



Rapport 680300007/2009

E. Verheijen | J. Jabben | E. Schreurs | T. Koeman | R. van Poll | B. du Pon

Evaluatie nieuwe normstelling windturbinegeluid

RIVM-rapport 680300007/2009

Evaluatie nieuwe normstelling windturbinegeluid

Invloed van verschillende grenswaarden op blootstelling, hinder en mogelijkheden ontwikkelingslocaties

E. Verheijen
J. Jabben
E. Schreurs
T. Koeman
R. van Poll
B. du Pon

Contact:
J. Jabben
Laboratorium voor Milieumetingen
Jan.Jabben@RIVM.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het ministerie van VROM, in het kader van project M680300, Beleidsondersteuning Geluid.

© RIVM 2009

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'.

Rapport in het kort

Evaluatie nieuwe normstelling windturbinegeluid

Invloed van verschillende grenswaarden op blootstelling, hinder en mogelijkheden ontwikkelingslocaties

Ongeveer 1500 omwonenden rondom de huidige windturbines in Nederland hebben kans op ernstige geluidhinder. Een richtwaarde van 40 decibel (dB) in de nieuwe regelgeving voor windturbines kan een verdere toename tot een minimum beperken als nieuwe windturbines worden gerealiseerd. Boven de 45 dB zijn in toenemende mate hinderklachten en gezondheidsproblemen te verwachten. In vergelijking met andere typen geluidbronnen ontstaan bij windturbines eerder hindereffecten voor omwonenden bij een lagere geluidbelasting. De keuze van grenswaarden heeft gevolgen voor de hoeveelheid ruimte op land die beschikbaar is voor nieuwe windturbines. Geschat wordt dat een grenswaarde van 40 dB ruimte biedt voor 7000 megawatt aan duurzame energie via nieuwe windturbines. Een grenswaarde van 45 dB biedt meer ruimte, ongeveer voor 25.000 megawatt.

Momenteel is een nieuw wetsvoorstel in voorbereiding dat eisen stelt aan de geluidimmissie van nieuwe windturbines in Nederland. Het wetsvoorstel beoogt de geluidhinder van nieuwe turbines te beperken bij realisatie van de doelstellingen van het kabinet voor duurzame energie. Net als in de wetgeving voor weg- en railverkeersgeluid wordt in het wetsvoorstel een richtwaarde en een maximale grenswaarde voor de geluidbelasting (in L_{den}) van woningen gesteld. Onder de richtwaarde zijn er geen belemmeringen om nieuwe windturbines te plaatsen; boven de maximale grenswaarde kan het bevoegde gezag geen vergunning verlenen. Tussen deze waarden zullen belangen via een inspraakprocedure worden afgewogen.

Het RIVM heeft de mogelijke consequenties bij verschillende grenswaarden onderzocht. Gekeken is naar de kans op geluidhinder, plaatsingsruimte voor nieuwe turbines in relatie tot energiedoelstellingen en risico's op extra hinder door laagfrequent geluid.

Trefwoorden:

Geluid, windturbines, hinder, gezondheid, norm, energie, duurzaam

Abstract

Assessment of new limit values for wind turbines

Influence of different limit values on exposure, annoyance and potential development locations

Approximately 1500 people living in the close vicinity of wind turbines in the Netherlands run the risk of suffering severe annoyance effects due to noise exposure. New guidelines that limit new wind turbines to a maximum noise level of 45 dB can minimize any further increase in noise health effects. Noise levels above 45 dB will likely result in a further increase in annoyance effects and sleep disturbances. Compared to other noise sources, noise emitted from a wind turbine causes annoyance at relatively low noise levels. The amount of available land for the placement of new wind turbines depends on the limit value that is chosen. A limit value of 40 dB would enable an additional 7000 megawatt of renewable energy to be obtained from new turbines. A limit value of 45 dB, however, would enable wind turbines to be constructed on additional land, resulting in the production of approximately 25,000 megawatt.

A new noise regulation for wind turbines is currently being prepared that sets limits on the noise levels experienced by residents of nearby dwellings. The regulation aims at limiting the effects of noise annoyance caused by new wind turbines within the framework of policy targets for renewable energy. This new regulation will be in line with existing ones for road- and railway traffic in setting both a preferable and maximum allowable value for the noise level (L_{den}) in nearby residences. Below the preferred value, there will be no noise restriction; above the maximum value, local authorities will not be allowed to issue building permits. For noise levels that fall in between, the decision for/against construction will be based on the results of a public inquiry process involving the major stakeholders.

The National Institute for Public Health and Environment (RIVM) has investigated the consequences of different choices for the preferred and maximum noise limits. Aspects of annoyance and health effects, amount of land available for new turbines within the framework of energy policy targets and the risk of extra noise health effects from exposure to low-frequency noise were evaluated.

Key words:

Noise, wind turbine, annoyance, health, limit, energy, renewable

Inhoud

Samenvatting	6
1 Inleiding	10
1.1 Hinder	10
1.2 Wettelijk kader	12
1.3 Normstelling	13
2 Bestaande windturbines	15
2.1 Inleiding	15
2.2 Geluidkaart	15
2.3 Hinder	17
2.4 Sanering	19
3 Nieuwe windturbines	21
3.1 Inleiding	21
3.2 Beschikbare ruimte	21
3.3 Gevolgen	23
4 Conclusies	25
Literatuur	26
Bijlage 1 Geluidkartering windturbines	27
Bijlage 2 Dosis-responsrelaties	29
Bijlage 3 Beschikbare ruimte voor windturbines	30
Bijlage 4 Laagfrequent geluid	35

Samenvatting

Het aandeel hernieuwbare energie in de totale energievoorziening zal de komende jaren flink stijgen. Een deel van die stijging moet komen uit windenergie. Hiervoor wordt een verdubbeling in het opgestelde vermogen nagestreefd door het kabinet in 2011.

Windturbines bieden een duurzame, schone energievorm, maar er zijn ook nadelige effecten naar de directe omgeving ervan. Een van deze effecten betreft geluidhinder. Het ministerie van VROM werkt aan een nieuwe normstelling voor de geluidbelasting van windturbines. De directie Leefomgevingskwaliteit van het ministerie heeft de sector Milieu en Veiligheid van het RIVM gevraagd de gevolgen van die nieuwe normstelling te onderzoeken. In dit rapport wordt daarop antwoord gegeven in termen van geluidhinder, ruimtebeslag, ontwikkelingsmogelijkheden en kosten voor een eventuele sanering.

Hindereffecten

Kenmerkend voor het geluid van windturbines is dat al bij een zeer lage geluidbelasting hinder ervaren wordt. De kans op hinder blijkt niet alleen sterk toe te nemen met de geluidbelasting, maar ook met het al dan niet zichtbaar zijn van de turbine vanuit de woning. Omwonenden die zelf economisch profijt hebben van windturbines ervaren overigens veel minder snel hinder. Er is verder een verband gevonden tussen de geluidbelasting van windturbines en slaapverstoring. Andere gezondheidseffecten, zoals hoge bloeddruk en hartziekten, zijn nog onbekend.

Nieuw Normstelsel

Het huidige normkader voor windturbinegeluid is dat van industrielawaai (Wet milieubeheer). Daarin bestaan normen voor gemiddelde niveaus en voor piekwaarden en bovendien aparte grenswaarden voor de dag-, avond- en nachtperiode. De nieuwe normstelling gaat over op de Europese dosismaat L_{den} . Deze geeft het jaargemiddelde geluidniveau weer, waarbij de hindergevoelige avond- en nachtperiode zwaarder wegen dan de dagperiode. Een aparte toetsing voor piekgeluid is bij windturbines niet van belang. De geluidbelasting van omliggende woningen zal worden getoetst aan twee niveaus: de *richtwaarde* (ondergrens) en de *grenswaarde* (bovengrens). Zolang de richtwaarde bij geen enkele woning wordt overschreden stelt de wet geen verdere voorwaarden aan het geluid. Als bij één of meer woningen de richtwaarde *wel* maar de grenswaarde *niet* wordt overschreden, zal een bestuurlijke afweging plaatsvinden. In geen geval mag echter bij een woning de grenswaarde te boven worden gegaan. Plannen kunnen dan alleen doorgang vinden als stillere windturbines en/of een andere opstellingswijze worden toegepast.

Momenteel is er de vraag welke boven- en ondergrens er voor windturbinegeluid zou moeten worden opgenomen in de nieuwe normstelling. Daarbij zal het ministerie een belangenafweging maken waarbij enerzijds gezondheidsaspecten een rol spelen en anderzijds de beleidsdoelstellingen voor windturbines op land. Bij een te rigide normstelling komen deze doelstellingen in het geding. Bij een te soepele normstelling kunnen toenemende hinder- en slaapverstoringseffecten optreden. In de conceptregeling wordt uitgegaan van een ondergrens van omstreeks 40 dB. Voor de bovengrens wordt gedacht aan een waarde tussen 45 en 50 dB. In dit rapport zijn de gevolgen onderzocht van het instellen van bovengrenzen van respectievelijk 45 dB, 47 dB en 50 dB.

Consequenties normstelling voor blootstelling en hinderbeleving

De eerste constatering luidt dat een ondergrens van omstreeks 40 dB wat hinderbeleving betreft consistent is met de huidige ondergrenzen voor wegverkeerslawaai (48 dB) en railverkeerslawaai

(55 dB). Het percentage ernstig gehinderden (methode Miedema) ligt bij die geluidbelasting steeds tussen 1 en 3% van het aantal blootgestelden. Als hetzelfde principe, een gelijke mate van hinder, ook zou worden toegepast ter bepaling van de bovengrens, zou dat voor windturbines een bovengrens tussen 47 en 49 dB betekenen op basis van de bovengrenzen bij wegverkeer (58 dB) en railverkeer (68 dB). Uit de verschillen blijkt dat het geluid van windturbines bij lagere niveaus leidt tot meer hinder dan andere lawaaibronnen.

Op basis van landsdekkende geluidberekeningen en een internationaal gevonden verband tussen belasting en hindereffecten heeft het RIVM geschat dat circa 4200 personen in Nederland hinder kunnen ondervinden van de bestaande windturbines, van wie 1500 ernstige hinder¹. Een deel daarvan treedt al op bij een geluidbelasting in het bereik 29-40 dB. Een ondergrens van 40 dB betekent dus niet dat er geen hinder meer optreedt. Wel mag verwacht worden dat bij lagere niveaus dan 40 dB alleen *ernstige* hinder optreedt onder zeer ongunstige omstandigheden, zoals (schijnbaar) windstille zomeravonden of bij bepaalde windrichtingen. De geraamde aantallen zijn samengevat in Tabel A.

Tabel A: Raming hinder in verschillende geluidbelastingsklassen bij het huidige windturbinepark in Nederland.

geluidbelasting (L_{den})	aantal gehinderden (cumulatief)	aantal ernstig gehinderden (cumulatief)	aantal windturbines met woningen boven deze L_{den}
29 dB of meer*	4200	1200	1850 (alle)
hoger dan 40 dB	1640	760	830
hoger dan 45 dB	740	400	550
hoger dan 47 dB	540	310	400
hoger dan 50 dB	290	180	210

* 29 dB is de laagste geluidbelasting in de beschikbare dosis-responsrelaties.

Voor de keuze van een bovengrens betekent deze tabel het volgende:

- Van de huidige 1850 windturbines zouden er, als een normstelling met 50 dB als bovengrens voor elk type woning van toepassing was geweest, 210 turbines niet geplaatst mogen worden. Het zal daarbij echter deels gaan om windturbines die naast de woning van de exploitant zelf staan. Voor zulke bedrijfswoningen hoeft de bovengrens niet van toepassing verklaard te worden (conform de bestaande systematiek bij industrielawaai). Voor geluidgevoelige bestemmingen met een geluidbelasting van 50 dB is de kans op ernstige hinder met circa 15% vrij hoog (zie Bijlage 2).
- Bij een bovengrens van 47 dB is de kans op ernstige hinder afgenomen tot 8%. Bij 45 dB bedraagt deze 5%. Geluidbelastingen boven deze waarden treden momenteel naar schatting op bij ruim 500 windturbines in Nederland. Naast bedrijfswoningen gaat het daarbij om een toenemend aantal niet-bedrijfswoningen. Onder de nieuwe regeling zouden voor zulke woningen maatregelen moeten worden getroffen gericht op het beperken van de hinder (inspraak, gevelisolatie, compensatie).
- Een bovengrens van 45 dB biedt bescherming aan twee- tot driemaal zo veel mensen als een bovengrens van 50 dB.

Bij een eventuele saneringsoperatie gaat het op landelijke schaal, afhankelijk van de saneringsgrenswaarde, om enkele honderden woningen dan wel om enkele honderden turbines waarbij saneringsmaatregelen getroffen moeten worden. Het gaat naar schatting om enkele tientallen miljoenen euro's. Deze cijfers zijn omkleed met een ruime onzekerheidsmarge vanwege de onzekerheid in de bepaling van de geluidbelasting en in de normbedragen per te saneren turbine of woning. Wel is

¹ Op een schaal van 0-10 wordt een persoon grofweg als ernstig gehinderd beschouwd als deze bij een enquête 8 of hoger als hinderscore opgeeft.

duidelijk dat bij een strengere saneringsgrens steeds meer woningen zouden moeten worden gesaneerd waardoor het kosteneffectiever wordt om de turbines aan te pakken. Ook vanuit hinderbeleving en leefcomfort verdient sanering van de windturbines de voorkeur: alleen dan wordt de hinder ook buitenshuis beperkt. In de praktijk zal sanering van de windturbine erin bestaan dat de turbine vroegtijdig wordt afgeschreven en wordt vervangen door een nieuwer, stiller type, dan wel wordt verplaatst naar locaties waar geen woningen worden belast.

Consequenties normstelling voor het ruimtebeslag

Geluidnormen leggen beperkingen op aan de ruimte die vrij is voor plaatsing van nieuwe windturbines. Een indicatief, landsdekkend beeld van de hoeveelheid vrije ruimte is berekend uitgaande van het gemiddelde geluidvermogen van een moderne 2 MW-turbine. Bij 40 dB als bovengrens is 15% van het landoppervlak ‘vrij’, toenemend naar 57% bij een bovengrens van 50 dB, zie Tabel B. Daarbij is in eerste instantie geen rekening gehouden met gebieden die om planologische of ecologische redenen niet of minder geschikt zijn voor hoge windturbines.

Tabel B: Vrije plaatsingsruimte voor nieuwe windturbines, afhankelijk van de bovengrens.

grenswaarde L_{den}	vrije ruimte voor nieuwe turbines		
	vrij van beperkingen vanwege geluid	vrij van planologische beperkingen	resterende vrije ruimte (alleen gebieden ≥ 1 km ² meegeteld)
40 dB	15%	27%	2% (7 GW)
45 dB	34%		7% (25 GW)
47 dB	43%		10% (34 GW)
50 dB	57%		14% (50 GW)

Als rekening wordt gehouden met gebieden waar van rijkswege planologische of ecologische beperkingen kunnen gelden, neemt de vrije ruimte verder af. Het gaat dan om de volgende gebieden: laagvliegroutes, zones rond luchthavens, radarverstoringengebieden, Natura 2000-gebieden, de Ecologische Hoofdstructuur, en nationale landschappen met als kernkwaliteit ‘zeer open landschap’. De ontwikkeling van windparken in deze gebieden is niet kansloos, maar wel minder kansrijk dan elders. Gaan we er zekerheidshalve van uit dat deze gebieden in het geheel *niet* beschikbaar zijn voor windturbines, dan neemt de vrije ruimte bij een geluidnorm van 40 dB af tot 2% van het landoppervlak. Hierin kan circa 7 GW aan elektrisch vermogen worden opgesteld. Bij een geluidnorm van 50 dB loopt dit op tot 50 GW. Deze schattingen zijn op macroschaal gemaakt en geven slechts een globale indicatie. Omdat uiteindelijk de gemeente beslist over het verlenen van een vergunning, waarbij ook de lokale belangen worden meegewogen, omvat het hier bij verschillende grenswaarden geraamde ruimtelijk potentieel een grote onzekerheidsmarge.

Bedrijfsduurcorrectie

Een belangrijk aspect van de L_{den} is de wijze waarop de *jaargemiddelde* geluidbelasting wordt berekend. In dit onderzoek is uitgegaan van windturbines die volcontinu in bedrijf zijn, afgezien van periodes met te weinig wind². Een bedrijfsduurcorrectie (voor periodes waarin de windturbines buiten gebruik zijn gesteld) is daarbij niet aan de orde.

² Dit is het uitgangspunt in de ontwerpregeling van VROM voor windturbines op basis van L_{den} .

Resumé

Concluderend stellen wij dat een richtwaarde van omstreeks 40 dB (ondergrens) consistent is met de normstelling voor andere bronnen van omgevingsgeluid. Dit resulteert in een vergelijkbare hinderbescherming als bij bijvoorbeeld weg- of railverkeersgeluid. Bij deze ondergrens zijn in Nederland nog voldoende vrije gebieden te vinden om – zonder geluidsprocedures – aan de beleidsdoelstellingen voor de korte termijn te voldoen (2000 MW erbij op land voor 2011).

Voor de te stellen maximale grenswaarde is een waarde boven 45 dB vanuit het oogpunt van de hinder- en gezondheidsproblematiek ongunstig. Weliswaar komt er bij een hogere bovengrens steeds meer ruimte beschikbaar voor de exploitatie van windparken, de kans op ernstige hinder en de daarmee gepaard gaande inbreuk op het woon- en leefcomfort wordt boven 45 dB steeds groter. Naar eerste inschatting wordt bij een bovengrens van 45 dB met circa 25 GW elektrisch vermogen nog voldoende ruimte geboden voor de doelstellingen ten aanzien van hernieuwbare energie voor 2020.

1 Inleiding

De behoefte aan windenergie is de laatste jaren zowel nationaal als internationaal steeds groter geworden en deze vorm van energiewinning maakt een sterke ontwikkeling door. De groei van hernieuwbare energie zou de komende jaren vooral van windenergie op land moeten komen. Het kabinet heeft zich tot 2011 een groei met 2000 MW productievermogen op land ten doel gesteld. Vanuit de doelstellingen voor duurzame energie is dit een gunstige ontwikkeling. Aspecten als geluidhinder en ruimtebeslag vragen echter aandacht bij deze sterke toename van het aantal windturbines.

De directie Leefomgevingskwaliteit van VROM heeft de sector Milieu en Veiligheid van het RIVM gevraagd de gevolgen van een nieuwe normstelling voor het geluid van windturbines te onderzoeken. Dit rapport is een weerslag van die onderzoeksvraag, waarbij het antwoord wordt gegeven in termen van geluidhinder, ruimtebeslag, ontwikkelingsmogelijkheden en kosten voor sanering.

Leeswijzer

In dit inleidende hoofdstuk bespreken we eerst de algemene gezondheidseffecten van windturbines. Daarna wordt het wettelijk kader en de systematiek van geluidnormen toegelicht.

In hoofdstuk 2 kijken we naar de bestaande windturbines. Hoeveel hinder veroorzaken die? Wat betekent een bepaalde normstelling voor bestaande gevallen? Tot welke saneringsopgave kan dit leiden? In hoofdstuk 3 worden de gevolgen van de normstelling voor nieuw te ontwikkelen windparken besproken. Welk beslag leggen de geluidnormen op de openbare ruimte? Hoeveel vrije ruimte blijft er nog over? Tot besluit geeft hoofdstuk 4 de conclusies.

1.1 Hinder

Navolgend worden enkele aspecten belicht die van belang zijn voor de hinderbeleving van omwonenden veroorzaakt door windturbines.

Waarneming

Mensen die in de buurt van windturbines wonen, kunnen de windturbines vaak zowel zien als horen. Uit hinderenquêtes blijkt dat het al dan niet zichtbaar zijn van de turbines een effect heeft op de waarneming van het geluid [1].

Het geluid van windturbines is luider in meewindsituaties; dit wil zeggen als de wind van de turbine richting woning waait. Er zijn echter ook gevallen bekend waarbij de turbines juist in de tegenwindsituatie de meeste hinder veroorzaken. Daarnaast wordt het geluid 's nachts en op warme zomeravonden vaak als luider ervaren. Het geluid wordt het meest beschreven als 'zwiepend' of 'ruisend'. Ook de typeringen 'laagfrequent' of 'laagtonig geluid' komen voor.

Het waarnemen van het geluid van windturbines wordt daarnaast beïnvloedt door het achtergrondgeluid, bijvoorbeeld van wegen. Als een nabije verkeersweg luider klinkt, wordt het geluid van een windturbine minder vaak opgemerkt.

Geluidhinder

Waargenomen geluid hoeft nog niet als hinderlijk ervaren te worden. Pas bij hogere geluidsniveaus neemt de kans op hinder toe. Naast hinder kunnen er dan tevens slaapverstoringseffecten optreden. Het belangrijkste effect van het geluid van windturbines is echter hinder. Zowel in Zweden als in Nederland is hier onderzoek naar verricht [2,3]. In Nederland betrof het een onderzoek onder personen die binnen

2,5 km van een windpark woonden met minstens twee turbines met elk 500 kW. In deze onderzoeken werd een relatie tussen het geluidniveau van windturbines en de hinder door windturbines gevonden. Deze onderzoeken zijn vervolgens samengevoegd door TNO om aan de hand hiervan de hinderrelaties te bepalen [4]. Uit het Zweedse en Nederlandse onderzoek blijkt consistent dat het geluid van windturbines bij een bepaalde geluidbelasting (in L_{den}) aanmerkelijk hinderlijker wordt gevonden dan andere bronnen, zoals weg- of vliegverkeer met dezelfde gemiddelde geluidbelasting. Het karakter van het windturbinegeluid wijkt dan ook sterk af van de andere genoemde vormen van omgevingsgeluid.

Behalve het specifieke karakter van windturbinegeluid speelt ook de zichtbaarheid een rol. Niet alleen verhoogt de zichtbaarheid van een turbine de kans dat omwonenden het geluid ervan opmerken, maar ook neemt hierdoor de kans toe dat men door het geluid wordt gehinderd. Ook individuele factoren hebben een invloed op de manier waarop windturbines worden ervaren. Zo worden windturbines door ouderen als hinderlijker ervaren dan door jongeren. Daarnaast heeft de persoonlijke houding van mensen ten opzichte van windturbines een belangrijke invloed op de hinder die ze ervan ondervinden. Mensen die negatiever tegenover windturbines staan, zullen windturbines eerder als hinderlijk ervaren.

Een laatste belangrijke factor die van invloed was op de hinder die door windturbines ondervonden wordt, is het economische voordeel dat mensen uit windturbines halen. Als mensen aangaven (mede-)eigenaar te zijn van windturbines, bleken deze met name in het Nederlandse onderzoek een veel lagere hinder te rapporteren. Dit is belangrijk, aangezien [3] van de groep respondenten die blootgesteld zijn aan meer dan 45 dB (A) windturbinegeluid, meer dan 67% economisch voordeel van deze windturbines had. Het zal hier, gezien de hoogte van de niveaus, vooral gaan om mensen die als eigenaar direct bij hun windturbine(s) wonen. De resultaten voor deze respondenten zijn door TNO niet meegenomen in de bepaling van de hinderrelaties, omdat deze zodanig sterk afwijken van de respons van de mensen die geen economisch profijt hadden dat alleen al het *aantal* mensen met economisch profijt doorslaggevend voor de dosis-responsrelaties zou gaan worden. Deze technische reden biedt op zich onvoldoende rechtvaardiging om zulke respondenten uit te sluiten. Deze rechtvaardiging wordt wel gevonden in het doel van de wetgever om de mate van geluidhinder te beperken voor omwonenden, van wie (op de eventuele eigenaren van de betreffende turbines na) niet op voorhand kan worden verondersteld dat deze economisch voordeel genieten van windturbines.

Essentieel is verder dat het hier gaat om profijt van *economische* aard. Immers, van een nieuwe weg zullen veel omwonenden behalve geluidhinder ook profijt kunnen ondervinden: betere bereikbaarheid, hogere verkeersveiligheid enzovoort. Geldelijk gewin is dan echter niet aan de orde, zodat 'profijt' dan ook geen uitsluitingsgrond is geweest bij het bepalen van hinderrelaties voor bijvoorbeeld wegverkeer.

Slaapverstoring

In het onderzoek [3] werd ook gekeken of moeite met in slaap vallen en ontwaken gedurende de nacht gerelateerd waren aan de geluidniveaus van windturbines. Hierbij bleek dat alleen het ontwaken uit de slaap direct kon worden gerelateerd aan de geluidniveaus. Het percentage ontwaakreacties steeg met name voor mensen die blootgesteld waren aan geluidniveaus van 45 dB (L_{den}) of meer. Ook in de gecombineerde analyse van TNO werd een verband gevonden tussen geluidniveaus van windturbines en slaapverstoring. Deze associaties moeten echter voorzichtig geïnterpreteerd worden. De werkelijke oorzaak van het ontwaken hoeft immers niet het geluid te zijn dat mensen zeggen te horen zodra ze ontwaken.

Laagfrequent geluid

De lage frequentie van het geluid van windturbines is ook als een reden opgegeven voor de hinderlijkheid van windturbines. Inderdaad geeft de spectrale samenstelling van windturbinegeluid aanleiding hiervoor. Als 's nachts de atmosfeer stabiel is, kan laagfrequent geluid duidelijker hoorbaar

worden [5]. In het onderhavige onderzoek wordt het laagfrequente deel van het spectrum nader onderzocht en vergeleken met de NSG-richtlijn en de Vercammencurve voor laagfrequent geluid. Deze controle is nodig omdat de L_{den} (die uitgaat van A-gewogen geluid) bij eventuele sterke laagfrequente componenten geen bruikbare indicatie voor de hinder is.

Verstoring van uitzicht

Het plaatsen van een windturbine kan ook als verstorend voor de omgeving worden ervaren. Windturbines kunnen gezien worden als een onnatuurlijke toevoeging aan het landschap. Ook hierdoor kunnen mensen zich gehinderd voelen. In enquêtes wordt de verandering van het landschap en de beweging van de rotorbladen genoemd als belangrijke factoren voor hinderlijkheid.

Andere gezondheidseffecten

Behalve hinder en ontwaken uit de slaap worden geen gezondheidseffecten direct aan het geluid van windturbines gerelateerd. In [3] werd de geluidgerelateerde hinder overigens wel in verband gebracht met psychologische en fysieke stress, moeilijkheden om in slaap te komen en ontwaken uit de slaap.

Slagschaduwhinder

Bij zonnig weer veroorzaken de draaiende rotorbladen een bewegende slagschaduw in de omgeving. Met name bij een laagstaande felle zon wordt de kans op hinderlijke schaduwen in de woonomgeving groter. De lichtvariaties zijn vooral sterk als de zon steeds even volledig achter een rotorblad schuilgaat en als men binnen zit. Als de zon niet helemaal bedekt wordt en als men buiten is, is er minder lichtvariatie. De knipperfrequentie bij moderne windturbines is overigens dermate laag dat er naast visuele hinder geen verdere gezondheidsrisico's zijn. Voor bewegingsziekte en epileptische aanvallen, mits men daarvoor gevoelig is, zijn namelijk aanmerkelijk hogere frequenties nodig [6]. Slagschaduwhinder kan worden voorkomen met een stilstandvoorziening op windturbines, waarbij de rotors bij bepaalde zonnestanden automatisch enige tijd stop worden gezet.

1.2 Wettelijk kader

In de Wet milieubeheer (Activiteitenbesluit) geldt momenteel als maximale waarde voor windturbines: 50 dB(A) tijdens de dag, 45 dB(A) 's avonds en 40 dB(A) 's nachts. De geluidmaat is de $L_{A,RT}$. Deze waarden gelden voor de representatieve bedrijfssituatie. Volgens de jurisprudentie voor bedrijven mogen deze waarden maximaal twaalfmaal per jaar overschreden worden. Controlemetingen (bijvoorbeeld bij klachten van omwonenden) kunnen worden verricht conform de Handleiding Meten en Rekenen Industrielawaai. Het belangrijkste bezwaar tegen deze geluidmaat en de bijbehorende normstelling is dat deze bij hoge windmolens onvoldoende bescherming biedt tegen geluidhinder [7]. De doelstellingen voor een groter aandeel windenergie zullen in de toekomst juist worden gerealiseerd door hogere turbines met meer vermogen dan de vorige generatie. Daarnaast wijkt de regelgeving af van de normstelling in L_{den} zoals die in de Wet Geluidhinder voor weg- en railverkeer wordt gehanteerd. Het beleid streeft naar eenheid en transparantie van de normstelling.

Het ministerie van VROM werkt daarom aan een regeling waarin de L_{den} als maat voor de geluidbelasting van windturbines zal worden gebruikt. De L_{den} is een Europese dosismaat³ die wordt gebruikt voor geluidkartering onder de Europese richtlijn voor omgevingslawaai (2002/49/EG).

³ Formule: $L_{den} = 10 \cdot \log \left(\frac{12}{24} \cdot 10^{(L_{Aeq,7-19u})/10} + \frac{4}{24} \cdot 10^{(L_{Aeq,19-23u}+5)/10} + \frac{8}{24} \cdot 10^{(L_{Aeq,23-7u}+10)/10} \right)$, waarin L_{Aeq} het (equivalent) gemiddelde geluidsniveau over de dag (7-19u), avond (19-23u) of nachtperiode (23-7u) is.

Nederland voert deze maat ook (stapsgewijs) in in de bestaande geluidwetgeving (SWUNG). Inmiddels is de L_{den} als standaard geluidmaat ingevoerd voor weg- en treinverkeerslawaaï in de Wet geluidhinder en voor vliegverkeer in de Wet luchtvaart. Omdat de nieuwe geluidsmaat normneutraal moest worden ingevoerd, was tevens een aanpassing van de op de oude geluidmaat gebaseerde normstelling voor verkeerslawaaï nodig. De minister van VROM zal ook voor windturbines nieuwe normen vaststellen. Het gaat daarbij om een *richtwaarde* waarmee rekening moet worden gehouden en een *grenswaarde* die in acht moet worden genomen⁴. Hieraan zullen in de toekomst nieuwe aanvragen voor windturbines/parken moeten worden getoetst door het bevoegd gezag. Als met een akoestisch onderzoek wordt aangetoond dat de richtwaarde bij geen enkele woning overschreden wordt, gelden er geen beperkingen vanwege de geluidwetgeving. Indien de geluidbelasting hoger is dan de richtwaarde, maar lager dan de grenswaarde, moet een bestuurlijke afweging plaatsvinden. Hieraan kunnen van rijkswege de kaders worden gesteld. Bij een overschrijding van de grenswaarde is plaatsing van de betreffende windturbine(s) niet toegestaan. In dat geval moeten stillere windturbines (lagere ashoogte, minder vermogen) geplaatst worden of moet worden uitgeweken naar alternatieve locaties. Voor bestaande windturbines die niet aan de nieuwe grenswaarden voldoen overweegt VROM een saneringsregeling in te stellen (hoofdstuk 2 gaat hier nader op in).

1.3 Normstelling

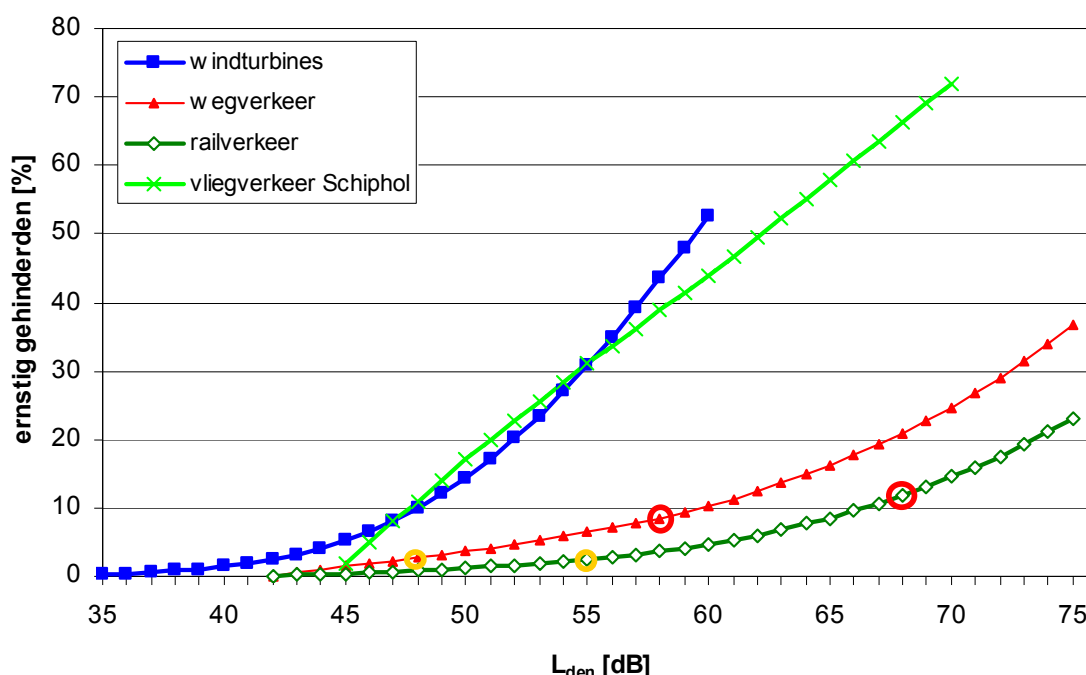
De nieuwe normstelling moet een betere indicator zijn van de geluidhinder dan de huidige systematiek uit het Activiteitenbesluit. Voor de richtwaarde gaan de plannen uit van een L_{den} van omstreeks 40 dB voor windturbines⁵. Bij die waarde is volgens het TNO-onderzoek [4] nog ongeveer 1 tot 3% van de blootgestellten ernstig gehinderd. Dit percentage ernstig gehinderden komt overeen met de hinder bij de richtwaarden van 48 dB voor wegverkeer en 55 dB voor railverkeer (zie Figuur 1). Een richtwaarde van 40 dB voor windturbines lijkt daarmee een consistente keuze.

Een richtwaarde van 40 dB houdt in dat windturbines aan de wet zullen voldoen als uit berekeningen blijkt dat ze over het hele jaar genomen niet meer dan 40 dB aan de gevels van omliggende woningen produceren. Anders dan in het huidige stelsel van industrielawaai, vervalt daarmee de mogelijkheid van handhaving door middel van controlemetingen aan die gevels. Metingen kunnen immers alleen incidenteel onder bepaalde omstandigheden worden uitgevoerd. Een correcte berekening van de geluidbelasting is daarom van groot belang om een normstelling op basis van L_{den} betrouwbaar te kunnen toetsen. Voor een nauwkeurige wijze van berekening en een eenduidige wijze van toetsing wordt daarom door het ministerie van VROM voorzien in een nieuw rekenvoorschrift⁶.

⁴ De Wet geluidhinder hanteert hiervoor andere termen, nl. *ten hoogste toelaatbare waarde* en *maximaal te ontheffen waarde*.

⁵ De L_{den} is een dosismaat waarin de avond- en nachttoeslag meewegen, alsmede de duur van deze periodes. Eenheid [dB].

⁶ Bij een windturbine van 75 m hoog met een vermogen van 2 MW ligt de 40 dB-geluidcontour typisch op 500 tot 700 m afstand. De berekening komt vrij nauw: een afwijking van 1 dB verschuift de afstand van de 40 dB-contour met 20%.



Figuur 1: Relatie tussen L_{den} en het percentage ernstig gehinderden (binnenshuis) bij verschillende bronnen. De oranje en rode cirkels geven de meest relevante⁷ hoogst toelaatbare waarden en maximale te ontheffen waarden weer voor verkeerslawaaï. Bronnen: TNO, Wgh, VROM.

Voor de grenswaarde suggereert een vergelijking met de hindercurven bij rail- en wegverkeer een keuze voor windturbines tussen 47 en 49 dB. Dit zijn namelijk de snijpunten op de blauwe curve met de twee (denkbeeldige) horizontale lijnen vanuit de rode cirkels. Het ministerie opteert voor een grenswaarde in een iets ruimer bereik, namelijk tussen 45 en 50 dB.

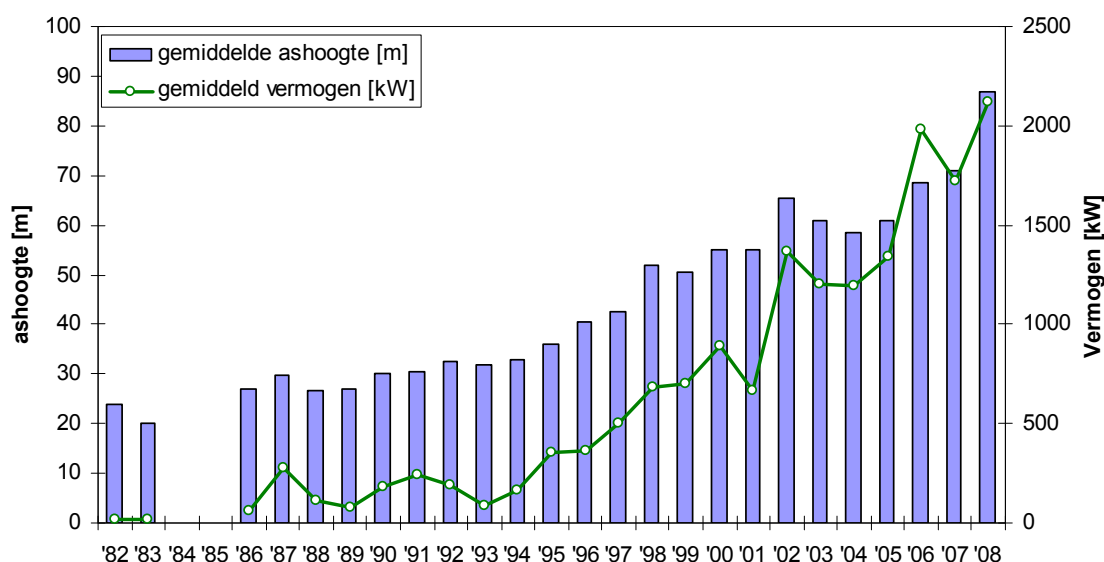
In dit rapport worden mogelijke grenswaarden van 45, 47 en 50 dB nader geëvalueerd met betrekking tot de gevolgen voor blootstelling, te verwachten hindereffecten en plaatsingsmogelijkheden voor nieuwe windturbines. De eerstgenoemde aspecten zijn van belang bij bestaande turbines en komen aan bod in hoofdstuk 2. Het laatste aspect wordt behandeld in hoofdstuk 3.

⁷ De wet geeft verschillende bovengrenzen voor rail- en wegverkeer, o.a. naar gelang het bestaande of nieuwe situaties betreft. De in deze vergelijking gehanteerde grenzen betreffen nieuwe situaties en worden het meest relevant geacht.

2 Bestaande windturbines

2.1 Inleiding

Het aantal windturbines in Nederland is de laatste jaren fors toegenomen, tot 1955 turbines op land in februari 2009. Het huidige vermogen bedraagt ongeveer 2 GW. Vanaf halverwege de jaren negentig zien we een tendens naar steeds grotere en krachtigere turbines, zie Figuur 1. Deze statistiek is evenals de andere analyses in dit hoofdstuk gebaseerd op gegevens van Wind Service Holland [8] (bijgewerkt tot medio 2008). De gegevens betreffen onder andere type, ashoogte, elektrisch vermogen en locaties van de turbines.



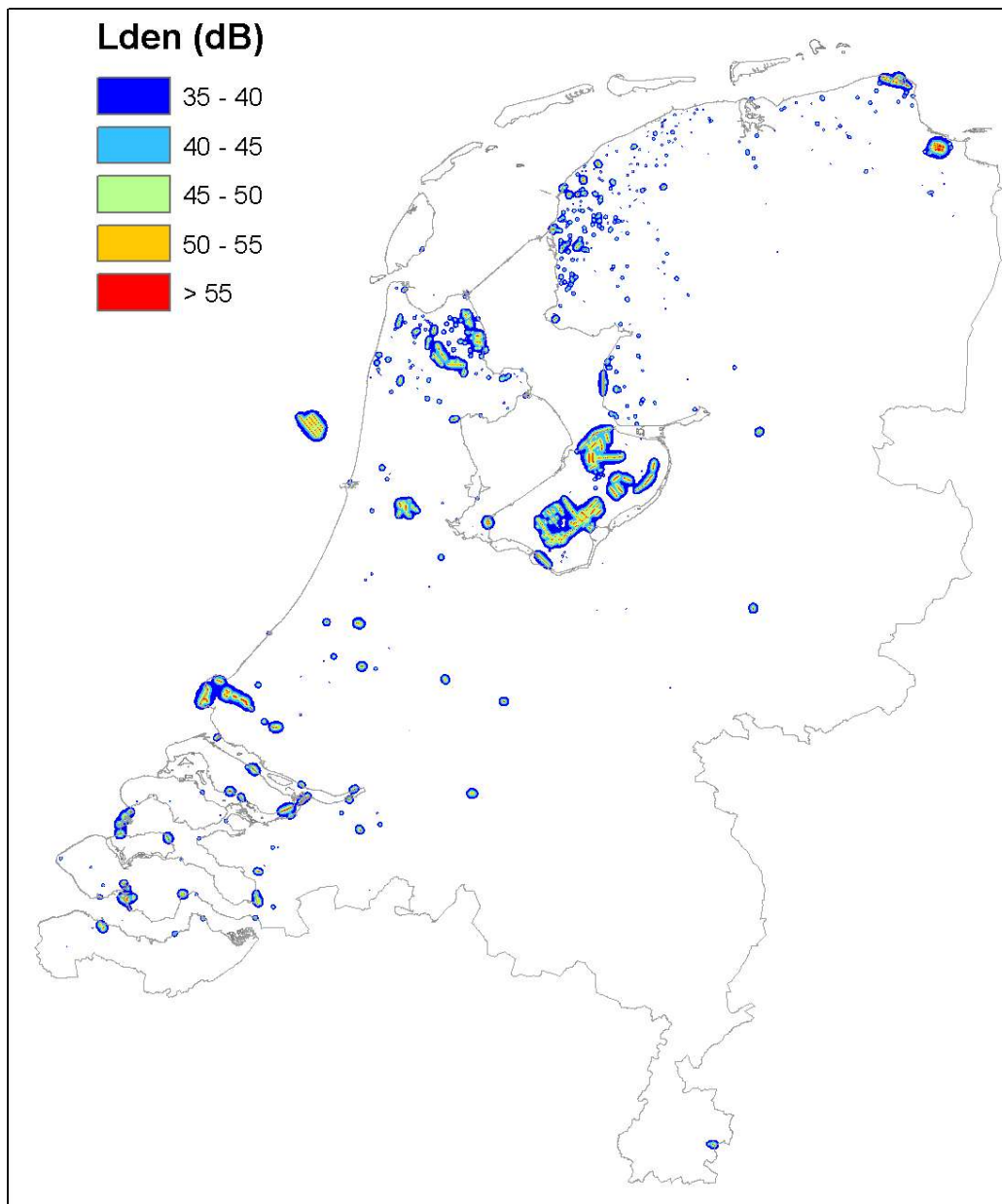
Figuur 2: Gemiddelde ashoogte en elektrisch vermogen van de jaarlijks bijgeplaatste windturbines.

2.2 Geluidkaart

De brongegevens van Windservice Holland zijn gebruikt om de geluidbelasting van het huidige windturbinepark in Nederland in kaart te brengen. In Bijlage 1 wordt de modelleringswijze toegelicht die is daarbij is gebruikt. Het rekenresultaat betreft geluidkaarten met een resolutie van 25 bij 25 m. Deze geluidkaarten zijn gecombineerd met adresbestanden (ACN 2007, eveneens op 25 bij 25 m). Op die manier is een verdeling opgesteld van het aantal woningen met een bepaalde geluidbelasting door windturbines. Deze verdeling is gecombineerd met dosis-responsrelaties zoals die uit zowel nationaal als internationaal onderzoek voor dit type geluid zijn gevonden.

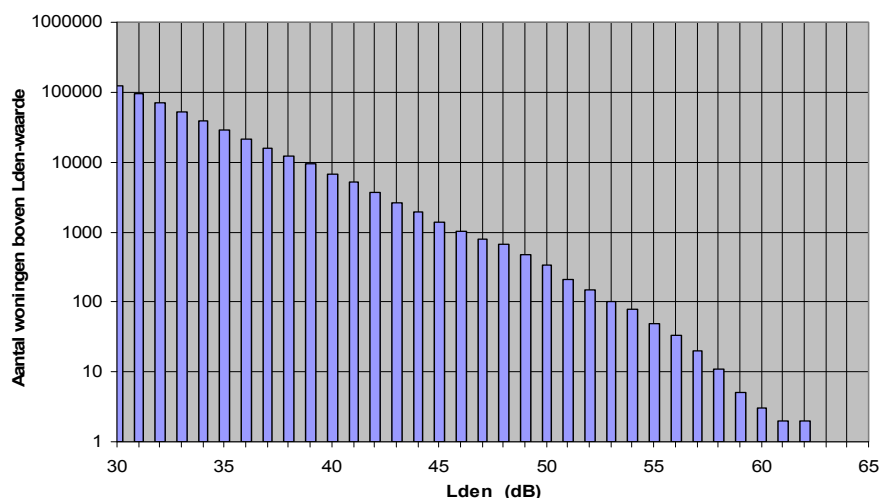
Voor de geluiduitstraling van de turbines (geluidemissie) van de windturbines is gebruikgemaakt van een bronmodel gerelateerd aan het elektrisch vermogen van de turbine, zoals beschreven in Bijlage 1. Het bronmodel geeft voor elke turbine een indicatie van de geluidemissie waarmee na

overdrachtsberekening de resulterende geluidbelasting in kaart wordt gebracht. De aldus bepaalde geluidkaart voor bestaande turbines in Nederland is weergegeven in Figuur 3.



Figuur 3: Landsdekkend beeld van de geluidbelasting (L_{den} in dB) rondom windturbines in Nederland (situatie medio 2008). Een detailkaart van de Flevopolder is afgebeeld in Bijlage 1.

Door de combinatie van digitale adreslocaties uit 2007 met de geluidkaart uit Figuur 3 is vervolgens een verdeling van de geluidbelasting van windturbines over de woningen bepaald. Deze verdeling is cumulatief weergegeven in Figuur 4. Als toelichting: de verdeling geeft 10.000 woningen met een geluidbelasting boven 39 dB en 100 woningen met een geluidbelasting hoger dan 53 dB.



Figuur 4: Aantallen woningen met een geluidbelasting *boven* de gegeven L_{den} -waarde (situatie 2007).

2.3 Hinder

De huidige kans op geluidhinder door windturbines in Nederland is geschat aan de hand van de dosis-responsrelaties die door TNO zijn opgesteld, zie Bijlage 2. Het betreft dus een berekening via responsrelaties zonder dat de werkelijk in de praktijk optredende hinder rechtstreeks via enquêtes wordt vastgesteld. Een dergelijke enquête valt buiten het kader van dit onderzoek. De onderhavige raming van hinder met behulp van geluidkartering en van dosis-responsrelaties geeft dus slechts een indicatieve prognose van het resultaat van een grootschalig enquêteonderzoek.

Aangezien in de hinderrelaties voorgesteld door Miedema in het algemeen wordt uitgegaan van de hinder binnenshuis, is uitgegaan van percentages geldend voor de situatie binnenshuis (horende bij een geluidbelasting buitenshuis). Deze hinderpercentages zijn per L_{den} -waarde gecombineerd met de aantallen blootgestelde personen (dit zijn in Nederland gemiddeld 2,24 personen per woning). De gecumuleerde resultaten zijn in Tabel 1 opgenomen. De dosis-responsrelaties zijn beschikbaar vanaf 29 dB. Daarmee kan een grove schatting⁸ van het totale aantal gehinderden in Nederland worden gemaakt. De methode resulteert in ruim 4000 gehinderden, van wie 1500 ernstig, zie de arcering.

Tabel 1: Aantal woningen, inwoners en (ernstig) gehinderden. Het gaat om cumulatieven.

geluidbelasting (L_{den})	Aantal woningen	Aantal inwoners	Gehinderden	Ernstig gehinderden	
				aantal	percentage van totaal
29 dB of meer	200.000	440.000	ca. 4200	ca. 1500	100%
hoger dan 40 dB	6810	15250	1640	760	52%
hoger dan 45 dB	1390	3110	740	400	27%
hoger dan 47 dB	810	1810	540	310	21%
hoger dan 50 dB	330	740	290	180	12%

⁸ Bij geluidbelastingen in de range 29-40 dB gelden relatief grote onzekerheidsmarges in de hinderpercentages terwijl het aantal blootgestelde woningen zeer hoog is. Dit geeft een grote marge in de berekende aantallen. Bij hogere geluidbelastingen neemt die marge snel af.

Een L_{den} -waarde van 40 dB wordt bij bijna 7000 woningen overschreden, wat neerkomt op ongeveer 15.000 inwoners. Daarvan kunnen volgens de TNO dosis-responscurve circa 1600 gehinderden worden verwacht, van wie bijna 800 ernstig. Bij een geluidbelasting boven 45, 47 of 50 dB komt het landelijk totaal op enkele honderden (ernstig) gehinderden.

Onzekerheden

De hier gehanteerde methode waarbij hindereffecten worden geraamd met behulp van berekende geluidkaarten in combinatie met dosis-responsrelaties bevat een aantal onzekerheden.

Deze doen zich in eerste instantie voor bij de bepaling van de geluidbelasting en de blootstellingsverdeling (aantal woningen versus geluidbelasting). De belangrijkste onzekerheid bij de bepaling van de geluidbelasting ligt in een betrouwbare inschatting van de jaargemiddelde geluidemissies van de turbines. Deze hangen samen met het type turbine, de bedrijfstijd ervan en de windgesteldheid op diverse locaties. Secundair kunnen daarnaast ook overdrachtsonzekerheden, zoals richtingsafhankelijke uitstraling en mogelijke focuseffecten (caustieken) invloed op de uitkomsten hebben. Een (systematische) onderschatting van het geluidvermogen van de turbines betekent een onderschatting van het aantal blootgestelden en gehinderden en vice versa. Kwantitatief: 2 dB toe-/afname van geluidemissie leidt tot verdubbeling/halvering van het geraamde aantal (ernstig) gehinderden.

Verder is in de TNO-hinderrelaties het studie-effect niet meegenomen. De Zweedse en Nederlandse studies zijn samengevoegd alsof het één studie betrof. Bij de tweede Zweedse studie was het terrein echter sterk afwijkend van de eerste Zweedse studie en van de Nederlandse studie. Het is dus onzeker in hoeverre de tweede studie en daarop gebaseerde hinderprognose toepasbaar is op de Nederlandse situatie. Bij de bepaling van dosis-responsrelaties [4] is tevens de onzekerheid in de bepaling van de geluidbelasting bij de respondenten waarschijnlijk niet meegenomen. Deze bedraagt naar verwachting 1 tot 2 dB, wat bij hogere geluidbelasting tot onzekerheden van verscheidene procentpunten zal leiden. Ondanks deze onzekerheden in de dosis-responsrelaties is er voldoende onderbouwing waaruit volgt dat windturbinegeluid, in tegenstelling tot weg- en railverkeer, bij relatief lage geluidbelasting (vanaf 35~40 dB) hindereffecten veroorzaakt.

Ten slotte is in de berekening van de aantallen gehinderden het landelijk gemiddelde van 2,24 personen per woning gehanteerd. De huishoudsamenstelling nabij windturbines kan hiervan iets afwijken.

Discussie

Een belangrijke constatering die bij Tabel 1 kan worden gemaakt is dat de meeste gehinderden niet zozeer te vinden zijn in het gebied boven de 50 dB (slechts 12% van het totaal), maar vooral in de gebieden met een L_{den} van 45-50 dB (27% – 12% = 15% van het totaal) en 40-45 dB (52% – 27% = 25% van het totaal). Kiest men voor een grenswaarde van 50 dB, dan betekent dit dat het grootste deel van de ernstig gehinderden genegeerd wordt. Dit komt door de hoge gevoeligheid voor windturbinegeluid bij relatief lage geluidbelasting, gecombineerd met het feit dat naarmate de geluidcontouren een groter gebied beslaan er bij steeds meer woningen hindereffecten kunnen optreden. Een bovengrens van 45 dB biedt bescherming aan twee- tot driemaal zo veel mensen als een bovengrens van 50 dB.

Los daarvan de vraag: hoe verhoudt zich de hinder door windturbines in Nederland nu met andere bronnen in Nederland? Uit die vergelijking volgt dat de omvang van de (geprognosticeerde) hinder door windturbines, 1500 ernstig gehinderden, niet in verhouding staat met de totale geluidhinder die

bijvoorbeeld wegverkeer of luchtvaart oplevert. Volgens een hinderenquête uit 2003 [21] ondervond toen 29% van de Nederlandse bevolking (~ 4,5 mln) hinder en 13% (~2 mln) ernstige hinder door wegverkeer en luchtvaart. Dat is weliswaar geen eerlijke vergelijking, er zijn immers veel meer auto's en vliegtuigen dan windturbines, maar het duidt wel aan dat het geluidprobleem door windturbines maatschappelijk gezien veel minder groot is dan dat veroorzaakt door andere bronnen van omgevingslawaaï. Dat de geluidproblematiek van windturbines, tot dusver, maatschappelijk gezien zeer beperkt is gebleven, houdt mede verband met het feit dat de turbines in het verleden – alleen al uit oogpunt van effectiviteit – zoveel mogelijk in dun bebouwde windrijke poldergebieden werden geplaatst. Op die manier werd het windpotentieel zoveel mogelijk benut. Deze noodzaak is bij moderne, hogere windturbines veel minder aanwezig, en om verdere toename van hinder te voorkomen is zorgvuldige normstelling dan ook van belang.

Gevoeligheid hinder voor normstelling

De huidige normstelling uit het activiteitenbesluit (50 dB(A) overdag, 45 dB(A) 's avonds en 40 dB(A) 's nachts) is te vergelijken met een L_{den} van ongeveer 45 dB. Een grove indruk van de mate waarin hinder afhangt van de normstelling is te verkrijgen als men aanneemt dat een ruimere norm van 50 dB geheel benut zou zijn, waarbij de belasting op omwonenden gemiddeld 5 dB hoger zou liggen als in de huidige situatie. In dat geval zou het aantal ernstig gehinderden, nu geraamd op 1500, op 5500 liggen. Dit is geen grondige analyse, maar geeft wel de gevoeligheid van de problematiek aan.

2.4 Sanering

De hinder van bestaande windturbines kan worden verminderd met een saneringsoperatie. Bij windturbines met relatief veel woningen is het efficiënt om de turbines zelf te saneren (verwijderen/vervangen). In situaties waar slechts weinig woningen last hebben van een bepaalde turbine zal het doelmatiger zijn om de woningen te isoleren of te compenseren. Ook de ouderdom van de turbines (en dus de gedeelde inkomsten bij vroegtijdige ontmanteling) kan meegewogen worden. De geluidbelasting waarbij gesaneerd wordt, de saneringsgrenswaarde, staat daarbij overigens ter discussie. Het ligt in de rede dat deze in het bereik wordt gekozen tussen de vast te stellen richtwaarde en grenswaarde.

Een eerste ruwe schatting van de saneringskosten bij een bepaalde normstelling kan slechts gegeven worden op basis van indicatieve bedragen.

- *Optie 1 Saneren van turbines.* Voor de sanering van een turbine wordt een bedrag van 100.000 euro per turbine gehanteerd. Dit bedrag is gebaseerd op een kostprijs van 200.000 euro en een vervroegde afschrijving na de helft van de levensduur van de turbine. Voor grote, nieuwe turbines die voortijdig gesloopt moeten worden zal de schade een veelvoud hiervan bedragen. Voor kleine, oudere turbines zal de schade juist lager zijn.
- *Optie 2 Saneren van woningen.* Hiervoor wordt per woning een bedrag van 15.000 euro genomen (indicatie van VROM). Dit bedrag is bedoeld ter compensatie van waardedaling en voor gevelisolatie. Voor woningen dicht bij een flinke turbine zal dit te laag zijn. Verder weg zullen de waardevermindering en de kosten voor isolerende maatregelen lager zijn.

Op basis van deze kostenindicatie kunnen de totale saneringskosten worden becijferd, zie Tabel 2. De aantallen te saneren windturbines zijn geschat op basis van een gemiddelde (oudere) turbine met 101 dB geluidvermogen. De aantallen woningen komen uit de vorige paragraaf.

Niet zozeer de absolute bedragen zijn van belang – deze hangen af van de gekozen kosten per object –, maar het feit dat bij een hogere saneringsgrenswaarde het waarschijnlijk doelmatiger is om woningen te saneren dan windturbines.

Tabel 2: Sanering van bestaande hinder.

saneringsgrens L_{den}	Optie 1 te saneren windturbines			Optie 2 te saneren woningen	
	contourafstand*	aantal WT's	kosten (mln €)	aantal woningen	kosten (mln €)
40 dB	400 m	830	83	6810	102
45 dB	235 m	550	55	1390	21
47 dB	185 m	400	40	810	12
50 dB	115 m	210	21	330	5

* Deze telling maakt gebruik van een contourafstand voor een turbine met gemiddelde grootte: $L_w=101$ dB en 55 m ashoogte.

Evaluatie

Naarmate de saneringsgrens strenger wordt gekozen is het vanuit kostenooqpunt gunstiger om de turbine te saneren. In de praktijk zal dit laatste neerkomen op het vervroegd afschrijven van de kosten van de oude, bestaande turbine en deze te vervangen door een nieuwe, stillere turbine. Naarmate de saneringsgrens lager wordt gekozen zijn er steeds meer woningen waar de norm wordt overschreden en lopen de kosten bij het saneren van woningen snel op. Voor een normstelling boven 45 dB is het overwegend voordeliger om de woningen te saneren.

3 Nieuwe windturbines

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt onderzocht hoeveel ruimte er nog beschikbaar is voor nieuwe windturbines gegeven een bepaalde normstelling. Ook wordt daarbij geschat welke hoeveelheid elektrisch vermogen gerealiseerd kan worden, en hoe dit zich verhoudt tot de beleidsdoelstellingen. De kabinetsdoelstelling voor windenergie op land is 2000 MW groei tot 2011. Voor de langere termijn zijn er nog geen concrete doelstellingen voor windenergie op land. Wel geldt dat als doel voor 2020 dat circa 20 GW uit hernieuwbare energie moet bestaan⁹. Windenergie zal daar in de toekomst voor een deel aan bijdragen.

3.2 Beschikbare ruimte

In Bijlage 3 wordt de beschikbare ruimte voor windturbines in Nederland gerelateerd aan de geluidnormen. Er wordt een globaal beeld gegeven van de plaatsingsmogelijkheden van windturbines. In deze paragraaf beschrijven we de belangrijkste bevindingen van de bijlage.

Bij het zoeken naar geschikte locaties voor hoge windturbines zijn er naast geluidseisen ook planologische beperkingen. Deze planologische beperkingen komen deels voort uit het lokale beleid (o.a. streekplannen) en deels uit rijksregelgeving. Voor de beperkingen van rijkswege kan een schatting gemaakt worden van de invloed op de beschikbare ruimte voor windturbines. Het gaat dan om restricties in de volgende gebieden:

- militaire laagvliegroutes;
- zones rond luchthavens;
- militaire radarverstoringengebieden;
- Natura 2000-gebieden;
- Ecologische Hoofdstructuur (EHS);
- nationale landschappen met als kernkwaliteit ‘zeer open landschap’.

De totale oppervlakte van deze gebieden bedraagt 73% van het oppervlak op land. De ontwikkeling van windparken in deze gebieden is overigens niet overal uitgesloten. Dit blijkt uit het feit dat een kwart van de bestaande windturbines in deze gebieden liggen. Zekerheidshalve beperken we ons echter bij het berekenen van de beschikbare ruimte tot de overige 27%.

Om de beperkingen die met de geluidseisen samenhangen inzichtelijk te maken is een *reciproke geluidkaart* gemaakt¹⁰. Op zo’n kaart worden niet de windturbines maar juist de woningen als geluidbronnen beschouwd en is de ruimte waar de geluidbelasting lager is dan de grenswaarde vrij beschikbaar voor windturbines. Van de 27% beschikbare ruimte blijft bij een geluidnorm van 40 dB nog slechts 3% land over¹¹. Bij een ruimere norm van 50 dB is dit 16%. Als daarvan nog eens de kleine

⁹ De doelstelling gaat namelijk uit van 20% van de totale energiebehoefte (in Nederland ~3,3 petajoule/jaar).

¹⁰ Dit is nauwkeuriger dan de meer gebruikelijke methode waarbij cirkels met een vaste straal worden gehanteerd, doordat bij een reciproke berekening ook de invloed van de bodem en bebouwing op de overdracht wordt meegeteld.

¹¹ Bij deze berekeningen is uitgegaan van moderne (hoge) windturbines van typisch 2 MW per stuk.

versnipperde gebieden ($< 1 \text{ km}^2$) worden uitgesloten en de ruimte die reeds door bestaande windturbines is ingenomen, blijft nog zo'n 2% (700 km^2) over bij 40 dB en bij 50 dB 14% (5000 km^2). Omdat per vierkante kilometer zo'n 10 MW elektrisch vermogen kan worden opgesteld,¹² komt de beschikbare ruimte overeen met 7 MW bij 40 dB respectievelijk 50 MW bij 50 dB.

Tabel 3 geeft deze beschikbare ruimte bij verschillende niveaus van de normstelling en bij uitsluiting van de gebieden met planologische beperkingen weer.

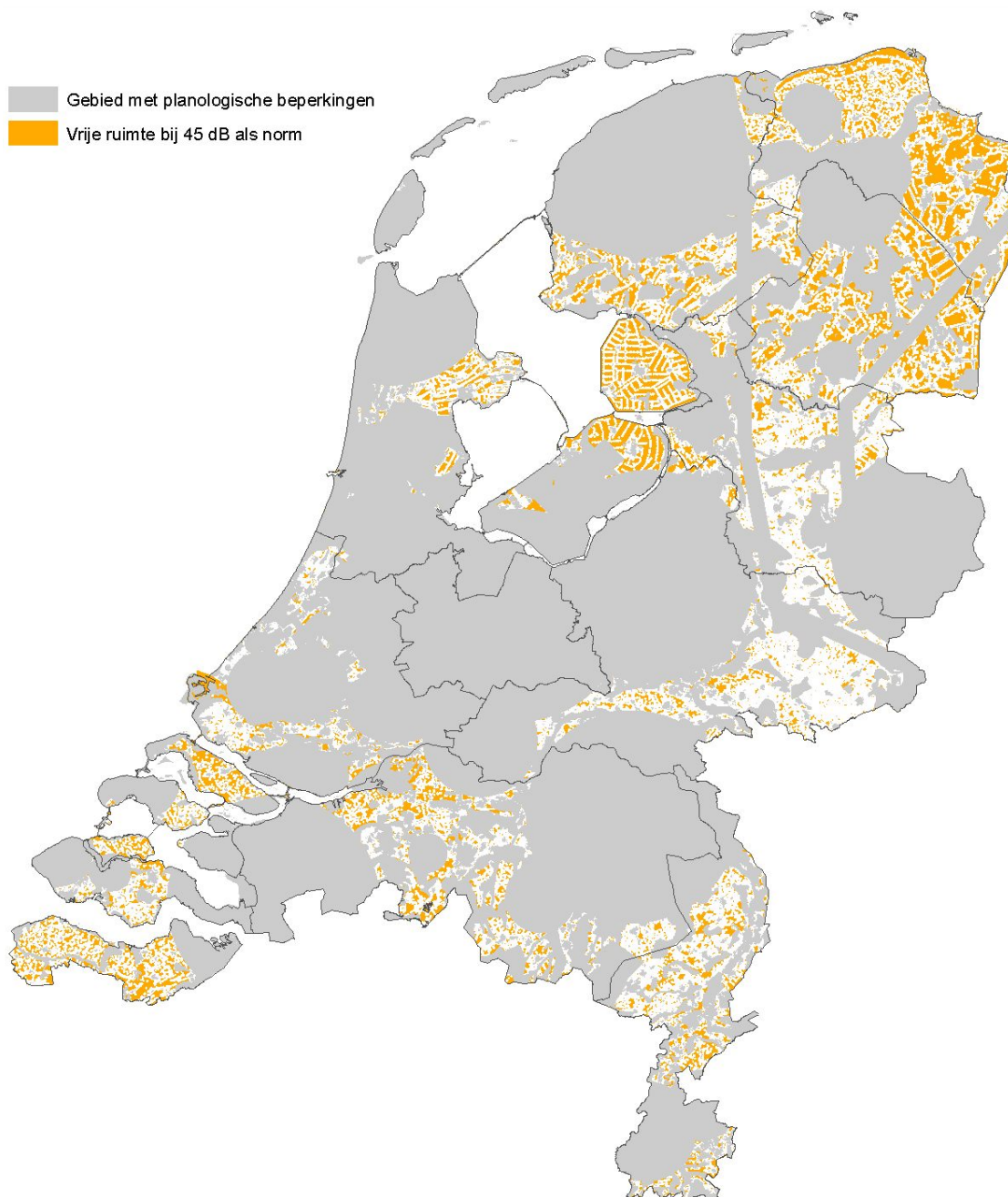
Tabel 3: Beschikbare ruimte voor windturbines afhankelijk van geluidnormen en gebiedsbeperkingen als percentage van de landoppervlakte. De berekening geldt voor turbines met $L_w = 104 \text{ dB}$ en 80 m hoogte.

grenswaarde L_{den}	vrije ruimte voor nieuwe turbines		
	vrij van beperkingen vanwege geluid	vrij van planologische beperkingen	resterende vrije ruimte (alleen gebieden $\geq 1 \text{ km}^2$ meegeteld)
37 dB	8%	27%	0,7% (3 GW)
40 dB	15%		2 % (7 GW)
43 dB	26%		5 % (16 GW)
45 dB	34%		7 % (25 GW)
47 dB	43%		10 % (34 GW)
50 dB	57%		14 % (50 GW)

Uit de tabel blijkt dat de vrije ruimte sterk afhangt van de normstelling. Zo is er bij een norm van 45 dB 3,5 maal zoveel ruimte (7%) als bij een norm van 40 dB (2%). Daarna neemt de afhankelijkheid af: bij een norm van 50 dB is er tweemaal zoveel ruimte als bij een norm van 45 dB.

Figuur 5 laat zien dat de meeste ruimte beschikbaar is in de provincies Flevoland, Groningen en Drenthe. In deze figuur is de vrije ruimte bij een normstelling van 45 dB weergegeven.

¹² Turbines van 2 MW staan typisch op 400 m van elkaar. Bij een hexagonale plaatsing kunnen dan ca.5 turbines per km^2 worden geplaatst.



Figuur 5: Vrije ruimte (oranje) na aftrek van gebieden waar van rijkswege een planologische beperkingen gelden (grijs). De berekening geldt voor windturbines met $L_w = 104$ dB en 80 m ashoogte, voor een geluidgrens van $L_{den} = 45$ dB. Het gaat hier om 7% van het totale landoppervlak.

3.3 Gevolgen

Voor het realiseren van de doelstellingen op de korte termijn, 2000 MW erbij in 2011, biedt een richtwaarde van 40 dB voldoende plaatsingsmogelijkheden. In grotere windparken (oppervlakte meer dan 1 km²) kan circa 7 GW elektrisch vermogen worden opgesteld zonder dat geluidsprocedures

doorlopen moeten worden (de richtwaarde wordt immers niet overschreden). Het gaat hierbij nadrukkelijk om een schatting. Weliswaar zijn minder kansrijke gebieden in de berekening zekerheidshalve geheel uitgesloten, uiteindelijk weegt de gemeente in haar besluit ook de lokale belangen mee.

Omdat uiteindelijk de grenswaarde de beschikbare ruimte bepaalt, zal onder voorwaarden een groter vermogen kunnen worden opgesteld. Bij een grenswaarde van 45 dB zou landelijk circa 25 GW elektrisch vermogen kunnen worden gerealiseerd. Bij een grenswaarde van 50 dB loopt dat op tot ongeveer 50 GW. Een grenswaarde van 50 dB biedt weliswaar tweemaal zoveel plaatsingsruimte als een grenswaarde van 45 dB, maar brengt daardoor ook een aanzienlijk grotere kans op ernstige hindereffecten met zich mee.

4 Conclusies

- Op grond van internationaal gevonden relaties tussen geluidbelasting en hinderbeleving wordt geschat dat rondom het huidige windmolenpark in Nederland zich bij ongeveer 1500 omwonenden ernstige hindereffecten voor kunnen doen. Dit aantal is indicatief met een ruime onzekerheidsmarge van $\pm 50\%$.
- Een richtwaarde van ongeveer L_{den} 40 dB voor windturbines is wat hinderbeleving betreft vergelijkbaar met de richtwaarden bij wegverkeerslawaaï en railverkeerslawaaï. Een grenswaarde van ongeveer 48 dB is wat hinderbeleving betreft vergelijkbaar met de grenswaarden bij weg- en railverkeerslawaaï.
- Indien nieuwe windturbines voldoen aan deze richtwaarde zal verdere toename van hindereffecten in de toekomst tot een minimum worden beperkt. Met betrekking tot het potentieel aan duurzame energie is er ongeveer 700 km² aan plaatsingsruimte beschikbaar zonder dat deze richtwaarde hoeft te worden overschreden. Dit komt neer op ongeveer 7 GW.
- Bij keuze voor een grenswaarde van 45 dB ontstaat meer ruimte voor toekomstige ontwikkeling van windturbines op land: 2500 km², hetgeen een potentieel van 25 GW biedt. Een toename van de geluidhinder kan daarbij niet worden uitgesloten.
- Een grenswaarde boven 45 dB zal leiden tot toenemende hinderbeleving bij omwonenden van nieuwe windturbineparken. Bij een geluidbelasting van 50 dB zal in 15% van de gevallen binnenshuis en in 30% van de gevallen buitenshuis sprake zijn van ernstige hinder. Bij dit niveau zijn effecten niet tijdelijk van aard, maar voortdurend aanwezig. In de nachtperiode is de kans op slaapverstoring daarbij reëel.
- Indien besloten wordt om een saneringsregeling in te stellen, is het te verkiezen om windturbines te saneren in plaats van de woningen te isoleren. Dit is waarschijnlijk kosteneffectiever en vermindert bovendien de hinder ook buitenshuis.

Literatuur

- [1] E. Pedersen en P. Larsman (2008), The impact of visual factors on noise annoyance among people living in the vicinity of wind turbines, *J Environ Psychol* doi:10.1016/j.jenvp.2008.02.009.
- [2] E. Pedersen (2007), Human response to wind turbine noise: Perception, annoyance and moderating factors. Thesis, Göteborg University.
- [3] G.P. van den Berg, E. Pedersen, J. Bouma en R. Bakker (2008), WINDFARMperception: 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] 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.
- [5] G.P. van den Berg (2004), Do wind turbines produce significant low frequency sound levels?, proceedings 11th International Meeting on Low Frequency Noise and Vibration and its Control, Maastricht.
- [6] G.P. van den Berg en N.M. van Kuijeren (2008), Windturbines: invloed op de beleving en gezondheid van omwonenden. GGD-informatieblad Medische Milieukunde, RIVM briefrapport 609333002/2008.
- [7] Antwoorden op schriftelijke vragen Jansen (SP), kenmerk RM2008050371, Minister van VROM, 13 juni 2008.
- [8] Wind Service Holland, <http://home.planet.nl/~windsh/>
- [9] Nauwkeurigheid gegevens voor L_{den} windturbines, adviesbrief RIVM-LVM, september 2008.
- [10] W.K.G. Palmer (september 2007), Uncloaking the Nature of Wind Turbines – Using the Science of Meteorology, Proceedings of the Second International Meeting on Wind Turbine Noise, Lyon.
- [11] G.P. van den Berg (2008) Criteria for wind farm noise: L_{max} and L_{den} . Proceedings Acoustics'08, Parijs.
- [12] A.L. Rogers, J. F. Manwell en S. Wright (januari 2006), Wind Turbine Acoustic Noise, University of Massachusetts.
- [13] J. Witte (januari 2006), Imagine Project Work Package 7, Description of the Source Database, <http://www.imagine-project.org/bestanden/IMA07TR-050418-DGMR02.pdf>.
- [14] Handleiding Rekenen en Meten Industrielawaai, Ministerie van VROM, Den Haag 2004.
- [15] M.L.S. Vercammen en P.H. Heringa (juni 1990), Laagfrequent Geluid; Grenswaarden, Overdracht en Meten, Rapport R548-13 van Adviesbureau Peutz en Associés, opdrachtgever Ministerie van VROM.
- [16] B. Søndergaard, D. Hoffmeyer en B. Plovsing (20-21 september 2007), Low frequency noise from large wind turbines, Second international meeting on Wind Turbines Noise, Lyon.
- [17] M.L.S. Vercammen (november 2007), De Vercammen-curve: wat is dat? Achtergronden bij LF-geluid criteria, Congres Geluid Trillingen en Luchtkwaliteit, proceedings GTL2007, Nieuwegein.
- [18] J. Jakobsen (2005), Infrasound Emission from Wind Turbines, Danish Environmental Protection Agency, Journal of low frequency noise, vibration and active control b(3), pp. 145-155.
- [19] A.L. Rogers, Wind Turbine Noise, Infrasound and Noise Perception, http://www.windpoweringamerica.gov/pdfs/workshops/mwmg_turbine_noise.pdf
- [20] Rapportage tussenstand Screening belemmeringen windenergie, Project Landelijke Uitwerking Windenergie, VROM, 3 februari 2009.
- [21] E.A.M. Franssen et al. (2004), Hinder door milieufactoren en de beoordeling van de leefomgeving in Nederland, Inventarisatie verstoringen 2003, RIVM rapport 815120001/2004 TNO rapp. 2004-34

Bijlage 1 Geluidkartering windturbines

Bronvermogen

Elk type windturbines heeft een specifiek geluidvermogen dat afhangt van de windsnelheid op ashoogte. Het bronvermogen neemt doorgaans toe met die windsnelheid totdat een zeker maximum wordt bereikt waarboven de rotoren met constante snelheid blijven draaien. Het bronvermogen wordt meestal in de specificaties vermeld, echter niet als functie van de windsnelheid op ashoogte maar als een vaste waarde bij een standaardwindsnelheid (bijv. 8 m/s) op een standaardhoogte van 10 m. Voor geluidberekeningen onder het normenkader van het industrielawaai vormde dat geen probleem, omdat het maximale geluidvermogen maatgevend was. Voor de berekening van de L_{den} is echter niet het maximum, maar het gemiddelde geluidvermogen over het hele jaar van belang. Voor een voldoende nauwkeurige berekening van de L_{den} is de gemiddelde jaarlijkse windsnelheidsverdeling in de dag-, avond- en nachtperiode nodig, geldend ter plaatse van de windturbine ter hoogte van de as [9]. Het KNMI werkt aan tabellen met de windgegevens voor verschillende gebieden en ashoogten in Nederland. Deze zijn echter nog niet beschikbaar, zodat we hier terugvallen op een schatting van de geluidvermogens van de bestaande turbines op basis van de elektrische vermogens. Eerst bepalen we bij een aantal windturbines waarvan het geluidvermogen wel bekend is het verband tussen elektrisch vermogen en geluidvermogen. In navolging van [3] gebruiken we hierbij de relatie:

$$L_{W, \text{nominaal}} = 10 \log(P_{\text{elek}}) + 71 \text{ dB(A)},$$

waarin L_W het geluidvermogen is en P_{elek} het elektrisch vermogen uitgedrukt in kW. Deze formule geldt voor 8 m/s windsterkte op 10 m, hetgeen in de praktijk neerkomt op het maximale vermogen. Omdat er niet altijd voldoende wind is voor maximaal vermogen, wordt een correctie C_{wind} toegepast die afhangt van de periode van de dag:

$$L_W = L_{W, \text{nominaal}} - C_{\text{wind, periode}}$$

met $C_{\text{wind, dag}} = 4 \text{ dB(A)}$, $C_{\text{wind, avond}} = C_{\text{wind, nacht}} = 2 \text{ dB(A)}$. Deze aftrek is gebaseerd op het bronvermogen als functie van de windsnelheid bij de Vestas V80 turbine, zie [10] en de windverdeling van de KNMI-meetmast te Cabauw (bij Lopik). Deze correctie komt samen met de L_{den} -weging neer op een toeslag van 4,2 dB ten opzichte van $L_{W, \text{nominaal}}$. Deze toeslag is iets lager dan de toeslag van 4,7 dB die berekend is in [11]. Het verschil is het gevolg van een andere wijze van schatten en middelen over windverdelingen. Dit verschil is klein in vergelijking met de onzekerheid in enerzijds het schatten van het geluidvermogen uit het elektrisch vermogen en anderzijds de overdrachtsberekening.

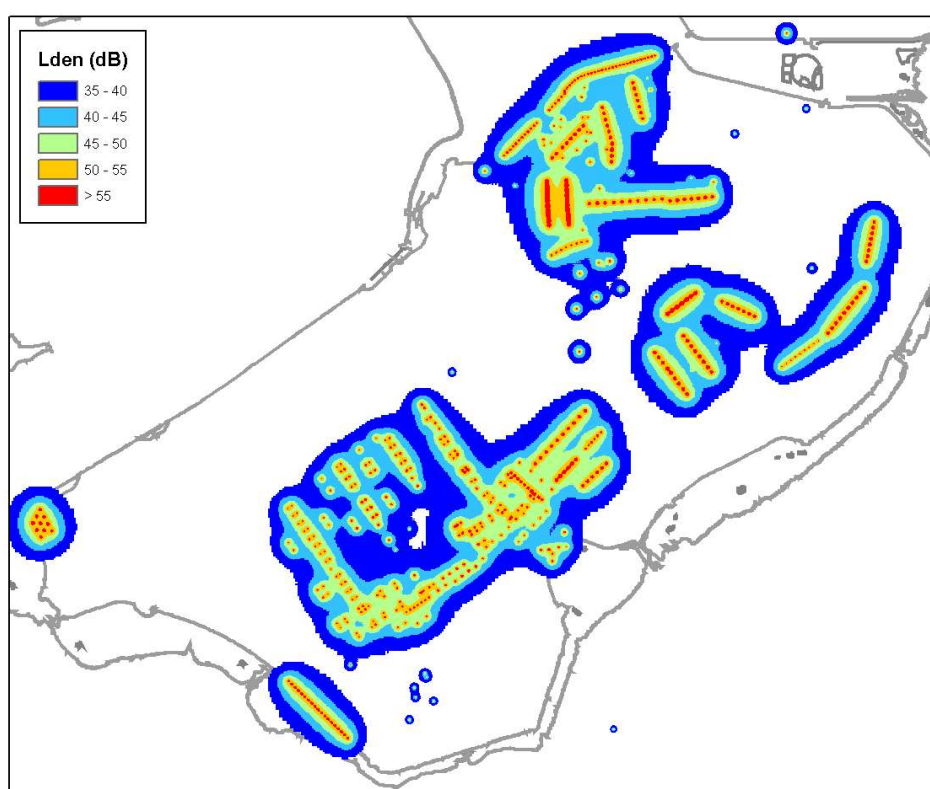
De onzekerheid in de aldus berekende geluidvermogens bedraagt enkele decibellen. Voor het verkrijgen van een landelijk beeld van de hinder en de kosten van eventuele sanering is dit voldoende. Lokaal zullen er echter significante verschillen kunnen bestaan tussen werkelijk en berekend bronvermogen, zodat deze berekening niet geschikt is om uitspraken te doen over de feitelijk optredende lokale geluidbelastingen. Bekend is dat de generatie (kleinere) turbines uit de jaren tachtig lawaaiiger is dan modernere turbines [12].

Overdrachtsmodel

Dit bronmodel is vervolgens toegepast in de standaardrekenmethode voor industrielawaai. Hierbij zijn de turbines als monopoolbronnen verondersteld, die zich op de gegeven ashoogte van de turbine bevinden. Omdat de spectrale eigenschappen per industrielawaai-bron sterk kunnen verschillen, bepaalt de rekenmethode voor industrielawaai per frequentieband (i) de overdracht van bron naar ontvangerpunt. Met behulp van het Imagine-bronmodel [13] is de bronemissie L_W herschreven naar een bronemissie per frequentieband L_{Wi} . Op dit bronvermogen is een correctie C_{wind} ten opzichte van de

maximale windsterkte toegepast als hiervoor beschreven. Er wordt gerekend met negen oplopende octaafbanden vanaf 31,5 Hz tot 8000 Hz. Voor de rest van de modellering wordt verwezen naar de Nederlandse Handleiding meten en rekenen voor industrielawaai [14].

Het verkregen geluidsniveau op het immissiepunt betreft vervolgens een gestandaardiseerd immissieniveau, dat naar een L_{den} moet worden omgerekend. Daarbij is uitgegaan van een ‘worstcasescenario’, waarbij de turbines het gehele jaar in bedrijf zijn (bij de in Cabauw geldende windverdeling). Er is geen rekening gehouden met de windroos en met richtingsafhankelijke afstraling van het geluid. De windturbines zijn gemodelleerd als monopolen. De berekende geluidcontouren zijn daardoor vrijwel cirkelvormig, waarbij de enige afwijkingen van de perfecte cirkel voortkomen uit variatie in de bodemgesteldheid en bebouwing rondom de windturbines.



Figuur A1: Detailkaart van de Flevopolder. De kaart van Nederland is afgebeeld in Figuur 3.

Dosis-responsrelaties

Bij de bepaling van de aantallen gehinderden wordt gebruikgemaakt van de dosis-responsrelaties van [4] die zijn overgenomen in Bijlage 2.

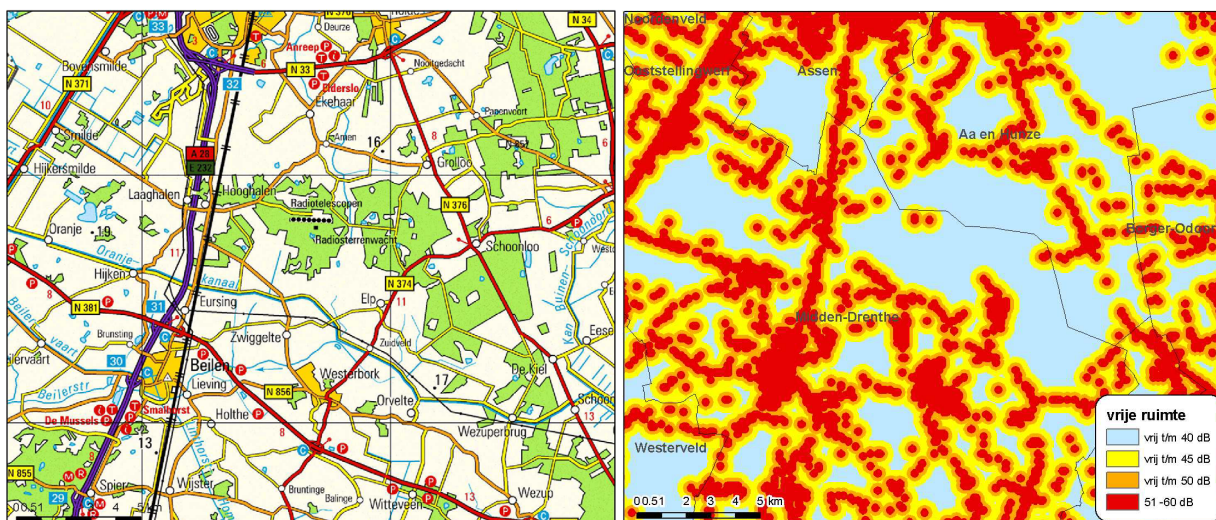
Bijlage 2 Dosis-responsrelaties

Tabel B1: Verwachte percentage gehinderden en ernstig gehinderden buitenshuis en binnenshuis voor L_{den} -waarden tussen 29 en 60 dB. Bron: [4].

L_{den}	buiten		binnen	
	gehinderden	ernstig gehinderden	gehinderden	ernstig gehinderden
29	0,62	0,15	0,15	0,03
30	0,85	0,22	0,21	0,05
31	1,16	0,31	0,30	0,07
32	1,56	0,44	0,42	0,10
33	2,08	0,61	0,58	0,15
34	2,74	0,85	0,79	0,21
35	3,55	1,16	1,07	0,30
36	4,56	1,56	1,44	0,42
37	5,79	2,07	1,90	0,58
38	7,26	2,72	2,49	0,79
39	9,00	3,54	3,22	1,07
40	11,04	4,54	4,12	1,44
41	13,38	5,77	5,21	1,90
42	16,05	7,23	6,53	2,49
43	19,04	8,97	8,08	3,22
44	22,36	11,00	9,91	4,12
45	25,98	13,34	12,01	5,22
46	29,88	16,01	14,42	6,53
47	34,02	18,99	17,13	8,09
48	38,37	22,30	20,14	9,91
49	42,87	25,92	23,46	12,02
50	47,46	29,81	27,05	14,43
51	52,09	33,95	30,90	17,14
52	56,69	38,30	34,97	20,15
53	61,21	42,80	39,22	23,46
54	65,57	47,39	43,61	27,06
55	69,74	52,02	48,07	30,91
56	73,66	56,62	52,56	34,98
57	77,31	61,13	57,02	39,23
58	80,65	65,50	61,38	43,62
59	83,68	69,67	65,61	48,08
60	86,38	73,60	69,66	52,57

Bijlage 3 Beschikbare ruimte voor windturbines

Geluidnormen leggen beperkingen op aan de ruimte die vrij is voor plaatsing van windturbines. De ruimte in de buurt van woningen is immers niet beschikbaar voor windturbines als die turbines alleen mogen worden geplaatst op locaties waar ze geen overschrijding van de geluidnorm veroorzaken. Het is mogelijk om de locaties die vrij beschikbaar zijn te bepalen met berekeningen. Dat kan met een reciproke aanpak, waarbij de woningen zelf als geluidbron worden beschouwd. Figuur C1 toont een topografische kaart en een reciproke geluidkaart voor een gebied van 20 x 23 km.



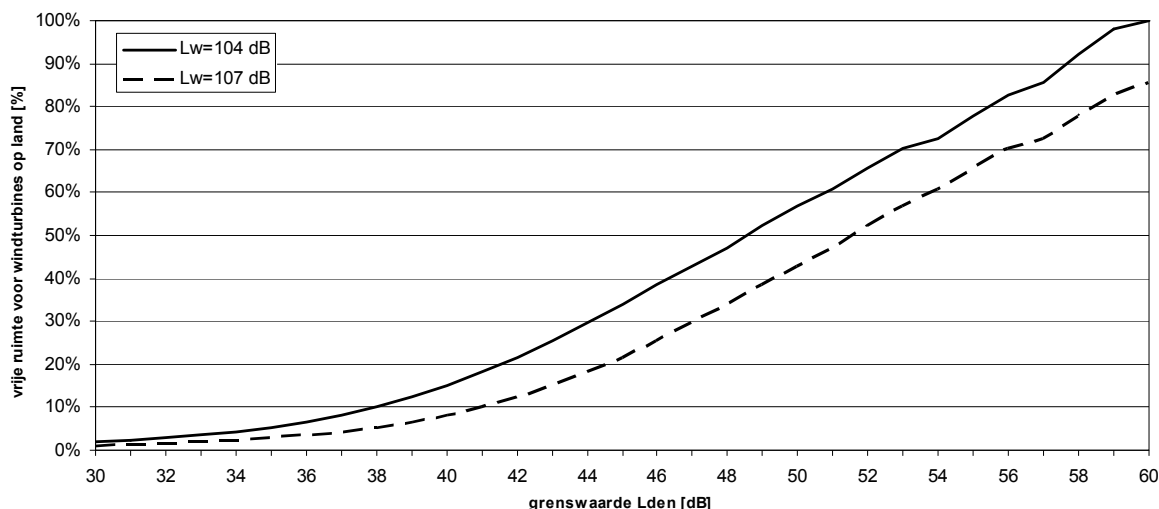
Figuur C1: Links een topografische kaart van Midden-Drenthe; rechts de bijbehorende reciproke kaart.

Als de richtwaarde 40 dB bedraagt, is het lichtblauwe deel van de kaart in principe vrij beschikbaar voor windturbines. Met 'vrij' wordt bedoeld dat daar geen beperkingen gelden vanuit de geluidwetgeving. Voor deze berekening is uitgegaan van 'woningbronnen' met een geluidvermogen $L_W=104$ dB en een ashoogte van 80 m. Dit betekent dat de omvang van de lichtblauwe ruimte geldt voor windturbines met eveneens 104 dB bronvermogen en een ashoogte van 80 meter. Deze kentallen zijn typisch voor moderne windturbines met 2 MW elektrisch vermogen. De kleurstelling in de reciproke geluidkaart geeft aan hoe de vrije ruimte toeneemt met een hogere normwaarde. Als deze 5 dB toeneemt, komen ook de gele gebieden vrij.¹³

Op landelijke schaal geldt dat bij een norm van 40 dB circa 15% van het landoppervlak vrij is. Bij een norm van 50 dB is ruim de helft van het landoppervlak vrij. Figuur C2 toont hoe de vrije ruimte toeneemt naarmate de grenswaarde hoger wordt gekozen. Het maximum van 60 dB hangt samen met het feit dat een geluidbron met $L_W=104$ dB die op 80 m hoogte staat, ter hoogte van het maaiveld een geluidbelasting van 60 dB veroorzaakt.

¹³ De reciproke kaart geldt alleen zolang windturbines niet te dicht bij elkaar staan. Twee windturbines die naast elkaar aan de rand van een vrij gebied staan, zullen immers een iets hoger geluidniveau veroorzaken bij de dichtstbijzijnde woning dan een enkele windturbine. Grote windturbines staan in de praktijk minstens enkele honderden meter uit elkaar, waardoor het optellen van geluid slechts een beperkte invloed heeft op de hier berekende vrije ruimte.

De figuur laat tevens zien dat de vrije ruimte redelijk sterk afhangt van het geluidvermogen. Als wordt uitgegaan van 3 dB luidere windturbines, is bij een grenswaarde van 40 dB nog slechts 8% vrije ruimte beschikbaar.



Figuur C2: Vrije ruimte gerelateerd aan de grenswaarde.

Verdere beperkingen van de beschikbare ruimte

Behalve de geluidwetgeving legt ook het beleid voor ruimtelijke ordening beperkingen op aan de ruimte die beschikbaar is voor windturbines. Hiervoor hanteren provincies en gemeenten uiteenlopende beleidsregels, waarbij onder andere voorkeuren worden uitgesproken voor plaatsing in parken (dus niet solitair) of in linten langs rijksinfrastructuur of bedrijventerreinen. Stedelijk gebied (bestaand en gepland), militaire laagvliegroutes en zones rond luchthavens worden uitgesloten. In radarverstoringsgebieden voert het ministerie van Defensie een toets uit. Voor andere gebieden wordt een afweging gemaakt (EHS, streekplannen, habitat- en vogelrichtlijn, landschappelijke waarde). Tabel B1 geeft een indicatie van het effect van deze planologische beperkingen op de vrije ruimte voor windturbines. Daarin zijn alleen de gebieden en zones opgenomen waarvoor van rijkswege beperkingen kunnen gelden voor windturbines [20]. Het totale oppervlak van elk gebiedstype is als percentage van het landoppervlak berekend. Het oppervlak van al deze gebieden samen (deels overlappend) bedraagt 73%. Met andere woorden: op slechts 27% van het landoppervlak is geen planologische afweging aan het rijksbeleid nodig. Er kunnen daar nog wel streekplannen of gemeentelijke plannen zijn waardoor windturbineprojecten stranden. Hierdoor zou de vrije oppervlakte lager kunnen uitvallen.

Echter, omgekeerd geldt dat sommige windturbineplannen in gebieden die planologische of ecologische bescherming genieten toch door kunnen gaan, omdat de nadelige effecten mee blijken te vallen [20]. Hierdoor zou de vrije oppervlakte juist groter kunnen zijn dan in dit rapport geraamd. Dit wordt geïllustreerd door het feit dat 25% van alle grotere windturbines (≥ 500 kW) zich in 2008 in deze ruimte met planologische beperkingen bevond.¹⁴

¹⁴ Hierbij is de groep grotere windturbines die in de radarverstoringsgebieden staan, weggelaten (goed voor 45% van de grotere windturbines op land). Deze stonden immers al opgesteld toen het ministerie van Defensie in 2005 bezwaar begon te maken tegen verdere hoogbouw in deze gebieden.

Tabel C1: Gebieden met planologische beperkingen voor grote windturbines (bron: [20]) en hun oppervlakte.

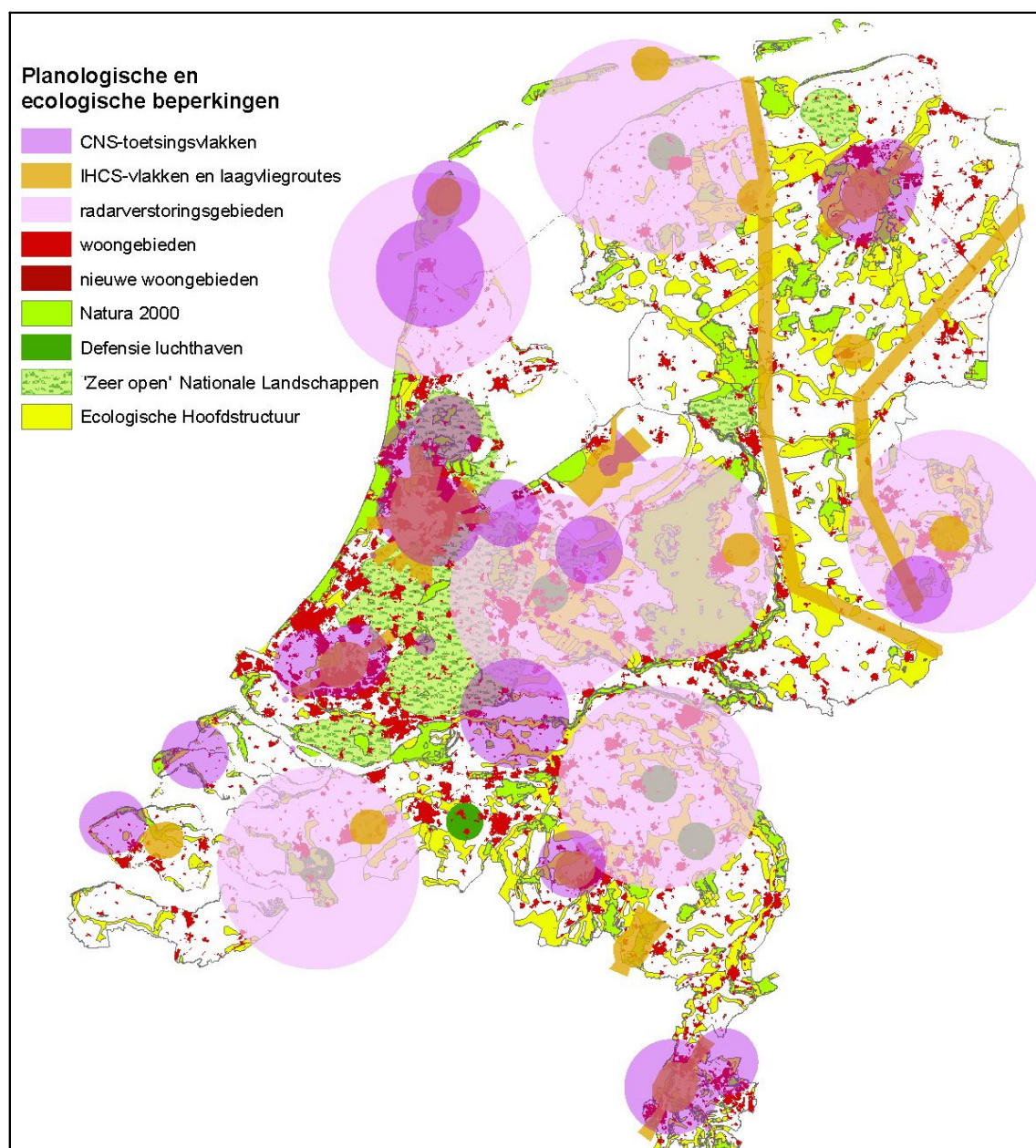
Planologische structuur	Beschrijving beperking	Ontheffing mogelijk?	Ruimtebeslag t.o.v. landoppervlak
CNS-vlakken	Beperking vanwege Communicatie, Navigatie en Surveillance rond luchthavens	zeer beperkt	14%
IHCS-vlakken en laagvliegroutes	Beperking vanwege aanvliegend en vertrekkend verkeer (Inner Horizontal Conical Surface) binnen de 'koekenpan' rond luchthavens	zeer beperkt	10%
Radarverstoringsgebieden	Zones van 28 km rond militaire radars	ja, als plan $\leq 10\%$ radarverstoring oplevert	34%
Woongebied	In woongebieden gelden o.a. beperkingen vanwege externe veiligheid	nee	10%
Nieuwe woongebieden	Geplande woongebieden volgens 'De Nieuwe Kaart van Nederland'	nee	1%
Defensieluchthavens	Zones rond militaire luchthavens	onduidelijk	2%
Natura 2000	Kwetsbare natuurgebieden incl. vogel- en habitatrichtlijn. Met name voor vogels en vleermuizen kunnen windturbines problemen opleveren	ja	11%
Nationale landschappen	Hier zijn alleen de zes landschappen opgenomen die de kernkwaliteit 'zeer open landschap' hebben	ja	9%
EHS	Ecologische hoofdstructuur. Ook hierbij zijn vogels en vleermuizen kwetsbaar	ja	31%
Cumulatief oppervlak van bovenstaande gebieden			73 %

Figuur C3 brengt de gebieden met planologische beperkingen in kaart. De witte ruimte in de figuur betreft dus 27% van het gehele landoppervlak. Vanwege de geluidnormen wordt deze ruimte verder beperkt. In de berekening van de resterende vrije ruimte worden de volgende stappen onderscheiden:

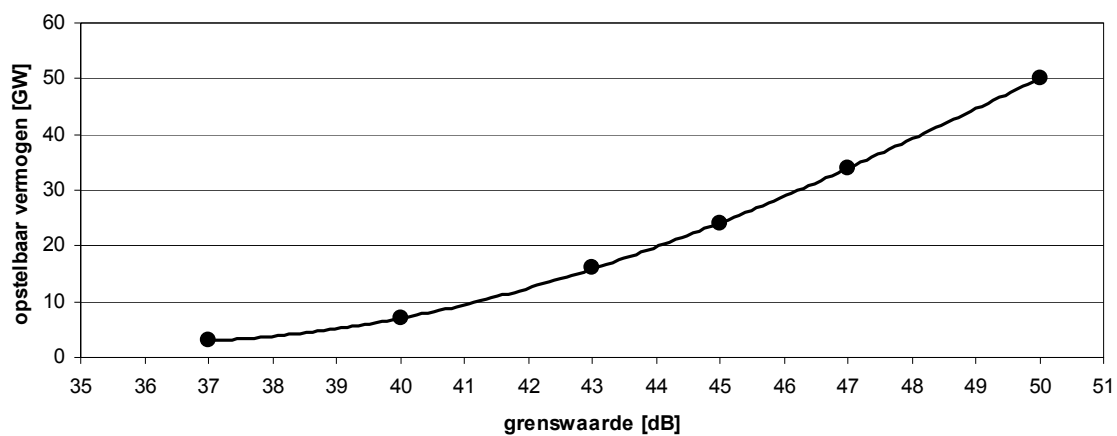
- Van de witte ruimte moet de ruimte worden afgetrokken die door geluidgrenzen wordt beperkt. Bij een grenswaarde van 40 dB blijft 3,2% over. Dit loopt op tot 16% bij 50 dB.
- Een klein deel van deze ruimte is reeds bezet door de bestaande windturbines. Als deze bezette ruimte in mindering wordt gebracht, blijft bij 40 dB 3,1% over en bij 50 dB 15%.
- De vrije ruimte bestaat uit grotere en kleinere versnipperde gebieden. De kleinere zijn voor de ontwikkeling van windparken niet interessant. Als alleen vrije gebieden van groter dan 1 km² worden meegeteld, varieert de vrije ruimte van 2,0% bij 40 dB tot 14% bij 50 dB.

Nu het oppervlak bekend is kan worden geschat welk elektrisch vermogen kan worden opgesteld.¹⁵ Bij 40 dB kan circa 7 GW aan elektrisch vermogen worden geïnstalleerd. Bij 45 dB is dat 25 GW oplopend tot 50 GW bij 50 dB, zie Figuur C4. Het gaat dus om een veelvoud van de momenteel opgestelde 2 GW op land. Figuur C5 illustreert de schaarste aan vrije gebieden (2% van het land) bij een norm van 40 dB.

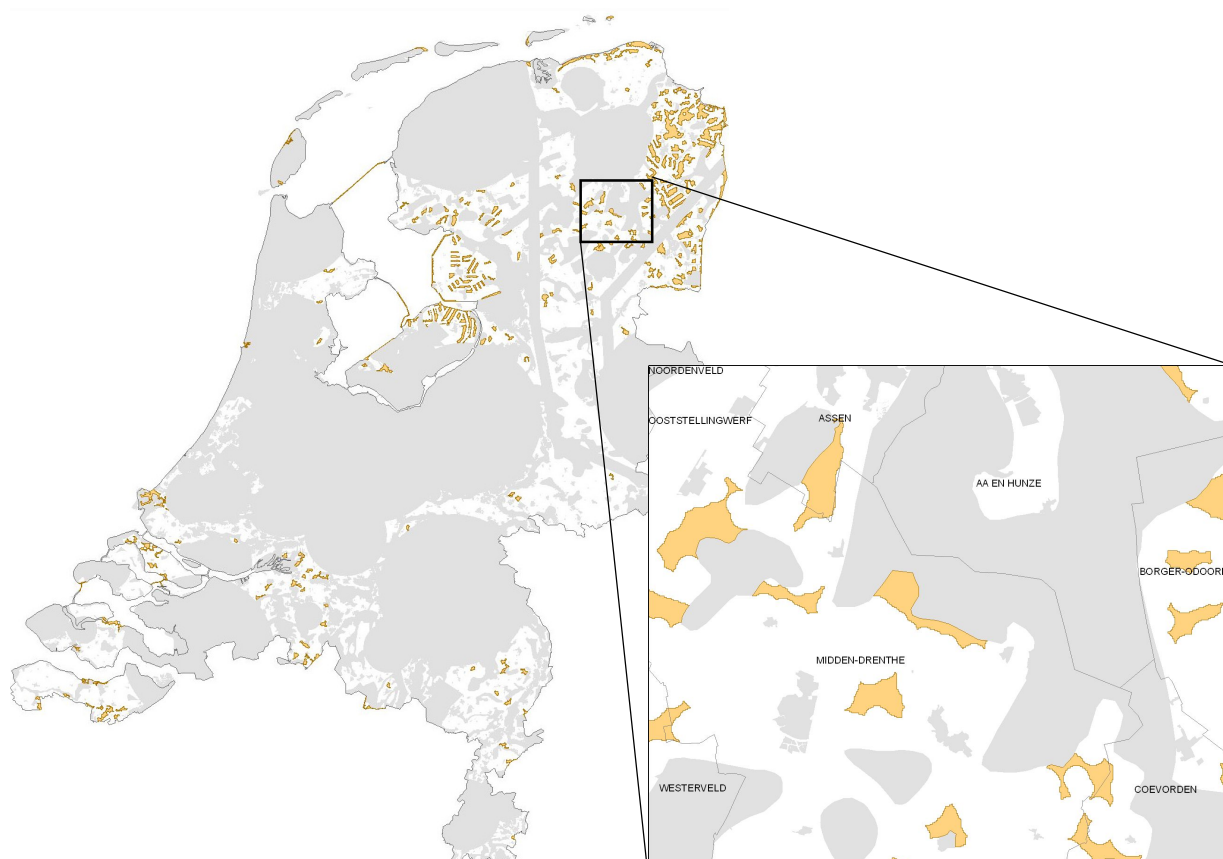
¹⁵ Als uitgangspunten hanteren we turbines van 2 MW die 400 m uit elkaar staan. Bij een efficiënte (hexagonale) plaatsing staan er dan ca. 5 turbines per km². Per vierkante kilometer vrije ruimte kan dus 10 MW worden opgesteld. Dit is een onderschatting, omdat in langwerpige gebieden (die typisch in polderlandschap voorkomen) veel meer turbines kunnen worden geplaatst.



Figuur C3: Gebieden waar van rijkswege een planologische afweging vereist is bij nieuwe windturbines.



Figuur C4: Opstelbaar elektrisch vermogen als functie van de geluidnorm.



Figuur C5: Vrije ruimte bij een geluidnorm van 40 dB. Met grijs zijn de structuren van Figuur C3 aangegeven. De inzet rechts geeft de situatie in het gebied van Figuur C1.

Bijlage 4 Laagfrequent geluid

Het menselijk gehoor is minder gevoelig voor laagfrequent geluid. Dit betekent dat er een aanzienlijk hogere geluidsterkte nodig is van laagfrequent geluid voordat het hoorbaar (en uiteindelijk hinderlijk) wordt dan van geluid van midden en hoge frequenties. Om rekening te houden met deze geringere hoorbaarheid, worden wettelijke geluidbelastingen (zowel $L_{A,RT}$ als L_{den}) eerst met een zogenoemde A-weging gefilterd. Dit filter verzwakt de lage frequenties in gelijke mate als het gehoor dat doet. De uiteindelijke dosis-responsrelaties, zie Bijlage 2, geven dan een juist beeld van de hinder die bij een bepaalde waarde van de geluidbelasting hoort.

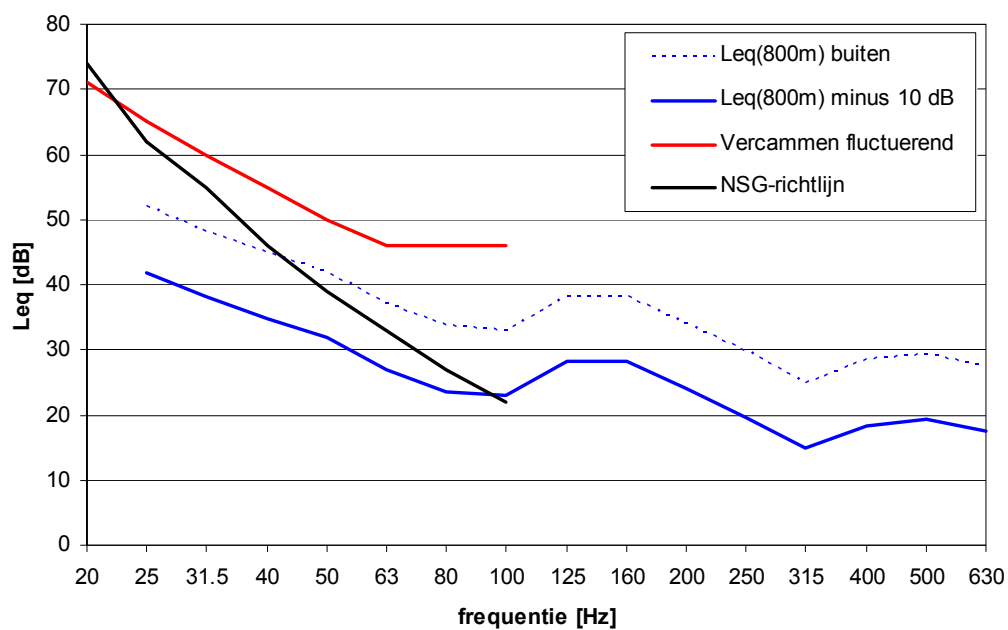
Bij toename van sterke laagfrequente componenten in een hinderbron is de A-gewogen geluidbelasting (in combinatie met de dosis-responsrelaties van Bijlage 2) een steeds minder goede maat voor de voorspelling van de hinder. Er kan dan ernstige hinder optreden lang voordat de wettelijke geluidbelasting wordt overschreden. In dat geval biedt een toetsing aan de zogenoemde Vercammencurve een betere basis om hinder te voorspellen [15]. Sinds een uitspraak van de Raad van State (200509380/1 d.d. 13 december 2006) heeft deze curve ook een juridisch status gekregen. De Vercammencurve is een geluidsspectrum tussen 20 en 125 Hz waarmee kan worden getoetst of geluiden met sterke laagfrequente componenten in woningen tot hinder kunnen leiden. Overigens is de Vercammencurve niet beschikbaar voor hogere geluidsniveaus dan 35 dB(A), omdat boven die geluidsterkte het A-gewogen niveau reeds maatgevend is. Naast de Vercammencurve is ook de NSG-richtlijn voor Laagfrequent Geluid in gebruik. Dit is een methode om de *hoorbaarheid* van laagfrequent geluid objectief te toetsen.

Omdat het uitdrukkelijk gaat om het geluid *binnen* de woning, terwijl de L_{den} buiten de woning wordt geëvalueerd, is het lastig om algemene uitspraken te doen over de hinderlijkheid vanwege de lage frequenties in het geluid van windturbines. Er bestaat namelijk een grote variatie in geluidsoverdracht van buiten naar binnen voor laagfrequent geluid. Met een berekening kan in deze bijlage wel een indicatief beeld worden gegeven van de kans dat een relatief lage geluidbelasting van windturbines toch tot hinder leidt vanwege laagfrequent geluid.

Hierbij is gebruikgemaakt van geluidvermogensspectra van [12] en [16]. Voor de overdracht is het Harmonoise rekenmodel gebruikt (zachte bodem). Figuur D1 geeft het equivalente geluidsspectrum van een windturbine van $L_W=107$ dB (80 m hoogte) op 800 m afstand. Het A-gewogen geluidsniveau bedraagt ongeveer 35 dB(A), zodat de bijbehorende Vercammencurve gebruikt mag worden. Daarbij is gekozen voor de curve voor fluctuerend geluid, vanwege het mogelijk pulserende karakter van windturbinegeluid. Voor het binnenniveau wordt 10 dB afgetrokken van het geluidsspectrum ([17] adviseert niet meer dan 10 dB af te trekken). Het spectrum van de windturbine (binnen) blijkt ongeveer 20 dB onder de Vercammencurve te liggen, waarmee hinder vrijwel uitgesloten kan worden. Uit de NSG-curve blijkt dat de hoorbaarheid gering is (slechts een kleine overschrijding bij 100 Hz).

Concluderend kan gesteld worden dat bij een richtwaarde van 40 dB of meer hinder wegens laagfrequent geluid van windturbines niet significant groter zal zijn dan de dosis-responsrelaties voorspellen. Bij plaatsing van nieuwe turbines is een aparte toetsing aan de Vercammencurve dus niet nodig, als reeds aan de (A-gewogen) richtwaarde wordt voldaan.

Ook andere onderzoekers komen tot de conclusie dat laagfrequent geluid onder de gehoordrempel ligt [18]. Volgens [19] overschrijdt het laagfrequente geluid van de Vestas V80 (2 MW) pas binnen een straal van 118 m de gehoordrempel. Op deze afstand ligt de (A-gewogen) L_{den} -waarde ruim boven de 50 dB.



Figuur D1: Toetsing aan NSG-richtlijn (hoorbaarheid) en aan Vercammencurve (hinder 3 tot 10%).

RIVM

Rijksinstituut
voor Volksgezondheid
en Milieu

Postbus 1
3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl