



40560023-TDC 05-51014A

Monitoring windturbines pilot Energiek Wegdek

Arnhem, 6 juni 2005

auteurs R.J.F. van Gerwen, B. Taks
KEMA T&D Consulting

In opdracht van Ministerie van Verkeer en Waterstaat

auteurs: R.J.F. van Gerwen, B. Taks

beoordeeld: R.A. van Dijk

B 21 blz -- bijl RVG

goedgekeurd: T. de Zwart



© KEMA Nederland B.V., Arnhem, Nederland. Alle rechten voorbehouden.

Dit document bevat vertrouwelijke informatie. Overdracht van de informatie aan derden zonder schriftelijke toestemming van of namens KEMA Nederland B.V. is verboden. Hetzelfde geldt voor het kopiëren van het document of een gedeelte daarvan.

KEMA Nederland B.V. en/of de met haar gelieerde maatschappijen zijn niet aansprakelijk voor enige directe, indirecte, bijkomstige of gevolgschade ontstaan door of bij het gebruik van de informatie of gegevens uit dit document, of door de onmogelijkheid die informatie of gegevens te gebruiken.

INHOUD

	blz.
SAMENVATTING	4
1 Achtergrond en doelstelling	6
2 De meetopstelling	7
2.1 De gebruikte windturbines	7
2.2 De meetopstelling	9
2.3 Trillingen in de Turby-mast	12
3 Meetresultaten	13
3.1 Windsnelheid en de windrichting	13
3.2 Gemeten opbrengst van de windui	15
3.3 Opbrengst windui op basis gemeten windsnelheid	18
4 Conclusies & aanbevelingen	19
LITERATUUR	21

SAMENVATTING

In het kader van het programma “Wegen naar de toekomst” is het pilotproject “Energiek Wegdek” opgezet. Deze pilot, waarvan het idee afkomstig is van BAM, TU-Delft en Shell, wil een impuls geven aan de ontwikkeling van technieken en toepassingen die het mogelijk maken om het winnen van duurzame energie te combineren met infrastructuur. Onderdeel van dit project is het installeren en bemeten van een drietal kleine windturbines nabij een snelweg om elektriciteit op te wekken uit wind.

De drie windturbines (twee van het type “Windui” en een van het type “Turby”) zijn allen opgesteld ter hoogte van verzorgingsplaats De Brink naast de A50 (Apeldoorn). De Windui is een langzaamlopende turbine met een nominaal vermogen van 200 W bij een windsnelheid van 12 m/s. De Turby is een snellopende turbine met een nominaal vermogen van 2500 W bij een windsnelheid van 14 m/s. Vanaf juni 2004 tot en met mei 2005 zijn de prestaties van de windturbines bijgehouden.

De doelstelling van de metingen aan windturbines was daarbij om het potentieel van elektriciteitsopwekking door kleine windturbines nabij snelwegen in de praktijk te meten. Daarbij worden twee aspecten meegenomen:

- 1) het windpotentieel (hoeveel wind waait er)
- 2) de efficiëntie van de windturbines (hoeveel van het potentieel wordt gebruikt)

Het installeren en bemeten van kleine windturbines bleek nog geen standaard activiteit. Het meetproject heeft een aantal tegenslagen gekend die er toe hebben geleid dat van de drie windturbines er effectief slechts één gedurende een relatief korte tijd bemeten is.

Belangrijk is echter dat over een groot deel van de projectperiode windmetingen op de locatie gedaan zijn. Deze windmetingen geven aan wat het potentieel is voor elektriciteitsopwekking uit wind. Samen met de vermogenscurven van de windturbines geeft dit een schatting van de jaaropbrengst van de windturbines. De gemeten windsnelheden komen (met inachtneming van de onzekerheid door bijvoorbeeld de terreinruwheid) goed overeen met de door het KNMI in de De Bilt gemeten windsnelheden.

De opstelling van de Turby bleek kritisch. Door de relatief hoge draaisnelheid van de Turby bestaat het risico op het “aanstoten” van de eigenfrequenties van de mast. Deze komt in trilling en dit is zowel slecht voor de werking van de Turby als de levensduur van de mast. De

mast bleek niet eenvoudig trillingsvrij te maken en de Turby is uit bedrijf genomen. Er zijn dus geen opbrengstmetingen voor de Turby uitgevoerd. Voor een windturbine type Turby is de mastconstructie een belangrijk aandachtspunt.

Van de twee geïnstalleerde winduilen is er één om nog onopgehelderde reden elektrisch defect geraakt. Ook zijn beide omvormers tijdens de meetperiode defect geraakt. Bij het installeren van dit type windturbine is dus meer aandacht nodig voor de robuustheid van de elektrische componenten. Mechanisch zijn er gedurende de gehele meetperiode geen problemen met de winduilen opgetreden.

De gemeten vermogenscurve van de Windui blijkt, binnen de grenzen van de nauwkeurigheid van de vermogensmetingen en de windsnelheidsmetingen, goed overeen te komen met de door de fabrikant opgegeven curve.

De gemeten opbrengst van de Windui blijkt relatief laag te zijn ten opzichte van het nominaal vermogen. Om nog onopgehelderde redenen levert de Windui niet altijd elektriciteit of wordt de opbrengst niet gemeten als er wel voldoende wind voorhanden is. Dit zou nader onderzocht moeten worden. Daarnaast ligt het werkgebied van de Windui bij hogere windsnelheden (nominaal 12 m/s). De gemeten windsnelheden op locatie liggen hier met een gemiddelde van 2,5 m/s ruim onder. Dus ook met een correct functionerende windturbine zou de opbrengst laag zijn. Een remedie is bijvoorbeeld om de turbines hoger te plaatsen op zo vlak mogelijk terrein of andere turbines te gebruiken.

Op basis van de gemeten windsnelheden op locatie en de vermogenscurve van de windturbines kan de potentiële jaaropbrengst berekend worden. Deze bedraagt circa 148 kWh per jaar voor de Turby en 41 kWh voor de Windui. Gezien deze relatief lage opbrengst van de windturbines is het de vraag of deze typen windturbines in deze situatie rendabel zijn in te zetten. Een zorgvuldige inschatting van het windpotentieel en van de kosten van het op andere wijze realiseren van elektriciteit op dergelijke locaties zijn belangrijk.

1 ACHTERGROND EN DOELSTELLING

Het programma "Wegen naar de Toekomst" (WnT) is een innovatieprogramma van Rijkswaterstaat binnen het ministerie van Verkeer en Waterstaat. Dit programma richt zich vooral op het zoeken naar slimme oplossingen voor mobiliteit en infrastructuur. WnT ontwikkelt lange-termijn perspectieven en concrete proefprojecten en demonstraties, waarbij denken op lange termijn wordt gekoppeld aan doen op korte termijn.

In het kader van het programma "Wegen naar de toekomst" is het pilotproject "Energiek Wegdek" opgezet. Deze pilot, waarvan het idee afkomstig is van BAM, TU-Delft en Shell, wil een impuls geven aan de ontwikkeling van technieken en toepassingen die het mogelijk maken om het winnen van duurzame energie te combineren met infrastructuur. Dit project gaat uit van het gebruik van zogenaamde Peltierelementen om temperatuurverschillen in het asfalt om te zetten in elektriciteit en van kleine windturbines om rond een snelweg elektriciteit op te wekken uit wind.

Oorspronkelijk was de bedoeling de windturbines te plaatsen nabij de plek waar ook de Peltierelementen in het wegdek waren aangebracht (snelweg A18, Didam, ter hoogte van verzorgingsplaats Geulenkamp). Om vergunningstechnische redenen (bezwaren door omwonenden) bleek dit uiteindelijk niet mogelijk. Daarom zijn de beoogde drie windturbines opgesteld ter hoogte van verzorgingsplaats De Brink naast de A50 (Apeldoorn). Dit heeft geleid tot een vertraging van de opstelling van de windturbines omdat een nieuwe meetlocatie ook betekende dat een nieuwe vergunning moest worden aangevraagd en dat de meetopstelling moest worden aangepast.

De resultaten van de metingen aan de Peltierelementen waren daarom eerder afgerond en zijn separaat gerapporteerd (KEMA, 2005). De voorliggende rapportage beschrijft de opzet en resultaten van de windturbinemetingen. De doelstelling van de metingen aan windturbines was daarbij om het potentieel van elektriciteitsopwekking door kleine windturbines nabij snelwegen in de praktijk te meten. Daarbij zijn twee aspecten meegenomen:

- 1) het windpotentieel (hoeveel wind waait er)
- 2) de efficiëntie van de windturbines (hoeveel van het potentieel wordt gebruikt)

2 DE MEETOPSTELLING

2.1 De gebruikte windturbines

In het kader van het project Energiek Wegdek zijn drie kleine windturbines opgesteld:

- twee zogenaamde winduien (Windui, 2005)
- één zogenaamde Turby (Turby, 2005)

Van beide turbines is in figuur 1 een foto weergegeven.



Figuur 1 Foto's van de gebruikte windturbines, de Windui (links) en de Turby (rechts)

Beide windturbines hebben een verticale as. Dat betekent dat ze niet in de wind gedraaid hoeven te worden en dat het geleverde vermogen (in het vrije veld) onafhankelijk is van de windrichting.

De Windui is van het type Savonius. Dit zijn turbines die een zo groot mogelijk windvangend oppervlak hebben. De draaisnelheid is in de regel laag, het rendement ook en de geluidsproductie is gering. Dit type turbine is zelfstartend.

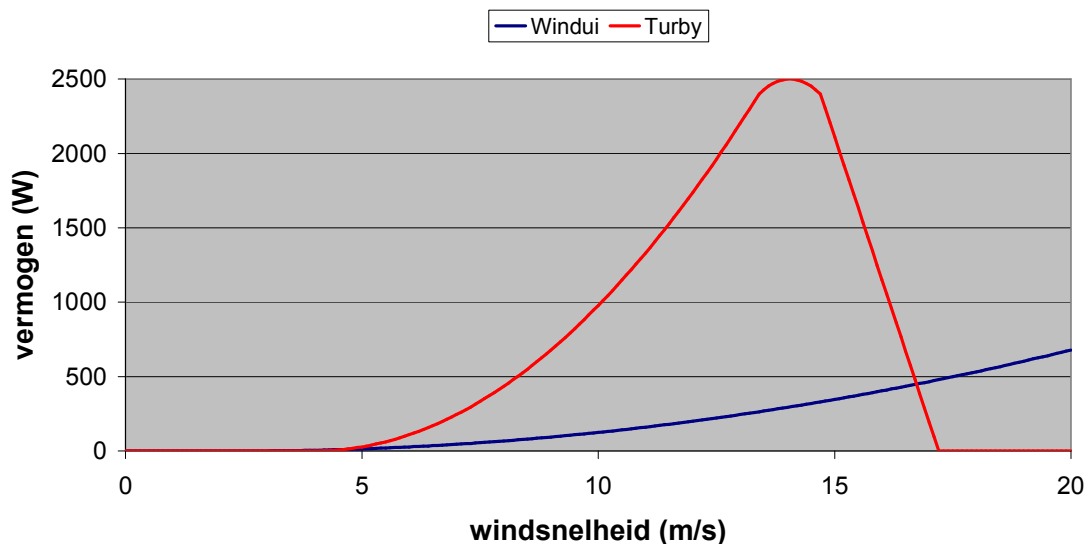
De Turby is van het Darrieus-type. Deze maakt gebruik van het lift-principe (gelijk aan een vliegtuigvleugel). De draaisnelheid en het rendement zijn hoger dan voor een Savonius-type turbine. De geluidsproductie is daarmee ook hoger. Dit type turbine is niet zelfstartend maar moet worden aangeslingerd. De Turby is daarom voorzien van een windsnelheidsmeter en

regelektronica die bij een voldoende hoge windsnelheid de Turby aanslingert via het openbare net. Tabel 1 geeft enige eigenschappen van beide windturbines weer. Figuur 2 geeft de vermogenscurven voor beide windturbines weer zoals de fabrikant die opgeeft. Deze curve geeft het verband aan tussen de windsnelheid en het geleverde vermogen.

Tabel 1 Gegevens van de gebruikte windturbines

	Windui	Turby
nominaal vermogen	200 W	2500 W
minimale windsnelheid voor levering	2,5 m/s	4,0 m/s
windsnelheid bij nominaal vermogen	12,0 m/s	14,0 m/s
rotordiameter	1,8 m	2,0 m
rotorhoogte	1,6 m	3,0 m
draaisnelheid bij nominaal vermogen	90 rpm	circa 500 rpm ¹⁾
turbinerendement	7%	24%

1) inschatting



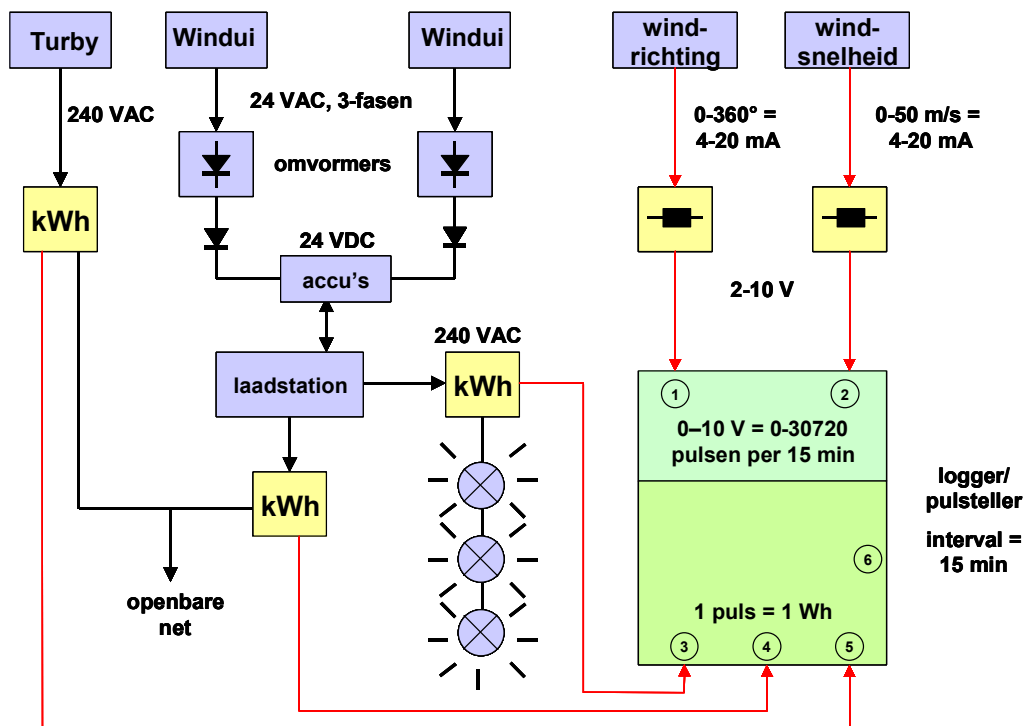
Figuur 2 Het vermogen als functie van de windsnelheid voor de gebruikte windturbines.

Alle drie de windturbines zijn ieder op een eigen op een mast opgesteld. De masten zijn 20 meter hoog en staan circa 20 meter uit elkaar (lijnopstelling). De masten en turbines zijn op 16 maart 2004 geplaatst, op 17 maart 2004 heeft de officiële ingebruikstelling plaatsgevonden.

2.2 De meetopstelling

Na de opstelling van de turbines is de meetopstelling in gereedheid gebracht. Deze is op 7 juni 2004 in gebruik genomen. Vanaf dat moment zijn metingen beschikbaar. De Turby is dan nog niet werkzaam omdat de omvormer die de generatorspanning van de Turby omzet naar netspanning nog niet aanwezig is. De Turby wordt in april 2004 (nog zonder omvormer en dus zonder elektriciteit te leveren) in bedrijf genomen en blijkt trillingen in de mast te veroorzaken. Paragraaf 2.3 gaat hier verder op in.

Figuur 3 geeft de lay-out van de oorspronkelijke meetopstelling weer. Het vermogen van de Turby wordt rechtstreeks gemeten. Het vermogen van de winduilen wordt indirect gemeten.



Figuur 3 Oorspronkelijk opzet van de meetopstelling

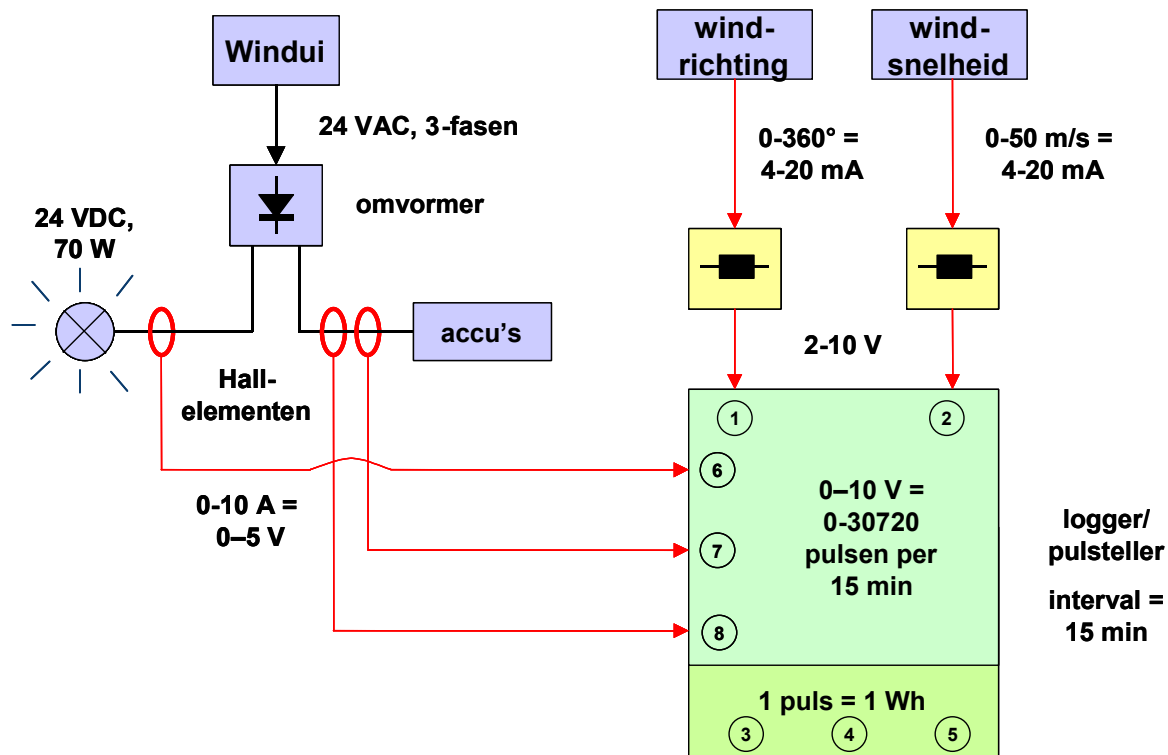
De oorspronkelijke opzet van de meetopstelling bleek niet te voldoen. De opbrengst van de winduilen wordt indirect gemeten als het verschil tussen de energie die het laadstation aan het openbare net onttrekt en de energie die de lampen onttrekken aan de accu. Daarin zitten een aantal onbekende factoren als de eigenverliezen van de accu, het rendement van de omvormer en de laadstrategie van het laadstation. De bijdrage van de windturbines valt

hierbij in het niet. Bovendien kan, door toepassing van de accu, geen rechtstreeks verband worden aangetoond tussen de windsnelheid en het geleverde vermogen door de winduilen.

Daarom is besloten tot een wijziging van de meetopstelling. Daartoe is eerst geprobeerd het drie-fasen vermogen van de windgenerator rechtstreeks te meten. Deze wijziging (op 30 maart 2005) had niet het gewenste effect, de spanning van de generator viel buiten het werkgebied van de driefasenmeter. Daarbij bleek ook dat één van de winduilen niet correct werkte (één fase van de generator leverde geen vermogen). De resterende metingen hebben dus betrekking op één Windui. Mechanisch zijn er gedurende de gehele meetperiode geen problemen met de winduilen opgetreden

Op 27 april 2005 is een tweede wijziging in de meetopstelling doorgevoerd. De operationele Windui wordt nu aan de gelijkspanningszijde van de omvormer bemeaten. Tevens blijkt dat beide omvormers van de winduilen defect zijn. Er wordt een nieuwe omvormer geplaatst. Met behulp van een drietal Hall-elementen (stroommeters) wordt de stroom door de belasting (lamp) en de stroom van en naar de accu gemeten. De balans daarvan is de opbrengst van de Windui, waarbij nog een kleine correctie voor het rendement van de omvormer kan plaatsvinden. De accuspanning wordt door de omvormer tussen de grenzen 21,6 V en 25,0 V gehouden (opgave BAM). Dit betekent een gemiddelde accuspanning van 23.3 ± 1.7 V ofwel een onnauwkeurigheid van $\pm 7\%$. De nauwkeurigheid waarmee de stroom gemeten wordt is veel groter. Dit betekent dat de nauwkeurigheid waarmee het Winduivermogen gemeten kan worden ook 7% bedraagt. Deze nauwkeurigheid wordt voldoende geacht in het kader van dit project.

Dit rapport heeft betrekking op de metingen van 7 juni 2004 tot 20 mei 2003. In tabel 2 staan de belangrijkste data van de meetperiode samengevat.



Figuur 4 Gemodificeerde meetopstelling voor het direct meten van de opbrengst van de Windui

Tabel 2 Overzicht van de belangrijkste data in de meetperiode

Datum	Omschrijving
16 maart 2004	Opstelling van de windturbines
17 maart 2004	Officiële ingebruikname van de windturbines
vanaf 1 april 2004	Turby in gebruik genomen, constatering van ontoelaatbare trillingen in de mast
7 juni 2004	Meetopstelling is gereed, dataoverdracht via modem werkt
13 juli 2004	Uitval netspanning op de meetlocatie.
9 september 2004	Presentatie van eerste meetresultaten windturbines in achtste monitoringoverleg. Constatering ontbreken rechtstreekse metingen windvermogen Winduieren en uitval netspanning op meetlocatie.
7 oktober 2004	Bespreken resultaten stijfheidsberekeningen Turby-mast in negende monitoringoverleg. Eenvoudige aanpassing mast niet mogelijk, besluit om Turby niet meer in bedrijf te nemen.

Datum	Omschrijving
26 oktober 2004	In bedrijfstellen meetopstelling na netspanningsuitval.
30 maart 2005	Aanpassing meetopstelling. Constatering defect één van de winduien, rechtstreekse meting vermogen van de nog werkende Windui met drie-fasen wisselstroommeter.
27 april 2005	Aanpassing meetopstelling. Constatering defect beide omvormers van de winduien. Vervanging omvormer. Meting opbrengst Windui aan DC-zijde van de omvormer van de Windui.
17 mei 2005	Opbrengst Windui wordt niet meer geregistreerd, oorzaak onbekend.
22 mei 2005	Laatste dag metingen Windui voor de onderhavige rapportage.

2.3 Trillingen in de Turby-mast

Bij ingebruikname van de Turby op 1 april 2004 bleek dat de beweging van de Turby-rotor de mast in trilling bracht. De Turby is daarna stilgezet en met tussenposen weer in gebruik genomen, waarbij steeds trillingen in de mast optraden. Deze trillingen waren zodanig dat is besloten is de Turby af te schakelen en eerst een onderzoek te laten doen naar de stijfheid van de mast. Dit onderzoek is uitgevoerd door PT Structural BV in opdracht van BAM (PT, 2004). Uit het onderzoek bleek dat de eerste vier eigenfrequenties van de mast lagen op:

- 0,80 Hz
- 3,70 Hz (één knoop)
- 9,74 Hz (twee knopen)
- 17,34 Hz (drie knopen)

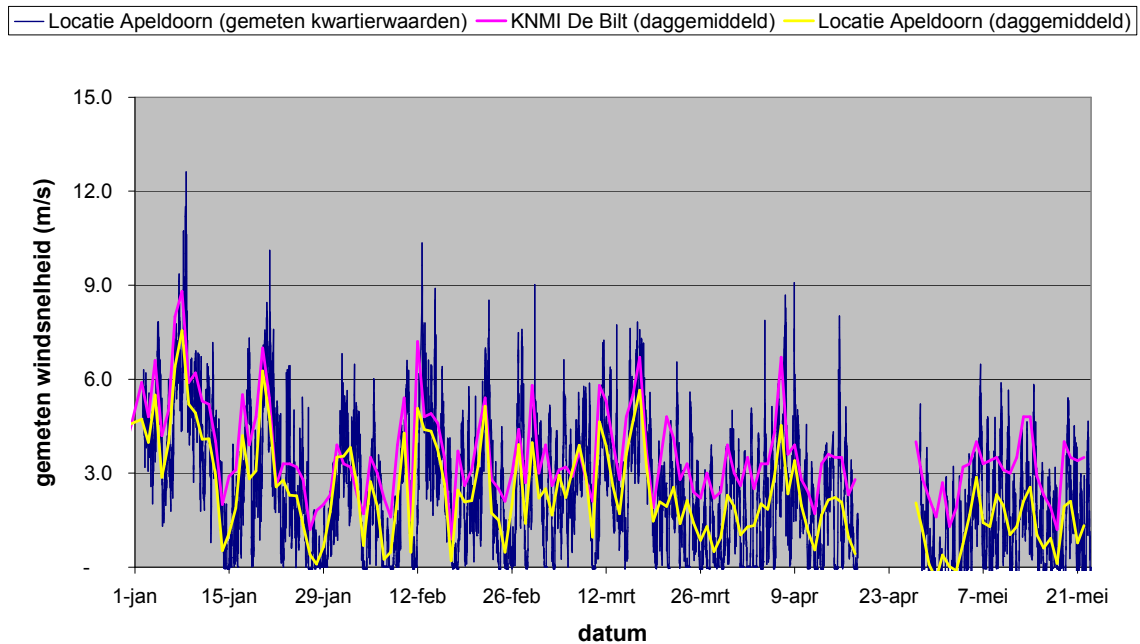
In ieder geval de eerste twee eigenfrequenties liggen binnen het werkgebied van de Turby en het aanstoten van de mast door de Turby is dan ook verklaarbaar. Overleg met de Turby-leverancier gaf aan dat de eigenfrequenties van de Turbymast boven de 8 Hz (zo mogelijk boven de 10 Hz) dienen te liggen. Er zijn een aantal oplossingen doorgerekend (verstagen, verzwaarde mastvoet, tuien) maar deze blijken geen van allen afdoende. Besloten wordt begin 2005 de Turby voor de rest van de meetperiode buiten gebruik te stellen. De meetresultaten in dit rapport hebben dus alleen betrekking op de operationele windui.

3 MEETRESULTATEN

3.1 Windsnelheid en de windrichting

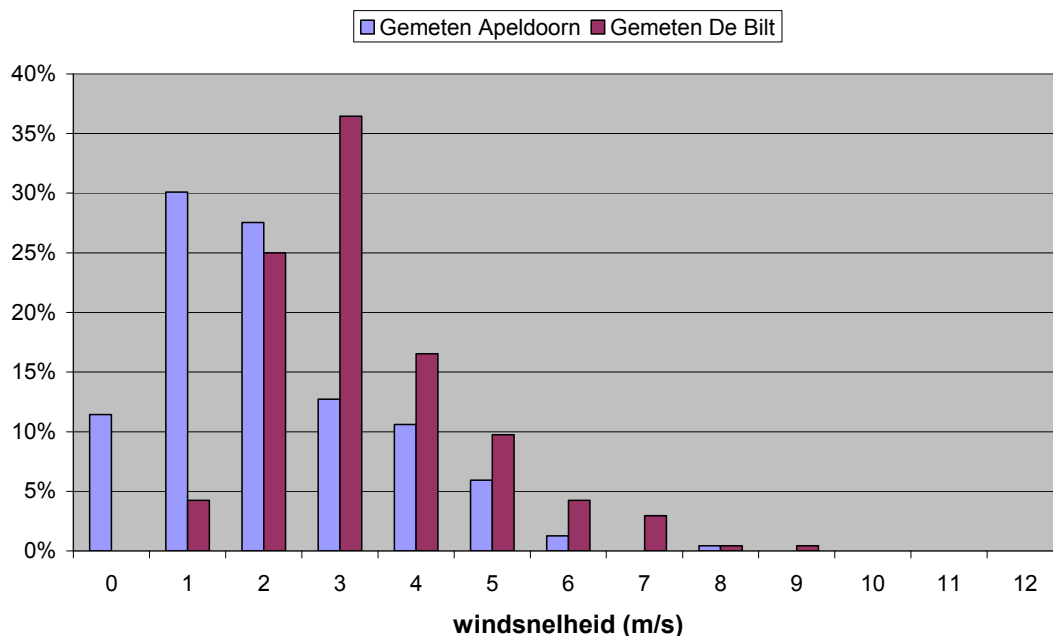
Voor de potentiële opbrengst van de windturbines is het van belang inzicht te hebben in het verloop van de windsnelheid op locatie. Deze is onder andere afhankelijk van de terreinruwheid en de meethoogte. De windsnelheid en de windrichting op de meetlocatie zijn op 20 meter hoogte gemeten. Figuur 5 geeft de meetdata van 2005 weer. Gemeten worden kwartiergemiddelde waarden. Ter vergelijking met de meetdata van De Bilt (daggemiddelden) zijn ook de gemeten daggemiddelde waarden weergegeven in figuur 5. De overeenkomst tussen beide daggemiddelden is goed. De windsnelheid ter plekke van Apeldoorn ligt wel lager maar dat is verklaarbaar door de terreinruwheid (onder andere hoge bomen) ter plekke.

Uit de meetgegevens blijkt dat de windmetingen na de laatste modificatie van de meetopstelling (27 april) gaat afwijken. De oorzaak daarvan is niet bekend maar de onnauwkeurigheid van de gemeten windsnelheid is in die periode groter. Helaas is dit ook de enige periode is waarin opbrengstmetingen van de Windui beschikbaar zijn.



Figuur 5 Gemeten windsnelheid in 2005 op locatie en in De Bilt (KNMI, 2005)

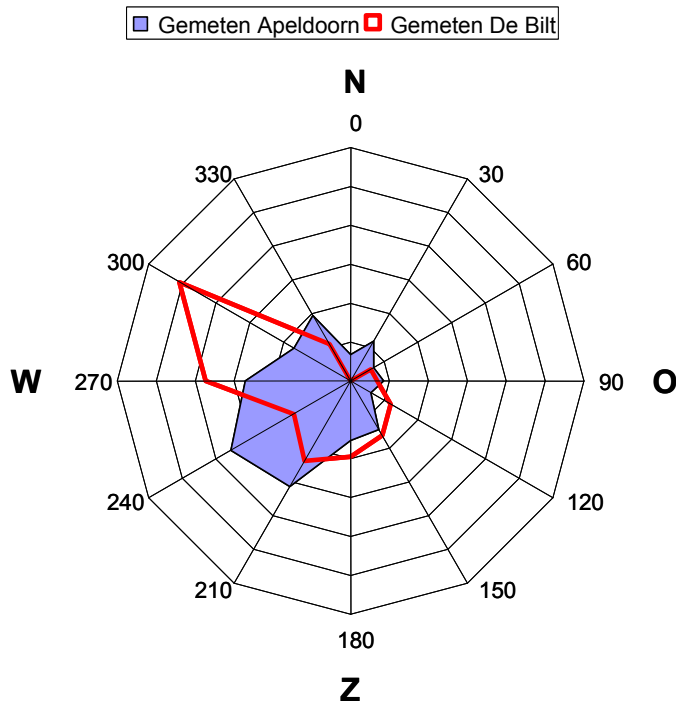
Figuur 6 geeft de verdeling van de daggemiddelde windsnelheid weer. Deze verdeling geeft aan hoe vaak een bepaalde daggemiddelde windsnelheid is voorgekomen. Deze grafiek heeft betrekking op de periode van 26 oktober 2004 tot 10 april 2005. Uit deze grafiek ontstaat eenzelfde beeld als uit figuur 5, namelijk dat de windsnelheid gemiddeld lager ligt dan in De Bilt. De vorm van de verdeling komt overeen met wat op grond van windstatistiek verwacht mag worden (Weibull-verdeling). De gemiddelde windsnelheid over deze meetperiode bedroeg 2,5 m/s.



Figuur 6 Verdeling van de daggemiddelde windsnelheid

In figuur 7 staat de verdeling van de windrichting zoals gemeten in Apeldoorn en in De Bilt weergegeven. Ook deze grafiek heeft betrekking op de periode van 26 oktober 2004 tot 10 april 2005 (daggemiddelde waarden). De grafieken komen redelijk overeen en de conclusie is dat er geen reden is om aan te nemen dat de windmetingen niet zouden kloppen.

In principe is de opbrengst van de windturbines onafhankelijk van de windrichting. Er zijn echter te weinig opbrengstdata voorhanden om dit in dit project te kunnen staven.



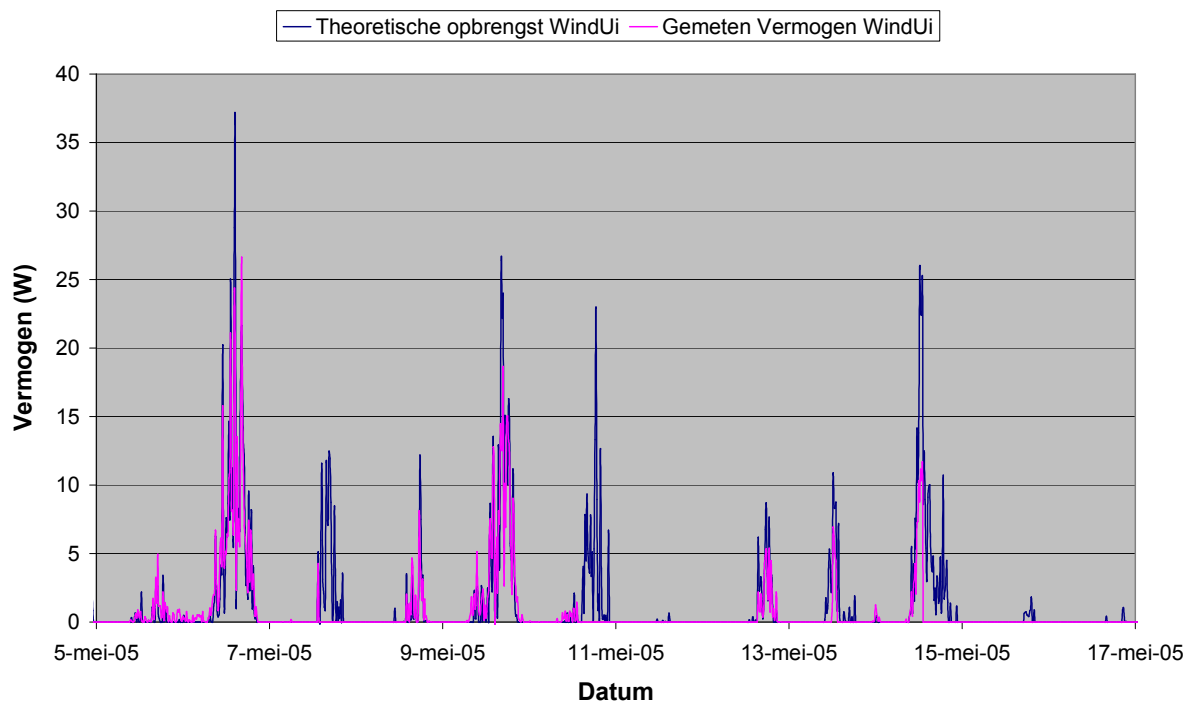
Figuur 7 Verdeling van de windrichting

3.2 Gemeten opbrengst van de windui

Na de tweede modificatie van de meetopstelling blijkt het vermogen dat de Windui levert ook daadwerkelijke gemeten te kunnen worden. Een tegenslag is dat de windsnelheidsmetingen in deze zelfde periode onverklaarbare afwijkingen gaan vertonen. De nauwkeurigheid van de windmetingen (op basis van de gebruikte meetapparatuur geschat op $\pm 0,1$ m/s) blijkt tot 0,7 m/s af te gaan wijken. Niet duidelijk is of dit een structurele afwijking is (voor alle meetdata) of een incidentele afwijking voor een beperkt aantal datapunten.

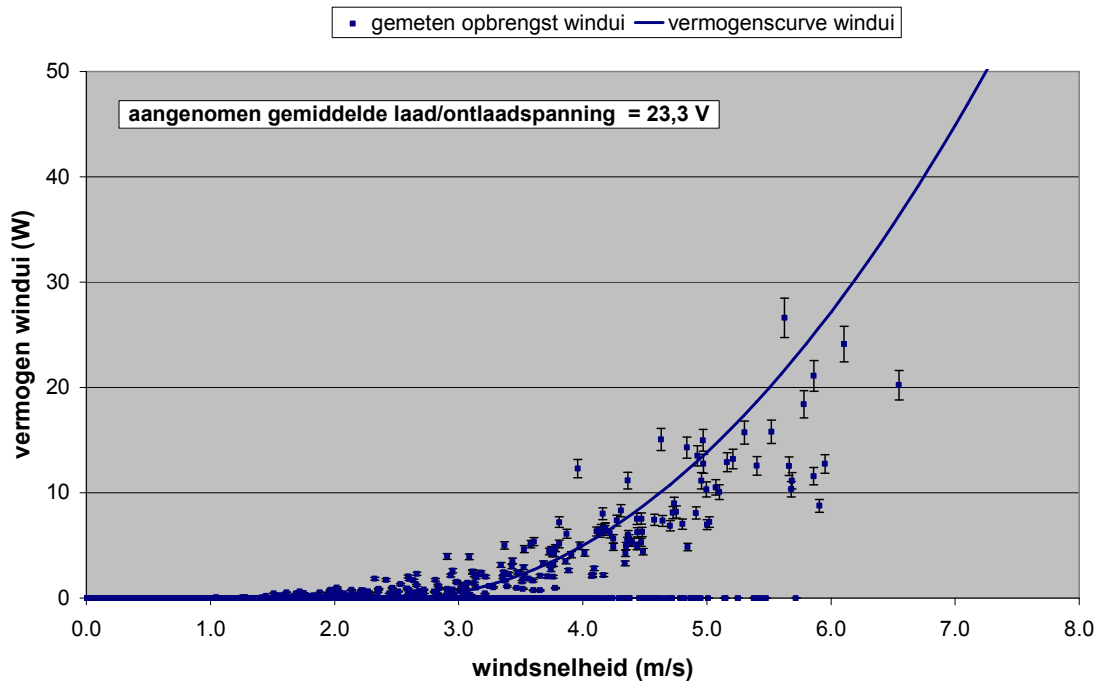
In figuur 8 staat het gemeten Windui-vermogen uitgezet tegen de verwachte opbrengst op basis van de gemeten windsnelheid en de vermogenscurve van de Windui. Hierbij is uitgegaan van een gemiddelde accuspanning van 23,3 V en een omvormerrendement van 95%. Opvallend is het gemeten en berekend vermogen óf goed overeen komen óf helemaal niet. Het is onwaarschijnlijk dat dit aan de Windui zelf ligt, waarschijnlijk is het een probleem met het meetsysteem. Middelen om dit te achterhalen waren niet voorhanden. Dit gedrag is dus niet verklaard. Wel suggereert figuur 8 dat de afwijking in de gemeten windsnelheid eerder incidenteel is dan structureel. Als de Windui vermogen levert, dan komt dit ook goed

overeen met de theoretische opbrengst op basis van de gemeten windsnelheid en de vermogenscurve van de Windui.



Figuur 8 Gemeten opbrengst van de Windui versus de theoretische opbrengst op basis van de windsnelheid en de vermogenscurve van de Windui.

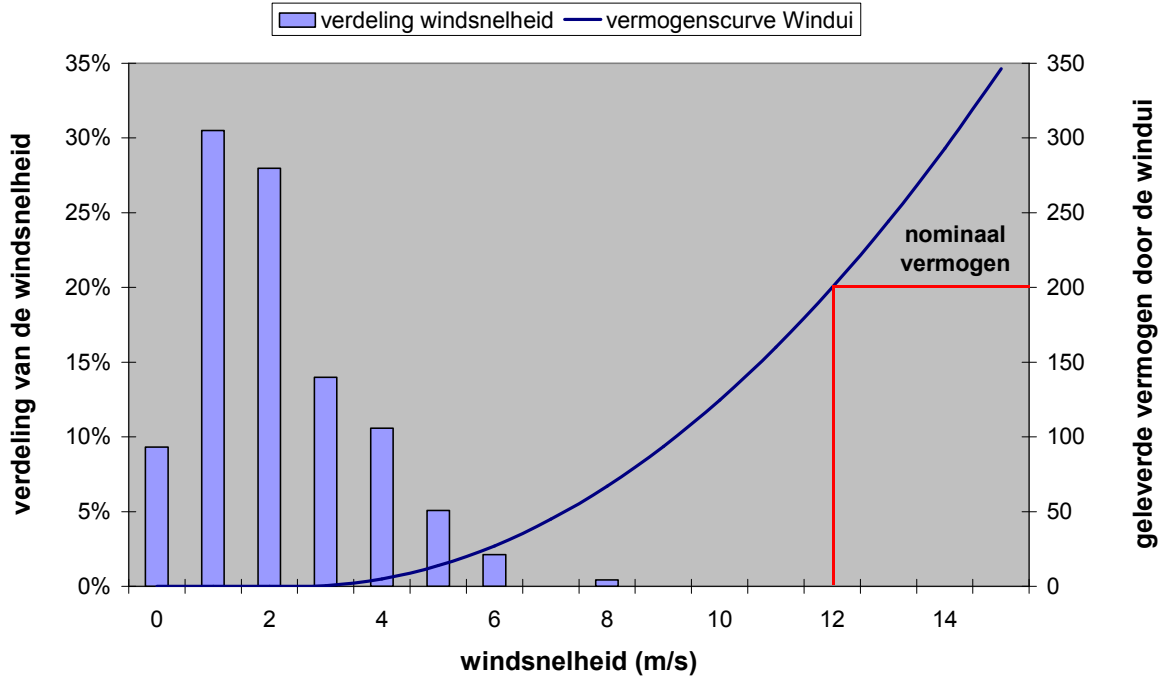
In figuur 9 is het gemeten vermogen van de Windui uitgezet tegen de windsnelheid. Hoewel enigszins vertroebeld door de grote spreiding en de meetfout, is er een duidelijke overeenkomst met de door de fabrikant opgegeven vermogenscurve. Uit deze figuur wordt geconstateerd dat de door de fabrikant opgegeven vermogenscurve in ieder geval reëel is.



Figuur 9 De gemeten en de door de fabrikant opgegeven vermogenscurve van de Windui

De opbrengst van de windui is maar gedurende een vrij korte periode (5 mei tot 17 mei 2005) gemeten. Gedurende deze periode zou de opbrengst op basis van de gemeten windsnelheden en vermogenscurve 0,36 kWh moeten zijn

Het aantal equivalente vollasturen in de meetperiode van 312 uur bedraagt (op basis van de verwachte opbrengst van 0,36 kWh) slechts 1,8 uur. Dit is minder dan 1% van de tijd. Dit ligt deels aan de relatief lage windsnelheden in mei maar dan nog is dit laag vergeleken met een grote windturbine (>1 MW) die circa 2200 equivalente vollasturen per jaar maakt (25% van de tijd). In figuur 10 zijn de vermogenscurve van de Windui uit figuur 2 en de verdeling van de daggemiddelde windsnelheid uit figuur 6 in één figuur weergegeven. Deze figuur ondersteunt de constatering dat de Windui maar weinig equivalente vollasturen maakt. De daggemiddelde windsnelheid komt maar nauwelijks in het werkgebied van de Windui.



Figuur 10 Vergelijking tussen de verdeling van de daggemiddelde windsnelheid op locatie en de vermogenscurve van de Windui.

3.3 Opbrengst windui op basis gemeten windsnelheid

In de meetperiode van 26 oktober 2004 tot 10 april 2005 is de windsnelheid op locatie (20 meter hoogte) gemeten. Op basis van de gemeten windsnelheid en de vermogenscurve van de windturbines is de opbrengst op kwartierbasis berekend. De resultaten staan weergegeven in tabel 3. Hierbij is nog geen rekening gehouden met het eigengebruik van de aansturing van de Turby.

Tabel 3 Opbrengst windturbines op basis gemeten windsnelheden

	Opbrengst uit gemeten windsnelheid en vermogenscurve	
	meetperiode (153 dagen)	opgeschaald naar heel jaar
Turby	62 kWh	147 kWh
Windui	17 kWh	41 kWh

4 CONCLUSIES & AANBEVELINGEN

Uit dit project worden de volgende conclusies getrokken:

- 1) Het installeren en bemeten van de windturbines heeft een aantal tegenslagen gekend die er toe hebben geleid dat van de drie windturbines er effectief slechts één gedurende een relatief korte tijd bemeten is.
- 2) Belangrijk is wel dat over een groot deel van de projectperiode windmetingen op de locatie gedaan zijn. Deze windmetingen geven aan wat het potentieel is voor elektriciteitsopwekking uit wind op die locatie. Samen met de vermogenscurve van de windturbines geeft dit een schatting van de jaaropbrengst van de windturbines. De gemeten windsnelheden komen (met inachtneming van de onzekerheid door bijvoorbeeld de terreinruwheid) goed overeen met de door het KNMI in de De Bilt gemeten windsnelheden.
- 3) De opstelling van de Turby blijkt kritisch. Door de relatief hoge draaisnelheid van de Turby bestaat het risico op het “aanstoten” van de eigenfrequenties van de mast. Deze komt in trilling en dit is zowel slecht voor de werking van de Turby als de levensduur van de mast. De mast bleek niet eenvoudig aan te passen. Voor een windturbine type Turby is de mastconstructie dus een belangrijk aandachtspunt. Het zomaar plaatsen van Turby's op bestaande lichtmasten blijkt dus niet altijd mogelijk.
- 4) Van de twee geïnstalleerde winduilen is er één om nog onopgehelderde reden elektrisch defect geraakt. Ook zijn beide omvormers tijdens de meetperiode defect geraakt. Bij het installeren van dit type windturbine is dus aandacht nodig voor de robuustheid van de elektrische componenten. Mechanisch zijn er gedurende de gehele meetperiode geen problemen met de winduilen opgetreden.
- 5) De gemeten vermogenscurve van de Windui blijkt, binnen de grenzen van de nauwkeurigheid van de vermogensmetingen en de windsnelheidsmetingen, goed overeen te komen met de door de fabrikant opgegeven curve.
- 6) De gemeten opbrengst van de Windui blijkt relatief laag te zijn ten opzichte van het nominaal vermogen. Om nog onopgehelderde redenen wordt er door de opstelling niet altijd opbrengst gemeten terwijl er wel voldoende wind voorhanden is. Dit zou nader onderzocht moeten worden.
- 7) Daarnaast ligt het werkgebied van de Windui bij een nominale windsnelheid van 12 m/s. De gemeten windsnelheden op locatie liggen hier met een gemiddelde van 2,5 m/s ruim onder. Dus ook met een correct functionerende meetsysteem zou de opbrengst laag zijn. Een remedie is bijvoorbeeld om de turbines hoger te plaatsen en op zo vlak mogelijk terrein of om een ander soort turbine te gebruiken met een lagere nominale windsnelheid.

- 8) Gezien de relatief lage opbrengst van de windturbines (het lage aantal equivalente vollasturen) is het de vraag of dit type windturbines in deze situatie rendabel is in te zetten. Een zorgvuldig inschatting van het windpotentieel op de locatie en van de kosten van het op andere wijze realiseren van elektriciteit ter plekke zijn belangrijk.

LITERATUUR

KEMA, 2005 (Combrink, F.M., Gerwen, R.J.F. van en Taks, B.). Energiek Wegdek: het potentieel voor elektriciteitsopwekking uit asfalt, KEMA-rapport 40430053-TDC 04-46629A d.d. 26 januari 2005

KNMI, 2005. Alle meetdata in De Bilt zijn afkomstig van het Koninklijk Meteorologisch Instituut via www.knmi.nl.

PT, 2004 (Pollemans, P.J.Th.). Onderzoek naar eigenfrequentie "Turby" windmolenmast, PT Structural, 12 oktober 2004.

Turby, 2005. Fabrikant CORE international, brochure met specificaties Turby-windturbine via www.turby.nl

Windui, 2005. Leverancier AES GmbH, Duitsland. Gegevens via Nederlandse vertegenwoordiger op www.energieadviseurs.nl.