Bosch & van Rijn
Franz-Lisztplantsoen 220
3533 JG Utrecht
030 – 677 6466

Auteurs
Loes Derikx MSc.
Steven Velthuijsen MSc.

Opdrachtgever
Rijkswaterstaat Corporate Dienst
Postbus 8185
3503 RD Utrecht



Windturbines Avelingen

Slagschaduwonderzoek t.b.v. ruimtelijke verkenning



Windturbines Avelingen

Slagschaduwonderzoek t.b.v. ruimtelijke verkenning

Datum	23 september 2022
Versie	1.0
Auteur	Loes Derikx
Tweede lezer	Steven Velthuijsen Wouter Verweij

Bosch & van Rijn
Franz-Lisztplantsoen 220
3533 JG Utrecht

Tel: 030-677 6466
Mail: info@boschenvanrijn.nl
Web: 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

WINDTURBINES AVELINGEN 1
SLAGSCHADUWONDERZOEK T.B.V. RUIMTELIJKE VERKENNING 1
HOOFDSTUK 1 INLEIDING 4
1.1 Inleiding 5
1.2 Onderzoeksvarianten 6
1.3 Doel slagschaduwonderzoek 9
1.4 Wettelijke norm 9
1.5 Stilstandvoorziening 9
1.6 Gevoelige objecten 10
1.7 Slagschaduwbelasting bedrijventerrein 12
1.8 Leeswijzer 13
HOOFDSTUK 2 BEREKENING 14
2.1 Inleiding 15
2.2 Windaanbod 15
2.3 Zonaanbod 16
2.4 Aannames 16
2.5 Rekenmethode 18
HOOFDSTUK 3 RESULTATEN 19
3.1 Slagschaduwcontour 20
3.2 Gevoelige objecten binnen de contour 22
3.3 Opbrengstderving bij voorkomen slagschaduw 22
3.4 Opbrengstderving bij verschillende mogelijke slagschaduwnormen 22
3.5 Slagschaduw op het bedrijventerrein veroorzaakt door windturbines 24
HOOFDSTUK 4 CONCLUSIE 26
4.1 Conclusie slagschaduwonderzoek 27
HOOFDSTUK 5 BIJLAGEN 28
BIJLAGE A SLAGSCHADUWCONTOUREN 29
BIJLAGE B UITDRAAIEN WINDPRO 34
BIJLAGE C UITDRAAIEN WINDPRO – BEDRIJVENTERREIN 35

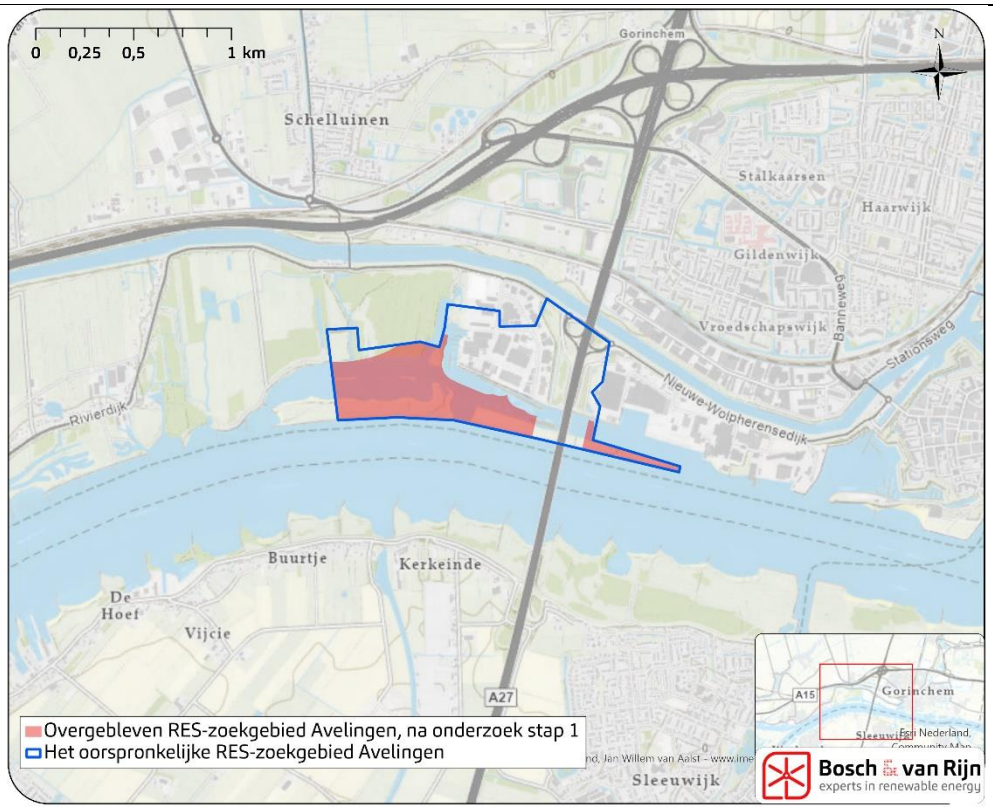
Hoofdstuk 1 Inleiding

1.1 Inleiding

In opdracht van het team 'Windenergie Avelingen' voert Bosch & van Rijn een verkennende studie uit naar de technisch-ruimtelijk en financiële haalbaarheid van windenergie in het RES-zoekgebied Avelingen, zoals dat is begrensd in de RES 1.0 Alblasserwaard. Het team heeft de opdracht de haalbaarheid van windenergie in kaart te brengen en ter besluitvorming voor te leggen aan een stuurgroep van de betrokken overheden. De stuurgroep besluit op basis van de aan te leveren informatie of, en zo ja, hoe een volgende stap in het onderzoek naar de ontwikkeling van windenergie kan worden gezet. In een eventuele volgende stap moet een marktpartij (initiatiefnemer) worden geselecteerd en moet een ruimtelijke plan of besluit worden voorbereid waarbij invulling moet worden gegeven aan de m.e.r.-(beoordelings)plicht.

In stap 1 van de ruimtelijke verkenning zijn de belemmeringen in en nabij het oorspronkelijk begrensde zoekgebied in kaart gebracht. Figuur 1 laat zowel het oorspronkelijke zoekgebied zien zoals dat in de RES was begrensd, als de begrenzing na stap 1.

Figuur 1 **Ligging van RES-zoekgebied Avelingen en het overgebleven zoekgebied na onderzoeksstap 1.**



Binnen het RES-zoekgebied dat is overgebleven na onderzoeksstap 1 zijn drie mogelijke onderzoeksvarianten gemodelleerd. Aan de hand van de drie onderzoeksvarianten heeft Bosch & van Rijn als onderdeel van de ruimtelijke verkenning een

slagschaduwonderzoek uitgevoerd naar de slagschaduwduur bij gevoelige objecten[1] in de omgeving van het RES-zoekgebied en kantoren op bedrijventerrein Avelingen.

Tijdens de verkenning heeft een dialoog met de omgeving (omwonenden, bedrijven, buurgemeenten) plaatsgevonden. In het slagschaduwonderzoek is aandacht besteed aan vragen die tijdens dat participatieproces naar voren zijn gebracht.

1.2 Onderzoeksvarianten

Onderzoek naar meerdere windturbineklassen is van belang voor het bepalen van de (grenzen van) de ruimtelijk-technische haalbaarheid van windenergie en voor het onderzoeken van de financiële haalbaarheid. Deze studie berekent de slagschaduwduur van drie onderzoeksvarianten van windturbines. De onderzoeksvarianten zijn tot stand gekomen aan de hand van drie windturbineklassen, namelijk een klasse met een rotordiameter tot 130 meter, 130 – 160 meter en een rotordiameter groter dan 160 meter. Voor elke windturbineklasse is een onderzoeksvariant gemodelleerd met een maximum aantal windturbines dat binnen het zoekgebied (na onderzoeksstap 1) mogelijk is, gelet op de minimale onderlinge afstand. De varianten verschillen in aantal, afmeting en posities van de windturbines. Voor elke afmetingsklasse is een representatief type windturbine gekozen.

De varianten vormen nadrukkelijk geen alternatieven in de zin van een milieueffectrapportage, ze zijn zodanig gekozen dat milieueffecten van mogelijke varianten zo goed mogelijk in beeld worden gebracht teneinde de haalbaarheid voor enkele windturbineklassen inzichtelijk te maken. Het gaat hierbij niet om een worst case benadering voor het gehele project, echter is er wel sprake van een worst case benadering als het gaat om het berekenen van de effecten, omdat hierbij wordt uitgegaan van de bovengrens aan effectfactoren behorende bij de gekozen varianten en type windturbines.

De ashoogte en rotordiameter zijn bepalend voor de slagschaduweffecten, het type windturbine heeft daar nagenoeg geen effect op[2]. De afmetingen van de onderzoeksvarianten zijn weergegeven in
Tabel 1. De coördinaten van de windturbineposities staan in Tabel 2. Figuur 2 geeft de posities van de windturbines in de onderzoeksvarianten weer.

Tabel 1 **Onderzoeksvarianten RES-zoekgebied Avelingen.**

	Klein	Middel	Groot
Aantal windturbines	6	6	4
Ashoogte (m)	120	136	150
Rotordiameter (m)	117	136	162

[1] Onder gevoelige objecten worden verstaan: woningen, onderwijsgebouwen, ziekenhuizen, verpleeghuizen, verzorgingstehuizen, psychiatrische inrichtingen, kinderdagverblijven, woonwagenstandplaatsen en ligplaatsen voor woonschepen. Bron: Wet geluidhinder.

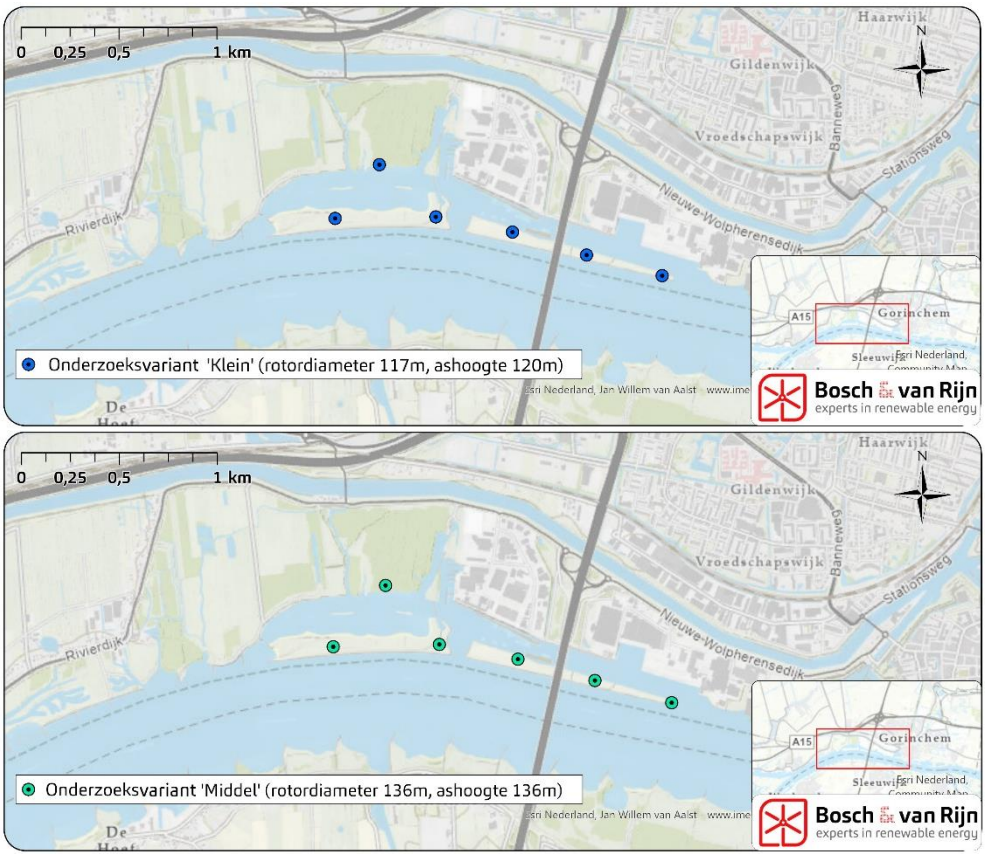
[2] De bladbreedte van een windturbinetype kan zeer beperkt invloed hebben op de veroorzaakte slagschaduw, zie paragraaf 2.4.

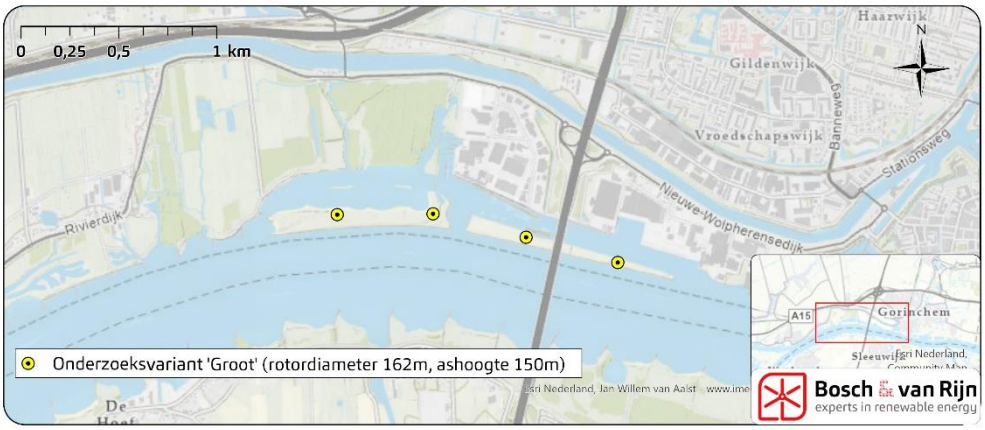
Tiphoogte (m)	178,5	204	231
Gebruikt windturbinetype	Nordex N117	Vestas V136	Vestas V162

Tabel 2 **Locaties van de windturbines van de verschillende onderzoeksvarianten.**

	Klein		Middel		Groot	
WTB	X	Y	X	Y	X	Y
1	123258	427007	123246	426991	123269	427022
2	123484	427282	123513	427305	123759	427026
3	123772	427015	123788	427003	124234	426906
4	124164	426938	124189	426928	124702	426777
5	124542	426820	124582	426819		
6	124929	426715	124974	426705		

Figuur 2 **Onderzoeksvarianten in het RES-zoekgebied Avelingen.**




0 0,25 0,5 1 km
N
Haarwijk
Gildenwijk
Vroedschapswijk
Bannewegpg
Stationsweg
Nieuwe-Wolpherensedijk
Rivierdijk
A15
Gorinchem
Onderzoeksvariant 'Groot' (rotordiameter 162m, ashoogte 150m)
Bosch & van Rijn
experts in renewable energy

1.3 Doel slagschaduwonderzoek

Per onderzoeksvariant wordt berekend of, en zo ja hoeveel gevoelige objecten er op basis van de verwachte weeromstandigheden[3] meer dan 3 uur, 6 uur en 15 uur per jaar bewegende slagschaduw ondervinden als gevolg van de windturbines. Doel is om te onderzoeken hoeveel stilstand er benodigd is om te voldoen aan maximaal 3, 6 of 15 uur slagschaduw per jaar per gevoelig object en hoeveel opbrengstderving dit met zich meebrengt.

1.4 Wettelijke norm

Sinds een uitspraak van de Afdeling Bestuursrechtspraak van de Raad van State kunnen de landelijke milieunormen voor windturbines (vastgelegd in het Activiteitenbesluit milieubeheer en de Activiteitenregeling milieubeheer) op het gebied van geluid, slagschaduw, lichtschittering en externe veiligheid niet langer toegepast worden op windparken van 3 of meer windturbines.

In het Activiteitenbesluit is voor een windturbineproject van maximaal 2 turbines een norm aangegeven van maximaal 17 keer meer dan 20 minuten schaduwduur per jaar. Dit is in de praktijk vertaalt naar een norm voor een totale schaduwduur van 6 uur per jaar. Daarmee wordt strenger getoetst dan de norm, alle schaduwdoor korter dan 20 minuten zou immers toelaatbaar zijn.
Voor opstellingen van 3 of meer windturbines geldt op dit moment, als gevolg van de uitspraak van de Raad van State, geen landelijke norm en kan het bevoegd gezag zelf een norm opnemen in het ruimtelijk plan of besluit, mits deze is voorzien van een actuele, deugdelijke, op zichzelf staande en op de lokale situatie toegesneden motivering. Om een waardevolle vergelijking mogelijk te maken wordt er in dit onderzoeksrapport gekeken naar de slagschaduwbelasting op gevoelige objecten bij fictieve normen van:

- 3 uur per jaar
- 6 uur per jaar
- 15 uur per jaar

1.5 Stilstandvoorziening

Om eventuele normoverschrijding te voorkomen (indien deze in landelijke regelgeving of lokale norm wordt vastgelegd) kan een stilstandvoorziening op de windturbine worden aangebracht. Deze zorgt ervoor dat bij overschrijding van een slagschaduwnorm de windturbine (of windturbines) wordt uitgeschakeld. Bij een norm van bijvoorbeeld maximaal 6 uur slagschaduw per jaar per gevoelig object, zorgt een stilstandvoorziening van een windpark ervoor dat er daadwerkelijk maximaal 6

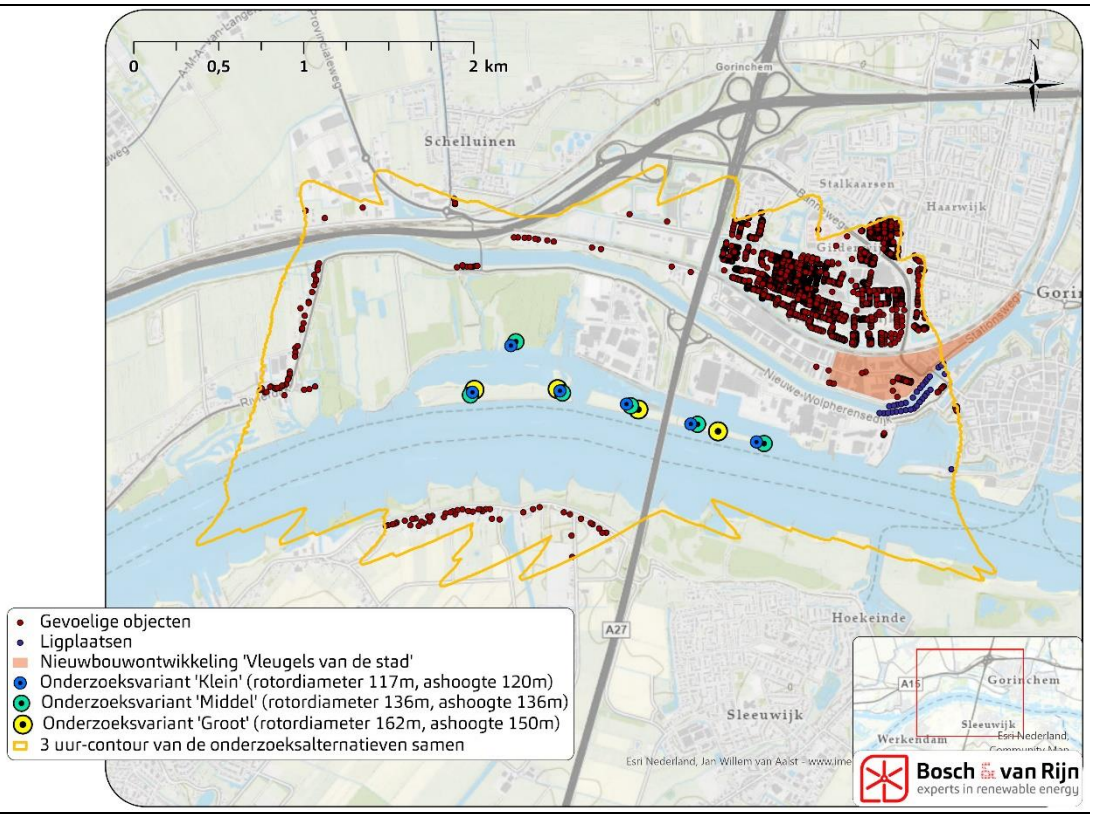
[3] Berekeningen worden uitgevoerd met behulp van langjarige klimatologische gegevens op basis van gemiddelden. De daadwerkelijke weersomstandigheden kunnen jaarlijks verschillen. De daadwerkelijke hoeveelheid slagschaduw kan daardoor ook per jaar verschillen, tot een van tevoren bepaald jaarlijks maximum.

uur per jaar slagschaduw op een gevoelig object optreedt. De voorziening wordt per schaduwgevoelig object vooraf ingeregeld, aangezien het gaat om specifieke momenten die van tevoren bepaald kunnen worden afhankelijk van de zonnestand. Daarnaast wordt gemeten of er daadwerkelijk voldoende zon (en dus slagschaduw) is op die momenten. Slagschaduw is daarmee vrij eenvoudig te voorkomen. Wel heeft benodigde stilstand van windturbines invloed op de energieopbrengst.

1.6 Gevoelige objecten

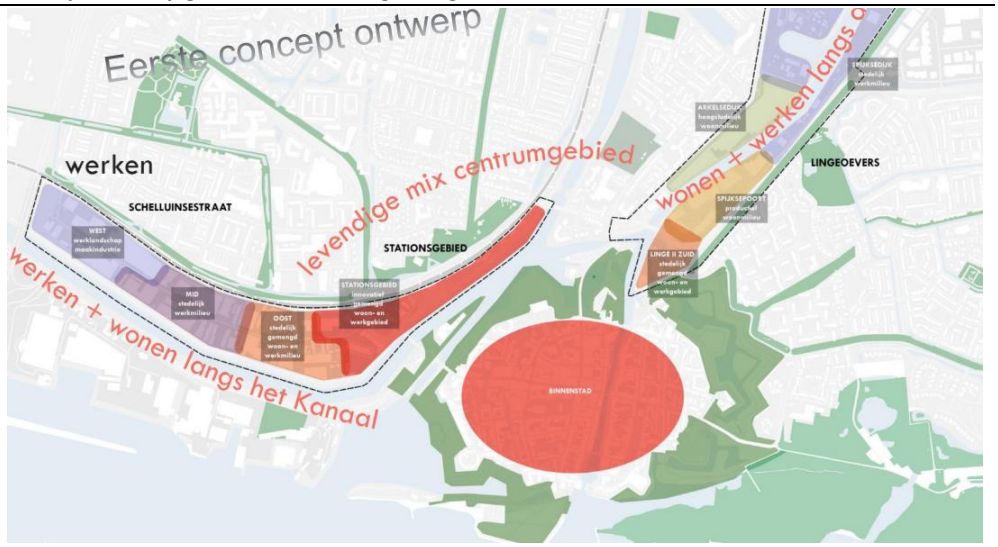
In de omgeving van de beoogde windturbines liggen gevoelige objecten. In de berekeningen zijn alle gevoelige objecten meegenomen die naar verwachting minimaal 3 uur slagschaduw ontvangen **wanneer er geen stilstandvoorziening in werking is**. Hierbij is uitgegaan van de aannames dat er geen slagschaduw optreedt wanneer de zon lager dan 5 graden boven de horizon staat en dat er alleen slagschaduw optreedt wanneer de zon minimaal voor 20 procent wordt bedekt door een wiek (zie alle aannames voor het slagschaduwmodel in paragraaf 2.4).
Figuur 3 toont de ligging van alle gevoelige objecten die binnen minimaal één van de 3-uurcontouren van de onderzoeksvarianten liggen **wanneer er geen stilstandvoorziening in werking is**. Voor deze gevoelige objecten is de slagschaduwduur berekend. Ook in bestemmingsplannen aangewezen ligplaatsen zijn in de analyse meegenomen als gevoelige objecten. De bron van de locatie van de gevoelige objecten is de Basisadministratie Adressen en Gebouwen (BAG, maart 2022).

Figuur 3 **Gevoelige objecten en ligplaatsen in omgeving van onderzoeksvarianten bij Avelingen die naar verwachting minimaal 3 uur (tot circa 15 uur) slagschaduw per jaar ontvangen door minimaal één van de onderzoeksvarianten (wanneer er geen stilstandvoorziening in werking is).**



Ten noordoosten van het bedrijventerrein Avelingen zijn plannen voor de realisatie van woon-werkzones langs het kanaal in Gorinchem (zie Figuur 4). De zones waarin hoofdzakelijk woningen worden gerealiseerd (oranje en rode zone) zijn in het onderzoek meegenomen als slagschaduw-ontvangend vlak.

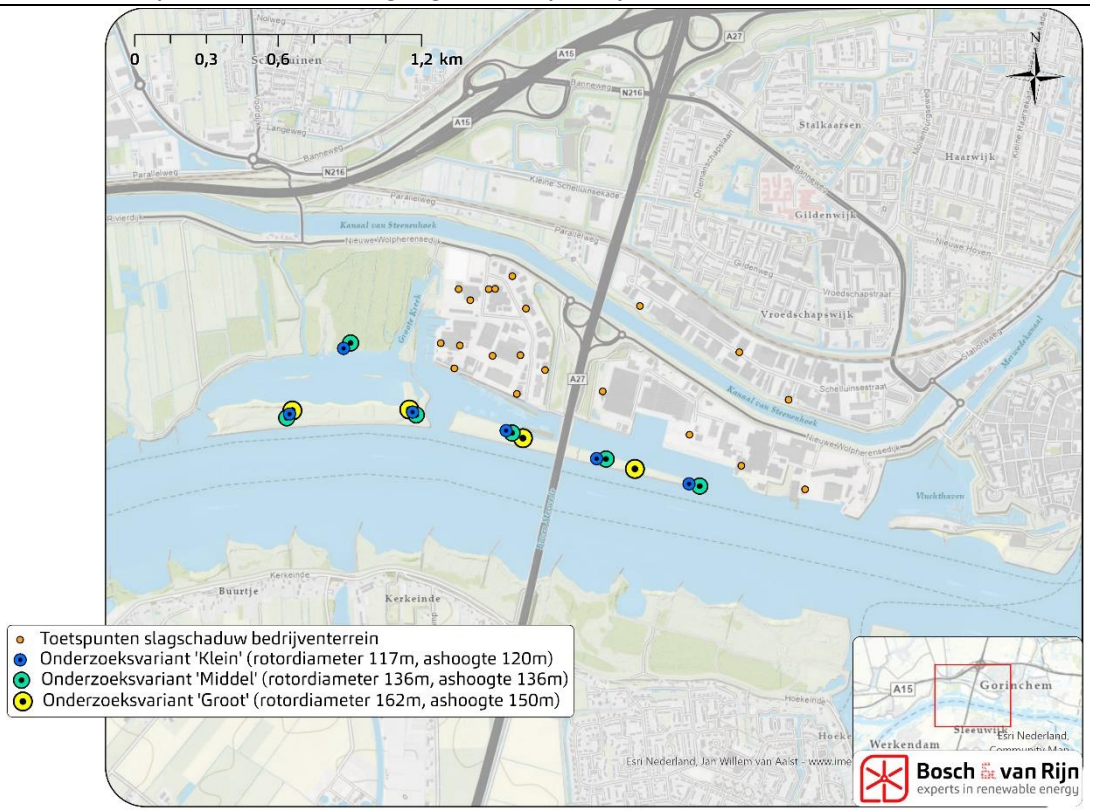
Figuur 4 **Concept ontwerp gebiedsontwikkeling 'Vleugels van de stad'.**



1.7 Slagschaduwbelasting bedrijventerrein

Slagschaduw kan ook als hinderlijk worden ervan wanneer deze tijdens werktijden op lichtdoorlatende gevels van kantoren valt. Daarom wordt in dit slagschaduwonderzoek aan de hand van verschillende toetspunten inzichtelijk gemaakt hoeveel slagschaduw de verschillende windturbineposities mogelijk op het bedrijventerrein werpen. Daarnaast wordt inzichtelijk gemaakt wat het effect is op de energieopbrengst wanneer slagschaduw op het bedrijventerrein moet worden voorkomen door stilstand. Figuur 5 laat zien op welke locaties toetspunten zijn opgenomen. Bij elk toetspunt is rekening gehouden met de hoogte en breedte van lichtdoorlatende gevels waar slagschaduw op kan vallen. Er is in dit verkennend slagschaduwonderzoek geen onderscheid gemaakt in de verwachte hoeveelheid slagschaduw per bedrijf of bedrijfspand. Dit past niet bij het verkennende karakter van dit onderzoek. Bij de eventuele ontwikkeling van een windproject is er ruimte voor maatwerk om per bedrijf de verwachte slagschaduwbelasting inzichtelijk te maken en/of afspraken te maken over de maximale jaarlijkse slagschaduwbelasting per bedrijf.

Figuur 5 **Toetspunten voor berekening slagschaduw op bedrijventerrein**



1.8 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt uitgelegd hoe de berekeningen uitgevoerd zijn. Hoofdstuk 3 presenteert de resultaten van deze berekeningen inclusief mitigatiemaatregelen. In hoofdstuk 4 worden tenslotte de conclusies gepresenteerd.

Hoofdstuk 2 Berekening

2.1 Inleiding

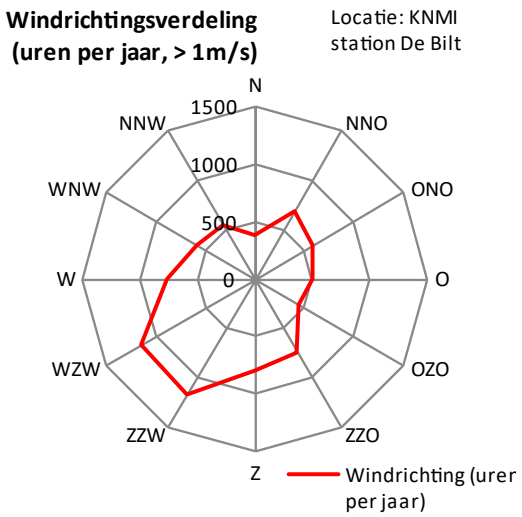
Slagschaduw van een windturbine is de schaduw van de draaiende wieken. Als slagschaduw op het raam van een gevoelig object valt kan dat als hinderlijk worden ervaren. De stand van de zon is een vast gegeven afhankelijk van datum-tijd en positie op de aarde. Voor elk object (bijvoorbeeld een windturbine) is het daarom mogelijk een berekening te doen om het tijdvak te bepalen wanneer er slagschaduw valt op een bepaald punt (bijvoorbeeld het raam van een huis). Om dit te kunnen doen is de volgende informatie nodig:

- De grootte van het object dat slagschaduw veroorzaakt; voor een windturbine is de grootte van de wieken van belang;
- De positie van de windturbine en het beschaduwde object (met name ten opzichte van elkaar);
- De ashoogte van de windturbine;
- De grootte, richting en oriëntatie (hellingshoek) van het beschaduwde object; met de richting wordt bedoeld hoe het raam (lichtdoorlatende deel van de gevel) gericht is ten opzichte van de windturbine(s), oriëntatie is in het algemeen verticaal, maar ook kan gedacht worden aan een dakraam in een schuin dak onder een bepaalde hoek.

2.2 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. Een moderne windturbine met een ashoogte boven de 80 meter is gemiddeld ca. 95% van de tijd in bedrijf. Ook in dit onderzoek gaan we uit van 95%. Onderstaande grafiek geeft de langjarige windrichtingsverdeling weer van meteostation De Bilt. De windgegevens van meteostation De Bilt zijn de dichtstbijzijnde meetgegevens die bij de auteur bekend zijn.

Figuur 6 **Windroos van meteostation De Bilt.**



2.3 Zonaanbod

Het zonaanbod is in de berekening is gebaseerd op het zonaanbod in Herwijnen (de dichtstbijzijnde meetpost). De berekeningen zijn uitgevoerd met het softwarepakket WindPRO. Zie de bijlage met WindPRO-rekenresultaten voor de precieze waarden.

Zomer- en 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.

2.4 Aannames

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

- Correctie voor de gemiddelde zonneschijnduur;
  De zon schijnt (overdag) niet altijd vanwege de aanwezigheid van bewolking (en mist); op basis van klimatologische gegevens van het KNMI voor de gemiddelde zonneschijnduur wordt een maandelijks getal afgeleid voor de kans dat de zon daadwerkelijk schijnt. Op deze locatie is gebruik gemaakt van KNMI-gegevens van station Herwijnen. De klimatologische gegevens zijn gegevens voor gemiddelde zonneschijnduur zijn genomen van de jaren 1991-2020. Dit is de meest actuele beschikbare data over zonneschijnduur.

- 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.

- Minimale zonhoek;
  Als de zon te laag boven de horizon staat moet het licht een grotere afstand door de atmosfeer afleggen. Hierdoor wordt het licht diffuus en kan het geen duidelijke schaduw meer vormen. In deze studie zijn we uitgegaan van een minimale zonhoek van 5 graden. Dit is een veelgebruikte aanname in slagschaduwonderzoeken[4].

- Minimale bedekking van de zon door de wieken;
  Hinderlijke slagschaduw wordt veroorzaakt door het contrast tussen licht en donker. Bij slagschaduw die op ruime afstand van de windturbine ontstaat, is het contrast tussen licht en donker veel kleiner. Als de wieken maar een klein deel van de zonneschijf bedekken (minder dan 20 procent) is de slagschaduw dermate diffuus dat deze nauwelijks voor hinder zorgt. In dit onderzoek wordt aangenomen dat er alleen slagschaduw optreedt wanneer de zon minimaal voor 20 procent wordt bedekt door de wiek van een windturbine. Dit is een veelgebruikte aanname in slagschaduwonderzoeken[5]. Op basis van bladbreedtegegevens van het gebruikte windturbinetype wordt in WindPRO berekend of meer dan 20% van de zon bedekt wordt door de wiek.

De 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.

[4] Zie bijvoorbeeld het slagschaduwonderzoek in 'Onderzoek milieunormen windenergie – Windpark Delfzijl Zuid Uitbreiding' (https://www.ruimtelijkeplannen.nl/documents/NL.IMRO.1979.68BP-VG01/b_NL.IMRO.1979.68BP-VG01_tb.html)

[5] Zie bijvoorbeeld het slagschaduwonderzoek in 'Onderzoek milieunormen windenergie – Windpark Delfzijl Zuid Uitbreiding' (https://www.ruimtelijkeplannen.nl/documents/NL.IMRO.1979.68BP-VG01/b_NL.IMRO.1979.68BP-VG01_tb.html)

2.5 Rekenmethode

De berekeningen zijn uitgevoerd met het softwarepakket WindPRO, een programma dat slagschaduw nauwkeurig berekent en dat veel gebruikt wordt in de windenergiesector.
Op basis van data over het zon- en windaanbod van de dichtstbijzijnde meetpost en bovengenoemde aannames wordt met het softwarepakket WindPRO berekend hoeveel slagschaduw de gevoelige objecten per jaar naar verwachting ontvangen. Ook tekent WindPRO slagschaduwcontouren voor de grens van 3, 6 en 15 uur slagschaduw per jaar **wanneer er geen stilstandvoorziening in werking is.**

Hoofdstuk 3 Resultaten

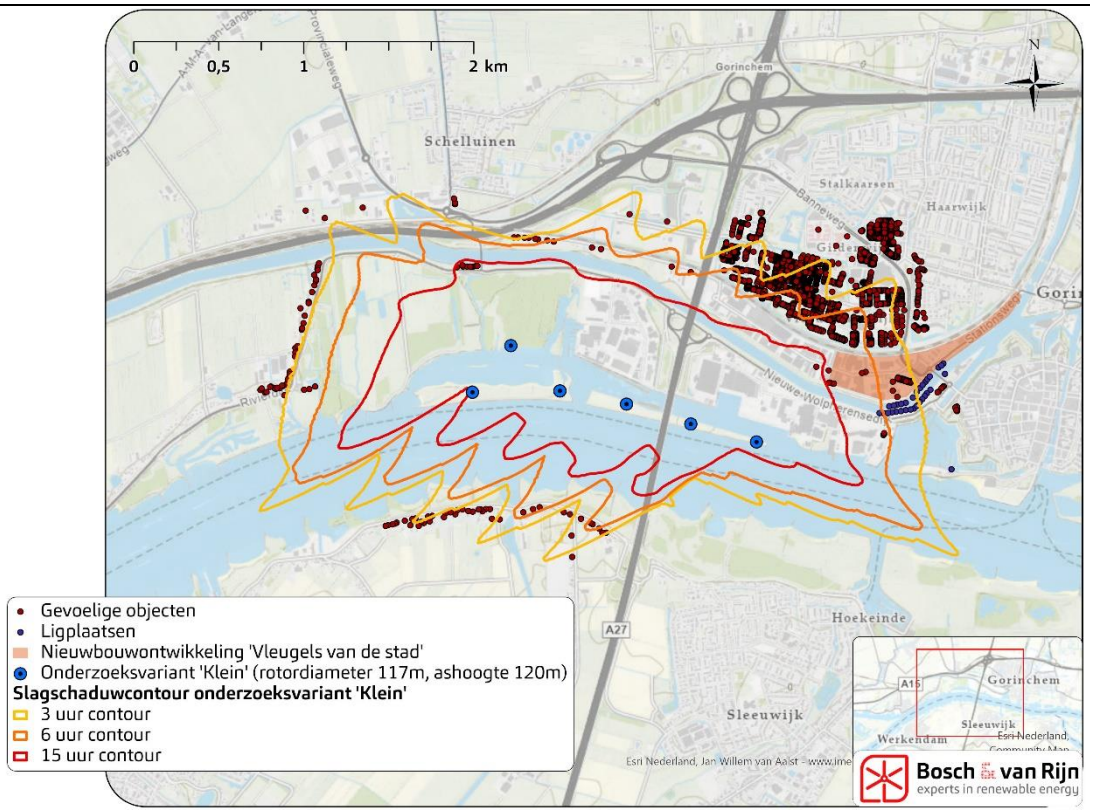
3.1 Slagschaduwcontour

Figuur 7,

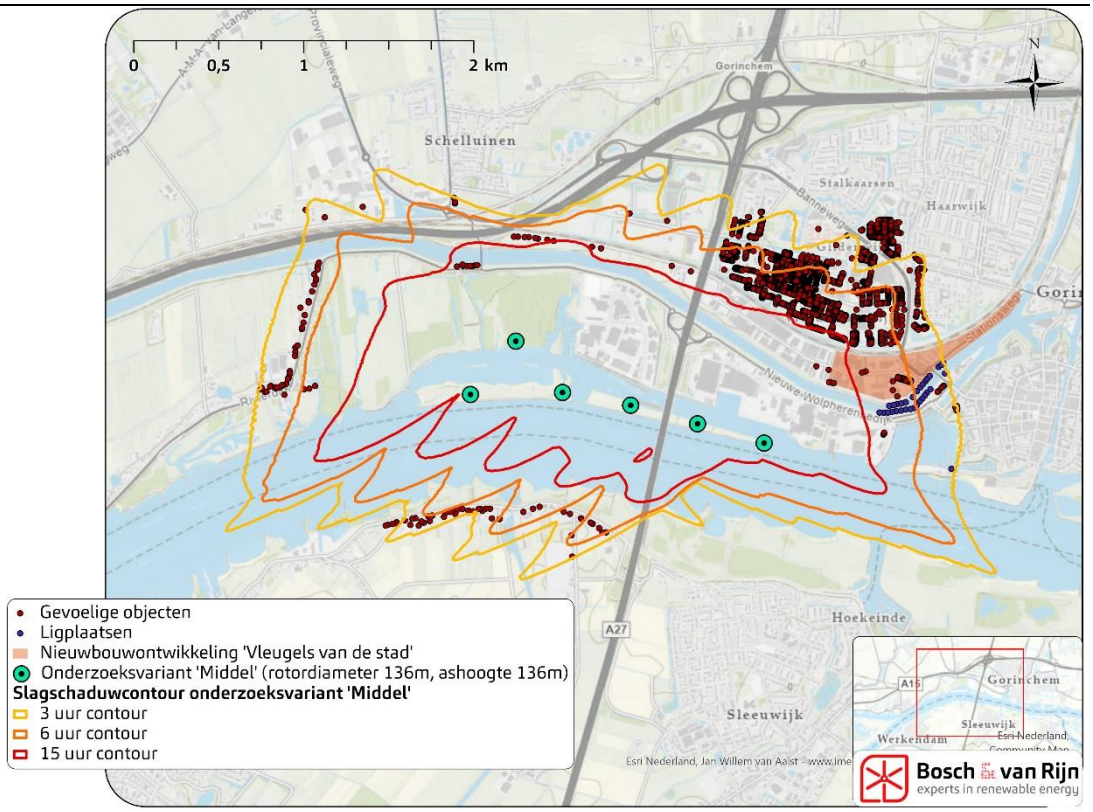
Figuur 8 en Figuur 9 tonen de slagschaduwcontouren van 15 uur, 6 uur en 3 uur verwachte slagschaduw per jaar voor de onderzoeksvarianten ‘Klein’, ‘Middel’ en ‘Groot’. Hier is uitgegaan van een *realistische meteorologische situatie* (in tegenstelling tot een *worstcasescenario* waarbij ervanuit wordt gegaan dat de zon altijd schijnt en de wind altijd hard genoeg waait om de windturbines te laten draaien). In deze figuren wordt uitgegaan van een situatie waarin géén sprake is van een stilstandvoorziening. De schaduwcontouren vormen en verbinding tussen toetspunten waar eenzelfde schaduwduur wordt berekend. Buiten de contour (op grotere afstand van de windturbines) kan in geen geval meer schaduw optreden dan op de contourgrens.

In alle drie de figuren zijn alle gevoelige objecten weergegeven die binnen de 3 uur-contour liggen van minimaal één van de drie onderzoeksvarianten. Voor al deze gevoelige objecten is de verwachte slagschaduwduur per jaar berekend (zonder stilstandvoorziening). De contouren van de onderzoeksvarianten zijn vergroot weergegeven in Bijlage A.

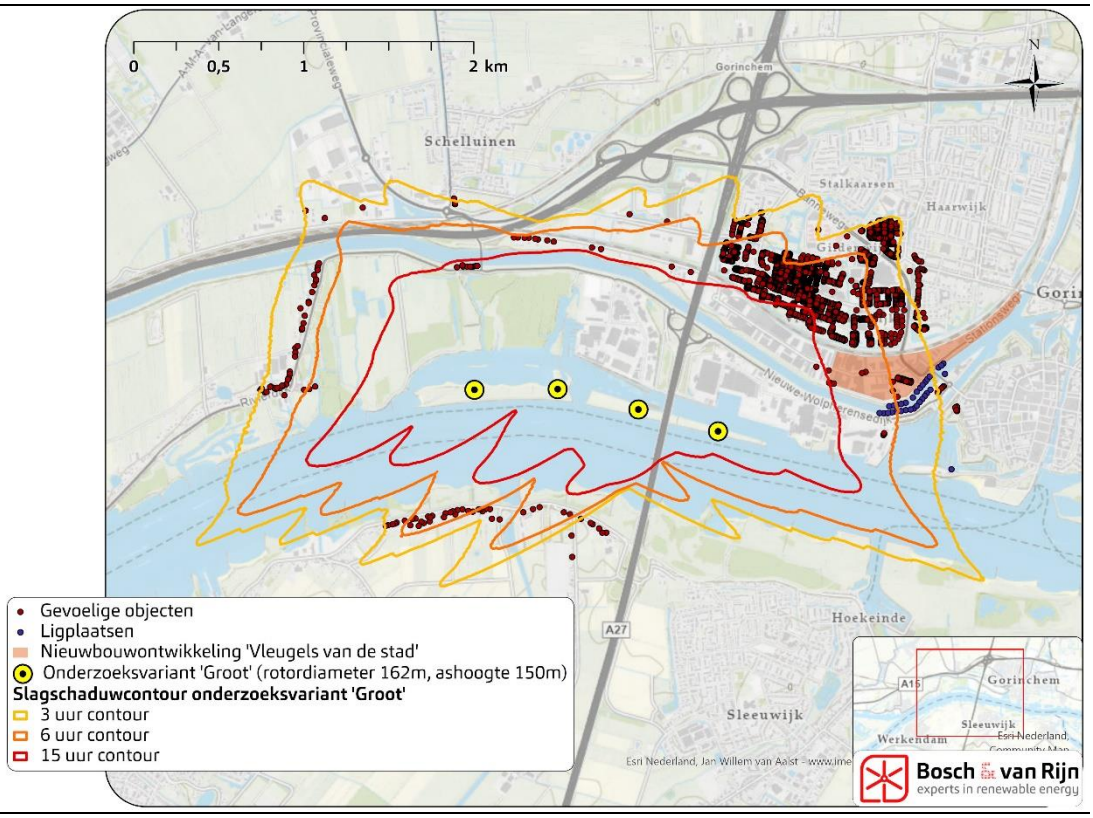
Figuur 7 **De 15 uur, 6 uur en 3 uur slagschaduwcontouren van onderzoeksvariant ‘Klein’. Ook zijn gevoelige objecten weergegeven.**



Figuur 8 **De 15 uur, 6 uur en 3 uur slagschaduwcontouren van onderzoeksvariant 'Middel'. Ook zijn gevoelige objecten weergegeven.**



Figuur 9 **De 15 uur, 6 uur en 3 uur slagschaduwcontouren van onderzoeksvariant 'Groot'. Ook zijn gevoelige objecten weergegeven.**



3.2 Gevoelige objecten binnen de contour

Er bevinden zich gevoelige objecten binnen de slagschaduwcontouren. Tabel 3 geeft de aantallen. In Bijlage B is een lijst van alle adressen opgenomen van schaduwgevoelige objecten waar schaduwduur is berekend.
Gevoelige objecten gelegen binnen de contouren uit Figuur 7,

Figuur 8 en Figuur 9 ontvangen naar verwachting minimaal 3 uur slagschaduw per jaar (wanneer er geen stilstandvoorziening in werking is). Deze slagschaduw zal naarmate de afstand groter is en de zon dus lager aan de hemel staat, in toenemende mate diffuus zijn en minder snel als hinderlijk worden ervaren. Ook het gebied aan de Schelluinsestraat waar nieuwbouwontwikkelingen plaats zullen vinden, zal naar verwachting slagschaduw ontvangen.

Tabel 3 **Aantal gevoelige objecten binnen slagschaduwcontouren van de onderzoeksvarianten.**

Onderzoeksvariant	Aantal gevoelige objecten binnen 15u contour	Aantal gevoelige objecten binnen 6u contour	Aantal gevoelige objecten binnen 3u contour
Klein	15	949	2144
Middel	230	2112	2963
Groot	255	2345	3489

3.3 Opbrengstderving bij voorkomen slagschaduw

Het stilzetten van windturbines heeft invloed op de energieopbrengst. Het verlies aan energieopbrengst wordt ook wel de opbrengstderving genoemd. WindPRO berekent de tijd die de windturbines moeten worden stilgezet (bijvoorbeeld door middel van een stilstandvoorziening) om alle verwachte slagschaduw op de ingevoerde objecten te voorkomen. De berekening is opgenomen in Bijlage B. Tabel 4 geeft de samengevatte resultaten en het percentage aan opbrengstderving dat ontstaat door de eventuele stilstand.

Tabel 4 **Stilstand in uren per jaar om alle slagschaduw op gevoelige objecten te voorkomen.**

Variant	Slagschaduw per jaar (uu:mm)	Opbrengstderving (%)
Klein	277:45	0,56%
Middel	427:33	0,86%
Groot	326:41	0,98%

3.4 Opbrengstderving bij verschillende mogelijke slagschaduwnormen

Om te berekenen wat de opbrengstderving is bij een lokale norm (van bijvoorbeeld maximaal 15 uur, 6 uur of 3 uur per jaar per gevoelig object), wordt eerst berekend welke overschrijding van de betreffende waarde optreedt per slagschaduwgevoelig object. Op deze manier wordt het aantal uren geraamd waarin stilstand moet worden toegepast en de derving optreedt.

Voorbeeld:

- *Bij woning A treedt per jaar naar verwachting 7 uur en 14 minuten slagschaduw op wanneer er geen stilstandvoorziening in werking is. Bij een norm van maximaal 6 uur slagschaduw per jaar is er bij deze woning 1 uur en 14 minuten slagschaduw per jaar aan overschrijding.*

- *Bij woning B treedt per jaar naar verwachting 3 uur en 41 minuten slagschaduw op wanneer er geen stilstandvoorziening in werking is. Bij een norm van maximaal 6 uur slagschaduw per jaar is er bij deze woning geen verwachte overschrijding van de norm.*

Vervolgens wordt de norm overschrijdende slagschaduw van alle gevoelige objecten bij elkaar opgeteld. De overgebleven norm overschrijdende slagschaduw moet worden voorkomen door middel van stilstand. De benodigde stilstand van de windturbines geschat met de volgende berekening:

$$Benodigde\ stilstand = (SS_{WT}) * \frac{normoverschijdende\ SS_{woningen}}{totale\ SS_{woningen}}$$

Waarbij SS staat voor slagschaduw, en SS_{WTn} voor de som van de slagschaduw van alle windturbines van de betreffende onderzoeksvariant. De periode dat de windturbines slagschaduw veroorzaken is veel kleiner dan de opgetelde tijd dat woningen slagschaduw ondervinden, omdat een windturbine meestal op meerdere woningen tegelijk slagschaduw veroorzaakt.

Tabel 5 laat zien hoeveel derving er verwacht wordt wanneer er aan een norm van maximaal 15 uur slagschaduw per jaar moet worden voldaan. Tabel 6 laat zien hoeveel derving er verwacht wordt wanneer er aan een norm van maximaal 6 uur slagschaduw per jaar moet worden voldaan.
Tabel 7 laat zien hoeveel derving er verwacht wordt wanneer er aan een norm van maximaal 3 uur slagschaduw per jaar moet worden voldaan. Tabel 4 uit de voorgaande paragraaf geeft dezelfde informatie feitelijk voor de situatie dat er een 0-uursnorm zou worden toegepast.

Tabel 5 **Verwachte jaarlijkse stilstand per onderzoeksvariant om normoverschrijding te voorkomen, bij een norm van maximaal 15 uur slagschaduw per jaar.**

Variant	Stilstand per jaar (uu:mm)	Derving (% van draaiuren)
Klein	01:06	0,00%
Middel	06:00	0,01%
Groot	04:47	0,01%

Tabel 6 **Verwachte jaarlijkse stilstand per onderzoeksvariant om normoverschrijding te voorkomen, bij een norm van maximaal 6 uur slagschaduw per jaar.**

Variant	Stilstand per jaar (uu:mm)	Derving (% van draaiuren)
Klein	40:25	0,08%
Middel	126:49	0,25%
Groot	94:21	0,28%

Tabel 7 **Verwachte jaarlijkse stilstand per onderzoeksvariant om normoverschrijding te voorkomen, bij een norm van maximaal 3 uur slagschaduw per jaar.**

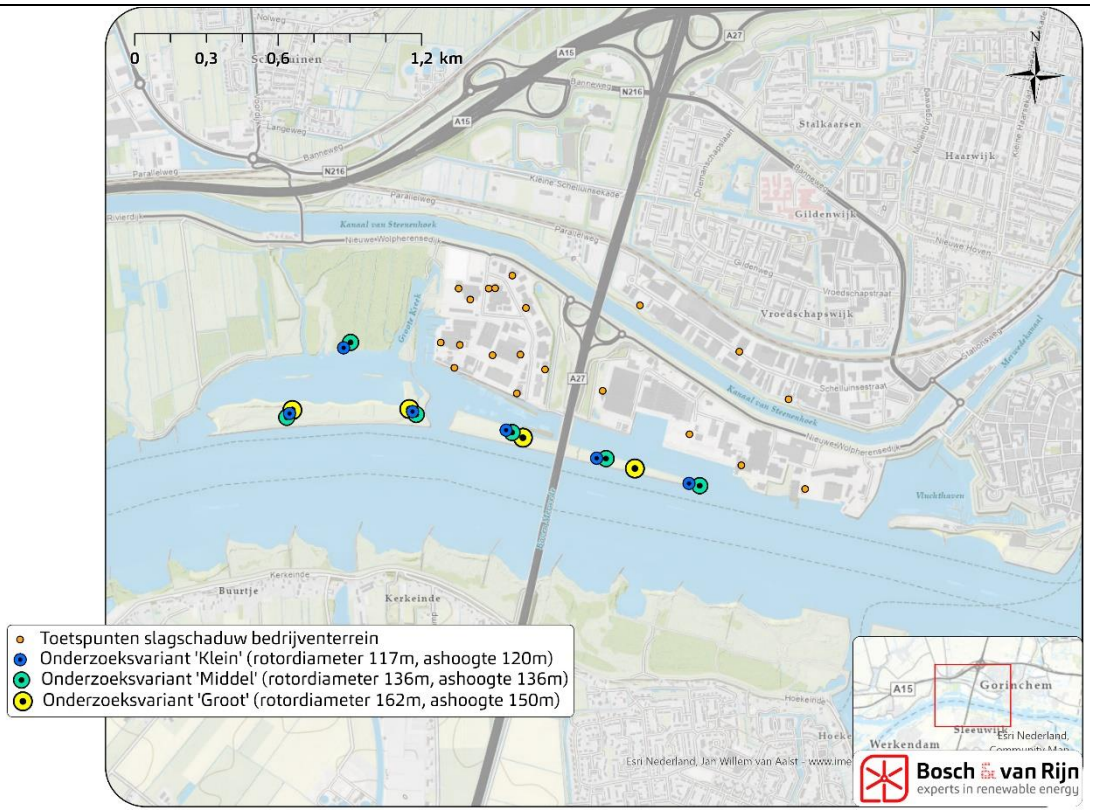
Variant	Stilstand per jaar (uu:mm)	Derving (% van draaiuren)
Klein	118:50	0,24%
Middel	228:55	0,46%

Groot	174:40	0,53%

3.5 Slagschaduw op het bedrijventerrein veroorzaakt door windturbines

Gebouwen met een kantoorfunctie worden doorgaans niet beschouwd als gevoelige objecten, maar tijdens kantoortijden kan slagschaduw daar toch voor hinder zorgen. Personen die in een kantoor naast een raam werkzaamheden uitvoeren, kunnen namelijk hinder ondervinden van slagschaduw wanneer deze op het raam en/of op computerbeeldschermen valt. Aan de hand van toetspunten op het bedrijventerrein Avelingen is berekend hoeveel slagschaduw jaarlijks binnen kantooruren (8:00-17:30) op werkdagen wordt veroorzaakt door de onderzoeksvarianten wanneer geen stilstand wordt toegepast. De toetspunten houden rekening met de hoogte en breedte van de lichtdoorlatende gevels.

Figuur 10 **Toetspunten voor berekening slagschaduwbelasting op bedrijventerrein Avelingen**



Tabel 8 laat zien hoeveel slagschaduw er door de verschillende onderzoeksvarianten wordt veroorzaakt op de toetspunten op bedrijventerrein Avelingen op werkdagen tijdens kantooruren (8:00-17:30) wanneer er geen stilstandvoorziening is toegepast.
Tabel 8 laat ook zien wat het effect is op de energieopbrengst wanneer er op werkdagen tijdens kantooruren stilstand wordt toegepast om slagschaduw op het bedrijventerrein te voorkomen.

Tabel 8 **Verwachte jaarlijks benodigde stilstand per onderzoeksvariant om op werkdagen binnen kantoortijden (8:00-17:30) alle slagschaduw te voorkomen.**

Onderzoeksvariant	Verwachte veroorzaakte slagschaduw door windturbines op bedrijventerrein per jaar (uu:mm)	Derving door stilstand (% van totaal aantal draaiuren van onderzoeksvariant)
Klein	534:55	1,07%
Middel	638:42	1,28%
Groot	515:12	1,55%

Er is in dit verkennend slagschaduwonderzoek geen onderscheid gemaakt in de verwachte hoeveelheid slagschaduw per bedrijfsgebouw. Dit past niet bij het verkennende karakter van dit onderzoek. Bij de eventuele ontwikkeling van een windproject is er ruimte voor maatwerk om per categorie object de verwachte slagschaduwbelasting inzichtelijk te maken en/of afspraken te maken over een norm voor de maximale jaarlijkse slagschaduwbelasting.

Een andere te overwegen mitigerende maatregel tegen slagschaduwhinder bij kantoren is het plaatsen van zonwering (bijvoorbeeld op kosten van de projectontwikkelaar). Hierdoor kan hinder veroorzaakt door slagschaduw verminderd of zelfs voorkomen worden. Dit betreft dan een eenmalige investering in plaats van een jaarlijks terugkerende opbrengstderving.

Hoofdstuk 4 Conclusie

4.1 Conclusie slagschaduwonderzoek

In dit onderzoek is op basis van klimatologische gegevens de verwachte slagschaduw bij nabijgelegen gevoelige objecten berekend voor drie verschillende onderzoeksvarianten voor windenergie in het RES-zoekgebied Avelingen: klein (6 windturbines, 117 m rotordiameter, 120m ashoogte), middel (6 windturbines, 136 m rotordiameter, 136m ashoogte) en groot (4 windturbines, 162 m rotordiameter, 150m ashoogte).

Slagschaduw is vrij eenvoudig te voorkomen door middel van een geautomatiseerde stilstandvoorziening die op windturbines aangebracht kan worden. Wel heeft benodigde stilstand van windturbines invloed op de energieopbrengst.

4.1.1 *Slagschaduw op gevoelige objecten*

Uit de rekenresultaten blijkt dat bij de gehanteerde onderzoeksvarianten een opbrengstderving wordt verwacht tussen 0,56 % en 0,98 % wanneer alle slagschaduw op gevoelige objecten (woningen, ligplaatsen en zorg- en onderwijslocaties) geheel moet worden voorkomen.

Wanneer er beperkt slagschaduw op gevoelige objecten wordt toegestaan (middels een lokale slagschaduwnorm), dan ligt de verwachte opbrengstderving lager.

- Bij een slagschaduwnorm van maximaal 15 uur slagschaduw per jaar op een gevoelig object is de verwachte derving minder dan 0,01%.
- Bij een slagschaduwnorm van maximaal 6 uur slagschaduw per jaar op een gevoelig object ligt de verwachte derving tussen de 0,08 - 0,28 %.
- Bij een slagschaduwnorm van maximaal 3 uur slagschaduw per jaar op een gevoelig object ligt de verwachte derving tussen de 0,24 - 0,53 %.

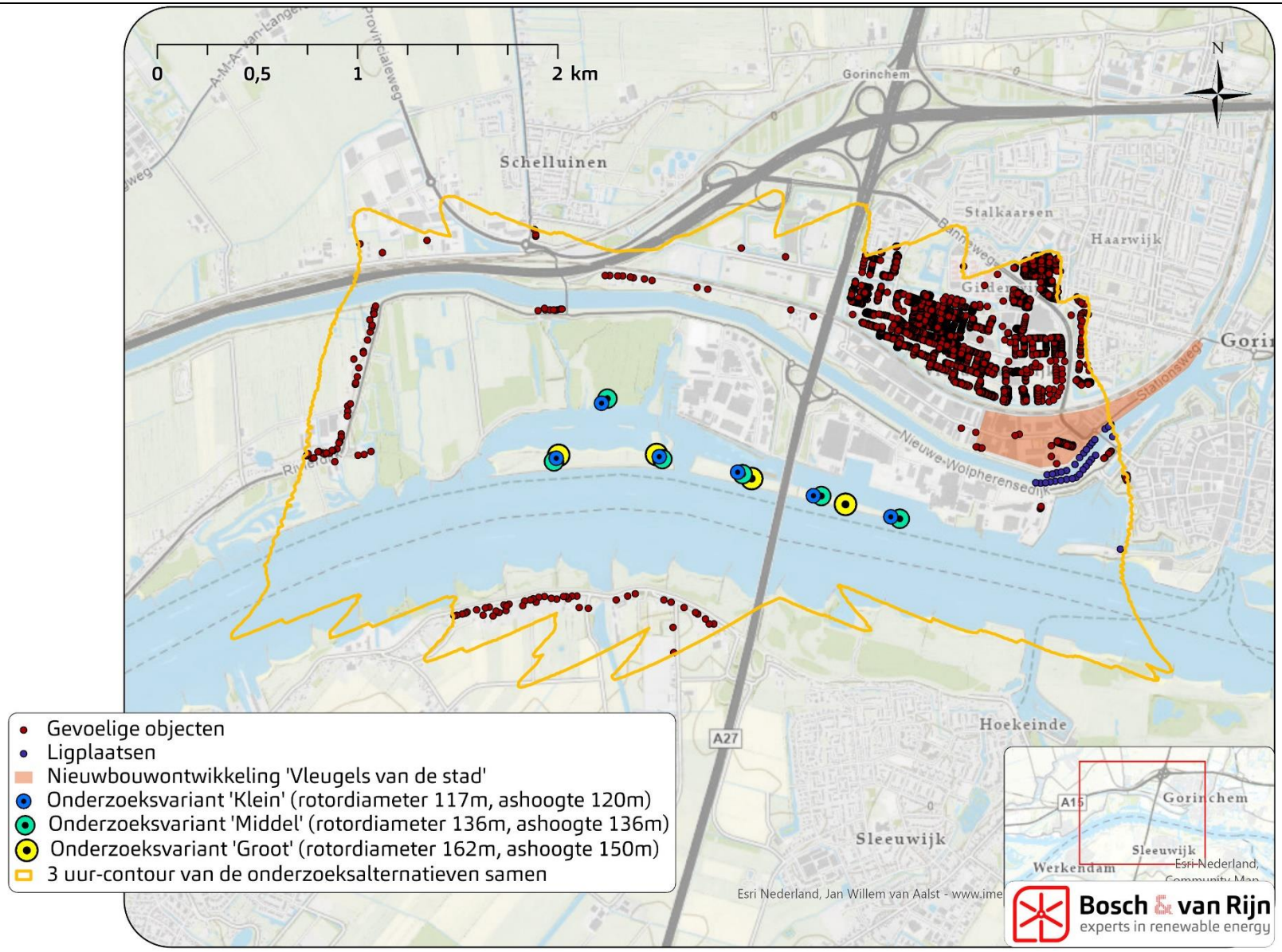
4.1.2 *Slagschaduw op bedrijventerrein*

Gebouwen en objecten met een kantoorfunctie worden doorgaans niet beschouwd als gevoelige objecten, maar tijdens kantoortijden kan slagschaduw daar toch voor hinder zorgen. Aan de hand van toetspunten op het bedrijventerrein Avelingen is berekend hoeveel slagschaduw jaarlijks binnen kantooruren (8:00-17:30) op werkdagen wordt veroorzaakt door de onderzoeksvarianten wanneer geen stilstand wordt toegepast. Uit de rekenresultaten blijkt dat bij de gehanteerde onderzoeksvarianten een opbrengstderving wordt verwacht tussen 1,07% en 1,55% wanneer alle slagschaduw op het bedrijventerrein die binnen kantooruren (8:00-17:30) op werkdagen optreedt, voorkomen dient te worden.
Bij de eventuele ontwikkeling van een windproject is er ruimte voor maatwerk om per object de verwachte slagschaduwbelasting inzichtelijk te maken en/of afspraken te maken over een norm voor de maximale jaarlijkse slagschaduwbelasting.

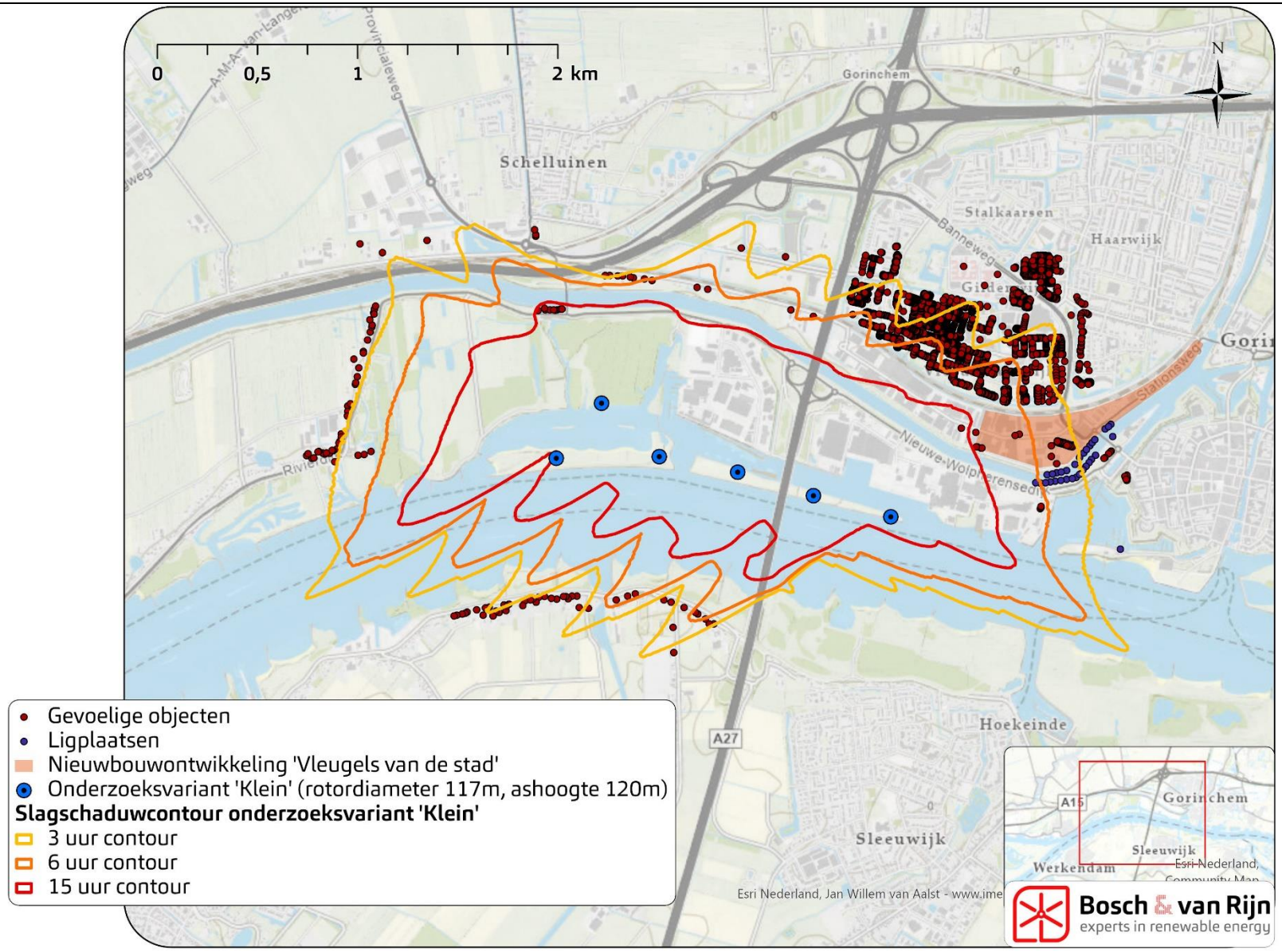
Hoofdstuk 5 Bijlagen

Bijlage A Slagschaduwcontouren

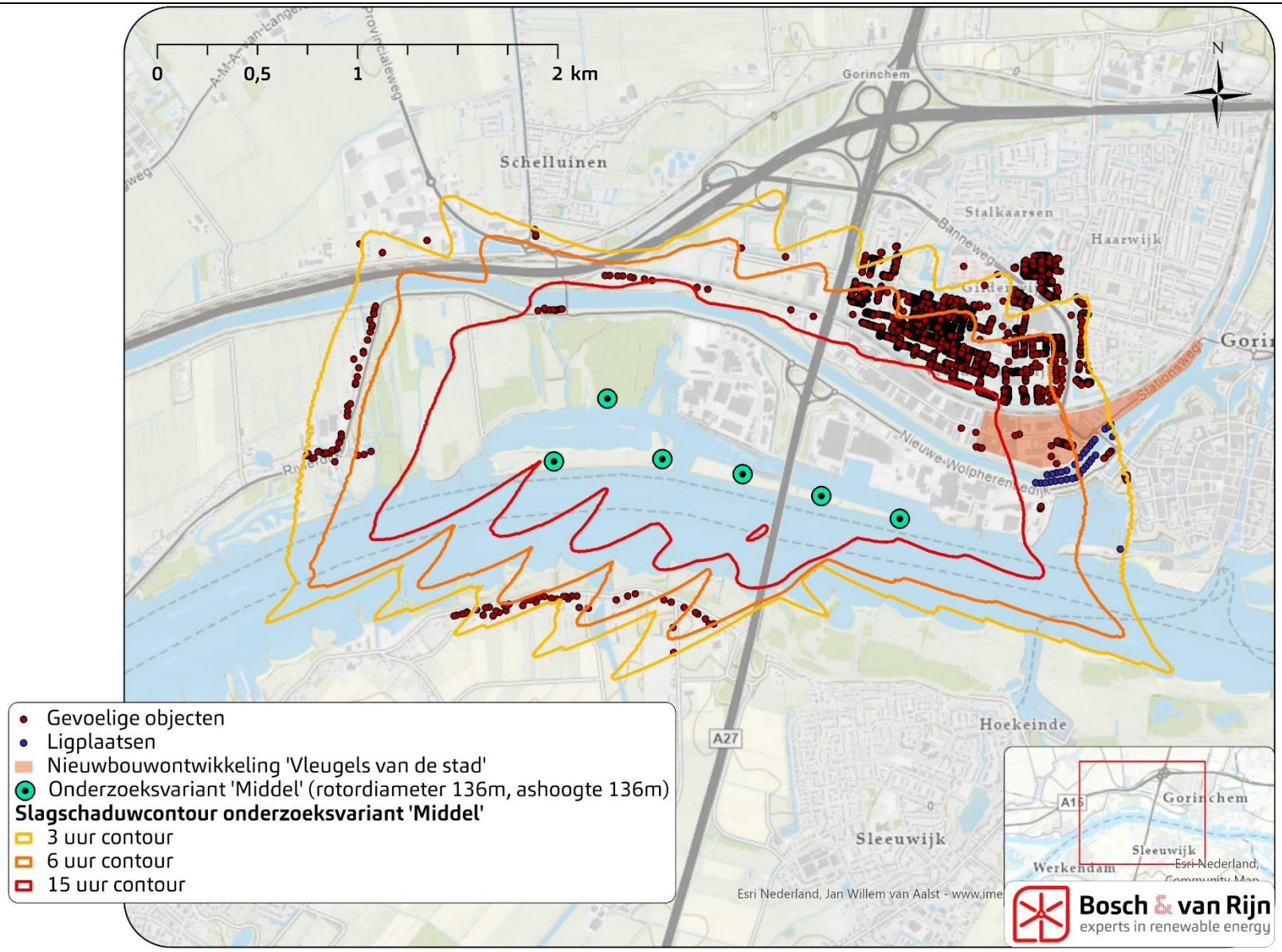
Figuur 11 **Gevoelige objecten en ligplaatsen in omgeving van onderzoeksvarianten bij Avelingen die mogelijk slagschaduw kunnen ontvangen door minimaal één van de onderzoeksvarianten.**



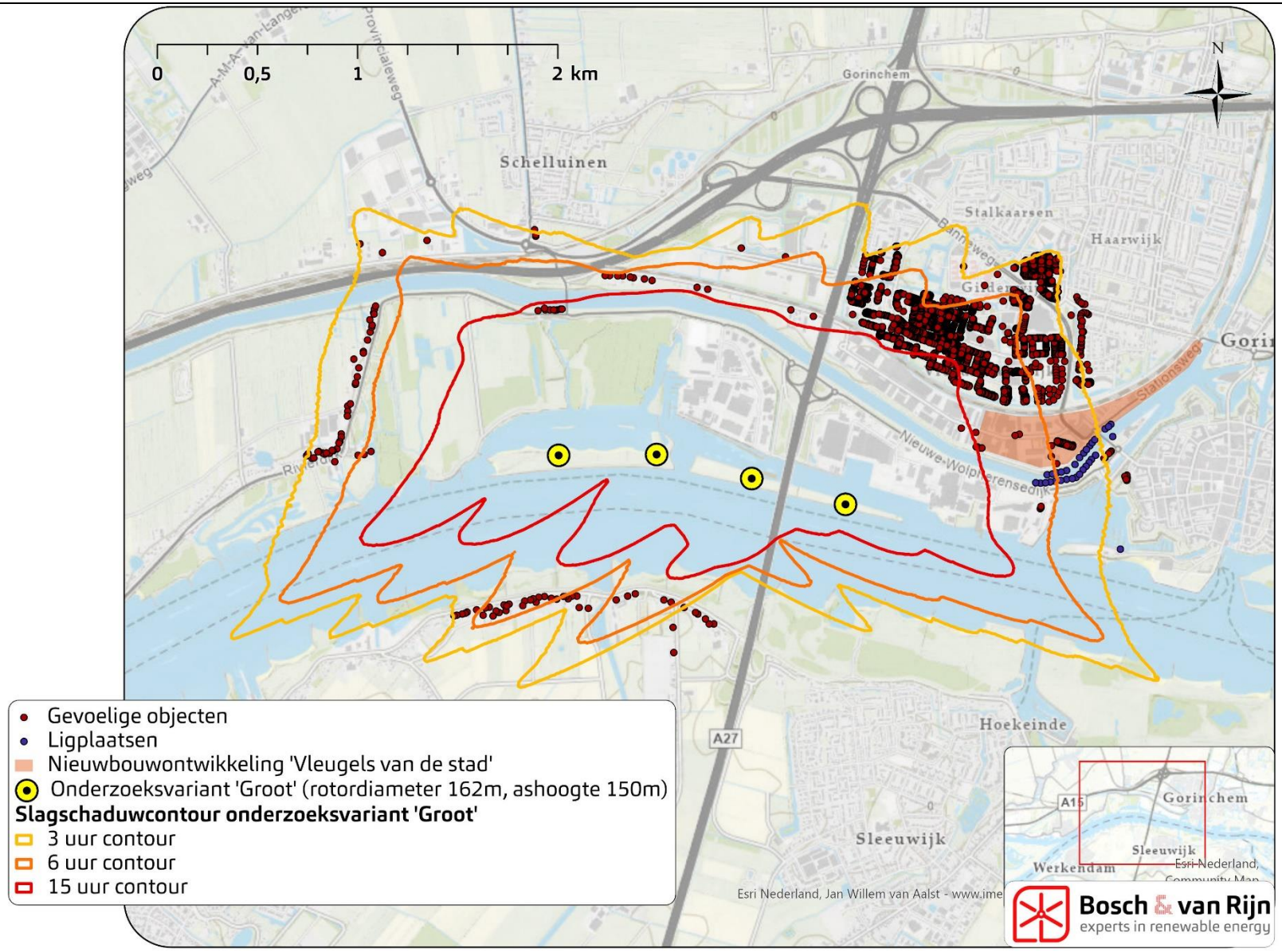
Figuur 12 **De 15 uur, 6 uur en 3 uur slagschaduwcontouren van onderzoeksvariant 'Klein'. Ook zijn gevoelige objecten weergegeven.**



Figuur 13 **De 15 uur, 6 uur en 3 uur slagschaduwcontouren van onderzoeksvariant 'Middel'. Ook zijn gevoelige objecten weergegeven.**



Figuur 14 **De 15 uur, 6 uur en 3 uur slagschaduwcontouren van onderzoeksvariant 'Groot'. Ook zijn gevoelige objecten weergegeven.**



Bijlage B Uitdraaien WindPRO

Bijgevoegde WindPRO uitdraaien (externe bijlage) geven per adres van een gevoelig object of ligplaats een waarde voor de slagschaduw per jaar voor de drie onderzoeksvarianten, indien er geen mitigatie wordt toegepast. De adressen zijn aangegeven met een lettercode.

Bijlage C Uitdraaien WindPRO – bedrijventerrein

Bijgevoegde WindPRO uitdraai geeft de hoeveelheid slagschaduw die per windturbine wordt veroorzaakt op de toetspunten op het bedrijventerrein, indien er geen mitigatie wordt toegepast.

.

Bosch & van Rijn
experts in duurzame energie

Franz-Lisztplantsoen 220
3533 JG Utrecht
www.boschenvanrijn.nl