

## **Bosch & van Rijn**

Franz-Lisztplantsoen 220  
3533 JG Utrecht  
030 – 677 6466

## **Auteurs**

Laurens Kik  
Floris Moerkens  
Harm Ligtenberg

## **Opdrachtgever**

Provincie Gelderland

# Motivering milieunormen

## Windpark Echteld-Lienden



**Bosch & van Rijn**  
experts in duurzame energie



# Motivering milieunormen

## Windpark Echteld-Lienden

Datum	13 augustus 2024
Versie	1.6
Auteurs	Laurens Kik Floris Moerkens Harm Ligtenberg
Tweede lezer	Steven Velthuisen

Bosch & Van Rijn  
Franz-Lisztplantsoen 220  
3533 JG Utrecht

Tel: 030-677 6466  
Mail: [info@boschenvanrijn.nl](mailto:info@boschenvanrijn.nl)  
Web: [www.boschenvanrijn.nl](http://www.boschenvanrijn.nl)

© Bosch & Van Rijn 2024

Behoudens hetgeen met de opdrachtgever is overeengekomen, mag in dit rapport vervatte informatie niet aan derden worden bekendgemaakt. Bosch & Van Rijn BV is niet aansprakelijk voor schade door het gebruik van deze informatie

## Inhoudsopgave

<b>HOOFDSTUK 1</b>	<b>SAMENVATTING</b>	<b>3</b>
	<i>Geluid</i>	3
	<i>Slagschaduw</i>	3
	<i>Externe veiligheid</i>	4
	<i>Lichtschittering</i>	4
<b>HOOFDSTUK 2</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>5</b>
	2.1 <i>Aanleiding</i>	5
	2.2 <i>Relatie met het MER</i>	6
	2.3 <i>Leeswijzer</i>	6
<b>HOOFDSTUK 3</b>	<b>GEBIEDSANALYSE</b>	<b>8</b>
	3.1 <i>Gebiedstypen</i>	8
	3.2 <i>Windenergie - Huidige situatie, referentiesituatie en nieuwe situatie</i>	9
	3.3 <i>Milieukwaliteit referentiesituatie</i>	9
<b>HOOFDSTUK 4</b>	<b>GELUID</b>	<b>18</b>
	4.1 <i>Inleiding</i>	18
	4.2 <i>Theorie en uitgangspunten</i>	18
	4.3 <i>Gevoeligheidsanalyse geluidsnormen</i>	25
	4.4 <i>Opbrengstderving per scenario</i>	26
	4.5 <i>Stil vs. luid type</i>	27
	4.6 <i>Milieunormen en handhavingsnormen</i>	28
<b>HOOFDSTUK 5</b>	<b>SLAGSCHADUW</b>	<b>37</b>
	5.1 <i>Inleiding</i>	37
	5.2 <i>Theorie en uitgangspunten</i>	37
	5.3 <i>Lokale situatie</i>	41
	5.4 <i>Milieunorm</i>	42
<b>HOOFDSTUK 6</b>	<b>EXTERNE VEILIGHEID</b>	<b>44</b>
	6.1 <i>Inleiding</i>	44
	6.2 <i>Aanvaardbare risico's</i>	44
	6.3 <i>Aandachtspunten o.b.v. gebiedsanalyse</i>	45
	6.4 <i>Milieunormen</i>	46
<b>HOOFDSTUK 7</b>	<b>LICHTSCHITTERING</b>	<b>47</b>

# Hoofdstuk 1 Samenvatting

---

Deze rapportage motiveert lokale normen voor windpark Echteld-Lienden. De motivatie per onderdeel is in de desbetreffende hoofdstukken te vinden. Hieronder een samenvattend overzicht van de normen voor geluid, slagschaduw, externe veiligheid en lichtschildering:

## Geluid

---

Voor het aspect geluid wordt expliciet onderscheid gemaakt tussen milieunormen en handhavingsnormen:

### *Milieunormen*

- Een gewogen jaargemiddelde norm voor het gehele etmaal van **47 dB L<sub>den</sub>** op de gevel van geluidsgevoelige objecten (woningen, onderwijs- en gezondheidsinstellingen).
- Een jaargemiddelde norm voor de nachtperiode (23 - 7 uur) van **41 dB L<sub>night</sub>** op de gevel van geluidsgevoelige objecten (woningen, onderwijs- en gezondheidsinstellingen).

### *Handhavingsnormen*

- Als tonaliteit wordt aangetoond, geldt er een **toeslag van 5 dB op het jaargemiddelde geluidniveau L<sub>den</sub>**. De concept windturbinebepalingen kunnen worden gevolgd als voorbeeld.
- Een **handhavingsnorm voor L<sub>Aeq,1min</sub> van 46 dB(A) op 255 meter** wordt geadviseerd.

## Slagschaduw

---

- een norm van **0 uur per slagschaduwgevoelig object per jaar**, exclusief de tijd die het kost om de windturbine(s) tot stilstand te brengen. Ten behoeve van het voorkomen of beperken van slagschaduw is de windturbine voorzien van een automatische stilstandvoorziening die de windturbine afschakelt indien slagschaduw optreedt ter plaatse van een verblijfsruimte van een slagschaduwgevoelig object.

## Externe veiligheid

---

- **Het plaatsgebonden risico voor een kwetsbaar gebouw of locatie**, veroorzaakt door een of meer windturbines van WP Echteld-Lienden, **is niet hoger dan  $10^{-6}$  per jaar.**
- **Het plaatsgebonden risico voor een beperkt kwetsbaar gebouw of locatie**, veroorzaakt door een of meer windturbines van WP Echteld-Lienden, **is niet hoger dan  $10^{-5}$  per jaar.**

## Lichtschildering

---

De teksten uit BAL artikel 4.430I en 4.431 kunnen integraal worden overgenomen en vastgelegd in de vergunning:

**4.430I:**

*“Lichtschildering wordt bij het opwekken van elektriciteit met een windturbine voorkomen of zoveel mogelijk beperkt door toepassing van niet-reflecterende materialen of coatinglagen op de betrokken onderdelen.”*

**4.431:**

*“Op het verrichten van een meting van reflectiewaarden is NEN-EN-ISO 2813 van toepassing.”*

## Hoofdstuk 2 Inleiding

---

### 2.1 Aanleiding

---

Vattenfall N.V. wil in samenwerking met Energiecoöperatie Echteld-Lienden nieuwe windturbines bouwen in de gemeenten Buren en Neder-Betuwe en bestaande windturbines in de gemeente Neder-Betuwe vervangen. Het beoogde nieuwe energiepark bestaat in totaal uit 7 windturbines. De locaties liggen langs de A15. Ook wordt een zonnepark gerealiseerd, genaamd Panderweg-Oost. Hiervan is het bestemmingsplan al vastgesteld. Samen worden deze verschillende initiatieven 'Energiepark Echteld-Lienden' genoemd.

Voor het windinitiatief, genaamd 'Windpark Echteld-Lienden', is een milieueffectrapportageprocedure (m.e.r.) gestart voor besluitvorming over een projectbesluit. Het milieueffectrapport (MER), opgesteld door Witteveen+Bos, legt de basis voor de motivering van normen. In dit MER wordt onder andere het VKA gepresenteerd en onderzocht. Omwille van een eigen, onafhankelijke motivering heeft de provincie de wens de motivatie van de lokale milieunormen los van het MER te onderbouwen. Hiervoor heeft de provincie Bosch & van Rijn gevraagd. Voorliggend memo is deze motivering.

Deze motivering is relevant vanwege de speciale omstandigheden die zijn ontstaan door een uitspraak van de Raad van State op 30 juni 2021. Volgens deze uitspraak zijn de windturbinevoorschriften van het Activiteitenbesluit milieubeheer niet langer van toepassing op windparken met drie of meer windturbines, totdat de Minister nieuwe voorschriften heeft opgesteld en er een plan-m.e.r. is uitgevoerd. Zolang er geen nationale normen zijn, kan het bevoegde gezag lokale normen vaststellen en motiveren. Deze normen zijn opgenomen in de regels van het projectbesluit. Zoals aangegeven door de Afdeling dienen lokale normen te zijn voorzien van een actuele, deugdelijke, op zichzelf staande en op de lokale situatie toegesneden motivering:

- **Actueel:** er is uitgegaan van de nieuwste gegevens als het gaat om nabijgelegen woningen en windturbintypen. Uit onderzoek is tevens gebleken dat de gehanteerde dosis-effectrelatie, hoewel daterend uit 2008, in de tussentijd niet is betwist in wetenschappelijke publicaties en in 2018 opnieuw is gebruikt in een rapportage van de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO).
- **Deugdelijk:** de berekeningen zijn uitgevoerd conform het Reken- en Meetvoorschrift windturbines en baseren zich op wetenschappelijke publicaties van gerenommeerde kennisinstututen als TNO en het RIVM.
- **Op zichzelf staand en op de aan de orde zijnde situatie toegesneden:** de motivering is specifiek voor de situatie van Windpark Echteld-Lienden. Naast het werken met algemene hinderpercentages is een inschatting gemaakt van het daadwerkelijke *aantal* verwachte ernstig gehinderden, waarbij de specifieke windturbinelocaties en de ligging van woningen in de wijde omgeving zijn betrokken. Ook zijn het lokale windaanbod en de afmetingsklassen van windpark Echteld-Lienden gebruikt om de energie-opwek te kunnen betrekken in de afweging.

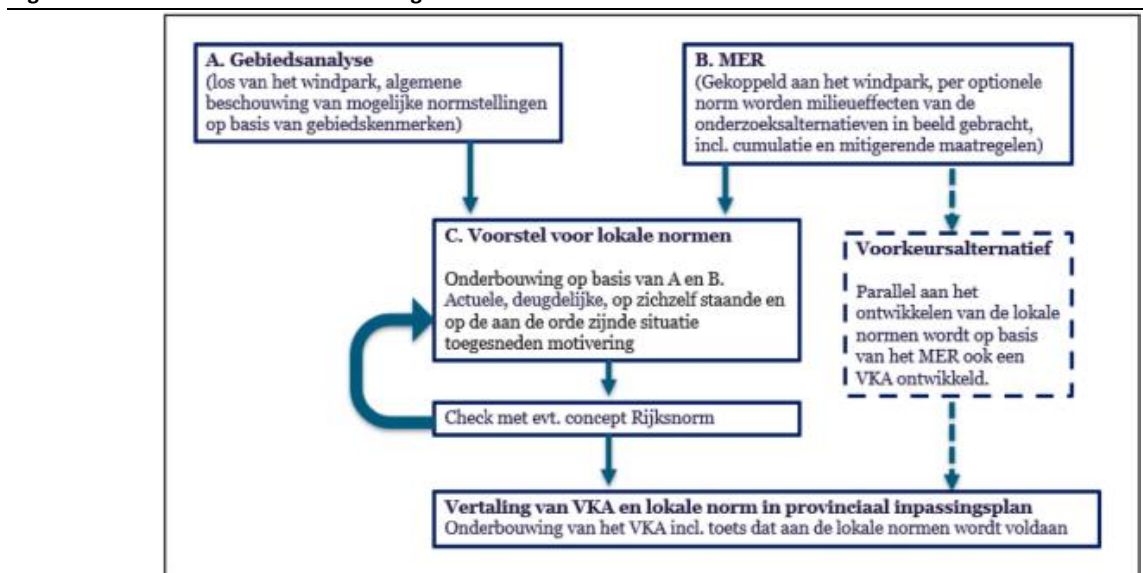
## 2.2 Relatie met het MER

Inmiddels zijn er voor meerdere windparken lokale normen opgesteld. De commissie voor de m.e.r. heeft hiervoor enkele aspecten geadviseerd die in dit memo worden uitgevoerd:

- Er is een gebiedsanalyse uitgevoerd, waarin de kenmerken van het plangebied in ogenschouw zijn genomen in relatie tot de toekomstige lokale milieunormen. Deze analyse is terug te vinden in Hoofdstuk 3 van dit document.
- In dit memo zijn voor geluid en slagschaduw enkele mogelijke milieunormen onderzocht, om inzicht te bieden in de gevolgen van het opleggen van dergelijke normen:
  - Verbetering van de milieusituatie en
  - Mogelijke opbrengstderving en daarmee effect op de economische uitvoerbaarheid en daarmee het behalen van de doelstellingen.
- Dit memo biedt inzicht in de mogelijke normenkaders voor geluid, slagschaduw en externe veiligheid. Er is onderbouwd met welke dosismaten milieueffecten zijn gemodelleerd en beoordeeld.

De motivering is te vangen in een processchema wat de provincie Gelderland heeft opgesteld om te komen tot lokale normen voor een windpark:

**Figuur 1** Processchema vaststelling lokale normen



## 2.3 Leeswijzer

De motivering van lokale milieunormen start vanuit een analyse van de gebiedskenmerken en huidige milieukwaliteiten van het plangebied en studiegebied voor het beoogde Windpark Echteld-Lienden (zie Figuur 2), om te zorgen dat de motivering van de lokale normen op de lokale situatie toegesneden is.

Vervolgens worden de te normeren milieuthema's behandeld: geluid (Hoofdstuk 4), slagschaduw (Hoofdstuk 5), externe veiligheid (Hoofdstuk 6) en lichtschittering (Hoofdstuk 7).





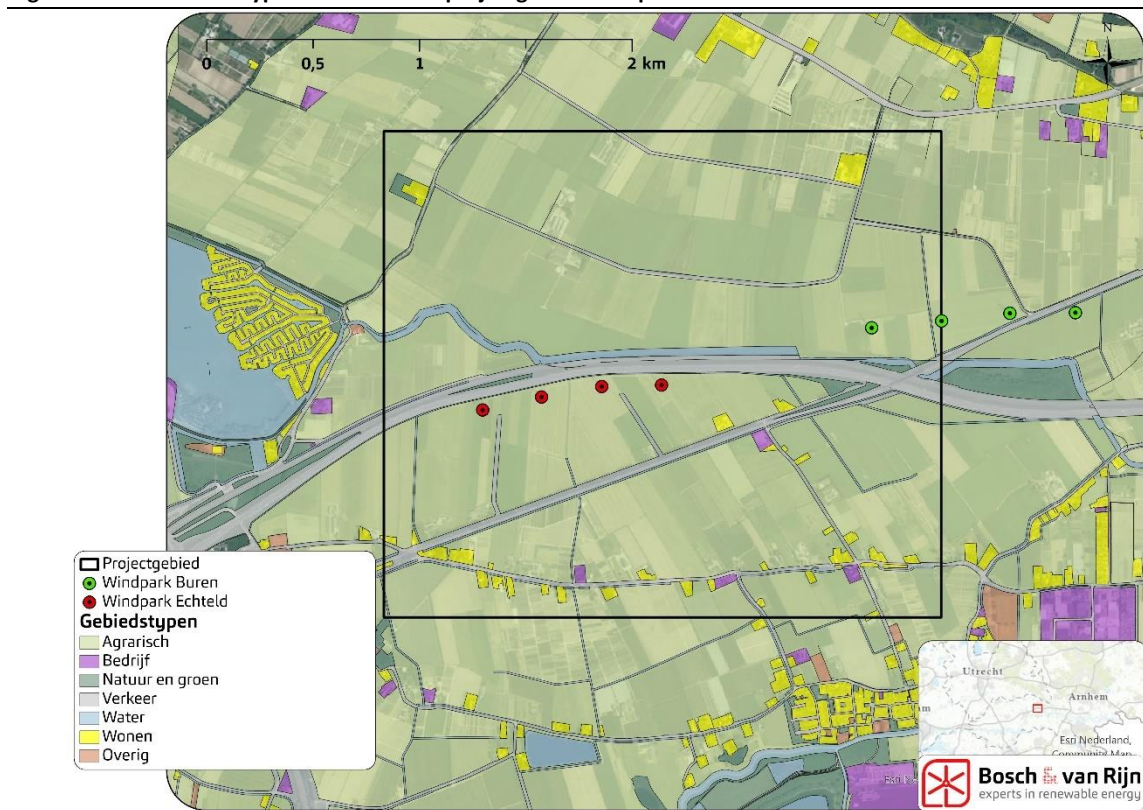
## Hoofdstuk 3 Gebiedsanalyse

Dit hoofdstuk bevat een analyse van de gebiedstypen en bijbehorende milieukwaliteiten en referentiewaarden die in het gebied van toepassing zijn. Daarbij ligt de nadruk op de (milieu)hinder; voor windturbines veroorzaakt door geluid en slagschaduw. Het onderwerp externe veiligheid hangt vooral samen met de aanwezigheid van mensen (zowel qua duur als qua aantallen) in de omgeving van de windturbines. De bijbehorende analyse is integraal onderdeel van het sectorale onderzoek naar externe-veiligheidseffecten in het MER, en valt daarmee buiten de scope van de gebiedsanalyse.

### 3.1 Gebiedstypen

Voorkomende functies en potenties van een gebied bepalen het gebiedstype. Het plangebied rond de A15, de Betuwelijn en de spoorlijn tussen Tiel en Kesteren wordt getypeerd als een gebied met overwegend agrarische activiteiten.

**Figuur 2** Gebiedstypen in en rondom projectgebied windpark Echteld-Lienden









De aanwezigheid van de drie grote infrastructurele lijnen zorgt ervoor dat het projectgebied is opgedeeld en al een hoog geluidsniveau kent. Ook zien we in het projectgebied ruimte om landelijk te wonen en aan de randen kleine woonkernen zoals Echteld, Lingemeer en IJzendoorn. In deze kernen is er bedrijvigheid en enkele overige functies zoals detailhandel, sport en recreatie. Er is weinig gebied bestemd als natuur, al kennen de Linge en omliggende gebieden wel natuurwaarden.

### 3.2 Windenergie - Huidige situatie, referentiesituatie en nieuwe situatie

Op dit moment zijn er twee windparken op/nabij de locatie van het beoogde windpark Echteld-Lienden: windpark Echteld en windpark Buren. Het gaat in het geval van windpark Echteld om 4 Enercon E-82's met een vermogen van 2MW. Windpark Buren bestaat uit 4 Vestas V90's. Ook deze turbines hebben een vermogen van 2MW.

Het bestaande windpark Echteld gaat bij doorgang van windpark Echteld-Lienden gesaneerd worden. Mocht de ontwikkeling van windpark Echteld-Lienden niet doorgaan dan kan windpark Echteld blijven bestaan. Het bestaande windpark is voor onbepaalde tijd vergund. Hierdoor is de sanering van het bestaande windpark geen autonome ontwikkeling. De sanering is afhankelijk van de realisatie van windpark Echteld-Lienden. Daarom is windpark Echteld onderdeel van de referentiesituatie.

Het windpark Buren blijft ook bestaan, onafhankelijk van de ontwikkeling van windpark Echteld-Lienden. Dit windpark zal dus impact blijven houden op de omgeving, los van de nieuwe effecten veroorzaakt door windpark Echteld-Lienden. Daarom is windpark Buren deel van de *nieuwe situatie* en windpark Echteld niet.

	WP Echteld	WP Buren	WP Echteld-Lienden
Referentie situatie			
Nieuwe situatie			

### 3.3 Milieukwaliteit referentiesituatie

De kwaliteit van de leefomgeving wordt bepaald door verschillende aspecten. Het gaat om sectorale, milieu-gerelateerde aspecten maar ook om sociale en economische kwaliteitsaspecten. Voorliggende gebiedsanalyse is opgesteld ter voorbereiding op de afweging van lokale normgrenzen voor geluid en slagschaduw. Voor ge-

luid en slagschaduw geldt dat, nu een landelijke norm ontbreekt, een gebiedsanalyse een rol speelt bij het bepalen van objecten en terreinen waarvoor een norm wordt gesteld en bij het motiveren van een op de lokale situatie toegesneden norm. Daarom beperkt de beschrijving zich tot deze milieuthema's.

Voor het derde aspect van de windturbinevoorschriften, het Plaatsgebonden Risico (binnen het kader van Externe Veiligheid), is een gebiedsanalyse feitelijk niet van toepassing. In het beleid voor externe veiligheid wordt aan alle (beperkt) kwetsbare objecten waar mensen verblijven, hetzelfde veiligheidsniveau geboden. Uit het MER blijkt dat de referentiesituatie een acceptabel leefomgeving betreft. Het effect van windpark Echteld-Lienden op deze omgeving is in beeld gebracht en hierbij blijkt dat het windpark geen ontoelaatbare toename van risico's met zich meebrengt. Uit de gebiedstypering volgt dat het plangebied voor het onderwerp externe veiligheid niet uitzonderlijk is, en dat daarom kan worden aangesloten bij landelijke uitgangspunten.

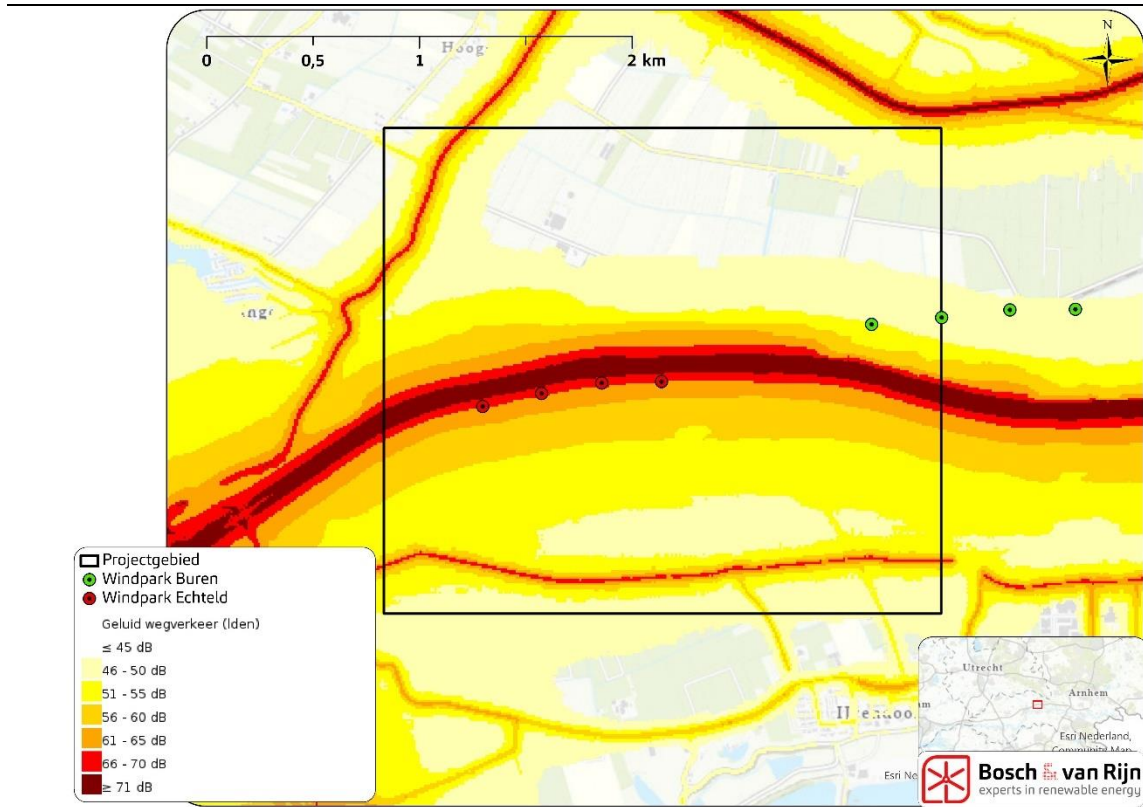
### 3.3.1 *Geluid*

In het projectgebied zijn meerdere belangrijke geluidbronnen aanwezig; de A15 (Figuur 3), de twee spoorwegen (zie Figuur 4) en windparken Echteld en Buren (zie Figuur 5).

#### 3.3.1.1 *Wegverkeer (jaargemiddeld)*

Onderstaande figuur toont de geluiduitstraling van de wegen rond het projectgebied in  $L_{den}$ . De geluidberekeningen zijn gebaseerd op verkeersintensiteiten uit 2020. De invloed van de A15 is zeer goed terug te zien in de afbeelding, maar is niet de enige weg die geluid toevoegt aan de omgeving. Zo creëren de N320, de Molenstraat en Vogelenzangseweg ook relevant omgevingsgeluid. De geluiduitstraling van overige wegen is relatief gering en effecten treden alleen zeer lokaal op.

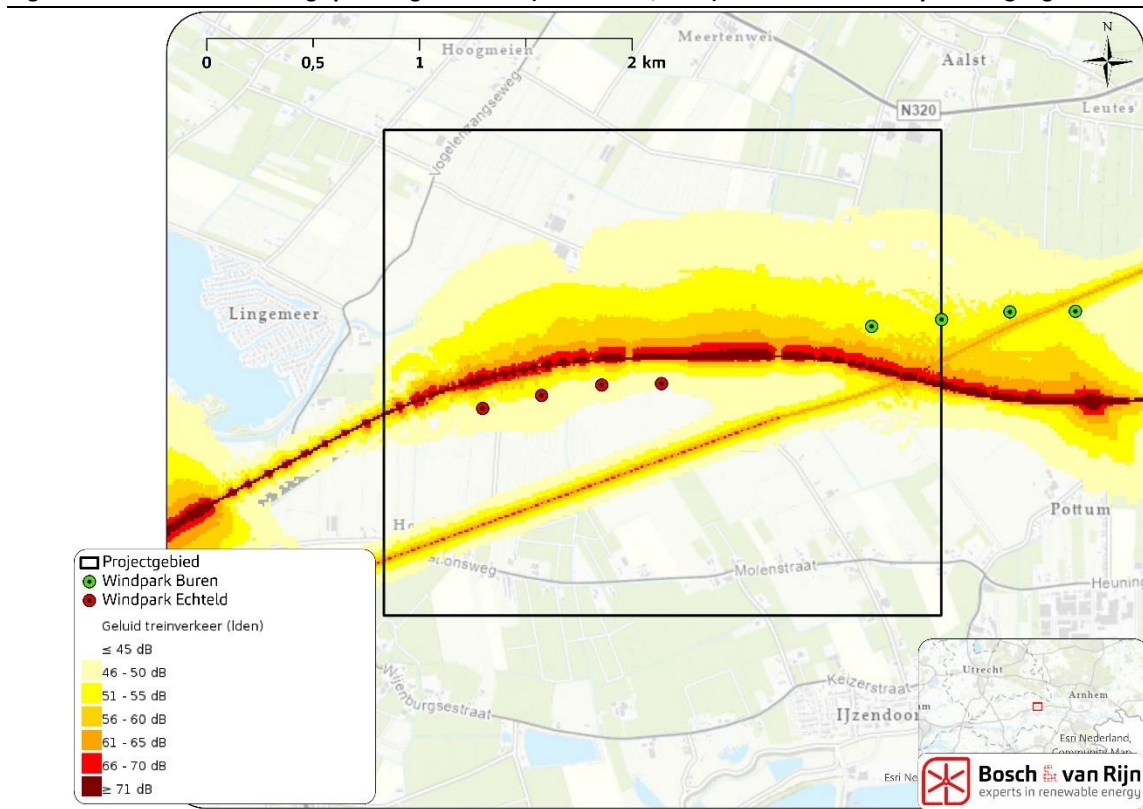
**Figuur 3** Geluidbelasting wegverkeer in  $L_{den}$  (Bron: RIVM, 2020). 'den' staat voor day-evening-night.



### 3.3.1.2 Railverkeer (jaargemiddeld)

De Betuwelijn ligt parallel aan de A15 en verderop ligt het spoor tussen Tiel en Kersteren. Beide produceren logischerwijs ook geluid, al blijkt uit de data van het RIVM dat de gemiddelde geluidsproductie van de Betuwelijn een stuk hoger ligt.

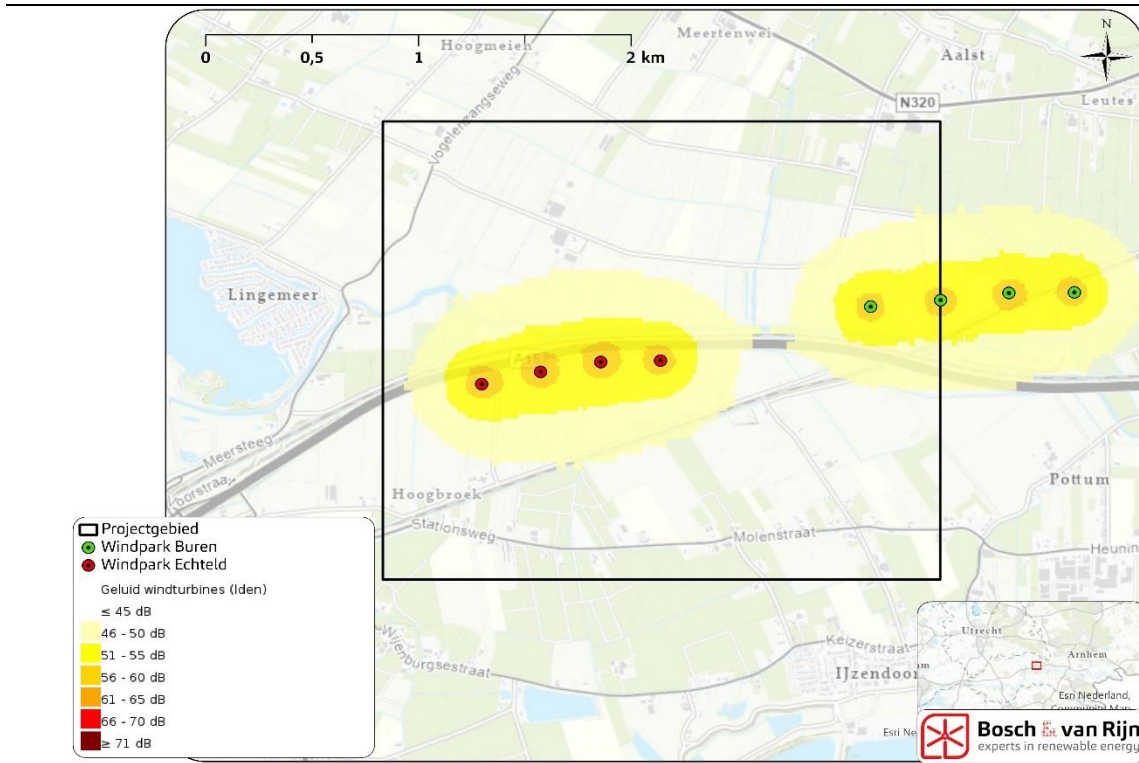
**Figuur 4** Geluidbelasting spoorwegen in Lden (Bron: RIVM, 2020). 'den' staat voor day-evening-night.



### 3.3.1.3 Windturbines (jaargemiddeld)

Onderstaande afbeelding geeft in dezelfde klassen de geluidsbelasting van windpark Buren weer. Ondanks de lagere geluidswaarden van dit windpark kan dit geluid wel als hinderlijker worden ervaren. Wel is de verwachting dat op veel locaties het geluid van de snelweg en spoorwegen het geluid van dit park en van het geplande plan zal overstemmen.

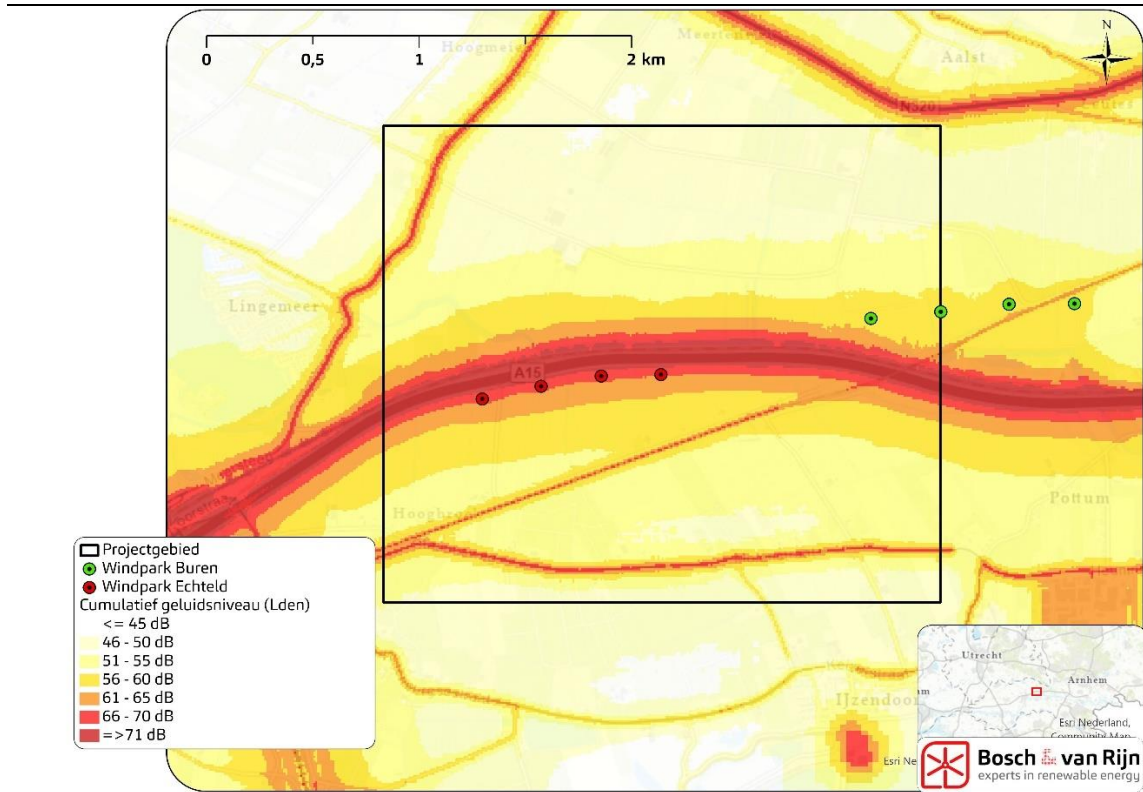
**Figuur 5** Geluidbelasting Windpark Buren in Lden (Bron: RIVM, 2020). 'den' staat voor day-evening-night.



### 3.3.1.4 Cumulatief jaargemiddeld geluidsniveau referentiesituatie

Figuur 6 geeft de cumulatieve geluidbelasting weer van de referentiesituatie.

**Figuur 6** Cumulatief geluidniveau bronnen omgevingslawaai (RIVM, 2022).



Uit bovenstaande afbeeldingen blijkt dat de A15 en de spoorwegen de dominante geluidsbronnen in de omgeving zijn.

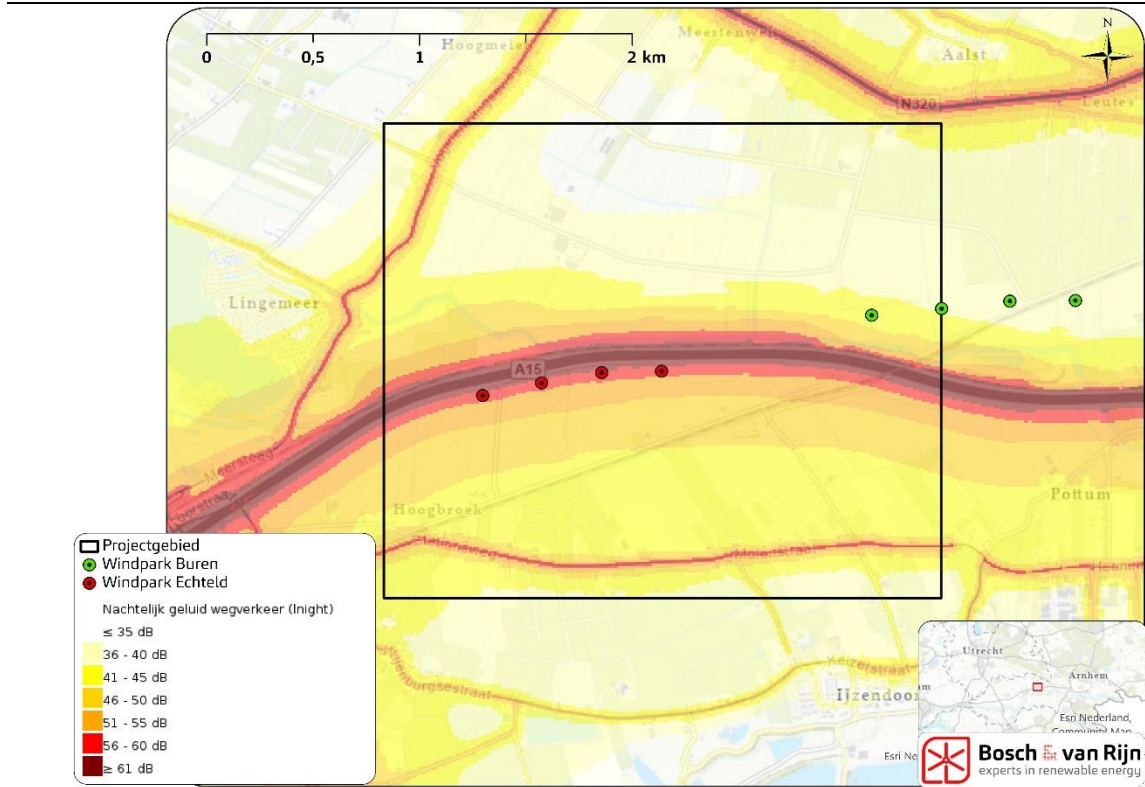
Met behulp van cumulatieberekeningen in het akoestisch onderzoek dat is opgenomen in de bijlagen bij het MER is inzichtelijk hoe afstand tot de A15, spoorlijnen en windpark Buren en toename van het cumulatieve geluidniveau als gevolg van de windturbines met elkaar samenhangen. Woningen in stillere gebieden dichterbij windpark Echteld-Lienden kennen een meer aanzienlijke toename dan woningen die al veel geluid ontvangen van één van de bestaande geluidsbronnen.

### 3.3.1.5 *Lnight*

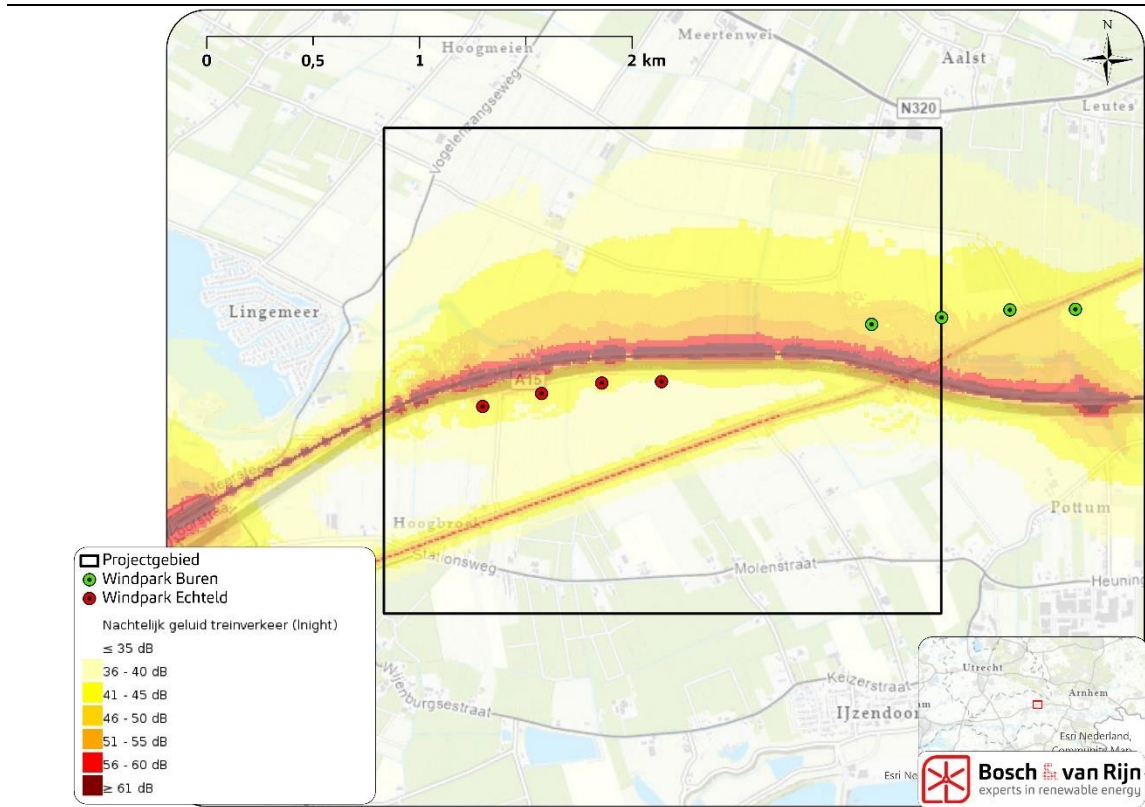
Omdat verkeersintensiteiten van de A15, lokale wegen en de spoorlijnen overdag en in de nacht verschillen, is sprake van variatie in geluidniveaus. In de nachtperiode is daarom ook sprake van lagere geluidniveaus ( $L_{\text{night}}$ ) dan overdag ( $L_{\text{day}}$ ) en in de avond ( $L_{\text{evening}}$ ). Deel van de afweging van normen is ook motiveren of een  $L_{\text{night}}$  norm op deze locatie relevant is. Vandaar dat hier de nachtelijke geluidssituatie in kaart is gebracht.

De  $L_{\text{night}}$  geluidbelasting van de A15, de spoorwegen en windpark Buren is in de onderstaande afbeeldingen weergegeven.

**Figuur 7** Geluidbelasting A15 en lokale wegen in Nlight (bron: Rijkswaterstaat, 2022)

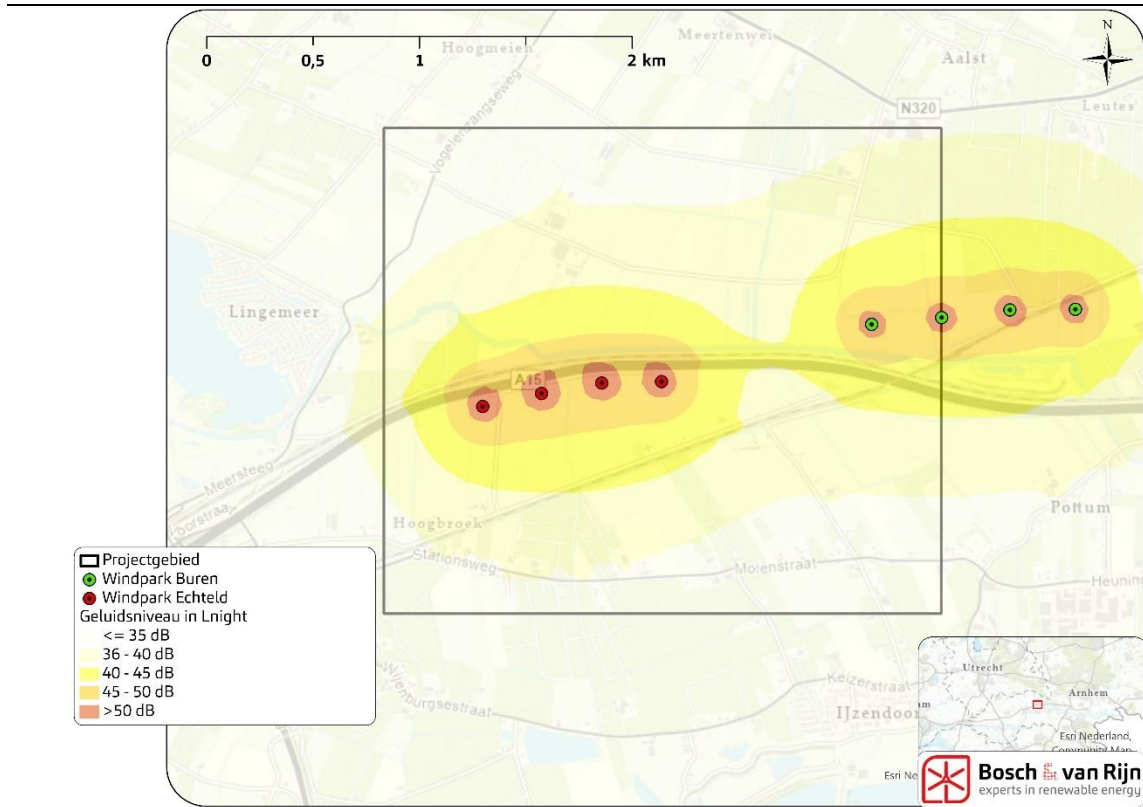


**Figuur 8** Geluidbelasting spoorwegen in Nlight (bron: Rijkswaterstaat, 2022)





**Figuur 9 Geluidbelasting windparken Echteld en Buren in Lnight.**



### 3.3.1.6 Laagfrequent geluid

Windturbines zijn een bron van laagfrequent geluid, net als overige bronnen van omgevingslawaai zoals wegverkeer. Voor al deze geluidbronnen geldt dat geluid in hogere frequenties op korte afstand van de bron wordt gedempt door de bodem en de lucht. Geluid in lagere frequenties wordt in mindere mate gedempt door lucht en bodem en reikt tot op grotere afstand. Op grotere afstand van de bron neemt het aandeel laagfrequent geluid in het berekende geluidniveau daarom toe. Geluid in lagere frequenties is het geluid dat op grotere afstand van de bron resteert.

Voor wegverkeerslawaai gelden evenals voor windturbines geen landelijke normen voor laagfrequent geluid. Het geluid in lagere frequenties maakt deel uit van het totale geluidsspectrum dat wordt genormeerd. Er is daarom geen aanleiding voor het uitvoeren van cumulatieberekeningen specifiek voor laagfrequent geluid van windturbines en wegverkeer. Wel is er verder in het memo aandacht voor tonaal laagfrequent geluid, wat hinderlijk kan zijn, zie 4.6.2.2.

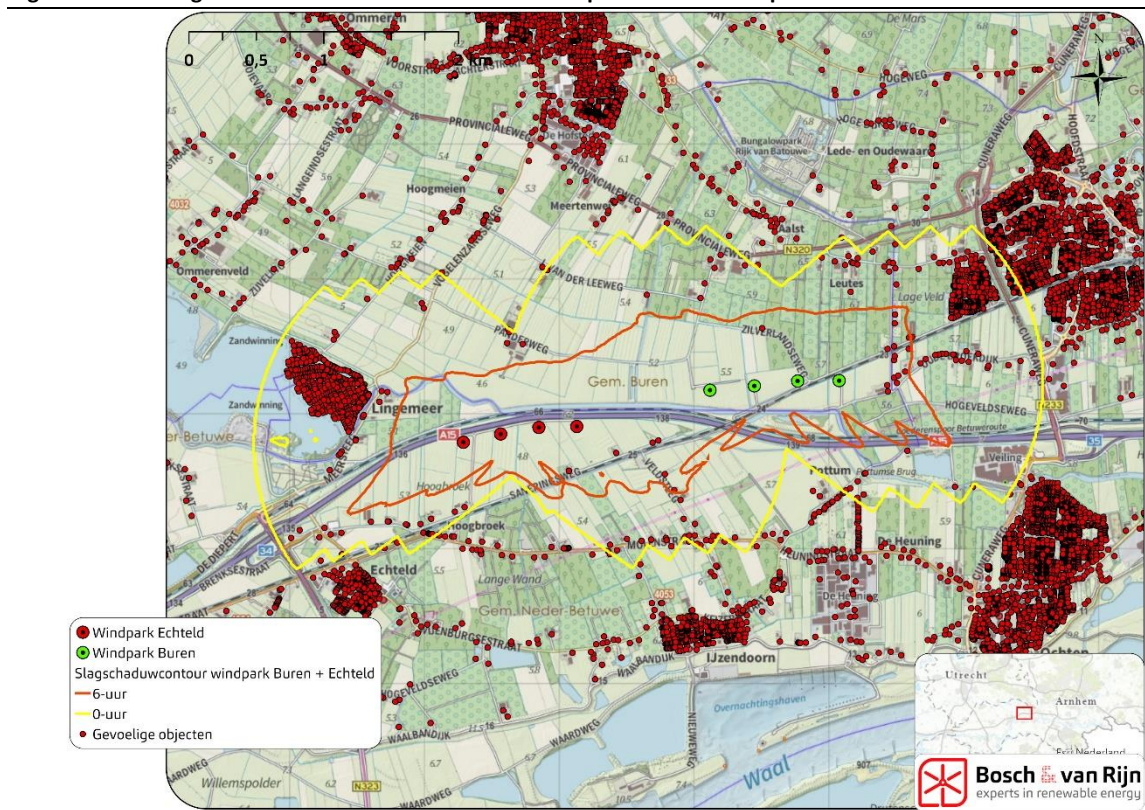
### 3.3.2 Slagschaduw

Als gevolg van draaiende rotoren van windturbines treedt bewegende slagschaduw op in de omgeving. Deze bewegende slagschaduw is hinderlijk op het moment dat

die zorgt voor sterke wisselingen in lichtsterkte in een ruimte waar personen verblijven. Om die reden werd een normgrens gehanteerd voor schaduwgevoelige objecten waar personen verblijven.

(Bewegende) slagschaduw is een milieueffect dat enkel door windturbines veroorzaakt wordt. In de referentiesituatie staan er al windturbines in het plangebied en treedt er dus voor sommige woningen al slagschaduw op.

**Figuur 10 Slagschaduw in de referentiesituatie: windpark Buren + windpark Echteld**



## Hoofdstuk 4 Geluid

---

### 4.1 Inleiding

---

Dit hoofdstuk beschrijft de mogelijke normstellingen voor het onderdeel geluid. Hierbij wordt onder andere gekeken naar de geschikte dosismaat voor geluid, de hoogte van de norm en welke mogelijke aanvullende normen meerwaarde kunnen bieden.

### 4.2 Theorie en uitgangspunten

---

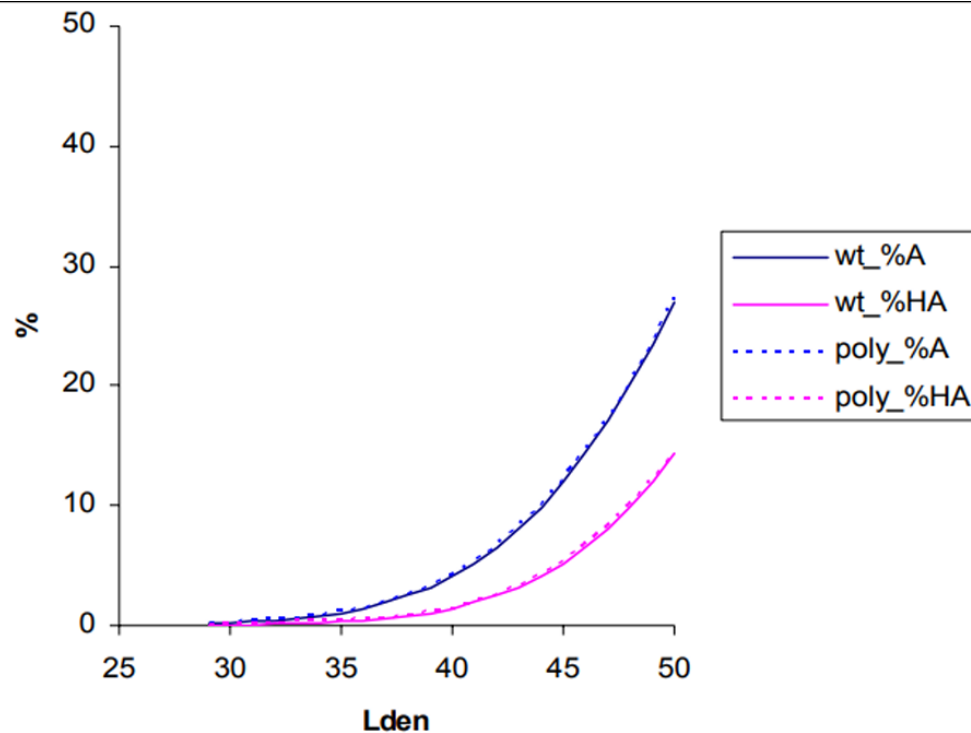
#### 4.2.1 *Dosis-effectrelatie*

Hoewel er geen milieueffectrapport is uitgevoerd voor de windturbinenormen uit het Activiteitenbesluit neemt dat niet weg dat er een inhoudelijke onderbouwing voor de voorheen toegepaste milieunormen bestaat. TNO heeft de dosis-effectrelatie voor windturbinegeluid bepaald (Janssen, Vos, & Eisses, Hinder door geluid van windturbines, 2008). Dat wil zeggen: hoe groot is het effect bij verschillende geluidsniveaus. De onderzoeksresultaten zijn ook gepubliceerd in een wetenschappelijk tijdschrift (Janssen & Vos, Eisses, & Pedersen, 2011). Hoewel windturbines in de afgelopen jaren groter zijn geworden is deze dosis-effectrelatie nog steeds geldig. Dit blijkt onder andere uit een recent WHO-rapport (Environmental Noise Guidelines for the European Region, 2018), dat zich baseert op diezelfde publicatie en komt tot dezelfde conclusies.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Daarbij moet worden opgemerkt dat het WHO-rapport een uitspraak doet over hinder buitenshuis, terwijl motivering voor de 47 dB Lden zich baseert op de hinderpercentages binnenshuis. Dit verklaart waarom de hinderpercentages in het WHO rapport afwijken van de hier genoemde percentages.

**Figuur 11** De relatie tussen Lden en het percentage gehinderden (wt\_%A) en ernstig gehinderden (wt\_%HA) binnenshuis door geluid van windturbines. De gestippelde lijnen geven de polynome benadering weer. (Bron: (Janssen, Vos, & Eisses, A., Hinder door geluid van windturbines, 2008))



Diverse recente onderzoeken hebben gekeken naar de gezondheidseffecten van geluid.

- In 2017 en 2018 heeft het RIVM een grootschalig literatuuronderzoek uitgevoerd (van Kamp & van den Berg, Health Effects Related to Wind Turbine Sound, Including Low-Frequency Sound and Infrasound, 2018) waarin 32 wetenschappelijke artikelen uit de periode 2009-2017 zijn geanalyseerd. Dit onderzoek concludeert: Geluid van windturbines leidt tot meer hinder dan geluid van andere bronnen. Er is geen bewijs voor een specifiek effect van de laagfrequente component noch van infrageluid.
- Een recent literatuuronderzoek van het RIVM (van Kamp & van der Berg, "Health effects related to wind turbine sound: an update", 2020) concludeert dat uit literatuur niet blijkt dat laagfrequent geluid van windturbines voor extra hinder zorgt tot die gerelateerd aan 'gewoon' geluid. De literatuur liet duidelijk zien dat omwonenden minder hinder hebben van de windturbines als ze betrokken worden bij de plaatsing ervan.

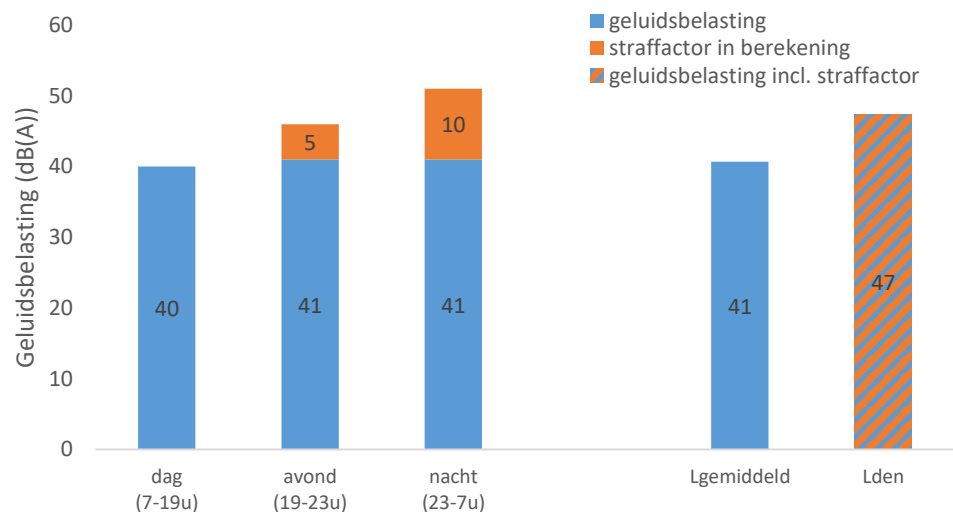
Er zijn geen onderzoeken bekend waarin de kwantitatieve relatie tussen de hoeveelheid geluid en de hoeveelheid hinder uit het oorspronkelijke onderzoek (Janssen, Vos, & Eisses, Hinder door geluid van windturbines, 2008) wordt betwist.

#### 4.2.2 Geluidsdosismaat $L_{den}$ en $L_{night}$

Volgens richtlijn 2002/49/EG van het Europees Parlement dient omgevingsgeluid in alle lidstaten op dezelfde wijze behandeld te worden. De geluidbelasting dient daar bij in decibel (dB)  $L_{den}$  of dB  $L_{night}$  te worden uitgedrukt. De geluidbelasting in dB  $L_{den}$  wordt ook wel de dag-avond-nachtgeluidbelastingsindicator genoemd.  $L_{den}$  is een berekend gewogen jaargemiddelde van de geluidbelasting tijdens de dag-, de avond- en de nachtperiode. De avond- en nachtperiode krijgen een opslag van respectievelijk +5 en +10 omdat in deze periode geluid hinderlijker wordt ervaren en deze periodes worden derhalve zwaarder meegewogen. De geluidbelasting in dB  $L_{night}$  de nachtgeluidbelastingsindicator. Voor het bepalen van de hinder wordt gebruik gemaakt van  $L_{den}$ .

De  $L_{den}$  systematiek is lastig te doorgronden door omwonenden omdat een  $L_{den}$  waarde niet correspondeert met de jaargemiddelde geluidbelasting. Dat is het gevolg van de straf toeslagen in de avond- en nachtperiode die worden gehanteerd in de berekening bij toetsing aan de norm. Zie onderstaande figuur waarin inzichtelijk is gemaakt hoe een 45 dB  $L_{den}$  waarde wordt berekend.

**Figuur 12 Grafische weergave  $L_{den}$**



$L_{night}$  wordt gebruikt om effecten die kunnen leiden tot slaapverstoring te bepalen. Voor bijzondere geluidbelasting situaties zijn aanvullende indicatoren tevens mogelijk. Redenen hiervoor kunnen bijvoorbeeld zijn:

- Combinatie van geluid uit verschillende bronnen;
- Relatief stille zones in het buitengebied;
- De lage frequentiecomponent (LFG) van het geluid is sterk;

Windturbinegeluid is, ten opzichte van andere geluidbronnen, relatief constant van karakter. De maximale optredende geluidniveaus die door een windturbine worden veroorzaakt zijn circa 2-4 dB(A) hoger dan het optredende jaargemiddelde geluid

niveau van een windturbine<sup>2</sup>. Bij een geluidbelasting van 47 dB Lden op een punt is het daadwerkelijk ervaren gemiddelde geluidniveau<sup>3</sup> op de gevel (bij hoge wind snelheden op ashoogte) circa 43-45 dB(A). De hoeveelheid geluid die een windturbine produceert is afhankelijk van het geluidsbronvermogen van de windturbine. Het geluid van een windturbine kan des gewenst worden beperkt door toepassing van een voorziening op de bladen of door het vermogen te reduceren. Dit leidt tot verlies van energieproductie. De hoeveelheid geluid heeft tevens een rechtstreeks verband met de optredende wind snelheid. Tot een bepaalde windsnelheid neemt de geluidsproductie toe, vanaf deze specifieke windsnelheid blijft de geluidsproductie gelijk. De windsnelheid is door het KNMI voor geheel Nederland op ashoogtes tussen 10 en 260 meter boven het maaiveld de windverdelingen beschikbaar gesteld.

Met deze verdelingen kan een goede voorspelling per beoordelingsperiode worden gegeven van de te verwachten geluidbelasting op de omgeving. Gezien het constante karakter van windturbinegeluid (de verschillen tussen dag-, avond- en nachtperiode zijn beperkt) is er op zichzelf geen aanleiding een L<sub>night</sub> normering te stellen aanvullend op een L<sub>den</sub>-normering. Bij constante geluidniveaus bedraagt het verschil tussen de geluidbelasting in dB L<sub>den</sub> en dB L<sub>night</sub> circa 6 dB en biedt een aparte norm voor L<sub>night</sub> geen extra bescherming, tenzij deze 7 dB of meer lager is dan de L<sub>den</sub>-normering. Daarnaast kan er op basis van onderzoeken nog geen conclusie worden getrokken over de samenhang tussen geluid van wind turbines en slaapverstoring<sup>4</sup>. De WHO geeft in haar rapport van 2018 dan ook geen advies over een L<sub>night</sub>-norm voor windturbines.

#### 4.2.3 *Maximale momentane geluidsbelasting, L<sub>Aeq,max</sub>*

De bronsterke van een windturbine hangt samen met de windsnelheid. Vanaf een bepaalde windsnelheid  $V_{rated}$  bereikt de windturbine zijn nominale vermogen en maximale bronsterkte. Bij hogere windsnelheden neemt de opbrengst niet verder toe en blijft ook de bronsterkte gelijk (door aanpassing van de pitchhoek van de bladen). Omdat een windturbine een groot deel van de tijd op maximale bronsterkte draait (circa 50%) spelen geluidniveaus die optreden bij de maximale bronsterkte een grote rol bij toetsing van de gemiddelde geluidwaarde aan de L<sub>den</sub> norm.

Nadelen van een dergelijke norm zijn:

- Het maximaal momentane geluidsniveau en het jaargemiddelde geluidniveau hangen met elkaar samen. Uit berekeningen is tevens het maximale geluidniveau bekend (piekniveau).
- Een norm voor maximaal momentaan geluid biedt geen extra milieubescherming, behalve wanneer het maximaal toegestane momentane geluidniveau (de norm) lager is dan het maximale geluidniveau bij maximale bronsterkte. Omdat een windturbine een groot deel van de tijd (circa 50%) op maximaal vermogen

<sup>2</sup> Nederlandse geluidsnormen in internationaal perspectief, E. Koppen, Arcadis, Windnieuws nr. 4, 2015.

<sup>3</sup> De daadwerkelijk ervaren geluidsniveaus zijn lager dan het gewogen L<sub>den</sub> gemiddelde omdat de L<sub>den</sub>-waarde straffactoren bevat voor geluid in de avond en de nacht.

<sup>4</sup> Factsheet gezondheidseffecten van windturbinegeluid, RIVM, augustus 2021.

en bij maximale bronsterkte opereert, zou een windturbine in dat geval de helft van de tijd moeten worden terug geregeld. Dat leidt direct tot een onuitvoerbaar windproject. Bovendien ontbreekt een wetenschappelijke onderbouwing waarop een dergelijke norm gebaseerd kan worden. Als het gaat om hinderbeleving in relatie tot geluid van windturbines is alleen een wetenschappelijk onderbouwde dosis-effect relatie voorhanden op basis van langdurige en herhaalde geluidbelasting over langdurige perioden. Er is geen wetenschappelijk onderbouwde dosis-effect relatie voorhanden op basis waarvan een norm voor 'piekgeluid' kan worden afgewogen.

Voordeel van een extra handhavingsnorm voor  $L_{Aeq}$  is dat op elk moment van het jaar, onder alle omstandigheden, een controlemeting kan worden uitgevoerd.

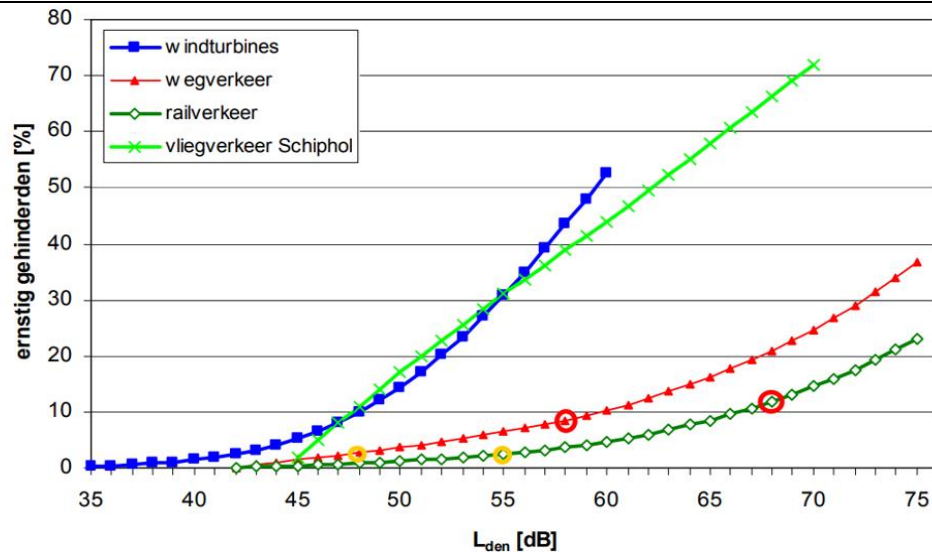
#### 4.2.4 *Geen apart toetsingskader voor laagfrequent geluid onderzocht*

Wegverkeer, spoorwegverkeer en windturbines vormen allen een bron van laagfrequent geluid, net als overige bronnen van omgevingslawaai. Voor al deze geluidbronnen geldt dat geluid in hogere frequenties op korte afstand van de bron wordt gedempt door de bodem en de lucht. Geluid in lagere frequenties wordt in mindere mate gedempt door lucht en bodem en reikt tot op grotere afstand. Op grotere afstand van de bron neemt het aandeel laagfrequent geluid in het berekende geluidniveau daarom toe. Daarom is het geluid dat op grotere afstand van de bron resteert het geluid in lagere frequenties. Het geluid in lagere frequenties maakt deel uit van het totale geluidsspectrum dat wordt genormeerd. Er is daarom geen aanleiding voor het uitvoeren van berekeningen specifiek voor laagfrequent geluid van windturbines, spoorweg- en wegverkeer.

#### 4.2.5 *Normgrens en hinder*

Voor de 'oude' grenswaarde van 47 dB Lden blijkt uit een vergelijking met de dosis effect-relatie dat bij deze waarde circa 9% ernstige hinder binnenshuis kan worden verwacht. Deze grenswaarde is goed vergelijkbaar met het aantal ernstig gehinderden bij de normering voor wegverkeer, railverkeer en industriellawaai. Onderstaande grafiek geeft de relatie tussen Lden en het percentage ernstig gehinderden (binnenshuis) bij verschillende bronnen weer. De rode cirkels zijn de grenswaarden voor weg- en railverkeer, waarbij dus ook ca. 9-11% ernstig gehinderden aanvaardbaar wordt geacht. Het feit dat dit hinderpercentage bij windturbine al bij een lager geluidsniveau optreedt komt doordat windturbinegeluid als hinderlijker wordt ervaren dan geluid van overige bronnen, bijvoorbeeld door het kenmerkende ritmische karakter van het geluid van de wieken die de mast passeren, de zogenaamde amplitudemodulatie.

**Figuur 13** Relatie tussen Lden en het percentage ernstig gehinderden bij verschillende bronnen. De normen voor railverkeer (68 dB Lden) en wegverkeer (58 dB Lden) zijn met rode cirkels weergegeven en liggen rond de 9-10%. Voor windturbinegeluid ligt een vergelijkbaar hinderpercentage rond de 47 dB Lden.



Op basis van de dosis-effectrelatie uit Figuur 13 is te berekenen hoe groot het percentage ernstig gehinderden is bij objecten in de omgeving van het windpark (zoals woningen). Door vervolgens dit percentage te vermenigvuldigen met het (geschatte) aantal bewoners per pand krijgen wij het statistisch verwachte aantal ernstig gehinderden in elk pand. De optelling van alle panden geeft het statistisch verwachte aantal ernstig gehinderden. De berekening van het hinderpercentage maakt gebruik van de polynome functie die is gegeven in (Janssen, Vos, & Eisses, A., 2008):

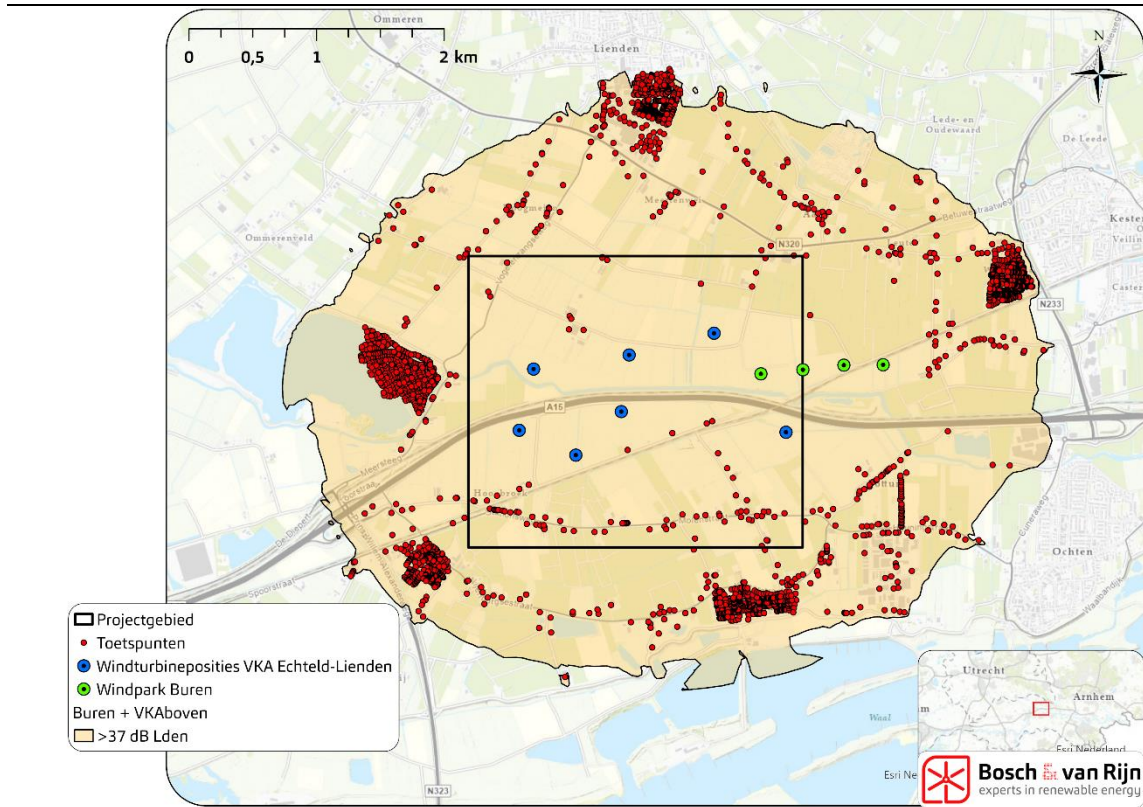
$$\%HAbinnen = -107,6 + 9,656 L_{den} - 0,289 L_{den}^2 + 0,002894 L_{den}^3$$

Omdat het geluidsniveau in de omgeving al relatief hoog is, is de keuze gemaakt om in de berekening van het aantal ernstig gehinderden alleen de toetspunten mee te nemen die meer dan 37 dB Lden ontvangen. Daaronder is de ondervonden hinder als gevolg van windturbinegeluid verwaarloosbaar, mede vanwege al het overige omgevingsgeluid.

Onderliggende afbeelding geeft welke toetspunten binnen de 37 dB Lden contour is gelegen bij de VKA bovengrens zonder mitigatie.



**Figuur 14** Ligging van de toetspunten ten opzichte van het VKA en windpark Buren.



#### 4.2.6 *Metten en rekenen*

Om de geluidsbelasting te berekenen is een rekenmethodiek vereist die rekening houdt met de specifieke eigenschappen van windturbinegeluid. Het document ‘Meet- en Rekenmethode Geluid Windturbines<sup>5</sup>’ (MRGW) is specifiek opgesteld voor het berekenen van windturbinegeluid. De overdrachtsberekeningen van deze rekenmethode zijn integraal overgenomen van de ‘Handleiding Metten en Rekenen Industrielawaai’ (HMRI), uitgave 1999 van het Ministerie van VROM, methode II.8. Het HMRI is op zijn beurt op vele fronten vergelijkbaar<sup>6</sup> met ISO 9613-2, de volgens de EU-richtlijn aanbevolen methode voor overdrachtsberekeningen voor industrie- geluid (windturbinegeluid wordt niet genoemd in de EU-richtlijn). De Meet- en rekenmethode geluid windturbines is gebaseerd op het HMRI, maar is aangevuld met onderdelen die specifiek voor windturbines van belang zijn. Zo komt de beschreven methode om geluidbronmetingen uit te voeren grotendeels overeen met de methode die in IEC 61400-11 wordt beschreven. Daarnaast worden, om de jaargemiddelde geluidemissie van een windturbine te bepalen, windsnelheidsverdelingen beschikbaar gesteld<sup>7</sup> op ashoogtes tussen 10 en 260 meter. Het windturbinegeluid is

<sup>5</sup> Het Reken- en meetvoorschrift windturbines is in te zien als Bijlage IVi bij de Omgevingsregeling. <https://www.omgevingsweb.nl/wp-content/uploads/po-assets/379191.pdf>

<sup>6</sup> Brief van de minister van VROM, 31 209, nr. 135, 28-9-2010

<sup>7</sup> Brief van de StaS van Economische Zaken en Klimaat d.d. 9 juni 2021, DGKE-WO/21119163

berekend met het rekenprogramma Geomilieu, module IL-WT. Dit rekenprogramma volgt de Meet- en rekenmethode geluid windturbines. Bij de beoordeling van geluid wordt primair gekeken naar de effecten op geluidgevoelige objecten zoals die zijn gedefinieerd in artikel 1 van de Wet geluidhinder. Overige objecten en terreinen worden niet beschermd tegen andersoortige geluidbronnen en worden daarom voor windturbinegeluid eveneens buiten beschouwing en normering gelaten.

Op basis van voorgenoemde redenen wordt de Meet- en rekenmethode geluid windturbines toepasbaar geacht om geluidberekeningen uit te voeren voor windturbinegeluid. De methodiek in de Meet- en rekenmethode is de best beschikbare methode waarmee de gevolgen voor het milieu inzichtelijk kunnen worden gemaakt.

### 4.3 Gevoeligheidsanalyse geluidsnormen

---

Om te komen tot een geschikte geluidsnorm onderzoeken wij een aantal verschillende mogelijke normen, hieronder als 'scenario's' aangeduid. Voor deze scenario's is in beeld gebracht hoeveel ernstig gehinderden optreden (op basis van de dosis-effectrelatie voor windturbinegeluid), en welke opbrengstderving gepaard gaat met de benodigde mitigerende maatregelen om aan de betreffende norm te voldoen.

- Referentiesituatie. Ter vergelijking is het aantal ernstig gehinderden van windparken Echteld en Buren berekend.
- Géén geluidsnorm
- **Scenario 47/47:** het gecumuleerde geluid van windpark Buren en Windpark Echteld-Lienden mag op gevoelige objecten niet hoger zijn dan 47 dB Lden en 41 dB Lnight. Deze waarden zijn als *grenswaarden* opgenomen in de nieuwe (concept) windturbinebepalingen<sup>8</sup>. 1 woning (Zilverlandseweg 1) ondervindt reeds een geluidsbelasting van 47,4 dB Lden van WP Buren, waardoor vrijwel elke toename van het cumulatieve windturbinegeluid tot een Lden van >47 leidt. Daarom geldt voor deze woning in dit scenario een uitzondering en is 48 dB Lden toegestaan.
- **Scenario 45/47:** het geluid van windpark Echteld-Lienden mag op gevoelige objecten niet hoger zijn dan 45 dB Lden en 39 dB Lnight. De cumulatieve geluidsbelasting inclusief WP Buren mag niet hoger zijn dan 47 dB Lden en 41 dB Lnight.
- **Scenario 45/45:** het gecumuleerde geluid van windpark Buren en Windpark Echteld-Lienden mag op gevoelige objecten niet hoger zijn dan 45 dB Lden en 39 dB Lnight. Deze waarden zijn als *standaardwaarden* opgenomen in de nieuwe (concept) windturbinebepalingen. Daarnaast komt deze Lden-waarde overeen met de (voorwaardelijke) adviesnorm van de Wereldgezondheidsorganisatie. Er is een klein aantal woningen dat in de referentiesituatie reeds een hogere geluidsbelasting heeft. Woningen die gelegen zijn aan de oostzijde van

---

<sup>8</sup> <https://www.platformparticipatie.nl/windturbinesleefomgeving/ontwerpbesluit-windturbines-leefomgeving/default.aspx>

WP Buren (en dus op grote afstand van WP Echteld-Lienden) zijn niet in het onderzoek betrokken. Voor woningen die invloed van zowel WP Buren als WP Echteld-Lienden ondervinden stellen wij dat de *toename* ten opzichte van de referentiesituatie niet hoger mag zijn dan 1 dB. Uitzondering is de woning met adres Saneringsweg 3 IJzendoorn, aangezien deze woning een functionele binding met WP Echteld-Lienden heeft.

In eerste instantie is gekozen om de bovenkant van de bandbreedte van het VKA te onderzoeken. De vergelijking tussen de verschillende scenario's is hiermee consistent. Bovendien zijn de resultaten met betrekking tot het aantal ernstig gehinderden en de opbrengstderving 'worst-case'. Paragraaf 4.5 biedt vervolgens inzicht in het effect van toepassen van een stiller windturbinetype.

Tabel 1 Samenvattend overzicht van de verschillende scenario's.

Scenario	WP Echteld	WP Buren	WP Echteld-Lienden	Mitigatie
47/47	Nee	Ja	Ja	Geen woningen met >47 dB Lden.
45/47	Nee	Ja	Ja	Geen woningen met: cumulatief >47 dB Lden van EL >45 dB Lden
45/45	Nee	Ja	Ja	Geen nieuwe woningen met >45 dB Lden. Woningen nabij WP Buren max. 1dB toename.

#### 4.4 Opbrengstderving per scenario

Bij het bepalen van een passende geluidsnorm is het van belang om recht te doen aan de lokale situatie: woningen die al erg veel geluid van de snelweg, de spoorlijnen en/of de windturbines van WP Buren ontvangen verdienen bescherming tegen een ontoelaatbare cumulatieve geluidsbelasting. Daarbij is in de context van dit memo ook specifiek gekeken naar de geluidsbelasting in de nachtperiode, in verband met de lagere bijdrage van de snelweg en spoorweg in de nacht.

Het VKA Echteld-Lienden bestaat uit 7 turbines. In het MER voor het Windpark Echteld-Lienden en het bijlagenrapport 'Akoestisch onderzoek' wordt beschreven dat er met een bandbreedte wordt gerekend. Er zijn specifieke windturbinetypes gekozen die horen bij de onder- en bovengrens: de Vestas V162 6.2MW en de Vestas V172 7.2MW. De vier scenario's zoals beschreven in 4.3 zijn doorgerekend voor de bovengrens, een worst-case benadering. Voor de drie scenario's is de mitigatie berekend die nodig is om aan de norm te voldoen. Daarbij is tevens inzicht verschaft in het statistisch te verwachten aantal ernstig gehinderden. Dit is mogelijk op basis van de dosis-effectrelatie.

**Tabel 2 Samenvatting geluid en opbrengst en het effect van verschillende normgrenzen.**

Scenario	Referentie	Geen norm	47/47	45/47	45/45
Aantal ernstig gehinderden (EH)	19	134	64	44	27
Percentage van de populatie <sup>9</sup>	0,10%	0,67%	0,32%	0,22%	0,13%
Toename EH t.o.v. ref. situatie		115	45	25	8
Energieproductie (GWh/jr)	38,0	185,9	169,6	161,0	140,6
Opbrengstderving	-	-	8,8%	13,4%	24,3%
Bijdrage RES-doelstelling	3,2%	15,5%	14,1%	13,4%	11,7%

#### 4.5 Stil vs. luid type

Naast de aanwezige verschillen van het aantal te verwachten ernstig gehinderden tussen de verschillende *scenario's* zijn er ook verschillen tussen de boven- en de ondergrens van de *bandbreedte* van het VKA. Ter illustratie is hieronder de vergelijking gemaakt voor het scenario 47/47.

**Tabel 3 Vergelijking onder- en bovengrensvan het VKA voor de 47/47 variant**

Scenario	47/47 VKA boven	47/47 VKA onder
Aantal ernstig gehinderden	64	45
Percentage van de populatie <sup>10</sup>	0,32%	0,22%
Toename t.o.v. referentie	45	26
Energieproductie (GWh/jr)	169,6	144,6
Opbrengstderving	8,8%	1,9%
Bijdrage RES-doelstelling	14,13%	12,05%

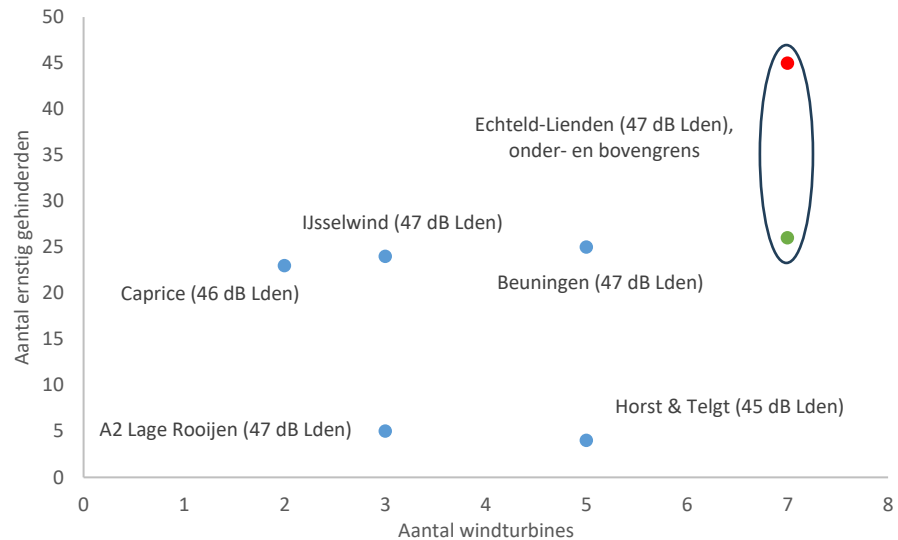
Niet alleen met betrekking tot het aantal statistisch te verwachten ernstig gehinderden, maar ook met betrekking tot de energieopbrengst en de benodigde mitigatie, is het interessant om te kijken naar de bandbreedte van het VKA: voor de ondergrens blijkt er veel minder mitigatie nodig te zijn om aan de voorgestelde geluidsnorm van 47 dB  $L_{den}$  (en 41 dB  $L_{night}$ ) te voldoen. Wel leveren de turbines na mitigatie alsnog minder energie, voornamelijk als gevolg van de lagere ashoogte (en dus het lagere windaanbod) en de kleinere rotordiameter.

Het aantal statistisch te verwachten ernstig gehinderden neemt af wanneer een stiller windturbinetype gekozen wordt, al blijft het aantal ernstig gehinderden hoger dan voor andere recente windparken binnen de provincie Gelderland.

<sup>9</sup> 7911 woningen (totaal aantal geluidgevoelige objecten binnen de 37 dB  $L_{den}$  contour zonder mitigatie) met 2,5 bewoners per woning: 20059 omwonenden.

<sup>10</sup> 7911 woningen (totaal aantal geluidgevoelige objecten binnen de 37 dB  $L_{den}$  contour zonder mitigatie) met 2,5 bewoners per woning: 20059 omwonenden.

**Figuur 15** Aantal ernstig gehinderden als gevolg van windturbinegeluid van enkele recent vergunde en/of bestemde windparken in Gelderland en het VKA van Echteld-Lienden (zowel **boven** als **onder**). Voor Echteld-Lienden gaat het om de *toename* t.o.v. de referentiesituatie.



## 4.6 Milieunormen en handhavingsnormen

De provincie Gelderland vindt de gezondheid van haar inwoners belangrijk. Om de gezondheid van omwonenden van het windpark te beschermen en onevenredige overlast te voorkomen stelt de provincie passende normen voor geluid, gebaseerd op de inzichten uit voorgaande paragrafen.

Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen milieunormen (die dienen ter bescherming van een aanvaardbaar woon- en leefklimaat) en handhavingsnormen (die dienen om handhavend op te kunnen treden indien de windturbines zich onverwachts ontoelaatbaar gedragen zonder dat de milieunormen worden overschreden). De milieu- en handhavingsnormen dienen in het geval van windpark Echteld-Lienden, vanwege de integratie van vergunning met het besluit, te worden opgenomen in het projectbesluit.

### 4.6.1 Milieunormen

#### 4.6.1.1 $L_{den}$

Tabel 2 geeft een totaaloverzicht van de belangrijkste getallen met betrekking tot de verschillende onderzochte scenario's. Op basis van de gebiedsanalyse enerzijds en het inzicht in het effect van verschillende normen anderzijds stelt de provincie zich op het standpunt dat een geluidsnorm van **47 dB  $L_{den}$**  een goede balans kent tussen de beperking van hinder enerzijds en het belang van de energietransitie anderzijds. Deze geluidsnorm geldt enkel voor de windturbines van WP Echteld-Lienden. Hiermee zijn er enkele woningen die al geluid ontvangen van windpark Buren

waarbij het cumulatieve geluidsniveau door beide parken stijgt. Bij een enkele woning (Zilverlandseweg 1) is deze immissie hoger dan 47 dB  $L_{den}$ . Vanwege het geluidsniveau van 47,4 dB  $L_{den}$  door windpark Buren is het nagenoeg niet mogelijk om cumulatief onder de 48 dB  $L_{den}$  te blijven. Hieronder is voor tien woningen aangegeven wat het geluidsniveau is van de individuele parken en de parken samen.

**Tabel 4** Geluidsniveau in  $L_{den}$  bij enkele woningen rond WP Buren (bij hanteren 47 dB  $L_{den}$  norm WP E-L)

Adres	WP Buren	WP Echteld-Lienden	Cumulatief	Toename
Zilverlandseweg 1 , Lienden	47,4	41,4	48,4	1,0
Schaapsteeg 14 , Lienden	46,7	37,2	47,1	0,5
Schaapsteeg 16 , Lienden	46,4	36,8	46,9	0,5
Schaapsteeg 12 , Lienden	45,4	36,0	45,9	0,5
Schaapsteeg 9 , Kesteren	45,2	35,5	45,7	0,4
Schaapsteeg 11 , Kesteren	45,0	36,1	45,6	0,5
Schaapsteeg 7 , Kesteren	44,8	35,4	45,3	0,5
Schaapsteeg 7a, Kesteren	44,6	35,5	45,1	0,5
Schaapsteeg 3 , Kesteren	44,5	35,7	45,1	0,5
Schaapsteeg 9a, Kesteren	44,6	35,3	45,0	0,5

Het toepassen van een strengere norm dan 47 dB  $L_{den}$  leidt tot een afname van het aantal ernstig gehinderden, maar tegelijk tot een dermate grote opbrengstderving dat de economische uitvoerbaarheid in het geding komt.

#### 4.6.1.2 $L_{night}$

Uit de analyse voor het scenario 47/47 blijkt dat de jaargemiddelde geluidsbelasting in de nachtperiode ( $L_{night}$ ) ter plaatse van gevoelige objecten nergens hoger is dan 41 dB  $L_{night}$ . Er wordt dus naast de  $L_{den}$  norm gelijktijdig ook voldaan aan de  $L_{night}$ -norm. Dit is in lijn met de wens van de omwonenden en de provincie.

Omwille van communicatie met omwonenden en begrijpelijkheid van de lokale geluidnorm is een ervoor gekozen om een aanvullende  $L_{night}$  norm te stellen voor de nachtperiode. De grenswaarde  $L_{night}$  behorende bij een geluidnorm van 47 dB  $L_{den}$  en die wordt opgenomen in het projectbesluit en de omgevingsvergunning bedraagt **41 dB  $L_{night}$** .

#### 4.6.2 Handhavingsnormen

In april 2023 heeft de Afdeling bestuursrechtspraak van de Raad van State uitspraken gedaan in de beroepszaken tegen Windpark Delfzijl Zuid Uitbreiding<sup>11</sup> en Windpark Karolinapolder<sup>12</sup>. In beide uitspraken is de Afdeling ingegaan op onderwerpen uit het deskundigenbericht van de Stichting advisering bestuursrechtspraak (hierna: STAB). De uitspraken geven aan op welke wijze het STAB advies moet worden geïnterpreteerd en geven richting aan de inhoud van motivering van lokale normen. Alhoewel de interpretatie van de Raad van State van de door de STAB onderzochte

<sup>11</sup> ECLI:NL:RVS:2023:1433, 12 april 2023

<sup>12</sup> ECLI:NL:RVS:2023:1446, 12 april 2023

aspecten als bekend mag worden verondersteld en daarom niet zou hoeven te worden herhaald, bevat dit hoofdstuk toch een bespreking van de belangrijkste onderwerpen die door de STAB zijn aangehaald, omwille van het criterium dat de motivering op zichzelf staand moet zijn.

Gelet op het advies van de STAB en de beide uitspraken van de Afdeling bestuursrechtspraak van de Raad van State kunnen verscheidene aanvullende normen worden afgewogen. Belangrijk is om bij het voorbereiden en vastleggen van normen onderscheid te maken tussen normen die milieubescherming bieden en aanvullende normen die relevant zijn voor adequate handhaving. Een evenwichtige toedeling van functies en activiteiten betekent immers niet alleen het bieden van een aanvaardbaar woon- en leefklimaat, maar ook het bieden van vertrouwen dat handhavend kan worden opgetreden indien overtreding van de norm blijkt. De Meet- en Rekenmethode Geluid Windturbines biedt reeds een voorgeschreven aanpak voor handhaving. Hierop zijn enkele aanvullingen mogelijk.

Met een + of een – is in onderstaande matrix aangegeven waarvoor de mogelijke handhavingnormen relevant zijn. Vervolgens worden mogelijke aanvullende normen of handhavingsmethodes één voor één besproken en aanverwante onderwerpen toegelicht.

Tabel 5 **Matrix mogelijke aanvullende handhavingnormen windturbines**

Handhavingnorm	Milieubescherming	Handhaving
Niet-tonaal laagfrequent geluid	-	+
Tonaal laagfrequent geluid	+	+
Maximale equivalente geluidniveau	-	+/-
Bronsterktemeting	-	+
Amplitudemodulatie	-	-

#### 4.6.2.1 **Niet tonaal laagfrequent geluid**

Geluidnormen voor windturbines zijn net als bij andere geluidbronnen geformuleerd in dB(A). Voor verreweg de meeste soorten geluid is dat een zeer valide methode omdat de dB(A) uitgaat van de gevoeligheid van het menselijk oor en deze gevoeligheid meeneemt in het bepalen van de getalsmatige uitkomst van de metingen. Zoals eerder al is gesteld maakt laagfrequent geluid deel uit van het geluid-spectrum van windturbines dat met de  $L_{den}$  norm wordt genormeerd. Uit diverse akoestische berekeningen<sup>13</sup> bij overige windparken blijkt dat wanneer aan de 47 dB  $L_{den}$  norm wordt voldaan in alle gevallen wordt voldaan in alle gevallen aan de Ver- cammen-curve (binnen, standaard geluidwering). Het stellen van een aanvullende norm voor laagfrequent geluid heeft geen meerwaarde, het biedt geen extra milieubescherming.

<sup>13</sup> Onderzoek naar laagfrequent geluid ten gevolge van windturbines, onderzoek in het kader van het planMER Windturbinebepalingen Leefomgeving, Peutz, Rapportnummer F 22656-2-RA-001, 20 januari 2023

Met bovenstaande informatie over de normering van laagfrequent geluid is nog niet verklaard dat bij enkele windparken waar aan de grenswaarden wordt voldaan, toch ernstige overlast wordt ervaren. De overlast nabij dit specifieke windpark blijkt het gevolg van de aanwezigheid van bromtonen, een fenomeen dat met normering en handhaving van geluidniveaus in dB(A) niet kan worden aangetoond of gehandhaafd. Om dit te voorkomen ligt een handhavingsnorm voor tonaal laagfrequent geluid voor de hand.

#### 4.6.2.2 *Tonaal laagfrequent geluid*

Normaal functionerende moderne windturbines produceren een geluid dat omschreven kan worden als breedbandige ruis die in sterkte varieert met het ritme van de draaiende bladen. Met behulp van geluidmetingen en analyses van die metingen is bij enkele bestaande windparken echter aangetoond dat incidenteel sprake is van tonaal laagfrequent geluid. Bij andere geluidbronnen dan windturbines is tonaliteit een reden om een straffactor toe te passen op het gemeten geluidniveau. Bij de normering van geluid van windturbines is echter nooit rekening gehouden met de mogelijkheid dat windturbines laagfrequente tonen kunnen produceren. Tonaal geluid is namelijk iets dat in principe niet voorkomt bij windturbines en wijst op een defect van de desbetreffende windturbine.

De ervaring met enkele bestaande windparken geeft wel aanleiding om voor te schrijven dat een controle moet plaatsvinden op de aanwezigheid van tonen. Het is deze tonaliteit die aandacht trekt en leidt tot hinder en in enkele gevallen tot slaapverstoring. Tonen zijn immers beter waarneembaar dan de breedbandige ruis waaruit geluid van windturbines normaalgesproken bestaat. Om handhavend te kunnen optreden in geval van tonaliteit is het noodzakelijk om in de omgevingsvergunning een aanvullende handhavingsnorm op te nemen. Om tonaliteit aan te tonen moet ter plaatse van een maatgevende woning een ongewogen geluidmeting worden uitgevoerd, gevolgd door een smalbandige, spectrale analyse met een zeer groot detailniveau (bingrootte kleiner of gelijk aan 0,2 Hz).

Als sprake is van tonaliteit moet tijdelijk aan een strengere geluidnorm worden voldaan, om overlast te beperken. **Als tonaliteit wordt aangetoond, geldt een toeslag van 5 dB op het jaargemiddelde geluidniveau Lden.** De windturbines dienen te worden terug geregeld totdat de tonaliteit is weggenomen.

#### 4.6.2.3 *Maximaal momentaan geluidniveau ( $L_{Aeq,1min}$ )*

Het vaststellen van een norm voor het maximale momentane geluidsniveau, in de vorm van  $L_{Aeq}$  norm, is mogelijk en is bijvoorbeeld voorgeschreven bij windpark Rijnenburg in Utrecht. Het betreft een norm voor een korte tijdsperiode waar te allen tijde aan moet worden voldaan, ongeacht windsnelheid of weersomstandigheden. Een  $L_{Aeq,1min}$  norm biedt geen (extra) milieubescherming, mits deze norm is gebaseerd op geluidwaarden die op grond van de kenmerken van de windturbine en het windaanbod op locatie worden verwacht. Een dergelijke norm komt tegemoet aan



wensen van betrokkenen die naast een jaargemiddelde norm wensen dat een norm wordt gesteld voor een korte periode die onder geen enkele omstandigheid mag worden overschreden.

Om die reden wordt een handhavingsnorm opgenomen en een meetprotocol voorgeschreven voor toetsing aan een handhavingsnorm  $L_{Aeq,1min}$ . De hoogte van de norm voor het maximale equivalente geluidniveau wordt afgeleid berekeningen gemaakt in Geomilieu. De norm en het meetprotocol voor de  $L_{Aeq}$  meting worden in overleg met de Omgevingsdienst opgesteld en wordt aan het projectbesluit verbonden.

#### Tijdsinterval

De  $L_{Aeq}$ -norm die voor dit windpark is gesteld heeft een bijbehorend tijdsinterval van 1 minuut, waarbinnen de geluidwaarde die is afgeleid van de gemeten fluctuerende geluidniveaus, in geen geval de norm mag overschrijden. Het doel van de geluidmeting voor vaststelling van het  $L_{Aeq,1min}$  geluidniveau is om op een relatief snelle en eenvoudige wijze vast te stellen of de kortstondig optredende geluidniveaus de geluidwaarde die op grond van de opgave van de fabrikant mag worden verwacht, niet te boven gaan. Toetsing aan de norm vindt plaats per windturbine. Tijdens de meting kan eenvoudig de bijdrage van overige windturbines en de bijdrage van achtergrondgeluid op het meetpunt worden bepaald. Deze gegevens worden verkregen door de metingen door te laten lopen en turbines in en af te schakelen.

#### Meetmethode

Voor uitvoering van geluidmeting wordt aangesloten bij de meetprocedure in de **Meet- en Rekenmethode Geluid Windturbines** (bijlage IVi bij de Omgevingsregeling, hierna: MRGW). Daarin is onder meer voorgeschreven dat een geluidmeting benedenwinds moeten worden uitgevoerd met een microfoon op een reflecterende plaat die wordt geplaatst op tiphoogte afstand van de windturbine. In het MRGW zijn vervolgens rekenregels opgenomen om met behulp van de meetgegevens het geluidvermogen per octaafband te berekenen en met behulp van lineaire regressie het geluidvermogen per windsnelheid op ashoogte te berekenen.

Die berekeningen zijn niet nodig voor verwerking van de meetgegevens bij de  $L_{Aeq}$  meting, er hoeft immers geen geluidvermogen (bronsterkte) te worden bepaald. Er dient alleen een toets plaats te vinden van het momentane geluidniveau op tiphoogte afstand van de windturbine. Voor interpretatie van de meetgegevens, die worden verricht volgens de meetprocedure voor het bepalen van de bronsterkte, moet echter wel rekening worden gehouden met de rekenregels uit de MRGW die zijn gesteld voor verwerking van de meetgegevens. Die zijn immers inherent aan de meetprocedure. Dit betekent dat de verkregen meetwaarden eventueel nog moeten worden gecorrigeerd om deze te kunnen toetsen aan de normgrens (die is gesteld conform rekenregel 2.3 en 2.5 van de MRGW).

#### Meetlocatie

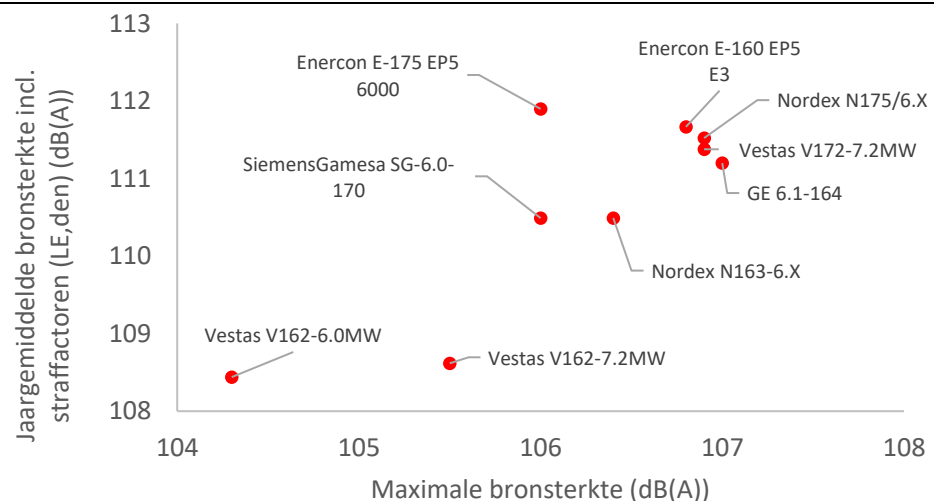
De geluidmetingen worden verricht op de voorgeschreven afstand van de turbine, te weten een afstand die gelijk is aan de maximale tiphoogte van de windturbine. Binnen de grenzen van de vergunde afmetingen kunnen ook windturbines worden

gebouwd met een lagere tiphoogte dan de maximale tiphoogte. Wanneer windturbines worden gebouwd met een kleinere ashoogte en/of rotordiameter dan op grond van de vergunning is toegestaan, worden metingen alsnog uitgevoerd op de voorgeschreven afstand van 255 meter. Het verschil in tiphoogte is niet zodanig dat het nodig is om aanvullende rekenregels te stellen voor overdrachtsberekeningen van het gemeten geluidniveau op het meetpunt naar een andere afstand tot de windturbine. Het is evenmin nodig om een bandbreedte aan te houden voor het maximale equivalente geluidniveau. De norm is gebaseerd op windturbines met maximale afmetingen en maximale bronsterkte.

### Bronsterkte

Hoeveel geluid een windturbine maakt die op vol vermogen draait ('maximale bronsterkte') is niet 1-op-1 gerelateerd aan de jaargemiddelde bronsterkte van dat windturbintype. De jaargemiddelde bronsterkte hangt namelijk ook af van hoe vaak die maximale bronsterkte in een jaar voorkomt. Zo zal een windpark bestaande uit windturbines van het type Nordex N163-6.X STE gemiddeld over een jaar een lagere jaargemiddelde bronsterkte hebben dan (bijvoorbeeld) windturbines van het type Enercon E-175 EP5, terwijl het voor de maximale bronsterkte juist andersom is. Onderstaande grafiek toont voor een shortlist van windturbintypes beide waarden.

**Figuur 16** Illustratie van de stelling dat een hogere maximale bronsterkte (horizontale as) niet per se leidt tot een hogere jaargemiddelde bronsterkte (verticale as).



Ten behoeve van het voorschrift is het maximale toegestane 1-minuutgemiddelde geluidsniveau, gemeten op een afstand van 255 meter van de windturbine, berekend aan de hand van het onderzochte type met de hoogste maximale bronsterkte: de GE 6.1-164. Deze maximale bronsterkte bedraagt 107,0 dB(A), wat resulteert in een geluidsniveau van **46 dB(A)** op 255 meter afstand. Dit geluidsniveau is berekend met behulp van rekenformules 2.3 en 2.5 uit het MRGW, waarbij alleen is gerekend met geometrische uitbreiding. Gemeten waarden moeten eventueel nog worden gecorrigeerd (bijvoorbeeld voor stoorgeluid) voordat toetsing aan de norm kan

plaatsvinden. De normwaarde is wel gecorrigeerd voor drukverdubbeling als gevolg van de voorgeschreven meetplaat.

#### Aanvullende gegevens

Het is voor gebruik en verwerking van de meetgegevens niet noodzakelijk om parallel aan de meting de beschikking te hebben over gegevens van de windturbine (zoals het opgewekte elektrisch vermogen, oriëntatie van de as van de turbine ten opzichte van de heersende windrichting etc.). Indien beschikbaar kunnen deze gegevens kunnen wel gebruikt worden voor analyse van de meetgegevens.

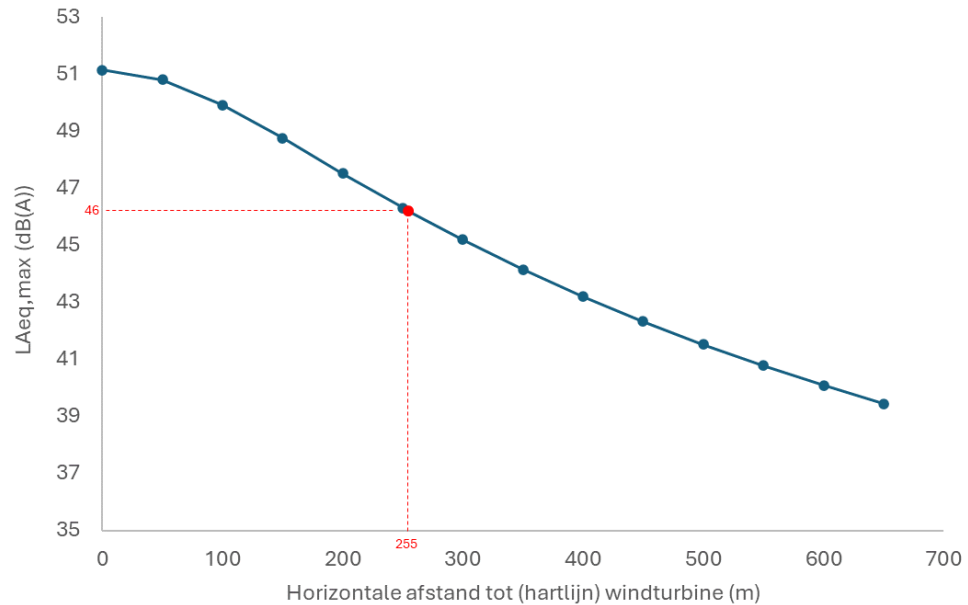
#### Overdrachtsberekening

Het getalsmatige verschil tussen  $L_{den}$  en de maximale  $L_{Aeq}$ -waarde is onafhankelijk van de afstand, omdat het effect van de geometrische uitbreiding ('het geluidsniveau neemt af met toenemende afstand') voor beide waarden hetzelfde is.

Daarom volstaat voor de bescherming van de omgeving het neerleggen van een toetspunt op korte afstand van de windturbine, om zo aan te sluiten bij de standaard meetmethode uit het MRGW. Het is daarom niet noodzakelijk om, ter controle van de norm, met verkregen meetgegevens een overdrachtsberekening uit te voeren voor het bepalen van immissiewaarden nabij woningen in de omgeving van het windpark. Vanuit het oogpunt van communicatie met de omgeving kunnen dergelijke berekeningen wel vrijwillig en ter informatie van omwonenden worden uitgevoerd.

Ter illustratie zal het maximale momentane geluidsniveau afnemen zoals in onderstaande grafiek, die volgt uit de berekening van de geometrische uitbreidingsterm. Het niet meenemen van de diverse andere termen uit vergelijking 2.3 (zoals bodemabsorptie) leidt tot een worst-case inschatting van de maximale  $L_{Aeq}$ -waarde. De afvlakking op zeer korte afstand van de windturbine wordt veroorzaakt door de grote hoogte van de geluidsbron.

**Figuur 17** Verhouding tussen  $L_{Aeq}$  en afstand tot windturbine



#### Voorgestelde voorschrift

Het volgende voorschrift wordt geadviseerd aan de provincie:

- *Het 1-minuutgemiddelde geluidsniveau ( $L_{Aeq,1min}$ ), gemeten op een afstand gelijk aan de grootste toegestane tiphoogte van de windturbine, zijnde 255 m, bedraagt niet meer dan 46 dB(A). Dit betreft het totale A-gewogen geluidniveau, inclusief correctie voor drukverdubbeling als gevolg van meting op reflecterende plaat.*
- *Geluidsmetingen voor vaststelling van het  $L_{Aeq,1min}$  geluidniveau worden uitgevoerd conform de standaard meetmethode uit het Meet- en Rekenmethode Geluid Windturbines (bijlage IVi bij de Omgevingsregeling), met de volgende aanpassingen:*
  - *In afwijking van het Meet- en Rekenmethode Geluid Windturbines volstaat een zesvoudige meting van tenminste 1 minuut.*
  - *Indien aannemelijk is dat geen sprake is van relevant stoorgeluid, hoeft de correctie voor stoorgeluid niet te worden toegepast.*
  - *Indien de gerealiseerde windturbines een kleinere tiphoogte hebben dan maximaal toegestaan wordt in zoverre van de Meet- en rekenmethode geluid windturbines afgeweken, dat de horizontale afstand van het meetpunt tot de verticale hartlijn van de windturbine groter is dan de tiphoogte.*
- *Gemeten overschrijdingen tot 2 dB krijgen geen vervolg omdat de meetonzekerheid van de meetapparatuur en omstandigheden zodanig kunnen zijn dat bij de gemeten overschrijdingen niet met zekerheid gesteld kan worden dat daadwerkelijk sprake is van een overschrijding van de gestelde geluidsnorm.*

#### 4.6.2.4 **Bronsterktemeting**

Met behulp van een bronsterktemeting die kan worden uitgevoerd nadat de windturbines in bedrijf zijn genomen, kan worden gecontroleerd of het bronvermogen van de windturbine overeenkomt met (gecertificeerde) technische specificaties die zijn aangeleverd door de fabrikant. Daarmee kan worden gecontroleerd of ter plaatse van ontvangerpunten in de omgeving aan de grenswaarden voor geluid wordt voldaan zoals die zijn vastgelegd in het projectbesluit en de vergunning. In de omgevingsvergunning wordt voorgeschreven dat de vergunninghouder deze meting binnen 6 maanden na start exploitatie van het windpark de meting dient uit te voeren. Daarbij wordt verwezen naar de IEC 61400-11 methode in de Meet- en rekenmethode geluid windturbines. Met behulp van de bronsterktemeting kan tevens worden gecontroleerd of het geluidsspectrum van de windturbine overeenkomt met de gegevens van de fabrikant.

Vanuit de provincie en Omgevingsdienst bestaat de wens om een bronsterktemeting te laten uitvoeren. Deze wens leidt tot een regel in het projectbesluit

#### 4.6.2.5 **Amplitudemodulatie**

Het kenmerk van het geluid van windturbines dat wordt waargenomen bij ontvangerpunten op enkele meters boven maaiveld is dat het in sterkte varieert in het ritme (frequentie) van de draaiende bladen. De grootte van het geluidverschil en de snelheid van de herhaling spelen een rol bij de hinderbeleving van windturbines. Dit verschil in geluidniveau wordt het sterkst beleefd bij een neergaand rotorblad omdat de geluiduitstraling richting de ontvanger op de grond plaatsvindt.

Bij amplitudemodulatie wordt onderscheid gemaakt in:

- Amplitudemodulatie bij gemiddelde meteorologische omstandigheden, waarneembaar door de geluiduitstraling van het neergaande rotorblad
- Amplitudemodulatie bij bijzondere meteorologische omstandigheden waarbij sprake is van een meer gelaagde luchtopbouw en contrast in windsnelheden. Hierbij speelt het bovenste deel van de rotoromwenteling de grootste rol.

De eerste vorm van amplitudemodulatie is een kenmerk van windturbinegeluid en maakt deel uit van de dosis-effectrelatie en daarmee van de normering voor geluid van windturbines. De tweede vorm wordt aangeduid als extreme amplitudemodulatie die optreedt bij grote verschillen in windsnelheden in verschillende luchtlagen of wanneer sprake is van meer turbulente wind. Dit kan leiden tot amplitudemodulatie met grotere diepte dan onder normale meteorologische omstandigheden. Uit onderzoek blijkt dat het voorkomen van extreme amplitudemodulatie niet is te voorspellen. Het is een onregelmatig en atypisch fenomeen, zo blijkt uit het deskundigenbericht van de STAB. Omdat de grotere modulatie diepten zeer beperkt voorkomen en er geen aantoonbare samenhang is met hinder wordt hiervoor geen aanvullende norm gesteld.

# Hoofdstuk 5 Slagschaduw

---

## 5.1 Inleiding

---

Dit hoofdstuk beschrijft de mogelijke normstellingen voor het onderdeel slagschaduw. Het discrete (slagschaduw treedt wel of niet op) karakter van slagschaduw resulteert in één vorm van normeren, namelijk de tijdsduur op de gevel van een woning maximaleren. Wel kan er nog rekening worden gehouden met windpark Buren, dat blijft staan en al slagschaduw werpt op enkele woningen in het oosten van het projectgebied.

## 5.2 Theorie en uitgangspunten

---

Ter onderbouwing van een lokale norm voor slagschaduw baseren wij ons op de volgende theorie en uitgangspunten.

### 5.2.1 *Wanneer is sprake van slagschaduw?*

Om te kunnen spreken van slagschaduw(hinder) op de omgeving moet aan een paar voorwaarden worden voldaan:

1. Er is sprake van een minimale afdekking van 20% van de zonneschijf. Bij een lager percentage zal zo veel licht langs het blad vallen dat van sterke schaduwwerking geen sprake is. Hoe kleiner de afdekking, hoe 'diffuser' de schaduw.
2. Er moet sprake zijn van een minimale stralingsintensiteit van 120 Watt/m<sup>2</sup> om het voor een hinderervaring benodigde contrast (schaduw) te kunnen laten op treden.<sup>14</sup>
3. De windturbine moet in bedrijf zijn (draaien) om te kunnen spreken van hinderlijke slagschaduw.
4. Er dient sprake te zijn van een verblijfsruimte met ramen die significant kunnen worden afgeschermd door een bewegende slagschaduw. De ervaring van een bewegende schaduw in de buitenlucht wordt niet als zodanig hinderlijk ervaren dat normstelling noodzakelijk is.
5. De schaduw moet daadwerkelijk de gevel van het gevoelige object en verblijfsruimten kunnen bereiken en dus niet afgeschermd worden door obstakels zoals gebouwen of bomen ('line of sight').

### 5.2.2 *Wanneer is een object of terrein 'slagschaduwgevoelig'?*

Niet op alle plekken waar slagschaduw theoretisch kan optreden is er sprake van een milieu- of hindereffect. In een weiland of op open water, waar geen of zeer

---

<sup>14</sup> World Meteorological Organization, 2021; Chapter 8 Measurement of sunshine duration: [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=3154](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3154)

weinig mensen aanwezig (kunnen) zijn leidt de slagschaduw immers niet tot een waarneembare hinder. In zoverre is dit vergelijkbaar met geluid, waar de beoordeling plaatsvindt op geluidgevoelige objecten. We hanteren de volgende definitie voor een slagschaduwgevoelig object:

- Een object bedoeld voor bewoning of anderszins voor permanent verblijf van personen (woningen, woonboten of woonwagens en zorginstellingen), voor zover de gevel of het dakvlak voorzien is van één of meerdere lichtdoorlatende vlakken in de richting van de windturbine(s).

Voor zover slechts een deel van een object als slagschaduwgevoelig kan worden aangemerkt (bijvoorbeeld een bedrijfspand met bijbehorend kantoorgedeelte), hoeft alleen dat deel als slagschaduwgevoelig te worden beschouwd.

## 5.2.3 *Hinderlijkheid van slagschaduw*

### 5.2.3.1 *Gevolgen van slagschaduw*

Het menselijk oog is gevoelig voor optredende verschillen tussen licht en donker en voor snelle bewegingen. Dit trekt aandacht en leidt af, waardoor dit als hinderlijk kan worden ervaren door de waarnemer. De mate van hinder van een passerende schaduw wordt onder meer bepaald door de frequentie van het passeren (rotor-toerental), door de blootstellingsduur en door de intensiteit van de wisselingen in lichtsterkte. Uit onderzoek dat in 1999 in Duitsland is verricht blijkt dat omwonenden van windturbines die een netto slagschaduwduur van meer dan 15 uur per jaar ervaren een hogere mate van dagelijkse hinder ervaren in hun leefomgeving<sup>15</sup>. Herhaaldelijke of langdurige blootstelling hieraan kan bovendien leiden tot stress en concentratieverlies. Onderzoekers van de Universiteit van Kiel vonden in dezelfde laboratorium studie een duidelijke relatie tussen blootstellingsduur aan slagschaduw en de ervaren hinder voor de testpersonen. Uit het laboratoriumonderzoek komt specifiek naar voren dat in de eerste 20 minuten dat contrastrijke slagschaduw optreedt een fysieke reactie wordt veroorzaakt, die bij langere blootstelling daarna door het lichaam wordt gecompenseerd. De onderzoekers hebben aanbevolen de slagschaduwduur te beperken om effecten op langere termijn te voorkomen vanwege de energie die deze compensatie kost. Bij frequenties hoger dan 2,5 Hz (aantal passeringen per seconde) kan als gevolg daarvan sprake zijn een fysiologisch effect in de vorm van een kans op een epileptische aanval bij personen die gevoelig zijn voor licht<sup>16</sup>. Bij grote moderne windturbines treedt dit niet op aangezien de frequentie veel lager dan 2,5 Hz (veelal beneden de 1 Hz) is, omdat de rotorbladen relatief weinig omwentelingen per minuut maken. Er is geen bewijs gevonden dat directe blootstelling aan slagschaduw bij frequenties beneden de 2,5 Hz gezondheidseffecten veroorzaakt. In de periode sinds dit onderzoek zijn in Europa

<sup>15</sup> Pohl, J, Faul, F, & Mausfeld, R; Belästigung durch periodischen schattenwurf von Wind energieanlagen, 1999.

<sup>16</sup> Parsons Brinckerhoff, 2006; Update of UK Shadow flicker Evidence Base

vele duizenden windturbines gerealiseerd waaruit geen wetenschappelijk vastgestelde gevallen van gezondheidseffecten als gevolg van slagschaduw bekend zijn en er zijn ook geen andere onderzoeken gepubliceerd die een andere conclusie geven op dit punt. Directe gevolgen voor de gezondheid als gevolg van blootstelling aan slagschaduw – mits frequenties beneden 2,5 Hz blijven - zijn daarmee niet aanneemelijk. Slagschaduw wordt echter wel als hinderlijk beschouwd en dit is aanleiding de slagschaduw te normeren.

#### **5.2.3.2 Toegenomen afmetingen windturbines**

Hoewel het uitgevoerde laboratoriumonderzoek uit 1999 stamt gaat het in op de effecten van slagschaduw op het menselijke welbevinden. Hoewel windturbines sinds die tijd veel groter zijn geworden heeft dat geen effect op de bruikbaarheid van de resultaten van het onderzoek, omdat de slagschaduw op zichzelf van een kleine windturbine niet anders is dan die van een grote windturbine. Alleen de afstand waarop het fenomeen zich kan voordoen wordt groter met de toenemende afmetingen van de windturbines.

#### **5.2.3.3 Hinder beperken in de tijd**

Uit een vergelijkende literatuurstudie uit 2017 van Koppen et al<sup>17</sup>, blijkt dat in veel landen een maximale slagschaduwduur op een slagschaduwgevoelig object wordt gehanteerd van 8 uur per jaar, in sommige gevallen aangevuld met een maximum per dag van 30 minuten. In Nederland wordt nu veelal een maximale slagschaduwduur van ca. 6 uur op een slagschaduwgevoelig object gehanteerd. Als uitgegaan wordt van maximaal 6 uur slagschaduw per jaar, dan bedraagt dit circa 0,4% van het gehele maximale percentage aan zonuren per jaar. Vervolgens wordt er ook vanuit gegaan dat gedurende deze 6 uur slagschaduw daadwerkelijk iemand zich bevindt in een ruimte waarop de slagschaduw optreedt. In praktijk kan iemand op dat moment niet thuis zijn of zich ergens in huis bevinden waar de slagschaduw niet merkbaar is. Blootstelling aan slagschaduw volgens deze beoordelingssystematiek is op jaarbasis dus zeer beperkt.

#### **5.2.3.4 Dosis-effectrelatie**

Er is internationaal beperkt onderzoek beschikbaar naar de relatie tussen blootstellingsduur aan slagschaduw en de effecten hiervan op personen. In 2016 heeft Health Canada<sup>18</sup> aanvullend onderzoek gedaan naar variabelen die de hoogte van de ervaren hinder beïnvloeden. Hieruit is gebleken dat wanneer de aaneengesloten blootstellingsduur van slagschaduw onder de 10 minuten is, de hinder beperkt is tot 3,8% van de blootgestelde personen. Indien de blootstellingsduur meer dan 30 aaneengesloten minuten bedraagt, ervaart 21,1% van de personen ernstige hinder.

<sup>17</sup> Koppen, E, et al, 2017; International Legislation and Regulations for Wind Turbine Shadow Flicker Impact

<sup>18</sup> <https://asa.scitation.org/doi/pdf/10.1121/1.4942403>



Deze en de tussenliggende waarden zijn uiteengezet in Tabel 6. Dit is voor zover bekend de enige dosis-effectrelatie studie die beschikbaar is in relatie tot slagschaduw van windturbines.

Tabel 6 **Mate van ernstige hinder bij verschillende aaneengesloten blootstellingsduren<sup>19</sup>**

Blootstelling slagschaduw	0-10 min.	10-20 min.	20-30 min.	>30 min.
Mate van ernstige hinder	3,8%	5,2%	13,5%	21,1%

Tot slot wordt opgemerkt dat verscheidene landen een bruto slagschaduwnorm hanteren<sup>20</sup>. Omdat de dosis-effectrelatie gaat over de daadwerkelijke blootstelling aan slagschaduw wordt een netto blootstellingsduur als een betere beoordelingsmaat gezien. Bij een bruto beoordelingsmaat is namelijk nog steeds onduidelijk welke netto belasting en dus welke effecten op de omgeving dit daadwerkelijk oplevert.

#### 5.2.3.5 *Hinder beperkt tot afstand*

In theorie kan slagschaduw bij een heel lage zonnestand en een vrij blikveld zeer ver reiken. Echter, er is een beperking aan de afstand waarop nog gesproken kan worden van enige mate van invloed. Specifiek voor slagschaduw geldt dat de schaduw minder scherp wordt naarmate de afstand toeneemt, omdat op grotere afstanden de afdekking van de zon door het windturbineblad nog maar beperkt is. Bij moderne windturbines geldt dat een wiek nog slechts minder dan 20% van de zonnenschijf bedekt bij een afstand van ca. 1,8 – 2 km, afhankelijk van de afmeting van de windturbine. Voorbij dergelijke afstanden is hinderlijke slagschaduw niet meer aan de orde.

#### 5.2.4 *Uitgangspunten*

De slagschaduwberekeningen ten behoeve van de milieuonderbouwing zijn uitgevoerd met het softwareprogramma windPRO. Er is aangesloten bij de windturbines behorende bij het VKA. Het voorkeursalternatief bestaat uit 7 windturbines met een tiphoogte van 255 meter (bovengrens) of 211 meter (ondergrens). Het MER voor WP Echteld Lienden geeft inzicht in de verwachte jaarlijkse slagschaduw van het VKA. De verschillende normgrenzen zijn niet in kaart gebracht, omdat de projectontwikkelaar zich committeert aan een slagschaduwnorm van 0 uur. Het MER geeft dus geen direct inzicht in de impact van verschillende normgrenzen op windpark Echteld-Lienden. Vandaar dat deze berekeningen voor dit memo door ons alsnog zijn uitgevoerd.

<sup>19</sup> Voicescu, et al. 2016; Estimating annoyance to calculated wind turbine shadow flicker is improved when variables associated with wind turbine noise exposure are considered, The Journal of the Acoustical Society of America 139, 1480 (2016); doi: 10.1121/1.4942403

<sup>20</sup> In dit geval wordt de maximale theoretische slagschaduwduur bedoeld, gebaseerd op een situatie dat de zon altijd schijnt gedurende de daglichtperiode, de windturbine altijd draait en de wind vanuit een (on)gunstige richting waait.

Voor de slagschaduwberekeningen is de slagschaduw meegenomen die optreedt bij een zonnestand van minimaal 3 graden boven de horizon. De achterliggende argumentatie is dat de schaduweffecten onder deze zonnestand te veel gereduceerd zijn om hinderlijke effecten te veroorzaken:

- Het schaduwcontrast is geringer vanwege afzwakking van het licht in de atmosfeer
- Bij lage zonnestanden is de invloed van obstakels groot (bv. andere gebouwen en bomen).

Verder wordt er aangesloten bij de theorie en uitgangspunten in 5.2.1.

## 5.3 Lokale situatie

---

Hoewel het gebied relatief dunbevolkt en open is, zijn de windturbines groot en werpen ze slagschaduw over een groot gebied. Wel geldt, hoe verder van de windturbines, des te korter de jaarlijkse slagschaduwduur per object.

### 5.3.1 *Referentiesituatie*

Zoals aangegeven in 3.2 is het saneren van windpark Echteld expliciet onderdeel van de voorgenomen activiteit. Daaruit volgt dat WP Echteld onderdeel uitmaakt van de referentiesituatie

Omdat Windpark Buren ook blijft bestaan is ook dit park meegenomen in de verschillende scenario's die zijn doorgerekend.

### 5.3.2 *Scenario's (nieuwe situatie)*

De scenario's die worden onderzocht met betrekking tot slagschaduw moeten worden vergeleken met de referentiesituatie. Tegen die achtergrond worden de onderstaande vier slagschaduwnormeringen getoetst:

- Geen slagschaduwnorm
- Nagenoeg 0 uur slagschaduw per slagschaduwhindergevoelig object per jaar.
- Maximaal 6 uur slagschaduw per slagschaduwhindergevoelig object per jaar.
- Maximaal 10 uur slagschaduw per slagschaduwhindergevoelig object per jaar.

### 5.3.3 *Opbrengstderving*

Op basis van aanvullende doorrekening van de impact van verschillende normgrenzen is de onderstaande tabel opgesteld. Dezelfde uitgangspunten die gebruikt zijn in de slagschaduwberekening van het MER zijn gebruikt bij de huidige slagschaduwberekening. De aanwezigheid van windpark Buren wordt meegenomen in de berekening van de normstelling, dit om omwonenden van windpark Buren te behoeden voor onevenredig veel slagschaduw. Dit betekent dat wanneer windpark Buren slagschaduw werpt op een gevoelig object, dit af gaat van de maximale hoeveelheid slagschaduw die vanuit windpark Echteld-Lienden veroorzaakt mag worden. Hieronder wordt dit door middel van een rekenvoorbeeld toegelicht.

**Voorbeeld: Een gevoelig object ontvangt jaarlijks 4 uur slagschaduw van windpark Buren. Uitgaande van een slagschaduwnorm van 6 uur per jaar betekent dit dat er vanuit windpark Echteld-Lienden nog 2 uur per jaar slagschaduw is toegestaan, alvorens het resterende gedeelte slagschaduw wordt gezien als normoverschrijdend.**

**Tabel 7** Samenvatting slagschaduw en opbrengst en het effect van verschillende normgrenzen (ondergrens)

	Geen norm	10u/jr	6u/jr	0u <sup>21</sup> /jr
Aantal objecten waarvoor stilstandregeling in werking treedt	0	278	509	1165
Bruto slagschaduw op objecten (u/jr)	2447	1380	985	0
Inschatting van jaargemiddelde benodigde stilstand <sup>22</sup> (u/jr)	0	328	449	751
Dervingspercentage voor windpark (7 turbines)	0%	0,6%	0,8%	1,3% <sup>23</sup>

**Tabel 8** Samenvatting slagschaduw en opbrengst en het effect van verschillende normgrenzen (bovengrens)

	Geen norm	10u/jr	6u/jr	0u <sup>24</sup> /jr
Aantal objecten waarvoor stilstandregeling in werking treedt	0	298	493	818
Bruto slagschaduw op objecten (u/jr)	2727	1373	969	0
Inschatting van jaargemiddelde benodigde stilstand <sup>25</sup> (u/jr)	0	429	557	864
Dervingspercentage voor 7 windturbines (per windturbine)	0%	0,7%	1%	1,5%

## 5.4 Milieunorm

Door de grote hinderlijkheid van binnenshuis optredende slagschaduw is het beperken van de slagschaduwduur voor de provincie van groot belang. De provincie Gelderland vindt het belangrijk om slagschaduwgevoelige objecten en terreinen (zie 5.2.2) in de omgeving van een windpark te beschermen tegen elke vorm van slagschaduw. Dit betreft slagschaduw veroorzaakt in een verblijfsruimte van een slagschaduwgevoelig object. Dit leidt tot de volgende norm: een norm **van 0 uur per slagschaduwgevoelig object** per jaar, exclusief de tijd die het kost om de windturbine(s) tot stilstand te brengen. Ten behoeve van het voorkomen of beper-

<sup>21</sup> Onder 0u/jr wordt verstaan: nagenoeg 0 uur per jaar. Dit omdat een windturbine bij plotseling optredende slagschaduw korte tijd nodig heeft om (automatisch) tot stilstand te komen. De slagschaduw die wordt veroorzaakt gedurende de tijd die nodig is voor het afschakelen van de windturbine wordt niet meegerekend bij de norm.

<sup>22</sup> De verwachte gemiddelde stilstand is veel lager dan de maximaal berekende ('bruto') stilstand, omdat de zon niet altijd schijnt, het niet altijd hard genoeg waait om de windturbines te laten draaien, en de wind niet altijd uit zo'n richting komt dat de slagschaduw op zijn breedst is.

<sup>23</sup> Het dervingspercentage is berekend op basis van de operationele uren van het windpark en niet op basis van het aantal vollasturen (zoals in het MER).

<sup>24</sup> Onder 0u/jr wordt verstaan: nagenoeg 0 uur per jaar. Dit omdat een windturbine bij plotseling optredende slagschaduw korte tijd nodig heeft om (automatisch) tot stilstand te komen. De slagschaduw die wordt veroorzaakt gedurende de tijd die nodig is voor het afschakelen van de windturbine wordt niet meegerekend bij de norm.

<sup>25</sup> De verwachte gemiddelde stilstand is veel lager dan de maximaal berekende ('bruto') stilstand, omdat de zon niet altijd schijnt, het niet altijd hard genoeg waait om de windturbines te laten draaien, en de wind niet altijd uit zo'n richting komt dat de slagschaduw op zijn breedst is.

ken van slagschaduw is de windturbine voorzien van een automatische stilstandvoorziening die de windturbine afschakelt indien slagschaduw optreedt ter plaatse van een verblijfsruimte van een slagschaduwgevoelig object.

Hiermee wordt slagschaduw geheel voorkomen. Het energieverlies als gevolg van stilstand voor slagschaduw is bij een 0-uur norm marginaal hoger in vergelijking met een 6-uur norm. Daarbij worden er respectievelijk 985 of 969 uur slagschaduw (cumulatief) op gevoelige objecten voorkomen.

Op verzoek van initiatiefnemer, die aan de wensen van de omgeving tegemoet wil komen, worden de windturbines voorzien van een schaduwkalender en een instelling voor toepassing van stilstand, waarmee de slagschaduwduur voor schaduwgevoelige objecten wordt teruggebracht tot 0 uur per jaar. De slagschaduw die optreedt gedurende de tijd die nodig is voor het tot stilstand komen van de rotor wordt niet meegerekend bij toetsing aan de norm.

## Hoofdstuk 6 Externe veiligheid

---

### 6.1 Inleiding

---

Hoewel het risico zeer klein is, kunnen windturbines omvallen of kunnen er onderdelen afbreken. Het risico van de windturbines op de omgeving wordt beoordeeld aan de hand van een aantal criteria, die zijn afgeleid uit wet- en regelgeving en adviezen voor toetsing van beheerders van infrastructurele werken. Daarbij wordt gewerkt met verschillende faalscenario's voor (onderdelen van) de windturbine: gondelfalen, mastfalen en bladworp. Als gevolg van deze faalscenario's kan er schade of letsel ontstaan in de omgeving van de windturbine waar deze onderdelen terecht komen.

### 6.2 Aanvaardbare risico's

---

In het Besluit externe veiligheid inrichtingen (Bevi) zijn definities voor kwetsbare en beperkt kwetsbare objecten opgenomen. Dit zijn objecten die bij een externe veiligheidsbeoordeling bijzondere bescherming verdienen, omdat zij zijn bestemd voor het (langdurig) verblijf van kwetsbare of grote aantallen personen.

Het externe-veiligheidsbeleid van alle risicobronnen is met introductie van het Besluit externe veiligheid inrichtingen (Bevi) in 2004 gelijkgetrokken. Het hanteren van  $PR10^{-5}$  en  $PR10^{-6}$  voor een aanvaardbaar risico dateert van eerder, zo wordt het onder andere genoemd in het Nationaal milieubeleidsplan 4 (juni 2001) maar ook daarvoor werd deze norm als aanvaardbaar gehanteerd. De vuurwerkcramp in Enschede (2000) en het daarop volgende rapport van de commissie Oosting hebben er toe geleid dat het gehele externe-veiligheidsbeleid in Nederland tegen het licht is gehouden en er uiteindelijk maatschappelijk aanvaardbare normen in het Bevi zijn vastgelegd.

Welk externe veiligheidsrisico bij (beperkt) kwetsbare objecten als aanvaardbaar wordt beschouwd wordt in normen omschreven met het plaatsgebonden risico (PR). Hiermee wordt de kans omschreven dat een persoon die zich onafgebroken op een bepaalde locatie bevindt komt te overlijden als direct gevolg van een ongeval bij de te beoordelen inrichting. Een persoon die zich onafgebroken op de  $PR 10^{-6}$ -contour rondom een inrichting bevindt heeft een kans op overlijden van  $10^{-6}$  per jaar (één op de miljoen per jaar) als direct gevolg van een ongeval bij de te beoordelen inrichting. Op de  $PR 10^{-5}$  contour is de kans op overlijden één op de honderd-duizend per jaar.

Er is geen aanleiding om te twifelen aan de aanvaardbaarheid van de plaatsgebonden risiconiveaus van  $10^{-5}$  en  $10^{-6}$  die optreden voor andere risicobronnen.

Met een overlijdenskans van 1 op de 100.000 jaar bij continu jaarrond onbeschermd verblijf op de  $10^{-5}$ -contour bij beperkt kwetsbare en 1 op de 1.000.000 jaar bij kwetsbare objecten op de  $10^{-6}$ -contour is daarmee sprake van een risico dat aanmerkelijk lager ligt dan andere algemeen aanvaarde (maatschappelijke) risico's en gelijk is aan andere risicobronnen van externe veiligheid.

Sinds de invoering van de Omgevingswet wordt er niet langer gesproken van (beperkt) kwetsbare objecten, maar (beperkt) kwetsbare gebouwen en locaties. De definities hiervan zijn opgenomen in het Besluit kwaliteit leefomgeving (Bkl). Hierin zijn ook de normen voor het plaatsgebonden risico opgenomen. Ook het Besluit activiteiten leefomgeving (Bal) is relevant voor de externe veiligheid. In het Bal is onder andere de veiligheid rondom buisleidingen en risicovolle installaties geregeld.

In bovengenoemde besluiten wordt voor kwetsbare gebouwen en locaties een grenswaarde voor het PR van  $10^{-6}$  per jaar in acht genomen en wordt rekening gehouden met een standaardwaarde van  $10^{-6}$  per jaar voor beperkt kwetsbare gebouwen en locaties. Voor het opwekken van elektriciteit met een windturbine kan worden afgeweken van de standaardwaarde voor beperkt kwetsbare gebouwen en locaties tot een grenswaarde van een PR van  $10^{-5}$  per jaar.

### 6.3 Aandachtspunten o.b.v. gebiedsanalyse

---

Op basis van de gebiedsanalyse kan geconcludeerd worden dat het plangebied niet uitzonderlijk is voor wat betreft de aspecten die voor externe veiligheid van belang zijn:

- Aantallen en dichtheid van kwetsbare en beperkt kwetsbare gebouwen en locaties
- Aantallen en dichtheid van risicovolle installaties
- Nabijheid van transport gevaarlijke stoffen.

De afstand van kwetsbare en beperkt kwetsbare gebouwen en locaties is in dit gebied aanzienlijk groter dan de risicoafstanden en daarmee geen bepalend aspect.

Ook voor de risicovolle installaties geldt dat deze niet in grote getalen of dichtheid aanwezig zijn.

In het MER is voor de nabijgelegen buisleidingen N-574-16-deel-1 en N-574-10-deel-1 een externe veiligheidstoetsing uitgevoerd. Uit de trefkansanalyse blijkt dat de faalfrequentie van de nabijgelegen pijpleiding N-574-16-deel-1 met meer dan 10% toeneemt door het plaatsen van één windturbine in het scenario van mastfaalen. Daarom is voor dit faalscenario een aanvullende risico-inventarisatie uitgevoerd. Hierbij is getoetst aan het plaatsgebonden risico (PR) en het aandachtsgebied van de pijpleiding. Hiermee kan het VKA voldoen aan het externe-veiligheidsbeleid en zijn er geen extra strenge, lokale normen nodig.

## 6.4 Milieunormen

---

Er is geen reden om bij de beoordeling van windturbines normen voor (beperkt) kwetsbare gebouwen en locaties te hanteren die afwijken van de normen die gelden voor overige inrichtingen en zijn opgenomen in het Bkl en het Bal.

De provincie Gelderland vindt de veiligheid van haar inwoners belangrijk. Ten behoeve van de beoordeling van de externe-veiligheidsrisico's voor (beperkt) kwetsbare gebouwen en locaties kiest de provincie er daarom voor om een beschermingsniveau te hanteren dat overeenkomt met de normstelling voor overige risicovolle activiteiten, volgend uit diverse externe-veiligheidsbesluiten zoals in het Bkl en het Bal. Omdat in deze besluiten een aanvaardbare kans op overlijden is omschreven die niet afhankelijk is van het type inrichting acht de provincie het niet nodig voor windturbines afwijkende normen voor te schrijven. Dit leidt tot de volgende normen:

- **Het plaatsgebonden risico voor een kwetsbaar gebouw of locatie, veroorzaakt door een of meer windturbines van WP Echteld-Lienden, is niet hoger dan  $10^{-6}$  per jaar.**
- **Het plaatsgebonden risico voor een beperkt kwetsbaar gebouw of locatie, veroorzaakt door een of meer windturbines van WP Echteld-Lienden, is niet hoger dan  $10^{-5}$  per jaar.**

Voor de definitie van kwetsbare en beperkt kwetsbare gebouwen en locaties kan worden aangesloten bij de definitie uit bijlage VI van het Bkl. Voor het berekenen van het plaatsgebonden risico kan gebruik worden gemaakt van het door het RIVM opgestelde *Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV – Windturbines*. Dit rekenvoorschrift bevat de meest actuele en recente rekenmethoden om het plaatsgebonden risico rondom een windturbine te bepalen.

## Hoofdstuk 7 Lichtschittering

---

Aangezien hinder als gevolg van lichtschittering eenvoudig kan worden voorkomen door niet-reflecterende materialen of coatinglagen te gebruiken op de onderdelen die hinder veroorzaken is een lokale motivering niet doelmatig.

De teksten uit BAL artikel 4.430I en 4.431 kunnen integraal worden overgenomen en vastgelegd in de vergunning:

**4.430I:**

*“Lichtschittering wordt bij het opwekken van elektriciteit met een windturbine voorkomen of zoveel mogelijk beperkt door toepassing van niet-reflecterende materialen of coatinglagen op de betrokken onderdelen.”*

**4.431:**

*“Op het verrichten van een meting van reflectiewaarden is NEN-EN-ISO 2813 van toepassing.”*





**Bosch & van Rijn**  
experts in duurzame energie

Franz-Lisztplantsoen 220  
3533 JG Utrecht  
[www.boschenvanrijn.nl](http://www.boschenvanrijn.nl)

