Onderzoek afstandsnormen windturbines

Ministerie van Economische Zaken en Klimaat

19 april 2022



Contactpersoon

ERIK KOPPEN
Senior adviseur geluid en windenergie

[redacted]

Arcadis Nederland B.V.
Postbus 264
6800 AG Arnhem
Nederland

Inhoudsopgave

Managementsamenvatting 6

Begrippenlijst 8

Samenvatting 10

1 Inleiding 20

2 Normen voor windturbines in Nederland en enkele andere Europese landen 22

2.1 Algemeen 22

2.2 Vergelijking van Nederlandse normen met die in andere landen 23

2.2.1 Afstandsnormen 23

2.2.2 Geluidnormen 26

2.2.3 Slagschaduwnormen 31

2.3 Nederland 32

2.3.1 Uitspraak Raad van State inzake milieubeoordeling voor windturbinenormen 32

2.3.2 Afstandsnorm 33

2.3.3 Geluidnorm 33

2.3.4 Slagschaduwnorm 34

2.3.5 Onderzoeken en overwegingen die aan de buiten toepassing verklaarde normen ten grondslag lagen 35

2.3.6 Kritiek op Nederlandse geluidnormen 37

2.4 België 37

2.4.1 Uitspraak Europese Hof van Justitie 37

2.4.2 Afstandsnorm 38

2.4.3 Geluidnorm 38

2.4.4 Slagschaduwnorm 40

2.4.5 Onderzoeken en overwegingen die aan de normen ten grondslag liggen 40

2.5 Denemarken 41

2.5.1 Afstandsnorm 41

2.5.2 Geluidnorm 41

2.5.3 Slagschaduwnorm 42

2.5.4 Onderzoeken en overwegingen die aan de normen ten grondslag liggen 42
2.6 Duitsland – Beieren, Nedersaksen en Noordrijn-Westfalen 43
2.6.1 Afstandsnorm 43
2.6.2 Geluidnorm 46
2.6.3 Slagschaduwnorm 46
2.6.4 Onderzoeken en overwegingen die aan de normen ten grondslag liggen 47
2.7 Frankrijk 48
2.7.1 Afstandsnorm 48
2.7.2 Geluidnorm 48
2.7.3 Slagschaduwnorm 49
2.7.4 Onderzoeken en overwegingen die aan de normen ten grondslag liggen 49
2.8 Ierland 49
2.8.1 Herziening van regelgeving voor windturbines 49
2.8.2 Afstandsnorm 49
2.8.3 Geluidnorm 49
2.8.4 Slagschaduwnorm 50
2.8.5 Onderzoeken en overwegingen die aan de normen ten grondslag liggen 51
2.9 Polen 51
2.9.1 Afstandsnorm 51
2.9.2 Geluidnorm 51
2.9.3 Slagschaduwnorm 52
2.9.4 Onderzoeken en overwegingen die aan de normen ten grondslag liggen 52
2.10 Verenigd Koninkrijk 53
2.10.1 Afstandsnorm 53
2.10.2 Geluidnorm 53
2.10.3 Slagschaduwnorm 53
2.10.4 Onderzoeken en overwegingen die aan de normen ten grondslag liggen 54

3 Geluidbelasting op verschillende afstanden tot windparken 55
3.1 Uitgangspunten en relevante factoren bepaling geluidbelasting 55
3.2 Bandbreedte in geluidbelasting op verschillende afstanden tot een windpark 59

4 Slagschaduwduur op verschillende afstanden tot windparken 63
4.1 Uitgangspunten bepaling slagschaduwduur 63
4.2 Slagschaduwduur op verschillende afstanden tot een windpark 63

5 Effecten van mogelijke afstandsnormen op het voorkomen van gezondheidsheidseffecten 67

5.1 Advies Wereldgezondheidsorganisatie 67
5.2 Actuele inzichten gezondheidseffecten windturbines 68
5.2.1 RIVM onderzoek naar gezondheidseffecten van windturbines 68
5.2.2 Afstand gerelateerde effecten 69
5.3 Percentage ernstig gehinderden vanwege geluid 70
5.3.1 Dosis-effect relatie windturbinegeluid 70
5.3.2 Bandbreedte percentage ernstig gehinderden vanwege geluid op verschillende afstanden tot een windpark 72

6 Voor- en nadelen van afstandsnormen versus normen voor geluid en slagschaduw 76

7 Conclusies 79

8 Aandachtspunten voor nieuwe milieunormen voor windturbines 81

Nawoord door Nederlandse Vereniging Omwonenden Windturbines (NLVOW) 84

Referenties 86

Bijlagen

Bijlage 1 Geluidbelasting op verschillende afstanden tot een windpark uitgaande van een specifiek type windturbine per windturbineklasse 92

Uitgangspunten berekeningen 92

Bandbreedte in geluidbelasting op verschillende afstanden tot een windpark uitgaande van een specifiek type windturbine per windturbineklasse 92

Bijlage 2 Percentage ernstig gehinderden door geluid uitgaande van windparken met een specifiek type windturbine per windturbineklasse 95

Bandbreedte percentage ernstig gehinderden op verschillende afstanden tot een windpark uitgaande van specifieke typen windturbines 95

Bandbreedte percentage ernstig gehinderden vanwege geluid volgens Michaud et al. op verschillende afstanden tot een windpark 97

Colofon 100

Managementsamenvatting

In opdracht van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat is onderzoek verricht om gedeeltelijk invulling te geven aan de op 22 juni 2021 aangenomen motie Erkens/Leijten en aan het in het coalitieakkoord 2021-2025 opgenomen voornemen om heldere afstandsnormen voor de bouw van windmolens vast te stellen. Het doel van het onderzoek is om op basis van bestaande inzichten in beeld te brengen wat de effecten van verschillende afstandsnormen op de hinder voor omwonenden zijn en wat de voor- en nadelen van een afstandsnorm zijn ten opzichte van specifieke normen voor geluid- en slagschaduw. Naast dit onderzoek loopt een verkenning door het RIVM van de mogelijkheden voor een praktijkonderzoek dat de wetenschappelijke inzichten over de gezondheidseffecten van windturbines in Nederland met nieuwe empirische gegevens kan aanvullen. Ook wordt naar aanleiding van de uitspraak van de Raad van State inzake Windpark Delfzijl Zuid momenteel een plan-m.e.r. voor milieunormen voor windturbines uitgevoerd. Het planMER biedt de basis voor de besluitvorming over mogelijke nieuwe landelijke normen.

Er is literatuuronderzoek verricht naar de voorheen geldende normen voor windturbineparken in Nederland, hoe deze tot stand zijn gekomen en welke overwegingen hieraan ten grondslag liggen. Dit onderzoek is ook verricht voor zeven andere Europese landen. Hierbij is gekozen voor de buurlanden België, Duitsland en (gescheiden door de Noordzee) Denemarken en het Verenigd Koninkrijk. Aanvullend zijn ook Ierland en Polen beschouwd. Ierland omdat hier een ontwerp voor de herziening van de regelgeving voor windturbines is gepubliceerd. Polen omdat hier in de publieke discussie vaak aan wordt gerefereerd. Op verzoek van de bij het onderzoek betrokken klankbordgroep is ook Frankrijk in het onderzoek meegenomen. Het onderzoek heeft zich toegespitst op afstandsnormen en normen voor geluid en slagschaduw, omdat die bepalend zijn voor hinder. Vervolgens is door berekeningen de geluidbelasting en de slagschaduwduur op verschillende afstanden tot twee fictieve windparken in beeld gebracht. Ook is ingegaan op wat mogelijke afstandsnormen betekenen voor het percentage ernstig gehinderden. Op basis van de onderzoeksresultaten zijn de voor- en nadelen van een afstandsnorm versus belastingnormen voor geluid en slagschaduw in beeld gebracht.

Van de acht onderzochte landen hebben Nederland, het Vlaamse Gewest van België en het Verenigd Koninkrijk geen landelijke afstandsnorm. Er is geen enkel land dat de hinder van windturbines alleen door middel van een afstandsnorm reguleert, ofschoon het in Polen en de Duitse deelstaat Beieren door de ruime afstandsnorm van 10 x tiphoogte hier effectief wel op neerkomt. In de overige beschouwde landen varieert de afstandsnorm van 300 meter tot 1.100 meter en van 2 x de tiphoogte tot 4 x de tiphoogte. Daar waar de reden voor deze afstandsnormen kon worden achterhaald zijn – afgezien van Polen[1] - deze vooral ingesteld om de visuele impact van de windturbines te beperken. Dit is ook de onderliggende reden waarom in de onderzochte landen een afstandsnorm altijd met een geluidnorm en meestal met een slagschaduwnorm wordt gecombineerd. De kortste afstanden lijken vooral ingesteld om de visuele impact van de windturbines als object te beperken, met name om visueel beklemmende effecten door de windturbines te voorkomen. In de Duitse deelstaat Nedersaksen wordt hiervoor op basis van jurisprudentie een vuistregel van 2 x de tiphoogte gehanteerd. Hier wordt voor afstanden van minder dan 3 x de tiphoogte altijd onderzoek naar de specifieke situatie nodig geacht om vast te stellen of visueel beklemmende effecten kunnen optreden. De ruimere afstandsnormen lijken ook rekening te houden met andere visuele effecten. Zo hanteert Denemarken een afstandsnorm van 4 x de tiphoogte om de visuele hinder door onder andere lichtschitteringen, slagschaduw en obstakelverlichting te beperken. In Nederland worden de effecten van lichtschittering en slagschaduw met technische maatregelen gemitigeerd. Ook wordt er gewerkt aan een alternatieve oplossing voor de nachtelijke obstakelverlichting.

Een vergelijking van de geluidnormen voor windturbines laat zien dat een uniforme benadering ver te zoeken is. Zo worden er verschillende geluidparameters gebruikt voor de beoordeling van het windturbinegeluid, verschillen de grenswaarden en verschilt het beschermingsniveau voor woonwijken versus woningen in landelijk gebied. Ook gelden er in bepaalde landen vaste grenswaarden en zijn in andere landen de grenswaarden afhankelijk van de bestemming van het gebied of het heersende achtergrondniveau van het omgevingsgeluid. Ook zijn er verschillen in berekeningsmethoden, waardoor ook al zouden de grenswaarden gelijk zijn, de impact van de normen anders kan zijn. De geluidnormen en de impact hiervan zijn daarom lastig te vergelijken. Nederland hanteert voor windturbinegeluid de jaargemiddelde beoordelingsmaten L_{den} en L_{night}. In Europa hanteert alleen Noorwegen ook de parameter L_{den} voor windturbinegeluid. Andere Europese landen gebruiken voor de beoordeling van windturbinegeluid

[1] In Polen is de afstandsnorm gebaseerd op een opinieartikel dat beschrijft dat bij een brand in een windturbine na een blikseminslag tijdens een hevige storm sommige brandende fragmenten zich tot ongeveer op deze afstand zouden kunnen verspreiden.

het equivalente geluidniveau L_{Aeq}, een op het equivalente geluidniveau gebaseerde parameter of een statistische parameter. Voor de acht onderzochte landen varieert de grenswaarde voor het equivalente geluidniveau bij maximale geluidproductie van de windturbines, deels omgerekend vanuit andere geluidparameters, in de nachtperiode van 35 dB(A) t/m 45 dB(A). Meestal ligt de grenswaarde voor het equivalente geluidniveau in de bandbreedte van 39 dB(A) t/m 45 dB(A). De Nederlandse grenswaarden[2] komen meestal overeen met een equivalent geluidniveau van 43 dB(A) t/m 45 dB(A) bij maximale geluidproductie van de windturbines. Hiermee bevinden deze grenswaarden zich aan de bovenkant van voornoemde bandbreedte. In de meeste landen wordt windturbinegeluid met speciale hoorbare karakteristieken zoals tonaal geluid strenger beoordeeld dan in Nederland.

Een vergelijking van de normen voor slagschaduw laat zien dat de meeste landen voor de beoordeling van slagschaduw aansluiting hebben gezocht bij een op wetenschappelijk onderzoek gebaseerde Duitse richtlijn. Deze richtlijn stelt een grenswaarde van 30 uur per jaar en 30 minuten per dag voor de astronomisch maximaal mogelijke schaduwduur (worst-case scenario). In het geval dat een automatische stilstandsvoorziening wordt gebruikt, moet de werkelijke slagschaduwduur worden beperkt tot 8 uur per jaar. Nederland heeft de meest afwijkende norm voor slagschaduw[2]. De grenswaarde van gemiddeld niet meer dan 17 dagen per jaar gedurende meer dan 20 minuten slagschaduw per dag wordt meestal vereenvoudigd toegepast in de vorm van een grenswaarde van 5 à 6 uur slagschaduw per jaar. Bij de vereenvoudigde toepassing zou Nederland de strengste slagschaduwnorm van de onderzochte landen hebben, maar de norm biedt meer ruimte waardoor Nederland feitelijk de meest soepele slagschaduwnorm van de onderzochte landen heeft.

Berekeningen laten zien dat de geluidbelasting en slagschaduwduur als functie van de afstand tot een windpark afneemt. Door de vele factoren die een rol spelen is er echter een zeer grote spreiding in de geluid- of slagschaduwbelasting die op een specifieke afstand optreedt. De belasting is namelijk niet alleen afhankelijk van de afstand, maar ook van factoren zoals de omvang en de lay-out van het windpark, het precieze type windturbine, de ashoogte, de oriëntatie tot het windpark en voor geluid het windklimaat, het geluidspectrum en het type omgeving. Voor slagschaduw wordt in Nederland in de praktijk vrijwel altijd een mitigerende maatregel in de vorm van automatische stilstandsvoorziening toegepast waarmee de slagschaduwduur sterk wordt beperkt. Hierdoor is in de praktijk niet de afstand tot een windpark bepalend voor de hinder die vanwege slagschaduw wordt ondervonden, maar de gekozen uitgangspunten voor de stilstandsregeling. Door de spreiding in de geluidbelasting die op een bepaalde afstand optreedt, treedt er ook een grote spreiding op in het percentage ernstig gehinderden als functie van de afstand tot een windpark.

Een afstandsnorm heeft voor- en nadelen ten opzichte van specifieke normen voor geluid en slagschaduw. De belangrijkste voordelen zijn dat het makkelijk communiceerbaar, heel transparant en nauwkeurig handhaafbaar is. Ook is het een goede maat om visuele impact te reguleren. Belangrijke nadelen van alleen een afstandsnorm zijn dat er op een vaste afstand een grote spreiding is in het beschermingsniveau. Relatief lawaaiige turbines kunnen op dezelfde afstand van woningen komen als relatief stille turbines. Er wordt geen rekening gehouden met het gezamenlijke effect van meerdere turbines of windparken in de buurt en er is geen mogelijkheid tot maatwerk bijvoorbeeld in geval van tonale geluiden. Er is ook geen reden meer om een automatische stilstandsvoorziening toe te passen, wat tot meer slagschaduweffecten dan in de huidige praktijk kan leiden.

Vijf van de acht onderzochte landen hanteren (deels) een afstandsnorm en een zesde land is voornemens om een afstandsnorm in te voeren. Er is geen enkel land dat de hinder van windturbines alleen door middel van een afstandsnorm reguleert. Alle onderzochte Europese landen hanteren voor windturbines een geluidnorm. Naast Nederland hanteren vijf andere onderzochte landen een slagschaduwnorm. De effecten op de leefomgeving zijn vooral afhankelijk van het gekozen beschermingsniveau en niet zozeer van de wijze waarop dit beschermingsniveau wordt geregeld. In het coalitieakkoord 2021-2025 is uitgesproken dat er heldere afstandsnormen voor de bouw van windmolens op land komen. Zoals hiervoor beschreven biedt een afstandsnorm een aantal voordelen. Het hanteren van alleen een afstandsnorm kent echter ook belangrijke nadelen. Deze nadelen kunnen worden voorkomen door net als andere landen naast een afstandsnorm ook specifieke geluid- en slagschaduwnormen te hanteren. De afstandsnorm kan dan net als in andere Europese landen vooral worden gericht op het beperken van de visuele impact van windturbines en een basisbescherming voor geluid en slagschaduw bieden. De specifieke bescherming voor geluid en slagschaduw kan dan met geluid- en slagschaduwnormen worden geregeld.

[2] Sinds de uitspraak van de Raad van State inzake het Windpark Delfzijl Zuid moeten de normen in het Activiteitenbesluit voor windparken buiten beschouwing worden gelaten en geldt er feitelijk dus geen landelijk geldende grenswaarde meer voor het geluid en de slagschaduw van windparken.

Begrippenlijst

A-gewogen	Gecorrigeerd voor de gemiddelde gevoeligheid van het menselijke gehoor
Amplitudemodulatie	Ritmische variaties in het geluidniveau van een windturbine met de frequentie waarmee een rotorblad een bepaald punt passeert
Astronomisch maximaal mogelijke slagschaduw	De maximale slagschaduw die theoretisch kan optreden, uitgaande van altijd aanwezige zonneschijn gedurende daglichturen, windturbines die altijd in bedrijf zijn en rotorbladen die altijd loodrecht op de lijn van de zon naar de ontvanger staan
Dosis-effectrelatie geluidhinder	De relatie tussen de geluidbelasting en de hinder die hierdoor ervaren wordt
Effectieve slagschaduw	De slagschaduw die effectief optreedt, dus de werkelijk optredende slagschaduw.
Emissieterm L_E	Het jaargemiddelde geluidvermogen dat door een windturbine wordt uitgestraald uitgedrukt in dB(A)
Equivalent geluidniveau L_{Aeq}	A-gewogen energetisch (d.w.z. logaritmisch) gemiddelde waarde van de gedurende een bepaalde periode optredende fluctuerende geluidniveaus uitgedrukt in dB(A)
Impulsachtig geluid	Een geluid dat bestaat uit geluidsstoten, die minder dan 1 seconde duren
L_{Aeq}	Equivalent geluidniveau. De A-gewogen energetisch (d.w.z. logaritmisch) gemiddelde waarde van de gedurende een bepaalde periode optredende fluctuerende geluidniveaus uitgedrukt in dB(A)
$L_{Aeq\ max}$	Het A-gewogen equivalente geluidniveau dat optreedt als de windturbines maximaal geluid produceren
L_{A50}	A-gewogen geluidniveau dat 50% van de tijd wordt overschreden
$L_{A\ rated,\ 10min}$	Het geluidniveau gemeten als het A-gewogen $L_{90,10\ min}$ niveau buiten bij geluidgevoelige locaties plus eventuele toeslagen voor speciale hoorbare karakteristieken van het windturbinegeluid, zoals tonaal geluid en amplitudemodulatie met een modulatiediepte van 3 dB of meer
L_{den}	Gewogen jaargemiddelde van het A-gewogen equivalente geluidniveau L_{Aeq} met een toeslag van 5 dB op het niveau in de avondperiode en 10 dB in de nachtperiode, zoals gedefinieerd in de Europese richtlijn 2002/49/EG en uitgedrukt in dB
Laagfrequent geluid	Het geluidniveau in het frequentiegebied van circa 10/20 Hz tot 125/160 Hz.
L_{night}	Het A-gewogen equivalente geluidniveau L_{Aeq} gemiddeld over alle nachtperioden in een jaar, zoals gedefinieerd in de Europese richtlijn 2002/49/EG en uitgedrukt in dB
L_r (Denemarken)	Het beoordelingsniveau L_r (rating level) betreft het A-gewogen equivalente geluidniveau L_{Aeq} plus een eventuele toeslag voor duidelijke hoorbare tonen
L_r (Duitsland)	Het beoordelingsniveau L_r (rating level) betreft het A-gewogen equivalente geluidniveau L_{Aeq} gecorrigeerd voor de gemiddelde meteocondities, voor tijden van de dag met een verhoogde gevoeligheid en met een eventuele toeslag voor tonaal of impulsachtig geluid
$L_{90,10\ min.}$	Geluidniveau (meestal A-gewogen) dat in een tijdsinterval van 10 minuten meer dan 90% van de tijd wordt overschreden
L_{WA}	Het A-gewogen geluidbronvermogen, ook wel aangeduid als geluidvermogen of bronvermogen, dat door een windturbine wordt uitgestraald uitgedrukt in dB(A). Het bronvermogen van een windturbine is geen vaste waarde, maar afhankelijk van de windsnelheid. Het hoogst voorkomende bronvermogen per turbine wordt aangeduid als $L_{WA\ max}$.
$L_{WA\ max}$	De maximale waarde van het geluidbronvermogen L_{WA}, dat wil zeggen de maximale geluidproductie van een windturbine
Modulatiediepte	Het verschil tussen het laagste en hoogste geluidniveau dat bij amplitudemodulatie optreedt
Nominaal vermogen	Het vermogen dat gedurende langere tijd maximaal opgewekt kan worden, Het nominale vermogen wordt ook wel aangeduid als het geïnstalleerde vermogen of het maximale vermogen.

PlanMER	Milieueffectrapport voor de beoordeling van de gevolgen voor het milieu van bepaalde plannen en programma's zoals beschreven in de Europese richtlijn 2001/42/EG
Plan-m.e.r.	De procedure voor het opstellen van een PlanMER
Tonaal geluid	Geluid dat ter plaatse van een gevoelig object een duidelijk hoorbaar tonaal karakter heeft
Verwachte slagschaduw	De astronomisch maximaal mogelijk slagschaduw gecorrigeerd voor het statistisch verwachte aantal uren zonneschijn en het statistisch verwachte aantal productie uren per windrichtingsector

Samenvatting

Aanleiding en doel van het onderzoek

In opdracht van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat is onderzoek verricht naar normen voor windturbines en de blootstelling en hinder gerelateerd aan mogelijke afstandsnormen. Dit onderzoek is verricht om mede invulling te geven aan de op 22 juni 2021 aangenomen motie Erkens/Leijten met het verzoek op korte termijn een onafhankelijk onderzoek te laten uitvoeren naar de effecten van verschillende afstandsnormen op de gezondheid en leefkwaliteit van omwonenden en aan het in het coalitieakkoord 2021-2025 opgenomen voornemen om heldere afstandsnormen voor de bouw van windmolens vast te stellen.

Het doel van het onderzoek is om op basis van bestaande inzichten in beeld te brengen wat de effecten van verschillende afstandsnormen op de hinder voor omwonenden zijn en wat de voor- en nadelen van een afstandsnorm zijn ten opzichte van specifieke normen voor geluid- en slagschaduw. Er zijn geen nieuwe medische/ gezondheidskundige inzichten verworven. Dit zou namelijk meerjarig praktijkonderzoek vergen en dus niet - zoals in de motie verzocht - op korte termijn tot resultaten leiden. Momenteel loopt echter ook een verkenning door het RIVM van de mogelijkheden voor een praktijkonderzoek dat de wetenschappelijke inzichten over de gezondheidseffecten van windturbines in Nederland met nieuwe empirische gegevens kan aanvullen. Ook wordt naar aanleiding van de uitspraak van de Raad van State inzake Windpark Delfzijl Zuid nu momenteel een plan-m.e.r. voor milieunormen voor windturbines uitgevoerd. De kennis die met het voorliggende onderzoek is opgedaan zal in het planMER worden meegenomen. Het planMER biedt de basis voor de besluitvorming over mogelijke nieuwe landelijke normen.

Als eerste stap is bekeken hoe de voorheen geldende normen voor windturbineparken in Nederland tot stand zijn gekomen en welke overwegingen hieraan ten grondslag lagen. Aanvullend is onderzoek verricht naar normen voor windturbines in zeven andere Europese landen, hoe deze tot stand zijn gekomen en welke overwegingen hieraan ten grondslag liggen. Hierbij is gekozen voor de buurlanden België, Duitsland en (gescheiden door de Noordzee) Denemarken en het Verenigd Koninkrijk. Aanvullend zijn ook Ierland en Polen beschouwd. Ierland omdat hier een ontwerp voor de herziening van de regelgeving voor windturbines is gepubliceerd. Polen omdat hier in de publieke discussie vaak aan wordt gerefereerd. Op verzoek van de bij het onderzoek betrokken klankbordgroep is ook Frankrijk in het onderzoek meegenomen. Er is gekeken naar afstandsnormen, geluidnormen en slagschaduwnormen. Vervolgens is de geluidbelasting en de slagschaduwduur op verschillende afstanden tot een windpark in beeld gebracht. Ook is ingegaan op de actuele inzichten inzake de effecten van windturbines op de gezondheid. Met name in hoeverre de effecten zijn te relateren aan de afstand tot de windturbines en wat mogelijke afstandsnormen betekenen voor het percentage ernstig gehinderden. Op basis van de onderzoeksresultaten zijn de voor- en nadelen van een afstandsnorm versus normen voor geluid en slagschaduw in beeld gebracht.

Richtlijnen en doelstellingen Europese Unie

In 2001 is de Europese Richtlijn voor Strategische Milieubeoordeling vastgesteld. De Afdeling bestuursrechtspraak van de Raad van State heeft op 30 juni 2021 geoordeeld dat op grond van deze Europese richtlijn een planmilieueffectrapport had moeten worden gemaakt voor de landelijke milieuregels voor windparken. De Richtlijn bevat procedurele bepalingen en heeft als doel om voorafgaand aan het vaststellen van een plan of programma de hiervan te verwachten milieueffecten in beeld te brengen zodat het milieu een volwaardige plek in de besluitvorming krijgt. De Richtlijn heeft ten doel te voorzien in een hoog milieubeschermingsniveau. De Richtlijn bevat echter geen normen waaraan getoetst moet worden, noch bevat de Richtlijn algemene voorschriften ter verbetering van het milieu.

In 2002 is de Europese Richtlijn Omgevingslawaai vastgesteld. Deze richt zich op de evaluatie en de beheersing van omgevingslawaai. In het kader van het beleid van de Europese Gemeenschap dient een hoog niveau van bescherming van de gezondheid en het milieu te worden bereikt en één van de na te streven doelstellingen is de bescherming tegen geluidhinder. De Richtlijn Omgevingslawaai is van toepassing op vervoersmiddelen, wegverkeer, spoorwegverkeer, luchtverkeer en locaties van industriële activiteiten als beschreven in bijlage I van de Europese Richtlijn 96/61/EG. Hierin worden windturbines en windparken niet genoemd. Dit betekent dat de Richtlijn Omgevingslawaai niet op windturbines en windparken van toepassing is. Er geldt voor windturbines vanuit Europa dan ook geen verplichting om geharmoniseerde geluidbelastingindicatoren en beoordelingsmethoden te gebruiken. Ook is er geen gemeenschappelijke doelstelling om windturbinegeluid in beeld te brengen en om de milieueffecten te beperken. Uit de navolgende tekst blijkt dat een uniforme regelgeving voor windturbines binnen Europa ver te zoeken is.

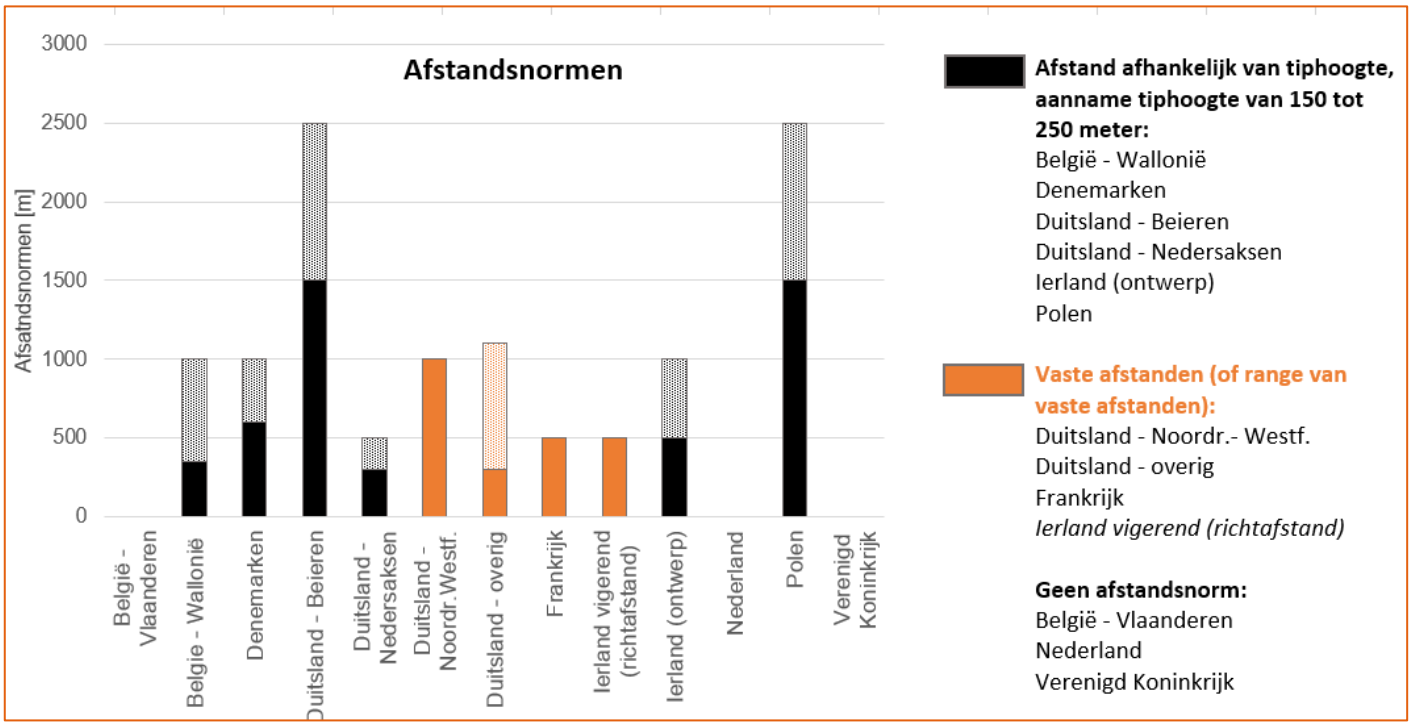
Landen vergelijken: afstandsnormen

De afstandsnormen voor windturbines zijn voor de onderzochte landen samengevat in Afbeelding 1. Van de acht onderzochte landen hebben Nederland en het Verenigd Koninkrijk geen landelijke afstandsnorm. Het Vlaamse Gewest van België kent in principe ook geen afstandsnorm. Alleen als op basis van het heersende achtergrondniveau voor de windturbines een geluidniveau van boven de richtwaarde wordt toegestaan, geldt er een minimumafstand van 3 x de rotordiameter. Ierland kent geen afstandsnorm, maar hanteert wel een richtafstand van 500 meter. Ierland is voornemens om dit te wijzigen. In het ontwerp voor de nieuwe regelgeving wordt voor het beperken van de visuele impact uitgegaan van een minimumafstand van 4 x de tiphoogte met een minimum van 500 meter.

Polen en de Duitse deelstaat Beieren hanteren de ruimste afstandsnormen, namelijk 10 x de tiphoogte. In Polen is deze afstandsnorm gebaseerd op een opinieartikel dat beschrijft dat bij een brand in een windturbine na een blikseminslag tijdens een hevige storm, sommige brandende fragmenten zich tot ongeveer op deze afstand zouden kunnen verspreiden. In de onderbouwing van de Poolse wet is aangegeven dat ook het visuele aspect bij de afstandsnorm van belang is en dat de beschikbare informatie over geluid, infrageluid, elektromagnetische straling, trillingen, slagschaduw en lichtschitteringen is geanalyseerd. De afstandsnorm in Beieren is ingesteld om de natuur en het imago van het platteland te beschermen en om visueel overweldigende effecten te voorkomen.

In de overige beschouwde landen varieert de afstandsnorm van 300 meter tot 1.100 meter en van 2 x de tiphoogte tot 4 x de tiphoogte. In die gevallen waar kon worden achterhaald waarom er afstandsnormen zijn vastgesteld, zijn deze vooral ingesteld om de visuele impact van de windturbines te beperken. Dit is ook de onderliggende reden waarom in de onderzochte landen een afstandsnorm altijd met een geluidnorm en meestal met een slagschaduwnorm wordt gecombineerd. De kortste afstanden lijken vooral ingesteld om de visuele impact van de windturbines als object te beperken, met name om visueel beklemmende effecten door de windturbines te voorkomen. In de Duitse deelstaat Nedersaksen wordt hiervoor op basis van jurisprudentie een vuistregel van 2 x de tiphoogte gehanteerd. Hier wordt voor afstanden van minder dan 3 x de tiphoogte altijd onderzoek naar de specifieke situatie nodig geacht om vast te stellen of visueel beklemmende effecten kunnen optreden.

De ruimere afstandsnormen lijken ook rekening te houden met andere visuele effecten. De afstandsnorm van 1.000 meter in de Duitse deelstaat Noordrijn-Westfalen is ingesteld voor de bescherming van natuur en landschap en voor visueel overweldigende effecten, maar geldt niet voor individuele woningen en gefragmenteerde woongebieden. Denemarken hanteert een afstandsnorm van 4 x de tiphoogte om de visuele hinder door onder andere lichtschitteringen, slagschaduw en obstakelverlichting te beperken. In Nederland worden de effecten van lichtschittering en slagschaduw met technische maatregelen gemitigeerd. Ook wordt er gewerkt aan een alternatieve oplossing voor de nachtelijke obstakelverlichting.



Afbeelding 1. Overzicht van afstandsnormen voor windturbines. De bandbreedtes voor de zwarte balken – de gearceerde delen - komen door de afhankelijkheid van de tiphoogte, waarbij in de afbeelding de bandbreedte is weergegeven voor een tiphoogte van 150 tot 250 meter. De bandbreedte voor de oranje balk voor de overige deelstaten in Duitsland – het gearceerde deel - komt door de verschillen in afstandsnorm tussen de verschillende deelstaten. In Vlaanderen geldt geen afstandsnorm, tenzij op basis van heersende achtergrondniveau en geluidniveau van boven de richtwaarde wordt toegestaan. Dan geldt een minimumafstand van 3 x rotordiameter.

Landen vergelijken: geluidnormen

Een vergelijking van de geluidnormen laat zien dat een uniforme benadering ver te zoeken is. Er zijn veel meer verschillen dan overeenkomsten tussen de normen. Zo worden er verschillende geluidparameters gebruikt voor de beoordeling van het windturbinegeluid, verschillen de grenswaarden, verschilt het beschermingsniveau voor woonwijken versus woningen in landelijke gebied, gelden er in bepaalde landen vaste grenswaarden en zijn in andere landen de grenswaarden afhankelijk van de bestemming van het gebied of het heersende achtergrondniveau van het omgevingsgeluid. Ook zijn er verschillen in berekeningsmethoden, waardoor ook al zouden de grenswaarden gelijk zijn de impact van de normen anders kan zijn. De geluidnormen en de impact hiervan zijn dus lastig te vergelijken.

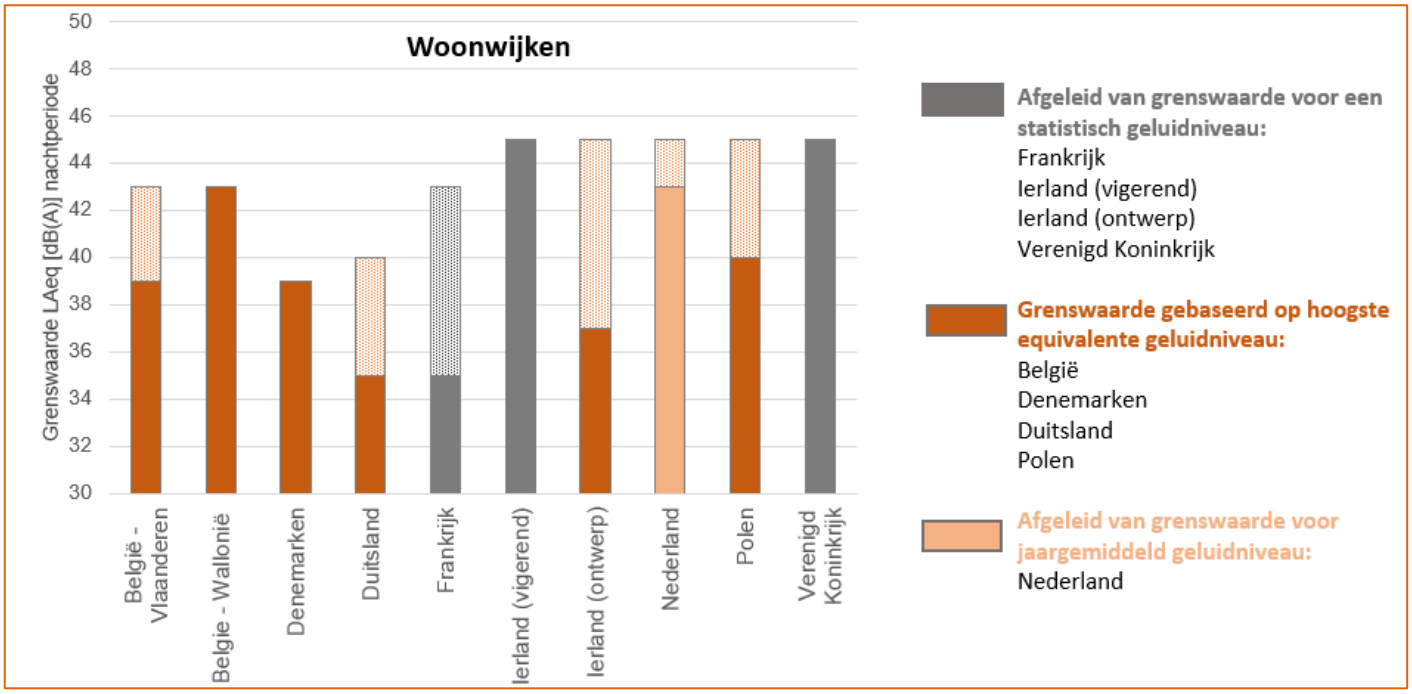
De Nederlandse overheid heeft voor de beoordeling van windturbinegeluid in 2010 gekozen voor het gebruik van L_{den} en L_{night} conform de definitie in de Europese Richtlijn Omgevingslawaai. Dit is echter geen verplichting, want de Richtlijn is niet op windturbines van toepassing. Deze jaargemiddelde beoordelingsmaten blijken voor windturbinegeluid in Europa weinig navolging te hebben gekregen. Geen van de andere zeven onderzochte landen blijkt voor windturbinegeluid gebruik te maken van de parameters L_{den} en/of $L_{night.}$ Deze landen gebruiken voor de beoordeling van windturbinegeluid het equivalente geluidniveau L_{Aeq}, een op het equivalente geluidniveau gebaseerde parameter of een statistische parameter. In Europa hanteert alleen Noorwegen ook de parameter L_{den}.

Vanwege de verschillende parameters en definities zijn de grenswaarden in de verschillende landen lastig te vergelijken, maar toch is er voor de nachtperiode een redelijke vergelijking te maken. De grenswaarden voor het hoogst optredende equivalente geluidniveau L_{Aeq} in de nachtperiode, deels omgerekend vanuit andere geluidparameters, zijn samengevat in Afbeelding 2. De nachtperiode is in de regel de maatgevende periode voor de beoordeling van windturbinegeluid. Voor de acht onderzochte landen varieert de grenswaarde voor het equivalente geluidniveau bij maximale geluidproductie van de windturbines, deels omgerekend vanuit andere geluidparameters, in de nachtperiode van 35 dB(A) – bij een achtergrondniveau van minder dan 32 dB(A) – tot en met 45 dB(A). Meestal ligt de grenswaarde voor het equivalente geluidniveau in de bandbreedte van 39 t/m 45 dB(A). In Frankrijk is de normstelling gerelateerd aan het achtergrondniveau van het omgevingsgeluid. Hierdoor zal deze norm in de praktijk bij

relatief lage windsnelheden veelal strenger zijn dan de Nederlandse grenswaarde, maar bij hoge windsnelheden kan deze norm juist soepeler zijn. De Nederlandse grenswaarde ligt dicht bij de grenswaarde voor de nachtperiode in het Verenigd Koninkrijk, Ierland en het Waalse Gewest van België. Ook ligt de Nederlandse grenswaarde dicht bij de Duitse, Deense en Vlaamse grenswaarde voor woningen in landelijke gebieden en de Vlaamse grenswaarde voor woonwijken binnen 500 meter van een industrieterrein. In Vlaanderen, Denemarken en Duitsland gelden voor woonwijken strengere grenswaarden dan in Nederland. In Nederland wordt sinds 2011 in de normstelling geen rekening gehouden met het type omgeving of het heersende achtergrondniveau van het omgevingsgeluid. Hier geldt voor alle gevoelige objecten in alle type omgevingen dezelfde grenswaarde[3]. Dit geldt ook voor Wallonië en in de nachtperiode ook voor het Verenigd Koninkrijk en de thans nog vigerende norm in Ierland.

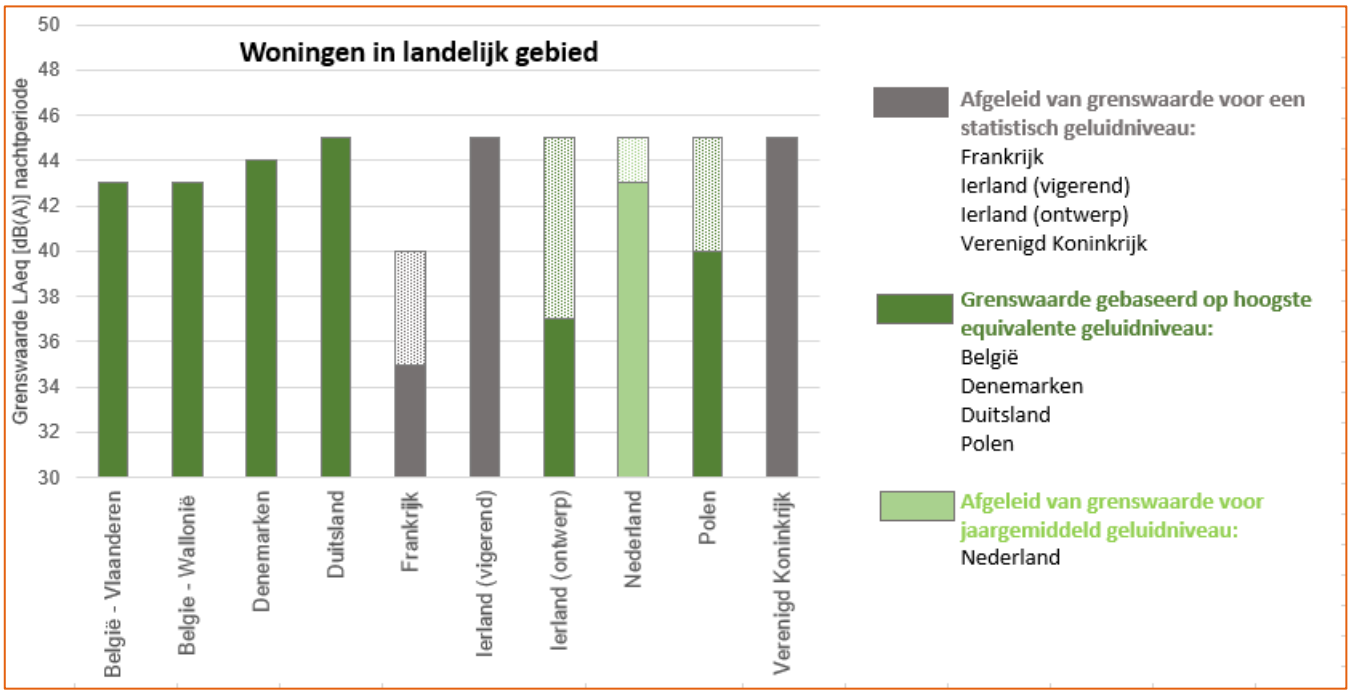
In de meeste landen wordt voor tonaal geluid van windturbines een toeslag op het geluidniveau toegepast variërend van 1 tot 6 dB afhankelijk van de sterkte van het tonale karakter. In Nederland wordt hier voor windturbinegeluid hier geen toeslag voor toegepast. Hierdoor geldt voor windturbines met speciale hoorbare karakteristieken in veel landen vaak een strengere norm dan in Nederland.

Op dit moment kent van de acht onderzochte Europese landen alleen Denemarken een specifieke norm voor laagfrequent geluid van windturbines. Blijkens het ontwerp voor de nieuwe regelgeving is Ierland echter ook voornemens om een norm voor laagfrequent geluid in te voeren.



Afbeelding 2. Overzicht van grenswaarden voor het hoogst optredende equivalente geluidniveau L_{Aeq} in de nachtperiode voor woonwijken, deels omgerekend vanuit andere geluidparameters. De bandbreedtes – de gearceerde delen - komen door de afhankelijkheid van het heersende achtergrondniveau, de bestemming van het gebied, de invloed van het lokale windklimaat e.d. Hierbij is geen rekening gehouden met eventuele toe te passen toeslagen in geval van windturbines met speciale hoorbare karakteristieken.

[3] Sinds de uitspraak van de Raad van State inzake het Windpark Delfzijl Zuid moeten de normen in het Activiteitenbesluit voor windturbineparken buiten beschouwing worden gelaten en is er dus geen landelijk geldende grenswaarde meer voor het geluid van windturbineparken.



Afbeelding 3. Overzicht van grenswaarden voor het hoogst optredende equivalente geluidniveau L_{Aeq} in de nachtperiode voor woningen in landelijk gebied, deels omgerekend vanuit andere geluidparameters. De bandbreedtes – de gearceerde delen - komen door de afhankelijkheid van het heersende achtergrondniveau, de bestemming van het gebied, de invloed van het lokale windklimaat e.d. Hierbij is geen rekening gehouden met eventuele toe te passen toeslagen in geval van windturbines met speciale hoorbare karakteristieken.

Landen vergelijken: slagschaduwnormen

Een vergelijking van de normen voor slagschaduw laat zien dat de regelgeving hiervoor uniformer is dan voor de normen voor geluid. Duitsland heeft in 2002 op basis van wetenschappelijk onderzoek een richtlijn voor het berekenen en beoordelen van slagschaduw opgesteld. De meeste landen die regelgeving of een richtlijn hebben voor de beoordeling van slagschaduw, hebben deze op de Duitse richtlijn gebaseerd.

De Duitse richtlijn stelt een grenswaarde van 30 uur per jaar en 30 minuten per dag voor de astronomisch maximaal mogelijke schaduwduur (worst-case scenario). In het geval dat een automatische stilstandsvoorziening wordt gebruikt, moet de werkelijke slagschaduwduur worden beperkt tot 8 uur per jaar. In Wallonië, Frankrijk en Ierland is aansluiting gezocht bij voornoemde grenswaarde voor de astronomisch maximaal mogelijke slagschaduw. Het is opvallend dat in deze landen de slagschaduw alleen op een relatief korte afstand hoeft te worden onderzocht en in Frankrijk alleen voor kantoorgebouwen. Blijkens het ontwerp voor de nieuwe regelgeving is Ierland voornemens om geen slagschaduw meer op gevoelige objecten toe te staan. De exploitant dient passende maatregelen te treffen om slagschaduw te voorkomen. In Vlaanderen wordt de effectieve slagschaduwduur beoordeeld, maar is met een grenswaarde van 8 uur/per jaar en 30 minuten/dag effectieve slagschaduw ook aansluiting gezocht bij de Duitse richtlijn. Wel is ervoor gekozen om voor gevoelige objecten op industrieterrein niet zijnde woningen meer slagschaduw toe te staan. In Denemarken is voor een iets soepelere norm gekozen, namelijk 10 uur/jaar effectieve slagschaduw. Het Verenigd Koninkrijk kent geen slagschaduwnorm, maar in de praktijk wordt ook hier meestal aansluiting gezocht bij de grenswaarden van de Duitse richtlijn. Polen kent ook geen slagschaduwnorm, maar gezien de ruime afstandsnorm van 10 x tiphoogte is er bij gevoelige objecten ook geen slagschaduw te verwachten.

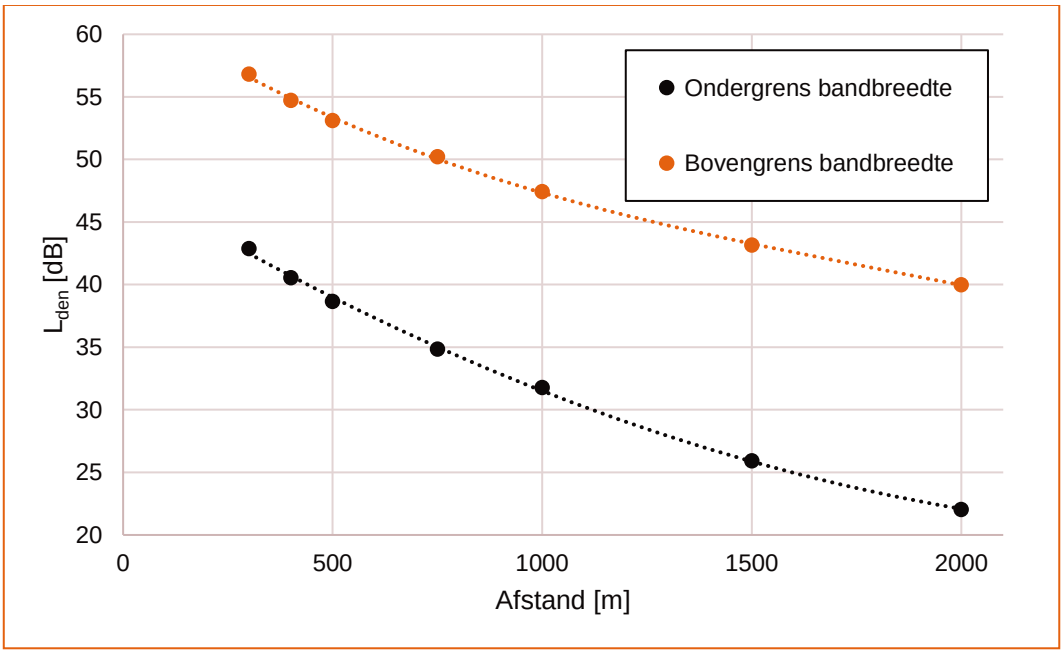
Nederland heeft de meest afwijkende norm voor slagschaduw, omdat de grenswaarde bestaat uit een combinatie van dagen per jaar en minuten per dag[4]. De grenswaarde van gemiddeld niet meer dan 17 dagen per jaar gedurende meer dan 20 minuten slagschaduw per dag wordt meestal vereenvoudigd toegepast. In de praktijk wordt veelal

[4] Noot: Sinds de uitspraak van de Raad van State inzake het Windpark Delfzijl Zuid moeten de normen in het Activiteitenbesluit voor windturbineparken buiten beschouwing worden gelaten en geldt er feitelijk dus geen landelijk geldende grenswaarde meer voor de slagschaduw van windturbineparken.

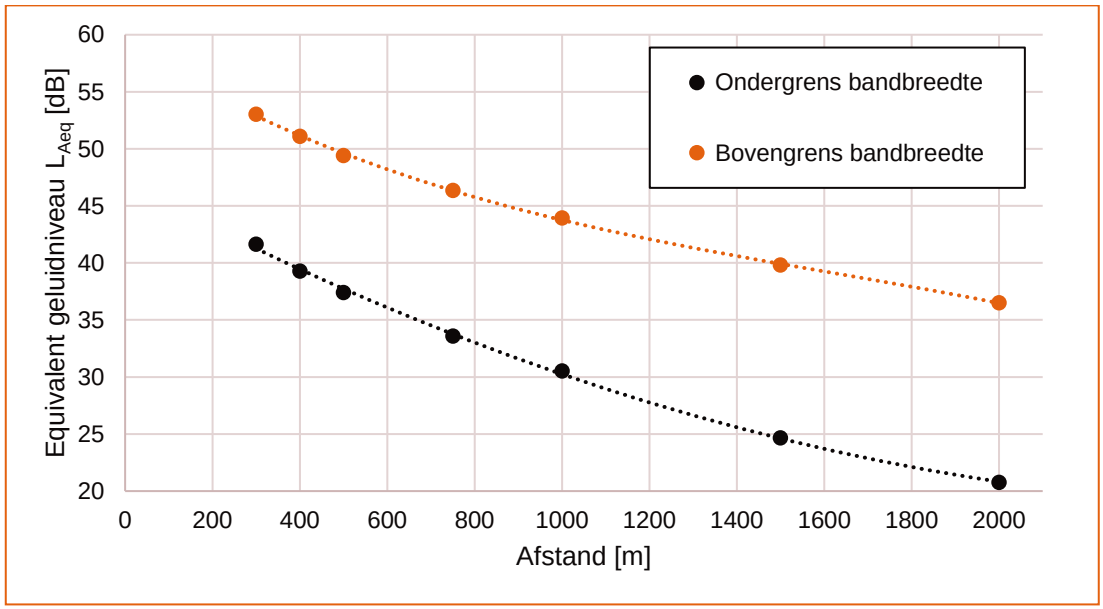
uitgegaan van een grenswaarde van 5 uur en 40 minuten (= 17 x 20 minuten, of afgerond 5 of 6 uur) slagschaduw per jaar. De Activiteitenregeling stelt echter geen limiet als er niet meer dan 17 dagen per jaar, of minder dan 20 minuten per dag, slagschaduw optreedt. Uitgaande van 17 x 20 minuten zou Nederland de strengste slagschaduwnorm van de onderzochte landen hebben, maar door de vreemde definitie van de norm zou er bij het opzoeken van de maximale ruimte die de norm biedt juist veel meer slagschaduw kunnen optreden dan er in andere landen met een grenswaarde voor slagschaduw is toegestaan.

Geluidbelasting en slagschaduwduur op verschillende afstanden tot een windpark

Op basis van berekeningen voor twee fictieve windparken – een lijnopstelling van drie windturbines en een dubbele lijnopstelling van tweemaal vijf windturbines – is de geluidbelasting en slagschaduwduur op verschillende afstanden tot een windpark in beeld gebracht. Hierbij is de bandbreedte in effecten in beeld gebracht, dat wil zeggen dat er rekening is gehouden met de bandbreedte in bronvermogens, met de verschillen in windklimaat, met de verschillen door de mate van reflectie van de bodem en met het verschil in geluidbelasting door oriëntatie ten opzichte van overheersende windrichting. In Afbeelding 4 en Afbeelding 5 is de maximale bandbreedte weergegeven voor de geluidbelasting die op een bepaalde afstand tot een windpark kan optreden. Deze afbeeldingen laten zien dat de geluidbelasting als functie van de afstand tot een windpark afneemt, maar dat door de voornoemde factoren die een rol spelen een zeer grote spreiding optreedt in het geluidniveau op een specifieke afstand. Onder bepaalde omstandigheden zou de geluidbelasting zelfs nog hoger kunnen uitvallen. Op een afstand van 10 x de ashoogte varieert de geluidbelasting van 31 tot 48 dB en op een afstand van 10 x de tiphoogte van 25 tot 43 dB. Het equivalente geluidniveau bij maximale geluidproductie van een windpark $L_{Aeq\ max}$ varieert van 32 tot 44 dB(A) op een afstand van 10 x de ashoogte en van 25 tot 39 dB(A) op een afstand van 10 x de tiphoogte.

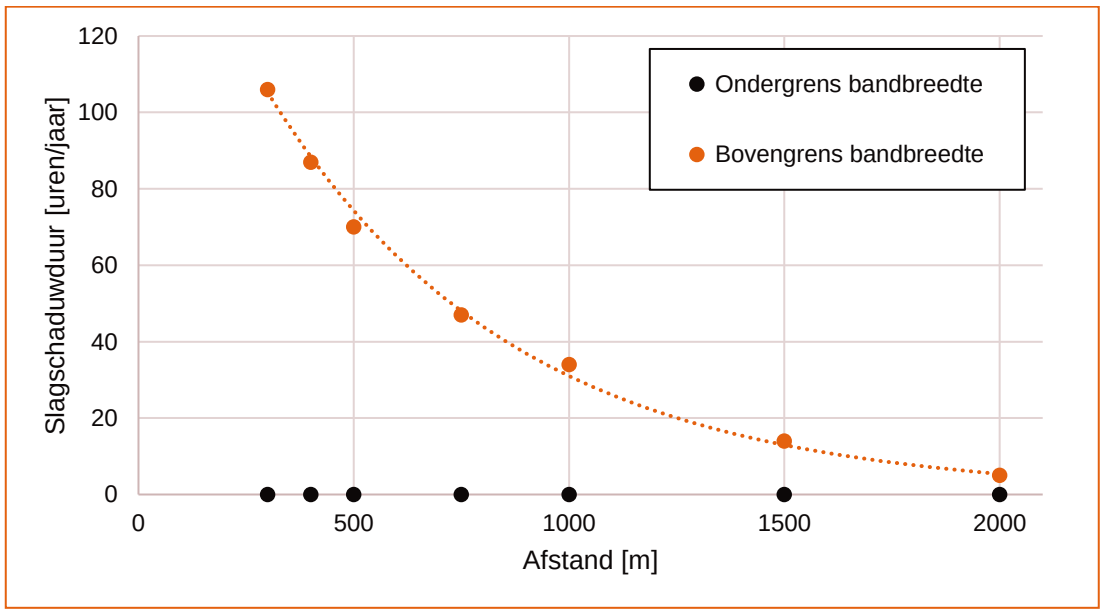


Afbeelding 4. Onder- en bovengrens van de bandbreedte van de geluidbelasting L_{den} [dB] als functie van de afstand tot een windpark



Afbeelding 5. Onder- en bovengrens van de bandbreedte van het equivalente geluidniveau bij maximale geluidproductie van de windturbine $L_{Aeq\ max}$ [dB(A)] als functie van de afstand tot een windpark

In Afbeelding 5 is de maximale bandbreedte weergegeven voor de slagschaduwduur die op een bepaalde afstand tot een windpark kan optreden. Deze afbeelding laat zien dat ook de slagschaduwduur als functie van de afstand tot een windpark afneemt, maar dat ook hier door de vele factoren die een rol spelen een zeer grote spreiding in de belasting optreedt. Onder bepaalde omstandigheden kan een nog hogere slagschaduwduur optreden. Voor slagschaduw is de specifieke oriëntatie ten opzichte van het windpark een cruciale factor. De meeste slagschaduw treedt ten zuidwesten en ten zuidoosten van een windturbine op. Dit hangt samen met de lage stand van de zon bij zonsopgang en -ondergang. Direct ten zuiden van een windturbine treedt nooit slagschaduw op, omdat in Nederland de zon nooit op het noorden staat. In de praktijk wordt er in Nederland vrijwel altijd een mitigerende maatregel in de vorm van automatische stilstandsvoorziening toegepast waarmee de slagschaduw sterk wordt beperkt. Hierdoor is in de praktijk niet de afstand tot een windpark bepalend voor de hinder die vanwege slagschaduw wordt ondervonden, maar de voor de stilstandsregeling gekozen uitgangspunten.



Afbeelding 6. Onder- en bovengrens van de bandbreedte van de slagschaduwduur in uren per jaar als functie van de afstand tot een windpark

Effecten van mogelijke afstandsnormen op het voorkomen van gezondheidseffecten

In de ‘Environmental Noise Guidelines for the European Region’ van 2018 geeft de Wereldgezondheidsorganisatie (WGO) de voorwaardelijke aanbeveling om het geluidniveau van windturbines tot beneden 45 dB L_{den} te beperken. Boven dit niveau kan windturbinegeluid nadelige gezondheidseffecten hebben. Voor het type interventie dat daarvoor moet plaatsvinden doet het WGO geen aanbeveling, omdat er geen bewijzen zijn welk type interventie het meest effectief is. De WGO geeft geen aanbeveling voor het nachtelijke blootstellingsniveau (L_{night}). De zes beschikbare internationale studies leverden geen consistente resultaten over de effecten van windturbinegeluid op slaap.

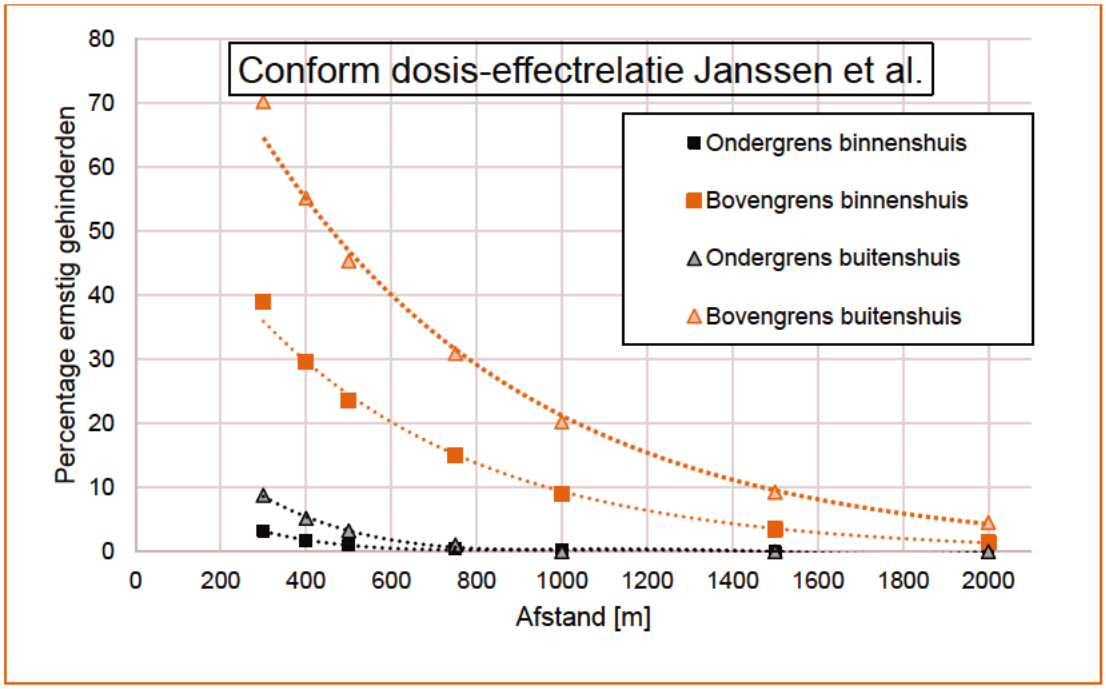
Hinder is het meest beschreven en bewezen gezondheidseffect van windturbines. Het geluid en visuele effecten zoals slagschaduw, obstakelverlichting, beweging van de rotorbladen en de verandering van het landschap en het uitzicht zijn de belangrijkste fysieke aspecten van een windturbine die tot hinder leiden. Er zijn echter vele andere niet-akoestische factoren die een belangrijke invloed hebben op de hinder die ervaren wordt. Deze zijn te onderscheiden in demografische, persoonlijke, situationele en contextuele factoren. De hinder die mensen ondervinden kan indirect tot andere gezondheidsklachten leiden. Voor een relatie met andere gezondheidseffecten zoals hart- en vaatziekten, diabetes, obesitas is onvoldoende bewijs gevonden.

De fysieke impact van een windturbine neemt als functie van de afstand af. Hierdoor is er een zekere relatie tussen de hinder en de afstand tot een windturbine. Dit is echter geen eenduidige relatie. Enerzijds omdat de fysieke impact sterk afhankelijk is van de omvang en de lay-out van het windpark, de oriëntatie ten opzichte van het windpark, het aantal windturbines, het type windturbine en de specifieke geluidproductie hiervan, de ashoogte, de rotordiameter en mitigerende maatregelen. En anderzijds omdat er tal van niet-akoestische factoren een rol spelen hoe de fysieke impact van de windturbines wordt ervaren.

In Afbeelding 7 is uitgaande van de in 2008 door Janssen et al. van TNO afgeleide dosis-effectrelatie de maximale bandbreedte weergegeven voor het percentage ernstig gehinderden vanwege windturbinegeluid als functie van de afstand tot een windpark. Hiervoor is eerst de geluidbelasting op de verschillende afstanden tot een windpark berekend, op basis hiervan is het percentage ernstig gehinderden bepaald hetgeen leidt tot het percentage ernstig gehinderden als functie van de afstand tot het windpark. Afbeelding 7 laat zien dat het percentage ernstig gehinderden als functie van de afstand tot een windpark afneemt, maar dat er door de vele factoren die een rol spelen een zeer grote spreiding optreedt in het percentage ernstig gehinderden op een specifieke afstand. Op een afstand van 10 x de ashoogte varieert het percentage ernstig gehinderden volgens Janssen et al. van 0 tot 11% binnenshuis en 0 tot 23% buitenshuis. Op een afstand van 10 x de tiphoogte varieert het percentage ernstig gehinderden van 0 tot 4% binnenshuis en 0 tot 9% buitenhuis.

Voor een afstand die gerelateerd is aan de as- of tiphoogte is het percentage ernstig gehinderden lager naarmate de windturbines groter zijn. Dit komt doordat het geen vaste afstanden zijn. Bij grotere windturbines gaat het om (veel) grotere afstanden (vanwege de grotere as- en tiphoogtes) dan voor de kleinere turbines terwijl ze niet per se meer geluid produceren.

Er is in onderstaande afbeelding geen rekening gehouden met de spreiding door het verschil in acceptatieniveau tussen verschillende gemeenschappen. Hierdoor kan voor specifieke situaties de spreiding in werkelijkheid nog groter uitvallen.



Afbeelding 7. Onder- en bovengrens van de bandbreedte van het percentage ernstig gehinderden vanwege geluid als functie van de afstand tot een windpark, conform het TNO onderzoek van Janssen et al. van 2008

Voor- en nadelen van afstandsnormen versus normen voor geluid en slagschaduw

Een afstandsnorm heeft voor- en nadelen ten opzichte van specifieke normen voor geluid en slagschaduw. De voordelen van alleen een afstandsnorm zijn:

- Het is duidelijk en eenduidig.
- Het is een eenvoudige en gemakkelijk te communiceren norm.
- Een afstandsnorm is eenvoudig, heel transparant en nauwkeurig handhaafbaar.
- Het is een goede maat om visuele impact te reguleren.
- Een as- of tiphoogte gerelateerde afstandsnorm maakt het mogelijk om rekening te houden met het feit dat grotere windturbines een grotere visuele impact hebben.
- Het biedt in zekere mate bescherming voor geluid, slagschaduw en ernstige hinder. De mate van bescherming is afhankelijk van de vast te stellen normwaarde en de spreiding van effecten die bij deze normwaarde optreden.
- Het kan bij omwonenden van in ontwikkeling zijnde windparken een deel van de zorgen wegnemen.

De nadelen van alleen een afstandsnorm zijn:

- Zoals voorgaande afbeeldingen laten zien is er bij een bepaalde afstand sprake van een grote spreiding in beschermingsniveau. Dat betekent dat een afstandsnorm niet alle omwonenden dezelfde bescherming biedt. De belasting is namelijk niet alleen afhankelijk van de afstand, maar ook van factoren zoals de omvang en de lay-out van het windpark, het precieze type windturbine, de ashoogte, de oriëntatie tot het windpark en voor geluid het windklimaat, het geluidspectrum en het type omgeving. Afhankelijk van de situatie kan een bepaalde afstandsnorm tot bovenmatige hinder leiden of juist een bovenmatige bescherming bieden. Een bovenmatige bescherming kan de mogelijkheden voor de ontwikkeling van windparken beperken.
- Relatief lawaaiige turbines kunnen op dezelfde afstand van woningen worden geplaatst als relatief stille windturbines. Er is dan geen stimulans meer om relatief stille windturbines te selecteren of om mitigerende geluidmaatregelen toe te passen.
- Het houdt geen rekening met gezamenlijke effecten van meerdere windturbines of windparken. Dit nadeel kan eventueel deels worden weggenomen door afstandsnormen afhankelijk te maken van de grootte van het windpark.
- Het biedt geen mogelijkheid tot maatwerk, bijvoorbeeld in geval van tonale geluiden.

- Een afstandsnorm houdt geen rekening met de oriëntatie tot windturbines, terwijl de slagschaduweffecten sterk van de oriëntatie tot de windturbines afhangen. De meeste slagschaduw treedt ten zuidwesten en ten zuidoosten van een windturbine op. Dit hangt samen met de lage stand van de zon bij zonsopgang en -ondergang. Direct ten zuiden van een windturbine treedt nooit slagschaduw op, omdat in Nederland de zon nooit op het noorden staat.
- Er is geen reden meer om een automatische stilstandsvoorziening toe te passen, wat tot meer slagschaduweffecten dan in de huidige praktijk kan leiden.
- Voor de regulering van de visuele impact is een as- of tiphoogte gerelateerde afstandsnorm logisch. De visuele impact neemt namelijk toe naarmate de windturbines groter worden. Dit geldt echter niet voor de regulering van het windturbinegeluid. Voor het aspect geluid beoordeelt een as- of tiphoogte gerelateerde afstandsnorm grotere windturbines namelijk strenger dan kleinere windturbines. Voor grotere windturbines leidt dit immers tot (veel) grotere afstanden terwijl ze niet per se meer geluid produceren.

Vijf van de acht onderzochte landen hanteren (deels) een afstandsnorm en een zesde land is voornemens om een afstandsnorm in te voeren. Er is geen enkel land dat de hinder van windturbines alleen door middel van een afstandsnorm reguleert, ofschoon het in Polen en de Duitse deelstaat Beieren door de ruime afstandsnorm van 10 x tiphoogte hier effectief wel op neerkomt. Alle onderzochte Europese landen hanteren voor windturbines een geluidnorm. Naast Nederland hanteren vijf andere onderzochte landen een slagschaduwnorm.

De effecten op de leefomgeving zijn vooral afhankelijk van het gekozen beschermingsniveau en niet zozeer van de wijze waarop dit beschermingsniveau wordt geregeld. In het coalitieakkoord 2021-2025 is uitgesproken dat er heldere afstandsnormen voor de bouw van windmolens op land komen. Zoals hiervoor beschreven biedt een afstandsnorm een aantal voordelen. Het hanteren van alleen een afstandsnorm voor het reguleren van de milieueffecten van windturbines kent echter ook belangrijke nadelen. Deze nadelen kunnen worden voorkomen door naast een afstandsnorm ook specifieke geluid- en slagschaduwnormen te hanteren. Ook andere Europese landen met een afstandsnorm hanteren daarnaast specifieke normen voor geluid en slagschaduw. Door de combinatie kunnen de voordelen van een afstandsnorm worden gerealiseerd terwijl de nadelen hiervan met specifieke geluid- en slagschaduwnormen kunnen worden voorkomen. De afstandsnorm kan dan net als in andere Europese landen vooral worden gericht op het beperken van de visuele impact en een basisbescherming voor geluid en slagschaduw bieden. De specifieke bescherming voor geluid en slagschaduw kan dan met geluid- en slagschaduwnormen worden geregeld.

1 Inleiding

In opdracht van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat is onderzoek verricht naar normen voor windturbines en de blootstelling en hinder gerelateerd aan mogelijke afstandsnormen. Dit onderzoek is verricht om mede invulling te geven aan de motie Erkens/Leijten [1][5] en aan het in coalitieakkoord 2021-2025 opgenomen voornemen om heldere afstandsnormen voor de bouw van windmolens vast te stellen. De op 22 juni 2021 door de Tweede Kamer aangenomen motie Erkens/Leijten luidt als volgt:

"*De Kamer, gehoord de beraadslaging, overwegende dat windmolens negatieve effecten kunnen hebben op de leefkwaliteit en gezondheid van direct omwonenden; overwegende dat het RIVM heeft aangegeven dat er aanvullend onderzoek nodig is naar de gezondheidseffecten van windmolens; overwegende dat andere landen strikte afstandsnormen hanteren voor windmolens op land; verzoekt de regering, op korte termijn een onafhankelijk onderzoek te laten uitvoeren naar de effecten van verschillende afstandsnormen op de gezondheid en leefkwaliteit van omwonenden; verzoekt de regering, de resultaten van dit onderzoek mee te nemen in het verder concretiseren van de RES'en, en gaat over tot de orde van de dag.*"

Het doel van het onderzoek is om op basis van bestaande inzichten in beeld te brengen wat de effecten van verschillende afstandsnormen op de hinder van omwonenden zijn en wat de voor- en nadelen van een afstandsnorm zijn ten opzichte van specifieke normen voor geluid- en slagschaduw. Er worden geen nieuwe medische/ gezondheidskundige inzichten verworven. Dit zou namelijk meerjarig praktijkonderzoek vergen en dus niet – zoals in de motie verzocht – op korte termijn tot resultaten leiden.

Naast het onderzoek inzake de motie Erkens/Leijten loopt ook een verkenning door het RIVM van de mogelijkheden voor een praktijkonderzoek dat de wetenschappelijke inzichten over de gezondheidseffecten van windturbines in Nederland met nieuwe empirische gegevens kan aanvullen. Het RIVM levert de verkenning met daarin een aantal opties voor onderzoek naar verwachting in het voorjaar van 2022 op, waarna de ministeries van EZK en IenW – na overleg met overige betrokkenen – een conclusie zullen trekken over het verkennende onderzoek en de Tweede Kamer hierover zullen informeren.

Ook wordt momenteel een plan-m.e.r. voor windturbineregels uitgevoerd. Het planMER wordt opgesteld naar aanleiding van de uitspraak van de Raad van State inzake Windpark Delfzijl Zuid [2]. De rechter heeft daarin geoordeeld dat de windturbineregels (normen) voor windturbineparken in het Activiteitenbesluit en de Activiteitenregeling een planmatig karakter hebben en dat daarom de milieueffecten hiervan gerapporteerd moeten worden. In de plan-m.e.r. worden de milieueffecten van verschillende varianten voor normen voor o.a. geluid, slagschaduw en externe veiligheid beoordeeld en met elkaar vergeleken. De kennis die wordt opgedaan met het onderhavige onderzoek naar aanleiding van de motie Erkens/Leijten zal in het planMER worden meegenomen. Het planMER biedt de basis voor de besluitvorming over mogelijke nieuwe landelijke normen.

Voor het voorliggende onderzoek zijn de volgende onderzoeksvragen geformuleerd:

- Hoe zijn de voorheen geldende windturbinenormen in Nederland tot stand zijn gekomen en welke overwegingen lagen hieraan ten grondslag?
- Wat zijn de windturbinenormen in andere landen, hoe zijn deze tot stand zijn gekomen en welke overwegingen liggen hieraan ten grondslag? Dit wordt onderzocht voor circa zes landen/jurisdicties.
- Wat zijn uitgaande van bureauonderzoek de effecten van verschillende afstandsnormen voor windturbines? Welke geluid- en slagschaduwbelasting wordt basis van berekeningen op een bepaalde afstand tot een windpark verwacht?
- Wat betekenen uitgaande van het TNO-rapport 'Hinder door geluid van windturbines' van 2008 verschillende afstandsnormen voor het percentage ernstig gehinderden?
- In hoeverre zijn effecten te relateren aan de afstand tot de windturbines, uitgaande van literatuuronderzoek op basis van het WHO-rapport 'Environmental Noise Guidelines for the European Region (2018)', het recente RIVM-rapport 2020-0214 'Gezondheidseffecten van windturbinegeluid' en een (beperkte) selectie andere relevante literatuur.

[5] Alle voor het onderzoek gebruikte bronnen zijn benoemd in de literatuurlijst achterin het rapport. Met de aanduiding [..] wordt telkens naar de betreffende bron in de literatuurlijst verwezen.

- Welke overwegingen zitten er achter een afstandsnorm en wat zijn in brede zin de voor- en nadelen? Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de antwoorden op voornoemde onderzoeksvragen, de brede ervaring van Arcadis rondom de problematiek van de impact op de omgeving van windturbines en op de inbreng van de bij het onderzoek betrokken klankbordgroep.

Als eerste stap is onderzoek verricht naar de manier waarop de voorheen geldende normen voor windturbineparken in Nederland tot stand zijn gekomen en welke overwegingen hieraan ten grondslag lagen. Als tweede stap is gedetailleerd literatuuronderzoek verricht naar normen voor windturbines in zeven andere Europese landen, hoe deze tot stand zijn gekomen en welke overwegingen hieraan ten grondslag liggen. Hierbij is gekeken naar afstandsnormen, geluidnormen en slagschaduwnormen. Aanvullend is op basis van eerdere studies een doorkijk gegeven naar de normering voor geluid- en slagschaduw van windturbines in andere landen binnen en buiten Europa. Dit is beschreven in hoofdstuk 2 van het voorliggende rapport. Vervolgens is de geluidbelasting en de slagschaduwduur op verschillende afstanden van windparken in beeld gebracht. Dit is beschreven in respectievelijk hoofdstuk 3 en hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 is ingegaan op de actuele inzichten inzake de effecten van windturbines op de gezondheid. Met name in hoeverre de effecten zijn te relateren aan de afstand tot de windturbines en wat mogelijke afstandsnormen betekenen voor het percentage ernstig gehinderden vanwege geluid. Op basis van de onderzoeksresultaten zijn de voor- en nadelen van een afstandsnorm versus normen voor geluid en slagschaduw in beeld gebracht. Dit is beschreven in hoofdstuk 6. De conclusies van het onderzoek zijn samengevat in hoofdstuk 7. Tot slot zijn in hoofdstuk 8 aandachtspunten gegeven voor nieuwe milieunormen voor windturbines.

Het onderzoek naar afstandsnormen is begeleid door een brede klankbordgroep. Deze omvat onder andere provincies, de vereniging voor omwonenden van windturbines (NLVOW), de branchevereniging voor wind (NWEA), het Nationaal Programma RES, maatschappelijke partijen en verschillende onafhankelijke experts in akoestiek en gezondheid. Stakeholders konden informatie aandragen en in drie klankbordsessies en schriftelijk hun feedback op verschillende versies van het rapport geven. De NLVOW heeft in haar opdracht het adviesbureau DGMR een second opinion laten uitvoeren op het eindconcept van het voorliggende rapport. Naar aanleiding hiervan is het rapport op bepaalde punten iets aangescherpt en nader onderbouwd. Het eindrapport is de verantwoordelijkheid van Arcadis.

Het Ministerie van EZK heeft de vertegenwoordigers van omwonenden uitgenodigd om in een nawoord hun visie op het voorliggende rapport en de vast te stellen afstandsnorm te geven. Het NLVOW heeft van deze mogelijkheid gebruik gemaakt. Dit nawoord is opgenomen direct na hoofdstuk 8. Dat het nawoord in het voorliggende rapport is opgenomen wil niet zeggen dat Arcadis het eens is met de inhoud van het nawoord of met de stukken op de website van de NLVOW waarnaar verwezen wordt. Het nawoord is de verantwoordelijkheid van de NLVOW.

2 Normen voor windturbines in Nederland en enkele andere Europese landen

2.1 Algemeen

In dit hoofdstuk zijn de windturbinenormen in Nederland beschreven en is ingegaan op de onderzoeken en overwegingen die hieraan ten grondslag liggen. Dit onderzoek heeft zich gericht op afstandsnormen, geluidnormen en slagschaduwnormen voor windturbines. Ook is ingegaan op de normen voor windturbines in zeven andere Europese landen, hoe deze tot stand zijn gekomen en welke overwegingen hieraan ten grondslag liggen. Hierbij is gekozen voor de buurlanden België, Duitsland en (gescheiden door de Noordzee) Denemarken en het Verenigd Koninkrijk. Voor Duitsland is hierbij specifiek ingegaan op de aan Nederland grenzende deelstaten Nedersaksen en Noordrijn-Westfalen en op de deelstaat Beieren, omdat laatstgenoemde deelstaat in de publieke discussie vaak genoemd wordt. Aanvullend is ook ingegaan op de windturbinenormen in Ierland en Polen. Er is voor Ierland gekozen, omdat Ierland in een vergevorderd proces zit voor de herziening van de normen voor windturbines. Polen is beschouwd omdat hier in de publieke discussie ook vaak aan wordt gerefereerd. Op verzoek van de bij het onderzoek betrokken klankbordgroep is ook Frankrijk in het onderzoek meegenomen. Aanvullend is op basis van eerdere studies een doorkijk gegeven naar de normering voor geluid- en slagschaduw van windturbines in andere landen binnen en buiten Europa.

Voor het begrip en de leesbaarheid is in de volgende paragraaf eerst ingegaan op de vergelijking van de Nederlandse normen[6] voor windturbines met de normen in de andere beschouwde landen. Hierbij is ook kort ingegaan op eerdere vergelijkende studies waarin nog meer landen waren betrokken, maar die een lager detailniveau kennen en deels door gewijzigde wet- en regelgeving achterhaald zouden kunnen zijn. In paragraaf 2.3 is in meer detail ingegaan op de normen in Nederland en in de paragrafen 2.4 t/m 2.10 op respectievelijk de andere zeven onderzochte landen. Voor de referenties van de gebruikte bronnen – aangeduid met [..] – wordt verwezen naar de paragrafen met de detailinformatie per land, met uitzondering van referenties die in de detailparagrafen niet gebruikt zijn.

Richtlijnen en doelstellingen Europese Unie

In 2001 is de Europese Richtlijn voor Strategische Milieubeoordeling (SMB) [18] vastgesteld. De Afdeling bestuursrechtspraak van de Raad van State heeft op 30 juni 2021 geoordeeld dat op grond van deze Europese richtlijn een planmilieueffectrapport had moeten worden gemaakt voor de landelijke milieuregels voor windparken [2]. Als reactie op voornoemde uitspraak wordt nu het planMER Windturbinebepalingen Leefomgeving opgesteld [110]. Voornoemde Richtlijn bevat procedurele bepalingen en heeft als doel om voorafgaand aan het vaststellen van een plan of programma de hiervan te verwachten milieueffecten in beeld te brengen. Hierdoor krijgt het milieu een volwaardige plek in de besluitvorming over een plan of programma. In het plan of programma moet met de uitkomsten van de plan-milieueffectrapportage, de raadpleging en de publieksparticipatie rekening worden gehouden. De Richtlijn heeft ten doel te voorzien in een hoog milieubeschermingsniveau. De Richtlijn bevat echter geen normen waaraan getoetst moet worden, noch bevat de Richtlijn algemene voorschriften ter verbetering van het milieu.

In 2002 is de Europese Richtlijn Omgevingslawaai [5] vastgesteld die zich richt op de evaluatie en de beheersing van omgevingslawaai. In het kader van het beleid van de Europese Gemeenschap dient een hoog niveau van bescherming van de gezondheid en het milieu te worden bereikt en één van de na te streven doelstellingen is de bescherming tegen geluidhinder. Om deze doelstelling te verwezenlijken werd het wenselijk geacht om tot een gemeenschappelijke visie op het probleem van geluidhinder te komen. Om tot deze gemeenschappelijke visie te komen moeten er op grond van de Richtlijn gegevens over het niveau van het omgevingslawaai worden verzameld, vergeleken en doorgegeven aan de hand van onderling vergelijkbare

[6] Op grond van de Raad van State uitspraak inzake Windpark Delfzijl Zuid moeten de Nederlandse normen voor windparken buiten toepassing worden gelaten. Dit is nader toegelicht in paragraaf 2.3.1.

criteria. Hiervoor moeten geharmoniseerde indicatoren en beoordelingsmethoden worden gehanteerd, alsmede criteria voor de opstelling van geluidbelastingkaarten. De gekozen gemeenschappelijke geluidsbelasting-indicatoren zijn L_{den} voor het bepalen van de hinder en L_{night} voor het bepalen van slaapverstoring. Ook is het nuttig geacht dat de lidstaten aanvullende indicatoren kunnen hanteren voor het toezicht op en controleren van bijzondere geluidbelastingsituaties. Voor agglomeraties, belangrijke wegen, spoorwegen en luchthavens zijn strategische geluidbelastingkaarten verplicht gesteld die de gegevens bevatten die nodig zijn om een beeld te krijgen van de optredende geluidniveaus. Ook moeten hiervoor actieplannen worden opgesteld. Het doel hiervan is om omgevingslawaai zo nodig te voorkomen en te beperken in het bijzonder daar waar hoge blootstellingsniveaus schadelijke effecten op de gezondheid van de mens kunnen hebben en de milieukwaliteit uit het oogpunt van omgevingslawaai te handhaven waar zij goed is. De Richtlijn Omgevingslawaai is van toepassing op vervoersmiddelen, wegverkeer, spoorwegverkeer, luchtverkeer en locaties van industriële activiteiten als beschreven in bijlage I van de Europese Richtlijn 96/61/EG. Hierin worden windturbines en windparken niet genoemd. Dit betekent dat de Richtlijn Omgevingslawaai niet op windturbines en windparken van toepassing is. Er geldt voor windturbines vanuit Europa dan ook geen verplichting om geharmoniseerde geluidbelastingindicatoren en beoordelingsmethoden te gebruiken. Ook is er geen gemeenschappelijke doelstelling om windturbinegeluid in beeld te brengen en om de milieueffecten te beperken. Uit de navolgende paragrafen blijkt dat een uniforme regelgeving voor windturbines binnen Europa ver te zoeken is.

Op verzoek van lidstaten in de Europese regio heeft de Wereldgezondheidsorganisatie (WGO) in 2018 de 'Environmental Noise Guidelines for the European Region' gepubliceerd [11]. Deze richtlijnen omvatten ook windturbinegeluid. Het advies van de WGO voor windturbinegeluid is beschreven in paragraaf 5.1 van het voorliggende rapport.

2.2 Vergelijking van Nederlandse normen met die in andere landen

2.2.1 Afstandsnormen

De afstandsnormen voor windturbines zijn voor de onderzochte landen samengevat in Tabel 1 en Afbeelding 8. Van de acht onderzochte landen hebben Nederland en het Verenigd Koninkrijk geen landelijke afstandsnorm. Het Vlaamse Gewest van België kent in principe ook geen afstandsnorm. Alleen indien op basis van het heersende achtergrondniveau voor de windturbines een geluidniveau van boven de richtwaarde wordt toegestaan geldt er een minimumafstand van 3 x de rotordiameter. Ierland kent geen afstandsnorm, maar hanteert wel een richtafstand van 500 meter. Ierland is voornemens om dit te wijzigen. In het ontwerp voor nieuwe regelgeving wordt voor het beperken van de visuele impact uitgegaan van een minimumafstand van 4 x de tiphoogte met een minimum van 500 meter.

Polen en de Duitse deelstaat Beieren hanteren de ruimste afstandsnormen, namelijk 10 x de tiphoogte. In Polen is deze afstandsnorm gebaseerd op een opinieartikel dat beschrijft dat bij een brand in een windturbine na een blikseminslag tijdens een hevige storm sommige brandende fragmenten zich tot ongeveer op deze afstand zouden kunnen verspreiden. In de onderbouwing van de Poolse wet is aangegeven dat ook het visuele aspect bij de afstandsnorm van belang is en dat de beschikbare informatie over geluid, infrageluid, elektromagnetische straling, trillingen, slagschaduw en lichtschitteringen is geanalyseerd. De afstandsnorm in Beieren is ingesteld om de natuur en het imago van het platteland te beschermen en om visueel overweldigende effecten te voorkomen.

In de overige beschouwde landen varieert de afstandsnorm van 300 meter tot 1.100 meter en van 2 x de tiphoogte tot 4 x de tiphoogte. In die gevallen waar kon worden achterhaald waarom er afstandsnormen zijn vastgesteld, zijn deze ingesteld om de visuele impact van de windturbines te beperken. De kortste afstanden lijken vooral ingesteld om de visuele impact van de windturbines als object te beperken, met name om visueel beklemmende effecten door de windturbines te voorkomen. In de Duitse deelstaat Nedersaksen wordt hiervoor op basis van jurisprudentie een vuistregel van 2 x de tiphoogte gehanteerd. Hier wordt voor afstanden van minder dan 3 x de tiphoogte altijd onderzoek naar de specifieke situatie nodig geacht om vast te stellen of visueel beklemmende effecten kunnen optreden.

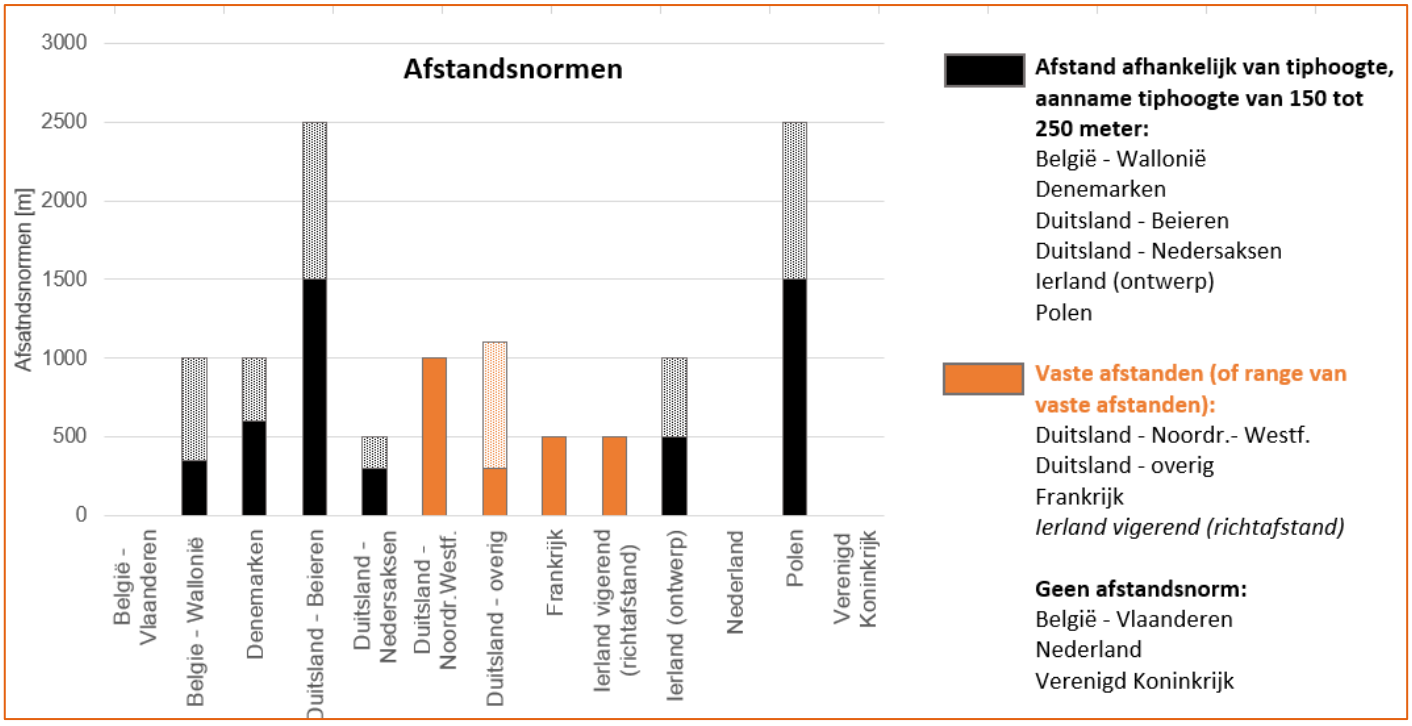
De ruimere afstandsnormen lijken ook rekening te houden met andere visuele effecten. De afstandsnorm van 1.000 meter in de Duitse deelstaat Noordrijn-Westfalen is ingesteld voor de bescherming van natuur en landschap en voor visueel overweldigende effecten, maar geldt niet voor individuele woningen en gefragmenteerde woongebieden. Denemarken hanteert een afstandsnorm van 4 x de tiphoogte om de visuele hinder door onder andere lichtschitteringen, slagschaduw en obstakelverlichting te beperken. Deze effecten zijn tegenwoordig met technische maatregelen goed te mitigeren. Door toepassing van niet-reflecterende materialen of coatinglagen zijn lichtschitteringen voor moderne windturbines nagenoeg geëlimineerd. Slagschaduw is goed te voorkomen of te beperken met een automatische stilstandsvoorziening die een windturbine stilzet op de momenten dat deze slagschaduw op gevoelige objecten kan veroorzaken. De obstakelverlichting op de windturbines is op dit moment in Nederland nog verplicht, maar er wordt gewerkt aan een alternatieve oplossing in de vorm van een naderingsdetectiesysteem. Dit wordt in Duitsland al toegepast. In Nederland loopt een pilotproject bij Windpark Fryslân en is recent een pilotproject bij Windpark Krammer succesvol afgerond [3]. Door toepassing van een radar- of transpondersysteem wordt het gesignaleerd als er een vliegtuig in de buurt van het windpark is. De obstakelverlichting wordt dan 's nachts alleen ingeschakeld als er daadwerkelijk een vliegtuig in de buurt is. Hiermee wordt de visuele impact van de obstakelverlichting sterk gereduceerd.

Tabel 1. Samenvatting van afstandsnormen in de onderzochte landen

Land	Afstand tot gevoelige objecten [m]	Reden/motivatie afstandsnorm
België – Vlaanderen	Geen afstandsnorm, tenzij op basis van heersende achtergrondniveau een geluidniveau van boven de richtwaarde wordt toegestaan. Dan geldt een minimumafstand van 3 x rotordiameter.	Niet bekend.
België – Wallonië	Aanbeveling voor een minimumafstand: • Vermogen: 100 kw – 1 MW: 350 m • Vermogen >1 MW: 4 x tiphoogte Afstand tot individuele woningen bij beperking van visuele effecten door afscherming: 400 m	Beperken van de visuele impact, gezien de kortere afstand die bij visuele afscherming wordt toegestaan.
Denemarken	4 x tiphoogte. Deze afstand geldt niet voor de woning van de eigena(a)r(en) van de windturbines.	Om visuele hinder door onder andere lichtschitteringen, slagschaduw en obstakelverlichting te voorkomen.
Duitsland – Beieren	10 x tiphoogte.	Beschermen van natuur en imago van het platteland en voorkomen van visueel overweldigende effecten.
Duitsland – Nedersaksen	Vuistregel van 2 x tiphoogte[1)].	Vuistregel op basis van jurisprudentie om visueel beklemmende effecten te voorkomen.
Duitsland – Noordrijn-Westfalen	1.000 m, m.u.v. individuele woningen en gefragmenteerde woongebieden.	Beschermen van natuur en landschap en voor visueel overweldigende effecten.
Duitsland – Overige deelstaten	• Woongebieden: 400 tot 1.100 m of beoordeling per geval; • Individuele woongebouwen en gefragmenteerde woongebieden: 300 tot 1.000 m of beoordeling per geval.	Niet bekend.
Frankrijk	500 m voor turbines met een ashoogte van meer dan 50 m	--
Ierland (vigerend)	Geen afstandsnorm, maar 500 m wordt acceptabel geacht.	Windturbinegeluid is normaliter acceptabel bij een afstand van meer dan 500 m.
Ierland (ontwerp nieuwe regelgeving)	4 x tiphoogte met een minimum van 500 m, m.u.v. aanvragen waarbij met de relevante eigena(a)r(en) kortere afstanden overeen zijn gekomen. Voor kleinschalige windenergie-ontwikkelingen voor lokaal gebruik kan hiervan worden afgeweken. Voor de beperking van de	Beperken van de visuele impact. Niet meer beargumenteerd vanuit geluidhinder, omdat de WGO in 2018 heeft vastgesteld dat er geen bewijs is voor een acceptabele uniforme afstand tussen windturbines en woongebied gezien het

Land	Afstand tot gevoelige objecten [m]	Reden/motivatie afstandsnorm
	visuele impact mag geen grotere afstand worden gehanteerd.	feit dat de overdracht van geluid van veel meer factoren afhangt dan alleen afstand.
Nederland	Geen landelijke afstandsnorm, maar lokaal of regionaal worden soms wel normen of richtwaarden voor afstanden gehanteerd.	In de meeste gevallen wordt in Nederland de afstand van windturbines tot woningen bepaald door de geluidnorm.
Polen	10 x tiphoogte.	Externe veiligheid: verspreiding van brandende fragmenten bij een brand na een blikseminslag tijdens een hevige storm.
Verenigd Koninkrijk	Geen afstandsnorm.	--

[1)] Alleen als uit nader onderzoek blijkt dat in de specifieke situatie geen sprake is van visueel beklemmende effecten kan hiervan worden afgeweken. Voor afstanden van minder dan driemaal de tiphoogte is altijd onderzoek nodig naar de specifieke situatie om vast te stellen of visueel beklemmende effecten kunnen optreden.



Afbeelding 8. Overzicht van afstandsnormen voor windturbines. De bandbreedtes voor de zwarte balken – de gearceerde delen - komen door de afhankelijkheid van de tiphoogte, waarbij in de afbeelding de bandbreedte is weergegeven voor een tiphoogte van 150 tot 250 meter. De bandbreedte voor de oranje balk voor de overige deelstaten in Duitsland – het gearceerde deel - komt door de verschillen in afstandsnorm tussen de verschillende deelstaten. In Vlaanderen geldt geen afstandsnorm, tenzij op basis van heersende achtergrondniveau en geluidniveau van boven de richtwaarde wordt toegestaan. Dan geldt een minimumafstand van 3 x rotordiameter.

2.2.2 Geluidnormen

De geluidnormen voor windturbines zijn voor de acht onderzochte landen samengevat in Tabel 2. Een vergelijking van de normen laat zien dat een uniforme benadering ver te zoeken is. Er zijn veel meer verschillen dan overeenkomsten tussen de normen. Zo worden er verschillende geluidparameters gebruikt voor de beoordeling van het windturbinegeluid, verschillen de grenswaarden, verschilt het beschermingsniveau voor woonwijken versus woningen in landelijk gebied, gelden er in bepaalde landen vaste grenswaarden en zijn in andere landen de grenswaarden afhankelijk van de bestemming van het gebied of het heersende achtergrondniveau van het omgevingsgeluid. Ook zijn er verschillen in berekeningsmethoden, waardoor ook al zouden de grenswaarden gelijk zijn de impact van de normen anders kan zijn [4]. De geluidnormen en de impact hiervan zijn derhalve lastig te vergelijken.

De Nederlandse overheid heeft voor de beoordeling van windturbinegeluid in 2010 gekozen voor het gebruik van L_{den} en L_{night} conform de definitie in de Europese Richtlijn Omgevingslawaai [5][7]. Dit is echter geen verplichting, want de Richtlijn is niet op windturbines van toepassing. Deze jaargemiddelde beoordelingsmaten blijken voor windturbinegeluid in Europa weinig navolging te hebben gekregen. Geen van de andere zeven onderzochte landen blijkt voor windturbinegeluid gebruik te maken van de parameters L_{den} en/of $L_{night.}$ Uit een eerdere studie van Koppen en Fowler [6] waarin in totaal 41 rechtsgebieden in 13 landen zijn beschouwd blijkt dat alleen Noorwegen ook de parameter L_{den} hanteert, waarvoor een grenswaarde van 45 dB geldt.

De andere zeven onderzochte landen gebruiken voor de beoordeling van windturbinegeluid het equivalente geluidniveau L_{Aeq}, het rating level L_r, of de statistische parameters $L_{50,10min}$ van de $L_{Aeq,1s}$ waarden, $L_{A90,10\ min}$ of het rating level $L_{A\ rated,10\ min}$. Voor laagfrequent geluid gebruikt Denemarken de parameter L_{pALF}. Het rating level L_r wordt in Denemarken en Duitsland gebruikt, maar zij hanteren hiervoor verschillende definities. In Denemarken betreft dit het equivalente geluidniveau L_{Aeq} onder meewindcondities bij een windsnelheid van 6 en 8 m/s op 10 meter hoogte met een eventuele toeslag voor duidelijke hoorbare tonen. In Duitsland betreft dit het equivalente geluidniveau L_{Aeq} gecorrigeerd voor de gemiddelde meteocondities, voor tijden van de dag met een verhoogde gevoeligheid en met een eventuele toeslag voor tonaal of impulsachtig geluid. De parameter L_r is dus gebaseerd op het equivalente geluidniveau, maar houdt rekening met bepaalde correcties. Ook de parameters L_{den} en L_{night} zijn gebaseerd op het equivalente geluidniveau, maar gaan in de beoordeling niet uit van de geluidbelasting onder specifieke condities maar van een (gewogen) jaargemiddelde geluidbelasting. Voor de beoordeling van windturbinegeluid wordt dus meestal gebruik gemaakt van het equivalente geluidniveau of een hierop gebaseerde parameter. Deze bevinding is in lijn met een eerdere studie waarbij in totaal 41 rechtsgebieden in 13 landen zijn onderzocht [6].

Tabel 2. Samenvatting van geluidnormen voor windturbines in de onderzochte landen (aanvullend op eventuele afstandsnormen zoals vermeld in Tabel 1)

Land	Geluidparameter	Woonwijken	Woningen in landelijke gebieden
België – Vlaanderen	L_{Aeq} bij 95% nominaal vermogen	Dag: 44 dB(A)[1)] Avond/nacht: 39 dB(A)[1)]	Dag: 48 dB(A) Avond/nacht: 43 dB(A)
België – Wallonië	L_{Aeq} [dB(A)]	43 dB(A)	
Denemarken	L_r [dB(A)][2)] L_{pALF} [dB][3)]	37 dB(A) L_r bij 6 m/s 39 dB(A) L_r bij 8 m/s 20 dB L_{pALF} bij 6 en 8 m/s	42 dB(A) L_r bij 6 m/s 44 dB(A) L_r bij 8 m/s 20 dB L_{pALF} bij 6 en 8 m/s
Duitsland	L_r [dB(A)][4)]	Dag: 50/55 dB(A)[5)] Nacht: 35/40 dB(A)[5)]	Dag: 60 dB(A) Nacht: 45 dB(A)
Frankrijk	$L_{50,10min}$ van de $L_{Aeq,1s}$ waarden [dB(A)]	Dag: toename van 5 dB(A) t.o.v. het heersende achtergrondniveau, met een ondergrens van 35 dB(A) Nacht: toename van 3 dB(A) t.o.v. het heersende achtergrondniveau, met een ondergrens van 35 dB(A)[6)]	

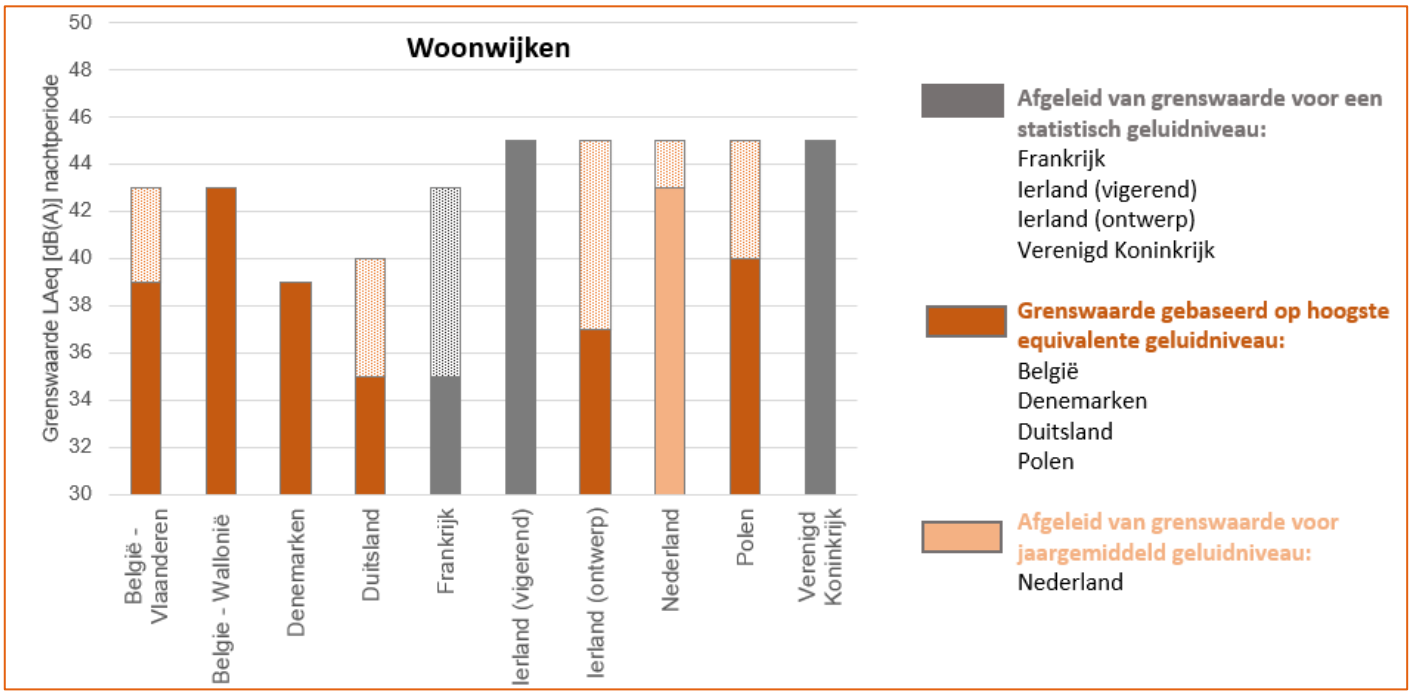
[7] Nederland heeft ook voor de beoordeling van wegverkeersgeluid, railverkeersgeluid en luchtvaartgeluid voor het gebruik van L_{den} gekozen. Met de invoering van de Omgevingswet worden ook voor industriegeluid de geluidbelastingindicatoren L_{den} en L_{night} gehanteerd.

Land	Geluidparameter	Woonwijken	Woningen in landelijke gebieden
Ierland (vigerend)	$L_{A90,\ 10min.}$ [dB(A)]	Dag: - Achtergrondniveau + 5 dB(A) met een ondergrens van 45 dB(A) [≈ 47 dB(A) L_{Aeq}][7)] - In stille omgeving met achtergrondniveau van minder dan 30 dB(A): 35 tot 40 dB(A) [≈ 37 tot 42 dB(A) L_{Aeq}] [7)] Nacht: 43 dB(A) [≈ 45 dB(A) L_{Aeq}] [7)]	
Ierland (ontwerp nieuwe regelgeving)	$L_{A\ rated,\ 10min}$[8)] [dB(A)]	- Het achtergrondniveau plus 5 dB(A) bij een beoordelingsniveau in de bandbreedte van 35 tot 43 dB(A) [≈ 37 tot 45 dB(A) L_{Aeq}][7)] - 35 dB(A) bij een achtergrondniveau van minder dan 30 dB(A) [≈ 37 dB(A) L_{Aeq}][7)] - 43 dB(A) bij een achtergrondniveau van 38 dB(A) of meer [≈ 45 dB(A) L_{Aeq}][7)]	
Nederland	L_{den} [dB] L_{night} [dB]	47 dB L_{den} 41 dB L_{night} [≈ 43-46 dB(A) L_{Aeq} bij 8 m/s of bij (95%) nominaal vermogen][9)]	
Polen	L_{Aeq} [dB(A)]	Dag: 50/55 dB(A)[10)] Nacht: 40/45 dB(A)[10)]	
Verenigd Koninkrijk	$L_{A90,\ 10min.}$ [dB(A)]	Dag: achtergrondniveau + 5 dB(A), met een ondergrens van 35 tot 40 dB(A) [≈ 37 tot 42 dB(A) L_{Aeq}][11)] Nacht: achtergrondniveau + 5 dB(A) met een ondergrens van 43 dB(A) [≈ 45 dB(A) L_{Aeq}][11)]	

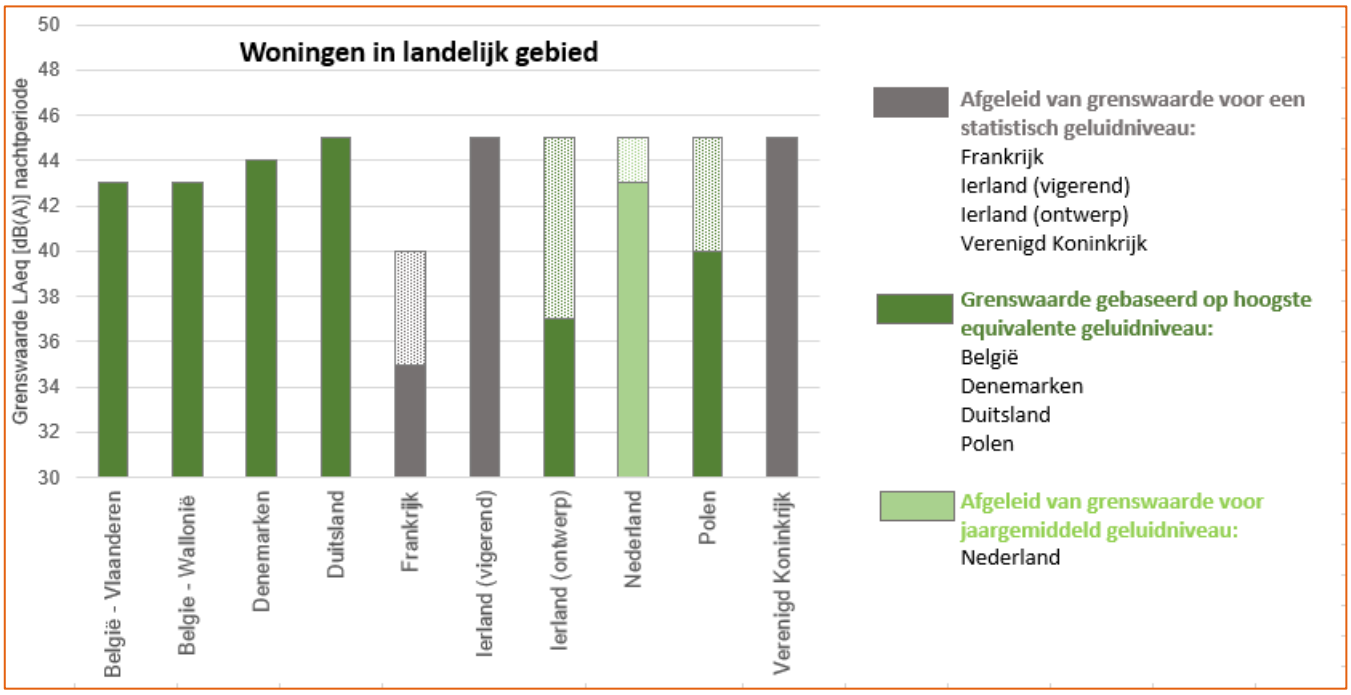
1) Voor woonwijken op minder dan 500 m afstand van een industrieterrein geldt een 4 dB(A) hoger niveau
2) Het rating level L_r is gelijk aan het equivalente geluidniveau L_{Aeq} gecorrigeerd voor de gemiddelde meteocondities, voor tijden van de dag met een verhoogde gevoeligheid en met een eventuele toeslag voor tonaal of impulsachtig geluid.
3) Deze eis voor laagfrequent geluid betreft het niveau binnen in de woning
4) Het rating level L_r is gelijk aan het equivalente geluidniveau L_{Aeq} met een eventuele toeslag voor duidelijke hoorbare tonen.
5) De laagste grenswaarde geldt voor een puur woongebied, de hoogste grenswaarde voor een algemeen woongebied
6) Uitgaande van de aanname van een basis achtergrondniveau $L_{50,10min}$ van de $L_{Aeq,1s}$ waarden in de nachtperiode van 30 dB(A) voor een landelijke omgeving en 40 dB(A) voor een woonwijk en de inschatting van een extra bijdrage aan het achtergrondniveau $L_{50,10min}$ van de $L_{Aeq,1s}$ waarden van 40 dB(A) vanwege wind- en bladergeruis bij hoge windsnelheden, zou het $L_{50,10min}$ van de $L_{Aeq,1s}$ waarden geluidniveau bij maximale geluidproductie van een windpark respectievelijk circa 40 en 43 dB(A) kunnen bedragen.
7) Het equivalente geluidniveau L_{Aeq} is circa 2 dB(A) hoger dan het $L_{A90,\ 10min.}$ niveau [7].
8) Het rating level $L_{A\ rated\ 10\ min}$ is gelijk aan het $L_{90,10\ min}$ niveau plus eventuele toeslagen voor speciale hoorbare karakteristieken van het windturbinegeluid, zoals tonaal geluid en amplitudemodulatie met een modulatiediepte van 3 dB of meer.
9) Bij een geluidbelasting van 47 dB L_{den} bedraagt L_{night} gewoonlijk 41 dB. Dit betreft een jaargemiddeld geluidniveau. Op de momenten dat het hard waait treden hogere niveaus op. Het verschil tussen het jaargemiddelde niveau en het geluidniveau bij hogere windsnelheden is afhankelijk van het type turbine en het lokale windklimaat. Voor het Nederlandse windklimaat is het hoogst optredende equivalente geluidniveau L_{Aeq} 2 tot 5 dB(A) hoger dan het L_{night} niveau [8], maar meestal 2 tot 4 dB(A) hoger. Het verschil is over het algemeen kleiner naarmate de windturbine een grotere rotordiameter en ashoogte heeft, omdat deze dan een groter deel van de tijd maximaal geluid produceert.
10) Afhankelijk van het type gebied en de functie.
11) In de Britse regeling is vermeld dat het $L_{A90,10\ min}$ typisch 1.5 tot 2,5 dB(A) lager is dan het $L_{Aeq,10\ min}$. [9].

Vanwege de verschillende parameters en definities zijn de grenswaarden in de verschillende landen lastig te vergelijken, maar toch is er voor de nachtperiode een redelijke vergelijking te maken. De grenswaarden voor het hoogst optredende equivalente geluidniveau L_{Aeq} in de nachtperiode, deels omgerekend vanuit andere geluidparameters, zijn samengevat in Afbeelding 9 en Afbeelding 10.De geluidparameters zijn als volgt omgerekend naar het hoogst optredende equivalente geluidniveau:

- Vlaanderen: Het equivalente geluidniveau L_{Aeq} bij 95% nominaal vermogen komt in de praktijk vrijwel altijd overeen met het hoogst optredende equivalente geluidniveau.
- Wallonië, Duitsland en Polen: Het equivalente geluidniveau L_{Aeq} geldt voor alle condities, dus het hoogst optredende equivalente geluidniveau is bepalend voor de beoordeling.
- Denemarken: Het equivalente geluidniveau L_{Aeq} bij een windsnelheid van 8 m/s op 10 meter hoogte komt in de praktijk vrijwel altijd overeen met het hoogst optredende equivalente geluidniveau.
- Denemarken en Duitsland: Bij afwezigheid van speciale hoorbare karakteristieken komt het rating level L_r overeen met het equivalente geluidniveau. In Ierland (ontwerp nieuwe regelgeving) komt bij afwezigheid van speciale hoorbare karakteristieken het rating level $L_{A\ rated\ 10\ min}$ overeen met het $L_{90,10min}$ niveau. Bij aanwezigheid van geluid met speciale hoorbare karakteristieken zoals tonaal geluid geldt een strengere eis.
- Frankrijk: Er is uitgegaan van de aanname dat het $L_{50,10min}$ niveau van de $L_{Aeq,1s}$ waarden gelijk is aan het hoogste optredende equivalente geluidniveau vanwege het windpark, maar de werkelijkheid kan hiervan afwijken. Als ondergrens is uitgegaan van de gestelde waarde van 35 dB(A). Als bovengrens is op basis van een grove inschatting uitgegaan van een maximaal achtergrondniveau 40 dB(A) voor landelijke gebieden en 43 dB(A) voor woonwijken. Bij hoge windsnelheden kan het achtergrondniveau echter nog hoger zijn.
- Ierland en Verenigd Koninkrijk: Het equivalente geluidniveau L_{Aeq} is circa 2 dB(A) hoger dan het statistische niveau $L_{A90,\ 10\ min.}$ [7] [9].
- Nederland: Het hoogst optredende equivalente geluidniveau L_{Aeq} is 2 tot 5 dB(A) hoger dan het L_{night} niveau [8], maar in de praktijk blijkt dit meestal 2 tot 4 dB(A) hoger te zijn. Het verschil is over het algemeen kleiner naarmate de windturbine een grotere rotordiameter en ashoogte heeft, omdat deze dan een groter deel van de tijd maximaal geluid produceert.



Afbeelding 9. Overzicht van grenswaarden voor het hoogst optredende equivalente geluidniveau L_{Aeq} in de nachtperiode voor woonwijken, deels omgerekend vanuit andere geluidparameters. De bandbreedtes in grenswaarden – de gearceerde delen - komen door de afhankelijkheid van het heersende achtergrondniveau, de bestemming van het gebied, de invloed van het lokale windklimaat e.d. Hierbij is geen rekening gehouden met eventuele toe te passen toeslagen in geval van windturbines met speciale hoorbare karakteristieken.



Afbeelding 10. Overzicht van grenswaarden voor het hoogst optredende equivalente geluidniveau L_{Aeq} in de nachtperiode voor woningen in landelijk gebied, deels omgerekend vanuit andere geluidparameters. De bandbreedtes in grenswaarden – de gearceerde delen - komen door de afhankelijkheid van het heersende achtergrondniveau, de bestemming van het gebied, de invloed van het lokale windklimaat e.d. Hierbij is geen rekening gehouden met eventuele toe te passen toeslagen in geval van windturbines met speciale hoorbare karakteristieken.

Uit bovenstaande afbeeldingen blijkt dat voor de acht onderzochte landen de grenswaarde voor het equivalente geluidniveau in de nachtperiode varieert van 35 dB(A) – bij een achtergrondniveau van minder dan 32 dB(A) – tot en met 45 dB(A). Ook in andere landen ligt de grenswaarde meestal binnen deze bandbreedte, maar in de Verenigde Staten gelden in sommige staten of districten grenswaarden van 50 of 55 dB(A) [6]. In Frankrijk is de normstelling gerelateerd aan het achtergrondniveau van het omgevingsgeluid. Hierdoor zal deze norm in de praktijk bij relatief lage windsnelheden veelal strenger zijn dan de Nederlandse grenswaarde, maar bij hoge windsnelheden kan deze norm juist soepeler zijn. Daarnaast vindt de beoordeling plaats per windpark, hetgeen betekent dat na realisatie van een windpark het achtergrondniveau is toegenomen waardoor een eventueel tweede windpark in dezelfde omgeving meer geluid mag maken. De Nederlandse grenswaarde ligt dicht bij de grenswaarde voor de nachtperiode in het Verenigd Koninkrijk, Ierland en het Waalse Gewest van België. Ook ligt de Nederlandse grenswaarde dicht bij de Duitse, Deense en Vlaamse grenswaarde voor woningen in landelijke gebieden en de Vlaamse grenswaarde voor woonwijken binnen 500 meter van een industrieterrein.

In Vlaanderen, Denemarken en Duitsland gelden voor woonwijken strengere grenswaarden dan voor woningen in landelijk gebied. Hiermee zijn in deze landen de grenswaarden voor woonwijken strenger dan in Nederland. Overigens zijn er ook landen die voor woonwijken juist meer geluid toestaan dan voor woningen in landelijk gebied, zoals Zweden, Nieuw-Zeeland en de Australische deelstaat Zuid-Australië [6]. Dit geldt feitelijk ook voor Frankrijk en voor het ontwerp voor de nieuwe regelgeving in Ierland, omdat de grenswaarden hier gerelateerd zijn aan het achtergrondniveau van het omgevingsgeluid. Bepaalde landen kiezen er dus voor om een stille landelijke omgeving relatief stil te houden, terwijl andere landen ervoor kiezen om hier juist meer geluid toe te staan, waarschijnlijk vanwege de relatief lage bevolkingsdichtheid in landelijke gebieden. In Nederland wordt sinds 2011 in de normstelling geen rekening gehouden met het type omgeving of het heersende achtergrondniveau van het omgevingsgeluid. Hier

geldt voor alle gevoelige objecten in alle type omgevingen dezelfde grenswaarde[8]. Dit geldt ook voor Wallonië en in de nachtperiode ook voor het Verenigd Koninkrijk en de thans nog vigerende norm in Ierland.

Wat betreft de Poolse grenswaarden voor geluid moet worden opgemerkt dat deze effectief niet veel betekenis hebben. Bij een afstand van minimaal 10 maal de tiphoogte van een windturbine zal in de praktijk namelijk altijd ruimschoots aan deze grenswaarden worden voldaan.

In de meeste landen wordt voor tonaal geluid van windturbines een toeslag op het geluidniveau toegepast variërend van 1 tot 6 dB afhankelijk van de sterkte van het tonale karakter. In Nederland wordt hier voor windturbinegeluid hier geen toeslag voor toegepast. Ook zijn er landen die in bepaalde situaties een toeslag toepassen voor impulsachtig geluid of amplitudemodulatie. Dit betekent dat voor windturbines met speciale hoorbare karakteristieken in veel landen vaak een strengere norm geldt dan in Nederland.

Op dit moment kent van de acht onderzochte Europese landen alleen Denemarken een specifieke norm voor laagfrequent geluid van windturbines. Blijkens het ontwerp voor de nieuwe regelgeving is Ierland echter ook voornemens om een norm voor laagfrequent geluid in te voeren.

In 2019 is door Peeters en Nusselder van M+P in opdracht van het European Network of the Heads of Environment Protection Agencies onderzoek verricht naar geluidnormen voor verschillende typen geluidbronnen in Europese landen [10]. Dit is niet gebaseerd op literatuuronderzoek, maar op vragenlijsten die aan geluiddeskundigen in 35 Europese landen zijn toegezonden. Hierop hebben 29 landen gereageerd. Hieruit blijkt dat circa 50% van de landen een geluidnorm voor windturbines heeft. Circa 60% van deze landen heeft voor windturbinegeluid een soepelere grenswaarde dan de voorwaardelijke aanbevolen grenswaarde van 45 dB L_{den} van de WGO [11]. De resultaten in de vorm van het percentage landen dat een bepaalde grenswaarde voor het L_{night} niveau hanteert zijn samengevat in Tabel 3. Hier moet de kanttekening bij worden geplaatst dat dit overzicht een beperkte nauwkeurigheid heeft. Zo worden de resultaten als L_{night} grenswaarde gepresenteerd, terwijl het in veel gevallen geen grenswaarde voor het jaargemiddelde niveau betreft maar voor het hoogst optredende equivalente geluidniveau. De vergelijking op basis van een gedetailleerde literatuurstudie zoals samengevat in Tabel 2, Afbeelding 9 en Afbeelding 10 biedt een nauwkeuriger beeld. Uit een vergelijking van voornoemde M+P studie met de gedetailleerde literatuurstudie wordt geconcludeerd dat in de meeste gevallen de normstelling in de nachtperiode het hoogste equivalente geluidniveau betreft en Nederland met een jaargemiddelde grenswaarde voor de nachtperiode naar alle waarschijnlijkheid de enige uitzondering is. Dit betekent dat de in Tabel 3 gepresenteerde grenswaarden meer representatief worden geacht voor het hoogste equivalente geluidniveau in de nachtperiode dan voor het jaargemiddelde L_{night} niveau. Op basis hiervan kan worden geconcludeerd dat circa 50% van de landen een grenswaarde van 41 dB(A) t/m 45 dB(A) hanteert voor het hoogst optredende equivalente geluidniveau in de nachtperiode. Circa 35% van de landen hanteert een strengere grenswaarde en circa 15% van de landen een soepelere grenswaarde. Dit is redelijk in lijn met de bevindingen van de gedetailleerde literatuurstudie zoals samengevat in Tabel 2, Afbeelding 9 en Afbeelding 10. Deze laat namelijk een bandbreedte voor de grenswaarde van hoogst optredende equivalente geluidniveau zien van 35 dB(A) t/m 45 dB(A) met voor de meeste landen een grenswaarde in de bandbreedte van 39 dB(A) t/m 45 dB(A). De M+P studie laat wel zien dat er ook Europese landen zijn waar een equivalent geluidniveau van meer dan 45 dB(A) voor windturbinegeluid is toegestaan.

Tabel 3. Overzicht van het percentage Europese landen dat een bepaalde grenswaarde voor windturbinegeluid hanteert [10]

Grenswaarde nachtperiode*	Percentage Europese landen
35 dB(A) of lager	Circa 8%
40 dB(A) of lager	Circa 35%
45 dB(A) of lager	Circa 85%
50 dB(A) of lager	Circa 95%
55 dB(A) of lager	Circa 95%
60 dB(A) of lager	100%

[8] Noot: Sinds de uitspraak van de Raad van State inzake Windpark Delfzijl Zuid moeten de normen in het Activiteitenbesluit voor windturbineparken buiten beschouwing worden gelaten en geldt er feitelijk dus geen landelijk geldende grenswaarde meer voor het geluid van windturbineparken.

** Hier moet de kanttekening bij worden geplaatst dat in de M+P studie [10] de resultaten als L_{night} grenswaarde zijn gepresenteerd, terwijl het in de meeste gevallen geen grenswaarde voor het jaargemiddelde niveau betreft maar voor het hoogst optredende equivalente geluidniveau. Dit betekent dat de gepresenteerde grenswaarden meer representatief worden geacht voor het hoogste equivalente geluidniveau in de nachtperiode dan voor het jaargemiddelde L_{night} niveau.*

2.2.3 Slagschaduwnormen

De slagschaduwnormen voor windturbines zijn voor de acht onderzochte landen samengevat in Tabel 4. Een vergelijking van de normen voor slagschaduw laat zien dat de regelgeving hiervoor uniformer is dan voor de normen voor geluid. Duitsland heeft in 2002 op basis van onderzoek door Pohl et al. in 1999 [12] en in 2000 [13] een richtlijn voor het berekenen en beoordelen van slagschaduw opgesteld [14]. De meeste landen die regelgeving of een richtlijn hebben voor de beoordeling van slagschaduw, hebben deze op de Duitse richtlijn gebaseerd. Dit geldt ook voor landen buiten Europa [15].

De Duitse richtlijn stelt een grenswaarde van 30 uur per jaar en 30 minuten per dag voor de astronomisch maximaal mogelijke schaduwduur (worst-case scenario). In het geval dat een automatische stilstandsvoorziening wordt gebruikt, moet de werkelijke slagschaduwduur worden beperkt tot 8 uur per jaar. In Wallonië, Frankrijk en Ierland is aansluiting gezocht bij voornoemde grenswaarde voor de astronomisch maximaal mogelijke slagschaduw. In Frankrijk en Ierland is echter niet specifiek aangegeven dat ook de astronomisch maximaal mogelijke slagschaduw wordt bedoeld. Het is opvallend dat in deze landen de slagschaduw alleen op een relatief korte afstand hoeft te worden onderzocht en in Frankrijk alleen voor kantoorgebouwen. Blijkens het ontwerp voor de nieuwe regelgeving is Ierland voornemens om geen slagschaduw meer op gevoelige objecten toe te staan. De exploitant dient passende maatregelen te treffen om slagschaduw te voorkomen, zoals het telkens stilzetten van een windturbine op het moment dat deze slagschaduw zou kunnen veroorzaken. In Vlaanderen wordt de effectieve slagschaduwduur beoordeeld, maar is met een grenswaarde van 8 uur/per jaar en 30 minuten/dag effectieve slagschaduw ook aansluiting gezocht bij de Duitse richtlijn. Wel is ervoor gekozen om voor gevoelige objecten op industrieterrein niet zijnde woningen meer slagschaduw toe te staan. In Denemarken is voor een iets soepelere norm gekozen, namelijk 10 uur/jaar effectieve slagschaduw. Het Verenigd Koninkrijk kent geen slagschaduwnorm, maar in de praktijk wordt ook hier meestal aansluiting gezocht bij de grenswaarden van de Duitse richtlijn. Polen kent ook geen slagschaduwnorm, maar gezien de ruime afstandsnorm van 10 x tiphoogte is erbij gevoelige objecten ook geen slagschaduw te verwachten.

Nederland heeft de meest afwijkende norm voor slagschaduw, omdat de grenswaarde bestaat uit een combinatie van dagen per jaar en minuten per dag[9]. De grenswaarde van gemiddeld niet meer dan 17 dagen per jaar gedurende meer dan 20 minuten slagschaduw per dag wordt meestal vereenvoudigd toegepast. Zo wordt in de praktijk veelal uitgegaan van een grenswaarde van 5 uur en 40 minuten (of afgerond 5 of 6 uur) slagschaduw per jaar[10]. Dit is gebaseerd op 17 keer 20 minuten slagschaduw. De Activiteitenregeling stelt echter geen limiet als er niet meer dan 17 dagen per jaar, of minder dan 20 minuten per dag, slagschaduw optreedt. Als de grens van de regeling wordt opgezocht kan er aanzienlijk meer dan 6 uur per jaar slagschaduw optreden. Uitgaande van 17 x 20 minuten zou Nederland de strengste slagschaduwnorm van de onderzochte landen hebben, maar door de vreemde definitie van de norm zou er bij het opzoeken van de maximale ruimte die de norm biedt juist veel meer slagschaduw kunnen optreden dan er in andere landen met een grenswaarde voor slagschaduw is toegestaan.

Kantoren worden in het Nederlandse Activiteitenbesluit niet als gevoelige objecten aangemerkt. In België, Duitsland, Frankrijk en Ierland worden deze wel als slagschaduwgevoelige objecten gezien.

[9] Sinds de uitspraak van de Raad van State inzake het Windpark Delfzijl Zuid moeten de normen in het Activiteitenbesluit voor windparken buiten beschouwing worden gelaten en geldt er feitelijk dus geen landelijk geldende grenswaarde meer voor de slagschaduw van windparken.

[10] Zie bijvoorbeeld de uitspraken van de Afdeling Bestuursrechtspraak van de Raad van State nummer 201809023/1/R1 van 18 december 2019 inzake Windpark Greenport Venlo en nummer 201902414/1/R1 van 29 januari 2020 inzake Windpark Egchelse Heide.

Tabel 4. Samenvatting van slagschaduwnormen in de onderzochte landen (aanvullend op eventuele afstandsnormen zoals vermeld in Tabel 1)

Land	Slagschaduwnorm
België – Vlaanderen	Woningen: - 8 uur/per jaar en 30 minuten/dag effectieve slagschaduw. Overige gevoelige objecten: - Buiten industriegebied: 8 uur/per jaar en 30 minuten/dag effectieve slagschaduw. - In industriegebied: 30 uur/per jaar en 30 minuten/dag effectieve slagschaduw.
België – Wallonië	Slagschaduwgevoelige zones: - 30 uur/jaar en 30 minuten per dag astronomisch maximaal mogelijke slagschaduw.
Denemarken	Richtlijn: 10 uur/jaar effectieve slagschaduw.
Duitsland	Gevoelige objecten: - 30 uur/jaar en 30 minuten per dag astronomisch maximaal mogelijke situatie. - Bij automatische stilstand voorziening: 8 uur/jaar effectieve slagschaduw.
Frankrijk	30 uur/jaar en 30 minuten per dag voor turbines < 250 m afstand van kantoorgebouwen. Er zijn geen eisen voor slagschaduw op woningen.
Ierland (vigerend)	30 uur/jaar en 30 minuten per dag voor turbines < 500 m afstand van woningen en kantoorgebouwen.
Ierland (ontwerp nieuwe regelgeving)	Er mag geen slagschaduw optreden op bestaande nabijgelegen woningen of andere gevoelige objecten. De exploitant dient passende maatregelen te treffen om slagschaduw te voorkomen.
Nederland[1)]	Het is verplicht om de windturbine van een automatische stilstandsvoorziening te voorzien die de windturbine afschakelt indien slagschaduw optreedt ter plaatse van gevoelige objecten voor zover de afstand tussen de windturbine en de gevoelige objecten minder dan 12 maal de rotordiameter bedraagt en gemiddeld meer dan 17 dagen/jaar gedurende meer dan 20 minuten/dag slagschaduw kan optreden.
Polen	Polen heeft geen wetgeving of richtlijnen met betrekking tot slagschaduw. Op een afstand van 10 maal de tiphoogte zal de slagschaduw echter nihil zijn.
Verenigd Koninkrijk	Geen wettelijke slagschaduwnorm. Er moet een slagschaduwonderzoek worden uitgevoerd als zich binnen een straal van tienmaal de rotordiameter van geplande windturbines gevoelige objecten bevinden. Er wordt in onderzoeken gewoonlijk aansluiting gezocht bij de in Duitsland gehanteerde normstelling: 30 uur/jaar en 30 minuten per dag astronomisch maximaal slagschaduwduur en 8 uur/per jaar effectieve slagschaduw.

Noot: Sinds de uitspraak van de Raad van State inzake het Windpark Delfzijl Zuid moeten de normen in het Activiteitenbesluit voor windparken buiten beschouwing worden gelaten en geldt er in Nederland feitelijk dus geen landelijk geldende grenswaarde meer voor de slagschaduw van windparken.

2.3 Nederland

2.3.1 Uitspraak Raad van State inzake milieubeoordeling voor windturbinenormen

Op 30 juni 2021 heeft de Afdeling bestuursrechtspraak van de Raad van State uitspraak gedaan over het bestemmingsplan ‘Windpark Delfzijl Uitbreiding 2020’ en de omgevingsvergunning voor Windpark Delfzijl Zuid Uitbreiding [2]. In de uitspraak oordeelt de Afdeling dat de algemene regels voor windturbines in het Activiteitenbesluit milieubeheer [16] en de bijbehorende Activiteitenregeling milieubeheer [17] voor windparken buiten toepassing moeten worden gelaten. Voor deze algemene regels had op grond van EU-recht een planmilieueffectrapport (planMER) moeten worden gemaakt. Voor één of twee losse windturbines blijven de algemene regels wel gelden. De Europese Richtlijn 2001/42/EG [18] geldt namelijk alleen voor windturbineparken en één of twee losse windturbines worden op grond van het Besluit milieueffectrapportage [19] niet als een windturbinepark aangemerkt. De uitspraak heeft tot gevolg dat bij het vaststellen van bestemmingsplannen en het verlenen van omgevingsvergunningen voor windparken niet meer van deze algemene regels kan worden uitgegaan, totdat voor de windturbinebepalingen in het Activiteitenbesluit en de Activiteitenregeling een plan-m.e.r. is uitgevoerd en op basis daarvan de algemene regels

voor windturbines worden gehandhaafd of aangepast. Een gemeente of provincie kan in een bestemmingsplan, inpassingsplan of omgevingsvergunning wel eigen normen stellen, mits deze normen worden voorzien van een actuele, deugdelijke, op zichzelf staande en op de aan de orde zijnde situatie toegesneden motivering [2].

2.3.2 Afstandsnorm

In Nederland geldt geen landelijke afstandsnorm voor windturbines. Wel komt het voor dat er regionaal of lokaal afstandsnormen worden gehanteerd als uitgangspunt voor de zoekgebieden voor windenergie. Zo is in de Omgevingsverordening NH2020 van de Provincie Noord-Holland [20] opgenomen dat windturbines op minimaal 600 meter afstand van gevoelige bestemmingen dienen te worden geplaatst[11] en heeft de Gemeente Emmen in de Structuurvisie Windenergie [21] een minimale afstand gehanteerd van 1.100 meter tot woongebieden[12] en 500 meter tot individuele woningen. In de meeste gevallen wordt in Nederland de afstand van windturbines tot woningen echter bepaald door de geluidnorm.

2.3.3 Geluidnorm

In Nederland zijn de geluidnormen voor windturbines vastgelegd in het Activiteitenbesluit milieubeheer [16]. De beoordelingsmethode is vastgelegd in het ‘Reken- en meetvoorschrift windturbines’ zoals opgenomen in de Activiteitenregeling milieubeheer [17]. Deze geluidregels voor windturbines zijn op 14 oktober 2010 vastgesteld [22] en op 1 januari 2011 van kracht geworden.

Voor een windturbine of een combinatie van windturbines geldt de eis dat het geluidniveau op de gevel van gevoelige gebouwen[13], tenzij deze zijn gelegen op een gezoneerd industrieterrein, en op de grens van gevoelige terreinen[14], niet hoger mag zijn dan:

- 47 dB L_{den}
- 41 dB L_{night}

L_{den}[15] is het gewogen jaargemiddelde van het equivalente geluidniveau[16] met een toeslag van 5 dB op het niveau in de avond- en 10 dB in de nachtperiode[17]. L_{night} is het equivalente geluidniveau gemiddeld over alle nachtperioden in een jaar. De reden van de toeslag op het geluidniveau in de avond- en nachtperiode bij de bepaling van het L_{den}-niveau is dat in het algemeen het niveau van omgevingsgeluid in de avond- en nachtperiode lager is dan overdag. Daarnaast is de nachtperiode extra gevoelig omdat mensen dan gewoonlijk slapen. Hierdoor zal een bepaald geluidniveau in de avond- en nachtperiode in het algemeen als hinderlijker worden ervaren dan eenzelfde geluidniveau overdag. In Tabel 5 is een voorbeeldberekening voor het L_{den}-niveau gegeven uitgaande van eenzelfde geluidniveau gedurende de dag-, avond- en nachtperiode. Deze tabel laat zien dat door de toeslag van 10 dB op het geluidniveau in de nachtperiode, de nachtperiode in sterke mate bepalend voor het L_{den}-niveau. In de praktijk blijkt voor het Nederlandse windklimaat het geluidniveau in de dag- en avondperiode gemiddeld iets lager te zijn dan voor de nachtperiode. Het L_{den}-niveau is hierdoor in de regel 6,2 à 6,3 dB hoger dan het L_{night}-niveau. In de praktijk blijkt de L_{night} grenswaarde derhalve geen extra bescherming te bieden[18].

[11] Blijkens de Ontwerp-omgevingsverordening NH2022 [109] is de Provincie Noord-Holland voornemens om in 2022 de afstandsnorm van 600 meter tot gevoelige bestemmingen af te schaffen.
[12] Woongebieden zijn gedefinieerd als dorpen, woonwijken en woonlinten.
[13] Woningen en gebouwen die op grond van artikel 1 van de Wet geluidhinder worden aangemerkt als andere geluidgevoelige gebouwen, met uitzondering van die gebouwen behorende bij de betreffende inrichting.
[14] Terreinen die op grond van artikel 1 van de Wet geluidhinder worden aangemerkt als geluidgevoelige terreinen, met uitzondering van die terreinen behorende bij de betreffende inrichting.
[15] Level day-evening-night
[16] Dat wil zeggen het energetisch gemiddelde geluidniveau.
[17] De dagperiode is van 07:00 tot 19:00 uur, de avondperiode van 19:00 tot 23:00 uur en de nachtperiode van 23:00 tot 07:00 uur.
[18] Bij toepassing van een zogenaamde ‘noise mode’ om het geluid in een bepaalde periode te reduceren, verandert het verschil tussen L_{den} en L_{night}, maar omdat de nachtperiode zwaar meetelt in de bepaling van L_{den} worden in Nederland de ‘noise modes’ in de regel vooral toegepast in de nachtperiode. Dat betekent dat het niveau in L_{den} ook dan nog steeds bepalend is voor de beoordeling.

Tabel 5. Voorbeeldberekening geluidbelasting L_{den}

Geluidparameter	Periode	Jaargemiddeld equivalent geluidniveau	Toeslag	Niveau incl. toeslag
L_{day}*	Dagperiode (07.00-19.00 uur)	41 dB	0 dB	41 dB gedurende 12 uur
$L_{evening}$*	Avondperiode (19.00-23.00 uur)	41 dB	5 dB	46 dB gedurende 4 uur
L_{night}*	Nachtperiode (23.00-07.00 uur)	41 dB	10 dB	51 dB gedurende 8 uur
L_{den}*	**Etmaal inclusief toeslag voor avond- en nachtperiode**			**47 dB**

Bij de bepaling van de L_{den}- en de L_{night}-waarden wordt in de ontwikkelingsfase conform het 'Reken- en meetvoorschrift windturbines' voor de windturbines uitgegaan van de gemiddelde geluidemissie op basis van de langjarige windverdeling op ashoogte van de windturbines, tenzij wordt aangetoond dat er gegevens beschikbaar zijn die een beter beeld geven van de geluidemissie van de windturbines. In de operationele fase van windturbines dient de exploitant de jaargemiddelde geluidemissie te registreren op basis van de productiegegevens van de windturbines.

Het bevoegd gezag kan voor een windturbine of een windpark een maatwerkvoorschrift met een lagere geluidnorm vaststellen om rekening te houden met de cumulatie van het geluid van verschillende windturbines of windparken. Hierbij wordt geen rekening gehouden met windturbines die op 1 januari 2011 reeds vergund waren. Daarnaast kan het bevoegd gezag in uitzonderlijke situaties zoals in wettelijk aangewezen stiltegebieden vanwege bijzondere lokale omstandigheden een maatwerkvoorschrift met een andere geluidnorm vaststellen. Als een woning zodanig bij een windpark is betrokken dat deze tot de sfeer van de inrichting hoort, is deze op grond van het Activiteitenbesluit niet beschermd tegen het geluid van de windturbines die deze inrichting omvat.[19]

Als gevolg van de Raad van State uitspraak inzake Windpark Delfzijl Zuid [2] moet de geluidnorm in het Activiteitenbesluit voor windturbineparken buiten toepassing worden gelaten totdat een plan-m.e.r. voor de windturbinebepalingen is uitgevoerd en op basis daarvan de algemene regels voor windturbines worden gehandhaafd of aangepast.

2.3.4 Slagschaduwnorm

In Nederland is de slagschaduwnorm voor windturbines vastgelegd in het Activiteitenbesluit milieubeheer [16] en de Activiteitenregeling milieubeheer [17]. Deze milieuregels voor windturbines zijn op respectievelijk 19 oktober 2008 [23] en 9 november 2007 [24] vastgesteld en op 1 januari 2008 van kracht geworden.

Op grond van artikel 3.12 van de Activiteitenregeling is het verplicht om de windturbine van een automatische stilstandsvoorziening te voorzien die de windturbine afschakelt indien slagschaduw optreedt ter plaatse van gevoelige objecten voor zover de afstand tussen de windturbine en de gevoelige objecten minder dan 12 maal de rotordiameter bedraagt en gemiddeld meer dan 17 dagen per jaar gedurende meer dan 20 minuten per dag slagschaduw kan optreden. Deze afstand geldt van een punt op ashoogte van de windturbine tot de gevel van het gevoelige object. Voornoemde norm is niet van toepassing als zich in de door de slagschaduw getroffen uitwendige scheidingsconstructie van gevoelige gebouwen of woonwagens geen ramen bevinden. Het bevoegd gezag kan aanvullend een maatwerkvoorschrift stellen als voornoemde norm in een specifiek geval niet toereikend is.

Op grond van artikel 3.13 van de Activiteitenregeling dient lichtschittering vanwege een windturbine zoveel mogelijk te worden voorkomen of beperkt door toepassing van niet reflecterende materialen of coatinglagen op de betreffende onderdelen.

[19] Zie de uitspraken met zaaknummer 200900794/1/M1 d.d. 16 september 2009, 201001213/1/R4 d.d. 11 januari 2012 en 201204281/1/A1 d.d. 14 november 2012 van de Afdeling Bestuursrechtspraak van de Raad van State, maar ook de meer recente uitspraken met zaaknummer 201709490/1/R6 d.d. 19 december 2018 en 201706086/3/R1 d.d. 1 april 2020 die paal en perk stellen aan de woningen die tot de sfeer van de inrichting kunnen worden gerekend.

Als gevolg van de Raad van State uitspraak inzake Windpark Delfzijl Zuid [2] moet de slagschaduwnorm in de Activiteitenregeling voor windturbineparken buiten toepassing worden gelaten totdat een plan-m.e.r. voor de windturbinebepalingen is uitgevoerd en op basis daarvan de algemene regels voor windturbines worden gehandhaafd of aangepast.

2.3.5 Onderzoeken en overwegingen die aan de buiten toepassing verklaarde normen ten grondslag lagen

De in juni 2021 buiten toepassing verklaarde [2] geluidregels voor windturbines in het Activiteitenbesluit zijn op 14 oktober 2010 vastgesteld [22] en op 1 januari 2011 van kracht geworden. Met dit besluit is destijds beoogd om tot harmonisering van de normstelling voor windturbines te komen, onafhankelijk van het geïnstalleerde vermogen. Voorafgaand aan het besluit tot wijziging van de milieuregels voor windturbines was het gezamenlijk vermogen van een windpark namelijk bepalend of windturbines onder het Activiteitenbesluit vielen of vergunningplichtig waren. Bij een geïnstalleerd vermogen van meer dan 15 megawatt (MW) was voorheen sprake van een vergunningplicht en was het regime van de Handreiking Industrielawaai en vergunningverlening [25] van toepassing. Bij een lager vermogen was het toenmalige Activiteitenbesluit en de hierin opgenomen normstelling van toepassing [26]. Tevens werd het in 2010 wenselijk geacht om de geluidnormering aan te passen aan de Europese dosismaat L_{den} die beter met de ervaren hinder zou correleren dan de tot dan toe in het Activiteitenbesluit gebruikte dosismaat. Ook was gebleken dat de toenmalige berekeningsmethodiek voor het vaststellen van de geluidniveaus van hoge windturbines op wetenschappelijke gronden aanpassing behoefde. De aanleiding hiervoor was het promotieonderzoek in 2006 van G.P. van den Berg [27] en een studie van W.K.G. Palmer uit 2007 [28] [22]. Destijds was de normstelling voor windturbines afhankelijk van de windsnelheid, aangeduid als de WindNormCurve [26]. Bij hogere windsnelheden werden hogere geluidniveaus toegestaan, omdat er dan door wind- en bladergeruis ook meer omgevingsgeluid zou heersen waardoor het windturbinegeluid meer werd gemaskeerd. Hierbij werd uitgegaan van een vaste relatie tussen de windsnelheid op een referentiehoogte van 10 meter en de ashoogte van de windturbines. Voornoemd promotieonderzoek bracht aan het licht dat bij een stabiele atmosfeer de windturbines maximaal geluid konden produceren, terwijl de windsnelheid op 10 meter hoogte en het hieraan gerelateerde omgevingsgeluid minimaal was. Dit komt doordat bij een stabiele atmosfeer veel grotere verschillen tussen de windsnelheid op 10 meter hoogte en op ashoogte optreden dan bij een neutrale atmosfeer. Het maskerende effect waar de toenmalige regelgeving voor geluid op gebaseerd was, bleek in nachten met een stabiele atmosfeer niet op te treden.

Voor de invoering van de gewijzigde regels voor geluid in 2010 is onderzoek verricht naar meerdere aspecten. Hierbij is uitgegaan van een geluidnormering op basis van de geluidmaat L_{den} zoals gedefinieerd in de Europese Richtlijn Omgevingslawaai [5]. Destijds zijn de volgende aspecten onderzocht:

- In 2008 is door TNO onderzoek verricht naar de dosis-effectrelaties voor windturbinegeluid [29]. In deze studie is voor de volwassen bevolking het percentage gehinderden en ernstig gehinderden binnenshuis en buitenshuis als functie van de geluidbelasting in L_{den} in beeld gebracht. Ook is het percentage slaapverstoorden als functie van de geluidbelasting in beeld gebracht.
- In 2009 is door het RIVM onderzoek verricht naar de invloed van mogelijke grenswaarden op blootstelling, hinder en mogelijkheden van ontwikkelingslocaties [30]. In deze studie is het aantal (ernstig) gehinderden in de destijds aanwezige situatie (peiljaar 2009) geschat op basis van het aantal geluidbelaste woningen met een geluidbelasting van meer dan 29, 40, 45, 47 en 50 dB. Het percentage ernstig gehinderden vanwege windturbinegeluid bij een mogelijke grenswaarde is vergeleken met het percentage ernstig gehinderden behorende bij de voorkeursgrenswaarden en hoogst toelaatbare waarden voor weg- en railverkeersgeluid. Ook is de beschikbare plaatsingsruimte voor windturbines in beeld gebracht voor mogelijke grenswaarden van 37,40, 43, 45, 47 en 50 dB L_{den}.
- Tevens is 2009 door het (toenmalige) Ministerie van VROM een vergelijking gemaakt met de geluidnormen voor windturbines in andere landen [31].
- Ook is in 2009 een vergelijking gemaakt met de op dat moment geldende geluidnormen voor windturbines [22] [31].

Op basis van voornoemde onderzoeken is door de politiek een belangenafweging gemaakt wat geresulteerd heeft in een grenswaarde van 47 dB L_{den} en 41 dB L_{night}. Uit voornoemd TNO-onderzoek blijkt dat bij een grenswaarde van 47 dB L_{den} een percentage gehinderden wordt verwacht van 17% binnenshuis en 34% buitenshuis, waarvan een percentage ernstig gehinderden van 8% binnenshuis en 19% buitenshuis. Uit het RIVM-onderzoek blijkt dat bij deze grenswaarde er in Nederland naar schatting 34 GW aan plaatsingsruimte voor windturbines is. Het onderzoek laat ook

zien dat er in 2009 naar schatting 810 woningen[20] waren waar deze grenswaarde werd overschreden en waarvoor een sanering noodzakelijk zou zijn. Het RIVM-onderzoek geeft ook aan dat een grenswaarde van ongeveer 48 dB L_{den} qua hinderlijkheid vergelijkbaar is met de hoogst toelaatbare grenswaarden voor weg- en railverkeersgeluid. De voorkeursgrenswaarden voor weg- en railverkeersgeluid zouden qua hinderlijkheid vergelijkbaar zijn met een waarde van 40 dB L_{den} voor windturbinegeluid. Bij een grenswaarde van 40 dB L_{den} zou de beschikbare plaatsingsruimte bijna een factor 5 lager zijn dan bij een grenswaarde van 47 dB L_{den}, namelijk naar schatting 7 GW [30].

Een vergelijking door het Ministerie van VROM met de geluidnormen in andere landen liet zien dat er letterlijk geen twee gelijke waren te vinden. In sommige gevallen kon op basis van de documentatie niet uitgemaakt worden welke dosismaat bedoeld werd. Een goede vergelijking van geluidnormen werd door de Minister van VROM niet mogelijk geacht [31].

De nota van toelichting van het Besluit wijziging milieuregels windturbines [22] is aangegeven dat de toenmalige normering in het Activiteitenbesluit van 50 dB(A) voor de dagperiode, 45 dB(A) voor de avondperiode en 40 dB(A) voor de nachtperiode zou overeenkomen met 47 dB L_{den} en 41 dB L_{night}. Voor vergunningplichtige windparken is in voornoemde nota vermeld dat was vastgesteld dat de in de praktijk verleende vergunningen eveneens correspondeerden met een maximaal niveau van 47 dB L_{den}. Hiermee werd een norm van 47 dB L_{den} en 41 dB L_{night} in lijn geacht met de uitvoeringspraktijk van de jaren voorafgaand aan de invoering van deze nieuwe norm. In de nota van toelichting is niet vermeld dat destijds voor vergunningsplichtige windparken moest worden gestreefd naar een lagere geluidbelasting. Voorafgaand aan de invoering van het Besluit wijziging milieuregels windturbines [22] werd het geluid van vergunningsplichtige windparken namelijk beoordeeld op basis van de Handreiking industrielawaai en vergunningverlening [32]. Deze Handreiking stelt een richtwaarde die afhankelijk is van de aard van de woonomgeving. Voor de nachtperiode bedraagt de richtwaarde 30 dB(A) voor een landelijke omgeving, 35 dB(A) voor een rustige woonwijk en 40 dB(A) voor een woonwijk in de stad[21]. Op grond van een bestuurlijk afwegingsproces kan deze richtwaarde worden overschreden, waarbij het bestaande referentieniveau van het omgevingsgeluid een belangrijke rol speelt. Als maximumniveau geldt voor de nachtperiode een waarde van 40 dB(A) op woningen of het heersende referentieniveau van het omgevingsgeluid[21]. In 2009 is door de Minister van VROM in reactie op Kamervragen aangegeven dat de indruk bestond dat in de toenmalige uitvoeringspolitiek op vrij ruime schaal van de richtwaarden werd afgeweken, waarbij dan veelal de norm van het toenmalige Activiteitenbesluit werd gehanteerd [33].

In de nota van toelichting [22] is ook vermeld dat naar aanleiding van inspraakreacties en een motie van de Tweede kamer ervoor gekozen is om naast de L_{den} grenswaarde ook een L_{night} grenswaarde in te voeren om de nachtrust voldoende te beschermen. Er is gekozen voor een L_{night} van 41 dB op grond van de overweging dat de Wereldgezondheidsorganisatie een voorkeurswaarde van 40 dB L_{night} en een maximale waarde van 55 dB L_{night} aanbeveelt. Ook bij het besluit in 2010 was al duidelijk dat de grenswaarde van 47 dB L_{den} effectief overeenkomt met een grenswaarde van 41 dB L_{night} en dat deze grenswaarde voor de nachtperiode in de praktijk geen extra bescherming biedt [34].

De in juni 2021 buiten toepassing verklaarde [2] normering voor slagschaduw in het Activiteitenbesluit is gelijk aan de voorgaande regeling zoals opgenomen in artikel 5.1 van het Besluit voorzieningen en installaties milieubeheer van 2001 [26]. Uit de toelichting van de Activiteitenregeling [24] is op te maken dat de slagschaduwnormering een codificatie van jurisprudentie uit het verleden is. In de toelichting is beschreven '*Uit jurisprudentie van de Raad van State is gebleken dat, afgezien van de beperkingen ten aanzien van de passeerfrequenties van de rotorbladen (niet tussen 2,5–14 Hz), ten aanzien van de hinderduur en gelet op het alara-beginsel van de Wm geen nulhinder als uitgangspunt genomen hoeft te worden (E03.95 1961, 24 oktober 1996). Zo is een hinderduur van maximaal 64 (en gemiddeld 17) dagen per jaar met een maximum van 20 minuten per dag als aanvaardbaar te beschouwen.*' Voor zover bekend kon worden nagegaan ligt hier geen onderzoek naar de hinderbeleving van slagschaduw aan ten grondslag.

[20] Een nader onderzoek uit 2011 liet zien dat dit 525 woningen betrof, waarvan 345 bedrijfswoningen. Nabij vanaf 1997 geplaatste windturbines betrof dit 451 woningen, waarvan 285 bedrijfswoningen [108].
[21] In de dag- en avondperiode zijn de richt- en grenswaarden respectievelijk 10 en 5 dB(A) hoger.

2.3.6 Kritiek op Nederlandse geluidnormen

De afgelopen jaren is door belangengroepen van omwonenden regelmatig kritiek geuit op de geluidnormen zoals opgenomen in het Activiteitenbesluit. Deze kritiek richt zich met name op de onderstaande punten die door in de klankbordgroep betrokken partijen nogmaals onder de aandacht zijn gebracht:

- De geluidparameter L_{den} – een gewogen jaargemiddelde geluidbelasting – is niet geschikt om windturbinegeluid te beoordelen. Er wordt gepleit voor een grenswaarde in direct meetbare decibellen. De geluidparameter L_{night} biedt geen extra bescherming.
- In gebieden met weinig wind mogen op basis van de geluidparameters L_{den} en L_{night} hogere equivalente geluidniveaus optreden dan in gebieden met veel wind.
- De huidige afstand van windturbines tot woningen staat niet in relatie tot de richtafstanden conform de VNG-publicatie ‘Bedrijven en milieuzonering’ voor de hierin opgenomen kleinere windturbines. Er zou een grotere afstand tot woningen in acht moeten worden genomen. Er wordt regelmatig gepleit voor een afstand van tienmaal de ashoogte of tienmaal de tiphoogte tot woningen.
- De geluidnorm in het Activiteitenbesluit is een verruiming ten opzichte van de wet- en regelgeving die tot 2011 van toepassing was. Voor 2011 was voor vergunningplichtige inrichtingen namelijk sprake van een gebieds-gedifferentieerde geluidnorm.
- Er is gekozen voor een norm die qua hinderbeleving overeenkomt met de hinderbeleving bij de hoogst toelaatbare geluidbelasting voor weg- en railverkeersgeluid. Er zou vergelijkbaar met weg- en railverkeersgeluid ook een voorkeurswaarde voor windturbinegeluid moeten worden ingevoerd. Dit zou neerkomen op een voorkeursgrenswaarde van 40 dB L_{den} [30].
- De Nederlandse geluidnorm voor windturbines staat meer geluid toe dan in andere landen.
- De huidige normen bieden onvoldoende bescherming tegen laagfrequent geluid. Er zou hiervoor een extra norm moeten worden opgenomen.
- De huidige normen bieden onvoldoende bescherming tegen tonaal en impulsachtig geluid. Extra bescherming is noodzakelijk.
- Er is weinig onderzoek beschikbaar naar de effecten van windturbines met hoogtes van 150 tot 200 meter (of meer).
- Een jaargemiddelde geluidbelasting is in de praktijk niet handhaafbaar. Indien toch aan een jaargemiddelde geluidmaat wordt vastgehouden wordt ervoor gepleit de emissiegegevens te registreren en te controleren zoals nu door de Provincie Noord-Brabant is vastgelegd voor het Energie A16 project [35]. Ook wordt er gepleit voor een real-time en continu monitoringssysteem. Hierbij zou ook ruimte voor aanpassingen aan de windturbines moeten zijn indien de daadwerkelijke hinderbeleving ernstiger dan verwacht.

De meeste van voornoemde kritiekpunten zijn regelmatig ingebracht in beroepsprocedures voor in ontwikkeling zijnde windparken, zoals bijvoorbeeld voor Windpark De Drentse Monden en Oostermoer [36]. Deze betogen hebben bij de Afdeling bestuursrechtspraak van de Raad van State gefaald. Hierbij moet worden opgemerkt dat de Afdeling niet de norm zelf heeft beoordeeld, maar of het besluit aan de destijds geldende wet- en regelgeving voldeed, zorgvuldig voorbereid en goed gemotiveerd was. Voornoemde kritiekpunten geven voorbeelden van belangrijke zorgpunten van omwonenden en andere stakeholders. Dit zijn belangrijke aandachtspunten in het proces om tot een nieuwe normen voor windturbines te komen.

2.4 België

2.4.1 Uitspraak Europese Hof van Justitie

Vlaanderen

In het zogenaamde Nevele arrest van 25 juni 2020 is het Europese Hof van Justitie tot het oordeel gekomen dat de sectorale voorwaarden voor windturbines in Vlaanderen onwettig tot stand zijn gekomen, omdat zij niet aan een voorafgaande strategische milieubeoordeling zijn onderworpen [37]. Voor deze algemene regels had op grond van EU-recht namelijk een planmilieueffectrapport (planMER) moeten worden gemaakt. Dit betekent dat deze sectorale voorwaarden buiten toepassing moeten worden gelaten. Om een oplossing te bieden voor de door voornoemd arrest gecreëerde rechtsonzekerheid heeft de Vlaamse overheid een validatiedecreet afgekondigd dat de sectorale milieuvoorwaarden voor windturbines alsnog geldig verklaarde voor een periode van 3 jaar. Dit decreet tot validering van de sectorale milieuvoorwaarden voor windturbines Is op 24 juli 2020 in werking getreden [38]. Op 14 oktober 2021

zijn door het Grondwettelijk Hof de vernietigingsberoepen verworpen die tegen het validatiedecreet waren ingediend [39].

Door het validatiedecreet is de Vlaamse Regering gelast met de opdracht om binnen een termijn van 3 jaar na de inwerkingtreding, en dus uiterlijk op 23 juli 2023, nieuwe landelijke sectorale milieuvoorwaarden voor windturbines vast te stellen en de daartoe vereiste plan-m.e.r. procedure te hebben doorlopen. In Vlaanderen speelt dus een vergelijkbare problematiek als in Nederland en wordt een vergelijkbare plan-m.e.r. procedure doorlopen. Door het validatiedecreet zijn in tegenstelling tot in Nederland de landelijke normen voor windparken echter nog wel steeds van toepassing, maar tot uiterlijk 23 juli 2023.

Wallonië

Op 13 februari 2014 had de Waalse regering sectorale voorwaarden aangenomen die gelden voor windparken met een totaal elektrisch vermogen gelijk aan of groter dan 0,5 MW [40].

Naar aanleiding van het zogenaamde D'Oultremont arrest van het Europese Hof van Justitie op 27 oktober 2016 heeft de Belgische Raad van State op 16 november 2017 voornoemde sectorale voorwaarden voor windparken vernietigd omdat ze niet waren onderworpen aan een voorafgaande strategische milieubeoordeling zoals vereist op grond van de Europese Richtlijn Strategische Milieubeoordeling [18]. Naar aanleiding van deze uitspraken heeft de Waalse overheid alsnog een strategische milieubeoordeling uitgevoerd [41] en op basis hiervan op 25 februari 2021 nieuwe sectorale voorwaarden vastgesteld [42].

2.4.2 Afstandsnorm

Vlaanderen

In Vlaanderen geldt geen afstandsnorm, met uitzondering van de situatie waarin op basis van het heersende achtergrondgeluid een geluidniveau boven de richtwaarde voor windturbinegeluid wordt toegestaan. In deze situatie geld dat de afstand van de windturbines tot woningen meer dan driemaal de rotordiameter moet bedragen [43].

Wallonië

In Wallonië geldt geen wettelijke afstandsnorm, maar er is wel een referentiekader voor de inpassing van windturbines dat een aanbeveling geeft voor afstanden tot woningen [44]. Dit kader heeft geen bindende of regulerende waarde, maar dient ter ondersteuning bij beslissingen op vergunningaanvragen voor windparken.

Voor windturbines met een vermogen van meer dan 1 MW wordt een afstand van viermaal de tiphoogte tot woongebieden aanbevolen. De afstand tot individuele woningen mag korter zijn met een minimum van 400 meter, indien de visuele effecten worden beperkt door hoogteverschillen en lokale visuele obstakels zoals vegetatie en maatregelen zoals schermwanden. Voor windturbines met een vermogen van 100 kW tot 1 MW geldt een minimumafstand van 350 meter tot woningen [44].

2.4.3 Geluidnorm

Vlaanderen

In Vlaanderen moet het specifieke geluid in open lucht van windturbines ter plaatse van het dichtstbijzijnde bewoonde gebouw van derden of het dichtstbijzijnde woongebied of woonuitbreidingsgebied worden beperkt tot de richtwaarden zoals samengevat in Tabel 6 of tot het achtergrondgeluid uitgedrukt in het statistische niveau L_{A95}[22] [43] [45]. Het specifieke geluid betreft het equivalente geluidniveau (L_{Aeq}) onder lichte meewindcondities uitgaande van het brongeluid van de windturbine bij 95% van het nominale vermogen. Bij 95% van het nominale vermogen komt het brongeluid over het algemeen overeen met de maximale geluidemissie van een windturbine. De geluidoverdracht van de windturbines naar de omgeving wordt berekend conform de internationale norm ISO 9613-2:1996.

[22] Dit betreft het A-gewogen geluidniveau dat 95% van de tijd wordt overschreden.

Tabel 6. Richtwaarden voor windturbinegeluid Vlaanderen [45].

	Richtwaarden voor het specifiek geluid in de open lucht in dB(A)		
Gebiedsbestemming	**Dag**	**Avond**	**Nacht**
Woongebieden, landelijke gebieden en gebieden voor verblijfrecreatie, en woongebieden of delen van woongebieden op minder dan 500 m gelegen van gebieden voor ambachtelijke bedrijven en kleine en middelgrote ondernemingen, van dienstverleningsgebieden of van ontginningsgebieden, tijdens de ontginning	44	39	39
Woongebieden of delen van woongebieden op minder dan 500 m gelegen van industriegebieden, agrarische gebieden en recreatiegebieden uitgezonderd gebieden voor verblijfsrecreatie	48	43	43
Gebieden of delen van gebieden, uitgezonderd woongebieden of delen van woongebieden, gelegen op minder dan 500 m van industriegebieden	50	45	45
Industriegebieden, dienstverleningsgebieden, gebieden voor gemeenschapsvoorzieningen en openbare nutsvoorzieningen en ontginningsgebieden tijdens de ontginning	60	55	55
Overige gebieden	44 – 55	39 – 50	39 – 50

Wallonië

De grenswaarden voor windturbinegeluid voor windparken in Wallonië met een vermogen groter dan 0,5 MW zijn vermeld in Tabel 7 [42]. Indien uit het akoestisch onderzoek na ingebruikname van het windpark blijkt dat het omgevingsgeluid, dat heerste op het meetpunt, de identificatie van het specifieke geluid van het windpark verhinderd en de oorsprong van dit omgevingsgeluid niet te herleiden was naar een ander windpark, wordt de inrichting geacht te voldoen aan de geluidsnormen.

Voor de beoordeling van het geluid wordt uitgegaan van de parameter $L_{Ar,part,1h}$. Dit is gedefinieerd als het A-gewogen equivalente geluidniveau over een periode van 1 uur van het specifieke geluid van de inrichting gecorrigeerd met een eventuele toeslag voor tonaal of impulsachtig geluid. Voor tonaal geluid wordt afhankelijk van de sterkte van het tonale karakter een toeslag van 2 tot 6 dB(A) toegepast [46]. De geluidoverdracht van de windturbines naar de omgeving wordt berekend conform de internationale norm ISO 9613-2:1996.

Tabel 7. Grenswaarden voor windturbinegeluid Wallonië, uitgedrukt in $L_{Ar,part,1h}$ [dB(A)] [47].

	Grenswaarde L_{Aeq} (dB (A))		
Gebiedstype	**Dag (7-19 uur)**	**Overgangsperiode (6-7 uur en 19-22 uur)**	**Nacht (22-6 uur)**
I. Woongebieden en woningen in plattelandsgebieden	45	43	43
II. Landbouw-, bos-, groen-, natuur- en parkgebieden	45	45	43
III. Alle zones, met inbegrip van de zones bedoeld in I en II, wanneer het meetpunt	55	50	45

Gebiedstype	Grenswaarde L_{Aeq} (dB (A)) Dag (7-19 uur)	Overgangsperiode (6-7 uur en 19-22 uur)	Nacht (22-6 uur)
zich op minder dan 500 m van de winningszone, winningsafhankelijkheden, industriële economische activiteit of specifieke economische activiteit, of minder dan 200 m van de gemengde economische activiteitzone bevindt, waarin het windpark volledig is gelegen			
IV. Recreatie, openbare dienstverlening en gemeenschapsvoorzieningen	55	50	45

2.4.4 Slagschaduwnorm

Vlaanderen

In Vlaanderen geldt voor alle relevante slagschaduwgevoelige objecten een grenswaarde van 8 uur effectieve slagschaduw per jaar en 30 minuten effectieve slagschaduw per dag, met uitzondering van slagschaduwgevoelige objecten in een industriegebied [43]. Voor laatstgenoemde objecten geldt een grenswaarde van 30 uur effectieve slagschaduw per jaar en 30 minuten effectieve slagschaduw per dag, met uitzondering van woningen. Voor woningen in industriegebied geldt dezelfde grenswaarde als woningen die elders zijn gelegen, dus ook 8 uur effectieve slagschaduw per jaar en 30 minuten effectieve slagschaduw per dag.

Een slagschaduwgevoelig object is gedefinieerd als een binnenruimte waar slagschaduw van windturbines hinder kan veroorzaken. Dit omvat naast woningen objecten zoals ziekenhuizen, rusthuizen, schoolgebouwen en kantoorgebouwen. Als zich binnen de contour van 4 uur verwachte slagschaduw per jaar een slagschaduwgevoelig object bevindt, dient de windturbine met een automatische stilstandsvoorziening te worden uitgerust.

Wallonië

In Wallonië geldt voor slagschaduwgevoelige zones een grenswaarde van 30 uur/jaar en 30 minuten per dag. Als de effecten uitgaande van de astronomisch maximaal mogelijke slagschaduw[23] deze grenswaarde dient de exploitant alle beschikbare middelen toe te passen om de slagschaduw te verminderen en de grenswaarde te respecteren [42].

Een slagschaduwgevoelige zone is gedefinieerd als een binnenruimte van een toegestaan gebouw waarin personen gewoonlijk verblijven of een regelmatige activiteit uitoefenen die hinder van slagschaduw kunnen ondervinden.

2.4.5 Onderzoeken en overwegingen die aan de normen ten grondslag liggen

Vlaanderen

Bij het ontwerp van de regelgeving voor geluid is uitgegaan van de basisprincipes van het Vlaams Reglement betreffende de Milieuvergunning (VLAREM). Daarbij werden de volgende uitgangspunten in acht genomen [48]:

- Er mag geen onaanvaardbare hinder optreden bij omwonenden.
- Er moet differentiatie zijn van de normering per gebiedsbestemming: de toegestane geluidniveaus op een industriegebied moeten hoger kunnen zijn dan deze in een woongebied.
- Het oorspronkelijke omgevingsgeluid moet meegewogen worden in de normering.

[23] Dit is de maximale slagschaduw die theoretisch kan optreden, uitgaande van zonneschijn gedurende daglichturen, windturbines die altijd in bedrijf zijn en rotorbladen die altijd loodrecht op de lijn van de zon naar de ontvanger staan.

De regelgeving voor slagschaduw is afgeleid van de Duitse richtlijn “Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen (WEA-Schattenwurf-Hinweise)” [14]. Hierbij is ook gekeken naar de regelgeving in andere landen waaronder Nederland. In eerste instantie werd voor alle slagschaduwgevoelige objecten in industriegebieden ook een grenswaarde van 8 uur per jaar gehanteerd [48]. Dit leidde echter tot veel stilstand voor turbines in industriegebieden, waarna de grenswaarde voor objecten in industriegebieden uitgezonderd woningen is bijgesteld tot 30 uur effectieve slagschaduw per jaar [43].

Wallonië

De geluidnormering zoals opgenomen in het door de Raad van State vernietigde besluit van 13 februari 2014 [40] is in het planMER vergeleken met de voorwaardelijke WHO-advieswaarde van 45 dB L_{den} [41]. Hieruit bleek dat de grenswaarde in woongebieden, plattelandsgebieden en in land- en bosbouwgebieden aan deze advieswaarde voldoet, maar dat de grenswaarde voor industriegebieden, recreatiegebieden en gemeenschapsvoorzieningen deze advieswaarde overschrijden. De grenswaarden zijn in het planMER ook vergeleken met de grenswaarden voor windturbinegeluid in andere landen.

In voornoemd besluit van 13 februari 2014 werd voor woongebieden in de zomerperiode voor de nachtperiode een 3 dB(A) strengere grenswaarde gehanteerd dan voor de rest van het jaar. Dit was ingevoerd zodat personen in zomerse omstandigheden met een open raam kunnen slapen. Een specifiek geluidsniveau van 43 dB(A) buiten heeft echter geen significant effect op de slaap in de slaapkamer, zelfs niet bij open ramen. In de praktijk zal waarschijnlijk de hinder groter zijn als de mensen ’s avonds buiten verblijven. Daarom is besloten om geen strengere grenswaarde voor de zomerperiode te hanteren maar voor de overgangsperiode van de nacht naar de dag (van 06.00 tot 07.00 uur) en voor de overgangsperiode van de avond naar de nacht (van 19.00 tot 22.00 uur) dezelfde grenswaarde te hanteren als voor de nachtperiode.

Laatstgenoemde aanpassing betreft de enige aanpassing van de grenswaarden voor het geluid ten opzichte van het vernietigde besluit van 13 februari 2014. De overschrijding van de voorwaardelijke WHO-advieswaarde voor industriegebieden, recreatiegebieden en gemeenschapsvoorzieningen werd gezien de beperkt hogere waarde in de nachtperiode aanvaardbaar geacht.

De normering voor slagschaduw in het vigerende besluit van 25 februari 2021 [42] is gelijk aan die in het vernietigde besluit van 13 februari 2014. In het planMER is beschreven dat deze normering overeenkomt met de aanbeveling van de Hoge Gezondheidsraad [41]. Ten opzichte van het besluit van 2014 is het toepassingsgebied van de schaduwgrenswaarden wel uitgebreid tot elke zone binnen een gebouw waarin een persoon gewoonlijk verblijft of een regelmatige activiteit uitvoert en wordt blootgesteld aan het effect van bewegende schaduwen.

2.5 Denemarken

2.5.1 Afstandsnorm

In Denemarken geldt een afstandsnorm tot woningen van minimaal viermaal de tiphoogte van de windturbine [49]. Deze afstand geldt niet voor de woning van de eigenaar van de windturbines en voor windturbines voor huishoudelijk gebruik in de onmiddellijke nabijheid van bestaande gebouwen met een hoogte van maximaal 25 meter. Deze afstandsnorm is in 1999 ingevoerd om visuele hinder door onder andere lichtschitteringen, slagschaduw en obstakelverlichting te voorkomen. Het wordt opgemerkt dat voor moderne windturbines lichtschitteringen nagenoeg zijn geëlimineerd door toepassing van niet reflecterende materialen of coatinglagen [50]. De afstandsnorm en de geluidnorm (zie §2.5.2) moeten beide worden nageleefd. In sommige gevallen kan het betekenen dat de windturbines op meer dan viermaal de tiphoogte van woningen moeten worden geplaatst om aan de geluidnormen te voldoen.

2.5.2 Geluidnorm

In Denemarken zijn de geluidnormen voor windturbines vastgelegd in ‘Bekendtgørelse om støj fra vindmøller’, het Uitvoeringsbesluit geluid windturbines [51]. Denemarken maakt qua normering onderscheid tussen woningen in stedelijke gebieden en woningen in een landelijke omgeving.

Op een hoogte van 1,5 meter is een beoordelingsniveau L_r toegestaan van ten hoogste:

- Op woningen in stedelijke gebieden, vakantiewoningen, etc.:
  - 37 dB(A) bij een windsnelheid van 6 m/s op 10 meter hoogte;
  - 39 dB(A) bij een windsnelheid van 8 m/s op 10 meter hoogte;
- Op woningen in een landelijke omgeving, op de hoogst belaste positie op minder dan 15 meter afstand van de naastgelegen woning:
  - 42 dB(A) bij een windsnelheid van 6 m/s op 10 meter hoogte;
  - 44 dB(A) bij een windsnelheid van 8 m/s op 10 meter hoogte.

Het beoordelingsniveau L_r (rating level) betreft het A-gewogen equivalente geluidniveau L_{Aeq} bij voornoemde windsnelheden plus een eventuele toeslag voor duidelijke hoorbare tonen. Bij een windsnelheid van 8 m/s op 10 meter hoogte is het brongeluid van een windturbine over het algemeen gelijk aan de maximale geluidproductie van de windturbine. Bij een windsnelheid van 6 m/s op 10 meter hoogte heeft een windturbine de maximale geluidproductie over het algemeen nog niet bereikt.

Aanvullend is een norm opgenomen voor laagfrequent geluid. Hiervoor wordt de parameter L_{pALF} gehanteerd, het A-gewogen laagfrequente geluidniveau voor het frequentiebied van de 10 t/m 160 Hz tertsbanden. Voor het laagfrequente geluidniveau L_{pALF} geldt een grenswaarde van 20 dB binnenshuis voor zowel woningen in een stedelijke als een landelijke omgeving bij een windsnelheid van 6 m/s en 8 m/s op 10 meter hoogte.

De geluidnormen gelden niet voor woningen van de eigenaren van de windturbines.

Voor eventuele tonale geluiden geldt afhankelijk van de sterkte van de toon een strafcorrectie van 0 tot en met 6 dB.

Denemarken heeft een eigen methode ontwikkeld voor de berekening van de overdracht van het geluid van de windturbines naar de omgeving, ook voor het laagfrequente deel van het windturbinegeluid. Deze methode is in het Uitvoeringsbesluit geluid windturbines [51] vastgelegd.

2.5.3 Slagschaduwnorm

In Denemarken is geen wettelijke norm voor slagschaduw vastgesteld, maar er is wel een landelijke richtlijn van maximaal 10 uur slagschaduw per jaar [50]. Dit betreft de slagschaduwduur rekening houdend met de wind- en zonneschijnstatistieken, dus het reële aantal uren slagschaduw. Over het algemeen wordt deze aanbeveling opgevolgd [52].

Als niet aan de 10 uur per jaar slagschaduw wordt voldaan dienen er maatregelen te worden getroffen om de berekende schaduwduur tot 10 uur per jaar te reduceren, zoals het stilzetten van de windturbine op potentiële slagschaduwmomenten.

De slagschaduw van windturbines wordt tot op de afstand beschouwd waarbinnen minimaal 20% van het zonne-oppervlak door het rotorblad van de windturbine wordt afgedekt. De slagschaduw bij een stand van de zon van minder dan 3° graden boven de horizon wordt in de berekeningen buiten beschouwing gelaten [50].

2.5.4 Onderzoeken en overwegingen die aan de normen ten grondslag liggen

In 1991 is voor het eerst een wettelijke geluidnorm voor windturbines vastgesteld [53]. Sinds 1991 is deze vier keer herzien, namelijk in 2006 [54], in 2011 [55], in 2015 [56] en in 2019 [51]. In 1991 gold een geluidnorm van 45 dB(A) voor woningen in het buitengebied en van 40 dB(A) voor woningen in stedelijke gebieden bij een windsnelheid van 8 m/s op 10 meter hoogte. Deze normstelling is destijds afgeleid uit de normering voor industriële inrichtingen, maar is hier door verschillen in de beoordelingsmethode niet direct mee te vergelijken [52]. In deze periode waren windturbines veelal ‘stall’ gereguleerd. De windturbines hadden rotorbladen met een vaste instelhoek ten opzichte van de as. Er gold een min of meer lineaire relatie tussen de windsnelheid en de geluidproductie van de turbine. Hiermee gaf een grenswaarde bij een windsnelheid van 8 m/s op 10 meter hoogte indirect ook een grenswaarde voor andere windsnelheden. Met de komst van de ‘pitch’ gereguleerde windturbines ontstond er een andere relatie tussen de windsnelheid en de geluidproductie. Om aan dezelfde geluidbescherming te kunnen blijven voldoen, is in 2006 ook een grenswaarde ingevoerd voor het geluid bij een windsnelheid van 6 m/s op 10 meter hoogte. Deze grenswaarde is

2 dB strenger dan bij 8 m/s [54]. Daarnaast is door een wijziging in de rekenmethodiek de grenswaarde met 1 dB verminderd naar 44 dB(A) bij 8 m/s voor woningen in een landelijke omgeving en 39 dB(A) bij 8 m/s voor woningen in stedelijke gebieden [57]. Het voorschrift is in 2006 ook geactualiseerd met geluidemissiemetingen gebaseerd op de internationale IEC 61400-11 norm.

In 2011 is de norm herzien naar aanleiding van publieke zorgen over laagfrequent geluid van windturbines. Er is toen een rekenmethode voor laagfrequent geluid geïntroduceerd en een grenswaarde voor laagfrequent geluid van 20 dB binnenshuis [55]. In de norm is voorgeschreven met welke geluidisolatie moet worden gerekend voor de bepaling van het laagfrequente binnenniveau [14]. Dit is gebaseerd op metingen aan 14 verschillende Deense woningen in het buitengebied en in dorpen, waarbij in totaal 26 verblijfsruimten zijn doorgemeten. Er is gekozen om in de berekeningen uit te gaan van een niveauverschil buiten-binnen de woning waaraan circa 67% van de woningen voldoet [58].

In 2015 is de enige wijziging de toevoeging van een artikel dat regelt dat de grenswaarden niet van toepassing zijn op tijdelijke woningen voor vluchtelingen als de gemeenteraad dispensatie of toestemming heeft verleend op grond van de Wet ruimtelijke ordening [56].

De gedachte achter een normering bij een windsnelheid van 8 m/s op 10 meter hoogte is dat bij hogere windsnelheden de geluidemissie van de windturbines gelijk blijft. In 2016 is nader onderzoek gedaan naar de relatie tussen de windsnelheid en de geluidemissie voor verschillende type windturbines. Hieruit blijkt dat de geluidemissie van windturbines als functie van de windsnelheid toeneemt tot een windsnelheid van circa 7 m/s op 10 meter hoogte. Bij hogere windsnelheden blijft de geluidemissie nagenoeg constant [59].

In 2019 is er een wijziging doorgevoerd met betrekking tot de toeslag voor tonaal geluid. De standaard 5 dB toeslag voor tonaal geluid is gewijzigd in een toeslag van 0 tot en met 6 dB afhankelijk van de mate van tonaliteit [51]. Deze methode correspondeert beter met de toename van hinder die wordt veroorzaakt door een toename in de sterkte van de tonaliteit. Ook zijn in 2019 voor de berekening van laagfrequent geluid aparte geluidisolatiewaarden voor vakantiewoningen opgenomen en is de berekeningsmethode voor windturbines op zee geactualiseerd.

Samenvattend is in 1991 de basis gelegd voor de huidige normering voor windturbinegeluid. Daarna zijn meerdere malen wijzigingen en aanvullingen doorgevoerd, laatstelijk in 2019. Met uitzondering van de aanpassing in 2015 heeft iedere revisie geleid tot een lichte verbetering van de bescherming voor omwonenden.

2.6 Duitsland – Beieren, Nedersaksen en Noordrijn-Westfalen

2.6.1 Afstandsnorm

Algemeen

In Duitsland is de basis voor de algemene afstandsnormen voor windturbines vastgesteld door toevoeging van artikel §249 (3) van het Baugesetzbuch (BauGB) (laatste wijziging 10 September 2021) [60]. Hierin staat vermeld dat de Duitse deelstaten zelf een minimale afstand mogen definiëren voor de plaatsing van windturbines. Een minimumafstand mag daarbij niet meer bedragen dan 1.000 meter vanaf het hart van de mastvoet van de turbine tot het dichtstbijzijnde gebouw met woonbestemming. Tabel 8 geeft een overzicht van het Duitse ‘Fachagentur Windenergie an Land’ van de afstandsadviezen per deelstaat in oktober 2021 [61].

Hierna wordt meer in detail ingegaan op de deelstaten Beieren, Nedersaksen en Noordrijn-Westfalen. Er is voor deze drie deelstaten gekozen, omdat Beieren in de publieke discussie vaak genoemd wordt en de deelstaten Nedersaksen en Noordrijn-Westfalen aan Nederland grenzen.

Tabel 8. Afstandsadviezen windturbines voor deelstaten Duitsland [61]

Deelstaat	Woongebieden	Individuele woongebouwen en gefragmenteerde woongebieden	Spa en klinieken	Campings	Commerciële en industriële gebieden	Toerisme/ vrijetijd/ recreatiegebieden	Beschermde natuur en cultuur gebieden
Baden-Württemberg	Beoordeling per geval	Beoordeling per geval	Beoordeling per geval	Beoordeling per geval	Beoordeling per geval	Beoordeling per geval	Beoordeling per geval
Beieren	10 H regeling*	10 H regeling	-	-	-	-	Beoordeling per geval
Brandenburg	Aanbeveling 1.000 m	Aanbeveling: 1.000 m, kleinere afstand is mogelijk	-	-	-	-	-
Bremen (Stad)	420 m (AW) / 620 m (W)**, meestal 450 m vanwege visueel beklemmend effect	250 m, echter meestal 450 m vanwege visueel beklemmend effect	Beoordeling per geval	Beoordeling per geval	Beoordeling per geval	Beoordeling per geval	Beoordeling per geval
Hamburg	500 m	300 m	-	-	-	-	-
Hessen	1.000 m	1.000 m, in enkele gevallen minder	1.000 m, in enkele gevallen meer	-	1.000 m, in enkele gevallen minder	-	Individuele gevallen per gebied
Mecklenburg-Voor-Pommeren	1.000 m	800 m	1000 m voor gezondheidszrg	-	-	1.000 m	Aanbeveling 1.000 m
Nedersaksen	2 H = 400 m als harde grens	2 H = 400 m als harde grens	-	2 H = 400 m als harde grens	-	-	-
Noordrijn-Westfalen	1.000 m	Beoordeling per geval, naleving immissiewaarde ‘TA Lärm’	Beoordeling per geval, naleving immissiewaarde ‘TA Lärm’	Beoordeling per geval	Beoordeling per geval, naleving immissiewaarde ‘TA Lärm’	Beoordeling per geval	Beoordeling per geval
Rijnland-Pals	1.000 m, WT > 200 m totaalhoogte: 1.100 m, i.g.v. ‘repowering’ in individuele gevallen een 10% kortere afstand	500 m	800 m	-	-	Min. 800 m, max. 6.000 m	Beoordeling per geval
Saarland	Beoordeling per geval, afhankelijk van type turbine	Beoordeling per geval	-	-	20 m, in de praktijk niet relevant	-	-
Saksen-Anhalt	1.000 m	Beoordeling per geval	1.200 tot 5.000 m	Minimaal 1.000 m, 10 x H	500 m	1.000 m, Beoordeling per geval	1.000 m, Beoordeling per geval

Deelstaat	Woongebieden	Individuele woongebouwen en gefragmenteerde woongebieden	Spa en klinieken	Campings	Commerciële en industriële gebieden	Toerisme/ vrijetijd/ recreatiegebieden	Beschermde natuur en cultuur gebieden
Sleeswijk-Holstein	800 m	400 m	-	800 m	400 m	-	Beoordeling per geval
Thüringen	WT < 150 m: 750 m, WT > 150 m: 1.000m	600m	-	-	-	-	Rennsteig beoordeling per geval
Bandbreedte	**400 tot 1.100 m, Beieren: 10 H, beoordeling per geval**	**300 tot 1.000 m, beoordeling per geval**	**800 tot 5.000 m**	**400 tot 1.000 m**	**20 tot 1.000 m, beoordeling per geval**	**400 tot 1.000 m, beoordeling per geval**	**300 tot 1.000 m, beoordeling per geval**

** De minimale afstand van 10 maal de tiphoogte (10H) conform § 35 Abs.1 Nr.5 BauGB. Een andere afstand is mogelijk in het kader van de gemeentelijke ruimtelijke ordening of indien de installatie een project vertegenwoordigt in de zin van § 35 lid 1 BauGB, zoals de energievoorziening voor een agrarisch bedrijf dient.*
*** AW = Algemeen woongebied, W= woongebieden puur bestaand uit woningen.*
**** WT = windturbine*

Beieren

In Beieren is in artikel 82 van de Beierse bouwverordening [62] als voorwaarde voor bouwplanningsrechten in de buitenruimte een minimumafstand voor windturbines vastgelegd van 10 maal de tiphoogte. Dit kan in de praktijk neerkomen op afstanden van meer dan 2.000 m. Binnen deze afstand zijn in Beieren windturbines in principe niet toegestaan.

Nedersaksen

In Nedersaksen wordt een vuistregel gehanteerd voor een minimaal in acht te nemen afstand tot woningen om een visueel beklemmend effect van de rotatiebewegingen van de rotorbladen te voorkomen. Deze op jurisprudentie (OVG Münster, arrest van 04.07.2018 – 8 A 47/17 -, Rn. 86) gebaseerde vuistregel luidt als volgt [63]:

- Als de afstand tussen een windturbine en een woning minder dan tweemaal de tiphoogte (2 H) bedraagt, zal dit voor de meeste projecten bij de woning tot visueel beklemmende effecten leiden.
- Als de afstand twee- tot driemaal de tiphoogte (2 H tot 3 H) bedraagt, is een gedetailleerd nader onderzoek naar de specifieke situatie nodig.
- Als de afstand tussen een windturbine en een woning minimaal driemaal de tiphoogte (3 H) bedraagt, leidt de beoordeling van de specifieke situatie over het algemeen tot de conclusie dat er geen sprake is van visueel beklemmende effecten. Er vindt dan in het algemeen geen nader onderzoek plaats.

Om deze reden wordt in Nedersaksen in het algemeen een minimale afstand van tweemaal de tiphoogte tot woningen aangehouden. Alleen indien uit nader onderzoek blijkt dat in de specifieke situatie geen sprake is van visueel beklemmende effecten kan hiervan worden afgeweken. Voor afstanden van minder dan driemaal de tiphoogte is altijd onderzoek nodig naar de specifieke situatie.

Noordrijn-Westfalen

In Noordrijn-Westfalen moet voor windturbines een afstand van 1.000 meter worden aangehouden tot woningen in gebieden met ontwikkelingsplannen (art. 30 Baugetzbuch, BauGB) en binnen de aangrenzende bebouwde wijken (art. 34 BauGB), mits woningen niet alleen in uitzonderlijke gevallen zijn toegestaan of binnen het toepassingsbied van de statuten volgens artikel 35 lid 6 van BauGB vallen [64]. Dit betekent dat de minimumafstand van 1000 meter niet geldt voor individuele woningen en gefragmenteerde woongebieden. Vergunningen die al vóór 15 juli 2021 ingediend of verleend waren vallen niet onder de voornoemde regeling.

2.6.2 Geluidnorm

Duitsland heeft geen specifieke geluidnormen voor windturbines, maar de wetgeving voor inrichtingen is ook op windturbines van toepassing. Voor windturbines gelden dus dezelfde geluideisen als voor inrichtingen. Deze geluideisen zijn vastgelegd in 'TA Lärm 1998' (Technische instructie voor bescherming tegen geluid) [65]. In Duitsland wordt het beoordelingsniveau L_r gebruikt[24]. Het beoordelingsniveau L_r (rating level) betreft het A-gewogen equivalente geluidniveau L_{Aeq} gecorrigeerd voor de gemiddelde meteocondities, voor tijden van de dag met een verhoogde gevoeligheid en met een eventuele toeslag voor tonaal of impulsachtig geluid. De richtwaarden die gelden voor verschillende typen gebieden met gevoelige objecten zijn weergegeven in Tabel 9 [65] [66].

Tabel 9. Grenswaarden voor windturbinegeluid in Duitsland per type gebied [65]

Type gebied	Grenswaarden beoordelingsniveau L_r [dB(A)] Duitsland	
	Dag (06:00-22:00 uur)	Nacht (22:00 – 06:00 uur)
Spa's, ziekenhuizen en verzorgingstehuizen	45	35
Pure woongebieden	50	35
Algemene woongebieden en kleinschalige landbouwgebieden	55	40
Dorpsgebieden, kerngebieden en gemengde gebieden	60	45
Stedelijke gebieden	63	45
Commerciële zones	65	50
Industriële zones	70	70

Voor tonaal geluid wordt een toeslag K_T van 3 of 6 dB toegepast, afhankelijk van de sterkte van de hoorbaarheid van de tonen. Laagfrequent geluid wordt bepaald en beoordeeld op basis van de Duitse norm DIN45680 [67] en het bijbehorende supplement [68].

De geluidoverdracht van de windturbines naar de omgeving wordt berekend conform de internationale norm ISO 9613-2:1996, met aanpassingen conform het zogenaamde Interimsverfahren [69].

2.6.3 Slagschaduwnorm

Duitsland heeft een uitgebreide richtlijn voor het berekenen en beoordelen van slagschaduw. Deze richtlijn "Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen (WEA-Schattenwurf-Hinweise)" (Richlijn voor het bepalen en beoordelen van de optische immissies van windturbines) [14] is in 2002 door de 'Länderausschuss für Immissionsschutz' uitgegeven en geactualiseerd in 2019 [70]. De richtlijn is sinds 2002 door vele deelstaten overgenomen en wordt algemeen toegepast op windturbines en windparken in Duitsland.

De slagschaduw van windturbines wordt tot op de afstand beschouwd waarbinnen minimaal 20% van het zonne-oppervlak door het rotorblad van de windturbine wordt afgedekt. Op grotere afstanden is de slagschaduw te diffuus om hinder te veroorzaken. Daarnaast wordt geen slagschaduw beoordeeld bij zonnehoeken lager dan 3° ten opzichte van de horizon. Bij een lagere stand van de zon is het zonlicht te zwak en wordt er veel zonlicht afgeschermd door vegetatie en gebouwen.

De volgende ruimtes worden volgens de Duitse richtlijn beschouwd als gevoelig:

- Woonkamers, inclusief lounges.
- Slaapkamers, inclusief slaapkamers in lodges, ziekenhuizen en sanatoria.
- Klaslokalen in scholen, universiteiten en vergelijkbare instituten

[24] Het beoordelingsniveau L_r is een equivalent, gecorrigeerd A-gewogen geluidniveau.

- Kantoren, laboratoria, werkplaatsen, trainingsruimten en vergelijkbare werkplekken

Buitenlocaties als terrassen en balkons naast gebouwen worden beschouwd als gevoelige gebieden tussen 06:00 uur en 22:00 uur.

Het middelpunt van de ramen wordt gebruikt als de beoordelingshoogte voor binnenruimtes. Buitenshuis is de beoordelingshoogte 2 meter.

In Duitsland wordt maximaal 30 uur per jaar en 30 minuten per dag slagschaduw toegestaan uitgaande van de astronomisch maximaal mogelijke situatie (worst-case uitgangspunt). Wanneer de windturbine is voorzien van een automatische stilstandsvoorziening die de windturbine afschakelt op momenten dat er slagschaduw wordt verwacht, is er maximaal 8 uur per jaar aan reële slagschaduw toegestaan. Hierbij wordt dan rekening houdend met de gemiddelde meteorologische omstandigheden betreffende wind en zonneschijn.

2.6.4 Onderzoeken en overwegingen die aan de normen ten grondslag liggen

Aan de afstandsnorm in Beieren ligt geen specifiek onderzoek ten grondslag [71]. In de toelichting [72] voor de vaststelling van de afstandsnorm van 10 maal de tiphoogte is beschreven dat de ontwikkelingen in de rotordiameter en de totale hoogte van windturbines invloed hebben op de acceptatie voor de bouw van windturbines onder de bevolking, met name in hun directe leefomgeving. Met deze ontwikkelingen kan in de wet voor de bescherming tegen immissies onvoldoende rekening worden gehouden, omdat de geluidoverlast door de nieuwere windturbines vergelijkbaar is ondanks hogere prestaties en de grotere hoogte. De wet beoogt een juist evenwicht te vinden tussen de betrokken publieke belangen zijnde de bevordering van hernieuwbare energie enerzijds en de bescherming van de natuur en het imago van het platteland en voor het visueel overweldigende effect anderzijds. De afstand van tienmaal de tiphoogte is aanzienlijk ruimer dan de minimale afstand van ten hoogste 1.000 meter die in artikel §249 (3) van het Baugesetzbuch is gesteld [60]. De wetgevende macht van staatswetgever om een minimumafstand te bepalen is echter niet onbeperkt. De federale basisbeslissing mag noch juridisch, noch feitelijk worden ondermijnd door een afstandsregeling bepaald op grond van de staatswet. De bepaling van de minimumafstand van tienmaal de tiphoogte in Beieren overschrijdt het in de federale wet vastgelegde ontwerpkader niet en is niet in strijd met de grondrechten van de Beierse grondwet [73]. De afstandsnorm van minimaal tienmaal de tiphoogte in Beieren is dus wettelijk toegestaan, ook al is deze ruimer dan de minimale afstand van ten hoogste 1.000 meter die in artikel §249 (3) van het Baugesetzbuch is gesteld. Uit een recent mediabericht blijkt wel dat de nieuwe minister van Economische Zaken en Klimaatbescherming Robert Habeck kritisch is over de afstandsnorm in Beieren [74]. Hij wil deze minimale afstand van tienmaal de tiphoogte in Beieren verwerpen. “*Habeck verwees in de “Neue Osnabrücker Zeitung” naar de bepaling in het regeerakkoord dat duurzame energie in de toekomst “in het algemeen belang” moet zijn. “Daar zijn ze bevoorrecht mee”, aldus de Groene politicus. “En in Beieren kan dat betekenen dat de zeer hoge voorgeschreven afstanden tussen windturbines en woonwijken ineffectief worden.”* [74]

De afstandsnorm in Nedersaksen is gebaseerd op jurisprudentie [63] en wordt gehanteerd om visueel beklemmende effecten te voorkomen. In Nedersaksen wordt in het algemeen een minimale afstand van tweemaal de tiphoogte tot woningen aangehouden. Alleen indien uit nader onderzoek blijkt dat in de specifieke situatie geen sprake is van visueel beklemmende effecten kan hiervan worden afgeweken. Voor afstanden van minder dan driemaal de tiphoogte is altijd onderzoek nodig naar de specifieke situatie. Bij de beoordeling van een specifieke situatie moet rekening worden gehouden met bijvoorbeeld de hoogte, rotordiameter en locatie van de windturbine, de locatie van verblijfsruimten en ramen in de richting van de turbine(s), de topografie, tussenliggende objecten en vegetatie, de visuele zonwering, de positie van de rotor rekening houdend met de overheersende windrichting, de kijkhoek, de belasting door bestaande turbines en dergelijke.

In de toelichting van artikel 30 van het Baugetzbuch van Noordrijn-Westfalen is vermeld dat de wet beoogt een juist evenwicht mogelijk te maken tussen de betrokken publieke belangen en zorgen, namelijk bevordering van hernieuwbare energie enerzijds en bescherming van natuur en landschap en voor visueel overweldigende effecten anderzijds [75].

De Duitse geluidnormen voor windturbines zijn conform de geluidnormen voor inrichtingen.

Aan de Duitse slagschaduwnorm van maximaal 30 uur per jaar en 30 minuten per dag astronomisch maximaal mogelijke slagschaduw liggen onderzoeken van Pohl et al. uit 1999 [12] en Pohl et al. uit 2000 [13] ten grondslag. In het onderzoek van 1999 is de correlatie tussen de slagschaduw en de hinderbeleving onderzocht en of de norm

afdoende bescherming biedt. Het onderzoek van Pohl et al. uit 2000 bevat onderzoek naar stressfactoren door slagschaduw uitgevoerd in een laboratorium met gebruik van proefpersonen.

De hoofdconclusie van het onderzoek van Pohl et al. van 1999 [12] is dat bij een gewogen slagschaduwduur – de astronomisch maximaal mogelijke slagschaduwduur gecorrigeerd voor het gewogen aantal belaste ruimten – van meer dan 15 uur per jaar de onderzochte personen zich ernstig gehinderd voelen. In het onderzoek zijn vier opties beschouwd om de hinder door slagschaduw te beperken:

1. Grenswaarde van 15 uur per jaar voor de astronomisch maximaal mogelijke slagschaduw.
2. Grenswaarde van 15 uur per jaar voor de astronomisch maximaal mogelijke slagschaduw, met dien verstande dat deze mag worden overschreden als de gewogen slagschaduw niet meer dan 15 uur per jaar bedraagt.
3. Grenswaarde van 30 uur per jaar voor de astronomisch maximaal mogelijke slagschaduw.
4. Grenswaarde van 30 uur per jaar voor de astronomisch maximaal mogelijke slagschaduw, met dien verstande dat deze mag worden overschreden als de gewogen slagschaduw niet meer dan 15 uur per jaar bedraagt.

In het onderzoek zijn de voor- en nadelen van voornoemde opties beschreven. Blijkens de grenswaarde van 30 uur per jaar astronomisch maximaal mogelijke slagschaduw is in de Duitse richtlijn voor optie 3 gekozen. Hierbij zullen de nadelen van optie 1 (zeer conservatieve grenswaarde), optie 2 (grotere onderzoeksbelasting) en optie 4 (grotere onderzoeksbelasting) een belangrijke rol hebben gespeeld. Het nadeel van optie 3 dat deze grenswaarde in een beperkt aantal gevallen mogelijk onvoldoende bescherming zou kunnen bieden is hierbij blijkbaar geaccepteerd. In de door Pohl et al. [12] onderzochte gevallen is dit laatste is dit echter niet voorgekomen.

Uit het onderzoek van 2000 van Pohl et al. [13] bleek dat in de eerste 20 minuten van blootstelling slagschaduw een fysieke (stress) reactie kan veroorzaken. Bij een langere blootstellingsduur compenseert het lichaam dit (gewenning). Deze compensatie kost energie en heeft op de langere termijn mogelijk een negatief effect. Op basis hiervan is gekozen voor een norm van maximaal 30 minuten per dag astronomisch maximaal mogelijke slagschaduw.

2.7 Frankrijk

2.7.1 Afstandsnorm

Frankrijk hanteert voor windturbines met een ashoogte van meer dan 50 meter een minimale afstand van 500 meter tot woningen en woongebieden [76].

2.7.2 Geluidnorm

Frankrijk heeft een specifieke wettelijke milieuregeling voor windturbines [77]. Deze is laatstelijk op 10 december 2021 gewijzigd en op 1 januari 2022 van kracht geworden. De gebruikte geluidsparameter is het equivalente geluidniveau (L_{Aeq}). De regeling geeft aan dat door de ontwikkeling van windturbines het geluidniveau bij woningen en andere geluidgevoelige objecten niet meer mag toenemen dan:

- Dagperiode (07.00 tot 22.00 uur): 5 dB(A) ten opzichte van het achtergrondniveau.
- Nachtperiode (22.00 tot 07.00 uur): 3 dB(A) ten opzichte van het achtergrondniveau.

Geluidniveaus van 35 dB(A) of lager zijn altijd toegestaan.

Aanvullend geldt de eis dat op een afstand van 1,2 maal de tiphoogte het geluidniveau niet hoger mag zijn dan 70 dB(A) in de dagperiode en 60 dB(A) in de nachtperiode.

Voor de beoordeling van het geluid wordt uitgegaan van de parameter $L_{50,10min}$ van de $L_{Aeq,1s}$ waarden [78]. Dat wil zeggen het equivalente geluidniveau per seconde dat in een tijdsinterval van 10 minuten meer dan 50% van de tijd wordt overschreden.

Eventuele tonale geluiden worden aanvaardbaar geacht zolang ze niet meer dan 30 % van de dag- en nachtperiode optreden.

2.7.3 Slagschaduwnorm

In de vigerende wettelijke milieuregeling voor windturbines [77] is opgenomen dat bij een windturbine op minder dan 250 meter van een kantoorgebouw door middel van een studie dient te worden aangetoond dat de slagschaduw op het gebouw niet meer bedraagt dan 30 uur per jaar en 30 minuten per dag. In de regeling zijn geen eisen opgenomen ten aanzien van slagschaduw op woningen.

2.7.4 Onderzoeken en overwegingen die aan de normen ten grondslag liggen

De beschreven normen voor afstand, geluid en slagschaduw zijn gelijk aan de normen in het oorspronkelijke besluit van 26 augustus 2011 [77]. Wel is de geluidnorm ten opzichte van 2011 iets aangescherpt in die zin dat kortstondige verhogingen van 1 tot 3 dB(A) niet langer zijn toegestaan.

2.8 Ierland

2.8.1 Herziening van regelgeving voor windturbines

De effecten van windturbines worden in Ierland sinds 2006 beoordeeld op basis van de Wind Energy Development Guidelines (2006) [79]. Sinds 2013 is Ierland bezig met de herziening van de richtlijnen voor windturbines [80]. In december 2019 is het ontwerp voor de nieuwe richtlijnen gepubliceerd [7]. Dit ontwerp is toen ter inzage gelegd voor inspraak. De inspraakprocedure heeft tot bijna 500 zienswijzen geleid waarvan vele zeer gedetailleerd en technisch van aard waren. Het bestuderen en analyseren van de vele inspraakreacties is tijdrovend geweest en het Ierse Ministerie van Milieu, Klimaat en Communicatie is nog bezig met de vaststelling van de definitieve richtlijn [81]. Op 15 maart 2022 was de herziene richtlijn nog niet gepubliceerd. Om deze reden is in de navolgende paragrafen zowel op de richtlijn uit 2006 als op het in 2019 gepubliceerde ontwerp van de nieuwe richtlijn ingegaan. Gezien de vele inspraakreacties en de lange verwerkingstermijn mag echter worden aangenomen dat de definitieve richtlijn relevant zal afwijken van het ontwerp.

2.8.2 Afstandsnorm

In de Wind Energy Development Guidelines (2006) [79] is geen afstandsnorm opgenomen, maar beschreven dat windturbinegeluid normaliter acceptabel is als de afstand tot geluidgevoelige objecten meer dan 500 meter bedraagt.

In de Draft Revised Wind Energy Development Guidelines van 2019 [7] is opgenomen dat de planningsautoriteiten en An Bord Pleanála[25] voor de beperking van de visuele impact bij de planontwikkeling en ontwikkelingsbeheerfuncties een afstand van tenminste viermaal de tiphoogte tussen windturbines en woningen met een minimum van 500 meter in acht moeten nemen. Er is echter een uitzondering mogelijk voor bestaande en vergunde woningen of andere gevoelige objecten als de eigenaren hiervan hiermee instemmen en dit schriftelijk bevestigen. In geval van kleinschalige windenergieontwikkelingen die de energie voornamelijk voor gebruik ter plaatse opwekken kan hiervan worden afgeweken. De planningsautoriteiten en An Bord Pleanála mogen voor de beperking van de visuele impact geen grotere afstand hanteren dan hiervoor beschreven.

2.8.3 Geluidnorm

In de thans vigerende Wind Energy Development Guidelines (2006) [79] is beschreven dat over het algemeen een grenswaarde van 45 dB(A) of een maximum toename van 5 dB(A) ten opzichte van het heersende achtergrondgeluid toepasselijk wordt geacht. In stille omgevingen waar een achtergrondgeluid van minder dan 30 dB(A) heerst wordt aanbevolen dat het dagniveau wordt beperkt tot een absoluut niveau van 35 tot 40 dB(A). Voor de nachtperiode wordt een grenswaarde van 43 dB(A) beschreven. Voor de beoordeling van het geluid wordt uitgegaan van de parameter $L_{A90,10\ min}$. Dit betreft het A-gewogen geluidniveau dat binnen een tijdsinterval van 10 minuten meer dan 90% van de tijd wordt overschreden.

[25] An Bord Pleanála is de Ierse onafhankelijke wettelijke instantie om beroepen op planning en andere zaken te beoordelen, evenals directe toepassingen voor strategische infrastructuur en andere ontwikkelingen.

In de Draft Revised Wind Energy Development Guidelines van 2019 [7] wordt een 'Relative Rated Noise Limit (RRNL)' geïntroduceerd, een grenswaarde die afhankelijk is van het heersende achtergrondniveau van het omgevingsgeluid. De RRNL-grenswaarde geeft aan dat het beoordelingsniveau ($L_{A\ rated,\ 10min}$) vanwege windenergieontwikkelingen rekening houdend met de cumulatie met andere bestaande of vergunde windenergieontwikkelingen niet meer mag bedragen dan:

- Het achtergrondniveau plus 5 dB(A) bij een beoordelingsniveau in de bandbreedte van 35 tot 43 dB(A).
- 35 dB(A) bij een achtergrondniveau van minder dan 30 dB(A).
- 43 dB(A) bij een achtergrondniveau van 38 dB(A) of meer.

Het achtergrondniveau betreft het niveau gemeten als $L_{90,10\ min}$ buiten bij de gespecificeerde geluidgevoelige locaties. Het beoordelingsniveau $L_{A\ rated,\ 10min}$ voor windturbines betreft het niveau gemeten als $L_{90,10\ min}$ buiten bij de gespecificeerde geluidgevoelige locaties plus eventuele toeslagen voor speciale hoorbare karakteristieken van het windturbinegeluid, zoals tonaal geluid en amplitudemodulatie met een modulatiediepte van 3 dB of meer.

Geluidgevoelige locaties kunnen woningen zijn met een belang bij de ontwikkeling van het windproject. In dergelijke gevallen kan de relatieve geluidgrenswaarde in overleg tussen alle betrokken partijen op de betreffende geluidgevoelige locaties worden verhoogd. Ook in deze gevallen dient het maximumniveau van 43 dB(A) echter te worden gerespecteerd.

Voor tonaal geluid geldt afhankelijk van de sterkte van het tonale karakter een toeslag van 3 tot 6 dB(A) zoals bepaald volgens ISO/PAS 20065:2016 methode. Voor overmatige amplitudemodulatie geldt afhankelijk van de modulatiediepte een toeslag van 3 tot 5 dB(A) bepaald volgens de IoA AMWG methode [82].

In de ontwerp-richtlijn van 2019 [7] is aangegeven dat het voor de modellering van het geluid van windturbines redelijk wordt geacht om de volgende conversiefactor te hanteren om het equivalente geluidniveau (L_{Aeq}) te converteren naar het L_{A90}-niveau: $L_{A90} = L_{Aeq} – 2$ dB.

Laagfrequent geluid wordt alleen gemeten als er klachten zijn ontvangen. Het wordt dan gemeten als $L_{90\ unweighted,10min}$[26] gedurende de nachtperiode in tertsbanden. De grenswaarde per tertsband voor laagfrequent geluid in een woning is weergegeven in Tabel 10. Voor de dagperiode wordt een 5 dB hoger niveau aanvaardbaar geacht.

Tabel 10. Grenswaarde per tertsband voor het ongewogen laagfrequente geluidniveau voor het binnen in een woning gemeten windturbinegeluid

Frequentie [Hz]	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160
Grenswaarde binnenshuis [dB]	92	87	83	74	64	56	49	43	42	40	38	36	34

In het prognoseonderzoek voor de ontwikkeling van windturbines wordt de geluidoverdracht van de windturbines naar de omgeving berekend conform de internationale norm ISO 9613-2:1996, waarbij de randvoorwaarden van de 'Good Practice Guide' van het Institute of Acoustics in acht worden genomen [83]. De controle op de naleving van de grenswaarden voor geluid vindt plaats door middel van geluidmetingen in de omgeving van de windturbines. Waar mogelijk zouden de locaties voor de controlemetingen overeen moeten komen met beoordelingslocaties ter hoogte van woningen of andere gevoelige objecten.

2.8.4 Slagschaduwnorm

In de thans vigerende Wind Energy Development Guidelines (2006) [79] is beschreven dat slagschaduw kan worden vermeden met een zorgvuldige locatiebepaling en ontwerp en het gebruik van relevante software. Het wordt aanbevolen ter plaatse van woningen en kantoren binnen 500 meter afstand van een windturbine niet meer slagschaduw toe te staan dan 30 uur per jaar en 30 minuten per dag. Op afstanden van meer dan tienmaal de rotordiameter van een windturbine is de potentie voor slagschaduw laag. Waar slagschaduw tot een probleem kan leiden zouden ontwikkelaars berekeningen moeten verrichten om het effect te kwantificeren en waar nodig

[26] Dit betreft het lineaire geluidniveau dat in een tijdsinterval van 10 minuten 90% van de tijd wordt overschreden.

maatregelen treffen om het effect te voorkomen of te beperkenzoals het op specifieke tijden stilzetten van een windturbine.

In de Draft Revised Wind Energy Development Guidelines van 2019 [7] is opgenomen dat aan alle vergunningen voor windturbines de voorwaarde moet worden verbonden dat er geen slagschaduw zal optreden bij bestaande nabijgelegen woningen of andere gevoelige objecten. De exploitant dient passende maatregelen te treffen om slagschaduw te voorkomen zoals het stilzetten van de windturbines op de momenten dat er slagschaduw zou kunnen optreden.

2.8.5 Onderzoeken en overwegingen die aan de normen ten grondslag liggen

De afstandsnorm van viermaal de tiphoogte tussen windturbines en woningen met een minimum van 500 meter is ingevoerd om de visuele impact van windturbines te beperken. De afstandsnormen zijn niet meer beargumenteerd vanuit geluidhinder, omdat het WHO in 2018 heeft vastgesteld dat er geen bewijs is voor een acceptabele uniforme afstand tussen windturbines en woongebied gezien het feit dat de overdracht van geluid van veel meer factoren afhangt dan alleen afstand. Vanwege de historische ontwikkelingen in Ierland en de nederzettingspatronen op het platteland zou de invoering van een grote niet geluidgerelateerde afstandsnorm zeer grote delen van land uitsluiten voor de ontwikkeling van windenergie dan wel zou de ontwikkeling van windenergie in hoogland- en natuurgebieden worden gestimuleerd die anderszins ongeschikt kunnen zijn voor de ontwikkeling van windenergie. Anderzijds kan een redelijke mate van scheiding tussen windturbines en gemeenschappen een doeltreffend instrument zijn om de windenergie ontwikkelingen in de reeds bestaande contexten te integreren gezien de met name in het afgelopen decennium toegenomen grootte van de windturbines [7].

Met de ‘Relative Rated Noise Limits’ zijn de volgende beperkingen aan windenergie ontwikkelingen opgelegd:

- Het beoordelingsniveau $L_{A\ rated,\ 10min}$ van windturbines is maximaal 5 dB(A) hoger dan het achtergrondniveau. Hier is voor gekozen omdat idealiter het windturbinegeluid niet hoger is dan het achtergrondniveau, maar een toename van 5 dB(A) ten opzichte van het achtergrondniveau internationaal een redelijk balans wordt geacht.
- Het beoordelingsniveau $L_{A\ rated,\ 10min}$ van windturbines bedraagt maximaal 43 dB(A). Hiermee wordt gewaarborgd dat het beoordelingsniveau voldoet aan de (voorwaardelijke) aanbeveling van de WHO.
- In het geval van een specifiek geluidkarakter zoals tonaal geluid of excessieve amplitudemodulatie wordt een strafcorrectie toegepast.
- Er is een specifieke grenswaarde voor laagfrequent geluid in woningen.

Er is voor gekozen om geen slagschaduw op woningen en andere gevoelige objecten toe te staan. De reden hiervoor is dat slagschaduw goed voorspelbaar is en moderne windturbines de mogelijkheid hebben om het zonlichtniveau te meten en om de windturbine stil te zetten op de momenten dat de condities dusdanig zijn dat er slagschaduw zou optreden. Met een zorgvuldig ontwerp en het gebruik van de juiste technieken en software zouden geen woningen en andere gevoelige objecten aan slagschaduw hoeven te worden blootgesteld.

2.9 Polen

2.9.1 Afstandsnorm

In Polen is in 2016 een minimale afstandsnorm van 10 maal de tiphoogte van een windturbine ingevoerd [84]. Deze afstand geldt tot woningen en gebouwen met een gedeeltelijke woonbestemming. De afstand moet ook voor beschermde natuurgebieden in acht worden genomen. De afstandsnorm is ingesteld vanuit het oogpunt van externe veiligheid. De afstand hoeft niet in acht te worden genomen bij de uitbreiding, renovatie of herbouw van woningen en gebouwen met een gedeeltelijke woonbestemming.

2.9.2 Geluidnorm

Polen kent geen specifieke geluidnormen voor windturbines, maar windturbines moeten in Polen aan de algemene geluidnormen voor inrichtingen voldoen. Het Ministerie van Milieu heeft in 2012 vastgesteld dat voor geluidbronnen in de categorie “overige faciliteiten en activiteiten” geluidnormen voor het equivalente geluidniveau gelden van $L_{Aeq,\ dag}$ van 45 tot 55 dB en $L_{Aeq,\ nacht}$ van 40 tot 45 dB [85]. Deze wet maakt onderscheid tussen de volgende gebiedstypen:

Tabel 11. Grenswaarden voor geluid voor inrichtingen in Polen [85]

Type gebied	$L_{Aeq, dag}$ (8 opeenvolgende uren)	$L_{Aeq, nacht}$ (per nachtelijk uur)
Ziekenhuis- en zorginstellingen buiten de stad	45	40
Gebieden voor eengezinswoningen, gebouwen voor permanent of tijdelijk verblijf van kinderen en jongeren, sociale verzorgingstehuizen en ziekenhuizen in steden	50	40
Gebieden voor meergezinswoningen en collectieve woningbouw, agrarische bedrijven, recreatiegebieden en woon- en verzorgingsgebieden	55	45
Gebieden in het centrum van steden met meer dan 100.000 inwoners	55	45

Bij een afstand van minimaal 10 maal de tiphoogte van een windturbine zal in de praktijk altijd aan voornoemde geluidnorm worden voldaan.

2.9.3 Slagschaduwnorm

Polen heeft geen wetgeving of richtlijnen met betrekking tot slagschaduw. Op een afstand van 10 maal de tiphoogte zal de slagschaduw echter nihil zijn.

2.9.4 Onderzoeken en overwegingen die aan de normen ten grondslag liggen

De afstandsnorm van 10 maal de tiphoogte is gebaseerd op de maximale worpafstand van een willekeurig object vanaf een windturbine zoals gepresenteerd in een opinieartikel van Professor Grzegorz Pojmański [86], een astronomiedocent aan de Universiteit van Warschau in Polen. Het artikel is voor zover bekend niet in een wetenschappelijk tijdschrift gepubliceerd of op een wetenschappelijk congres gepresenteerd. In de onderbouwing van de wet wordt genoemd dat voor de afstandsnorm tevens de beschikbare informatie over geluid, infrageluid, elektromagnetische straling, trillingen, slagschaduw en lichtschitteringen is geanalyseerd [84]. Hiervoor zijn echter geen bronnen gepresenteerd. Er wordt ook aangegeven dat het visuele aspect van belang is bij deze keuze voor de hoogte gerelateerde afstandsnorm.

In de risicoanalyse zoals beschreven in voornoemd opinieartikel beargumenteert Pojmański vanuit zijn model dat bij ijsvorming er stukken ijs van de rotorbladen geslingerd kunnen worden tot afstanden van meer dan 600 tot 700 meter. Ook haalt hij aan dat bij een brand na een blikseminslag tijdens een hevige storm het volgende kan gebeuren (vertaald vanuit het Pools): “Het is onmogelijk om de exacte grootte van de gevaarlijke zone te berekenen, maar als we deze afbeelding bekijken, kan worden aangenomen dat voor sommige brandende fragmenten de valhoek op de grond niet groter is dan 5 tot 10 graden, wat betekent dat ze een afstand kunnen afleggen in de orde van 10 maal de hoogte van de toren.”[27] Naast het opinieartikel van Professor Grzegorz Pojmański zijn bij de onderbouwing van het wetsartikel geen andere studies aangehaald.

[27] Voor de beoordeling van de externe veiligheid van windturbines is dit een ongebruikelijke benadering. Gewoonlijk wordt er gekeken naar de kans op een incident zoals het afbreken van een (deel van) een rotorblad, het breken van een mast of het vallen van de gondel of kleine onderdelen, naar de trefkans hiervan op een bepaalde afstand en wat hiervan de gevolgen voor personen en objecten kunnen zijn.

2.10 Verenigd Koninkrijk

2.10.1 Afstandsnorm

In het Verenigd Koninkrijk gelden geen nationale afstandsnormen voor windturbines.

2.10.2 Geluidnorm

In het Verenigd Koninkrijk wordt het geluid van windturbines beoordeeld op basis van het rapport 'The Assessment and Rating of Noise from Wind Farms', ETSU-R-97 van 1996 [9]. Voor de beoordeling van het geluid wordt uitgegaan van de geluidparameter $L_{A90,10\ min}$. Dit betreft het A-gewogen geluidniveau dat in een tijdsinterval van 10 minuten meer dan 90% van de tijd wordt overschreden. In het rapport is vermeld dat het $L_{A90,10\ min}$ niveau doorgaans 1,5 tot 2,5 dB(A) minder is dan het equivalente geluidniveau $L_{Aeq,10\ min}$.

De aanbevolen grenswaarden voor geluid ter plaatse van geluidgevoelige objecten zijn:
- Dagperiode (07.00 tot 23.00 uur): het heersende achtergrondniveau gedurende stille perioden plus 5 dB(A) met een ondergrens van 35 tot 40 dB(A) $L_{A90,10\ min}$. Bij de afweging welk niveau binnen deze bandbreedte wordt toegestaan wordt rekening gehouden met het aantal geluidbelaste gevoelige objecten, de invloed van geluidmaatregelen op de elektriciteitsproductie van het windpark en de duur en de hoogte van de blootstelling.
- Nachtperiode (23.00 tot 07.00 uur): het heersende achtergrondniveau plus 5 dB(A) met een ondergrens van 43 dB(A) $L_{A90,10\ min}$.

De grenswaarde voor de dagperiode is afgeleid van het achtergrondniveau gedurende stille perioden van de dag. Dit betreft alle avonden van 18.00 tot 23.00 uur, zaterdagmiddag van 13.00 tot 18.00 uur en de gehele zondag van 07.00 tot 18.00 uur.

In het rapport werd vastgesteld dat de ondergrens voor de nachtperiode hoger was dan de ondergrens voor de dagperiode. De verklaring hiervoor is dat in de nachtperiode de bescherming van de buitenruimte minder belangrijk wordt geacht en de nadruk ligt op het voorkomen van slaapverstoring.

Als het windturbinegeluid een tonaal karakter heeft wordt een toeslag van 5 dB(A) op het geluidniveau toegepast. Het Institute of Acoustics in het Verenigd Koninkrijk heeft een methode ontwikkeld om de amplitudemodulatie van windturbines te beoordelen [82] en WSP | Parsons Brinckerhoff heeft een voorstel uitgewerkt voor een toeslag die afhankelijk is van de modulatiediepte [87]. Deze methode en het toeslagschema zijn echter niet in nationale regelgeving vastgelegd en worden voor zover kon worden nagegaan niet algemeen toegepast.

De grenswaarde voor de dag- en nachtperiode kan worden verhoogd tot 45 dB(A) $L_{A90,10\ min}$ en de toegestane marge boven het achtergrondniveau kan worden verhoogd, als de gebruiker van het geluidgevoelige object financieel bij het windpark is betrokken.

In het prognoseonderzoek voor de ontwikkeling van windturbines wordt de geluidoverdracht van de windturbines naar de omgeving berekend conform de internationale norm ISO 9613-2:1996, waarbij de randvoorwaarden van de 'Good Practice Guide' van het Institute of Acoustics in acht worden genomen [83]. De controle op de naleving van de grenswaarden voor geluid vindt plaats door middel van geluidmetingen in de omgeving van de windturbines.

2.10.3 Slagschaduwnorm

Het Verenigd Koninkrijk kent geen wettelijke norm voor slagschaduw. Volgens de 'National Policy Statement for Renewable Energy Infrastructure' [88] moet er een slagschaduwonderzoek worden uitgevoerd als zich binnen een straal van tienmaal de rotordiameter van geplande windturbines gevoelige objecten bevinden. Er is beschreven dat moderne windturbines zijn voorzien van zodanige voorzieningen dat deze automatisch worden stilgezet op de momenten dat er slagschaduw kan optreden. Het betreffende document stelt geen grenswaarden voor de beoordeling van de aanvaardbaarheid van slagschaduw. Gewoonlijk wordt in onderzoeken in Engeland, Schotland en Wales aansluiting gezocht bij de in Duitsland gehanteerde normstelling:

- Maximaal 30 uur per jaar en 30 minuten per dag slagschaduw uitgaande van de astronomisch maximaal mogelijke situatie (worst-case uitgangspunt).

- Maximaal 8 uur per jaar reële slagschaduw als de windturbine is voorzien van een automatische stilstandsvoorziening die de windturbine afschakelt op momenten dat er slagschaduw wordt verwacht.

In Noord-Ierland wordt aanbevolen dat de slagschaduw op woningen en kantoren binnen een straal van 500 meter van de windturbines niet meer bedraagt dan 30 uur per jaar en 30 minuten per dag [89].

2.10.4 Onderzoeken en overwegingen die aan de normen ten grondslag liggen

In de dagperiode is gekozen voor een toename door het windturbinegeluid van maximaal 5 dB(A) ten opzichte van het heersende omgevingsgeluid, met een ondergrens van 35 tot 40 dB(A) $L_{A90,10\ min}$. Dit werd geacht een redelijke bescherming tegen windturbinegeluid te bieden zonder onredelijke beperkingen aan de ontwikkeling van windenergieprojecten op te leggen. Dit werd in vergelijking met in het buitenland gehanteerde normen een relatief strenge eis geacht, maar nodig geacht om de stille landelijke gebieden afdoende te beschermen [9].

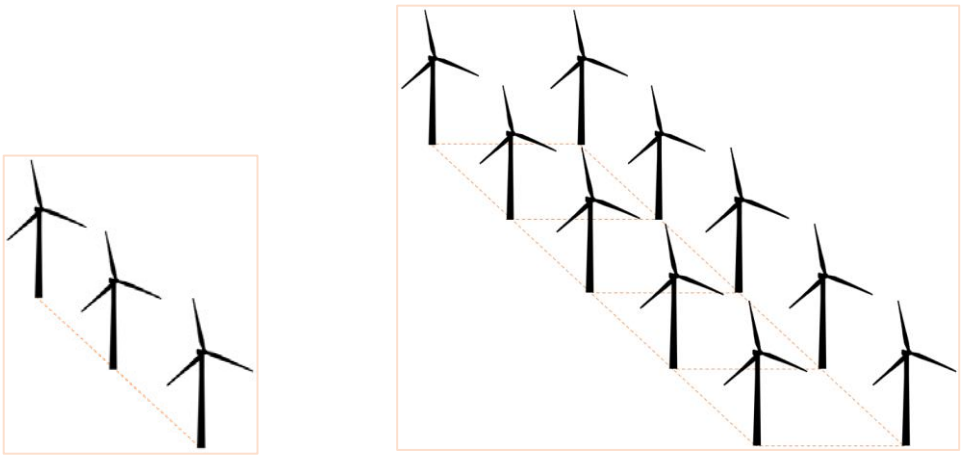
In de nachtperiode is een ondergrens van 43 dB(A) $L_{A90,10\ min}$ gehanteerd. Dit is gebaseerd op een WHO-richtlijn uit 1980 [90] waarin voor de nachtperiode een equivalent geluidniveau (L_{Aeq}) van 35 dB(A) binnenshuis wordt aanbevolen om slaapverstoring te voorkomen. Uitgaande van een gevelwering van 10 dB(A) bij open ramen werd buitenshuis een equivalent geluidniveau van 45 dB(A) aanvaardbaar geacht, overeenkomend met een niveau van circa 43 dB(A) $L_{A90,10\ min}$,

3 Geluidbelasting op verschillende afstanden tot windparken

3.1 Uitgangspunten en relevante factoren bepaling geluidbelasting

Om de geluidbelasting op verschillende afstanden tot een windpark in beeld te brengen zijn twee fictieve windparken gemodelleerd. Hierbij is uitgegaan van de varianten zoals weergeven in onderstaande afbeelding:

- Een lijnopstelling van drie windturbines.
- Een dubbele lijnopstelling van tweemaal vijf windturbines.



Afbeelding 11. Uitgangspunt opstellingsvarianten van windturbines

Voor beide opstellingen is uitgegaan van windturbines met een onderlinge tussenafstand van viermaal de rotordiameter. Dit is een vrij gebruikelijke afstand om het verlies door de zogeffecten van de windturbines te beperken.

De berekeningen zijn verricht voor drie klassen windturbines, te weten 2 MW, 4 MW en 6 MW. De klasse 2 MW is het meest representatief voor turbines die tot enkele jaren geleden zijn geplaatst, de klasse 4 MW is het meest representatief voor turbines die heden ten dage worden geplaatst en de klasse 6 MW voor turbines die de komende jaren worden geplaatst.

Naast de omvang en de lay-out van een windpark, zijn er vele andere factoren die bepalen welke geluidbelasting er op een bepaalde afstand van windturbines optreedt. De belangrijkste zijn:

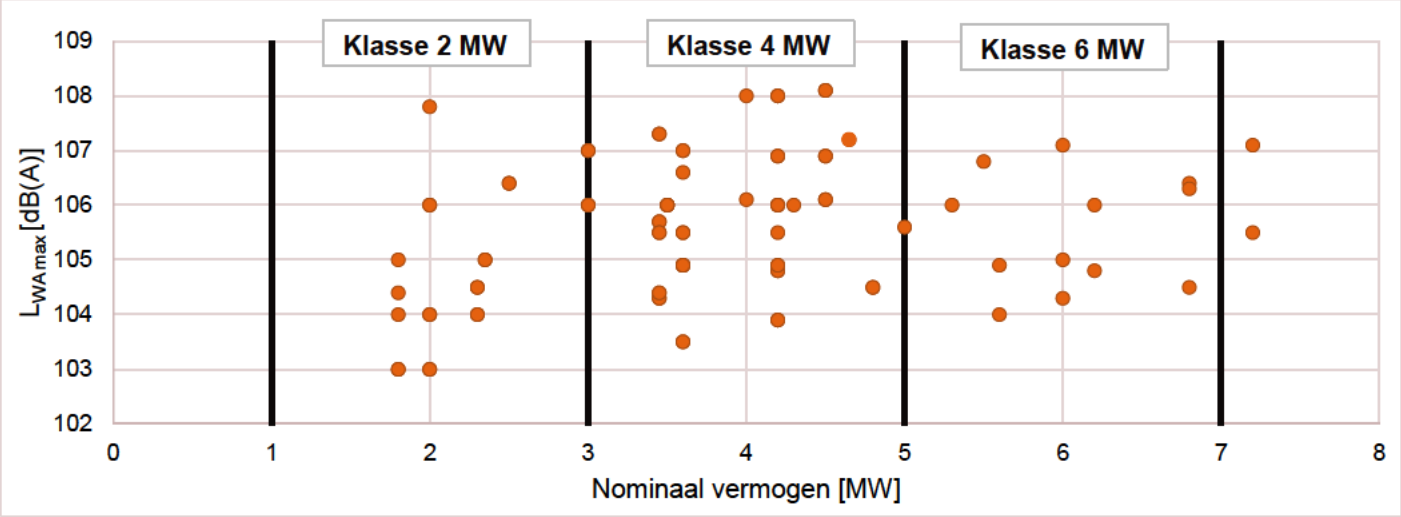
- **Het precieze type turbine.**
  Binnen een windturbineklasse treden relevante verschillen op in het maximale bronvermogen. De bandbreedte in maximale bronvermogens is weergegeven in Tabel 12. Deze bandbreedte is gebaseerd op het maximale bronvermogen van 55 typen windturbines van verschillende fabrikanten met een nominaal vermogen van 1,8 MW t/m 7,2 MW zoals weergegeven in Afbeelding 12. Deze bandbreedte is in goede overeenstemming met een eerdere analyse van Nieuwenhuizen [91]. Er kunnen specifieke turbinetypes zijn die buiten deze bandbreedte vallen, maar het merendeel van de windturbines zal een bronvermogen binnen deze bandbreedte hebben. Tabel 12 en Afbeelding 12 laten zien dat windturbines uit de 4 MW en 6 MW klasse een vergelijkbaar bronvermogen hebben als windturbines uit de 2 MW klasse. Het is opvallend dat de bandbreedte in het bronvermogen voor de 6 MW klasse kleiner is dan voor de 2 MW klasse. Dat zou kunnen komen doordat voor deze klasse nog niet zoveel turbinetypes beschikbaar zijn.
- **Het van de locatie en ashoogte afhankelijke windklimaat.**
  Het windklimaat speelt een relevante rol in de bepaling van de geluidbelasting. De geluidbelasting L_{den} is namelijk een gewogen jaargemiddelde beoordelingsmaat. Dat betekent dat de geluidbelasting hoger is naarmate er gemiddeld meer wind is. Naarmate de ashoogte groter is, heerst er meer wind en is de jaargemiddelde geluidbelasting vanwege een windturbine hoger. In het noordwesten van Nederland heerst gemiddeld een hogere windsnelheid dan in het midden van Nederland. In het zuidoosten van Nederland heerst gemiddeld juist een lagere windsnelheid. In Afbeelding 13 is voor de drie in bijlage 1 beschreven typen windturbines en ashoogtes de gewogen jaargemiddelde geluidemissie $L_{E\ den}$ weergegeven voor een windpark in het midden, zuidoosten en

noordwesten van Nederland. Dit laat zien dat in het noordwesten van Nederland met relatief veel wind de gewogen jaargemiddelde geluidemissie $L_{E\ den}$ 0,3 dB hoger uitvalt dan in het midden van Nederland. In het zuidoosten van Nederland met relatief weinig wind valt de gewogen jaargemiddelde geluidemissie $L_{E\ den}$ 0,5 tot 0,8 dB lager uit dan in het midden van Nederland.
De invloed van het windklimaat op de geluidbelasting verschilt per type windturbine en is afhankelijk van de precieze ashoogte. In Tabel 12 is de jaargemiddelde geluidemissie in L_{den} weergegeven voor een windpark in het midden, zuidoosten en noordwesten van Nederland. Dit laat zien dat in het noordwesten van Nederland met relatief veel wind de jaargemiddelde geluidemissie in L_{den} 1 tot 3 dB(A) hoger kan uitvallen dan in het zuidoosten van Nederland met relatief weinig wind. Het laat ook zien dat de spreiding in de jaargemiddelde geluidemissie in L_{den} voor de klassen 2 MW en 4 MW turbines beduidend groter is dan de spreiding in het maximale bronvermogen L_{WA}. Dit komt doordat het per turbinetype verschilt hoe het bronvermogen van de windturbine als functie van de windsnelheid toeneemt. Voor de klasse 6 MW turbines is de spreiding in de jaargemiddelde geluidemissie in L_{den} vergelijkbaar met de spreiding in het maximale bronvermogen L_{WA}. In de tabel is nog geen rekening gehouden met de verschillen in ashoogte binnen een turbineklasse. In de praktijk kan de spreiding dus nog iets groter zijn.

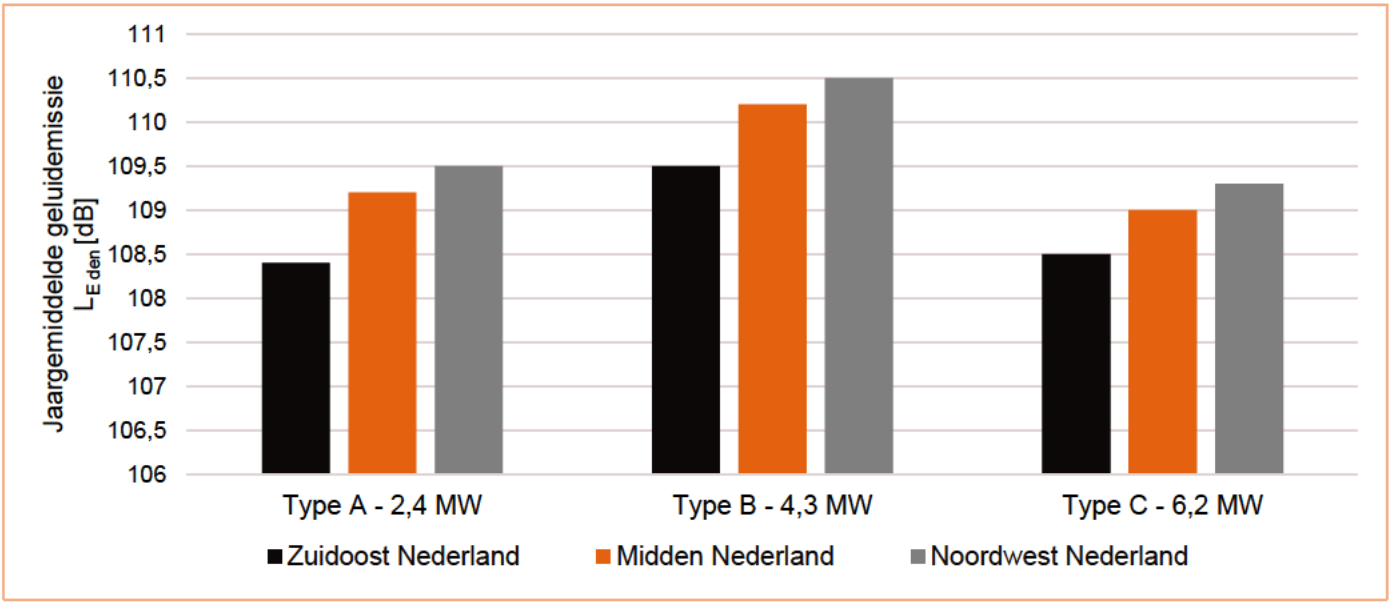
- **Het geluidspectrum.**
  Het geluidspectrum verschilt per type windturbine. De bandbreedte in de geluidspectra van de beschouwde klassen windturbines is niet onderzocht. In de berekeningen is uitgegaan van het geluidspectrum van één willekeurig gekozen type windturbine per turbineklasse. Deze geluidspectra zijn weergegeven in Afbeelding 14.
- **Het type bodemgebied.**
  Voor een windpark in een landelijke omgeving is over het algemeen sprake van een overwegend absorberend bodemgebied zoals grasland, landbouwgronden en bossen. Voor windturbines in een bebouwde omgeving zoals op een industrieterrein met veel verharde terreinen of voor windturbines nabij een groot watervlak is vaak sprake van een overwegend reflecterend bodemgebied. Vanwege de hoogte van de geluidbron is het effect van het type bodem echter beperkt. Dit is te zien in Tabel 13 waar het verschil in geluidbelasting tussen een windpark in een omgeving met een overwegend reflecterend bodemgebied (bodemfactor 0,2) is weergegeven ten opzichte van de geluidbelasting voor een overwegend absorberend bodemgebied (bodemfactor 0,8).
- **De oriëntatie ten opzichte van het windpark.**
  Onder meewindcondities (d.w.z. voor wind van de windturbines naar de ontvanger) wordt het geluid beter overgedragen dan onder tegenwindcondities. Op korte afstanden is dit effect vanwege de grote bronhoogte van windturbines verwaarloosbaar, maar op grote afstanden speelt dit een relevante rol. Vanwege de in Nederland overheersende zuidwestelijke windrichting wordt daarom in noordoostelijke richting een hogere jaargemiddelde geluidbelasting berekend dan in zuidwestelijke richting. Dit effect is ook zichtbaar in de geluidcontouren zoals weergegeven in Afbeelding 15.

Tabel 12. Bandbreedte van maximaal bronvermogen en gewogen jaargemiddelde geluidemissie per klasse windturbine

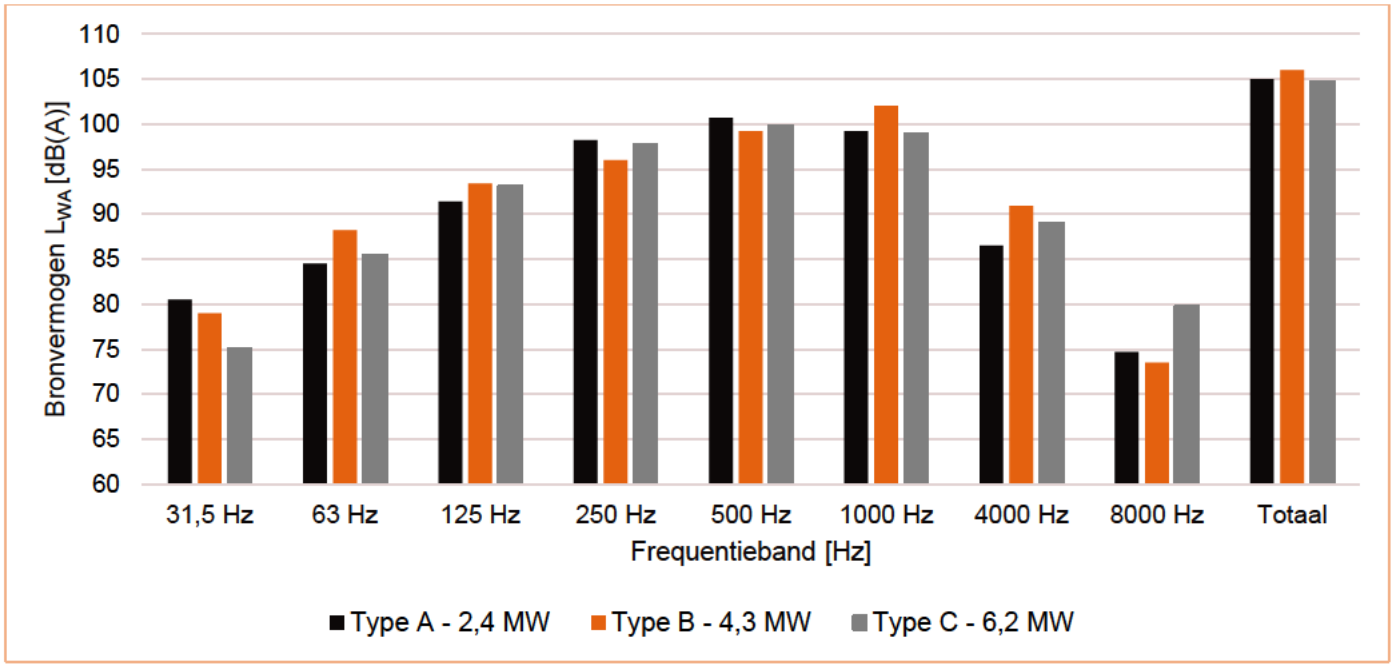
Klasse turbine	Maximaal bronvermogen L_{WA} [dB(A)]	Gewogen jaargemiddelde geluidemissie $L_{E\ den}$ [dB]		
		Midden Nederland	Zuidoost Nederland	Noordwest Nederland
2 MW	Circa 103 – 108	Circa 104 – 111	Circa 103 – 110	Circa 105 – 112
4 MW	Circa 104 – 108	Circa 107 – 111	Circa 105 – 109	Circa 108 – 112
6 MW	Ongeveer 104 – 107	Circa 108 – 111	Circa 108 – 110	Circa 109 – 111



Afbeelding 12. Overzicht van maximaal bronvermogen $L_{WA\,max}$ [dB(A)] van 55 typen windturbines van verschillende fabrikanten met een vermogen van 1,8 MW tot 7,2 MW



Afbeelding 13. Gewogen jaargemiddelde geluidemissie $L_{E\,den}$ voor een windpark in het midden, zuidoosten en noordwesten van Nederland voor drie specifieke typen windturbines

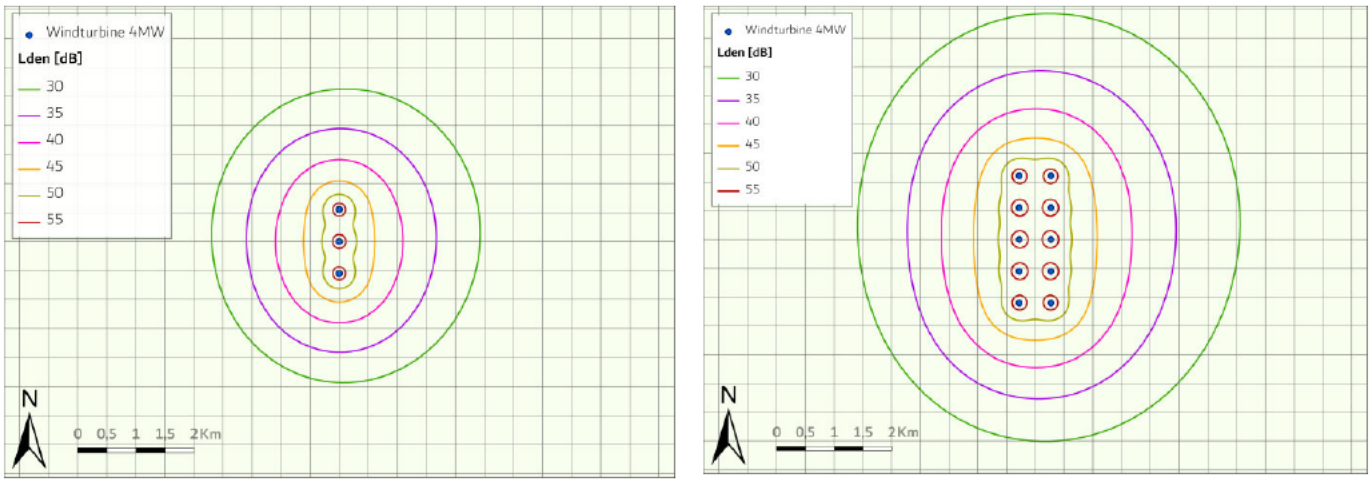


Afbeelding 14. Maximaal bronvermogen L_{WA} per frequentieband voor drie specifieke typen windturbines

Tabel 13. Verschil in geluidbelasting uitgaande van overwegend reflecterend bodemgebied (bodemfactor 0,2) ten opzichte van de geluidbelasting voor een overwegend absorberend bodemgebied (bodemfactor 0,8)

	Klasse 2 MW	Klasse 4 MW	Klasse 6 MW
Verschil in geluidbelasting L_{den} t.o.v. een overwegend absorberend bodemgebied (bodemfactor 0,8)	+1,3 tot 1,4 dB(A)	+1,3 dB(A)	+1,4 tot 1,5 dB(A)

In eerste instantie zijn berekeningen verricht voor één specifieke windturbine per klasse. De hiervoor gehanteerde uitgangspunten, berekeningsmethode en de resultaten voor deze specifieke windturbines zijn beschreven in bijlage 1. Om een beeld te geven van de geluidcontouren en de invloed van gezamenlijke effecten zijn in Afbeelding 15 de geluidcontouren weergegeven voor de twee opstellingsvarianten uitgaande van de in bijlage 1 beschreven specifieke windturbine in de 4 MW klasse.



Afbeelding 15. L_{den} geluidcontouren voor een lijnopstelling van drie 4 MW windturbines en voor een dubbele lijnopstelling van tweemaal vijf 4 MW windturbines in midden Nederland

In de berekeningen zijn de in Tabel 14 vermelde as- en tiphoogtes gehanteerd. Voor de 2 MW klasse windturbines zijn de kleinste as- en tiphoogtes gehanteerd, voor de 6 MW klasse de grootste as- en tiphoogtes en voor de 4 MW klasse tussenliggende as- en tiphoogtes. Over het algemeen hebben windturbines namelijk een grotere ashoogte en rotordiameter, en dus ook tiphoogte, naarmate het vermogen groter is. Er is echter voor alle windturbineklassen een bandbreedte qua ashoogtes en rotordiameters mogelijk. Zo is er bijvoorbeeld ook een 2 MW klasse turbine beschikbaar met een ashoogte van 149 meter. In Tabel 14 is ook een overzicht van opgenomen van de aan as- en tiphoogten gerelateerde beoordelingsafstanden.

Tabel 14. Uitgangspunten as- en tiphoogte per turbineklasse en overzicht van aan as- en tiphoogten gerelateerde beoordelingsafstanden

Klasse windturbine	Ashoogte [m]	Tiphoogte [m]	Afstand van 4 x ashoogte [m]	Afstand van 4 x tiphoogte [m]	Afstand van 10 x ashoogte [m]	Afstand van 10 x tiphoogte [m]
2 MW	91	149,5	364	598	910	1.495
4 MW	131	200	524	800	1.310	2.000
6 MW	166	247	664	988	1.660	2.470

Om een beeld te krijgen van de geluidbelasting die op verschillende afstanden tot een windpark kan optreden zijn de resultaten voor de specifieke typen windturbines zoals beschreven in bijlage 1 omgerekend naar de bandbreedte in geluidbelasting voor de beschouwde klassen windturbines en beschreven in paragraaf 3.2. Dit betekent dat de resultaten voor de specifieke typen windturbines zijn aangepast aan de meest gunstige en ongunstige omstandigheden en uitgangspunten zoals hiervoor beschreven.

Concreet is de geluidbelasting bepaald rekening houdend met:
- Het laagste c.q. hoogste geluidvermogen binnen een windturbineklasse zoals weergegeven in Tabel 12. Hierbij is ook rekening gehouden met de verschillen in windklimaat tussen het zuidoosten en noordwesten van Nederland.
- Een overwegend absorberend bodemgebied zoals grasland c.q. een overwegend reflecterend bodemgebied zoals een industrieterrein (zie Tabel 13).
- Alle richtingen ten opzichte van het windpark.

3.2 Bandbreedte in geluidbelasting op verschillende afstanden tot een windpark

Voor een lijnopstelling van drie windturbines zijn de resultaten voor de geluidbelasting L_{den} en het equivalente geluidniveau bij maximale geluidproductie van de windturbines $L_{Aeq\ max}$ samengevat in Tabel 15. Hierbij is uitgegaan van de maximale bronvermogens en de jaargemiddelde geluidemissies zoals vermeld in Tabel 12. Er is geen rekening gehouden met eventuele geluidreducerende maatregelen in de vorm van zogenaamde ‘noise modes’ of stilstand. Uit Tabel 15 blijkt dat per windturbineklasse op een bepaalde afstand tot het windpark een spreiding van maar liefst 7 tot 14 dB in de geluidbelasting L_{den} optreedt. Dit komt deels door de verschillen in windklimaat en in de mate van reflectie van de bodem, maar met name door de bandbreedte van bronvermogens binnen de windturbineklassen. De verschillen in bronvermogen tussen windturbineklassen zijn kleiner dan de spreiding in het bronvermogen binnen een bepaalde windturbineklasse. Het equivalente geluidniveau bij maximale geluidproductie op een bepaalde afstand tot het windpark laat een spreiding 7 tot 11 dB(A) zien. Als er voor een specifieke windturbine een toeslag voor tonaal geluid zou moeten worden toegepast zou de geluidbelasting 5 dB hoger kunnen uitvallen.

Voor een dubbele lijnopstelling van tweemaal vijf windturbines zijn de resultaten voor de geluidbelasting L_{den} en het equivalente geluidniveau bij maximale geluidproductie van de windturbines $L_{Aeq\ max}$ samengevat in Tabel 16. Hieruit blijkt dat per windturbineklasse op een bepaalde afstand tot het windpark een spreiding van maar liefst 7 tot 15 dB in de geluidbelasting in L_{den} optreedt. Ook hier komt dit deels door de verschillen in windklimaat en in de mate van reflectie van de bodem, maar met name door de bandbreedte van bronvermogens binnen de windturbineklassen. De verschillen in bronvermogen tussen windturbineklassen zijn kleiner dan de spreiding in het bronvermogen binnen een bepaalde windturbineklasse. Het equivalente geluidniveau bij maximale geluidproductie op een bepaalde afstand tot het windpark laat een spreiding 8 tot 12 dB(A) zien.

Het is opvallend dat op een afstand die gerelateerd is aan de as- of tiphoogte de hoogste geluidbelasting vanwege de 6 MW klasse windturbine 6 tot 7 dB lager is dan voor de 2 MW klasse windturbine. Dit komt doordat het geen vaste

afstanden zijn. Bij grotere windturbines gaat het om (veel) grotere afstanden (vanwege de grotere as- en tiphoogtes) dan voor de kleinere turbines terwijl ze niet per se meer geluid produceren. Als voor de 2 MW turbines van een grotere as- en tiphoogte zou worden uitgegaan zou het verschil kleiner zijn. De geluidbelasting op vaste afstanden tot het windpark geeft een beter beeld van de verschillen in geluidbelasting tussen verschillende klassen windturbines. Dit laat zien dat de verschillen tussen de verschillende klassen kleiner zijn dan de verschillen binnen een turbineklasse.

Tabel 15. Geluidbelasting L_{den} en het equivalente geluidniveau bij maximale geluidproductie van de windturbines $L_{Aeq\ max}$ als functie van de afstand tot een windpark van drie windturbines in een lijnopstelling met een tussenafstand van viermaal de rotordiameter

Afstand	Bandbreedte in geluidbelasting L_{den} en het equivalente geluidniveau L_{Aeq} bij maximale geluidproductie voor de beschouwde klassen windturbines					
	Klasse 2 MW		Klasse 4 MW		Klasse 6 MW	
	L_{den} [dB]	$L_{Aeq\ max}$ [dB(A)]	L_{den} [dB]	$L_{Aeq\ max}$ [dB(A)]	L_{den} [dB]	$L_{Aeq\ max}$ [dB(A)]
300	43 – 56	42 – 52	46 – 55	43 – 52	46 – 53	42 – 49
400	41 – 53	39 – 49	43 – 53	40 – 50	44 – 51	40 – 47
500	39 – 51	37 – 47	42 – 51	38 – 48	42 – 50	38 – 46
750	35 – 48	34 – 44	38 – 48	35 – 44	39 – 46	34 – 42
1.000	32 – 45	31 – 41	35 – 45	32 – 41	36 – 44	32 – 40
1.500	26 – 40	25 – 36	30 – 40	27 – 37	32 – 40	28 – 36
2.000	22 – 36	21 – 32	26 – 36	23 – 33	28 – 36	24 – 32
4 x ashoogte[1)]	41 – 54	40 – 50	41 – 51	38 – 47	40 – 47	36 – 43
4 x tiphoogte[2)]	37 – 50	36 – 46	37 – 47	34 – 44	36 – 44	32 – 40
10 x ashoogte[3)]	33 – 46	32 – 42	32 – 42	29 – 39	31 – 39	27 – 35
10 x tiphoogte[4)]	26 – 40	25 – 36	26 – 36	23 – 33	25 – 33	21 – 29

[1)] Uitgaande van een ashoogte van 91, 131 en 166 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 364, 524 en 664 meter.
[2)] Uitgaande van een tiphoogte van 149,5, 200 en 247 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 598, 800 en 988 meter.
[3)] Uitgaande van een ashoogte van 91, 131 en 166 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 910, 1.310 en 1.660 meter.
[4)] Uitgaande van een tiphoogte van 149,5, 200 en 247 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 1.495, 2.000 en 2.470 meter.

Tabel 16. Geluidbelasting L_{den} en het equivalente geluidniveau bij maximale geluidproductie van de windturbines $L_{Aeq\ max}$ als functie van de afstand tot een windpark in een dubbele lijnopstelling van tweemaal vijf windturbines met een tussenafstand van viermaal de rotordiameter

Afstand	Bandbreedte in geluidbelasting L_{den} en het equivalente geluidniveau L_{Aeq} bij maximale geluidproductie voor de beschouwde klassen windturbines					
	Klasse 2 MW		Klasse 4 MW		Klasse 6 MW	
	L_{den} [dB]	$L_{Aeq\ max}$ [dB(A)]	L_{den} [dB]	$L_{Aeq\ max}$ [dB(A)]	L_{den} [dB]	$L_{Aeq\ max}$ [dB(A)]
300	44 – 57	43 – 53	47 – 56	43 – 53	47 – 54	43 – 50
400	42 – 55	41 – 51	45 – 54	41 – 51	45 – 53	41 – 49
500	40 – 53	39 – 49	43 – 53	40 – 49	43 – 51	39 – 47
750	37 – 50	36 – 46	40 – 50	37 – 46	40 – 48	36 – 44
1.000	34 – 47	32 – 44	37 – 47	34 – 44	38 – 46	34 – 42
1.500	29 – 43	27 – 39	32 – 43	29 – 40	34 – 42	30 – 38
2.000	25 – 40	24 – 36	28 – 40	25 – 37	30 – 39	26 – 35
4 x ashoogte[1)]	43 – 55	41 – 51	43 – 52	39 – 49	41 – 49	37 – 45
4 x tiphoogte[2)]	39 – 52	37 – 48	39 – 49	36 – 46	38 – 46	34 – 42

Afstand	Bandbreedte in geluidbelasting L_{den} en het equivalente geluidniveau L_{Aeq} bij maximale geluidproductie voor de beschouwde klassen windturbines					
	Klasse 2 MW		Klasse 4 MW		Klasse 6 MW	
	L_{den} [dB]	$L_{Aeq\ max}$ [dB(A)]	L_{den} [dB]	$L_{Aeq\ max}$ [dB(A)]	L_{den} [dB]	$L_{Aeq\ max}$ [dB(A)]
10 x ashoogte[3)]	35 – 48	33 – 44	34 – 45	31 – 41	33 – 41	29 – 37
10 x tiphoogte[4)]	29 – 43	27 – 39	28 – 40	25 – 36	28 – 37	23 – 33

[1)] Uitgaande van een ashoogte van 91, 131 en 166 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 364, 524 en 664 meter.
[2)] Uitgaande van een tiphoogte van 149,5, 200 en 247 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 598, 800 en 988 meter.
[3)] Uitgaande van een ashoogte van 91, 131 en 166 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 910, 1.310 en 1.660 meter.
[4)] Uitgaande van een tiphoogte van 149,5, 200 en 247 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 1.495, 2.000 en 2.470 meter.

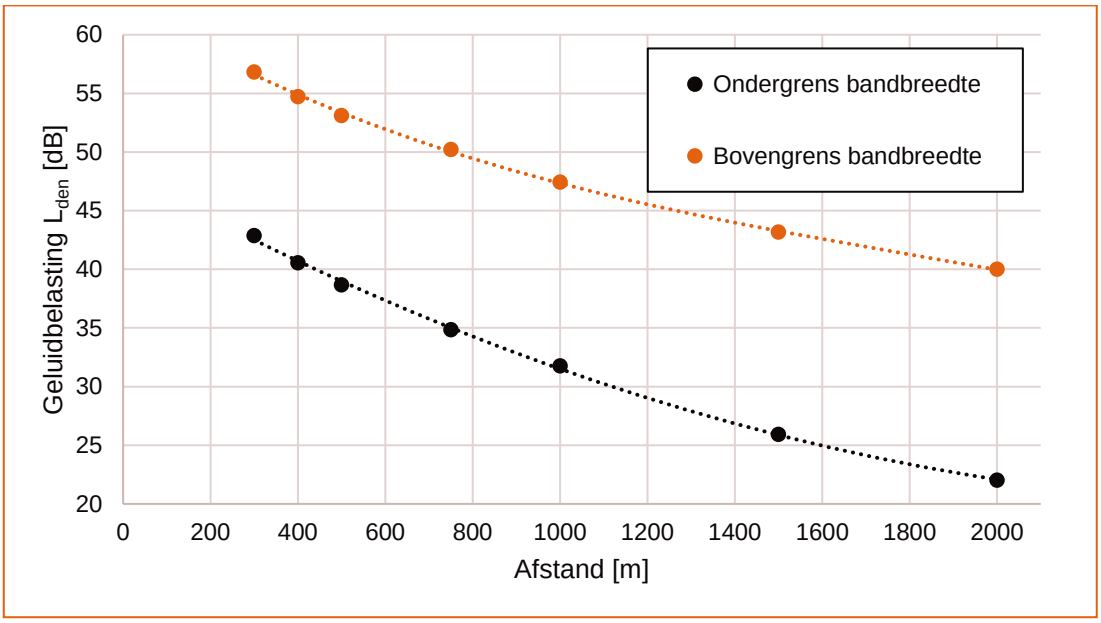
De maximale bandbreedte in de geluidbelasting die op een bepaalde afstand kan optreden is voor de geluidbelasting L_{den} weergegeven in Afbeelding 16. Voor het equivalente geluidniveau bij maximale geluidproductie van de windturbines $L_{Aeq\ max}$ is dit weergegeven in Afbeelding 17. Concreet zijn in deze afbeelding de laagste en hoogste waarden uit Tabel 15 en Tabel 16 weergegeven.

De afbeeldingen laten zien dat de geluidbelasting als functie van de afstand tot een windpark afneemt, maar dat er door de vele factoren die een rol spelen een zeer grote spreiding optreedt in het geluidniveau dat op een specifieke afstand optreedt. Uit Tabel 15 en Tabel 16 blijkt dat op een afstand van 10 x de ashoogte de geluidbelasting L_{den} varieert van 31 tot 48 dB en op een afstand van 10 x de tiphoogte van 25 tot 43 dB. Het equivalente geluidniveau bij maximale geluidproductie van een windpark $L_{Aeq\ max}$ varieert van 32 tot 44 dB(A) op een afstand van 10 x de ashoogte en van 25 tot 39 dB(A) op een afstand van 10 x de tiphoogte.

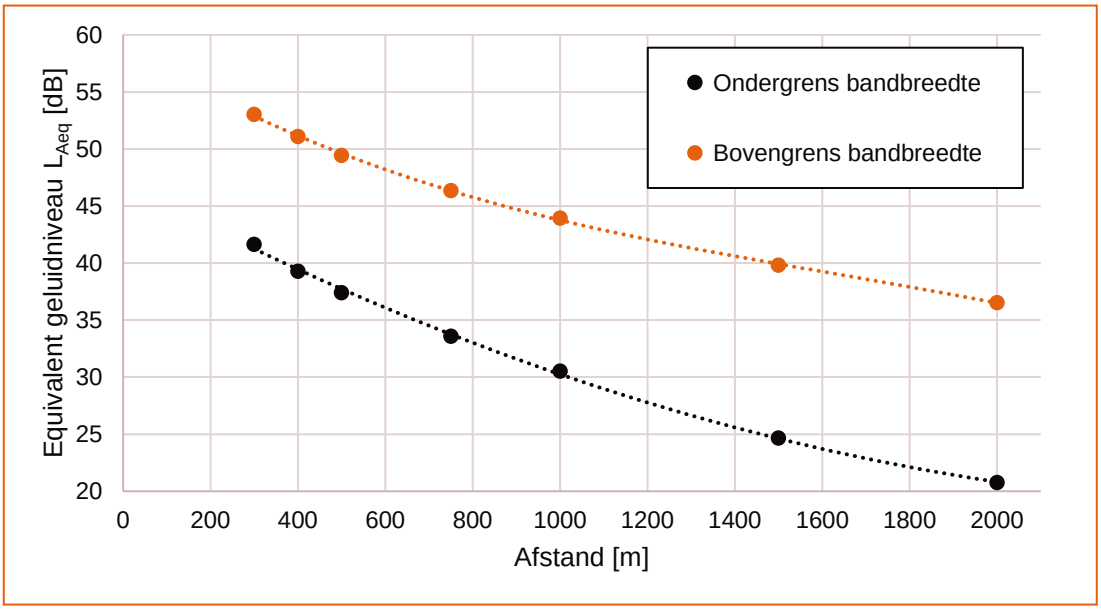
Onder bepaalde omstandigheden zou de geluidbelasting zelfs nog hoger kunnen uitvallen dan in onderstaande afbeeldingen weergegeven, zoals bijvoorbeeld:

- Bij een veel groter windpark zal de geluidbelasting tot op circa 750 meter afstand met ten hoogste 1 dB toenemen, maar op grotere afstanden zou door het grotere aantal windturbines de gezamenlijke geluidbelasting met enkele dB's kunnen toenemen tot circa 4 dB op een afstand van 2 kilometer.
- Als zich aan weerszijden van woningen windturbines bevinden kan door gezamenlijke effecten de geluidbelasting tot 3 dB hoger uitvallen.
- Als er een toeslag voor tonaal geluid zou moeten worden toegepast zou de geluidbelasting 5 dB hoger kunnen uitvallen.

Als er sprake is van één of twee windturbines zal de geluidbelasting juist lager uitvallen.



Afbeelding 16. Onder- en bovengrens van de bandbreedte van de geluidbelasting L_{den} [dB] als functie van de afstand tot een windpark



Afbeelding 17. Onder- en bovengrens van de bandbreedte van het equivalente geluidniveau [dB(A)] bij maximale geluidproductie van de windturbine $L_{Aeq\ max}$ als functie van de afstand tot een windpark

4 Slagschaduwduur op verschillende afstanden tot windparken

4.1 Uitgangspunten bepaling slagschaduwduur

Om de slagschaduwduur op verschillende afstanden van een windpark in beeld te brengen zijn twee fictieve windparken gemodelleerd. Hierbij is uitgegaan van dezelfde varianten als voor geluid, zie Afbeelding 11 in paragraaf 3.1. De berekeningen zijn verricht voor drie klassen windturbines, te weten 2 MW, 4 MW en 6 MW. De 2 MW klasse is het meest representatief voor turbines die tot enkele jaren geleden zijn geplaatst, de 4 MW klasse is het meest representatief voor turbines die heden ten dage worden geplaatst en de 6 MW klasse voor turbines die de komende jaren worden geplaatst.

De in de berekeningen gehanteerde typen windturbines en de kenmerken van deze turbines zijn vermeld in Tabel 17. Deze typen windturbines betreft in principe een willekeurige keuze. Wel is gekozen voor windturbines van drie verschillende fabrikanten en voor windturbines met relatief grote verschillen in rotordiameter om de verschillen in slagschaduwduur in beeld te brengen. Daarnaast is ervoor gekozen om voor de 2 MW klasse windturbines de laagste ashoogte en kleinste rotordiameter te hanteren, voor de 6 MW klasse de hoogste ashoogte en de grootste rotordiameter en voor de 4 MW klasse een tussenliggende ashoogte. Over het algemeen hebben windturbines namelijk een grotere ashoogte en rotordiameter naarmate het vermogen groter is. Er is echter voor alle windturbineklassen een bandbreedte qua ashoogtes en rotordiameters mogelijk. Zo is er bijvoorbeeld ook een 2 MW klasse turbine beschikbaar met een ashoogte van 149 meter.

Tabel 17. Onderzochte klassen windturbines en de hiervoor beschouwde typen windturbines en turbinekenmerken

Klasse windturbine	Beschouwd type windturbine	Vermogen [MW]	Rotor-diameter [m]	Ashoogte [m]	Tiphoogte [m]
2 MW	Type A	2,4	117	91	149,5
4 MW	Type B	4,26	138	131	200
6 MW	Type C	6,2	162	166	247

4.2 Slagschaduwduur op verschillende afstanden tot een windpark

De verwachte slagschaduwduur in uren per jaar vanwege een windpark van drie windturbines in midden Nederland is voor de in Tabel 17 weergegeven typen windturbines samengevat in Tabel 18. Hierbij is uitgegaan van een lijnopstelling van zuid naar noord. Er is geen rekening gehouden met eventuele maatregelen in de vorm van een automatische stilstandsvoorziening. Uit Tabel 18 blijkt dat per turbineklasse een grote spreiding in de slagschaduwduur optreedt, bij een afstand van 300 meter van het windpark van 0 tot 61 uur per jaar voor klasse 2 MW turbine tot 0 tot 79 uur voor klasse 6 MW turbines. De spreiding in de slagschaduwduur komt met name door de typische vorm van een slagschaduwcontour die wordt bepaald door de stand van de zon ten opzichte van de windturbines. Zo treedt direct ten zuiden van een windturbine nooit slagschaduw op, omdat de zon in Nederland nooit uit het noorden komt. Een voorbeeld van zo'n typische vorm is weergeven in Afbeelding 18. De spreiding door het verschil in de ashoogte en de rotordiameter is kleiner.

De verwachte slagschaduwduur in uren per jaar vanwege een windpark met een dubbele lijnopstelling van tweemaal vijf windturbines in midden Nederland is samengevat in Tabel 19. Ook hierbij is uitgegaan van een lijnopstelling van zuid naar noord. Uit Tabel 19 blijkt dat ook hier per klasse een grote spreiding in de slagschaduwduur optreedt, bij een afstand van 300 meter van het windpark van 0 tot 83 uur per jaar voor klasse 2 MW turbine tot 9 tot 146 uur voor klasse 6 MW turbines. In de berekeningen is voor de klasse 2, 4 en 6 MW turbines uitgegaan van een rotordiameter van respectievelijk 117, 138 en 162 meter. Binnen de betreffende klassen windturbines zijn er typen windturbines met een kleinere of grotere diameter. Dit kan tot een lagere respectievelijk hogere slagschaduwduur leiden. Ook een andere ashoogte kan tot een iets andere slagschaduwduur leiden. Indien het windpark een andere oriëntatie heeft, kan door gezamenlijke effecten de slagschaduwduur ook iets anders uitpakken. Uit Tabel 18 en Tabel 19 blijkt dat voor de beschouwde typen windturbines zonder mitigerende maatregelen op een afstand van 1 kilometer nog een

slagschaduwduur van meer dan 10 uur per jaar kan optreden. In de praktijk wordt er in Nederland echter vrijwel altijd een mitigerende maatregel in de vorm van automatische stilstandsvoorziening toegepast.

Tabel 18. Slagschaduwduur in uren per jaar als functie van de afstand voor een windpark van drie windturbines in een lijnopstelling met een tussenafstand van viermaal de rotordiameter

Afstand	Verwachte slagschaduwduur in uren per jaar voor de beschouwde typen windturbines voor een locatie in midden Nederland		
	Klasse 2 MW	Klasse 4 MW	Klasse 6 MW
300	0 – 61	0 – 72	0 – 79
400	0 – 43	0 – 54	0 – 61
500	0 – 33	0 – 39	0 – 47
750	0 – 18	0 – 28	0 – 31
1.000	0 – 11	0 – 17	0 – 21
1.500	0	0 – 7	0 – 11
2.000	0	0	0 – 5
4 x ashoogte[1)]	0 – 49	0 – 37	0 – 34
4 x tiphoogte[2)]	0 – 28	0 – 25	0 – 22
10 x ashoogte[3)]	0 – 13	0 – 11	0 – 10
10 x tiphoogte[4)]	0	0	0

[1)] Uitgaande van een ashoogte van 91, 131 en 166 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 364, 524 en 664 meter.
[2)] Uitgaande van een tiphoogte van 149,5, 200 en 247 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 598, 800 en 988 meter.
[3)] Uitgaande van een ashoogte van 91, 131 en 166 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 910, 1.310 en 1.660 meter.
[4)] Uitgaande van een tiphoogte van 149,5, 200 en 247 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 1.495, 2.000 en 2.470 meter.

Tabel 19. Slagschaduwduur in uren per jaar als functie van de afstand voor een windpark in een dubbele lijnopstelling van tweemaal vijf windturbines met een tussenafstand van viermaal de rotordiameter

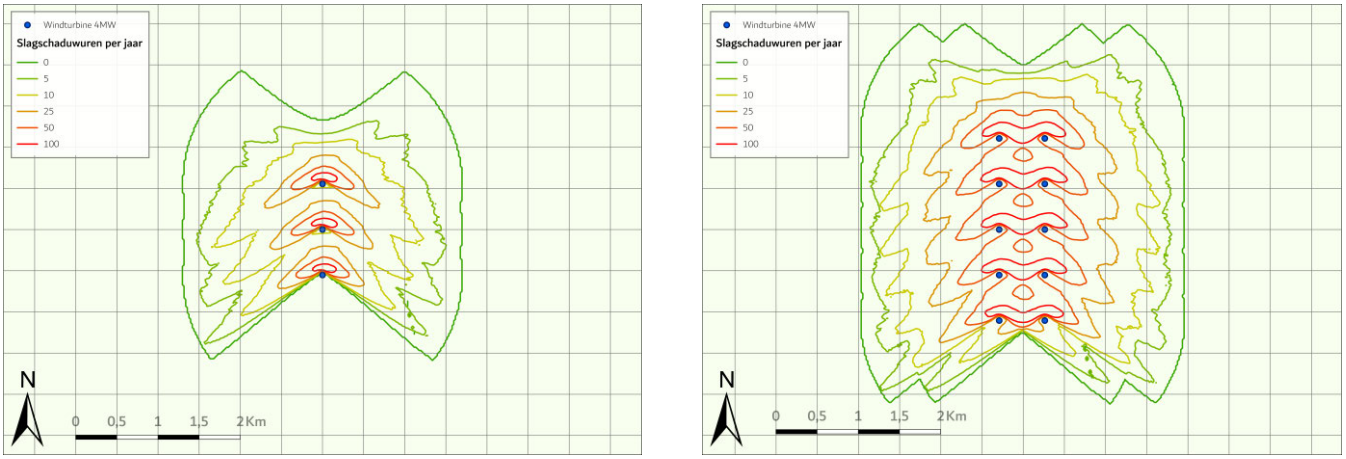
Afstand	Verwachte slagschaduwduur in uren per jaar voor de beschouwde typen windturbines voor een locatie in midden Nederland		
	Klasse 2 MW	Klasse 4 MW	Klasse 6 MW
300	0 – 83	1 – 100	9 – 106
400	0 – 61	0 – 78	0 – 87
500	0 – 50	0 – 59	0 – 70
750	0 – 28	0 – 44	0 – 47
1.000	0 – 13	0 – 25	0 – 34
1.500	0	0 – 7	0 – 14
2.000	0	0	0 – 5
4 x ashoogte[1)]	0 – 68	0 – 56	0 – 52
4 x tiphoogte[2)]	0 – 42	0 – 39	0 – 35
10 x ashoogte[3)]	0 – 19	0 – 12	0 – 12
10 x tiphoogte[4)]	0	0	0

[11)] Uitgaande van een ashoogte van 91, 131 en 166 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 364, 524 en 664 meter.
[2)] Uitgaande van een tiphoogte van 149,5, 200 en 247 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 598, 800 en 988 meter.
[3)] Uitgaande van een ashoogte van 91, 131 en 166 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 910, 1.310 en 1.660 meter.

Afstand	Verwachte slagschaduwduur in uren per jaar voor de beschouwde typen windturbines voor een locatie in midden Nederland		
	Klasse 2 MW	Klasse 4 MW	Klasse 6 MW

[4] Uitgaande van een tiphoogte van 149,5, 200 en 247 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 1.495, 2.000 en 2.470 meter.

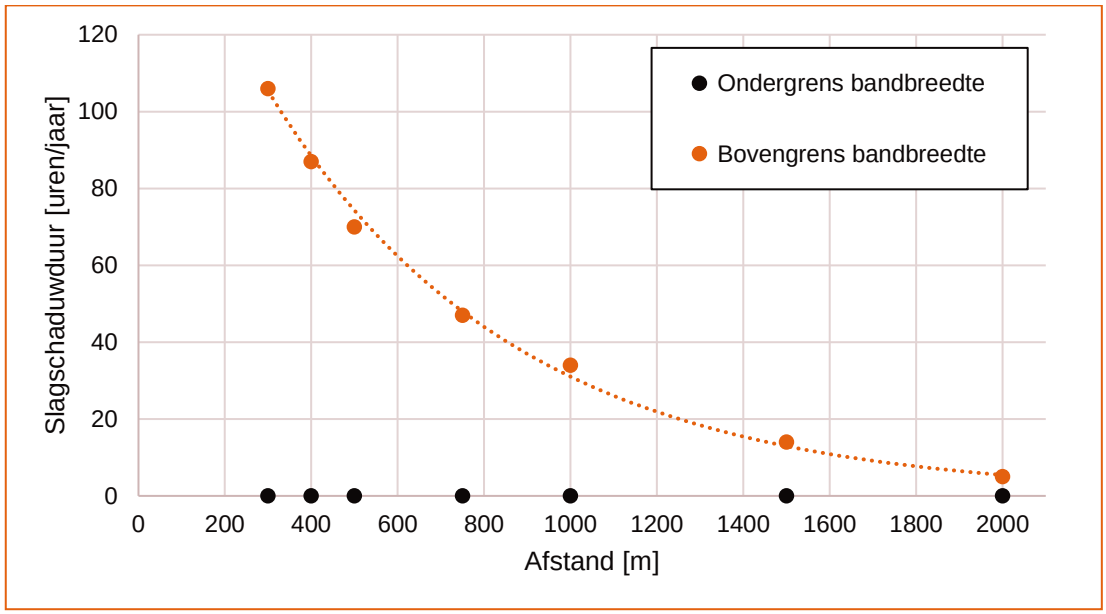
Om een beeld te geven van de slagschaduwcontouren en de invloed van gezamenlijke effecten zijn in onderstaande afbeelding de contouren weergegeven voor de twee opstellingsvarianten uitgaande van klasse 4 MW windturbines.



Afbeelding 18. Slagschaduwcontouren voor een lijnopstelling van drie 4 MW windturbines en voor een dubbele lijnopstelling van tweemaal vijf 4 MW windturbines in midden Nederland

De maximale bandbreedte voor de slagschaduwduur die op een bepaalde afstand tot een windpark kan optreden is weergegeven in Afbeelding 19. Concreet zijn in deze afbeelding de laagste en hoogste waarden uit Tabel 18 en Tabel 19 weergegeven. Deze afbeelding laat zien dat net als voor geluid ook de slagschaduwduur als functie van de afstand tot een windpark afneemt, maar dat ook hier door de vele factoren die een rol spelen een zeer grote spreiding in de belasting optreedt. Voor slagschaduw is de specifieke oriëntatie ten opzichte van het windpark een cruciale factor. Nog grotere rotordiameters, ashoogtes en windparken of een andere oriëntatie van het windpark kan tot een nog hogere slagschaduwduur leiden.

In de praktijk wordt er in Nederland echter vrijwel altijd een mitigerende maatregel in de vorm van automatische stilstandsvoorziening toegepast waarmee de slagschaduw sterk wordt beperkt. Het is in Nederland zeer gebruikelijk om door middel van een automatische stilstandsvoorziening de slagschaduw tot 5 á 6 uur per jaar of nog verder te beperken. De slagschaduw van windturbines op gevoelige objecten kan namelijk eenvoudig worden voorkomen c.q. beperkt door een automatische stilstandsvoorziening die een windturbine afschakelt op de momenten dat deze slagschaduw bij woningen kan veroorzaken. In de besturingssoftware van de windturbine kunnen hiervoor blokken van dagen en tijden met potentiële slagschaduw worden geprogrammeerd. Door dit met een zonneschijnsensor te combineren kan de stilstandsduur worden beperkt. Een stilstandsregeling gaat ten koste van de energieopbrengst, maar het verlies is in de praktijk dermate beperkt dat dit geen belemmering vormt voor de ontwikkeling van een windpark. In de praktijk is dus niet de afstand tot een windpark bepalend voor de hinder die vanwege slagschaduw wordt ondervonden, maar de gekozen uitgangspunten voor de stilstandsregeling.



Afbeelding 19. Onder- en bovengrens van de bandbreedte van de slagschaduwduur in uren per jaar als functie van de afstand tot een windpark

5 Effecten van mogelijke afstandsnormen op het voorkomen van gezondheidsheidseffecten

5.1 Advies Wereldgezondheidsorganisatie

In de 'Environmental Noise Guidelines for the European Region' van 2018 [11] geeft de Wereldgezondheids-organisatie (WGO) de voorwaardelijke aanbeveling om het geluidniveau van windturbines tot beneden 45 dB L_{den} te beperken. Boven dit niveau kan windturbinegeluid nadelige gezondheidseffecten hebben. Om de gezondheidseffecten te verminderen, wordt beleidsmakers voorwaardelijk aanbevolen passende maatregelen te treffen om de blootstelling aan windturbinegeluid boven 45 dB L_{den} te beperken. Voor het type interventie dat daarvoor moet plaatsvinden doet de WGO geen aanbeveling, omdat er geen bewijzen zijn welk type interventie het meest effectief is.

Een voorwaardelijke aanbeveling vereist een beleidsvormingsproces met een substantieel debat en betrokkenheid van verschillende belanghebbenden. Er is minder zekerheid over de doeltreffendheid ervan als gevolg van een lagere kwaliteit van het bewijs, tegengestelde waarden en voorkeuren van de getroffen personen en populaties of de gevolgen van de aanbeveling op de ontwikkeling van windenergie. Dit betekent dat er omstandigheden of situaties kunnen zijn waarin de aanbeveling niet van toepassing is.

De advieswaarde van 45 dB L_{den} is voorwaardelijk omdat er geen studies beschikbaar waren over de relatie tussen het blootstellingsniveau en een toename in het optreden van ischemische hartziekten, hoge bloeddruk, permanente gehoorschade en een vertraging in de ontwikkeling van leesvaardigheid en mondeling begrip bij kinderen. Tevens ook omdat de bewijzen inzake het percentage ernstig gehinderden door windturbinegeluid van lage kwaliteit waren. De aanbeveling van 45 dB L_{den} is gebaseerd op het gemiddelde geluidniveau waarbij buitenshuis 10% van de blootgestelden ernstig gehinderd is. Dit is gebaseerd op vier studies. Drie van deze studies zijn opgenomen in het TNO-onderzoek van Janssen et al. van 2008 waarbij de dosis-effectrelaties op basis van de geluidbelasting in L_{den} zijn bepaald [29] [92]. De vierde studie betreft een Japanse studie van Kuwano et al. [93]. De studies geven bewijzen van een lage kwaliteit voor een verband tussen windturbinegeluid en ernstige hinder, maar dit geldt vooral voor het verband tussen windturbinegeluid en ernstige hinder en niet voor de vorm van de dosis-effectrelatie. De vergelijking van voornoemde studies door de WGO liet namelijk grote verschillen in het percentage ernstig gehinderden zien. Door de wijze waarop de dosis-effectrelaties tot stand zijn gekomen konden de datasets ook niet worden gecombineerd. De dosis-effectrelatie zoals afgeleid door Janssen et al. [92] toont een snellere toename van het percentage ernstig gehinderden als functie van de geluidbelasting dan de studie van Kuwano et al. [93]. De waarde van 45 dB L_{den} komt ongeveer overeen met het punt waar beide dosis-effectcurves elkaar snijden.

De WGO geeft geen aanbeveling voor het nachtelijke blootstellingsniveau (L_{night}). De zes beschikbare studies leverden geen consistente resultaten over de effecten van windturbinegeluid op slaap en leverden geen algemeen bewijs op voor slaapverstoring.

De WGO plaatst een kritische kanttekening bij het gebruik van de parameters L_{den} en L_{night} voor de akoestische beschrijving van windturbinegeluid. Dit kan namelijk het vermogen beperken om de relatie tussen windturbinegeluid en gezondheidseffecten waar te nemen. De reden hiervoor is dat de conversie van het equivalente geluidniveau (L_{Aeq}) naar L_{den} en L_{night} gegevens verlangt over de statistische verdeling van de jaarlijkse windsnelheid op een bepaalde hoogte en de van het type windturbine afhankelijke relatie tussen de geluidproductie en de windsnelheid. Vanwege praktische beperkingen of gebrek aan gegevens en middelen wordt soms een conversiefactor gebruikt die niet specifiek voor een bepaald gebied is gevalideerd. Dit kan leiden tot een grotere onzekerheid bij de beoordeling van de relatie tussen blootstelling aan windturbinegeluid en gezondheidseffecten. Dit speelt ook een rol in de studies op basis waarvan de WGO tot haar aanbeveling is gekomen. Sinds 2010 is in Nederland een gedetailleerde dataset beschikbaar voor de conversie van het equivalente geluidniveau (L_{Aeq}) naar L_{den} en L_{night}. Deze dataset biedt voor geheel Nederland de windsnelheidsverdeling op een hoogte van 10 tot 200 meter boven maaiveld. Deze data is specifiek voor de bepaling van de jaargemiddelde geluidbelasting door het KNMI gegenereerd. Het betreft data gegeneerd met het meteorologisch model HARMONIE over een periode van 10 jaar [94].

Door de WGO wordt opgemerkt dat er voor geluid geen duidelijk bewijs is voor een aanvaardbare en uniforme afstand tussen windturbines en woonwijken, omdat het geluidniveau naast de afstand van vele andere factoren afhankelijk is zoals het type, de grootte en het aantal windturbines, de windrichting en -snelheid, de locatie van een woning boven- of benedenwinds van het windpark et cetera.

5.2 Actuele inzichten gezondheidseffecten windturbines

5.2.1 RIVM onderzoek naar gezondheidseffecten van windturbines

De laatste jaren is er een toename in het aantal publicaties over de relatie tussen windturbines en gezondheid. In 2021 heeft het RIVM het rapport ‘Gezondheidseffecten van windturbinegeluid’ gepubliceerd [95]. In opdracht van het Zwitserse Federale Milieubureau hebben het RIVM en Mundonovo sound research de wetenschappelijke literatuur over het effect van windturbines op de ervaren hinder, slaapverstoring, het hart- en vaatstelsel en de stofwisseling verzameld en bestudeerd. De focus van het onderzoek is het geluid van windturbines, maar er is ook gekeken naar de invloed van trillingen, slagschaduw, obstakelverlichting en andere visuele aspecten. Ook niet-akoestische factoren zijn beschouwd, zoals persoonlijke factoren en maatschappelijke en economische aspecten.

Hinder is het meest beschreven en onderzochte effect van wonen nabij windturbines. Gevoel van afkeer, boosheid, onbehagen, onvoldaanheid of gekwetstheid dat optreedt wanneer een milieufactor iemands gedachten, gevoelens of activiteiten negatief beïnvloedt, zijn beschrijvingen van hinder. Stressor is een beschrijving van chronische hinder en kan op lange termijn tot gezondheidsklachten leiden (indirect gezondheidseffect). Er is een direct verband tussen hinder en het geluidniveau van windturbines: de hinder neemt toe bij toenemende geluidniveaus van windturbines.

Windturbinegeluid wordt bij een gelijke geluidbelasting in vergelijking met andere geluidbronnen, zoals industrie, weg- of railverkeer, als hinderlijker ervaren en treedt al bij lagere geluidniveaus op. Dit komt mogelijk door specifieke factoren die bij windturbines een rol spelen, zoals het ritmische karakter van windturbinegeluid (amplitudemodulatie), slagschaduw door de roterende bladen, knipperende lichten op de turbines en de houding ten aanzien van de windturbines. Ook speelt het bij de hinderbeleving een rol dat in de avond- en nachtperiode het achtergrondgeluid over het algemeen afneemt en het windturbinegeluid gelijk blijft of juist toeneemt.

Het laagfrequente geluid van windturbines is vergelijkbaar met dat van andere bronnen van geluid, zoals verkeer. Ook voor infrasoon geluid van windturbines geldt dat het niet sterker is dan infrasoon geluid van andere geluidbronnen als verkeer en wind. Hinder en mogelijk slaapverstoring zijn gezondheidseffecten van laagfrequent geluid van windturbines. Laagfrequent geluid en infrasoon geluid hebben echter geen andere effecten op omwonenden dan gewoon geluid van windturbines. De totale sterkte van het windturbinegeluid en het speciale karakter van windturbinegeluid lijken belangrijke factoren voor de ervaren hinder. Laagfrequent geluid dempt over grote afstanden minder uit dan geluid met hogere frequenties waardoor het laagfrequente deel van de geluidsbron op grotere afstand hoorbaar kan zijn. Dit geldt echter ook voor andere bronnen zoals wegverkeer.

Er kan geen eenduidige conclusie worden getrokken uit de meest recente internationale onderzoeken over slaapverstoring door windturbines. Dat geldt voor zowel onderzoeken waar bewoners zelf slaapverstoring rapporteren, als voor onderzoeken met gemeten slaapindicatoren. Er is wel een indirect verband aangetoond tussen hinder door windturbinegeluid en zelf gerapporteerde slaapverstoring. Voor weg-, vlieg- en railverkeergeluid is er in de nacht wel een direct verband aangetoond tussen geluid en slaapverstoring [11].

Er is onvoldoende bewijs voor andere gezondheidseffecten (bijv. hart- en vaatziekten, stofwisselingsstoornissen, cognitieve effecten en effecten op de mentale gezondheid) als direct effect van het wonen in de nabijheid van een windturbine of het geluid van windturbines. Er zijn echter indirecte gezondheidseffecten aangetoond, tussen hinder van geluid, slagschaduw en knipperende lichten en gezondheidsklachten als chronische pijn, migraine/hoofdpijn, tinnitus, duizeligheid en misselijkheid.

Naast fysieke aspecten van windturbines hebben niet-akoestische factoren invloed op de hinder die ervaren wordt. Omwonenden kunnen al zonder dat een windturbine aanwezig is overlast of bezorgdheid ervaren, bijvoorbeeld door berichten over gezondheidsschade. Persoonlijke en contextuele factoren spelen bij windturbines een naar verhouding grote rol. Zo kan een goede lokale betrokkenheid bij het planningsproces of een gedeeld eigenaarschap de ervaren hinder verminderen en de sociale acceptatie van windenergieprojecten vergroten.

In opdracht van Wind Wiki heeft D. Bijl het RIVM-rapport van 2021 geanalyseerd [96]. In zijn rapportage wordt kritiek geuit op de wetenschappelijke waarde en methodologische kwaliteit van het RIVM-rapport. Het RIVM heeft in een reactie hierop de kritiek weerlegd. Het RIVM steunt wel de aanbevelingen voor nader onderzoek die door D. Bijl zijn gedaan [97].

5.2.2 Afstand gerelateerde effecten

In 2017 is een Canadese publicatie van Michaud et al. verschenen over de geaggregeerde (totale) hinder van windturbines [98]. Hierbij is gebruik gemaakt van de data zoals verzameld in de omvangrijke Wind Turbine Noise & Health Study van Health Canada. Hier hebben 1238 respondenten aan deelgenomen. In deze studie zijn akoestische en niet-akoestische factoren beschouwd; geluid, obstakelverlichting, trillingen, visuele impact en slagschaduw. Deze factoren verklaren 58 tot 69% van de variaties in de totale hinder. Een relatie van de hinder met de afstand tot de turbines is gevonden bij het gebruik van twee testgroepen/gebieden. De hinder nam significant toe in gebieden tussen 550 en 1000 meter afstand van de windturbines en was het hoogst binnen een afstand van 550 meter. Voor beide onderzoeksgebieden heeft hinder door trillingen weinig invloed op de totale hinderbeleving. Binnen 1 kilometer afstand vanaf de windturbines is de relatieve bijdrage van geluid, slagschaduw, visuele impact en obstakelverlichting op de totale hinder vergelijkbaar. Van 1 tot 5 kilometer afstand tot de turbines verandert dat. Waar hinder door geluid veel voorkomend is binnen 1 kilometer afstand, wordt vanaf 1 kilometer afstand de visuele impact belangrijker in de hinderbeleving [98].

In een vervolgonderzoek is door Michaud et al. gekeken naar de associatie van de totale hinder met gezondheidsklachten als hoge bloeddruk, cortisolniveaus en andere symptomen als duizeligheid, hoofdpijn en kwaliteit van leven [99]. Er is geen relatie gevonden tussen hinder en cortisolniveaus, systolische bloeddruk en de beoordeelde kwaliteit van leven. Een hoger totaalhinderniveau is gecorreleerd aan een toename van o.a. stress, diastolische bloeddruk, beoordeelde kwaliteit van slaap over de afgelopen 30 dagen, fysieke gezondheid en mentale gezondheid. Er moet hierbij worden benadrukt dat deze observaties tussen hinder en gezondheidseffecten niet verkeerd moeten worden geïnterpreteerd als dat hinder nadelige gezondheidseffecten veroorzaakt, of vice versa. Dit zijn statistische bevindingen verkregen uit verzamelde data op één moment in de tijd zonder gedocumenteerde historische data voor één van de voornoemde resultaten of controle voor andere factoren die eventueel invloed hebben op de hinder of de gezondheid [99]. Gezondheidseffecten kunnen ook samenhangen met andere factoren.

Verschillende andere onderzoeken laten geen direct verband zien tot de afstand van windturbines en de geluidhinder door windturbines. In een analyse waar Amerikaanse, Duitse en Zwitserse onderzoeken voor zijn gebruikt [100] is gebruik gemaakt van een beoordelingsschaal waar hinder en symptomen van stress zijn meegenomen. De afstand van woningen tot de dichtstbijzijnde windturbine en de geluidniveaus waren niet gecorreleerd met de geluidhinder. De geluidgevoeligheid en de ervaren eerlijkheid van het planningsproces, laten juist een goede correlatie zien. Deze conclusie wordt ondersteund door een longitudinale studie [101] met groepen van 212 en 133 respondenten. Waargenomen windturbinegeluid is een belangrijke indicator van ergernis en stress. Er is echter een minimale correlatie tussen geluidhinder en afstand tot de dichtstbijzijnde windturbine en een gemiddelde correlatie van hinder met een eerlijk planproces.

In een Amerikaanse studie is aangetoond dat hoewel er een relatie is tussen de hoorbaarheid van windturbinegeluid en het geproduceerde geluidniveau er geen duidelijk verband is tussen geluidhinder van windturbines en enkel het geluidniveau van de windturbines [102]. De geluidhinder van windturbines is voornamelijk verklaarbaar door de visuele impact. De resultaten tonen verder aan dat onder de onderzochte groep die geen persoonlijke voordelen van windprojecten ontvangen, de tolerantie voor windturbinegeluid lager is dan voor ander omgevingsgeluid bij gelijkwaardige geluidniveaus.

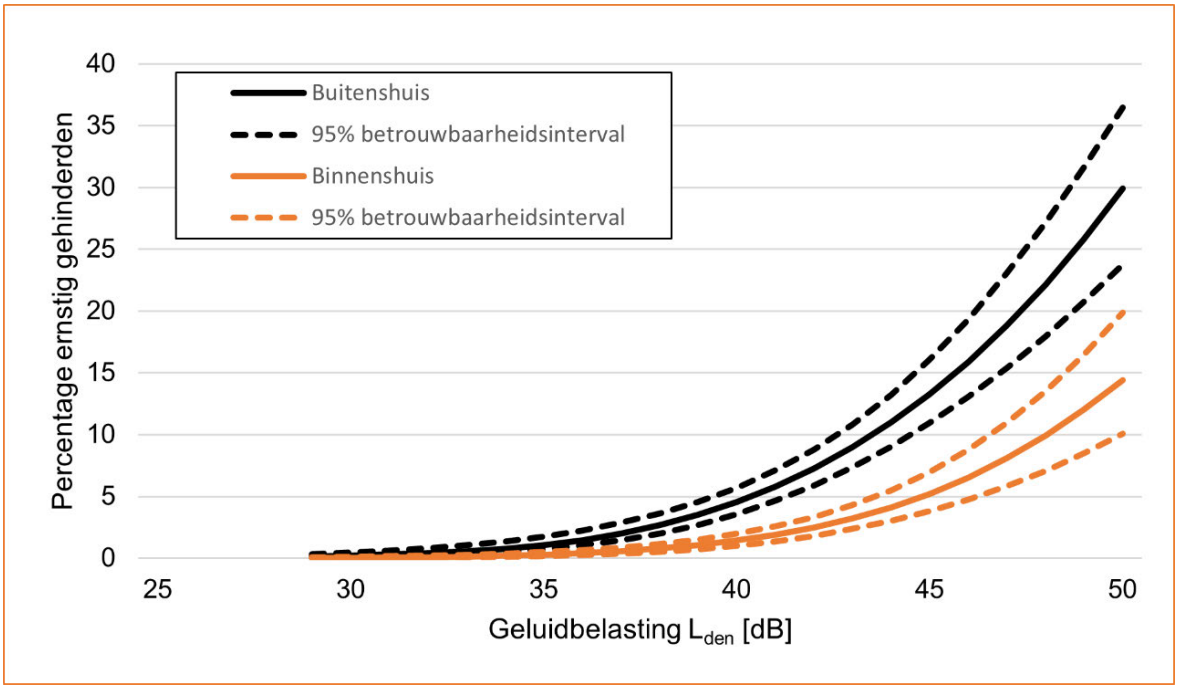
Er zijn ook andere variabelen die een rol spelen bij de geluidhinder van windturbines, zoals persoonlijk voordeel, geluidgevoeligheid, zorgen over de fysieke veiligheid, eigendom van onroerend goed etcetera [103]. Ook dit onderzoek laat zien dat de relatie tussen hinder van windturbines en windturbinegeluid verbetert door rekening te houden met andere kenmerken zoals visuele impact, obstakelverlichting, vibraties etcetera. Er is daarnaast aangetoond dat de angsten en zorgen voor de fysieke veiligheid nabij windturbines sterk verband houden met de hinderbeleving van windturbinegeluid. De bezorgdheid om fysieke veiligheid en geluidgevoeligheid lijken grote invloed te hebben op de hinder door windturbinegeluid. Volgens het onderzoek is het sluiten van ramen omdat het geluid van windturbines de slaap verstoorde de variabele die het sterkst met hinder geassocieerd wordt. Dit is een observatie die zorgvuldige interpretatie vereist, omdat slaapverstoring (van welke aard dan ook) in het betreffende onderzoek niet een direct verband met de blootstelling aan windturbinegeluid laat zien. – Het is denkbaar dat het sluiten van het raam een uiting is van de ergernis jegens het windturbinegeluid en/of een omgangsstrategie die beschermt tegen slaapverstoring. Wanneer het sluiten van het raam het geluidniveau van windturbines binnenshuis verlaagt en dus de slaap verbetert, kan deze actie mogelijk de afwezige associatie tussen het geluidniveau van de windturbines en slaapverstoring verklaren. Evenals voorgaande studie suggereert deze dat gemeenschappen tussen de 11 en 26 dB minder tolerant zijn voor windturbinegeluid dan voor geluidbronnen zoals weg- en railverkeer [103].

5.3 Percentage ernstig gehinderden vanwege geluid

5.3.1 Dosis-effect relatie windturbinegeluid

In 2008 is door TNO onderzoek uitgevoerd naar de dosis-effectrelatie voor de hinder vanwege het geluid van windturbines uitgedrukt in de beoordelingsmaat L_{den} [29] [92]. Hierbij zijn gegevens gebruikt van onderzoeken naar de beleving van windturbinegeluid in Zweden in 2000 en 2005, en in Nederland in 2007. Het TNO-onderzoek uit 2008 omvat in totaal 1820 respondenten. De door TNO afgeleide dosis-effect relaties voor het percentage ernstig gehinderden buitenshuis en binnenshuis inclusief het 95% betrouwbaarheidsinterval van deze relaties zijn weergegeven in Afbeelding 20. De WGO heeft in haar advies ook een onderzoek in Japan van Kuwano et al. uit 2014 [93] betrokken [11]. Dit omvat 651 respondenten. Er wordt echter geconcludeerd dat de wijze waarop de dosis-effectrelaties in voornoemde studies zijn vastgesteld verschilt en dat deze niet zijn gecombineerd in een meta-analyse. De vergelijking van voornoemde studies door de WGO liet grote verschillen in het percentage ernstig gehinderden zien. De dosis-effectrelatie zoals afgeleid door Janssen et al. [92] toont een snellere toename van het percentage ernstig gehinderden als functie van de geluidbelasting dan de studie van Kuwano et al. De waarde van 45 dB L_{den} komt ongeveer overeen met het punt waar beide dosis-effectcurves elkaar snijden, het punt waarbij buitenshuis circa 10% van de blootgestelden ernstig gehinderd is. Bij een lagere geluidbelasting laat de TNO-studie een lager percentage ernstig gehinderden buitenshuis zien dan Kuwano et al. en bij een geluidbelasting van meer dan 45 dB L_{den} laat de TNO studie juist een hoger percentage ernstig gehinderden zien.

Percentage ernstig gehinderden
Het percentage ernstig gehinderden betreft het percentage van het aantal volwassen personen dat gemiddeld genomen bij een specifieke geluidbelasting ernstig gehinderd is. Feitelijk is dit een indicator die de statistische kans op ernstige hinder bij een specifieke geluidbelasting weergeeft. Het geeft niet het percentage weer van de populatie rondom een windpark die ernstig gehinderd is. Het kan dienen als een indicatie van het aantal ernstig gehinderden rond een specifiek windpark uitgaande van het aantal blootgestelde personen en de specifieke geluidbelasting waaraan zij worden blootgesteld. Door de vele andere factoren die een rol spelen zal het feitelijke percentage altijd van lokale omstandigheden afhangen.



Afbeelding 20. Dosis-effectrelatie zoals vastgesteld door TNO in 2008 voor het aantal ernstig gehinderden buitenshuis en binnenshuis als functie van de geluidbelasting vanwege windturbinegeluid buiten op de gevel uitgedrukt in L_{den} en de 95% betrouwbaarheidsintervallen [92]

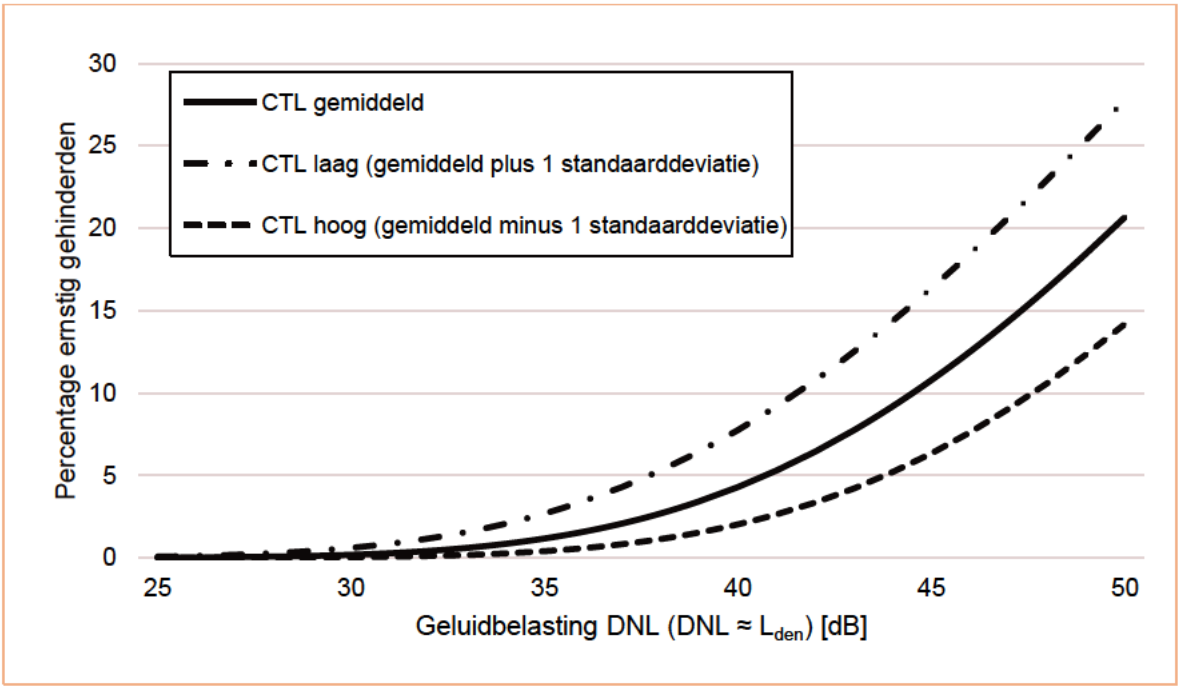
Door Michaud et al. [103] zijn in 2016 de datasets van voornoemde studies wel gecombineerd[28]. Daarnaast zijn in deze analyse ook de door Health Canada uitgevoerde hinderbelevingsonderzoeken betrokken. De Health Canada studie omvat in totaal 1238 respondenten. De studie was gericht op omwonenden van in totaal 18 windparken met windturbines met een vermogen van 660 kW tot 3 MW (gemiddeld 2 ± 0,4 MW), een rotordiameter van circa 80 meter en in de meeste gevallen een ashoogte van 80 meter [104]. De door Michaud et al. gecombineerde studie omvat in totaal 3692 respondenten. In de analyse wordt een andere methodiek gehanteerd dan door Janssen et al. van TNO [92]. In plaats van een regressiemodel is een zogenaamd Community Tolerance Level (CTL) model gebruikt. Het CTL-model is gebaseerd op goed geaccepteerde aannames dat in een homogene gemeenschap het hinderniveau bij zeer lage geluidniveaus nihil of laag zal zijn en monotoon zal toenemen bij een toename van het geluidniveau. Het voordeel van het CTL-model is dat het verschillen afkomstig van verschillende gemeenschappen in decibellen kwantificeert [103]. De verschillende studies laten namelijk verschillen in hinderbeleving zien en hoe de hinder als functie van het geluidniveau toeneemt. Dit komt door allerlei andere factoren die bij de hinderbeleving een rol spelen die met het CTL-model per gemeenschap in decibellen kunnen worden gekwantificeerd. De door Michaud et al. afgeleide Community Tolerance Levels laten zien dat bepaalde gemeenschappen 8 decibellen minder tolerant voor windturbinegeluid zijn dan andere gemeenschappen. Dit wordt veroorzaakt door een combinatie van factoren, waaronder vele niet-akoestische factoren. Ook uit de TNO-studie bleek al dat er belangrijke verschillen zijn hoe gemeenschappen windturbinegeluid ervaren.

De analyse van Michaud et al. richt zich op de hinder vanwege windturbinegeluid in zijn algemeenheid en maakt geen onderscheid tussen de hinder die binnenshuis en buitenshuis wordt ervaren. Dat wil zeggen dat er uit is gegaan van de gerapporteerde hinder, ongeacht of deze nu binnenshuis of buitenshuis wordt ervaren. Gezien het feit dat uit de TNO-studie blijkt dat buitenshuis meer hinder wordt ervaren dan binnenshuis, kan worden geconcludeerd dat de onderzoeksresultaten van Michaud et al. representatief zijn voor de buitenshuis ervaren hinder. Uit een vergelijking van de grafieken in de publicatie van Michaud et al. [103] met de grafieken in het TNO-rapport van 2008 [29] blijkt ook dat Michaud et al. voor de Nederlandse en Zweedse data in hun analyse gebruik hebben gemaakt van de data voor de buitenshuis ervaren (ernstige) hinder. De dosis-effectrelatie zoals door Michaud et al. bepaald met het CTL-model is weergegeven in Afbeelding 21. Hierin zijn de curves weergegeven voor de gemeenschappen met een gemiddeld acceptatieniveau (CTL gemiddeld), voor gemeenschappen met een lager acceptatieniveau (CTL laag, gemiddelde plus 1 standaarddeviatie) en voor gemeenschappen met een hoger acceptatieniveau (CTL hoog, gemiddelde minus 1 standaarddeviatie). De dosis-effectrelatie is vastgesteld op basis van het Day Night Level (DNL). Dit betreft het jaargemiddelde niveau met een toeslag van 10 dB op het geluidniveau van 22.00 tot 07.00 uur. Het DNL is echter nagenoeg gelijk aan het L_{den}-niveau, dus de in Afbeelding 21 weergegeven dosis-effectrelatie is ook geldig voor de geluidbelasting in L_{den}.

Een vergelijking met de curves in Afbeelding 20 laat zien dat tot een geluidbelasting van 40 dB de gemiddelde waarde volgens Michaud et al. nagenoeg gelijk is aan de gemiddelde waarde buitenshuis zoals afgeleid door TNO. Boven de 40 dB loopt de curve van Michaud et al. vlakker dan de TNO-curve buitenshuis, maar ligt deze boven de TNO-curve voor het percentage gehinderden binnenshuis. Het percentage ernstig gehinderden van 10% dat door de WGO als uitgangspunt voor haar advieswaarde van 45 dB L_{den} is gehanteerd treedt volgens Michaud et al. gemiddeld op bij een geluidbelasting van 44,5 dB L_{den}, afgerond 45 dB L_{den}. Op dit punt zijn de bevindingen van Michaud et al. dus gelijk aan de bevindingen van de WGO.

De TNO-studie van Janssen et al. is meer op de Nederlandse en Europese context gericht dan de studie van Michaud et al. die ook windparken in Canada en Japan omvat. De studie van Michaud et al. omvat daarentegen ruim twee keer zoveel respondenten dan de TNO-studie, is van een meer recente datum en omvat meer grotere windturbines. Beide studies laten zien dat er grote verschillen bestaan in hoe verschillende gemeenschappen windturbinegeluid ervaren. Een studie die meer respondenten in meer verschillende gemeenschappen omvat hoeft daarom niet per se een beter beeld te geven van lokale effecten, juist omdat de lokale context een belangrijke rol speelt. In de volgende paragraaf is het percentage ernstig gehinderden als functie van de afstand tot een windpark in beeld gebracht op basis van de door Janssen et al. afgeleide dosis-effectrelaties. In bijlage 2 zijn de resultaten weergegeven op basis van de door Michaud et al. afgeleide dosis-effectrelaties.

[28] Vanwege de tijdstempel van de systematische reviews heeft de WGO de studie van Michaud et al. niet in haar analyse mee kunnen nemen.



Afbeelding 21. Dosis-effectrelatie zoals vastgesteld door Michaud et al. in 2016 voor het aantal ernstig gehinderden als functie van de geluidbelasting vanwege windturbinegeluid buiten op de gevel uitgedrukt in DNL (≈ L_{den}) voor gemeenschappen met een gemiddeld acceptatieniveau (CTL gemiddeld), voor gemeenschappen met een lager acceptatieniveau (CTL laag, gemiddelde plus 1 standaarddeviatie) en voor gemeenschappen met een hoger acceptatieniveau (CTL hoog, gemiddelde minus 1 standaarddeviatie) [103]

5.3.2 Bandbreedte percentage ernstig gehinderden vanwege geluid op verschillende afstanden tot een windpark

Op basis van de geluidbelasting L_{den} zoals weergegeven in Tabel 15 voor de beschouwde klassen windturbines voor een windpark bestaande uit een lijnopstelling van drie windturbines en de dosis-effectrelaties zoals weergegeven in Afbeelding 20 is het percentage gehinderden als functie van de afstand tot het windpark bepaald. Allereerst is dus de geluidbelasting op de verschillende afstanden tot een windpark berekend. Op basis hiervan is het percentage ernstig gehinderden bepaald. Dit leidt dan tot het percentage ernstig gehinderden als functie van de afstand tot het windpark. Bij de berekeningen is uitgegaan van gunstige en ongunstige omstandigheden en uitgangspunten zoals beschreven in paragraaf 3.1. Dit betekent dat er rekening is gehouden met de bandbreedte in het bronvermogen binnen de turbineklassen, in het jaargemiddelde bronvermogen door het windklimaat, in de oriëntatie tot het windpark in de invloed van het bodemgebied. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 20. Deze percentages gelden op precies de gegeven afstand. Uit deze tabel blijkt dat voor een bepaalde windturbineklasse, uitgaande van de door Janssen et al. afgeleide dosis-effectrelatie, bij een bepaalde afstand een dermate grote spreiding optreedt dat het aantal ernstig gehinderden binnenshuis tot 30% kan variëren en buitenshuis tot 52% ernstig gehinderden. Zo varieert op een afstand van 300 meter het aantal ernstig gehinderden binnenshuis van 3 tot 33% en buitenshuis van 9 tot 61%. De spreiding binnen een turbineklasse neemt af naarmate de afstand groter wordt.

De resultaten voor een windpark bestaande uit een dubbele lijnopstelling van tweemaal vijf windturbines zijn vermeld in Tabel 20. Dit is gebaseerd op de geluidbelasting L_{den} zoals vermeld in Tabel 16. In deze situatie kan uitgaande van Janssen et al. voor een bepaalde windturbineklasse bij een bepaalde afstand een spreiding tot 35% ernstig gehinderden binnenshuis en tot 59% ernstig gehinderden buitenshuis optreden. Ook hier neemt de spreiding binnen een turbineklasse af naarmate de afstand groter wordt.

Het is opvallend dat voor een afstand gerelateerd aan de as- of tiphoogte het percentage ernstig gehinderden als functie van de turbineklasse afneemt. Voor de 6 MW klasse is op een afstand van 4 x of 10 x de as- of tiphoogte het percentage ernstig gehinderden door geluid beduidend lager dan voor de 2 MW klasse windturbines. Dit komt doordat

het geen vaste afstanden zijn. Bij grotere windturbines gaat het om (veel) grotere afstanden (vanwege de grotere as- en tiphoogtes) dan voor de kleinere turbines terwijl ze niet per se meer geluid produceren. Als voor de 2 MW turbines van een grotere af- en tiphoogte zou worden uitgegaan zou het verschil kleiner zijn. Het percentage ernstig gehinderden op vaste afstanden tot een windpark geeft een beter beeld van de verschillen in ernstige hinder tussen verschillende klassen windturbines. Dit laat zien dat de verschillen tussen de verschillende klassen kleiner zijn dan de verschillen binnen een turbineklasse.

De weergegeven spreiding in het percentage ernstig gehinderden wordt bepaald door de spreiding in de geluidbelasting. Er is geen rekening gehouden met de spreiding door het verschil in acceptatieniveau tussen verschillende gemeenschappen. Hierdoor kan de spreiding in werkelijkheid nog groter uitvallen.

Tabel 20. Bandbreedte percentage ernstig gehinderden vanwege geluid voor een windpark van drie windturbines in een lijnopstelling, uitgaande van de door TNO in 2008 afgeleide gemiddelde dosis-effectrelatie

Afstand	Percentage ernstig gehinderden binnenshuis			Percentage ernstig gehinderden buitenshuis		
	Klasse 2 MW	Klasse 4 MW	Klasse 6 MW	Klasse 2 MW	Klasse 4 MW	Klasse 6 MW
300	3 – 33	6 – 32	7 – 24	9 – 61	15 – 59	16 – 46
400	2 – 24	4 – 23	4 – 18	5 – 46	10 – 45	11 – 36
500	1 – 18	2 – 18	3 – 14	3 – 36	7 – 35	8 – 29
750	0 – 10	1 – 9	1 – 7	1 – 21	3 – 21	3 – 17
1.000	0 – 5	0 – 5	1 – 4	0 – 13	1 – 13	2 – 10
1.500	0 – 1	0 – 2	0 – 1	0 – 4	0 – 5	0 – 4
2.000	0 – 1	0 – 1	0 – 1	0 – 2	0 – 2	0 – 2
4 x ashoogte[1)]	2 – 27	2 – 16	1 – 9	6 – 51	6 – 33	4 – 20
4 x tiphoogte[2)]	1 – 14	1 – 8	1 – 4	2 – 29	2 – 19	2 – 11
10 x ashoogte[3)]	0 – 7	0 – 3	0 – 1	1 – 16	0 – 7	0 – 3
10 x tiphoogte[4)]	0 – 1	0 – 1	0 – 0	0 – 4	0 – 2	0 – 1

[1)] Uitgaande van een ashoogte van 91, 131 en 166 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 364, 524 en 664 meter.
[2)] Uitgaande van een tiphoogte van 149,5, 200 en 247 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 598, 800 en 988 meter.
[3)] Uitgaande van een ashoogte van 91, 131 en 166 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 910, 1.310 en 1.660 meter.
[4)] Uitgaande van een tiphoogte van 149,5, 200 en 247 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 1.495, 2.000 en 2.470 meter.

Tabel 21. Bandbreedte percentage ernstig gehinderden vanwege geluid voor een windpark met een dubbele lijnopstelling van tweemaal vijf windturbines, uitgaande van de door TNO in 2008 afgeleide gemiddelde dosis-effectrelatie

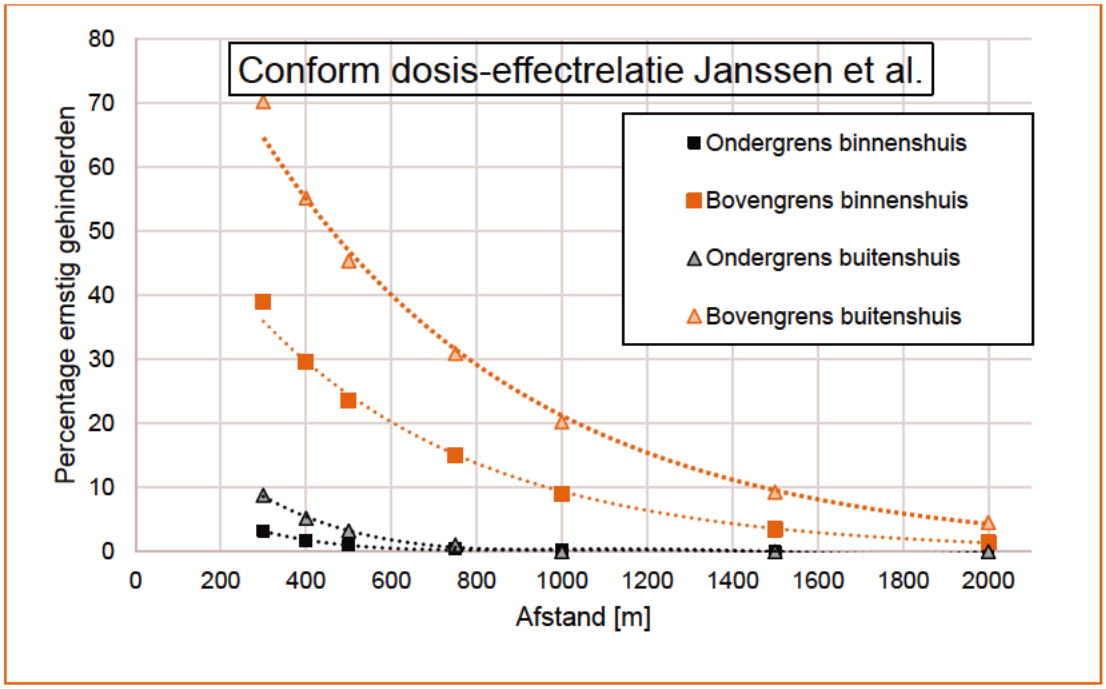
Afstand	Percentage ernstig gehinderden binnenshuis			Percentage ernstig gehinderden buitenshuis		
	Klasse 2 MW	Klasse 4 MW	Klasse 6 MW	Klasse 2 MW	Klasse 4 MW	Klasse 6 MW
300	4 – 39	8 – 37	8 – 28	11 – 70	18 – 67	18 – 52
400	2 – 30	5 – 28	5 – 22	7 – 55	12 – 53	13 – 42
500	2 – 24	3 – 22	4 – 17	5 – 45	9 – 44	10 – 34
750	1 – 15	1 – 14	2 – 10	2 – 31	4 – 29	5 – 23
1.000	0 – 9	1 – 9	1 – 7	1 – 20	2 – 20	3 – 16
1.500	0 – 3	0 – 3	0 – 3	0 – 9	0 – 9	1 – 8
2.000	0 – 1	0 – 1	0 – 1	0 – 5	0 – 4	0 – 4
4 x ashoogte[1)]	3 – 32	3 – 21	2 – 12	8 – 59	8 – 42	6 – 26
4 x tiphoogte[2)]	1 – 19	1 – 12	1 – 7	3 – 39	4 – 26	3 – 16
10 x ashoogte[3)]	0 – 11	0 – 5	0 – 2	1 – 23	1 – 13	1 – 6
10 x tiphoogte[4)]	0 – 4	0 – 1	0 – 1	0 – 9	0 – 4	0 – 2

[1)] Uitgaande van een ashoogte van 91, 131 en 166 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 364, 524 en 664 meter.
[2)] Uitgaande van een tiphoogte van 149,5, 200 en 247 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 598, 800 en 988 meter.
[3)] Uitgaande van een ashoogte van 91, 131 en 166 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 910, 1.310 en 1.660 meter.
[4)] Uitgaande van een tiphoogte van 149,5, 200 en 247 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 1.495, 2.000 en 2.470 meter.

In Afbeelding 22 is uitgaande van de door Janssen et al. van TNO afgeleide dosis-effectrelatie (zie Afbeelding 20) de maximale bandbreedte weergegeven voor het percentage ernstig gehinderden vanwege windturbinegeluid als functie van de afstand tot een windpark. Concreet zijn in deze afbeelding de laagste en hoogste waarden uit Tabel 20 en Tabel 21 weergegeven. De afbeelding laat zien dat het percentage ernstig gehinderden als functie van de afstand tot een windpark afneemt, maar dat er door de vele factoren die een rol spelen een zeer grote spreiding optreedt in het percentage ernstig gehinderden op een specifieke afstand. Door de omstandigheden zoals beschreven voor geluid zou het percentage ernstig gehinderden in bepaalde gevallen nog hoger kunnen uitvallen. Op een afstand van 10 x de ashoogte tot een windpark varieert het percentage ernstig gehinderden volgens Janssen et al. van 0 tot 11% binnenshuis en 0 tot 23% buitenshuis. Op een afstand van 10 x de tiphoogte tot een windpark varieert het percentage ernstig gehinderden van 0 tot 4% binnenshuis en 0 tot 9% buitenhuis.

De in Afbeelding 22 weergegeven spreiding wordt bepaald door de spreiding in de geluidbelasting. Impliciet speelt hier echter ook een zekere belasting door slagschaduw een rol. Als door alleen een afstandsnorm de bescherming voor slagschaduw af zou nemen, zou het percentage ernstig gehinderden mogelijk kunnen toenemen.

Er is in Afbeelding 22 geen rekening gehouden met de spreiding door het verschil in acceptatieniveau tussen verschillende gemeenschappen. Hierdoor kan voor specifieke situaties de spreiding in werkelijkheid nog groter uitvallen.



Afbeelding 22. Onder- en bovengrens van de bandbreedte van het percentage ernstig gehinderden vanwege geluid als functie van de afstand tot een windpark, conform het TNO onderzoek van Janssen et al. van 2008 [29] [92]

6 Voor- en nadelen van afstandsnormen versus normen voor geluid en slagschaduw

Hinder is het meest beschreven en bewezen gezondheidseffect van windturbines. Het geluid en visuele effecten zoals slagschaduw, obstakelverlichting, beweging van de rotorbladen, een visueel beklemmend gevoel en de verandering van het landschap en het uitzicht zijn de belangrijkste fysieke aspecten van een windturbine die tot hinder leiden. Er zijn echter vele andere factoren die een belangrijke invloed hebben op de hinder die ervaren wordt. Deze zijn te onderscheiden in demografische, persoonlijke, situationele en contextuele factoren. De hinder die mensen ondervinden kan indirect tot andere gezondheidsklachten leiden. Studies naar slaapverstoring door windturbines leiden niet tot eenduidige resultaten. Voor een relatie met andere gezondheidseffecten zoals hart- en vaatziekten, diabetes, obesitas is onvoldoende bewijs gevonden. Dit geldt ook voor de invloed van het geluid en de nabijheid van een windturbine op de mentale gezondheid en de kwaliteit van leven. Ook hier is onvoldoende bewijs voor een direct verband gevonden.

De fysieke impact van een windturbine neemt als functie van de afstand af. Hierdoor is er een zekere relatie tussen de hinder en de afstand tussen een windturbine. Dit is echter geen eenduidige relatie. Enerzijds omdat de fysieke impact sterk afhankelijk is van de omvang en de lay-out van het windpark, omgevingsfactoren, de oriëntatie ten opzichte van het windpark, het aantal windturbines, het type windturbine en de specifieke geluidproductie hiervan, de ashoogte, de rotordiameter en mitigerende maatregelen zoals een automatische stilstandsvoorziening of een zogenaamde ‘noise mode’ instelling. En anderzijds omdat er tal van niet-akoestische factoren een rol spelen hoe de fysieke impact van de windturbines wordt ervaren.

In paragraaf 3.2 is voor een aantal situaties beschreven welke geluidbelasting er op een bepaalde afstand tot een windpark zou kunnen optreden. De maximale bandbreedte in de geluidbelasting die op een bepaalde afstand kan optreden is in Afbeelding 16 en Afbeelding 17 weergegeven. Onder bepaalde omstandigheden zou de geluidbelasting nog hoger kunnen uitvallen, zoals bijvoorbeeld bij veel grotere windparken, als zich aan weerszijden van woningen windparken of als er een toeslag voor tonaal geluid zou moeten worden toegepast. Als er sprake is van één of twee windturbines zal de geluidbelasting juist lager uitvallen. Voor de 6 MW klasse windturbines is voor een afstand gerelateerd aan de as- of tiphoogte de geluidbelasting beduidend lager dan voor de 2 MW klasse windturbines. Dit komt doordat het geen vaste afstanden zijn. Bij grotere windturbines gaat het om (veel) grotere afstanden (vanwege de grotere as- en tiphoogtes) terwijl ze niet per se meer geluid produceren. De geluidbelasting op vaste afstanden tot een windpark geeft een beter beeld van de verschillen in geluidbelasting tussen verschillende klassen windturbines. Dit laat zien dat de verschillen tussen de verschillende klassen kleiner zijn dan de verschillen binnen een turbineklasse. Voornoemde afbeeldingen laten zien dat de geluidbelasting als functie van de afstand tot een windpark afneemt, maar dat er door de vele factoren die een rol spelen een zeer grote spreiding optreedt in het geluidniveau op een specifieke afstand.

In paragraaf 4.2 is de maximale bandbreedte weergegeven voor de slagschaduwduur die op een bepaalde afstand kan optreden. Deze afbeelding laat zien dat ook de slagschaduwduur als functie van de afstand tot een windpark afneemt, maar dat ook hier door de vele factoren die een rol spelen een zeer grote spreiding in de belasting optreedt. Voor slagschaduw is de specifieke oriëntatie ten opzichte van het windpark een cruciale factor. Nog grotere rotordiameters, ashoogtes en windparken of een andere oriëntatie van het windpark kan tot een nog hogere slagschaduwduur leiden. In de praktijk wordt er in Nederland echter vrijwel altijd een mitigerende maatregel in de vorm van automatische stilstandsvoorziening toegepast waarmee de slagschaduw sterk wordt beperkt. Hierdoor is in de praktijk niet de afstand tot een windpark bepalend voor de hinder die vanwege slagschaduw wordt ondervonden, maar de voor de stilstandsregeling gekozen uitgangspunten.

In paragraaf 5.3.2 is uitgaande van de door Janssen et al. van TNO afgeleide dosis-effectrelatie de maximale bandbreedte weergegeven voor het percentage ernstig gehinderden vanwege windturbinegeluid als functie van de afstand tot een windpark. Door de omstandigheden zoals beschreven voor geluid zou het percentage ernstig gehinderden in bepaalde gevallen nog hoger kunnen uitvallen. Deze afbeelding laten zien dat het percentage ernstig gehinderden als functie van de afstand tot een windpark afneemt, maar dat er door de vele factoren die een rol spelen een zeer grote spreiding optreedt in het percentage ernstig gehinderden op een specifieke afstand. Voor een afstand die gerelateerd is aan de as- of tiphoogte neemt het percentage ernstig gehinderden af als functie van de turbineklasse. Voor de 6 MW klasse is het percentage ernstig gehinderden beduidend lager dan voor de 2 MW klasse windturbines. Dit komt zoals eerder aangegeven doordat het bij grotere windturbines om (veel) grotere afstanden gaat (vanwege de grotere as- en tiphoogtes) dan voor de kleinere turbines terwijl ze niet per se meer geluid produceren.

Het percentage ernstig gehinderden op vaste afstanden tot een windpark geeft een beter beeld van de verschillen in ernstige hinder tussen verschillende klassen windturbines. Dit laat zien dat de verschillen tussen de verschillende klassen kleiner zijn dan de verschillen binnen een turbineklasse. De in Afbeelding 22 weergegeven spreiding wordt bepaald door de spreiding in de geluidbelasting. Er is geen rekening gehouden met de spreiding door het verschil in acceptatieniveau tussen verschillende gemeenschappen. Hierdoor kan voor specifieke situaties de spreiding in werkelijkheid nog groter uitvallen.

Een afstandsnorm heeft voor- en nadelen ten opzichte van specifieke normen voor geluid en slagschaduw. De voordelen van een afstandsnorm zijn:

- Het is duidelijk en eenduidig.
- Het is een eenvoudige en gemakkelijk te communiceren norm.
- Een afstandsnorm is eenvoudig, heel transparant en nauwkeurig handhaafbaar.
- Het is een goede maat om visuele impact te reguleren.
- Een as- of tiphoogte gerelateerde afstandsnorm maakt het mogelijk om rekening te houden met het feit dat grotere windturbines een grotere visuele impact hebben.
- Het biedt in zekere mate bescherming voor geluid, slagschaduw en ernstige hinder. De mate van bescherming is afhankelijk van de vast te stellen normwaarde en de spreiding van effecten die bij deze normwaarde optreden.
- Het kan bij omwonenden van in ontwikkeling zijnde windparken een deel van de zorgen wegnemen.

De nadelen van alleen een afstandsnorm zijn:

- Zoals Afbeelding 16, Afbeelding 17, Afbeelding 19 en Afbeelding 22 laten zien is er bij een bepaalde afstand sprake van een grote spreiding in beschermingsniveau. De belasting is namelijk niet alleen afhankelijk van de afstand, maar ook van factoren zoals de omvang en de lay-out van het windpark, het precieze type windturbine, de ashoogte, de oriëntatie tot het windpark en voor geluid het windklimaat, het geluidspectrum en het type omgeving. Dat betekent dat een afstandsnorm niet alle omwonenden dezelfde bescherming biedt. Afhankelijk van de situatie kan een bepaalde afstandsnorm tot bovenmatige hinder leiden of juist een bovenmatige bescherming bieden. Een bovenmatige bescherming kan de mogelijkheden voor de ontwikkeling van windparken beperken.
- Relatief lawaaiige turbines kunnen op dezelfde afstand van woningen worden geplaatst als relatief stille windturbines. Er is dan geen stimulans meer om relatief stille windturbines te selecteren of om mitigerende geluidmaatregelen toe te passen.
- Het houdt geen rekening met gezamenlijke effecten van meerdere windturbines of windparken. Dit nadeel kan eventueel deels worden weggenomen door afstandsnormen afhankelijk te maken van de grootte van het windpark.
- Het biedt geen mogelijkheid tot maatwerk, bijvoorbeeld in geval van tonale geluiden.
- Een afstandsnorm houdt geen rekening met de oriëntatie tot windturbines, terwijl de slagschaduweffecten sterk van de oriëntatie tot de windturbines afhangen. Zoals Afbeelding 18 laat zien treedt de meeste slagschaduw ten zuidwesten en ten zuidoosten van een windturbine op. Dit hangt samen met de lage stand van de zon bij zonsopgang en -ondergang. Direct ten zuiden van een windturbine treedt nooit slagschaduw op, omdat in Nederland de zon nooit op het noorden staat.
- Er is geen reden meer om een automatische stilstandsvoorziening toe te passen, wat tot meer slagschaduweffecten dan in de huidige praktijk kan leiden.
- Voor de regulering van de visuele impact is een as- of tiphoogte gerelateerde afstandsnorm logisch. De visuele impact neemt namelijk toe naarmate de windturbines groter worden. Dit geldt echter niet voor de regulering van het windturbinegeluid. Voor het aspect geluid beoordeelt een as- of tiphoogte gerelateerde afstandsnorm grotere windturbines namelijk strenger dan kleinere windturbines. Voor grotere windturbines leidt dit immers tot (veel) grotere afstanden terwijl ze niet per se meer geluid produceren.

Door een zeer ruime afstandsnorm te hanteren zouden de meeste van voornoemde nadelen kunnen worden voorkomen. Dit beperkt echter de plaatsingsruimte voor windturbines, ook in die gevallen waar dit vanuit het oogpunt van milieubescherming en het voorkomen van gezondheidseffecten mogelijk niet nodig zou zijn geweest.

Vijf van de acht onderzochte landen hanteren (deels) een afstandsnorm en een zesde land is voornemens om een afstandsnorm in te voeren. Er is geen enkel land dat de hinder van windturbines alleen door middel van een afstandsnorm reguleert, ofschoon het in Polen en de Duitse deelstaat Beieren door de ruime afstandsnorm van 10 x tiphoogte hier effectief wel op neerkomt. Alle onderzochte Europese landen hanteren voor windturbines een geluidnorm. Naast Nederland hanteren vijf andere onderzochte landen een slagschaduwnorm.

In Polen is de afstandsnorm gebaseerd op een opinieartikel dat beschrijft dat bij een brand in een windturbine na een blikseminslag tijdens een hevige storm sommige brandende fragmenten zich tot ongeveer op deze afstand zouden kunnen verspreiden. In de onderbouwing van de Poolse wet is aangegeven dat ook het visuele aspect bij de

afstandsnorm van belang is en dat de beschikbare informatie over geluid, infrageluid, elektromagnetische straling, trillingen, slagschaduw en lichtschitteringen is geanalyseerd. De afstandsnorm in Beieren is ingesteld om de natuur en het imago van het platteland te beschermen en om visueel overweldigende effecten te voorkomen. In de overige beschouwde landen varieert de afstandsnorm van 300 meter tot 1.100 meter en van 2 x de tiphoogte tot 4 x de tiphoogte. Daar waar de reden voor de afstandsnormen kon worden achterhaald zijn deze ingesteld om de visuele impact van de windturbines te beperken. De kortste afstanden lijken vooral ingesteld om de visuele impact van de windturbines als object te beperken, met name om visueel beklemmende effecten door de windturbines te voorkomen. In de Duitse deelstaat Nedersaksen wordt hiervoor op basis van jurisprudentie een vuistregel van 2 x de tiphoogte gehanteerd. Hier wordt voor afstanden van minder dan 3 x de tiphoogte altijd onderzoek naar de specifieke situatie nodig geacht om vast te stellen of visueel beklemmende effecten kunnen optreden. De ruimere afstandsnormen lijken ook rekening te houden met andere visuele effecten. De afstandsnorm van 1.000 meter in de Duitse deelstaat Noordrijn-Westfalen is ingesteld voor de bescherming van natuur en landschap en voor visueel overweldigende effecten, maar geldt niet voor individuele woningen en gefragmenteerde woongebieden. Denemarken hanteert een afstandsnorm van 4 x de tiphoogte om de visuele hinder door onder andere lichtschitteringen, slagschaduw en obstakelverlichting te beperken. In Nederland worden de effecten van lichtschittering en slagschaduw met technische maatregelen gemitigeerd. Ook wordt er gewerkt aan een alternatieve oplossing voor de nachtelijke obstakelverlichting.

De effecten op de leefomgeving zijn vooral afhankelijk van het gekozen beschermingsniveau en niet zozeer van de wijze waarop dit beschermingsniveau wordt geregeld. In het coalitieakkoord 2021-2025 is uitgesproken dat er heldere afstandsnormen voor de bouw van windmolens op land komen. Zoals hiervoor beschreven biedt een afstandsnorm een aantal voordelen. Het hanteren van alleen een afstandsnorm voor het reguleren van de milieueffecten van windturbines kent echter ook belangrijke nadelen. Deze nadelen kunnen worden voorkomen door naast een afstandsnorm ook specifieke geluid- en slagschaduwnormen te hanteren. Ook andere Europese landen met een afstandsnorm hanteren daarnaast specifieke normen voor geluid en slagschaduw. Door de combinatie kunnen de voordelen van een afstandsnorm worden gerealiseerd terwijl de nadelen hiervan met specifieke geluid- en slagschaduwnormen kunnen worden voorkomen. De afstandsnorm kan dan net als in andere Europese landen vooral worden gericht op het beperken van de visuele impact en een basisbescherming voor geluid en slagschaduw bieden. De specifieke bescherming voor geluid en slagschaduw kan dan met geluid- en slagschaduwnormen worden geregeld.

7 Conclusies

Uit het onderzoek blijkt dat van de acht onderzochte landen Nederland, het Vlaamse Gewest van België en het Verenigd Koninkrijk geen landelijke afstandsnorm hebben. Er is geen enkel land dat de hinder van windturbines alleen door middel van een afstandsnorm reguleert, ofschoon het in Polen en de Duitse deelstaat Beieren door de ruime afstandsnorm van 10 x tiphoogte hier effectief wel op neerkomt. In de overige beschouwde landen varieert de afstandsnorm van 300 meter tot 1.100 meter en van 2 x de tiphoogte tot 4 x de tiphoogte. Daar waar de reden voor deze afstandsnormen kon worden achterhaald zijn – afgezien van Polen[29] - deze vooral ingesteld om de visuele impact van de windturbines te beperken. Dit is ook de onderliggende reden waarom in de onderzochte landen een afstandsnorm altijd met een geluidnorm en meestal met een slagschaduwnorm wordt gecombineerd. De kortste afstanden lijken vooral ingesteld om de visuele impact van de windturbines als object te beperken, met name om visueel beklemmende effecten door de windturbines te voorkomen. In de Duitse deelstaat Nedersaksen wordt hiervoor op basis van jurisprudentie een vuistregel van 2 x de tiphoogte gehanteerd. Hier wordt voor afstanden van minder dan 3 x de tiphoogte altijd onderzoek naar de specifieke situatie nodig geacht om vast te stellen of visueel beklemmende effecten kunnen optreden. De ruimere afstandsnormen lijken ook rekening te houden met andere visuele effecten. Zo hanteert Denemarken een afstandsnorm van 4 x de tiphoogte om de visuele hinder door onder andere lichtschitteringen, slagschaduw en obstakelverlichting te beperken. In Nederland worden de effecten van lichtschittering en slagschaduw met technische maatregelen gemitigeerd. Ook wordt er gewerkt aan een alternatieve oplossing voor de nachtelijke obstakelverlichting. De afstandsnorm van 1.000 meter in de Duitse deelstaat Noordrijn-Westfalen is ingesteld voor de bescherming van natuur en landschap en voor visueel overweldigende effecten, maar geldt niet voor individuele woningen en gefragmenteerde woongebieden. De afstandsnorm van 10 x tiphoogte in Beieren is ingesteld om de natuur en het imago van het platteland te beschermen en om visueel overweldigende effecten te voorkomen.

Een vergelijking van de geluidnormen voor windturbines laat zien dat een uniforme benadering ver te zoeken is. Zo worden er verschillende geluidparameters gebruikt voor de beoordeling van het windturbinegeluid, verschillen de grenswaarden en verschilt het beschermingsniveau voor woonwijken versus woningen in landelijk gebied. Ook gelden er in bepaalde landen vaste grenswaarden en zijn in andere landen de grenswaarden afhankelijk van de bestemming van het gebied of het heersende achtergrondniveau van het omgevingsgeluid. Ook zijn er verschillen in berekeningsmethoden, waardoor ook al zouden de grenswaarden gelijk zijn de impact van de normen anders kan zijn. De geluidnormen en de impact hiervan zijn daarom lastig te vergelijken. Nederland hanteert voor windturbinegeluid de jaargemiddelde beoordelingsmaten L_{den} en L_{night}. In Europa hanteert alleen Noorwegen ook de parameter L_{den} voor windturbinegeluid. Andere Europese landen gebruiken voor de beoordeling van windturbinegeluid het equivalente geluidniveau L_{Aeq}, een op het equivalente geluidniveau gebaseerde parameter of een statistische parameter. Voor de acht onderzochte landen varieert de grenswaarde voor het equivalente geluidniveau bij maximale geluidproductie van de windturbines, deels omgerekend vanuit andere geluidparameters, in de nachtperiode van 35 dB(A) t/m 45 dB(A). Meestal ligt de grenswaarde voor het equivalente geluidniveau in de bandbreedte van 39 dB(A) t/m 45 dB(A). De Nederlandse grenswaarden[30] komen meestal overeen met een equivalent geluidniveau van 43 dB(A) t/m 45 dB(A) bij maximale geluidproductie van de windturbines. Hiermee bevinden deze grenswaarden zich aan de bovenkant van voornoemde bandbreedte. In de meeste landen wordt windturbinegeluid met speciale hoorbare karakteristieken zoals tonaal geluid strenger beoordeeld dan in Nederland.

Een vergelijking van de normen voor slagschaduw laat zien dat de meeste landen voor de beoordeling van slagschaduw aansluiting hebben gezocht bij een op wetenschappelijk onderzoek gebaseerde Duitse richtlijn. Deze richtlijn stelt een grenswaarde van 30 uur per jaar en 30 minuten per dag voor de astronomisch maximaal mogelijke schaduwduur (worst-case scenario). In het geval dat een automatische stilstandsvoorziening wordt gebruikt, moet de werkelijke slagschaduwduur worden beperkt tot 8 uur per jaar. Nederland heeft de meest afwijkende norm voor slagschaduw[30]. De grenswaarde van gemiddeld niet meer dan 17 dagen per jaar gedurende meer dan 20 minuten slagschaduw per dag wordt meestal vereenvoudigd toegepast in de vorm van een grenswaarde van 5 à 6 uur slagschaduw per jaar. Bij de vereenvoudigde toepassing zou Nederland de strengste slagschaduwnorm van de

[29] In Polen is de afstandsnorm gebaseerd op een opinieartikel dat beschrijft dat bij een brand in een windturbine na een blikseminslag tijdens een hevige storm sommige brandende fragmenten zich tot ongeveer op deze afstand zouden kunnen verspreiden.

[30] Sinds de uitspraak van de Raad van State inzake het Windpark Delfzijl Zuid moeten de normen in het Activiteitenbesluit voor windparken buiten beschouwing worden gelaten en geldt er feitelijk dus geen landelijk geldende grenswaarde meer voor het geluid en de slagschaduw van windparken.

onderzochte landen hebben, maar de norm biedt meer ruimte waardoor Nederland feitelijk de meest soepele slagschaduwnorm van de onderzochte landen heeft.

De berekening van de geluidbelasting en slagschaduwduur op een bepaalde afstand laten zien dat de geluidbelasting en slagschaduwduur als functie van de afstand tot een windpark afneemt. Door door de vele factoren die een rol spelen is er echter een zeer grote spreiding in de geluid- of slagschaduwbelasting die op een specifieke afstand optreedt. De belasting is namelijk niet alleen afhankelijk van de afstand, maar ook van factoren zoals de omvang en de lay-out van het windpark, het precieze type windturbine, de ashoogte, de oriëntatie tot het windpark en voor geluid het windklimaat, het geluidspectrum en het type omgeving. In de praktijk wordt in Nederland vrijwel altijd een mitigerende maatregel in de vorm van automatische stilstandsvoorziening toegepast waarmee de slagschaduw sterk wordt beperkt. Hierdoor is in de praktijk niet de afstand tot een windpark bepalend voor de hinder die vanwege slagschaduw wordt ondervonden, maar de gekozen uitgangspunten voor de stilstandsregeling. Door de spreiding in de geluidbelasting die op een bepaalde afstand optreedt, treedt er ook een grote spreiding op in het percentage ernstig gehinderden als functie van de afstand tot een windpark.

Een afstandsnorm heeft voor- en nadelen ten opzichte van specifieke normen voor geluid en slagschaduw. De belangrijkste voordelen zijn dat het makkelijk communiceerbaar, heel transparant en nauwkeurig handhaafbaar is. Ook is het een goede maat om visuele impact te reguleren. Belangrijke nadelen van alleen een afstandsnorm zijn dat er op een vaste afstand een grote spreiding is in het beschermingsniveau. Relatief lawaaiige turbines kunnen op dezelfde afstand van woningen komen als relatief stille turbines. Er wordt geen rekening gehouden met het gezamenlijke effect van meerdere turbines of windparken in de buurt en er is geen mogelijkheid tot maatwerk bijvoorbeeld in geval van tonale geluiden. Er is ook geen reden meer om een automatische stilstandsvoorziening toe te passen, wat tot meer slagschaduweffecten dan in de huidige praktijk kan leiden.

Vijf van de acht onderzochte landen hanteren (deels) een afstandsnorm en een zesde land is voornemens om een afstandsnorm in te voeren. Er is geen enkel land dat de hinder van windturbines alleen door middel van een afstandsnorm reguleert. Alle onderzochte Europese landen hanteren voor windturbines een geluidnorm. Naast Nederland hanteren vijf andere onderzochte landen een slagschaduwnorm. De effecten op de leefomgeving zijn vooral afhankelijk van het gekozen beschermingsniveau en niet zozeer van de wijze waarop dit beschermingsniveau wordt geregeld. In het coalitieakkoord 2021-2025 is uitgesproken dat er heldere afstandsnormen voor de bouw van windmolens op land komen. Zoals hiervoor beschreven biedt een afstandsnorm een aantal voordelen. Het hanteren van alleen een afstandsnorm kent echter ook belangrijke nadelen. Deze nadelen kunnen worden voorkomen door net als andere landen naast een afstandsnorm ook specifieke geluid- en slagschaduwnormen te hanteren. De afstandsnorm kan dan net als in andere Europese landen vooral worden gericht op het beperken van de visuele impact en een basisbescherming voor geluid en slagschaduw bieden. De specifieke bescherming voor geluid en slagschaduw kan dan met geluid- en slagschaduwnormen worden geregeld.

8 Aandachtspunten voor nieuwe milieunormen voor windturbines

Uit het onderzoek blijkt dat het hanteren van alleen een afstandsnorm voor- en nadelen heeft ten opzichte van specifieke normen voor geluid en slagschaduw. De nadelen kunnen worden voorkomen door net als andere landen naast een afstandsnorm ook specifieke geluid- en slagschaduwnormen te hanteren. De afstandsnorm kan dan net als in andere Europese landen vooral worden gericht op het voorkomen van een te grote visuele impact en een heldere basisbescherming voor geluid en slagschaduw bieden. De specifieke bescherming voor geluid en slagschaduw kan dan met geluid- en slagschaduwnormen worden geregeld.

Omwonenden van windparken hebben echter al jarenlang kritiek op de wijze waarop windturbinegeluid in het Activiteitenbesluit en de Activiteitenregeling is gereguleerd. Ook zijn er kanttekeningen te plaatsen bij de wijze waarop slagschaduw is gereguleerd. Dit zijn belangrijke aandachtspunten bij het komen tot nieuwe milieunormen voor windturbines. In dit hoofdstuk is op de belangrijkste kritiekpunten ingegaan.

Geluidparameters L_{den} en L_{night}

Omwonenden achten de jaargemiddelde beoordelingsmaten L_{den} en L_{night} niet geschikt om windturbinegeluid te beoordelen. In gebieden met weinig wind mogen op basis van de geluidparameters L_{den} en L_{night} hogere equivalente geluidniveaus optreden dan in gebieden met veel wind. Ook biedt de beoordelingsmaat L_{night} in het algemeen geen extra bescherming. Vanuit communicatief oogpunt heeft L_{night} wel een toegevoegde waarde. Er worden door omwonenden vraagtekens geplaatst bij de handhaafbaarheid van normen in L_{den} en L_{night}. Er wordt getwijfeld aan de betrouwbaarheid omdat de registratie van de geluidemissie gedurende het jaar niet transparant is en plaatsvindt op basis van productiegegevens van de exploitant die niet publiek zijn.

De jaargemiddelde beoordelingsmaat L_{den} is voor leken moeilijk te begrijpen. Omwonenden hebben vaak geen idee wat dit in de praktijk betekent, zoals welke geluidniveaus ze kunnen verwachten als het hard waait en hoe vaak deze niveaus optreden. De jaargemiddelde beoordelingsmaat voor de nachtperiode L_{night} is voor omwonenden beter te begrijpen en betreft de gevoeligste periode. Omwonenden willen echter duidelijkheid over de hoogste niveaus die optreden, mede omdat deze eenvoudiger gehandhaafd kunnen worden. Het equivalente geluidniveau L_{Aeq} onder specifieke omstandigheden, met name het hoogst optredende equivalente geluidniveau $L_{Aeq\ max}$, is voor omwonenden duidelijker en kan een deel van de zorgen wegnemen. De beoordelingsmaten L_{den}, L_{night} en L_{Aeq} zijn echter sterk gecorreleerd. Het verschil tussen L_{den} en L_{night} en het $L_{Aeq\ max}$ niveau wordt namelijk bepaald door het lokale windklimaat op de ashoogte van de windturbines. Voor het Nederlandse windklimaat is het hoogst optredende equivalente geluidniveau L_{Aeq} 2 tot 5 dB(A) hoger dan het L_{night} niveau, maar meestal 2 tot 4 dB(A) hoger. Het hoogst optredende equivalente geluidniveau is meestal 2 tot 5 dB(A) lager dan het L_{den}-niveau. Een normering in L_{den} betekent dat voor een windturbine in het windrijke noordwesten van Nederland een grotere afstand tot woningen moet worden aangehouden dan voor eenzelfde windturbine in het windarmere zuidoosten van Nederland. Naarmate de ashoogte toeneemt moet ook een grotere afstand tot woningen worden aangehouden om aan de grenswaarde te voldoen, omdat de windsnelheid met de hoogte toeneemt. Een normering in L_{Aeq} zou betekenen dat voor een windturbine in het noordwesten van Nederland eenzelfde afstand tot woningen moet worden aangehouden als voor eenzelfde windturbine in het zuidoosten van Nederland. In het windrijke noordwesten treedt het hoogst optredende equivalente geluidniveau wel vaker op dan in het windarmere zuidoosten. Ook zal dit niveau vaker optreden naarmate de ashoogte groter wordt, omdat op een grotere hoogte vaker hoge windsnelheden voorkomen. Uit het voorliggende onderzoek blijkt dat de meeste Europese landen windturbinegeluid reguleren op basis van het equivalente geluidniveau en dat naast Nederland alleen Noorwegen heeft gekozen voor de beoordeling van windturbinegeluid op basis van het L_{den}-niveau.

Indien er aan een jaargemiddelde beoordelingsmaat zou worden vastgehouden, pleiten bepaalde omwonenden voor een registratie en controle van emissiegegevens zoals nu door de Provincie Noord-Brabant is vastgelegd voor het Energie A16 project. Andere omwonenden hebben hier weinig vertrouwen in. Voor het Energie A16 project dienen alle inrichtinghouders de emissiegegevens periodiek aan de Omgevingsdienst West Brabant toe te zenden of de gegevens in een digitaal systeem te registreren en de Omgevingsdienst hier toegang tot te verlenen. Hiermee kan op elk gewenst moment de stand van zaken worden bekeken. Met behulp van de geregistreerde gegevens kan gedurende het kalenderjaar worden gemonitord hoe de jaargemiddelde geluidbelastingen L_{den} en L_{night} zich ontwikkelen. Periodiek wordt dan bepaald of er een risico op normoverschrijding bestaat, waarbij voor het resterende deel van het jaar wordt gerekend met het historisch gemiddelde windaanbod. Ook wordt door omwonenden gepleit voor een real-time en

continu monitoringssysteem dat immissiemetingen omvat, waarbij ruimte zou moeten zijn voor aanpassingen aan de windturbines indien de daadwerkelijke hinder ernstiger is dan verwacht.

Onderzoek naar gezondheidseffecten van windturbines

Door omwonenden wordt nader onderzoek gevraagd naar de gezondheidseffecten van moderne windturbines met hoogtes van 150 tot 250 meter. Momenteel loopt er een verkenning door het RIVM van de mogelijkheden voor een praktijkonderzoek dat de wetenschappelijke inzichten over de gezondheidseffecten van windturbines in Nederland met nieuwe empirische gegevens kan aanvullen.

Gedifferentieerde geluidnorm

Door omwonenden wordt gepleit voor landelijk geldende gedifferentieerde normen. Uit het voorliggende onderzoek blijkt dat er meerdere landen zijn die gedifferentieerde normen voor windturbines hanteren, Hierbij worden echter uiteenlopende keuzes gemaakt. In landen zoals Frankrijk, Ierland en het Verenigd Koninkrijk waar de normstelling gerelateerd is aan het achtergrondniveau geldt voor woningen in landelijk gebied een hoger beschermingsniveau dan voor woonwijken. In Vlaamse Gewest van België, Denemarken en Duitsland worden voor woningen in landelijk gebied juist hogere niveaus toegestaan dan voor woonwijken.

Rekenmethode

Vanwege de grote bronhoogte van moderne windturbines wordt door omwonenden getwijfeld aan de juistheid van de rekenmethode zoals vastgelegd in het ‘Reken- en meetvoorschrift windturbines’, bijlage 4 van de Activiteitenregeling milieubeheer. Omwonenden achter het wenselijk om hier nader onderzoek naar te doen. Het voorliggende onderzoek laat zien dat naast Nederland ook Denemarken haar eigen rekenmethode voor windturbines heeft ontwikkeld. De andere onderzochte landen maken voor zover kon worden nagegaan gebruik van de internationale standaard ISO 9613-2:1996, maar de randvoorwaarden die in de berekeningen moeten worden aangehouden verschillen vaak weer per land. Het is niet bekend welke methode de beste benadering van de werkelijkheid geeft.

Onvoldoende bescherming tegen bijzondere geluiden die als extra hinderlijk worden beschouwd

Omwonenden geven aan dat de huidige normen onvoldoende bescherming bieden tegen tonaal en impulsachtig geluid en dat extra bescherming noodzakelijk is. Uit het onderhavige onderzoek blijkt dat in de meeste landen voor tonaal geluid van windturbines een toeslag op het geluidniveau wordt toegepast variërend van 1 tot 6 dB afhankelijk van de sterkte van het tonale karakter. In Nederland wordt voor windturbinegeluid met een tonaal karakter geen toeslag toegepast. Hierdoor geldt voor windturbinegeluid met een tonaal karakter in veel landen een strengere norm dan in Nederland. Voor industriegeluid met een tonaal karakter wordt in Nederland wel een toeslag toegepast, te weten 5 dB.

Van de onderzochte landen past alleen Duitsland een toeslag toe voor impulsachtig geluid, maar dat komt omdat het voor windturbinegeluid dezelfde norm hanteert als voor industriegeluid. Het is niet bekend of Duitsland ook daadwerkelijk een toeslag op windturbinegeluid toepast. De ritmische variaties in het geluidniveau van een windturbine met de frequentie waarmee een rotorblad een bepaald punt passeert worden als amplitudemodulatie aangeduid. Amplitudemodulatie is een karakteristiek aspect van windturbinegeluid en een belangrijke reden waarom het geluid van windturbines als hinderlijker wordt ervaren als eenzelfde geluidniveau van wegverkeer of industrie. In het Verenigd Koninkrijk is een methode ontwikkeld om de amplitudemodulatie van windturbines te beoordelen en om een eventuele toeslag toe te passen. Deze methode en het toeslagschema zijn echter niet in nationale regelgeving vastgelegd en worden voor zover kon worden nagegaan niet algemeen toegepast. Ierland is voornemens om in de nieuwe regelgeving voor windturbines een toeslag op te nemen voor amplitudemodulatie met een modulatiediepte van 3 dB of meer, maar ruim twee jaar na het ter inzage leggen van het ontwerp is de nieuwe regelgeving nog niet steeds niet gepubliceerd. Van de onderzochte Europese landen zijn er geen landen met nationale regelgeving ten aanzien van amplitudemodulatie. Nieuw-Zeeland kent wel nationale regelgeving voor amplitudemodulatie van windturbines [105].

Onvoldoende bescherming tegen laagfrequent geluid

Omwonenden vinden dat de huidige normen onvoldoende bescherming tegen laagfrequent geluid. Er zou hiervoor een extra norm moeten worden opgenomen. Op dit moment kent van de acht onderzochte Europese landen alleen Denemarken een specifieke norm voor laagfrequent geluid van windturbines. Blijkens het ontwerp voor de nieuwe regelgeving is Ierland echter ook voornemens om een norm voor laagfrequent geluid in te voeren.

Slagschaduw

Nederland heeft de meest afwijkende norm voor slagschaduw, omdat de grenswaarde bestaat uit een combinatie van dagen per jaar en minuten per dag[31]. De grenswaarde van gemiddeld niet meer dan 17 dagen per jaar gedurende meer dan 20 minuten slagschaduw per dag wordt meestal vereenvoudigd toegepast. Zo wordt in de praktijk veelal uitgegaan van een grenswaarde van 5 uur en 40 minuten (of afgerond 5 of 6 uur) slagschaduw per jaar. Dit is gebaseerd op 17 keer 20 minuten slagschaduw. De Activiteitenregeling stelt echter geen limiet als er niet meer dan 17 dagen per jaar, of minder dan 20 minuten per dag, slagschaduw optreedt. Als de grens van de regeling wordt opgezocht kan er aanzienlijk meer dan 6 uur per jaar slagschaduw optreden. Uitgaande van 17 x 20 minuten zou Nederland de strengste slagschaduwnorm van de onderzochte landen hebben, maar door de vreemde definitie van de norm zou er bij het opzoeken van de maximale ruimte die de norm biedt juist veel meer slagschaduw kunnen optreden dan er in andere landen met een grenswaarde voor slagschaduw is toegestaan. Ook zijn de bij de slagschaduwberekeningen in acht te nemen randvoorwaarden onvoldoende vastgelegd. Het is wenselijk om op dit punt tot een duidelijkere, eenduidige regeling te komen.

[31] Sinds de uitspraak van de Raad van State inzake het Windpark Delfzijl Zuid moeten de normen in het Activiteitenbesluit voor windparken buiten beschouwing worden gelaten en geldt er feitelijk dus geen landelijk geldende grenswaarde meer voor de slagschaduw van windparken.

Nawoord door Nederlandse Vereniging Omwonenden Windturbines (NLVOW)

Nawoord NLVOW
Het Ministerie van EZK heeft de vertegenwoordigers van omwonenden uitgenodigd om in een nawoord hun visie op het voorliggende rapport en de vast te stellen afstandsnorm te geven. Het NLVOW heeft van deze mogelijkheid gebruik gemaakt. Dat het nawoord in het voorliggende rapport is opgenomen wil niet zeggen dat Arcadis het eens is met de inhoud van het nawoord of met de stukken op de website van de NLVOW waarnaar verwezen wordt. Het nawoord is de verantwoordelijkheid van de NLVOW.

13-4-2022

Nawoord NLVOW

Geachte lezer van dit rapport,

Voor u ligt het rapport van Arcadis als gedeeltelijk antwoord op de motie Erkens-Leijten, die vraagt om meer duidelijkheid voor de Tweede Kamerleden ten aanzien van de effecten van verschillende afstandsnormen op de gezondheid en leefkwaliteit van omwonenden. Dit rapport geeft daar nog geen antwoord op. Dit rapport is een inventarisatie van toegepaste normering in het buitenland en gaat over de gevolgen van de gehanteerde afstanden en/of geluidsnormering ten aanzien van alleen geluidsbelasting en slagschaduw die ontstaat. Het geeft dus nog geen antwoord op de vraag wat de gevolgen zijn voor de gezondheid en leefkwaliteit van omwonenden. Als vereniging die opkomt voor de belangen van de omwonenden vinden wij dit natuurlijk een groot gemis. Ons meedoen aan de klankbordgroep en het schrijven van dit nawoord moet dan ook niet gezien worden als een volledig instemmen met de inhoud van dit rapport. Wij hebben in dank wel het nodige kunnen en mogen bijdragen, waardoor dit rapport uiteindelijk meer en juistere informatie bevat die noodzakelijk is voor het landelijke bestuur en onze volksvertegenwoordiging, om een betere keuze te maken ten aanzien van nieuwe normeringen. Er zijn echter diverse punten waar wij nog sterk van inzicht verschillen.

*Onze twijfels ten aanzien van dit rapport liggen hoofdzakelijk in de conclusies die hieruit getrokken worden of kunnen worden. De bandbreedte van de gehanteerde normeringen in de diverse landen zou wat ons betreft niet mogen leiden tot "we doen het zo slecht nog niet" maar eerder tot een reflectie: "we willen toch niet het slechtste jongetje in de klas zijn". Sterker nog, wat ons betreft zou de ambitie moeten zijn om nu eens te voldoen aan eisen van EU *), adviezen van de WHO en onze Zorgplicht in de milieuwetgeving over de bescherming van de omwonenden. In deze fase zeker, nu er nog geen onderzoek is ten aanzien van de gevolgen voor de gezondheid (als invulling van deze motie). Het voorzichtigheidsprincipe, prudent omgaan met wat het gevolg kan zijn voor de mensen die er mee geconfronteerd, worden lijkt ons hier op zijn plaats. Hierbij moet zeker ook in acht worden genomen dat er voldoende betere, minder gevolgen hebbende alternatieven beschikbaar zijn, zoals op zee, zodat plaatsingsmogelijkheden in het geheel niet onder de Zorgplicht hoeven te lijden.*

Wij willen wij u er nog op wijzen dat wij de laatste concept-versie van dit rapport onderworpen hebben aan een second-opinion van een ander geluidstechnisch bureau (DGMR). Dit is gebeurd omdat wij het uiterst belangrijk vinden dat de Tweede Kamerleden goede en volledige informatie krijgen om later tot een goede beslissing te komen ten aanzien geluidsnormering voor Nederland.

*Onze analyse van dit rapport, het in onze opdracht opgestelde second-opinion rapport (van een onafhankelijk bureau) en wat dit naar onze mening zou moeten betekenen ten aanzien van de voorwaarden die aan Wind-op-Land zouden moeten worden gesteld, kunt u terugvinden op de website van de NLVOW via **deze link**. Hier hebben we de wirwar van getallen en geluids(..!..)normeringen in dit rapport geprobeerd te vertalen naar een grafiek met wat dit betekent ten aanzien van afstanden geteld in meters. Dit vanuit het voorzorgsprincipe: pak de strengste norm per land en laat die vanuit de Rechten van de Mens voor iedere woning op elk moment gelden! Daaruit blijkt dat Nederland de ruimste normen kende en dat vele ons omringende landen daarentegen hebben gekozen voor zeer ruime afstandsnormen, om daarmee vele effecten, ook anders dan geluid, op veilige afstand te houden van woningen.*

Wat dus echt ontbreekt om een juiste afweging te kunnen maken is een helder en objectief gezondheidsonderzoek, dat nog jaren op zich kan laten wachten. Laten we vooralsnog werken naar een prudente bescherming voor omwonenden met een veilige en heldere afstandsnorm en kiezen voor een normering met voldoende afstand, gedifferentieerd en met een passende aanvullende geluidsnorm. Een heldere afstandsnorm van 1000m lijkt ons minimaal noodzakelijk, er is van landen die hier al mee werken wel degelijk een wetenschappelijke motivatie voor >2000m.

Onderbelicht blijft in het rapport dat voor slagschaduw een aparte norm van volledige stilstandsregeling (0% hinder) betaalbaar is en dus tot de BBT behoort, evenzo een aparte norm voor het maximaal uitschakelen van obstakelverlichting middels al lang goedgekeurde naderingsdetectie.

Bestuur NLVOW, de belangenvereniging voor omwonenden windturbines

*)
in artikel 130 R, lid 2, van het Verdrag (VWEU) is bepaald dat het milieubeleid van de Gemeenschap met name berust op het voorzorgsbeginsel en het beginsel van preventief handelen, alsmede op de beginselen dat milieuaantastingen bij voorrang aan de bron dienen te worden bestreden en dat de vervuiler betaalt.

Referenties

[1] S. Erkens en R. Leijten, „Kamerstuk 32813, nr. 713," *Tweede Kamer der Staten-Generaal,* 15 juni 2021.

[2] Afdeling bestuursrechtspraak Raad van State, „Uitspraak 202003882/1/R3," 30 juni 2021.

[3] Windpark Krammer, „Windpark Krammer neemt detectiesysteem in gebruik," 21 december 2021. [Online]. Available: https://www.windparkkrammer.nl/windpark-krammer-neemt-detectiesysteem-gebruik/. [Geopend 3 maart 2022].

[4] E. Nieuwenhuizen en M. Köhl, „Differences in noise regulations for wind turbines in four European countries," in *EuroNoise 2015*, Maastricht, 2015.

[5] Europese Unie, „Richtlijn 2002/49/EG van het Europees Parlement en de Raad van 25 juni 2002 inzake de evaluatie en de beheersing van omgevingslawaai," *Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen, L 189/12-25,* 18 juli 2002.

[6] E. Koppen en K. Fowler, „International Legislation for Wind Turbine Noise," in *EuroNoise 2015*, Maastricht, 2015.

[7] Ierse Overheid, Department of Housing, Local Government and Heritage, „Draft Revised Wind Energy Development Guidelines December 2019," 12 december 2019.

[8] E. Nieuwenhuizen, „De emissieterm uit het reken- en meetvoorschrift windturbines," in *NSG Themabijeenkomst Geluid(shinder) van windturbines*, Arnhem, 2013.

[9] ETSU, Working Group on Wind Turbine Noise, „The assessment and rating of noise from wind farms," *ETSU-R-97,* 09 1996.

[10] B. Peeters en R. Nusselder, „Overview of critical noise values in the European Region," *European Network of the Heads of Environment Protection Agencies, M+P rapport M+P.BAFU.18.01.1,* 9 oktober 2019.

[11] World Health Organization (WHO), „Environmental Noise Guidelines for the European Region," 2018.

[12] J. Pohl, F. Faul en R. Mausfeld, „Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen," Institut für Psychologie der Christian-Albrechts-Universität, Kiel, 1999.

[13] J. Pohl, F. Faul en R. Mausfeld, „Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen Laborpilotstudie," Institut für Psychologie der Christian-Albrechts-Universität, Kiel, 2000.

[14] Länderausschuss für Immissionsschutz, „Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen (WEA-Schattenwurf-Hinweise)," 2002.

[15] E. Koppen, M. Gunuru en A. Chester, „International Legislation and Regulations for Wind Turbine Shadow Flicker Impact," in *7th International Conference on Wind Turbine Noise*, Rotterdam, 2017.

[16] Nederlandse overheid, „Besluit van 19 oktober 2007, houdende algemene regels voor inrichtingen (Besluit algemene regels voor inrichtingen milieubeheer)," [Online]. Available: https://wetten.overheid.nl/BWBR0022762/2021-07-01. [Geopend 18 november 2021].

[17] Nederlandse overheid, „Regeling van de Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer van 9 november 2007, nr. DJZ2007104180, houdende algemene regels voor inrichtingen (Regeling algemene regels voor inrichtingen milieubeheer)," [Online]. Available: https://wetten.overheid.nl/BWBR0022830/2018-04-05. [Geopend 18 november 2021].

[18] Europese Unie, „Richtlijn 2001/42/EG van het Europees Parlement en de Raad van 27 juni 2001 betreffende de beoordeling van de gevolgen voor het milieu van bepaalde plannen en programma's," *Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen L 197/30,* 21 juli 2001.

[19] Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Staatssecretaris van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij en Minister van Justitie, „Besluit van 4 juli 1994, houdende uitvoering van het hoofdstuk Milieu-effectrapportage van de Wet milieubeheer," [Online]. Available: https://wetten.overheid.nl/BWBR0006788/2020-12-18. [Geopend 6 januari 2022].

[20] Provincie Noord-Holland, „Omgevingsverordening NH2020," 22 oktober 2020.

[21] Gemeente Emmen, „Structuurvisie Emmen, Windenergie NL.IMRO.0114.2015003-S701," 28 juni 2016.

[22] Minister van VROM, „Besluit van 14 oktober 2010 tot wijziging van het Besluit algemene regels voor inrichtingen milieubeheer en het Besluit omgevingsrecht (wijziging milieuregels windturbines)," *Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden nr. 749,* 2010.

[23] Minister van VROM, „Besluit van 19 oktober 2007, houdende algemene regels voor inrichtingen (Besluit algemene regels voor inrichtingen milieubeheer)," *Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden nr. 415,* 2007.

[24] Minister van VROM, „Regeling algemene regels voor inrichtingen milieubeheer," *Staatscourant nr. 223,* 16 november 2007.

[25] Ministerie van VROM, „Handreiking Industrielawaai en vergunningverlening," oktober 1998.

[26] Minister van VROM, „Besluit van 18 oktober 2001, houdende regels voor voorzieningen en installaties (Besluit voorzieningen en installaties milieubeheer)," *Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden nr. 487,* 2001.

[27] G. v. d. Berg, „The sound of high winds: The effect of atmospheric stability on wind turbine sound and microphone noise," University of Groningen, 2006.

[28] W. Palmer, „Uncloaking the Nature of Wind Turbines – Using the Science," in *Second International Meeting on Wind Turbine Noise*, Lyon, 2007.

[29] S. A. Janssen, H. Vos en A. R. Eisses, „Hinder door geluid van windturbines. Dosis-effectrelaties op basis van Nederlandse en Zweedse gegevens," TNO 2008-D-R1051/B, 2008.

[30] E. Verheijen, J. Jabben, E. Schreurs, R. Koeman, R. v. Poll en B. d. Pon, „Evaluatie nieuwe normstelling windturbinegeluid. Invloed van verschillende grenswaarden op blootstelling, hinder en mogelijkheden ontwikkelingslocaties," RIVM 680300007, 2009.

[31] Minister van VROM, „Lijst van vragen – Wijziging van het Besluit algemene regels voor inrichtingen milieubeheer en het Besluit omgevingsrecht (wijziging milieuregels windturbines)," *Kamerstuk 31209, nr. 97,* 21 augustus 2009.

[32] Ministerie van VROM, „Handreiking industrielawaai en vergunningverlening," 1998.

[33] Minister van VROM, „Beantwoording Vragen van de leden Zijlstra (VVD) en Jansen (SP) aan de minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer over de geluids- en veiligheidsnormering voor windmolens. (Ingezonden 22 juli 2009)," *Kamervragen nr. 14196,* 21 augustus 2009.

[34] Minister van VROM, „Beantwoording schriftelijke vragen en opmerkingen over het Ontwerp-besluit Wijziging milieuregels windturbines," 8 december 2009.

[35] Omgevingsdienst Midden- en West-Brabant, „Handhaving norm geluiden en slagschaduw. Toezichts- en handhavingsstrategie project Windenergie A16," 1 maart 2019. [Online]. Available: https://www.brabant.nl/subsites/windenergiea16/actueel-windenergie-a16/2019/handhaving-norm-geluid-en-slagschaduw. [Geopend 1 december 2021].

[36] Afdeling bestuursrechtspraak Raad van State, „Uitspraak 201608423/1/R6 en 201703826/1/R6," 21 februari 2018.

[37] Europese Hof van Justitie, „Arrest van het Hof (Grote kamer) in zaak C-24/19," 25 juni 2020.

[38] Belgisch Staatsblad nr. 211, „Decreet tot validering van de sectorale milieuvoorwaarden voor windturbines - 17 juli 2020," 24 juli 2020.

[39] Grondwettelijk hof, „Arrest nr. 142/2021," 14 oktober 2021.

[40] Waalse overheid, „ Arrêté du Gouvernement wallon portant conditions sectorielles relatives aux parcs d'éoliennes d'une puissance totale supérieure ou égale à 0,5 MW, modifiant l'arrêté du Gouvernement wallon du 4 juillet 2002," 13 februari 2014.

[41] Modyva, Sertius, Pissaet ae, „Evaluation des incidences sur l'environnement de deux projets de plan. Conditions sectorielles s'appliquant aux parcs d'éoliennes," 2020.

[42] Waalse overheid, „Arrêté du Gouvernement wallon portant conditions sectorielles relatives aux parcs d'éoliennes d'une puissance totale supérieure ou égale à 0,5 MW et modifiant l'arrêté du Gouvernement wallon du 4 juillet 2002 arrêtant la liste des projets soumis à étude d," 25 februari 2021.

[43] Vlaamse overheid, "VLAREM II, Besluit van de Vlaamse regering van 1 juni 1995 houdende algemene en sectorale bepalingen inzake milieuhygiëne," [Online]. Available: https://navigator.emis.vito.be/mijn-navigator?woId=40985. [Accessed 6 januari 2021].

[44] Waalse overheid, „Cadre de référence pour l'implantation d'éoliennes en région Wallonne," 11 juli 2013.

[45] Vlaamse overheid, „VLAREM II - Bijlagen, Bijlage 5.20.6.1. Richtwaarden voor windturbinegeluid," [Online]. Available: https://navigator.emis.vito.be/mijn-navigator?woId=42564. [Geopend 6 januari 2022].

[46] Waalse overheid, „Arrêté du Gouvernement wallon fixant les conditions générales d'exploitation des établissements visés par le décret du 11 mars 1999 relatif au permis d'environnement (M.B. 21.09.2002 - err. 01.10.2002)," 4 juli 2002.

[47] Sertius, Modyva, Pissart AE, „Evaluation des incidences sur l'environnement de deux projects de plan," *Projet d'Arrêté ministériel relatif aux études acoustiques des parcs éoliens,* pp. 187-193, 3 februari 2020.

[48] Vlaamse overheid, Departement Leefmililieu, Natuur en Energie, Afdeling Milieuvergunningen, „Toelichtingsnota nieuwe milieuvoorwaarden voor windturbines," 27 juli 2011.

[49] Deense overheid, Erhvervsstyrelsen, „Bekendtgørelse om planlægning for og tilladelse til opstilling af vindmøller," *BEK nr. 923,* 6 september 2019.

[50] Deense overheid, Naturstyrelsen, Miljøministeriet, „Vejledning om planlægning for og tilladelse til opstilling af," 2015.

[51] Deense Overheid, Miljø- og Fødevareministeriet, „Bekendtgørelse om støj fra vindmøller," *BEK nr. 135,* 07 Februari 2019.

[52] Persoonlijke correspondentie J. Mogensen, Deense Ministerie van Milieu, 17 november 2021.

[53] Deense overheid, Miljø- og Fødevareministeriet, „Bekendtgørelse om støj fra vindmøller," *BEK nr 304,* 14 mei 1991.

[54] Deense overheid, Miljø- og Fødevareministeriet, „Bekendtgørelse om støj fra vindmøller," *BEK nr 1518,* 14 December 2006.

[55] Deense overheid, Miljø- og Fødevareministeriet, „Bekendtgørelse om støj fra vindmøller," *BEK nr 1284,* 15 December 2011.

[56] Deense overheid, Miljø- og Fødevareministeriet, „Bekendtgørelse om støj fra vindmøller," *BEK nr 1736,* 21 December 2015.

[57] J. S. Thers en A. Jensen, „Støj fra vindmøller, Vejledning fra Miljøstyrelsen," Het Deense Agentschap voor Milieubescherming, Miljøstyrelsen, 2021.

[58] J. Jakobsen, „Danish regulation of low frequency noise from wind turbines," in *15th International Meeting on Low Frequency Noise and Vibration and its Control*, Stratford upon Avon, 2012.

[59] L. S. Sondergaard en C. Backalarz, „Støj fra store, nyere danske vindmøller som funktion af vindhastigheden," Het Deense Agentschap voor Milieubescherming (Miljøstyrelsen), 2016.

[60] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, „Baugesetzbuch (BauGB) § 249 Sonderregelungen zur Windenergie," in *§ 249 Sonderregelungen zur Windenergie*, 2021.

[61] Fachagentur Windenergie an Land, „Überblick zu den Abstandsempfehlungen zur Ausweisung von Windenergiegebieten in den Bundesländern," oktober 2021.

[62] Bayerische Staatskanzlei, „Art. 82 Windenergie und Nutzungsänderung ehemaliger landwirtschaftlicher Gebäude," *Bayerische Bauordnung (BayBO),* 1 juni 2021.

[63] Staatskanselarij van Nedersaksen, „Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen an Land in Niedersachsen (Windenergieerlass)," in *RdErl.D. MU, ged. ML, ged. MI, ged. MW - MU-52-29211/1/305*, 2021.

[64] Noordrijn-Westfalen, „Geltende Gesetze und Verordnungen (SGV. NRW.) mit Stand vom 2.12.2021 § 2 (Fn 2) Mindestabstand für privilegierte Windenergieanlagen," 2 December 2021. [Online]. Available: https://recht.nrw.de/lmi/owa/br_bes_detail?sg=0&menu=1&bes_id=29504&anw_nr=2&aufgehoben=N&det_id=517851. [Geopend 3 December 2021].

[65] *Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm) vom 26. August 1998 (GMBl Nr. 26/1998 S. 503),* 1998.

[66] A. Bauerdorff, „Current regulations for the protection against noise from wind turbines in Germany," in *8th International Conference on Wind Turbine Noise 2019*, Lissabon, 2019.

[67] Deutsches Institut für Normung, „Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft (Measurement and assessment of low-frequency noise immissions in the neighborhood)," *DIN 45680,* maart 1997.

[68] Deutsches Institut für Normung, „Beiblatt 1: Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft," *DIN 45680,* maart 1997.

[69] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., „Dokumentation zur Schallausbreitung, Interimsverfahren zur Prognose der Geräuschimmissionen von Windkraftanlagen, Fassung 2015-05.1," 28 september 2015.

[70] Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI), „Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windkraftanlagen – Aktualisierung 2019," 23 januari 2020.

[71] Persoonlijke correspondentie A. Bauerdorff, Duitse Umweltbundesamt, 23 november 2021.

[72] Bayerischer Landtag, 17. Wahlperiode, „Gesetzentwurf der Staatsregierung zur Änderung der Bayerischen Bauordnung und des Gesetzes über die behördliche Organisation des Bauwesens, des Wohnungswesens und der Wasserwirtschaft," *Drucksache 17/2137,* 27 mei 2014.

[73] Beierse Staatskanselarij, „Höhenbezogener Mindestabstand für Windkraftanlagen als Voraussetzung für deren bauplanungsrechtliche Privilegierung," *Bayern.Recht,* nr. VerfGH München, besluit van 9 mei 2016 - Vf. 14-VII / 14, Vf. 3-VIII / 15, Vf. 4-VIII/15.

[74] ntv, „Habeck: Windrad-Abstände könnten kippen," 27 november 2021. [Online]. Available: https://www.n-tv.de/politik/Habeck-Windrad-Abstaende-koennten-kippen-article22960817.html. [Geopend 29 november 2021].

[75] Landtag Nordrhein-Westfalen, 17. Wahlperiode, „Gesetzentwurf der Landesregierung. Zweites Gesetz zur Änderung des Gesetzes zur Ausführung des Baugesetzbuches in Nordrhein-Westfalen," *Drucksache 17/13426,* 21 april 2021.

[76] Franse Overheid, „Code de l'environnement, Section 11: Eoliennes," 1 maart 2017. [Online]. Available: https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000033933299/. [Geopend 17 januari 2022].

[77] Franse Overheid, „Arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation

des installations classées pour la prot....," 10 december 2021. [Online]. Available: https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000024507365/. [Geopend 17 januari 2022].

[78] P. Dutilleux, „France - Germany: A Comparison of the Acoustic Assessment Procedures," in *8th International Conference on Wind Turbine Noise*, Lisbon, 2019.

[79] Ierse Overheid, Department of Housing, Local Government and Heritage , „Wind Energy Development Guidelines," 2006.

[80] Ierse Overheid, Department of the Environment, Community and Local Government, „Proposed Revisions to Wind Energy Development Guidelines 2006, Targeted Review in relation to Noise, Proximity and Shadow Flicker," 11 december 2013.

[81] Ierse Overheid, „Wind Energy Guidelines, Dáil Éireann Debate," 5 mei 2021. [Online]. Available: https://www.oireachtas.ie/en/debates/question/2021-05-05/39/. [Geopend 13 januari 2022].

[82] Institute of Acoustics, Amplitude Modulation Working Group, „A Method for Rating Amplitude Modulation in Wind Turbine Noise," 9 augustus 2016.

[83] Institute of Acoustics, „A Good Practice Guide to the Application of ETSU-R-97 for the Assessment and Rating of Wind Turbine Noise," mei 2013.

[84] Poolse Overheid, „Ustawy o inwestycjach w zakresie elektrowni," *Druk nr 315,* 19 februari 2016.

[85] Poolse Overheid, „Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 października 2012 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku," *Poz. 1109,* 1 10 2012.

[86] P. G. Pojmański, „Opinia dotycząca zagrożeń związanych z eksploatacją i awariami turbin wiatrowych," [Online]. Available: http://gminagolcza.pl/wp-content/uploads/2013/04/opinia-bezpieczenstwo-a-wiatraki-g-pojmanski.pdf. [Geopend 2 12 2021].

[87] WSP | Parsons Brinckerhoff, „Wind Turbine AM Review. Phase 2 Report. Department of Energy & Climate Change," *Report No 3514482A,* Augustus 2016.

[88] UK Department of Energy & Climate Change, „National Policy Statement for Renewable Energy Infrastructure (EN-3)," juli 2011.

[89] Noord-Ierse Overheid, Department of the Environment, „Best Practice Guidance to Planning Policy Statement 18 'Renewable Energy'," augustus 2009.

[90] WHO, „Enironmental Health Criteria," *12-Noise,* 1980.

[91] E. Nieuwenhuizen, „Consequenties van het verlagen van de norm voor windturbinegeluid voor plaatsbaarheid en energieopbrengst. Quick scan," *Presentatie M+P i.o.v. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (https://www.rvo.nl/sites/default/files/2021/10/Consequenties_verlagen_norm_WTgeluid.pdf),* 2020.

[92] S. Janssen, H. Vos, A. Eisses en E. Pedersen, „A comparison between exposure–response relationships for wind turbine annoyance and annoyance due to other noise sources.," *The Journal of the Acoustical Society of America 130(6),* p. 3746–53, 2011.

[93] S. Kuwano, T. Yano, T. Kageyama, S. Sueoka en H. Tachibanae, „Social survey on wind turbine noise in Japan," *Noise Control Engineering Journal 62(6),* pp. 503-20, 2014.

[94] E. Geertsema, M. Scheele en H. van den Brink, „Windgegevens voor het berekenen van de geluidsbelasting door windturbines, TR-370," *KNMI,* 2018.

[95] Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, „Gezondheidseffecten van windturbinegeluid, rapport 2020-0214," RIVM, 2021.

[96] D. Bijl, „Gezondheidseffecten van windturbinegeluid, Analyse van het RIVM-rapport 2020-0214," Wind Wiki, Utrecht, 2021.

[97] W. e. S. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu - Ministerie van Volksgezondheid, *Reactie RIVM op het evaluatierapport van Bijl 03-11-2021,* Bilthoven, 2021.

[98] D. S. Michaud, L. Marro en J. McNamee, „Derivation and application of a composite annoyance reaction construct based on multiple wind turbine features," Canadian Journal of Public Health, Ottawa, Canada, 2017.

[99] D. S. Michaud, L. Marro en J. McNamee, „The association between self-reported and objective measures of health and aggregate annoyance scores toward wind turbine installations," Canadian Journal of Public Health, Canada, 2018.

[100] G. Hübner, J. Pohl, B. Hoen, J. Firestone, J. Rand, D. Elliott en R. Haac, „Monitoring annoyance and stress effects of wind turbines on nearby residents: A comparison of U.S. and European samples," Elsevier, 2019.

[101] J. Pohl, J. Gabriel en G. Hübner, „Understanding stress effects of wind turbine noise – The integrated approach," Elsevier, 2018.

[102] R. T. Haac, K. Kaliski, M. Landis, B. Hoen, J. Rand, J. Firestone, D. Elliott, J. Pohl en G. Hübner, „Wind turbine audibility and noise annoyance in a national U.S. survey: Individual perception and influencing factors," Acousstical Society of America, U.S., 2018.

[103] D. S. Michaud, S. E. Keith, K. Feder, S. A. Voicescu en et al., „Personal and situational variables associated with wind turbine noise annoyance," The Journal of the Acoustical Society of America, 2016.

[104] K. Feder, D. S. Michaud, S. E. Keith, S. A. Voicescu en et al., „An assessment of quality of life using the WHOQOL-BREF among participants living in the vicinity of wind turbines," *Environmental Research,* pp. 227-238, 2015.

[105] New Zealand Standard, „NZS 6808:2010 Acoustics - Wind farm noise," 2010.

[106] Kenniscentrum InfoMil, „Bepaling windsnelheidsverdeling bij windturbine," [Online]. Available: https://www.infomil.nl/onderwerpen/integrale/activiteitenbesluit/activiteiten/installaties/windturbine/windturbines/windturbinetool/. [Geopend 22 november 2021].

[107] Nederlandse overheid, „Regeling van de Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer van 9 november 2007, nr. DJZ2007104180, houdende algemene regels voor inrichtingen (Regeling algemene regels voor inrichtingen milieubeheer)," 2011.

[108] E. Verheijen en J. Jabben, „Sanering windturbinegeluid. Een indicatieve raming van kosten," *RIVM Briefrapport 680375001/2011,* 2011.

[109] Provincie Noord-Holland, „Ontwerp-omgevingsverordening NH2022".

[110] Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, „Notitie Reikwijdte en Detailniveau voor het planMER Windturbinebepalingen Leefomgeving," 21 december 2021.

Bijlage 1 Geluidbelasting op verschillende afstanden tot een windpark uitgaande van een specifiek type windturbine per windturbineklasse

Uitgangspunten berekeningen

Om de effecten van de geluidbelasting op verschillende afstanden tot een windpark in beeld te brengen zijn twee fictieve windparken gemodelleerd. Hierbij is uitgegaan van de opstellingsvarianten zoals beschreven in paragraaf 3.1.

De berekeningen zijn verricht voor een specifiek type windturbine in de klassen 2 MW, 4 MW en 6 MW. De kenmerken van deze typen turbines zoals gehanteerd in de berekeningen zijn vermeld in Tabel 22. Deze typen windturbines betreft in principe een willekeurige keuze. Wel is gekozen voor windturbines van drie verschillende fabrikanten en voor windturbines met relatief grote verschillen in rotordiameter. Daarnaast is ervoor gekozen om voor de 2 MW klasse windturbines de laagste ashoogte te hanteren, voor de 6 MW klasse de hoogste ashoogte en voor de 4 MW klasse een tussenliggende ashoogte. In de praktijk zijn echter voor alle windturbineklassen meerdere ashoogtes beschikbaar. Zo is bijvoorbeeld de Type A-2.4 MW turbine ook met een ashoogte van 141 meter beschikbaar. De klasse 2 MW is het meest representatief voor turbines die tot enkele jaren geleden zijn geplaatst, de klasse 4 MW is het meest representatief voor turbines die heden ten dage worden geplaatst en de klasse 6 MW voor turbines die de komende jaren worden geplaatst.

Tabel 22. Onderzochte klassen windturbines en de hiervoor beschouwde typen windturbines en turbinekenmerken

Klasse windturbine	Beschouwd type windturbine	Vermogen [MW]	Rotor-diameter [m]	Ashoogte [m]	Tiphoogte [m]	Geluidemissie	
						$L_{WA\ max}$* [dB(A)]	$L_{E\ den}$** [dB]
2 MW	Type A - 2,4 MW	2,4	117	91	149,5	105,0	109,2
4 MW	Type B - 4,3 MW	4,3	138	131	200	106,0	110,2
6 MW	Type C - 6,2 MW	6,2	162	166	247	104,8	109,0

** Maximaal bronvermogen*
*** Gewogen jaargemiddelde geluidemissie*

In de berekeningen is uitgegaan van de bronvermogens als functie van de windsnelheid en de geluidspectra van de beschouwde typen windturbines conform de specificaties van de turbinefabrikanten. Het bronvermogen bij het nominale vermogen van de windturbines – het maximale bronvermogen - per frequentieband is weergegeven in Afbeelding 14 in paragraaf 3.1.

Voor de berekening van de geluidbelasting is ervan uitgegaan dat het voornoemde fictieve windpark in een landelijke omgeving in het midden van Nederland wordt gerealiseerd. Dit houdt in dat er wordt uitgegaan van een omgeving met overwegend gras- en akkerland – een overwegend absorberende bodem - en de KNMI-windstatistieken voor midden Nederland [106]. De berekeningen zijn verricht conform het Reken- en meetvoorschrift windturbines [107].

Bandbreedte in geluidbelasting op verschillende afstanden tot een windpark uitgaande van een specifiek type windturbine per windturbineklasse

Voor een lijnopstelling van drie windturbines zijn de resultaten voor de geluidbelasting L_{den} en het equivalente geluidniveau L_{Aeq} bij maximale geluidproductie van de windturbines voor de beschouwde typen windturbines samengevat in Tabel 23. Hieruit blijkt dat per klasse voor de beschouwde typen windturbines op een bepaalde afstand van het windpark een spreiding van 2 tot 4 dB in de geluidbelasting optreedt. De geluidcontouren in Afbeelding 15 in paragraaf 3.2 laten zien dat dit verschil komt door de oriëntatie ten opzichte van het windpark. De hoogste geluidbelasting treedt op ter hoogte van de middelste windturbine, omdat hier het gezamenlijke effect van de windturbines het grootste is. De laagste geluidbelasting treedt op in het verlengde van het windpark. Op de vaste afstanden bedragen de verschillen in geluidbelasting tussen de beschouwde typen windturbines 0 tot 2 dB. De afstanden waar aan een geluidbelasting van 47 dB L_{den}[32] wordt voldaan varieert van circa 300 tot circa 500 meter.

[32] 47 dB L_{den} is de norm in het Activiteitenbesluit die sinds de uitspraak van de Afdeling bestuursrechtspraak van de Raad van State inzake Windpark Delfzijl Zuid [15] niet meer op windparken mag worden toegepast.

Voor een dubbele lijnopstelling van tweemaal vijf windturbines zijn de resultaten voor de geluidbelasting L_{den} en het equivalente geluidniveau bij maximale geluidproductie van de windturbines $L_{Aeq\ max}$ samengevat in Tabel 24. Hieruit blijkt dat per klasse voor de beschouwde typen windturbines op een bepaalde afstand van het windpark een spreiding van 2 tot 5 dB in de geluidbelasting optreedt. De afstanden waar aan een geluidbelasting van 47 dB L_{den} wordt voldaan varieert van circa 350 tot circa 650 meter.

Het is opvallend dat op een afstand die gerelateerd is aan de as- of tiphoogte de hoogste geluidbelasting vanwege de 6 MW klasse windturbine 5 tot 7 dB lager is dan voor de 2 MW klasse windturbine. Dit komt doordat het geen vaste afstanden zijn. Voor de grotere windturbine gaat het om (veel) grotere afstanden (vanwege de grotere as- en tiphoogtes) dan voor de kleinere turbine terwijl het betreffende type niet meer geluid produceert. Als voor de 2 MW klasse turbine van een grotere as- en tiphoogte zou worden uitgegaan zou het verschil kleiner zijn. De geluidbelasting op vaste afstanden tot het windpark geeft een beter beeld van de verschillen in geluidbelasting tussen verschillende typen windturbines. Dit laat zien dat de verschillen tussen de verschillende typen windturbines klein zijn.

In Tabel 23 is ook het equivalente geluidniveau bij maximale geluidproductie van de windturbines $L_{Aeq\ max}$ weergegeven. Dit laat een vergelijkbare spreiding in geluidniveaus zien. Het equivalente geluidniveau bij maximale geluidproductie van de windturbines $L_{Aeq\ max}$ is 4 tot 5 dB(A) lager dan de geluidbelasting in L_{den}.

Bij vergelijking van de resultaten voor de dubbele lijnopstelling met de resultaten voor de enkele lijnopstelling is te zien dat de gevolgen van het grotere aantal turbines vooral zichtbaar zijn op een relatief grote afstand van de windturbines. Dit komt doordat op relatief korte afstand de geluidbelasting vooral wordt bepaald door de dichtstbijzijnde windturbine. Naarmate de afstand groter is, wordt het gezamenlijke effect van de turbines belangrijker. Indien van nog een veel groter windpark zou worden uitgegaan zal de geluidbelasting tot op circa 750 meter afstand met ten hoogste 1 dB toenemen, maar op grotere afstanden zou door het grotere aantal windturbines de gezamenlijke geluidbelasting met enkele decibellen kunnen toenemen tot circa 4 dB op een afstand van 2 kilometer.

Tabel 23. Geluidbelasting L_{den} en het equivalente geluidniveau bij maximale geluidproductie van de windturbines $L_{Aeq\ max}$ als functie van de afstand voor een fictief windpark van drie windturbines in een lijnopstelling voor de in Tabel 22 weergegeven beschouwde typen windturbines

Afstand	Geluidbelasting L_{den} en het equivalente geluidniveau L_{Aeq} bij maximale geluidproductie voor de beschouwde typen windturbines voor een locatie in midden Nederland					
	Klasse 2 MW, Type A		Klasse 4 MW, Type B		Klasse 6 MW, Type C	
	L_{den} [dB]	$L_{Aeq\ max}$ [dB(A)]	L_{den} [dB]	$L_{Aeq\ max}$ [dB(A)]	L_{den} [dB]	$L_{Aeq\ max}$ [dB(A)]
300	49 – 51	44 – 47	49 – 52	44 – 47	47 – 50	43 – 45
400	46 – 49	42 – 45	47 – 49	42 – 45	45 – 48	41 – 44
500	44 – 47	40 – 43	45 – 47	40 – 43	44 – 46	39 – 42
750	41 – 43	36 – 39	41 – 44	37 – 39	40 – 43	36 – 38
1.000	38 – 40	33 – 36	38 – 41	34 – 36	37 – 40	33 – 36
1.500	32 – 36	27 – 31	33 – 36	29 – 32	33 – 36	29 – 32
2.000	28 – 32	24 – 28	29 – 33	24 – 28	29 – 32	25 – 28
4 x ashoogte[1)]	47 – 50	43 – 45	44 – 47	40 – 42	41 – 44	37 – 39
4 x tiphoogte[2)]	43 – 45	39 – 41	41 – 43	36 – 38	38 – 40	33 – 36
10 x ashoogte[3)]	39 – 42	34 – 37	35 – 38	31 – 34	32 – 35	28 – 31
10 x tiphoogte[4)]	32 – 36	28 – 31	29 – 33	24 – 28	26 – 30	22 – 25

[1)] Uitgaande van een ashoogte van 91, 131 en 166 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 364, 524 en 664 meter.
[2)] Uitgaande van een tiphoogte van 149,5, 200 en 247 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 598, 800 en 988 meter.
[3)] Uitgaande van een ashoogte van 91, 131 en 166 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 910, 1.310 en 1.660 meter.
[4)] Uitgaande van een tiphoogte van 149,5, 200 en 247 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 1.495, 2.000 en 2.470 meter.

Tabel 24. Geluidbelasting L_{den} en het equivalente geluidniveau L_{Aeq} bij maximale geluidproductie van de windturbines als functie van de afstand voor een fictief windpark in een dubbele lijnopstelling van tweemaal vijf windturbines voor de in Tabel 22 weergegeven beschouwde typen windturbines

Afstand	Geluidbelasting L_{den} en het equivalente geluidniveau L_{Aeq} bij maximale geluidproductie voor de beschouwde typen windturbines voor een locatie in midden Nederland					
	Klasse 2 MW, Type A		Klasse 4 MW, Type B		Klasse 6 MW, Type C	
	L_{den} [dB]	$L_{Aeq\ max}$ [dB(A)]	L_{den} [dB]	$L_{Aeq\ max}$ [dB(A)]	L_{den} [dB]	$L_{Aeq\ max}$ [dB(A)]
300	50 – 53	45 – 48	50 – 53	46 – 48	48 – 51	44 – 46
400	48 – 50	43 – 46	48 – 51	44 – 46	46 – 49	42 – 45
500	46 – 49	42 – 45	46 – 49	42 – 45	45 – 47	41 – 43
750	43 – 46	39 – 42	43 – 46	39 – 42	42 – 45	38 – 40
1.000	39 – 43	35 – 39	40 – 43	36 – 39	39 – 42	35 – 38
1.500	34 – 39	30 – 35	36 – 39	31 – 35	35 – 39	31 – 35
2.000	31 – 36	27 – 31	32 – 36	27 – 32	32 – 36	27 – 31
4 x ashoogte[1)]	48 – 51	44 – 47	46 – 49	42 – 44	43 – 45	38 – 41
4 x tiphoogte[2)]	45 – 48	40 – 43	42 – 45	38 – 41	40 – 42	35 – 38
10 x ashoogte[3)]	40 – 44	36 – 40	37 – 41	33 – 37	34 – 38	30 – 33
10 x tiphoogte[4)]	34 – 39	30 – 35	32 – 36	27 – 32	29 – 33	25 – 29

[1)] Uitgaande van een ashoogte van 91, 131 en 166 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 364, 524 en 664 meter.
[2)] Uitgaande van een tiphoogte van 149,5, 200 en 247 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 598, 800 en 988 meter.
[3)] Uitgaande van een ashoogte van 91, 131 en 166 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 910, 1.310 en 1.660 meter.
[4)] Uitgaande van een tiphoogte van 149,5, 200 en 247 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 1.495, 2.000 en 2.470 meter.

Bijlage 2 Percentage ernstig gehinderden door geluid uitgaande van windparken met een specifiek type windturbine per windturbineklasse

Bandbreedte percentage ernstig gehinderden op verschillende afstanden tot een windpark uitgaande van specifieke typen windturbines

Op basis van de geluidbelasting in L_{den} zoals weergegeven in voor het fictieve windpark bestaande uit een lijnopstelling van drie windturbines in Tabel 23 in bijlage 1 en de dosis-effectrelaties zoals weergegeven in Afbeelding 20 en Afbeelding 21 in paragraaf 5.3.1 is het percentage ernstig gehinderden als functie van de afstand tot het windpark bepaald voor de beschouwde typen windturbines. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 25. Uit deze tabel blijkt dat voor een bepaalde windturbineklasse, uitgaande van de door Janssen et al. afgeleide dosis-effectrelatie bij een bepaalde afstand, een spreiding tot 7% ernstig gehinderden binnenshuis en tot 11% ernstig gehinderden buitenshuis kan optreden. Zo varieert op een afstand van 300 meter tot het windpark het aantal ernstig gehinderden binnenshuis van 11 tot 18% en buitenshuis van 24 tot 35%. Op basis van de door Michaud et al. afgeleide relatie treedt een spreiding op tot 6% ernstig gehinderden. Deze verschillen komen door de oriëntatie ten opzichte van het windpark. Het hoogste percentage treedt op ter hoogte van de middelste windturbine, omdat hier het gezamenlijke effect van de windturbines het grootste is. De minste hinder treedt op in het verlengde van het windpark waar de geluidbelasting het laagste is. De spreiding binnen een turbineklasse neemt af naarmate de afstand groter wordt.

De resultaten voor het fictieve windpark bestaande uit een dubbele lijnopstelling van tweemaal vijf windturbines zijn vermeld in Tabel 26. In deze situatie kan uitgaande van Janssen et al. voor een bepaalde windturbineklasse bij een bepaalde afstand tot 8% ernstig gehinderden binnenshuis en tot 13% ernstig gehinderden buitenshuis optreden. Uitgaande van Michaud et al. treedt een spreiding op tot 7% ernstig gehinderden. Ook hier neemt de spreiding binnen een turbineklasse af naarmate de afstand groter wordt.

De weergegeven spreidingen worden bepaald door de spreiding in de geluidbelasting. Er is geen rekening gehouden met de spreiding door het verschil in acceptatieniveau tussen verschillende gemeenschappen. Hierdoor kan de spreiding in werkelijkheid nog groter uitvallen.

Tabel 25. Percentage ernstig gehinderden voor een windpark vanwege geluid van drie windturbines in een lijnopstelling voor de in Tabel 22 weergegeven beschouwde typen windturbines

Afstand	Percentage ernstig gehinderden conform Janssen et al. Binnenshuis (Buitenshuis)			Percentage ernstig gehinderden conform Michaud en al. (Geen onderscheid binnens-/buitenshuis)		
	Klasse 2 MW, Type A	Klasse 4 MW, Type B	Klasse 6 MW, Type C	Klasse 2 MW, Type A	Klasse 4 MW, Type B	Klasse 6 MW, Type C
300	11 – 18 (24 – 35)	12 – 19 (26 – 37)	9 – 13 (20 – 28)	18 – 23	18 – 24	15 – 20
400	7 – 12 (17 – 25)	8 – 13 (18 – 27)	6 – 10 (14 – 21)	13 – 18	14 – 19	11 – 16
500	5 – 8 (12 – 19)	5 – 9 (13 – 20)	4 – 7 (10 – 16)	10 – 14	10 – 15	8 – 13
750	2 – 4 (5 – 10)	2 – 4 (6 – 11)	1 – 3 (5 – 8)	5 – 8	6 – 9	4 – 7
1.000	1 – 2 (2 – 5)	1 – 2 (3 – 6)	1 – 1 (2 – 5)	2 – 5	3 – 5	2 – 4
1.500	0 – 0 (0 – 1)	0 – 1 (1 – 2)	0 – 0 (1 – 1)	0 – 1	1 – 2	1 – 2
2.000	0 – 0 (0 – 0)	0 – 0 (0 – 1)	0 – 0 (0 – 0)	0 – 0	0 – 1	0 – 1
4 x ashoogte[1)]	8 – 14 (19 – 29)	5 – 8 (12 – 19)	2 – 4 (6 – 10)	15 – 20	10 – 14	5 – 9
4 x tiphoogte[2)]	3 – 6 (9 – 14)	2 – 3 (5 – 9)	1 – 2 (2 – 5)	7 – 12	5 – 8	2 – 4

Afstand	Percentage ernstig gehinderden conform Janssen et al. Binnenshuis (Buitenshuis)			Percentage ernstig gehinderden conform Michaud en al. (Geen onderscheid binnens-/buitenshuis)		
	Klasse 2 MW, Type A	Klasse 4 MW, Type B	Klasse 6 MW, Type C	Klasse 2 MW, Type A	Klasse 4 MW, Type B	Klasse 6 MW, Type C
10 x ashoogte[3)]	1 – 2 (3 – 7)	0 – 1 (1 – 3)	0 – 0 (0 – 1)	3 – 6	1 – 3	0 – 1
10 x tiphoogte[4)]	0 – 0 (0 – 1)	0 – 0 (0 – 1)	0 – 0 (0 – 0)	0 – 1	0 – 1	0 – 0

[1)] Uitgaande van een ashoogte van 91, 131 en 166 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 364, 524 en 664 meter.
[2)] Uitgaande van een tiphoogte van 149,5, 200 en 247 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 598, 800 en 988 meter.
[3)] Uitgaande van een ashoogte van 91, 131 en 166 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 910, 1.310 en 1.660 meter.
[4)] Uitgaande van een tiphoogte van 149,5, 200 en 247 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 1.495, 2.000 en 2.470 meter

Tabel 26. Percentage ernstig gehinderden binnenshuis en buitenshuis vanwege geluid voor een windpark van een dubbele lijnopstelling van tweemaal vijf windturbines voor de in Tabel 22 weergegeven beschouwde typen windturbines

Afstand	Percentage ernstig gehinderden conform Janssen et al. Binnenshuis (Buitenshuis)			Percentage ernstig gehinderden conform Michaud en al. (Geen onderscheid binnens-/buitenshuis)		
	Klasse 2 MW, Type A	Klasse 4 MW, Type B	Klasse 6 MW, Type C	Klasse 2 MW, Type A	Klasse 4 MW, Type B	Klasse 6 MW, Type C
300	14 – 22 (29 – 42)	14 – 22 (29 – 42)	10 – 16 (22 – 33)	20 – 27	20 – 27	17 – 22
400	9 – 15 (21 – 32)	10 – 16 (22 – 33)	7 – 12 (17 – 26)	16 – 22	16 – 22	13 – 18
500	7 – 12 (16 – 25)	7 – 12 (16 – 26)	5 – 9 (13 – 20)	12 – 18	13 – 18	10 – 15
750	3 – 7 (9 – 16)	3 – 7 (9 – 16)	2 – 5 (7 – 12)	8 – 12	8 – 12	6 – 10
1.000	1 – 3 (4 – 9)	2 – 4 (5 – 10)	1 – 3 (4 – 8)	4 – 8	5 – 8	4 – 7
1.500	0 – 1 (1 – 3)	0 – 1 (1 – 4)	0 – 1 (1 – 3)	1 – 3	1 – 4	1 – 3
2.000	0 – 0 (0 – 1)	0 – 1 (0 – 2)	0 – 0 (0 – 1)	0 – 1	0 – 2	0 – 1
4 x ashoogte[1)]	11 – 17 (23 – 35)	7 – 11 (15 – 25)	3 – 6 (8 – 14)	17 – 23	12 – 18	7 – 11
4 x tiphoogte[2)]	5 – 9 (12 – 20)	3 – 6 (8 – 14)	1 – 3 (4 – 8)	10 – 15	7 – 11	4 – 7
10 x ashoogte[3)]	2 – 4 (5 – 11)	1 – 2 (2 – 6)	0 – 1 (1 – 2)	5 – 9	2 – 5	1 – 3
10 x tiphoogte[4)]	0 – 1 (1 – 3)	0 – 0 (0 – 1)	0 – 0 (0 – 1)	1 – 3	0 – 2	0 – 1

[1)] Uitgaande van een ashoogte van 91, 131 en 166 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 364, 524 en 664 meter.

Afstand	Percentage ernstig gehinderden conform Janssen et al. Binnenshuis (Buitenshuis)			Percentage ernstig gehinderden conform Michaud en al. (Geen onderscheid binnens-/buitenshuis)		
	Klasse 2 MW, Type A	Klasse 4 MW, Type B	Klasse 6 MW, Type C	Klasse 2 MW, Type A	Klasse 4 MW, Type B	Klasse 6 MW, Type C

[2] Uitgaande van een tiphoogte van 149,5, 200 en 247 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 598, 800 en 988 meter.
[3] Uitgaande van een ashoogte van 91, 131 en 166 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 910, 1.310 en 1.660 meter.
[4] Uitgaande van een tiphoogte van 149,5, 200 en 247 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 1.495, 2.000 en 2.470 meter

Bandbreedte percentage ernstig gehinderden vanwege geluid volgens Michaud et al. op verschillende afstanden tot een windpark

Op basis van de geluidbelasting in L_{den} zoals weergegeven in Tabel 15 voor de beschouwde klassen windturbines voor een windpark bestaande uit een lijnopstelling van drie windturbines en de dosis-effectrelatie volgens Michaud et al. zoals weergegeven in Afbeelding 21 in paragraaf 5.3.1, is het percentage gehinderden als functie van de afstand tot het windpark bepaald. Dit betreft de resultaten bepaald uitgaande van gunstige en ongunstige omstandigheden en uitgangspunten zoals beschreven in paragraaf 3.1. Dit betekent dat er rekening is gehouden met de bandbreedte in het bronvermogen binnen de turbineklassen, met de bandbreedte in het jaargemiddelde bronvermogen door het windklimaat en met de bandbreedte voor de invloed van het bodemgebied. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 27. Uit deze tabel blijkt dat voor een bepaalde windturbineklasse, uitgaande van de door Michaud et al. afgeleide relatie, bij een bepaalde afstand een spreiding tot 26% ernstig gehinderden kan optreden. Zo varieert op een afstand van 300 meter het aantal ernstig gehinderden van 8 tot 34%. De spreiding binnen een turbineklasse neemt af naarmate de afstand groter wordt.

De resultaten voor het fictieve windpark bestaande uit een dubbele lijnopstelling van tweemaal vijf windturbines zijn vermeld in Tabel 28. In deze situatie kan uitgaande van Michaud et al. voor een bepaalde windturbineklasse bij een bepaalde afstand een spreiding tot 28% ernstig gehinderden optreden. Zo varieert op een afstand van 300 meter het aantal ernstig gehinderden van 9 tot 37%. Ook hier neemt de spreiding binnen een turbineklasse af naarmate de afstand groter wordt.

De weergegeven spreidingen worden bepaald door de spreiding in de geluidbelasting. Er is geen rekening gehouden met de spreiding door het verschil in acceptatieniveau tussen verschillende gemeenschappen. Hierdoor kan de spreiding in werkelijkheid nog groter uitvallen.

Tabel 27. Bandbreedte percentage ernstig gehinderden binnenshuis en buitenshuis vanwege geluid voor een windpark van drie windturbines in een lijnopstelling voor de beschouwde klassen windturbines

Afstand	Percentage ernstig gehinderden conform Michaud en al. (Geen onderscheid binnens-/buitenshuis)		
	Klasse 2 MW	Klasse 4 MW	Klasse 6 MW
300	8 – 34	12 – 34	13 – 28
400	5 – 28	8 – 28	9 – 24
500	3 – 24	6 – 23	7 – 20
750	1 – 16	3 – 15	3 – 13
1.000	0 – 11	1 – 11	2 – 9

Afstand	Percentage ernstig gehinderden conform Michaud en al. (Geen onderscheid binnens-/buitenshuis)		
	Klasse 2 MW	Klasse 4 MW	Klasse 6 MW
1.500	0 – 4	0 – 5	0 – 4
2.000	0 – 2	0 – 2	0 – 2
4 x ashoogte[1)]	6 – 30	5 – 22	4 – 15
4 x tiphoogte[2)]	2 – 20	2 – 14	2 – 9
10 x ashoogte[3)]	1 – 12	0 – 7	0 – 3
10 x tiphoogte[4)]	0 – 4	0 – 2	0 – 1

[1)] Uitgaande van een ashoogte van 91, 131 en 166 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 364, 524 en 664 meter.
[2)] Uitgaande van een tiphoogte van 149,5, 200 en 247 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 598, 800 en 988 meter.
[3)] Uitgaande van een ashoogte van 91, 131 en 166 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 910, 1.310 en 1.660 meter.
[4)] Uitgaande van een tiphoogte van 149,5, 200 en 247 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 1.495, 2.000 en 2.470 meter

Tabel 28. Bandbreedte percentage ernstig gehinderden binnenshuis en buitenshuis vanwege geluid voor een windpark met een dubbele lijnopstelling van tweemaal vijf windturbines voor de beschouwde klassen windturbines

Afstand	Percentage ernstig gehinderden conform Michaud en al. (Geen onderscheid binnens-/buitenshuis)		
	Klasse 2 MW	Klasse 4 MW	Klasse 6 MW
300	9 – 37	14 – 36	14 – 31
400	6 – 32	10 – 31	11 – 27
500	4 – 28	8 – 27	8 – 23
750	2 – 21	4 – 20	5 – 17
1.000	1 – 15	2 – 15	3 – 12
1.500	0 – 8	0 – 8	1 – 7
2.000	0 – 4	0 – 4	0 – 4
4 x ashoogte[1)]	7 – 34	7 – 26	6 – 18
4 x tiphoogte[2)]	3 – 25	4 – 19	3 – 12
10 x ashoogte[3)]	1 – 17	1 – 10	1 – 6
10 x tiphoogte[4)]	0 – 8	0 – 4	0 – 2

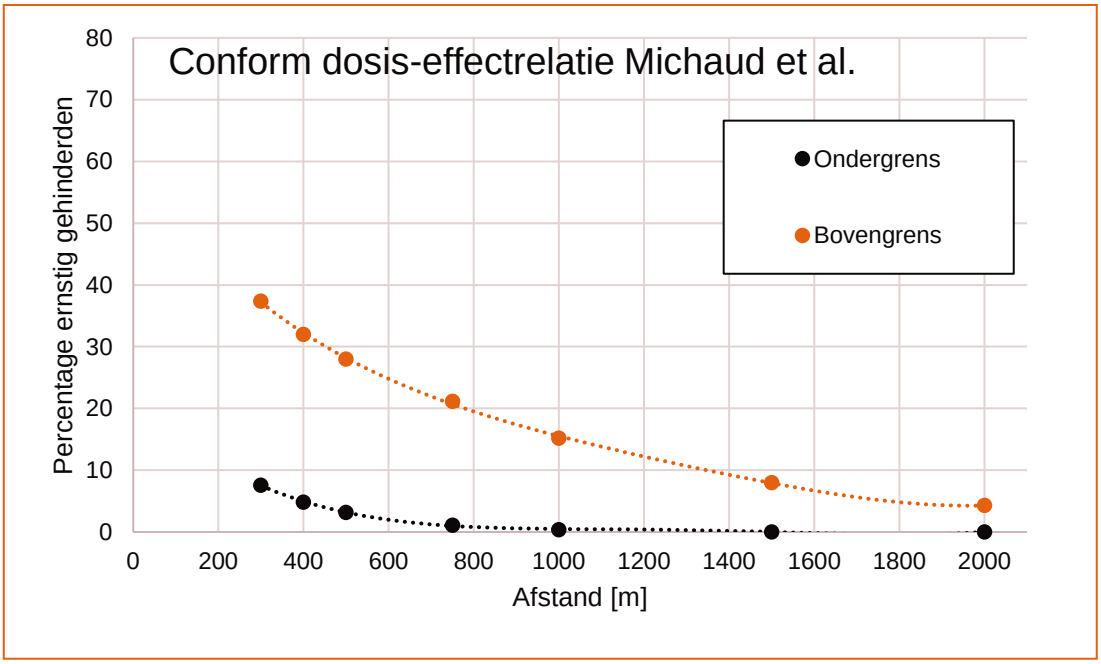
[1)] Uitgaande van een ashoogte van 91, 131 en 166 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 364, 524 en 664 meter.
[2)] Uitgaande van een tiphoogte van 149,5, 200 en 247 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 598, 800 en 988 meter.

Afstand	Percentage ernstig gehinderden conform Michaud en al. (Geen onderscheid binnens-/buitenshuis)		
	Klasse 2 MW	Klasse 4 MW	Klasse 6 MW

[3] Uitgaande van een ashoogte van 91, 131 en 166 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 910, 1.310 en 1.660 meter.
[4] Uitgaande van een tiphoogte van 149,5, 200 en 247 meter voor respectievelijk 2, 4 en 6 MW klasse turbines komt dit neer op een afstand van respectievelijk 1.495, 2.000 en 2.470 meter

In Afbeelding 23 is de maximale bandbreedte weergegeven uitgaande van de door Michaud et al. afgeleide dosis-effectrelatie (zie Afbeelding 21). Deze afbeelding laat zien dat het percentage ernstig gehinderden als functie van de afstand tot een windpark afneemt, maar dat er door de vele factoren die een rol spelen een zeer grote spreiding optreedt in het percentage ernstig gehinderden op een specifieke afstand. Op een afstand van 10 x de ashoogte varieert het percentage ernstig gehinderden volgens Michaud et al. varieert het percentage ernstig gehinderden op een afstand van 10 x de ashoogte van 0 tot 17% en op een afstand van 10 x de tiphoogte van 0 tot 8%.

Er is geen rekening gehouden met de spreiding door het verschil in acceptatieniveau tussen verschillende gemeenschappen. Hierdoor kan voor specifieke situaties de spreiding in werkelijkheid nog groter uitvallen.



Afbeelding 23. Onder- en bovengrens van de bandbreedte van het percentage ernstig gehinderden vanwege geluid als functie van de afstand tot een windpark, conform het Michaud et al. van 2016 [103]

Colofon

ONDERZOEK AFSTANDSNORMEN WINDTURBINES

KLANT
Ministerie van Economische Zaken en Klimaat

AUTEUR
Erik Koppen / Madelon Ekelschot - Smink

PROJECTNUMMER
30106989

ONZE REFERENTIE
D10048616.25

DATUM
19 april 2022

STATUS
Definitief

GECONTROLEERD DOOR

Erik Koppen
Senior adviseur geluid en windenergie

Over Arcadis

Arcadis is een toonaangevend wereldwijd ontwerp- en consultancybureau voor de natuurlijke en gebouwde omgeving. Wij maken het verschil voor onze klanten en de maatschappij met doeltreffende, duurzame en digitale oplossingen. Met 27.000 mensen in meer dan 70 landen genereerden we in 2020 een omzet van €3,3 miljard. Wij ondersteunen UN-Habitat met kennis en expertise om leefomstandigheden te verbeteren in gebieden getroffen door de gevolgen van de klimaatverandering.

www.arcadis.com

Arcadis Nederland B.V.

Postbus 264
6800 AG Arnhem
Nederland

T +31 (0)88 4261 261

Arcadis. Improving quality of life