



Dedicated to innovation in aerospace

NLR-TP-2017-539 | December 2017

Communiceren over geluid rondom windparken

OPDRACHTGEVER: NLR



NLR - Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum

Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum

Het NLR is een toonaangevend, mondiaal opererend onderzoekscentrum voor de lucht- en ruimtevaart. Met zijn multidisciplinaire expertise en ongeëvenaarde onderzoeksfaciliteiten, levert NLR innovatieve, integrale oplossingen voor complexe uitdagingen in de aerospace sector.

De werkzaamheden van het NLR beslaan het volledige spectrum van Research Development Test & Evaluation (RDT&E). Met zijn kennis en faciliteiten kunnen bedrijven terecht bij het NLR voor validatie, verificatie, kwalificatie, simulatie en evaluatie. Zo overbruggt het NLR de kloof tussen onderzoek en toepassing in de praktijk. Het NLR werkt zowel voor overheid als industrie in binnen- en buitenland. Het NLR staat voor praktische en innovatieve oplossingen, technische expertise en een lange termijn ontwerpvisie. Hierdoor vindt NLR's cutting edge technology zijn weg naar succesvolle lucht- en ruimtevaartprogramma's van OEM's zoals Airbus, Embraer en Pilatus. Het NLR draagt bij aan (defensie)programma's zoals ESA's IXV re-entry voertuig, de F-35, de Apache-helikopter en Europese programma's als SESAR en Clean Sky 2.

Opgericht in 1919 en met 650 betrokken medewerkers, realiseerde NLR in 2016 een omzet van 71 miljoen euro. Driekwart hiervan is afkomstig uit contractonderzoek, het overige betreft een overheidsbijdrage.

Voor meer informatie bezoek: www.nlr.nl

Communiceren over geluid rondom windparken



Probleemstelling

Windenergie op land leidt veelal tot discussies tussen initiatiefnemers en de lokale omwonenden. Geluidoverlast is een angst van omwonenden bij plaatsing van windturbines, omdat hierover veel onduidelijk is. Daarbij komt dat geluidniveaus op papier in rapportages vaak lastig te begrijpen zijn. Met een omgevingssimulator kan het toekomstige geluid van een windmolenpark hoorbaar worden gemaakt en in relatie tot het achtergrondgeluid worden gepresenteerd. De inzet hiervan bij verschillende geplande windmolenparken helpt bij de communicatie, mits dit op een zorgvuldige wijze wordt uitgevoerd.

RAPPORTNUMMER

NLR-TP-2017-539

AUTEUR(S)

R. Aalmoes
M. den Boer

RUBRICERING RAPPORT

ONGERUBRICEERD

DATUM

December 2017

KENNISGEBIED(EN)

Vliegtuiggeluidseffecten op de omgeving
Softwaretechnologie voor de luchtvaart

TREFWOORD(EN)

windturbines
geluid
geluidsoverlast
windmolens
community engagement

GENERAL NOTE

Dit rapport is gebaseerd op een artikel gepubliceerd bij Wolters Kluwer in het tijdschrift Geluid, nummer 2, april 2017.

NLR

Anthony Fokkerweg 2

1059 CM Amsterdam

p) +31 88 511 3113 f) +31 88 511 3210

e) info@nlr.nl i) www.nlr.nl



Dedicated to innovation in aerospace

NLR-TP-2017-539 | December 2017

Communiceren over geluid rondom windparken

OPDRACHTGEVER: NLR

AUTEUR(S):

R. Aalmoes

NLR



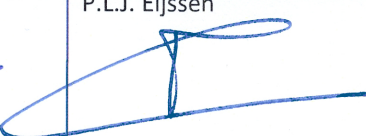
M. den Boer

NLR

Dit rapport is gebaseerd op een artikel gepubliceerd bij Wolters Kluwer in het tijdschrift Geluid, nummer 2, april 2017.

Uit dit rapport mag worden geciteerd onder de voorwaarde dat volledige bronvermelding plaatsvindt.

OPDRACHTGEVER	Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum
CONTRACTNUMMER	----
EIGENAAR	NLR
NLR DIVISIE	Aerospace Operations
VERSPREIDING	Onbeperkt
RUBRICERING TITEL	ONGERUBRICEERD

GOEDGEKEURD DOOR:		
AUTEUR	REVIEWER	BEHERENDE AFDELING
R. Aalmoes 	M. den Boer 	P.L.J. Eijssen 
DATUM 19 12 17	DATUM 19 12 17	DATUM 19 12 17

Inhoudsopgave

Inleiding	5
Windenergie	5
Windturbinegeluid	6
Omgevingssimulatie	7
Voorwaarden voor gebruik omgevingssimulator	9
Ervaring van gebruikers	9
Conclusie	10
Referenties	10

Deze pagina is opzettelijk blanco.

Communiceren over geluid rondom windparken

Roalt Aalmoes, Merlijn den Boer

Met een omgevingssimulator kan het toekomstige geluid van een windmolenpark hoorbaar worden gemaakt. De inzet hiervan bij verschillende geplande windmolenparken helpt bij de communicatie over geluidsoverlast, mits dit op een zorgvuldige wijze wordt uitgevoerd.

Over de auteurs:

Roalt Aalmoes werkt voor de afdeling milieu-en beleidsondersteuning van het Nederlands lucht- en ruimtevaartcentrum NLR. De afgelopen jaren is Roalt vooral bezig geweest met het moderniseren van de Virtual Community Noise Simulator (VCNS) en de applicatie van de VCNS voor diverse projecten. Email: roalt.aalmoes@nlr.nl

Merlijn den Boer werkt bij het NLR als inhoudelijk expert en als projectleider binnen de afdeling milieu- en beleidsondersteuning. Tijdens de verschillende bewonersbijeenkomsten heeft hij omwonenden met virtual reality demonstraties betrokken bij de planvorming van windparken. Email: merlijn.den.boer@nlr.nl

Inleiding

Om aan de doelstellingen van het klimaatakkoord van Parijs te voldoen zullen we moeten overstappen van fossiele brandstoffen naar duurzame alternatieven. Deze overstap is noodzakelijk vanwege verwachte klimaatopwarming en de gevolgen hiervan, zoals de stijging van de zeespiegel en meer extreme weersomstandigheden. Daarnaast maakt lokaal opgewekte energie ons minder afhankelijk van buitenlandse energiebronnen. Vanwege de gunstige en relatief harde wind zal windenergie voor Nederland de komende decennia een belangrijk alternatief worden. Hoewel het vervangen van een kolencentrale door een of meerdere windmolenparken voordelen voor het milieu biedt, zijn er ook een aantal effecten voor de omgeving die realisatie (soms langdurig) kunnen vertragen of zelfs tegenhouden. Windenergie op land leidt veelal tot discussies tussen initiatiefnemers en de lokale omwonenden. Hierbij kan gedacht worden aan zaken zoals horizonvervuiling, effecten op de vogelpopulatie, slagschaduw en geluidsoverlast. Geluidsoverlast is een angst van omwonenden bij plaatsing van windturbines, omdat hierover veel onduidelijk is. Daarbij komt dat geluidsniveaus op papier in rapportages vaak lastig te begrijpen zijn. Met een omgevingssimulator kan het toekomstige geluid van een windmolenpark hoorbaar worden gemaakt en in relatie tot het achtergrondgeluid worden gepresenteerd..

Windenergie

In september 2013 sloten meer dan veertig organisaties in Nederland het Energieakkoord voor duurzame groei¹. Het aandeel hernieuwbare energie moet naar 14 procent in 2020 en naar 16 procent in 2023. Windenergie is één van de hernieuwbare energiebronnen. Het opgesteld vermogen aan windenergie op

¹ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/convenanten/2013/09/06/energieakkoord-voor-duurzame-groei>

land heeft sinds november 2015 de grens van 3.000 MW gepasseerd². Dit is half zo groot als de doelstelling die de overheid voor 2020 heeft gesteld.

Voordat een windpark gerealiseerd kan worden, willen initiatiefnemers en gemeentes omwonenden informeren en de gelegenheid geven om vragen te stellen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de wettelijke regelgeving die vereist dat geluidsberekeningen worden uitgevoerd, en Lden-countouren worden berekend. Dit wordt vaak als basis gebruikt in de communicatie naar de omwonenden. De beoordeling van deze effecten is voor de meeste mensen die ermee te maken krijgen echter ingewikkeld, zeker als het gaat om planvorming en vergunningverlening. Daarom wordt er gekeken naar een betere manier om over geluid te communiceren.

Windturbinegeluid



Figuur 1 Akoestische weergave van geluidsniveaus van een windturbine

Het brongeluid van een windturbine kan worden onderzocht met behulp van een akoestisch array. Hiermee kunnen richting en intensiteit van geluidbronnen worden bepaald door het combineren van meerdere microfoons die dicht bij elkaar zijn geplaatst. Het analyseren gebeurt door middel van de beamforming techniek. Deze techniek wordt toegepast in windtunnels uit de lucht- en ruimtevaart voor het analyseren van het stromingsgeluid van schaalmodellen, dat wil zeggen voor het bepalen van de locatie en de intensiteit van geluidbronnen aan het vliegtuig. Deze techniek kan echter ook buiten een windtunnel worden toegepast bij een bestaande windturbine. In Figuur 1 is te zien hoe zo'n resultaat eruitziet. De voornaamste geluidbron bij een windturbine betreft het rotorblad [1]. De rondgaande beweging van het blad zorgt voor turbulentie en geeft het bekende pulserende geluid, dat aan de neergaande kant vooral naar beneden uitstraalt. Dit in tegenstelling tot het idee dat soms heerst dat het meeste geluid van de passage van het rotorblad langs de mast komt. Het kenmerkende pulserende geluid maakt dat het geluid van windturbines als meer hinderlijk wordt ervaren dan bijvoorbeeld autosnelwegen met vergelijkbare

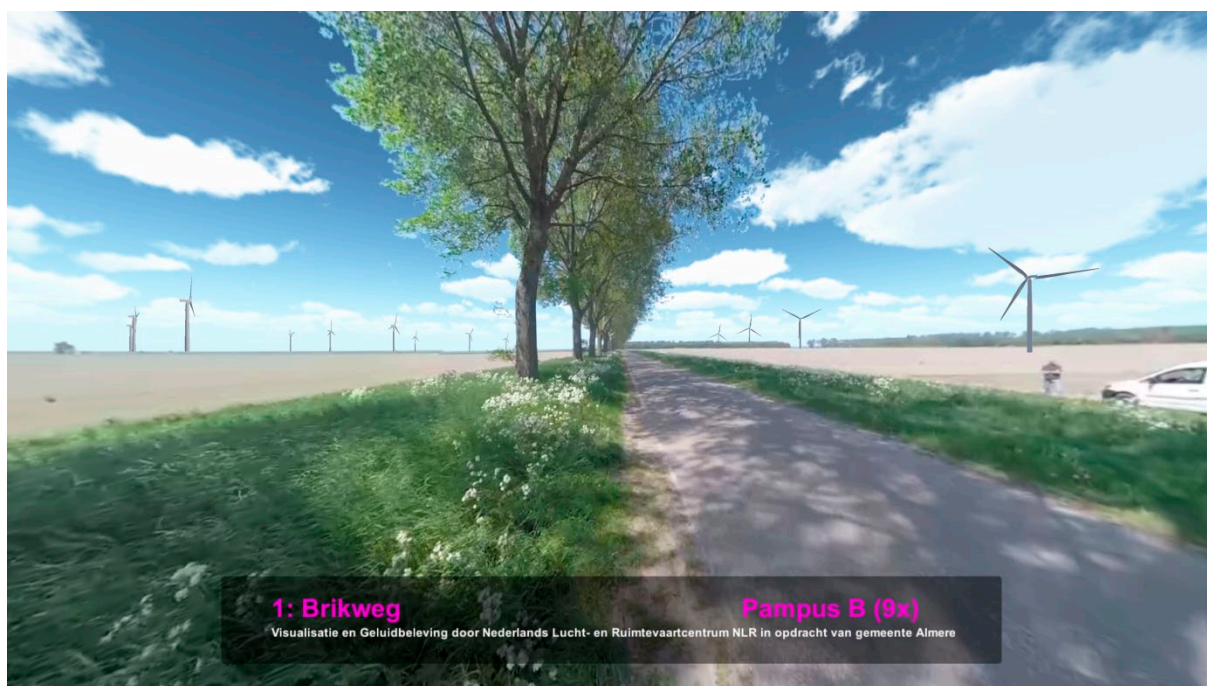
² <http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?PA=70802NED>

geluidniveaus. Met behulp van voorspellingsmodellen is het mogelijk op basis van het ontwerp van een rotorblad het bijbehorende geluid kunstmatig (synthetisch) te genereren [2].

De windsnelheid bepaalt de rotatiesnelheid, maar deze kan ook worden aangepast door de rotorbladen te draaien. Windturbinefabrikanten berekenen het optimale rendement op basis van de windsnelheid en passen daarmee de hoek van de rotorbladen aan. De hoek die de turbinebladen ten opzichte van de wind maken, bepaalt de geluidproductie van het windturbineblad. Daarnaast hebben sommige windturbines een versnellingsbak (ook wel gearbox genoemd) die in mindere mate bijdraagt aan de geluidskarakteristiek. Het geluid van een windturbine is niet alleen afhankelijk van de afstand, maar ook van de hoek van het rotorblad tot de toehoorder. Daarnaast speelt de propagatie van het geluid door de atmosfeer nog een rol. Ook de grond om de windturbine heeft een effect, waarbij landbouwgrond een andere reflectie van de geluidsgolven geeft dan water of asfalt. Een verse laag sneeuw kan ook voor een dempend effect zorgen voor zowel windturbine- of ander omgevingsgeluid.

Omgevingssimulatie

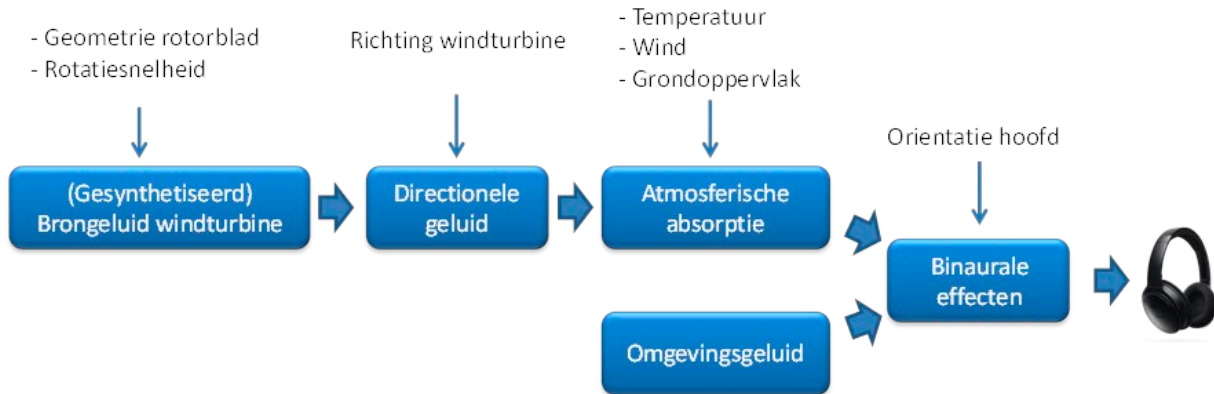
Een omgevingssimulator is een combinatie van een geluidssimulator van het geluid ter plekke en een visuele presentatie van de omgeving. Voor het ervaren van het geluid kan een geluidgeneratiesysteem gecombineerd worden met een hoofdtelefoon of speakers. Maar voor omwonenden is het ook van belang dat de omgeving waarin deze geluiden klinken zichtbaar is. Hiervoor is ook een visuele presentatie nodig, wat kan in de vorm van een beeld-of projectiescherm, of nog realistischer: een virtual reality bril. Het NLR heeft een omgevingssimulator ontwikkeld met als naam de "Virtual Community Noise Simulator" (VCNS) en in 2016 voor diverse windparkprojecten ingezet.



Figuur 2 Visuele impressie van een mogelijk windmolenpark in Almere

De VCNS bestaat uit een computersysteem dat zowel de audio als de videobeelden genereert, een Oculus Rift Virtual Reality Bril en een hoofdtelefoon. Sensoren in de Virtual Reality bril zorgen ervoor dat je je kunt omdraaien en zo de hele omgeving kunt zien. Ook geluidgeneratie is hieraan gekoppeld. Met behulp van binaurale geluidgeneratie kan ook richtingsgevoeligheid van het geluid worden toegevoegd, wat het

realisme van de simulatie vergroot. Een over-ear hoofdtelefoon zorgt ervoor dat het geluid goed bij de toehoorder aankomt. De volledige keten van geluidgeneratie is weergegeven in figuur 3. Door een kalibratie uit te voeren met behulp van meetapparatuur en een kunsthoofd, kan het juiste volume zoals dat is berekend voor de simulatie worden ingesteld voor deze hoofdtelefoon.



Figuur 3 Keten voor generatie geluid windturbine

Omwonenden kunnen in een video-realistische virtuele omgeving de toekomstige geluidbronnen van nieuwe omgevingsplannen in een herkenbare eigen woonomgeving zien en horen. Men hoort en lokaliseert de geluidsbronnen die in de plannen worden toegevoegd. Achtergrondgeluid uit de eigen woonomgeving geeft in de simulatie een referentiewaarde zodat de nieuwe geluidbronnen van bijvoorbeeld windturbines in perspectief geplaatst kunnen worden. Door het achtergrondgeluid op te nemen met een ambisonische microfoon, kan ook de richtingsgevoeligheid van dit geluid bewaard blijven in de latere simulatie. Het is hierbij van belang dat ook bij de simulator dit ambisonische geluid op de juiste wijze wordt afgespeeld, waarbij het draaien van het hoofd ook zorgt dat het achtergrondgeluid meedraait. In de hier besproken projecten waren de achtergrondopnamen nog niet gemaakt met een ambisonische microfoon, maar werd wel het windturbinegeluid richtingsgevoelig gepresenteerd.

Hoewel het bij deze exercities gaat over het geluid van windmolenparken, heeft ook een visuele representatie een belangrijke rol: het verhoogt het realisme voor de toehoorder en hiermee wordt de geloofwaardigheid van de simulatie ook verbeterd. Voor het ontwikkelen van de visuele presentatie wordt gebruik gemaakt van een 360 graden videocamera. Hierbij zijn zes GoPro camera's in een speciaal kubusvormig frame geplaatst, waarbij ze elk een zijde opnemen. Later worden de individuele opnames gecombineerd tot één bolvormig videoformaat. In een 3D omgeving kan deze video worden gecombineerd met (virtuele) 3D windturbine modellen die op de juiste plaats worden toegevoegd. Hiermee is de (visuele) grootte van de windturbine ten opzichte van de omgeving gegarandeerd. Wel is het van belang dat de gepresenteerde video zo wordt aangepast, dat wordt aangegeven wat de voor- en achtergrond is ten opzichte van de geplaatste virtuele windturbines. Dit om te voorkomen dat het lijkt dat een windmolen dichterbij (of verder weg staat) ten opzichte van bijvoorbeeld bebouwing of bebossing respectievelijk erachter of ervoor.

Het toekomstige windpark wordt vervolgens in een virtuele omgeving, met behulp van een Oculus Virtual Reality Bril, op verschillende observatielocaties visueel gepresenteerd.



Figuur 4 Buurtbijeenkomst in Almere met simulatie van windmolenmark met de VCNS

De simulator is onder andere bij het windpark Wieringermeer, windpark Almeerse Wind en windpark N33 ingezet tijdens bewonersbijeenkomsten en informatiemarkten. Met behulp van omgevingssimulaties treden omgevingsmanagers en professionals makkelijker in dialoog met omgevingspartijen. Doordat met de simulator veranderingen in het omgevingsgeluid zintuiglijk kan worden waargenomen, kunnen de consequenties voor de omgeving en omwonenden live op effecten worden beoordeeld.

Voorwaarden voor gebruik omgevingssimulator

Een omgevingssimulator is geen wondermiddel, waarmee bezwaren eenvoudig kunnen worden weggenomen. Het is van belang dat het tijdig wordt ingezet als de omgevingsplannen bekend zijn. Ook als er nog geen definitieve plannen zijn, maar er wel verschillende alternatieven op tafel liggen, kan een omgevingssimulator ook helpen om samen met de betrokkenen een keus te maken. Verder zal ook een zorgvuldige keuze moeten worden gemaakt welke locaties gekozen worden om te presenteren. Dit zijn bij voorkeur plekken die herkenbaar zijn, of plekken die het dichtst bij de te verwachten overlast liggen. Dit laatste met het oog om een “worst case” scenario te presenteren. Het kan dan op andere plaatsen vooral meevallen. Ook de meteorologische condities worden ‘worst case’ gekozen. Dit betekent niet dat er daarom altijd met een harde wind wordt gerekend, want maximale geluidproductie ligt vaak bij matige windsnelheden. Bovendien zal bij harde wind ook het meegenomen achtergrondgeluid toenemen, zoals het geluid van bewegende bladeren aan de bomen. Hierbij zal het geluid van de windturbine juist minder snel boven het achtergrondgeluid uitkomen.

Ervaring van gebruikers

De inzet bij deze bijeenkomsten leverde verschillende reacties op van omwonenden. De hier beschreven reacties zijn opgetekend door de medewerkers van de VCNS demonstratie en geven een goede afspiegeling weer van de reacties van gebruikers van de simulator. De reacties over het windpark liepen uiteen van zowel negatief tot positief. Veel van de schrikbeelden konden met de simulator worden ontkracht. Maar er

waren ook duidelijke reacties van onverschilligheid, hetzij omdat het nieuwe windmolenpark weinig emotie opleverde bij de toehoorder, dan wel omdat er weinig geloof is in het proces (“ze komen toch wel”). Ook de setting van de presentatie en de mate waarin de bevolking al wel of niet een mening heeft gevormd over het onderwerp bepalen in sterke mate de reactie. Bij de bijeenkomst in Almere werd de simulatie gepresenteerd naast andere activiteiten die in de buurt speelden. De focus lag dus niet alleen op het nieuwe windmolenpark. Daarnaast is de bevolking van Almere al bekend met windmolens en betrof het project een uitbreiding en vervanging van een bestaand windmolenpark. Zo was er zelfs een opmerkelijke reactie van iemand die vanuit een flat uitkeek op het park en zei: “Zet er maar zoveel neer als je kan, want we moeten toch die (duurzame) kant op met de energie”. Bovendien was het mogelijk voor omwonenden om te participeren in het park, waardoor zij later financieel voordeel genieten van de windmolens. Hiermee krijgt het plan voor het windpark ook steun van deze omwonenden.

De presentatie van het windpark N33 hebben we op verzoek van Innogy en YARD ENERGY Development gemaakt. Hier waren verschillende belanghebbenden aanwezig, zoals eigenaren van grond waarop windmolens geplaatst worden, flora- en faunabeheerders, politici en omwonenden. Waar landeigenaren een (financieel) belang hebben bij de bouw van het windmolenpark, zijn zij vaak ook de bewoners die het dichtst bij de windmolens wonen. Juist zij hebben weinig bezwaar, omdat de financiële voordelen groter zijn dan de nadelige effecten op de leefomgeving. Hierbij speelt wel dat een landeigenaar vaak een eigen (boeren)bedrijf heeft, waarbij er andere activiteiten kunnen zijn die het geluid van de windmolens kunnen maskeren. Bij bewoners is er meer tegenstand tegen de windmolenplannen, maar zie je wel dat de inzet van een omgevingssimulatie helpt bij het beter en transparant informeren naar deze groep toe. Er kan vervolgens beter een onderscheid worden gemaakt of de bezwaren te maken hebben met geluid of andere factoren zoals slagschaduw of horizonvervuiling en kan hier vervolgens beter op worden geparticipeerd.

De vraag die vaak gesteld wordt door geïnteresseerden voor de inzet van deze simulator is of deze omgevingssimulatie wel geloofd wordt? Antwoord hierop is tot nu toe nog altijd: ja. Juist doordat de ervaring overeenkomt met een werkelijke ervaring van het bezoeken van een windpark, treedt er weinig reden tot twijfel op. De ervaring lijkt intensiever dan bij het tonen van een video op een beeldscherm of projectiescherm, hoewel dit nog verder onderzocht moet worden om hier definitieve conclusies aan te verbinden.

Conclusie

De inpassing van windturbines in het Nederlandse landschap met het oog op geluidsoverlast vereist een tijdige inzet van omgevingsmanagement. Hoewel geluidseffecten aan de wettelijke normen voldoen, neemt dit de ongerustheid bij de omgeving niet weg. De inzet van een *omgevingssimulator* kan het inzicht vergroten bij omwonenden en andere betrokkenen, en onzekerheid wegnemen. Het is geen wondermiddel dat geluidsoverlast wegneemt, maar plaatst het geluid van windturbines wel in perspectief met andere geluiden uit de omgeving. Deze zintuigelijke waarneming van een windmolenpark maakt de dialoog met de omgeving open en transparant. Afstemming en communicatie over de voorgenomen veranderingen is tijdens verschillende bewonersbijeenkomsten een sleutel tot succes gebleken.

Referenties

[1] S. Oerlemans, B. Méndez López, Acoustic Array Measurements on a Full Scale Wind Turbine, paper presented at 11th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, at Monterey, California. NLR Technical Paper NLR-TP-2005-336, 2005.

[2] S. Oerlemans, J.G. Schepers, Prediction of wind turbine noise and validation against experiment, NLR Technical paper NLR-TP-2009-402, 2009.

NLR

Anthony Fokkerweg 2

1059 CM Amsterdam, The Netherlands

p) +31 88 511 3113 f) +31 88 511 3210

e) info@nlr.nl i) www.nlr.nl