

# Onderzoek effecten verschillende afstandsnormen op gezondheid en leefkwaliteit van omwonenden van windturbines (Motie Erkens/Leijten)

**Ministerie van Economische Zaken en Klimaat**

10 december 2021



## Contactpersoon

**ERIK KOPPEN**  
Senior adviseur geluid en  
windenergie

**T** +31 (0)88 4261 551  
**M** +31 (0)6 2706 2060  
**E** erik.koppen@arcadis.com

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

# Inhoudsopgave

<b>Samenvatting</b>	<b>5</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>6</b>
<b>2 Normen voor windturbines in Nederland en enkele andere Europese landen</b>	<b>8</b>
2.1 Algemeen	8
2.2 Nederland	8
2.2.1 Uitspraak Raad van State inzake milieubeoordeling voor windturbinenormen	8
2.2.2 Afstandsnorm	8
2.2.3 Geluidnorm	8
2.2.4 Slagschaduwnorm	9
2.2.5 Onderzoeken en overwegingen die aan de normen ten grondslag liggen	10
2.2.6 Kritiek op Nederlandse geluidnormen	11
2.3 België	12
2.3.1 Afstandsnorm	12
2.3.2 Geluidnorm	12
2.3.3 Slagschaduwnorm	12
2.3.4 Onderzoeken en overwegingen die aan de normen ten grondslag liggen	12
2.4 Denemarken	12
2.4.1 Afstandsnorm	12
2.4.2 Geluidnorm	13
2.4.3 Slagschaduwnorm	13
2.4.4 Onderzoeken en overwegingen die aan de normen ten grondslag liggen	13
2.5 Duitsland – Beieren, Nedersaksen en Noordrijn-Westfalen	14
2.5.1 Afstandsnorm	14
2.5.2 Geluidnorm	17
2.5.3 Slagschaduwnorm	17
2.5.4 Onderzoeken en overwegingen die aan de normen ten grondslag liggen	18
2.6 Ierland	19
2.6.1 Afstandsnorm	19
2.6.2 Geluidnorm	19

2.6.3	Slagschaduwnorm	19
2.6.4	Onderzoeken en overwegingen die aan de normen ten grondslag liggen	19
<b>2.7</b>	<b>Polen</b>	<b>19</b>
2.7.1	Afstandsnorm	19
2.7.2	Geluidnorm	19
2.7.3	Slagschaduwnorm	20
2.7.4	Onderzoeken en overwegingen die aan de normen ten grondslag liggen	20
<b>2.8</b>	<b>Verenigd Koninkrijk</b>	<b>20</b>
2.8.1	Afstandsnorm	20
2.8.2	Geluidnorm	20
2.8.3	Slagschaduwnorm	21
2.8.4	Onderzoeken en overwegingen die aan de normen ten grondslag liggen	21
<b>2.9</b>	<b>Vergelijking van Nederlandse normen met die in andere landen</b>	<b>21</b>
<b>3</b>	<b>WHO advies</b>	<b>22</b>
<b>4</b>	<b>Effecten voor geluid en slagschaduw op verschillende afstanden van windturbines</b>	<b>23</b>
4.1	Uitgangspunten	23
4.2	Geluidbelasting op verschillende afstanden van de windturbines	24
4.2.1	Geluidbelasting vanwege een fictief windpark uitgaande van een concreet type windturbine per windturbineklasse	24
4.2.2	Geluidbelasting vanwege een fictief windpark uitgaande van gunstige en ongunstige omstandigheden en uitgangspunten	25
4.3	Slagschaduwduur op verschillende afstanden van de windturbines	27
<b>5</b>	<b>Effecten van verschillende normen op de gezondheid en het leefklimaat</b>	<b>28</b>
<b>6</b>	<b>Voor- en nadelen van afstandsnormen versus normen voor geluid en slagschaduw</b>	<b>29</b>
<b>7</b>	<b>Conclusie</b>	<b>30</b>
	<b>Referenties</b>	<b>31</b>
	<b>Colofon</b>	<b>34</b>

# Samenvatting

p.m.

CONCEPT

# 1 Inleiding

In opdracht van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat is onderzoek verricht naar de effecten van verschillende afstandsnormen voor windturbines op de gezondheid en leefkwaliteit van omwonenden. Dit onderzoek is verricht om invulling te geven aan de motie Erkens/Leijten [1]. Deze op 22 juni 2021 door de Tweede Kamer aangenomen motie 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 gezondheid en leefkwaliteit van omwonenden zijn en wat de voor- en nadelen van een afstandsnorm zijn ten opzichte van specifieke normen voor geluid- en slagschaduw. Dit gebeurt op basis van de beschikbare kennis en inbreng van geraadpleegde partijen. Hierbij 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 nu 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 maart 2022 op, waarna de ministeries van EZK en IenW – na overleg met overige betrokkenen – een conclusie zullen trekken over het uit te voeren onderzoek en de Tweede Kamer hierover zullen informeren.

Ook wordt momenteel een plan-m.e.r. voor windturbिनeregels 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 windturbिनeregels (normen) een planmatig karakter hebben en dat daarom de milieueffecten hiervan gerapporteerd moeten worden. In de 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 besluitvorming over nieuwe landelijke normen.

Het wordt benadrukt dat het doel van het onderhavige onderzoek is om op korte termijn gehoor te geven aan de motie Erkens/Leijten. Het onderhavige onderzoek heeft niet ten doel om tot nieuwe landelijke regels voor windturbines te komen. Hiervoor wordt zoals gezegd een plan-m.e.r. uitgevoerd.

## Tussentijdse conceptversie

*Het voorliggende rapport betreft een tussentijdse conceptversie. Het betreft dus nog 'Work in progress'. Er is besloten om deze tussentijdse versie met de klankbordgroep te delen en te bespreken, zodat de inbreng van de klankbordgroep bij de verdere uitwerking van het onderzoek kan worden meegenomen.*

Als eerste stap is onderzoek verricht naar de manier waarop de voorheen geldende windturbिनenormen in Nederland tot stand zijn gekomen en welke overwegingen hieraan ten grondslag liggen. Aanvullend is ook onderzoek verricht naar normen voor windturbines in enkele andere Europese landen, hoe deze tot stand zijn gekomen en welke overwegingen hieraan ten grondslag liggen. Hierbij is gekeken naar afstandsnormen, geluidnormen en slagschaduwnormen. Dit is beschreven in hoofdstuk 2 van het voorliggende rapport. Aanvullend is in hoofdstuk 3 ingegaan op het advies van de Wereldgezondheidsraad voor windturbिनegeluid.

Vervolgens zijn de effecten voor geluid en slagschaduw op verschillende afstanden van windturbines in beeld gebracht. Dit is beschreven in hoofdstuk 4. Op basis van de bekende dosis-effectrelaties voor windturbines is nagegaan wat verschillende afstands- en geluidnormen betekenen voor het percentage ernstig gehinderden. Ook is ingegaan op de actuele inzichten inzake de effecten van afstandsnormen op de gezondheid en het leefklimaat, met name in hoeverre de effecten zijn te relateren aan de afstand tot de windturbines. Dit is beschreven in hoofdstuk 5.

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.

CONCEPT

## **2 Normen voor windturbines in Nederland en enkele andere Europese landen**

### **2.1 Algemeen**

In de volgende paragraaf zijn de windturbinenormen in Nederland beschreven en is ingegaan op de onderzoeken en overwegingen die hieraan ten grondslag liggen. In de navolgende paragrafen is ook ingegaan op de normen voor windturbines in enkele 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.

### **2.2 Nederland**

#### **2.2.1 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 [3] en de bijbehorende Activiteitenregeling milieubeheer [4] 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. Dit heeft tot gevolg dat bij het vaststellen van bestemmingsplannen en het verlenen van omgevingsvergunningen 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. In de tussentijd kan een gemeente in een bestemmingsplan of omgevingsvergunning 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.

#### **2.2.2 Afstandsnorm**

In Nederland geldt geen landelijke afstandsnorm voor windturbines. De afstand van windturbines tot woningen wordt in de praktijk vooral bepaald door de geluidnorm.

#### **2.2.3 Geluidnorm**

In Nederland zijn de geluidnormen voor windturbines vastgelegd in het Activiteitenbesluit milieubeheer [3]. De beoordelingsmethode is vastgelegd in het 'Reken- en meetvoorschrift windturbines' zoals opgenomen in de Activiteitenregeling milieubeheer [4]. Deze geluidregels voor windturbines zijn op 14 oktober 2010 vastgesteld [5] 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<sup>1</sup>, tenzij deze zijn gelegen op een gezondeerd industrieterrein, en op de grens van gevoelige terreinen<sup>2</sup>, niet hoger mag zijn dan:

- 47 dB  $L_{den}$
- 41 dB  $L_{night}$ <sup>3</sup>

$L_{den}$  (Level day-evening-night) is het over een geheel jaar gemiddeld geluidniveau (in decibel) voor de dag-, avond- en nachtperiode<sup>4</sup>.  $L_{night}$  is het geluidniveau (in decibel) gemiddeld over alle nachtperiodes van een heel jaar. Bij de bepaling van  $L_{den}$  wordt een toeslag toegepast van 5 dB op het geluidniveau in de avondperiode en 10 dB op het geluidniveau in de nachtperiode. De reden hiervoor is dat in het algemeen het niveau van omgevingsgeluid in de avond- en nachtperiode lager is dan overdag. Hierdoor zal een bepaald geluidniveau in de avond- en nachtperiode in het algemeen als hinderlijker worden ervaren dan eenzelfde geluidniveau in de dagperiode. Daarnaast is de nachtperiode extra gevoelig omdat mensen dan gewoonlijk slapen.

Bij de bepaling van de  $L_{den}$ - en de  $L_{night}$ -waarden wordt 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.

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. Ook kan het bevoegd gezag vanwege bijzondere lokale omstandigheden een maatwerkvoorschrift met een andere geluidnorm vaststellen. Als een woning tot de sfeer van de inrichting kan worden gerekend, hoeft deze niet te worden beschermd tegen het geluid van de windturbines die deze inrichting omvat.<sup>5</sup>

Als gevolg van de Raad van State uitspraak inzake Windpark Delfzijl Zuid [2] moet voornoemde geluidnorm buiten toepassing worden gelaten voor windparken totdat een plan-m.e.r. voor de windturbinebepalingen is uitgevoerd en op basis daarvan de algemene regels voor windturbines worden gehandhaafd of aangepast. Voor één of twee losse windturbines blijft de geluidnorm wel gelden.

## 2.2.4 Slagschaduwnorm

In Nederland is de slagschaduwnorm voor windturbines vastgelegd in het Activiteitenbesluit milieubeheer [3] en de Activiteitenregeling milieubeheer [4]. Deze milieuregels voor windturbines zijn op respectievelijk 19 oktober 2008 [6] en 9 november 2007 [7] 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

---

<sup>1</sup> 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.

<sup>2</sup> 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.

<sup>3</sup> Voor windturbines geldt naast de grenswaarde van 47  $L_{den}$ , ook een grenswaarde 41 dB  $L_{night}$ . In de praktijk blijkt de  $L_{den}$ -norm altijd maatgevend te zijn voor de beoordeling. Met andere woorden, als aan de grenswaarde van 47 dB  $L_{den}$  wordt voldaan wordt tevens aan de grenswaarde van 41 dB  $L_{night}$  voldaan.

<sup>4</sup> 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.

<sup>5</sup> 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 beperkingen opleggen betreffende woningen die tot de sfeer van de inrichting kunnen worden gerekend.

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.

Als gevolg van de Raad van State uitspraak inzake Windpark Delfzijl Zuid [2] moet voornoemde slagschaduwnorm buiten toepassing worden gelaten voor windparken totdat een plan-m.e.r. voor de windturbinebepalingen is uitgevoerd en op basis daarvan de algemene regels voor windturbines worden gehandhaafd of aangepast. Voor één of twee losse windturbines blijft de slagschaduwnorm wel gelden.

## 2.2.5 Onderzoeken en overwegingen die aan de normen ten grondslag liggen

De huidige geluidregels voor windturbines in het Activiteitenbesluit zijn op 14 oktober 2010 vastgesteld [5] 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 [8] van toepassing. Bij een lager vermogen was het toenmalige Activiteitenbesluit en de hierin opgenomen normstelling van toepassing [9]. 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 [10] en een studie van W.K.G. Palmer uit 2007 [11] [5]. Destijds was de normstelling voor windturbines afhankelijk van de windsnelheid, aangeduid als de WindNormCurve [9]. 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 geluidregels op gebaseerd waren, 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 (2002/49/EG). Destijds zijn de volgende aspecten onderzocht:

- In 2008 is door TNO onderzoek verricht naar de dosis-effectrelaties voor windturbinegeluid [12]. In deze studie is 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 [13]. In deze studie is het aantal (ernstig) gehinderden in de destijds huidige 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 de voorkeursgrenswaarden en hoogst toelaatbare waarden voor weg- en railverkeersgeluid. Ook is de beschikbare ruimte voor windturbines in beeld gebracht voor mogelijke grenswaarden van 37, 40, 43, 45, 47 en 50 dB  $L_{den}$ .
- Tevens is in 2009 door het (voormalige) Ministerie van VROM een vergelijking gemaakt met de geluidnormen voor windturbines in andere landen [14].
- Ook is in 2009 een vergelijking gemaakt met de op dat moment geldende geluidnormen voor windturbines [5] [14].

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 ernstig gehinderden wordt verwacht 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<sup>6</sup> 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.

Een vergelijking 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 [14].

De nota van toelichting van het Besluit wijziging milieuregels windturbines [5] geeft aan 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 overeenkwam 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. Ook is in de nota vermeld dat ervoor gekozen is om naast de  $L_{den}$  ook de  $L_{night}$  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 de 40  $L_{night}$  en een maximale waarde van 55  $L_{night}$  aanbeveelt.

De 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 [9]. Uit de toelichting van de Activiteitenregeling [7] 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 ligt hier geen onderzoek naar de hinderbeleving van slagschaduw aan ten grondslag.

## 2.2.6 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 bij de start van het voorliggende onderzoek door in de klankbordgroep betrokken partijen nogmaals onder de aandacht zijn gebracht:

- De geluidmaat  $L_{den}$  – een gewogen jaargemiddelde geluidbelasting - is niet geschikt om windturbinegeluid te beoordelen. Er wordt gepleit voor een grenswaarde in direct meetbare decibellen.
- De geluidmaat  $L_{night}$  biedt geen extra bescherming.
- 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  $L_{den}$  [13].

<sup>6</sup> 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 **Invalid source specified.**

- De Nederlandse geluidnorm voor windturbinegeluid is soepeler 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 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 [15]. 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 [16]. Deze betogen hebben bij de Afdeling bestuursrechtspraak van de Raad van State gefaald. Ondanks dit gegeven, geven voornoemde kritiekpunten voorbeelden van belangrijke zorgpunten van omwonenden en andere stakeholders. Dit zijn belangrijke aandachtspunten in het proces om tot een nieuwe normstelling voor windturbines te komen.

## 2.3 België

### 2.3.1 Afstandsnorm

p.m.

### 2.3.2 Geluidnorm

p.m.

### 2.3.3 Slagschaduwnorm

p.m.

### 2.3.4 Onderzoeken en overwegingen die aan de normen ten grondslag liggen

p.m.

## 2.4 Denemarken

### 2.4.1 Afstandsnorm

In Denemarken geldt een afstandsnorm tot woningen van minimaal viermaal de tiphoogte van de windturbine [17]. 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 [18]. De afstandsnorm en de geluidnorm (zie §2.4.2) 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.

## 2.4.2 Geluidnorm

In Denemarken zijn de geluidnormen voor windturbines vastgelegd in 'Bekendtgørelse om støj fra vindmøller', het Uitvoeringsbesluit geluid windturbines [19]. 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.

Aanvullend is een norm opgenomen voor laagfrequent geluid. Hiervoor wordt de parameter  $L_{pALF}$  gehanteerd, het A-gewogen laagfrequente geluidniveau voor het frequentieband 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 [19] vastgelegd.

## 2.4.3 Slagschaduwnorm

In Denemarken is geen wettelijke norm voor slagschaduw vastgesteld, maar er is wel een landelijke richtlijn van maximaal 10 uur slagschaduw per jaar [18]. Dit betreft de slagschaduwduur rekening houdend met de wind- en zonnenschijnstatistieken, dus het reële aantal uren slagschaduw. Over het algemeen wordt deze aanbeveling opgevolgd [20].

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 zonnepoppervlak 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 [18].

## 2.4.4 Onderzoeken en overwegingen die aan de normen ten grondslag liggen

In 1991 is voor het eerst een wettelijke geluidnorm voor windturbines vastgesteld [21]. Sinds 1991 is deze vier keer herzien, namelijk in 2006 [22], in 2011 [23], in 2015 [24] en in 2019 [19]. 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 [20]. 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 [22]. 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 [25]. 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 [23]. In de norm is voorgeschreven met welke geluidisolatie moet worden gerekend voor de bepaling van het laagfrequente binnenniveau [26]. 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 [27].

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 [24].

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 [28].

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 [19]. 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.

## **2.5 Duitsland – Beieren, Nedersaksen en Noordrijn-Westfalen**

### **2.5.1 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) [29]. 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 1 geeft een overzicht van het Duitse 'Fachagentur Windenergie an Land' van de afstandsadvisen per deelstaat in oktober 2021 [30].

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 1 Afstandsadviezen windturbines voor deelstaten Duitsland [30]

Deelstaat	Woongebieden	Individuele woongebouwen en gefragmenteerde woongebieden	Spa en klinieken	Campings	Commerciële en industriële gebieden	Toerisme/vrijetijd/recreatiegebieden	Beschermdenatuur 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 immissiewaar de 'TA Lärm'	Beoordeling per geval, naleving immissiewaar de 'TA Lärm'	Beoordeling per geval	Beoordeling per geval, naleving immissiewaar de '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 per geval	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
<b>Bandbreedte</b>	<b>400 tot 1.100 m, Beieren: 10 H, beoordeling per geval</b>	<b>300 tot 1.000 m, beoordeling per geval</b>	<b>800 tot 5.000 m</b>	<b>400 tot 1.000 m</b>	<b>20 tot 1.000 m, beoordeling per geval</b>	<b>400 tot 1.000 m, beoordeling per geval</b>	<b>300 tot 1.000 m, beoordeling per geval</b>

\* 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 [31] 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 [32]:

- 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 aangrenzenden bebouwde wijken (art. 34 BauGB), mits woningen niet alleen in uitzonderlijke gevallen zijn toegestaan of binnen het toepassingsgebied van de statuten volgens artikel 35 lid 6 van BauGB vallen [33]. 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.



## 2.5.2 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) [34]. In Duitsland wordt het beoordelingsniveau  $L_r$  gebruikt<sup>7</sup>. 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 2 [34] [35].

Tabel 2 Grenswaarden voor windturbinegeluid in Duitsland per type gebied [34]

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 [36] en het bijbehorende supplement [37].

## 2.5.3 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)" (Richtlijn voor het bepalen en beoordelen van de optische immissies van windturbines) [26] is in 2002 door de 'Länderausschuss für Immissionsschutz' uitgegeven en geactualiseerd in 2019 [38]. 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 zonneoppervlak 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
- Kantoren, laboratoria, werkplaatsen, trainingsruimten en vergelijkbare werkplekken

<sup>7</sup> Het beoordelingsniveau  $L_r$  is een equivalent, gecorrigeerd A-gewogen geluidniveau.

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 minuten per dag en 30 uur per jaar 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 zonschijn.

## 2.5.4 Onderzoeken en overwegingen die aan de normen ten grondslag liggen

De afstandsnorm in Beieren lijkt niet op wetenschappelijk onderzoek gebaseerd te zijn, maar een politieke beslissing te betreffen. 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 [29]. 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 ontwerp kader niet en is niet in strijd met de grondrechten van de Beierse grondwet [39]. 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 [40]. 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."* [40]

De afstandsnorm in Nedersaksen is gebaseerd op jurisprudentie [32] 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 visuele zonwering, de positie van de rotor rekening houdend met de overheersende windrichting, de kijkhoek, de belasting door bestaande turbines en dergelijke.

De minimumafstand van 1.000 meter in Noordrijn-Westfalen lijkt een politieke keuze, maar geldt niet voor alle woningen. Deze afstand geldt namelijk niet voor individuele woningen en gefragmenteerde woongebieden.

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 [41] en Pohl et al. uit 2000 [42] 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 [41] 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. [41] onderzochte gevallen is dit laatste is dit echter niet voorgekomen.

Uit het onderzoek van 2000 van Pohl et al. [42] 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.

## 2.6 Ierland

### 2.6.1 Afstandsnorm

p.m.

### 2.6.2 Geluidnorm

p.m.

### 2.6.3 Slagschaduwnorm

p.m.

### 2.6.4 Onderzoeken en overwegingen die aan de normen ten grondslag liggen

p.m.

## 2.7 Polen

### 2.7.1 Afstandsnorm

In Polen is in 2016 een minimale afstandsnorm van 10 maal de tiphoogte van een windturbine ingevoerd [43]. 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.

### 2.7.2 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 [44]. Deze wet maakt onderscheid tussen de volgende gebiedstypen:

Type gebied	L <sub>Aeq, dag</sub> (8 opeenvolgende uren)	L <sub>Aeq, nacht</sub> (per nachtelijk uur)
Zorginstellingen buiten de stad	45	40
Bebouwd gebied met inwonende enkele familie, inwonende kinderen of sociale huurwoningen, zorginstellingen binnen de stad	50	40
Bebouwd gebied met inwonende multi-familie, collectief wonen of een hoeve. Recreatiezones en algemeen bewoond gebied.	55	45
Centrumgebieden 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.

### 2.7.3 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.

### 2.7.4 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 [45], 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 de beschikbare informatie over geluid, infrageluid, elektromagnetische straling, trillingen, slagschaduw en lichtschitteringen is geanalyseerd [43]. Hiervoor zijn echter geen bronnen gepresenteerd. Er wordt ook aangegeven dat het visuele aspect van belang is bij deze beperkingen.

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." Naast het opinieartikel van Professor Grzegorz Pojmański zijn bij de onderbouwing van het wetsartikel geen andere studies aangehaald.

## 2.8 Verenigd Koninkrijk

### 2.8.1 Afstandsnorm

p.m.

### 2.8.2 Geluidnorm

p.m.

### **2.8.3 Slagschaduwnorm**

p.m.

### **2.8.4 Onderzoeken en overwegingen die aan de normen ten grondslag liggen**

p.m.

## **2.9 Vergelijking van Nederlandse normen met die in andere landen**

p.m.

CONCEPT

### **3 WHO advies**

p.m.

CONCEPT

## 4 Effecten voor geluid en slagschaduw op verschillende afstanden van windturbines

### 4.1 Uitgangspunten

#### Berekeningen voor fictieve windparken

*In dit hoofdstuk beschrijven we op basis van berekeningen de effecten voor geluid en slagschaduw op verschillende afstanden van windturbines. Dit is nu gedaan voor een fictief windpark bestaande uit een lijnopstelling van drie windturbines met een onderlinge tussenafstand van viermaal de rotordiameter.*

Om de effecten van de belasting door geluid en slagschaduw op verschillende afstanden van een windpark in beeld te brengen is een fictief windpark gemodelleerd. Voor het fictieve windpark is uitgegaan van een lijnopstelling van drie windturbines met een onderlinge tussenafstand van viermaal de rotordiameter. Dit is een vrij gebruikelijke tussenafstand om het verlies door de zogeeffecten van de windturbines te beperken.

De berekeningen zijn verricht voor drie klassen windturbines, te weten 2 MW, 4 MW en 6 MW. De in de berekeningen gehanteerde typen windturbines en de kenmerken van deze turbines zijn vermeld in Tabel 3.

Tabel 3. Onderzochte klassen windturbines en de hiervoor beschouwde typen windturbines en turbinekenmerken

Klasse windturbine	Beschouwd type windturbine	Vermogen	Rotordiameter	Ashoogte	Bronvermogen $L_{WA}^*$
2 MW	Nordex N117- 2.4 MW	2,4 MW	117 meter	91 meter	105,0 dB(A)
4 MW	Enercon E-138 - 4.26 MW	4,26 MW	138 meter	131 meter	106,0 dB(A)
6 MW	Vestas V162 - 6.2 MW	6,2 MW	162 meter	166 meter	104,8 dB(A)

\* Bronvermogen bij nominaal vermogen, d.w.z. het maximale bronvermogen

De voor de berekeningen gekozen typen windturbines betreft in principe een willekeurige keuze. Wel is er 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 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 klassen windturbines meerdere ashoogten beschikbaar. Zo is bijvoorbeeld de Nordex N117-2.4 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.

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 vermeld in Tabel 4.

Tabel 4. Bronvermogen  $L_{WA}$  en geluidsspectrum bij nominaal vermogen voor de beschouwde typen windturbines

Type windturbine	Bronvermogen $L_{WA}$ bij nominaal vermogen per octaafband [dB(A)]									
	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	Totaal
Nordex N117- 2.4 MW	80,5	84,5	91,4	98,2	100,7	99,2	94,4	86,5	74,7	105,0
Enercon E-138 - 4.26 MW	79,0	88,2	93,4	96,0	99,2	102,0	98,7	90,9	73,5	106,0
Vestas V162 - 6.2 MW	75,1	85,5	93,1	97,8	99,8	99,0	95,4	89,0	79,8	104,8



Voor de berekening van de geluidbelasting is ervan uitgegaan dat voornoemde fictieve windpark in een landelijke omgeving in het midden van Nederland wordt gerealiseerd. Dit houdt in dat er wordt uitgegaan van een 80% geluidabsorberende bodem en de KNMI windstatistieken voor midden Nederland [46]. Aanvullend is het verschil in geluidbelasting aangegeven als er zou worden uitgegaan van een 80% geluidreflecterende bodem of van de windstatistieken voor zuid of noord Nederland. De berekeningen zijn verricht conform het Reken- en meetvoorschrift windturbines [47].

De geluidbelasting en slagschaduwduur vanwege het fictieve windpark zijn bepaald op de volgende afstanden tot het windpark:

- 300, 400, 500, 750, 1.000, 1.500 en 2.000 meter;
- 4 x ashoogte. Dit komt voor de beschouwde windturbines neer op een afstand van respectievelijk 364, 524 en 664 meter;
- 4 x tiphoogte. Dit komt voor de beschouwde windturbines neer op een afstand van respectievelijk 598, 800 en 988 meter;
- 10 x ashoogte. Dit komt voor de beschouwde windturbines neer op een afstand van respectievelijk 910, 1.310 en 1.660 meter;.
- 10 x tiphoogte. Dit komt voor de beschouwde windturbines neer op een afstand van respectievelijk 1.495, 2.000 en 2.470 meter.

## 4.2 Geluidbelasting op verschillende afstanden van de windturbines

### 4.2.1 Geluidbelasting vanwege een fictief windpark uitgaande van een concreet type windturbine per windturbineklasse

De geluidbelasting in  $L_{den}$  vanwege het fictieve windpark van drie windturbines in midden Nederland is voor de in Tabel 3 weergegeven typen windturbines samengevat in Tabel 5. 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. 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 cumulatieve 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  $L_{den}$ <sup>8</sup> wordt voldaan varieert van circa 300 tot circa 500 meter.

Het is opvallend dat op een afstand die gerelateerd is aan de as- of tiphoogte de geluidbelasting vanwege de 6 MW klasse windturbine 5 tot 7 dB lager is dan voor de 2 MW klasse windturbine. Dit komt doordat nieuwere turbines weliswaar grotere as- en tiphoogtes hebben, maar niet per se meer geluid produceren.

Tabel 5. Geluidbelasting  $L_{den}$  als functie van de afstand voor een fictief windpark van drie windturbines in een lijnopstelling met een tussenafstand van viermaal de rotordiameter voor de in Tabel 3 weergegeven beschouwde typen windturbines

Afstand	Geluidbelasting $L_{den}$ [dB] voor de beschouwde typen windturbines voor een locatie in midden Nederland		
	Klasse 2 MW	Klasse 4 MW	Klasse 6 MW
300	49 – 51	49 – 52	47 – 50
400	46 – 49	47 – 49	45 – 48
500	44 – 47	45 – 47	44 – 46
750	41 – 43	41 – 44	40 – 43
1.000	38 – 40	38 – 41	37 – 40
1.500	32 – 36	33 – 36	33 – 36

<sup>8</sup> 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 mag worden gebruikt.



**Afstand****Geluidbelasting  $L_{den}$  [dB] voor de beschouwde typen windturbines voor een locatie in midden Nederland**

	<b>Klasse 2 MW</b>	<b>Klasse 4 MW</b>	<b>Klasse 6 MW</b>
2.000	28 – 32	29 – 33	29 – 32
4 x ashoogte <sup>1)</sup>	47 – 50	44 – 47	41 – 44
4 x tiphoogte <sup>2)</sup>	43 – 45	41 – 43	38 – 40
10 x ashoogte <sup>3)</sup>	39 – 42	35 – 38	32 – 35
10 x tiphoogte <sup>4)</sup>	32 – 36	29 – 33	26 – 30

<sup>1)</sup> Dit komt voor de beschouwde windturbines neer op een afstand van respectievelijk 364, 524 en 664 meter.

<sup>2)</sup> Dit komt voor de beschouwde windturbines neer op een afstand van respectievelijk 598, 800 en 988 meter.

<sup>3)</sup> Dit komt voor de beschouwde windturbines neer op een afstand van respectievelijk 910, 1.310 en 1.660 meter.

<sup>4)</sup> Dit komt voor de beschouwde windturbines neer op een afstand van respectievelijk 1.495, 2.000 en 2.470 meter.

## 4.2.2 Geluidbelasting vanwege een fictief windpark uitgaande van gunstige en ongunstige omstandigheden en uitgangspunten

Binnen een windturbineklasse treden er relevante verschillen op in het bronvermogen. De bandbreedte in bronvermogens is weergegeven in Tabel 6. Dit laat zien dat windturbines uit de 4 MW en 6 MW klasse een vergelijkbaar bronvermogen hebben als windturbines uit de 2 MW klassen. Het is opvallend dat de bandbreedte in het bronvermogen voor de 6 MW klasse kleiner is dan voor de 2 MW klasse, maar dat zou kunnen komen doordat voor deze klasse nog niet zoveel turbines beschikbaar zijn.

Tabel 6. Bandbreedte van maximaal bronvermogen per klasse windturbine

<b>Klasse turbine</b>	<b>Bronvermogen <math>L_{WA}</math> bij nominaal vermogen [dB(A)]</b>
2 MW	Circa 103 – 108
4 MW	Circa 104 – 108
6 MW	Circa 104 – 107

Het windklimaat speelt ook een relevante rol in de bepaling van de geluidbelasting. De geluidbelasting  $L_{den}$  is namelijk een jaargemiddelde beoordelingsmaat. Dat betekent dat de geluidbelasting hoger is naarmate er gemiddeld meer wind is. In het noorden van Nederland heerst gemiddeld een hogere windsnelheid dan in het midden van Nederland. In het zuiden van Nederland heerst gemiddeld juist een lagere windsnelheid. De verschillen in geluidbelasting voor een windpark in noord en zuid Nederland ten opzichte van een windpark in midden Nederland zijn weergegeven in Tabel 7.

Tabel 7. Verschillen in geluidbelasting voor een windpark in noord en zuid Nederland ten opzichte van een windpark in midden Nederland door het verschil in windklimaat

	<b>Noord Nederland</b>			<b>Zuid Nederland</b>		
	<b>Klasse 2 MW</b>			<b>Klasse 4 MW</b>		
Verskil in geluidbelasting $L_{den}$ t.o.v. midden Nederland	+0,3 dB(A)	+0,3 dB(A)	+0,3 dB(A)	-0,8 dB(A)	-0,7 dB(A)	-0,5 dB(A)

Voor een windpark in een landelijke omgeving is over het algemeen sprake van een overwegend geluidabsorberend 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 geluidreflecterend bodemgebied. Het verschil in geluidbelasting tussen een windpark in een omgeving met een 80% reflecterend bodemgebied ten opzichte van de geluidbelasting voor een 80% absorberend bodemgebied is weergegeven in Tabel 8.

Tabel 8. Verschil in geluidbelasting uitgaande van een 80% reflecterend bodemgebied ten opzichte van de geluidbelasting voor een 80% absorberend bodemgebied

	Klasse 2 MW	Klasse 4 MW	Klasse 6 MW
Verschil in geluidbelasting $L_{den}$ t.o.v. een 80% absorberend bodemgebied	+1,3 tot 1,4 dB(A)	+1,3 dB(A)	+1,4 tot 1,5 dB(A)

In Tabel 9 is de geluidbelasting weergegeven voor de beschouwde klassen windturbines uitgaande van gunstige en ongunstige omstandigheden en uitgangspunten. Dit betekent concreet dat er berekeningen zijn verricht uitgaande van:

- Het laagste c.q. hoogste geluidvermogen binnen een windturbineklasse. Deze bronvermogens zijn weergegeven in Tabel 6.
- Een relatief slecht c.q. relatief goed windklimaat binnen Nederland. Het verschil in geluidbelasting voor een windpark in zuid Nederland en noord Nederland met respectievelijk een relatief slecht en goed windklimaat ten opzichte van de geluidbelasting voor een windpark in midden Nederland is weergegeven in Tabel 7.
- Een grotendeels absorberend c.q. een grotendeels reflecterend bodemgebied. Het verschil in geluidbelasting uitgaande van een 80% reflecterend bodemgebied ten opzichte van de geluidbelasting voor een 80% absorberend bodemgebied is vermeld in Tabel 8.

Uit Tabel 9 blijkt dat per windturbineklasse op een bepaalde afstand van het windpark een spreiding van maar liefst 7 tot 12 dB in de geluidbelasting 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 de windturbineklassen.

Tabel 9. Geluidbelasting  $L_{den}$  als functie van de afstand voor een fictief windpark van drie windturbines in een lijnopstelling met een tussenafstand van viermaal de rotordiameter voor de beschouwde klassen windturbines uitgaande van de meest gunstige en meest ongunstige omstandigheden en uitgangspunten

Afstand	Geluidbelasting $L_{den}$ [dB] voor de beschouwde klassen windturbines uitgaande van de gunstige en ongunstige omstandigheden en uitgangspunten		
	Klasse 2 MW	Klasse 4 MW	Klasse 6 MW
300	46 – 56	46 – 55	46 – 53
400	43 – 54	44 – 53	44 – 52
500	42 – 52	42 – 51	42 – 50
750	38 – 48	39 – 48	39 – 46
1.000	35 – 45	36 – 45	36 – 44
1.500	29 – 40	31 – 40	32 – 40
2.000	25 – 37	26 – 36	28 – 36
4 x ashoogte <sup>1)</sup>	44 – 54	42 – 51	40 – 48
4 x tiphoogte <sup>2)</sup>	40 – 50	38 – 47	36 – 44
10 x ashoogte <sup>3)</sup>	36 – 46	33 – 42	31 – 39
10 x tiphoogte <sup>4)</sup>	29 – 40	26 – 36	25 – 34

<sup>1)</sup> Dit komt voor de beschouwde windturbines neer op een afstand van respectievelijk 364, 524 en 664 meter.

<sup>2)</sup> Dit komt voor de beschouwde windturbines neer op een afstand van respectievelijk 598, 800 en 988 meter.

<sup>3)</sup> Dit komt voor de beschouwde windturbines neer op een afstand van respectievelijk 910, 1.310 en 1.660 meter.

<sup>4)</sup> Dit komt voor de beschouwde windturbines neer op een afstand van respectievelijk 1.495, 2.000 en 2.470 meter.

## 4.3 Slagschaduwduur op verschillende afstanden van de windturbines

De verwachte slagschaduwduur in uren per jaar vanwege het fictieve windpark van drie windturbines in midden Nederland is voor de in Tabel 3 weergegeven typen windturbines samengevat in Tabel 10. Hierbij is uitgegaan van een lijnopstelling van zuid naar noord.

Uit Tabel 10 blijkt dat per klasse 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. Dit komt 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 nooit uit het noorden komt.

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. Indien het windpark een andere oriëntatie heeft, kan door cumulatieve effecten de slagschaduwduur ook iets anders uitpakken. Uit Tabel 10 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 opreden. In de praktijk wordt er in Nederland echter vrijwel altijd een mitigerende maatregel in de vorm van automatische stilstandsvoorziening toegepast.

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 zonneshijnsensor 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 derhalve niet de afstand tot een windpark bepalend voor de hinder die vanwege slagschaduw wordt ondervonden, maar de gekozen uitgangspunten voor de stilstandsregeling.

Tabel 10. Slagschaduwduur in uren per jaar als functie van de afstand voor een fictief 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 <sup>1)</sup>	0 – 49	0 – 37	0 – 34
4 x tiphoogte <sup>2)</sup>	0 – 28	0 – 25	0 – 22
10 x ashoogte <sup>3)</sup>	0 – 13	0 – 11	0 – 10
10 x tiphoogte <sup>4)</sup>	0	0	0

<sup>1)</sup> Dit komt voor de beschouwde windturbines neer op een afstand van respectievelijk 364, 524 en 664 meter.

<sup>2)</sup> Dit komt voor de beschouwde windturbines neer op een afstand van respectievelijk 598, 800 en 988 meter.

<sup>3)</sup> Dit komt voor de beschouwde windturbines neer op een afstand van respectievelijk 910, 1.310 en 1.660 meter.

<sup>4)</sup> Dit komt voor de beschouwde windturbines neer op een afstand van respectievelijk 1.495, 2.000 en 2.470 meter.

## 5 Effecten van verschillende normen op de gezondheid en het leefklimaat

p.m.

### **'Work in progress'**

*Op basis van het TNO rapport 'Hinder door geluid van windturbines' van oktober 2008 wordt aangegeven wat verschillende afstandsnormen betekenen voor het percentage ernstig gehinderden. Op basis van het WHO rapport 'Environmental Noise Guidelines for the European Region (2018)' en het recente RIVM rapport 2020-0214 'Gezondheidseffecten van windturbinegeluid' wordt nader ingegaan op de effecten van verschillende afstandsnormen op de gezondheid en het leefklimaat, met name in hoeverre de effecten zijn te relateren aan de afstand tot de windturbines. Ook zal op basis van literatuuronderzoek worden nagegaan wat zover bekend bij verschillende afstandsnormen de effecten van slagschaduw op de gezondheid en het leefklimaat zijn. Voorgaand aan de werkzaamheden zal deze insteek aan het RIVM (Expertisecentrum Windenergie en Gezondheid) worden voorgelegd en worden gevraagd welke informatie bij hen bekend is en met welke inzichten rekening mee moet worden gehouden.*

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

p.m.

### **'Work in progress'**

*Op basis van de onderzoeksresultaten wordt beschreven hoe een afstandsnorm tot stand zou kunnen komen en welke overwegingen daarachter zitten. Voor- en nadelen (in brede zin: voor beleidsmakers, ontwikkelaars, omwonenden, maatschappij algemeen) van afstandsnormen en specifieke normen voor geluid en slagschaduw worden inzichtelijk gemaakt en vergeleken. Het wordt inzichtelijk gemaakt dat 'de effecten op de leefomgeving' – zoals aangehaald in de motie vooral afhankelijk zijn van het gekozen beschermingsniveau en niet zozeer van de wijze waarop dit beschermingsniveau wordt geregeld.*

## **7 Conclusie**

p.m.

CONCEPT

## 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] 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].
- [4] 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].
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Minister van VROM, „Regeling algemene regels voor inrichtingen milieubeheer,” *Staatscourant nr. 223*, 16 november 2007.
- [8] Ministerie van VROM, „Handreiking Industrielawaai en vergunningverlening,” oktober 1998.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] W. Palmer, „Uncloaking the Nature of Wind Turbines – Using the Science,” in *Second International Meeting on Wind Turbine Noise*, Lyon, 2007.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] Omgevingsdienst Midden- en West-Brabant, „Handhaving norm geluiden en slagschaduw. Toezichts- en handhavingstrategie 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].
- [16] Afdeling bestuursrechtspraak Raad van State, „Uitspraak 201608423/1/R6 en 201703826/1/R6,” 21 februari 2018.
- [17] Deense overheid, Erhvervsstyrelsen, „Bekendtgørelse om planlægning for og tilladelse til opstilling af vindmøller,” *BEK nr. 923*, 6 september 2019.
- [18] Deense overheid, Naturstyrelsen, Miljøministeriet, „Vejledning om planlægning for og tilladelse til opstilling af,” 2015.



- [19] Deense Overheid, Miljø- og Fødevareministeriet, „Bekendtgørelse om støj fra vindmøller,” *BEK nr. 135*, 07 Februari 2019.
- [20] Persoonlijke correspondentie J. Mogensen, Deense Ministerie van Milieu, 17 november 2021.
- [21] Deense overheid, Miljø- og Fødevareministeriet, „Bekendtgørelse om støj fra vindmøller,” *BEK nr 304*, 14 mei 1991.
- [22] Deense overheid, Miljø- og Fødevareministeriet, „Bekendtgørelse om støj fra vindmøller,” *BEK nr 1518*, 14 December 2006.
- [23] Deense overheid, Miljø- og Fødevareministeriet, „Bekendtgørelse om støj fra vindmøller,” *BEK nr 1284*, 15 December 2011.
- [24] Deense overheid, Miljø- og Fødevareministeriet, „Bekendtgørelse om støj fra vindmøller,” *BEK nr 1736*, 21 December 2015.
- [25] J. S. Thers en A. Jensen, „Støj fra vindmøller, Vejledning fra Miljøstyrelsen,” Het Deense Agentschap voor Milieubescherming, Miljøstyrelsen, 2021.
- [26] Länderausschuss für Immissionsschutz, „Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen (WEA-Schattenwurf-Hinweise),” 2002.
- [27] 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.
- [28] L. S. Sondergaard en C. Backalarz, „Støj fra store, nyere danske vindmøller som funktion af vindhastigheden,” Het Deense Agentschap voor Milieubescherming (Miljøstyrelsen), 2016.
- [29] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, „Baugesetzbuch (BauGB) § 249 Sonderregelungen zur Windenergie,” in *§ 249 Sonderregelungen zur Windenergie*, 2021.
- [30] Fachagentur Windenergie an Land, „Überblick zu den Abstandsempfehlungen zur Ausweisung von Windenergiegebieten in den Bundesländern,” oktober 2021.
- [31] Bayerische Staatskanzlei, „Art. 82 Windenergie und Nutzungsänderung ehemaliger landwirtschaftlicher Gebäude,” *Bayerische Bauordnung (BayBO)*, 1 juni 2021.
- [32] Staatskanselarlij 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.
- [33] 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](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].
- [34] *Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm) vom 26. August 1998 (GMBI Nr. 26/1998 S. 503)*, 1998.
- [35] 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.
- [36] 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.
- [37] Deutsches Institut für Normung, „Beiblatt 1: Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft,” *DIN 45680*, maart 1997.
- [38] Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI), „Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windkraftanlagen – Aktualisierung 2019,” 23 januari 2020.



- [39] 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.
- [40] 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].
- [41] J. Pohl, F. Faul en R. Mausfeld, „Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen,” Institut für Psychologie der Christian-Albrechts-Universität, Kiel, 1999.
- [42] J. Pohl, F. Faul en R. Mausfeld, „Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen Laborpilotstudie,” Institut für Psychologie der Christian-Albrechts-Universität, Kiel, 2000.
- [43] Poolse Overheid, „Ustawy o inwestycjach w zakresie elektrowni,” *Druk nr 315*, 19 februari 2016.
- [44] 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.
- [45] P. G. Pojmański, „Opinion on the risks associated with the operation and failures of wind turbines,” [Online]. Available: <http://gminagolcza.pl/wp-content/uploads/2013/04/opinia-bezpieczenstwo-a-wiatraki-g-pojmanski.pdf>. [Geopend 2 12 2021].
- [46] Kenniscentrum InfoMil, „Bepaling windsnelheidsverdeling bij windturbine,” [Online]. Available: <https://www.infomil.nl/onderwerpen/integrale/activiteitenbesluit/activiteiten/installaties/windturbine/windturbines/windturbinetool/>. [Geopend 22 november 2021].
- [47] 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.

## Colofon

ONDERZOEK EFFECTEN VERSCHILLENDE AFSTANDSNORMEN OP GEZONDHEID EN LEEFKWALITEIT VAN  
OMWONENDEN VAN WINDTURBINES (MOTIE ERKENS/LEIJTEN)

**KLANT**

Ministerie van Economische Zaken en Klimaat

**AUTEUR**

Erik Koppen / Madelon Ekelschot - Smink

**PROJECTNUMMER**

30106989

**ONZE REFERENTIE**

D10045406:11

**DATUM**

10 december 2021

**STATUS**

Concept

**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](http://www.arcadis.com)

### Arcadis Nederland B.V.

Postbus 264  
6800 AG Arnhem  
Nederland

T +31 (0)88 4261 261

**Arcadis.** Improving quality of life

Volg ons op



[arcadis-nederland](https://www.arcadis-nederland.nl)



[arcadis\\_nl](https://twitter.com/arcadis_nl)



[ArcadisNetherlands](https://www.facebook.com/ArcadisNetherlands)