

De kostprijs van een windpark op zee is aanmerkelijk hoger dan van windenergie op land. Uit recente projecten blijkt dat de bouw van een windturbine op zee op ruim twintig kilometer uit de kust (Luchterduinen ⓘ *017*) € 3.500 per kilowatt kost. De bouw van het Gemini-windpark, 55 kilometer ten noorden van Schiermonnikoog, is nog duurder en gaat € 4.650 per kilowatt kosten ⓘ *018*. De investering is daarmee bijna drie maal zo duur als op land. Deze hogere kosten worden deels goed gemaakt door een grotere elektriciteitsproductie. Per saldo kost windenergie op zee anno 2015 meer dan veertien cent per kilowattuur. Daarmee is offshore-wind in 2015 bijna twee maal zo duur als windstroom uit landparken.

De overheid wil dat de kostprijs van windenergie op zee de komende jaren daalt met veertig procent. Schaalvergroting, technologieverbetering, verlaging van de kosten van de netaansluiting en meer ervaring, moeten hiervoor zorg dragen. De overheid financiert een onderzoeksprogramma dat aan de kostprijsdaling moet bijdragen. Zie het kader bij hoofdstuk 8.

VERKOOP OP DE BEURS

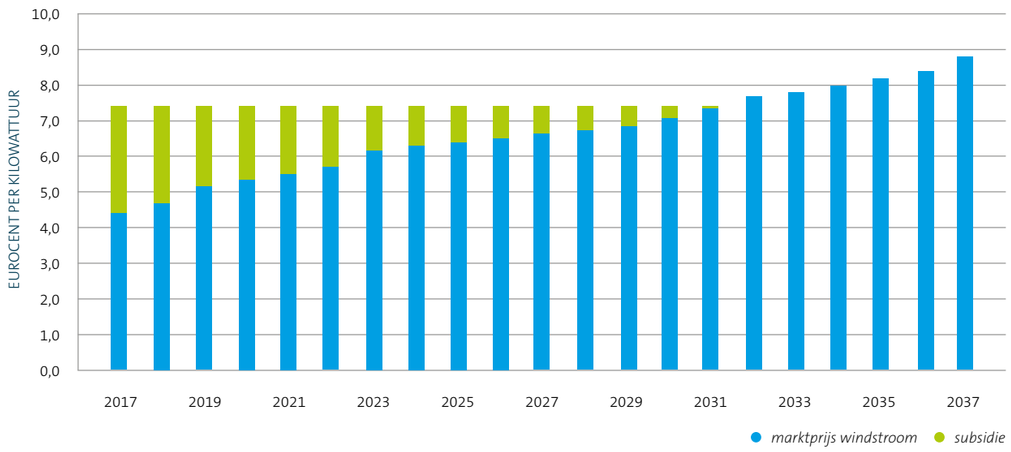
De meeste Europese stroomproducenten verhandelen elektriciteit op de beurs. Ze verkopen hun overschotten en kopen elektriciteit in om hun eigen tekorten op te vullen. Zo wordt ervoor gezorgd dat vraag en aanbod van elektriciteit voortdurend met elkaar in balans zijn. In Nederland wordt de waarde van de windstroom gerelateerd aan de beursprijs.

Windenergie heeft de laatste jaren het tij tegen. Er is in Europa een groot overschot aan stroom, mede omdat er teveel nieuwe (kolen)centrales zijn gebouwd. De gemiddelde stroomprijs ligt hierdoor sinds 2009 onder de vijf eurocent per kilowattuur. Windstroom moet hiermee concurreren. Verkochte windstroom wordt in het algemeen iets onder die gemiddelde beursprijs gewaardeerd omdat levering afhangt van het windaan-

Figuur 7-3. Basisbedragen windstroom 2016 (in eurocent per kilowattuur).

Bron: ECN/DNV-GL ⓘ 14

Figuur 7-4. Het principe van de subsidieregeling SDE+ in 2016



bod en er niet op afroep stroom beschikbaar is (zoals bij een kolencentrale). Deze afslagen voor windenergie op de beurs, de zogenaamde *onbalans* en *profielfactor*, zijn samen ongeveer 11% van die gemiddelde beursprijs. Ze zullen groter worden naarmate er meer windstroom op de beurs wordt aangeboden.

Windstroom wordt op de beurs verkocht tegen marktwaarde

SUBSIDIE VULT HET GAT

Windstroom kan op dit moment op de beurs niet concurreren met stroom van andere producenten. De Nederlandse overheid vult het gat met subsidie. De subsidieregeling die sinds 2013 geldt, heet SDE+. In deze regeling wordt het verschil tussen het basisbedrag (berekend door het ECN en DNV-GL) en de beursprijs gedurende vijftien jaar als subsidie uitbetaald. Figuur 7-4 laat dit principe zien voor een windpark op land, waarvoor voor 2016 een basisbedrag is berekend van 7,3 eurocent per kWh. De gemiddelde beursprijs in 2017 is 4,5 eurocent per kilowattuur (blauwe deel), aanzienlijk lager dus dan het basisbedrag voor windstroom. De exploitant ontvangt dan ter aanvulling een subsidie van 2,8 eurocent per kilowattuur. Als het volgende jaar de marktprijs van elektriciteit op de beurs omhoog gaat, dan zal de subsidie evenredig lager worden (en omgekeerd). Zie figuur 7-4.

Op dit moment is er subsidie nodig voor windenergie. Energie-analisten verwachten dat over een aantal jaren de marktprijs geleidelijk zal stijgen omdat er weer schaarste in de markt zal optreden. Figuur 7-4 preludeert daar op. Te zien is dat de subsidie geleidelijk afbouwt tot nul. Komt de marktprijs boven het basisbedrag uit, in het geval van de grafiek vanaf 2032, dan wordt er geen subsidie meer uitgekeerd.

SUBSIDIE VOOR FOSSIEL?

Er is veel kritiek op deze subsidiëring van windenergie, omdat de indruk bestaat dat fossiele brandstoffen geen steun ontvangen. Hier zijn kanttekeningen bij te

ZWALKEND SUBSIDIEBELEID

Elk Europees land heeft in de loop der jaren een eigen systeem ontwikkeld om het gebruik van duurzame energie te stimuleren. Sommige landen, zoals Duitsland, gingen daarbij ver en verplichtten in de negentiger jaren energiebedrijven bij wet ('Erneuerbare-Energien-Gesetz', *EEG*) geproduceerde windstroom langjarig tegen een vast, hoog tarief in te kopen.

Investeerders in windenergie wisten zo voor een lange termijn waar ze aan toe waren. De subsidieaanpak in Nederland was in die tijd anders. De subsidies hier waren vooral gericht op het verlagen van investeringen. Een groot nadeel van zo'n systeem is, dat als eenmaal de investering is gedaan en het geld is opgestreken, er geen prikkel meer is om de installatie lang en goed te laten presteren. Het systeem is daarom aan het eind van de jaren negentig in Nederland verlaten.

Vervolgens werd een geheel ander systeem geïntroduceerd, waarbij de nadruk lag op belastingmaatregelen voor groene energie met voordelen voor de energiebedrijven en de klant. Deze Regulerende Energie Belasting *(REB)* moest de markt stimuleren.

Het systeem had onvoorziene bijwerkingen: in het buitenland geproduceerde duurzame energie kreeg in Nederland nogmaals een – onbedoeld – belastingvoordeel. Dit systeem werd na de komst van een nieuw kabinet met andere politieke prioriteiten verlaten. In 2003 werd de zogeheten *MEP*-subsidie (Milieukwaliteit Elektriciteit Productie) geïntroduceerd, een zogenaamde *Feed-in Premium*-regeling: projecten die een MEP-subsidie ontvingen, kregen gedurende tien jaar een vaste subsidietoeslag ('premium') op de verkoopprijs van windstroom. Omdat de jaargemiddelde marktprijs op dat moment laag was, werden er hoge subsidiebedragen toegezegd. De jaren daarna, toen de energieprijzen fors stegen, werd er door investeerders extreem geprofiteerd van deze regeling. Na een paar jaar werd ook deze regeling stopgezet.

Het Kabinet Balkenende-IV kwam in 2008 met de huidige SDE-subsidieregeling. Ook dit is een 'Feed-in Premium'-regeling, maar met een belangrijke verbetering: jaarlijks wordt alleen het verschil tussen de productiekosten en de marktprijs als subsidie uitgekeerd. De subsidie werkt als een communicerend vat dat flexibel reageert op prijsschommelingen van elektriciteit in de markt. De regeling is – in wat aangepaste vorm – nog steeds in Nederland van kracht en heet nu SDE+.

De vele wijzigingen in het subsidiesysteem de afgelopen decennia hebben de ontwikkeling van windenergie geen goed gedaan. De markt heeft zich telkens aan de gewijzigde omstandigheden moeten aanpassen waardoor groei telkens weer pas op de plaats moest maken. Mede hierdoor is toepassing van duurzame energie in Nederland enorm op achterstand geraakt.

plaatsen. Zo worden bij windenergie alle kosten van de gehele levenscyclus, inclusief de afbraak na exploitatiefase, meegenomen in de kosten die worden berekend. Bij conventionele centrales is dit niet het geval. Een deel van de kosten bij de winning en het gebruik van fossiele brandstoffen en uranium is niet in de kostprijs verdisconteerd. Deze indirecte kosten worden op de maatschappij afgewenteld. Om het dicht bij huis te houden: denk bijvoorbeeld aan de schade die aardbevingen veroorzaken door winning van aardgas in Groningen. Dit geldt ook voor milieueffecten die de verbranding van fossiele brandstoffen of kernsplijting in een kerncentrale veroorzaken. Ook de kosten van klimaatverandering worden niet via de stroomprijs op de vervuiler verhaald, de maatschappij als geheel moet ze betalen. Hetzelfde geldt voor de gevolgen van andere schadelijke stoffen zoals stikstofoxiden en fijnstof. Ook bij kerncentrales is een aantal kosten niet in de stroomprijs doorberekend. Dit geldt bijvoorbeeld voor de enorme kosten, die bij verschillende rampen zijn ontstaan. Ook de prijs voor het veilig opbergen van radioactief afval en – gedeeltelijk – het afbreken van afgedankte centrales is niet in de stroomprijs verwerkt. Er zijn in het verleden verschillende pogingen gedaan om deze kosten te kwantificeren.

In 2003 (met een update in 2005 129) is in opdracht van de Europese Commissie een methodologische stu-

DE SDE+ REGELING.

Sinds 2013 geldt voor duurzame energie de subsidieregeling *SDE+*. De overheid stelt hiervoor jaarlijks een budget vast. In 2015 is een bedrag van € 3,5 miljard beschikbaar. De regeling geldt voor alle duurzame energietechnieken. Ze moeten onderling 'concurreren' voor subsidie.

Wanneer een windenergieproject aan de voorwaarden voldoet en subsidie krijgt, heeft de exploitant de garantie dat de overheid vijftien jaar lang het verschil tussen het basisbedrag (een vastgesteld standaard bedrag voor de productiekosten van windstroom) en de (wisselende) verkoopprijs van stroom op de APX-markt vergoed krijgt. In figuur 7-4 is dit geïllustreerd. Er is een zekere begrenzing: als de stroomprijs op de APX-beurs extreem daalt dan wordt het verschil met de productiekosten van de windstroom niet meer helemaal afgedekt met subsidie.

Bij de toekenning van de subsidie wordt direct het maximale subsidiebedrag berekend over die periode van vijftien jaar. Dit bedrag wordt gereserveerd en onttrokken aan de subsidiepot voor 2015. De overheid gaat bij deze reservering uit van een vaste elektriciteitsprijs die onder de huidige (lage) marktprijs ligt. In werkelijkheid wordt, gefaseerd over vijftien jaar, uitgekeerd op basis van de dan geldende werkelijke elektriciteitsprijs. De verwachting is dat de stroomprijs op de APX-beurs de komende jaren weer geleidelijk zal stijgen. Er zal dan minder subsidie worden uitgekeerd dan in eerste instantie is gereserveerd. Wat niet aan subsidie nodig is, vloeit terug naar gelden voor duurzame energie.

Er zal minder subsidie worden uitgekeerd dan is toegezegd

De regeling is zo ingericht dat projecten die de minste subsidie per geproduceerde kilowattuur aanvragen jaarlijks als eerste een beschikking krijgen, 'het laag hangende fruit eerst'. Als het budget op is, worden er geen projecten meer gehonoreerd. Windparken in windrijke regio's krijgen minder subsidie dan in wind-arme gebieden en zijn dus eerder aan bod. Het subsidiebedrag per geproduceerde kilowattuur is afhankelijk van de gemeente waarin de windturbine wordt gebouwd. Figuur 7-5 laat de vier categorieën zien waarin de gemeenten op basis van de windsnelheid zijn onderverdeeld. Windparken in wind-arme gemeenten lopen meer kans achter het net te vissen omdat het jaarbudget op kan zijn als zij aan de beurt zijn. De RVO, onderdeel van het Ministerie van Economische Zaken, beheert de subsidieregeling en houdt de stand van zaken bij 125, 126, 127, 116.

De bandbreedte in figuur 7-3 geeft het verschil in basisbedrag weer voor de meest windrijke gemeenten (ondergrens) en de wind-arme gemeenten (bovengrens).

De subsidie voor een project wordt vastgesteld voor een maximum aan geproduceerde stroom. Maar niet elk jaar waait het even hard en wordt dezelfde hoeveelheid stroom geproduceerd. Als er meer wordt geproduceerd dan het toegekende bedrag wordt hierover geen subsidie uitgekeerd. Als in een jaar de productie niet wordt gehaald kan dit voor een volgend jaar worden gereserveerd, de zogenaamde banking van de subsidie.

Figuur 7-5: Windsnelheid per gemeente.

- > 8,0
- > 7,5 en < 8,0
- > 7,0 en < 7,5
- < 7,0

die uitgevoerd ℹ *128*. Uit deze goed-gedocumenteerde ExternE-studie blijkt dat de kosten, die conventionele elektriciteitsproductie op de maatschappij afwentelt, variëren van land tot land en per technologie. ExternE schat de kosten in Nederland op 0,7 tot vier eurocent per kilowattuur, zie figuur 7-6. Deze kosten zijn voor windenergie ook niet nul, maar bedragen slechts enkele tienden eurocenten per kilowattuur ℹ *130*.

Bij conventionele productie betaalt de overheid ook bij

Ook rapporten van de adviesbureaus CE in Delft en Ecofys in Utrecht geven een andere kijk op de wereld. Uit hun berekeningen blijkt bijvoorbeeld dat steunmaatregelen van de overheid voor duurzame energie (€ 1,3 miljard in 2010) nauwelijks meer geld hebben gekost dan die voor fossiele brandstoffen en kernenergie (€ 1,2 miljard in 2010) ℹ *131*. Bij hun benadering zijn uiteraard kanttekeningen te plaatsen. Maar de soms gehoorde zwart/witstelling dat windstroom overeind wordt gehouden met subsidies terwijl fossiele brandstoffen zonder enige steun door het leven gaan, klopt niet.

Figuur 7-6. Externe kosten van elektriciteitsproductie (in eurocent per kWh).

Energiedrager	Nederland	Europa
Kolen	3 - 4	2 - 15
Olie		3 - 11
Gas	1 - 2	1 - 4
Kernenergie	0,7	0,2 - 0,7
Waterkracht		0 - 1
Wind	0	0 - 0,25

ONEIGENLIJK GEBRUIK VAN SUBSIDIE

Subsidieregelingen zijn nooit waterdicht en gebruikers zijn altijd op zoek naar mazen in de wet. Ook in de op zich goed werkende SDE+-subsidieregeling zat een mankement. In 2014 eindigde voor veel turbines de toegekende subsidie, verkregen uit de oude MEP-regeling. De turbines hadden tien jaar gedraaid en de toegekende subsidies waren geïnd.

De molens draaiden goed en hadden hun technische levensduur nog niet bereikt. De nieuwe subsidieregeling gaf echter ruimte om op dezelfde plek een nieuwe, gesubsidieerde turbine te plaatsen. En dus vulden exploitanten van tientallen turbines hun zakken. Hun oude turbines werden tegen een goede prijs op de tweedehands markt verkocht en nieuwe, gesubsidieerde turbines werden aangeschaft.

Dit oneigenlijke gebruik van de subsidieregeling kwam in de publiciteit en heeft de naam van de windsector schade toegebracht. Het ministerie van Economische Zaken, verantwoordelijk voor de subsidieregeling, heeft hier nu een stokje voor gestoken. In de SDE+ regeling is sinds 2015 een aparte categorie voor 1-op-1 vervanging opgenomen, met een veel lager subsidiebasisbedrag. Met te vroege vervanging van turbines is geen geld meer te verdienen.

MOLENTRANSPORT HEEFT WIND MEE

E-Ship 1 is het pronkstuk van de Duitse turbineproducent Enercon. Het bedrijf gebruikt het vrachtschip sinds 2010 voor transport van bladen en masten vanuit zijn fabrieken in Duitsland naar elders op de wereld. Enercon is de afgelopen jaren uitgegroeid tot een van grootste Europese turbineproducenten. Het heeft in eigen land een marktaandeel van bijna vijftig procent en heeft in Nederland bijna dertig procent van de markt.

Het vrachtschip heeft twee rotoren voor en twee achter op het dek staan met een doorsnede van zo'n vier meter. De cilindervormige rotoren werken volgens het zogeheten Flettner-principe, genoemd naar de Duitse ingenieur Anton Flettner die het idee ervoor in 1922 patenteerde en een paar jaar later voor het eerst toepaste op een schoener. Het onderliggende principe van de rotor is het zogeheten Magnus-effect: een ronddraaiend voorwerp, aangedreven door een motor, zet aanstromende wind om in een kracht die loodrecht op de windrichting staat. De kracht ontstaat omdat door de draaiing achter de rotor vacuüm ontstaat. Wind die bijvoorbeeld van opzij (halve wind) komt, drukken de rotoren in voorwaartse richting. Ze helpen zo de schroefmotoren een handje ℹ *171*. De rotoren zijn bijna dertig meter hoog. Ze leveren een brandstofbesparing op van dertig tot veertig procent, in vergelijking met alleen een conventionele schroefaandrijving. Ze staan belading en eventuele takels niet in de weg.

De afgelopen negentig jaar zijn er maar een paar schepen gebouwd met een Flettner-rotor. Dieselmotoren, in combinatie met slim vormgegeven scheepsschroeven, zijn steeds efficiënter geworden in de voortstuwing waardoor Flettner-rotoren niet zijn doorgebroken.

E-Ship 1 van Enercon.

HOOFDSTUK 8

Windenergie is in Nederland veertig jaar geleden begonnen met de zelfbouw van kleine, vaak krakkemikkige molentjes. Projectontwikkelaars zochten zelf locaties voor hun windparken. De rijksoverheid heeft samen met de provincies in 2013 de regie naar zich toe getrokken en wijst de gebieden voor windenergie op land en op zee aan.

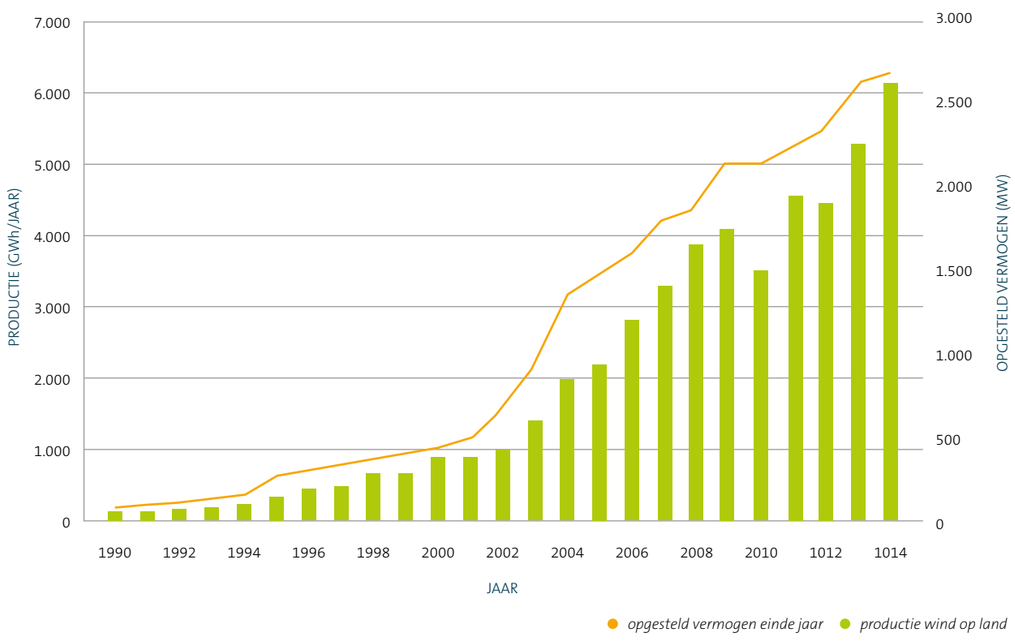
WAAR KOMEN WINDTURBINES?

In de negentiger jaren kwamen projectontwikkelaars in beeld bij de bouw van windparken. Zij zagen mogelijkheden om geld te verdienen met windenergie, deels ingegeven door een mooie subsidieregeling en belastingvoordelen. Ondanks al deze activiteiten werd de oorspronkelijke doelstelling niet gehaald. Het windvermogen rond de eeuwwisseling stokte bij ongeveer 500 MW. De voorgenomen duizend megawatt werd pas een paar jaar later bereikt.

ONTWIKKELING OP LAND

De ontwikkeling van windenergie kwam na het jaar 2000 in een andere dynamiek terecht. Door de liberalisering van de energiemarkt konden producenten windstroom aan iedereen aanbieden. Ze waren niet langer gebonden aan het regionale energiebedrijf voor het sluiten van contracten. Door een toenemende competitie tussen energiebedrijven steeg de marktprijs van groene stroom. In 2002 werd bovendien een florissante subsidieregeling (de MEP) ingevoerd om duurzame energie, waaronder windenergie, te stimuleren. Energiebedrijven, projectontwikkelaars en grondeigenaren kregen grote interesse in windenergie. Iedereen zag bij wijze van spreken mogelijkheden om met windenergie geld te verdienen. Er ontstond een run op de schaarse, goede locaties voor

Figuur 8-1. De ontwikkeling van windvermogen en stroomproductie op land. Bron: windstats.nl.



windturbines. Ze verrezen als paddenstoelen uit de grond. In korte tijd kwam er tweehonderd megawatt per jaar aan windvermogen bij. Gemeenten en provincies zagen hierdoor een wirwar aan windturbines in het landschap verschijnen. Dat leidde tot flinke weerstand vanuit de lokale en regionale politiek. Enkele gemeenten en provincies zetten de ontwikkeling van windenergie in hun regio zelfs op slot. Ze wilden eerst een goed beleidsplan voor windenergie zien. Windturbines moesten meer gestructureerd in het landschap worden gesitueerd. Ze vonden dat aan willekeurige plaatsing van solitaire windturbines achter op een boerenerf een einde moest komen.

De provincie Groningen en de gemeente Noordoostpolder zijn hier voorbeelden van. Zo slaagde de gemeente Noordoostpolder erin verschillende plannenmakers in haar regio om de tafel te krijgen. Het resulteerde – weliswaar na bijna vijftien jaar – in de bouw van één groot windpark aan de randen van de polder in plaats van windturbines kriskras verspreid in het landschap. De gemeente slaagde er bovendien in dit nieuwe plan te koppelen aan de verwijdering van oude turbines in de polder. Vanuit de landelijke politiek werd er echter nog steeds geen duidelijke beleidslijn geformuleerd. In 2005 werd de MEP-subsidieregeling door het nieuwe kabinet ingetrokken en het duurde lang voor een nieuwe regeling werd gepubliceerd. De overheid gaf daarmee een verkeerd signaal af. De gevolgen waren er naar: projectontwikkelaars haakten af en plannen verdwenen in de ijskast.
De projecten die al een subsidie hadden gekregen, werden gebouwd. In 2009 stagneerde de groei van het windvermogen drastisch , blijkt uit cijfers op de website Windstats *035* van het adviesbureau Bosch & Van Rijn. Pas jaren later, onder de nieuwe SDE-subsidieregeling, werden weer windprojecten opgepakt, wat leidde tot nieuwe uitbreidingen. Eind 2014 stond er ruim 2.600 MW aan windturbines in Nederland.

ONTWIKKELING OP ZEE

Ook de ontwikkeling op zee verliep in die jaren stroef. In 2001 schreef de overheid – na lange aarzeling – een tender uit voor een demonstratie windpark op tien mijl uit de kust bij Egmond aan Zee. Shell en Nuon wonnen die en bouwden in 2007 het windpark Noordzeewind *(043)*; het eerste Nederlandse offshore-park. Rijkswaterstaat stelde vervolgens de hele Noordzee open voor nieuwe projecten. Het leidde tot een explosief aantal plannen. Binnen de kortste keren lagen er vergunningaanvragen voor meer dan zeventig offshore-projecten die streden om locaties en om de beperkte subsidies. Dit leidde tot grote discussie die vervolgens de ontwikkeling opnieuw stagneerde. Eén partij wist - tegen de zin van de overheid - een vergunning af te dwingen voor een locatie in blok Q7 op de Noordzee (het tegenwoordige windpark Amalia *044*). In 2012 schreef de overheid voor het eerst weer een tender uit. En ook daarover ontstond het nodige gekrakeel. Ondanks dit (politieke) tumult kregen twee projecten groen licht: het Gemini-windpark *(017)*, ver uit de kust van Schiermonnikoog (150 Siemens-turbines van 4 MW) en windpark Luchterduinen *(018)* van Eneco, uit de kust tussen Noordwijk en Zandvoort (43 Vestas-turbines, samen goed voor 129 MW). De twee parken leveren vanaf 2015/2016 stroom.

NIEUWE STURING: OVERHEIDSREGIE VOOR LOCATIES

Door de moeizame ontwikkelingen van wind op land en op zee dreigde de Europese doelstelling van 14% duurzame energie (zie hoofdstuk 1) in het jaar 2020 niet

Figuur 8-2. Clustergebieden wind op land. Bron: Rijksoverheid.

gehaald te worden. In 2013 besloot daarom het nieuwe kabinet-Rutte II de regie naar zich toe te trekken. Er werden planologische kaders geformuleerd in de vorm van de Structuurvisie Wind op Land en de Rijksstructuurvisie Wind op Zee. Verder initieerde de rijksoverheid de totstandkoming van het Energie Akkoord waarin ambitieuze doelstellingen werden geformuleerd.

De overheid neemt de regie in handen bij het aanwijzen van gebieden voor windenergie

WINDTURBINES OP LAND

In de *Structuurvisie Windenergie op Land (SV WoL)* *(065, 066)*, die in maart 2014 door het Rijk is vastgesteld, zijn elf locaties voor windturbines op land aangewezen. Grootschalige windprojecten kunnen worden gerealiseerd in de polders, in de kop van Noord-Holland, op de Zuid-Hollandse eilanden en in de kop van Drenthe en Groningen.

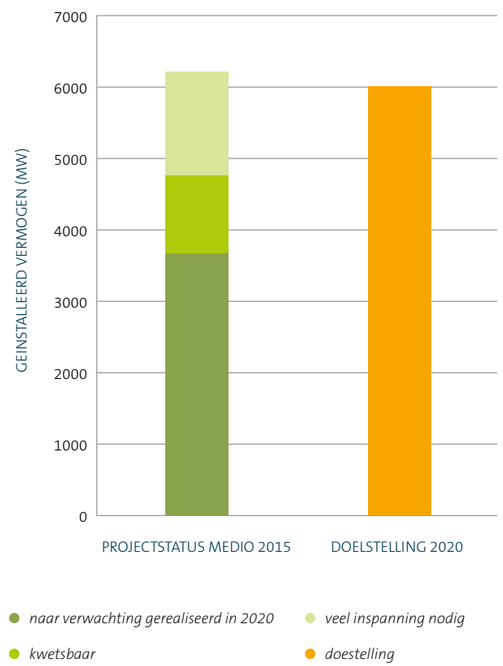
Windparken op land komen deels te staan in elf clustergebieden

In aanvulling op deze locaties zijn er met de provincies bindende afspraken gemaakt om voldoende locaties aan te wijzen om de EU-doelstelling te kunnen halen. Elke provincie is akkoord gegaan met deze taakstelling. Figuur 8-4 geeft de taakstelling weer. Als locaties afvallen, zal de provincie aanvullend andere gebieden aanwijzen.

Een *Kernteam Wind op Land* houdt namens de overheid de vinger aan de pols. Medio 2015 rapporteerde het kernteam *(100)* dat 42% van de doelstelling is gerealiseerd. In alle provincies, met uitzondering van Limburg, zijn voldoende projecten geïnitieerd om – in theorie – de doelstelling te kunnen halen. In Zuid-Holland, Overijssel en Groningen is zelfs een klein overschot aan projecten. Papier is geduldig; het is de vraag of alle projecten die zijn gestart de eindstreep zullen halen in de vorm van draaiende windturbines.

Figuur 8-3 . De status van windprojecten op land (eind 2014).

Bron: Kernteam Wind op Land/RVO.



WINDPARK NOORDOOSTPOLDER

In 1999 besloot de gemeente Noordoostpolder verdere plaatsing van windturbines bij boerderijen in de polder te stoppen. Vanaf dat moment werd koers gezet naar één groot windpark bij de IJsselmeer-dijken, aan de randen van de polder. Plannen van enkele landbouwers en van het regionale energiebedrijf werden aaneen gesmeed tot een gezamenlijk windpark. Met de gemeente werd tevens afgesproken dat 55 oude windturbines in de polder afgebroken zullen worden. Door deze gemeentelijke beleidskeuze krijgt de Noordoostpolder een ander beeld dan andere polderlandschappen in Nederland waar kleine clusters van turbines verspreid in het landschap staan.

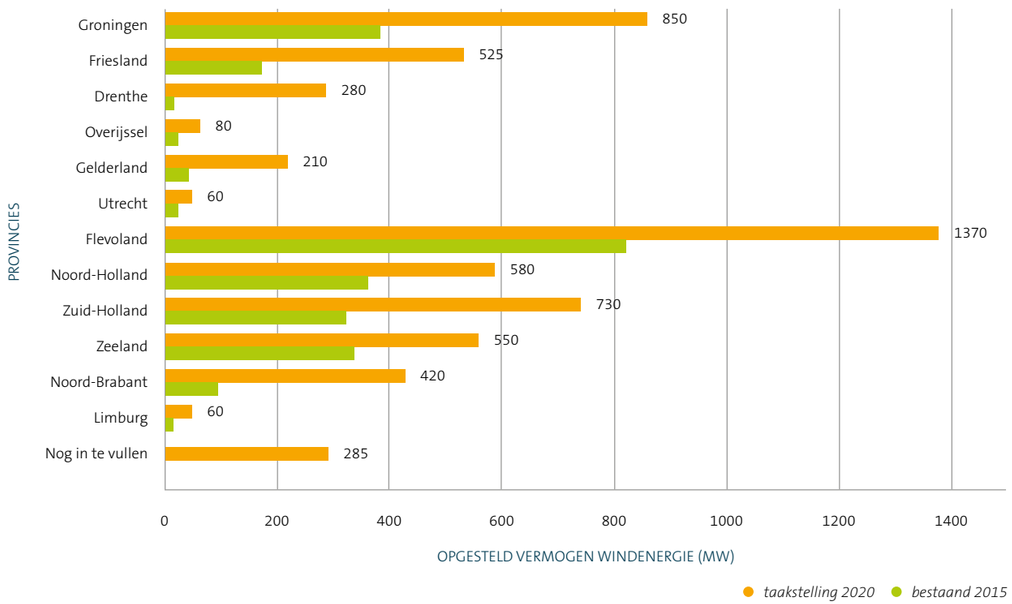
Het werd een jaren durend, moeizaam project, dat in 2008 extra overheidssteun kreeg: de toenmalige minister van Economische Zaken, Maria van der Hoeven, gaf het Noordoostpolder-project een status onder de Rijks Coördinatie Regeling, waardoor vergunningprocedures werden vereenvoudigd. In het park moesten grote molens komen om de winddoelstelling van de overheid sneller te realiseren. Het park is opgedeeld in drie segmenten; drie partijen bouwen daar een eigen park, langs dijken en in het water. Twee partijen, het energiebedrijf RWE en de samenwerking van een aantal lokale boeren (NOP Agrowind), bouwen op land direct achter de dijken 38 windturbines. Deze hebben rotoren met een diameter van 127 meter en een elektrisch vermogen van 7,5 MW elk, de grootste turbines die tot nu toe op land zijn gezet. Voor de kust in het IJsselmeer komen nog eens 48 windturbines, wat kleiner met een vermogen van drie MW elk. Het totale windpark, dat in 2016/2017 volledig in bedrijf moet zijn, krijgt een geïnstalleerd vermogen van 429 MW. Het is daarmee het grootste windpark van Nederland. Het park gaat straks 1,4% van de elektriciteitsvraag van Nederland leveren, voldoende stroom voor vierhonderdduizend huishoudens.

In bijgaande luchtfoto is een deel van het windpark ten noorden van Urk in aanbouw te zien. De foto illustreert duidelijk de ontwikkeling naar grote turbines. Op de voorgrond staan enkele oude windturbines van 300 kW (rotordiameter 25 m), uit het oude park. Ze zijn er in 1991 neergezet en in 2015 afgebroken. Gebroederlijk ernaast staan de nieuwe Enercon-turbines met een vermogen van 7.500 kW elk. Eén nieuwe windturbine produceert jaarlijks even veel elektriciteit als de vijftig molens in het oude park samen.

Windpark Noordoostpolder met links onder het oude windpark.

Bron: Klaas Eissens AV Producties.

Figuur 8-4. Taakstelling (2020) en opgesteld vermogen (2015) per provincie. Bron: IPO



Figuur 8-3 laat zien dat de realisatie van zo'n 900 MW aan projecten kwetsbaar is. In de procedures die volgen kan van alles mis gaan. Bij een nog groter aantal (ongeveer 1.500 MW) zijn grote inspanningen vereist om ervoor te zorgen dat ze (tijdig) worden gebouwd. Ook de Algemene Rekenkamer concludeerde (vanuit een subsidie-invalshoek) in 2015 dat het een hele toer is om de doelstelling tijdig te halen 175.

WINDTURBINES OP ZEE

Ook de bouw van windparken op zee zal de komende jaren een flinke vlucht moeten nemen. In de 'Rijksstructuurvisie Wind op Zee (SV WoZ)' (067, 068) zijn vijf plaatsen aangewezen in drie gebiedsclusters: voor de Noord-Hollandse kust bij IJmuiden, voor de kust tussen Hoek van Holland en Den Haag en voor de Zeeuwse kust. Alle locaties liggen ruim buiten de 12-mijls zone, op meer dan 22 kilometer van de kust. De windparken worden gefaseerd gebouwd in de periode tot 2023. Hiermee zijn alle eerder ingediende project-ideeën van de baan. Er is bij de keuze van deze locaties rekening gehouden met andere functies op de Noordzee, zoals scheepvaart en zandwinning. Om de realisatie van projecten soepel te laten verlopen, is in 2015 de wetgeving aangepast.

In vijf rondes worden jaarlijkse twee tenders voor locaties van ca. 350 MW (in totaal700 MW) uitgeschreven. In figuur 8-5 is aangegeven wanneer deze vijf concessies zullen worden verleend. Een tender zorgt ervoor dat de goedkoopste aanbieder het project gaat bouwen zodat de subsidie zo laag mogelijk blijft.

GOEDKOPER BOUWEN OP ZEE

De kostprijs van windenergie op zee moet de komende jaren omlaag met zo'n veertig procent. Om dit bereiken ondersteunt de overheid financiëel het Topconsortium Kennis en Innovatie Wind op Zee. Dit is de voortzetting van het onderzoeksprogramma FLOW *(Far and Large Offshore Wind)* dat op haar beurt de opvolger was van het onderzoeksprogramma 'we@sea' 117.

Energiebedrijven als RWE, Eneco en TenneT, Nederlandse turbinebouwers als 2-B Energy en XEMC Darwind, baggeraars als IHC, Ballast Nedam en Van Oord en kennisinstituten als TU Delft en ECN leveren bijdragen aan dit onderzoek. Kostenbesparingen moeten worden bereikt door schaalvergroting richting machines van acht tot tien megawatt en met technologische vindingen waardoor de bouw van windparken op zee goedkoper wordt. Het gaat dan bijvoorbeeld om nieuwe monopile-ontwerpen en hei-technieken en de (goedkopere) aanleg van kabels naar land met onderwatervoertuigen.

Het zijn innovaties die ook de positie van de Nederlandse industrie op de Europese windmarkt kunnen verstevigen. De Europese markt is enorm. De Nederlandse offshore-windindustrie haalt al een omzet van honderden miljoenen euro's, grotendeels uit buitenlandse projecten in buurlanden. De trend is daar steeds verder uit de kust in dieper water te bouwen. Het Verenigd Koninkrijk en Duitsland willen tegen 2020 offshore respectievelijk 18 duizend MW en 12 duizend MW aan windturbines hebben draaien. Kostenbesparingen die in Nederland zijn ontwikkeld, kunnen de concurrentiepositie van Nederlandse bedrijven versterken.

Het FLOW-onderzoek, dat bijna is afgerond, had uit moeten monden in een groot demonstratiepark met minimaal vijftig turbines met een gezamenlijk vermogen van driehonderd megawatt. Dit proefpark – Leeghwater gedoopt, genoemd naar een waterbouwkundige en molenbouwer uit de 16e eeuw - had in 2017 moeten draaien. In de zomer van 2015 werd echter besloten het park – kosten één miljard euro – niet te bouwen. Te duur, oordeelden het ministerie van Economische Zaken en de deelnemende bedrijven. Innovaties zullen nu op een andere, beperktere manier worden uitgeprobeerd. Dit gaat gebeuren in twee grote turbines van tien megawatt die in de buurt van het windpark Borssele komen te staan, achttien kilometer uit de Zeeuwse kust. De twee turbines zullen in 2020 draaien, is de verwachting.

Windpark Luchterduinen in aanbouw.

Op zee zijn vijf gebieden aangewezen voor nieuwe windparken

De laatste tender wordt uitgeschreven in 2019. Rekening houdend met een bouwtijd van zo'n vier jaar kan het laatste windpark in 2023 voor het eerst stroom leveren. De tenderprocedures voor de eerste gebieden (Borssele) *020* zijn in 2015 in gang gezet. De bouw op zee moet hand in hand gaan met een prijsdaling van 40%. Om dit te bereiken zet de overheid meerdere instrumenten in.

- De overheid ondersteunt het TKI (Topconsortium Kennis en Innovatie) Wind op zee, de opvolger van het onderzoeksprogramma FLOW *117*. De resultaten moeten kostenreducties opleveren.
- Om de netaansluitingskosten te verlagen zal de netbeheerder TenneT de elektriciteitsaansluiting verzorgen via koppelpunten op zee, zogenaamde stopcontacten *069*.
- De overheid heeft in 2015 in een brief aan de Tweede Kamer *(176)* laten weten de mogelijkheid open te willen houden dat twee clusters op zee dichter bij de kust komen, binnen de 12-mijls-zone. Hierdoor kan op kosten worden bespaard.

WINDTURBINES OP DIJKEN

De plekken voor windenergie op land zijn schaars en windenergie op zee is relatief duur. Er wordt daarom naarstig gezocht naar alternatieve locaties. Eén van de opties is waterkerende dijken te gebruiken. Nederland heeft in totaal ongeveer achthonderd kilometer aan dijken die geschikt zijn voor windturbines . In het verleden zijn in een paar projecten (kleine) windturbines op of binnen de dijkstructuur geplaatst, onder andere in Oostelijk Flevoland. Dijkbeheerders (Rijkswaterstaat en de Waterschappen) stonden tot nu toe uit veiligheidsoverwegingen sceptisch tegenover het plaatsen van turbines op dijken.

Hierin lijkt een kentering te komen. Het energiebedrijf RWE Innogy heeft samen met Waterschap Noorderzijlvest in de periode 2012-2015 een uitgebreide studie uitgevoerd naar de mogelijkheid in Groningen windturbines op dijken neer te zetten. Uit de studie blijkt dat de combinatie dijken/turbines – onder voorwaarden – mogelijk is zonder dat het risico op dijkbreuk toeneemt. Op verschillende plaatsen kan de versterking van dijken hand in hand gaan met de bouw van windturbines.

Figuur 8-5. Gebieden en locaties windparken op zee. Bron: Rijksoverheid

Nuon windpark Irene Vorrink, gebouwd binnen de beschermingszone van de IJsselmeerdijk in Oostelijk Flevoland.

HOGER DE LUCHT IN

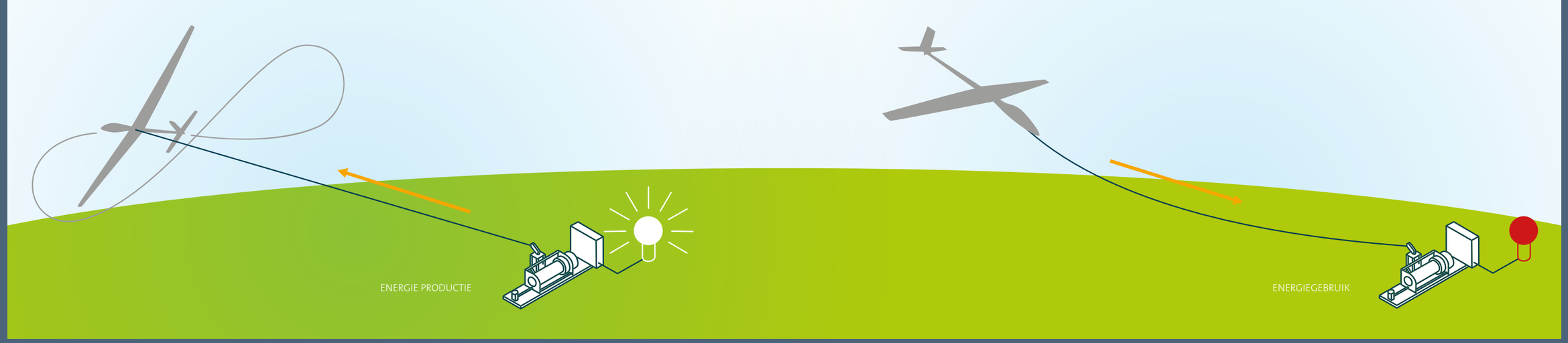
'Hoger de lucht in' is het idee achter enkele futuristische concepten om de energie in de wind om te zetten in elektriciteit. Op grote hoogte waait het per slot van rekening veel harder en is er dus meer te winnen. Op duizend meter zit er vaak zes maal zoveel energie in de wind als op zo'n honderd meter, de hoogte van de bladen van de huidige windturbines. Eerste probeersels zijn er al: bijvoorbeeld een zweefvliegtuigje dat, aangedreven door de wind, al achtjes draaiend, een kabel opgerold in een trommel op de grond naar enkele honderden meters hoogte trekt. De trommel is een soort dynamo die tijdens deze trek stroom produceert. Het op afstand bestuurde zweefvliegtuigje krijgt op grote hoogte commando terug te keren, in duikvlucht. Na een paar minuten is het terug op honderd meter hoogte terwijl intussen de kabel – aangedreven door een veer - is opgerold, gereed voor een nieuwe haal. Volautomatisch.

Ampyx Power, een bedrijfje met haar kenniswortels op de TU Delft, lijkt het meest ver met deze technologie. Het heeft voor de komende vijf jaar een paar miljoen euro gekregen uit Europese onderzoekfondsen 099. De eerste testen op een proefveld in Flevoland zijn uitgevoerd met modellen met een spanwijdte van ongeveer zes meter. Een eerste commercieel prototype van meer dan zestien meter is in aanbouw. Commerciele vliegers met een spanwijdte van 35 meter zouden een vermogen van één megawatt, kunnen leveren, net zoals een windturbine met een spanwijdte van 55 meter, zo heeft Ampyx berekend. Ze zouden binnen enkele jaren in bedrijf kunnen zijn, meent het bedrijf optimistisch. Het verwacht de eerste exemplaren te kunnen slijten voor offshore-toepassingen, ver van de bewoonde wereld.

Er zijn ideeënmakers die het zweefvliegtuigje zouden willen inruilen voor een groot stuk zeil dat een kabel, door wind aangedreven, naar grote hoogte (kilometers) moet trekken. Om vervolgens terug te zakken. Zo'n vlieger is een eerste stapje op weg naar de verwezenlijking van de laddermolen, een concept dat de inmiddels overleden astronaut Wubbo Ockels in 2000 heeft neergelegd in een Amerikaans patent. Zijn idee gaat uit van een continu ronddraaiende kabel, waaraan honderden vliegers vastzitten, op enkele tientallen meters afstand van elkaar. De radiografisch bestuurde vliegers worden op enkele kilometers hoogte gedraaid en uit de wind gehaald waarna ze 'terugkeren' naar aarde. Het bedrijfje Kite Power, opgericht door Ockels en gelieerd aan de TU Delft, doet met kleine modellen onderzoek.

De laddermolen van Ockels heeft veel publiciteit gehaald maar is volgens windexperts niet uitvoerbaar. Het is een futuristisch idee met een twijfelachtige haalbaarheid: er wachten vele technologische beren op de weg, zoals de materiaalsterkte van de kabel, de bestuurbaarheid en storingsgevoeligheid. De grootste 'killer' is dat een tien tot twintig kilometer lange kabel met daaraan vast vliegers die met veranderende windrichting meedraait waarschijnlijk nooit een vergunning boven land krijgt. De veiligheidsrisico's zijn onacceptabel groot.

Figuur 8-6. Het principe van de zweefvlieger van Ampyx Power. Bron: www.ampyxpower.com



HOOFDSTUK 9

Windturbines hebben negatieve kanten. Ze zijn groot, en daarmee van veraf te zien in het landschap. Turbines maken bovendien geluid en veroorzaken slagschaduw en lichtschitteringen. Dit kan hinderlijk zijn voor omwonenden. Wat is acceptabel en welke regels gelden hiervoor?

HINDER VAN WINDTURBINES

De bladen van een windturbine moeten zo hoog mogelijk in het open veld draaien. Dan halen ze zo veel mogelijk energie uit de wind. Dit is geen nieuw gegeven. Enkele eeuwen geleden werden er al *stellingmolens* neergezet met het molendeel op hoge stenen constructies, ook weer om zoveel mogelijk wind te vangen.

De stellingmolen in Budaard (Friesland).

De as van een moderne windturbine bevindt zich om die reden tegenwoordig zo'n honderd meter boven de grond. Wanneer de bladen ook nog eens vijftig meter lang zijn (rotordiameter honderd meter) dan steekt de blad-tip minstens 150 meter boven het landschap en de meeste andere objecten uit.

ZICHTBAARHEID

Als er geen enkel obstakel is die het zicht belemmert dan is zo'n windturbine over tientallen kilometers te zien, bijvoorbeeld in de polder, op open water of op zee. Zeker als het helder weer is. Sommige mensen vinden windturbines lelijk. Deze 'technisch ogende gevaarten' doen in hun ogen inbreuk op (en afbreuk aan) het bestaande landschap. Het is een van die vele subjectieve belevingen waarover niet echt valt te twisten.

Het moet in perspectief worden geplaatst. Zo'n tweehonderd jaar geleden stonden er in de polders, steden en dorpen in Nederland ongeveer tienduizend windmolens. Ze waren toen ook beeldbepalend. Van die molens zijn er nu ongeveer duizend over en die worden internationaal, maar ook in eigen land, gezien als karakteristiek voor het Nederlandse landschap. Er zijn weinig mensen die deze historische kunstwerken als lelijk bestempelen. Waarom zou dit ook niet gebeuren met de moderne windturbine van nu; uit te sluiten is het zeker niet.

De vraag is dus: Wat is het Nederlandse landschap? Nederland is per slot van rekening een door de mens gevormd cultuurlandschap dat voortdurend aan ver-

Lijnopstelling van een windpark langs het Noordhollandsch Kanaal.

andering onderhevig is. De Flevopolders bijvoorbeeld waren zeventig jaren geleden water. Waarom zouden windturbines, zorgvuldig ingepast, geen onderdeel van zo'n kunstmatig landschap uit kunnen maken?

Windturbines passen bij het Nederlandse cultuurlandschap

Maar hoe pas je windturbines in? De meeste landschapsarchitecten vinden dat windparken moeten aansluiten bij bestaande infrastructurele lijnen, zoals dijken, kanalen, spoorlijnen of wegen. Een rij windturbines 'voegt zich' zo min of meer in de reeds bestaande infrastructuur. Zo'n lijnopstelling wordt als een mooi en rustig beeld ervaren, mooier en rustiger dan een meer vierkantig ingericht cluster van windturbines. De foto laat zo'n rustig ogende lijnopstelling zien langs het Noordhollandsch Kanaal.

Een lijnopstelling van windturbines sluit het beste aan bij de bestaande infrastructuur

De ruimte voor windenergie in Nederland is echter schaars en voldoende strakke lijnen zijn er dus niet. Windturbines worden daarom steeds meer in min of meer parallelle rijen naast elkaar geplaatst. Een voorbeeld daarvan is een windpark in de Eemshaven dat sinds 2008 in gebruik is. Het park is opgebouwd uit 88 windturbines. Ze staan in meerdere rechte lijnen opgesteld. Van boven af gezien, is er niet veel aan de

Clusteropstelling van een windpark in de Eemshaven.

hand en vormt het park een keurig raster. Het beeld op ooghoogte is – zeker in het open Noord-Groningse landschap – rommelig. De komende jaren zullen meer windturbines in dergelijke clusters worden neergezet omdat de overheid een beperkt aantal concentratiegebieden heeft aangewezen voor de bouw.

Een windpark of een windturbine is alleen in een open polderlandschap en bij helder weer goed te zien. Bomen en gebouwen onttrekken windturbines op land vaak aan het zicht. Grotere windturbines zijn uiteraard beter te zien dan kleine. De veronderstelling is daarom dat grote windturbines meer invloed hebben op de beleving dan kleinere turbines. In de praktijk blijkt dat reuze mee te vallen, omdat er voor windturbines in het open veld meestal geen referentie beschikbaar is met een vergelijkbare hoogte. Het is daarom vaak moeilijk in te schatten hoe hoog een windturbine werkelijk is. Op de foto 'Groot en klein aan de Noordermeerdijk' staan enkele turbines die sterk verschillen van as-hoogte en rotordiameter. De twee windturbines op de achtergrond zijn bijna drie keer zo hoog als de (blauwe) turbine op de voorgrond. Toch is het met het blote oog moeilijk in te schatten hoe de turbines zich onderling verhouden.

De verhouding tussen as-hoogte en rotordiameter is bepalend bij de hoogtebeleving. In de praktijk geldt dat een windturbine er proportioneel goed uitziet als rotordiameter en as-hoogte ongeveer gelijk zijn, dus als de bladlengte ongeveer de helft is van de mastlengte. Een windturbine met grote bladen ten opzichte van de lengte van de mast lijkt 'gedrongen'. Zie

Groot en klein aan de Noordermeerdijk, Noordoostpolder.

bijvoorbeeld de blauwe windturbine op de foto. Een windturbine met relatief kleine bladen 'ziet' er hoog uit, ook al is dat in de werkelijkheid niet zo. In bestemmingsplannen wordt daarom soms de verhouding tussen mastlengte en rotordiameter voorgeschreven.

De kleur van een windturbine speelt een kleine rol. Je zou verwachten dat exploitanten hun windturbines een wat grijzige kleur zouden geven om ze beter weg te laten vallen tegen de vaak grijze lucht in Nederland. Maar dat is niet zo. Eén fabrikant (Enercon) beschildert, als handelsmerk, zijn windturbines standaard met een aantal groene banden aan de voet van de mast. Voor een windpark bij Almere heeft het energiebedrijf Nuon in de jaren negentig gekozen voor gekleurde masten, als onderdeel van een kunstproject. Een eenmalige actie. De meeste windturbines in het landschap zijn nog steeds wit, de goedkope standaardkleur.

GELUID

Windturbines maken geluid. Omwonenden die er niet op zitten te wachten kwalificeren het geluid vaak als 'lawaai' of 'herrie'. Voor de eigenaar klinkt het echter als muziek in de oren. Maar hoe zit het echt?

Het geluid dat een draaiende windturbine produceert, komt van twee bronnen. De draaiende delen bovenin de gondel, bestaande uit rotor-as, tandwielkast en generator, maken geluid. Dit is bij moderne windturbines niet zo groot omdat tegenwoordig in de gondel goede geluidisolatie is aangebracht.

De bladen zijn de grote geluidsproducent. Ze zorgen voor een verstoring van de luchtstroming door hun snelle beweging door de lucht. Het geluid wordt voornamelijk veroorzaakt aan het buitenste deel van het blad, dat het snelst door de lucht beweegt. In figuur 9-1 is dit in beeld gebracht. Iemand die onder de turbine staat, hoort het geluid van de neerwaartse beweging van het blad het hardst. Op de grond klinkt het als het 'zoeven' van de bewegende rotorbladen. Bij grote megawatt-turbines komt dit zoevende geluid ongeveer elke seconde langs.

De hoeveelheid geluid wordt gemeten in dB(A) (decibel), op een schaal van 0 tot 120. Het geluidsvermogen van een geluidsbron wordt altijd gedefinieerd op één meter afstand van de bron. Bij een windturbine is het afhankelijk van de windsnelheid. Het maximale niveau

Figuur 9-1. De windturbine als geluidsbron: de beweging van de bladtip(roodgekleurd) geeft het meeste geluid. Bron: NLR

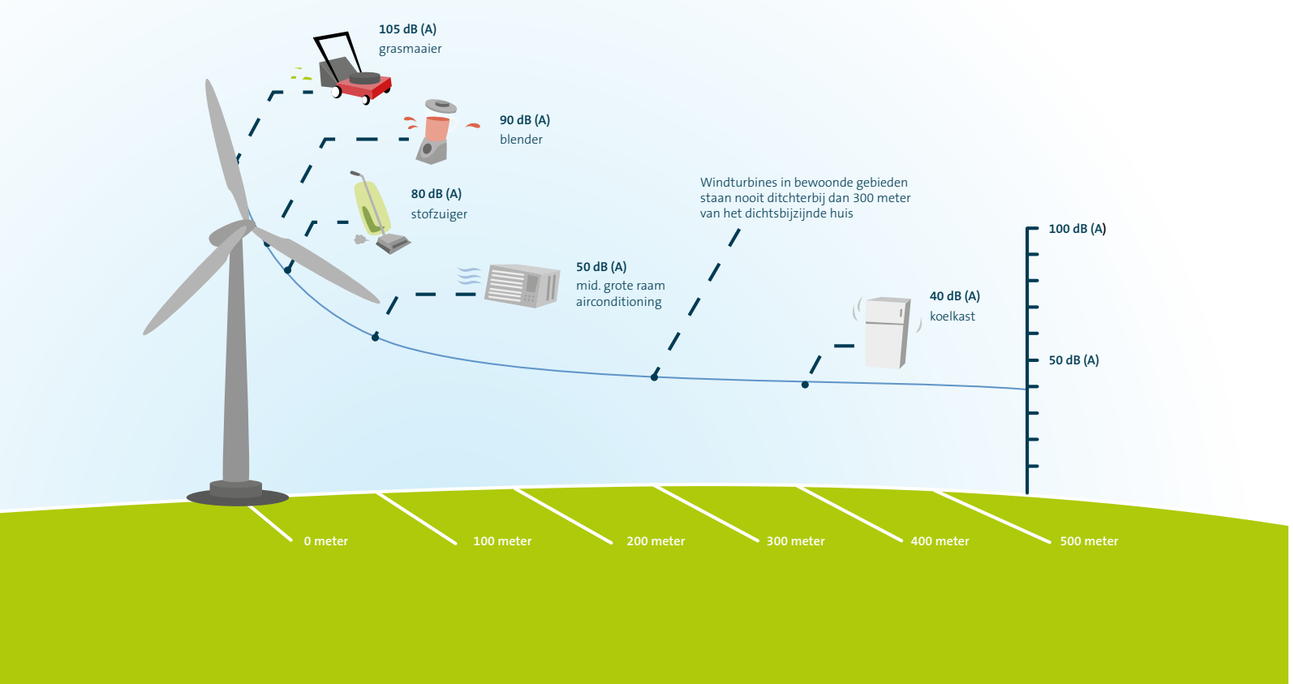
is in de orde van grootte van 105 dB(A), te vergelijken met het geluid van een vrachtwagen. Het absolute geluid neemt kwadratisch af met de afstand tot de bron. Op een afstand van honderd meter is het geluid dus (100 x 100) tienduizend maal minder dan het gemeten brongeluid. Bij het certificeren van een windturbine wordt de geluidsemissie van een windturbine gemeten bij verschillende windsnelheden. Een onafhankelijke instantie meet deze geluidscurve.

Het geluid verspreidt zich in alle richtingen. Met rekenmodellen is te berekenen hoeveel geluid er te horen is op enige afstand van de turbine. Hierbij speelt niet alleen de afstand tot de bron een rol maar ook de bodemgesteldheid en eventueel obstakels, zoals bomen. Een harde bodem (bestrating bijvoorbeeld) reflecteert meer geluid dan een zachte bodem (zoals weiland of landbouwgrond). In figuur 9-2 is grafisch weergegeven hoeveel geluid er op afstand van de geluidsbron te horen is.

Te zien is dat op zo'n zeshonderd meter van de voet van een turbine het geluid is gereduceerd tot een niveau onder 40 dB(A), vergelijkbaar met het geluid van een koelkast. Een scherp oor hoort een windturbine tot op een afstand van twee kilometer. In de praktijk zal het geluid echter op die afstand niet meer te horen zijn. Het mengt zich immers met andere geluiden in de omgeving, zoals het ritselen van bladeren, verkeer of iets anders. Een moderne windturbine zal op een afstand van 600 à 700 meter nauwelijks hoorbaar zijn. Het laagfrequente geluid van de windturbine kan verder dragen als een soort lage brom-toon. Omwonenden nemen dit geluid niet allemaal (op dezelfde manier) waar.

De overheid heeft per 2011 nieuwe regels vastgesteld

Fguur 9-2. Het geluid van een windturbine, vergeleken met bekende apparaten. Bron: GE.



waaraan het geluid van windturbines moet voldoen. Ze gelden voor nieuwe en voor bestaande windturbines en windparken. De regels zijn opgenomen in artikel 3.14a van het Activiteitenbesluit milieubeheer 194. Er is in het begin flinke discussie geweest over die nieuwe regels; ze zijn nu ingeburgerd.

Het geluid van een windturbine aan de gevel van de dichtstbijzijnde woning is aan regels gebonden

De normen die worden gehanteerd zijn absolute waarden; het bestaande geluidsniveau in de omgeving speelt geen rol. Een turbine in een stil gebied op het platteland moet net zo stil zijn als een windturbine vlak langs een snelweg. In uitzonderingsgevallen kan de overheid aanvullende (strengere) eisen stellen. Zijn er meer windturbines (of windparken) in de buurt dan kan de eis zijn dat het geluid van alle windturbines bij elkaar wordt opgeteld. De norm wijkt niet noemenswaardig af van de regels in andere Europese landen en de aanbevelingen van de WHO (World Health Organization).

De Activiteitenregeling milieubeheer beschrijft hoe via een rekenmethodiek de emissie van de geluidsbron moet worden vertaald naar de geluidsbelasting op de 'gevoelige objecten' 195. Daarmee wordt het geluid buiten 'op de gevel' van de dichtstbijzijnde woning bedoeld. Volgens die norm mag 's nachts het jaargemiddelde geluidsniveau hier maximaal 41 dB(A) bedragen (van 23.00 uur 's avonds tot 7.00 uur 's morgens). Omdat de hoeveelheid geluid van een windturbine afhankelijk is van de windsnelheid, wordt ook een soort jaargemiddelde (de *dosiswaarde* genoemd) berekend. De relatie tussen windsnelheid en de bronsterktecurve van de turbine wordt hierbij gebruikt. De exploitant houdt voor elk moment van de dag de opbrengst van elke windturbine bij. De opbrengst per turbine is gerelateerd aan de windsnelheid. Het hele jaar door kan op basis hiervan de dosiswaarde berekend worden. In een kader staat uitgelegd hoe deze zogenaamde L_{den}-waarde wordt berekend. Deze moet op jaarbasis onder de 47 dB blijven. Het kan tot gevolg hebben dat een windpark op een zeker moment in het jaar terug-geregeld of stilgezet moet worden om te voorkomen dat de maximale dosiswaarde voor dat jaar wordt overschreden. De exploitant moet aan het eind van elk kalenderjaar de berekening van de geluidsemissie aan het bevoegd gezag sturen.

Het 'Kennisplatform Windenergie', ingericht door het ministerie van Infrastructuur en Milieu, heeft in 2015

DE L_{den}-NORM

Bij het berekenen van de L_{den}-norm wordt de dag in drie dagdelen van acht uren opgedeeld: overdag, 's avonds en 's nacht. Voor elk dagdeel wordt de geluidsimmissie voor de gevoelige woningen berekend op basis van de geluidsproductie van de turbine en de werkelijk opgetreden windsnelheid. Voor de avonduren wordt de berekende waarde verhoogd met 5 dB(A); voor de nacht met 10 dB(A). Het gemiddelde eindresultaat over de gehele dag is de L_{den}-waarde. De dosiswaarde is het gemiddelde van alle L_{den}-waarden gedurende een jaar. In een video van het adviesbureau LBP|Sight wordt de berekeningswijze uitgelegd 138.

Achter-rand van een Enercon windturbine blad.

een ‘Kennisbericht’ uitgebracht over het geluid van windturbines 191, 188. Het platform concludeert dat 8 à 9% van de omwonenden ernstige hinder kan ondervinden van het geluid van windturbines. In 2009 berekende het RIVM dat in Nederland ongeveer 1500 omwonenden van windturbines geluidshinder ondervonden. Turbinegeluid is minder luid dan van andere bronnen, zoals verkeer en industrie, maar wordt sneller als hinderlijk ervaren, aldus het Kennisplatform. Dit kan veroorzaakt worden door het soort geluid: zoeven en zwiepen. Ook zou het laagfrequente deel van het geluid extra hinder geven 190. Een verdubbeling van vermogen leidde tot nu toe tot ongeveer drie decibel aan extra geluid, vooral in het laagfrequente deel, is het vermoeden. Het is voorlopig voor de overheid geen aanleiding de regelgeving aan te passen.

Als een windturbine vanwege geluid moet worden terug-geregeld of stilgezet, betekent dit vermindering van inkomsten voor de exploitant. Hij zal dit daarom van te voren willen weten. De geluidsimmisse is met rekenmodellen te berekenen.

Maakt een turbine over een jaar gerekend te veel geluid dan moet hij tijdig worden terug-geregeld

Door verschillende varianten door te rekenen, kan van te voren de eventuele geluidshinder in kaart worden gebracht en door anders positioneren van de windturbines zo nodig worden teruggebracht.

In de nieuwste ontwikkeling worden bladen van windturbines voorzien van een gekartelde achter-rand. Bij het ‘loslaten’ van de achterkant van het blad ontstaat minder turbulentie in de lucht, waardoor het brongeluid met ± 2 dB(A) wordt gereduceerd. Dit heeft de industrie afgekeken van de vleugelvorm van uilen en roofvogels. Twee dB(A) lijkt weinig. Maar als je bedenkt dat drie dB(A) in absolute zin een halvering van het geluid betekent, is het wel veel.

SLAGSCHADUW

Windturbines zijn hoge constructies die een schaduw veroorzaken die ver kan reiken als een laagstaande zon erop schijnt. De draaiende wieken veroorzaken dan een continue wisseling van licht en schaduw, de zogeheten *slagschaduw*. Deze wordt door mensen als hinderlijk ervaren; er zijn mensen die zeggen dat ze er ziek van worden. Slagschaduw treedt recht achter de windturbine op en verplaatst zich overdag, met de zon mee. Aan het begin en einde van de dag kan de slagschaduw tot grote afstand reiken, tot soms tien maal de turbinehoogte. De toegestane hinder voor omwonenden is vastgelegd in artikel 3.12 van de Activiteitenregeling milieubeheer 195. Slagschaduw mag niet meer dan zeventien dagen per jaar gedurende 20 minuten optreden. Een exploitant van een windturbine kan eenvoudig maatregelen treffen door in de besturingscomputer een ‘stilstandsvoorziening’ op te nemen, een computerprogrammaatje dat op basis van de stand van de zon en het tijdstip van de dag uitrekent of er slagschaduw optreedt en die zo nodig de turbine vervolgens tijdelijk uitschakelt als er slagschaduw op een woning wordt veroorzaakt.

In de ontwerpfase van een windpark wordt de kans op slagschaduw doorgerekend zodat er bij de locatiekeuze rekening mee kan worden gehouden. In figuur 9-3 is een computerberekening te zien voor een windpark in Deventer 139. De blauwe lijn geeft het gebied aan waar vijftien uur per jaar hinder optreedt; de rode lijn geeft het gebied aan waar 5 uur en 40 minuten slagschaduwhinder zal zijn.

Figuur 9-3. Slagschaduw hinder door drie turbines in Deventer.

● *Slagschaduw: 5,7 uur/jaar* ● *Slagschaduw: 15 uur/jaar*
★ *Windturbine*

Slagschaduw.

Slagschaduw kan bij lage zonnestand tot ongeveer 1 kilometer hinder geven

Slagschaduwproblemen komen maar beperkt voor omdat geluidsnormen ervoor zorgen dat windturbines meestal op voldoende afstand van woningen staan.

Naast slagschaduw kan de zon ook hinderlijke lichtschittering veroorzaken door terugkaatsing van zonlicht op de wieken. In het Activiteitenbesluit zijn ook hiervoor beperkingen opgenomen. Fabrikanten voorzien de rotorbladen standaard van een niet-reflecterende coating waardoor er in de praktijk bijna nooit problemen ontstaan.

ELEKTROMAGNETISCH VELD

Een windturbine is een ‘elektrische machine’, zoals we er dagelijks vele in bedrijf hebben, van elektrische tandenborstel, huishoudmixer, laptop tot autodynamo en elektrische trein. Het hart van de windturbine

Activiteitenregeling milieubeheer: regels slagschaduw.

ARTIKEL 3.12

1. Ten behoeve van het voorkomen of beperken van slagschaduw en lichtschittering is de windturbine voorzien van een automatische stilstandvoorziening die de windturbine afschakelt indien slagschaduw optreedt ter plaatse van gevoelige objecten voorzover de afstand tussen de windturbine en de gevoelige objecten minder dan 12 maal de rotordiameter bedraagt en gemiddeld meer dan 17 dagen per jaar gedurende meer dan 20 minuten per dag slagschaduw kan optreden en voorzover zich in de door de slagschaduw getroffen uitwendige scheidingsconstructie van gevoelige gebouwen of woonwagens ramen bevinden. De afstand geldt van een punt op ashoogte van de windturbine tot de gevel van het gevoelige object.
2. Het bevoegd gezag kan met betrekking tot het in werking hebben van een windturbine aanvullend maatwerkvoorschriften stellen ten behoeve van het voorkomen of beperken van hinder door slagschaduw indien het eerste lid in een specifiek geval niet toereikend is.

is een elektrische generator en dit is niets anders dan een (omgekeerde) elektromotor. Hieromheen zit de nodige elektronica om het systeem te besturen en de geproduceerde elektriciteit in de juiste kwaliteit naar het net te voeren.

Windturbines creëren in de directe omgeving van de generator een elektromagnetisch veld. De omvang daarvan is vergelijkbaar met dat van de motoren van een (elektrische) trein en blijft beperkt tot de gondel. Windstroom gaat via gewone elektriciteitskabels in de wegberm naar de klant. De effecten daarvan zijn niet anders als die van de traditionele elektriciteitsvoorziening. Schadelijke effecten hiervan op de gezondheid zijn nooit aangetoond.

GEZONDHEID

Hinder en gezondheid zijn vaak onderling gerelateerd. Hinder kan worden veroorzaakt door psychologische factoren die ontstaan door bijvoorbeeld het zicht op de windturbines of ergernis omdat men zich onvoldoende betrokken voelt bij de ontwikkeling. Dit wordt vertaald naar bijvoorbeeld geluidshinder waardoor gezondheidsklachten ontstaan. Het is onduidelijk of windturbinegeluid de slaap 's nachts beïnvloedt. Ook voor andere directe effecten op de gezondheid is geen echt bewijs, blijkt uit literatuuronderzoek in 2013 van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieubeheer (RIVM) 154. Maar de geest doet ook wat. Veel mensen vinden windturbines een prima manier om schone stroom op te wekken, maar sommige mensen willen ze liever niet in de buurt hebben. Die grijpen geluid-, schaduwhinder en gezondheidsaspecten aan om ze uit hun buurt te houden.

Vestas 3 megawatt-turbine in de Eemshaven.

KUNSTENARES JULY LEESBERG

“Kijk er ook eens anders naar, met een open blik. Die windturbines in zee zijn van een schilderachtige schoonheid. Dan zie je ook dat, als de zon door de wolken schijnt, delen van het windpark wit oplichten, elke turbine anders; de wolken trekken verder en het lichtschijnsel verplaatst zich langs de rijen turbines.” Kunstenares July Leesberg uit Wageningen is lyrisch over het windpark in zee voor de kust van IJmuiden, een windpark met tientallen turbines waar ze eens omheen is gezeild. Tijdens de aanleg van het park fantaseerde ze hoe het park eruit zou gaan zien, in acrylverf op linnen, vanuit haar perspectief. “Horizon IJmuiden” heet het tweemeter brede schilderij met strakke rijen turbines en rokende hoogovens van IJmuiden, klein in de verte.

Leesberg is landbouwkundig ingenieur, maar na vier jaar kunstacademie in Arnhem vooral schilder. Ze heeft een fascinatie voor windturbines die tot leven is gekomen tijdens zeiltochten over het IJsselmeer, die steevast begonnen in haar (toenmalige) thuishaven Lelystad. “Bij vertrek zag je daar die rij turbines staan met hun voeten in het water. Betoverend.” Bij IJmuiden ging het niet anders. “Ik zag daar vanuit de haven werkschepen turbineonderdelen naar zee transporteren, het inspireerde me. We zijn er jaren later, toen het park draaide, met de zeilboot langsgegaan. Het zag er volkomen anders uit dan op mijn schilderij. De turbines staan ver uit elkaar, ze draaien gracieus, net danseressen op één been. Of net rijen bomen in een bos, maar dan op zee. Het is ons nieuwe landschap. Die turbines geven elegantie aan de vlakke zee. Ze vormen onze nieuwe horizon die we zelf creëren.”

De afgelopen jaren heeft Leesberg tientallen schilderijen gemaakt met turbines, delen van turbines, industrie, havens en snelwegen. Ze geven haar kijk op het nieuwe landschap weer 178. Die typische Hollandse vergezichten met koeien in de wei zijn niet meer van deze tijd. We willen welvaart, werkgelegenheid en ook een schoon milieu. Nederland is klein en welvarend. Bedrijvigheid staat al gauw in de achtertuin. Dan maar liever met schone turbines.

“Mensen die mijn schilderijen zien, reageren verschillend en dat leidt tot discussie. De één vindt die windturbines angstaanjagend en lelijk, een ander ziet de schoonheid, die kleurrijke verleidelijkheid en beseft dat Nederland eerder groot is geworden met windmolens. Mijn schilderijen geven een andere kijk op de werkelijkheid, ze dwingen tot nadenken, tot beantwoording van de vraag: wat zie ik, wil ik dit?”

Horizon IJmuiden. July Leesberg (2009).

HOOFDSTUK 10

Windturbines staan vaak in de buurt van natuurgebieden. Er is regelgeving om fauna en flora te beschermen. Windturbines zouden veel slachtoffers maken onder vogels en vleermuizen, wordt vaak beweerd. Uit onderzoek blijkt dat dit niet zo is. Schade aan flora en fauna is beperkt.

ECOLOGIE

Windenergie en natuurbescherming staan tot op zekere hoogte op gespannen voet met elkaar. Windturbines worden gebouwd om natuur en klimaat te beschermen. Tegelijkertijd hebben ze negatieve effecten op diezelfde natuur. In een algemene Europese richtlijn wordt aangegeven hoe deze twee samen kunnen gaan: activiteiten zijn (al dan niet met passende maatregelen) toegestaan, zolang ze geen oneevenredige bedreiging vormen voor de natuur ⓘ *075*. Een exploitant van een windpark moet daarom aan de hand van onderzoek kunnen aantonen dat zijn windturbines geen bedreiging vormen voor natuur en milieu.

De invloed van windenergie op flora en fauna neemt een belangrijke plaats in tijdens het vergunningentraject. Voorafgaande aan deze procedure wordt daarom door het uitvoeren van een 'natuurtoets' gekeken naar mogelijke effecten van de bouw en exploitatie van het windpark op planten en dieren. Er wordt gekeken of deze niet in strijd zijn met de Natuurbeschermingswet en de Flora- en faunawet. Zo nodig moet een vergunning respectievelijk ontheffing worden aangevraagd. Deze studies zijn meestal onderdeel van de milieu effect rapportage (m.e.r.). Voor de bouw begint, wordt een uitgebreide inventarisatie gemaakt van de bedreigde soorten in de buurt, de zogenaamde *nulmeting*. Experts schatten vervolgens in wat de invloed zal zijn van de windturbines op deze bedreigde soorten. Eventueel worden 'mitigerende' maatregelen in de vergunning vastgelegd. Dit kan bijvoorbeeld betekenen dat de bouw het broedseizoen niet mag verstoren of dat het park tijdens de vogeltrek moet worden stilgezet.

Een windpark heeft vaak een vergunning nodig volgens de Natuurbeschermingswet en een ontheffing voor de Flora- en faunawet

In de vergunning staat ook dat tijdens de exploitatie een aantal jaren moet worden gekeken of schade aan soorten beperkt blijft *(monitoring)*. Is die groot dan kunnen aanvullende maatregelen worden opgelegd. Bij de bouw van windparken vormen vogels en vleermuizen de belangrijkste ecologische graadmeters.

VOGELS

Groepen windturbines staan vaak in open landschappen op de grens van land en water; gebieden die een grote natuurwaarde vertegenwoordigen. Bij uitstek zijn dit gebieden waar vogels en vleermuizen broeden en foerageren. Trekvogelroutes lopen ook vaak over deze gebieden. Windturbines kunnen lokaal veel slachtoffers maken en het gedrag van vogels beïnvloeden.

Toen windenergie opnieuw in zwang kwam, is vanaf het begin onderzoek gedaan naar de gevolgen van windturbines voor vogels. Zo liet het toenmalige energiebedrijf IJsselmij in 1991 al de effecten onderzoeken van een windpark aan de Westermeerdijk ten noorden van Urk, indertijd met vijftig turbines van elk 300 kilowatt het grootste windpark van Europa. In 2008 maakte ingenieursbureau Alterra, gelieerd aan de Universiteit Wageningen, een overzichtsrapport van de vele onderzoeken tot dan toe ⓘ *140*. Uit die studie blijkt dat het aantal slachtoffers onder vogels sterk af-

NATUUR: EUROPESE EN NEDERLANDSE WET- EN REGELGEVING

In Europees verband is een groot aantal locaties tot beschermd natuurgebied verklaard ⓘ *073*. Deze zogenaamde Natura-2000-gebieden moeten de biodiversiteit (flora en fauna) in stand houden. Er zijn in Nederland meer dan 160 van deze gebieden aangewezen ⓘ *074*.

De bescherming van flora en fauna is vastgelegd in twee Europese richtlijnen: de *Vogelrichtlijn* en de *Habitatrichtlijn*. Deze moeten niet alleen planten- en diersoorten beschermen maar ook gebiedssoorten zoals bijvoorbeeld de Waddenzee. In de Vogelrichtlijn is een lijst van meer dan vijfhonderd beschermde vogelsoorten opgenomen; de Habitatrichtlijn somt een lijst op van meer dan duizend wilde dieren en planten en 230 zeldzame zogenaamde *habitats*, leefgebieden voor bepaalde planten of dieren.

De bescherming van de natuur is in Nederland vastgelegd in twee wetten: de Natuurbeschermingswet en de Flora- en faunawet. Deze sluiten voor een groot deel aan bij de Europese regels. De Natuurbeschermingswet, die (in zijn huidige vorm) dateert van 1998, regelt in Nederland de bescherming van de eerder genoemde Europese Natura-2000-gebieden en een aantal andere natuurgebieden, zoals de Ecologische Hoofdstructuur (EHS) ⓘ *076*. De bescherming van soorten en gebieden volgens de vogel- en habitatrichtlijn wordt in een vergunning op basis van deze wet geborgd.

De Flora- en faunawet richt zich op de bescherming van individuele bedreigde dieren en planten ⓘ *077*. Elke doding of verstoring van beschermde dieren of planten is volgens deze wet verboden. De Nederlandse wetgeving is hierin strikter dan de Europese waarin 'opzettelijke' doding of verstoring verboden is. Als bij de bouw of exploitatie van een windpark planten of dieren die op de zogenaamde 'rode lijst' staan, gedood of verstoord dreigen te worden dan moet een 'ontheffing' worden aangevraagd.

De interpretatie van deze wet leidt regelmatig tot (juridische) discussie: de overheid acht een ontheffing niet nodig, terwijl natuurbeschermers vinden dat een ontheffing moet worden verleend. De afgelopen jaren zijn hierover meerdere rechtszaken gevoerd. Bij het windpark Noordoostpolder heeft juridisch gesteggel hierover een vertraging van meer dan een jaar opgeleverd.

Windturbines beinvloeden natuurwaarden.

Enkele alinea's met verplichtingen uit Europese richtlijnen

ARTICLE 5 OF BIRDS DIRECTIVE

Member States should take the requisite measures to establish a general system of protection for all wild bird species throughout their natural range within the EU. In particular they should prohibit the following:

- deliberate killing or capture by any method;
- deliberate destruction of, or damage to, their nests and eggs or removal of their nests;
- taking their eggs in the wild and keeping of eggs;
- deliberate disturbance of these birds particularly during the period of breeding and rearing, in so far as this would have a significant negative effect on the birds;
- keeping the birds in captivity and their sale.

ARTICLE 12 AND 13 HABITATS DIRECTIVE

Member States should take the requisite measures to protect the species listed in Annex IV throughout its natural range within Europe. In the case of protected animals this means prohibiting the:

- deliberate killing or capture by any method;
- deliberate disturbance, particularly during breeding, rearing, hibernation and migration;
- deliberate destruction or taking of eggs in the wild;
- deterioration or destruction of breeding sites or resting places;
- the keeping, sale and transport of specimens the from the wild.

In the case of protected plants this mean prohibiting:

- the deliberate picking, collecting, cutting, uprooting or destruction of such plants in the wild;
- the keeping, transport of sale of such species taken from the wild.

hankelijk is van vogelsoort en lokale omstandigheden. Vogels zijn slim en ontdekken tijdig veranderingen die windturbines in de luchtstroming veroorzaken. Ze passen vervolgens hun route aan om de mast en draaiende rotor te mijden. Desalniettemin botsen vogels soms tegen windturbines aan.

Uit onderzoeken blijkt dat de kans op aanvaringen het grootst is in de nacht, in de avond- en ochtendschemering en onder slechte zichtomstandigheden. Deels gebeurt dit vooral in het voor- en najaar, tijdens de vogeltrek. Maar ook lokaal broedende en foeragerende vogels komen vaak langs windturbines en kunnen worden geraakt.

Het bureau Altenburg en Wijmenga heeft van 2009 tot en met 2014 vogeltellingen uitgevoerd bij een groot windpark in de Eemshaven met 88 grote megawatt-turbines 141. Ze telden dat er jaarlijks gemiddeld ongeveer 25 vogels door een windturbine

Vogels passeren een windturbine in de Wieringermeer.

dodelijk worden geraakt. Er zijn, zo blijkt uit hun in 2014 gepubliceerde studie, verschillen van 7 tot 33 vogels per turbine, afhankelijk van de plaats in het windpark. Op de zeedijk vallen de meeste doden. Tot de meest gevonden slachtoffers behoorden de wilde eend, stadsduif, zilvermeeuw, kokmeeuw en kleine mantelmeeuwen. Het zijn – geen wonder – vogels die veel voorkomen in het Waddenzeegebied. Bedreigde soorten behoorden niet tot de slachtoffers. Het gevonden aantal komt globaal overeen met het eerder genoemde Alterra-rapport. Daarin staat een schatting vermeld van twintig tot veertig slachtoffers per jaar, voor een middelgrote turbine.

6.000 MW aan windenergie op land geeft honderd- tot tweehonderdduizend vogelslachtoffers per jaar

Wanneer de resultaten uit de recente Eemshaven-studie worden geëxtrapoleerd naar de tweeduizend windturbines, die nodig zijn om medio 2020 6.000 MW op land te realiseren dan komen we uit op ongeveer vijftigduizend vogelslachtoffers per jaar. Het Alterra-rapport uit 2008 noemt eenzelfde aantal, maar dan per 1.000 MW. Dit aantal is gebaseerd op middelgrote turbines; in het rapport staat geen schatting van de effecten van megawatt-turbines. Nemen we deze studie als maat dan zullen medio 2020 als alle geplande turbines op land draaien jaarlijks enkele honderdduizenden vogels slachtoffer zijn van windturbines.

Voor windturbines op zee is dit ook bekeken. Bureau Waardenburg heeft in opdracht van NoordzeeWind, een consortium van NUON en Shell, vier jaar lang onderzoek gedaan naar de effecten van hun offshore windpark voor de kust bij Egmond aan Zee. Sinds 2007 draaien daar 36 windturbines met een vermogen van 3 MW 142. Met visuele waarnemingen en met radar zijn overdag en 's nachts vliegbewegingen in kaart gebracht. Uit het onderzoek, waarover in 2011 werd gepubliceerd, blijkt dat het aantal vogelslachtoffers op zee vergelijkbaar is met dat op land. Omdat de tellingen op zee minder betrouwbaar zijn, vermoedt het Culemborgse onderzoeksbureau dat het aantal in werkelijkheid lager zal liggen.

Het aantal vogelslachtoffers moet in perspectief worden geplaatst: er zijn naast windturbines ook andere veroorzakers van vogelslachtoffers, zoals hoogspanningsmasten en auto's. En er zijn ook jagers en katten. In figuur 10-1 staan enkele schattingen die deels uit

Figuur 10-1. Het jaarlijks aantal vogelslachtoffers in Nederland.

Oorzaak	Aantal vogelslachtoffers
Windturbines	1 tot 2 honderd duizend
Hoogspanningsmasten	1 tot 2 miljoen
Verkeer	2 tot 8 miljoen
Jacht	± 1,5 miljoen
Katten	meer dan 1 miljoen

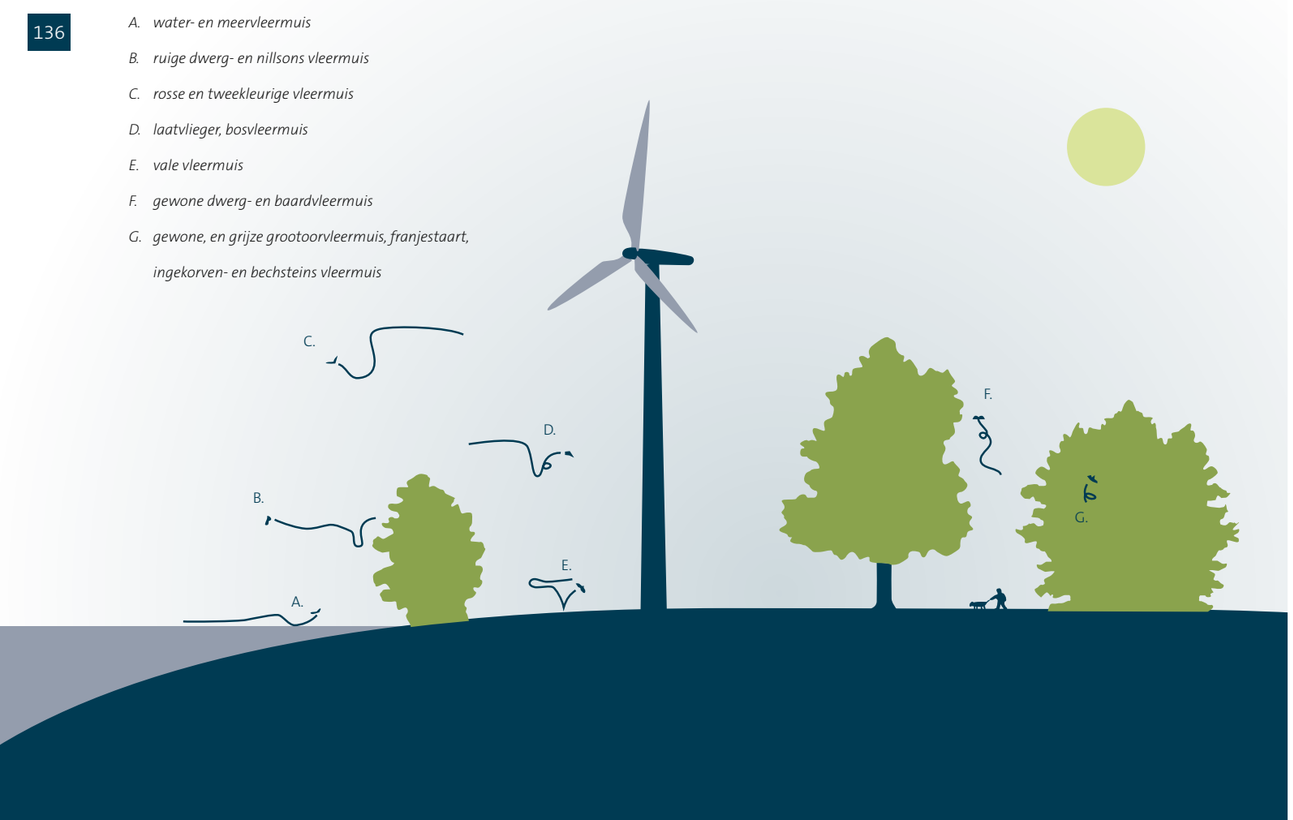
de eerder genoemde Alterra-studie komen. Te zien is dat hoogspanningsmasten en autoverkeer veel meer slachtoffers maken, een factor tien meer zelfs dan windenergie op land.

VLEERMUIZEN

In eerste instantie ging de aandacht uit naar vogels, als mogelijke slachtoffers van ronddraaiende wieken. Sinds het begin van deze eeuw wordt er ook gekeken naar vleermuizen, een beschermde diersoort. Windturbines in de buurt van een leefgebied van vleermuizen kunnen tot conflicten leiden. Er is nog weinig bekend van het gedrag van vleermuizen in de buurt van windturbines. In 2005 is een eerste onderzoek gestart. Een overzichtsrapport van de Zoogdierenvereniging in opdracht van de toenmalige overheidsinstantie SenterNovem (later: Agentschap NL, nu: RVO) geeft een eerste analyse: vleermuizen gedragen zich anders dan vogels en zenden ultrasone geluiden uit die door een object worden gereflecteerd 143. Een vleermuis pikt dit signaal weer op en herkent zo waar het object zich bevindt. Bij ronddraaiende turbinebladen is dit niet anders. Het probleem is dat die wieken soms zo snel draaien dat vleermuizen niet in staat zijn ze op tijd te detecteren.

In figuur 10-2 uit het rapport is te zien dat het vlieggedrag van vleermuizen sterk afhangt van de soort.

Figuur 10-2. Windturbines en vliegpatronen van verschillende soorten vleermuizen. Bron: Peter Twisk.



Er zijn soorten, zoals de rossige en tweekleurige vleermuis, die op ongeveer 70 meter hoogte vliegen, ter hoogte van de draaiende rotor van een middelgrote windturbine. Die maken meer kans op aanvaringen. Andere vleermuizen, zoals de vale vleermuis en de ruige dwergvleermuis die meer aan de grond blijven, lopen bij het vliegen veel minder gevaar. De Zoogdiervereniging en Bureau Waardenburg hebben in augustus en september 2012 tellingen gedaan bij 25 turbines in vijf windparken in Nederland. De bureaus hebben twee dode vleermuizen geteld 145. Een erg laag aantal maar de tellingen zijn niet betrouwbaar genoeg geweest voor definitieve conclusies, stellen ze. Ze stelden vast dat vleermuisslachtoffers vooral in het donker vallen bij een lage windsnelheid. Omdat er nog weinig bekend is over de relatie tussen windturbines en vleermuisslachtoffers hebben beide bureaus in 2013 in opdracht van Agentschap NL een protocol opgesteld 144. Hierin staat hoe vleermuisonderzoek moet worden uitgevoerd. Exploitanten zijn verplicht een aantal jaren onderzoek te doen naar het gedrag van vleermuizen en moeten onder meer tellingen doen van het aantal slachtoffers. Zo moet er meer kennis worden vergaard.

Als blijkt dat er (te) veel slachtoffers vallen, dan kunnen maatregelen worden getroffen. Vleermuizen houden vanaf oktober tot en met maart een winterslaap. Eén van de opties is het stilzetten van windturbines bij typisch 'vleermuizenweer': weinig wind in de nacht buiten de winterslaapperiode. Bij het Brabantse windpark Sabinapolder is voor het eerst een mitigerende maatregel toegepast. De turbines in het windpark moeten in de zomer, 's nachts als het niet al te hard waait, worden stilgezet, oordeelde de Raad van State begin 2015, na een jarenlange juridische procedure die was aangespannen door een buurtcomité.

NATUURTOETS FLORA EN FAUNA

Windturbines op land hebben vooral invloed op vogels en vleermuizen. Het ecologisch onderzoek beperkt zich bij de bouw van een windpark hier niet toe. Door het uitvoeren van een *natuurtoets* worden alle ecologische invloeden bekeken. Zo wordt uitgezocht of windturbines beschermde gebieden in de Natura-2000 of Ecologische Hoofdstructuur verstoren. Hier komt tabel 3 uit de Flora- en faunawet in beeld, de zogeheten 'rode lijst' 185. Hierop staan alle beschermde plant- en diersoorten. Dit zijn verschillende soorten planten, zoogdieren, vogels, amfibieën, reptielen en vissen. Als deze soorten in de buurt voorkomen dan zal uitgezocht moet worden wat de invloed van het (toekomstige) windpark hierop is. De uitkomst van dit onderzoek is afhankelijk van de lokale situatie. Op de ene plaats is bijvoorbeeld de vuursalamander een bepalende factor, terwijl ergens anders gekeken moet worden naar de gevolgen voor de woelmuis of de rugstreeppad. Als er invloed is, dan moet een ontheffing worden aangevraagd. Het kan dus voorkomen dat enige ecologische schade wordt geaccepteerd.

AQUATISCH MILIEU: EFFECTEN OP ZEE

Zowel bij Deense windparken op zee als bij het Nederlandse Offshore windpark voor de kust van Egmond aan Zee is uitvoerig onderzoek uitgevoerd naar de effecten op het zeemilieu. Het IMARES (Institute for Marine Resources & Ecosystem Studies, verbonden aan de Universiteit Wageningen) heeft, samen met andere instituten, veel van deze onderzoeken uitgevoerd 183. Op de website van exploitant Noord-

zeewind zijn meerdere rapporten te vinden over de invloed van offshore-windparken op de flora en fauna 182. De belangrijkste conclusie is dat de invloed op lokale kleine organismen gering is. Het onderzoek is uitgevoerd met onderwatercamera's waarmee de verharde bodem is afgespeurd naar de aanwezigheid van een breed scala aan organismen zoals algen, anemonen, sponzen en oesters. Uit het onderzoek voor de kust van Egmond blijkt dat er bij de bouw van het windpark met hei-werkzaamheden en scheepsbewegingen enige schade is aangericht. Die lijkt zich na enige jaren hersteld te hebben. Sterker, zo melden de onderzoekers: de onderwaterconstructie fungeert als kraamkamer van verschillende organismen zoals mosselen, die zich eraan hechten.

Er is ook gekeken naar de invloed op de visstand, maar dat heeft geen eenduidige kennis opgeleverd. Er spelen hier twee factoren een rol: vissen zullen de locaties rond windturbines mijden vanwege het geluid dat onderwater door trillingen van windturbines wordt veroorzaakt. Aan de andere kant vormt zich ook een extra foerageerplaats omdat er in de buurt van het windpark niet meer wordt gevist. Er zijn vermoedelijk per vissoort verschillende effecten.

Windturbines hebben invloed op de aanwezigheid van zeezoogdieren zoals zeehonden en bruinvissen. Bij de bouw van een windpark treedt er veel onderzee-geluid op tijdens het heien van de funderingen. Dit plant zich in water sterk voort en kan ernstige schade en zelfs de dood veroorzaken. Uit onderzoek blijkt dat de dieren tijdens de bouw op grote afstand (meer dan veertig 40 kilometer) van de bouwplaats blijven. Er zijn manieren om schade in het begin van de bouw te voorkomen door in het begin het hei-geluid te beperken. En door luchtbellen te blazen, is een soort geluidsscherm te creëren rond de hei-locatie. Windturbines produceren ook geluid tijdens bedrijf: trillingen worden via het onderwaterdeel doorgegeven aan het water. Het is niet helemaal duidelijk hoe zeezoogdieren hierop reageren. Het lijkt erop dat de meeste dieren na de bouw terugkeren naar het windpark. In het Egmond-windpark is gekeken naar twee soorten zeezoogdieren, de zeehond en de bruinvis. Effecten op zeehonden zijn niet gesignaleerd. Ze zwemmen er weleens doorheen, maar hun territorium, de hele Noordzee, is zo groot dat ze zich maar af en toe melden bij het windpark. Statistische data ontbreken. Bruinvissen blijven dichter bij de kust en worden daarom ook vaker in het windpark gesignaleerd. Hun aanwezigheid is er gemeten met onderwatermicrofoons. Uit tellingen blijkt dat er meer bruinvissen in het park zijn dan daar buiten, vermoedelijk omdat er meer voedsel voor ze is.

Onder vogels vallen slachtoffers. Een exact aantal is moeilijk vast te stellen, maar dit lijkt niet af te wijken van wat op land gebeurt. Uit tellingen en observaties blijkt dat zeevogels, zoals de Jan van Gent, de zeeeend en de alk windparkgebieden mijden; andere vogels zoals de zeemeeuw komen juist af op het nieuwe voedselgebied. Windparken fungeren soms ook als een rustplaats voor migrerende vogels.

Windparken lijken al met al geen grote invloed te hebben op het lokale ecosysteem in de zee. Er treden vermoedelijk op den duur kleine verschuivingen tussen verschillende diersoorten op. Er kan een nieuwe habitat rond windparken ontstaan. Maar hoe deze habitat er uit gaat zien is afhankelijk van de plaatselijke situatie, zoals de waterdiepte.

SCHERMEN VOOR DE RUGSTREEPPAD

Een van de beschermde dieren waar, bij de aanleg van windparken naar wordt gekeken, is de rugstreeppad met, zoals de naam suggereert, een gele streep op zijn rug. De pad, met geelgroene ogen en een opzichtige kwaakblaas, is een streng beschermde soort en staat op de Rode Lijst in de Europese Habitatrichtlijn. De pad is daarom opgenomen in tabel 3 van de Flora- en faunawet.

De pad komt vooral voor in het westen van het land, in polders en langs de rivieren. De dieren planten zich voort tussen april en juli en nestelen zich dan met enige graagte in ondiepe plassen en poelen waar ze een snoer aan eitjes achterlaten. De pad is zeldzaam. Uit steekproeftellingen blijkt dat er in Nederland gemiddeld 75 duizend tot 100 duizend padden zijn. De pad heeft het moeilijk, de populatie neemt af.

Het is vooral tijdens de bouw van windparken opletten geblazen omdat de pad, die als volwassen dier zo'n tien centimeter kan worden, zich met enige graagte nestelt in ondiepe, snel opwarmende poeltjes, zoals waterplassen in de enorme sporen die met name bulldozers en vrachtwagens door een zanderig of kleiig bouwterrein trekken.

De rugstreeppad heeft de bouw van een windpark nog niet tegengehouden, maar is vaak onderwerp van discussies op inspraakavonden. Er wordt bij de bouw rekening gehouden met deze zeldzame pad. Soms worden te nemen maatregelen expliciet opgenomen in ontheffingsvergunningen die in het kader van de Flora- en faunawet moeten worden afgegeven.

Dit is bijvoorbeeld gebeurd bij de aanleg van de ondergrondse elektriciteitskabels voor het windpark Noordoostpolder. Om te voorkomen dat padden op weg zouden gaan naar 'voortplantingswater' in de vele waterpoelen zijn er in het werkgebied paddenschermen gezet. In het werkgebied is verder extra gedraineerd en zijn ontstane poelen af en toe gevuld met zand om de voorkomen dat padden zich zouden nestelen. Ook is de afspraak gemaakt aangetroffen padden en zogeheten ei-snoeren te verzamelen en uit te zetten in de vrije natuur, buiten het werkterrein.

De rugstreeppad.

WINDTURBINES IN WOLKENKRABBERS

In Manama, de hoofdstad van de olie-eilandjes Bahrein, zijn in 2008 enkele windturbines geïntegreerd in een meer dan tweehonderd meter hoge wolkenkrabber. Het vijftigverdiepingen hoge Bahrain World Trade Center is een uniek staaltje van architectuur dat deels in windtunnels is ontworpen. Twee spitsvormige kantoortorens boven op een drieverdiepingen hoge basisconstructie (met vooral parkeergarages) vormen de basis van het gebouw. Tussen de twee torens, met restaurants, winkelcentrum en kantoorruimtes, zijn drie loopbruggen gebouwd. In het midden van elke loopbrug is een windrotor met een horizontale as gemonteerd, met daarachter een gondel met elektrische generator en tandwielkast. De drie driebladige rotoren (diameter 29 meter) zetten de overheersende zeewind uit noordelijke richting om in elektriciteit voor de kantoorgebouwen. De turbines hebben een vermogen van elk 225 kilowatt. Ze wekken tien tot vijftien procent van de stroom op die in de twee wolkenkrabbers wordt gebruikt, vooral voor koeling.

Beide megatorens hebben qua vorm veel van weg van een zeilboot. De zeilvormige torens hebben een elliptische structuur en staan enigszins dwars op de overheersende windrichting. De twee torens, van 240 meter hoog, drukken zo aanstromende noordelijke/noordwestelijke wind vanuit de Perzische Golf tussen de torens door, langs de windturbines. Wanneer de wind iets van richting draait dan sturen de twee torens, de wind nog steeds recht op de turbines aan, vanwege de gekozen elliptische vorm.

De drie windturbines draaien onafhankelijk van elkaar. Ze kunnen niet met de wind meedraaien, zoals bij windturbines op een toren of mast gebruikelijk is. De turbines worden stilgezet als de wind uit een richting komt die te dwars (meer dan 45 graden) staat op de twee 'zeiltorens'. De zeil-vorm (onder een veel groter oppervlak dan op grote hoogte) zorgt er voor dat er toch langs elke windturbine ongeveer evenveel wind stroomt ook al waait het boven harder dan beneden. Uit de productiecijfers blijkt dit ook. De bovenste turbine wekt 9 procent meer stroom op dan de middelste, de onderste ongeveer 7 procent minder. De precieze vorm van de torens is uitgedokterd met rekenmodellen en met modelproeven in windtunnels, onder supervisie van het Britse architectenbureau Atkins & Partners uit Dubai. Het Deense windmolenbedrijf Norwin leverde de turbines.

Dit Deense bedrijf, dat middelgrote turbines bouwt, heeft als enige ervaring met geïntegreerd bouwen. De kennis die is opgedaan in Bahrein heeft het bedrijf gebruikt voor de levering van kleinere turbines voor een 43-verdiepingen hoge wolkenkrabber in zuidoost Londen. In dit appartementengebouw Strata SE1, dat in 2010 in gebruik is genomen, zijn in de bovenste dakconstructie drie windturbines geïntegreerd. Ze hebben een elektrisch vermogen van 19 kilowatt elk. De rotoren hebben een diameter van 9,5 meter en vijf bladen in plaats van de gebruikelijke drie om zo de geluidsproductie zo veel mogelijk te reduceren.

De speciale aerodynamische vorm van de toren drukt aanstromende wind langs de turbines. Het gebouw wordt vanwege deze opvallende vorm The Razor genoemd.

Windturbines, geïntegreerd in het WTC, Bahrein.

HOOFDSTUK 11

Windturbines dansen in het landschap, in polders en voor de kust. Ze zijn zichtbaar. Niet iedereen is even gelukkig met de bouw van een windpark in de buurt. Dit leidt tot lokale weerstand. Hoe gaan eigenaren van windparken daar mee om? En hoe kunnen omwonenden bij een project worden betrokken?

DRAAGVLAK EN PARTICIPATIE

Nederland is redelijk volgebouwd, het is zoeken naar ruimte. Nieuwe infrastructurele projecten – of het nu de Betuwelijn, een industrieterrein of een nieuwbouwwijk is – hebben invloed op hun omgeving. Door de schaalvergroting is windenergie technologisch en organisatorisch op enige afstand van de lokale burgers komen te staan. Sommige bewoners in de buurt beleven zo'n ingreep op hun leefomgeving als substantieel en vinden die onaanvaardbaar, zeker als het nut voor hen niet direct duidelijk is. De weerstand tegen grote windparken lijkt daardoor toe te nemen. Dit NIMBY-syndroom is een verschijnsel dat al zo oud is als de weg naar Rome: wel de lusten maar niet de lasten.

Er moet een juiste balans worden gevonden tussen nieuwe infrastructuur en de invloed daarvan op de omgeving en omwonenden. Er zijn daarom in Nederland procedures ontwikkeld die moeten worden gevolgd; het zijn procedures die voor alle ruimtelijke ingrepen in essentie gelijk zijn en waarin ruimte is gecreëerd voor inspraak en beroep. Ze staan in hoofdstuk 12 beschreven.

In het Energie Akkoord voor duurzame groei, dat in september 2013 tussen een groot aantal partijen werd gesloten, wordt erkend dat windenergie weerstand kan oproepen ⓘ *011*. Op pagina 68 van het akkoord staat dit als volgt:

Het geforceerd doorzetten van projecten werkt contraproductief. Voor het reserveren van meer ruimte voor wind op land is op lokaal en provinciaal niveau maatschappelijk en politiek draagvlak hard nodig.

DRAAGVLAK

Om weerstand zo veel mogelijk weg te nemen, is het belangrijk *draagvlak* voor windprojecten tijdig te creëren. Dat kan door omwonenden bij windprojecten te betrekken.

Draagvlak moet weerstand tegen windparken verminderen

Mensen moeten worden geïnformeerd over de komst van een windpark en wat dat betekent voor de omgeving. Ook inspraak moet goed worden georganiseerd. Verder is het zinvol om te kijken hoe lusten en lasten van windprojecten (lokaal) zijn te verdelen. Hier komen de veel gehoorde termen *planschade* en *participatie* om de hoek kijken.

PLANSCHADE

Standaard biedt de wet op de ruimtelijke ordening in artikel 6.1 aan huiseigenaren de mogelijkheid om schadevergoeding te eisen als door een aanpassing in de ruimtelijke omgeving de waarde van de woning is gedaald ⓘ *063*. De claim wordt ingediend bij het bevoegd gezag (de gemeente) en wordt *planschade* genoemd. Een claim voor planschade kan alleen worden ingediend als er nog geen windenergieplannen waren toen de huiseigenaar er kwam wonen. Voor het indienen van een claim staat een termijn van vijf jaar. De gemeente houdt meestal rekening met de mogelijkheid van planschade en legt in een overeenkomst met de exploitant van een windproject op voorhand vast dat deze financieel opdraait voor alle claims.

NIMBY

De meeste mensen zijn voorstander van duurzame energie. Uit enquêtes blijkt dat een ruime meerderheid van de Nederlanders voorstander is van het gebruik van windturbines voor de opwekking van stroom ⓘ *104*. Tot zover niets aan de hand.

Zaken worden echter opeens anders als windturbines letterlijk in de buurt komen. Dit "NIMBY"-effect (*Not in My BackYard*, Niet-in-mijn-achtertuin) laat zich eenvoudig samenvatten: "we hebben stroom nodig, en windenergie is daarbij OK, maar wel ergens anders opwekken graag". Er ontstaat weerstand bij de lokale bevolking die alles bij het oude wil laten. Dit wringt des te meer nu de overheid op zoek is naar ruimte om haar winddoelstelling om te zetten in concrete locaties.

Het tijdschrift *KIJK* liet in 2014 een representatief onderzoek doen onder achthonderd volwassen Nederlanders ⓘ *133*. Driekwart van hen had geen bezwaar tegen windenergie maar een kwart van hen wil geen windturbine in de buurt. Windturbines vormen overigens geen uitzondering. Neem zendmasten voor de mobiele telefoon. Iedereen gebruikt het mobieltje te pas en te onpas en eist een goed bereik. Maar 40 procent van hen, zo blijkt uit diezelfde KIJK-enquête, wil geen zendmast in de buurt. Voor nieuwe wegen van hetzelfde laken een pak. Iedereen wil kunnen rijden, maar asfalt moet ergens anders worden uitgerold.

Deze psychologische gevoeligheden van een Nimby-effect krijgen een extra lading als geruchten de ronde doen over geluidshinder of over waardevermindering van de huizen. En ook esthetiek, hoe subjectief ook, speelt een rol. Bewoners vinden dat ze in een mooie streek wonen die door niets mag worden ontsierd. Windturbines worden dan opeens ervaren als lelijk en als *horizonvervuiling*.

Het zijn redenen om zich tegen de komst van een windpark in de buurt te keren. Landelijk heeft die tegenstand zich georganiseerd in organisaties als het Nationaal Kritisch Platform Windenergie (NKPW) en de Nederlandse Vereniging Omwonenden Windenergie (NLVOW) ⓘ *108*, ⓘ *179*.

NIMBY staat voor weerstand tegen activiteiten in de directe omgeving

De lokale weerstand, soms slechts van enkelingen, is groot. De door tegenstanders gehanteerde argumenten zijn divers. Regelmatig eindigt het vergunningentraject na veel juridisch gesteggel uiteindelijk bij de Raad van State. Daar worden bezwaren bijna altijd verworpen, zoals in de Noordoostpolder, Deventer en Nijmegen ⓘ *105*, ⓘ *106*. In de Noordoostpolder zorgde herhaald beroep bij de Raad van State voor bijna drie jaar vertraging. Plannen in Deventer (twee windturbines) en Nijmegen (vijf windturbines) moesten hierdoor ongeveer een half jaar worden opgeschort.

In 2012 is er door onderzoeksbureau SAOZ en adviesbureau Bosch en Van Rijn, in opdracht van de overheid, onderzoek gedaan naar planschade en naar gerechtelijke uitspraken over de waardedaling van woningen *135, 086*. Hieruit blijkt dat er de afgelopen vijftien jaar gemiddeld één planschadeclaim per jaar is ingediend en dat er een paar daarvan zijn toegekend. Het toegekende bedrag was beperkt.

Twee economen van de Vrije Universiteit in Amsterdam, Martijn Droës en Hans Koster, rekenden in 2014 voor dat binnen een straal van twee kilometer van een windpark de woningprijs met 1,4% tot 2,6% daalt. Ze hebben voor dit discussiestuk van het Tinbergen Instituut de verkoopcijfers van huizen bekeken over een lange periode *085*. Wettelijk is vastgelegd dat planschadeclaims alleen worden toegekend als de waardedaling van de woning meer dan 2% is.

Er worden tegenwoordig wel steeds meer pogingen ondernomen om planschade te verhalen. Zo heeft recentelijk Stichting GiGaWiek voor een windpark bij Houten de planschade laten becijferen op meer dan tien miljoen euro *136*. Het is een park van drie molens die een kwart van Houten van stroom voorziet. Een bewonersgroep heeft juridische procedures aangespannen, die inmiddels lopen tot aan het Europees Hof voor de Rechten van de Mens. De rechtbank heeft aan twee omwonenden van een windpark bij Reusel-de Mierden in september 2015 planschade toegekend. Bij Makkum hebben omwonenden aangekondigd gezamenlijk een claim in te dienen omdat ze straks waardedaling van hun woningen verwachten vanwege de bouw van een windpark in het IJsselmeer *134*. Dit windpark Fryslân krijgt een vermogen van 250 tot 400 megawatt. De eerste vergunningaanvragen voor het park zijn in juli 2015 ingediend.

PARTICIPATIE

Omwonenden vinden het verhalen van planschade vaak omslachtig en de hoogte van de compensatie vervolgens onvoldoende. En dus is het zoeken naar andere vormen van (financiële) betrokkenheid bij een windpark. Ze willen niet alleen lasten, maar ook enige lusten ondervinden, is het idee hierachter. *Participatie* is het vaak gebruikte sleutelwoord.

In 2009 heeft de overheid een expertmeeting georganiseerd om dit begrip bij windenergie op de kaart te krijgen. Het advocatenkantoor CMS Derks Star Busmann uit Utrecht, onder meer gespecialiseerd in bestuursrecht, kreeg opdracht een notitie te maken over mogelijke participatievormen *082*. Volgens deze notitie kan participatie worden opgesplitst in drie vormen:

- inspraak bij de besluitvorming,
- financiële deelname in het windpark en
- (financiële) voordelen voor de omgeving

Het in 2013 gesloten Energie Akkoord, dat onder auspiciën van de SER tot stand is gekomen, borduurt verder op deze notitie en stelt op pagina 17 vast dat:

"door investeerders in windmolenparken een participatieplan moet worden geïntroduceerd dat omwonenden in staat stelt actief deel te nemen in de planvorming en exploitatie van windparken"

Dit voornemen krijgt een wettelijk kader. In 2016 zullen wijzigingen in de Omgevingswet worden doorgevoerd; participatie zal in deze wet worden verankerd. De brancheorganisatie NWEA (Nederlandse Wind Energie Associatie) heeft samen met een aantal natuur- en milieuorganisaties zoals Natuur en Milieu en Greenpeace, in september 2014 een 'Gedragscode draagvlak en participatie windenergie op land' opgesteld *083*. Deze probeert vooruit te lopen op regelgeving. In die gedragscode is – in algemene termen – vastgelegd dat de omgeving bij de bouw van een windpark moet worden betrokken. De gedragscode is van te voren besproken met ministeries en provincies en met omwonendenorganisaties. De gedragscode richt zich onder andere op de manier waarop de ontwikkelaar in een vroeg stadium met de omgeving zou moeten communiceren. Voor omwonenden van windparken, die zich hebben verenigd in de belangenvereniging Nederlandse Vereniging Omwonenden Windturbines (NLVOW), gaat deze gedragscode niet ver genoeg. De vereniging heeft daarom in oktober 2014 een eigen gedragscode gepubliceerd waarin verdergaande eisen staan waaraan projectontwikkelaars en exploitanten van windparken zich moeten houden *084*.

Windturbine energiecoöperatie Kennemerwind te Camperduin.

De NLVOW wil bijvoorbeeld dat omwonenden rechten krijgen bij het ontwikkelen van bouwplannen en gecompenseerd moeten worden voor waardevermindering van hun huizen en voor aantasting van woon- en leefgenot. De NWEA beperkt zich tot vage toezeggingen en mooie woorden, vindt de vereniging. Beide partijen zijn met elkaar in overleg om een goede uitweg te vinden.

Inspraak bij de ontwikkeling van een windpark creëert draagvlak

De kritiek van de NLVOW richt zich ook op de overheid. Ze vindt dat de procedures die gelden voor aanpassing van de ruimtelijke ordening omwonenden te weinig mogelijkheden geven om invloed uit te oefenen.
Een initiatiefnemer van een windpark organiseert meestal, voorafgaand aan de officiële procedures, informatieavond(en). Ze zijn bedoeld om partijen bij de planontwikkeling te betrekken en weerstand te voorkomen. Het gaat om het informeren van omwonenden en om inspraak van natuur- en milieuorganisaties. De omwonendenorganisatie NLVOW wil meer dan alleen deze (wettelijk geregelde) inspraak en wil een zekere vorm van zeggenschap afdwingen.

Bewoners de kans geven geld te steken in een windpark, is een andere vorm van participatie. Zo'n financiële deelname wordt 'regelmatig' bepleit om draagvlak te vergroten. Deelname aan windparken kan op verschillende manieren. De Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (onderdeel van de Rijksoverheid) heeft op zijn website een globaal overzicht gezet ℹ *087*.

Participatie betekent ook actief deelnemen in de (financiële) opbrengst van een windpark

De meest eenvoudige vorm is dat een omwonende als geldschieter een aandeel krijgt in het windpark. Hij wordt dan (voor een deel) mede-eigenaar, ontvangt een aandeel in de winst maar deelt ook volledig mee in de risico's van het windpark. Dit kan direct en in een getrapte vorm. Op veel plaatsen in Nederland is dit idee opgepikt en zijn vanaf 2007 nieuwe (groene) energiebedrijfjes en energiecoöperaties opgericht. Nederland kent er nu meer dan 100. Zij willen de productie van hun energie dichter bij huis in eigen beheer – decentraal – regelen, met een 'eigen' windpark.

Energiecoöperaties richten zich op lokale elektriciteitsproductie met windturbines

Een voorbeeld hiervan is de Deventer Energiecoöperatie ℹ *088*. Via een BV zijn de leden voor 25% eigenaar van het windpark Kloosterlanden bij Deventer, een park dat met twee windturbines sinds de zomer van 2015 stroom aan het elektriciteitsnet levert. Zij hebben 25% van het eigen vermogen van de BV als zogenaamd risicodragend kapitaal ingebracht. De overige 75% van de aandelen is in handen van projectontwikkelaar Raedthuys dat belegt in duurzame projecten.

Een ander voorbeeld van risicodragend beleggen is deelname in een groot windpark op zee via investeerder Meewind dat voor de Belgische kust al twee parken in bedrijf heeft ℹ *089*. Particuliere en zakelijke beleggers kunnen aandelen kopen in dit bedrijf waarmee de bouw van een nieuw Belgisch offshore-windpark (Nobelwind) wordt gefinancierd. In 2017 moet dit in bedrijf zijn.

Beide zijn voorbeelden van 'gewone' financiële beleggingen in aandelen, maar dan in een windpark. Bij deze vorm van participatie is het financiële rendement het grootst maar ook het financiële risico.

Beleggen kan door verschillende vormen van participatie in windparken

Het kan ook met minder risico. Er zijn meerdere partijen die, al dan niet via beleggingsfondsen, (obligatie) leningen aanbieden in windparken. Kies je hier voor dan leen je een aantal jaren geld aan een investeerder voor de bouw van een windpark. Deze keert jaarlijks een rentepercentage uit over het geleende bedrag. Het rentepercentage ligt meestal vast. Soms wordt een variabele rente gehanteerd die gekoppeld is aan de jaarlijkse stroomproductie van het windpark. In alle gevallen wordt het geleende geld aan het einde van de looptijd terugbetaald. Het risico is beperkt omdat de investeerder zich als eerste doel heeft gesteld opbrengsten uit het park te gebruiken voor betaling van rente en terugbetaling van het geleende geld. Maar minder risico betekent automatisch dat de belegger genoegen moet nemen met een lagere rente dan bij bijvoorbeeld aandelen-producten. Energiebedrijf Eneco bijvoorbeeld geeft certificaten uit via haar dochter 'Hollandse Wind', die investeert in enkele windparken in Noord-Brabant. De obligaties hebben een looptijd van vijf jaar en een geschat rendement van 2,5 tot 3,5 procent, afhankelijk van de windopbrengst ℹ *090*. Iedereen kan hierin deelnemen.

Participatie kan door geld te lenen aan een windpark

Gemeentes dwingen steeds vaker deelname van omwonenden in windparken af. De achterliggende gedachte is dat zo het draagvlak wordt vergroot. De bouw van het buitengaatse deel van het windpark Noordoostpolder, het grootste windpark in Nederland, is hier een voorbeeld van. Via investeerder Westermeerwind, die een deel van het windpark bouwt, kunnen inwoners van de drie omliggende gemeenten (Noordoostpolder, Urk en Lemsterland) participeren in het project ℹ *091*.

Gemeentes zijn overigens nog op een andere manier in beeld. Voor een windpark moet onroerend zaakbelasting (OZB) worden betaald, net als voor andere onroerende goederen. De Vereniging van Nederlandse Gemeenten (VNG) heeft een richtlijn opgesteld hoe de hoogte daarvan kan worden berekend ℹ *180*. Voor een doorsnee windturbine gaat het al gauw om 10.000 euro per jaar. Dit geld vloeit rechtstreeks in de gemeentekas en draagt zo bij aan de lokale economie.

Naast deze jaarlijkse OZB-inkomsten eisen gemeenten steeds vaker dat ook een deel van de winst van het windpark moet terugvloeien naar de regio, met de slogan in gedachten: 'niet alleen de lasten, maar ook de lusten'. De omwonendenvereniging NLVOW heeft in haar gedragscode opgenomen dat uit de verkoop van de windstroom een vast bedrag aan de omwonenden ten goede moet komen.

Windorganisatie NWEA wil niet zo ver gaan en houdt het in haar gedragscode wat algemener en vindt dat maximaal 0,4 tot 0,5 eurocent per geproduceerde megawattuur (ongeveer 0,5% van de opbrengst van het windpark) aan lokale doelen moet worden besteed.

Afhankelijk van de regio heeft dit idee inmiddels verschillende benamingen en uitvoeringsvormen gekregen, zoals: *regionaal windfonds* of *gebiedsgebonden bijdrage* ℹ *094*, ℹ *092*, ℹ *093*.

Een deel van de winst van een windpark kan naar de regio gaan

Er zijn meer vormen in discussie. Zo is er weleens het idee geopperd dat omwonenden korting zouden moeten krijgen op hun energierekening ter compensatie van het windpark in hun buurt. De komende jaren zal duidelijk worden of zo (subsidie)geld van windparken naar de regio moet stromen.

Het blijft opmerkelijk dat discussies over financiële tegemoetkomingen alleen bij windprojecten opspelen. Bij andere infrastructurele projecten, zoals de aanleg van wegen of de bouw van een industrieterrein in de buurt, hoor je geen omwonenden die menen dat ze hier recht op hebben.

WINDMOLENHATER - JAN MULDER

Je hebt windmolenhaters, je hebt BN-ers. Soms zijn het één en dezelfde persoon. Columnist Jan Mulder voert een heftige strijd tegen windmolens, in woorden. Vooral tegen windturbines in zijn achtertuin, het Groningse platteland waar hij werd geboren en dat hij lang geleden verliet op weg naar *Anderlecht, Ajax, De Volkskrant* en naar *De Wereld Draait Door (DWDD)*. De ex-voetballer is er terug en woont alweer een kleine tien jaar in het voormalige ouderlijke huis van zijn vrouw Johanna even buiten Nieuwolda-Oost.

"Waar de aardappelvelden eeuwig fluisteren, waar de koolzaadplukkers hun koolzaadplukkersliederen zingen en waar 's winters een gure noordooster door de kieren kreunt", schreef journalist Guido Derksen in 2010 in zijn *Voetbal International*-biografie *Jan Mulder*.

Daar in het Groningse Oldambt liet onze nationale mopperkoning zich ergeren door windturbines. In 2013 in een spiritualiteits-essay, met als titel *Doodstil*, schreef hij over de streek van zijn jeugd met een 'uitzicht tot aan de horizon en een wonderschone stilte'. Eind januari 2014 liet hij in de DWDD een fotomontage zien met het uitzicht vanuit zijn tuin, een 'veel te vroeg' koolzaadveld. "Het is een feest daar te wonen, het is een schitterend paradijs. Zie, het koolzaad bloeit al, zo blij is het", riep Jan Mulder grijnzend. Maar als hij de 'hysterie van de oprukkende windmolens in zijn achtertuin' opmerkt, is het gedaan met zijn rust. Windturbines drijven hem tot wanhoop en tot curieuze scheldpartijen in de DDWD over 'maffiapraktijken' van een ieder die windmolens neerzet of promoot.

Het zijn de megawattmolens in het windpark Delfzijl-Zuid, net onder Weiwerd, die Mulder triggerden tot ongecontroleerde scheldkanonnades. Sinds 2006 draaien daar 32 Enercon-turbines met een rotordiameter van ruim 70 meter. Joekels, op kilometers afstand ten noorden van zijn huis. Er staan ook nog drie kleintjes in het Oldambt, op even grote afstand van zijn huis in verschillende richtingen. Ook zijn er plannen, veel plannen voor windparken in de buurt: het geplande N33-park bij Veendam bijvoorbeeld, op een kleine twintig kilometer afstand van Nieuwolda.

Of Mulder die turbines in Delfzijl-Zuid kan horen en of hij ze thuis Eifeltoren-hoog op zijn netvlies krijgt? Welnee, maar mopperen is zijn professie.

Ok, geen windturbines dan maar. Wat dan wel, beste Jan? Ook jij gebruikt toch stroom?

"Windenergie is niet nodig, we kunnen al lang energie winnen uit koolzaad, maar dat wordt om één of andere reden stilgehouden", liet hij zich begin 2013 ontvallen in een interview met dagblad *Trouw*.

Om evenveel elektriciteit als het windpark bij Delfzijl-Zuid op te wekken zijn duizend voetbalvelden met koolzaad nodig. Geel en wuivend in de wind, in mei. In 2014 was dat zelfs een maandje eerder, vanwege het broeikaseffect. Jan Mulder is via verschillende kanalen om commentaar gevraagd; hij antwoordt niet.

Koolzaadvelden bij Scheemda (Groningen); op de achtergrond de poldermolen de Dellen, die er sinds 1855 draait.

HOOFDSTUK 12

Om een windturbine ergens te mogen bouwen, moet in het bestemmingsplan ‘windenergie’ zijn opgenomen. Er moet vaak een milieueffectrapport komen en verschillende andere vergunningen zijn nodig. Een vergunningstraject, van tekentafelplan tot groen licht en draaiende molens, kan vele jaren duren.

VERGUNNINGEN

Voor het bouwen van een windpark gelden dezelfde vergunningsprocedures als voor andere activiteiten, zoals het ontwikkelen van een industrieterrein, een nieuwbouwwijk of voor het bouwen van een nieuwe spoorlijn. Er zijn verschillende vergunningen nodig. Elke vergunning beoordeelt het windproject ('beoogde *activiteit*') vanuit een andere invalshoek. De criteria hiervoor zijn in verschillende wetten vastgelegd. In figuur 12-1 staan de wetten die van toepassing zijn bij de bouw van een windpark, zoals de Wet ruimtelijke ordening (WRO) en de Natuurbeschermingswet.

Voordat een vergunningaanvraag kan worden ingediend, moet er veel uitgezocht worden over mogelijke effecten van een windturbine. Hiervoor zijn allerlei studies nodig. De milieueffecten – in de brede zin van het woord – worden (bijna altijd) bijeengebracht in het milieueffectrapport. Vergunningverleners gebruiken dit bij het opstellen van regels in latere vergunningen voor het windpark. Pas als het rapport door het bevoegd gezag is geaccepteerd is, kan het eigenlijke vergunningentraject worden gestart.

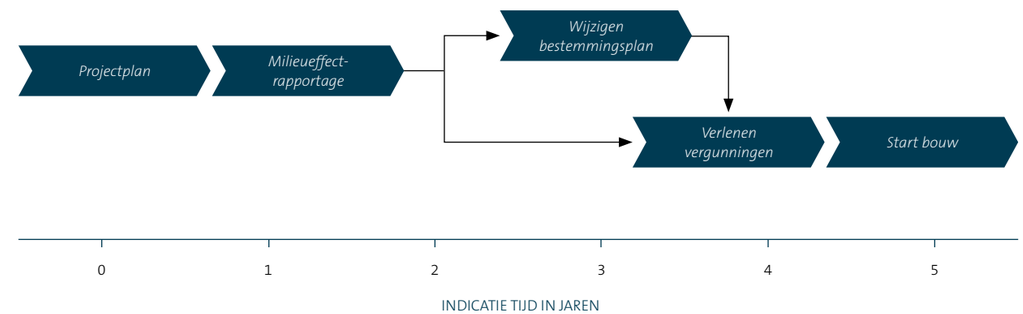
Zowel voor de milieueffectrapportage als voor de vergunningverlening moet een vast omlijnde procedure worden gevolgd waarin de nodige ruimte is voor inspraak en bezwaren. In figuur 12-2 is dit schematisch weergegeven. De route is er één van lange adem waarvoor jaren uitgetrokken moet worden. Een periode van meer dan vijf jaren is eerder regel dan uitzondering.

Bij de verschillende stappen in de procedure zijn verschillende overheden betrokken. De ene keer is de gemeente het aanspreekpunt, een andere keer de provincie of de rijksoverheid (zie kader: 'Wie doet wat in bestuurlijk Nederland?'). Het is vaak ingewikkeld de juiste weg te vinden in vergunningenland. Zo

Figuur 12-1. De wetten die een rol spelen bij de bouw van windturbines.

Wet en AMvB	Ziet toe op
Wet ruimtelijke ordening	De ruimtelijke inpassing
Wet algemene bepalingen omgevingsrecht • Wet milieubeheer • Activiteitenbesluit milieubeheer	Gevolgen voor de fysieke leefomgeving
Waterwet	Gevolgen watersysteem
Natuurbeschermingswet	Bescherming natuurwaarden
Flora & fauna-wet	Beschermde planten en dieren
Elektriciteitswet • Systeemcode • Netcode • Meetcode	(Elektrotechnische) eisen bij aansluiting op het elektriciteitsnet

Figuur 12-2. Schematische voorstelling vergunningenroute voor een windpark.



is bijvoorbeeld besloten om windparken vanaf 100 MW onder de zogenaamde *Rijks Coördinatie Regeling* (RCR) te laten vallen. De ministeries van Economische Zaken en van Infrastructuur en Milieu coördineren dan alle procedures. Voor projecten tussen de 5 en 100 MW coördineert de provincie de procedures, via de Provinciale Coördinatie Regeling (PCR). Deze keuze is het indirecte gevolg van de financiële crisis van 2008/2009. De overheid heeft toen, om de werkgelegenheid en de duurzame ontwikkeling te stimuleren, de Crisis en Herstelwet in het leven geroepen ⓘ *080*. Het besluitvormingsproces voor infrastructurele projecten is met deze wet gestroomlijnd; ook voor windprojecten.

DE MILIEUEFFECTRAPPORTAGE

Een milieueffectrapportage (voor de procedure wordt officieel de afkorting 'm.e.r.' gebruikt en voor het rapport 'MER', in dit boek gebruiken we consequent m.e.r.), is een uitgebreide procedure die doorlopen moet worden voordat een (ruimtelijk) besluit van enige omvang kan worden genomen. Ze wordt bewaakt door een onafhankelijke commissie, de commissie voor de m.e.r. die zetelt in Utrecht ⓘ *159*.

De initiatiefnemer brengt het bevoegd gezag van zijn plan op de hoogte. De bouw (of uitbreiding) van een windpark (vanaf drie windturbines is er sprake van een windpark) met een vermogen van meer dan 15 MW of vanaf 10 windturbines is m.e.r.- beoordelingsplichtig. Na vooronderzoek door de initiatiefnemer bepaalt het bevoegd gezag of een milieueffectrapport voor het voorgenomen project nodig is. Maar ook onder de genoemde grens moet het bevoegd gezag zich ervan vergewissen dat de lokale omstandigheden geen m.e.r. vereisen. Om alle risico's te voorkomen laat de initiatiefnemer meestal op voorhand een m.e.r. uitvoeren en draait op voor de kosten.

In een m.e.r. brengen experts alle milieugevolgen van een windpark of windturbine in kaart, ter voorbereiding van latere besluitvorming. Ze doen dit volgens vastomlijnde regels ⓘ *61*. Op de website van het 'Kenniscentrum Infomil' staat elke processtap in de te volgen procedure toegelicht ⓘ *62*.

De m.e.r. rekent verschillende varianten door waarvoor de milieueffecten worden uitgezocht. Zo ontstaat een soort balans: van elk alternatief wordt aan de ene

kant de milieuwinst beschreven, bijvoorbeeld de besparing op de uitstoot van fossiele brandstoffen; aan de andere kant worden de natuur- en milieugevolgen in kaart gebracht. Bijvoorbeeld wat gebeurt er met de vogelstand en met de vleermuizen, is er geluid- en schaduwhinder, of is er aantasting van het landschap.

Het bevoegd gezag maakt op basis van het m.e.r. in samenspraak met de initiatiefnemer de afweging in welke vorm het plan door kan gaan. Er kunnen 'mitigerende maatregelen' nodig zijn om eventuele milieueffecten te beperken. Die worden in de uiteindelijke vergunning vastgelegd. Zo kan bijvoorbeeld in de vergunning komen te staan dat het windpark tijdens vogeltrek stilgezet moeten worden, of dat 's nachts het vermogen van het park omlaag moet om geluidsproductie te beperken.

Het milieueffectrapport zet alle natuur- en milieueffecten op een rij

Het milieueffectrapport wordt eerst in concept gepubliceerd en gaat de inspraak in. Belanghebbenden krijgen de gelegenheid *zienswijzen* in te dienen. Deze worden vervolgens bekeken en verwerkt in de definitieve versie. Het bevoegd gezag kan daarna de procedures starten voor de wijziging van het bestemmingsplan en het verlenen van vergunningen. De hele m.e.r.-procedure, inclusief inspraakprocedure, vergt vaak één jaar.

WIE DOET WAT IN BESTUURLIJK NEDERLAND?

Met de groei van de omvang van windturbineparken groeide ook de moeilijkheidsgraad om als overheden hierover onderling goed afgestemde besluiten te nemen. Het decentrale karakter van de Wet ruimtelijke ordening speelt hierbij een rol, omdat primair de gemeente besluiten neemt.

Soms gingen grote projecten niet door of hadden een zeer lange doorlooptijd. In 2009 werd daarom de elektriciteitswet 1998 gewijzigd en de rijkscoördinatieregeling (RCR) uit de Wet ruimtelijke ordening van rechtswege van toepassing verklaard op energieprojecten van nationaal belang, waaronder ook windenergieprojecten van ten minste 100 MW. Met de rijkscoördinatieregeling is de minister van Economische Zaken samen met de minister van Infrastructuur en Milieu bevoegd gezag voor het vaststellen van het inpassingsplan en coördineert de minister van Economische Zaken de vergunningverlening door de bevoegde gezagen zoals gemeenten en provincies. Zo is zorgvuldigheid en efficiënte samenhangende besluitvorming gegarandeerd. Een vergelijkbare taak is in de Elektriciteitswet vastgelegd voor het provinciale bestuur; dat besluiten over windenergieprojecten tussen 5 en 100 MW kan coördineren en daarvoor zo nodig inpassingsplannen kan vaststellen. Omdat in gebieden die aantrekkelijke zijn voor opwekken van windenergie, de projecten van Rijk en provincie kunnen samenlopen, is er in de afgelopen jaren bestuurlijke drukte ontstaan die vraagt om een heldere taakverdeling in de uitvoeringspraktijk.

DE PLAN-M.E.R.

De procedure van de milieu-effect-rapportage wordt vaak gevolgd als een *initiatiefnemer* het voornemen heeft voor een concreet project dat effecten heeft op de omgeving. Een dergelijke procedure wordt *project-m.e.r.* genoemd.

Een zogenaamde *plan-m.e.r.* wordt doorlopen als de overheid plannen ontwikkelt voor een bepaald gebied. Een Structuurvisie, zoals de recente Structuurvisie Wind op land waarin het Rijk gebieden aanwijst voor windturbines, is daarvan een voorbeeld. De Rijksoverheid heeft daarin, in overleg met het Interprovinciaal Overleg (IPO), elf gebieden aangewezen. Daar moet een groot deel van de 6.000 megawatt aan turbines worden neergezet die er volgens het Energie Akkoord voor 2020 moeten komen. Voor alle bestuurlijke plannen en structuurvisies over windenergie is het verplicht een plan-MER op te stellen. In dit rapport worden alle milieueffecten van het voorgenomen plan op een rijtje gezet. Verschillende alternatieven worden daarin op hun milieueffecten onderling afgewogen.

Onderdeel van de procedure is dat de plannen ter inzage worden gelegd en dat zienswijzen kunnen worden ingediend. Deze moeten worden verwerkt in het eindrapport MER. Dit rapport is de basis voor de initiatiefnemers en de lagere overheden om hun plannen verder vorm te geven.

RUIMTELIJKE INPASSING

De volgende stap op weg naar een windpark is de aanpassing van het bestemmingsplan dat zijn basis heeft in de Wet ruimtelijke ordening 063. Deze legt gemeenten, provincies en het Rijk de verplichting op ruimtelijke plannen op te stellen. Hierin moet staan wat er in de verschillende gebieden gedaan mag worden: waar mogen woningen komen, waar een hotel of een winkel en welk deel moet landbouw- of natuurgebied blijven. Een bestemmingsplan moet elke tien jaar worden herzien maar kan tussentijds ook worden gewijzigd. Alle bestemmingsplannen staan op een overheidswebsite 064.

Wil men ergens een windturbine of windpark bouwen dan moet in het bestemmingsplan 'windenergie' als

Het milieueffectrapport voor windpark Noordoostpolder bestaat uit zeven dikke delen.

STAATSCOURANT

Officiële uitgave van het Koninkrijk der Nederlanden sinds 1814

Nr. 20261
15 december 2010

Gemeente Oirschot

Ontwerpbestemmingsplan 'Windpark Kattenberg-Reedijk' ter inzage

RWE Innogy Windpower Netherlands B.V werkt al enige jaren aan de ontwikkeling van Windpark Kattenberg Reedijk in de gemeenten Oisterwijk en Oirschot. Het geplande windpark bestaat uit vijf moderne windturbines ten noorden van de A58 tussen de wegen Kattenberg en Reedijk. Drie van de turbines komen op grondgebied van gemeente Oirschot en twee komen in Oisterwijk. Om de bouw van het Oirschotse deel van het windpark mogelijk te maken is een ontwerpbestemmingsplan en een milieueffectrapportage (plan-m.e.r.) opgesteld.

Klimaatdoelstelling gemeente Oirschot

Het windmolenpark draagt bij aan het halen van de doelstellingen uit de Klimaatvisie Kempengemeenten. De doelstelling is: De Kempengemeenten Bergeijk, Bladel, Eersel, Oirschot en Reusel-De Mierden zijn energieneutraal in 2025.

Energieneutraal betekent dat de energievraag in de Kempen volledig voorzien wordt vanuit duurzame bronnen. Het Windpark kan 50% van huishoudens van Oirschot en Oisterwijk voorzien van stroom. Het windpark draagt daardoor bij aan het behalen van de doelstelling van het gemeentelijk energie- en klimaatbeleid.

Ter inzage

Vanaf 16 december 2010 ligt het ontwerpbestemmingsplan Windpark Kattenberg Reedijk en de plan-m.e.r. gedurende acht weken ter inzage. Tijdens deze periode, kunt u de ontwerpbestemmingsplan en de plan-m.e.r. tijdens de openingstijden van het gemeentehuis komen inzien bij de Centrale Balie van het gemeentehuis in Oirschot. Ook kunt u het ontwerpbestemmingsplan digitaal raadplegen op www.ruimtelijkeplannen.nl.

Informatie-avond

Op donderdag 13 januari 2011 is er in de raadzaal van het gemeentehuis een informatie-avond over het ontwerpbestemmingsplan en de plan-m.e.r.. Iedereen is van harte welkom. Tijdens deze bijeenkomst wordt het plan toegelicht en is er ruimschoots de gelegenheid om vragen te stellen. De avond begint om 19.30 uur.

Zienswijzen

De gemeente Oirschot vindt het belangrijk dat haar inwoners kunnen reageren op het ontwerpbestemmingsplan. Het is dan ook mogelijk om vanaf 16 december 2010 tot en met 19 februari 2011 uw zienswijze kenbaar te maken. U kunt dit schriftelijk of mondeling doen. Schriftelijke zienswijzen kunt u richten aan de Gemeenteraad van Oirschot (Postbus 11, 5688 ZG Oirschot). Mondelinge zienswijzen kunt u tijdens de openingstijden van het gemeentehuis kenbaar maken bij de Centrale Balie.

Figuur 12-3. Een voorbeeld van een bestemmingsplanaanpassing voor een windpark van RWE Innogy, eind 2010 gepubliceerd door de gemeente Oirschot in de Staatscourant.

activiteit zijn opgenomen. In het plan wordt verder beschreven waaraan de windturbine of het windpark moet voldoen. Het gaat dan bijvoorbeeld om het maximum vermogen van de windturbine(s), de maximale as- en/of tiphoogte enzovoort. Op een kaart wordt aangegeven waar windturbine(s) neergezet mogen worden. En eventueel waar wegen en kabels mogen komen. Er geldt een vaste procedure voor het aanpassen van het bestemmingsplan. Het bevoegd gezag wint van te voren adviezen en reacties in van andere overheden en belanghebbenden door een zogenaamd 'voorontwerp' rond te sturen. De reacties en adviezen worden gebruikt voor eventuele aanpassingen, leidend tot het 'ontwerp' bestemmingsplan. Het ontwerpbestemmingsplan wordt vervolgens zes weken ter inzage gelegd. In deze periode kan iedereen zienswijzen indienen (zie figuur 12-3). De gemeenteraad stelt vervolgens het bestemmingsplan binnen twaalf weken na de publicatie vast, waarbij de ingediende zienswijzen tot aanpassing van het ontwerp kunnen leiden. Het plan wordt dan nog een keer gepubliceerd, in verschillende media, waaronder de Staatscourant.

In het bestemmingsplan staat waar windturbines mogen staan en hoe groot ze mogen zijn

Hier kan vervolgens bij de Afdeling Bestuursrechtspraak van de Raad van State beroep tegen worden aangetekend, binnen zes weken na verschijnen. In principe kan dit alleen door mensen die eerder een zienswijze hebben ingediend. De bestuursrechter doet een uitspraak die onherroepelijk is. De procedure is samengevat in figuur 12-4.

DE OMGEVINGSVERGUNNING

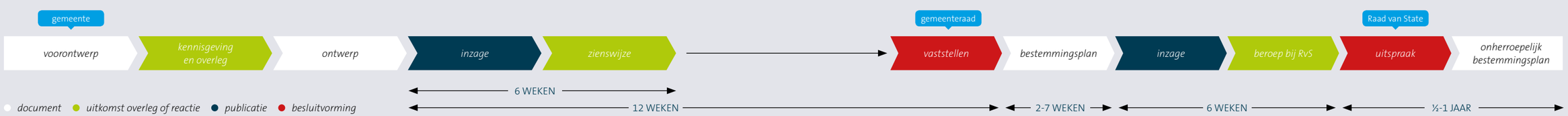
Bij de bouw van een windpark spelen twee wettelijke zaken een rol: in het bestemmingsplan staan de randvoorwaarden die worden gesteld aan de *ruimtelijke inrichting*; de omgevingsvergunning regelt de grenzen die de *fysieke leefomgeving* oplegt. Sinds 1 oktober 2010 is de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht (WABO) van kracht 070, 196. Deze integreert vergunningen, ontheffingen en meldingen die vroeger apart moesten worden aangevraagd. Het gaat dan bijvoorbeeld om de bouwvergunning en de milieuvergunning. De werkingssfeer van de Omgevingswet is volop in discussie. Het plan is meer wetgevende zaken onder de Omgevingswet te scharen. De uitkomst en het tijdpad ligt nu nog niet helemaal vast; wel is inmiddels duidelijk dat de behandeling in de Tweede Kamer voor 2016 op de rol staat.

De omgevingsvergunning legt de fysieke regels vast voor een windturbine of windpark

De gemeente verleent de vergunning die digitaal kan worden aangevraagd via het *'omgevingsloket'* 072. Een aantal praktische uitwerkingen van de omgevingsvergunning is vastgelegd in de Wet milieubeheer en het 'Activiteitenbesluit milieubeheer', een zogenaamde *Algemene Maatregel van Bestuur* (zie kader) 071.

Hierin staan regels voor de geluidsnormen en voor schaduwhinder. Verder worden risico-aspecten en veiligheid geregeld. Het Activiteitenbesluit kent als al-

Figuur 12-4. Procedurestappen wijzigen bestemmingsplan voor een windpark.



gemene regel de zogeheten 'zorgplicht', die is beschreven in artikel 2.1: (milieu)risico's van een installatie, en dus ook van een windturbine, moeten tot een minimum worden beperkt. Om een omgevingsvergunning te krijgen, moet de turbine-exploitant technische en milieu-gegevens aanleveren bij de gemeente. Turbines zijn gecertificeerd en voldoen daarom aan technische eisen op het gebied van geluid en veiligheid. Het overleggen van een certificaat is voldoende, een gemeente gaat dit niet toetsen. De gemeente beoordeelt wel andere zaken zoals constructieberekeningen van bijvoorbeeld de fundering. De wet of de AMvB geeft de gemeente soms de mogelijkheid aanvullende eisen te stellen aan de exploitant, zogenaamde *maatwerkvoorschriften*.

De procedure van de omgevingsvergunning doorloopt meestal een aantal vergelijkbare stappen als bij de wijziging van het bestemmingsplan. Ook bij het verlenen van een omgevingsvergunning voor een windpark wordt eerst een ontwerp ter inzage gelegd (waarop zienswijzen kunnen worden ingediend) en vervolgens de definitieve vergunning gepubliceerd (waartegen beroep kan worden ingediend). Procedures kunnen vaak worden gecombineerd door bijvoorbeeld terinzagelegging gelijktijdig te doen. In de besluitvorming is er één voorwaarde: een omgevingsvergunning kan alleen worden verleend als de activiteit in het bestemmingsplan is vastgelegd.

DE WATERWET EN DE KEURONTHEFFING

In de zijlijnen van de besluitvorming speelt ook de Waterwet een rol. Water neemt een belangrijke plaats in Nederland in. In 2009 is een aantal wetten over het watersysteem samengevoegd tot de Waterwet die het beheer regelt over waterkeringen (zoals de dijken), het oppervlaktewater en het grondwater 079.

Komt een windturbine of een windpark in de buurt van een waterkering (zoals dijk of oever) dan zal de beheerder hiervan een vergunning moeten verlenen. Waterbeheerders zijn terughoudend en eisen vaak waarborgen om schade aan de waterkering te voorkomen.

Wie zijn die waterbeheerders? Rijkswaterstaat beheert het hoofdwatersysteem (Noordzee, het IJsselmeer en de grote rivieren) en de primaire waterkeringen. Waterschappen (de oudste bestuurlijke organisaties in Nederland) zijn verantwoordelijk voor het regionale waterbeheer en de secundaire waterkeringen. Als het Waterschap de waterbeheerder is dan zijn de regels vastgelegd in de zogenaamde *Keur*; de vergunning heet dan *Keurontheffing*. Bij de vergunningaanvraag gelden dezelfde procedures: er kunnen zienswijzen worden ingediend en er kan beroep worden aangetekend.

NATUURBESCHERMINGSWET EN FLORA- EN FAUNAWET

Natuur behoort ook tot de fysieke leefomgeving. De regels op het gebied van de natuur zijn vastgelegd in twee wetten, de Natuurbeschermingswet en de Flora- en faunawet. Wat deze wetten in de praktijk inhouden is toegelicht in hoofdstuk 10.

De procedures voor de Natuurbeschermingswet en de ontheffing voor de Flora- en Faunawet zijn vergelijkbaar met die voor de overige vergunningen. De vergunningaanvraag en de behandeling van de aanvraag kan worden gecombineerd met die van de overige vergunningen.

WET, AMVB EN MINISTERIËLE REGELING

Het opstellen en wijzigen van wetten is een proces dat vaak jaren vergt. Een wetsvoorstel moet achtereenvolgens door de Tweede Kamer en de Eerste Kamer worden goedgekeurd. In de praktijk wordt er vaak voor gekozen besluiten alleen op hoofdlijnen in wetten vast te leggen. In de wet wordt dan verwezen naar een Algemeen Maatregel van Bestuur (AMvB) waarin de uitwerking in meer detail is geregeld. Een AMvB kan eenvoudiger worden aangepast dan een wet. Onder een AMvB kan weer een ministeriële regeling vallen, die nog eenvoudiger kan worden aangepast. Neem de geluidsnormering van een windturbine. De wet WABO en de daaronder vallende Wet milieubeheer bepalen dat een windturbine een bouwwerk is waarvoor het Activiteitenbesluit milieubeheer van toepassing is. Meer is in de wet niet geregeld.

In het Activiteitenbesluit, een AMvB, staan de geluidsnormen voor windturbines. In lid 3 van dit artikel 3.14a is vastgelegd dat het bevoegd gezag (lees: de gemeente) in bijzondere omstandigheden maatwerkvoorschriften kan opleggen. In de Activiteitenregeling milieubeheer worden tot slot de regels vastgelegd over de wijze van berekening van het geluid. Zo worden veel regels op getrapte wijze opgelegd.

ELEKTRICITEITSWET

En dan is er nog de Elektriciteitswet 060. Windturbines produceren elektriciteit die naar het landelijke net gaat. De wet regelt de inpassing van windturbines in het elektriciteitsnet. De turbines moeten voldoen aan een aantal technische eisen die zijn vastgelegd in de *systeemcode*, de *netcode* en de *meetcode*. De overheidsorganisatie Autoriteit Consument en Markt (ACM), het vroegere NMA, houdt toezicht op deze regels. Producenten van stroom, dus ook windturbine-exploitanten, tekenen een contract met de netbeheerder waarin is vastgelegd dat aan de codes wordt voldaan. Zie ook hoofdstuk 14.

Het windpark Westermeerdijk staat op de dijk in de Noordoostpolder.

FOTOMONTAGE ALS ACTIEMIDDEL

Daar stonden ze eind juni 2015 op het strand van Noordwijk met hun broekspijpen omhooggetrokken voor de verzamelde pers, vooral fotografen, de vier burgemeesters van Noordwijk, Katwijk, Wassenaar en Zandvoort. Actie: “We zijn alleen voor windmolens in IJmuiden-Ver. We willen geen hekwerk van windmolens langs de kust”, lieten ze minister van Economische Zaken Henk Kamp weten.

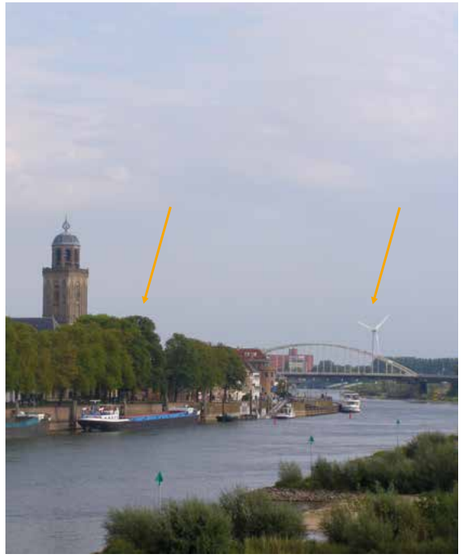
Ze lieten zich leiden door een fotomontage van een lokale actiegroep van ondernemers, Vrije Horizon 186. Deze flanste een fotomontage in elkaar van bruine mensen op een zonnig strand, in de weer met parasols en badhanddoeken. In de achtergrond, dicht op de kust, monteerden ze een windpark, dichtbebost met honderden turbines, de suggestie wekkend dat ze op tientallen meters afstand van de vloedlijn zouden komen te staan. “Een hekwerk van Zandvoort, naar Noordwijk, naar Katwijk, tot aan Wassenaar en Scheveningen toe”, zo lieten ze weten.

“Honderden draaiende Euromasten.” De stemmingmakende fotomontage gebruikten ze in een gekochte paginagrote advertentie in De Telegraaf, onder de kop “Volgend Fyra-fiasco voor onze Hollandse kust” 187.

‘Visualisatie Deventer’ in 2013 gemaakt door ‘prominente Deventenaren’.

Een fotomontage van een windpark is van alle dag, dankzij Adobe Photoshop. In 2013 laaide de discussie in Deventer hoog op over de plaatsing van de twee grote windturbines langs de A1, op het industrieterrein Kloosterlanden. In het heetst van de strijd dook een fotomontage op die was gemaakt door een aantal verontruste burgers uit Deventer en het nabije villadorp Epse, aan de andere kant van de A1. Ze voelden zich niet gehoord en waren bang dat hun mooie uitzicht op het middeleeuwse centrum van Deventer verpest zou worden en geluidsoverlast hun nachtrust zou verstoren. Er werd een oude foto van de rustieke oevers van stal gehaald van de IJssel met op de achtergrond het Deventer stadsbeeld met als belangrijk middelpunt de middeleeuwse Grote of Lebuïnuskerk. De foto was genomen vanaf de spoorbrug over de IJssel. De twee turbines werden in de foto gemonteerd. Beide torenen, ondanks de enorme afstand van bijna vier kilometer van de spoorbrug, hoog uit boven de kerktoren. De fotomontage, een staaltje van volksverlakkerij in zwart/wit, werd geplaatst in de regionale editie van *De Stentor*. “Gemaakt door prominenten”, schreef de redactie erbij.

Deventer vanaf de spoorbrug in september 2015.



Veel heeft de foto niet geholpen. De gemeenteraad van Deventer bleef bij haar besluit en ook de Raad van State veegde alle bezwaren tegen de bouw van de twee windturbines van tafel. Beide turbines staan er sinds de zomer van 2015. En dan blijkt hoe manipulatief de fotomontage was. Op een echte foto, in september 2015 gemaakt vanaf diezelfde spoorbrug, is in de verte één van de turbines redelijk zichtbaar, klein en op grote afstand van het centrum van Deventer. De tweede turbine, verscholen achter bomen rechts van de kerktoren, is bijna helemaal uit beeld: het puntje van de bladen piept af en toe boven de bomen uit.

Zoals voorspeld. 189. In 2011 had het adviesbureau Bosch en van Rijn, in opdracht van de gemeente Deventer, vergelijkbare fotomontages (*visualisaties* in het jargon) gemaakt van het windpark, vanuit verschillende posities. Het bureau deed dit in 2013 na de bewuste publicatie in de krant dunnetjes over vanaf de bewuste brug, maar nu professioneel. De visualisaties van jaren geleden geven de situatie precies weer zoals die er nu in werkelijkheid uitziet.

HOOFDSTUK 13

Er zijn mensen die windturbines als een gevaar zien. Wieken kunnen eraf vliegen, ze kunnen omvallen en schade veroorzaken aan mens en natuur. Het zijn bovendien gevaarlijke obstakels voor vliegtuigen en voor radar. Zijn er richtlijnen voor windturbines?

RISICO'S EN VEILIGHEID

Het is cruciaal dat windturbines veilig zijn voor hun omgeving. Elke windturbine moet daarom aan een groot aantal (veiligheid)voorschriften voldoen, die zijn vastgelegd in een internationale standaard. De IEC, de International Electrotechnical Commission gevestigd in Zwitserland, stelt deze op. Voor windenergie liggen de regels vast in een serie normen, aangeduid met 'NEN-EN-IEC 61400'. Naast het uitgebreid doorrekenen van het turbineontwerp op papier, wordt elke nieuwe windturbine onder allerlei omstandigheden uitgebreid in de praktijk beproefd. De tests worden uitgevoerd door onafhankelijke certificerende instituten, zoals het internationaal opererende DNV-GL en het Duitse TüV 150, 151. De instituten hebben

een *testveld* ter beschikking waar een prototype van een nieuwe windturbine kan worden neergezet en beproefd. Zijn de testresultaten positief dan krijgt de turbine een certificaat en mag deze in het vrije veld worden neergezet.

VEILIGHEIDSEISEN

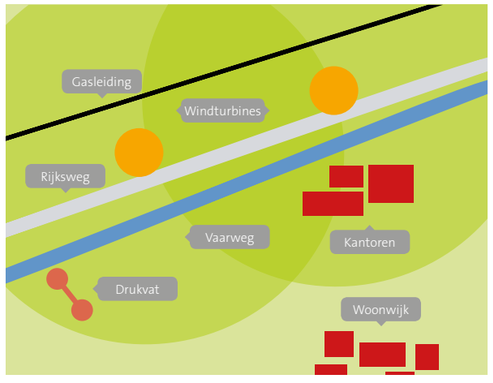
Windturbines moeten voldoen aan alle wettelijke veiligheidseisen. De belangrijkste zijn vastgelegd in het Activiteitenbesluit milieubeheer. Hierin zijn algemene regels geformuleerd waaraan alle zogenaamde *activiteiten* in Nederland moeten voldoen. Paragraaf 3.2.3 heeft specifiek betrekking op windturbines. In artikel 3.14 staat kort en goed samengevat hoe een windturbine moet worden beheerd: een windturbine moet veilig zijn. Zijn er vermoedens over een kapot onderdeel dan moet de turbine uit bedrijf worden genomen, staat bijvoorbeeld in deze paragraaf geformuleerd.

In artikel 3.15a van het Activiteitenbesluit staat hoe groot het risico op een ongeval mag zijn. Deze getallen worden gebruikt bij de risicozonering, die hieronder wordt beschreven. Een windturbine wordt elk jaar door een expert beoordeeld op de goede werking van alle veiligheidsvoorzieningen, zo bepaalt artikel 3.14. In de praktijk is dit een vast ritueel in het onderhoudsschema. Naast deze wettelijke veiligheidseisen zijn er ook aanvullende eisen van beheerders van infrastructuur, zoals wegen, kabels en leidingen. Een ontwikkelaar zal daarom direct aan het begin van een van een windproject contact zoeken met deze beheerders om te kijken of er beperkingen zijn.

RISICOZONERING

Ook al voldoet een windturbine aan alle veiligheidseisen dan nog kan er wat fout gaan. Menselijke fouten tijdens onderhoudswerkzaamheden vormen één van de belangrijke oorzaken. Soms resulteert dat in

Figuur 13-1. Voorbeeld van een risicokaart waarop staat aangegeven wie risico loopt door twee windturbines.



een calamiteit. Maar er kan ook iets fout gaan door technisch falen, ondanks alle controles. Voordat een windturbine wordt neergezet worden daarom de risico's voor omwonenden en de omgeving in kaart gebracht. Hiervoor is in opdracht van de overheid een *Handboek Risicozonering Windturbines* opgesteld, waarin staat beschreven hoe risico's van windturbines moet worden berekend 152. In 2005 is een eerste versie gemaakt; sindsdien is het handboek voortdurend geactualiseerd.

Zo moet bekeken worden wat de gevolgen zijn bij de volgende calamiteiten:

- De breuk van een rotorblad
- het omvallen van een windturbine
- het naar beneden vallen van rotor of gondel
- het naar beneden vallen van kleine onderdelen

Het risico voor de omgeving van een windpark moet aan normen voldoen; een risicoanalyse berekent dit

Er wordt voor elk bouwplan berekend hoe groot de kans is op een ongeval en wat vervolgens het effect daarvan kan zijn op de omgeving. In het handboek staan rekenregels om het risico te berekenen voor een bepaald object zoals woningen en gasleidingen of voor personen in de buurt van de turbine. Elk object wordt in kaart gebracht, met het daarbij behorende risico. Vervolgens moet worden gekeken of het risico binnen de grenzen ligt van het Activiteitenbesluit. Uit ongeval-statistieken, in binnen- en buitenland verzameld, blijkt dat de meest voorkomende calamiteit bij een windturbine het afbreken of losraken van een rotorblad is. In Nederland is dit in de afgelopen 25 jaar enkele keren gebeurd, meestal bij verouderde windturbines die, aan het eind van hun technische levensduur, nog in bedrijf waren. Rotorbladen zitten met bouten vast aan het draaiende mechanisme met de rotor-as. Deze verbinding kan losraken door trillen of metaalmoeheid waardoor het blad loskomt. Zo raakten in december 2014 de twee bladen los van een windturbine in een windpark in het IJsselmeer, bij Medemblik. Windturbines hebben tot nu toe geen (persoonlijke) schade veroorzaakt.

BLIKSEMINSLAG

Windturbines zijn hoge gevaartes en daarom gevoelig voor blikseminslag. Ze zijn hiertegen beveiligd. Elk blad heeft in de tip een metalen bliksemafleider. De bliksem kan hier inslaan. De inslag wordt vervolgens via een stalen draad in het blad, de stalen gondel en de mast naar aarde geleid en afgevoerd. Er ontstaat zo geen schade aan windturbine en omgeving.

In het verleden is die bliksembeveiliging weleens onvoldoende geweest. Op de foto is de schade te zien van een spectaculaire blikseminslag in 1999 in een tweebladige windturbine van energiebedrijf Essent.

Blikseminslag in turbine in Spijk (Groningen), 1999.

De turbine stond in Spijk (provincie Groningen). Bij de inslag werd één van de kunststofbladen over de hele lengte in tweeën gespleten. In mei 2015 deed zich iets vergelijkbaars voor bij een oude, driebladige molen bij een boerderij in Noord-Holland. Een blad scheurde open en bleef vastzitten aan de as. Het leverde spectaculaire foto's op, verder gebeurde er niets. Windturbines zijn steeds beter tegen blikseminslag beveiligd, waardoor er zelden schade ontstaat. En als er iets gebeurt dan is de schade vaak beperkt tot de tip van het blad. Desondanks sluiten eigenaren van windturbines meestal een verzekering af tegen bliksemschade.

BRAND

Een windturbine is een elektrische machine met de belangrijkste onderdelen boven in de gondel. Ondanks vele veiligheidsmaatregelen is brand, door bijvoorbeeld kortsluiting of door het vastlopen van een rem, niet helemaal uit te sluiten. Er zijn in Nederland twee gevallen van brand bekend. In 2006 ontstond er brand in de grondel van een middelgrote windturbine op een bedrijventerrein in Heerenveen. De schade beperkte zich tot de turbine zelf. Dramatischer was de afloop in 2013 van een brand in een zeventig meter hoge windturbine in het Zuid-Hollandse Ooltgensplaat. Bij die brand kwamen twee monteurs om het leven, twee andere overleefden de brand. De onderhoudsmonteurs waren in de gondel van de windturbine aan het werk. De turbine brandde volledig uit. Er zijn veiligheidsvoorzieningen in de turbine aangebracht om brand te voorkomen en ook een 'abseil'-lijn om de gondel snel te kunnen verlaten. Monteurs worden hierop getraind.

Brand in een windturbine in Ooltgensplaat, 2013.

AFVALLEND IJS

Onder winterse omstandigheden kan er ijsafzetting plaatsvinden op de bladen van een windturbine. Dit verschijnsel doet zich voornamelijk voor bij vorst. Er is dan vaak weinig wind terwijl de luchtvochtigheid hoog is. De windturbine staat dan vaak stil omdat het nauwelijks waait. Wanneer de wind toeneemt en de windturbine weer in bedrijf komt, zullen sensoren onbalans in de rotorbladen detecteren en zet een standaard veiligheidsvoorziening de windturbine stil. De turbine kan weer draaien als het ijs is verwijderd of gesmolten.

Bij winters weer kunnen ijsbrokken van windturbinebladen vallen

Veel gevaarlijker is dat ijsbrokken van grote hoogte van de bladen kunnen afvallen. Dit kan tot risicovolle situaties leiden, zeker als de windturbine op een industrieterrein staat of dicht bij een weg. Met behulp van sensoren (temperatuur en luchtvochtigheid) is vast te stellen of er risico is op ijsafzetting. Er kunnen vervolgens maatregelen worden genomen om dit risico te verminderen. Zo kan de kop van de windturbine zodanig worden gedraaid dat de bladen zo ver mogelijk van bijvoorbeeld de weg komen te staan om

WAT IS RISICO?

Aan alle activiteiten zijn risico's verbonden. Als je op de fiets of in de auto stapt, is er een risico op een ongeluk onderweg. Ook wanneer een windturbine of een kolencentrale wordt gebouwd, bestaat er een (kleine) kans op een ongeluk met schade of met dodelijke afloop. Iedereen neemt voortdurend risico bij wat hij doet. We zijn gewend hier mee om te gaan; ze worden (maatschappelijk) geaccepteerd als ze 'voldoende klein' zijn. Wat dit betekent, is gedeeltelijk subjectief.

In het Activiteitenbesluit is als grenswaarde voor het plaatsgebonden risico ten gevolge van één of meer windturbines de waarde 10^{-6} vastgelegd. Het komt er op neer dat als iemand zich voortdurend, onbeschermd op die plaats bevindt de kans minder dan één keer per miljoen jaar mag zijn dat hij door een voorval met de turbine overlijdt. Bij het ontwikkelen van een windpark worden alle risicogevoelige objecten op een kaart ingetekend, zoals bijvoorbeeld in figuur 13-1. De kaart toont alle risico-objecten rond twee geplande windturbines. Het gaat in dit voorbeeld om een gasleiding, een rijksweg, een vaarweg, kantoren en een woonwijk. Voor elk van die objecten wordt volgens de rekenmethodiek van het handboek risicozonering de kans op schade en op een (dodelijk) ongeval berekend. Deze risico's moeten onder de grenswaarde uit het Activiteitenbesluit blijven; anders krijgt het project geen vergunning.

Voor infrastructuur, zoals wegen en spoor, kun je niet zoveel met een grenswaarde omdat daar maar zo nu en dan passanten zijn. De beheerders, zoals bijvoorbeeld Rijkswaterstaat hebben deze grenswaarde omgerekend naar een minimum afstand tot de windturbine. Voor (spoor)wegen wordt in de praktijk een minimumafstand van dertig tot vijftig meter van windturbines aangehouden.

Ook bij een windturbine kan een enkele keer iets fout gaan.

de kans dat ijs op mensen valt te reduceren. Turbines kunnen, als dat nodig is, worden voorzien van een interne bladverwarming die gaat werken als er kans is op ijsafzetting. Bij risicovol weer worden ook wel 'ijswachten' aangesteld die met een verrekijker in de gaten houden of afvallend ijs kan optreden.

VLIEGVEILIGHEID

Installaties hoger dan 150 meter moeten volgens voorschrift van de Internationale Burgerluchtvaart Organisatie (ICAO) waarschuwingslichten hebben voor de luchtvaart. In de buurt van vliegvelden en aanvliegroutes moeten ook lagere obstakels van lichten zijn voorzien. Windturbines moeten steeds vaker aan deze verplichting voldoen. Ze worden immers steeds groter, waardoor de (tip)hoogte die 150 meter-grens overschrijdt. Op de gondel van deze windturbines worden veiligheidslichten gemonteerd. De turbines zijn dan beter te zien vanuit de cockpit van een overvliegend vliegtuig. De herkenningslichten zijn zo veel mogelijk naar beneden afgeschermd. Toch zijn ze vaak – zeker bij helder weer – op de grond van grote afstand te zien.

Hoge windturbines moeten veiligheidsverlichting hebben voor de luchtvaart

Dit wordt vooral 's nachts als hinderlijk ervaren, omdat de horizon bij een windpark dan vergeven is van rood knipperende lichten. Dit doet zich bijvoorbeeld voor bij windpark Prinses Alexia dat in 2013 door energiebedrijf Nuon bij Zeewolde, in het zuidelijke deel van Flevoland, is neergezet. In het park staan 36 turbines met elk een elektrisch vermogen 3,5 MW. De tippen van de bladen (met een bladlengte van 50 meter) komen boven de 150 meter uit. Op de gondels zijn led-lampen gemonteerd die overdag wit en 's nachts rood branden. Deze verlichting kan vanuit veiligheidsoogpunt niet worden gemist. Parkeigenaar Nuon is in 2014, samen met de overheid, bij het windpark Alexia onderzoek begonnen om uit te vinden hoe lichthinder tot een minimum kan worden beperkt. Er worden drie varianten onderzocht:

- Contourverlichting: alleen de lampen aan de buitenranden van het park branden
- Vaste verlichting: de lampen knipperen niet, maar branden vast
- Variabele lichtintensiteit: de helderheid van de lampen wordt afgestemd op het weer.

Omwonenden kunnen mee doen aan het onderzoek en zich aanmelden via een website ℹ *153*.

De windturbines op land van het windpark Noordoostpolder hebben een tiphoogte van bijna tweehonderd meter. In de vergunning is vastgelegd dat de turbines om en om van veiligheidsverlichting worden voorzien. Er is weleens de suggestie gedaan om hoge windparken van een radarsysteem te voorzien dat ervoor zorgt dat de verlichting aangaat als er een vliegtuig nadert. Omdat zo'n radarsysteem niet 100% betrouwbaar is, is deze oplossing niet toegestaan.

Hoge windturbines hebben een verlichting op de gondel als waarschuwing voor vliegtuigen.

RADAR

Windturbines kunnen vliegtuigen nog op een andere manier 'in de weg' zitten, doordat ze radarsystemen van de burgerluchtvaart en defensie verstoren. Radarsystemen op militaire vliegvelden en op Schiphol moeten vliegtuigen op een hoogte van honderd meter kunnen zien. En dus mogen er geen windturbines zijn in de buurt van die radarinstallaties. Elders in Nederland moeten radarsystemen van defensie zicht hebben vanaf een hoogte van ruim driehonderd meter. Windturbines zijn toegestaan als ze dit zicht niet hinderen. Windturbines kunnen niet alleen in het zicht van een radar staan. De stalen mast en (draaiende) bladen geven ook reflecties die radar kunnen 'verblinden'. Radarverstoring krijgt de komende jaren een nieuwe dimensie nu windturbines steeds hoger worden.

Tegenwoordig wordt de beeldinformatie van verschillende radarinstallaties aan elkaar gekoppeld waardoor vliegtuigen beter kunnen worden waargenomen en 'valse' informatie van windturbines kan worden uitgefilterd. Toch kunnen grotere windparken radarsystemen nog steeds verstoren.

In 2012 is daarom de *Regeling Algemene Regels Ruimtelijke Ordening* (Rarro) opgesteld. In bijlage 8.4 is een kaart opgenomen met de militaire radarstations en de radarverstoringsgebieden ℹ *155*. De kaart laat zien dat in vrijwel heel Nederland radarverstoring kan optreden. TNO heeft een rekenmodel, genaamd 'Perseus' ontwikkeld, waarmee de invloed van een windpark op de gevoeligheid van militaire radarsystemen is te berekenen ℹ *156*.

Daarnaast zijn er gebieden die door civiele radarstations worden gedekt. In al die gebieden moet door de Luchtverkeersleiding Nederland (LVNL) worden getoetst of er belemmeringen zijn voor radarsystemen.

Door de nieuwe regels, die sinds 2011 van kracht zijn, is de kans toegenomen dat radar een belemmering vormt bij de bouw van een windpark. Vanaf 2013 is de overheid in overleg met de brancheorganisatie NWEA om belemmeringen zoveel mogelijk weg te nemen. Overige informatie is te vinden op de website van RVO, de uitvoeringsdienst van het Ministerie van Economische Zaken ℹ *157*.

UIT DE POSTZEGELVERZAMELING

Postzegels vormen de spiegel van de samenleving. Ze illustreren vaak wat er aan belangrijke zaken gebeurt in een samenleving. En dus zijn ook windmolens dankbare onderwerpen. In 1905 werd voor het eerst een windmolen op een postzegel afgebeeld. In Spanje, ter gelegenheid van het driehonderdjarige geboortejaar van het beroemde boek dat de Spaanse schrijver Cervantes in 1605 schreef over Don Quichot van La Mancha, een vernuftige edelman die met enige regelmaat de weg kwijt was en dan windmolens voor reuzen aan zag.

In Nederland verschijnt in 1932 de eerste postzegel met daarop een typisch Hollandse poldermolen uit Kinderdijk. De postzegel, onderdeel van een serie van vier, werd uitgegeven ten bate van de ANVV, de “Algemeene Nederlandsche Vereeniging voor Vreemdelingenverkeer”, de voorloper van de VVV. De toeslag op de postzegel werd gebruikt om het budget van de vereniging te spekken en toerisme te bevorderen.

Er zijn in veel landen postzegels verschenen met de traditionele Hollandse windmolen. Er is zelfs een club van postzegelverzamelaars die zich speciaal op dit thema richt, de Windmill Study Unit (WSU) 149. Deze internationale club met veel leden in Nederland, geeft elk kwartaal een nieuwsbrief uit met de nieuwste postzegels op molengebied.

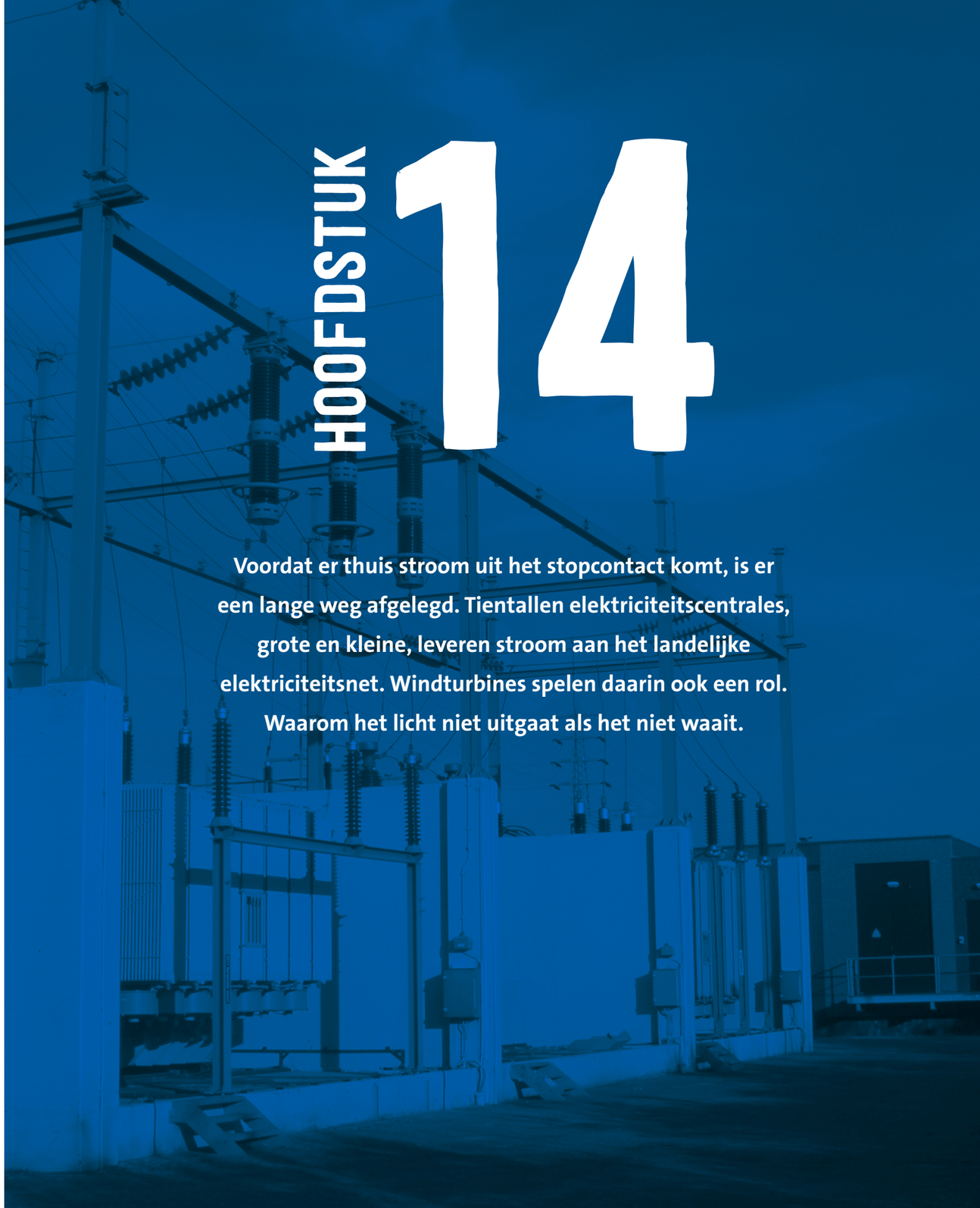
In de vijftiger en zestiger jaren verschenen er op postzegels in Rusland en in Papoea Nieuw-Guinea (!) kleine windmolentjes voor elektriciteitsproductie. De afgebeelde molens produceerden stroom voor een onderzoeksstation in een afgelegen gebied.

Ook de moderne windturbine kon niet achterblijven. In Nederland verscheen in 1986 de eerste postzegel met een moderne windturbine erop. De zegel werd uitgegeven ter gelegenheid van de opening van het windpark in het Friese Sexbierum, het eerste windpark in Nederland met achttien turbines van 300 kilowatt elk. Het park, dat werd gefinancierd door de SEP (Samenwerkende Elektriciteits-Productiebedrijven; nu TenneT), was echter geen lang leven beschoren. De turbines van Nederlandse makelij vertoonden veel mankementen.

Er zijn wereldwijd inmiddels een honderdtal postzegels verschenen met daarop een moderne turbine, uiteraard in windlanden bij uitstek zoals Denemarken en Nederland maar ook bijvoorbeeld op de Tuvalu-eilanden in de Stille Oceaan, een land dat deels leeft op de uitgifte van postzegels.

In 2007 hebben de Deense posterijen een serie van vier postzegels uitgegeven waarop de ontwikkeling van de windturbine vanaf 1891 tot 2000 te zien is. De molens zijn schetsmatig getekend. Op de eerste (goedkoopste) zegel staat een tekening van de molen, die de Deense meteoroloog Poul La Cour in 1891 neerzette in Askov, Denemarken. De molen was de eerste Deense molen die elektriciteit produceerde. Op de duurste postzegel in de serie staan turbines uit het offshore windpark Middelgrunden, enkele kilometers voor de kust bij Kopenhagen. Sinds het jaar 2000 produceren daar twintig van deze megawatt-turbines elektriciteit.

De postzegelverzameling.



HOOFDSTUK 14

Voordat er thuis stroom uit het stopcontact komt, is er een lange weg afgelegd. Tientallen elektriciteitscentrales, grote en kleine, leveren stroom aan het landelijke elektriciteitsnet. Windturbines spelen daarin ook een rol. Waarom het licht niet uitgaat als het niet waait.

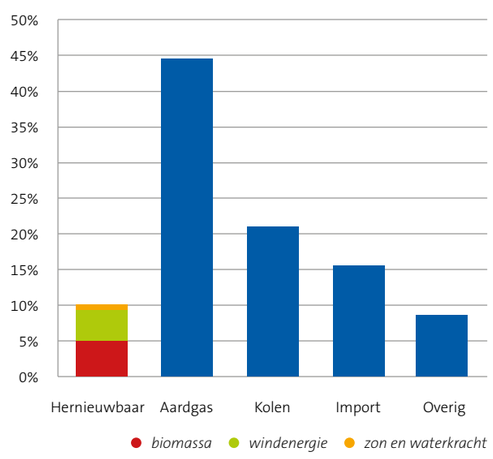
VAN WINDTURBINE TOT STOPCONTACT

Elektriciteit – of stroom – is een *secundaire energiedrager*. Elektriciteitscentrales gebruiken primaire energiedragers zoals steenkool, uranium of aardgas om deze te maken. Bij de verbranding ervan komt warmte vrij. De stoom die daarmee wordt gemaakt, drijft een elektrische generator aan. Die maakt, net als een fietsdynamo, stroom.

ELEKTRICITEITSPRODUCTIE

In Nederland werd in 2013 ongeveer 110 terawattuur (TWh; 1 TWh = miljard kWh) aan elektriciteit gebruikt. Deze werd gemaakt door een mix van meer dan twintig grote elektriciteitscentrales, decentrale eenheden bij bedrijven en hernieuwbare (duurzame) bronnen als windturbines en zonnepanelen. Figuur 14-1 laat de herkomst van de stroom in Nederland in 2013 zien. De cijfers zijn ontleend aan het rapport 'Energietrends 2014' van het ECN en 'Elektriciteit in Nederland' van het CBS [161, 162]. Aardgasgestookte eenheden leverden bijna de helft van de stroom en kolencentrales waren goed voor een-vijfde van de productie. Ongeveer 15% van de stroom werd geïmporteerd uit met name Duitsland en Frankrijk. Hernieuwbare bronnen, voornamelijk biomassa en windenergie leverden ongeveer tien procent van de gebruikte stroom.

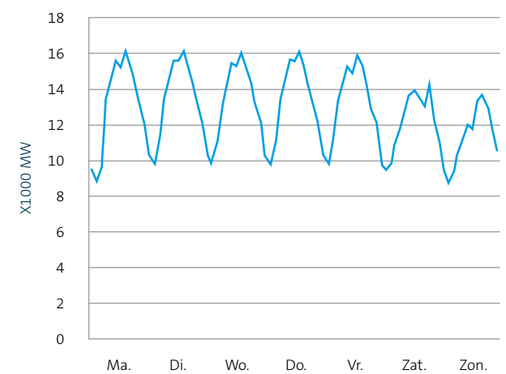
Figuur 14-1. De herkomst van de stroom in Nederland, in 2013.



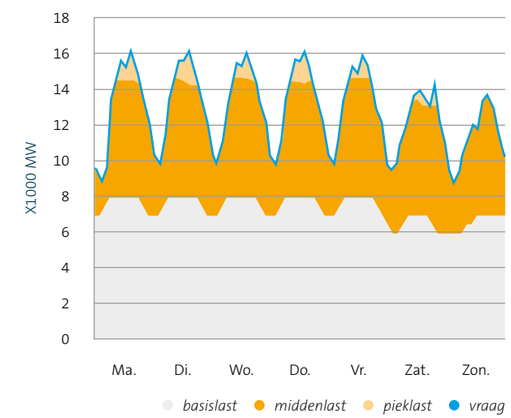
Centrales zijn meestal groot en hebben vaak een vermogen van vele honderden tot meer dan duizend megawatt. Ze draaien niet altijd op hun volle vermogen (vollast) en kunnen worden bij-geregeld, afhankelijk van de vraag naar elektriciteit, die verschilt van uur tot uur en van dag tot dag. In figuur 14-2 is een fictief belastingpatroon te zien over de week. De vraag naar elektriciteit is overdag veel groter dan 's nachts. Ook is te zien dat er in het weekend veel minder stroom wordt gebruikt dan door de week.

Elektriciteit is niet op grote schaal op te slaan. De productie en vraag moet daarom van seconde tot seconde op elkaar worden afgestemd. Die balans wordt bereikt door voortdurend centrales op en af te regelen. Om dit soepel te laten verlopen zijn productie-eenheden in Nederland in een aantal categorieën verdeeld. De basisvraag aan elektriciteit, in figuur 14-2 iets meer dan 8.000 MW (= 8 gigawatt), wordt geleverd door zogeheten basislast-centrales. Ze leveren continue stroom voor apparaten als koelkasten thuis, verlichting in kantoren of voor machines die de hele dag aanstaan. Het is de zogeheten basisvraag. Deze eenheden kunnen niet erg snel worden op- en afgeregeld. Het zijn deels kolencentrales die tegen relatief

Figuur 14-2. Voorbeeld hoe de vraag naar elektriciteit varieert door de week.



Figuur 14-3. De invulling van de elektriciteitsvraag met verschillende typen centrales. Ontleend aan het proefschrift van Ummels [163]



lage kosten (steenkolen zijn gerekend naar energie-inhoud goedkoper dan aardgas) stroom produceren.

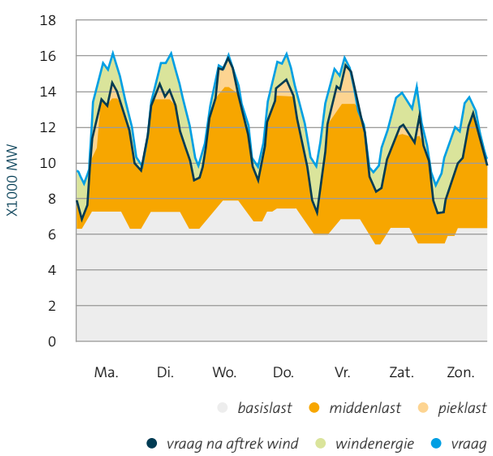
Vraag en aanbod worden voortdurend met elkaar in balans gebracht

Het resterende gat tussen de elektriciteitsvraag en de geproduceerde basislast wordt opgevuld met middenlast- en piekcentrales. Middenlastcentrales zijn redelijk snel op en af te schakelen. Ze zijn in staat aan de snel stijgende vraag naar stroom 's morgens vroeg, na de rustige nacht, te voldoen. Tot slot zijn er nog enkele snel startende centrales die een piekvraag naar stroom opvangen, bijvoorbeeld als iedereen naar een voetbalwedstrijd op tv gaat kijken. Middenlast- en pieklastcentrales draaien overwegend op aardgas. In figuur 14-3 is te zien hoe de vraag naar elektriciteit, zoals weergegeven in figuur 14-2, door verschillende types elektriciteitscentrales wordt opgevangen. Voortdurend staat ook een deel van de centrales *'stand-by'*, zonder dat ze stroom leveren, wachtend op een schakelsignaal. Met deze zogenaamde *draaiende reserve* kan een plotselinge storing in één van de productie-eenheden of een snelle stijging in de vraag worden opgevangen. De landelijke netbeheerder TenneT bepaalt van uur tot uur welke productie-eenheden er in bedrijf moeten zijn. De keuze is zo dat onverwachte situaties altijd kunnen worden opgevangen.

DE ELEKTRICITEITSBALANS

Ook windturbines leveren hun elektriciteit aan het elektriciteitsnet. TenneT beschouwt windparken als kleine elektriciteitscentrales. Ze worden meegenomen in de dagelijkse landelijke centrale planning. Er is echter een groot verschil met andere eenheden: de wind laat zich niet sturen. De productie van windstroom loopt niet gelijk op met de vraag naar elektriciteit. Er zijn momenten dat de vraag groot is en de productie gering, en omgekeerd. Zolang windturbines maar een bescheiden deel van de totale productie voor hun rekening nemen, zijn windfluctuaties gemakkelijk door andere eenheden op te vangen. In figuur 14-4 is de (fictieve)

Figuur 14-4. Windturbines leveren een deel van de elektriciteit.



bijdrage van windturbines aan de elektriciteit productie voor een week aangegeven. Er is gerekend met een vermogen van 2.500 MW aan windturbines (ongeveer het windvermogen in 2014 in Nederland). De windproductie (groen gearceerd) schommelt, tussen niets en meer dan tweeduizend megawatt, afhankelijk van het windaanbod op dat moment. Uit het proefschrift van Bart Ummels, waarop hij in 2009 promoveerde op de TU Delft, blijkt dat bestaande centrales geen enkele moeite hebben de vraag te volgen door slim terug-regelen van basis- en middenlast-eenheden 163. De computersimulaties tonen aan dat de bestaande mix aan centrales in Nederland flexibel genoeg is. Windenergie laat zich bovendien steeds beter voorspellen op basis van meteorologische gegevens. Alle (grote) windparkbeheerders leveren tegenwoordig dagelijks een productievoorspelling voor hun windturbines in bij TenneT, dat vervolgens de inzetstrategie bepaalt van alle elektriciteitscentrales. Windturbines blazen hun partijtje mee in de productie en verdringen zo de productie van stroom uit fossiele elektriciteitscentrales.

Hoe dat in de toekomst moet als alle ambitieuze bouwplannen van windparken worden gerealiseerd? Bij een verdere groei moeten extra maatregelen worden genomen. De overheidsdoelstelling is om in 2023 ruim tienduizend megawatt (6.000 MW op land en 4.500 op zee) aan het elektriciteitsnet te hebben gekoppeld. In een studie van het onderzoeksinstituut KEMA uit 2010 is met computersimulaties naar de inpassing hiervan gekeken 164. Er kan ongeveer 12.000 MW windenergie zonder problemen aan het Nederlandse net worden gekoppeld, blijkt uit die studie. Denemarken en Duitsland, landen met veel windturbines, tonen aan dat via extra koppelingen met het buitenland en slimme schakelstrategieën, er veel windturbines kunnen draaien zonder dat bij windstilte het licht uit gaat. Het Nederlandse stroomnet kan er op rekenen dat buitenlandse centrales bij zullen springen als hier de wind (deels) wegvalt. Het is niet te verwachten dat de wind in heel Europa in één keer wegvalt; het waait altijd wel ergens. Er zijn daarom plannen om de kabelcapaciteit naar het buitenland te vergroten.

SLIMME INZET WINDTURBINES

Windenergie heeft een aantal voordelen die de elektriciteitsvoorziening in positieve zin kunnen beïnvloeden:

- Elke windturbine is een kleine productie-eenheid. De kans dat een groot aantal windturbines, verspreid over het land, gelijktijdig uitvalt, is klein. De draaiende reserve voor het opvangen van windfluctuaties kan daarom kleiner zijn dan voor conventionele eenheden.
- Wanneer het flink waait, zijn windturbines te vergelijken met zeer snel op- en afschakelbare eenheden. Ze kunnen met een slimme inzetstrategie worden gebruikt om pieken in de stroomvraag op te vangen.

Windturbines vervangen stroomproductie van fossiele centrales

Een andere mogelijkheid is de opslag van elektriciteit op momenten dat er weinig vraag is naar elektriciteit, bijvoorbeeld 's nachts of in het weekend. Wanneer windturbines dan volop draaien, kan de geproduceerde stroom worden opgeslagen. Op piekmomenten kan die weer worden teruggehaald. Een eerste koppeling met het buitenland waarbij zoiets gebeurt, is er al. Sinds tien jaar ligt er een kabel die het Nederlandse stroomnet vanuit de Eemshaven verbindt met Noorwegen. De verbinding van 600 MW is qua vermogen vergelijkbaar met een kolencentrale. Tijdens daluren - 's nachts - gaat er goedkope stroom naar Noorwegen om het waterpeil in natuurlijke opslagbekkens daar omhoog te pompen. Tijdens piekuren gaat stroom de andere kant op en leveren Noorse waterkrachtcentrales stroom aan Nederland.

In het begin van de tachtiger jaren van de vorige eeuw zijn uitgebreide studies uitgevoerd om hier vergelijkbare, kunstmatige waterbekkens te bouwen in het Markermeer, het zogeheten Lievense-plan, genoemd naar de ideeënmaker (zie kader). Er zijn indertijd veel berekeningen uitgevoerd. De technische mogelijkheden en kosten van verschillende opslagsystemen zijn doorgerekend. De resultaten waren steevast dezelfde: grootschalige opslag van elektriciteit in miljarden euro's kostende waterbekkens is niet rendabel.

HOE STROOM THUIS KOMT

Elektriciteit gaat in drie stappen van een centrale naar de klant thuis. In figuur 14-5 (pagina 178) is dit schematisch weergegeven. Elektriciteitscentrales leveren de geproduceerde elektriciteit aan het hoogspanningsnet, dat wordt beheerd door de landelijke netbeheerder, TenneT. Het hoogspanningsnet is bijna overal bovengronds en te herkennen aan hoge elektriciteitsmasten in het landschap. Grote windparken zijn direct aangesloten op dit hoogspanningsnet. Op het net staat een spanning van 110 – 360 kilovolt (kV) waardoor energieverliezen bij het transport beperkt blijven tot minder dan 1%.

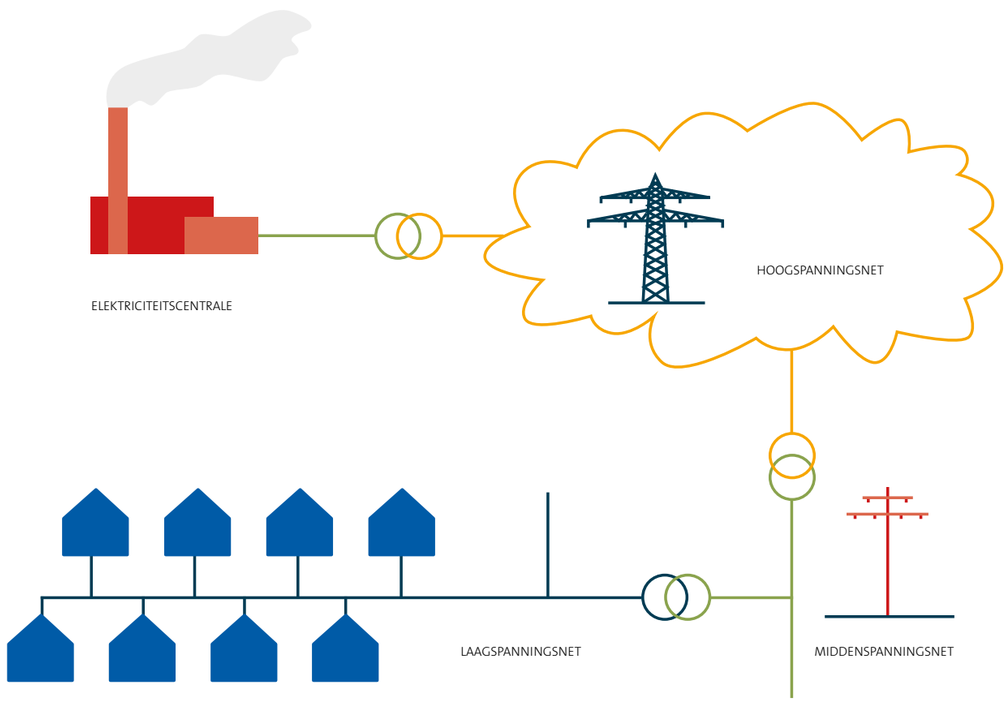
Op het internet is informatie beschikbaar over het landelijke hoogspanningsnet dat op een aantal plaatsen is gekoppeld aan netten in het buitenland 160. Er zijn koppelingen met Duitsland en België en vanuit de Eemshaven loopt een onderzeese kabel naar Noorwegen. Om aan de toenemende vraag naar elektriciteit te kunnen voldoen wordt het hoogspanningsnet continu uitgebreid en worden nieuwe centrales, waaronder windparken aangesloten. TenneT gaat de komende jaren op de Noordzee op offshore-constructies koppelpunten bouwen. Windparken op zee kunnen op deze *'stopcontacten op zee'* worden aangesloten. TenneT heeft in 2015 berekend dat de investeringskosten hiervan in totaal ongeveer twee miljard euro bedragen. De kosten zijn ongeveer 1,5 eurocent per kilowattuur en daarmee ongeveer 40% lager in vergelijking met een aparte netaansluiting van elk windpark op zee.

Vanuit het hoogspanningsnet gaat elektriciteit vervolgens naar verschillende *onderstations* verspreid over het land. Daar wordt met transformatoren de

hoogspanning naar een lagere *'midden-spanning'* teruggebracht. Op de foto is zo'n onderstation te zien. Er staan in Nederland honderden van deze stations. Ze zijn onbemand en worden op afstand bediend door de netbeheerder. De stroom wordt vanuit deze onderstations via een fijnmaziger *'distributienet'* verder getransporteerd naar distributiestations in wijken en naar grote bedrijven. Dit gebeurt op een midden-spanningsniveau van 10 duizend tot 50 duizend Volt (tien tot vijftig kV). Kleinere centrales en windparken (tot ongeveer vijftig MW) worden direct op dit deel van het elektriciteitsnet aangesloten. Het distributienet ligt in Nederland hoofdzakelijk ondergronds, in bermen van wegen en onder trottoirs. Het net komt uit bij *'trafohuisjes'* die overal in de stad en op het platteland te vinden zijn. Sommigen zijn tientallen jaren oud en opgebouwd uit baksteen. De moderne variant is een prefab-huisje van beton, vaak met een gewassen grindbekleding aan de buitenkant.

In een trafohuisje wordt de midden-spanning verder teruggebracht naar het spanningsniveau van 230 Volt. Zo komt stroom thuis binnen. Windenergie bereikt het stopcontact thuis via dezelfde leiding als de rest van de geproduceerde stroom. Bij het stopcontact valt geen onderscheid te maken. De levering van zogenaamde 'groene stroom' is louter een administratieve kwestie. De leverancier moet aantonen dat hij net

Figuur 14-5. De opbouw van het elektriciteitsnet.



Onderstation Bergweide in Deventer.

zoveel duurzame stroom heeft geproduceerd of ingekocht als hij aan zijn klanten heeft geleverd. Met het overleggen van zogenaamde groencertificaten (ook wel 'Garanties van Oorsprong' genoemd), die bij de productie van groene stroom door een onafhankelijk instituut worden afgegeven, vindt dit plaats.

Duurzame energie ontvangt bij de productie subsidie. Voor de leverancier hoeft de stroom dus niet duurder te zijn dan met fossiele brandstof geproduceerde elektriciteit. De verkoop van windenergie is dus voornamelijk een marketing instrument dat de leverancier nauwelijks iets kost.

De midden- en laagspanningsnetten worden beheerd door regionale netbeheerders, zoals Stedin, Enexis en Liander. Deze bedrijven zijn begin van deze eeuw afgescheiden van de energiebedrijven. Netbeheerders zijn in handen van de overheid; de energiebedrijven die voor de productie en levering van elektriciteit zorgdragen, zijn in de loop der jaren geprivatiseerd.

Een ouderwets trafohuisje aan de Boxbergerweg in Deventer.

LIEVENSE-BEKKEN OM GRILLIGE WIND TE TEMMEN

Wind is grillig. Het waait niet altijd en ook niet altijd even hard. Een energiebuffer om overtollige stroom tijdelijk op te slaan om later te gebruiken, zou wonderen kunnen doen. In zo'n buffer kan windstroom worden opgeslagen als het hard waait en deze stroom niet nodig is. Als het minder waait, kan die stroom er weer uit worden gehaald.

Waterbouwkundig ingenieur Luc Lievense ontwierp in de jaren zeventig van de vorige eeuw een spraakmakend plan. In de eerste schetsen van zijn Plan Lievense stelde hij een grote waterbak voor met een enorme hoge ringdijk van dertig meter hoog. Dit spaarbekken zou in het Markermeer moeten komen. Een oude notitie uit 1983 geeft een mooi inkijkje in dit plan 165. Grote pompen in de ringdijk moesten bij harde wind met overtollige windstroom vooral 's nachts water vanuit het IJsselmeer het spaarbekken inpompen. Bij windstil weer moesten de pompen, met een gezamenlijk elektrisch vermogen van 1.200 megawatt (vergelijkbaar met twee kolencentrales), worden omgeschakeld om water uit het bekken (waar het hoger stond) in het IJsselmeer terug te laten stromen. De pompen, draaiend op het hoogteverschil tussen water in de buffer en in het IJsselmeer, produceren zo elektriciteit.

In de eerste schetsen ging Lievense uit van een reusachtig spaarbekken met een oppervlakte van 165 vierkante kilometer, zo'n vijftien procent van het IJsselmeer. Het idee sprak tot de verbeelding maar ging ten onder aan het megalomane karakter ervan en het daarmee gepaard gaande grote risico op een soort tsunami op het IJsselmeer bij dijkbreuk. Lievense reduceerde daarom een paar jaar later, in 1981, de bekkengrootte tot enkele tientallen vierkante kilometers met een veel lagere ringdijk van twaalf meter hoogte. Hiertegen zou veel minder landschappelijk verzet zijn, zo verwachtte hij. Op de ringdijk moesten vierhonderd windturbines komen van 1 tot 1,5 megawatt elk. Men vond dit toen grote turbines.

Sindsdien hebben diverse commissies en studiegroepen zich gebogen over opslagbuffers om de grilligheid van wind af te vlakken en grootschalige inpassing van windenergie in het elektriciteitssysteem eenvoudiger te maken. Er zijn de afgelopen jaren talloze waterspaarbekkens op tekentafels ontworpen. Een mooi voorbeeld in een modern jasje is het ontwerp dat het onderzoeksinstituut KEMA samen met Bureau Lievense maakte. De studie werd uitgevoerd in opdracht van enkele elektriciteitsbedrijven. Figuur 14-6 laat een artist impression zien van het voorgestelde energie-eiland waarin 1.500 megawatt aan (wind)vermogen tijdelijk opgeslagen zou kunnen worden. Het eiland in zee moest met een tientallen kilometers lange kabel worden verbonden met het vasteland. Op het eiland, met centraal het waterbekken, was ruimte gereserveerd voor een LNG-terminal, chemische bedrijven en recreatie.

Ook andere opslagopties, zoals de bouw van grote waterbekkens ondergronds en de opslag van perslucht in zoutholtes, zijn indertijd diepgaand bekeken. De ideeën verdwenen uiteindelijk in diepe laden omdat uit economische berekeningen zonder uitzondering bleek dat de investering, al gauw in de grootteorde van vele miljarden euro's, nooit terugverdiend kon worden. Begin 2015 overleed Lievense, op 90-jarige leeftijd.

In België, waar Lievense, lang heeft gewoond, lijken zijn ideeën werkelijkheid te worden. De Belgische overheid heeft plannen ontwikkeld voor de bouw van een ringvormig eiland, vijf kilometer voor de kust van Wenduine/Zeebrugge. Het eiland, met een diameter van enkele kilometers, krijgt dijken van tien meter hoogte met in het midden een metersdiepe wateropslag-put. De technische details moeten verder worden uitgewerkt. Het energie-eiland zou in 2020 in bedrijf moeten zijn. Het Belgische elektriciteitsbedrijf Elektrabel en de Belgische baggerbedrijven Deme en Jan De Nul zouden, samen met privé-investeerders, de bouw moeten financieren, zo stelt de Belgische overheid zich voor. Elektrabel heeft sinds 1997 bij Coo/Trois Points in de Ardennen al de beschikking over een groot waterbekken.

Figuur 14-6. Weergave van een energie-opslagbekken in zee. Bron: Gebroeders Das.

SALDEREN VAN STROOM

Bijna niemand weet wat hij betaalt voor stroom; wie kijkt er nu naar zijn elektriciteitsrekening? De nota is opgebouwd uit een aantal componenten. Er zijn vaste kosten die, ongeacht het gebruik, per dag worden berekend en er zijn variabele kosten die voor elke afgenomen kilowattuur in rekening worden gebracht.

De consument betaalt voor een normale netaansluiting ruim 300 euro per jaar aan vaste kosten. De netbeheerder, die het onderhoud van het elektriciteitsnet verzorgt, krijgt hier 60% van. De overige 40 procent zijn service- en administratiekosten (ongeveer 20%) en BTW (21%). Een gemiddeld Nederlands gezin verbruikt ongeveer 3.500 kWh per jaar, zodat per verbruikte kWh ongeveer een dubbeltje aan vaste kosten wordt betaald. Meer en interessanter zijn de variabele kosten, per kilowattuur. Ze zijn uit de volgende componenten opgebouwd (bedragen bij benadering in 2015):

1. Levering (normaal tarief):	7,2 cent/kWh
2. Energiebelasting:	11,9 cent/kWh
3. Opslag Duurzame Energie:	0,3 cent/kWh
4. BTW (21%):	4,1 cent/kWh
Totaal:	23,5 cent/kWh

In de leveringskosten zitten alle kosten van elektriciteitscentrales, waaronder de brandstofkosten. Door de lage olieprijs zijn deze in 2015 relatief laag. 70% van de variabele kosten gaat naar de belasting. Een gemiddeld huishouden, met een stroomverbruik van 3.500 kWh per jaar, betaalt zo aan variabele en vaste kosten samen een kleine honderd euro per maand voor elektriciteit.

Salderen van geproduceerde zonnestroom

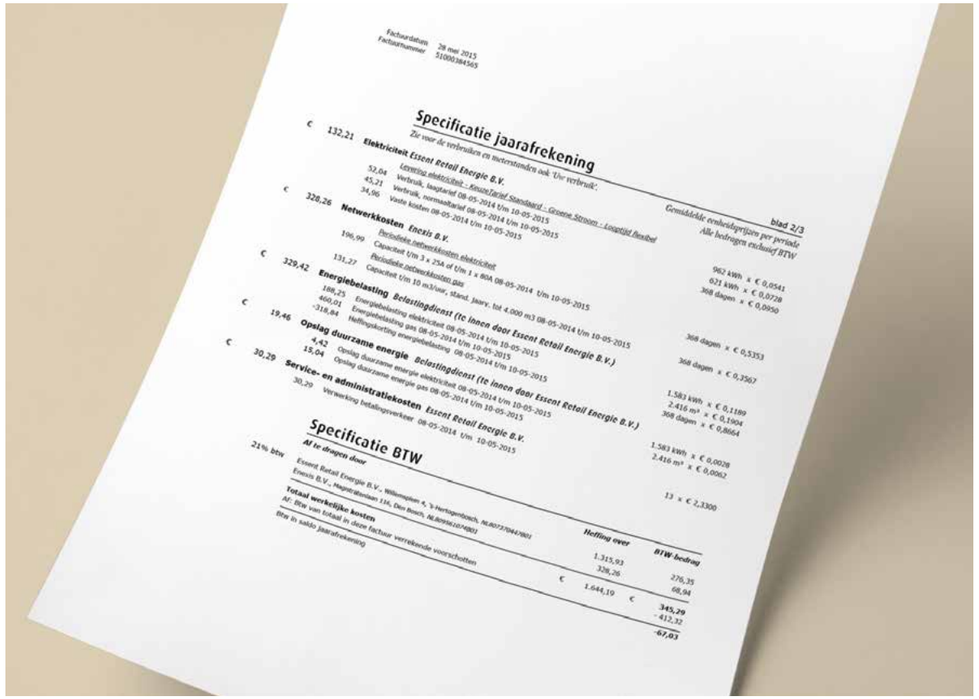
De leverancier, een energiebedrijf, koopt de stroom op de stroommarkt (zie hoofdstuk 7) en berekent de prijs die hij daar betaalt door aan de klant, via het leveringstarief. Windturbines leveren stroom aan het landelijke net en staan 'voor de meter van de klant'. Windstroom wordt dus, net als conventionele stroom, tegen groothandelsprijs ingekocht.

Bij zonnepanelen op het dak van een woning is dit anders. Deze worden 'achter de meter' aangesloten. De stroom die ze opwekken wordt afgetrokken van het eindverbruik van de klant, de meter draait 'terug' als het zonnig is. Het gevolg is dat de klant op jaarbasis minder stroom afneemt en dus 23,5 cent per kilowattuur bespaart voor de zelfopgewekte hoeveelheid zonnestroom. *Salderen* heet dit 'terugdraaien' van de meter thuis. Het betekent ook dat de overheid minder belastinggeld binnenkrijgt. Deze wijze van afrekenen, het salderen, maakt zonnepanelen aantrekkelijk voor consumenten.

De consument spaart 23,5 cent per kilowattuur uit, terwijl de leverancier deze had kunnen kopen voor ongeveer vijf à zes cent per kilowattuur, op de energiebeurs. Energieleveranciers en de belastingdienst subsidiëren zo dankzij deze salderingsafspraak, indirect, zonne-energie.

Salderen is alleen toegestaan voor stroom die achter de meter is opgewekt. Windmolencoöperaties pleiten ervoor de stroomproductie van hun windturbine op dezelfde manier door te berekenen in de factuur van hun leden. Windenergie zou dan lucratief worden en geen subsidie meer nodig hebben. In beide gevallen betaalt BV Nederland de rekening.

Figuur 14-7. De elektriciteitsrekening.



VERANTWOORDING

Windpark Noordoostpolder. Bron: Klaas Eissens AV Producties.

SAMENWERKING

Windenergie staat volop in de belangstelling. Het idee voor dit boek ontstond toen het einde van de 25-jarige loopbaan in de energiesector van één van de auteurs, Guido Bakema, in beeld kwam.

Windenergie roept talloze vragen op. Een objectief, leesbaar boek voor een breed publiek over alle feiten rondom windenergie bestaat niet. Zo'n boek creëren is tegelijk een goede markering van zijn afscheid bij energiebedrijf RWE/Essent. Het leidde tot een samenwerking met wetenschapsjournalist Broer Scholtens, die de beschikbare windkennis voorzag van vragen en kritische kanttekeningen. De samenwerking heeft geresulteerd in dit boek, waarin vragen die gedurende 25 jaar vele malen – en de laatste jaren steeds vaker – zijn gesteld, op heldere wijze worden beantwoord.

Zonder de ruimte en ondersteuning van RWE/Essent en zijn collega's was dit boek niet tot stand gekomen. Ook de directe, enthousiaste reacties van velen heeft hen gesteund bij het tot stand brengen van dit boek. Diverse experts (in alfabetische volgorde: Aaldert, Ben, David, Hans, Mike, Reint en anderen) hebben hun bijdrage geleverd en geholpen de puntjes op de i te zetten. Waarvoor dank.

Dank aan Joke en José; zij accepteerden dat de auteurs af en toe ergens anders met hun gedachten waren.

FOTOBRON

Alle afbeeldingen zijn gemaakt door Guido Bakema met uitzondering van:

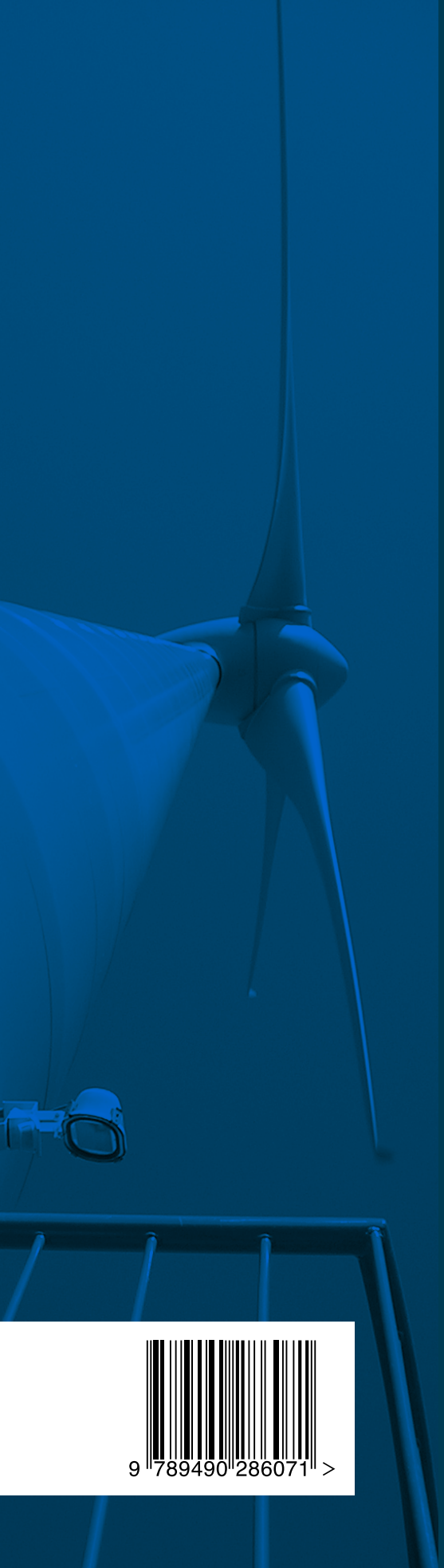
Pagina	Bron
16	www.nrcnext.nl
20	Dollar Photo Club
22	Dollar Photo Club
26	Broer Scholtens
37	www.popsci.com
38	www.windenergyevents.com
52 (1)	www.wikipedia.org
52 (2)	www.straatkaart.nl
54 (1)	Western Reserve Historical Society
54 (2)	Lokalhistorisk Arkiv
57	www.wind-turbine-models.com
64	DNV-GL
65	Enercon
66 (1)	Enercon
78	www.windlogger.eu
101	Enercon
109	www.windenergie-magazine.nl
107	Klaas Eissens AV Producties
111	Dollar Photo Club
112-113	www.ampyxpower.com
120	GE
122	Klaas Eissens AV Producties
123 (1)	Bürger Initiativ Weitblick Ostfriesland
123 (2)	Bosch en van Rijn
126-127	Schilderij: July Leesberg
133	www.windparkwieringermeer.nl
131	Dollar Photo Club
133	www.windvogel.nl
139	Allan C. Donque
148-149	www.scheemda.straatinfo.nl
	Wout van Groenesteijn
160	Hans Röben
165	Hein Akerboom
166	www.hartvannederland.nl
	Hielke Weening
168	www.windmolenverlichting.nl
181	Gebroeders Das

ECN testveld in de Wieringermeer.

OVER DE AUTEURS

GUIDO BAKEMA (1950) studeerde elektrotechniek en bedrijfskunde aan de Universiteit Twente. Hij werkte vanaf 1985 als wetenschappelijk onderzoeker bij het Energieonderzoek Centrum (ECN) in Petten, met 'duurzame energie' als specialisatie. Bakema is medeoprichter van Kennemerwind, één van de eerste windmolencoöperaties in Nederland. In 1990 stapte hij over naar energiebedrijf IJsselmij (nu Essent/RWE). Daar heeft hij bijgedragen aan de bouw van enkele grote windprojecten.

BROER SCHOLTENS (1949) studeerde scheikunde aan de Universiteit Utrecht en promoveerde er op onderzoek naar batterijen. Hij werkte vier jaar bij het tijdschrift De Ingenieur en bijna dertig jaar als wetenschapsjournalist bij de Volkskrant. Hij schreef jarenlang over technologie, (wind)energie, gezondheid, voeding en consumentenproducten.



ALLES OVER WINDENERGIE

Aan het eind van de vorige eeuw beleefde windenergie een voorzichtige revival in de vorm van windmolens die elektriciteit produceren. Inmiddels staan er in Nederland ruim 2.800 moderne windturbines; in 2014 wekten die 7% van de elektriciteit op.

Nederland wil, of beter gezegd *moet*, nog meer stroom uit windenergie produceren. Over vijf tot acht jaar staan er twee- tot drieduizend grote machines op land en vijftienhonderd op zee. Een derde van de stroom moet dan met duurzame energie worden geproduceerd.

Dit leidt tot dilemma's en conflicten. De meeste Nederlanders hebben sympathie voor windenergie. Maar als windturbines te dicht bij huis komen, de horizon domineren of veel geld lijken te kosten, wordt het een ander verhaal. Dan worden argumenten aangedragen om af te kunnen zien van het concrete windproject in de buurt. Sommige argumenten snijden hout, andere zijn ingegeven door gebrek aan feitelijke kennis.

Dit boek wil bijdragen aan het debat. Feiten over windenergie worden beschreven op een begrijpelijke manier. Van techniek tot milieu, van beleid tot werkgelegenheid. Het is vervolgens aan de lezer om een afgewogen conclusie te trekken. Voor de lezer die meer van een onderwerp wil weten, biedt het boek toegang tot een schat aan achtergrondinformatie, via een bijbehorende website.
Deze zal voortdurend worden geactualiseerd.

9 789490 286071 >

GEEN BLAD VOOR DE MOND
contentmarketing