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

Auteurs
Laurens Kik MSc.
Drs. W.L. Verweij
Steven Velthuijsen MSc.

Opdrachtgevers
Rijkswaterstaat Corporate Dienst
Postbus 8185
3503 RD Utrecht



Windturbines Avelingen

Akoestisch onderzoek t.b.v. ruimtelijke verkenning



Windturbines Avelingen

Akoestisch onderzoek t.b.v. ruimtelijke verkenning

Datum	23 september 2022
Versie	1.0
Auteur	Laurens Kik
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
AKOESTISCH ONDERZOEK T.B.V. RUIMTELIJKE VERKENNING 1
HOOFDSTUK 1 INLEIDING 4
1.1 Inleiding 5
1.2 Onderzoeksvarianten 6
1.3 Te onderzoeken windturbinetypen akoestisch onderzoek 8
1.4 Wettelijke norm 10
1.5 Mitigatie 11
1.6 Cumulatie van geluid 11
1.7 Laagfrequent geluid 11
1.8 Windturbinegeluid en hinderbeleving 12
1.9 Leeswijzer 13
HOOFDSTUK 2 BEREKENING 14
2.1 Inleiding 15
2.2 Bodemabsorptie en –reflectie 15
2.3 Windaanbod 16
2.4 Schermwerking 18
2.5 Spectrale verdeling 18
2.6 Rekenmethode 18
2.7 Laagfrequent geluid 18
HOOFDSTUK 3 RESULTATEN 19
3.1 Toetspunten in de omgeving 20
3.2 Geluidscontouren 21
3.3 Geluidsniveau bij omliggende woningen 23
3.4 Mitigatie 23
3.5 Cumulatief geluid 26
3.6 Laagfrequent geluid 31
HOOFDSTUK 4 CONCLUSIE 37
HOOFDSTUK 5 BIJLAGEN 40
BIJLAGE A WINDTURBINEGEGEVENS 41
A.1 Algemene kenmerken 41
A.2 Emissiegegevens 41
BIJLAGE B GELUIDSCONTOUREN 45
B.1 45 en 47 dB L_{den} contouren van onderzoeksvariant “Klein” 46
B.2 45 en 47 dB L_{den} contouren van onderzoeksvariant “Middel” 47
B.3 45 en 47 dB L_{den} contouren van onderzoeksvariant “Groot” 48
B.4 45 dB L_{den} contouren van onderzoeksvariant “Klein” voor en na mitigatie 49
B.5 45 dB L_{den} contouren van onderzoeksvariant “Middel” voor en na mitigatie 50

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 onderzoek stap 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 verkennend onderzoek uitgevoerd naar akoestische effecten van windturbines uitgevoerd in de omgeving van het RES-zoekgebied.

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

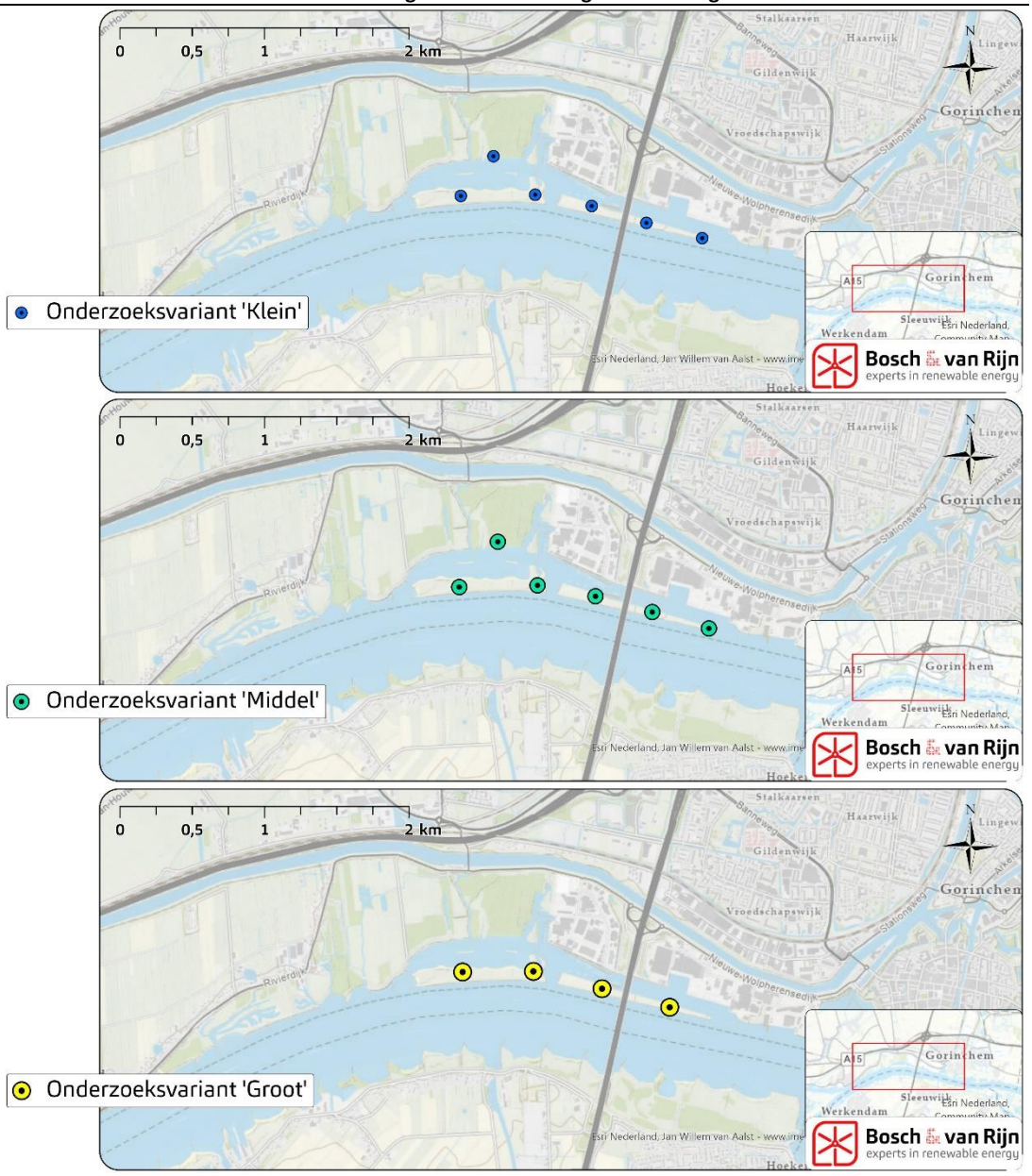
1.2 Onderzoeksvarianten

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. In deze studie is de geluidssituatie in beeld gebracht voor een drietal 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 maximumaantal 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 voor drie windturbineklassen 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 geluidseffecten van de windturbines. De geluidsniveaus van moderne windturbines verschillen per type windturbine en zijn afhankelijk van de opstelling. De afmetingen van een windturbine (ashoogte en rotordiameter) hebben daar nagenoeg geen effect op. Daarom is per windturbineklasse gerekend met het luidste type windturbine binnen de betreffende klasse. Deze typen wijken daarmee af van de gehanteerde windturbines bij de overige verkennende studies. Paragraaf 1.3 geeft inzicht in hoe het luidste type windturbine is geselecteerd per gehanteerde windturbineklasse in dit verkennende onderzoek.

Per windturbineklasse is een onderzoeksvariant gemodelleerd waarmee maximale invulling is gegeven aan de ruimte binnen het windzoekgebied Avelingen. De afmetingen van de referentiewindturbinetypen uit de onderzoeksvarianten zijn weergegeven in tabel 5. Figuur 2 laat de posities van de onderzoeksvarianten zien.

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



Tabel 1 **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		

1.3 Te onderzoeken windturbinetypen akoestisch onderzoek

1.3.1 Voorselectie windturbines akoestisch onderzoek

Geluidsniveaus van moderne windturbines verschillen per type windturbine en zijn afhankelijk van de opstelling. De afmetingen van een windturbine (ashoogte en rotordiameter) hebben daar nagenoeg geen effect op. Daarom is per windturbineklasse gerekend met het luidste type windturbine binnen de betreffende klasse. Voor het akoestisch onderzoek moet binnen elke windturbineklasse een referentietype worden bepaald aan de hand waarvan de akoestische berekeningen kunnen worden uitgevoerd.
Voor een lijst met beschikbare windturbinetypen is de jaargemiddelde geluidsemissie (jaargemiddelde bronsterkte) bepaald op de locatie van de meest westelijke turbine binnen windzoekgebied Avelingen. De bronsterkte betreft de geluidemissie op ashoogte. Binnen elke windturbineklasse is steeds met dezelfde ashoogte (120, 150 en 180m) gerekend om de geluidsemissie te kunnen vergelijken. Deze lijsten zijn niet uitputtend, maar dienen om aan te tonen dat er per klasse verschillende typen beschikbaar zijn, elk met hun eigen geluidsemissie.

Tabel 2 **Voorselectie mogelijke windturbinetypes klasse "Klein", met geluidsemissie op 120 meter hoogte. Gesorteerd op alfabetische volgorde fabrikanten. De typen met de hoogste jaargemiddelde geluidsproductie is rood weergegeven.**

Fabrikant	Type	Rotordiameter	Ashoogte	Tiphoogte	Lw max	LE, den
		m	m	m	dB	dB
Enercon	**E126**	126	120	183	105,8	108,7
Enercon	**E136**	136	120	188	107,2	110,7
Enercon	**E138**	138	120	189	106	109,4
GE Wind	**GE130**	130	120	185	107	110,6
GE Wind	**GE137**	137	120	188,5	106	110,0
Nordex	**N117**	117	120	178,5	103,5	107,5
Nordex	**N131**	131	120	185,5	103,8	107,4
Nordex	**N133**	133	120	186,5	104,5	108,3
Siemens Gamesa	**SWT130**	130	120	185	106	110,1
Vestas	**V112**	112	120	176	105,5	108,7
Vestas	**V117**	117	120	178,5	107	110,1
Vestas	**V136**	136	120	188	103,9	107,9

Tabel 3 **Voorselectie mogelijke windturbinetypes klasse "Middel", met geluidsemissie op 150 meter hoogte. Gesorteerd op alfabetische volgorde fabrikanten. De typen met de hoogste jaargemiddelde geluidsproductie is rood weergegeven.**

Fabrikant	Type	Rotordiameter	Ashoogte	Tiphoogte	Lw max	LE, den
		m	m	m	dB	dB
Enercon	**E141 EP4**	141	150	220,5	105,5	109,9
GE Wind	**GE-158 4.8**	158	150	229	104	108,9
GE Wind	**GE-158 5.3**	158	150	229	106	110,3
GE Wind	**GE-158 5.5**	158	150	229	106	110,4
Nordex	**N149 5.X**	149	150	224,5	105,6	109,6
Nordex	**N149 4.0/4.5**	149	150	224,5	106,1	109,8
Siemens Gamesa	**SG 6.6-155**	155	150	227,5	105	109,8
Siemens Gamesa	**SG 6.0-155**	155	150	227,5	105	109,8
Vestas	**V150-6.0**	150	150	225	104,9	109,0
Vestas	**V150-5.6**	150	150	225	104,9	108,8
Vestas	**V150-4.2**	150	150	225	104,9	109,2

Tabel 4 **Voorselectie mogelijke windturbinetypes klasse "Groot", met geluidsemissie op 180 meter hoogte. Gesorteerd op alfabetische volgorde fabrikanten. De typen met de hoogste jaargemiddelde geluidsproductie is rood weergegeven.**

Fabrikant	Type	Rotordiameter	Ashoogte	Tiphoogte	Lw max	LE, den
		m	m	m	dB	dB
Enercon	**E160 EP5 E2**	160	180	260	106,8	111,7
Enercon	**E160 EP5 E3**	160	180	260	106,8	111,7
GE Wind	**GE 6.0-164**	164	180	262	107	111,4
Nordex	**N163 6.X**	163	180	261,5	106,4	110,7
Siemens Gamesa	**SG 6.6-170**	170	180	265	106,5	111,0
Siemens Gamesa	**SG 6.2-170**	170	180	265	106	110,6
Siemens Gamesa	**SG 6.0-170**	170	180	265	105,5	110,2
Vestas	**V162-7.2**	162	180	261	104,5	109,0
Vestas	**V162-6.8**	162	180	261	104,5	108,1
Vestas	**V162-6.2**	162	180	261	104,8	109,1
Vestas	**V162-6.0**	162	180	261	104.3	108,7

In bovenstaande tabellen is $L_{w,max}$ de maximale bronsterkte van een windturbine, zoals opgegeven door de fabrikant. $L_{E,den}$ is de jaargemiddelde bronsterkte, berekend volgens de L_{DEN}-methodiek. Ook de geluidsnorm voor (onder andere) windturbines is uitgedrukt in L_{DEN}. DEN staat hierbij voor Day-Evening-Night. Dit is een jaargemiddelde bronsterkte, waarbij de avond- en nachtperiode zwaarder meetellen door een straffactor van respectievelijk 5 en 10 dB.

De jaargemiddelde bronsterkte hangt af van de 'geluidscurve' van de windturbine (hoeveel geluid de windturbine produceert bij elke windsnelheid) en het lokale windaanbod en is berekend met het softwarepakket GeoMilieu[1]. De geluidscurve verschilt van type tot type. De windsnelheidsverdeling komt uit de dataset zoals deze beschikbaar is gesteld door het KNMI voor de berekening van de geluidsproductie van windturbines op de locatie Avelingen.

N.B. Het vreemd ogende feit dat de gemiddelde bronsterkte hoger ligt dan de maximale bronsterkte komt door de straffactoren die in de L_{den}-methode worden gehanteerd. Wanneer deze niet zouden worden meegenomen varieert de jaargemiddelde bronsterkte van de hierboven onderzochte windturbines tussen de 101 en 105 dB.

1.3.2 Referentietype per windturbineklasse

Aan de hand van de voorselectie van windturbinetypen en vergelijking van de jaargemiddelde bronsterkten is per windturbineklasse het luidste windturbinetype geselecteerd. Het resultaat is in onderstaande tabel weergegeven. Met behulp van deze referentietypen zijn geluidberekening uitgevoerd voor een drietal onderzoeksvarianten (per windturbineklasse één variant).

[1] Zie Bijlage A voor de berekening van de gemiddelde geluidsemissie van de gekozen typen. Voor de overige windturbinetypes is de berekening niet weergegeven, maar deze is geheel vergelijkbaar berekend.

Tabel 5 **Onderzoeksvarianten RES zoekgebied Avelingen.**

	Klein	Middel	Groot
Aantal windturbines	6	6	4
Ashoogte (m)	120	150	180
Rotordiameter (m)	136	158	160
Tiphoogte (m)	188	229	260
Gebruikt windturbinetype	Enercon E136	GE 158 5.5	Enercon E160 EP5

1.4 Wettelijke norm

Tot voorkort waren er rechtstreeks geldende geluidsnormen voor windparken opgenomen in het Activiteitenbesluit milieubeheer: 47 dB L_{den} en 41 dB L_{night}. De Raad van State heeft echter geoordeeld dat bij de voorbereiding van Activiteitenbesluit ten onrechte geen planMER is uitgevoerd. Zij komt tot die conclusie omdat uit diverse uitspraken van het Europees Hof van Justitie blijkt dat nationale regelgeving voor windenergie moet worden gezien als een plan of programma in de zin van de Europese Richtlijn voor strategische milieubeoordeling. Omdat een dergelijke strategische milieubeoordeling (planMER) ontbreekt, heeft de Raad van State de windturbinebepalingen uit het Activiteitenbesluit buiten toepassing verklaard voor windturbineprojecten die vallen onder bijlage II van de Europese M.e.r.-richtlijn (vanaf 3 windturbines). De normen moeten buiten toepassing blijven zo lang de Minister geen milieubeoordeling heeft uitgevoerd. In de uitspraak geeft de RvS expliciet aan dat bevoegde gezagen nu zelf de bevoegdheid hebben om lokale normen af te wegen en voor te schrijven in plannen en besluiten, totdat nieuwe landelijke normen van kracht zijn. Die lokale normen moeten dan zijn voorzien van een actuele, deugdelijke, op zichzelf staande en op de aan de orde zijnde situatie toegesneden motivering. Omdat deze versie van het akoestisch onderzoek alleen ten behoeve van een ruimtelijke verkenning is opgesteld, bevat dit rapport geen normering of een onderbouwing van lokale normen.

In voorliggend rapport zijn wel toetswaarden gehanteerd aan de hand waarvan de akoestische effecten inzichtelijk worden gemaakt en de haalbaarheid vanuit het oogpunt van geluid wordt beoordeeld. De gehanteerde toetswaarden zijn 45 dB L_{den} en 47 dB L_{den}. Deze toetswaarden komen overeen met de voorheen geldende grenswaarde uit het Activiteitenbesluit (die nog steeds geldt voor windparken bestaande uit 1 of 2 winturbines) en met de adviesnorm voor de dag-, avond en nachtperiode zoals die door de WHO is gehanteerd in een recent uitgebracht advies met richtlijnen voor omgevingslawaai[2]. De WHO heeft geen aanbeveling gedaan voor het hanteren van een aanvullende norm voor de nachtperiode.

[2] World Health Organisation Regional Office for Europe, Environmental noise guidelines for the European Region, 2018

1.5 Mitigatie

Om eventuele overschrijding van landelijke of lokale normen te voorkomen kunnen windturbines in een geluid reducerende modus draaien. Deze geluid reducerende modi zorgen ervoor dat een windturbines met een lager toerental draait waardoor minder geluid wordt geproduceerd. Dit heeft echter ook opbrengstverlies tot gevolg. In dit onderzoek is verkend welke turbines binnen de onderzoeksvariant eventueel in een geluid reducerende modus moeten draaien om aan de in dit onderzoek gehanteerde toetswaarden van 45 dB L_{den} en 47 dB L_{den} te kunnen voldoen.

Naast geluid reducerende modi zijn er nog enkele andere opties om het geluidsniveau nabij de gevoelige objecten te beïnvloeden. Er zijn maatregelen die de bronsterkte verminderen zoals de toevoeging van 'uilenveren' aan de bladen van windturbines. Wijziging van de opstelling, het aantal windturbines of wijziging van het windturbinetype leidt ook tot een verandering in geluidniveau bij de toetspunten. In dit onderzoek zijn enkel effecten van de onderzoeksvarianten weergegeven en heeft geen detailonderzoek plaatsgevonden naar mitigerende maatregelen. Dergelijk onderzoek past niet bij de verkenningsfase waarin de haalbaarheid van windenergie wordt beoordeeld. In een later stadium kunnen eventueel maatregelen worden afgedwongen tegenover een norm.

1.6 Cumulatie van geluid

Cumulatief geluid is de optelsom van (bestaande) geluidsbronnen in de omgeving. In de huidige situatie zijn in het gebied al geluidbronnen aanwezig dit zorgen voor omgevingslawaai. In het kader van de verkenning is op verzoek van omwonenden inzicht gegeven in de geluidniveaus die voorkomen in het zoekgebied en omgeving als gevolg van overige bronnen van omgevingslawaai. Voor elke onderzoeksvariant is vervolgens berekend wat de toename van het cumulatieve geluidniveau is ten opzichte van de huidige situatie. De resultaten zijn weergegeven in paragraaf 3.5.

1.7 Laagfrequent geluid

In Nederland kennen we geen norm voor laagfrequent geluid. Het is een sub-thema van het onderdeel geluid dat de laatste jaren veel aandacht krijgt. Uit zienswijzen op eerdere windprojecten is gebleken dat de vrees bestaat dat laagfrequent geluid mensen ziek maakt en dat de Nederlandse geluidsnorm onvoldoende bescherming biedt, omdat bij de vaststelling van de voorheen voor windturbinegeluid geldende norm van 47 dB op basis van L_{den} met deze informatie geen rekening zou zijn gehouden.

Recente onderzoeken hebben aangetoond dat laagfrequent geluid niet als hinderlijker wordt ervaren vergeleken met windturbinegeluid van andere frequenties:

- In 2017 en 2018 heeft het RIVM een grootschalig literatuuronderzoek uitgevoerd (van Kamp & van den Berg, Health Effects Related to Wind Turbine Sound,

Including Low-Frequency Sound and Infrasound, 2018) waarin 32 wetenschappelijke artikelen uit de periode 2009-2017 zijn geanalyseerd. Dit onderzoek concludeert: *Geluid van windturbines leidt tot meer hinder dan geluid van andere bronnen. Er is geen bewijs voor een specifiek effect van de laagfrequente component noch van infrageluid.*

- Een opvolgend literatuuronderzoek van het RIVM (van Kamp & van der Berg, Health effects related to wind turbine sound: an update, 2020) concludeert dat uit literatuur niet blijkt dat laagfrequent geluid van windturbines voor extra hinder zorgt tot die gerelateerd aan 'gewoon' geluid. De onderzoekers geven aan: *er bestaat geen enkele aanwijzing voor het feit dat laagfrequent geluid andere effecten voor omwonenden heeft dan normaal geluid of dat infrageluid met een geluidniveau ver onder de gehoordrempel enig effect kan hebben*.
- Hetzelfde onderzoek liet duidelijk zien dat omwonenden minder hinder hebben van de windturbines als ze betrokken worden bij de plaatsing ervan.

In Denemarken is er wel een maximale geluidsnorm voor laagfrequent geluid. Daar geldt een maximale geluidsnorm voor laagfrequent geluid van 20dB binnenshuis. Het doel van deze geluidsnorm in Denemarken is om ervoor te zorgen dat zowel het totale geluid van windturbines als het laagfrequent geluid van windturbines wordt beperkt tot een aanvaardbaar hinderniveau[3]. Naar aanleiding van vragen uit de omgeving is ervoor gekozen om het laagfrequente geluid inzichtelijk te maken. Dit wordt gedaan door een berekening te maken van laagfrequente geluidsniveaus die op de gevel en binnenshuis kunnen optreden en die te vergelijken met de Deense norm van 20 dB(A)[4]. In paragraaf 3.6 is dit deel van de studie toegelicht en zijn de resultaten gepresenteerd.

1.8 Windturbinegeluid en hinderbeleving

Uit wetenschappelijk onderzoek blijkt dat geluidsterkte van windturbines en geluidhinder met elkaar samenhangen. De mate waarin mensen hinder ondervinden is echter niet alleen afhankelijk van akoestische factoren zoals de geluidsterkte en het karakter van windturbinegeluid. Uit onderzoek van onder meer RIVM blijkt dat bij hinderbeleving ook niet-akoestische factoren een rol spelen, zoals de situatie (wie maakt het geluid, waar, wanneer en hoe lang?), sociale factoren (houding ten opzichte van de bron) en persoonlijke factoren (geluidgevoeligheid).

[3] Jakobsen, J. (2012). Danish regulation of low frequency noise from wind turbines. *Journal of low frequency noise, vibration and active control*, *31*(4), 239-246.

[4] Het vergelijken met de Deense norm geeft een goede indicatie van mogelijke hinder van laagfrequent geluid, maar het is geen norm waar vanuit Nederlandse wet- en regelgeving aan dient te worden getoetst.

1.9 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt uitgelegd hoe de berekeningen uitgevoerd zijn. Hoofdstuk 3 presenteert de resultaten van deze berekeningen inclusief mitigatiemaatregelen. Ook resultaten met betrekking tot cumulatie van geluid en laagfrequent geluid komen in hoofdstuk 3 aan bod. In hoofdstuk 4 worden tenslotte de conclusies gepresenteerd.

Hoofdstuk 2 Berekening

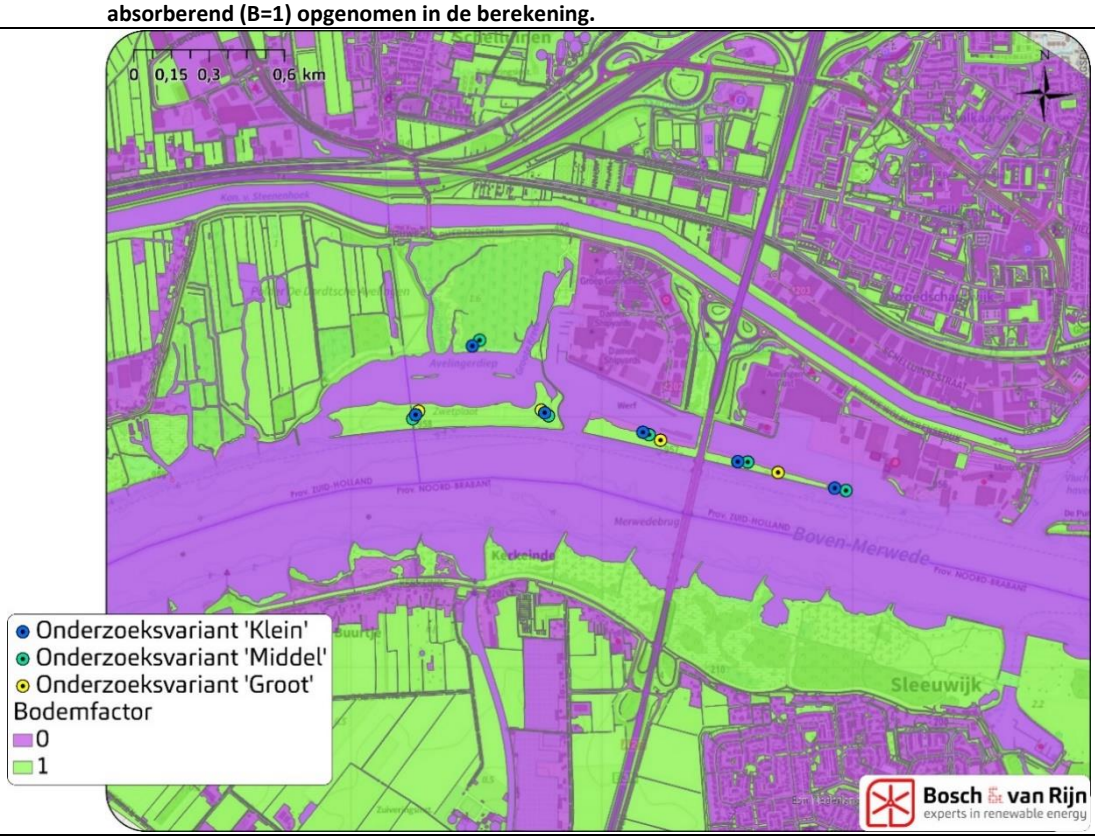
2.1 Inleiding

Het geluidsniveau bij omliggende woningen is berekend met een rekenmodel waarin de windturbines als puntbronnen zijn opgenomen. Bij de woningen is een ontvanger hoogte van 5 meter aangehouden. Het gebruikte rekenmodel is GeoMilieu V2022.0. De berekening is uitgevoerd conform het 'Reken- en meetvoorschrift windturbines' (Activiteitenregeling milieubeheer, bijlage 4). Om de resultaten te kunnen aflezen is de ligging van twee geluidcontouren in beeld gebracht; een contour die de punten verbindt waar een geluidniveau van 47 dB L_{den} is berekend en een 45 dB L_{den} contour.

2.2 Bodemabsorptie en –reflectie

De hardheid van de bodem van de onderzochte locatie is van invloed op hoe ver het geluid reikt. Het rekenmodel gaat standaard uit van 'harde bodems' (bodemfactor 0). De omgeving van de onderzoeksvarianten is te kenmerken als een landtong met water. Ten noorden van de landtong liggen bedrijventerreinen, ten zuiden van de landtong stroomt de Boven-Merwede. Ook is er akkerland en natuur aanwezig in de omgeving. De landtong, akkers en natuur hebben conform het Reken- en meetvoorschrift Windturbines een bodemfactor van 1 (zacht, Reken- en meetvoorschrift windturbines, paragraaf 3.11.2). De Boven-Merwede, omliggend water en het bedrijventerrein hebben een waarde van 0 (hard). Onderstaande afbeelding toont de bodemfactor rondom de onderzoekslocatie.

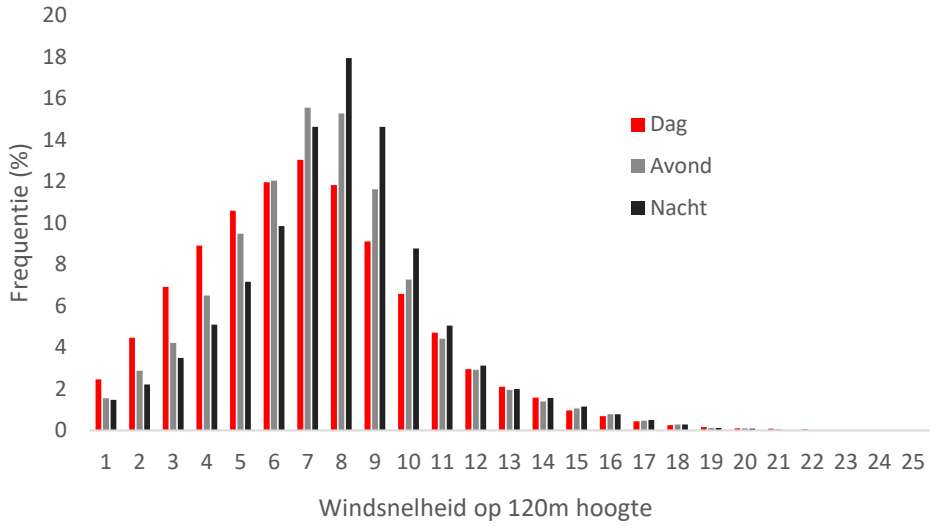
Figuur 3 **Bodemabsorptie en –reflectie rondom de onderzoekslocatie. Bron: 3D Geluid, https://www.pdok.nl/introductie/-/article/3d-geluid-1. Standaard is gerekend met een harde, reflecterende bodem (B=0). Gebieden met een zachte bodem (groen in onderstaande figuur) zijn als absorberend (B=1) opgenomen in de berekening.**



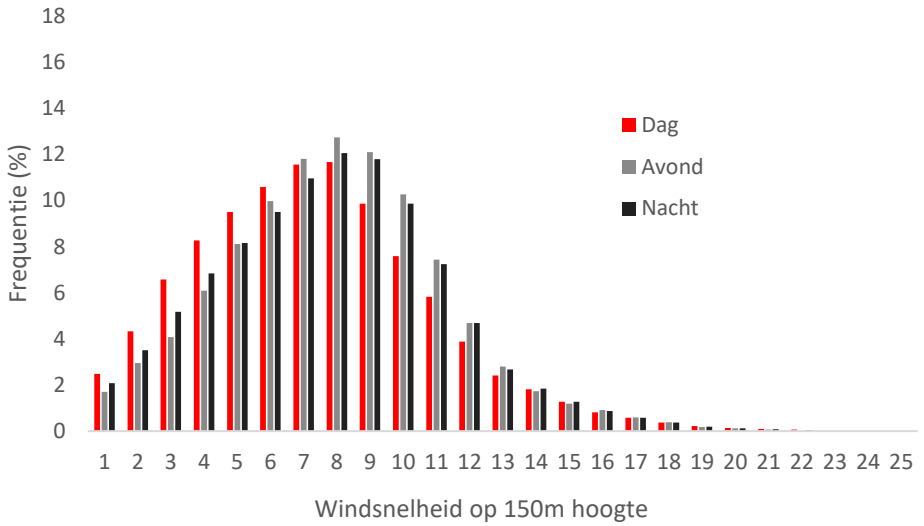
2.3 Windaanbod

De langjarig gemiddelde windsnelheidsverdeling op 120, 150 en 180 meter ashoogte is betrokken uit GeoMilieu, die de data op zijn beurt ontvangt van het KNMI. Deze gegevens zijn uitgesplitst in een dag-, een avond- en een nachtperiode. Onderstaande figuur toont de windsnelheidsverdeling op een ashoogte van 120, 150 en 180 meter, ter illustratie. De windsnelheidsverdelingen op alle drie de ashoogten zijn opgenomen in bijlage A.

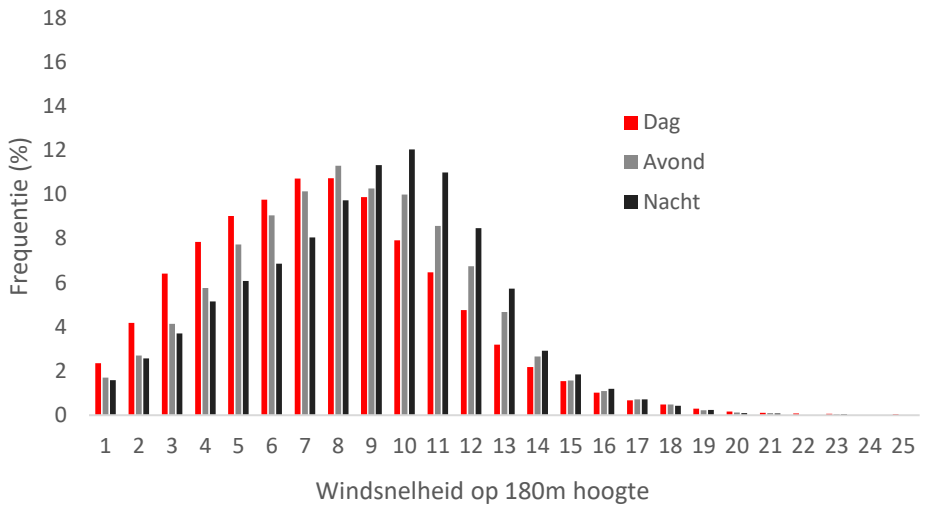
Figuur 4 **Gegevens windsnelheid op 120m hoogte. Bron: KNMI 2018.**



Figuur 5 **Gegevens windsnelheid op 150m hoogte. Bron: KNMI 2018.**



Figuur 6 **Gegevens windsnelheid op 180m hoogte. Bron: KNMI 2018.**



2.4 Schermwerking

Door de grote bronhoogten is er weinig sprake van afscherming door tussenliggende gebouwen. Dergelijke afscherming is niet meegenomen in de berekening.

2.5 Spectrale verdeling

Voor alle onderzochte windturbinetypen zijn de spectraalverdelingen gepubliceerd door de fabrikanten. Een spectraalverdeling geeft weer hoe de verdeling van het brongeluid in hoge en lage tonen is. Zie voor de waarden Bijlage A. Voor windturbines geldt dat er over een breed spectrum wordt uitgezonden, en dat hoge en lage tonen een kleiner aandeel hebben in de totale geluidsemissie dan gemiddelde frequenties (ca. 250-2500 Hz).

2.6 Rekenmethode

Met het softwarepakket GeoMilieu zijn voor de drie onderzoeksvarianten geluidscontouren berekend voor de 45 en 47 dB L_{den} jaargemiddelde geluidsbelasting. Zie de bijlagen voor de invoergegevens van het rekenmodel.

2.7 Laagfrequent geluid

In paragraaf 3.6 wordt de berekening en toetsing van laagfrequent geluidsniveaus toegelicht. Ook de Deense norm voor toetsing van laagfrequent geluid, en hoe die in dit onderzoek gebruikt wordt, is hier verder uitgelegd.

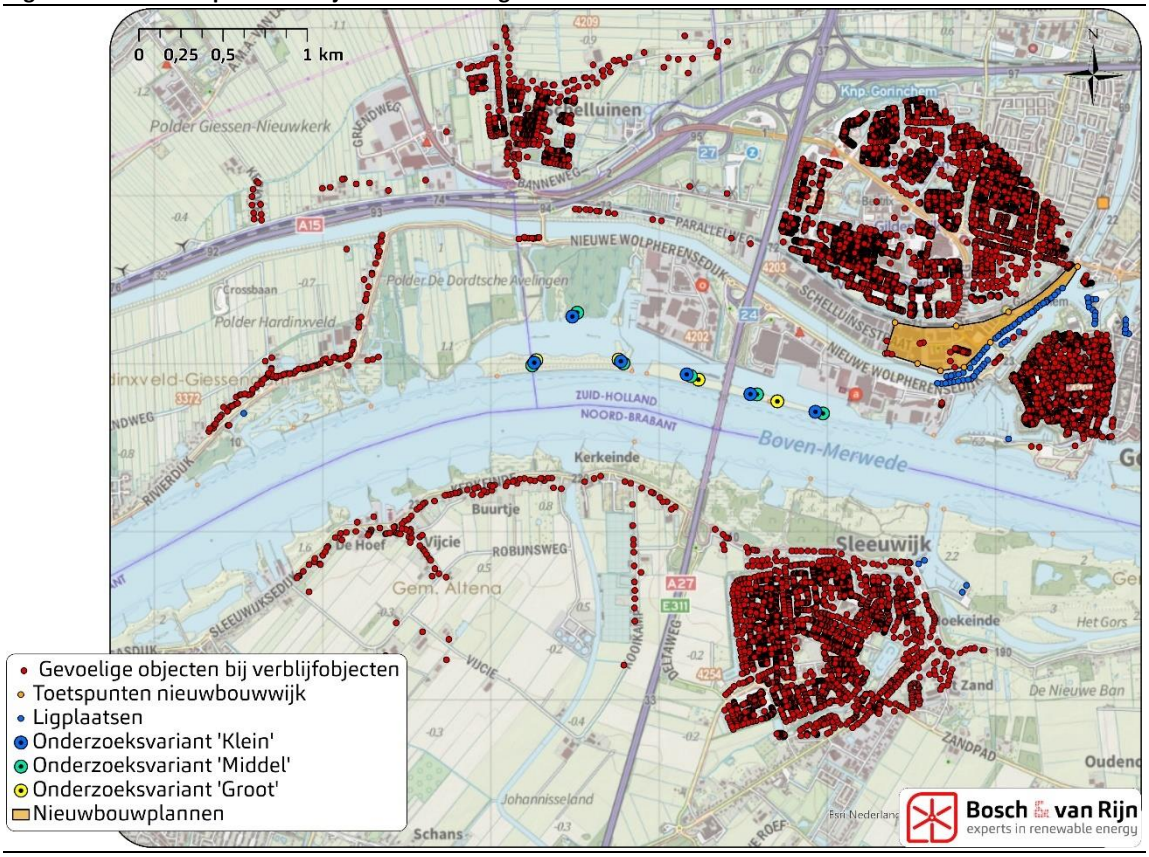
Hoofdstuk 3 Resultaten

3.1 Toetspunten in de omgeving

Om te bepalen of er geluidsgevoelige objecten liggen binnen de geluidscontouren maken we gebruik van de Basisadministratie Adressen en Gebouwen (BAG), versie februari 2022.

Daarnaast wordt er op het huidige bedrijventerrein aan de Schelluinsestraat een nieuwe wijk ontwikkeld. Een deel hiervan is gereserveerd voor woningen. In de onderstaande afbeelding is de het deel van ontwikkeling weergegeven waar ruimte wordt gereserveerd voor woningen. Omdat de software werkt met toetspunten zijn deze op de randen van de woonwijk punten aangebracht. Hier wordt het geluidsniveau per variant in kaart gebracht. Ook verblijfplaatsen op ligplaatsen zijn aangegeven.

Figuur 7 **Toetspunten nabij het onderzoeksgebied.**

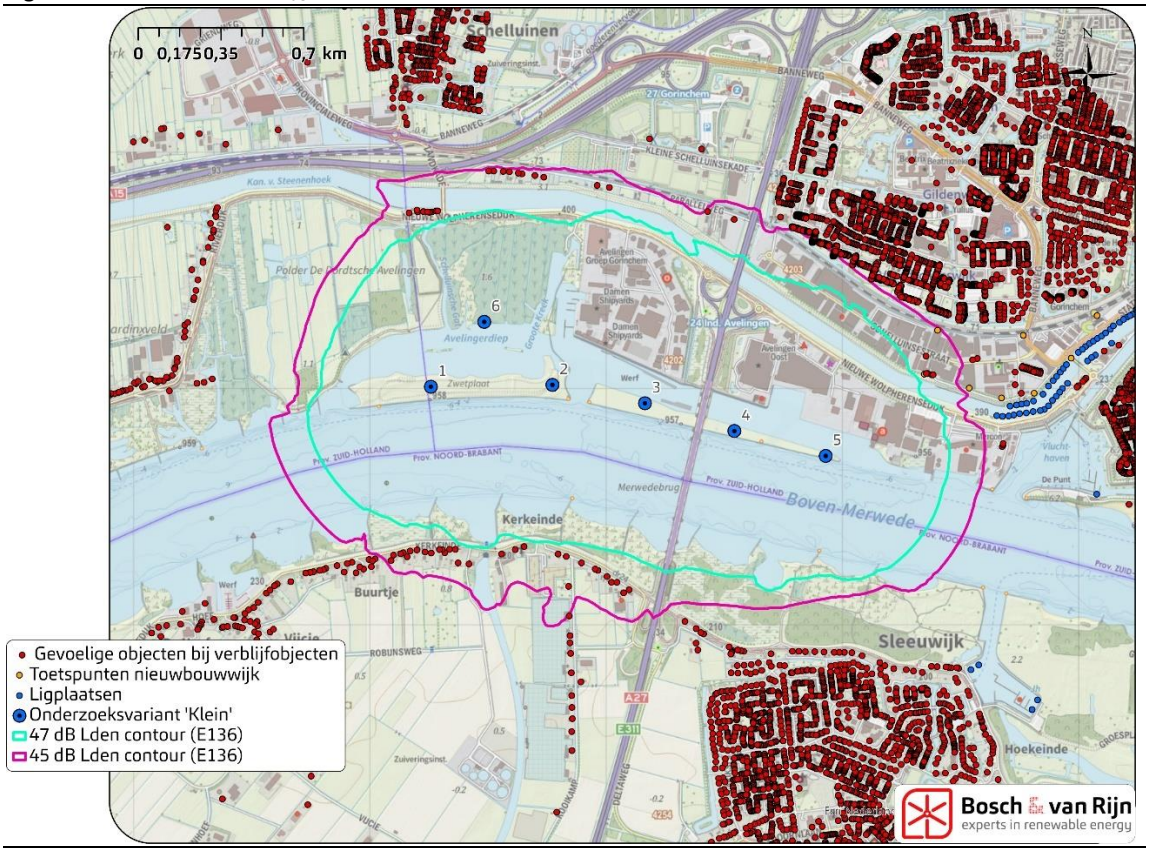


De paragraaf hieronder laat zien dat er in enkele gevallen meerdere geluidsgevoelige objecten binnen de geluidscontouren liggen.

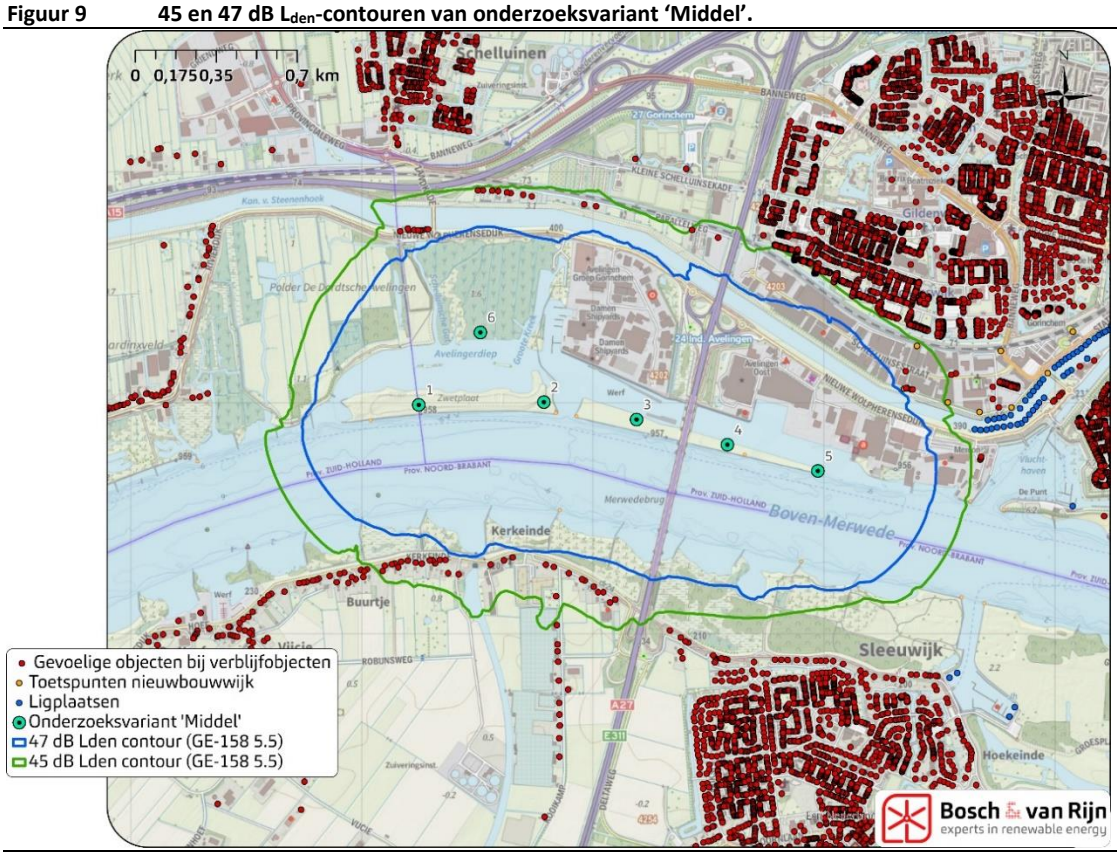
3.2 Geluidscontouren

Onderstaande afbeeldingen toont de 45 en 47 dB L_{den}-contouren per onderzoeksvariant. Een 47 dB-L_{den} contour wil zeggen dat de jaargemiddelde geluidsbelasting binnen de contour hoger is dan 47 dB L_{den} en erbuiten 47 dB of lager.

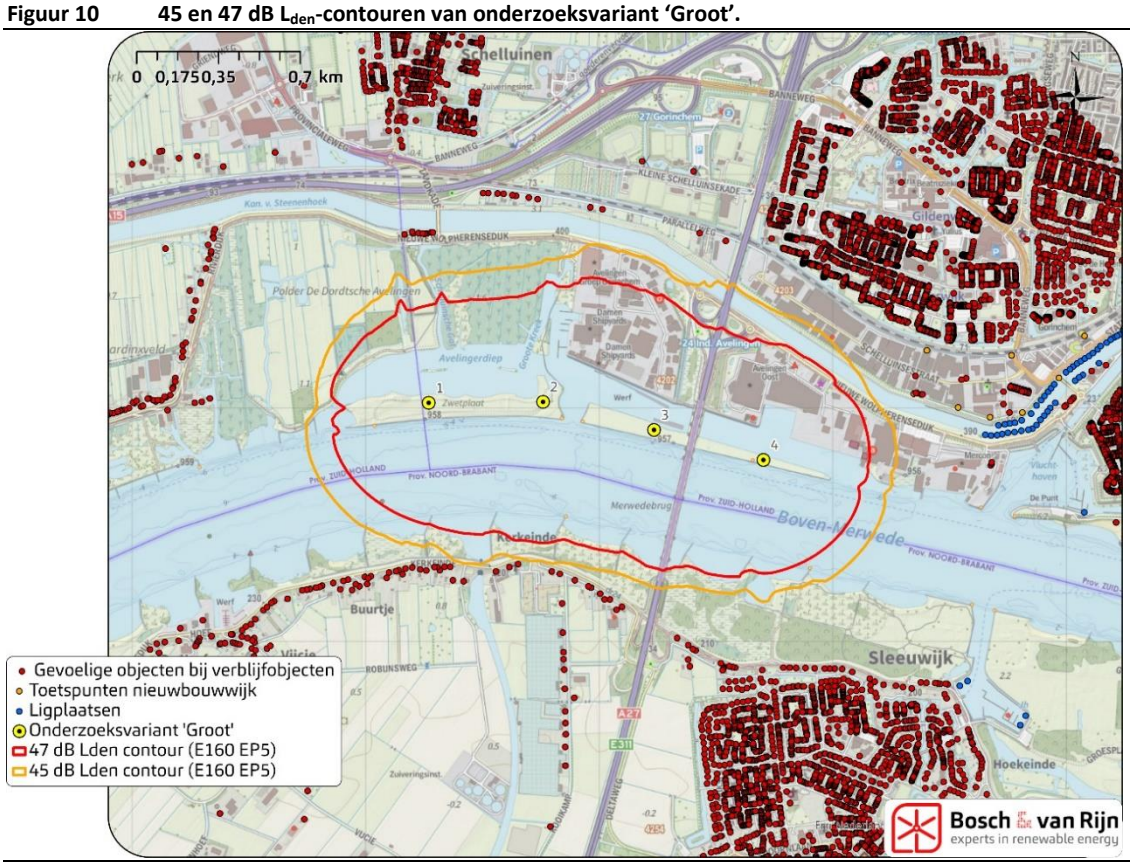
Figuur 8 **45 en 47 dB L_{den}-contouren van onderzoeksvariant 'Klein'.**



Figuur 9 **45 en 47 dB L_{den}-contouren van onderzoeksvariant 'Middel'.**



Figuur 10 **45 en 47 dB L_{den}-contouren van onderzoeksvariant 'Groot'.**



3.3 Geluidsniveau bij omliggende woningen

De bovenstaande afbeeldingen laten zien dat er in het geval van de kleine en middelgrote variant gevoelige objecten zijn waar de geluidsbelasting hoger is dan 45 dB L_{den}. Uit de rekenresultaten blijkt tevens dat een toetswaarde van 47 dB L_{den} bij diverse woningen in de omgeving wordt benaderd.
Uit bovenstaande afbeelding blijkt ook dat voor de grote variant bij alle toetspunten in de omgeving aan een toetswaarde van 45 dB L_{den} kan worden voldaan. Dit wordt verklaard door het feit dat bij die variant slechts 4 windturbines zijn gemodelleerd terwijl het jaargemiddelde bronvermogen van het referentietype niet veel verschilt van het jaargemiddelde bronvermogen van het referentietype voor de kleine en middelgrote variant.
Let wel: deze resultaten horen bij een de gekozen windturbinetype en bij de gemodelleerde onderzoeksvarianten. Meer windturbines leidt tot een groter invloedsgebied voor geluid. Indien onderzoeksvarianten met minder windturbines of stillere windturbines worden gemodelleerd, is het invloedsgebied voor geluid kleiner en worden op dezelfde ontvangerpunten lagere geluidwaarden berekend.

3.4 Mitigatie

Eén van de doelen van dit verkennende akoestische onderzoek is inzicht verschaffen in mogelijke mitigatie bij verschillende varianten en toetswaarden. Zoals de vorige paragraaf heeft aangetoond zijn er bij de kleine en middelgrote varianten toetspunten te vinden binnen de 45 dB L_{den} contouren. In deze paragraaf is inzichtelijk gemaakt in welke geluid reducerende modi de windturbines kunnen draaien om het invallende geluidsniveau van deze woningen terug te brengen tot 45 dB L_{den} te brengen. Het is daarbij wel goed om te vermelden dat de gekozen windturbines de worst case milieueffecten weergeven. Modellering van een stiller windturbinetype of modellering van minder windturbines kunnen het geluidsniveau bij de toetspunten ook verminderen. Het effect van de laatste optie is bijvoorbeeld goed te zien bij de onderzoeksvariant ‘Groot’.

3.4.1 Mitigatie tot 45 dB L_{den}

Uit de rekenresultaten blijkt dat bij de kleine en middelgrote onderzoeksvarianten respectievelijk 138 en 129 toetspunten binnen de 45 dB L_{den} contouren zijn gelegen. De onderstaande mitigatiestrategieën resulteren in 45 dB L_{den} contouren waar geen toetspunten meer in zijn gelegen. Mitigatie wordt bereikt door toepassing van geluid reducerende modi waarmee het toerental van windturbines wordt beperkt en daarmee de bronsterkte wordt verminderd. Mode 0 houdt in dat de windturbine op nominaal toerental draait en geen reductie wordt toegepast.

Tabel 6 **Mitigatiestrategie (45 dB L_{den}) "Klein"**

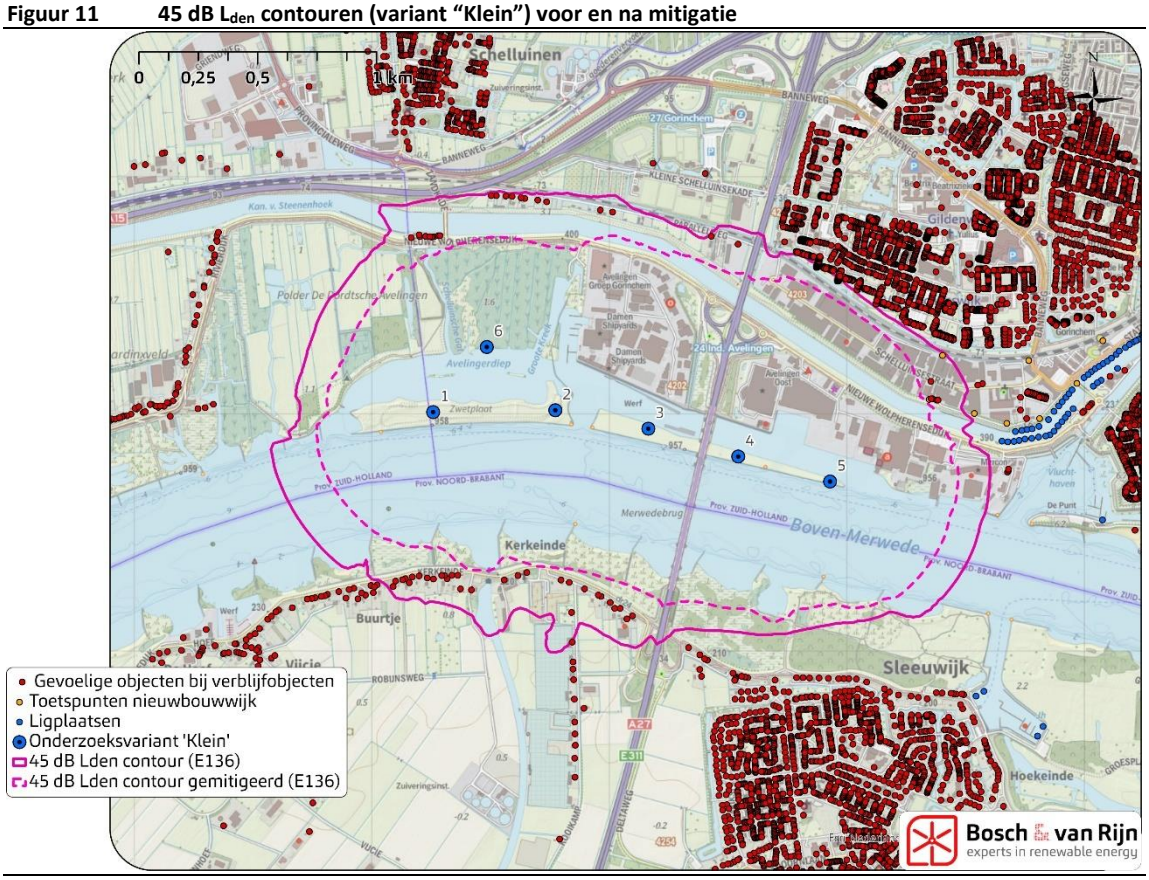
Klein	45 dB L_{den}		
WTB	Dag (07-19h)	Avond (19-23h)	Nacht (23-07h)
1	Mode 0	Mode 0	Mode 5
2	Mode 0	Mode 0	Mode 5
3	Mode 0	Mode 0	Mode 5
4	Mode 0	Mode 0	Mode 0
5	Mode 0	Mode 0	Mode 4
6	Mode 0	Mode 0	Mode 3

Tabel 7 Mitigatiestrategie (45 dB L_{den}) "Middel"

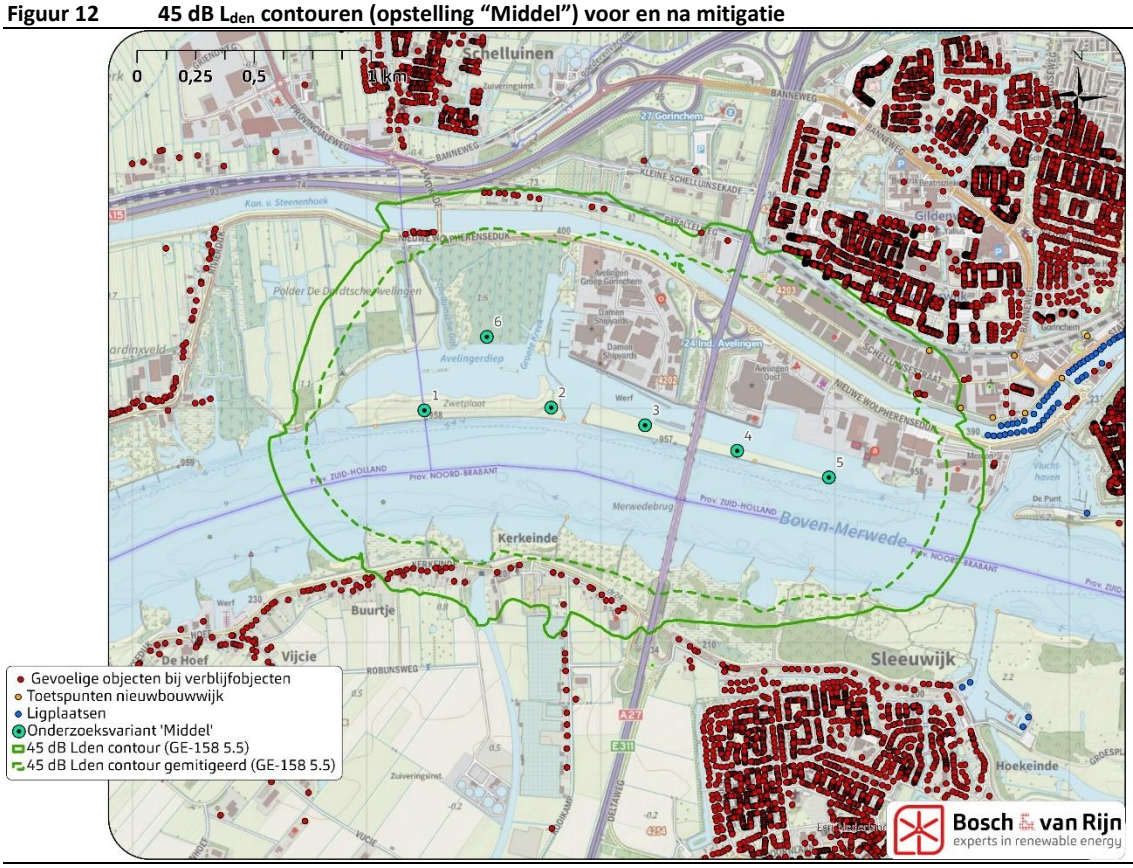
Middel	45 dB L_{den}		
WTB	Dag (07-19h)	Avond (19-23h)	Nacht (23-07h)
1	Mode 0	Mode 0	N103
2	Mode 0	Mode 0	N101
3	Mode 0	Mode 0	N103
4	Mode 0	Mode 0	Mode 0
5	Mode 0	Mode 0	N103
6	Mode 0	Mode 0	N101

Beide strategieën hebben significante impact op de contouren. Figuur 11 en Figuur 12 laten de contouren zien behorende bij de onderzoeksvarianten met mitigatie.

Figuur 11 **45 dB L_{den} contouren (variant "Klein") voor en na mitigatie**



Figuur 12 **45 dB L_{den} contouren (opstelling "Middel") voor en na mitigatie**



3.4.2 *Opbrengstderving*

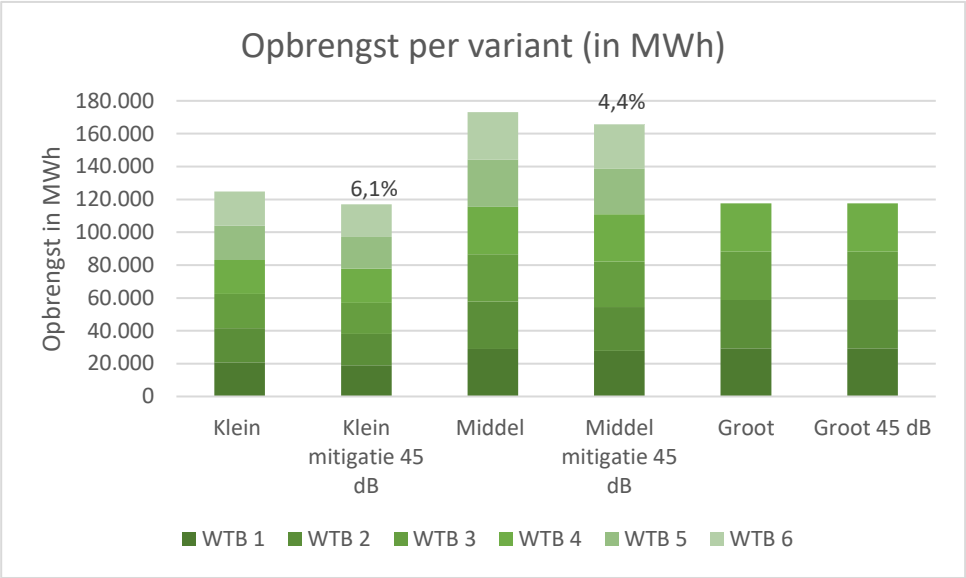
Zoals aangegeven wekken windturbines in geluid reducerende modi ook minder energie op. In de onderstaande tabel is voor de verschillende varianten per normgrens aangegeven wat de energieproductie is. Ook is de derving aangegeven. Een noot bij deze resultaten is wel dat de windturbines niet zijn geselecteerd op hun opwekpotentieel. De resultaten uit dit deel zijn daardoor ook niet per se representatief voor de grootteklasse.

Tabel 8 **Energieproductie en eventuele derving per windturbine per variant (in MWh/jr)**

	Klein		Middel		Groot	
		Mitigatie naar 45 dB		Mitigatie naar 45 dB		45 dB
WTB 1	20.784	19.011	28.868	27.693	29.376	29.376
WTB 2	20.784	19.011	28.868	26.790	29.376	29.376
WTB 3	20.784	19.011	28.868	27.693	29.376	29.376
WTB 4	20.784	20.784	28.868	28.868	29.376	29.376
WTB 5	20.784	19.405	28.868	27.693	-	-
WTB 6	20.784	19.813	28.868	26.790	-	-
MWh/jr	**124.703**	**117.034**	**173.207**	**165.526**	**117.505**	**117.505**
Opbrengstderving:		**6,1%**		**4,4%**		

De resultaten uit de bovenstaande tabel zijn ook inzichtelijk te maken in een staafdiagram:

Figuur 13 **Opbrengst per opstellingsvariant**



3.5 Cumulatief geluid

3.5.1 Huidig geluidsniveau

Cumulatie van geluid is de optelsom van (bestaande) geluidsbronnen in de omgeving. Om inzichtelijk te maken wat het huidige geluidsniveau is in de omgeving van het windzoekgebied is gebruik gemaakt van data over omgevingslawaai die het RIVM verzamelt in het kader van de Atlas Leefomgeving. De kaarten in deze atlas geven inzicht in de kwaliteit van de leefomgeving en bieden beleidsinformatie aan beleidsmakers.
Het RIVM is in bezit van geluidkaarten per geluidsbron en heeft deze kaarten samengevoegd tot één rasterkaart met het cumulatieve geluidsniveau in L_{den}[5]. Om de geluidsbelasting te berekenen heeft RIVM-gegevens van de volgende geluidsbronnen gebruikt:

- Rijkswegen (gegevens uit 2017)
- Gemeentelijke en provinciale wegen (gegevens uit 2017)
- Railverkeer (gegevens uit 2016)
- Luchtvaart (gegevens uit 2016)
- Industrie (kentalraming)
- Windturbines (gegevens uit 2020)

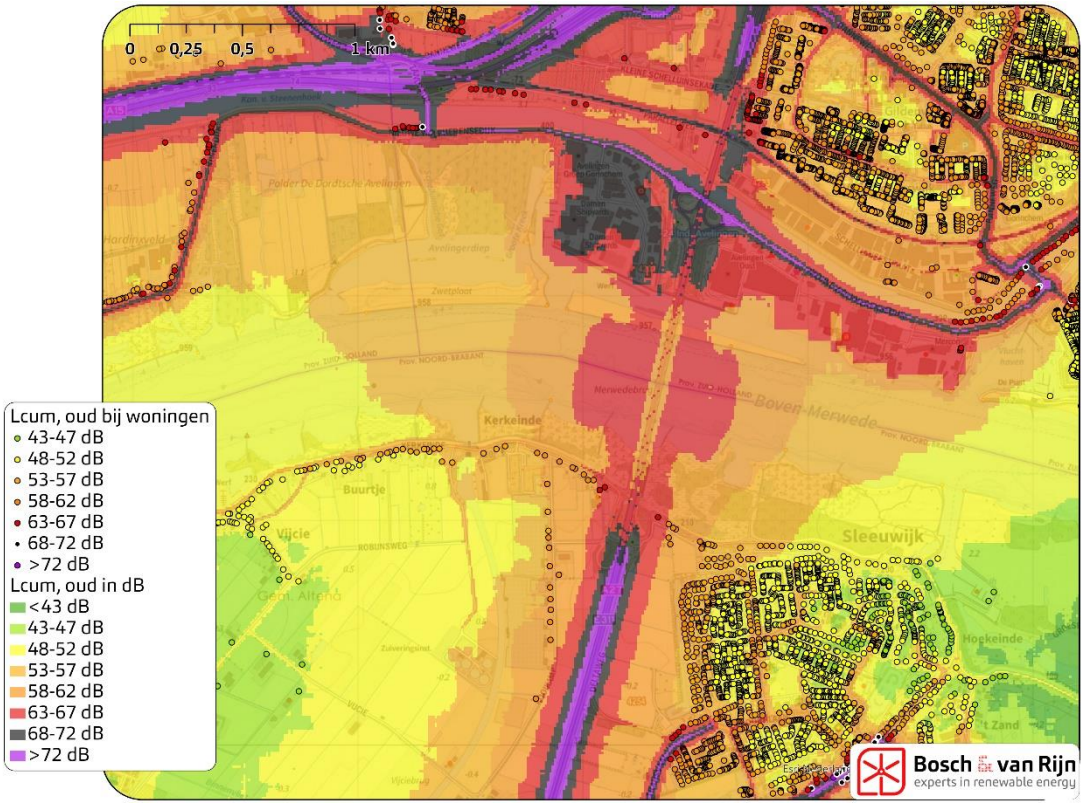
In de Atlas Leefomgeving is geen data verwerkt van scheepsvaartgeluid. Gelet op de ligging langs de Boven-Merwede is deze bron wel relevant. Dat betekent dat bij een eventueel vervolg cumulatieberekeningen zouden moeten worden uitgevoerd

[5] https://data.overheid.nl/dataset/7133-geluid-in-nederland--lden-

met behulp van een rekenmodel voor scheepvaarlawaai. Het pas niet bij het detailniveau van dit verkennende onderzoek om in deze fase dergelijk gedetailleerd onderzoek uit te voeren. In het kader van de verkenning is volstaan met de beschikbare data van RIVM. In een eventuele volgende fase kan (bijvoorbeeld in het kader van de m.e.r.-plicht) een rekenmodel voor scheepvaartlawaai worden opgesteld waarmee resultaten kunnen worden meegenomen in onderzoeken naar cumulatieve geluidsniveaus.

Met behulp van de openbare gegevens van RIVM zijn cumulatieve geluidniveaus in de omgeving van het windzoekgebied in beeld gebracht. Figuur 14 laat de ligging zien van gevoelige objecten (woningen) en de huidige jaargemiddelde cumulatieve geluidsniveaus in de huidige situatie. De geluidssterkte kan afwijken van dit gemiddelde, maar over een heel jaar zijn onderstaande geluidsniveaus het gemiddelde cumulatieve geluidsniveau.

Figuur 14 **Huidige geluidssituatie in de omgeving rond de mogelijke onderzoeksvarianten**



Figuur 14 biedt op globale schaal een goed beeld van de geluidkwaliteit van aandachtsgebieden zoals woonkernen, natuur- en stiltegebieden. De cumulatieve geluidsbelasting is berekend volgens de rekenregels voor cumulatie van verschillende bronnen. De bijdrage aan de cumulatieve kaart door weg- en railverkeer is bepaald met een standaard rekenmethode (RMV2012). Voor industriegeluid is een (indicatieve) geluidkwaliteit geraamd op basis van kentalgegevens voor verschillende typen van industrieterreinen. Het verkregen resultaat wordt, zoals op de kaart zichtbaar is, aangeduid met $L_{cum,oud}$: de optelsom van geluidsbronnen in de omgeving in

de huidige situatie, zonder de onderzochte onderzoekstellingen met windturbines in het windzoekgebied Avelingen.
De cumulatieve kaart is een gecombineerd totaal van de genoemde bronnen en geeft een indicatief beeld voor de geluidkwaliteit.

3.5.2 Cumulatieve geluidsbelasting inclusief windturbines

De kaart met cumulatieve geluidswaarden van het RIVM geeft aan wat de huidige geluidsbelasting is in de omgeving. Om een indicatie te geven van de invloed van windturbines op het cumulatieve geluidniveau kan een cumulatieberekening worden uitgevoerd. Het huidige cumulatieve geluidniveau en het windturbinegeluid worden opgesteld waarmee inzicht wordt verkregen in geluidniveaus inclusief de ontwikkeling van windturbines. Deze berekening is uitgevoerd voor de drie onderzoeksvarianten.

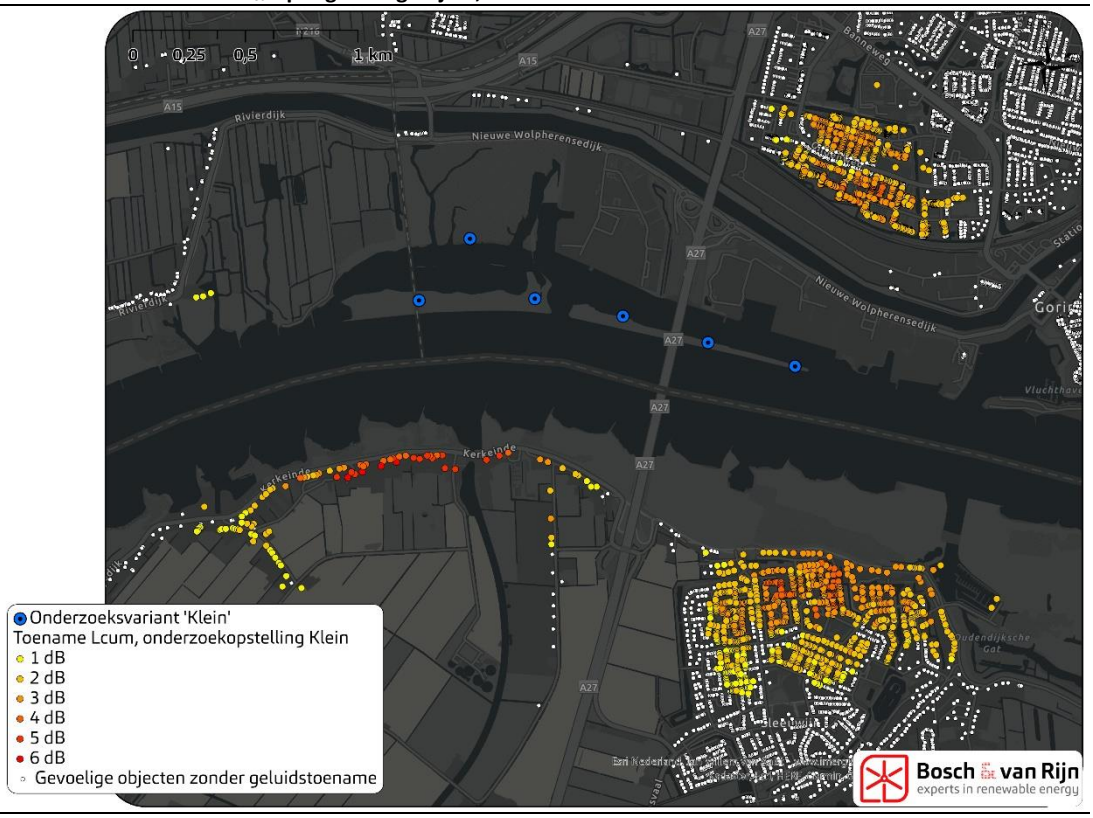
De geluidsbelasting van verschillende geluidsbronnen kan niet zomaar bij elkaar worden opgeteld, omdat het geluid van verschillende geluidsbronnen van elkaar verschilt in soort geluid en mate van hinderlijkheid. Geluid als gevolg van windturbines wordt doorgaans als hinderlijker ervaren dan geluid afkomstig van industrie en wegverkeer. De geluidsbelasting als gevolg van de windturbines kan door middel van een rekenregel worden omgerekend naar equivalente geluidsniveaus (met dezelfde mate van hinderlijkheid), waarna deze toevoeging kan worden opgeteld bij de huidige geluidsbelasting. Zo vinden wij de cumulatieve geluidsbelasting $L_{cum,nieuw}$, inclusief windturbines binnen windzoekgebied Avelingen. Tevens kan de toename van het geluidsniveau bij elke woning inzichtelijk worden gemaakt.

De betekenis van de kolomnamen in de tabel is als volgt:

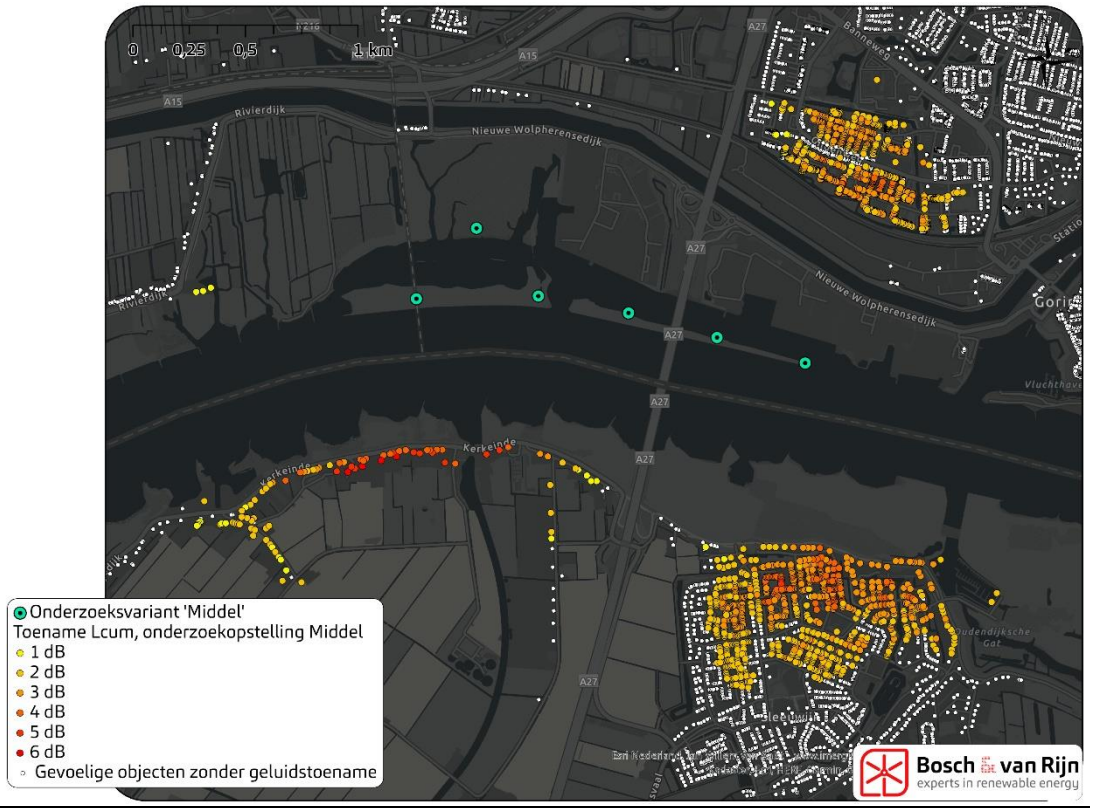
$L_{cum,oud}$	Gecumuleerd geluid a.g.v. zowel industrie als wegverkeer
L_{WT}	Geluid a.g.v. windturbines, voor de varianten.
L_{*WT}	Geluid a.g.v. windturbines, omgerekend naar equivalent geluidsniveau
$L_{cum,nieuw}$	Gecumuleerd geluid a.g.v. industrie, wegverkeer én windturbines.
Toename	Het verschil tussen $L_{cum,nieuw}$ en $L_{cum,oud}$

De toename van L_{cum} bij de verschillende onderzoeksvarianten is zichtbaar gemaakt in onderstaande figuren. Uit deze figuren blijkt dat de grootste toename van het cumulatieve geluidniveau plaatsvindt ten zuiden van de Boven-Merwede, waar woningen zijn gelegen met een relatief hoog cumulatief geluidniveau in de huidige situatie. Bij overige woningen is de toename beperkt (1-4 dB L_{cum} bij de onderzoeksvarianten ‘klein’en ‘middel’ en 1-2 dB L_{cum} bij de onderzoeksvariant ‘groot’). Bij alle woningen zonder kleuraanduiding wordt geen toename van het cumulatieve geluidniveau berekend als gevolg van de toevoeging van windturbinegeluid.

Figuur 15 **Toename van L_{cum} per gevoelig object, onderzoeksvariant 'Klein'**



Figuur 16 **Toename van L_{cum} per gevoelig object, onderzoeksvariant 'Middel'**



Figuur 17 **Toename van L_{cum} per gevoelig object, onderzoeksvariant 'Groot'**



In onderstaande tabellen is per onderzoeksvariant een vijftal toetspunten bepaald waar de grootste toename van het cumulatieve geluid is berekend.

Tabel 9 **Onderzoeksvariant 'Klein': Cumulatieve geluidsbelasting voor een vijftal adressen waar de grootste toename in Lcum voorkomt. De kolomnamen zijn in de tekst hierboven toegelicht.**

Adres	Lcum, oud	LWT	L*WT	Lcum, nieuw	Toename Lcum
Buurtje 1 Sleeuwijk	49	45	54	55	**6**
Kerkeinde 55 Sleeuwijk	51	46	56	57	**6**
Kerkeinde 60 Sleeuwijk	51	46	55	57	**6**
Buurtje 6 Sleeuwijk	49	44	53	55	**6**
Buurtje 2 Sleeuwijk	50	45	54	55	**5**

Tabel 10 **Onderzoeksvariant 'Middel': Cumulatieve geluidsbelasting voor een vijftal adressen waar de grootste toename in Lcum voorkomt. De kolomnamen zijn in de tekst hierboven toegelicht.**

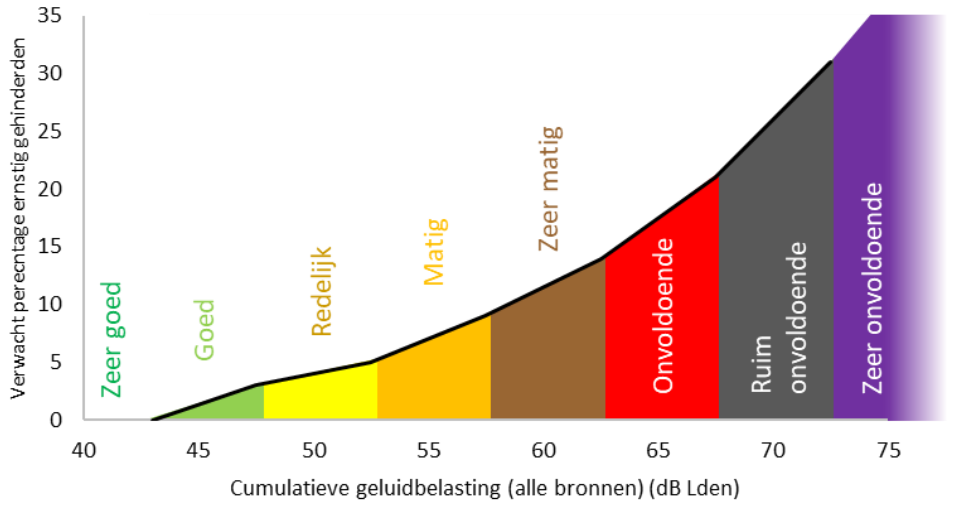
Adres	Lcum, oud	LWT	L*WT	Lcum, nieuw	Toename Lcum
Buurtje 1 Sleeuwijk	49	45	54	55	**6**
Kerkeinde 55 Sleeuwijk	51	46	56	57	**6**
Buurtje 6 Sleeuwijk	49	44	53	55	**6**
Kerkeinde 60 Sleeuwijk	51	46	55	57	**6**
Buurtje 2 Sleeuwijk	50	45	54	55	**5**

Tabel 11 **Onderzoeksvariant 'Groot': Cumulatieve geluidsbelasting voor een vijftal adressen waar de grootste toename in Lcum voorkomt. De kolomnamen zijn in de tekst hierboven toegelicht.**

Adres	Lcum, oud	LWT	L*WT	Lcum, nieuw	Toename Lcum
Buurtje 1 Sleeuwijk	49	43	51	53	**4**
Kerkeinde 55 Sleeuwijk	51	44	52	55	**4**
Kerkeinde 60 Sleeuwijk	51	43	52	54	**3**
Buurtje 6 Sleeuwijk	49	42	50	52	**3**
Kerkeinde 40 Sleeuwijk	53	44	53	56	**3**

Onderstaande figuur laat een indicatie zien van de mate van hinder bij de cumulatieve geluidbelasting. De mate van hinderlijkheid van geluid is persoonsafhankelijk.

Figuur 18 **Grafische weergave van verwacht percentage ernstig gehinderden als gevolg van cumulatief geluid.**



NB: Een toename van 5 dB Lden cumulatieve geluidbelasting zorgt voor een stijging van het verwachte percentage ernstig gehinderden. Bij een relatief lage cumulatieve geluidbelasting is de mate van hinder lager bij een stijging van 5 dB Lden dan bij een relatief hoge geluidbelasting. Een indeling in geluidklassen van 5dB is overgenomen uit de methode Miedema; een rekenmethode voor cumulatie van geluid van verschillende bronnen en classificering van het akoestisch klimaat.

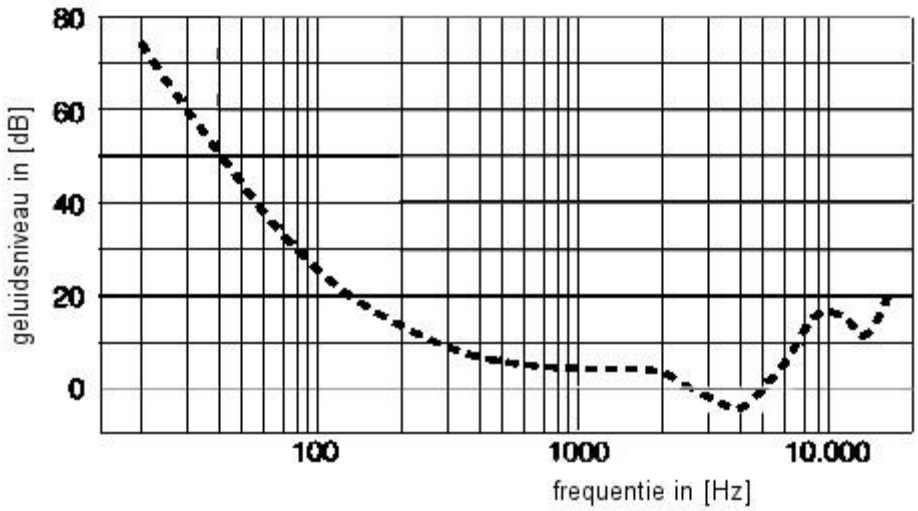
3.6 Laagfrequent geluid

In dit verkennende akoestische onderzoek is aandacht gevraagd voor het aspect laagfrequent geluid. Laagfrequent geluid is geluid met lage tonen en frequenties tussen 20 Hz en 160 Hz. Dit geluid maakt deel uit van het geluidspectrum van een windturbine, net zoals dat voor veel andere bronnen van omgevingslawaai geldt.

Bij het beschouwen van laagfrequent geluid is de waarnemingsdrempel een belangrijk begrip. De waarnemingsdrempel is de laagste geluidsdruk waarbij een persoon een frequentie nog kan waarnemen. Onderstaande figuur toont de waarnemingsdrempel voor het (gemiddeld) menselijk oor. Hieruit kan worden opgemaakt dat

het menselijk gehoor niet voor elke frequentie even gevoelig is; de waarnemingsdrempel voor laagfrequent is veel hoger dan die voor hoogfrequent geluid; dat betekent dat laagfrequent geluid harder moet zijn om waargenomen te kunnen worden. Verder is van belang dat hogere frequenties op kortere afstand van de bron worden gedempt door de lucht en lagere frequenties worden tot op grotere afstand worden verspreid. Hoe groter de afstand tot een windturbine hoe hoger het **aandeel** lagere frequenties in het waarneembare geluid van windturbines. Het geluidsniveau van laagfrequent geluid neemt pas over een langere afstand af. Dit betekent dat laagfrequent geluid tot een grotere afstand van windturbines hoorbaar is dan geluid met hogere frequenties. Voor alle frequenties geldt dat deze worden meegenomen bij een berekening van het geluidniveau en toetsing aan een geluidnorm.

Figuur 19 **Gemiddelde gehoordrempel van jonge, gezonde mensen (bron: ISO 226:2003)**



Een bekende norm voor de beoordeling van laagfrequent geluid is de Deense norm. De Deense norm voor laagfrequent geluid beschouwt geluid binnenshuis van een windturbine die op vol vermogen draait. Hiervoor wordt gerekend met een bepaalde 'demping' van het geluid door de buitengevel van een woning. Deze demping verschilt per toonhoogte: lagere tonen worden minder gedempt dan hogere. De norm is gesteld op 20 dB(A).

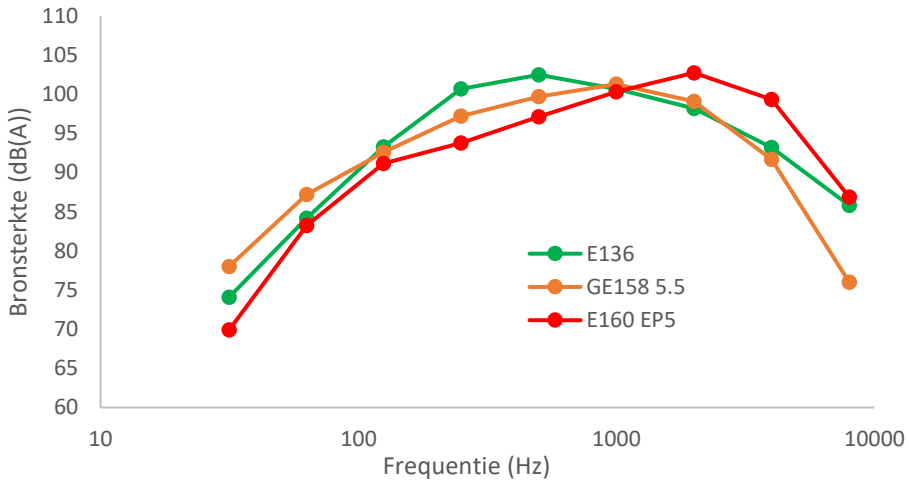
Bij deze methode zijn wel kanttekeningen te plaatsen: zo is elke woning verschillend en hebben begroeiing, gevelrichting, bouw- en isolatiedetails van de woning allemaal invloed op de precieze geluidssituatie. Een dergelijke 'one size fits all' norm zal dus nooit heel nauwkeurig zijn. Wel is het hiermee mogelijk om een indicatie te krijgen van de effecten.

3.6.1 Emissie per frequentieband

Om laagfrequent geluid in kaart te brengen is het geluidsniveau per frequentie als input voor de berekeningen nodig. Deze informatie is opgevraagd bij Enercon en

General Electric Wind voor de drie onderzoeksvarianten. Hieronder is de beschikbare informatie in octaafvorm weergegeven.

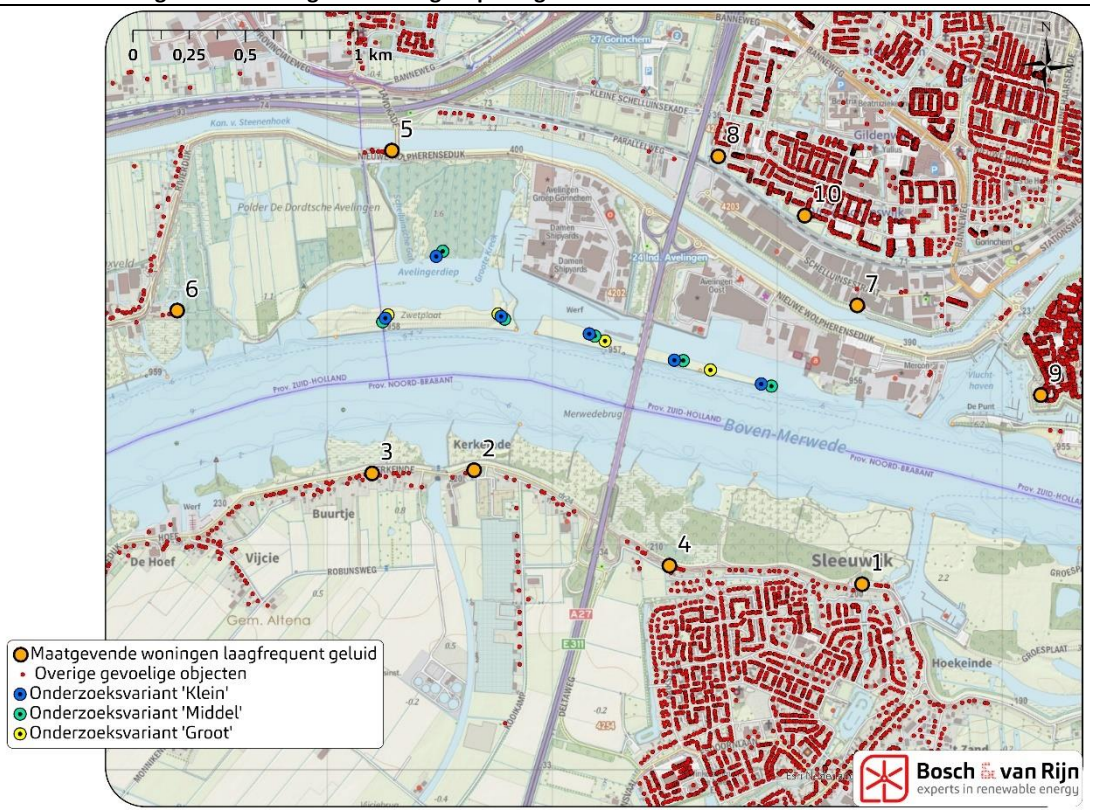
Figuur 20 **Geluidsemissie uitgesplitst per frequentieband (octaaf)**



3.6.2 Maatgevende woningen

Om een beeld te krijgen van de hoogte van de laagfrequente geluidsbelasting in de omgeving van het windpark zijn enkele maatgevende toetspunten bepaald. Deze toetspunten, ter plaatse van gevoelige objecten, zijn in de onderstaande figuur in oranje aangegeven. Op locaties verder weg van de windturbines ligt het laagfrequente geluidsniveau per definitie lager dan bij de maatgevende toetspunten.

Figuur 21 **Maatgevende woningen voor laagfrequent geluid**



De toetspunten die zijn weergegeven op bovenstaande afbeelding komen overeen met de volgende adrespunten:

Tabel 12 **Adressen van de geselecteerde maatgevende gevoelige objecten**

Nummer op kaart	Adres
1	Hoekeinde 36 Sleeuwijk
2	Kerkeinde 30 Sleeuwijk
3	Kerkeinde 52 Sleeuwijk
4	Kerkeinde 9 Sleeuwijk
5	Nieuwe Wolpherensedijk 18 Gorinchem
6	Rivierdijk 31 Hardinxveld-Giessendam
7	Steenenhoeksekanaal 9 Gorinchem
8	Tapperstraat 1 Gorinchem
9	Wilhelminaplein 95 Gorinchem
10	Zakdragerstraat 15 Gorinchem

3.6.3 Laagfrequent geluid bij woningen (immissie)

Voor bovenstaande toetspunten is met behulp van het rekenprogramma GeoMilieu berekend wat het aandeel laagfrequent geluid is in de geluidbelasting als gevolg van de windturbines. De output van het model is een tabel met een aantal dB dat per octaafband voorkomt bij deze woningen (voor drie onderzoeksvarianten). De onderstaande tabellen laten zien hoe veel laagfrequent geluid (in 3 banden) op de gevel van deze woningen is berekend.

Tabel 13 Immissie per octaafband bij de maatgevende woningen, onderzoeksvariant Klein (in dB)

Nr.	Adres	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	LFG totaal	Gehele immissie	Aandeel LFG
1	Hoekeinde 36 Sleeuwijk	8,7	18,8	19,2	**22,2**	33,6	**7%**
2	Kerkeinde 30 Sleeuwijk	14,2	24,2	26,0	**28,4**	40,3	**6%**
3	Kerkeinde 52 Sleeuwijk	12,7	22,8	25,2	**27,3**	39,0	**7%**
4	Kerkeinde 9 Sleeuwijk	11,6	21,6	22,1	**25,1**	36,8	**7%**
5	Nieuwe Wolpherensedijk 18 Gorinchem	14,3	24,3	25,3	**28,0**	40,0	**6%**
6	Rivierdijk 31 Hardinxveld-Giessendam	9,5	19,5	21,1	**23,5**	34,7	**8%**
7	Steenenhoeksekanaal 9 Gorinchem	13,0	23,1	26,0	**28,0**	39,7	**7%**
8	Tapperstraat 1 Gorinchem	12,0	22,0	24,6	**26,6**	37,9	**7%**
9	Wilhelminaplein 95 Gorinchem	6,8	16,8	19,8	**21,7**	32,1	**9%**
10	Zakdragerstraat 15 Gorinchem	12,1	22,1	25,2	**27,1**	38,4	**7%**

Tabel 14 Immissie per octaafband bij de maatgevende woningen, onderzoeksvariant Middel (in dB)

Nr.	Adres	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	LFG totaal	Gehele immissie	Aandeel LFG
1	Hoekeinde 36 Sleeuwijk	13,7	22,8	19,6	**24,9**	33,2	**15%**
2	Kerkeinde 30 Sleeuwijk	18,6	27,8	25,8	**30,2**	39,5	**12%**
3	Kerkeinde 52 Sleeuwijk	17,3	26,5	25,2	**29,2**	38,2	**12%**
4	Kerkeinde 9 Sleeuwijk	16,2	25,4	22,1	**27,4**	36,1	**13%**
5	Nieuwe Wolpherensedijk 18 Gorinchem	18,7	27,9	25,1	**30,1**	39,2	**12%**
6	Rivierdijk 31 Hardinxveld-Giessendam	14,2	23,3	21,1	**25,7**	33,9	**15%**
7	Steenenhoeksekanaal 9 Gorinchem	17,9	27,1	26,3	**30,0**	39,3	**12%**
8	Tapperstraat 1 Gorinchem	16,6	25,7	24,8	**28,6**	37,2	**14%**
9	Wilhelminaplein 95 Gorinchem	11,8	20,9	20,2	**23,8**	31,7	**16%**
10	Zakdragerstraat 15 Gorinchem	16,8	25,9	25,3	**28,9**	37,7	**13%**

Tabel 15 Immissie per octaafband bij de maatgevende woningen, onderzoeksvariant Groot (in dB)

Nr.	Adres	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	LFG totaal	Gehele immissie	Aandeel LFG
1	Hoekeinde 36 Sleeuwijk	4,4	17,7	16,9	**20,4**	30,2	**11%**
2	Kerkeinde 30 Sleeuwijk	10,3	23,6	23,9	**26,9**	38,3	**7%**
3	Kerkeinde 52 Sleeuwijk	8,9	22,2	23,3	**25,9**	36,9	**8%**
4	Kerkeinde 9 Sleeuwijk	7,5	20,8	20,1	**23,6**	34,3	**9%**
5	Nieuwe Wolpherensedijk 18 Gorinchem	8,8	22,1	21,9	**25,1**	36,1	**8%**
6	Rivierdijk 31 Hardinxveld-Giessendam	5,7	19,0	20,3	**22,8**	32,5	**11%**
7	Steenenhoeksekanaal 9 Gorinchem	7,8	21,1	22,9	**25,2**	35,9	**9%**
8	Tapperstraat 1 Gorinchem	7,8	21,1	22,4	**24,9**	35,2	**9%**
9	Wilhelminaplein 95 Gorinchem	2,4	15,7	17,4	**19,7**	28,3	**14%**
10	Zakdragerstraat 15 Gorinchem	7,7	21,0	23,0	**25,2**	35,5	**9%**

3.6.4 Deense norm

Om tot een waarde binnenshuis te komen dient een waarde in mindering te worden gebracht op de laagfrequente waarde, die de dempende werking van de gevel representeert. De Deense waarde (die hoort bij de Deense norm) kan daarvoor worden gebruikt (zie paragraaf 1.6 voor een toelichting). Echter is deze informatie in tertsvorm (drie banden die samen één octaafband vormen) gepresenteerd. Om deze Deense geveldemping toe te kunnen passen moet de informatie uit de voorgaande tabellen worden omgezet van octaaf- tot tertsvorm.
Dit kan gedaan worden door de drie dezelfde tertswaarden te vinden die samen de waarde uit de bijhorende octaafband creëren. Omdat er een logaritmisch verband is bij het optellen van geluid is dit niet de waarde van de octaafband gedeeld door

3, maar het logaritmische equivalent hiervan. Hieronder is weergegeven hoe dit is gedaan voor de waarden in tertsbanden 25, 31,5 en 40 Hz, die samen de octaafband 31,5 Hz maken.

Tabel 16 **Voorbeeld (Kerkeinde 9 Sleeuwijk) van het converteren van octaafwaarden naar tertswaarden**

Hz	Octaafwaarde in dB		Tertswaarden in dB
25	-		9,49
31,5	14,26	→	9,49
40	-		9,49

Bij elke woning is deze bovenstaande exercitie uitgevoerd. Van de tertswaarden kan vervolgens de Deense gevelwaarde worden afgehaald. Hieronder is voor een maatgevende woning (Kerkeinde 9 te Sleeuwijk) bij de onderzoeksvariant 'Klein' weergegeven wat de binnenwaarden per tertsband zijn. Als deze worden opgeteld vind je laagfrequente geluid binnenshuis. In dit geval is dit **11,1 dB**.

Tabel 17 **dB per tertsband (Kerkeinde 9 Sleeuwijk) bij de onderste onderzoeksvariant**

Tertsband LFG	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160
Immissie gevel	9,49	9,49	9,49	19,55	19,55	19,55	20,49	20,49	20,49
Geveldemping DK	-8,4	-10,8	11,4	-13	-16,6	-19,7	-21,2	-20,2	-21,2
Binnenwaarde DK	**1,19**	**-1,31**	**-1,91**	**6,55**	**2,95**	**-0,15**	**-0,71**	**0,29**	**-0,71**

Voor elke maatgevende woning is de bovenstaande berekening uitgevoerd. Hieronder is per onderzoeksvariant de laagfrequente geluidswaarde op de gevel en binnenshuis weergegeven. De Deense norm van 20 dB wordt niet overschreden.

Tabel 18 **Laagfrequente geluidsniveaus (in dB) op gevels en binnenhuis, per woning, per onderzoeksvariant.**

Adres	Klein		Middel		Groot	
	dB gevel	dB binnen	dB gevel	dB binnen	dB gevel	dB binnen
Hoekeinde 36 Sleeuwijk	22	**11**	30	**14**	26	**10**
Kerkeinde 30 Sleeuwijk	28	**10**	36	**20**	33	**17**
Kerkeinde 52 Sleeuwijk	27	**8**	35	**19**	32	**16**
Kerkeinde 9 Sleeuwijk	25	**11**	33	**17**	30	**14**
Nieuwe Wolpherensedijk 18 Gorinchem	28	**6**	36	**19**	31	**15**
Rivierdijk 31 Hardinxveld-Giessendam	24	**10**	31	**15**	28	**13**
Steenenhoeksekanaal 9 Gorinchem	28	**9**	36	**20**	31	**16**
Tapperstraat 1 Gorinchem	27	**10**	34	**18**	31	**15**
Wilhelminaplein 95 Gorinchem	22	**4**	29	**14**	25	**10**
Zakdragerstraat 15 Gorinchem	27	**9**	35	**19**	31	**16**

De onderzochte windturbinetypen zijn de luidste in hun klasse. Daarnaast is het van belang dat ieder windturbinetype een eigen geluidspectrum heeft. De verdeling van geluid over octaafbanden of tertsbanden varieert per windturbinetype. Daarmee kan ook het aandeel laagfrequent geluid licht variëren. Om die reden geven de onderzochte windturbinetypen niet per definitie ook de worst-case situatie voor laagfrequent geluid weer. In een eventuele vervolgfase kan nader onderzoek plaatsvinden en kan eventueel een lokale norm worden bepaald.

Hoofdstuk 4 Conclusie

In dit verkennende onderzoek zijn drie onderzoeksvarianten voor drie windturbineklassen (klein, middel en groot) onderzocht op akoestische effecten, waarbij per windturbineklasse een bandbreedte in de jaargemiddelde bronsterkte is beschouwd. Per windturbineklasse zijn geluidverspreidingsberekeningen uitgevoerd voor het relatief meest luide windturbinetype binnen de windturbineklasse onderzocht. De haalbaarheid vanuit het oogpunt geluid is beoordeeld aan de hand van de volgende onderdelen:

- Geluidniveaus windturbines ter plaatse van geluidgevoelige objecten
- Geluidniveaus laagfrequent geluid ter plaatse van geluidgevoelige objecten
- Toename cumulatieve geluidniveaus als gevolg van windturbinegeluid

Geluidniveaus als gevolg van onderzoeksvarianten
Op basis van de uitkomsten van de berekeningen wordt geconcludeerd dat de ontwikkeling van windturbines in de drie windturbineklassen vanuit het oogpunt van geluid haalbaar is. Ook wanneer rekening wordt gehouden met een landelijke geluidnorm die mogelijk strenger is dan de geluidnorm zoals die tot voor kort geldig was. Duidelijk is dat het invloedsgebied voor geluid en daarmee de geluidniveaus ter plaatse van woningen in de omgeving voornamelijk wordt bepaald door het aantal windturbines binnen het windzoekgebied en door de vorm van de variant (lijnopstelling of niet).

Uit de rekenresultaten blijkt dat voor alle varianten ter plaatse van omliggende toetspunten aan de toetswaarde van 47 dB L_{den} kan worden voldaan, zonder dat mitigerende maatregelen nodig zijn.

Wanneer een toetswaarde van 45 dB L_{den} wordt gehanteerd, moet voor de kleine en middelgrote windturbineklasse (uitgaande van het meest luide windturbinetype binnen die klasse) mitigerende maatregelen worden getroffen waarmee de geluidbelasting wordt verlaagd. Dat is mogelijk door de windturbines te laten draaien in een zogeheten noise-mode. Daarmee draaien één of meer windturbines op een lager toerental en daarmee vermogen dan het windaanbod op dat moment mogelijk maakt. Om aan de toetswaarde te voldoen zou ook kunnen worden gekozen voor een windturbinetype met een lagere bronsterkte. Uit de berekeningen blijkt dat voor de grote windturbineklasse bij alle toetspunten in de omgeving aan de toetswaarde van 45 dB L_{den} kan worden voldaan, zonder dat mitigerende maatregelen noodzakelijk zijn.

In het kader van de verkenning is het relevant om na te gaan wat de opbrengstderving is die is gemoeid met het voldoen aan bepaalde toetswaarden. Om bij de variant met de kleine windturbineklasse te voldoen aan de 45 dB L_{den} norm bij woningen wordt hier een derving in MWh/jaar van circa 6,1% verwacht. Voor de middelgrote variant is een opbrengstderving van 4,4% berekend, om aan de toetswaarde van 45 dB L_{den} te voldoen. Voor de onderzoeksvariant met de grote windturbineklasse is geen mitigatie nodig om aan de toetswaarde van 45 dB(A) te voldoen. Bovenstaande raming van de opbrengstderving behoort bij een relatief luid windturbinetype per afmetingsklasse. Wanneer relatief stille windturbinetypen worden gemodelleerd liggen berekende geluidniveaus bij ontvangerpunten lager. Of anders gezegd, liggen contouren met toetswaarden op kortere afstand van de windturbines dan bij luide windturbinetypen. Het is aan een initiatiefnemer om bij een wind-

turbinetender een keuze te maken voor een concreet windturbinetype en bijbehorende derving. De vergunning moet voldoende ruimte bieden om verschillende aanbiedingen met elkaar te kunnen vergelijken.

Laagfrequent geluid
Uit de berekeningen die zijn gedaan omtrent laagfrequent geluid blijkt dat er bij geen enkele woning een laagfrequente geluidsbelasting binnenshuis optreedt van meer dan 20 dB. Dit betekent dat omwonenden conform de Deense norm voor laagfrequent geluid binnenshuis geen hinder zullen ervaren van laagfrequent geluid afkomstig van windturbines.

Cumulatie van geluid
In het onderzoek is het huidige geluidsniveau op locatie bekeken. Ook is er een studie naar nieuwe geluidsituaties met de mogelijk windturbines uitgevoerd. Hieruit blijkt dat er bij de kleine en middelgrote onderzoeksvarianten er enkele woningen zijn waar het cumulatieve geluidniveau met meer dan 5 dB toeneemt. Bij de grote onderzoeksvariant komt dit niet voor. De grootste stijgingen komen veelal voor aan de zuidkant van de Boven-Merwede.

Hoofdstuk 5 Bijlagen

Bijlage A Windturbinegegevens

A.1 Algemene kenmerken

Variant	Type	Rotordiameter	Ashoogte	LE,den
Klein	Enercon E136 EP5	136	120	110,7
Middel	GE-158 5.5	158	150	110,4
Groot	Enercon E160 EP5 E2	160	180	111,7

Alle invoergegevens voor de akoestische berekening, inclusief bronsterkte, spectrum, windsnelheidsverdeling etc. zijn te vinden in de aparte bijlage uit GeoMilieu.

De bronnen voor de geluidsgegevens zijn in onderstaande tabel gegeven:

Variant	Fabrikant	Bron
Klein	Enercon	D0819691-1 Data sheet operating modes E-136 EP5 4650 kW with TES
Middel	GE Wind	Noise_Emission-NO_5.3-158-xxHz_IEC_EN_r04.docx
Groot	Enercon	WindPRO database

A.2 Emissiegegevens

De combinatie van een bepaald windturbinetype en de windsnelheidsverdeling ter plaatse resulteert in een jaargemiddelde geluidsemissie.

Deze emissie is hieronder gegeven (berekend met GeoMilieu).

A.2.1 Onderzoeksvariant "Klein" – Enercon E136 EP5

Windsnelheid	Bronsterkte L_W (dB)	Windsnelheidsverdeling 120m dag (%)	avond (%)	nacht (%)
1	-	2,5	1,6	1,5
2	-	4,5	2,9	2,2
3	93,8	6,9	4,2	3,5
4	93,8	8,9	6,5	5,1
5	93,8	10,6	9,5	7,2
6	101,9	12,0	12,0	9,9
7	105,4	13,0	15,6	14,6
8	106,1	11,8	15,3	17,9
9	107	9,1	11,6	14,6
10	107,2	6,6	7,3	8,8
11	107,2	4,7	4,4	5,1
12	107,2	3,0	2,9	3,1
13	107,2	2,1	2,0	2,0
14	107,2	1,6	1,4	1,6
15	107,2	1,0	1,1	1,2
16	107,2	0,7	0,8	0,8
17	107,2	0,4	0,5	0,5
18	107,2	0,3	0,3	0,3
19	107,2	0,2	0,1	0,1
20	107,2	0,1	0,1	0,1
21	107,2	0,1	0,1	0,0
22	107,2	0,1	0,0	0,0
23	107,2	0,0	0,0	0,0
24	107,2	0,0	0,0	0,0
25	107,2	0,0	0,0	0,0
Octaafband (Hz)	**Referentiespectrum**	**LE,day**	**LE,evening**	**LE,night**
31	74,1	70,31	70,78	71,29
63	84,2	80,41	80,88	81,39
125	93,3	89,51	89,88	90,49
250	100,7	96,91	97,38	97,89
500	102,5	98,71	99,18	99,69
1000	100,7	96,91	97,38	97,89
2000	98,2	94,41	94,88	95,39
4000	93,2	89,41	89,88	90,39
8000	85,8	82,01	82,48	82,99
Jaargemiddelde bronsterkte per periode (dB)		103,44	103,91	104,42
Jaargemiddelde bronsterkte (LE,den)	**110,7 dB**			

A.2.2 Onderzoeksvariant "Middel" – General Electric-158 5.5

Windsnelheid	Bronsterkte L_W (dB)	Windsnelheidsverdeling 150m dag (%)	avond (%)	nacht (%)
1	-	2,5	1,7	1,7
2	-	4,3	3,0	2,6
3	-	6,6	4,1	3,6
4	93,8	8,3	6,1	5,1
5	94,5	9,5	8,1	6,2
6	97,6	10,6	10,0	7,6
7	103,9	11,6	11,8	9,6
8	103,7	11,7	12,7	12,3
9	106	9,9	12,1	14,5
10	106	7,6	10,3	13,1
11	106	5,8	7,4	9,3
12	106	3,9	4,7	5,9
13	106	2,4	2,8	3,0
14	106	1,8	1,7	1,9
15	106	1,3	1,2	1,3
16	106	0,8	0,9	1,0
17	106	0,6	0,6	0,6
18	106	0,4	0,4	0,4
19	106	0,2	0,2	0,2
20	106	0,1	0,1	0,1
21	106	0,1	0,1	0,1
22	106	0,1	0,0	0,0
23	106	0,0	0,0	0,0
24	106	0,0	0,0	0,0
25	106	0,0	0,0	0,0
Octaafband (Hz)	**Referentiespectrum**	**LE,day**	**LE,evening**	**LE,night**
31,25	87,2	77,74	78,36	78,82
62,5	87,2	86,24	86,86	87,32
125,0	92,6	91,84	92,46	92,92
250,0	97,2	95,44	96,06	96,52
500,0	99,6	97,44	98,06	98,52
1000,0	101,3	97,34	97,96	98,42
2000,0	99,1	94,54	95,16	95,62
4000,0	91,7	90,84	91,46	91,92
8000,0	76,0	78,84	79,46	79,92
Jaargemiddelde bronsterkte per periode (dB)		103,14	103,76	104,22
Jaargemiddelde bronsterkte (LE,den)	**110,4 dB**			

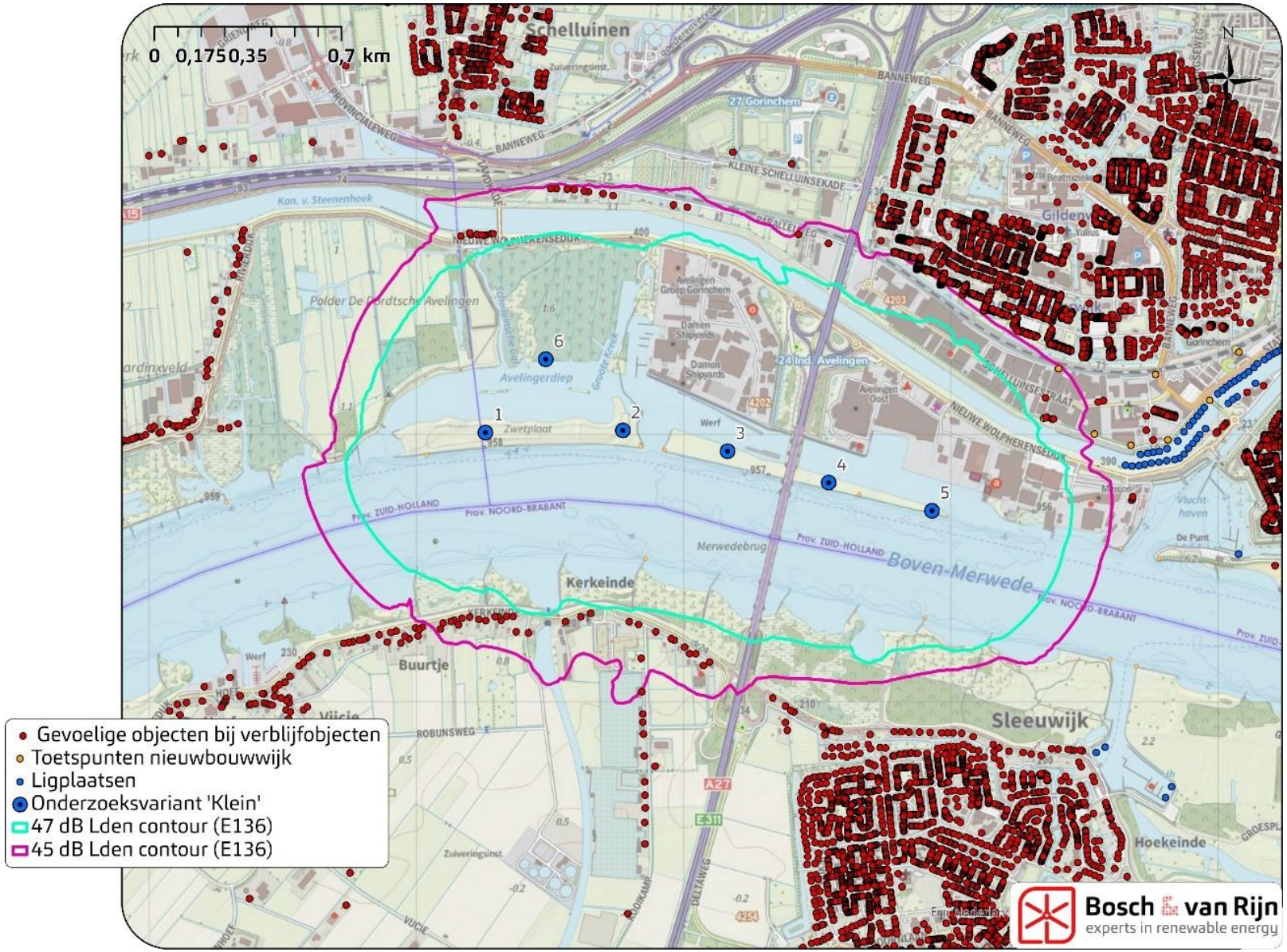
A.2.3 Onderzoeksvariant "Groot" – Enercon E160- EP5 E2

Windsnelheid	Bronsterkte L_W (dB)	Windsnelheidsverdeling 150m dag (%)	avond (%)	nacht (%)
1	-	2,4	1,7	1,6
2	-	4,2	2,7	2,6
3	97,3	6,4	4,1	3,7
4	97,3	7,9	5,8	5,2
5	97,3	9,0	7,7	6,1
6	101,2	9,8	9,1	6,9
7	104,4	10,7	10,1	8,1
8	106,7	10,7	11,3	9,7
9	106,8	9,9	10,3	11,3
10	106,8	7,9	10,0	12,0
11	106,8	6,5	8,6	11,0
12	106,8	4,8	6,8	8,5
13	106,8	3,2	4,7	5,7
14	106,8	2,2	2,7	2,9
15	106,8	1,5	1,6	1,9
16	106,8	1,0	1,1	1,2
17	106,8	0,7	0,7	0,7
18	106,8	0,5	0,5	0,4
19	106,8	0,3	0,2	0,2
20	106,8	0,2	0,1	0,1
21	106,8	0,1	0,1	0,1
22	106,8	0,1	0,0	0,0
23	106,8	0,1	0,1	0,1
24	106,8	0,0	0,0	0,0
25	106,8	0,1	0,0	0,0
Octaafband (Hz)	**Referentiespectrum**	**LE,day**	**LE,evening**	**LE,night**
31	69,90	67,76	68,28	68,59
63	83,25	81,11	81,63	81,94
125	91,17	89,03	89,55	89,86
250	93,80	91,66	92,18	92,49
500	97,12	94,98	95,5	95,81
1000	100,33	98,19	98,71	99,02
2000	102,75	100,61	101,13	101,44
4000	99,34	97,2	97,72	98,03
8000	86,90	84,76	85,28	85,59
Jaargemiddelde bronsterkte per periode (dB)		104,65	105,17	105,48
Jaargemiddelde bronsterkte (LE,den)	**111,7 dB**			

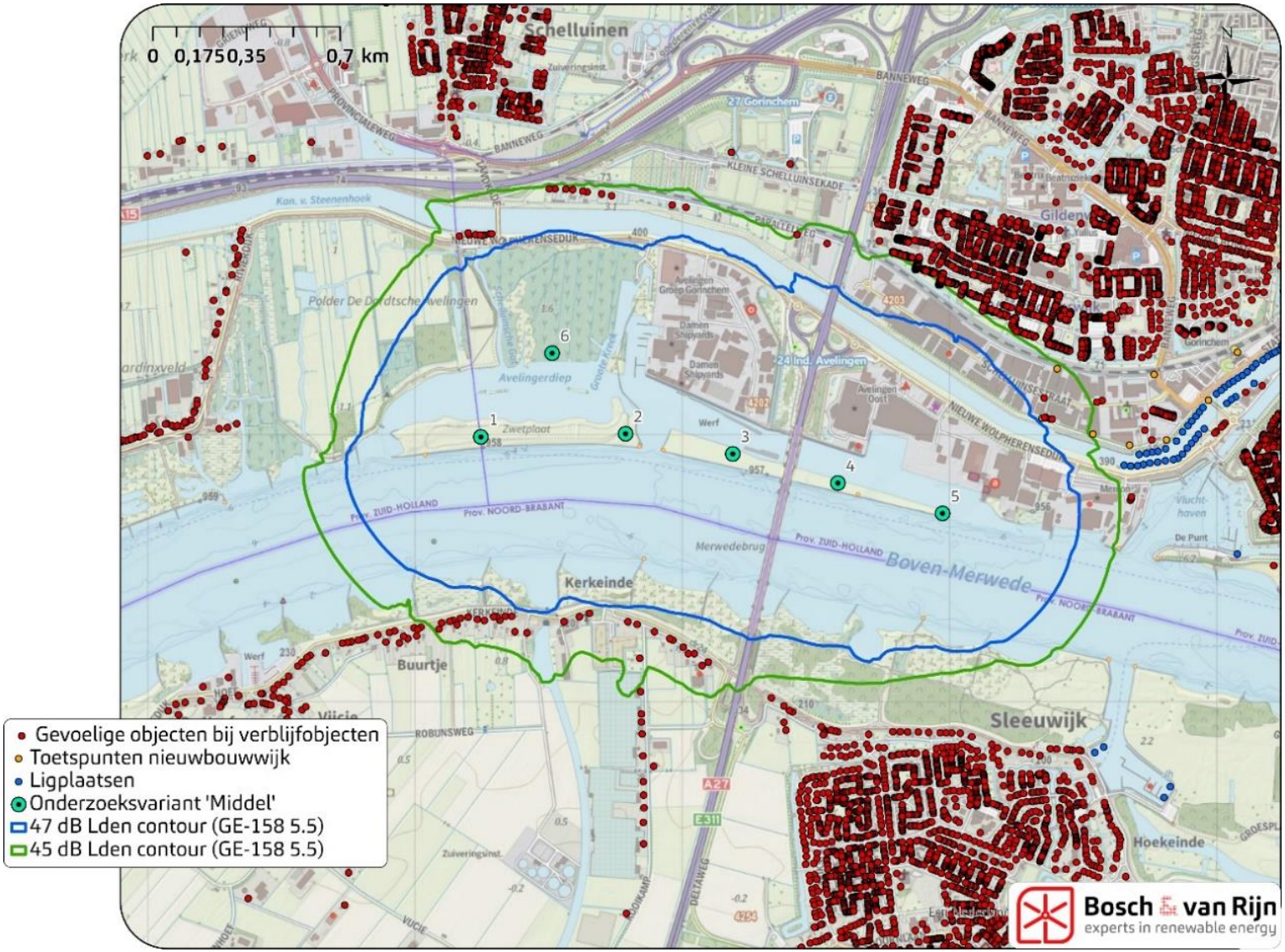
Bijlage B Geluidscontouren

Onderstaande pagina's tonen de afbeeldingen met de ligging van de geluidscontouren in groter formaat.

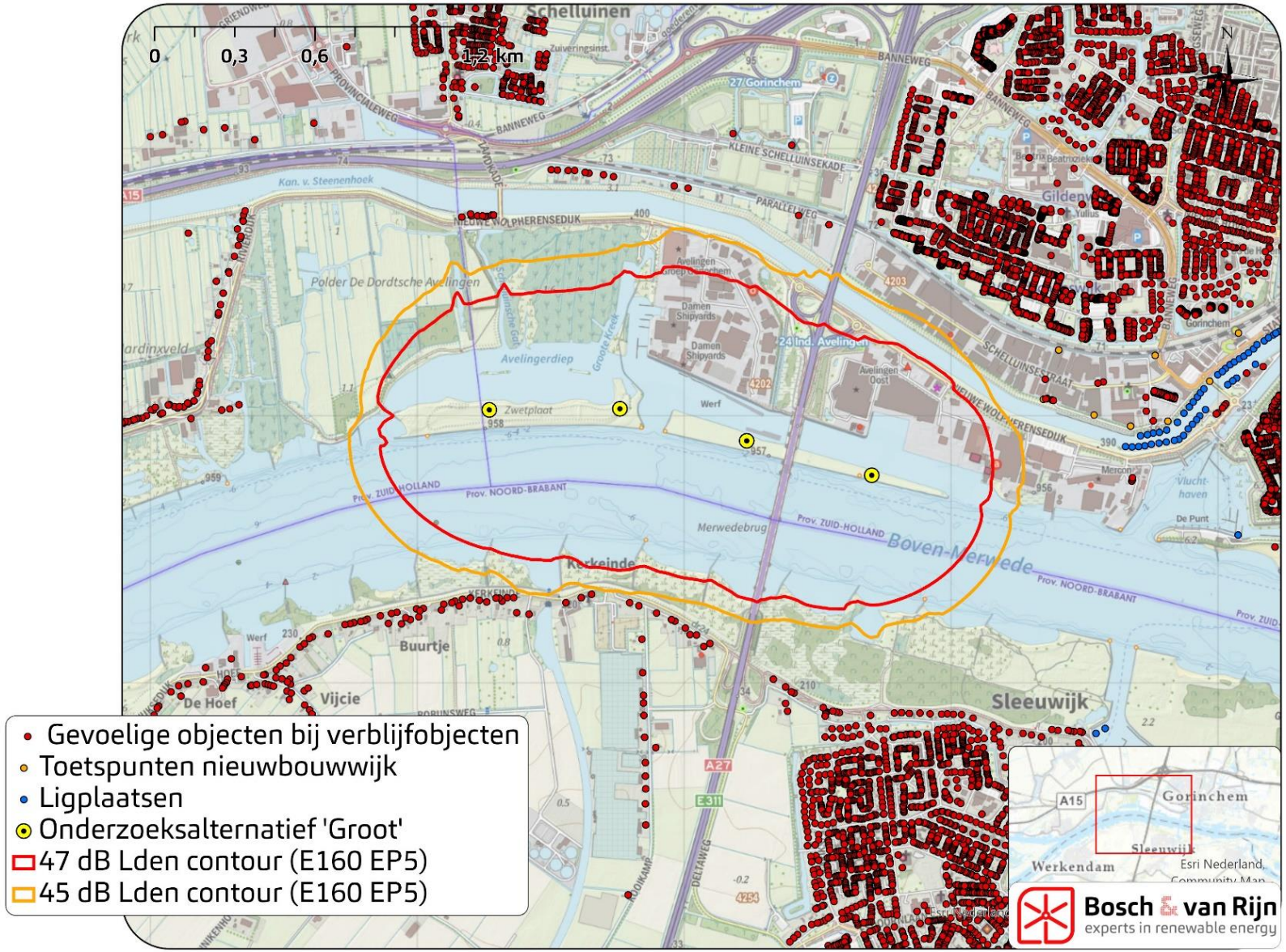
B.1 45 en 47 dB L_{den} contouren van onderzoeksvariant “Klein”



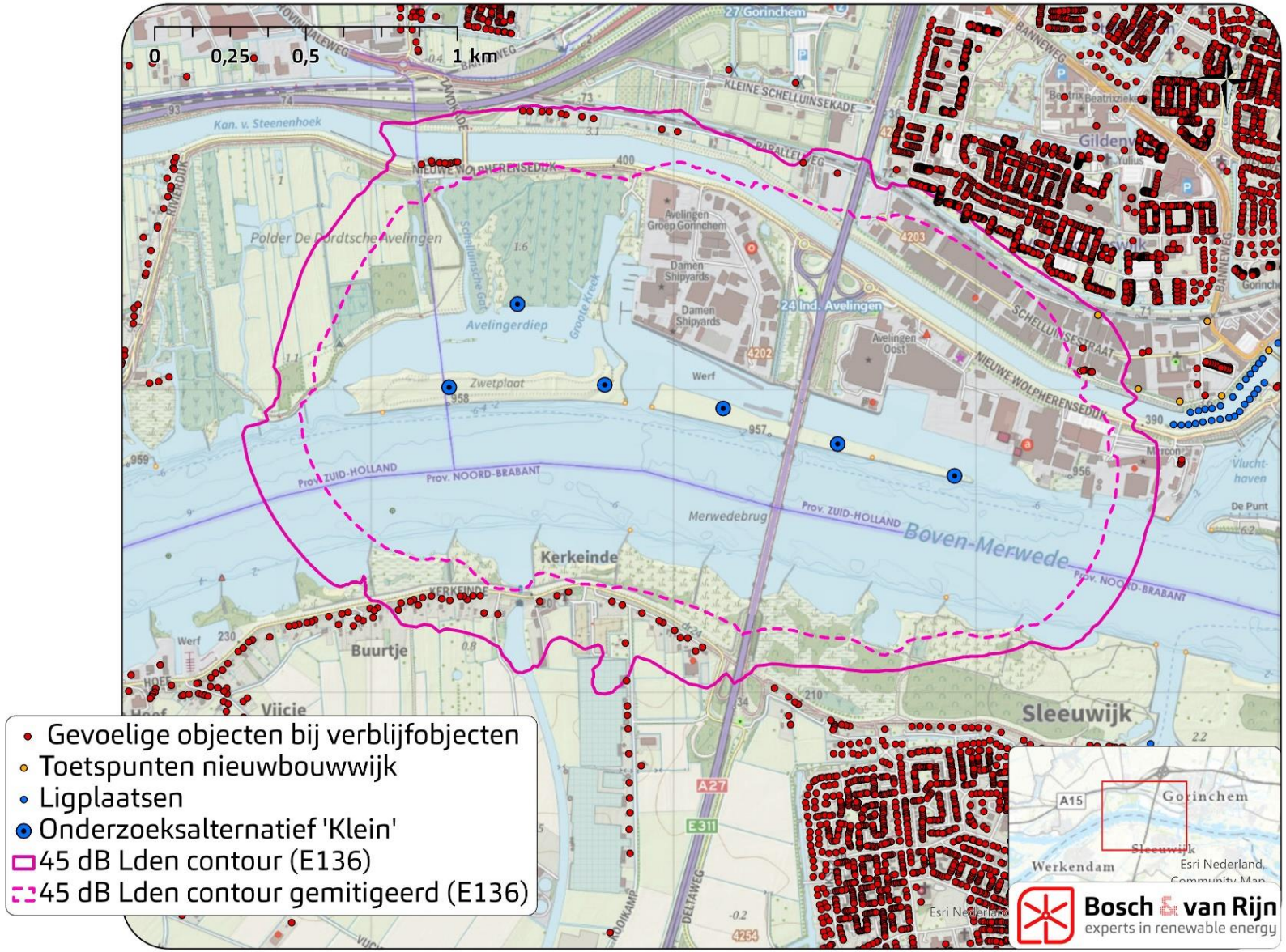
B.2 45 en 47 dB L_{den} contouren van onderzoeksvariant “Middel”



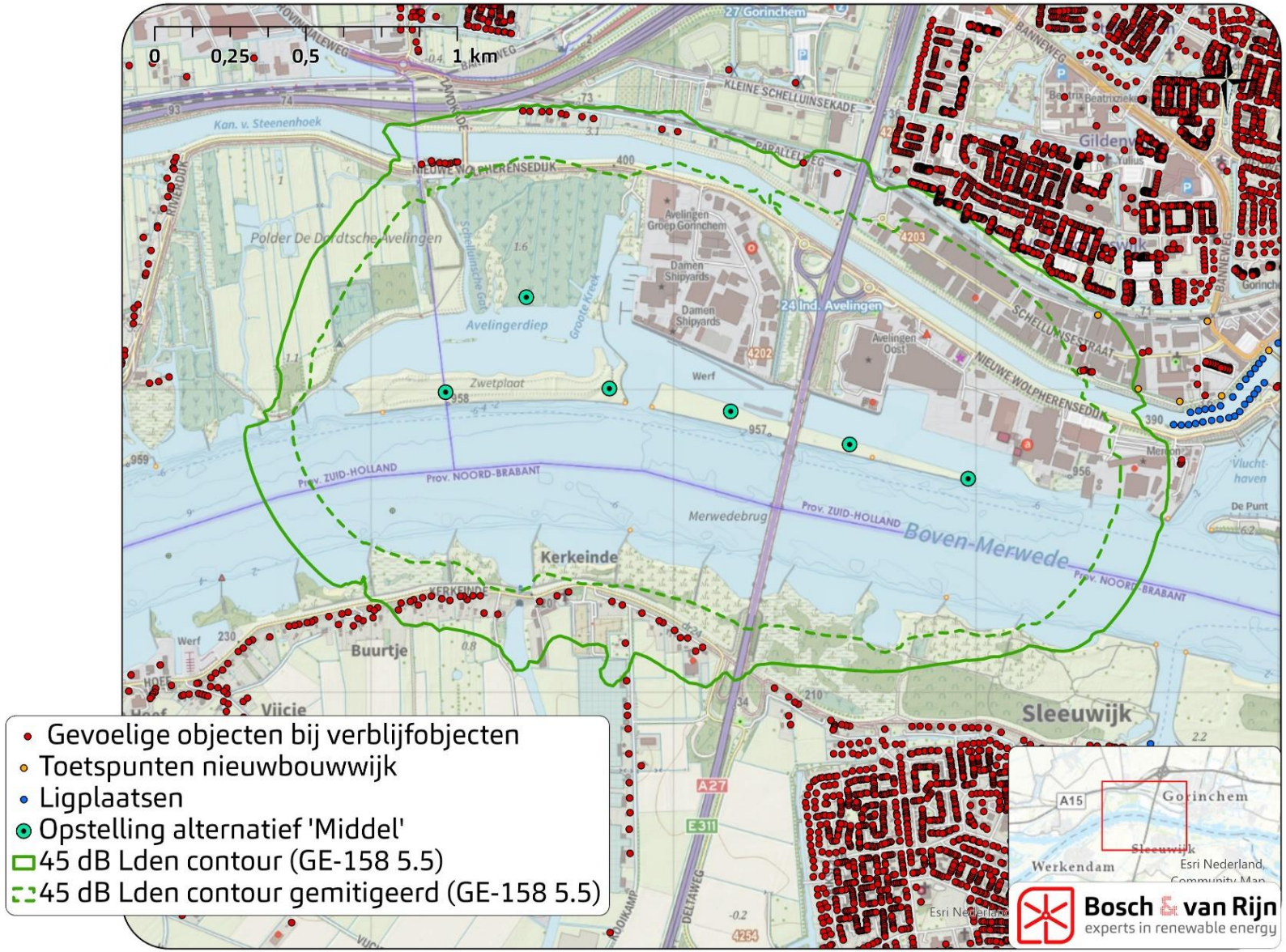
B.3 45 en 47 dB L_{den} contouren van onderzoeksvariant “Groot”



B.4 45 dB L_{den} contouren van onderzoeksvariant “Klein” voor en na mitigatie



B.5 45 dB L_{den} contouren van onderzoeksvariant “Middel” voor en na mitigatie



Bosch & van Rijn
experts in duurzame energie

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