



Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu  
*Ministerie van Volksgezondheid,  
Welzijn en Sport*

## **Sanering windturbinegeluid**

Een indicatieve raming van kosten

RIVM Briefrapport 680375001/2011  
E. Verheijen | J. Jabben



Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu  
*Ministerie van Volksgezondheid,  
Welzijn en Sport*

## **Sanering windturbinegeluid**

Een indicatieve raming van kosten

RIVM Briefrapport 680375001/2011  
E. Verheijen | J. Jabben

## Colofon

© RIVM 2011

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: 'Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave'.

Edwin Verheijen  
Jan Jabben

Contact:  
Jan Jabben  
Centrum voor MilieuMonitoring  
jan.jabben@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van Ministerie van Infrastructuur en Milieu, in het kader van het project M680300, Beleidsondersteuning Geluid

## Rapport in het kort

### **Sanering windturbinegeluid – een indicatieve raming van kosten**

Sinds 1 januari 2011 zijn nieuwe regels rond windturbinegeluid van kracht. Bij de nieuwe regelgeving hoort een andere berekeningsmethode en normstelling, bedoeld voor nieuw te plaatsen windturbines. Voor de aanpak van de geluidhinder door bestaande windturbines overweegt de overheid een saneringsoperatie op te zetten, waarvoor in dit onderzoek een kostenraming wordt gegeven.

Bij een saneringsgrenswaarde van 47 decibel zouden ongeveer 450 woningen voor sanering in aanmerking komen. De kosten voor sanering daarvan worden geschat op 4,9 miljoen euro. Bij een groot deel van deze woningen zijn de bewoners waarschijnlijk eigenaar van de windturbine en is er sprake van direct economisch profijt. Het is mogelijk dat deze woningen niet in aanmerking zullen komen voor geluidsanering vanuit publieke middelen. Als deze groep buiten de kostenraming wordt gelaten, blijven 165 tot 275 saneringswoningen over met naar schatting 1,6 tot 2,6 miljoen euro aan saneringskosten.

Een indicatieve kosten-baten analyse duidt erop dat geluidsanering in veel gevallen kosteneffectief zal blijken. Dat betekent dat de baten door verminderde hinder of slaapverstoring vergelijkbaar zijn met de kosten van sanering. Alleen bij de kleine groep windturbines die al meer dan vijftien jaar in gebruik zijn, zal sanering niet kosteneffectief zijn. Deze windturbines zijn bijna aan het einde van hun levensduur en zijn in deze raming buiten beschouwing gelaten.

#### Trefwoorden:

Geluid, windturbines, norm, sanering, kosten

## Abstract

### **Remediation of wind turbine noise – a tentative estimation of costs**

Since the 1<sup>st</sup> of January 2011 new rules apply for wind turbine noise. The rules include a different calculation method and different noise limits, intended for new wind turbines. In order to tackle noise annoyance from existing wind turbines the government is considering to set up an abatement operation, for which a cost estimate is given in this study.

At an abatement limit of 47 decibel Lden approximately 450 dwellings would be eligible for noise remediation. The costs of this operation are estimated at 4.9 million euro. However, in many of these cases the wind turbine is probably owned by the respective residents. It is possible that public funds for noise remediation will not be allocated to the owners of dwellings that directly profit from the turbines. If these cases are excluded, the abatement operation would cover 165 to 275 dwellings with estimated costs for remediation of 1.6 to 2.6 million euro.

A tentative cost-benefit analysis suggests that noise remediation will be cost effective in most situations. This means that the benefits of reduced annoyance or sleep disturbance are in balance with the cost of remediation. Only for the small group of wind turbines that are in use for over fifteen years, remediation will not be cost effective. These wind turbines are nearing the end of their lifespan and are therefore ignored in the above estimates.

**Keywords:**

Noise, wind turbines, abatement, remediation, costs

## Inhoud

Samenvatting—6

**1 Inleiding—7**

1.1 Aanleiding—7

1.2 Doel—7

1.3 Achtergrond—7

**2 Aanpak—9**

2.1 Windturbines—9

2.2 Toetsing  $L_{den}$  en/of  $L_{night}$ —10

2.3 Woningen—10

2.4 Bedrijfswoningen—11

2.5 Cumulatie—11

2.6 Saneringsmaatregelen en doelmatigheid—12

**3 Resultaten—15**

3.1 Geluidbelasting bij de woningen—15

3.2 Indicatie saneringsomvang zonder cumulatie—16

Literatuur—18

Bijlage 1 Landsdekkende geluidkaart windturbines—19

Bijlage 2 Bronvermogen als functie van de windsnelheid—22

Bijlage 3 Bronvermogen  $L_{Wden}$  windturbines—24

## Samenvatting

Per 1 januari 2011 is nieuwe regelgeving rond windturbinegeluid van kracht geworden. Bij deze nieuwe regelgeving hoort een andere berekeningsmethode en een aangepaste normstelling, uitgedrukt in  $L_{den}$  en  $L_{night}$ . De nieuwe regeling is alleen bedoeld voor de beoordeling van vergunningsaanvragen van *nieuwe* windturbines. Voor de aanpak van de geluidhinder door bestaande windturbines overweegt het ministerie van Infrastructuur en Milieu een saneringsoperatie op te zetten. Dit onderzoek gaat in op de mogelijke opgave van een saneringsoperatie en de kosten daarvan.

Bij de meeste woningen rond de bestaande windturbines wordt nu al aan de nieuwe grenswaarde van 47 dB  $L_{den}$  voldaan. Bij een deel van de woningen treden hogere niveaus op. Hiervoor kan een saneringsregeling worden opgezet. De saneringsoperatie houdt in dat eerst onderzocht wordt welke geluidniveaus optreden bij de woningen. Vervolgens dient te worden vastgesteld welke geluidmaatregelen aan de windturbines of de woningen mogelijk zijn. Uit de voorliggende kosteninventarisatie blijkt dat alleen (gevel)maatregelen aan de woningen een reële optie zijn. Tevens blijkt dat sanering niet kosten-effectief zal zijn bij windturbines die al langer dan 15 jaar in gebruik zijn, gezien de gemiddelde technische levensduur van 20 jaar.

Vaak staat de windturbine op hetzelfde erf als de woning waar de grenswaarde wordt overschreden, of loopt er een pad vanaf het erf van de woning naar de betreffende windturbine. Voor een saneringsregeling is van belang in hoeverre zulke woningen als 'bedrijfswoning' kunnen worden aangemerkt. Indien de bewoners van deze woningen economisch gebonden zijn aan de windturbine lijkt sanering met publieke middelen minder van toepassing. Uit onderzoek blijkt dat bewoners die economisch gebonden zijn aan de windturbine (bijna) niet gehinderd zijn.

In deze inventarisatie is met een landsdekkend geluidmodel nagegaan hoeveel woningen een bepaalde geluidbelasting ten gevolge van bestaande windturbines hebben (peildatum juni 2010). Wanneer een saneringsgrenswaarde van 47 dB  $L_{den}$  wordt aangehouden (gelijk aan de norm voor nieuwbouw), zouden naar schatting circa 450 woningen voor sanering in aanmerking komen. Het deel wat als 'bedrijfswoningen' kan worden gezien is daarbij meegeteld. De bijbehorende kosten worden geschat op 4,9 mln euro. Hierbij is per te saneren decibel uitgegaan van een kostenkental van € 1500.

Het aantal potentiële bedrijfswoningen ligt tussen de 175 en 285 stuks. Als deze buiten de operatie worden gehouden is, resteert een saneringsomvang voor de overige 165 tot 275 woningen van 1,6 tot 2,6 mln euro.

Als in plaats van 47 dB een grenswaarde van 49 dB  $L_{den}$  voor de sanering zou worden gehanteerd, resulteert dit in minder te saneren woningen. Het gaat dan om 215 saneringswoningen, waarvan naar schatting 130 tot 170 bedrijfswoningen. Als de bedrijfswoningen buiten de saneringsoperatie worden gehouden blijft voor de overige 45 tot 85 woningen een budget nodig van 0,6 tot 1,1 mln euro.

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Op 1 januari 2011 is een nieuwe regelgeving rond windturbinegeluid van kracht geworden [1]. Bij deze nieuwe regelgeving hoort een andere berekeningsmethode en normstelling. Deze zijn alleen bedoeld voor de beoordeling van vergunningsaanvragen van nieuwe windturbines. Voor de aanpak van de geluidhinder door bestaande windturbines overweegt het ministerie van Infrastructuur en Milieu een saneringsoperatie op te zetten. Daarbij zouden bestaande situaties met een geluidbelasting boven een nog vast te stellen saneringsgrenswaarde kunnen worden aangepakt.

Een eerste globale raming [2] stelt dat een bedrag in de orde van 12 miljoen euro gemoed zou zijn met een sanering van de naar schatting 810 woningen in Nederland die een geluidbelasting van meer dan 47 dB Lden zouden ondervinden door windturbines. Dit is inclusief woningen die als bedrijfswoning zouden kunnen worden bestempeld. Deze raming was echter gebaseerd op een aantal globale uitgangspunten en verouderde gegevens over de geluidproductie, de locaties en het aantal windturbines in Nederland. Momenteel heeft het ministerie behoefte aan een nauwkeuriger schatting van mogelijke omvang van een saneringsoperatie voor windturbines.

## 1.2 Doel

Doelstelling van het onderhavige onderzoek is een kostenraming te maken van maatregelen die nodig zijn om bestaande situaties met een geluidbelasting boven een bepaalde saneringsgrenswaarde te reduceren. Voor een haalbare saneringsoperatie dient tevens de doelmatigheid van te gebruiken geluidbeperkende voorzieningen beschouwd te worden. Dit laatste heeft betrekking op de vraag of de baten van saneringsmaatregelen opwegen tegen de kosten ervan.

## 1.3 Achtergrond

In de Wet milieubeheer (Activiteitenbesluit) gold tot 1 januari 2011 als maximale waarde voor windturbines: 50 dB(A) tijdens de dag, 45 dB(A) 's avonds en 40 dB(A) 's nachts. De geluidmaat was de  $L_{A,RT}$ . Bij de invoering van de nieuwe regelgeving is getracht een normneutrale omzetting te maken. Dit is slechts bij benadering mogelijk doordat de  $L_{A,RT}$  niet één op één om te rekenen is in de nieuwe maten  $L_{den}$  en  $L_{night}$ . Als compromis is daarbij gekozen voor grenswaarde van 47 dB  $L_{den}$  en aanvullend een grenswaarde van 41 dB  $L_{night}$ . De Nota van Toelichting bij de publicatie van de nieuwe regelgeving zegt daarover [1]: "Waar het gaat om vergunningplichtige windturbineparken, is vastgesteld dat de in de praktijk verleende vergunningen eveneens corresponderen met een maximaal niveau van 47 dB  $L_{den}$ . Een norm van 47 dB  $L_{den}$  en 41 dB  $L_{night}$  is daarmee in lijn met de huidige uitvoeringspraktijk van de laatste jaren."

Op grond van het bovenstaande kan verwacht worden dat de meeste woningen rond de bestaande windturbines als gevolg van het Activiteitenbesluit een geluidbelasting van Lden 47 dB of minder zullen hebben. Bij woningen waar



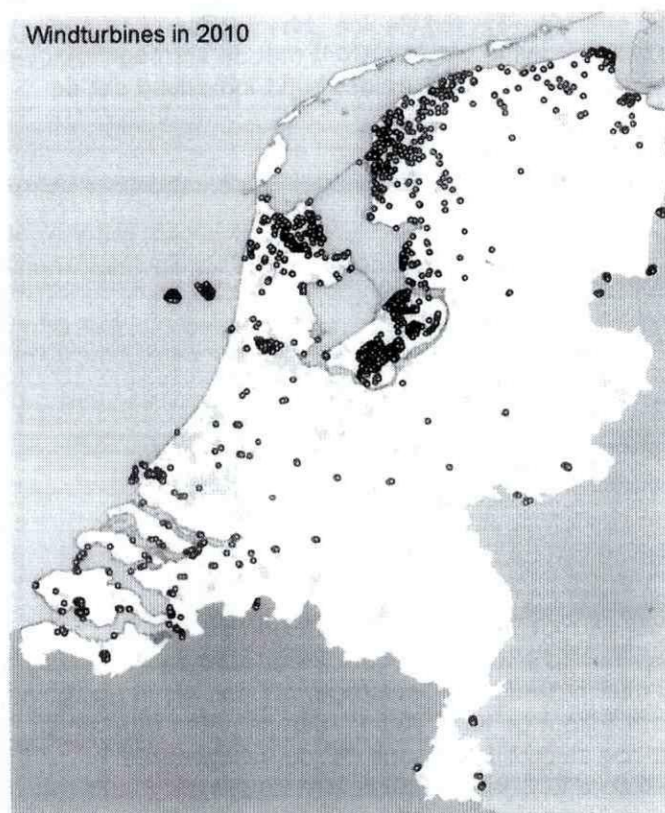
hogere niveaus optreden zou een saneringsregeling soelaas kunnen bieden. Naar analogie van de saneringsregelingen voor weg- en railverkeer kan de wetgever ervoor kiezen een (iets) hogere saneringsgrenswaarde in te stellen dan die van de normstelling voor nieuwe windturbines. De regeling zou dan alleen van toepassing zijn op situaties waar substantieel hogere niveaus optreden dan 47 dB  $L_{den}$ . In dit onderzoek is hiermee rekening gehouden door een inventarisatie te maken van saneringssituaties bij een grenswaarde van 47 dB  $L_{den}$  en een wat hogere waarde van 49 dB  $L_{den}$ .

## 2 Aanpak

### 2.1 Windturbines

In dit onderzoek is een gegevensbestand voor windturbines gebruikt dat is geactualiseerd tot 1 juni 2010. Het bestand is opgesteld door de windenergiesector (<http://www.windenergie-nieuws.nl>). Het bevat 1980 windturbines, zowel op land (1884 stuks) als op zee (96 stuks) met in totaal 2,2 GW elektrisch vermogen.

Het bestand is in dit onderzoek met luchtfoto's gecontroleerd. Daarbij is de locatie van enkele windturbines gecorrigeerd. Het bestand is vervolgens aangevuld met 139 windturbines die aan Duitse zijde van de grens zijn opgesteld en 16 windturbines aan Belgische zijde van de grens. Hiervoor is gebruik gemaakt van luchtfoto's uit 2006-2008 (Google Maps). De locaties van de turbines zijn weergegeven in Figuur 1.



*Figuur 1 Windturbines (2010) in Nederland en net over de grens.*

In het uiteindelijke bestand zijn 2135 windturbines opgenomen met onder meer de volgende gegevens:

- het type windturbine
- plaatscoördinaten
- elektrisch vermogen
- ashoogte
- jaar van in bedrijfstelling

Met deze gegevens als invoer is de geluidbelasting landsdekkend in kaart gebracht voor de situatie in 2010. Hierbij is de windverdelingsdatabase gebruikt die door het KNMI is vervaardigd in het kader van de wettelijke berekening van windturbinegeluid. In Bijlage 1 wordt het geluidoverdrachtmodel uiteengezet en wordt tevens gedemonstreerd dit model voldoet aan het nieuwe *Reken- en Meetvoorschrift windturbines*.

## 2.2 Toetsing $L_{den}$ en/of $L_{night}$

In dit onderzoek wordt nagegaan bij hoeveel woningen de  $L_{den}$ -waarde van 47 dB wordt overschreden. Daarnaast zou ook de aparte normstelling van 41 dB voor de  $L_{night}$  kunnen worden getoetst. De kans dat deze wordt overschreden, terwijl gelijktijdig de  $L_{den}$  van 47 dB niet overschreden wordt, is echter klein. De Nota van Toelichting bij de publicatie van de nieuwe regelgeving [1] zegt hierover: "Indien voldaan wordt aan de norm van ten hoogste 47  $L_{den}$ , zal bij een turbine die in vol bedrijf is de 41  $L_{night}$  slechts bij uitzondering overschreden worden."

Uit een combinatie van de windverdeling van het KNMI met de vermogenskarakteristieken voor vier grotere types windturbines blijkt inderdaad dat de normstelling voor  $L_{den}$  maatgevend zal zijn. Bijlage 2 geeft als voorbeeld de windverdeling in de buurt van Almere. Deze is zodanig dat de  $L_{night}$  zo'n 6,4 dB lager zal zijn dan de  $L_{den}$ , terwijl het verschil in normstelling slechts 6,0 dB is. Met andere woorden, als de  $L_{night}$  aan de gevel van een woning nabij een van deze windturbines 41,4 dB zou bedragen (juist geen overschrijding van de norm), bedraagt de  $L_{den}$  er minstens 47,8 dB (overschrijding van de norm). Uit een analyse van de windverdelingen in heel Nederland blijkt voor deze vier turbines dat het gemiddelde verschil tussen  $L_{den}$  en  $L_{night}$  steeds 6,3 à 6,4 dB bedraagt.

Overigens kan bij steekproefsgewijze immissiemetingen (die overigens niet zijn voorzien in de regeling) in sommige gevallen de nacht-waarde bij een gevel maatgevend blijken. Dit hangt samen met de beperkte duur van die metingen, maar ook van overdrachtseffecten, ashoogte, stoorlawaai, bedrijfsduur en het typewindturbine. Het effect van de beperkte duur van zulke metingen kan worden geschat voor de locatie Cabauw bij Lopik. Hiervan zijn jarenlange datareeksen van windsnelheden op o.a. 80 en 140 m hoogte beschikbaar, gesampled per half uur. Voor de types windturbines uit Bijlage 2 blijkt dat tijdens 16% van de nachten de nacht-waarde bepalend zou kunnen zijn boven de  $L_{den}$ -waarde berekend over hetzelfde (willekeurige) etmaal. Als in plaats van een willekeurig etmaal een willekeurige week zou worden gemeten (dus zeven dagen continu meten) is er nog slechts 1,5% kans dat de nachtwaarde bepalend is. Als er twee weken continu wordt gemeten verkleint deze kans tot 0,4%. Voor de sanering van windturbinegeluid spelen handhavingmetingen geen rol en in dit onderzoek zijn we ervan uit gegaan dat de  $L_{den}$ -norm bepalend is voor het al dan niet optreden van een saneringsituatie.

## 2.3 Woningen

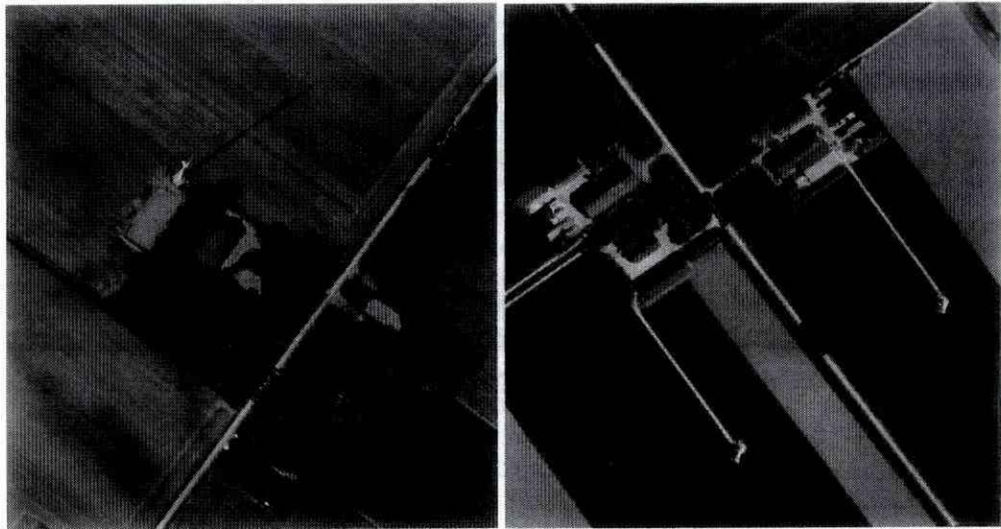
Het woningbestand is gebaseerd op een bestand met ACN-punten van eind 2010. In dit bestand kunnen fouten aanwezig zijn, dit wil zeggen woonlocaties die feitelijk geen woningen zijn. Om deze op te sporen en te herstellen zijn alle driehonderd windturbines waarbij ACN-punten binnen de 48 dB  $L_{den}$ -contour lagen nagelopen met behulp van luchtfoto's en Google StreetView. Alleen als een locatie duidelijk niet als woning in gebruik is (kantoorpand, zuiveringsinstallatie, loods, etc.) zijn deze verwijderd uit het woonbestand. Mogelijk heeft nog een

klein deel van het gevonden aantal saneringslocaties geen woonfunctie maar een zakelijke functie. Deze kunnen door de instanties die de eventuele sanering uitvoeren worden aangeschreven en indien nodig uitgesloten.

#### 2.4 Bedrijfswoningen

Tijdens het onderzoek met luchtfoto's is tevens bijgehouden of een woonlocatie en een windturbine duidelijk op hetzelfde erf gelegen zijn. Zulke woningen zouden als *bedrijfswoning* kunnen worden aangemerkt. De eigenaar van de woning kan zelf bij optredende hinder de windturbine stopzetten. Sanering van zulke woningen met publieke middelen ligt dan niet voor de hand. In de zuidelijke Flevopolder (Zeewolde e.o.) komt het daarnaast veel voor dat de windturbine niet direct op het erf staat, maar dat er een pad loopt *vanaf* het erf waarop de woonlocatie ligt *naar* de windturbine. Mogelijk is ook hier sprake van bedrijfswoningen. In deze inventarisatie wordt volstaan met het aanduiden van zulke situaties met 'bedrijfswoning type 1' en 'type 2', zie Figuur 2. Ze worden apart geteld en daarnaast ook meegeteld in het woningtotaal.

Bij elke windturbine is hoogstens één van de woonlocaties als bedrijfswoning (type 1 of 2) aangemerkt, ook als het erf meerdere woonlocaties (ACN-punten) bevat.



Figuur 2 Bedrijfswoning type 1 (links) en 2 (rechts)

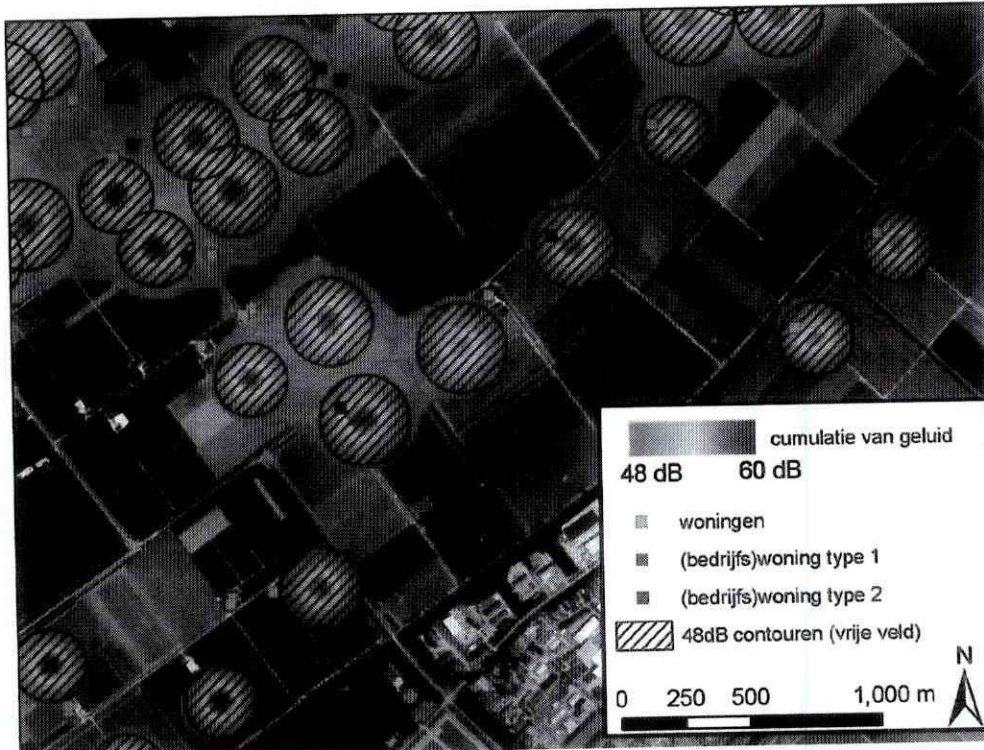
#### 2.5 Cumulatie

Conform de gangbare praktijk bij geluidsanering is er in dit onderzoek geen rekening gehouden met cumulatie van het geluid van een windturbine met dat van andere bronsoorten (weg, rail, luchtvaart, scheepvaart, industrie). Wel is cumulatie van het geluid van windturbines onderling meegenomen. Dit speelt bij veel windparken. Naar analogie met de sanering van industrielawaai worden deze als een geheel beschouwd.

Daarnaast kan een indicatie worden gegeven van de (kleinere) saneringsomvang wanneer cumulatie van windturbinegeluid niet aan de orde zou zijn.

In figuur 3 is het effect van het wel of niet meenemen van cumulatie bij windparken zichtbaar. Veel woningen liggen wel binnen de gecumuleerde 48 dB-contouren (groen) maar niet binnen de vrije-veldcontouren (gearceerd). De vrije-veldcontouren geven de afstand van de 48 dB-contour voor wanneer er

geen gebouwen en geen harde bodemdelen rond de windturbines zouden liggen. Ze benaderen de vorm van de 48 dB-contour van afzonderlijke windturbines.



*Figuur 3 Cumulatie van windturbinegeluid (groene 48 dB-contour) en zonder cumulatie (gearceerde cirkels).*

## 2.6

### Saneringsmaatregelen en doelmatigheid

Saneringsmaatregelen bij windturbines kunnen aan de bron (de windturbine) of bij de ontvanger (de woning) worden genomen. Afscherpende maatregelen (schermen) zijn vanwege de hoogte van de bron en de invloed van deze maatregel op de windsnelheid geen optie.

Saneringsmaatregelen dienen verder kosteneffectief te zijn. Dit betekent dat de baten, in de vorm van een verbeterde leefkwaliteit door de maatregelen, in redelijke verhouding moeten staan tot de kosten van de maatregelen. Bovendien geldt daarbij dat de minst kostbare van de kosteneffectieve maatregelen zou moeten gekozen.

#### Kosten bronmaatregelen

Maatregelen aan de bron zijn niet mogelijk zonder dat dit tot exploitatieverlies leidt. Geluidmaatregelen zoals het (periodiek) stilzetten van de rotors en in het uiterste geval het ontmantelen van de installatie zijn zeer kostbaar doordat de investeringskosten dan niet worden terugverdiend.

Een rekenvoorbeeld maakt dit duidelijk. Windturbines worden economisch in 15 jaar afgeschreven, technisch kunnen ze ongeveer 20 jaar meegaan [5]. Tabel 1 geeft een overzicht van kosten en baten voor een windpark van 15 MW (met 5 tot 10 windturbines). Gedurende de eerste 15 jaar bedraagt de jaarlijkse netto opbrengst per MW ongeveer 33 duizend euro (493 kE/15). In de jaren daarna, tot aan de sloop, is de jaarlijkse netto opbrengst een veelvoud (ruim 2 ton per jaar) daarvan doordat de financieringslasten wegvallen.

Tabel 1 Kosten en baten bij een 15 MW park met 2.200 vollasturen. Bron: [5]

Post	Uitgangspunt	Bedrag/ jaar
Investering	€ 1.430/kW	
Financiering	Rente: 5% (15 jr)	€ 2.066.542
Onderhoud & verz.	€ 0,011/kWh/jaar	€ 363.000
Grondkosten (priv.)	€ 14/kW/jaar	€ 210.000
Netkosten	€ 11/kW/ jaar	€ 165.000
OZB	€ 18.600/jaar	€ 18.600
Overige kosten		€ 50.000
<b>Saldo kosten</b>		<b>€ 2.873.142</b>
Elektr. verkoop	€ 0,07 (2008)	€ 2.310.000
Subsidie	€ 0,032/kWh	€ 1.056.000
<b>Saldo baten</b>		<b>€ 3.366.000</b>
<b>Resultaat</b>		<b>€ 492.858</b>

### Kosten maatregelen aan woningen

De kosten van gevelmaatregelen zijn afhankelijk van het aantal te isoleren gevels. Deze kosten variëren van enkele duizenden euro's per woning (verkeerslawaai, één gevel) tot zo'n 15 duizend euro per woning (Schiphol, GIS-3). Doordat deze kosten slechts eenmalig zijn, is het vrijwel altijd efficiënter om de woningen en niet de windturbine te saneren. De kosten zijn ook enigszins afhankelijk van de te behalen geluidreductie. Omdat het hier om lage geluidsbelastingen gaat, zullen de aanpassingen beperkt zijn. Te denken valt onder andere aan het aanbrengen geluidgedempte ventilatievoorzieningen. Een nauwkeurige bepaling van de saneringskosten per woning is lokaal maatwerk en valt buiten deze verkennende landsdekkende raming. In deze studie is daarom bij elke woning uitgegaan van een kostenkental van 1500 Euro per te reduceren decibel.

Alleen als er tientallen woningen bij een enkele windturbine moeten worden aangepakt, zou het aanpakken van de windturbine efficiënter kunnen zijn. De resultaten van deze inventarisatie laten zien dat dit niet aan de orde is: er zijn maximaal 5 saneringswoningen per windturbine. Dit komt overigens slechts bij drie windturbines in Nederland voor.

### Doelmatigheid

De baten van geluidsanering dienen zoals gezegd in redelijke verhouding tot de kosten te staan. De jaarlijkse baten van geluidreductie voor verkeerslawaai zijn door een werkgroep van de EC in 2003 geschat op € 25 per huishouden per decibel [6]. Gecorrigeerd naar prijspeil 2011 is dat circa € 30. Bij dit bedrag moet een grote onzekerheidsmarge in aanmerking worden genomen. Een vergelijking van 'Stated Preference' en 'Contingent Valuation' methoden [7] voor wegverkeerslawaai laat een bandbreedte zien van € 3 tot € 123. De EC waarde is echter van toepassing op vermindering van wegverkeersgeluid en niet op vermindering van windturbinegeluid. In dit onderzoek zijn we ervan uitgegaan dat de baten van 1 dB reductie van windturbinelawaai hoger zijn dan die voor reductie van wegverkeerslawaai, omdat de dosis-effectrelatie voor geluidhinder van windturbines aanmerkelijk hoger ligt dan bij wegverkeer [8]. Op basis van deze overweging zijn in de onderhavige inventarisatie de jaarlijkse baten van vermindering van windturbinelawaai geschat op € 100 per decibel (vier maal de EC waarde).

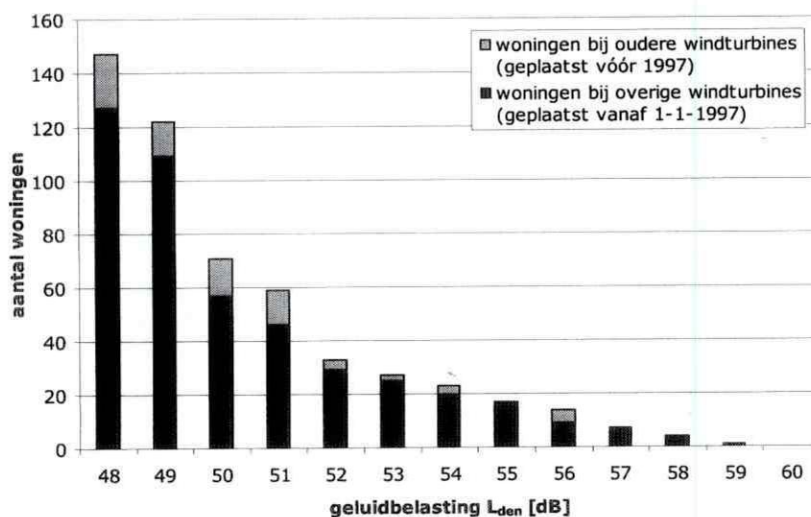
Deze baten dienen vervolgens gesommeerd te worden over de resterende technische levensduur van de windturbine(s) in kwestie. Hiervoor wordt in deze inventarisatie een gemiddelde genomen van 15 jaar, geldend voor windturbines die nog een redelijke termijn zullen draaien. Voor deze categorie windturbines

bedragen de totale baten van een decibel geluidreductie dus circa  $15 \times \text{€}100 = \text{€} 1500$  per decibel per woning. Dit bedrag komt redelijk overeen met de gebruikelijke kosten voor kierdichting en gevelisolatie per decibel, zodat sanering van deze situaties maatschappelijk doelmatig zal zijn. Voor de categorie turbines die al een groot aantal jaren draait geldt dat deze over enkele jaren, als een eventuele saneringsoperatie daadwerkelijk kan starten, uit gebruik zijn genomen. Als peildatum zal hiervoor 1 januari 1997 worden genomen. Saneringssituaties rond windturbines die voor die datum zijn geplaatst, worden apart geteld.

### 3 Resultaten

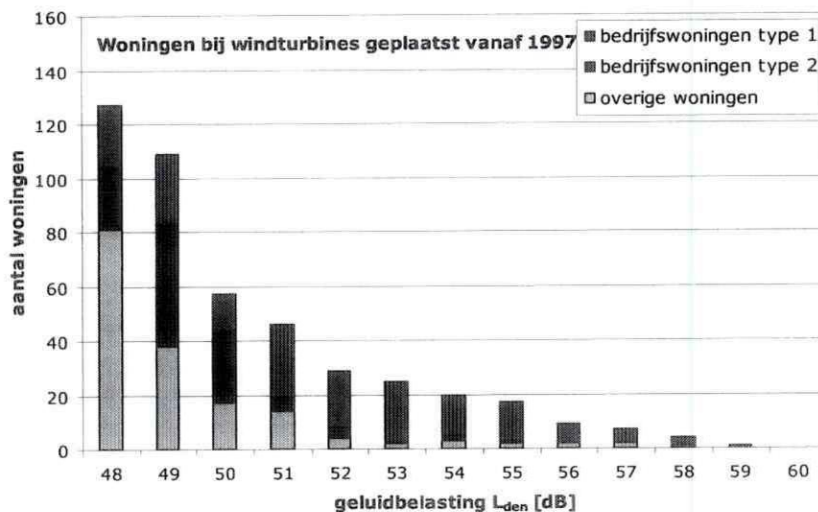
#### 3.1 Geluidbelasting bij de woningen

Met behulp van de methode van Bijlage 1 is de geluidbelasting bij de woningen als gevolg van alle windturbines samen berekend. In Figuur 4 zijn de aantallen woningen, inclusief bedrijfswoningen van type 1 en 2, uitgezet tegen de  $L_{den}$ -waarde aan de gevel. De meeste woningen staan bij windturbines die zijn geplaatst vanaf 1997. In totaal is bij 525 woningen de geluidbelasting hoger 47 dB  $L_{den}$ . Daarvan staan er 451 bij windturbines die minder dan 15 jaar oud zijn. Voor deze woningen is geluidsanering in principe doelmatig te realiseren.



Figuur 4 Aantallen woningen per waarde van de geluidbelasting  $L_{den}$ .

Bij deze 451 woningen zijn 178 bedrijfswoningen aan te merken van type 1 (windturbine op erf woning) en 107 van type 2 (windturbine aan pad vanaf erf woning). Naast deze zijn er nog 166 overige woningen met een geluidbelasting boven 47 dB.



Figuur 5 Aantallen woningen per waarde van de geluidbelasting  $L_{den}$ .



De resultaten van deze tellingen zijn weergegeven in Tabel 2. De onderste twee regels geven de totalen voor een saneringsgrenswaarde van respectievelijk 47 dB en 49 dB.

Tabel 2 Aantalsaneringswoningen naar geluidbelasting, type en ouderdom van de windturbines.

L <sub>den</sub> [dB]	woningen bij alle windturbines				woningen bij windturbines (geplaatst vanaf 1-1-1997)			
	alle woningen	overige woningen	type 1	type 2	alle woningen	overige woningen	type 1	type 2
48	147	90	34	23	127	81	23	23
49	122	41	40	41	109	38	26	45
50	71	17	24	30	57	17	14	26
51	59	14	40	5	46	14	27	5
52	33	5	24	4	29	4	21	4
53	27	3	23	1	25	2	22	1
54	23	3	18	2	20	3	15	2
55	17	1	15	1	17	2	14	1
56	14	3	11	0	9	2	7	0
57	7	2	5	0	7	2	5	0
58	4	1	3	0	4	1	3	0
59	1	0	1	0	1	0	1	0
60	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>&gt; 47 dB</b>	<b>525</b>	<b>180</b>	<b>238</b>	<b>107</b>	<b>451</b>	<b>166</b>	<b>178</b>	<b>107</b>
<b>&gt; 49 dB</b>	<b>256</b>	<b>49</b>	<b>164</b>	<b>43</b>	<b>215</b>	<b>47</b>	<b>129</b>	<b>39</b>

Uit deze tabel blijkt dat wanneer een saneringsgrenswaarde van 47 dB L<sub>den</sub> wordt gehanteerd, er circa 450 woningen voor sanering in aanmerking zouden kunnen komen, bedrijfswoningen meegeteld. De saneringskosten worden geschat op 4,9 mln euro. Het aantal potentiële bedrijfswoningen ligt ongeveer tussen de 175 (type 1) en 285 stuks (type 1 + type 2). Als bedrijfswoningen niet gesaneerd worden bedragen de kosten voor de resterende 165 tot 275 woningen tussen de 1,6 tot 2,6 mln euro.

Als in plaats van 47 dB een grenswaarde van 49 dB L<sub>den</sub> voor de sanering zou worden gehanteerd, zouden er 215 saneringswoningen zijn, waarvan naar schatting 130 tot 170 bedrijfswoningen. De saneringskosten voor de overige 45 tot 85 woningen bedragen 0,6 tot 1,1 mln euro.

In bovengenoemde cijfers is één woning in Koningsbosch (Limburg) opgenomen die wordt blootgesteld aan een geluidbelasting van 48 dB vanwege het Duitse windpark Waldfeucht. Bij de andere buitenlandse windparken zijn geen Nederlandse saneringswoningen betrokken.

### 3.2 Indicatie saneringsomvang zonder cumulatie

De aantallen in de vorige paragraaf gelden voor het geval het geluid van alle windturbines wordt gecumuleerd. Als woningen voor elke windturbine apart aan een grenswaarde moeten voldoen om voor sanering in aanmerking te komen, zijn de totalen lager, zie Tabel 3. Het gaat om indicatieve cijfers, omdat bij deze methode vrije-veldcontouren zijn gebruikt, zie §2.5.

*Tabel 3 Aantal saneringswoningen – zonder cumulatie van windturbinegeluid.*

L <sub>den</sub> [dB]	woningen bij alle windturbines				woningen bij windturbines (geplaatst vanaf 1-1-1997)			
	alle woningen	overige woningen	type 1	type 2	alle woningen	overige woningen	type 1	type 2
> 47 dB	313	67	226	20	255	62	173	20
> 49 dB	182	23	153	6	149	23	120	6

Bij vergelijking van Tabel 3 met Tabel 2 valt op dat het aantal saneringswoningen ongeveer halveert als geen cumulatie van windturbinegeluid zou worden toegepast.

In Tabel 4 is geteld hoeveel windturbines één of meer saneringswoningen veroorzaken. Deze aantallen zijn ongeveer van dezelfde orde grootte als het aantal saneringswoningen zelf. Dit betekent dat bij het merendeel van de windturbines met saneringswoningen het om slechts één of twee saneringswoningen gaat.

*Tabel 4 Aantal windturbines bij saneringswoningen – zonder cumulatie van geluid.*

L <sub>den</sub> [dB]	windturbines				windturbines geplaatst vanaf 1-1-1997			
	bij alle woningen	bij overige woningen	bij type 1	bij type 2	bij alle woningen	bij overige woningen	bij type 1	bij type 2
> 47 dB	257	47	194	16	203	43	144	16
> 49 dB	166	20	142	4	134	20	110	4

Het maximale aantal saneringswoningen per windturbine blijkt vijf stuks te zijn, eventuele bedrijfswoningen meegeteld. Dit maximum komt voor bij drie windturbines die vanaf 1997 in werking zijn gesteld. Er zijn geen windturbines met vier saneringswoningen. Wel zijn er vijf windturbines met drie saneringswoningen, eventuele bedrijfswoningen meegeteld. In de overige situaties gaat het inderdaad om slechts één of twee woningen per windturbine.

## Literatuur

- [1] Algemene maatregel van bestuur in werking gesteld bij Koninklijk Besluit vanaf 1 januari 2011.
- [2] RIVM rapport 680300007/2009, Evaluatie nieuwe normstelling windturbinegeluid, E. Verheijen, J. Jabben, E. Schreurs, T. Koeman, R. van Poll, B du Pon, 2009.
- [3] Berg GP van den, Pedersen E., Bouma J. en Bakker R. (2008), WINDFARM-perception: Visual and acoustic impact of wind turbine of wind turbine farms on residents. Report FP6-2005-Science-and-Society-20. University of Groningen, Göteborg University.
- [4] Schreurs EM, Jabben J, Verheijen ENG, STAMINA - Model description. Standard Model Instrumentation for Noise Assessments RIVM rapport 680740003/2010, Bilthoven .
- [5] Informatie van de website van de Landelijke Uitwerking Windenergie (LUW), waarin een aantal ministeries deelnemen. Website geraadpleegd in februari 2011. <http://www.windenergie.nl>.
- [6] Working Group on Health and Socio-Economic Aspects (WG-HSEA). The valuation of noise, position paper, Brussel, 2003.
- [7] John Nellthorp, Abigail Bristow en Brett Day, Cost-benefit values for surface transport noise: derivation, application and international comparisons, Proceedings of Inter-Noise 2007, Istanbul, augustus 2007.
- [8] S.A. Janssen, H. Vos en A. Eisses (oktober 2008), Hinder door geluid van windturbines, Dosis-effectrelaties op basis van Nederlandse en Zweedse gegevens, TNO-rapport 2008-D-R1051/B.

## Bijlage 1 Landsdekkende geluidkaart windturbines

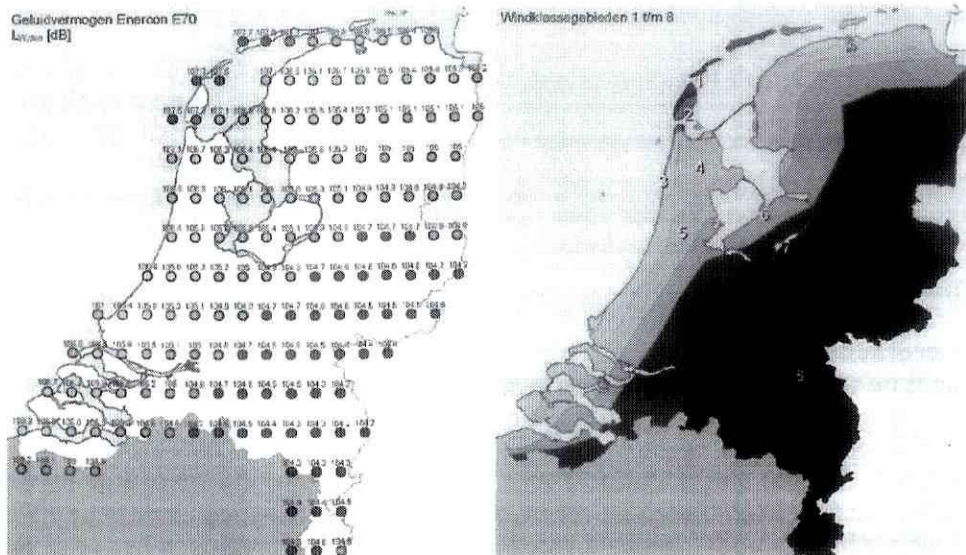
### Inleiding

Elk type windturbines heeft een specifiek geluidvermogen dat afhangt van de windsnelheid op ashoogte. Het bronvermogen neemt toe met die windsnelheid totdat een zeker maximum wordt bereikt waarboven de rotoren met constante snelheid blijven draaien. In Bijlage 2 is van vier grotere types windturbines het bronvermogen als functie van de windsnelheid op ashoogte weergegeven.

Het zou een zeer arbeidsintensief proces zijn om van elk van de 2135 windturbines het op de betreffende locatie voor het betreffende type geldende geluidvermogen te berekenen. Er zijn namelijk tientallen fabrikanten en per fabrikant vele verschillende types windturbines. Slechts weinig vermogenskarakteristieken zijn vrij beschikbaar. Voor deze inventarisatie is daarom een vereenvoudiging toegepast. Hierbij zijn eerst windklassegebieden gedefinieerd. Voor alle windturbines in zo'n gebied wordt het bronvermogen samengesteld uit een basisvermogen, dat is berekend uit het elektrische vermogen van de turbine, en een correctiewaarde, die is berekend met de windverdeling in dag, avond en nacht op ashoogte in het betreffende windklassegebied. Deze aanpak wordt hier in meer detail beschreven. Daarna wordt het rekenmodel van het RIVM toegelicht en geijkt aan de wettelijke Rekenmethode voor windturbines.

### Windklassegebieden

Het land kan in gebieden worden verdeeld met een ongeveer gelijke windsterkte. Deze zijn bepaald aan de hand van het geluidvermogen van de Enercon E-70 windturbines op het KNMI-raster. Het KNMI-raster, zie figuur 1A links, bevat de langjarig gemiddelde windsnelheidsverdeling in dag-, avond- en nachtperiode op een raster met stapjes van 0,2 lengte- en breedtegraad, op hoogten van 80 tot 120 m (stappen van 10 m).



Figuur 1A Links rasterpunten met geluidvermogen E-70, rechts gebiedsindeling.

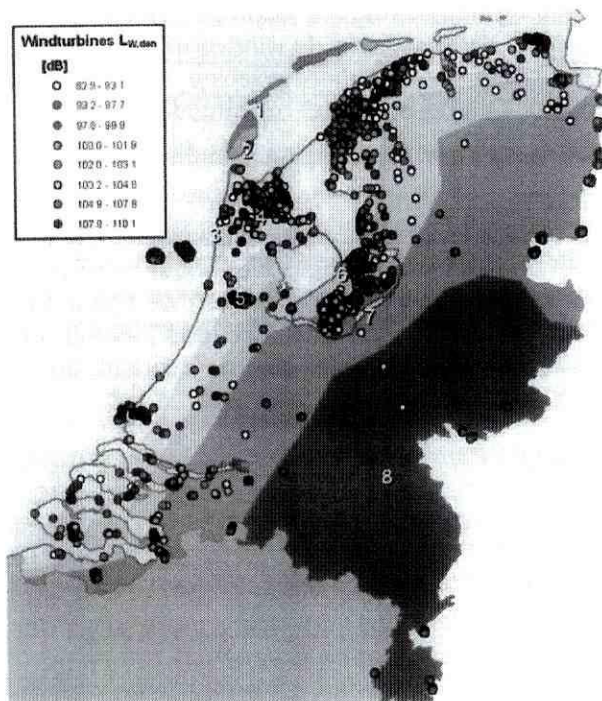
De E-70 windturbine (zie bijlage 2) heeft een vrij steile vermogenskarakteristiek en is daardoor bijzonder geschikt om gebieden (figuur 1A rechts) te definiëren met een breedte van maximaal 0,5 dB in geluidvermogen. Vervolgens is voor

elke windturbine in zo'n gebied het jaargemiddelde *den*-gewogen geluidvermogen  $L_{w,den}$  in dB(A) berekend volgens:

$$L_{w,den} = 10 \log(P_{elek}) + 71 \text{ dB(A)} + C_{den}(\text{windklassegebied; ashoogte})$$

waarin de eerste twee termen een statistisch verantwoorde schatting betreffen van het geluidvermogen bij maximale rotorsnelheid [3]. De *den*-conversietoeslag  $C_{den}$  hangt af van de windverdeling op ashoogte tijdens de dag-, avond-, en nachtperiode in het betreffende windklassegebied. Bij de berekening van  $C_{den}$  wordt een vaste vermogenskarakteristiek met een gemiddelde steilheid (Vestas V80 windturbine) gebruikt voor alle turbines. De windverdelingen op ashoogten van 30 tot 80 m zijn geïnterpoleerd tussen de reguliere windverdeling op 10 m hoogte en de KNMI-gegevens op 80 m.

De zo berekende geluidvermogens zijn in onderstaande figuur weergegeven. De vermogens van de 1513 windturbines op land die vanaf 1997 in dienst genomen zijn, zijn tevens in bijlage 3 opgenomen in tabelvorm.



Figuur 1B Geluidvermogens  $L_{w,den}$  van alle windturbines.

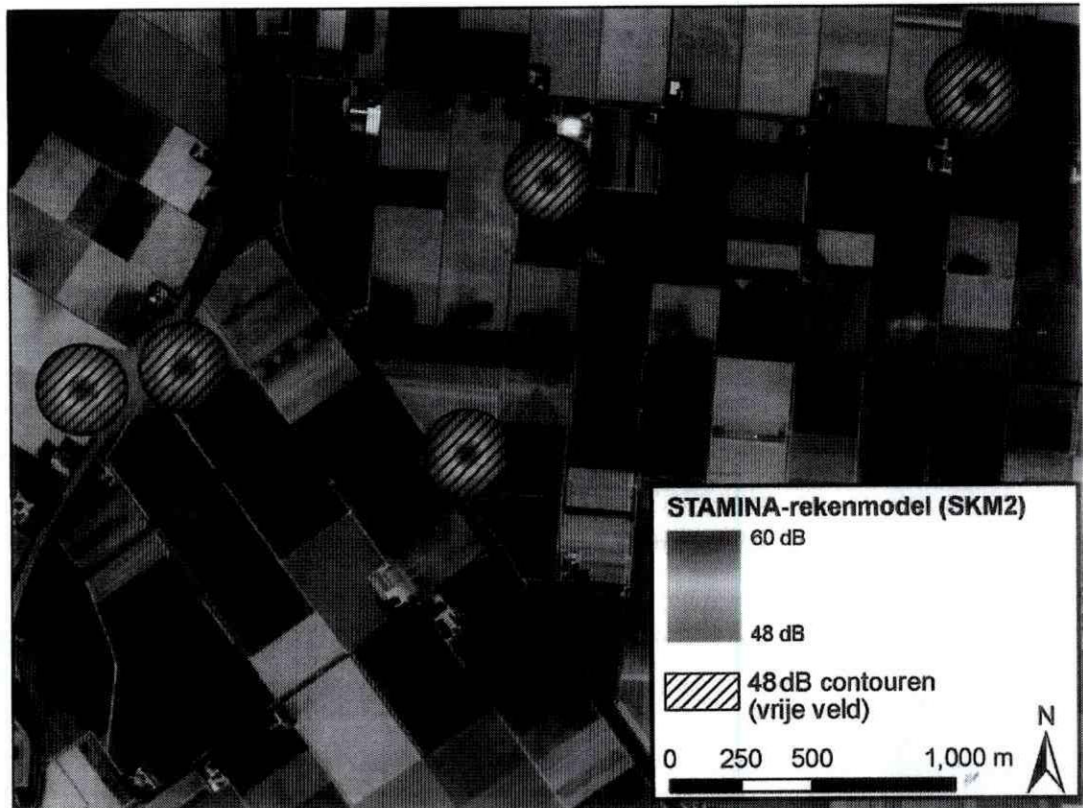
### Overdrachtsmodel

Nadat de jaargemiddelde geluidvermogens  $L_{w,den}$  per turbine bepaald zijn, is een landsdekkende geluidkaart opgesteld met het RIVM-rekenmodel STAMINA [4]. Dit rekenmodel bevat de rekenregels van de SKM2-methode, dus niet expliciet die van het nieuwe *Reken- en Meetvoorschrift voor windturbines* (RMVW). Om eventuele verschillen inzichtelijk te maken tussen dit rekenvoorschrift en STAMINA, zijn met het RMVW in tabel 1A de contouarafstanden bepaald van de 48 dB  $L_{den}$ -geluidcontour in het vrije veld (zachte bodem, geen afschermdende objecten).

Ter validatie van de STAMINA-berekeningen is in figuur 1C een deel van de STAMINA-geluidkaart afgebeeld (bereik 48-60 dB), waarin tevens met zwarte gearceerde cirkels de 48 dB-contouren (vrije veld) zijn ingetekend zoals die met het RMVW zijn berekend.

Tabel 1A: 48 dB-contourafstand ( $L_{den} = 47,5$  dB) in het vrije veld (RMVW).

$L_{W,den}$ [dB]	82	85	90	95	100	102,5	105	107,5	110
typische ashoogte [m]	20	20	20	30	40	55	70	85	100
contourafstand [m]	15	21	37	65	115	153	202	267	352

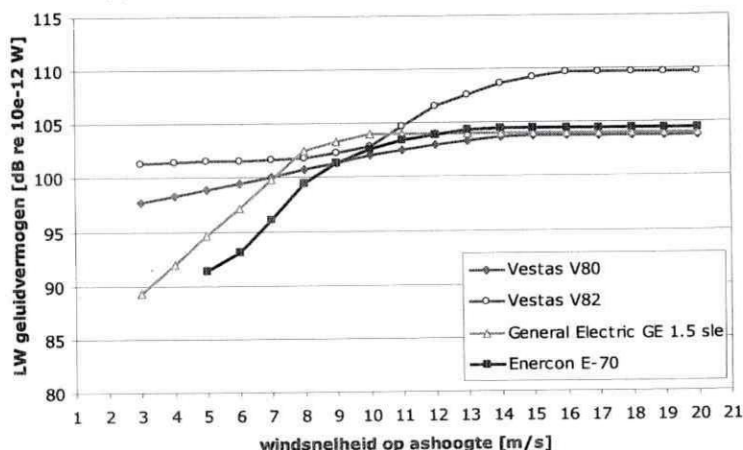


Figuur 1C Vergelijking geluidkaart STAMINA met contourafstanden RMVW.

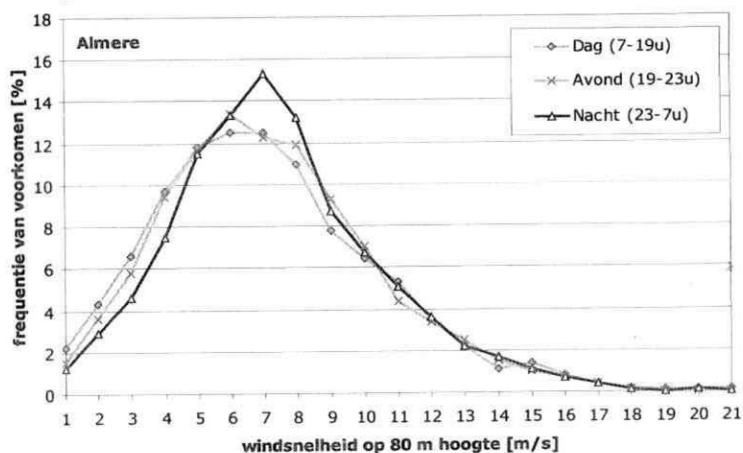
Bij vrijstaande windturbines (niet in parken) vallen de 48 dB-contourcirkels exact samen met de groene 48 dB-Lden waarde van de geluidkaart. Overigens is ook te zien dat bij akoestisch harde oppervlakken, zoals de waterweg bij de middelste windturbine, het geluid in STAMINA iets verder draagt dan de vrije veld contour. Bij de twee nabije windturbines links in de figuur treedt er een uitbreiding op van de groene 48 dB-contour, doordat sprake is van cumulatie van geluid van twee windturbines. In windparken kan de contourafstand op deze wijze zelfs enkele honderden meters verder reiken. Rekening houden met cumulatie betekent dat er meer saneringssituaties worden gevonden.

## Bijlage 2 Bronvermogen als functie van de windsnelheid

Het geluidvermogen van een windturbine neemt toe met de momentane windsnelheid totdat de maximum rotorsnelheid is bereikt. De grafiek geeft dit voor vier types windturbines<sup>1</sup> weer (70-90 m ashoogte).



Het geluidvermogen van een windturbine op een bepaalde locatie in Nederland wordt berekend door zulke geluidvermogensfuncties te combineren met de langjarig-gemiddelde windverdeling, geldend voor die locatie op de betreffende ashoogte. Onderstaande figuur geeft de windverdeling voor Almere.



Hiermee wordt het jaargemiddelde geluidvermogen berekend in dag, avond en nacht. Met behulp van de  $L_{den}$ -weging kan ook het gewogen geluidvermogen  $L_{Wden}$  worden bepaald, dat als input bronvermogen bij  $L_{den}$ -overdrachtsberekeningen kan worden gebruikt.

De laatste kolom laat zien dat het verschil tussen  $L_{Wden}$  en  $L_{Wnacht}$  op deze locatie groter is dan 6 dB.

<sup>1</sup> De gegevens voor beide Vestas en de GE windturbine zijn overgenomen uit W.K.G. Palmer (september 2007), *Uncovering the Nature of Wind Turbines*, Proceedings of the Second International Meeting on Wind Turbine Noise, Lyon. De gegevens voor de Enercon E-70 komen uit de presentatie van E. Nieuwenhuizen (M+P) over 'Het reken- en meetvoorschrift voor windturbines 2010' op het congres GTL2009.

Tabel: Het A-gewogen geluidvermogen  $L_w$  op 80 m hoogte voor de windverdeling in Almere.

Geluidvermogen	$L_{w,daag}$ [dB]	$L_{w,avond}$ [dB]	$L_{w,nacht}$ [dB]	$L_{wden}$ [dB]	$L_{wden} - L_{w,nacht}$ [dB]
Vestas V80	100,34	100,41	100,53	106,89	6,36
Vestas V82	102,91	102,89	102,99	109,37	6,37
GE 1.5 sle	100,57	100,71	100,90	107,23	6,34
Enercon E-70	99,05	99,13	99,27	105,62	6,35









Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven  
[www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)