



## Duiding bij eerste onderzoeken windenergie

### OER project Zon en Wind langs de A28 Amersfoort – Utrecht

Vrijgave: 13 mei 2024

Opsteller: Project OER A28 Amersfoort-Utrecht

#### Inleiding

Het afgelopen half jaar heeft het project 'Zon en Wind langs de A28 Amersfoort-Utrecht' onderzoek gedaan naar de mogelijkheden voor duurzame energie langs de A28 en de defensie terreinen Leusderheide en Vlasakkers. Het project wordt uitgevoerd door het Rijk, Gemeenten en de Provincie Utrecht en bevindt zich in de verkennende fase. Dit betekent dat er nog een beslissing genomen moet worden of en hoe windturbines en/of zonnepanelen worden geplaatst. Het projectteam verzamelt hiervoor informatie over de haalbaarheid, inpasbaarheid in de defensie terreinen en de aanpak in de vervolgfase. Het team spreekt ook met de belangengroepen, bedrijven en bewonersgroepen rondom de zoekgebieden om op te halen wat partijen belangrijk vinden en welke zorgen en wensen er leven. Deze input wordt verwerkt in de onderzoeken en is onderdeel van het uiteindelijke besluit. Het rapport over deze participatie verschijnt na de zomer.

Het project werkt op basis van locaties die in beheer zijn van het Rijk en in 2021 zijn opgenomen in de Regionale Energie Strategieën van U16 (Utrecht en omstreken) en Amersfoort. Het gaat om locaties langs de A28 tussen Utrecht en Amersfoort (waaronder defensie terrein Leusderheide) en langs het spoor tussen Amersfoort en Utrecht (defensie terrein Vlasakkers). In 2023 heeft de Provincie Utrecht 99 mogelijke locaties voor windenergie onderzocht. Daar kwamen 27 locaties uit als kansrijk, waaronder deze beide gebieden. De windlocatie op Kamp van Zeist kwam niet als kansrijk uit dat onderzoek, evenals locaties nabij knooppunt Rijnsweerd. Deze locaties worden niet verder onderzocht in het OER A28 project. De locatie 'Poort van Amersfoort' nabij knooppunt Hoevelaken is wel opgenomen in de kansrijke locaties van de provincie maar sluit niet aan op de rijksgronden. Het OER-project overlegt met de gemeente Amersfoort over het vervolg.

#### Samenvatting resultaten onderzoeken

De eerste onderzoeken die we nu publiceren gaan over windenergie. Er is onderzoek gedaan naar geluid, slagschaduw en veiligheid. Ook is de verwachte energieproductie berekend. De onderzoeken zijn gedaan met 'onderzoekopstellingen.' Die laten voor verschillende maten, aantallen en plekken van moderne windturbines zien welke effecten die op de omgeving hebben. Het project gaat daarbij uit van de landelijke concept-normen voor windenergie. Deze normen moeten nog worden vastgesteld. Deze normen, bijvoorbeeld voor geluid, zijn strenger en er is een minimale afstand tot woningen opgenomen. Meer informatie over de normen is te vinden via de [Helpdesk Wind op Land](#).

#### *Geluid*

Bij de berekening van de verspreiding van het geluid van de windturbines is te zien dat de turbines op de Leusderheide vrij ver van bebouwing staan. Het meest dichtbij ligt het zuidoosten van Soesterberg. Op de Vlasakkers liggen vooral ten zuiden van de opstellingen woningen. Voor alle locaties geldt dat er opstellingen mogelijk zijn die aan de concept geluidsnormen voldoen. In de

stakeholdergesprekken kwam de optelsom van al bestaand omgevingsgeluid in combinatie met geluid van windturbines als zorg aan de orde. Dat is ook onderdeel geworden van deze onderzoeken.

### *Slagschaduw*

Alle opstellingen voldoen aan de concept norm van maximaal 20 minuten slagschaduw per dag en maximaal 6 uur per jaar. Slagschaduw is te voorkomen door bij lage zon de windturbine stil te zetten. Berekeningen laten zien dat het stilzetten kan met een beperkt verlies van energieproductie.

### *Veiligheid*

De veiligheidsrisico's voor de omgeving bij de verschillende opstellingen zijn onderzocht. Denk hierbij aan de nabijheid van hoogspanningsleidingen en plekken waar mensen werken en wonen. Volgens de analyse blijkt dat veiligheid geen belemmering is. Aandachtspunt is wel de mogelijke toekomstige ontwikkelingen op- en rondom de defensie terreinen. In overleg met Defensie wordt onderzocht of en zo ja onder welke voorwaarden de realisatie van windenergie op hun terrein mogelijk is.

### *Energieproductie*

Tenslotte berekenden we de verwachte energieproductie van verschillende opstellingen. Het blijkt dat de Vlasakkers en de Leusderheide een bijdrage van tussen de 10 en 35% kunnen leveren aan de doelstelling van de RES Amersfoort. Die doelstelling is 0,5 TerraWattuur opwek in 2030. De uiteindelijke opwek is afhankelijk van het aantal en de grootte van de windturbines.

## **Vervolg**

De komende maanden wordt onderzoek gedaan naar de effecten op de (civiele) luchtvaart, ecologie en de mogelijke conflicten met het intensieve gebruik van de oefenterreinen Vlasakkers en Leusderheide door de krijgsmacht. Ook wordt er landelijk onderzoek gedaan naar waar het gebruik van de defensie terreinen verandert en/of intensiveert in het 'Nationaal Programma Ruimte voor Defensie'. Met de uitkomsten van dit traject en de andere onderzoeken worden nieuwe onderzoekopstellingen gemaakt. Hier worden dan opnieuw slagschaduw-, geluid- en externe veiligheid berekeningen voor gedaan. Ook wordt in deze fase het onderzoek naar zonne-energie langs de snelweg uitgevoerd.

Eind 2024 nemen het Rijk, de betrokken gemeenten en de provincie een besluit of en hoe het project verder kan. Dat doen zij op basis van de haalbaarheid voor zonne- en windenergie die uit de onderzoeken komt. Het projectteam werkt een aanpak uit voor dit vervolg. Centraal daarin staan een vervolg op het eerdere ecologisch onderzoek en de inpassing in de defensie terreinen. Deze aanpak omschrijft ook de rol en invloed van de omgeving op de inpassing van het project en het lokaal eigendom. In dit proces wordt duidelijker welke turbines waar het beste passen. Bij positief besluit wordt de voorbereiding gestart om een partij te vinden die het project verder zal ontwikkelen, exploiteren en beheren. Hierbij is het streven minimaal 50% lokaal eigendom. De uitvraag wordt in overleg met de betrokken overheden vormgegeven.

## **Planning**

### Januari- april 2024

Onderzoeken effecten windenergie, start informeren en betrekken omgeving bij onderzoeken

### Mei – September 2024

Nadere onderzoeken windenergie: luchtvaart, ecologie, inpassing in de defensie terreinen. Onderzoek zonne-energie langs de Rijksweg. Indien nodig: nader onderzoek geluid, slagschaduw en externe veiligheid.

### Eind – 2024

Besluit door het Rijk, de betrokken gemeenten en de provincie over vervolg van het project

### Eerste kwartaal 2025

Start vervolgfase. Vervolgonderzoek naar ecologie en de inpassing in de defensie terreinen. Uitwerken aanpak voor tender en vervolg participatieproces.

Meer informatie: [A28 Amersfoort-Utrecht | Energie op Rijksgrond](#)

**Bosch & van Rijn**

Franz-Lisztplantsoen 220  
3533 JG Utrecht  
030 – 677 6466

**Auteurs**

Daan Booij  
Floris Moerkens  
Martijn Maan

**Opdrachtgever**

Rijkswaterstaat



**Eerste fase technisch onderzoek OER A28**  
Leusderheide en Vlasakkers



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

# Eerste fase technisch onderzoek OER A28

## Leusderheide en Vlasakkers

Datum	18 april 2024
Versie	1.2
Auteurs	Daan Booij Floris Moerkens Martijn Maan

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>INLEIDING</b>	<b>3</b>
1.1	<i>Inleiding</i>	3
1.2	<i>Windturbineopstellingen</i>	4
1.3	<i>Concept windturbinebepalingen</i>	6
1.4	<i>Toekomstige ontwikkelingen</i>	8
1.5	<i>Leeswijzer</i>	9
<b>HOOFDSTUK 2</b>	<b>GELUID</b>	<b>10</b>
2.1	<i>Waaruit bestaat geluid van windturbines?</i>	10
2.2	<i>Samenvatting</i>	11
2.3	<i>Geluidsnorm</i>	11
2.4	<i>Geluidsc contouren</i>	12
2.5	<i>Cumulatieve situatie</i>	18
2.6	<i>Toename cumulatieve geluidsbelasting</i>	20
2.7	<i>Laagfrequent geluid</i>	22
2.8	<i>Relatie tussen geluid en afmetingen</i>	24
<b>HOOFDSTUK 3</b>	<b>SLAGSCHADUW</b>	<b>26</b>
3.1	<i>Inleiding</i>	26
3.2	<i>Windturbine opstellingen</i>	26
3.3	<i>Berekening</i>	27
3.4	<i>Resultaten</i>	29
<b>HOOFDSTUK 4</b>	<b>EXTERNE VEILIGHEID</b>	<b>44</b>
4.1	<i>Inleiding</i>	44
4.2	<i>Faalscenario's</i>	44
4.3	<i>Risicocontouren</i>	45
4.4	<i>Externe veiligheidseffecten op kaart</i>	46
<b>HOOFDSTUK 5</b>	<b>OPBRENGST</b>	<b>52</b>
5.1	<i>Inleiding</i>	52
5.2	<i>Windaanbod</i>	52
5.3	<i>Vermogenscurve</i>	53
5.4	<i>Energieverliezen</i>	54
5.5	<i>Resultaten</i>	54
<b>HOOFDSTUK 6</b>	<b>CONCLUSIE EERSTE FASE DEELONDERZOEK</b>	<b>56</b>

# Hoofdstuk 1 Inleiding

---

## 1.1 Inleiding

---

In het programma Opwek van Energie op Rijksvastgoed (OER) A28 wordt de mogelijkheid van duurzame-energieopwek op Rijksgronden rondom de A28 en de militaire oefenterreinen Leusderheide en Vlasakkers onderzocht. Het doel van het OER programma is om de uitvoering van de Regionale Energie Strategieën (RES) te ondersteunen en bij te dragen aan de klimaatdoelen. Uit een eerdere ruimtelijke analyse is gebleken dat met name de Defensierreinen Vlasakkers en Leusderheide ruimtelijke mogelijkheden voor de realisatie van windturbines bieden.

Als op de Vlasakkers en Leusderheide windturbines worden gerealiseerd dan heeft dit voor de omgeving milieueffecten tot gevolg. In deze studie wordt daarom onderzocht wat de te verwachten geluid-, slagschaduw- en externe veiligheidseffecten van windturbines op de Vlasakkers en Leusderheide zijn. Ook wordt inzichtelijk gemaakt welke energieopbrengst als gevolg van windturbines op de Vlasakkers en Leusderheide te verwachten is. Dit wordt gedaan aan de hand van 'Onderzoekstellingen' in de varianten klein, middel en groot (rotordiameter respectievelijk ongeveer 120, 150 en 170 meter). De onderzochte windturbintypes zijn op dit moment leverbaar en geven daarmee een realistisch beeld van de verwachten effecten. De benaming groot, middel en klein in het voorliggend onderzoek betreft een relatieve duiding van het onderscheid tussen de gehanteerde windturbine afmetingen en duidt niet op een algemene categorisering van windturbineformaten.

Voorliggend onderzoek betreft de eerste fase van het onderzoek waarin de onderzoekstellingen zijn onderzocht op de milieueffecten geluid, slagschaduw en externe veiligheid. In deze fase worden tevens de effecten op gevechtsleidingsradar en civiele radar (TNO) onderzocht. De resultaten van dit onderzoek zullen worden besproken met stakeholders en worden mede met input van defensie en luchtvaart gebruikt voor de tweede fase van het onderzoek. Deze volgende fase loopt tot en met de zomer van 2024. Hierin wordt gekeken naar mogelijke optimalisaties van de opstellingen, wordt er aandacht besteed aan ecologische aspecten en worden er visualisaties gemaakt. De derde fase zal indien haalbaar een concreet project zijn waarvoor een vergunning wordt aangevraagd. De beslissing om deze fase in te gaan wordt in het najaar van 2024 genomen.

Op basis van gesprekken met Defensie op gebied van helikopterbewegingen is de locatie Leusderheide verdeeld in Leusderheide oost en Leusderheide west, resulterend in drie mogelijke gebieden voor de realisatie van windturbines. Met de onderzoeksposities in zowel Leusderheide oost als west is daarmee de haalbaarheid van een opstelling over de gehele Leusderheide (oost tot west) ook grotendeels inzichtelijk. In de volgende fase wordt besloten of de hele Leusderheide of een deel daarvan wordt ingezet voor windturbines. Voor elke van de drie gebieden zijn windturbineopstellingen ingetekend die in dit onderzoek worden onderzocht naar de milieueffecten en energieopbrengst.

## 1.2 Windturbineopstellingen

In elk van de gebieden Vlasakkers, Leusderheide oost en Leusderheide west worden in deze studie 3 onderzoekopstellingen beschouwd met verschillende afmetingen. Omdat kleinere windturbines op kortere afstand van elkaar kunnen worden geplaatst, en omdat meer kleinere windturbines nodig zijn om eenzelfde energieopbrengst te realiseren, bestaan de onderzoekopstellingen met een kleiner formaat windturbine uit meer windturbines dan de onderzoekopstellingen met een groot formaat windturbine.

De bandbreedte van de windturbines is afwijkend van het onderzochte windturbineformaat in het planMER van de provincie Utrecht. De aanwezigheid van de civiele luchtvaartsradar is hoogstwaarschijnlijk beperkend in de maximale bouwhoogte. Hierop zijn de onderzochte opstellingsformaten aangepast naar wat haalbaar lijkt in de omgeving van de betreffende radarpost. De benaming groot, middel en klein in het voorliggend onderzoek betreft een relatieve duiding van het onderscheid tussen de gehanteerde windturbine afmetingen en duidt niet op een algemene categorisering van windturbineformaten.

Onderstaande tabel geeft een overzicht weer van de onderzoekopstellingen:

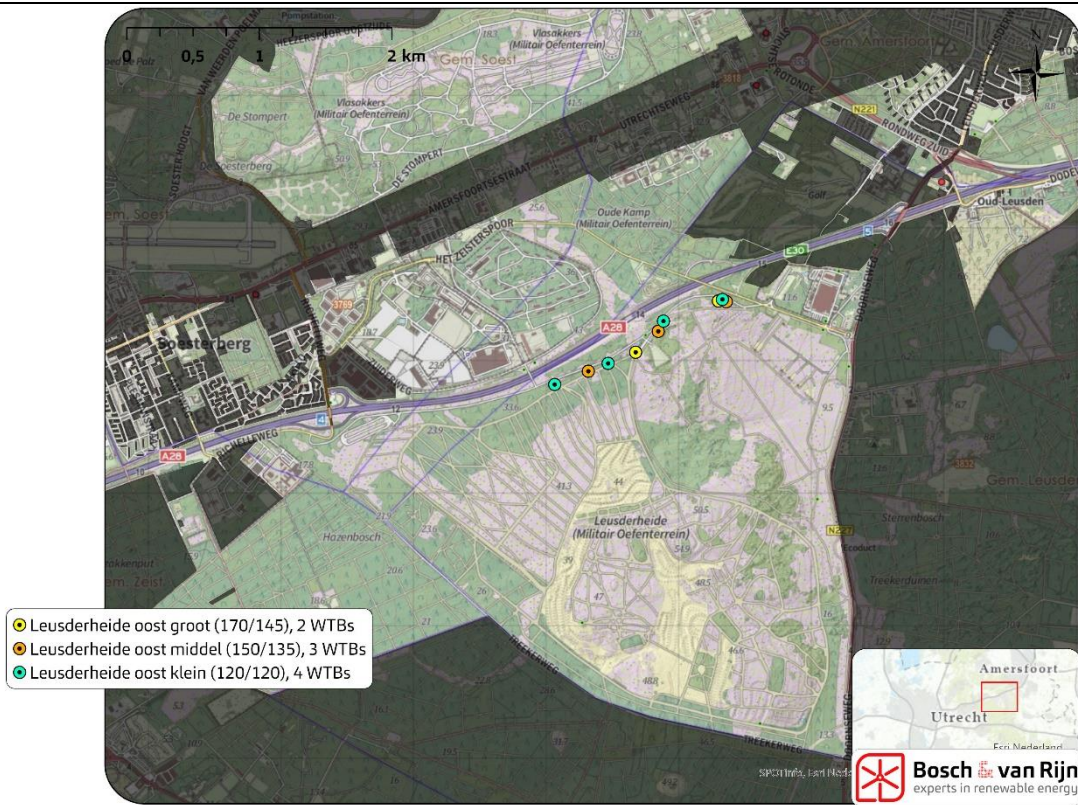
Tabel 1

Eigenschappen onderzoekopstellingen

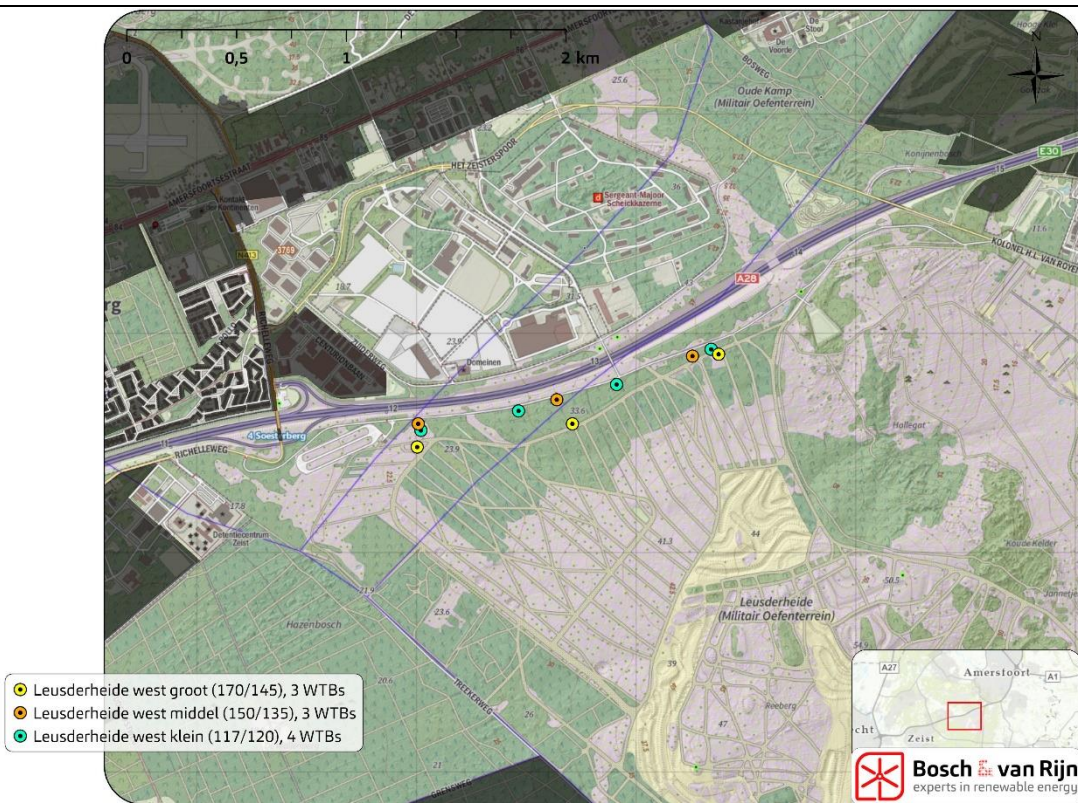
Onderzoekopstelling	Variant	Aantal turbines	Rotordiameter (m)	Ashoogte (m)	Tiphoogte (m)
Leusderheide oost	Groot	2	170	145	230
	Middel	3	150	135	210
	Klein	4	120	120	180
Leusderheide west	Groot	3	170	145	230
	Middel	3	150	135	210
	Klein	4	120	120	180
Vlasakkers	Groot	3	170	145	230
	Middel	4	150	135	210
	Klein	5	120	120	180

Onderstaande afbeeldingen tonen de ligging van elk formaat onderzoekopstelling binnen de drie onderzoeksgebieden.

**Figuur 1** Leusderheide oost overzichtskaart

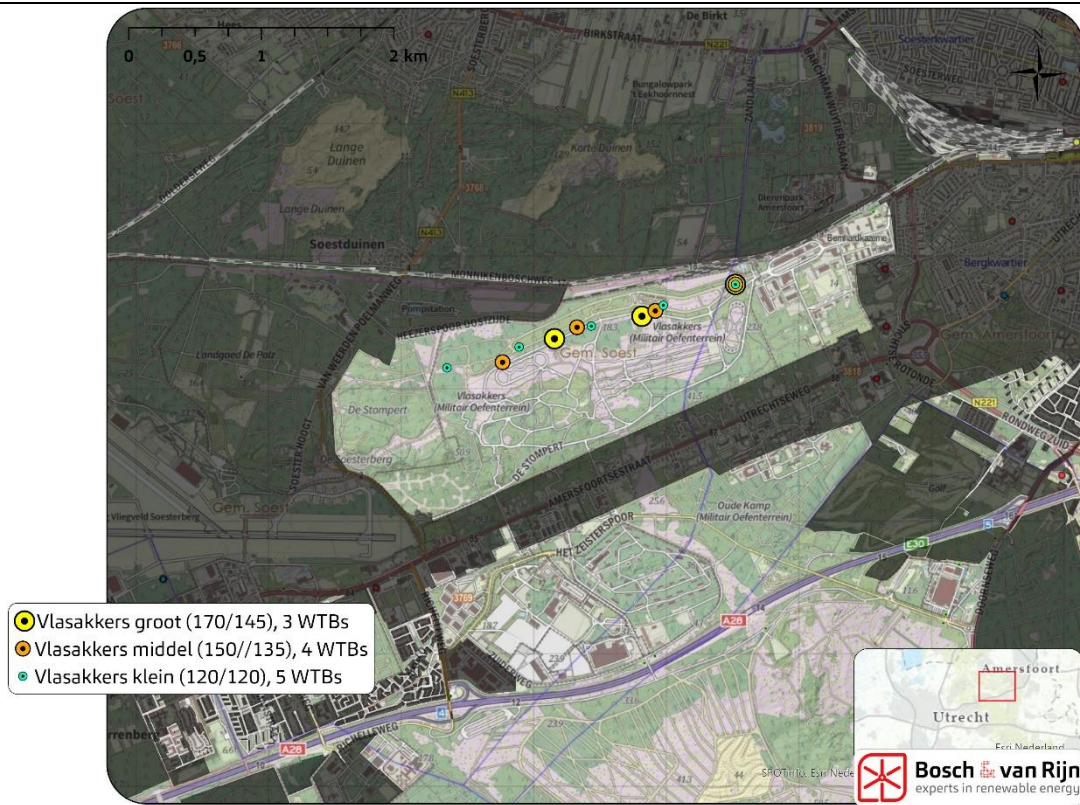


**Figuur 2** Leusderheide west overzichtskaart





**Figuur 3** Vlasakkers overzichtskaart



### 1.3 Concept windturbinebepalingen

Ter beoordeling van de milieueffecten van windparken waren in het Activiteitenbesluit Milieubeheer voorheen milieunormen op het gebied van geluid, slagschaduw en externe veiligheid opgenomen. Door de uitspraak van de Raad van State over Windpark Delfzijl-Zuid Uitbreiding<sup>1</sup> in 2021 zijn de regels uit het Activiteitenbesluit milieubeheer echter niet langer geldig voor windparken van meer dan 2 windturbines. Op 12 oktober (2023) is het Ontwerpbesluit Windturbines leefomgeving<sup>2</sup> gepubliceerd, waarin nieuwe landelijke conceptnormen zijn opgenomen. De nieuwe normen zullen naar verwachting in werking treden op 1 juli 2025. In onderstaande paragrafen is een korte toelichting op de voorgenomen normen uit de concept windturbinebepalingen gegeven.

#### 1.3.1 Geluid

De huidige normen van 47 dB  $L_{den}$  en 41 dB  $L_{night}$  gelden voor windparken van 1 of 2 turbines tot waarschijnlijk 1 juli 2025. Voor windparken van 3 of meer turbines moeten tot deze tijd lokale normen worden opgesteld. De geluidsnormen zijn in de concept windturbinebepalingen aangescherpt. Deze conceptnorm betreft een standaardwaarde van 45 dB  $L_{den}$  en 39 dB  $L_{night}$ , met de mogelijkheid om hiervan af

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

<sup>2</sup> <https://www.platformparticipatie.nl/windturbinesleefomgeving/ontwerpbesluit-windturbines-leefomgeving/default.aspx>

te wijken tot een grenswaarde van maximaal 47 dB  $L_{den}$  en 41 dB  $L_{night}$ . Deze rapportage brengt de geluidsc contouren van 47, 45 en 42 dB  $L_{den}$  in kaart. In de praktijk blijkt dat wanneer wordt voldaan aan de  $L_{den}$ -norm, ook wordt voldaan aan de bijbehorende  $L_{night}$ -norm, waardoor laatstgenoemde niet apart wordt weergegeven. In Hoofdstuk 2 staat een verdere toelichting op het onderdeel geluid.

### 1.3.2 *Afstandsnorm*

In de toelichting bij het besluit is aangegeven dat er vanuit milieubeschermingsoogpunt geen duidelijke noodzaak bestaat voor het opnemen van een Afstandsnorm. Desondanks is toch besloten om een afstandsnorm in de concept windturbinebepalingen op te nemen. De norm bedraagt een minimale afstand van 2 keer de tiphoogte tot windturbinegevoelige objecten.

### 1.3.3 *Slagschaduw*

De slagschaduwnorm is herzien en in concept vastgesteld op maximaal 6 uur per jaar en maximaal 20 minuten per dag, in plaats van de vorige norm van jaarlijks maximaal 17 dagen meer dan 20 minuten. In de praktijk zal er weinig veranderen, aangezien we reeds uitgingen van een strikte interpretatie van de norm die beperkt was tot een maximum van 5 uur en 40 minuten per jaar. Windturbines worden doorgaans voorzien van een stilstandvoorziening die de wieken stil kan zetten als normoverschrijdende slagschaduw zou optreden. Indien gewenst kan de slagschaduw tot nul uren worden beperkt. Hoe meer woningen slagschaduw van een opstelling zouden ondervinden, hoe meer de betreffende windturbines moeten worden stilgezet. Op sommige locaties zou dit kunnen leiden tot een niet-rendabel project.

### 1.3.4 *Externe veiligheid*

Met externe veiligheid wordt de (zeer kleine) kans beschreven dat een windturbine faalt en hierbij veiligheidsrisico's voor de omgeving oplevert. Omdat delen van een falende windturbine risico's voor personen kunnen opleveren, zijn gebouwen en terreinen waar personen verblijven beschermd middels normen voor het plaatsgebonden risico (PR). Vanuit het Activiteitenbesluit milieubeheer gold voorheen een *grenswaarde* voor het PR van  $10^{-5}$  per jaar bij 'beperkt kwetsbare' gebouwen en terreinen (zoals kleine kantoren en bedrijfsgebouwen). Bij 'kwetsbare' gebouwen en terreinen (zoals woningen en grote kantoorgebouwen) gold een grenswaarde voor het PR van  $10^{-6}$  per jaar. In het ontwerp van de nieuwe windturbinebepalingen is sprake van een grenswaarde voor het PR van  $10^{-6}$  per jaar voor (zeer) kwetsbare gebouwen en locaties en een *standaardwaarde* voor het PR van  $10^{-6}$  per jaar voor beperkt kwetsbare gebouwen en locaties. Het bevoegd gezag heeft de ruimte om op basis van een eigen, goed gemotiveerde, afweging van de standaardwaarde voor het PR bij beperkt kwetsbare objecten af te wijken.

In de toelichting op de nieuwe windturbinebepalingen staat vermeld dat deze afwijking maximaal mogelijk is tot een PR van  $10^{-5}$  per jaar. Deze maximale afwijking is echter niet als grenswaarde in de normen opgenomen. Een vermeende discrepantie tussen wettekst en toelichting dus. Het is daarom nog niet met zekerheid uitgesloten dat een PR van meer dan  $10^{-5}$  per jaar bij beperkt kwetsbare objecten

is toegestaan. In dit rapport worden de PR  $10^{-5}$  en PR  $10^{-6}$  in beeld gebracht. In de ruimtelijke analyse die aan dit onderzoek vooraf is gegaan is al rekening is gehouden met adviesafstanden die tot infrastructuur gelden. Hieruit volgt dat de overblijvende veiligheidsrisico's bij omliggende infrastructuur als toelaatbaar mogen worden beschouwd. Daarom ligt de focus van dit rapport op de externe veiligheidsrisico's relevant voor de gebouwen en terreinen van Defensie.

## 1.4 Toekomstige ontwikkelingen

---

### 1.4.1 *Ontwikkelingen Defensie*

De komende jaren zet defensie in op het versterken van de krijgsmacht en is er daarom meer oefenruimte nodig. Daarom zijn op de terreinen van Defensie de komende jaren ontwikkelingen beoogd die van invloed kunnen zijn op de ruimtelijke mogelijkheden voor windturbines. Op nationaal niveau krijgen deze ontwikkelingen plek in het Nationaal Programma Ruimte Voor defensie (NPRD), Lokaal wordt dit geborgd in het traject de Heuvelrug van A tot Z. De op dit moment beoogde ontwikkelingen zijn een herinrichting van de Bernhardkazerne en het kamp Soesterberg, de nieuwbouw van het Technology Centre Land en de uitbreiding van het raccordement bij de Vlasakkers. Daarnaast is onder andere een intensivering van de helikopterbewegingen voorzien.

De herinrichting van de Bernhardkazerne en het kamp Soesterberg kunnen de ruimtelijke mogelijkheden voor windturbines beperken wanneer op de kazernes gebouwen komen te staan waarop normen op het gebied van afstand, geluid, slagschaduw en externe veiligheid van toepassing zijn.

De beoogde ontwikkelingen ter plekke van de Bernhardkazerne, het kamp Soesterberg, het Technology Centre Land en het raccordement bij de Vlasakkers zijn op dit moment nog niet in voldoende detail bekend. In dit rapport wordt daarom alleen in beeld gebracht in welke mate sprake kan zijn van milieueffecten ter plekke van de terreinen met beoogde ontwikkelingen door Defensie, door deze terreinen op het kaartmateriaal weer te geven.

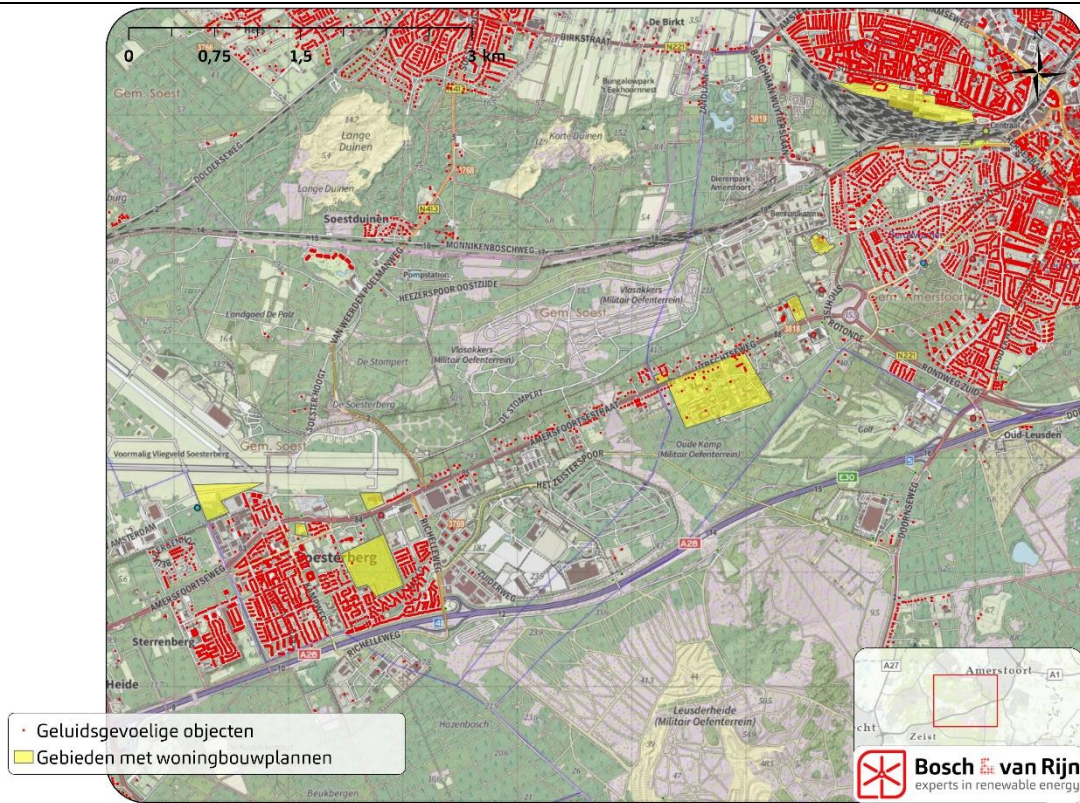
Met toekomstige helikopterbewegingen tussen de Vlasakkers en Leusderheide is in dit rapport rekening gehouden door opstellingen te onderzoeken waarbij windturbines langs de gehele noordgrens van het onderzoeksgebied worden geplaatst. De gedachte van de eerste fase van het onderzoek OER A28 Leusderheide en Vlasakkers is dat er altijd aan één van beide zijden van het onderzoeksgebied ruimte moet worden gehouden voor toekomstige helikopterbewegingen.

### 1.4.2 *Woningbouw*

Uit eerder ruimtelijk onderzoek is gebleken dat tussen de Vlasakkers en Leusderheide enkele gebieden met toekomstige woningbouwplannen gelegen zijn. Op Figuur 4 is weergegeven dat deze woningbouwplannen plaatsvinden in gebieden waar nu ook al bestaande woningen aanwezig zijn.

De toekomstige inrichting van de gebieden met woningbouwplannen is nog niet bekend. In dit rapport wordt daarom alleen in beeld gebracht in welke mate sprake kan zijn van milieueffecten ter plekke van de gebieden met woningbouwplannen, door deze gebieden op het kaartmateriaal weer te geven.

**Figuur 4** Gebieden met woningbouwplannen zoals opgenomen in eerder ruimtelijk onderzoek



## 1.5 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 betreft de geluidstudie waarbij de geluidscontouren van elke onderzoekopstelling is onderzocht. De cumulatieve geluidsbelasting i.c.m. de omgeving zal in een vervolgonderzoek aan bod komen. Hoofdstuk 3 betreft het slagschaduwonderzoek waarin voor elke onderzoekopstelling de slagschaduwcontouren inclusief opbrengstderiving is berekend. Tevens is gekeken naar de totale slagschaduwduur op campingterreinen en dierenpark Amersfoort. In Hoofdstuk 4 worden de externe veiligheidscontouren rondom de windturbines weergegeven. Tot slot bevat Hoofdstuk 5 een indicatieve berekening van de elektriciteitsopbrengst van de onderzoekopstellingen.

## Hoofdstuk 2 Geluid

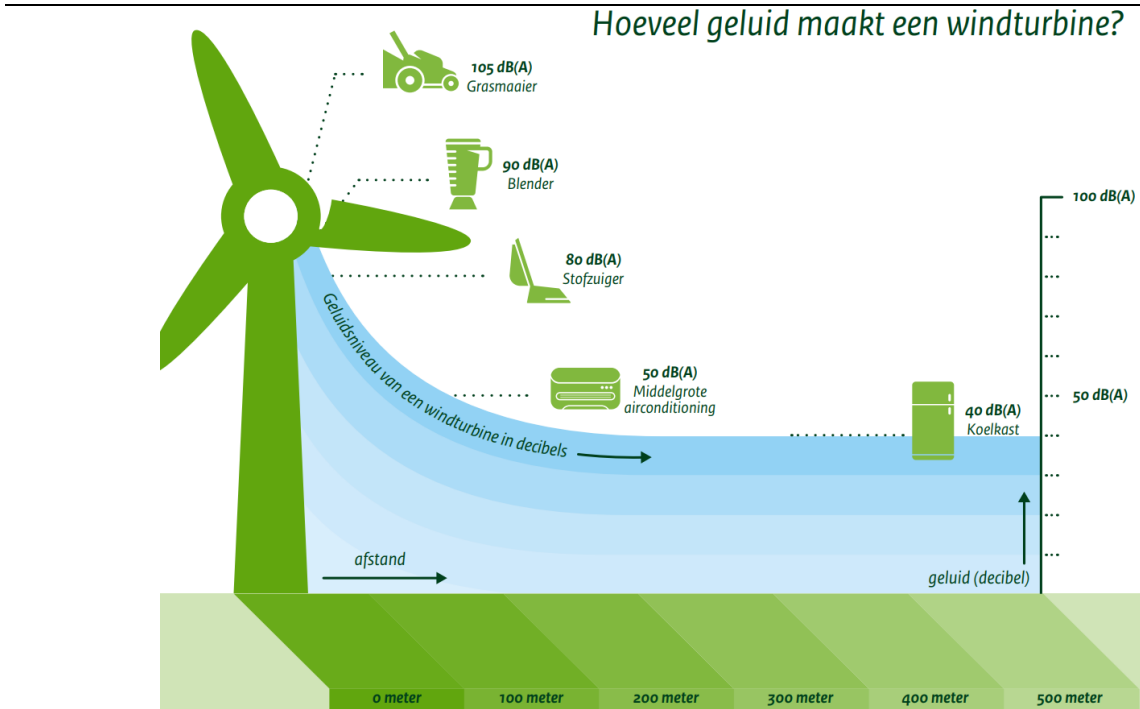
### 2.1 Waaruit bestaat geluid van windturbines?

Draaiende windturbines produceren naast elektriciteit ook geluid. Dit wordt vooral veroorzaakt doordat de wieken zich door de lucht bewegen, met de uiteinden als snelst bewegende delen. Windturbines produceren een geluid dat vaak als ‘zoevend’ of ‘zweepend’ wordt ervaren.

Voor het beperken van geluid en overlast kunnen normen worden vastgelegd, bijvoorbeeld in een bestemmingsplan of een omgevingsvergunning. Door innovaties bij de nieuwste generaties windturbines is het geluid minder dan bij oudere generaties.

Zie voor meer informatie bijvoorbeeld het memo ‘Windturbines en geluid’<sup>3</sup> van de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO). Paragraaf 2.7.2 gaat in op tonaal geluid en hoe daarmee om wordt gegaan.

**Figuur 5** Schematische weergave windturbinegeluid in vergelijking met andere bronnen. Bron: RVO, 2016.



<sup>3</sup> [Factsheet Geluid.PDF \(rvo.nl\)](#)

## 2.2 Samenvatting

De tabel hieronder geeft weer welke windturbintypen voor de verschillende afmetingen zijn beschouwd voor de berekeningen. Er is gekozen om met een representatief type van deze shortlist te werken, het is dus een windturbintype dat niet het stilte of luidste is in zijn klasse. Dit type is aangegeven in **rood**.

**Tabel 2 Shortlist van beschouwde windturbintypen voor het formaat klein (RD 120 meter / as 120 meter)**

Fabrikant	Type	MW	Diameter	Ashoogte	Tiphoogte	Lw max	LE, den
GE Wind	GE 2.75-120	2.75	120	120	180	106,0	109,3
Nordex	N117 3600	3.6	117	120	178,5	103,5	104,6
<b>Vestas</b>	<b>V117-3.6</b>	<b>3.6</b>	<b>117</b>	<b>120</b>	<b>178,5</b>	<b>107,0</b>	<b>107,6</b>
Siemens	SWT3.6-120	3.6	120	120	180	108,0	109,7

**Tabel 3 Shortlist van beschouwde windturbintypen voor het formaat middel (RD 150 meter / as 135 meter)**

Fabrikant	Type	MW	Diameter	Ashoogte	Tiphoogte	Lw max	LE, den
<b>Vestas</b>	<b>V150-4.2</b>	<b>6.0</b>	<b>150</b>	<b>135</b>	<b>210</b>	<b>104,9</b>	<b>107,6</b>
Nordex	N149 5.X	5.7	149	135	209,5	105,6	107,3
Enercon	E147 E2	5.0	147	135	208,5	106,4	109,8
Siemens Gamesa	SG 6.0-155	6.6	155	135	212,5	104,0	108,2

**Tabel 4 Shortlist van beschouwde windturbintypen voor het formaat groot (RD 170 meter / as 145 meter)**

Fabrikant	Type	MW	Diameter	Ashoogte	Tiphoogte	Lw max	LE, den
Enercon	Enercon E-175 EP5	6	175	145	232,5	106,5	110,3
Vestas	Vestas V172 7.2	7.2	172	145	231	106,9	110,6
Siemens Gamesa	SG 6.0-170	6.0	170	145	230	105,5	109,3
<b>Siemens Gamesa</b>	<b>SG 6.6-170</b>	<b>6.6</b>	<b>170</b>	<b>145</b>	<b>230</b>	<b>106,5</b>	<b>109,9</b>

Zoals de bovenstaande tabel aangeeft zijn de Vestas V117-3.6, de Vestas V150-4.2 en de Siemens Gamesa 6.6-170 representatieve windturbintypes in de betreffende windturbineklassen. Deze windturbintypes zijn gebruikt om de geluidsberekeningen mee uit te voeren.

## 2.3 Geluidsnorm

$L_{den}$  is een jaargemiddelde geluidbelasting, waarbij geluid dat in de avond- en nachtperiode optreedt zwaarder meetelt door een straffactor van +5 respectievelijk +10 dB (den staat voor Day-Evening-Night). Deze manier om de geluidbelasting te laten zien is in heel Europa gebruikelijk, en wordt in Nederland ook gebruikt voor bijvoorbeeld wegverkeerlawaai. Het voordeel van de  $L_{den}$ -methodiek is dat hiermee ook het lokale windaanbod mee wordt gewogen.  $L_{night}$  is de jaargemiddelde geluidbelasting in de nachtperiode (23:00 – 07:00).

Wanneer een woning 45 dB  $L_{den}$  (jaargemiddelde norm met straffactoren) ontvangt betekent dit een jaargemiddelde geluidbelasting zonder straffactoren van 39 dB(A). Deze 39 dB(A) is dus het daadwerkelijke gemiddelde geluidsniveau. Aangezien de windturbine een groot deel van de tijd op het maximale geluidsniveau draait, zal het maximale geluidsniveau niet veel hoger liggen dan het gemiddelde geluidsniveau, bij 45 dB  $L_{den}$  is het maximale geluidsniveau ca. 42 dB(A). Daarom zal het

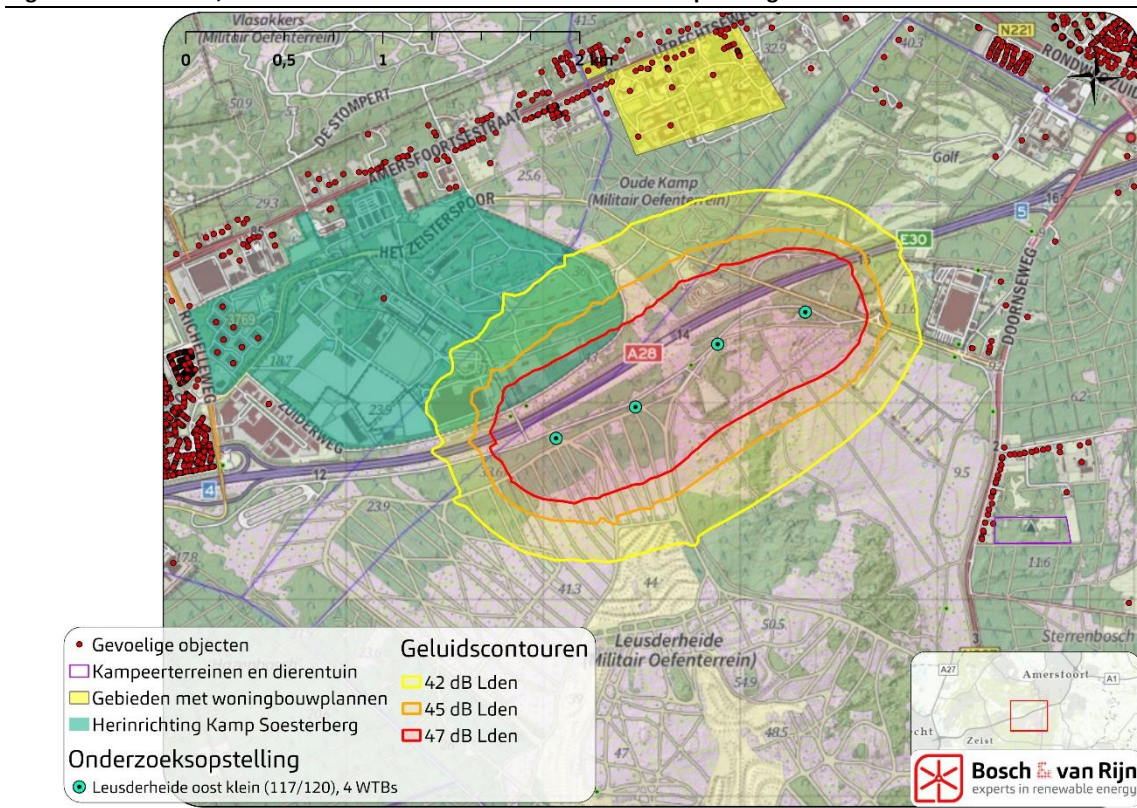
maximale geluidsniveau dat iemand ervaart of kan meten altijd onder het jaargemiddelde geluidsniveau liggen wanneer de straffactoren worden meegenomen.

## 2.4 Geluidscontouren

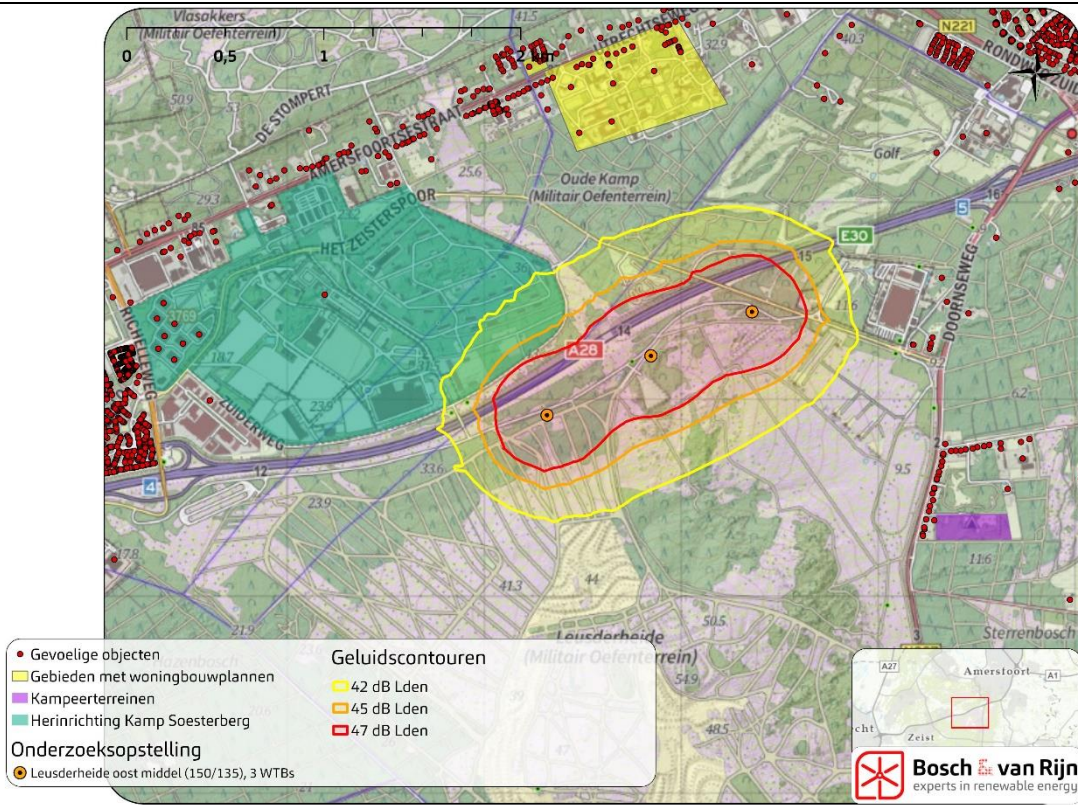
Met behulp van het softwarepakket GeoMilieu is berekend wat het geluidsniveau van het windpark is bij gevoelige objecten in de omgeving. Voor wat betreft het meten en berekenen van geluid wordt het Reken- en meetvoorschrift windturbines gevolgd. Er wordt uitgegaan van de lokale situatie, dus met de lokale bodemhardheid en de lokale windsnelheidsverdeling.

Figuur 6 tot en met Figuur 8 tonen de 42, 45 en 47 dB Lden geluidscontouren die de bevindingen inzichtelijk maken voor de locatie Leusderheide Oost.

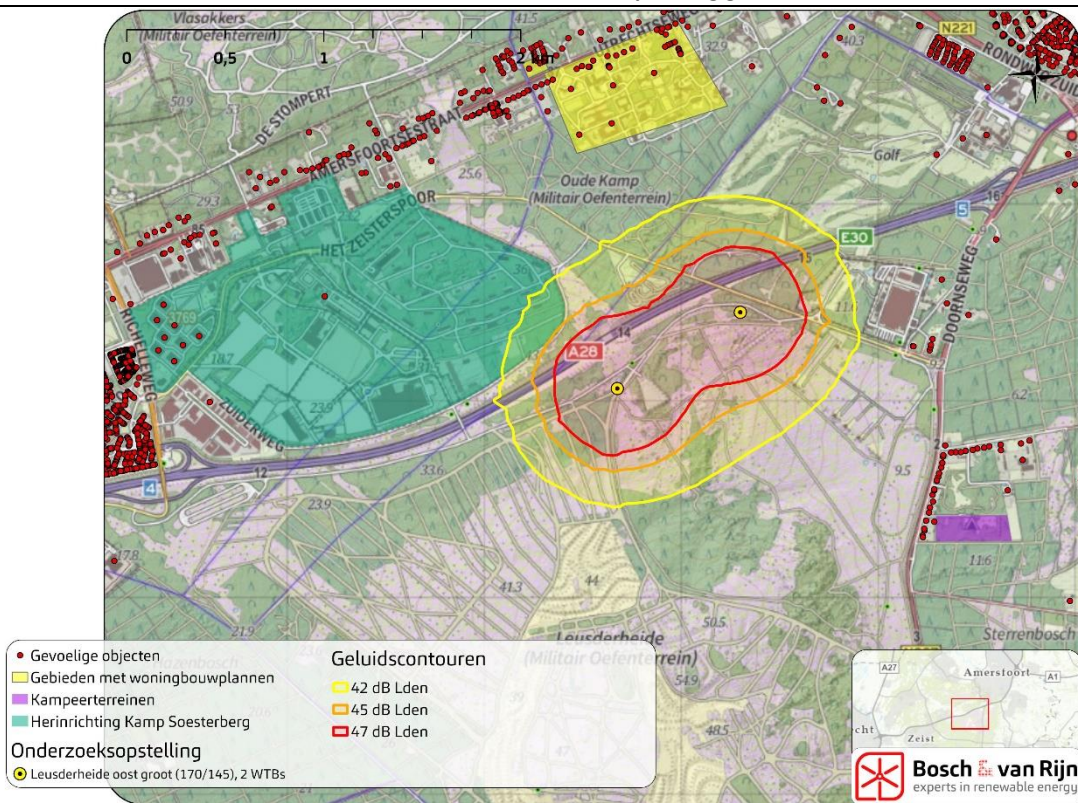
**Figuur 6 De 42, 45 en 47 dB Lden-contouren voor onderzoeksofstelling klein – Leusderheide Oost**



**Figuur 7** De 42, 45 en 47 dB Lden-contouren voor onderzoekopstelling middel – Leusderheide Oost



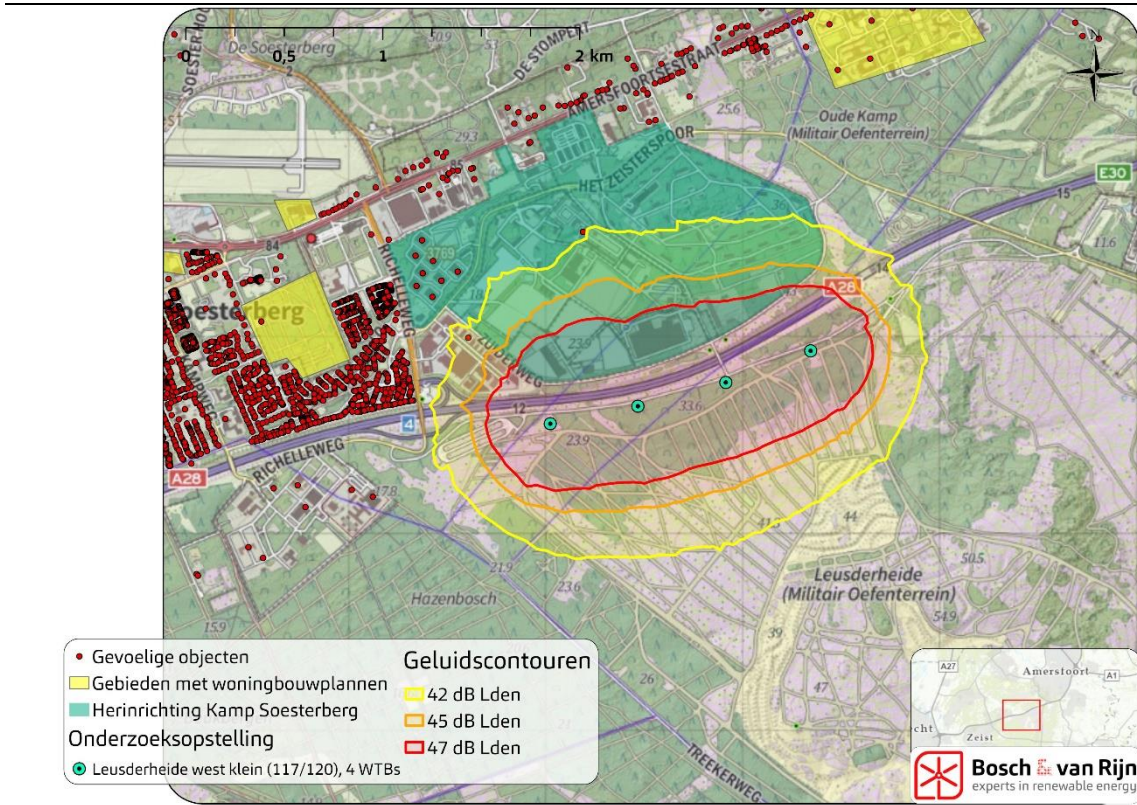
**Figuur 8** De 42, 45 en 47 dB Lden-contouren voor onderzoekopstelling groot – Leusderheide Oost



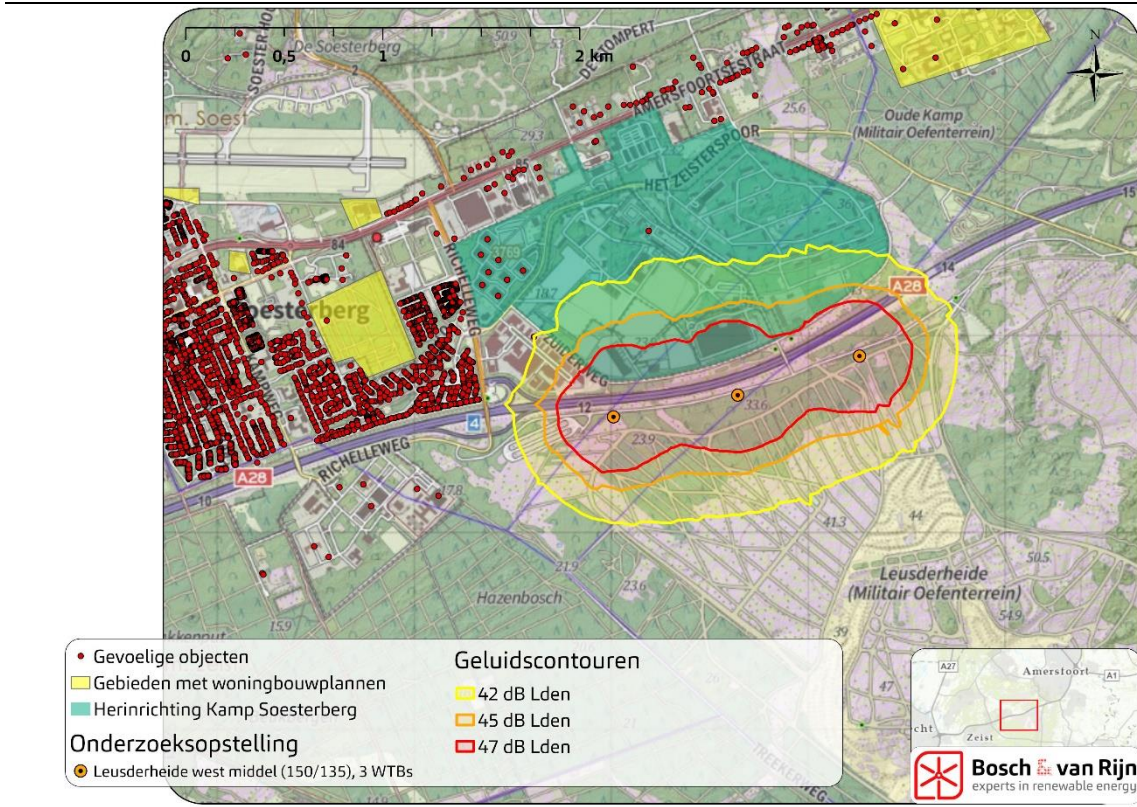


Figuur 9 tot en met Figuur 11 tonen een aantal geluidscontouren die de bevindingen inzichtelijk maken voor de locatie Leusderheide West.

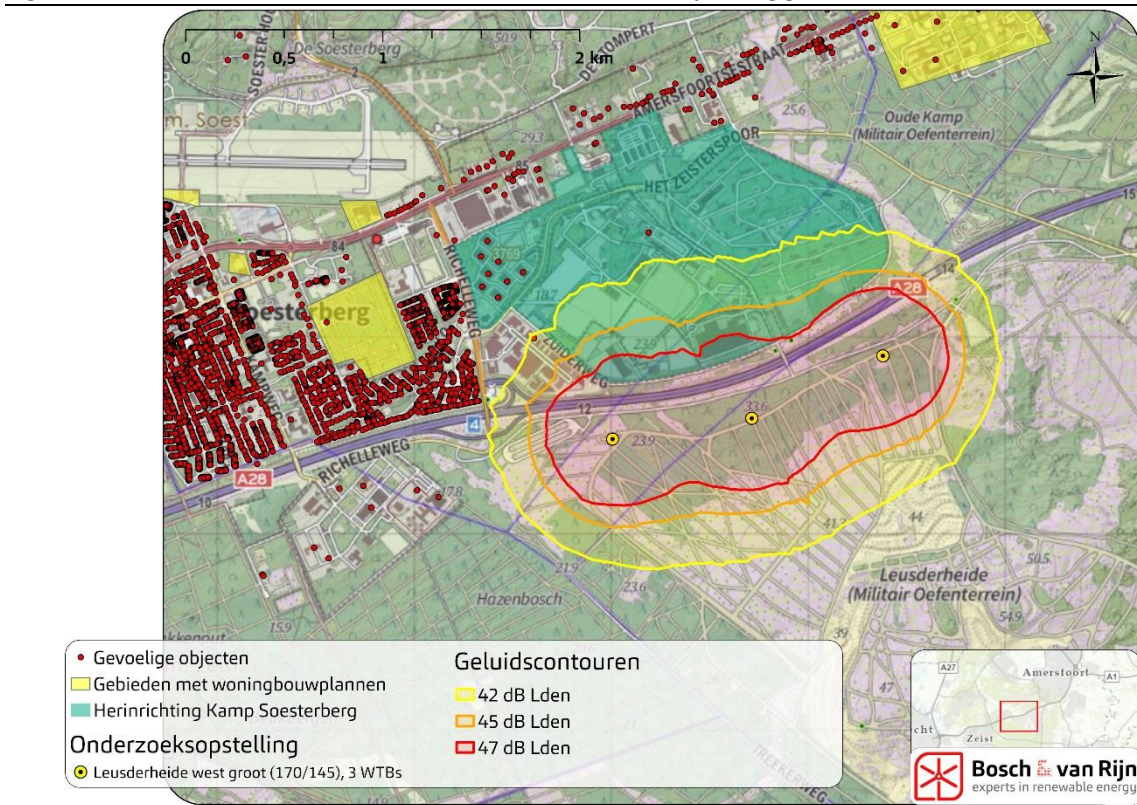
**Figuur 9** De 42, 45 en 47 dB Lden-contouren voor onderzoeksofstelling klein – Leusderheide West



**Figuur 10** De 42, 45 en 47 dB Lden-contouren voor onderzoekopstelling middel – Leusderheide West



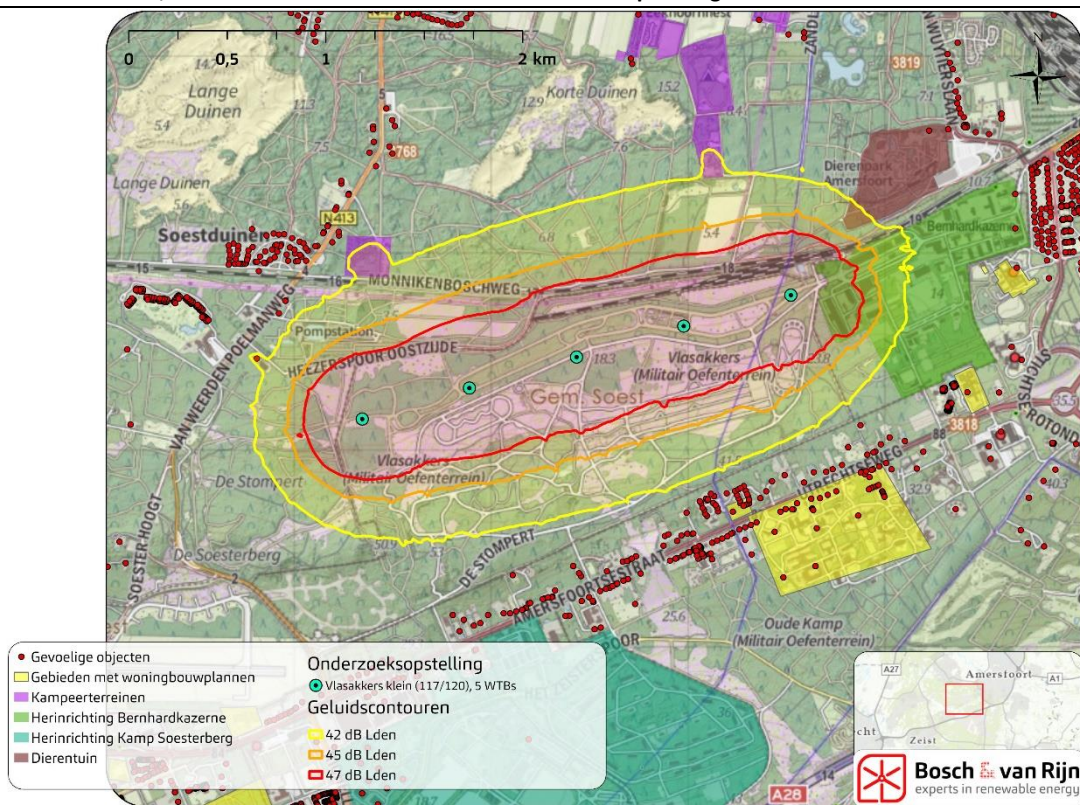
**Figuur 11** De 42, 45 en 47 dB Lden-contouren voor onderzoekopstelling groot – Leusderheide West



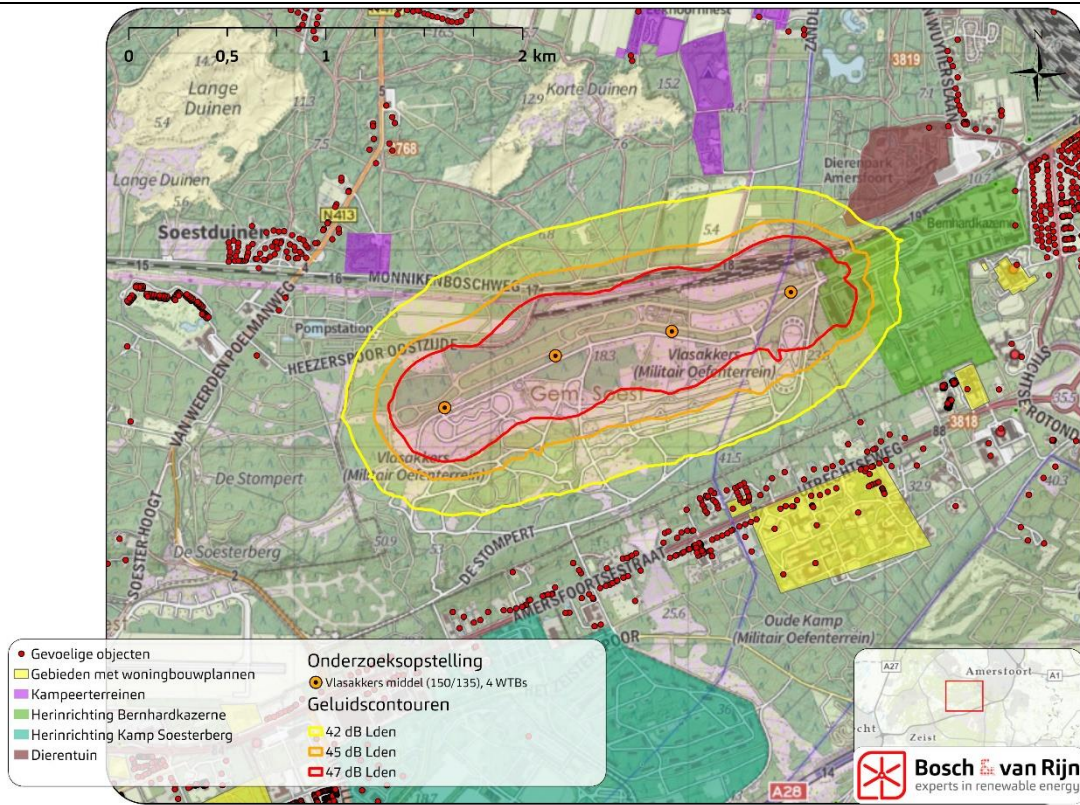
Voor de onderzoeksoptellingen Leusderheide West geldt dat de windturbines dichtbij de Herinrichting van Kamp Soesterberg liggen met als gevolg een hogere geluidsbelasting op delen van het terrein. De uiteindelijke herinrichting en of er al dan niet verblijfplaatsen worden ontwikkeld in het zuidelijke deel van de herinrichting kan bepalend zijn voor de plaatsingsmogelijkheden voor de windturbines.

Figuur 12 tot en met Figuur 14 tonen een aantal geluidscontouren die de bevindingen inzichtelijk maken voor de locatie Vlasakkers. De geluidscontouren laten duidelijk zien dat een geluidscontour verder reikt over de kampeerterreinen. Dit heeft te maken met het feit dat een verharde bodem geluid beter reflecteert, waardoor het geluid verder draagt.

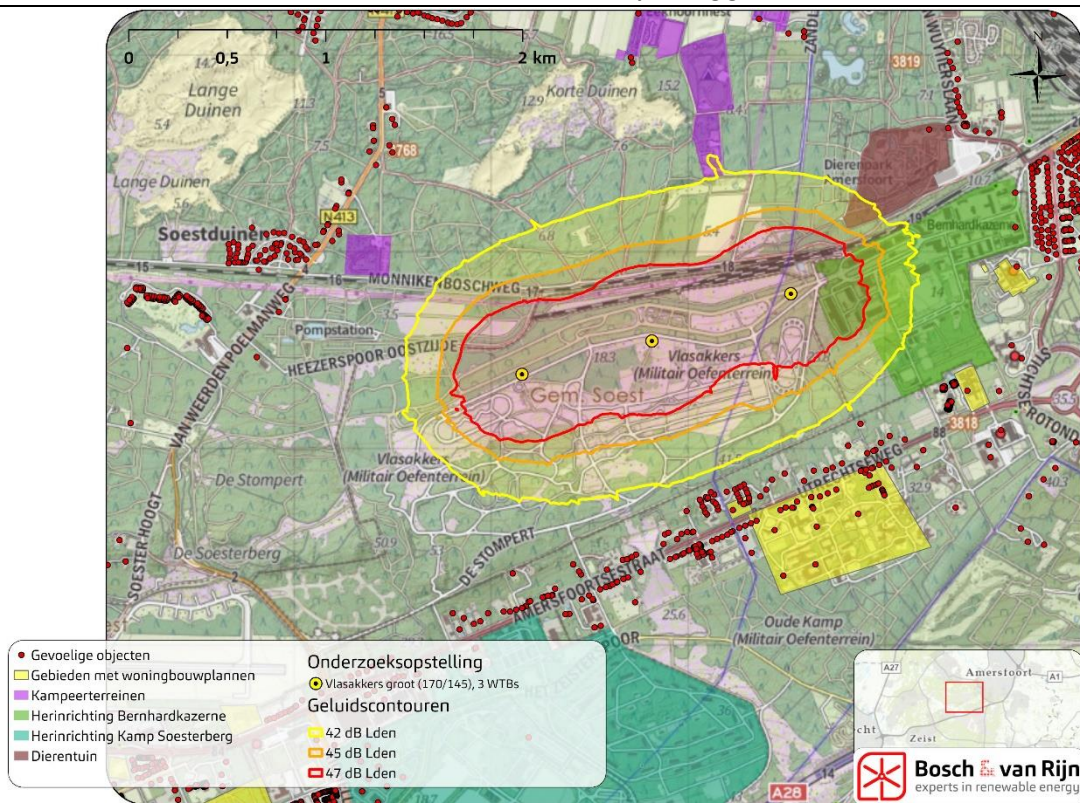
**Figuur 12** De 42, 45 en 47 dB Lden-contouren voor onderzoeksoptelling klein – Vlasakkers



**Figuur 13** De 42, 45 en 47 dB Lden-contouren voor onderzoekopstelling middel – Vlasakkers



**Figuur 14** De 42, 45 en 47 dB Lden-contouren voor onderzoekopstelling groot – Vlasakkers



## 2.5 Cumulatieve situatie

---

Voor de cumulatieve geluidssituatie kijken we eerst naar de huidige geluidsbelasting zonder de windturbines. Het RIVM heeft geluidssterktes in kaart gebracht per geluidsbron en heeft deze kaarten samengevoegd tot één rasterkaart met het cumulatieve geluidsniveau in  $L_{den}^4$ . In deze paragraaf laten we de geluidsbelasting zonder de windturbines zien. Vervolgens wordt in paragraaf 2.5 berekend wat de toename in de geluidsbelasting is van de windturbines ten opzichte van de huidige situatie.

De kaarten van het RIVM hebben we tot onze beschikking waar we een cumulatieve geluidsberekening mee kunnen uitvoeren. Mogelijk zijn er nog andere bronnen die ook van invloed zijn op de geluidsbelasting maar niet op deze kaart staan. De kaart bevat de volgende bronnen:

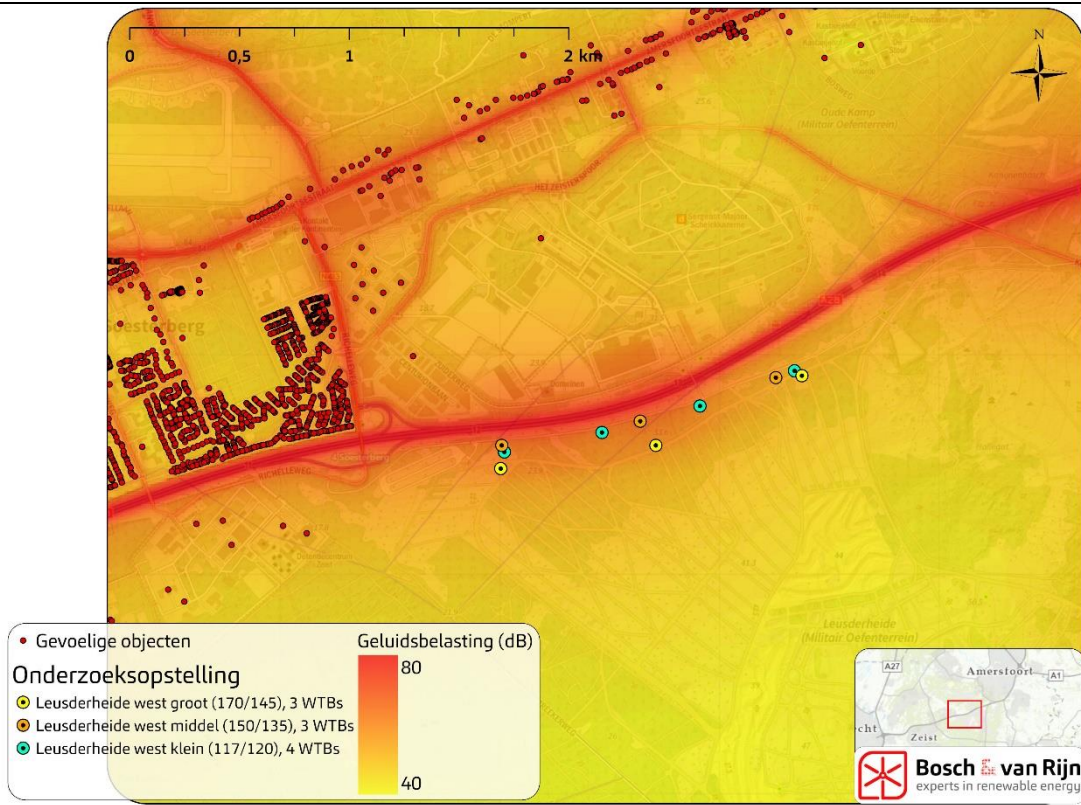
- Rijkswegen, gemeentelijke en provinciale wegen: gebaseerd op verkeersramingen uit 2017 ([www.emissieregistratie.nl](http://www.emissieregistratie.nl)).
- Railverkeer: gebaseerd op gegevens ten behoeve van richtlijn 2002/49/EG uit 2016 afkomstig van Prorail.
- Luchtvaart: gebaseerd op geluidkaarten die door het Nationaal Lucht en Ruimtevaartlaboratorium die zijn opgesteld in 2016.
- Industrie: op basis van kentelgegevens voor verschillende typen van industrieterreinen.
- Windturbines: gebaseerd op gegevens uit 2020 van RIVM, RWS en Windstats.

In onderstaande figuren is de  $L_{cum}$  oude situatie op en rond de drie locaties weergegeven. Dit geeft een beeld de huidige geluidsbelasting zonder de windturbines weer.

---

<sup>4</sup> <https://data.overheid.nl/dataset/7133-geluid-in-nederland--lden->

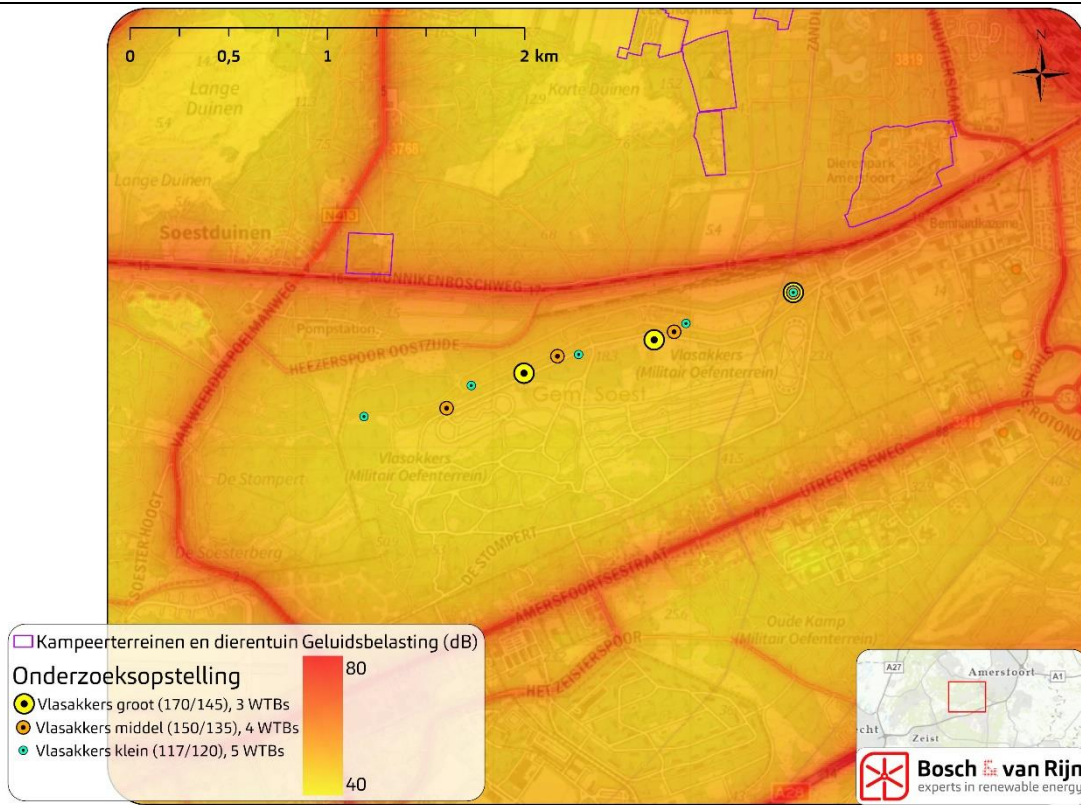
**Figuur 15** Lcum oud Leusderheide oost



**Figuur 16** Lcum oud Leusderheide west



**Figuur 17** Lcum oud Vlasakkers



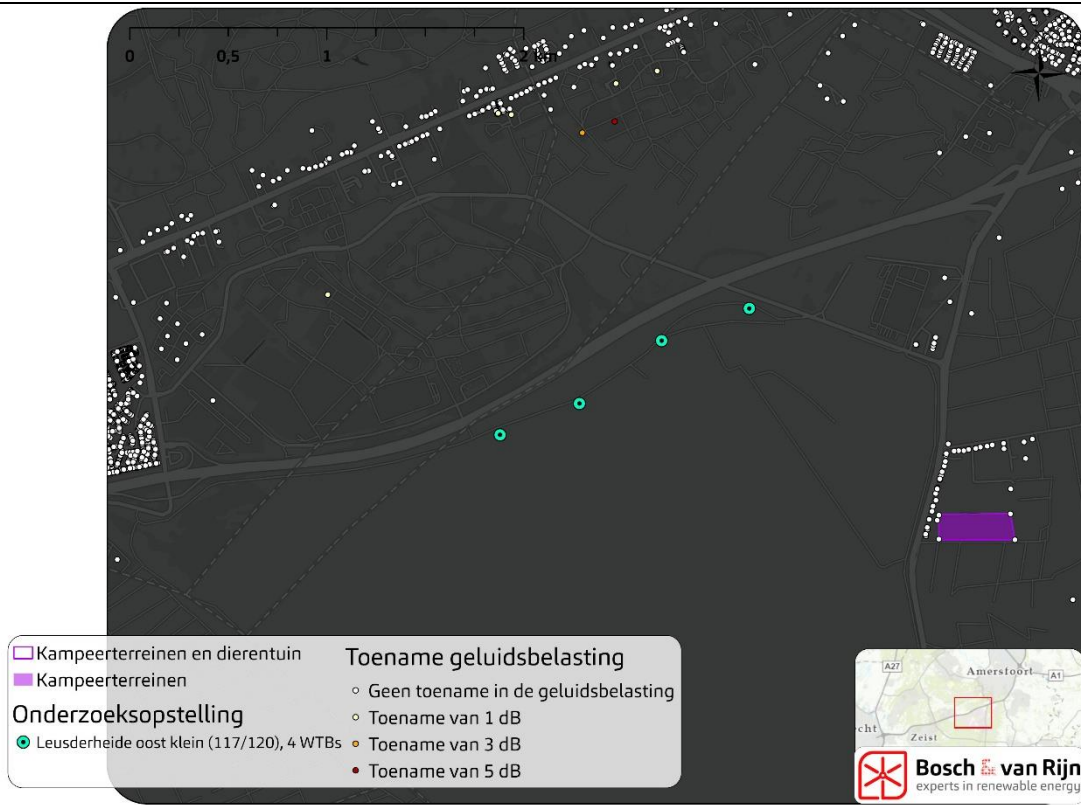
## 2.6 Toename cumulatieve geluidsbelasting

De toename van  $L_{cum}$  is voor drie windturbineopstelling weergegeven in Figuur 18 t/m Figuur 20. Voor veel woninglocaties geldt dat de huidige geluidsbelasting zonder windturbines al relatief hoog is (paragraaf 2.5), waardoor de toename van het windturbinegeluid relatief beperkt is. Echter, op locaties waar het geluidsniveau zonder windturbines relatief laag is, vertoont het windturbinegeluid in sommige gevallen wel een toename in geluidsbelasting.

Voor elke opstelling wordt alleen de variant met de meeste turbines (kleine variant) weergegeven wat betreft de toename in geluidsbelasting. In de figuren wordt alleen de toename in de geluidsbelasting van de kleine opstelling weergegeven omdat hier de toename in de geluidsbelasting op de omliggende objecten het grootst is. Omwille van de leesbaarheid zijn de andere figuren niet in dit rapport opgenomen. In de figuren is de toename in de geluidsbelasting van de windturbineopstelling ten opzichte van  $L_{cum,oud}$  (cumulatieve geluidsbelasting zonder de windturbines) te zien.

Het is van belang op te merken dat deze toename betrekking heeft op de gemiddelde geluidsbelasting zoals weergegeven in de kaarten van paragraaf 2.4. In de avond- en nachturen is de geluidsbelasting doorgaans lager dan het gemiddelde, wat resulteert in een hogere toename van het windturbinegeluid in de cumulatieve geluidssituatie.

**Figuur 18** Toename geluidsbelasting ten opzichte van huidige situatie – Leusderheide oost

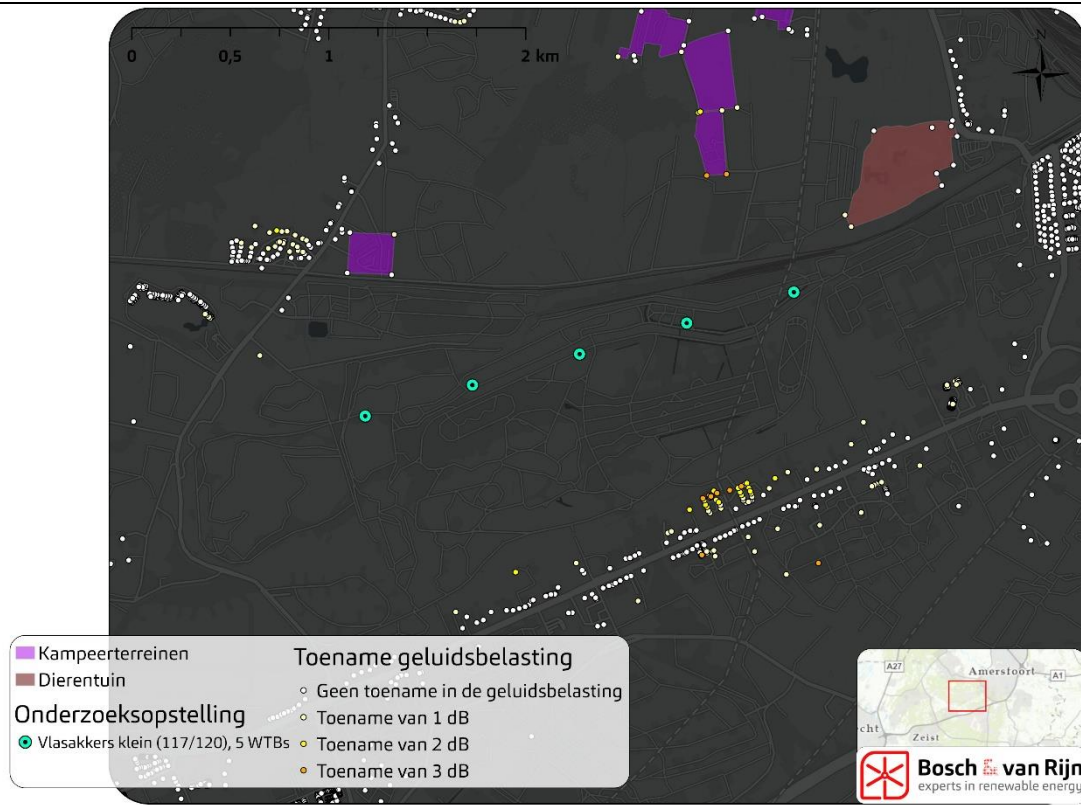


**Figuur 19** Toename geluidsbelasting ten opzichte van huidige situatie – Leusderheide west





**Figuur 20** Toename geluidsbelasting ten opzichte van huidige situatie - Vlasakkers



## 2.7 Laagfrequent geluid

Laagfrequent geluid is het geluid met een frequentie tussen 4-160 Hz. Een gedeelte van het geluid van windturbines zit in deze frequentie. De vrees bestaat dat laagfrequent geluid mensen ziek maakt en dat de Nederlandse geluidsnorm hier onvoldoende bescherming voor biedt. Deze zorg komt voort doordat bij de vaststelling van de voorheen voor windturbinegeluid voorheen geldende norm van 47 dB op basis van Lden met deze informatie geen rekening zou zijn gehouden.

Om deze reden heeft de Staatssecretaris van I&M in 2014 een brief aan de Tweede Kamer gestuurd<sup>5</sup> met twee onderzoeken van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) en een literatuurstudie naar laagfrequent geluid door Bureau LBP/Sight. Op grond van de inzichten uit deze onderzoeken concludeerde de Staatssecretaris dat de omgeving bij toepassing van een norm van 47 dB Lden voldoende is beschermd tegen laagfrequent geluid. Mocht (bijvoorbeeld in navolging van de concept windturbinebepalingen) een strengere norm dan 47 dB Lden worden gehanteerd dan zal deze conclusie natuurlijk nog sterker van toepassing zijn.

<sup>5</sup> kenmerk brief: IENM/BSK-2014/44564

### 2.7.1 *Onderzoek naar laagfrequent geluid ten gevolge van windturbines<sup>6</sup>*

In opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat – Directie Duurzame Leefomgeving en Circulaire Economie (hierna te noemen: ministerie I&W) is een onderzoek uitgevoerd naar binnenniveaus van laagfrequent geluid van windturbines in woningen. Dit onderzoek heeft plaatsgevonden in aanvulling op het planMER Windturbinebepalingen Leefomgeving<sup>7</sup>.

Uit dit onderzoek is geconcludeerd dat het geluidsspectrum van een moderne windturbine min of meer vergelijkbaar is met het spectrum van overige geluidbronnen die enigszins een laagfrequent geluidkarakter hebben, zoals wegverkeerslawaaai en industrielawaaai. Door adequate toepassing van serrations bij een windturbine wordt de totale geluidemissie van een windturbine qua dB(A)-niveau gereduceerd, maar bevat het spectrum relatief gezien wel meer laagfrequent geluid. Serrations zijn de gekartelde randen langs de wijk van een windturbine die zorgen voor een verbeterde luchtstroom en daardoor een lager geluidsniveau.

Uitgaande van een gemiddelde laagfrequente geluidisolatie treden er in de beschouwde situaties laagfrequente geluidniveaus binnen woningen op die de NSG referentiecurve (deels) overschrijden. Er kan dus in de onderzochte situaties op enig moment sprake zijn van hoorbaar laagfrequent geluid in woningen voor een deel van de groep personen die gevoelig is voor laagfrequent geluid. In de onderzochte situaties is er echter geen sprake van overschrijding van de Vercammen-curve. De Vercammen-curve beschrijft de laagfrequente geluidniveaus waarbij hinder kan optreden. Op basis hiervan mag verwacht worden dat er in het algemeen geen relevante hinder ten gevolge van laagfrequent geluid zal optreden.

Bij een beperkte laagfrequente geluidwering van een woning kan er op enig moment sprake zijn van overschrijding van de Vercammen-curve indien wordt uitgegaan van een grenswaarde van 44 dB Lnight (50 dB Lden) en windturbines met serrations. In alle overige onderzochte situaties (bij windturbines zonder serrations en/of in situaties waarbij voldaan wordt aan een grenswaarde van 41 dB Lnight (47 dB Lden)) wordt wel aan de Vercammen-curve voldaan. Ook voor deze situatie mag verwacht worden dat er in het algemeen geen relevante hinder ten gevolge van laagfrequent geluid zal optreden.

Samenvattend kan in algemene zin worden gesteld dat er sprake kan zijn van enig hoorbaar laagfrequent geluid in woningen, doch dat hinder ten gevolge van laagfrequent geluid beperkt zal zijn als een grenswaarde van 41 dB Lnight (= 47 dB Lden) wordt gerespecteerd. Een strengere norm zal logischerwijs leiden tot nog geringere effecten.

### 2.7.2 *Tonaal (laagfrequent) geluid*

Uit geluidmetingen die recent zijn uitgevoerd bij enkele windturbines, waar sprake was van klachten over de aanwezigheid van bromtonen, is gebleken dat sommige

<sup>6</sup> [https://www.commissiener.nl/projectdocumenten/012687\\_3615\\_6.\\_Onderzoek\\_naar\\_laagfrequent\\_geluid\\_ten\\_gevolge\\_van\\_windturbines.pdf](https://www.commissiener.nl/projectdocumenten/012687_3615_6._Onderzoek_naar_laagfrequent_geluid_ten_gevolge_van_windturbines.pdf)

<sup>7</sup> Peutz, Onderzoek naar laagfrequent geluid ten gevolge van windturbines, 2023

turbines afwijkende kenmerken vertoonden ten opzichte van de opgave van de fabrikant. Geluid dat een dominante toon heeft zoals jankende tandwielkasten of brommende transformatoren noemen we tonaal geluid. Dit was onder meer het geval bij enkele windturbines in Windpark N33. Uit de geluidmetingen is gebleken dat het geluidsspectrum van de windturbine niet overeenkomt met de certificering, als gevolg van een bouw- of ontwerpfout van de betreffende windturbine. In dat geval is sprake van pieken bij bepaalde frequenties waardoor tonaal geluid kan worden waargenomen. Dit wordt omschreven en waargenomen als bromtonen. Tonaal geluid is vele malen hinderlijker dan het standaard geluid van windturbines dat geen tonaal karakter heeft en alleen ruis veroorzaakt.

De berekeningen worden uitgevoerd met de opgave van de fabrikant (die overigens zijn verkregen uit gecertificeerde metingen). Met behulp van geluidmetingen en handhavingsvoorschriften moet na de bouw worden gecontroleerd of een windturbine afwijkt van de vergunde situatie en moeten eventuele afwijkingen ongedaan worden gemaakt. Nieuw binnen geluidsnormen in de concept windturbinebepalingen is de introductie van een toeslag van 5 dB Lden voor tonaal geluid die in de voorschriften kan worden opgenomen. Het doel van de toeslag is om hinderlijke tonaliteit (brom geluid) te voorkomen, door middel van een (straf)correctie. De toeslag geeft het bevoegd gezag de mogelijkheid handhavend op te treden indien windmolens tonaal geluid veroorzaken.

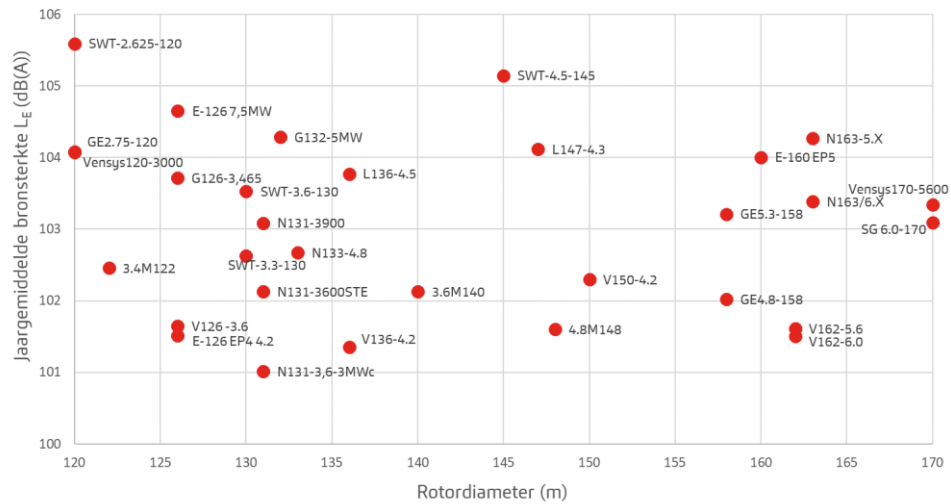
## **2.8 Relatie tussen geluid en afmetingen**

---

In tegenstelling tot wat vaak gedacht wordt maken grotere windturbines niet per se meer geluid dan kleinere. Hoewel het wel zo is dat het op grotere hoogte harder waait, zijn er ook technische ontwikkelingen die het aerodynamische geluid van de wieken door de lucht verminderen. Daarnaast geldt: hoe groter de windturbine, des te langzamer draaien de wieken.

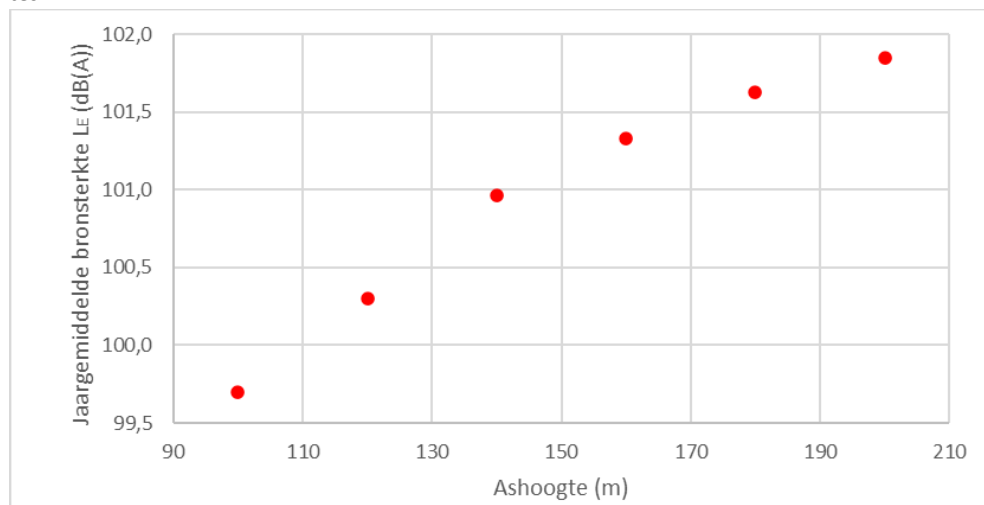
Onderstaande figuur toont van een groot aantal moderne windturbintypes de jaargemiddelde geluidsproductie voor een locatie in het binnenland van Nederland.

**Figuur 21** Jaargemiddelde bronsterkte van een groot aantal moderne windturbines, bij gelijke ashoogte. De precieze ashoogte (en de locatie binnen Nederland) hebben uiteraard enig effect op de hoogte van de jaargemiddelde bronsterkte, maar dit effect zal voor alle types min of meer gelijk zijn



Uit deze figuur is af te lezen dat grotere windturbines (met een grotere rotordiameter) een geluidsbelasting hebben die vergelijkbaar is met kleinere windturbines. Tegelijkertijd wekken grotere windturbines veel meer elektriciteit op, waardoor er minder windturbines nodig zijn om hetzelfde energiedoel te halen. Windturbines met een grotere rotordiameter hebben doorgaans wel een hogere ashoogte en daarmee een hogere bronsterkte omdat het op grotere hoogte harde waait. Daarom is bovenstaande grafiek enigszins vertekent maar is in onderstaande figuur het effect van de ashoogte op de jaargemiddelde bronsterkte voor een representatief windturbintype weergegeven.

**Figuur 22** Jaargemiddelde bronsterkte van een moderne windturbine (Vestas V150) bij verschillende ashoogtes.



# Hoofdstuk 3 Slagschaduw

## 3.1 Inleiding

Slagschaduw van een windturbine is de bewegende schaduw van de draaiende wieken. Als slagschaduw op het raam van een woning valt kan dat als hinderlijk worden ervaren. Dit hoofdstuk bevat een zogenaamd slagschaduwonderzoek, waarin de te verwachten slagschaduwduur bij woningen rondom de onderzoekopstellingen is berekend. Tevens is de benodigde stilstand om te kunnen voldoen aan wet- en regelgeving berekend. De slagschaduwberekening houdt geen rekening met objecten die zich tussen de windturbines bevinden, zoals gebouwen of bomen. Hierdoor kan het voorkomen dat er uiteindelijk minder slagschaduw optreedt dan aanvankelijk berekend en weergegeven in het onderzoek. De resultaten betreffen dus een worst-case berekening.

Het doel van het slagschaduwonderzoek is om de opbrengstderving (verlies aan productie) te berekenen wanneer aan de 0-uur of 6-uur slagschaduwnorm gehouden wordt. Een 0-uur norm betekent dat geen van de omliggende woningen slagschaduw mogen ontvangen van één van de windturbines. Een 6-uur norm houdt in dat elke woning maximaal 6 uur slagschaduw per jaar ontvangt, met maximaal 20 minuten per dag. Dit is de conceptnorm en het voorgestelde nieuwe wettelijke maximum.

## 3.2 Windturbineopstellingen

In deze studie wordt de slagschaduwduur berekend voor drie locaties in de Vlasakkers en Leusderheide, waarbij op elke locatie naar drie verschillende windturbineafmetingen wordt gekeken.

Tabel 5 Eigenschappen onderzoekopstellingen

Onderzoekopstelling	Variant	Aantal turbines	Rotordiameter	Ashoogte	Tiphoogte
Leusderheide oost	Groot	2	170	145	230
	Middel	3	150	135	210
	Klein	4	120	120	180
Leusderheide west	Groot	3	170	145	230
	Middel	3	150	135	210
	Klein	4	120	120	180
Vlasakkers	Groot	3	170	145	230
	Middel	4	150	135	210
	Klein	5	120	120	180

### 3.2.1 *Windturbinetypes*

Er zijn drie windturbinetypes geselecteerd voor het slagschaduwonderzoek.

**Tabel 6** Onderzochte windturbines voor de drie locaties

Variant	windturbinetype	Ashoogte	Rotordiameter
Groot	Siemens Gamesa SG 6.6-170	145	170
Middel	Vestas V150-4.5	135	150
Klein	Siemens SWT-2.5-120	120	120

## 3.3 **Berekening**

Met behulp van het softwarepakket WindPRO is berekend hoeveel slagschaduw er in de omgeving van het windpark ondervonden kan worden, gebaseerd op langjarige gemiddelde windsnelheid en zonaanbod per maand. In dit onderzoek is de 0-uur en 6-uur slagschaduwcontour getekend voor de negen scenario's. Dit is een grafische weergave van de hoeveelheid slagschaduw op elke locatie rondom de windturbines. Binnen de 0-uur contour treedt meer dan 0 minuten slagschaduw per jaar op en daarbuiten treedt er geen slagschaduw op.

Daarnaast is voor de toetsing aan de 6-uur slagschaduwnorm ter plaatse van alle omliggende woningen berekend hoelang er per jaar bewegende slagschaduw op kan treden. Zie bijlage voor een uitdraai van de WindPRO-berekening.

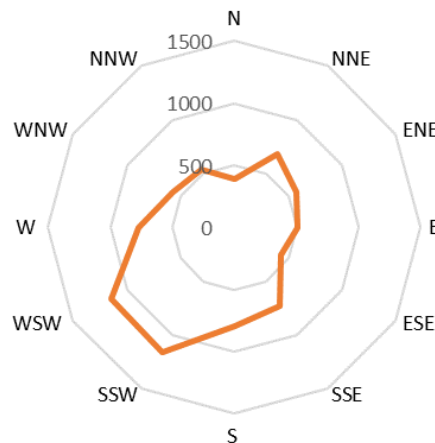
### 3.3.1 *Windaanbod*

Om de hoeveelheid slagschaduw op een specifieke locatie te berekenen, is het van belang om te weten uit welke richting de wind waait, en hoe hard het waait. Immers als de windsnelheid te laag is, staat de windturbine stil. Deze grens ligt op ongeveer 3 m/s (op ashoogte). Ook boven de 25 m/s worden de windturbines afgeschakeld. Dergelijke windomstandigheden (zware storm) gaan echter zelden gepaard met zonschijn.

Een moderne windturbine is gemiddeld zo'n 95% van de tijd in bedrijf. Wij gaan in dit onderzoek uit van 96%, om aan de conservatieve kant te blijven wat betreft de veroorzaakte slagschaduw. Onderstaande grafiek geeft de langjarige windrichtingsverdeling weer van meteorostation de Bilt.

De afstand tot de projectlocatie is ca. 13 km. Dit is voor de doeleinden van het slagschaduwonderzoek voldoende dichtbij: in heel Nederland geldt dat de wind overwegend uit het zuidwesten waait.

**Figuur 23** Windrichtingsverdeling station de Bilt in uren per jaar.



### 3.3.2 Zonaanbod

Het zonaanbod is in de berekening gebaseerd op het zonaanbod in De Bilt (de dichtstbijzijnde meetpost waarvan bij de auteur data bekend is, op een afstand van 13 km). Zie de bijlage met de WindPRO-rekenresultaten voor de precieze waarden.

Zomer- & wintertijd hebben geen effect op de duur van de schaduw, maar wel op het moment van de dag waarop schaduw plaatsvindt. Tijdswijzigingen vinden plaats iedere laatste zondag van maart en laatste zondag van oktober. Het effect hiervan is meegenomen in de berekening.

### 3.3.3 Aannames

De berekening gaat uit van de realistisch gemiddelde situatie. Hiertoe wordt een aantal aannames gedaan om de situatie te benaderen zoals die werkelijk zal optreden:

- ❖ **Correctie voor de gemiddelde zonneshijnduur;** De zon schijnt (overdag) niet altijd vanwege de aanwezigheid van bewolking (en mist); op basis van klimatologische gegevens van het KNMI voor de gemiddelde zonneshijnduur wordt een maandelijks getal afgeleid voor de kans dat de zon daadwerkelijk schijnt. Op deze locatie is gebruik gemaakt van KNMI-gegevens van station De Bilt.
- ❖ **Correctie voor stilstand;** Als een windturbine niet draait is er ook geen sprake van slagschaduw. Dit is bijvoorbeeld het geval bij lage windsnelheden (minder dan ca. 3m/s), dan draait een windturbine (nog) niet en bij zeer hoge windsnelheden (boven 25m/s) wordt een windturbine uit veiligheidsoverwegingen stilgezet. Verder worden windturbines stilgezet tijdens onderhoudswerkzaamheden.
- ❖ **Correctie voor de windrichting;** Op basis van windmetingen op de gondel wordt de windturbine zo gedraaid dat bladen altijd staan in de richting

waar de wind vandaan komt. Afhankelijk van de gemiddelde windrichtingsverdeling wordt een correctiefactor afgeleid aangezien de grootte en positie van de schaduw verandert met de positie van de gondel.

- ❖ **Modellering van woningen;** Woningen worden in de software gemodelleerd als objecten met een breedte van 8 meter en een hoogte van 5 meter, op 0,5 meter boven het maaiveld. Hierbij wordt voorts aangenomen dat de woning in alle richtingen slagschaduw ontvangt. Er is in deze modellering dus geen rekening gehouden met de oriëntatie van de woning en de grootte van de ramen in de gevel. Hiermee is een 'worst-case' benadering toegepast. Overigens is de hoogte van de woning van zeer beperkte invloed, aangezien de schaduw van de windturbine vrijwel nooit de ene verdieping wel, en de andere niet zal beslaan.

Bovenstaande correcties zijn gebaseerd op gegevens over het klimaat. De correctie van de gemiddelde zonneschijnduur wordt op de maandgemiddelde metingen gebaseerd en de overige twee correcties op de jaargemiddelde metingen. Dit zijn langjarige gemiddelden. In een individueel jaar is de schaduwhinder soms meer, en soms minder dan dit gemiddelde. De berekening is uitgevoerd met het softwarepakket WindPRO, een programma dat slagschaduw nauwkeurig berekent en dat veel gebruikt wordt in de windenergiesector.

## 3.4 Resultaten

---

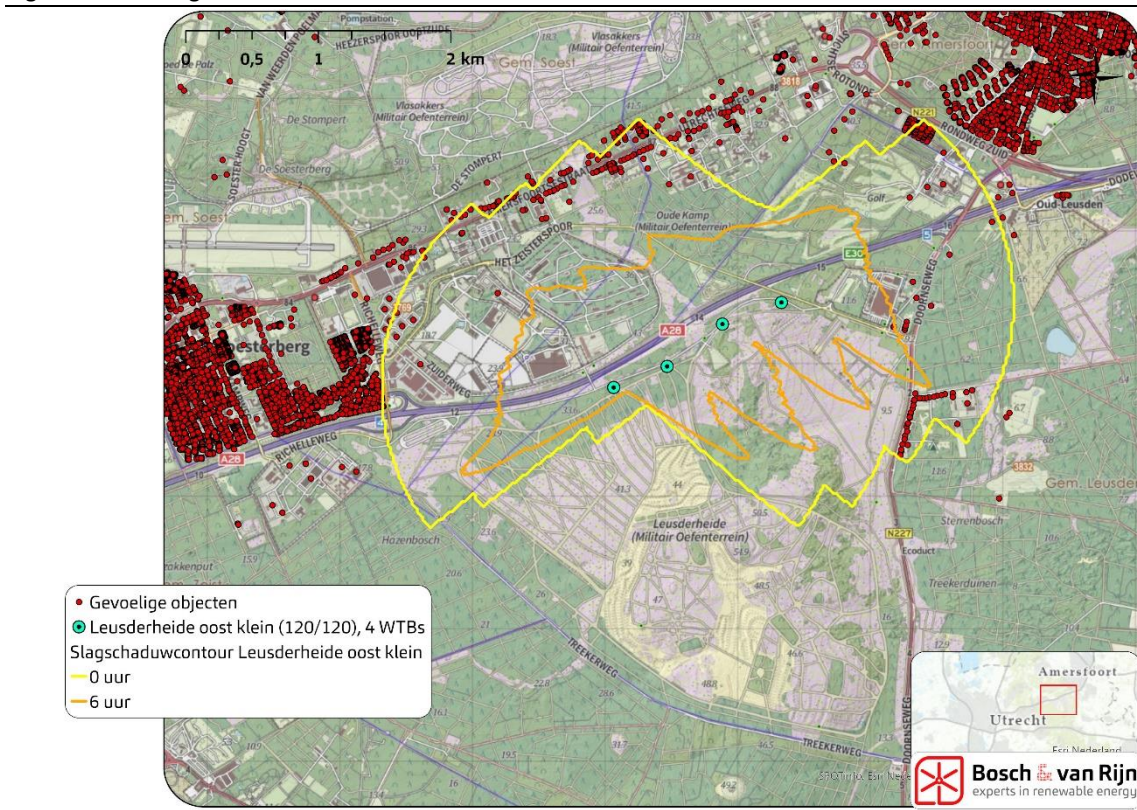
### 3.4.1 *Slagschaduwcontouren*

In de onderstaande afbeeldingen is voor elke onderzoekopstelling de 0-uur en 6-uur contour weergegeven. Woningen binnen de 0-uur slagschaduwcontour ontvangen slagschaduw. Woningen buiten de 0-uur contour ontvangen geen slagschaduw. Over het algemeen kan worden gesteld dat hoe dichterbij de 0-uur contour, des te minder en korter de slagschaduw zal zijn. Woningen die zich in de nabijheid van de 0-uur contour bevinden, zullen nauwelijks slagschaduw ondervinden. Tevens geldt dat een groter formaat windturbine zorgt voor een grotere hoeveelheid slagschaduw.

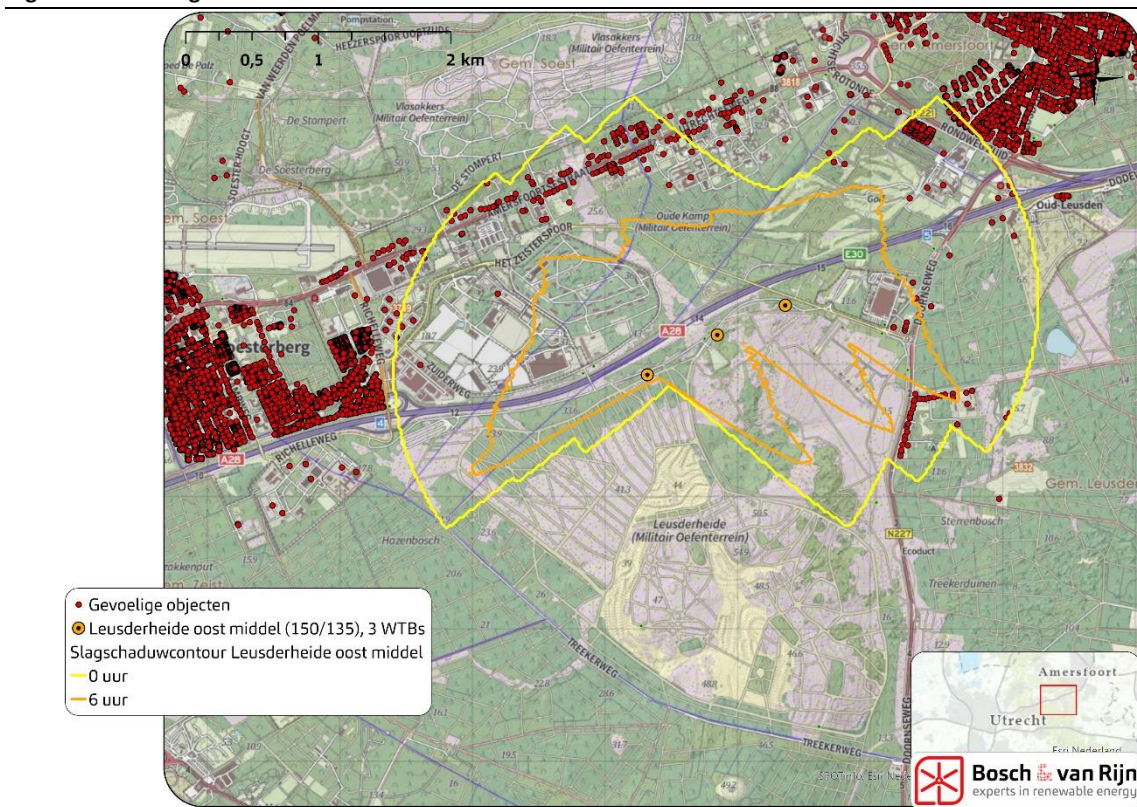
Woningen die binnen de 6-uur slagschaduwcontour liggen ontvangen meer dan 6 uur slagschaduw per jaar. Woningen buiten de contour ontvangen minder dan 6 uur slagschaduw per jaar. Deze paragraaf laat de slagschaduwcontouren ten opzichte van woningen zien. In paragraaf 3.4.5 zijn de slagschaduwcontouren weergegeven ten opzichte van de campings, dierentuinen en toekomstige ontwikkelingen.



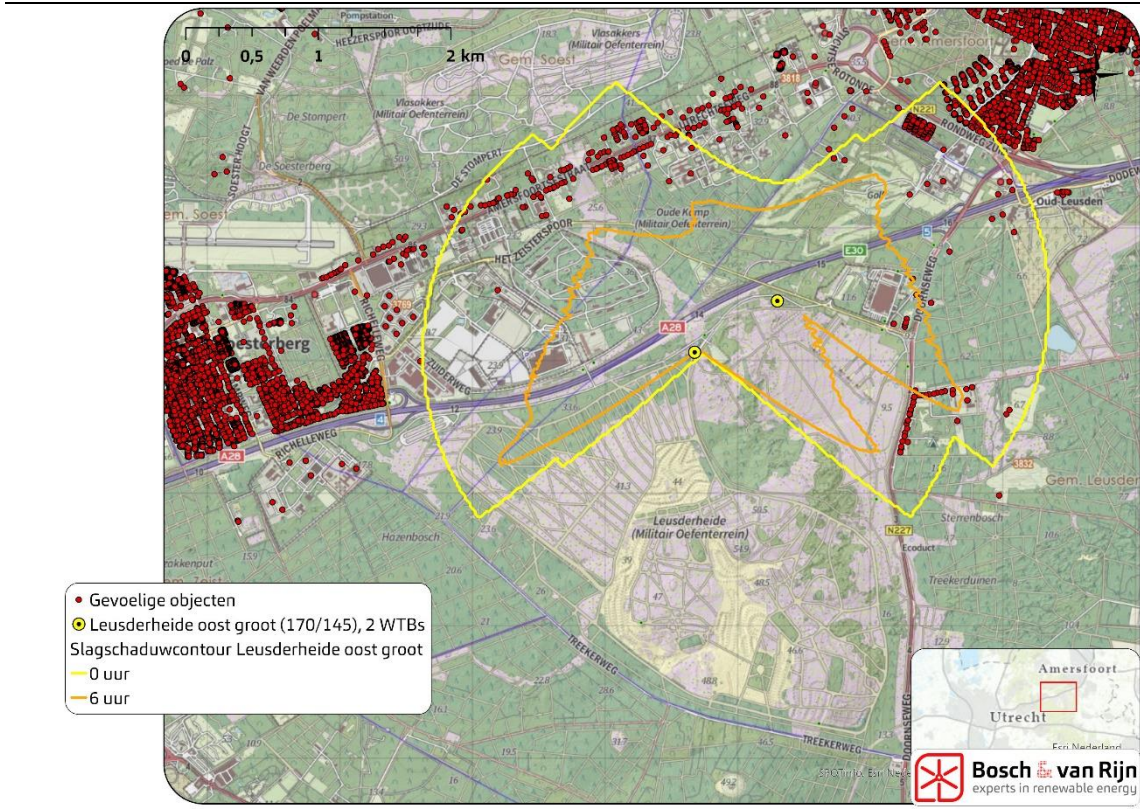
**Figuur 24** Slagschaduwcontour Leusderheide oost klein



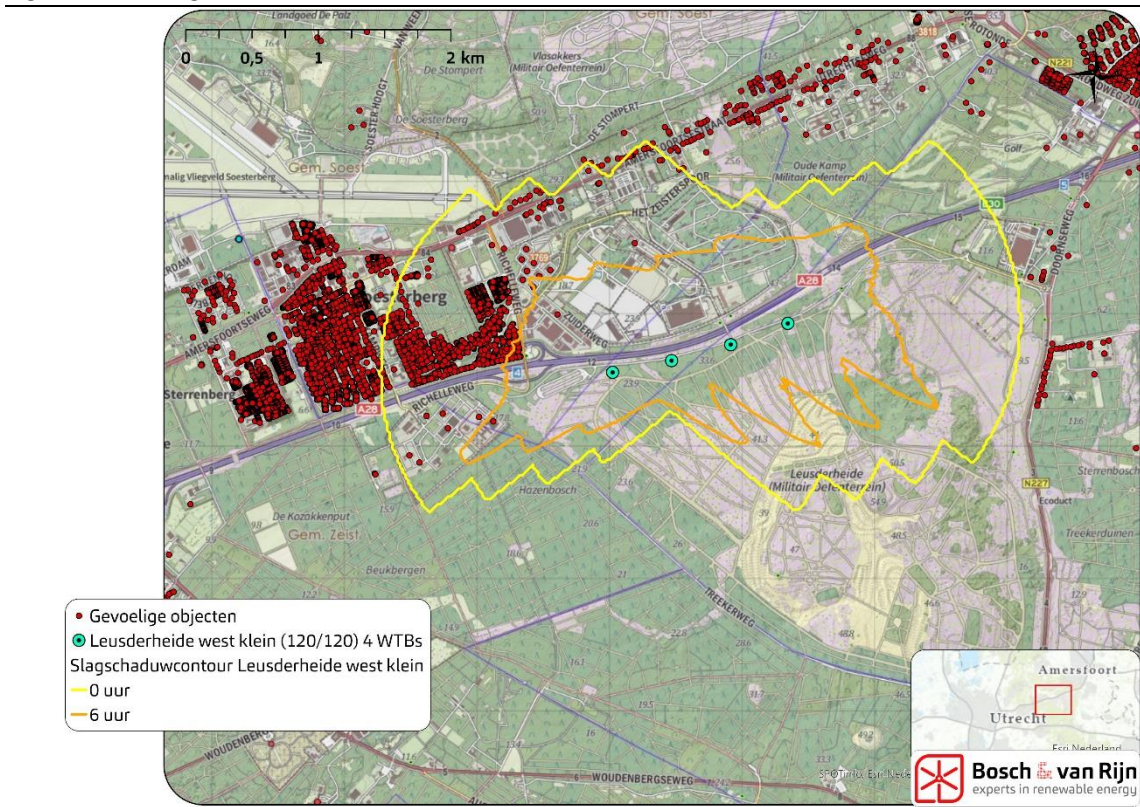
**Figuur 25** Slagschaduwcontour Leusderheide oost middel



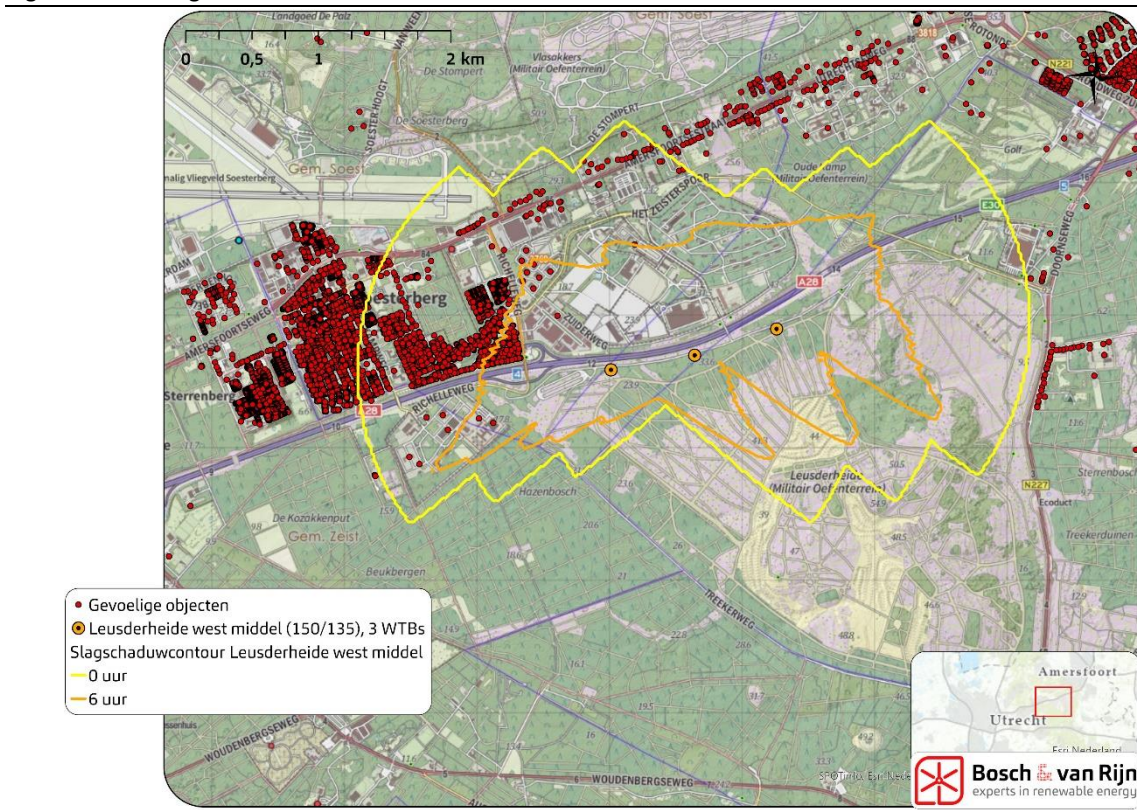
**Figuur 26 Slagschaduwcontour Leusderheide oost groot**



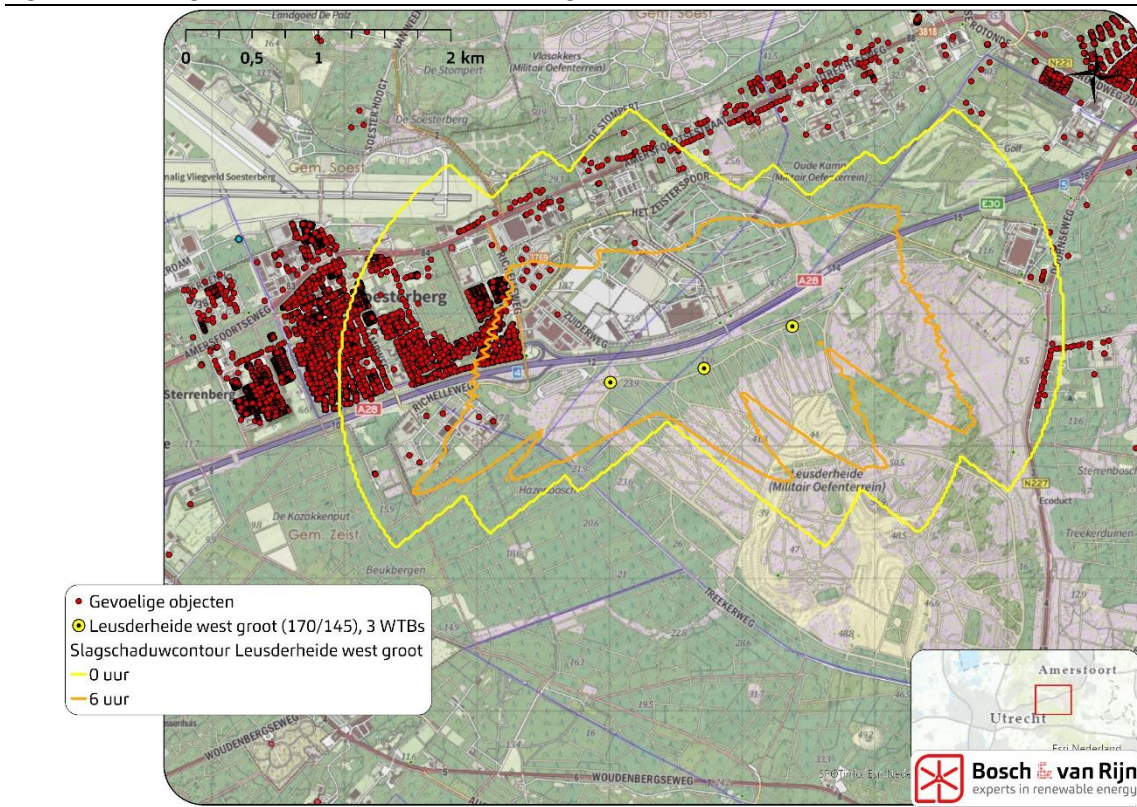
**Figuur 27 Slagschaduwcontour Leusderheide west klein**



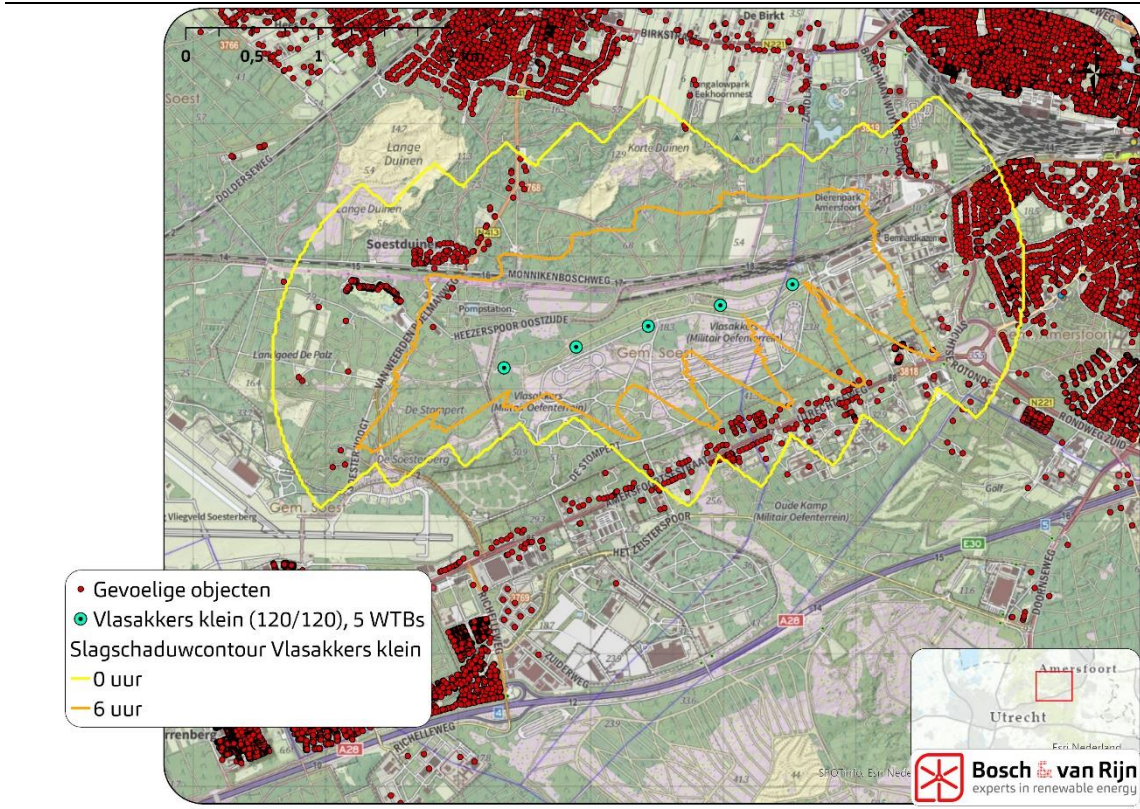
**Figuur 28** Slagschaduwcontour Leusderheide west middel



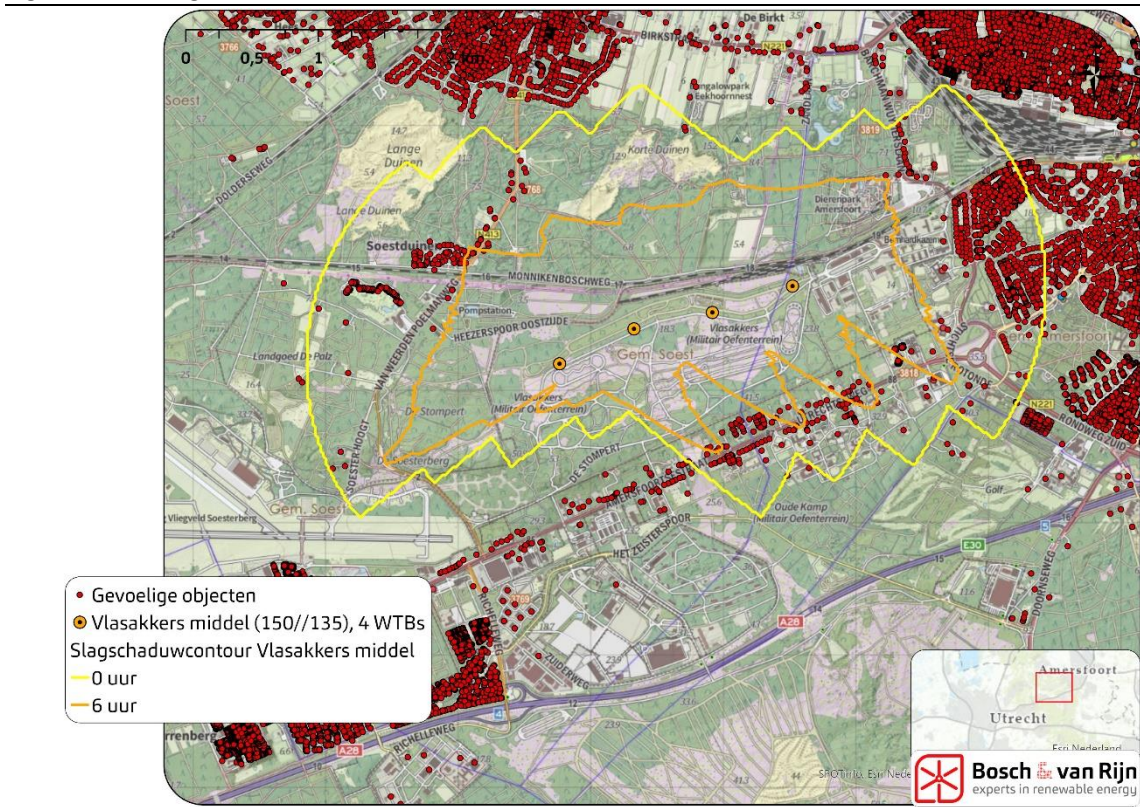
**Figuur 29** Slagschaduwcontour Leusderheide west groot



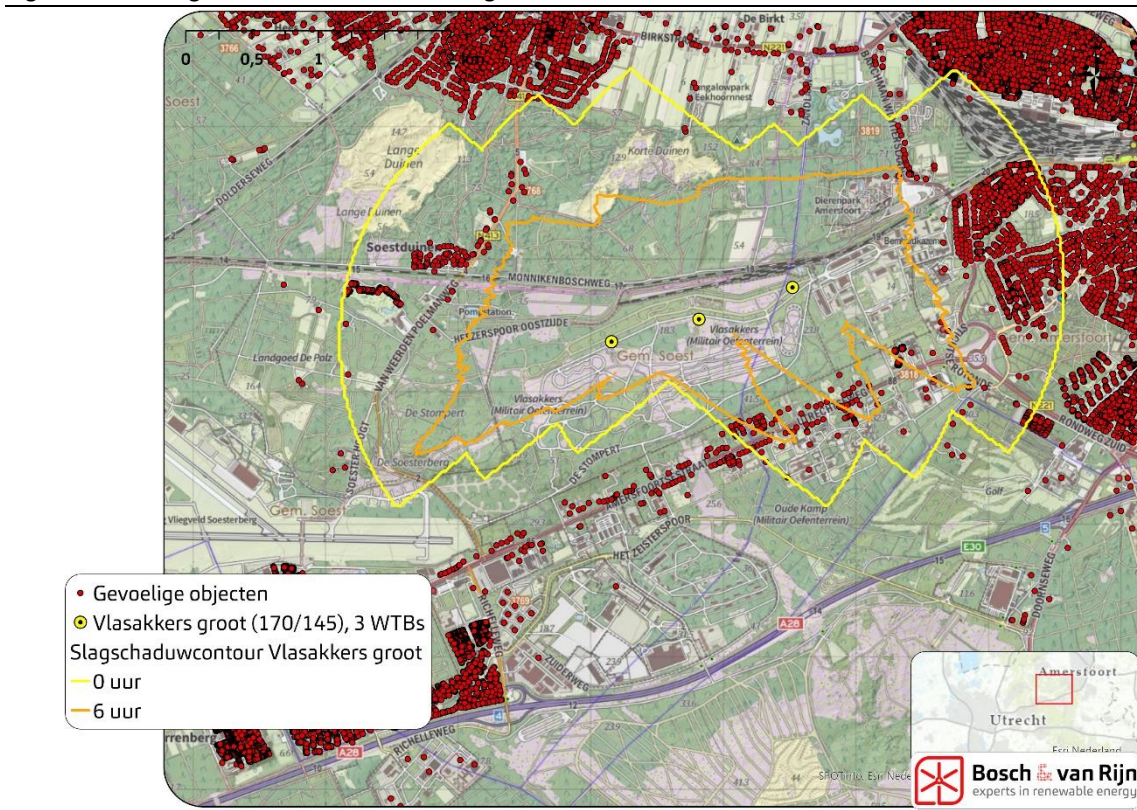
**Figuur 30** Slagschaduwcontour Vlasakkers klein



**Figuur 31** Slagschaduwcontour Vlasakkers middel



**Figuur 32** Slagschaduwcontour Vlasakkers groot



### 3.4.2 Woningen binnen contour

De onderstaande tabel toont de hoeveelheid woningen binnen de 0-uur slagschaduwcontour liggen. Dit betreffen alle woningen die meer dan 0 minuten slagschaduw per jaar ontvangen. De onderzoekopstellingen gelegen in het gebied Leusderheide oost bevatten de minste hoeveelheid woningen die slagschaduw ontvangen. Daarentegen heeft Leusderheide west de meeste omliggende woningen die meer dan 0-uur slagschaduw ontvangen. Hierbij heeft de opstelling met het grootste formaat windturbine de meeste woningen binnen de 0-uur contour.

**Tabel 7** Hoeveelheid woningen binnen de 0-uur contour

Onderzoekopstelling	Woningen binnen 0-uur contour
Leusderheide oost groot	384
Leusderheide oost middel	317
Leusderheide oost klein	214
Leusderheide west groot	1.946
Leusderheide west middel	1.442
Leusderheide west klein	1.167
Vlasakkers groot	1.438
Vlasakkers middel	1.328
Vlasakkers klein	1.173

### 3.4.3 Derving

Onderstaande tabel toont de totale slagschaduw die door elk van de scenario's wordt veroorzaakt. Tevens is hierbij berekend welk percentage van de draaitijd de windturbines moeten worden stilgezet om alle slagschaduw bij alle woningen te voorkomen uitgaande van 8.307 uur per jaar waarin het zodanig waait dat de windturbines draaien (op basis van KNMI-windsnelheidsgegevens). Deze waarden zijn laag vergeleken met het aantal woningen die slagschaduw ontvangen, doordat windturbines vaak op meerdere woningen tegelijk slagschaduw veroorzaken, en stilstand dus ook slagschaduw op meerdere woningen tegelijk voorkomt. Uit de tabel blijkt ook dat met een beperkt dervingpercentage de slagschaduw op alle woningen kan worden voorkomen.

**Tabel 8 Slagschaduwduur en derving per onderzoekopstelling**

Onderzoekopstelling	Slagschaduwduur (uu:mm)	Draaiuren (uu:mm)	Dervingspercentage
Leusderheide oost groot	94:38	16614:00	0,57%
Leusderheide oost middel	103:06	24921:00	0,41%
Leusderheide oost klein	72:19	33228:00	0,22%
Leusderheide west groot	123:57	24921:00	0,50%
Leusderheide west middel	116:26	24921:00	0,47%
Leusderheide west klein	91:02	33228:00	0,27%
Vlasakkers groot	150:33	24921:00	0,60%
Vlasakkers middel	173:52	33228:00	0,52%
Vlasakkers klein	160:00	41525:00	0,39%

#### Derving 6-uur norm

Om te berekenen hoeveel van de slagschaduw normoverschrijdend is wordt bij elke woning 6 uur van de totaal berekende hoeveelheid slagschaduw afgetrokken (met een minimum van 0 uur per jaar).

De overgebleven normoverschrijdende slagschaduw moet worden voorkomen door middel van stilstand. De benodigde stilstand van de windturbines wordt ingeschat met de volgende berekening:

$$\text{Benodigde stilstand} = (SS_{WT1} + SS_{WTn}) * \frac{\text{normoverschrijdende } SS_{woningen}}{\text{totale } SS_{woningen}}$$

SS staat hierbij voor slagschaduw,  $SS_{WTn}$  voor de som van de slagschaduw van alle windturbines van de betreffende opstelling.

Onderstaande tabel toont de benodigde stilstand in uren om te voldoen aan de slagschaduwnorm van 6 uur.

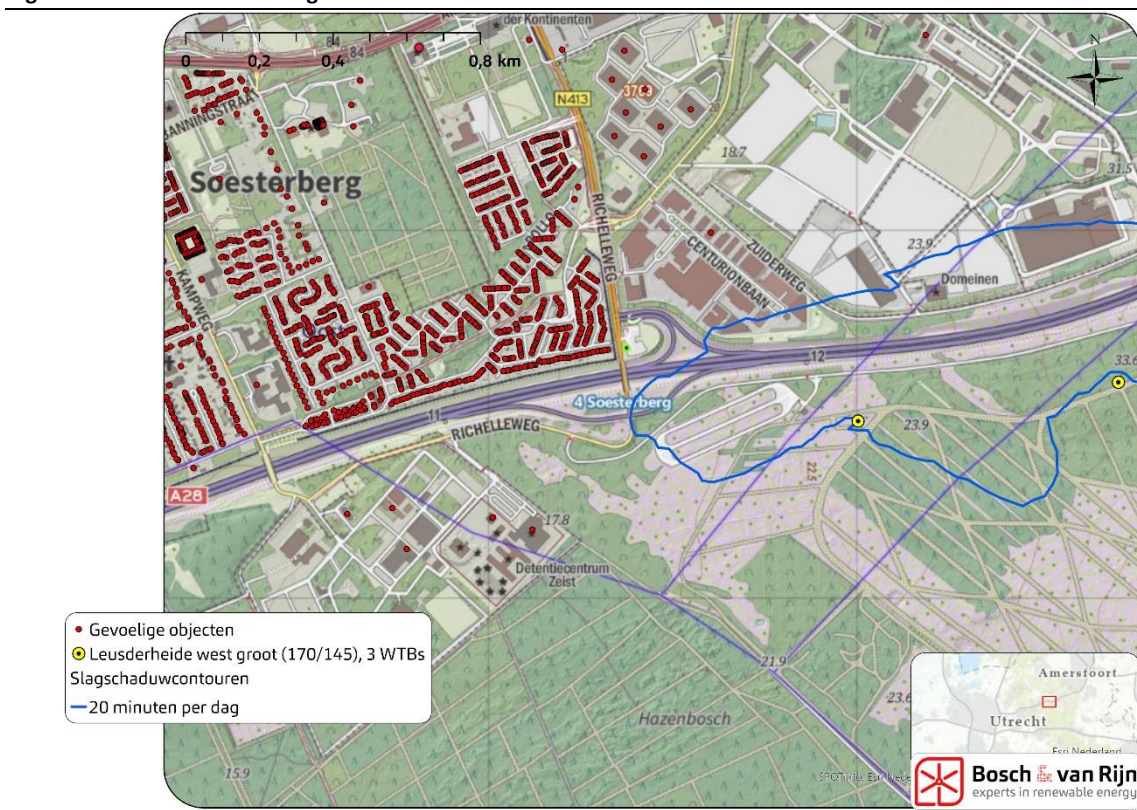
Tabel 9 Normoverschrijdende slagschaduwduur en derving per onderzoekopstelling

Onderzoekopstelling	Normoverschrijdende slagschaduwduur (uu:mm)	Draaiuren (uu:mm)	Dervingspercentage
Leusderheide oost groot	05:19	16614:00	0,03%
Leusderheide oost middel	05:09	24921:00	0,02%
Leusderheide oost klein	00:47	33228:00	0,00%
Leusderheide west groot	11:57	24921:00	0,05%
Leusderheide west middel	09:24	24921:00	0,04%
Leusderheide west klein	02:10	33228:00	0,01%
Vlasakkers groot	18:49	24921:00	0,08%
Vlasakkers middel	16:48	33228:00	0,05%
Vlasakkers klein	04:06	41525:00	0,01%

### 3.4.4 20-minuten per dag norm

Zoals beschreven in paragraaf 1.3.3 bevatten de nieuwe windturbinebepalingen ook een norm van maximaal 20 minuten slagschaduw per dag. In WindPRO is bovenop de 0-uur en 6-uur norm voor elk windturbineopstelling de 20 minuten per dag contour berekend. Hieruit blijkt dat geen van de onderzoekopstelling zorgt voor een mogelijke overschrijding van deze norm. Onderstaande figuur toont de 20 minuten per dag contour van de opstelling Leusderheide west groot ter indicatie. Hierop is te zien dat er geen woning binnen de betreffende contour valt. De maximaal 20 minuten per dag norm zorgt dus niet voor aanvullende opbrengstderving bovenop de 6-uur per jaar norm.

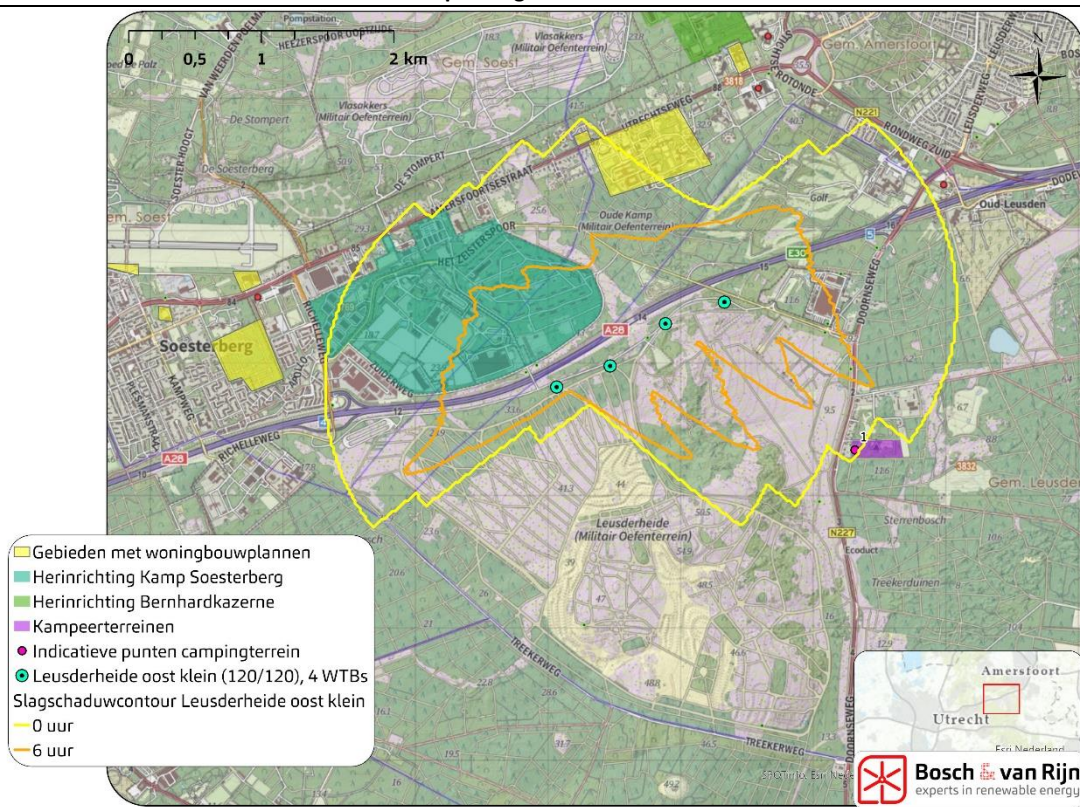
Figuur 33 20 minuten slagschaduwcontour Leusderheide west klein



### 3.4.5 Overige terreinen

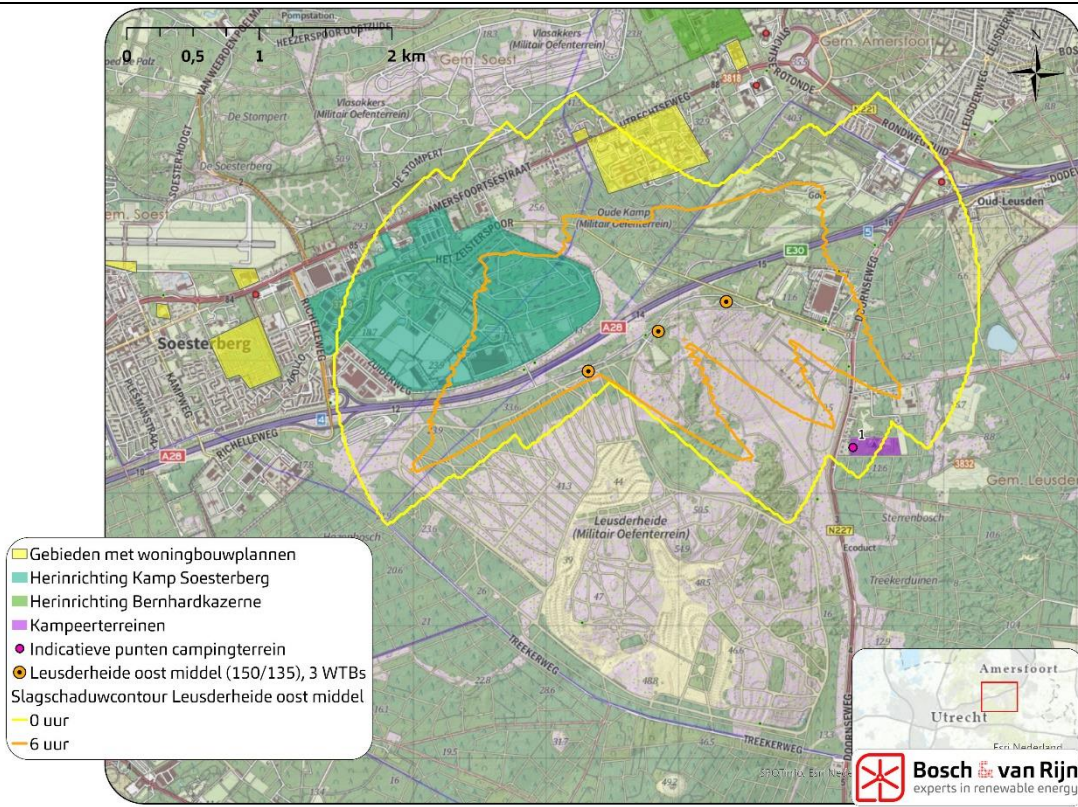
In onderstaande figuren zijn de slagschaduwcontouren weergegeven met de ligging van de overige terreinen.

**Figuur 34** Contour Leusderheide oost klein op overige terreinen.

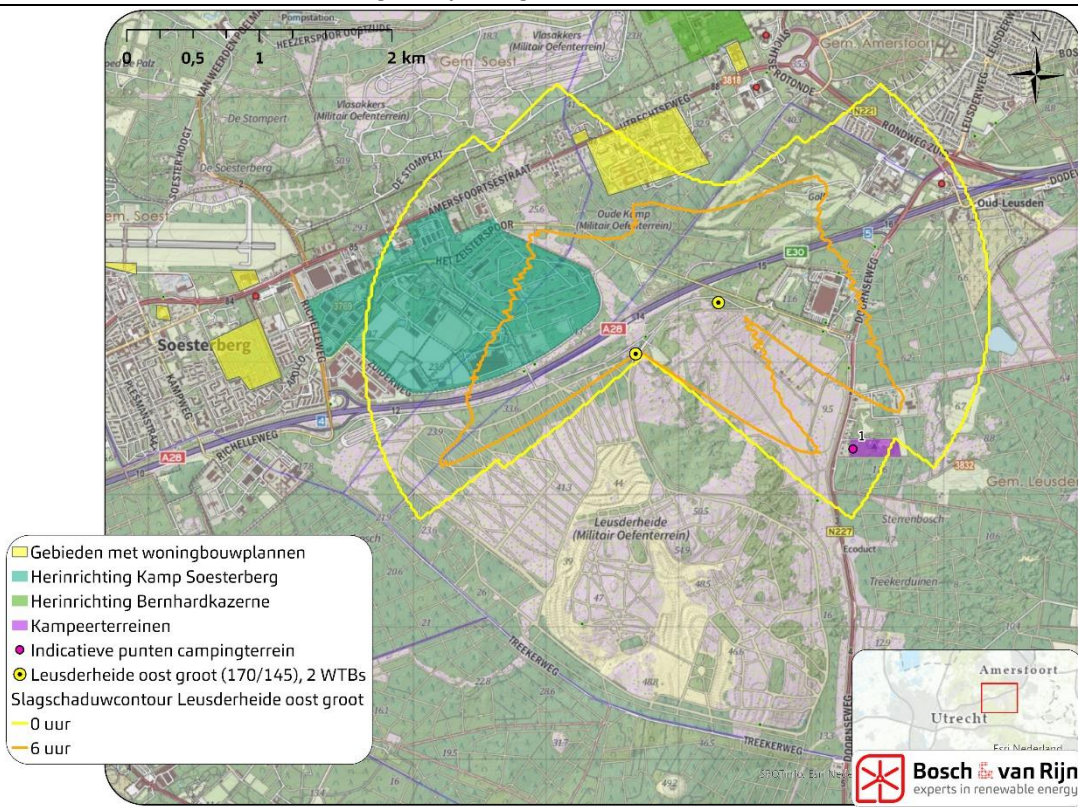




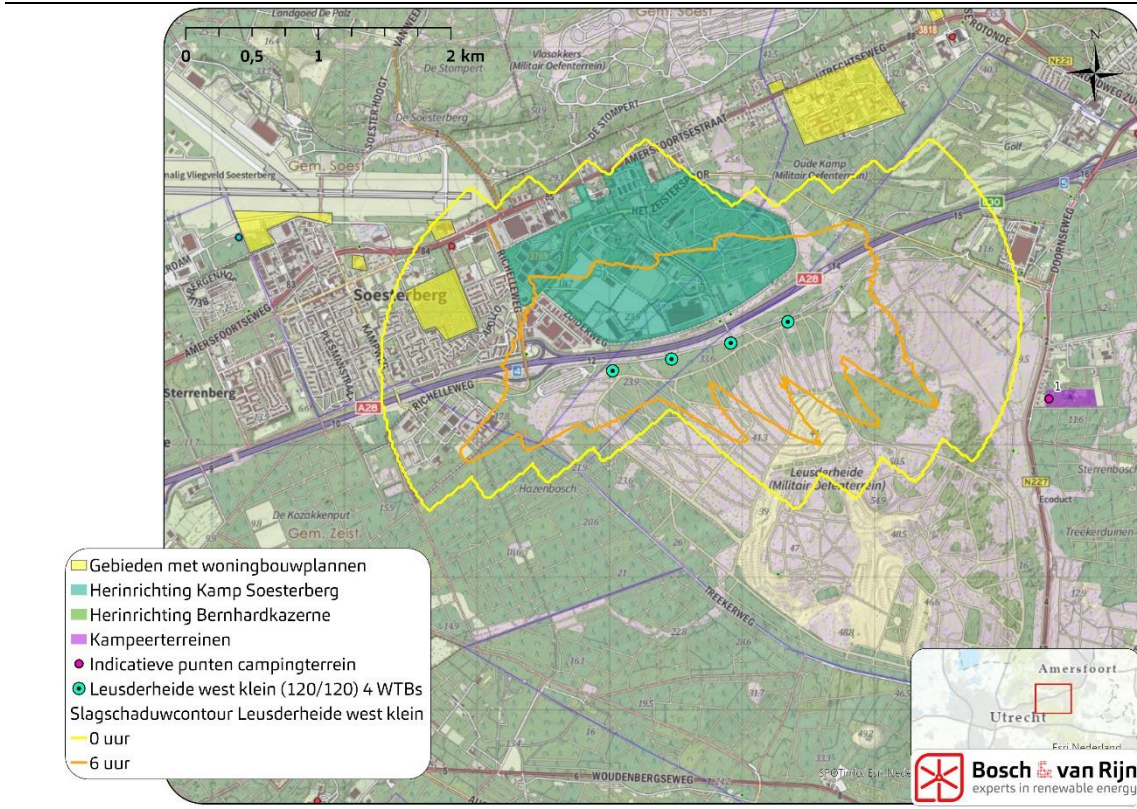
**Figuur 35** Contour Leusderheide oost middel op overige terreinen



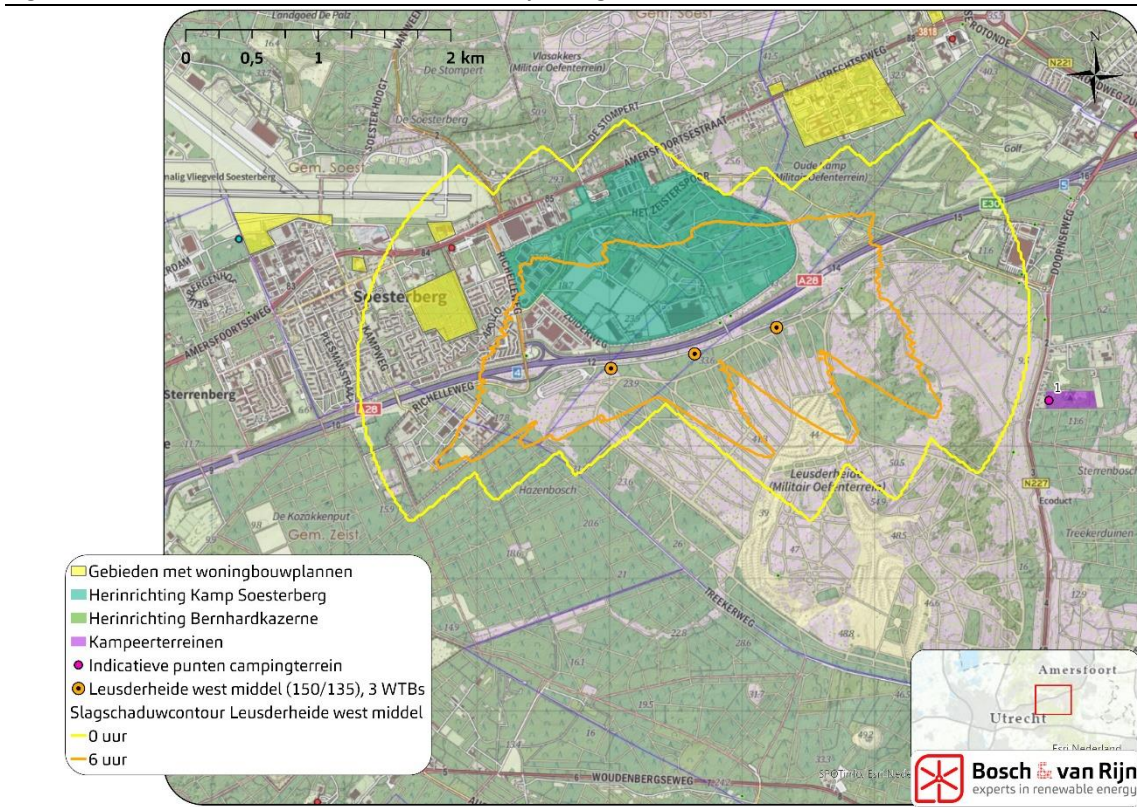
**Figuur 36** Contour Leusderheide oost groot op overige terreinen



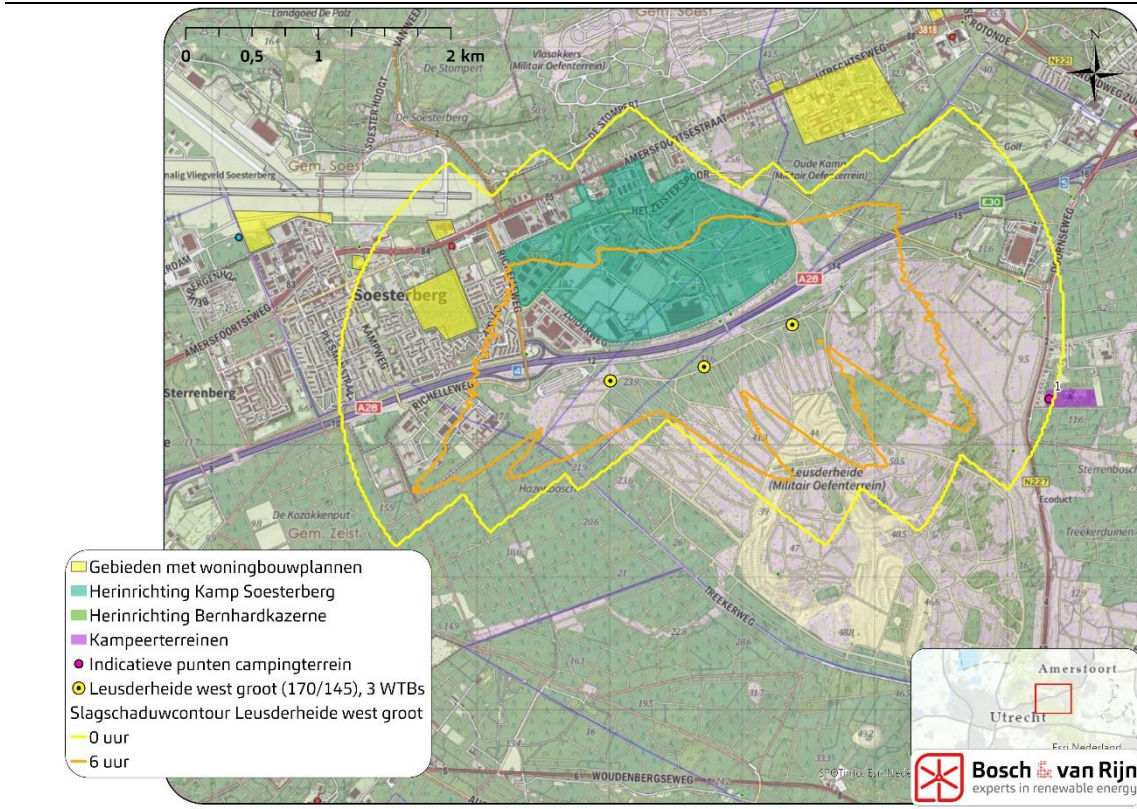
**Figuur 37** Contour Leusderheide west klein op overige terreinen



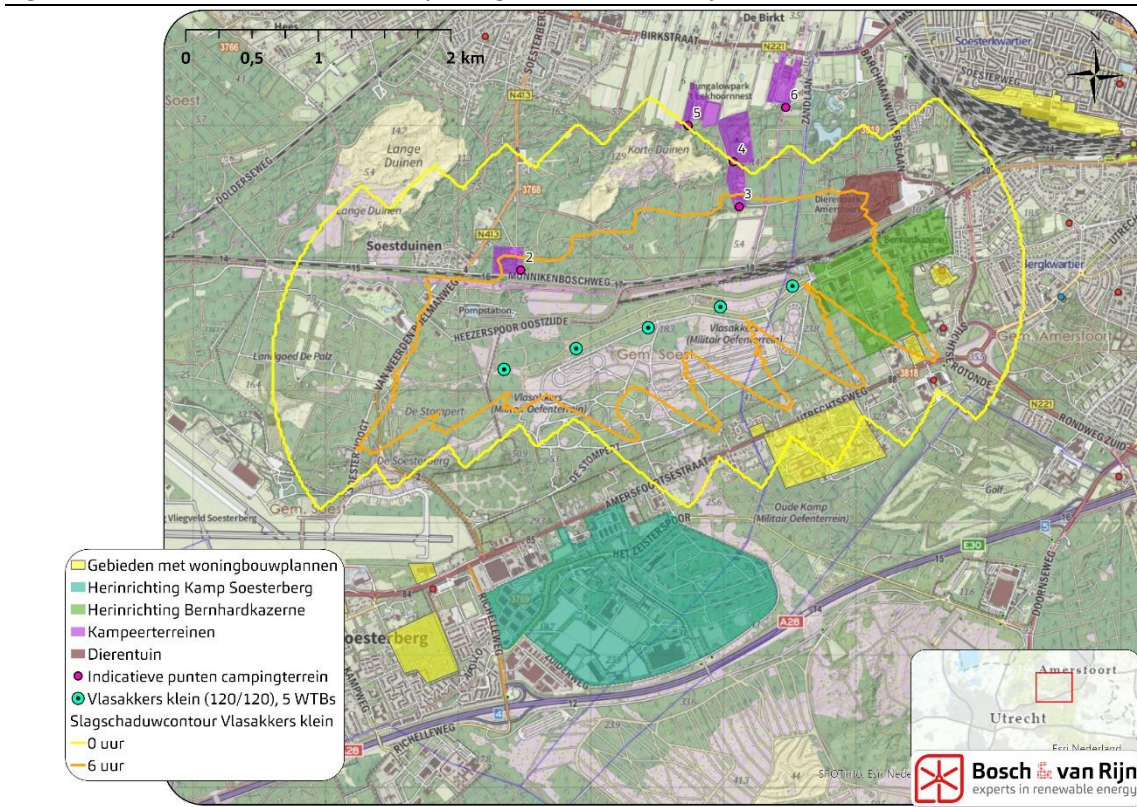
**Figuur 38** Contour Leusderheide west middel op overige terreinen



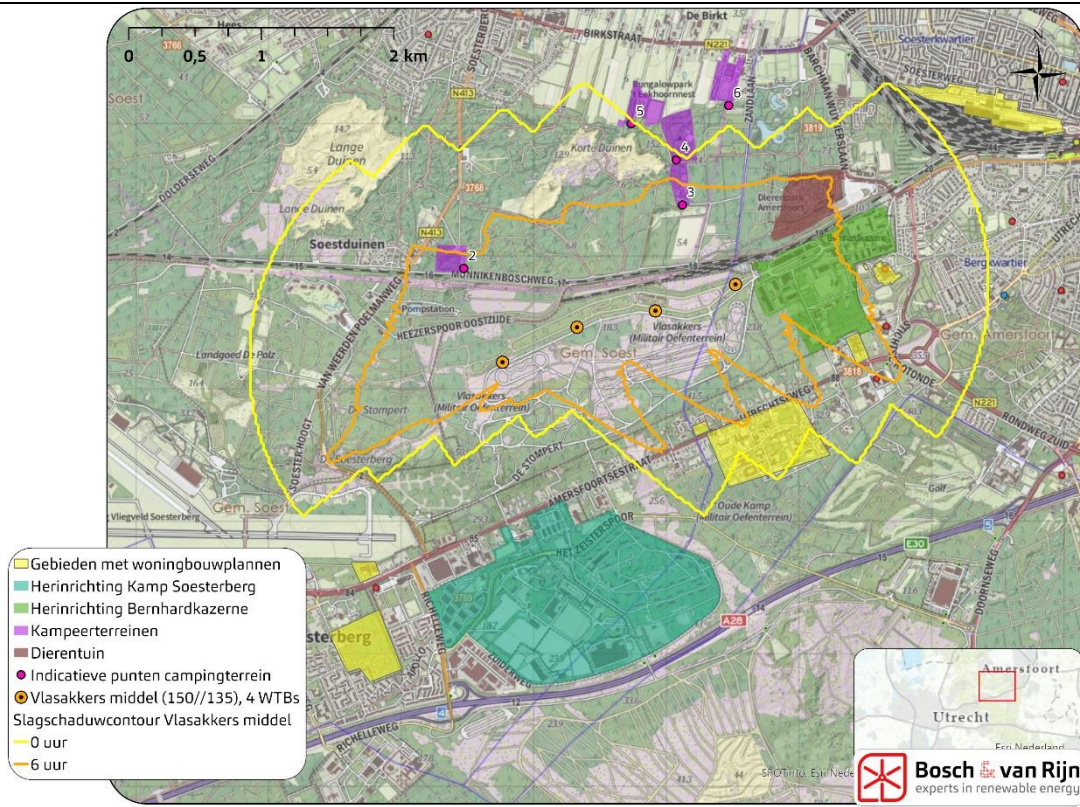
**Figuur 39** Contour Leuserheide west groot op overige terreinen



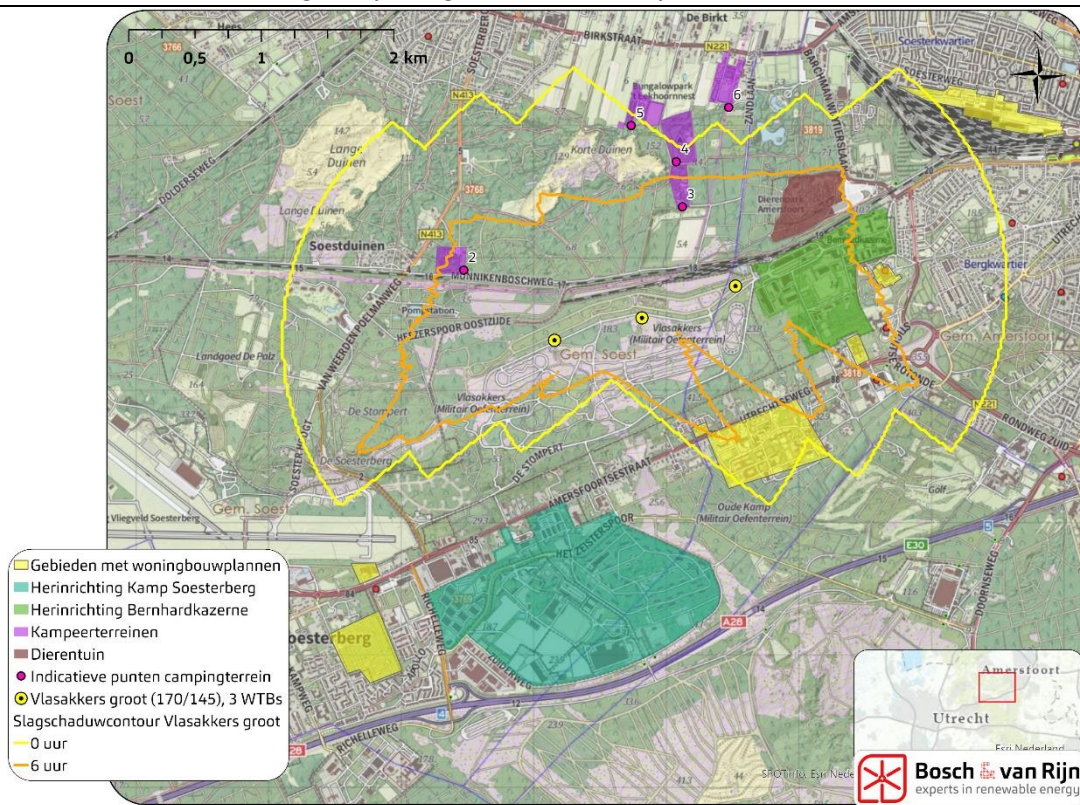
**Figuur 40** Contour Vlasakkers klein op overige terreinen & dierenpark



**Figuur 41** Contour Vlasackers middel op overige terreinen & dierenpark



**Figuur 42** Contour Vlasackers groot op overige terreinen & dierenpark



### Dierenpark Amersfoort

Onderstaande tabel toont de totale slagschaduwduur die dierenpark Amersfoort zou ontvangen van de verschillende onderzoekopstellingen op de Vlasakkers. Het grote formaat opstelling geeft de meeste slagschaduw op het dierenpark. Het gaat hierbij om de cumulatieve slagschaduw van het windpark. Dit betekent dat als het dierenpark slagschaduw zou ontvangen van meerdere windturbines tegelijk het geldt als één slagschaduwmoment. De benodigde stilstand om alle slagschaduw op het dierenpark te beperken is beperkt, als weergegeven in de rechterkolom van de onderstaande tabel..

**Tabel 10 Slagschaduwduur dierenpark**

Onderzoekopstelling	Cumulatieve Slagschaduwduur (uu:mm)	Dervingspercentage om alle slagschaduw op het dierenpark te voorkomen
Vlasakkers groot	57:49	0,27%
Vlasakkers middel	50:43	0,19%
Vlasakkers klein	35:33	0,10%

### Campingterreinen

De totale slagschaduwduur is berekend op campingterreinen. Omdat een recreatiewoning op een campingterrein slechts een klein oppervlakte betreft in vergelijking met het gehele terrein is ook de slagschaduwduur berekend op een indicatief punt op het campingterrein. Dit om een realistisch beeld te geven van de slagschaduwduur op een recreatiewoning op het campingterrein.

**Tabel 11 Slagschaduw op campingterreinen**

Onderzoekopstelling	Slagschaduwduur op terreinen (uu:mm)					
	1	2	3	4	5	6
Leusderheide oost groot	19:08					
Leusderheide oost middel	14:45					
Leusderheide oost klein	05:37					
Leusderheide west groot	01:20					
Leusderheide west middel						
Leusderheide west klein						
Vlasakkers groot		26:14	32:54	08:01	02:25	
Vlasakkers middel		30:01	27:22	03:52	01:29	
Vlasakkers klein		25:26	20:06	01:21	00:52	

**Tabel 12 Slagschaduw op indicatief recreatieverblijf op campingterrein**

Onderzoekopstelling	Slagschaduwduur op indicatieve punten (uu:mm)					
	1	2	3	4	5	6
Leusderheide oost groot	02:41					
Leusderheide oost middel	03:47					
Leusderheide oost klein	02:11					
Leusderheide west groot	01:20					
Leusderheide west middel						
Leusderheide west klein						
Vlasakkers groot		08:49	18:43	02:44	01:01	

Vlasakkers middel		10:26	15:01	00:58	00:20	
Vlasakkers klein		08:53	09:50	00:05		



# Hoofdstuk 4 Externe veiligheid

---

## 4.1 Inleiding

---

Windturbines kunnen voor de omgeving veiligheidsrisico's opleveren omdat de kans bestaat dat (een deel van) een falende windturbine personen of objecten in de omgeving zal treffen. Mogelijke risico's rond een windturbine zijn het afbreken van een (gedeelte van) een windturbineblad, het omvallen van de windturbine door mastbreuk en het afvallen van de gondel en/of rotor. De kans op het voorkomen van deze *faalscenario's* is zeer klein maar niet uitgesloten. Voordat een bevoegd gezag toestemming geeft voor de bouw van een windturbine, dient daarom een kwantitatieve risicoanalyse te worden uitgevoerd waarin de veiligheidsrisico's worden berekend en wordt getoetst aan wet- en regelgeving. In de ruimtelijke analyse die aan dit onderzoek vooraf is gegaan is al rekening is gehouden met adviesafstanden die tot infrastructuur gelden. Hieruit volgt dat de overblijvende veiligheidsrisico's bij omliggende infrastructuur als toelaatbaar mogen worden beschouwd. Dit wordt daarom niet opnieuw beschouwd binnen dit hoofdstuk, waar de focus ligt op externe veiligheidsrisico's relevant voor de gebouwen en terreinen van Defensie.

## 4.2 Faalscenario's

---

Risico's van een windturbine voor de omgeving die kwantitatief beoordeeld dienen te worden bestaan uit drie typen falen:

1. **het afbreken van (een gedeelte van) een windturbineblad;**

Het risico voor de omgeving van een afgebroken blad is afhankelijk van:

- De kans dat een blad afbreekt en de omstandigheden waaronder dit gebeurt;
- De baan die het afgebroken blad aflegt, de plek waar het afgebroken blad zal inslaan en de snelheid bij inslag;
- De aanwezigheid van personen of objecten op de plaats waar het afgebroken blad terecht komt;
- De gevolgen voor personen en of objecten als ze door een afgebroken blad worden getroffen

De risico's van het afbreken van een windturbineblad vormen een risico binnen de straal van de maximale werpafstand. Hierbij worden twee scenario's onderscheiden:

- Werpafstand bij nominaal toerental;
- Werpafstand bij overtoeren;

2. **het omvallen van een windturbine door mastbreuk;**

Als gevolg van mastbreuk kan een persoon of object getroffen worden door de mast of door de gondel met rotor die op de grond terecht komt. Het omvallen van een windturbine vormt een risico binnen de maximale valafstand (ashoogte + 1/2de rotordiameter) van de windturbine.

### 3. het afvallen van de gondel en/of rotor.

Het risicogebied van het omvallen van de gondel en/of rotor is beperkt tot maximaal de wielengte. Als gevolg van gondelafworp kan een persoon of object getroffen worden door de gondel die op de grond terecht komt.

In het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV (oktober 2020) zijn generieke faalfrequenties opgenomen die de kans omschrijven dat bovengenoemde scenario's zich voordoen. Deze faalfrequenties (Tabel 13), gebaseerd op statistieken over incidenten bij windturbines, zijn in voorliggend onderzoek gebruikt om de externe veiligheidseffecten van de windturbines te berekenen. Indien een faalscenario zich voordoet hoeft dit nog niet te betekenen dat zich ook een ongeval voordoet. Hiervan is slechts sprake indien (een deel van) de falende windturbine ook personen of objecten in de omgeving treft.

Tabel 13 Generieke faalfrequenties waarmee in dit onderzoek is gerekend.

Faalscenario	Faalfrequentie (per turbine, per jaar)	Kans op treffen binnen de
Bladbreek bij nominaal toerental	$8,4 * 10^{-4}$ (ééns in de 1.190 jaar)	Maximale werpafstand bij nominaal toerental
Bladbreek bij overtoeren	$5,0 * 10^{-6}$ (ééns in de 200.000 jaar)	Maximale werpafstand bij overtoeren
Mastbreek	$1,3 * 10^{-4}$ (ééns in de 7.692 jaar)	Tiphoogte-afstand
Afvallen van gondel en/of rotor	$4,0 * 10^{-5}$ (ééns in de 25.000 jaar)	Halve rotordiameter-afstand

## 4.3 Risicocontouren

Ten behoeve van het berekenen van de externe veiligheidseffecten van de onderzoekopstellingen zijn de werpafstanden en risicocontouren berekend van een aantal windturbintypes, waarvan de afmetingen in de buurt liggen van de afmetingen van het kleine, middelgrote en grote formaat windturbine. De berekeningen zijn uitgevoerd met berekeningsmodule Save-W. De resultaten van de berekeningen zijn in Tabel 14 weergegeven.

Tabel 14 Risicocontouren windturbintypes passend bij de drie doorgerekende formaten

Formaat	Type	Rotor-	As-	Tip-	PR-contour*		Max. werpafstand	
		diameter	hoogte	hoogte	$10^{-5}$	$10^{-6}$	Nominaal	Overtoeren
		(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
Klein	SG SWT-2.5-120	120	120	180	34	136	135	339
	<b>N117/3675</b>	<b>116,8</b>	<b>121,6</b>	<b>180</b>	<b>38</b>	<b>125</b>	<b>115</b>	<b>276</b>
	V117-4.2	117	121,5	180	39	125	108	258
Middel	<b>V150-4.2</b>	<b>150</b>	<b>135</b>	<b>210</b>	<b>50</b>	<b>157</b>	<b>125</b>	<b>299</b>
	N149 5.X	149	135,5	210	48	155	127	304
	SG 5.0-145	145	137,5	210	41	155	154	384
	SG 6.0-155	155	132,5	210	49	162	136	331
Groot	<b>SG 6.6-170</b>	<b>170</b>	<b>145</b>	<b>230</b>	<b>40</b>	<b>172</b>	<b>156</b>	<b>369</b>
	N175/6.X	175	142,5	230	41	179	140	324
	E-175 EP5	175	142,5	230	38	179	160	380

\* PR betekent; plaatsgebonden risico. Met het plaatsgebonden risico wordt de kans aangegeven dat een persoon die zich op een gegeven afstand van de windturbines bevindt, komt te overlijden als gevolg van falen van de windturbines. Een persoon die zich onafgebroken op de PR  $10^{-6}$  contour bevindt heeft een kans op overlijden van één op de 1.000.000 per jaar. Een persoon die zich onafgebroken op de PR  $10^{-5}$  contour bevindt heeft een kans op overlijden van één op de 100.000 per jaar.

Ter verbeelding van de externe veiligheidseffecten van de onderzoekopstellingen is voor de drie formaten windturbines uit Tabel 14 telkens een windturbintype



gekozen dat representatief is voor de te verwachten externe veiligheidseffecten bij dat formaat windturbine. Dit type is aangegeven in **rood**. Dat is gekozen voor een representatief windturbinetype wil zeggen dat voor die afmeting zowel windturbinetypen met grotere als kleinere werpafstanden en risicocontouren mogelijk zijn.

#### 4.4 Externe veiligheidseffecten op kaart

---

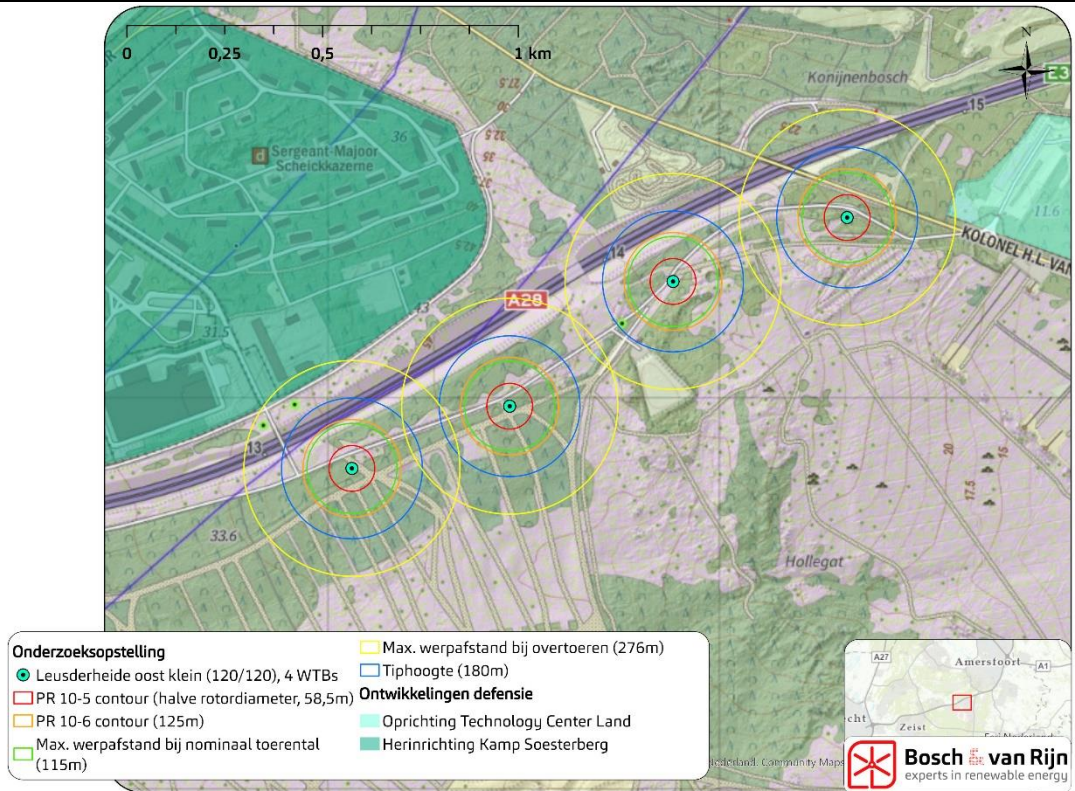
In onderstaande figuren zijn voor de onderzoekopstellingen de relevante risicocontouren weergegeven. Op de kaarten zijn ook de gebieden weergegeven waarbinnen momenteel bekend is dat daar in de toekomst ontwikkelingen van Defensierreinen zullen plaatsvinden.

De windturbines hebben externe veiligheidseffecten tot gevolg voor omliggende personen en objecten die zich binnen de maximale werpafstand bij overtoeren bevinden. Buiten de tiphoogte-afstand zijn deze effecten echter zeer klein, waardoor de externe veiligheidseffecten voor personen en objecten die zich buiten de tiphoogte-afstand bevinden al vrijwel altijd toelaatbaar zullen zijn.

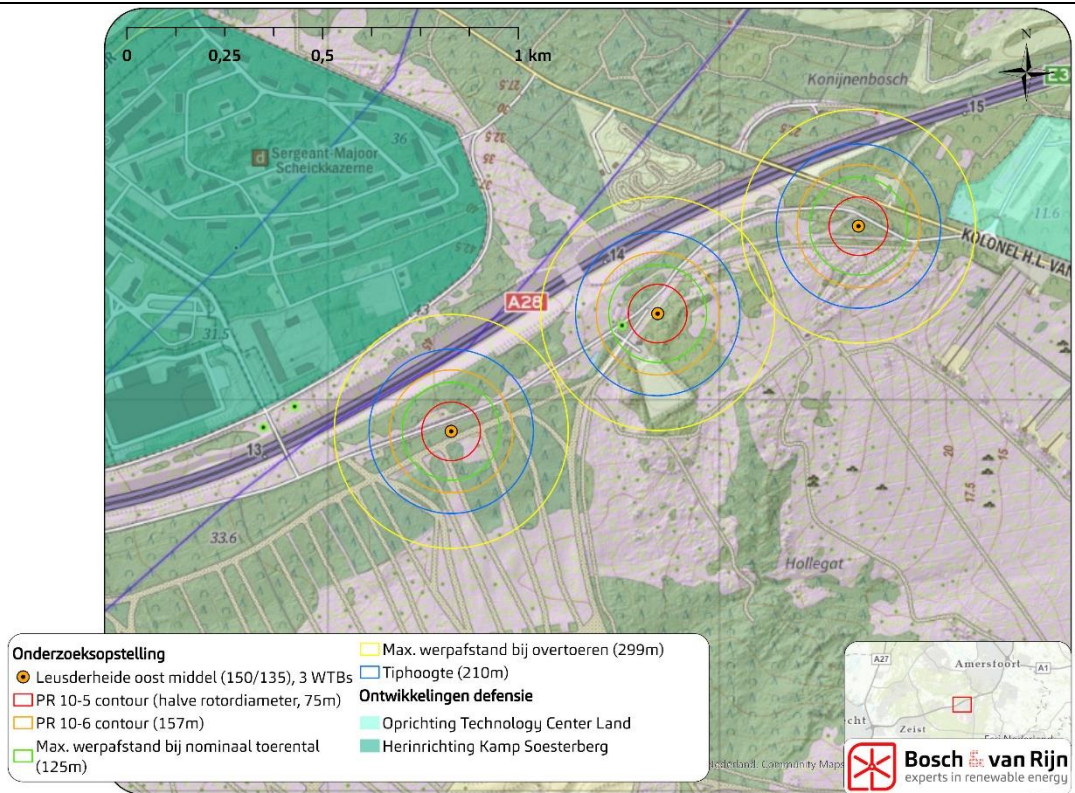
De veiligheidseffecten zijn groter voor objecten die binnen de tiphoogte-afstand gelegen zijn. Voor deze objecten is daarom doorgaans passend een verdiepende externe veiligheidsanalyse uit te voeren. Zo'n verdiepende analyse valt buiten het doel van voorliggend onderzoek.

Voor (zeer) kwetsbare en beperkt kwetsbare gebouwen en locaties geldt dat deze mogelijk niet binnen de PR  $10^{-6}$  contour van de windturbines mogen komen te liggen. Of ligging binnen de PR  $10^{-6}$  contour is toegestaan, is afhankelijk van de vraag of de gebouwen/locaties een zogenaamde *functionele binding* met het windpark hebben en van de exacte normen die ten aanzien van het plaatsgebonden risico zullen worden gehandhaafd.

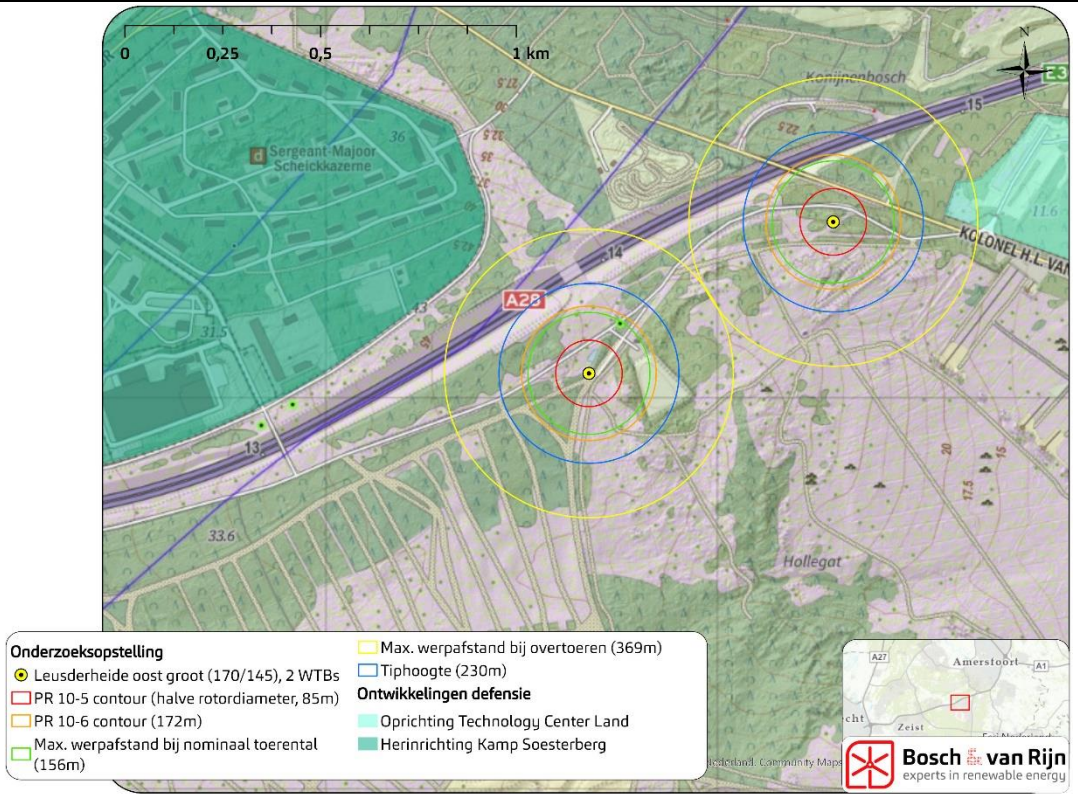
**Figuur 43** Risicocontouren voor de onderzoekopstelling klein – Leusderheide oost



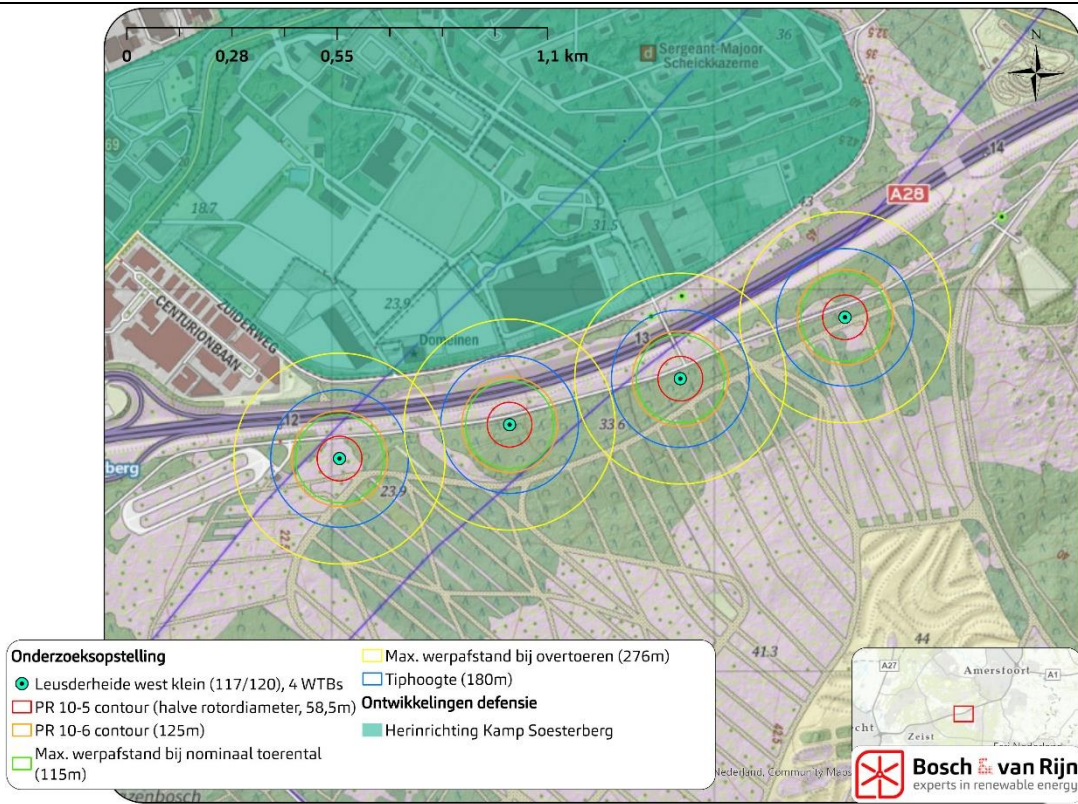
**Figuur 44** Risicocontouren voor de onderzoekopstelling middel – Leusderheide oost



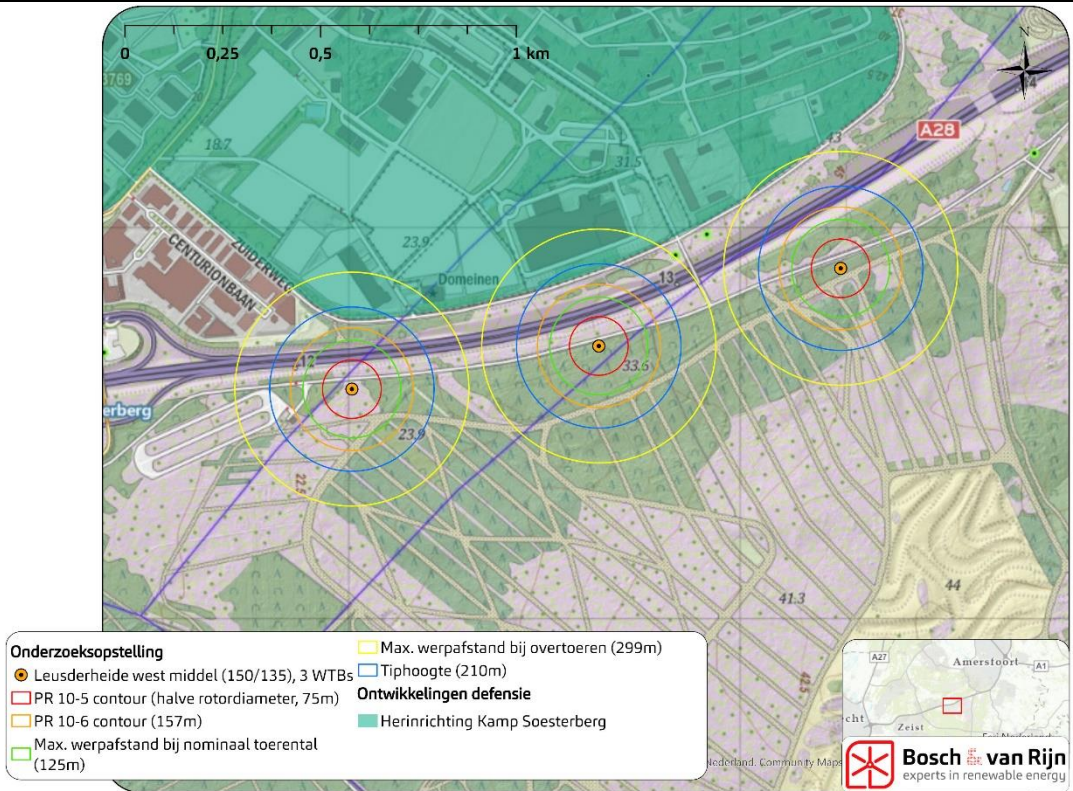
**Figuur 45** Risicocontouren voor de onderzoekopstelling groot – Leusderheide oost



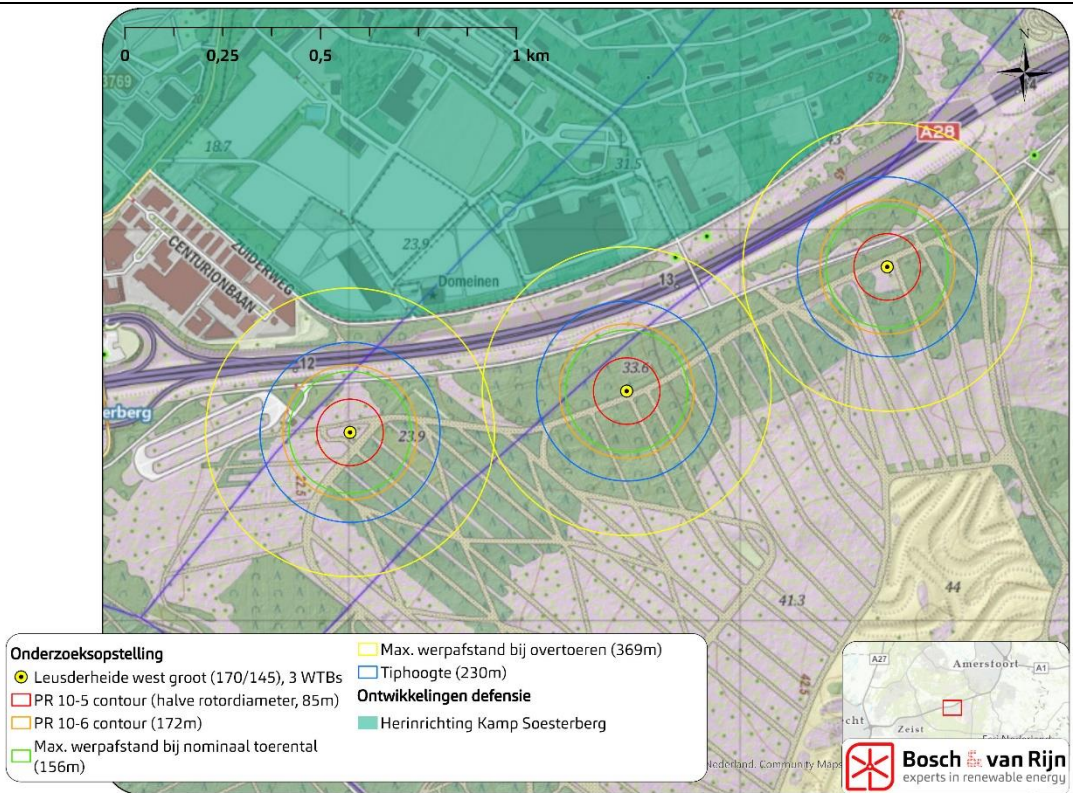
**Figuur 46** Risicocontouren voor de onderzoekopstelling klein – Leusderheide west



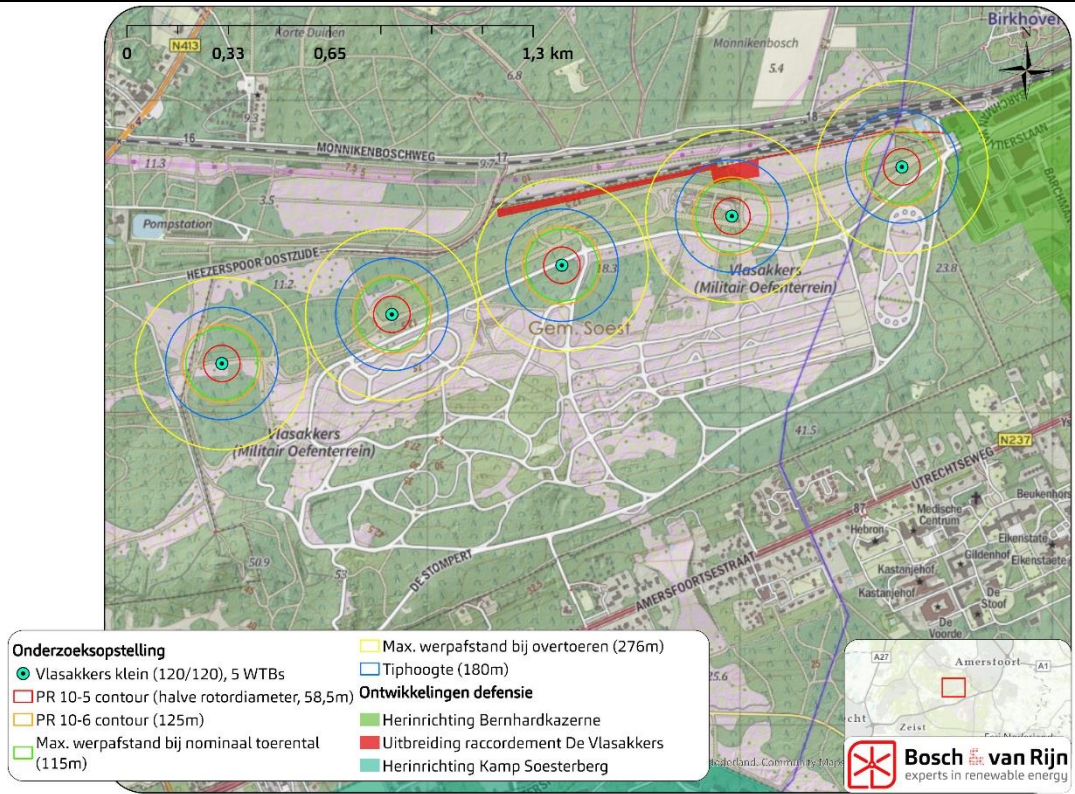
**Figuur 47 Risicocontouren voor de onderzoekopstelling middel – Leusderheide west**



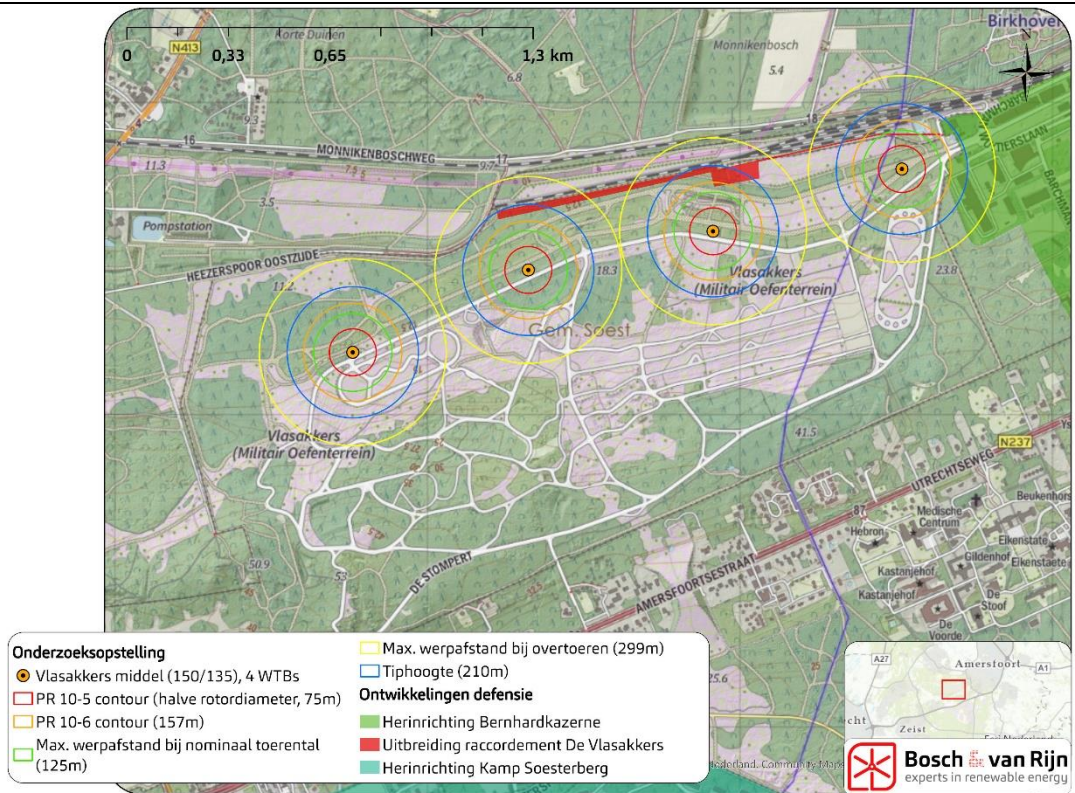
**Figuur 48 Risicocontouren voor de onderzoekopstelling groot – Leusderheide west**



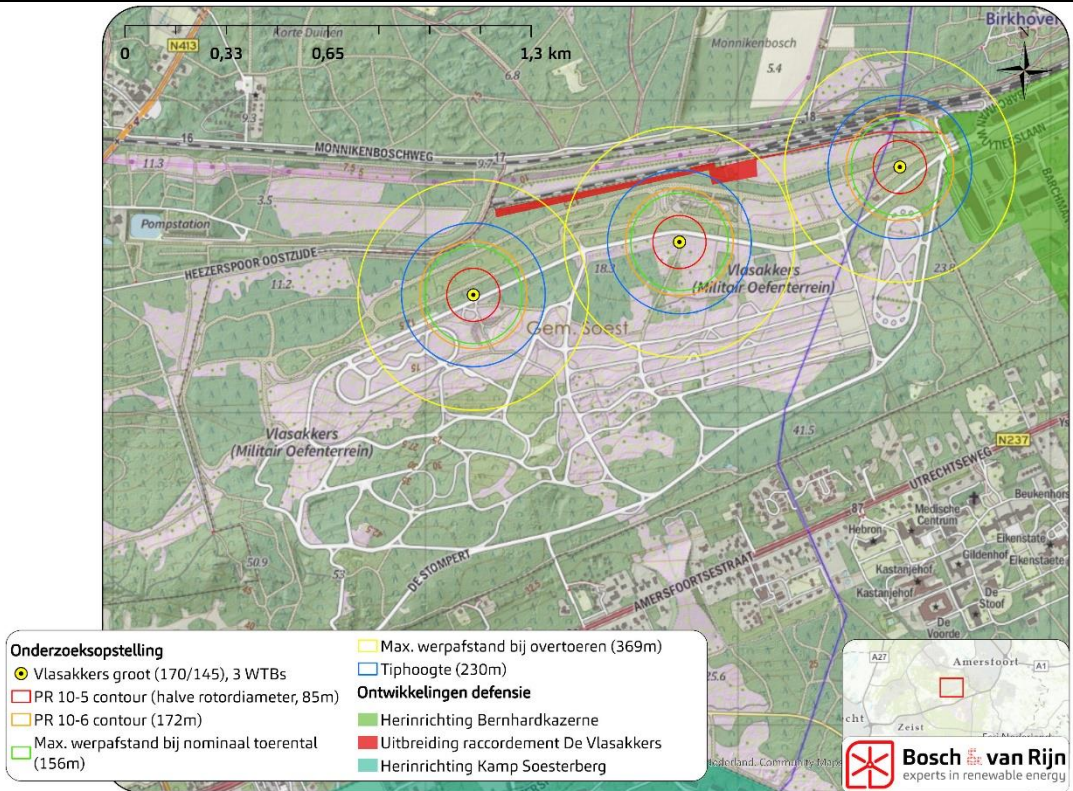
**Figuur 49** Risicocontouren voor de onderzoekopstelling klein – Vlasakkers



**Figuur 50** Risicocontouren voor de onderzoekopstelling middel – Vlasakkers



**Figuur 51 Risicocontouren voor de onderzoekopstelling groot – Vlasakkers**



# Hoofdstuk 5 Opbrengst

---

## 5.1 Inleiding

---

In dit hoofdstuk wordt een vroegtijdige berekening van de elektriciteitsproductie van de onderzoeksofstellingen gegeven door rekening te houden met:

- het lokale *windaanbod*;
- het vermogen van de windturbines om vanuit dit windaanbod elektriciteit te genereren, aangeduid met de *vermogenscurve*;
- de *elektriciteitsverliezen*;

## 5.2 Windaanbod

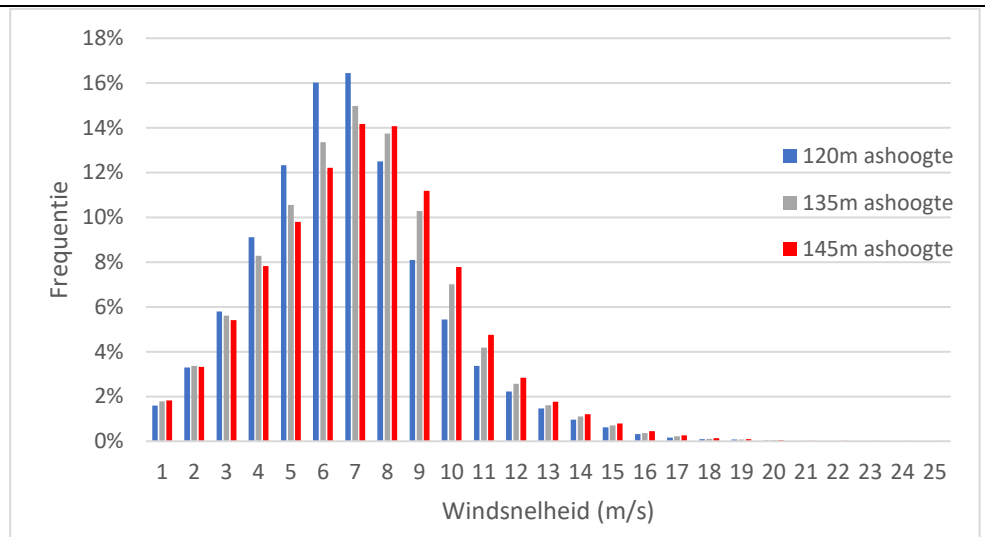
---

Windturbines genereren elektriciteit uit windenergie. Hoe harder het waait, hoe meer stroom er wordt geproduceerd. Daarom is het belangrijk goed te weten wat het windaanbod is ter hoogte van de windturbines. Op grotere hoogte waait het gemiddeld harder, met meer productie tot gevolg. Figuur 52 toont de verwachte *windsnelheidsverdeling* op ashoogte voor de drie verschillende afmetingsvarianten die in dit onderzoek aan bod komen. De windsnelheidsverdeling laat zien hoe vaak verschillende windsnelheden op de Leusderheide en Vlasakkers te verwachten zijn. Voor de bepaling van de windsnelheidsverdeling baseren wij ons op het KNMI-KNW model, die op basis van langjarige meetgegevens tot stand zijn gekomen<sup>8</sup>. De verschillen in windaanbod op verschillende locaties binnen de Vlasakkers en Leusderheide zijn relatief klein. Daarom is in dit onderzoek voor alle windturbines van één representatief windaanbod uitgegaan.

---

<sup>8</sup> Voor een beschrijving van de dataset uit de KNMI-KNW atlas, zie: <https://www.knmiprojects.nl/projects/knw-atlas/knw-data>

**Figuur 52** Windsnelheidsverdeling op een ashoogte van 120, 135 en 145 meter voor een representatieve locatie binnen de Vlasakkers en Leusderheide.

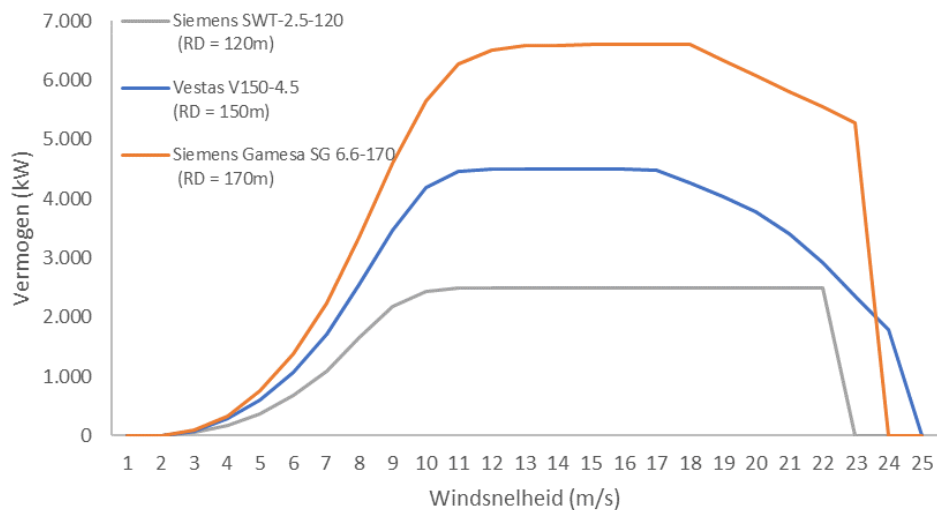


### 5.3 Vermogenscurve

De hoeveelheid elektriciteit die een bepaald type windturbine bij verschillende windsnelheden kan produceren, wordt weergegeven met diens *vermogenscurve*. Voor de vermogenscurve is met name de rotordiameter van de windturbine van belang. Omdat windturbines met een grotere rotordiameter meer wind vangen, kunnen zij bij eenzelfde gemiddelde windsnelheid meer elektriciteit genereren.

Figuur 53 toont de vermogenscurves van drie windturbintypes die representatief zijn bij de onderzochte afmetingsvarianten. Bij de vermogenscurve van bij beide Siemens windturbines is aan het einde van de curve een scherpe daling te zien. Een dergelijke daling zien we terug bij bepaalde windturbintypes waarbij het vermogen wordt afgeschaald ter bescherming van de turbine. In de praktijk blijkt dat deze windsnelheden nauwelijks voorkomen (Figuur 52) en dit een zeer beperkte tot geen invloed heeft op de elektriciteitsproductie.



**Figuur 53 Vermogenscurves van de onderzochte windturbinetypen**


## 5.4 Energieverliezen

Uit vermenigvuldiging van het windaanbod op ashoogte met de vermogenscurve volgt de bruto elektriciteitsproductie van een windturbine. De netto elektriciteitsproductie zal lager liggen omdat verschillende factoren energieverliezen als gevolg zullen hebben (verstoring van het windaanbod door omliggende windturbines en bebouwing, mitigatie voor geluid, slagschaduw en ecologie, stilstand door onderhoud, elektrische verliezen, ijsopbouw, etc.). Passend bij de verkennende fase van dit onderzoek zijn deze verliezen niet voor een specifieke windturbine opstelling berekend, maar wordt een totaal van 13% elektriciteitsverliezen als uitgangspunt genomen.

## 5.5 Resultaten

De resulterende netto elektriciteitsproductie is in Tabel 15 weergegeven. De totale netto elektriciteitsproductie per onderzoekopstelling is in Tabel 16 weergegeven.

**Tabel 15 Verwachte netto elektriciteitsproductie van de doorgerekende windturbineopstellingen**

Formaat	Representatief windturbintype	As-hoogte (m)	Gem. windsnelheid op ashoogte (m/s)	Verwachte netto jaarproductie per windturbine (MWh / jaar)
Klein	Siemens SWT-2.5-120	120	6,80	8.378
Middel	Vestas V150-4.5	135	7,08	15.123
Groot	Siemens Gamesa SG6.6-170	145	7,25	21.447

**Tabel 16 Verwachte totale netto elektriciteitsproductie van de doorgerekende onderzoekopstellingen**

Onderzoekopstelling	Variant	Aantal windturbines	Verwachte netto jaarproductie onderzoekopstelling (GWh / jaar)
Leusderheide Oost	Groot	2	42,9 (0,0429 TWh / jaar)
	Middel	3	45,4 (0,0454 TWh / jaar)
	Klein	4	33,5 (0,0335 TWh / jaar)
Leusderheide West	Groot	3	64,3 (0,0643 TWh / jaar)
	Middel	3	45,4 (0,0454 TWh / jaar)
	Klein	4	33,5 (0,0335 TWh / jaar)

Vlasakkers	Groot	3	64,3 (0,0643 TWh / jaar)
	Middel	4	60,5 (0,0605 TWh / jaar)
	Klein	5	41,9 (0,0419 TWh / jaar)



## Hoofdstuk 6 Conclusie eerste fase deelonderzoek

---

Dit onderzoek betreft de eerste fase van de verkenning waarin de onderzoeksopstellingen zijn onderzocht op de milieueffecten geluid, slagschaduw en externe veiligheid. Met de resultaten van dit onderzoek wordt met stakeholders en input van defensie en luchtvaart gekeken naar mogelijke optimalisaties van de opstellingen. In de volgende fase van het onderzoek wordt daarnaast ook aandacht besteed aan ecologische aspecten, effecten op radar en visualisaties.

Uit het geluidsonderzoek volgt dat er bij elke opstelling aan de conceptnorm van 45 dB Lden (en 39 dB Lnight) op bestaande woningen wordt voldaan. Over het algemeen geldt dat alle opstellingen relatief ver van de woningen af liggen waardoor (ruimschoots) aan de conceptnormen wordt voldaan.

Uit het slagschaduwonderzoek volgt dat opbrengstderving uitgaande een norm van 6-uur slagschaduw per jaar is laag vanwege de geringe hoeveelheid woningen in de nabijheid van de onderzoeksopstellingen. De opbrengstderving uitgaande van een 0-uur norm waarbij alle slagschaduw op de omgeving wordt voorkomen is voor alle onderzoeksopstellingen onder de 0,6%. Daarmee is de verwachting dat stilstand ter vermindering van slagschaduw geen belemmering vormt voor de economische uitvoerbaarheid van het windpark. De derving die gepaard gaat met stilstand om alle slagschaduw op het dierenpark te voorkomen bedraagt 0,3% voor het grote formaat, 0,2% voor het middelgrote formaat van 0,1% voor het kleine formaat.

Het externe veiligheidsonderzoek laat zien dat de onderzoeksopstellingen geen veiligheidsrisico's bij omliggende woningen zullen opleveren, omdat hiervoor de afstand tot de windturbines te groot is. Wel bestaat de kans dat delen van een falende windturbine omliggende infrastructuur (wegen, spoorwegen en hoogspanningsleidingen) kunnen treffen. In de ruimtelijke analyse die aan dit onderzoek vooraf is gegaan is al rekening is gehouden met adviesafstanden die tot deze infrastructuur gelden. Hieruit volgt dat de overblijvende veiligheidsrisico's bij omliggende infrastructuur als toelaatbaar mogen worden beschouwd. De beoordeling van externe veiligheidsrisico's is daarom uitsluitend relevant voor de gebouwen en terreinen van Defensie. Uit de figuren bij het externe veiligheidsonderzoek volgt dat toekomstig externe veiligheidsonderzoek met name bij het raccordement op de Vlasakkers en de Berhardkazerne zal moeten aantonen of sprake van een toelaatbare situatie is.

Tot slot is de te verwachte energieopbrengst berekend voor de onderzoeksopstellingen. De onderzoeksopstelling die de laagste energieopbrengst oplevert, bestaat uit 4 kleine windturbines met een jaarlijkse energieopbrengst van 33,5 GWh (0,0335 TWh). De hoogste opbrengst bedraagt 64,3 GWh (0,0643 TWh) per jaar en wordt behaald door de opstelling van 3 grote windturbines.

Uit het onderzoek blijkt dat op het gebied van milieuaspecten geluid, slagschaduw en externe veiligheid de onderzoeksoptellingen op deze locaties haalbaar zijn.





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

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

