

### **Bosch & van Rijn**

Franz-Lisztplantsoen 220  
3533 JG Utrecht  
030 – 677 6466

### **Auteurs**

Leon Schreurs MSc.  
Steven Velthuijsen MSc.

### **Opdrachtgever**

Windpark Caprice BV  
Noordsingel 250  
3032 BN Rotterdam



# WP Caprice

## Onderbouwing milieunormen



# WP Caprice

## Onderbouwing milieunormen

Datum  
24 mei 2022

Versie  
0.3

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 2022

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>INLEIDING</b>	<b>3</b>
<b>HOOFDSTUK 2</b>	<b>GELUID</b>	<b>4</b>
2.1	<i>Dosis-effectrelatie</i>	4
2.2	<i>Geluidsdosismaat <math>L_{den}</math> en <math>L_{night}</math></i>	6
2.3	<i>Normgrens en hinder</i>	7
2.4	<i>Berekening aantal ernstig gehinderden</i>	7
2.5	<i>Gevoeligheidsanalyse</i>	9
2.6	<i>Conclusie</i>	11
<b>HOOFDSTUK 3</b>	<b>SLAGSCHADUW</b>	<b>12</b>
3.1	<i>Theorie en uitgangspunten</i>	12
3.2	<i>Lokale situatie WP Caprice</i>	16
<b>HOOFDSTUK 4</b>	<b>EXTERNE VEILIGHEID</b>	<b>20</b>
4.1	<i>Bescherming van personen in (beperkt) kwetsbare objecten</i>	20
4.2	<i>Lokale situatie WP Caprice</i>	20
4.3	<i>Normen</i>	20
<b>HOOFDSTUK 5</b>	<b>LICHTSCHITTERING</b>	<b>22</b>
<b>BIJLAGEN</b>	<b>23</b>	
<b>BIJLAGE A</b>	<b>OPLAGNOTITIE GELUID</b>	<b>24</b>
<b>BIJLAGE B</b>	<b>OPLAGNOTITIE SLAGSCHADUW</b>	<b>25</b>

# Hoofdstuk 1 Inleiding

---

Tot voorkort waren er rechtstreeks geldende milieunormen voor windparken opgenomen in het Activiteitenbesluit milieubeheer. Omdat voor het Activiteitenbesluit ten onrechte geen milieueffectrapport is opgesteld zijn deze normen door de Afdeling bestuursrechtspraak van de Raad van State buiten toepassing verklaard voor windturbineprojecten die vallen onder bijlage II van de Europese Mer-richtlijn<sup>1</sup>. In de uitspraak wordt expliciet door de RvS genoemd dat een bevoegd gezag niet verplicht is aan te sluiten bij de normen uit het Activiteitenbesluit en de Activiteitenregeling. Het bevoegd gezag kan er ook voor kiezen om eigen normen te hanteren. Die normen moeten dan zijn voorzien van een actuele, deugdelijke, op zichzelf staande en op de aan de orde zijnde situatie toegesneden motivering.

Voor inrichtingen bestaande uit één of twee losse windturbines geldt echter dat de 'oude' normen voor windturbines uit het Activiteitenbesluit en de Activiteitenregeling niet buiten toepassing zijn verklaard door de uitspraak van RvS. Deze kunnen dus nog gewoon gebruikt worden om windturbineprojecten zoals Windpark Caprice te toetsen in het kader van de vergunningverlening. Desalniettemin onderzoekt de gemeente Lingewaard de mogelijkheden om eigen lokale normen te hanteren voor het windpark.

Dit document geeft een beschrijving van de milieueffecten van het windpark ter onderbouwing van mogelijke milieunormen voor het Windpark Caprice.

---

<sup>1</sup> Uitspraak Raad van State: ECLI:NL:RVS:2021:1395.

# Hoofdstuk 2 Geluid

---

Deze paragraaf bevat een motivering voor een gemeentelijke milieunorm voor geluid van windturbines. Deze motivering is:

- **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 Caprice. 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 Caprice betrokken in de afweging.

## 2.1 Dosis-effectrelatie

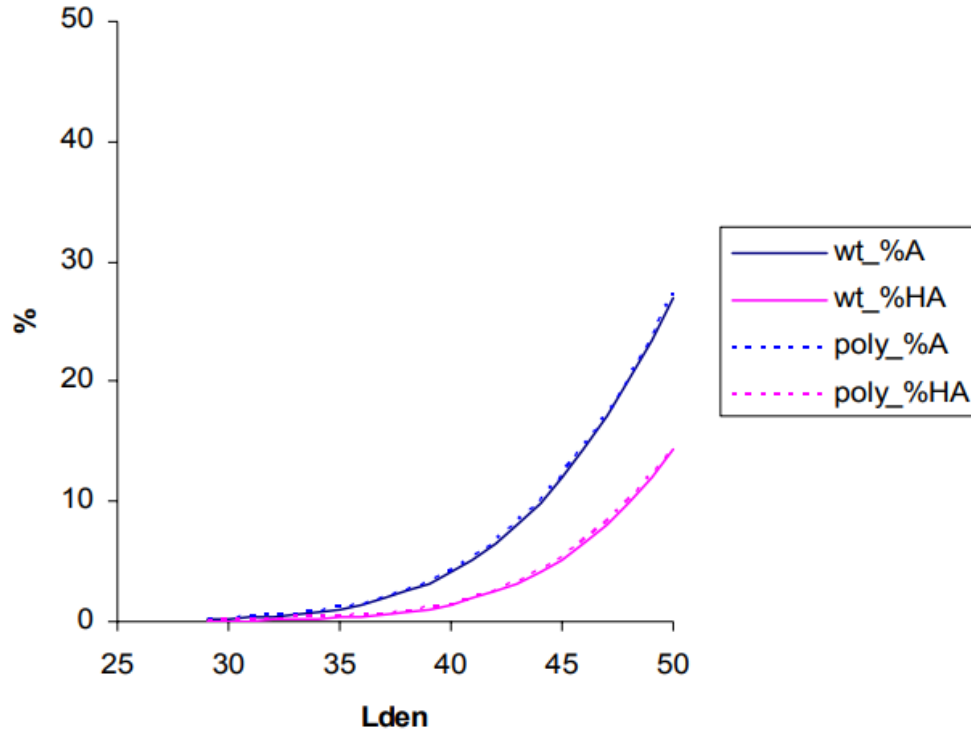
---

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>2</sup>.

---

<sup>2</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 1** 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.

## 2.2 Geluidsdosismaat $L_{den}$ en $L_{night}$ <sup>3</sup>

Volgens richtlijn 2002/49/EG van het Europees Parlement dient omgevingsgeluid in alle lidstaten op dezelfde wijze behandeld te worden. De geluidbelasting dient daarbij in decibel (dB)  $L_{den}$  of dB  $L_{night}$  te worden uitgedrukt. De geluidbelasting in dB  $L_{den}$  wordt ook wel de dag-avond-nachtgeluidsbelastingsindicator genoemd.  $L_{den}$  is een berekend gewogen jaargemiddelde van de geluidsbelasting 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 nachtelijke geluidsbelastingsindicator. Voor het bepalen van de hinder wordt gebruik gemaakt van  $L_{den}$ .  $L_{night}$  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 geluidniveau van een windturbine<sup>4</sup>. Bij een geluidbelasting van 47 dB  $L_{den}$  op een punt is het daadwerkelijk ervaren gemiddelde geluidniveau<sup>5</sup> op de gevel (bij hoge windsnelheden 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 desgewenst 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 windsnelheid. 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  $L_{night}$  normering te stellen aanvullend op een  $L_{den}$  normering. Bij constante geluidniveaus bedraagt het verschil tussen de geluidbelasting in dB  $L_{den}$  en dB  $L_{night}$  circa 6 dB en biedt een aparte norm voor  $L_{night}$  geen extra bescherming, tenzij deze 7

<sup>3</sup> Deze tekst is gebaseerd op een paragraaf uit 'Onderzoek milieunormen windenergie Windpark Delfzijl Zuid Uitbreiding', Pondera, 2021.

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

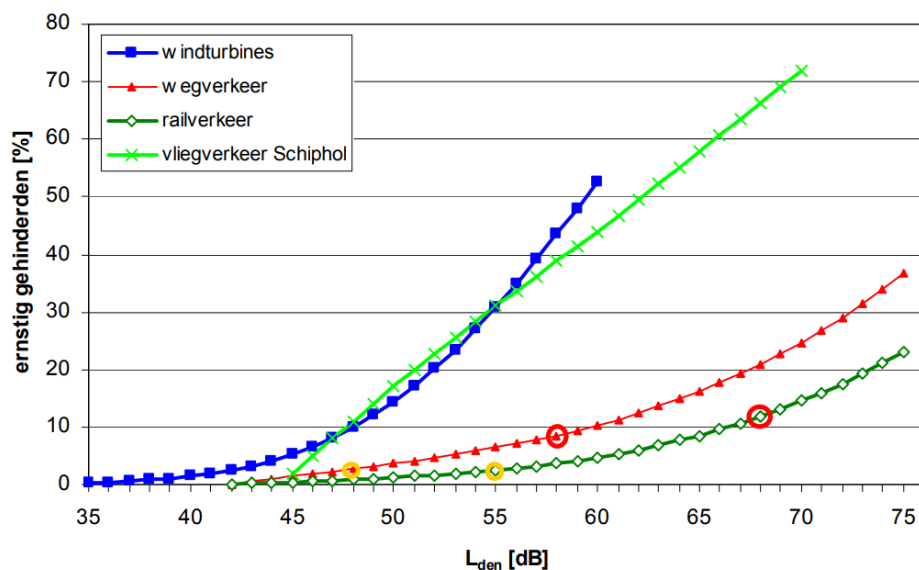
<sup>5</sup> De daadwerkelijk ervaren geluidsniveaus zijn lager dan het gewogen  $L_{den}$  gemiddelde omdat de  $L_{den}$ -waarde straffactoren bevat voor geluid in de avond en de nacht.

dB of meer lager is dan de Lden-normering. Daarnaast kan er op basis van onderzoeken nog geen conclusie worden getrokken over de samenhang tussen geluid van windturbines en slaapverstoring<sup>6</sup>. De WHO geeft in haar rapport van 2018 dan ook geen advies over een Lnight-norm voor windturbines.

## 2.3 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 kan worden verwacht. Deze grenswaarde is goed vergelijkbaar met het aantal ernstig gehinderden bij de normering voor wegverkeer, railverkeer en industrielawaai. 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 2** Relatie tussen Lden en het percentage ernstig gehinderden (binnenshuis) bij verschillende bronnen (Verheijen, et al., 2009). Bij 47 dB Lden geluidsbelasting van windturbines (blauwe lijn) hoort een ernstig-gehinderdenpercentage van ca. 9%. De normen voor railverkeer (68 dB Lden) en wegverkeer (58 dB Lden) zijn met rode cirkels weergegeven en leiden tot vergelijkbare hinderpercentages.



## 2.4 Berekening aantal ernstig gehinderden

In het akoestisch onderzoek voor Windpark Caprice is voor geluidsgevoelige objecten in de ruime omgeving van het windpark (3 kilometer) de jaargemiddelde geluidbelasting op de gevel berekend.

<sup>6</sup> Factsheet gezondheidseffecten van windturbinegeluid, RIVM, augustus 2021.



Op basis van de dosis-effectrelatie uit Figuur 1 is te berekenen hoe groot het percentage ernstig gehinderden is binnen elk van deze objecten. 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 als gevolg van Windpark Caprice. Deze berekening is verder uitgewerkt in Bijlage A.

De berekening van het hinderpercentage maakt gebruik van de polynome functie die is gegeven in (Janssen, Vos, & Eisses, A., 2008):

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

Deze formule beschrijft de roze stippellijn in Figuur 1.

Tevens gaan wij uit van het aantal inwoners van de gemeente Lingewaard en het aantal huishoudens om te komen tot een gemiddeld aantal bewoners per gevoelig object.

**Figuur 3** Demografische gegevens woningen in de gemeente Lingewaard. Bron: <https://allecijfers.nl/gemeente/lingewaard>, 2021.

Inwoners gemeente Lingewaard	46.822
Huishoudens gemeente Lingewaard	19.803
Inwoners per huishouden	2,4

**Rekenvoorbeeld:**

*Een woning ondervindt 45 dB  $L_{den}$  als gevolg van het windpark. Invullen in bovenstaande polynome functie leidt tot een percentage ernstig gehinderden van 5,4%. Bij een verwacht aantal bewoners van 2,4 leidt dat tot 0,13 ernstig gehinderden.*

Onderstaande tabel toont het verwachte aantal ernstig gehinderden als gevolg van de onder- en bovengrens van het voorkeursalternatief voor wat betreft geluid, wanneer geen beperkende geluidsnorm wordt opgenomen. Daarnaast is het aantal ernstig gehinderden weergegeven als gevolg van het windturbinetype met de grootst mogelijke afmetingen dat nog binnen de bandbreedte van het VKA valt, de SG-6.6 170.

**Tabel 1** Verwacht aantal ernstig gehinderden a.g.v. windturbinegeluid op basis van de dosis-effectrelatie.

Aantal ernstig gehinderden (statistische verwachting)	
VKA onder	7
VKA boven	23
SG 6.6 170 (max.)	16

Wanneer geen beperkende geluidsnorm wordt opgenomen zou het verwachte aantal ernstig gehinderden als gevolg van het windturbinegeluid van Windpark Caprice dus liggen tussen de 7 en 23.

De rekenkundige onderbouwing voor deze getallen is opgenomen in Bijlage A.

## 2.5 Gevoeligheidsanalyse

---

Het opnemen van een geluidsnorm betekent dat sommige windturbines gedurende sommige perioden ‘stiller’ moeten draaien. Dit gebeurt door de wieken van een windturbine zo af te stellen dat de windturbine langzamer draait en gaat gepaard met enig opbrengstverlies. Waar het opnemen van een geluidsnorm dus als voordeel kan hebben dat het aantal ernstig gehinderden afneemt, heeft het als nadeel dat de energieproductie van de windturbines lager komt te liggen.

Met behulp van een gevoeligheidsanalyse kan inzichtelijk worden gemaakt wat het effect is van verschillende te hanteren geluidsnormen op enerzijds het aantal ernstig gehinderden en anderzijds het opbrengstverlies als gevolg van het langzamer draaien van de windturbines.

Daartoe is voor de volgende mogelijke geluidsnormen voor de onder- en bovengrens van het VKA en het type met de maximale afmetingen berekend hoeveel ernstig gehinderden op zal treden en hoeveel opbrengstverlies dit tot gevolg heeft:

- Geen normgrens
- Ten hoogste 47 dB Lden
- Ten hoogste 46 dB Lden
- Ten hoogste 45 dB Lden
- Ten hoogste 44 dB Lden<sup>7</sup>

Op basis van deze berekeningen kan door het bevoegd gezag een belangenafweging worden gemaakt tussen het positieve effect van minder ernstig gehinderden en het opbrengstverlies als gevolg van benodigde stilstand, bij verschillende mogelijke normgrenzen.

Onderstaande Tabel 2 toont het effect van de verschillende normgrenzen voor de onder- en bovengrens van het VKA en het type met de maximaal mogelijke afmetingen. In Figuur 4 zijn de effecten visueel weergegeven.

Uit de analyse blijkt dat voor de ondergrens van de VKA geen mitigerende maatregelen nodig zijn om te voldoen aan een norm van 44 dB Lden (of hoger). Voor het type met de maximale afmetingen geldt dat er alleen mitigatie nodig is bij een norm van 44 dB Lden.

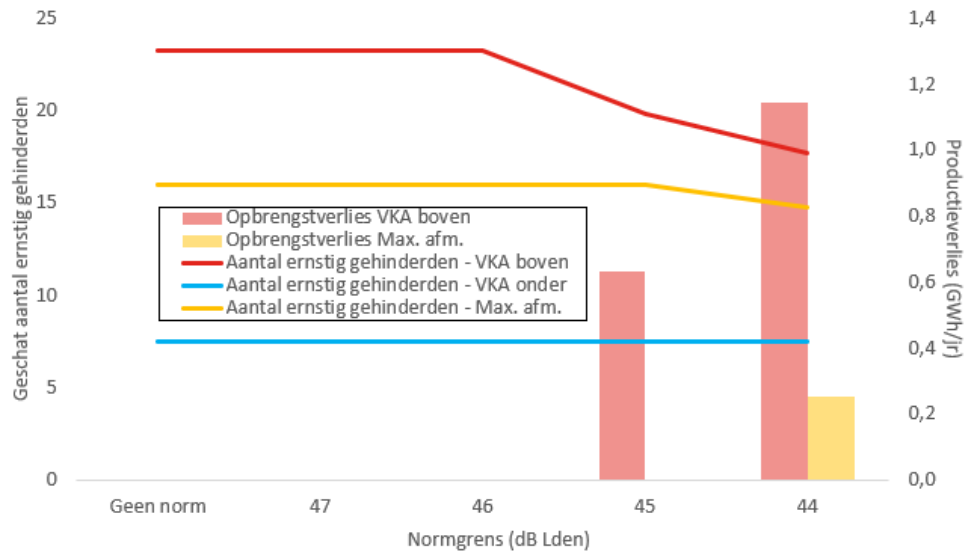
---

<sup>7</sup> Er is voor gekozen om normgrenzen tot 44 dB Lden te beschouwen in de analyse. Figuur 2 laat zien dat het percentage ernstig gehinderden bij een geluidsbelasting van 44dB Lden ongeveer 4% is. Dit is vergelijkbaar met het percentage ernstig gehinderden bij de voorkeursgrenswaarde voor snelwegverkeer.

**Tabel 2** Het aantal ernstig gehinderden bij verschillende mogelijke normgrenzen, afgezet tegen het opbrengstverlies als gevolg van de benodigde stilstand.

	Maximaal toegestaan geluidsniveau Lden (dB)				
	Geen norm	47	46	45	44
<b>Aantal ernstig gehinderden</b>					
VKA boven	23	23	23	20	18
VKA onder	7	7	7	7	7
Maximale afmetingen	16	16	16	16	15
<b>Netto parkproductie (GWh/jr)</b>					
VKA boven	35,2	35,2	35,2	34,6	34,1
VKA onder	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0
Maximale afmetingen	49,1	49,1	49,1	49,1	48,8
<b>Opbrengstverlies (%)</b>					
VKA boven	-	-	-	1,8%	3,2%
VKA onder	-	-	-	-	-
Maximale afmetingen	-	-	-	-	0,5%
<b>Opbrengstverlies (GWh/jr)</b>					
VKA boven	-	-	-	0,6	1,1
Maximale afmetingen	-	-	-	-	0,3
<b>Opbrengstverlies (energieverbruik hh/jr)*</b>					
VKA boven				226	408
Maximale afmetingen					90

\*E-verbruik per huishouden per jaar

**Figuur 4** Grafische weergave van het aantal ernstig gehinderden en de hoeveelheid productieverlies bij de onderzochte scenario's.


## 2.6 Conclusie

---

Het statistisch verwachte aantal ernstig gehinderden als gevolg van Windpark Caprice is beperkt. Mitigerende maatregelen kunnen dit aantal enigszins terugdringen, maar brengen productieverlies met zich mee, wat effect heeft op de duurzaamheidsdoelstellingen van de gemeente, nu en in de toekomst.



## Hoofdstuk 3 Slagschaduw

---

Ter onderbouwing van een lokale norm voor slagschaduw baseren wij ons voor wat betreft theorie en uitgangspunten deels op de beschrijvingen uit een vergelijkbaar onderzoek naar milieunormen dat recentelijk is uitgevoerd voor een ander windproject.<sup>8</sup>

### 3.1 Theorie en uitgangspunten

---

#### 3.1.1 *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 zoveel licht langs het blad vallen dat van sterke schaduwwerking 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 optreden.<sup>9</sup>
3. De windturbine moet in bedrijf zijn (draaien) om te kunnen spreken van hinderlijke slagschaduw.
4. Er dient sprake te zijn van een ruimte met een beperkt aantal ramen die significant kunnen worden afgeschermd door een bewegende slagschaduw. De ervaring van een bewegende schaduw in de buitenlucht wordt niet als hinderlijk ervaren.
5. De schaduw moet daadwerkelijk de gevel van het gevoelige object kunnen bereiken en dus niet afgeschermd worden door obstakels zoals gebouwen of bomen ('line of sight').

#### 3.1.2 *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 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.

Voor de definitie van een slagschaduw gevoelig object of terrein maken we onderscheid tussen objecten of terreinen bedoeld voor permanent verblijf van personen (o.a. woningen) en objecten of terreinen waar gedurende een langere tijdsduur

<sup>8</sup> Pondera, 2021; Onderzoek Milieunormen windenergie Windpark Agro Wind Reusel.

<sup>9</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)

(bijvoorbeeld een werkdag) mensen aanwezig zijn, maar niet permanent wonen. Daarvoor hanteren we de volgende definities:

- **Een slagschaduwgevoelig object of terrein:** Ieder object bedoeld voor bewoning of anderszins voor permanent verblijf van personen (woningen, woonboten of woonwagens en zorginstellingen), dan wel voor onderwijs<sup>10</sup> en voor zover de gevel of het dakvlak voorzien is van één of meerdere lichtdoorlatende vlakken in de richting van de windturbine(s).
- **Overige slagschaduwgevoelige objecten:** Overige objecten voor zover personen in een ruimte binnen dit object gedurende langere aaneengesloten tijd verblijven tijdens de daglichtperiode, en voor zover dit een gebouw of bouwwerk betreft, de gevel of het dakvlak voorzien is van één of meerdere lichtdoorlatende vlakken in de richting van de windturbine(s).

Voorbeelden van overige slagschaduwgevoelige objecten (anders dan woningen en zorginstellingen) zijn dan onder andere: kantoorgebouwen, horecagelegenheden en kampeerterreinen. Stallen, loodsen, landbouwgrond, sportvelden en parkeerterreinen zijn voorbeelden van niet-slagschaduwgevoelige objecten of terreinen. 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.

### 3.1.3 *Hinderlijkheid van slagschaduw*

#### **3.1.3.1** *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>11</sup>. Herhaaldelijke of langdurige blootstelling hieraan kan bovendien leiden tot stress en concentratieverlies. Onderzoekers van de Universiteit van Kiel vonden in dezelfde laboratoriumstudie 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 worden 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.

<sup>10</sup> Door objecten met een onderwijsfunctie in te delen in de eerste categorie 'slagschaduwgevoelige objecten' wordt aangesloten bij de definitie van geluidsgevoelige objecten uit het Activiteitenbesluit.

<sup>11</sup> Pohl, J, Faul, F, & Mausfeld, R; Belästigung durch periodischen schattenwurf von Windenergieanlagen, 1999.

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>12</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 an sich gezondheidseffecten veroorzaakt. In de periode sinds dit onderzoek zijn in Europa 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 aannemelijk. Slagschaduw wordt echter wel als hinderlijk beschouwd en dit is aanleiding de slagschaduw te normeren.

### **3.1.3.2 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.

### **3.1.3.3 Hinder beperken in de tijd**

Uit een vergelijkende literatuurstudie uit 2017 van Koppen et al<sup>13</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.

<sup>12</sup> Parsons Brinckerhoff, 2006; Update of UK Shadow flicker Evidence Base

<sup>13</sup> Koppen, E, et al, 2017; International Legislation and Regulations for Wind Turbine Shadow Flicker Impact

### 3.1.3.4 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>14</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. Deze en de tussenliggende waarden zijn uiteengezet in Tabel 3. Dit is voor zover bekend de enige dosis-effectrelatie studie die beschikbaar is in relatie tot slagschaduw van windturbines.

Tabel 3 Mate van ernstige hinder bij verschillende aaneengesloten blootstellingsduren<sup>15</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>16</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.

### 3.1.3.5 Hinder beperkt tot afstand

In theorie kan een 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.

### 3.1.4 Onderzoeksopzet

De slagschaduwberekeningen ten behoeve van de milieuonderbouwing zijn uitgevoerd met het softwareprogramma WindPRO versie 3.4.388. Voor de windturbines

<sup>14</sup> <https://asa.scitation.org/doi/pdf/10.1121/1.4942403>

<sup>15</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>16</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.



van WP Caprice is een windturbine met een rotordiameter van 170 meter en een ashoogte van 155 meter gehanteerd.

Voor de slagschaduwberekeningen is de slagschaduw meegenomen die optreedt bij een zonnestand van minimaal 5 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 zonnstanden is de invloed van obstakels groot (bv. andere gebouwen en bomen).

Daarnaast is de aannahme gedaan dat op afstanden de wieken van de windturbines minder dan 20% van de zonnenschijf bedekken geen hinderlijke slagschaduw meer kan optreden.

Deze beide aannames in de berekening wijken iets af van de aannames in het slagschaduwonderzoek bij het MER.

Op de locatie van de onderzochte objecten is uitgegaan van een verticale schaduw 'receptor' van 5 meter hoog en 8 meter breed, beginnend op 50 cm hoogte. Deze receptoren zijn in alle richtingen gevoelig voor slagschaduw. Op de locatie van het onderzochte terrein is de volledige werkelijke oppervlakte van dit terrein gemodelleerd als slagschaduwgevoelig 'vlak'.

Eventueel hoogteverschil van het maaiveld is als verwaarloosbaar beschouwd en de windturbines en de ontvangers zijn op een gelijk denkbeeldig maaiveld gemodelleerd.

Tenslotte is op de op het terrein van Caprice gelegen woning in de sfeer van de inrichting (Scherpekamp 17) buiten beschouwing gelaten bij de slagschaduwberekening ten behoeve van de milieuonderbouwing.

## **3.2 Lokale situatie WP Caprice**

---

### **3.2.1 Slagschaduwgevoelige objecten (woningen)**

In het slagschaduwonderzoek bij het MER is inzicht gegeven in de slagschaduw van windpark Caprice op gevoelige objecten in de omgeving. De berekening ten behoeve van voorliggende onderbouwing van milieunormen is uitgevoerd op basis van de geactualiseerde uitgangspunten zoals beschreven in de vorige paragraaf.

Uit deze berekening blijkt dat er 981<sup>17</sup> slagschaduwgevoelige objecten in de omgeving van WP Caprice daadwerkelijk slagschaduw ondervinden, uitgaande van het grootste windturbintype dat past binnen de vergunningaanvraag voor WP Caprice (VKA boven).

---

<sup>17</sup> Het berekende aantal woningen wijkt iets af van hetgeen is berekend in het slagschaduwonderzoek (987 woningen). Dit verschil wordt veroorzaakt door de geactualiseerde uitgangspunten zoals in de vorige paragraaf beschreven.

### 3.2.2 Gevoeligheidsanalyse

Ook voor slagschaduw is het mogelijk om de ervaren hinder te beperken door het stellen van een normgrens. Door de jaarlijkse slagschaduwduur op objecten in de omgeving te beperken zal de hinder voor inwoners automatisch afnemen. Moderne windturbines zijn uitgerust met een automatische stilstandvoorziening, die de windturbine kan uitschakelen wanneer een vooraf bepaalde slagschaduwnorm wordt overschreden. De voorziening wordt per schaduwgevoelige object vooraf ingeregeld, aangezien het gaat om specifieke momenten die van te voren bepaald kunnen worden afhankelijk van de zonnestand. Daarnaast wordt gemeten of er daadwerkelijk voldoende zon (en dus slagschaduw) is op die momenten.

Het opnemen van een slagschaduwnorm betekent dat sommige windturbines gedurende sommige perioden, wanneer de norm voor objecten wordt overschreden, stil moeten staan. Uiteraard gaat dit gepaard met opbrengstverlies. Waar het opnemen van een slagschaduwnorm dus als voordeel kan hebben dat het aantal ernstig gehinderden afneemt, heeft het als nadeel dat de energieproductie van de windturbines lager komt te liggen.

Met behulp van een gevoeligheidsanalyse kan inzichtelijk worden gemaakt wat het effect is van verschillende te hanteren slagschaduwnormen op enerzijds het aantal gehinderden en de hoeveelheid ervaren hinder, en anderzijds het opbrengstverlies als gevolg van benodigde stilstand.

Daartoe is voor de volgende mogelijke normen voor de onder- en bovengrens van het VKA berekend hoeveel slagschaduw (en dus hinder) er zal optreden en hoeveel opbrengstverlies dit tot gevolg heeft:

- Geen norm
- Ten hoogste 5:40 uur per jaar
- Ten hoogste 3:00 uur per jaar
- Ten hoogste 1:00 uur per jaar
- Ten hoogste 0:00 uur per jaar

**Tabel 4** De hoeveelheid slagschaduw die wordt veroorzaakt op omliggende gevoelige objecten bij verschillende mogelijke normgrenzen, afgezet tegen het opbrengstverlies als gevolg van de benodigde stilstand.\*

	Maximaal toegestaan aantal uren slagschaduw				
	geen norm	5:40 uur	3 uur	1uur	0 uur
<b>Hoeveelheid slagschaduwuren op woningen**</b>					
VKA boven (= Max. afm.)	2073	1920	1669	883	0
VKA onder	808	753	682	470	0
<b>Opbrengstverlies (%)</b>					
VKA boven	0,0%	0,1%	0,1%	0,4%	0,7%
VKA onder	0,0%	0,0%	0,1%	0,2%	0,5%
<b>Opbrengstverlies (GWh/jr)***</b>					
VKA boven	0	0,0	0,1	0,2	0,4
VKA onder	0	0,0	0,0	0,1	0,1

**Opbrengstverlies (energieverbruik hh/jr)**

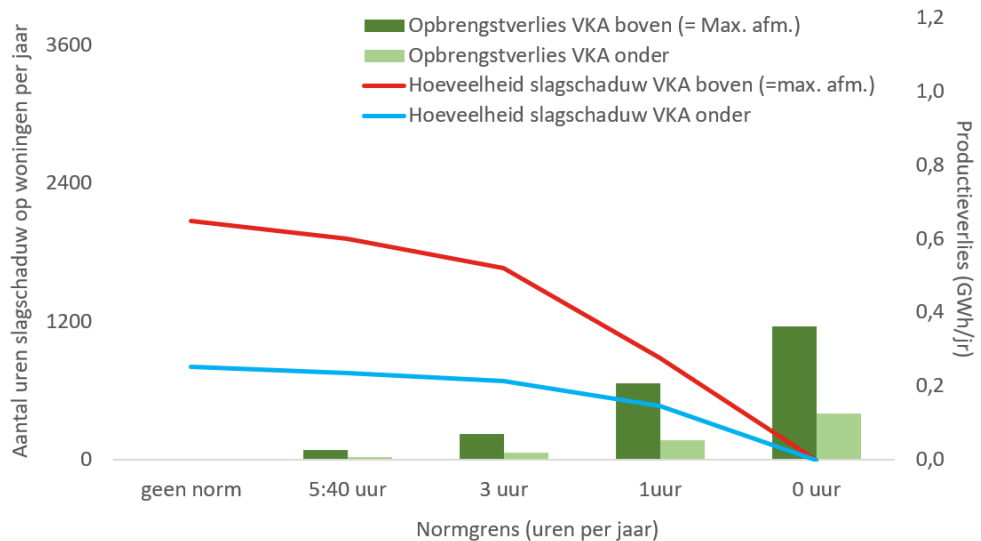
VKA boven	10	25	74	129
VKA onder	3	7	19	45

\* Dit betreft andere windturbintypes dan waar mee gerekend is voor geluid, aangezien de luidste en stilste windturbines niet per se de grootste en kleinste afmetingen (en energieproductie) hebben

\*\* Excl. Molenaarswoning

\*\*\* De verwachte Jaarproductie (GWh/jr) van VKA boven is 49; van VKA onder is dit 27

**Figuur 5 Grafische weergave van de hoeveelheid veroorzaakte slagschaduw en de hoeveelheid productieverlies bij de onderzochte normgrenzen.**

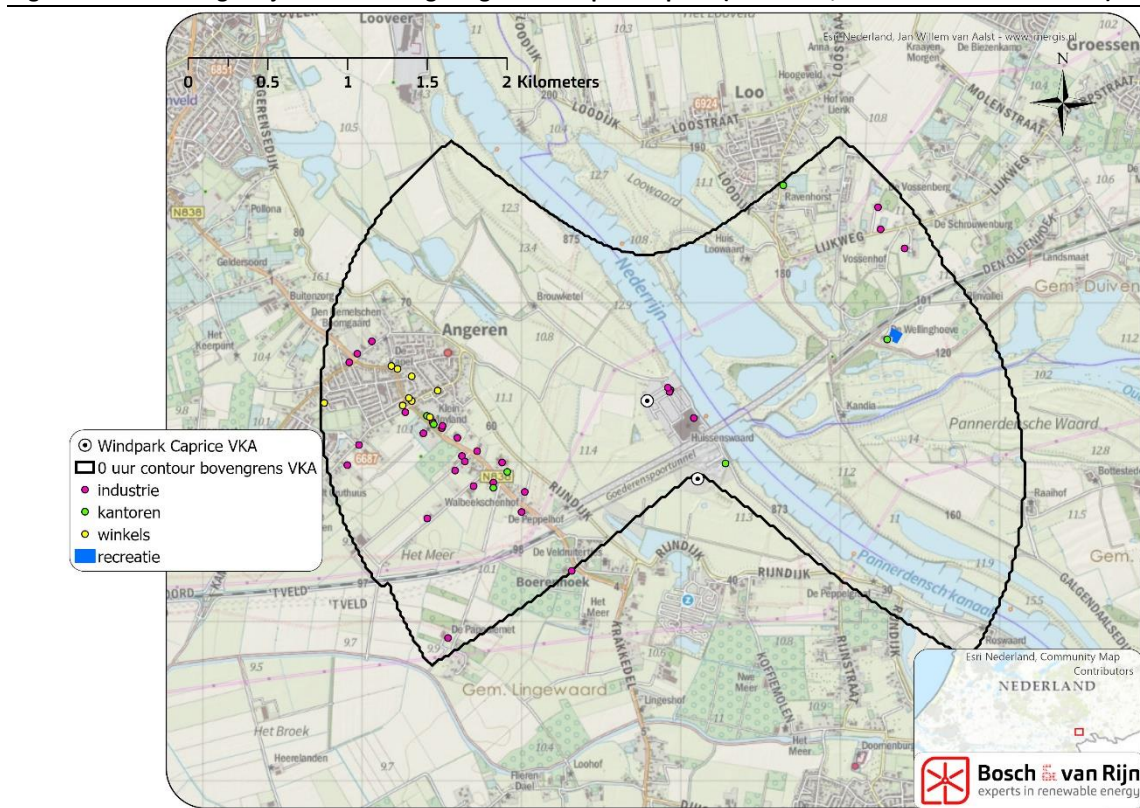


**3.2.3 Overige objecten en terreinen**

Voor alle overige objecten en terreinen in de omgeving van het Windpark is onderzocht hoeveel slagschaduw jaarlijks kan optreden als gevolg van de bovengrens van het VKA, wanneer geen stilstand wordt toegepast. Er is voor gekozen om alleen de bovengrens door te rekenen aangezien deze het meeste slagschaduw zal veroorzaken ter plaatse van de onderzochte objecten en terreinen. De resultaten zijn terug te vinden in de uitdraai van het rekenprogramma WindPRO (zie Bijlage B). Onderstaande figuur toont de ligging van de onderzochte overige objecten.

*NB. Gebouwen die naast een hun 'overige' gebruiksfunctie tevens een woonfunctie hebben zijn niet meegenomen in de berekening van de slagschaduw ter plaatse van de overige objecten. De slagschaduw ter plaatse van deze objecten is immers reeds onderzocht in de uitgevoerde berekeningen van slagschaduw ter plaatse van woningen (Zie Paragraaf 3.2.1).*

**Figuur 6 Overige objecten in de omgeving van Windpark Caprice (Bron: BAG, download november 2021).**



Uit de berekening volgt dat er 43 objecten en terreinen zijn waar als gevolg van de bovengrens een jaarlijkse hoeveelheid slagschaduw wordt verwacht. Vijf van deze objecten betreffen echter de kantoor- en industriegebouwen behorende bij Caprice en ‘molenaarswoning’ Scherpekamp 17.

Onderstaande tabel toont de verdeling van de overige 38 onderzochte objecten en terreinen over de verschillende slagschaduw-norm-classes, wanneer geen stilstand zou worden toegepast. De tabel toont tevens de gebruiksfunctie van de betreffende objecten terreinen.

**Tabel 5 Aantallen overige objecten en terreinen verdeeld per gebruiksfunctie en per slagschaduw-norm-klasse\***

Gebruiksfunctie	< 1u	1-3u	3u – 5:40u	> 5:40u
Industrie	7	5	5	11
Kantoor	1		2	1
Winkel		5	2	
Recreatie (terrein)			1	

\*Het aantal woningen in deze tabel telt niet op tot het onderzochte totaal van 38 omdat 2 van de onderzochte objecten zowel een kantoorfunctie als een industrie-functie hebben.

## Hoofdstuk 4 Externe veiligheid

---

### 4.1 Bescherming van personen in (beperkt) kwetsbare objecten

---

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.

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.

### 4.2 Lokale situatie WP Caprice

---

Binnen de invloedsfeer van de windturbines zijn diverse objecten aanwezig die op grond van de definities uit het Bevi als kwetsbaar of beperkt kwetsbaar moeten worden beschouwd. Het gaat hierbij om:

Een woning aan de Scherpekamp 17 waarin één persoon woonachtig is. Aangezien dit een verspreid liggende woning betreft moet deze als beperkt kwetsbaar worden beoordeeld.

Diverse bedrijfspanden aan de Scherpekamp 17 behorende tot Peters Maritiem B.V. Op de bedrijfslocatie zijn gemiddeld niet meer dan 4 mensen aanwezig. De bedrijfspanden moeten derhalve als beperkt kwetsbaar worden beoordeeld.

Een bedrijfspand en kantoor aan de Scherpekamp 15 behorende tot het steenbedrijf Caprice. In het bedrijfspand zijn gemiddeld 20 mensen aanwezig, op het kantoor zijn gemiddeld 5 mensen aanwezig.

### 4.3 Normen

---

In het Activiteitenbesluit milieubeheer waren normen voor het plaatsgebonden risico bij (beperkt) kwetsbare objecten opgenomen, veroorzaakt door een windturbine of combinatie van windturbines. De bescherming van (beperkt) kwetsbare objecten was echter niet alleen in het Activiteitenbesluit milieubeheer geregeld, maar

ook in diverse andere externe veiligheidsbesluiten zoals het Besluit externe veiligheid inrichtingen (Bevi), Besluit externe veiligheid buisleidingen (Bevb) en Besluit externe veiligheid transportroutes (Bevt).

In bovengenoemde besluiten wordt voor kwetsbare objecten telkens een grenswaarde voor het PR van  $10^{-6}$  per jaar in acht genomen en wordt rekening gehouden met een richtwaarde van  $10^{-6}$  per jaar voor beperkt kwetsbare objecten. Een grenswaarde voor het PR bij beperkt kwetsbare objecten wordt in de besluiten niet gegeven. Van een grenswaarde mag niet worden afgeweken, terwijl van de richtwaarde wel gemotiveerd mag worden afgeweken.

Er is geen reden om bij de beoordeling van windturbines normen voor (beperkt) kwetsbare objecten te hanteren die afwijken van de normen die gelden voor overige inrichtingen en zijn opgenomen in de diverse externe veiligheidsbesluiten, zoals het Bevi, Bevb en Bevt. Om deze reden wordt de bescherming van kwetsbare objecten voldoende geborgd door bij het windpark de als norm te stellen dat:

- Het plaatsgebonden risico voor een kwetsbaar object, veroorzaakt door een of meer windturbines van Windpark Caprice, is niet hoger dan  $10^{-6}$  per jaar.

Gezien het zwaarwegend belang van een duurzame energieopwekking en de beperkte aanwezigheid van personen binnen de lokaal aanwezige beperkt kwetsbare objecten acht de gemeente het toelaatbaar bij deze beperkt kwetsbare objecten een plaatsgebonden risico toe te staan dat 10 maal hoger is dan de grenswaarde bij kwetsbare objecten. Concreet stelt de gemeente als norm dat:

- Het plaatsgebonden risico voor een beperkt kwetsbaar object, veroorzaakt door een of meer windturbines van Windpark Caprice, is niet hoger dan  $10^{-5}$  per jaar.

Voor de definitie van kwetsbare en beperkt kwetsbare objecten wordt aangesloten bij de definitie uit artikel 1 lid 1b en artikel 1 lid 1l uit het Bevi. Voor het berekenen van het plaatsgebonden risico wordt gebruik 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 5 Lichtschittering

---

Gladde en glimmende oppervlakken (bijvoorbeeld glas, maar ook geschilderde oppervlakken) kunnen invallend zonlicht reflecteren. Wanneer dit licht bij de ontvanger aankomt kan dit een hinderlijk (verblindend) effect hebben of tot gevaarlijke situaties leiden, bijvoorbeeld voor wegverkeer. Dit effect kan echter eenvoudig worden voorkomen door de betreffende objecten en oppervlakken te voorzien van een anti-reflecterende coating of gebruik te maken van niet reflecterende materialen. Voor windturbines is dit standaardpraktijk en wordt dit geborgd door reflectiewaarden te controleren via de certificering en de NEN-EN-ISO 2813 of een daaraan ten minste gelijkwaardige meetmethode.

Er is daarmee geen noodzaak tot het opnemen van nadere voorschriften of normen, anders dan hierboven beschreven om gevolgen van lichtschittering te beperken.

# Bijlagen

---





# Bijlage A Oplegnotitie geluid

---



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

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



# Bijlage B Oplegnotitie slagschaduw

---



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

