

Bosch & van Rijn

Groenmarktstraat 56
3521 AV Utrecht
030 – 677 6466

Auteurs

Hans Kerkvliet MSc.
Drs. Ing. Jeroen Dooper

Opdrachtgever

Renewable Energy Factory



Windpark Caprice Lingewaard

Kwantitatieve risicoanalyse t.b.v. projectMER en aanvraag
omgevingsvergunning



Bosch & van Rijn
experts in renewable energy

Windpark Caprice Lingewaard

Kwantitatieve Risicoanalyse t.b.v. projectMER en aanvraag omgevingsvergunning

Datum
11 september 2019

Versie
1.2

Bosch & Van Rijn
Groenmarktstraat 56
3521 AV Utrecht

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

© Bosch & Van Rijn 2019

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

HOOFDSTUK 1	INLEIDING	3
1.1	<i>Inleiding</i>	4
1.2	<i>MER</i>	4
1.3	<i>Beoordelingscriteria MER</i>	6
1.4	<i>Leeswijzer</i>	6
HOOFDSTUK 2	RISICO'S WINDTURBINES	7
HOOFDSTUK 3	BEOORDELINGSKADER	10
3.1	<i>(Beperkt) kwetsbare objecten</i>	11
3.2	<i>Risicovolle installaties</i>	11
3.3	<i>Buisleidingen</i>	12
3.4	<i>Hoogspanningsinfrastructuur</i>	12
3.5	<i>Spoorwegen</i>	13
3.6	<i>Waterkering</i>	13
3.7	<i>Infrastructuur</i>	13
HOOFDSTUK 4	RISICOANALYSE	15
4.1	<i>(Beperkt) kwetsbare objecten</i>	16
4.2	<i>Risicovolle installaties</i>	19
4.3	<i>Buisleidingen</i>	24
4.4	<i>Hoogspanningsinfrastructuur</i>	27
4.5	<i>Spoorwegen</i>	30
4.6	<i>Waterkering</i>	33
4.7	<i>Infrastructuur</i>	39
HOOFDSTUK 5	VOORKEURSALETERNATIEF	46
5.1	<i>Beschrijving voorkeursalternatief</i>	47
5.2	<i>Te onderzoeken windturbinetype</i>	48
5.3	<i>Rekenmethode</i>	48
5.4	<i>Risicoanalyse</i>	48
HOOFDSTUK 6	CONCLUSIE	63
6.1	<i>(beperkt) Kwetsbare objecten</i>	64
6.2	<i>Risicovolle installaties</i>	64
6.3	<i>Buisleidingen</i>	64
6.4	<i>Hoogspanningsinfrastructuur</i>	64
6.5	<i>Spoorwegen</i>	65
6.6	<i>Waterkering</i>	65
6.7	<i>Infrastructuur</i>	65
HOOFDSTUK 7	BIJLAGEN	67
BIJLAGE A	OPSTELLING ALTERNATIEVEN	68
BIJLAGE B	RISICOCONTOUREN EN WERPAFSTANDEN	71
BIJLAGE C	BEREKENING WERPAFSTAND	104
BIJLAGE D	WERPAFSTANDEN TURBINETYPE	106
BIJLAGE E	(BEPERKT) KWETSBARE OBJECTEN	108

Hoofdstuk 1 Inleiding

1.1 Inleiding

Bosch & Van Rijn heeft een Kwantitatieve Risicoanalyse uitgevoerd naar de externe veiligheidsrisico's voor windpark Caprice in gemeente Lingewaard als gevolg van drie varianten ten behoeve van een milieueffectrapportage (MER).

Deze studie volgt de beoordelingscriteria zoals opgenomen in de Notitie Reikwijdte en Detailniveau van WP Caprice. Daarnaast worden de externe veiligheidsrisico's vanwege de windturbines getoetst aan de normen en adviesafstanden zoals beschreven in Hoofdstuk 3.

Dit document dient ter ondersteuning van zowel het MER als de vergunningaanvraag.

1.2 MER

Het projectMER beschouwt drie varianten, die alleen verschillen in de afmetingen. Het aantal en de posities van de windturbines zijn bij de drie varianten hetzelfde (Zie Figuur 1 en Tabel 1).

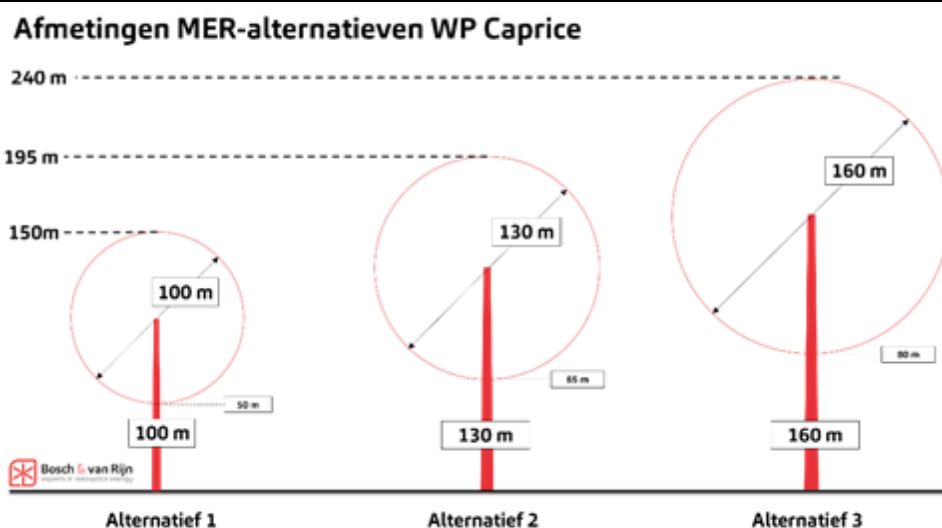
Figuur 1 MER-varianten van windpark Caprice.



Tabel 1 MER-varianten.

	1	2	3
Aantal windturbines	2	2	2
Afmetingen			
Ashoogte (m)	100	130	160
Rotordiameter (m)	100	130	160
Tiphoogte (m)	150	195	240

Figuur 2 Schematische weergave van de afmetingen van de MER-varianten.



1.2.1 Windturbinetypes

Per variant is een windturbintype geselecteerd dat representatief is voor de betreffende klasse van windturbines.

Variant	Windturbine gebruikt in de kwantitatieve risicoanalyse	Ashoogte	Rotordiameter
1	Lagerwey L100	100	100
2	Siemens SWT3.3-130	130	130
3	GE Wind 4.8-158	160	160

De locaties van de windturbines in de MER-varianten zijn gegeven in onderstaande tabel.

Tabel 2 **Locaties van de windturbines in de onderzochte MER-varianten.**

Windturbine	X	Y
1	195.764	436.408
2	196.102	435.882

1.3 Beoordelingscriteria MER

In het milieueffectrapportage waar dit onderzoek een bijlage van is wordt het milieueffect veiligheid beoordeeld aan de hand van de volgende criteria:

- (Beperkt) kwetsbare objecten;
- Gevaarlijke stoffen (installaties, buisleidingen en vervoer)
- Risico's m.b.t. hoogspanning
- Risico's m.b.t. infrastructuur

In deze kwantitatieve risicoanalyse worden alle beoordelingscriteria voor het projectMER onderzocht.

1.4 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 worden de externe veiligheidsrisico's van windturbines beschreven. Hoofdstuk 3 bevat het toetsingskader voor de beoordeling van de (toename) van externe veiligheidsrisico's. In hoofdstuk 4 zijn de berekeningen opgenomen die zijn uitgevoerd voor de drie onderzochte varianten. Hoofdstuk 5 bevat de conclusies waarin de berekende waarden worden getoetst aan het in Hoofdstuk 3 beschreven beoordelingskader.

Hoofdstuk 2 Risico's windturbines

Risico's van een windturbine voor de omgeving bestaan uit 3 typen falen:

1. het afbreken van (een gedeelte van) een windturbineblad,
2. het omvallen van een windturbine door mastbreuk,
3. het naar beneden vallen van de gondel en/of rotor.

Het afbreken van een windturbineblad vormt een risico binnen de straal van de maximale werpafstand. Hierbij worden twee scenario's onderscheiden; werpafstand bij nominaal toerental en de werpafstand bij overtoeren. Het omvallen van een windturbine vormt een risico binnen een straal van de maximale valafstand van de windturbine (tiphoogte). Het naar beneden vallen van de gondel en/of rotor vormt een risico binnen een afstand van de wielkengte.

Op basis van generieke faalfrequenties (Bijlage A, Handboek Risicoberekeningen Windturbines (HRW) 2014), het kogelbaanmodel (zie Bijlage 1. Bron: Bijlage C, HRW 2014) en parameters van de specifieke windturbintypes zijn de werpafstanden en risicocontouren berekend. In bijlage C staan de gehanteerde formules gegeven en bijlage D bevat per windturbintype een printscreen van de resultaten. Hieruit volgen de volgende afstanden:

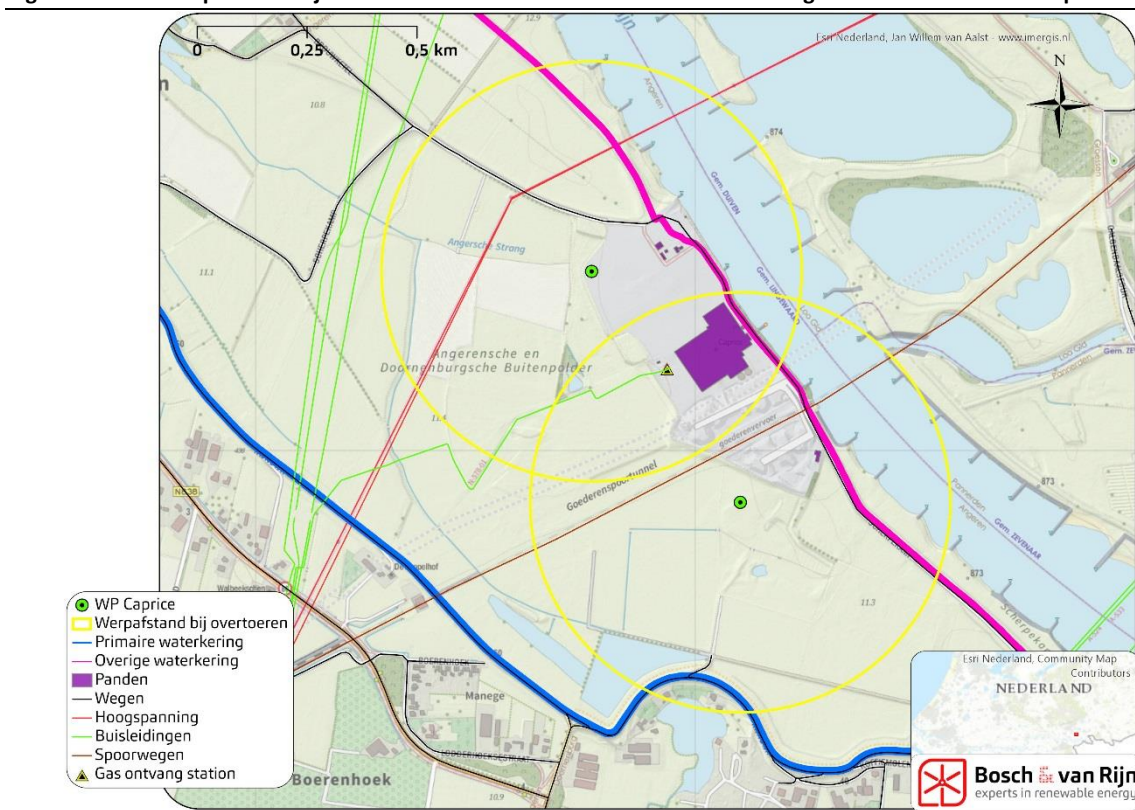
Tabel 3

Risicocontouren en maximale werpafstanden van onderzochte windturbintypes

Variant	Wtb type	Ashoogte (m)	Risicocontouren (m)		Max. werpafstand (m)	
			10^{-5}	10^{-6}	Bij nominaal toerental	Bij overtoeren
1	Lagerwey L100	100	50	153	153	415
2	Siemens SWT3.3-130	130	65	181	181	478
3	GE Wind 4.8-158	160	79	185	171	419

De windturbines kunnen een risico verhogend effect hebben op nabijgelegen gebouwen, installaties en infrastructuur. Om voor het plangebied Caprice Lingewaard te bepalen welke onderwerpen relevant zijn wordt eerst de maximale werpafstand bij overtoeren in kaart gebracht en daarbinnen de onderwerpen gedefinieerd die relevant zijn (Figuur 2).

Figuur 3 Werpafstand bij overtoeren van Variant 2 met voor Externe Veiligheid relevante onderwerpen



Uit bovenstaande figuur blijkt dat de volgende onderwerpen relevant¹ zijn:

- ❖ **(Beperkt) kwetsbare objecten:** Er bevinden zich verschillende beperkt kwetsbare object binnen de maximale werpafstand bij overtoeren.
- ❖ **Risicovolle installaties:** Er bevindt zich één risicovolle installatie binnen de maximale werpafstand bij overtoeren.
- ❖ **Buisleidingen:** Er ligt een buisleiding nabij de windturbines.
- ❖ **Hoogspanningsinfrastructuur:** Er bevindt zich een hoogspanningsleiding binnen de werpafstand bij overtoeren.
- ❖ **Spoorwegen:** Er bevindt zich een spoorweg nabij de windturbines.
- ❖ **Waterkering:** Er bevindt zich twee waterkeringen binnen de werpafstand bij overtoeren van de windturbines.
- ❖ **Infrastructuur:** Er zijn verscheidene openbare wegen nabij de windturbines.

NB. Voor windturbines geldt dat het groepsrisico, vanuit het activiteitenbesluit, geen beoordelingskader is voor windturbines. Hierdoor hoeft er niet worden ingegaan op het groepsrisico in onderhavig document. Indien een windturbine een risico verhogend effect heeft op een risicovolle installatie, is het mogelijk dat de groepsrisico van de installatie om hoog gaat. Indien dit gebeurt moet er wel getoetst worden aan het groepsrisico.

¹ Relevant houdt in dat deze onderwerpen zich bevinden binnen de invloedssfeer van de windturbines.

Hoofdstuk 3 Beoordelingskader



3.1 (Beperkt) kwetsbare objecten

De normstelling omtrent windturbines en objecten waar personen verblijven volgt uit het Activiteitenbesluit:

1. Het plaatsgebonden risico voor een **buiten de inrichting gelegen kwetsbaar object**, veroorzaakt door een windturbine of een combinatie van windturbines, is niet hoger dan **10^{-6} per jaar**.
2. Het plaatsgebonden risico voor een **buiten de inrichting gelegen beperkt kwetsbaar object**, veroorzaakt door een windturbine of een combinatie van windturbines, is niet hoger dan **10^{-5} per jaar**.

Zie Bijlage E voor de definities kwetsbare en beperkt kwetsbare objecten.

Op de 10^{-6} contour heeft een persoon die onafgebroken en onbeschermd op die plaats zou verblijven, een kans op overlijden van één keer in de miljoen jaar als rechtstreeks gevolg van een falende windturbine. Op de 10^{-5} contour is deze kans één keer in de honderdduizend jaar.

3.2 Risicovolle installaties

Indien de windturbines niet substantieel bijdragen aan een verhoging van de risico's van de inrichting zullen de voor de inrichting geldende risicoafstanden niet significant wijzigen. Dat betekent dat toetsing aan de afstanden tot (beperkt) kwetsbare objecten ook na plaatsing van de windturbines niet tot belemmeringen leidt. Om dit te toetsen kan in eerste instantie naar de toename van de catastrofale faalfrequentie van risicovolle installaties behorende tot de inrichting worden gekeken. Indien deze toename een bepaalde richtwaarde niet overschrijdt dan is plaatsing van de windturbine uit oogpunt van risicobeoordeling toegestaan. Als uitgangspunt voor deze richtwaarde wordt volgens het Handboek Risicozonering Windturbines² 10% gehanteerd. Indien de toename deze richtwaarde overschrijdt, is plaatsing niet direct uitgesloten, maar wordt door een uitgebreidere analyse bepaald of er na plaatsing nog steeds voldaan wordt aan de normen uit het BEVI:

- *De grenswaarde, bedoeld in artikel 4, eerste lid, voor kwetsbare objecten is 10^{-6} per jaar.*
- *De richtwaarde, bedoeld in artikel 4, tweede lid, voor beperkt kwetsbare objecten is 10^{-5} per jaar.*

² Handboek Risicozonering Windturbines, 2014.

3.3 Buisleidingen

Voor gasleidingen hanteert Gasunie N.V. een adviesafstand waarbuiten geen substantiële negatieve invloed van een windturbine is te verwachten. Deze afstand is de hoogste waarde van de maximale werpafstand bij nominaal toerental of masthoogte + $1/3^{\text{de}}$ rotordiameter. (bron: Het beleid van Gasunie Transport Services inzake het veilig plaatsen van windturbines bij haar gasinfrastructuur – 31-07-2015).

Bij in acht nemen van bovenstaande afstanden zal voor ondergrondse leidingen de plaatsing van de windturbines niet leiden tot een (significante) verhoging van de faalkans van de gasinfrastructuur, waardoor ook het risico voor de omgeving door de aanwezigheid van de gasinfrastructuur niet (significant) zal toenemen en de transport- en leveringszekerheid van het aardgas niet (significant) worden aangetaast.

Als er aan bovenstaande afstanden niet kan worden voldaan dan is plaatsing van de windturbines voor Gasunie³ slechts acceptabel als:

- Er géén 10^{-6} per jaar contour ontstaat die bij Besluit externe veiligheid buisleidingen(Bevb)-transportleidingen tot buiten de belemmeringstrook reikt en bij Bevi-inrichten tot buiten het hekwerk reikt als die 10^{-6} per jaar contour vóór plaatsing van de windturbines ook niet buiten de belemmeringstrook resp. het hekwerk reikte. Dat betekent dat voor situaties waar het PR niveau binnen de belemmeringstrook resp. het hekwerk lager is dan 10^{-6} per jaar, het PR wel mag toenemen tot maximaal 10^{-6} per jaar⁴;
- De PR 10^{-6} per jaar contour niet groter wordt als die vóór de plaatsing van de windturbines al wel buiten de belemmeringstrook resp. het hekwerk reikte;
- De frequentie dat een inrichting die onder het Activiteitenbesluit Milieubeheer valt door een onderdeel van de windturbines wordt getroffen lager is dan:
 - o 5×10^{-6} per jaar voor meet- en regelstations en exportstations;
 - o $2,5 \times 10^{-4}$ per jaar voor gasontvangstations

3.4 Hoogspanningsinfrastructuur

Er bestaat geen wettelijk kader voor de invloed van windturbines op hoogspanningsleidingen. TenneT heeft in het Handboek Risicozonering (versie 3.1, 2014) een adviesafstand opgenomen voor het transportnetwerk van 110kV tot en met 380kV. Deze adviesafstand is gelijk aan de hoogste waarde van de maximale werpafstand bij nominaal toerental en tiphoogte.

³ Bron: Het beleid van Gasunie Transport Services inzake het veilig plaatsen van windturbines bij haar gasinfrastructuur – 31-07-2015.

⁴ PR: plaatsgebonden risico.

Dit betreft echter geen wettelijke grenswaarde. Wanneer er niet wordt voldaan aan de afstandseis, vraagt TenneT om met hen in overleg te treden. TenneT zal op basis van het concrete geval bepalen welk risico voor het betreffende asset op dat moment aanvaard kan worden. Als eerste richtlijn kan gebruikt worden dat windturbine(s) de kans op falen van de verbinding met 10% mag verhogen. Deze additionele faalkans wordt gerelateerd aan de al aanwezige faalkans van de verbinding tussen de aangrenzende verdeel- of transformatorstations. Aangezien er geen standaard faalfrequentie van een hoogspanningsverbinding bestaat, dient in alle gevallen overleg en afstemming met TenneT plaats te vinden.

3.5 Spoorwegen

Voor spoorwegen hanteert ProRail een afstandseis tussen windturbines en spoorwegen. De afstandseis die gehanteerd wordt tussen windturbines en het dichtst bij gelegen spoor is minimaal 7,85 meter + halve rotordiameter, gemeten vanuit het hart van het dichtstbijzijnde spoor, met een minimum van 30 meter (Handboek Risicozonering Windturbines, 2014).

3.6 Waterkering

In het plangebied bevindt zich een primaire waterkering met een veiligheidsnorm van 1/1.250 jaar. Tevens bevindt zich er een overige waterkering in het plangebied. Voor deze waterkering is geen norm vastgesteld, waardoor er in onderhavig onderzoek niet zal worden gekeken naar de betreffende waterkering.

Indien de windturbines een risicoverhogend effect hebben op de waterkering zal, conform het Handboek Risicozonering Windturbines (Versie 3.1, 2014) een trefkansberekening worden uitgevoerd en deze zal worden getoetst aan de ontwerpwaarden van de dijkkring.

Als toetsingscriterium wordt gehanteerd:

De additionele faalfrequentie van de geplande windturbines dient kleiner te zijn dan 10% van de autonome faalfrequentie van de primaire waterkering.

3.7 Infrastructuur

Rijkswegen

Voor Rijkswegen zijn generieke afstanden berekend waarbuiten er geen ontoelaatbare risico's voor passanten plaatsvinden. Het document "*Beleidsregel voor het plaatsen van windturbines op, in of over Rijkswaterstaatwerken*" staan de minimale afstanden tot Rijkswegen gegeven:

“Langs rijkswegen wordt plaatsing van windturbines toegestaan bij een afstand van ten minste 30m uit de rand van de verharding of bij een rotordiameter groter dan 60m, ten minste de halve diameter”.

Vaarwegen

Voor vaarwegen geldt dat windturbines zijn toegestaan bij een afstand van ten minste 50 meter van de vaarweg.⁵ De beleidsregel van Rijkswaterstaat in voorbereiding gaat uit van halve rotordiameter + 30 meter.

Voor de overige openbare wegen bestaan geen genormeerde afstanden, waardoor kleinere afstanden mogelijk zijn. In de beleidsregel *“Windturbines langs auto-, spoor-, en vaarwegen – Beoordeling van veiligheidsrisico’s”* staan de richtlijnen gegeven (zie kaders):

“Individuele passantenrisico (IPR)

Voor het risico voor de passant is een risicomaat gekozen die aansluit bij de individuele beleving van de passant, namelijk de overlijdenskans per passant per jaar. Hierbij wordt de passant gevolgd gedurende zijn bezigheden in de nabijheid van het windturbinepark.

De initiatiefnemer die een of meerdere windturbines wil plaatsen dient aan te tonen dat het maximale toelaatbare Individueel Passanten Risico IPR niet wordt overschreden op de infrastructuur in de nabijheid van de turbine. De grens is vastgesteld van honderdzes- en twintig kilometer per uur. Een generiek IPR van 10^{-6} wordt aangehouden voor alle infrastructuur waarop de wettelijk toelaatbare snelheden de honderdzes- en twintig kilometer per uur niet overschrijden, en een generiek IPR van 10^{-7} op infrastructuur waarop wettelijk toelaatbare snelheden boven de honderdzes- en twintig kilometer per uur bestaan.

Maatschappelijk risico (MR)

Er zijn verschillende maten te kiezen voor het maatschappelijk risico. Rijkswaterstaat en ProRail hanteren het criterium dat er jaarlijks niet meer dan $2 \cdot 10^{-3}$ passanten mogen overlijden. In het externe-veiligheidsbeleid voor stationaire installaties of vervoersactiviteiten wordt uitgegaan van groepsrisicocurven of FN-curven. Groepsrisicocurves hebben alleen betekenis voor ‘kleine-kans-groot-gevolg’-ongevallen met slachtofferaantallen groter dan 10 per ongeval. Uit studies ref. [2, 4, 5, 6] blijkt dat bij windturbineparken in de nabijheid van rijkswegen altijd ruimschoots aan de groepsrisiconorm wordt voldaan.”

⁵ Er is een nieuwe regeling in voorbereiding waarin staat dat de afstand van windturbines tot de vaarweg minimaal gelijk moet zijn aan de wielengte + 30 meter. In paragraaf 4.6 wordt al getoetst aan de nieuwe adviesafstand.

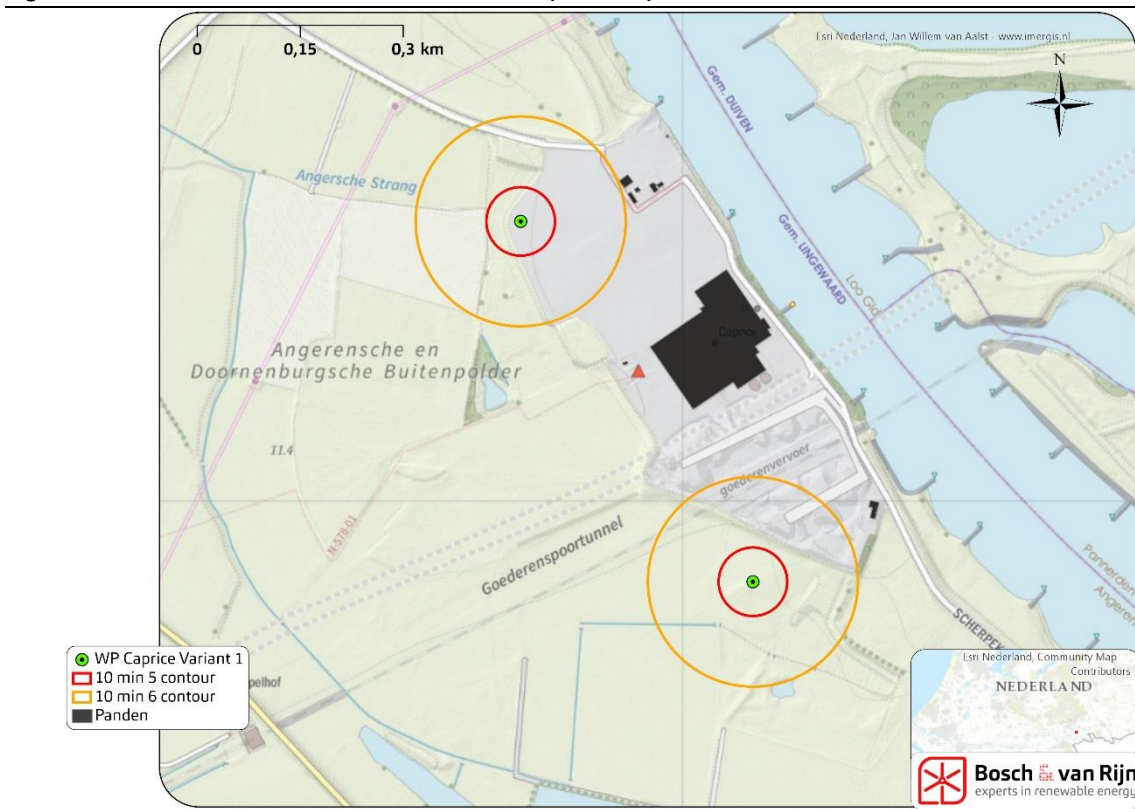
Hoofdstuk 4 Risicoanalyse

4.1 (Beperkt) kwetsbare objecten

De berekende 10^{-5} en 10^{-6} contouren zijn weergegeven op kaart. Per windturbine-locatie is nagegaan of (geprojecteerde) kwetsbare of beperkt kwetsbare objecten aanwezig zijn. Voor de gebouwen binnen de 10^{-6} contour is nagegaan of sprake is van een kwetsbaar object betreft (risicokaart.nl / luchtfoto's). In onderstaand figuur zijn de risicocontouren van de verschillende alternatieven te vinden. Deze zijn tevens weergegeven in Bijlage B.

4.1.1 Variant 1

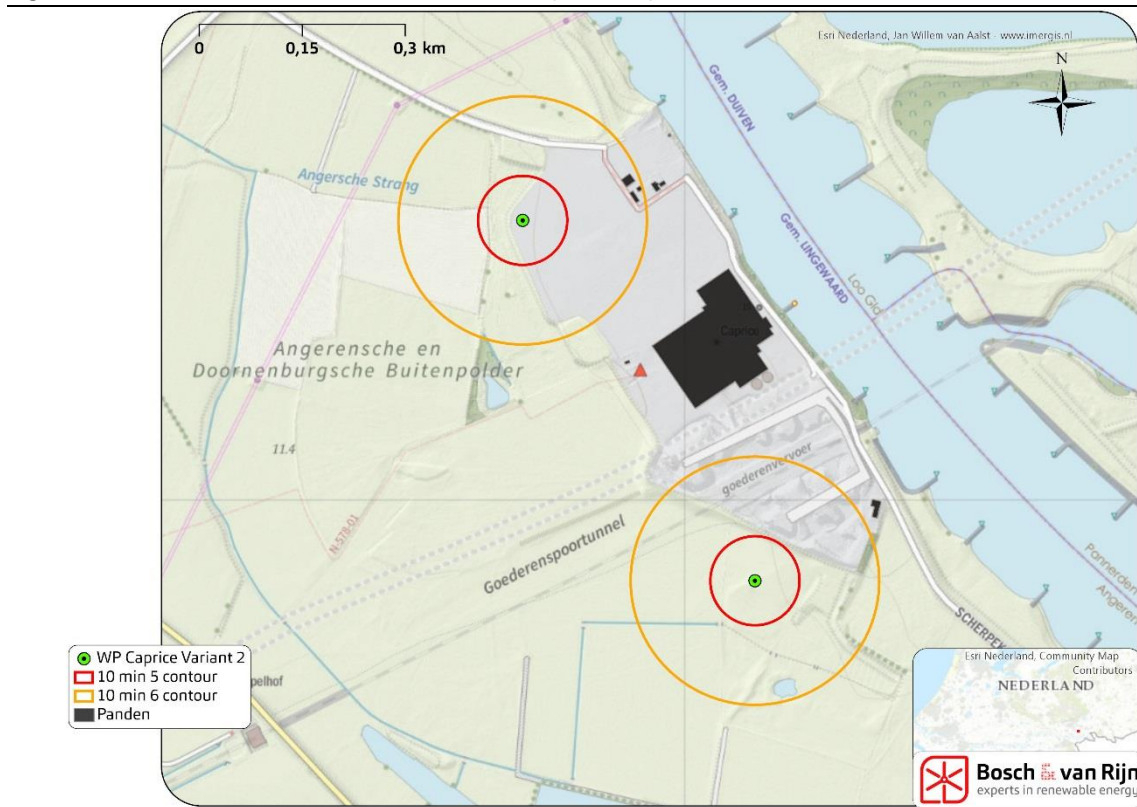
Figuur 4 Risicocontouren rond de windturbines (Variant 1)



Er bevinden zich geen (geprojecteerde) beperkt kwetsbare objecten of kwetsbare objecten binnen respectievelijk de 10-5 en 10-6 contour. Uit beide bestemmingsplannen (Steenfabriek Huissenswaard en Buitendijks gebied 2005) blijkt dat dergelijke objecten eveneens geprojecteerd niet gerealiseerd kunnen worden. Hiermee wordt er voldaan aan de veiligheidseisen uit het activiteitenbesluit.

4.1.2 Variant 2

Figuur 5 Risicocontouren rond de windturbines (Variant 2)

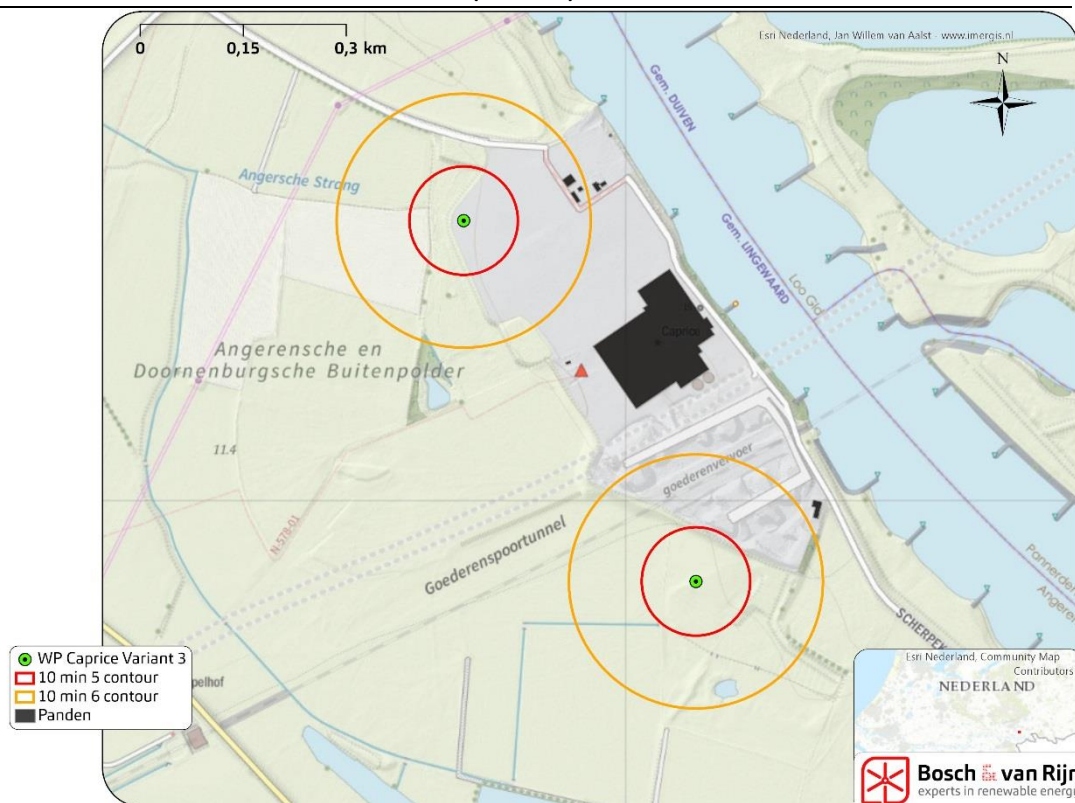


Er bevinden zich geen (geprojecteerde) kwetsbare objecten binnen de 10^{-6} contour.
Er bevinden zich ook geen beperkt kwetsbare objecten binnen de 10^{-5} contour. Wel
bevinden zich 3 beperkt kwetsbare objecten zich binnen de 10^{-6} contour.
Hiermee wordt er voldaan aan de veiligheidseisen uit het activiteitenbesluit.

4.1.3 Variant 3

Er bevinden zich geen (geprojecteerde) kwetsbare objecten binnen de 10^{-6} contour.
Er bevinden zich ook geen beperkt kwetsbare objecten binnen de 10^{-5} contour. Wel bevinden zich 3 beperkt kwetsbare objecten zich binnen de 10^{-6} contour.
Hiermee wordt er voldaan aan de veiligheidseisen uit het activiteitenbesluit.

Figuur 6 Risicocontouren rond de windturbines (variant 3)

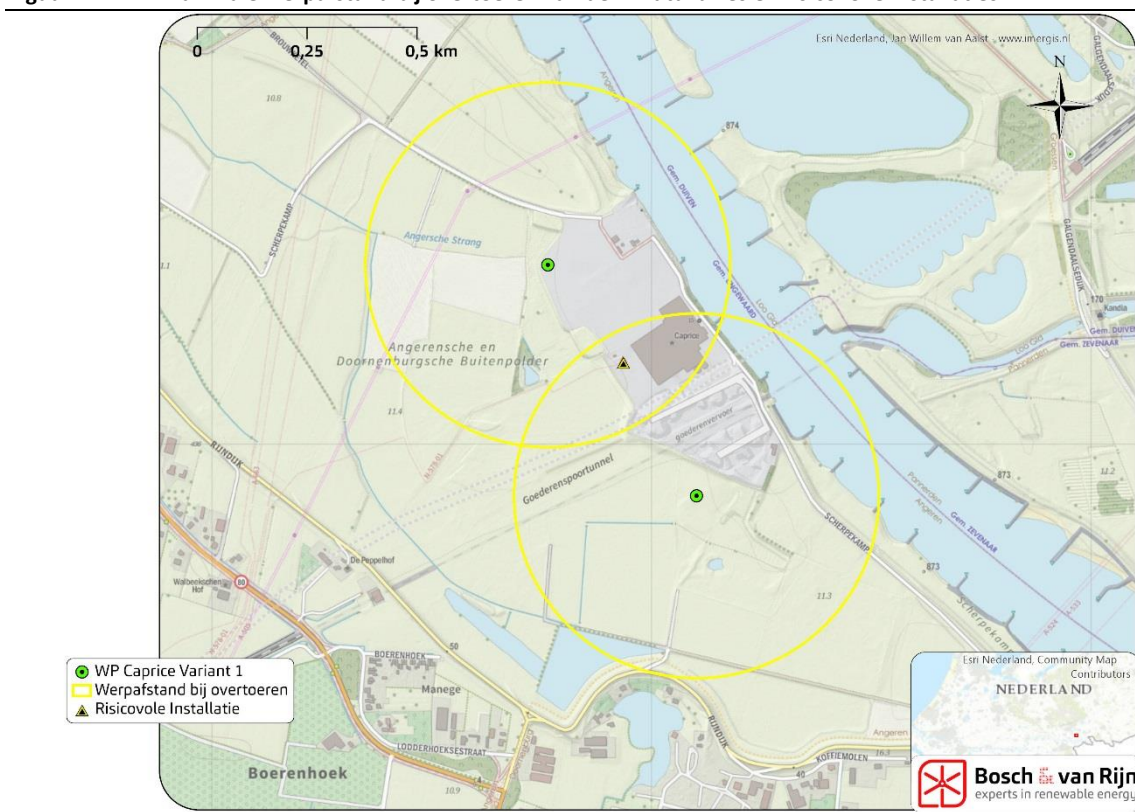


4.2 Risicovolle installaties

De berekende maximale werpstanden (bij overtoeren) zijn ingetekend op de kaart en voor de locatie is nagegaan of binnen deze maximale werpafstanden risicovolle installaties aanwezig zijn.

4.2.1 Variant 1

Figuur 7 Maximale werpafstand bij overtoeren van de windturbines en risicovolle installaties



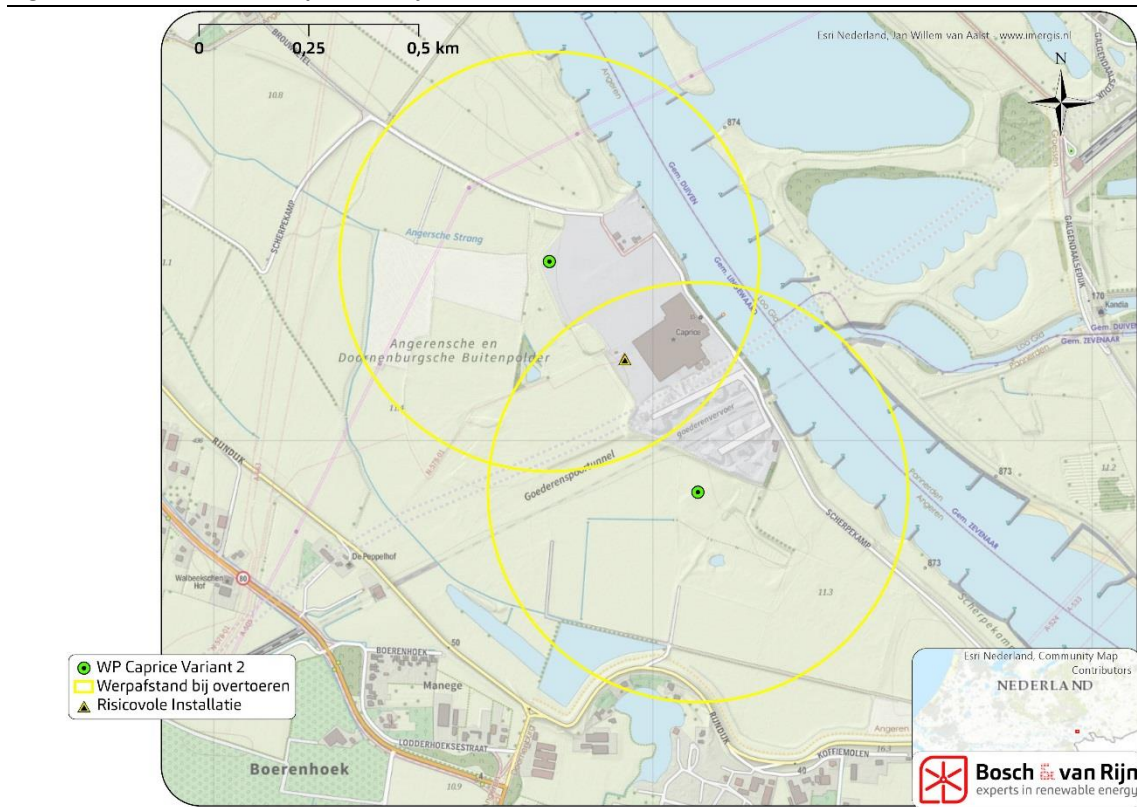
Op basis van de ingetekende werpafstanden en risicokaart.nl zijn de risicovolle installaties bepaald welke zich binnen de maximale werpafstanden bevinden.

Windturbine	Installatie	Afstand tot installatie (m)
Windturbine 1	Gas ontvang station	280
Windturbine 2	Gas ontvang station	346

Doordat de afstanden groter zijn dan de tiphoogte heeft alleen het scenario wiekbreuk een risicoverhogend effect.

4.2.2 Variant 2

Figuur 8 Maximale werpafstand bij overtoeren van de windturbines en risicovolle installaties



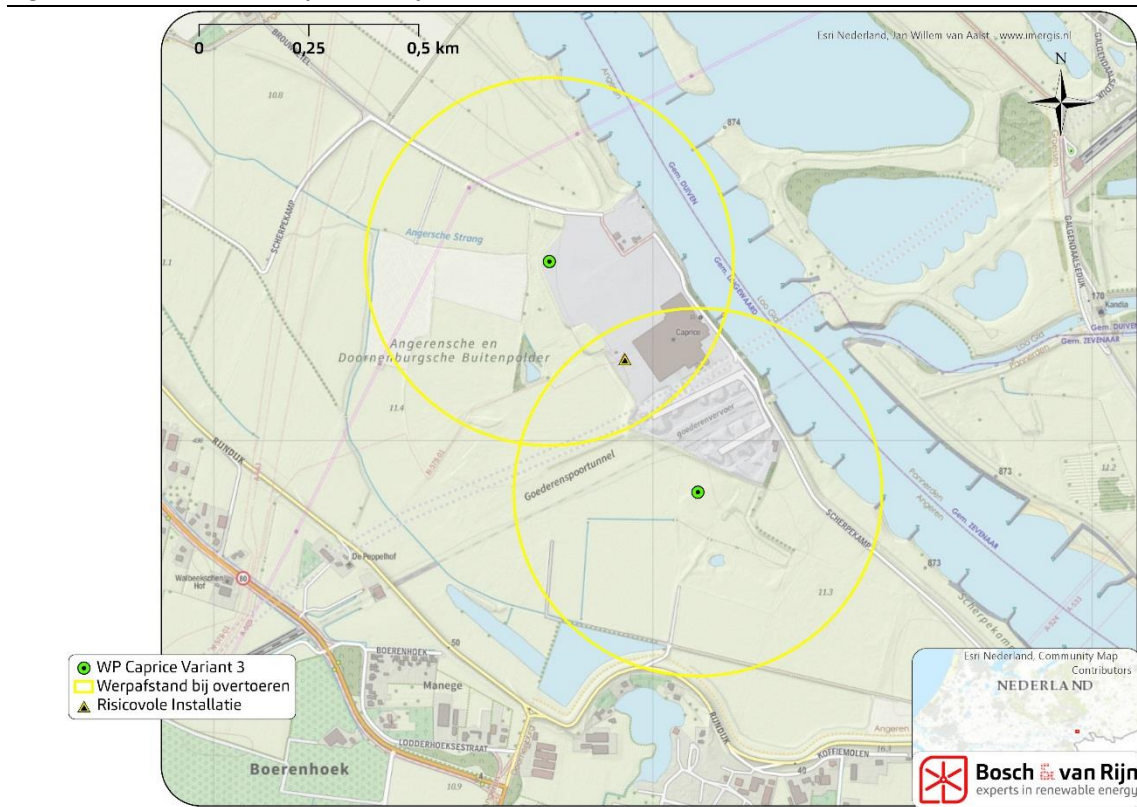
Op basis van de ingetekende werpafstanden en risicokaart.nl zijn de risicovolle installaties bepaald welke zich binnen de maximale werpafstanden bevinden.

Windturbine	Installatie	Afstand tot installatie (m)
Windturbine 1	Gas ontvang station	280
Windturbine 2	Gas ontvang station	346

Doordat de afstanden groter zijn dan de tiphoogte heeft alleen het scenario wiekbreuk een risico verhogend effect.

4.2.3 Variant 3

Figuur 9 Maximale werpafstand bij overtoeren van de windturbines en risicovolle installaties



Op basis van de ingetekende werpafstanden en risicokaart.nl zijn de risicovolle installaties bepaald welke zich binnen de maximale werpafstanden bevinden.

Windturbine	Installatie	Afstand tot installatie (m)
Windturbine 1	Gas ontvang station	280
Windturbine 2	Gas ontvang station	346

Doordat de afstanden groter zijn dan de tiphoogte heeft alleen het scenario wiekbreuk een risico verhogend effect.

4.2.4 Trefkansberekeningen

Rekenmethode wiekbreuk (*Handboek Risicozonering Windturbines*)

Om de trefkans van een object met hoogte h , breedte b , en diepte d te berekenen wordt uitgegaan van een geprojecteerd grondoppervlak:

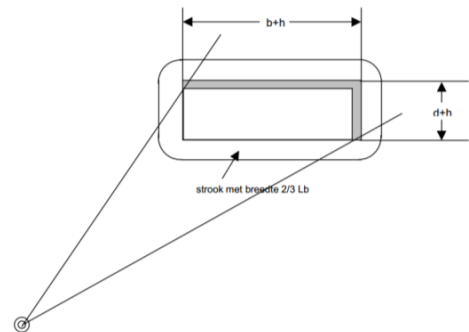
De kans dat het zwaartepunt van de wiek in het geprojecteerde oppervlak terecht komt is:

$$P_{od} = P_{zwpt} \cdot A_{pt}$$

Waarin:

P_{zwpt} = trefkans van het zwaartepunt van het blad (*berekend volgens HRW 2014*).

$$A_{pt} = (b+h) \cdot (d+h)$$



Het object kan direct door het zwaartepunt worden getroffen, maar het is ook mogelijk dat het zwaartepunt van het blad binnen een afstand van $2/3 L_b$ (lengte afgebroken blad) inslaat. In dit geval kan het object nog door het blad worden geraakt aangezien het zwaartepunt zich op ongeveer $1/3$ van het blad bevindt. Deze kans loopt van 0,0 naar 1,0 van de buitenrand van de $2/3 L_b$ strook tot het object.

De kans dat het zwaartepunt in de strook met breedte $2/3 L_b$ rondom de tank terecht komt is:

$$P_{oi} = P_{zwpt} \left((2b + 2d) \cdot \frac{1}{3} \cdot L_b + \frac{\pi}{3} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot L_b \right)^2 \right)$$

4.2.5 Resultaten trefkansen risicovolle installaties

Via de bovenstaande methoden zijn de trefkansen berekend voor de risicovolle installaties van de referentiesituatie en de drie alternatieven waarbij de trefkans van de installatie de som is van de scenario's van falende windturbines. De resultaten worden weergegeven in onderstaande tabellen.

Tabel 4 Trefkansen risicovolle installaties Variant 1

Installatie	Totale trefkans
Gas Ontvang Station	$1,26 \cdot 10^{-08}$

Tabel 5 Trefkansen risicovolle installaties Variant 2

Installatie	Totale trefkans
Gas Ontvang Station	$1,72 \cdot 10^{-08}$

Tabel 6 Trefkansen risicovolle installaties Variant 3

Installatie	Totale trefkans
Gas Ontvang Station	$3,30 \cdot 10^{-08}$

4.2.6 Faalkansverhoging

De berekende trefkans van de varianten wordt vergeleken met de intrinsieke faalkans van de risicovolle installatie (faalkansen van alle catastrofale scenario's bij elkaar opgeteld). De intrinsieke faalkans wordt als volgt onderbouwd:

Tabel 7 Onderbouwing intrinsieke faalkansen van risicovolle objecten (Bron: Handleiding Risicoberekeningen BEVI)

Object	Faalkans scenario's (weergegeven tussen haakjes)
Opslagtanks gevaarlijke stoffen	De mogelijke catastrofale scenario's zijn het vrijkomen van de gehele inhoud ($5 \cdot 10^{-6}$) en het vrijkomen van de gehele inhoud in 10 min. in een continue en constante stroom ($5 \cdot 10^{-6}$).

Onderstaande tabel bevat de vergelijking van de trefkans van de windturbines met de intrinsieke faalkans van de installatie:

Tabel 8 Verhoging faalkans van risicovolle installaties

Variant	Installatie	Intr. Faalkans	Trefkans	Verhoging faalkans
1	Gas Ontvang Station	$1,00 \cdot 10^{-5}$	$1,26 \cdot 10^{-08}$	0,13%
2	Gas Ontvang Station	$1,00 \cdot 10^{-5}$	$1,72 \cdot 10^{-08}$	0,17%
3	Gas Ontvang Station	$1,00 \cdot 10^{-5}$	$3,30 \cdot 10^{-08}$	0,33%

Uit bovenstaande tabel blijkt dat bij alle installaties wordt voldaan aan de richtwaarde van 10%. Hierdoor is er geen aanvullend onderzoek nodig. In haar beleid⁶ heeft de Gasunie een maximale toegestane trefkans opgenomen van 5×10^{-6} per jaar voor meet- en regelstations. Hier wordt ruim aan voldaan.

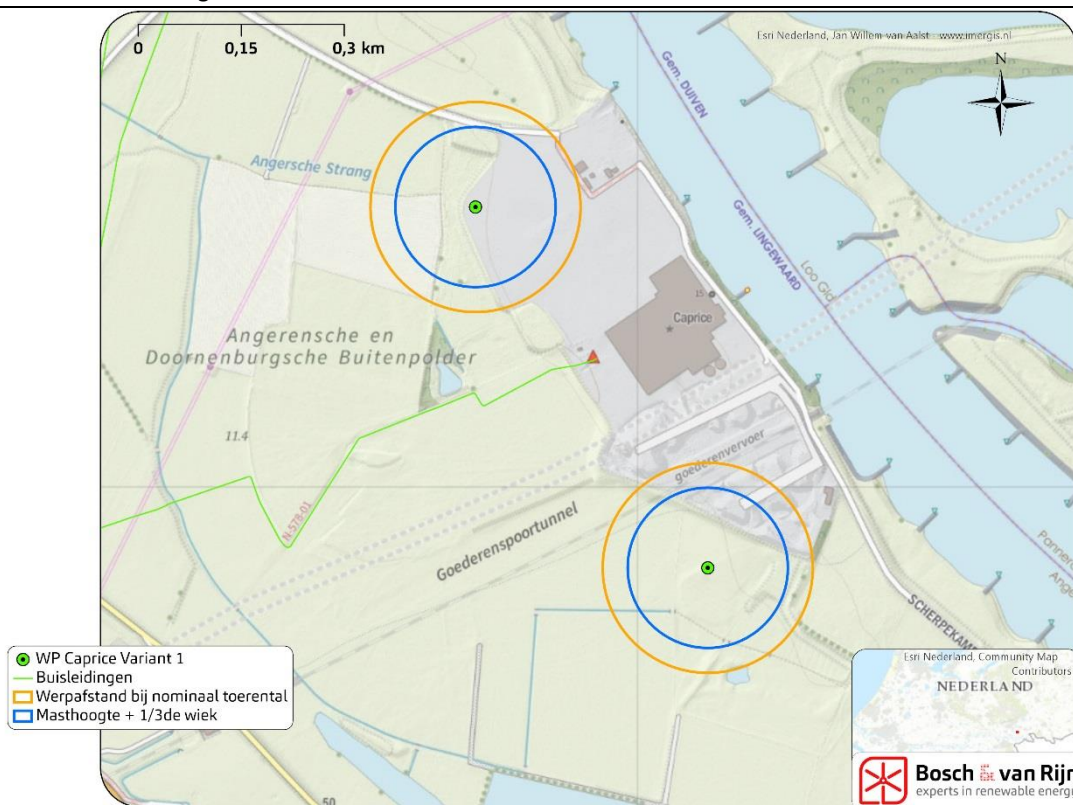
⁶ Het beleid van Gasunie transport services inzake het veilig plaatsen van windturbines bij haar infrastructuur. 31-08-2015, Gasunie.

4.3 Buisleidingen

Vanwege de aanwezigheid van buisleidingen in het plangebied is geanalyseerd of de varianten voldoen aan de adviesafstand van Gasunie.

4.3.1 Variant 1

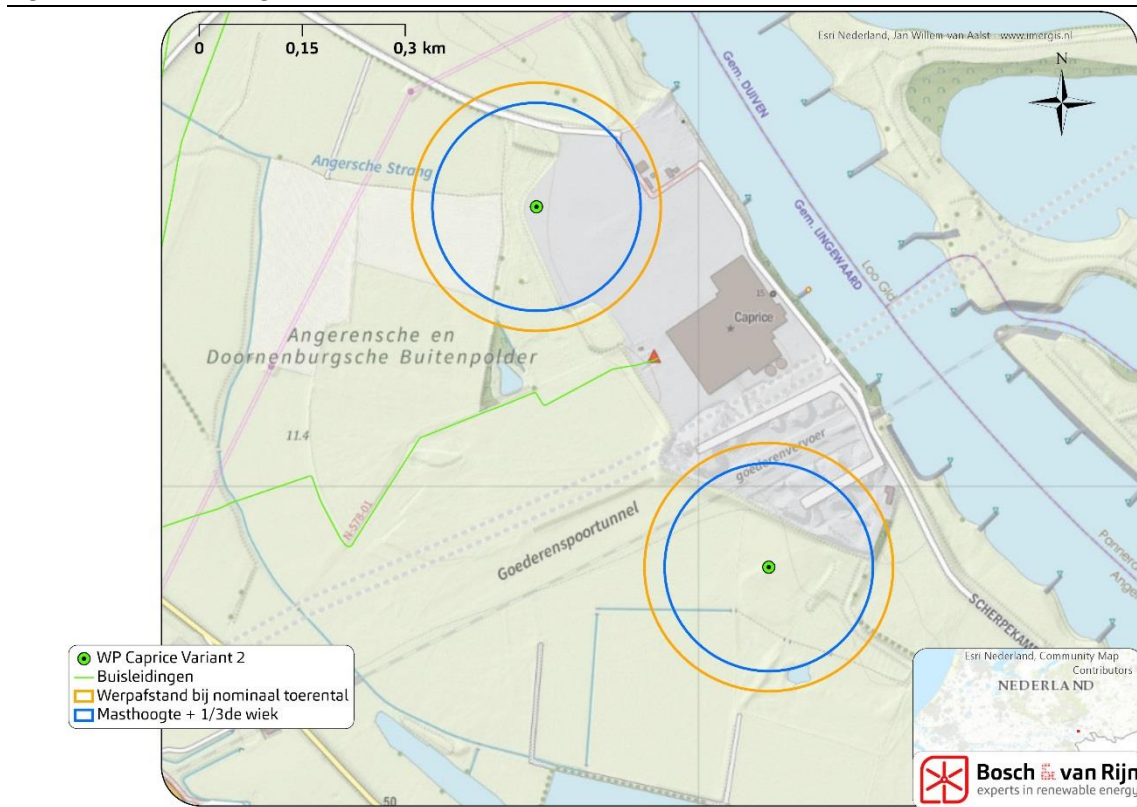
Figuur 10 Buisleidingen en adviesafstand Gasunie



Uit bovenstaande figuur is te concluderen dat er geen infrastructuur van Gasunie zich binnen de werpfstand bij nominaal toerental of de High Impact Zone (HIZ) bevindt. Hierdoor wordt er voldaan aan de adviesafstand van Gasunie.

4.3.2 Variant 2

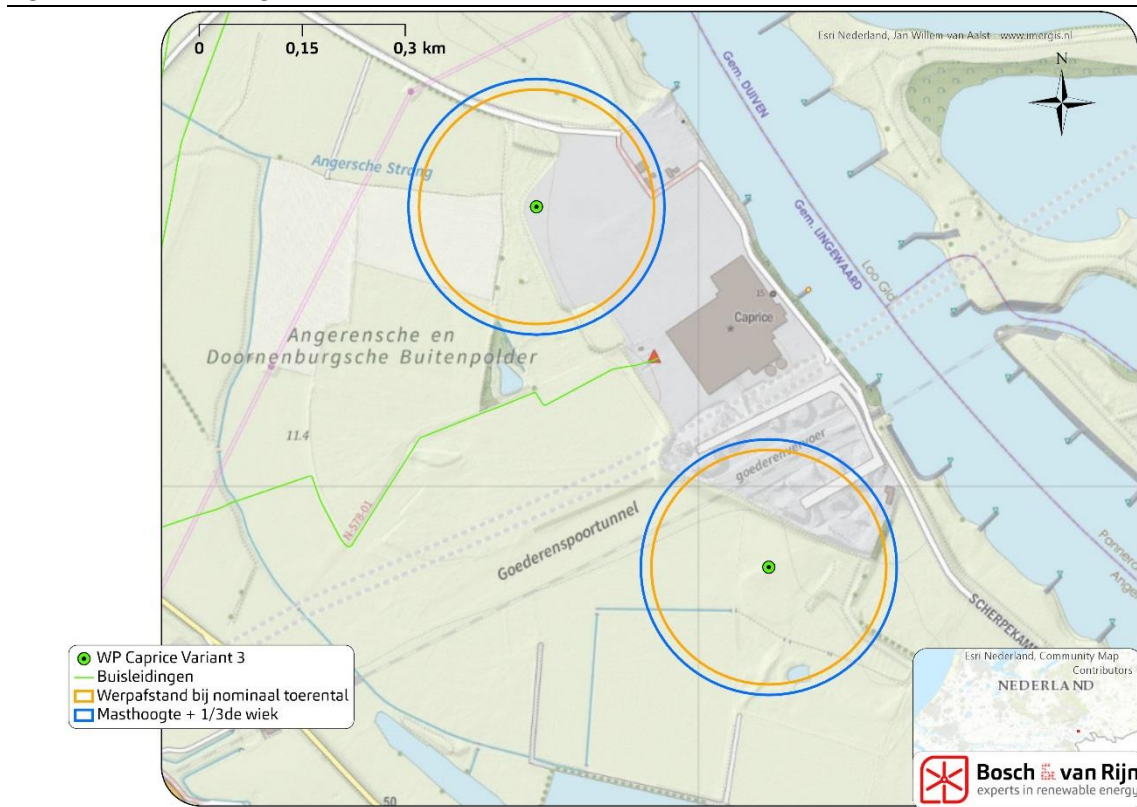
Figuur 11 Buisleidingen en adviesafstand Gasunie



Uit bovenstaande figuur is te concluderen dat er geen infrastructuur van Gasunie zich binnen de werpafstand bij nominaal toerental of de High Impact Zone (HIZ) bevindt. Hierdoor wordt er voldaan aan de adviesafstand van Gasunie.

4.3.3 Variant 3

Figuur 12 Buisleidingen en adviesafstand Gasunie

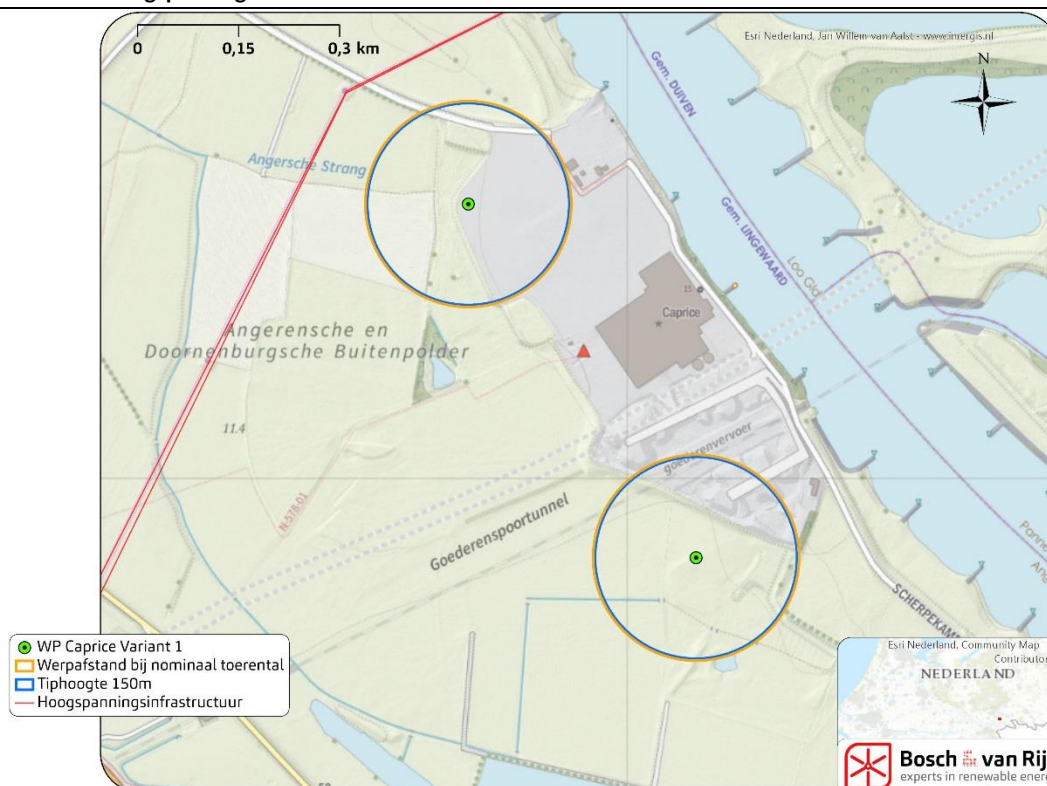


Uit bovenstaande figuur is te concluderen dat er geen infrastructuur van Gasunie zich binnen de werpafstand bij nominaal toerental of de High Impact Zone (HIZ) bevindt. Hierdoor wordt er voldaan aan de adviesafstand van Gasunie.

4.4 Hoogspanningsinfrastructuur

4.4.1 Variant 1

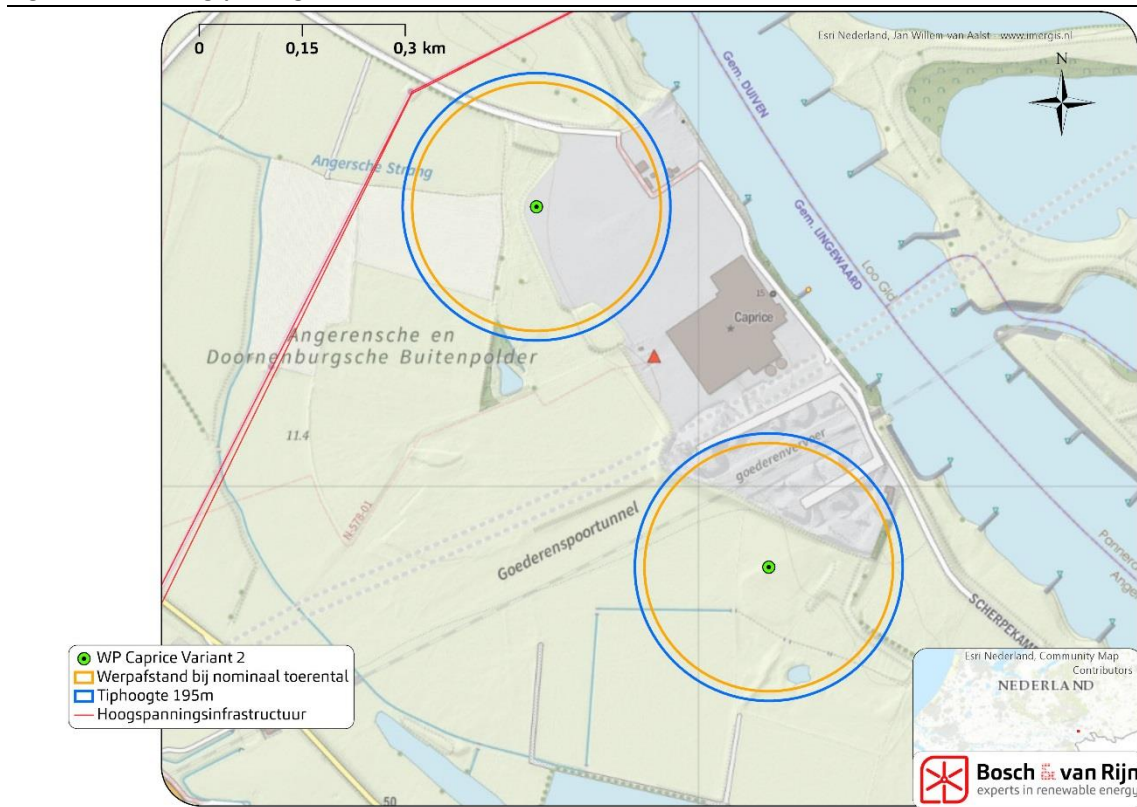
Figuur 13 Hoogspanningsinfrastructuur en de adviesafstanden van TenneT



Uit bovenstaande figuur blijkt dat er geen hoogspanningsinfrastructuur zich bevindt binnen de maximale werpafstand bij nominaal toerental of de tiphoogte. Hiermee wordt er voldaan aan de adviesafstand van TenneT.

4.4.2 Variant 2

Figuur 14 Hoogspanningsinfrastructuur en de adviesafstanden van TenneT

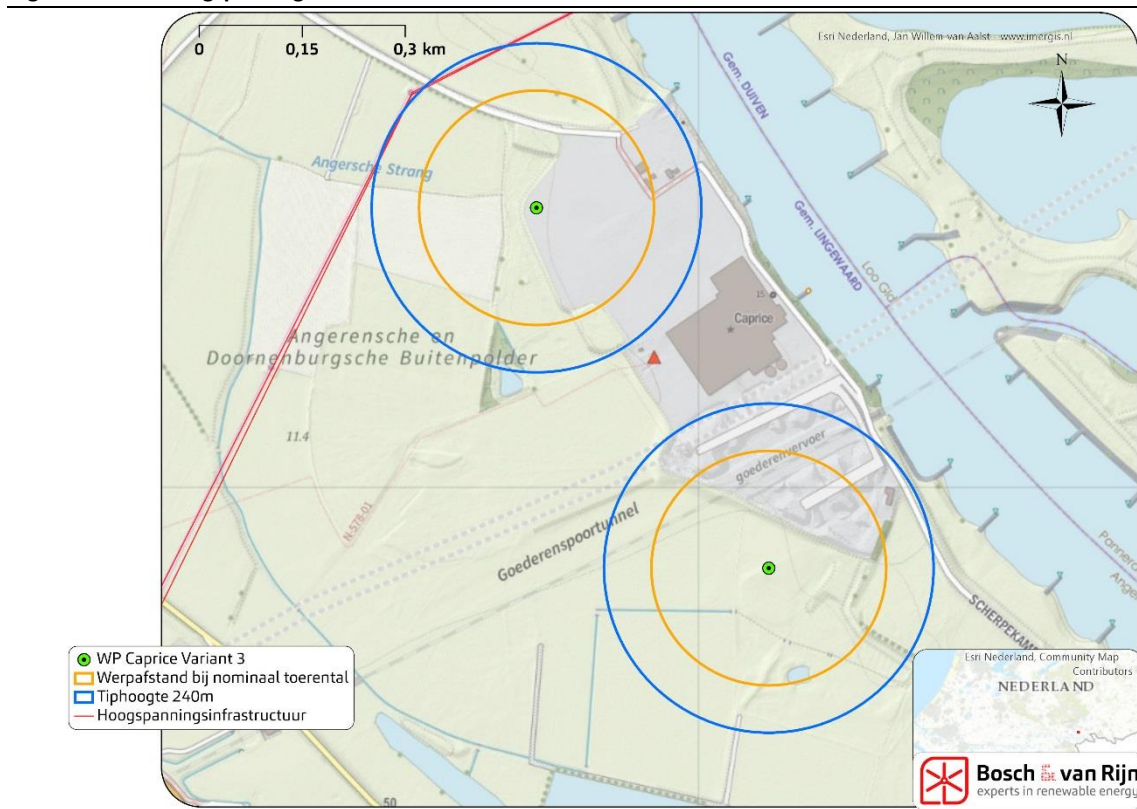


Uit bovenstaande figuur blijkt dat er geen hoogspanningsinfrastructuur zich bevindt binnen de maximale werpafstand bij nominaal toerental of de tiphoogte. Hiermee wordt er voldaan aan de adviesafstand van TenneT.

4.4.3 Variant 3

Uit onderstaande figuur blijkt dat er hoogspanningsinfrastructuur zich bevindt binnen de tiphoogte. Hierdoor wordt er *niet* voldaan aan de adviesafstand van TenneT.

Figuur 15 Hoogspanningsinfrastructuur en de adviesafstanden van TenneT

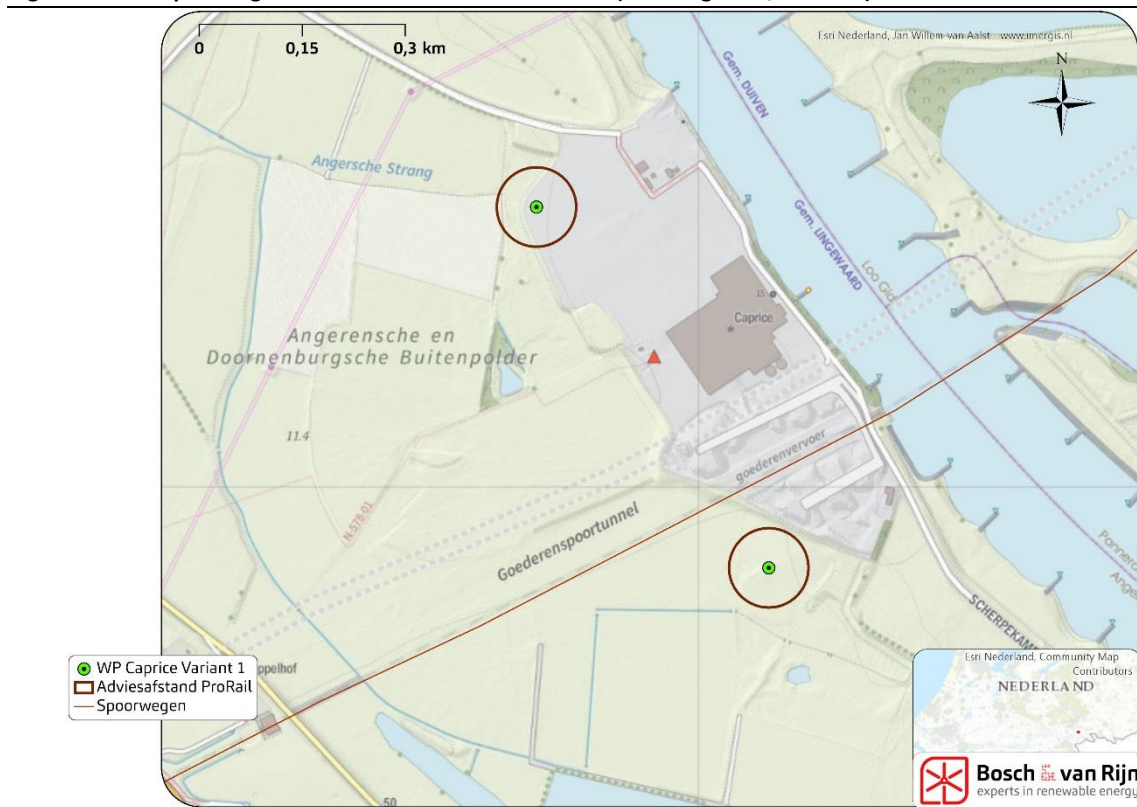


4.5 Spoorwegen

4.5.1 Variant 1

Uit onderstaande figuur blijkt dat er zich geen spoorweg bevindt binnen wieklengte + 7,85 meter. Hiermee wordt er voldaan aan de adviesafstand.

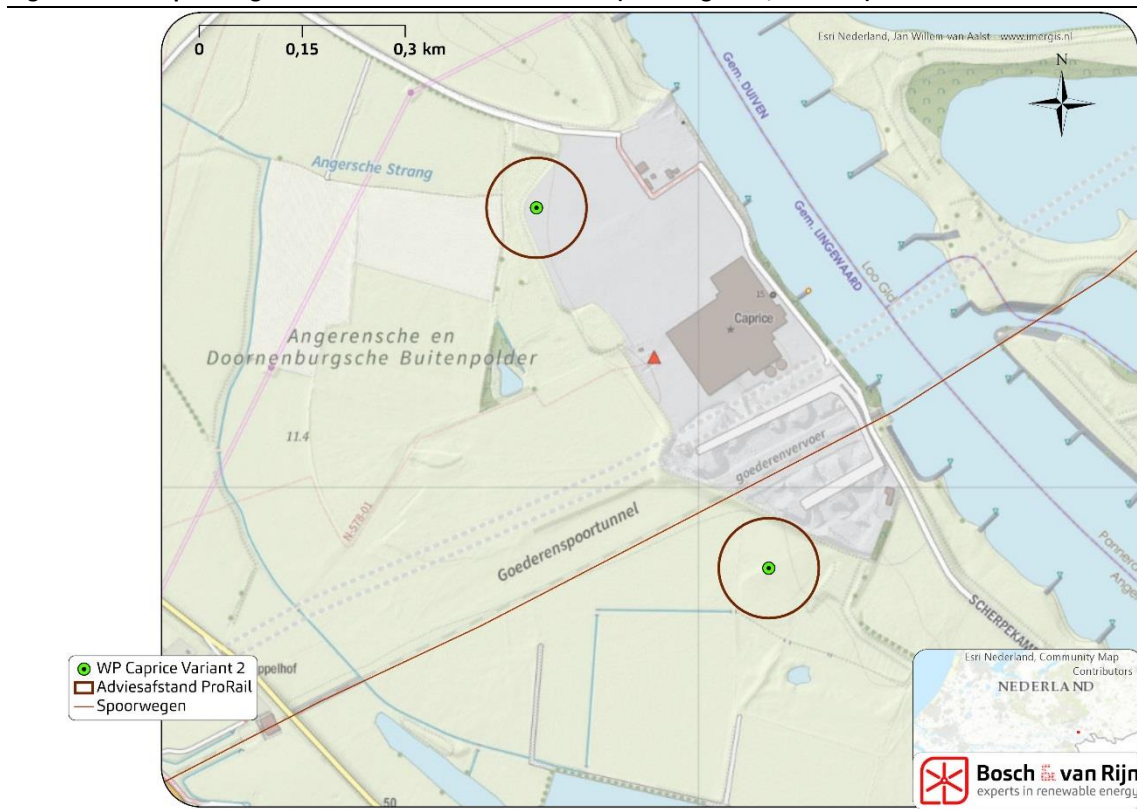
Figuur 16 Spoorwegen en de adviesafstand van ProRail (wieklengte + 7,85 meter)



4.5.2 Variant 2

Uit onderstaande figuur blijkt dat er zich geen spoorweg bevindt binnen wieklengte + 7,85 meter. Hiermee wordt er voldaan aan de adviesafstand.

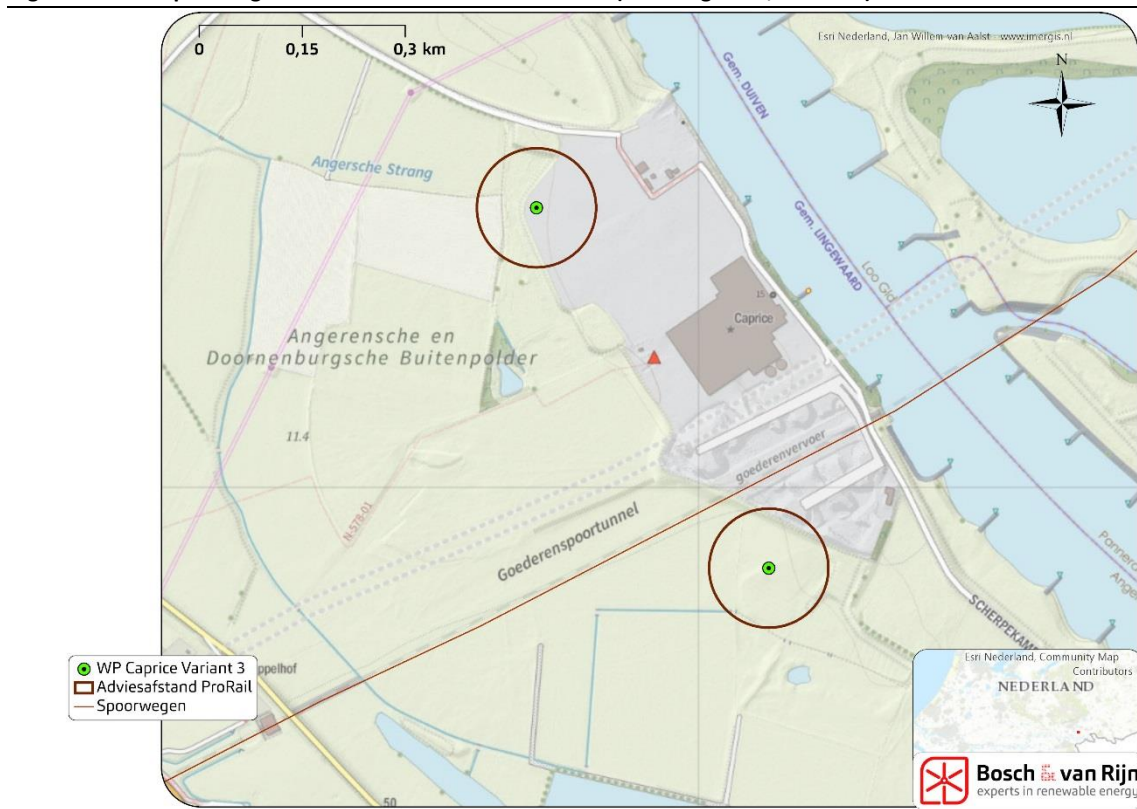
Figuur 17 Spoorwegen en de adviesafstand van ProRail (wieklengte + 7,85 meter)



4.5.3 Variant 3

Uit onderstaande figuur blijkt dat er zich geen spoorweg bevindt binnen wieklengte + 7,85 meter. Hiermee wordt er voldaan aan de adviesafstand.

Figuur 18 Spoorwegen en de adviesafstand van ProRail (wieklengte + 7,85 meter)

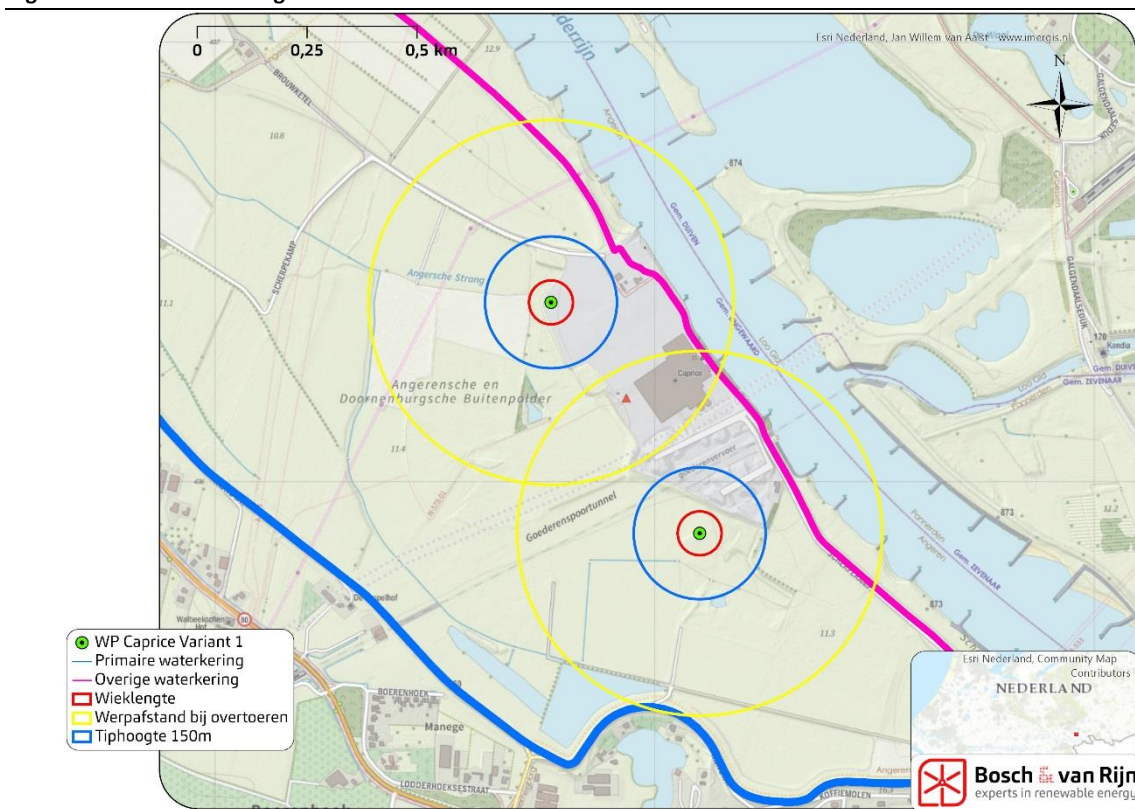


4.6 Waterkering

De windturbinelocaties zijn gepland nabij een waterkering. In onderstaande figuren zal eerst per variant inzichtelijk worden gemaakt welke faalscenario's van toepassing zijn waarna er een trefkansberekening zal worden uitgevoerd indien de windturbines een risico verhogend effect hebben.

4.6.1 Variant 1

Figuur 19 Waterkering en de verschillende faalscenario's van de windturbines

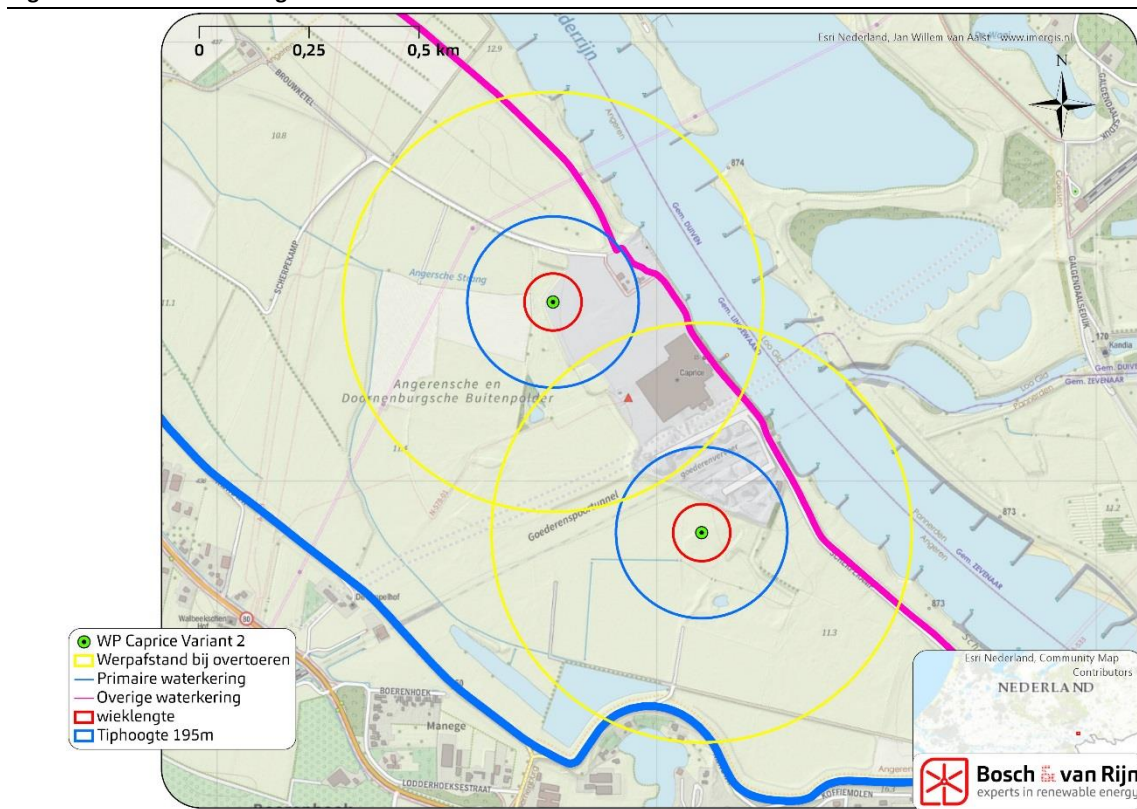


Uit bovenstaande figuur is op te maken dat alleen het scenario 'wielbreuk' een risico verhogend effect heeft op de primaire waterkering en overige waterkering.

NB. Voor de overige waterkering geldt dat er geen norm is geen vastgesteld. Voor deze waterkering wordt geen risicoberekening uitgevoerd.

4.6.2 Variant 2

Figuur 20 Waterkering en de verschillende faalscenario's van de windturbines



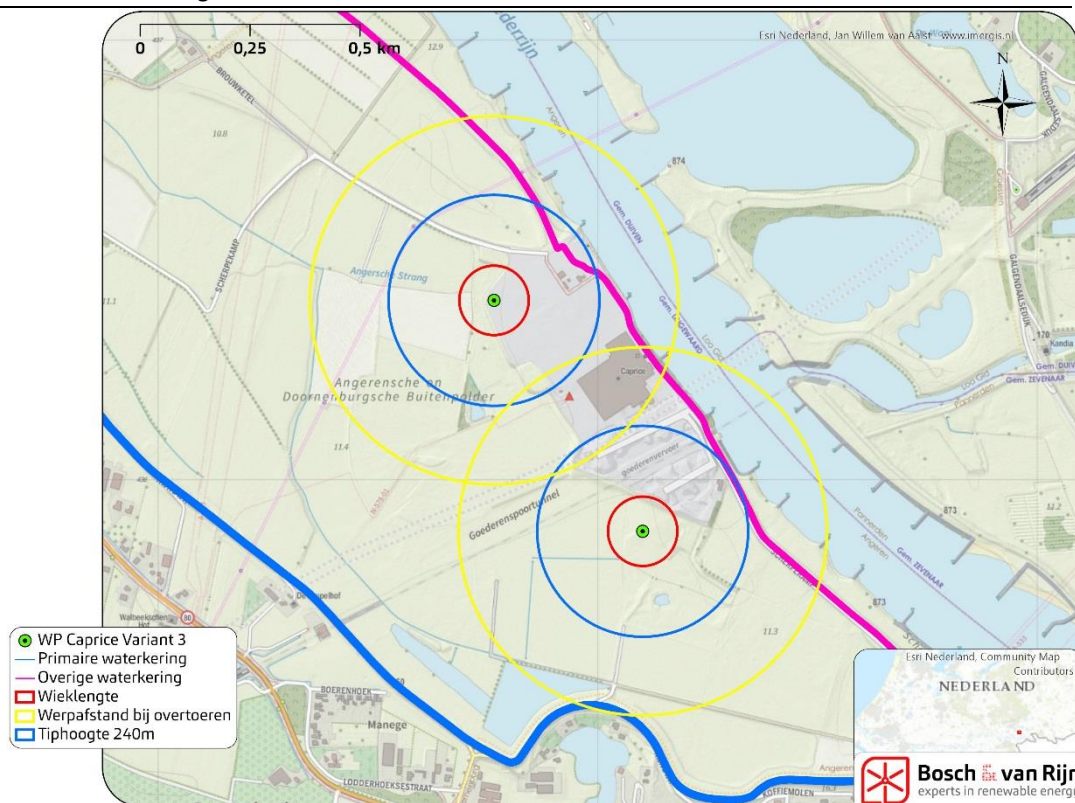
Uit bovenstaande figuur is op te maken dat de scenario's 'mastbreuk' en 'wielbreuk' een risico verhogend effect hebben op de overige waterkering. Bij de primaire waterkering is alleen het scenario 'wielbreuk' van toepassing.

NB. Voor de overige waterkering geldt dat er geen norm is vastgesteld. Voor deze waterkering wordt geen risicoberekening uitgevoerd.

4.6.3 Variant 3

Uit onderstaande figuur is op te maken dat de scenario's 'mastbreuk' en 'wiekbreuk' een risico verhogend effect hebben op de overige waterkering. Bij de primaire waterkering is alleen het scenario 'wiekbreuk' van toepassing.

Figuur 21 Waterkering en de verschillende faalscenario's van de windturbines



NB. Voor de overige waterkering geldt dat er geen norm is geen vastgesteld. Voor deze waterkering wordt geen risicoberekening uitgevoerd.

4.6.4 Trefkansberekening

Kritische strook

Als kritische strook is een 20 meter brede strook ten opzichte van de kruin van de waterkering aangenomen (10 meter aan beide zijde t.o.v. de kruin-as). De ratio achter de 20 meter is dat hiermee ten minste het functionele deel van de kruin wordt opgevangen.

Restprofiel

Indien er sprake is van een restprofiel, betekent het dat het aanwezige restprofiel nog een bepaalde waterstand kan keren. Er is in dat geval sprake van een zogenaamde responstijd tot herstel, zolang er voor of tijdens dit herstel geen waterstand optreedt tot boven het niveau van het restprofiel. Er is dus sprake van een gebeurtenis (deeltkans) welke gelijktijdig met het falen van een windturbine of windturbineonderdeel dient op te treden. Dit betreft de kans dat op het moment van falen van een windturbine of windturbineonderdeel er ook, voor of tijdens het herstellen, een waterstand optreedt welke hoger is dan het aanwezige restprofiel kan keren. Het is aannemelijk dat indien één van de faalscenario's optreedt er sprake is van een restprofiel, welke nog een bepaalde waterstand kan keren.

Als aanname is genomen dat het aanwezige restprofiel niet meer een waterstand kan keren, welke optreedt in het geval van een "lichte storm". De kans op optreden van een "lichte storm" is aangenomen op 5 keer per jaar. Voor de stormduur wordt uitgegaan van 35 uur. Hedendaagse windturbines worden door middel van een SCADA systeem 24 uur per dag gemonitord. Gangbaar is dat een windturbine zich in ieder geval één keer per 24 uur meldt. Een detectietijd van 24 uur is daarom aannemelijk. De hersteltijd voor de ontstane schade aan de waterkering is geschat op 5 dagen ($5 \times 24 = 120$ uur).

De kans dat er een "lichte storm" optreedt tijdens de hersteltijd is:

$P(\text{niet te keren storm tijdens herstel}) = 5 \text{ lichte stormen per jaar} \times (35 \text{ uur} / 8760 \text{ uur per jaar}) + 5 \text{ lichte stormen per jaar} \times (24 \text{ uur} / 8760 \text{ uur per jaar}) + 5 \text{ lichte stormen per jaar} \times (120 \text{ uur} / 8760 \text{ uur per jaar}) = 0,1 \text{ per jaar.}$

Trefsector

Ten behoeve van de risicoanalyse is per windturbinelocatie en faalscenario de trefsector bepaald. De trefsector betreft het gebied waar een falende windturbine of windturbineonderdeel kan neerkomen en daarbij een schade kan veroorzaken, welke een mogelijk risico vormt voor de waterkerende functie van de waterkering. Het afbreken van een windturbineblad vormt een risico binnen de straal van de maximale werpafstand. Het omvallen van een windturbine vormt een risico binnen een straal van de maximale valafstand van de windturbine (tiphoogte). Het naar beneden vallen van de gondel en/of rotor vormt een risico binnen een afstand van de wiek lengte.

Wiekbreuk

De schade die een neerkomend rotorblad veroorzaakt is onder meer sterk afhankelijk van de wijze van neerkomen. Afhankelijk van de impacthoek kan een blad versplinteren en/of afketsen. De meest significante schade wordt veroorzaakt als de flens (verbinding tussen het rotorblad en de rotor) van een rotorblad onder een bepaalde hoek inslaat (uitgaande van de worst case afworp bij een overtoeren situatie). De overige situaties zorgen voor een lagere impactschade. De worst case hoek van inslag met het verticaal is kleiner dan **45 graden**. De ratio achter deze 45 graden is dat bij een zanddijk met een kleibekleding, theoretisch bij een hoek van inwendige wrijving van 30 graden voor het zand en een hoek van inval met de verticaal van 30 graden er geen indringing zou zijn en er horizontale afschuiving plaatsvindt. Er zou dus uit kunnen worden gegaan van 30 graden. Echter zou deze aanname voor de deklaag een niet-conservatieve aanname zijn. Daarom wordt als aanname aangehouden, dat bij een hoek van inslag met het verticaal groter dan 45 graden er een geringe indringing optreedt. Het rotorblad zal met een grotere impactoppervlakte inslaan en zal dan afketsen en/of vervormen en/of deels verbrijzelen, waardoor er een grotere energie opname zal optreden en de impactschade kleiner is.

Voorgaande geeft een: **P(flens naar beneden) = $2 \times 45^\circ / 360^\circ = 0,25$**

Het scenario wiekbreek resulteert in een trefkans binnen de maximale werpafstand bij nominaal toerental. Om de trefkans van de kernzone te berekenen wordt uitgegaan van een geprojecteerd grondoppervlak. De kans dat het zwaartepunt van de wiek in het geprojecteerde oppervlak terecht komt is:

$$p_w = F_a \int_S P_{zwpt}^{(s)} ds$$

Waarin:

P_{zwpt}	=	trefkans per jaar van het zwaartepunt van het blad
F_a	=	$b + 2/3 L_b$ (effectieve breedte kernzone)
S	=	contour langs de kernzone
L_b	=	Bladlengte

Variant	P_{zwpt}	L_b	F_a	Trefkans
1	$9,42 \cdot 10^{-12}$	47,5	83,34	$6,09 \cdot 10^{-08}$
2	$3,43 \cdot 10^{-12}$	63	104	$3,32 \cdot 10^{-08}$
3	$8,48 \cdot 10^{-12}$	77,89	123,85	$3,95 \cdot 10^{-08}$

Rekening houdend met de invalshoek van de wiek (0,25) en het restprofiel (0,1) komt de kans op falen van de dijk als gevolg van wiekbreek op:

Variant	Trefkans	Faalkans dijk
1	$6,09 \cdot 10^{-08}$	$1,52 \cdot 10^{-09}$
2	$3,32 \cdot 10^{-08}$	$8,29 \cdot 10^{-10}$
3	$3,95 \cdot 10^{-08}$	$9,88 \cdot 10^{-10}$

4.6.5 *Faalkansverhoging*

De berekende trefkans van de varianten wordt vergeleken met de intrinsieke faalkans van de waterkering.

Onderstaande tabel bevat de vergelijking van de trefkans van de windturbines met de intrinsieke faalkans van de waterkering:

Tabel 9 Verhoging faalkans van de waterkering

Variant	Waterkering	Intr. Faalkans ⁷	Trefkans	Verhoging faalkans
1	Primaire waterkering	$3,33 \cdot 10^{-5}$	$1,52 \cdot 10^{-9}$	0,005%
2	Primaire waterkering	$8,00 \cdot 10^{-4}$	$8,29 \cdot 10^{-10}$	0,002%
3	Primaire waterkering	$8,00 \cdot 10^{-4}$	$9,88 \cdot 10^{-10}$	0,003%

Uit bovenstaande tabel blijkt dat bij de primaire waterkering ruim wordt voldaan aan de richtwaarde van 10%. Hierdoor is er geen aanvullend onderzoek nodig.

⁷ Conform bijlage II: Normen voor dijktrajecten als bedoeld in artikel 2.2, eerste lid (signaleringswaarden). Dijkkring 43-3 = 1 op 30.000 jaar.

4.7 Infrastructuur

Voor de alternatieven is nagegaan of een windturbine over een openbare weg draait. Indien er geen overdraai plaatsvindt wordt er voldaan aan veiligheidseisen voor Rijkswegen, waarmee geconcludeerd kan worden dat er zich geen onacceptabele risico's voor doen.

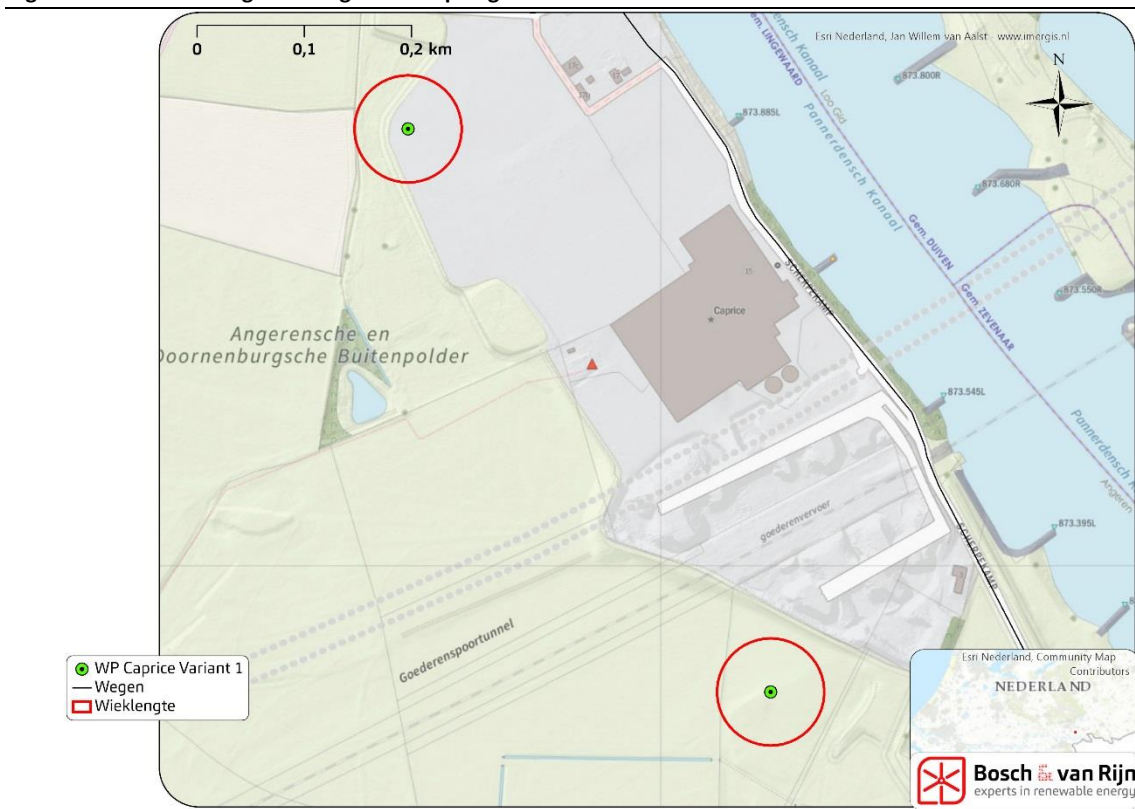
Tevens is er per variant gekeken of het basisnet zich binnen de invloedssfeer van de windturbines.

4.7.1 Adviesafstand Rijkswaterstaat Wegen

4.7.1.1 Variant 1

Uit onderstaand figuur blijkt dat geen van de windturbines draaien over de openbare weg of de toekomstige A15.

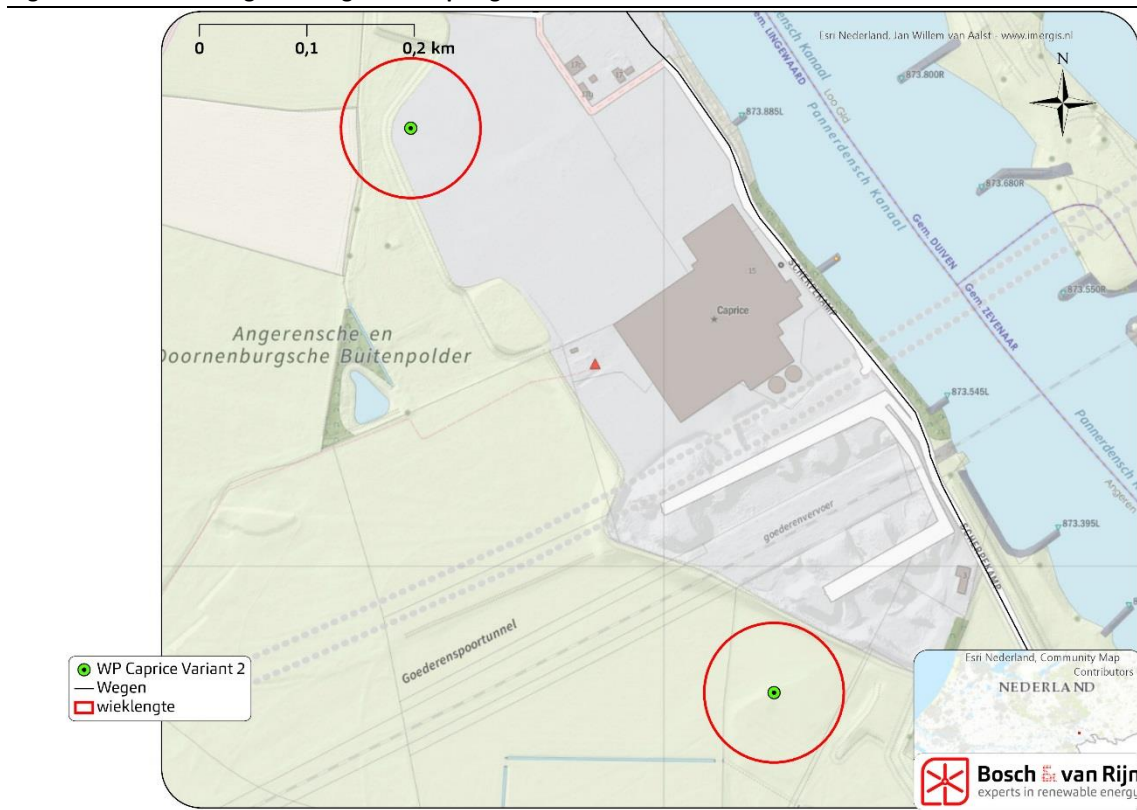
Figuur 22 Wieklengthe en wegen in het plangebied



4.7.1.2 Variant 2

Uit onderstaand figuur blijkt dat geen van de windturbines draaien over de openbare weg of de toekomstige A15.

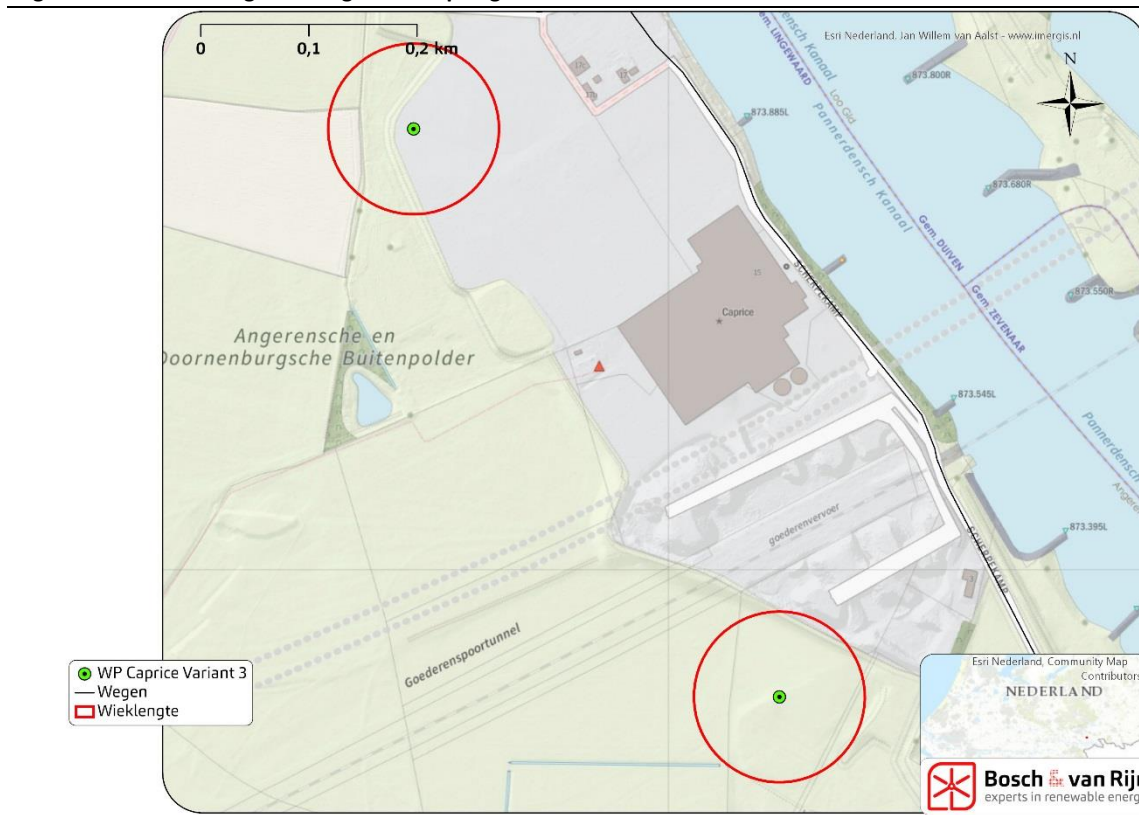
Figuur 23 Wieklengthe en wegen in het plangebied



4.7.1.3 Variant 3

Uit onderstaand figuur blijkt dat geen van de windturbines draaien over de openbare weg of de toekomstige A15.

Figuur 24 Wieklengthe en wegen in het plangebied

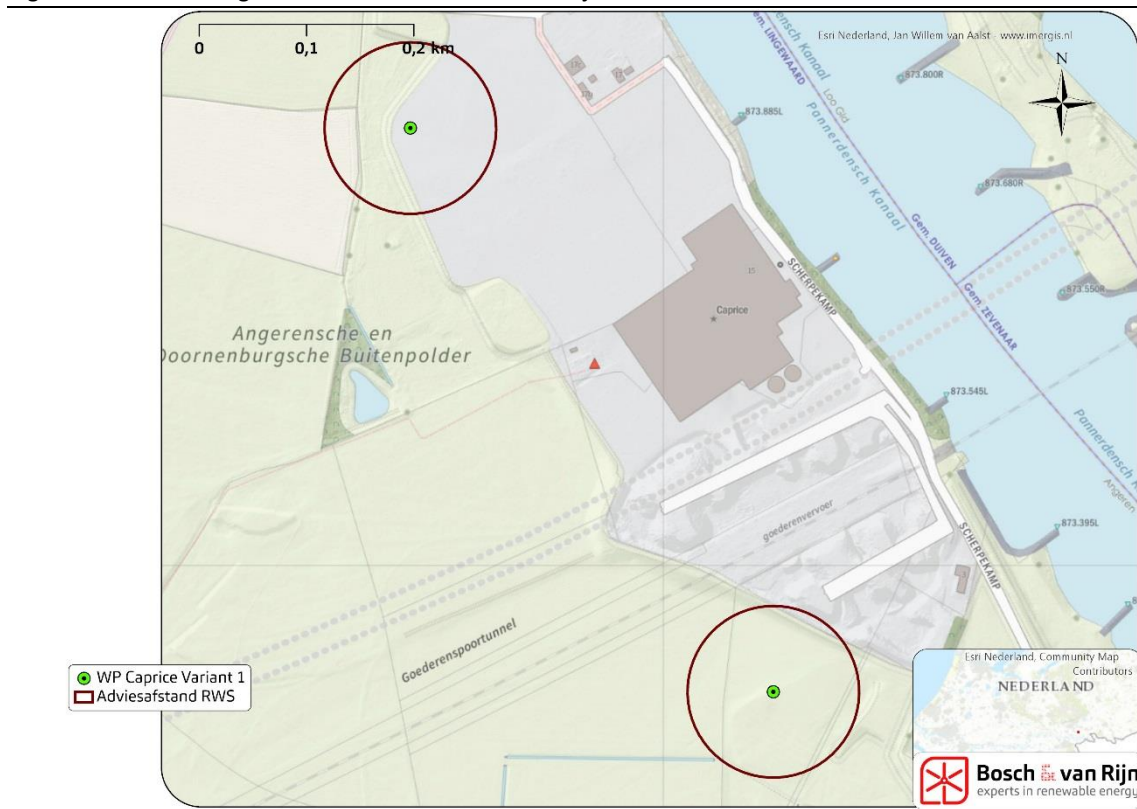


4.7.2 Adviesafstand Rijkswaterstaat Vaarwegen

4.7.2.1 Variant 1

Uit onderstaande figuur blijkt dat er zich geen vaarwegen bevinden binnen de nieuwe adviesafstand (wieklengte + 30 meter) van Rijkswaterstaat. Hiermee wordt er dus voldaan aan zowel de huidige als nieuwe adviesafstand.

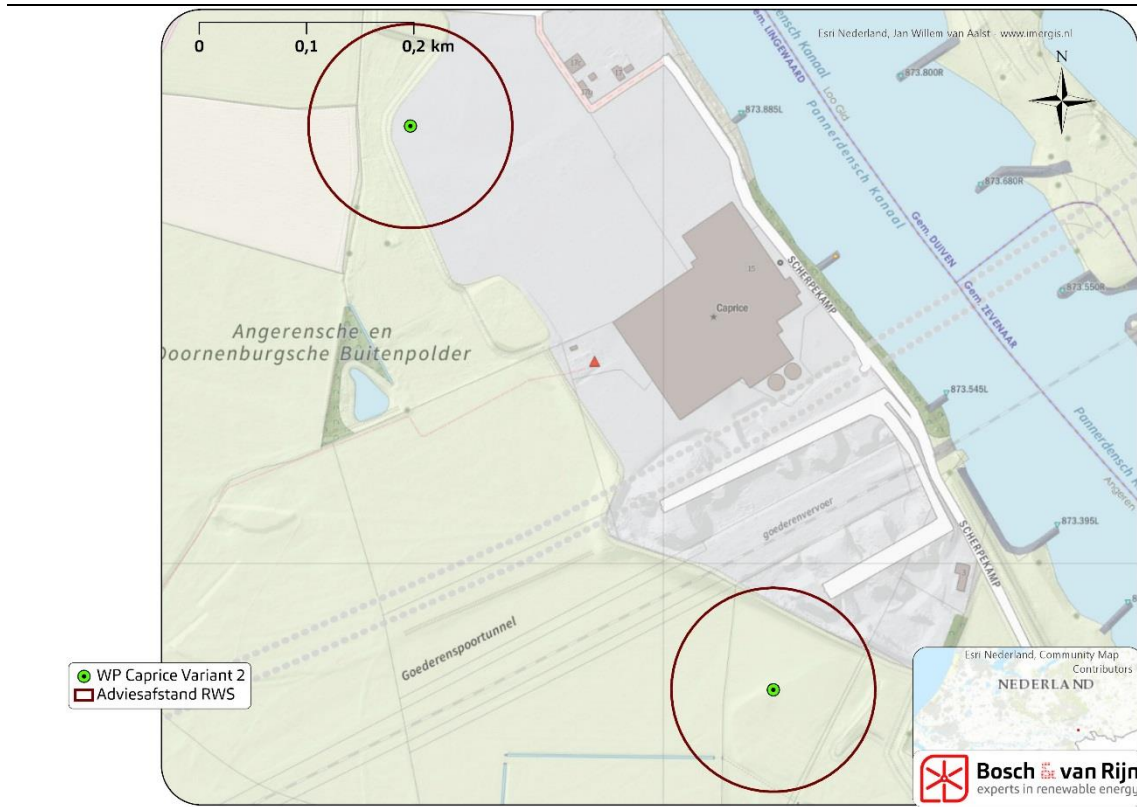
Figuur 25 Vaarwegen en de nieuwe adviesafstand Rijkswaterstaat



4.7.2.2 Variant 2

Uit onderstaande figuur blijkt dat er zich geen vaarwegen bevinden binnen de nieuwe adviesafstand (wielengte + 30 meter) van Rijkswaterstaat. Hiermee wordt er dus voldaan aan zowel de huidige als nieuwe adviesafstand.

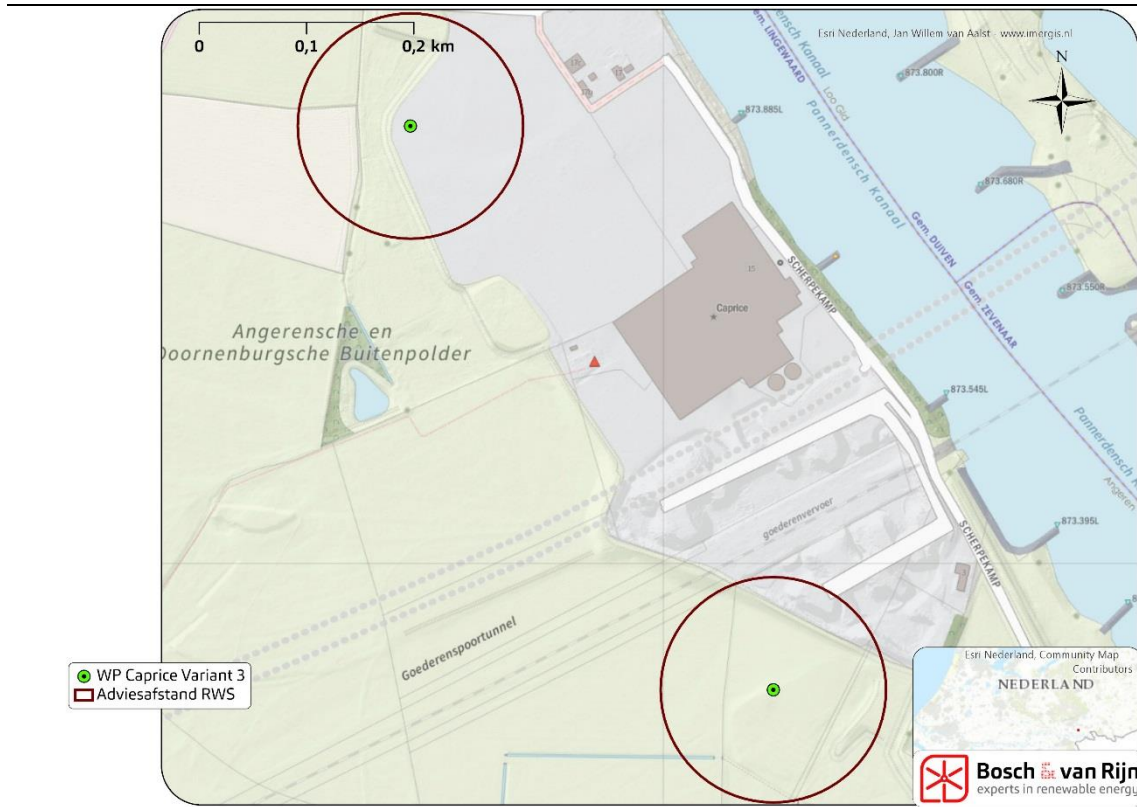
Figuur 26 Vaarwegen en adviesafstand Rijkswaterstaat



4.7.2.3 Variant 3

Uit onderstaande figuur blijkt dat er zich geen vaarwegen bevinden binnen de nieuwe adviesafstand (wielengte + 30 meter) van Rijkswaterstaat. Hiermee wordt er dus voldaan aan zowel de huidige als nieuwe adviesafstand.

Figuur 27 Vaarwegen en adviesafstand Rijkswaterstaat



4.7.3 Basisnet

Het Pannerdensch Kanaal is onderdeel van het basisnet. Doordat er transport van gevaarlijke stoffen mogelijk is wordt de kans berekend dat een schip wordt geraakt.

Rekenmethode Wiekbreuk

De kans dat een persoon wordt geraakt als gevolg van een afgebroken wiek wordt als volgt berekend:

$$Trefkans\ rivier = p_{zwpt} \cdot oppervlakte\ vaarweg$$

Variant	Pzwpt	OPP weg	Trefkans
1	$4,86 \cdot 10^{-12}$	81961	$3,98 \cdot 10^{-07}$
2	$4,40 \cdot 10^{-12}$	132066	$5,81 \cdot 10^{-07}$
3	$5,77 \cdot 10^{-12}$	81961	$4,73 \cdot 10^{-07}$

De kans dat een schip wordt getroffen kan worden berekend door de trefkans te vermenigvuldigen met de verblijfsfactor:

$$\tau = \frac{L_o}{v_o} \frac{1}{365 \cdot 24 \cdot 3600} (1,5 \cdot B_o + 2/3 L_b)$$

v_o = snelheid van de tankwagen (m/s)

L_o = Lengte van het passerend object (m)

b_o = Breedte van het passerend object (m)

Voor de lengte wordt uitgegaan van 142 meter. Voor de snelheid wordt uitgegaan van 6,94 m/s. Voor de breedte wordt uitgegaan van 22 meter.

Trefkans schip V1: $1,71 \cdot 10^{-11}$ per passage

Trefkans schip V2: $2,88 \cdot 10^{-11}$ per passage

Trefkans schip V3: $2,55 \cdot 10^{-11}$ per passage

Conclusie trefkans tankwagen

De totale raakkans per passage door de turbines is:

Variant 1: $1,71 \cdot 10^{-11}$ per passage

Variant 2: $2,88 \cdot 10^{-11}$ per passage

Variant 3: $2,55 \cdot 10^{-11}$ per passage

Hoofdstuk 5 Voorkeursalternatief

5.1 Beschrijving voorkeursalternatief

Mede op basis van de resultaten van het MER is een voorkeursalternatief (VKA) gedefinieerd. Van het VKA liggen de windturbinelocaties vast, maar is er een bandbreedte in ashoogte en rotordiameter. Voor wat betreft de afmetingen is deze bandbreedte als volgt opgespannen:

- Ashoogte: Minimaal 130 meter, maximaal 160 meter;
- Rotordiameter: Minimaal 130 meter, maximaal 170 meter;
- Tiphoogte: minimaal 195 meter, maximaal 240 meter;

In dit hoofdstuk is de bovengrens van de bandbreedte doorerekend, doordat de bovengrens het hoogste risico verhogend effect heeft op nabijgelegen gebouwen, installaties en infrastructuur.

Figuur 28 Voorkeursalternatief



De coördinaten van de windturbines staan in onderstaande tabel.

Windturbine	X	Y
1	195789	436385
2	196105	435895

5.2 Te onderzoeken windturbinetype

Om de externe veiligheidsrisico's van de bandbreedte goed in beeld te brengen worden de effecten doorgerekend voor de grootst mogelijke windturbinetype. Dit, aangezien de meeste externe risico's een direct gevolg zijn van de afmetingen. Hier toe is een referentiewindturbine bepaald met de juiste afmetingen en zijn de werpafstanden berekend conform het HRW:

Wtb type	Ashoogte (m)	Risicocontouren (m)		Max. werpafstand (m)	
		10^{-5}	10^{-6}	Bij nominaal toerental	Bij overtoeren
Ref. WTB.	155	85	251	251	693

In de risicoanalyse wordt de referentiewindturbine in het vervolg aangeduid als 'bovengrens'.

NB. De maximale werpafstand schaalt niet 1-op-1 met de afmetingen van een windturbine. Het kan daarom zo zijn dat een uiteindelijk te realiseren type een grotere werpafstand heeft dan de hierboven genoemde variant. Omdat de meeste aspecten betreffende externe veiligheid wel schalen met de afmetingen is er voor gekozen om de bandbreedte te definiëren aan de hand van afmetingen. Voor aspecten waar de maximale werpafstand een belangrijke rol speelt is hier verder aandacht aan besteed.

5.3 Rekenmethode

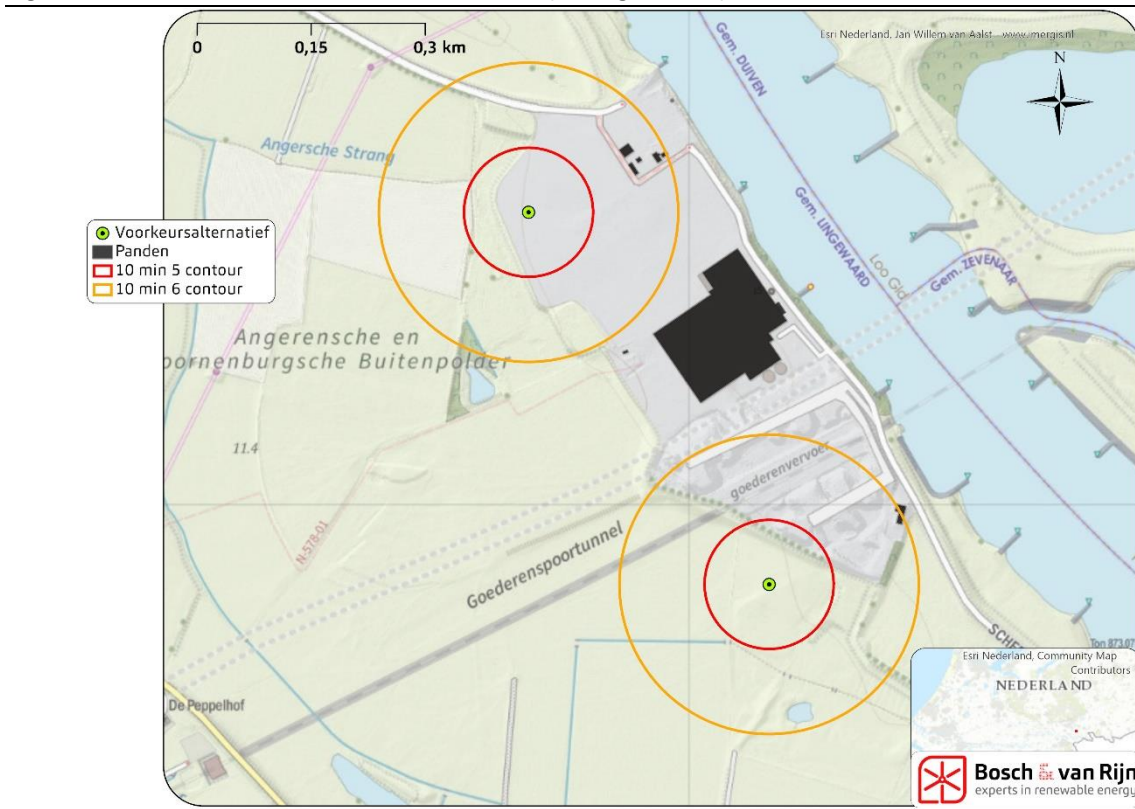
Voor de berekeningen is aangesloten bij de rekenmethode voor de MER-alternatieven.

5.4 Risicoanalyse

5.4.1 (beperkt) Kwetsbare objecten

Op basis van de onderstaande figuur is te concluderen dat er zich geen (geprojecteerde, conform geldende bestemmingsplannen) beperkt kwetsbare objecten of kwetsbare objecten zich bevinden binnen respectievelijk de 10^{-5} en 10^{-6} -contour.

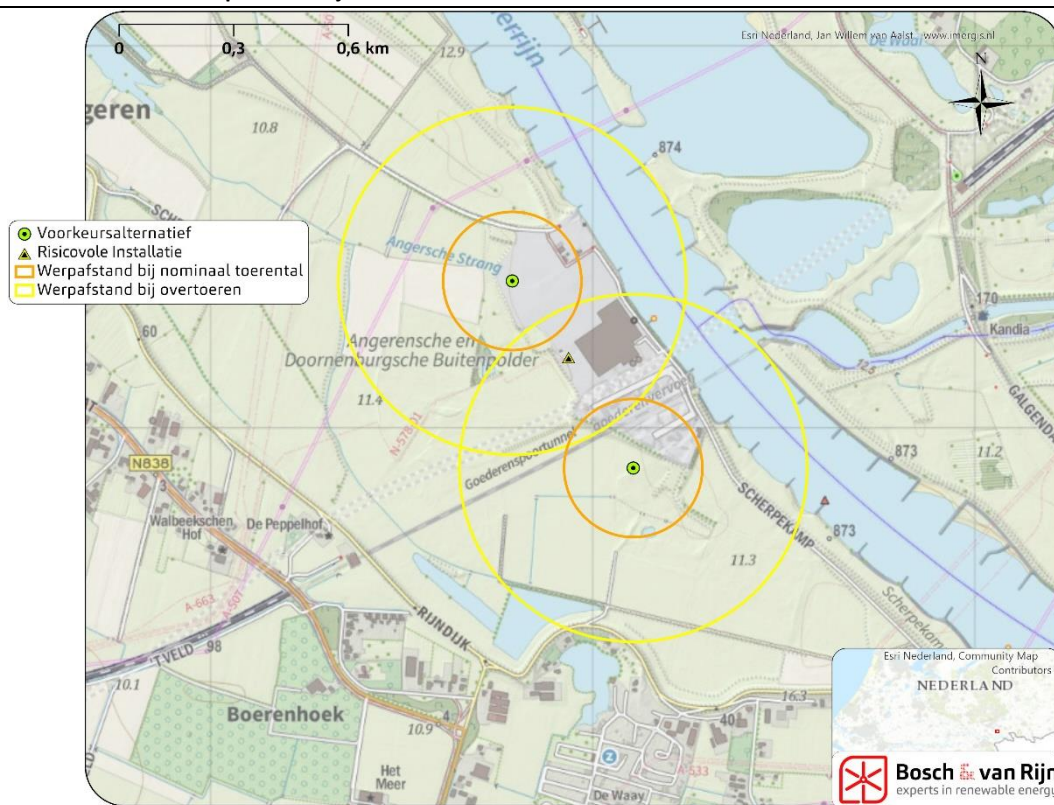
Figuur 29 Risicocontouren rond de windturbines (Bovengrens VKA)



5.4.2 Risicovolle installaties

De berekende maximale werpafstanden (bij overtoeren) zijn ingetekend op de kaart en voor de locatie is nagegaan of binnen deze maximale werpafstanden risicovolle installaties aanwezig zijn.

Figuur 30 Maximale werpafstand bij overtoeren van de windturbines en risicovolle installaties



Op basis van de ingetekende werpafstanden en risicokaart.nl zijn de risicovolle installaties bepaald welke zich binnen de maximale werpafstand bevindt.

Windturbine	Installatie	Afstand tot installatie (m)
Windturbine 1	Gas ontvang station	246
Windturbine 2	Gas ontvang station	337

Doordat de afstanden groter zijn dan de tiphoogte heeft alleen het scenario wiekbreuk een risico verhogend effect.

5.4.2.1 Trefkansberekeningen

Rekenmethode wiekbreuk (*Handboek Risicozonering Windturbines*)

Om de trefkans van een object met hoogte h , breedte b , en diepte d te berekenen wordt uitgegaan van een geprojecteerd grondoppervlak:

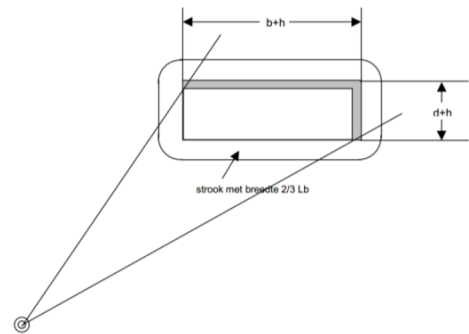
De kans dat het zwaartepunt van de wiek in het geprojecteerde oppervlak terecht komt is:

$$P_{od} = P_{zwpt} \cdot A_{pt}$$

Waarin:

P_{zwpt} = trefkans van het zwaartepunt van het blad (*berekend volgens HRW 2014*).

$$A_{pt} = (b+h) \cdot (d+h)$$



Het object kan direct door het zwaartepunt worden getroffen, maar het is ook mogelijk dat het zwaartepunt van het blad binnen een afstand van $2/3 L_b$ (lengte afgebroken blad) inslaat. In dit geval kan het object nog door het blad worden geraakt aangezien het zwaartepunt zich op ongeveer $1/3$ van het blad bevindt. Deze kans loopt van 0,0 naar 1,0 van de buitenrand van de $2/3 L_b$ strook tot het object.

De kans dat het zwaartepunt in de strook met breedte $2/3 L_b$ rondom de tank terecht komt is:

$$P_{oi} = P_{zwpt} \left((2b + 2d) \cdot \frac{1}{3} \cdot L_b + \frac{\pi}{3} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot L_b \right)^2 \right)$$

5.4.2.2 Resultaten trefkansen risicovolle installaties

Via de bovenstaande methoden is de trefkans berekend voor de risicovolle installatie waarbij de trefkans van de installatie de som is van de scenario's van falende windturbines.

Tabel 10 Trefkansen risicovolle installaties Bovengrens

Installatie	Totale trefkans
Gas Ontvang Station	$3,51 \cdot 10^{-08}$

5.4.2.3 Faalkansverhoging

De berekende trefkans van de bovengrens wordt vergeleken met de intrinsieke faalkans van de risicovolle installatie (faalkansen van alle catastrofale scenario's bij elkaar opgeteld). De intrinsieke faalkans wordt als volgt onderbouwd:

Tabel 11 Onderbouwing intrinsieke faalkansen van risicovolle objecten (Bron: Handleiding Risicoberekeningen BEVI)

Object	Faalkans scenario's (weergegeven tussen haakjes)
Opslagtanks gevaarlijke stoffen	De mogelijke catastrofale scenario's zijn het vrijkomen van de gehele inhoud ($5 \cdot 10^{-6}$) en het vrijkomen van de gehele inhoud in 10 min. in een continue en constante stroom ($5 \cdot 10^{-6}$).

Onderstaande tabel bevat de vergelijking van de trefkans van de windturbines met de intrinsieke faalkans van de installatie:

Tabel 12 Verhoging faalkans van risicovolle installaties

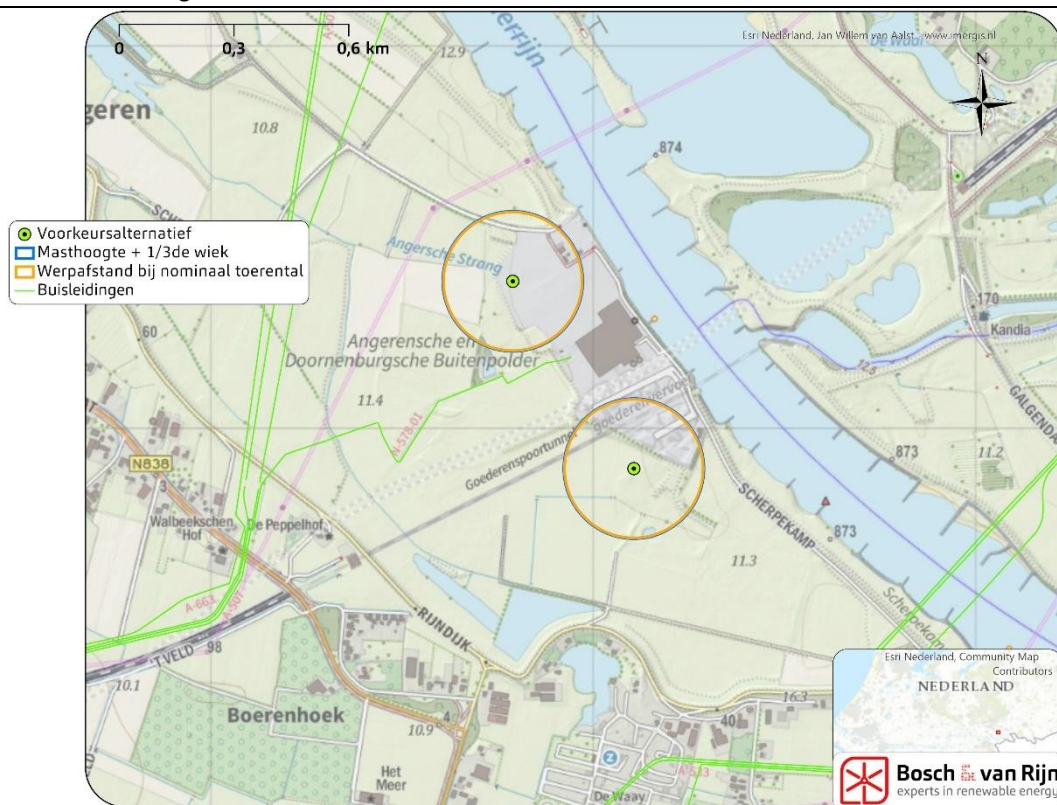
Installatie	Intr. Faalkans	Trefkans	Verhoging faalkans
Gas Ontvang Station	$1,00 \cdot 10^{-05}$	$3,51 \cdot 10^{-08}$	0,35%

Uit bovenstaande tabel blijkt dat bij de installatie wordt voldaan aan de richtwaarde van 10%. Hierdoor is er geen aanvullend onderzoek nodig.

5.4.3 Buisleidingen

Vanwege de aanwezigheid van buisleidingen in het plangebied is geanalyseerd of de bovengrens voldoet aan de adviesafstand van Gasunie.

Figuur 31 Buisleidingen en adviesafstand Gasunie

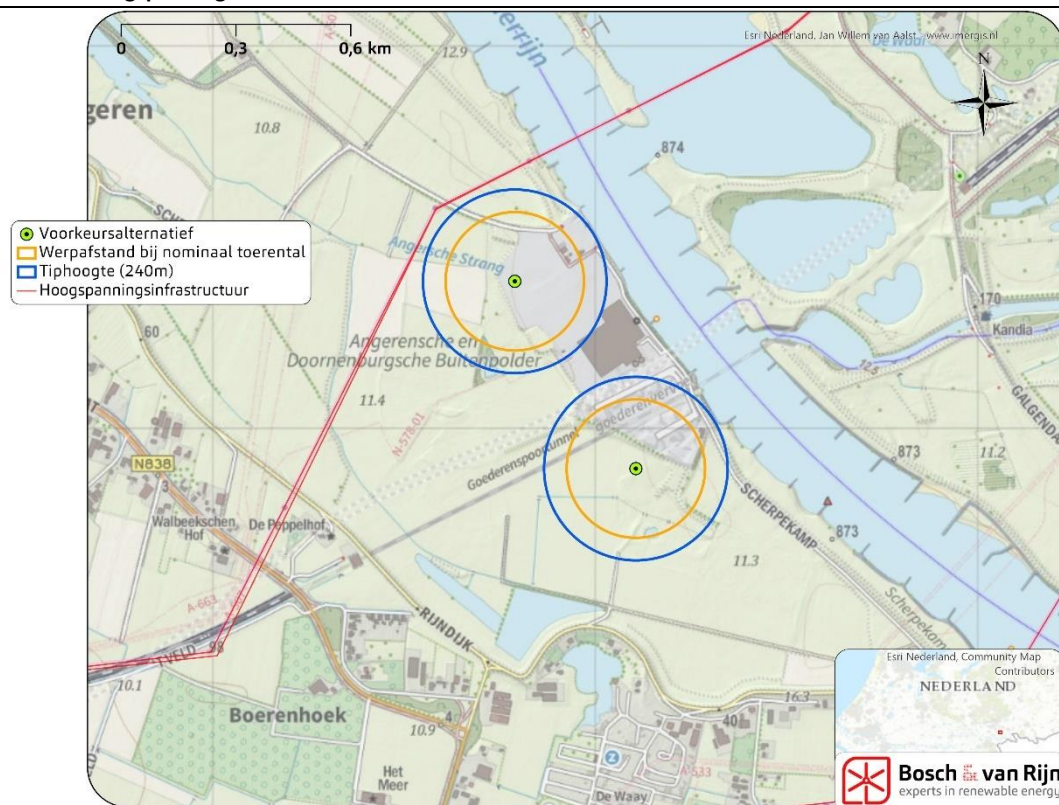


Uit bovenstaande figuur is te concluderen dat er geen infrastructuur van Gasunie zich binnen de werpafstand bij nominaal toerental of de High Impact Zone (HIZ) bevindt. Hierdoor wordt er voldaan aan de adviesafstand van Gasunie.

5.4.4 Hoogspanningsinfrastructuur

Vanwege de aanwezigheid van hoogspanningsinfrastructuur in het plangebied is geanalyseerd of de bovengrens voldoet aan de adviesafstand van TenneT.

Figuur 32 Hoogspanningsinfrastructuur en adviesafstand TenneT

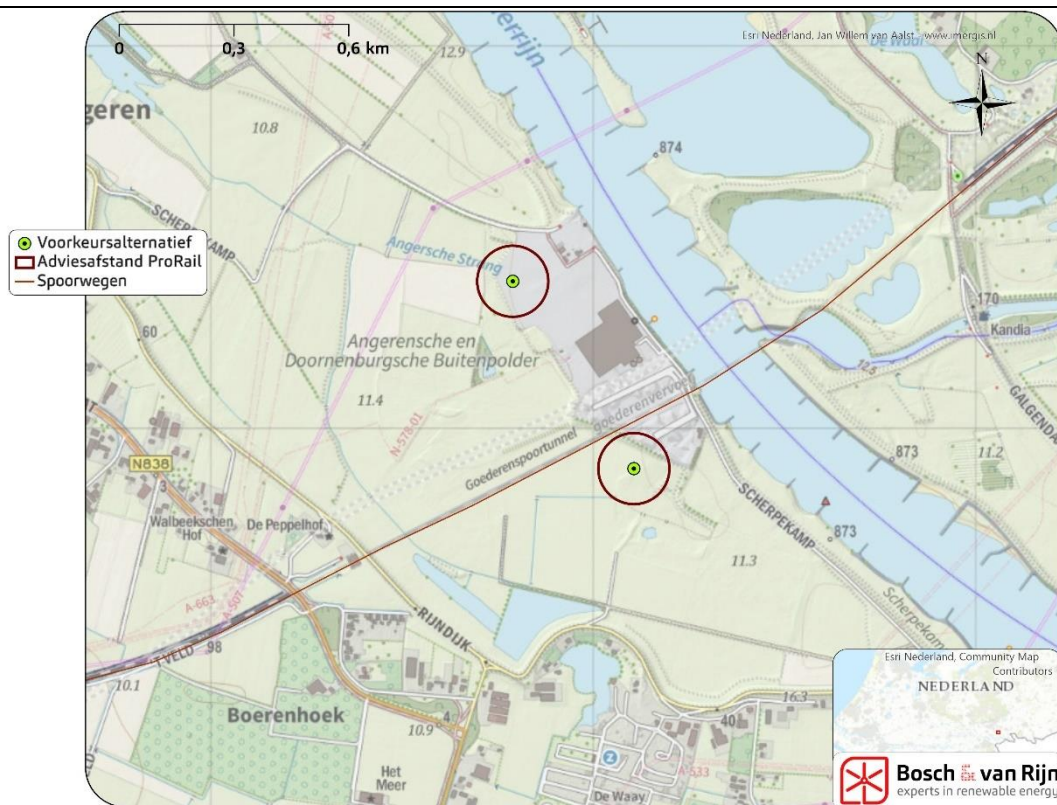


Uit bovenstaande figuur is te concluderen dat er geen hoogspanningsinfrastructuur zich binnen de werpafstand bij nominaal toerental of masthoogte bevindt. Hierdoor wordt er voldaan aan de adviesafstand van TenneT.

5.4.5 Spoorwegen

Uit onderstaande figuur blijkt dat er zich geen spoorweg bevindt binnen wieklengte + 7,85 meter. Hiermee wordt er voldaan aan de adviesafstand.

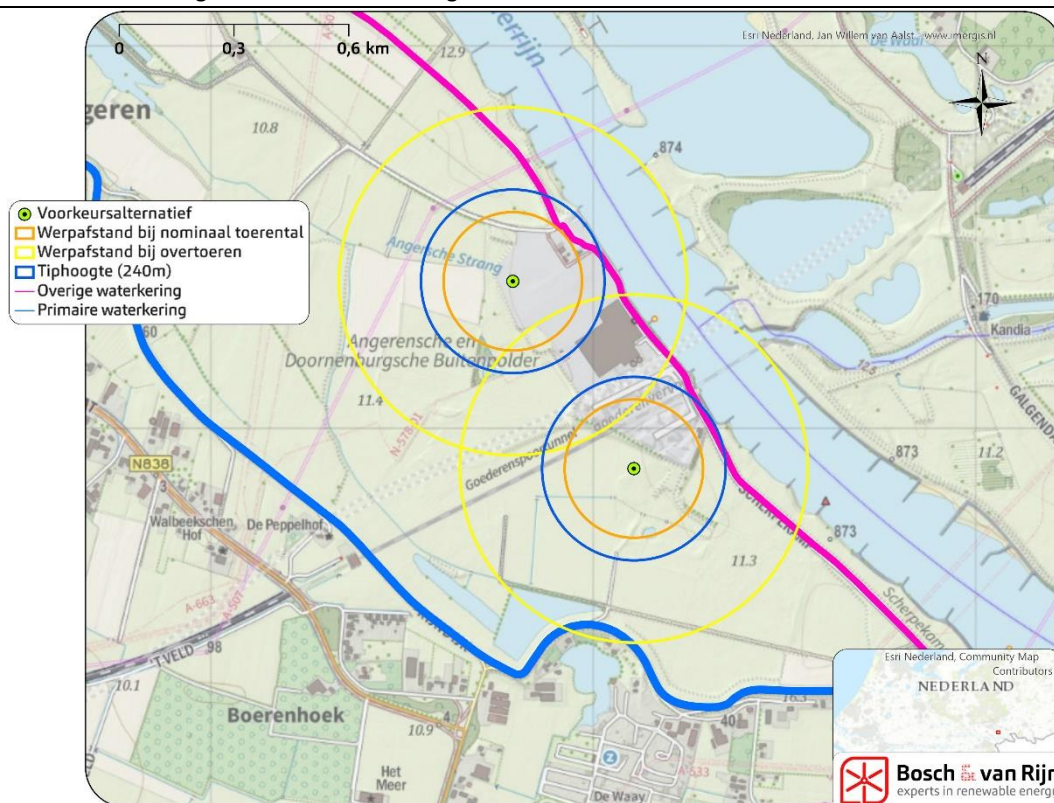
Figuur 33 Adviesafstand Prorail en de windturbines



5.4.6 Waterkering

De windturbinelocaties zijn gepland nabij een waterkering. In onderstaande figuur zal voor de bovenvariant inzichtelijk worden gemaakt welke faalscenario's van toepassing zijn waarna er een trefkansberekening zal worden uitgevoerd indien de windturbines een risico verhogend effect hebben.

Figuur 34 Waterkering en faalscenario's bovengrens



Uit bovenstaande figuur is op te maken dat de scenario's 'mastbreuk' en 'wielbreuk' een risico verhogend effect hebben op de overige waterkering. Bij de primaire waterkering is alleen het scenario 'wielbreuk' van toepassing.

5.4.6.1 Trefkansberekening

Kritische strook

Als kritische strook is een 20 meter brede strook ten opzichte van de kruin van de waterkering aangenomen (10 meter aan beide zijde t.o.v. de kruin-as). De ratio achter de 20 meter is dat hiermee ten minste het functionele deel van de kruin wordt opgevangen.

Restprofiel

Indien er sprake is van een restprofiel, betekent het dat het aanwezige restprofiel nog een bepaalde waterstand kan keren. Er is in dat geval sprake van een zogenaamde responstijd tot herstel, zolang er voor of tijdens dit herstel geen waterstand optreedt tot boven het niveau van het restprofiel. Er is dus sprake van een gebeurtenis (deeltkans) welke gelijktijdig met het falen van een windturbine of windturbineonderdeel dient op te treden. Dit betreft de kans dat op het moment van falen van een windturbine of windturbineonderdeel er ook, voor of tijdens het herstellen, een waterstand optreedt welke hoger is dan het aanwezige restprofiel kan keren. Het is aannemelijk dat indien één van de faalscenario's optreedt er sprake is van een restprofiel, welke nog een bepaalde waterstand kan keren.

Als aanname is genomen dat het aanwezige restprofiel niet meer een waterstand kan keren, welke optreedt in het geval van een "lichte storm". De kans op optreden van een "lichte storm" is aangenomen op 5 keer per jaar. Voor de stormduur wordt uitgegaan van 35 uur. Hedendaagse windturbines worden door middel van een SCADA systeem 24 uur per dag gemonitord. Gangbaar is dat een windturbine zich in ieder geval één keer per 24 uur meldt. Een detectietijd van 24 uur is daarom aannemelijk. De hersteltijd voor de ontstane schade aan de waterkering is geschat op 5 dagen ($5 \times 24 = 120$ uur).

De kans dat er een "lichte storm" optreedt tijdens de hersteltijd is:

$P(\text{niet te keren storm tijdens herstel}) = 5 \text{ lichte stormen per jaar} \times (35 \text{ uur} / 8760 \text{ uur per jaar}) + 5 \text{ lichte stormen per jaar} \times (24 \text{ uur} / 8760 \text{ uur per jaar}) + 5 \text{ lichte stormen per jaar} \times (120 \text{ uur} / 8760 \text{ uur per jaar}) = 0,1 \text{ per jaar.}$

Trefsector

Ten behoeve van de risicoanalyse is per windturbinelocatie en faalscenario de trefsector bepaald. De trefsector betreft het gebied waar een falende windturbine of windturbineonderdeel kan neerkomen en daarbij een schade kan veroorzaken, welke een mogelijk risico vormt voor de waterkerende functie van de waterkering. Het afbreken van een windturbineblad vormt een risico binnen de straal van de maximale werpafstand. Het omvallen van een windturbine vormt een risico binnen een straal van de maximale valafstand van de windturbine (tiphoogte). Het naar beneden vallen van de gondel en/of rotor vormt een risico binnen een afstand van de wielengte.

Wiekbreuk

De schade die een neerkomend rotorblad veroorzaakt is onder meer sterk afhankelijk van de wijze van neerkomen. Afhankelijk van de impacthoek kan een blad

versplinteren en/of afketsen. De meest significante schade wordt veroorzaakt als de flens (verbinding tussen het rotorblad en de rotor) van een rotorblad onder een bepaalde hoek inslaat (uitgaande van de worst case afworp bij een overtoeren situatie). De overige situaties zorgen voor een lagere impactschade. De worst case hoek van inslag met het verticaal is kleiner dan **45 graden**. De ratio achter deze 45 graden is dat bij een zanddijk met een kleibekleding, theoretisch bij een hoek van inwendige wrijving van 30 graden voor het zand en een hoek van inval met de verticaal van 30 graden er geen indringing zou zijn en er horizontale afschuiving plaatsvindt. Er zou dus uit kunnen worden gegaan van 30 graden. Echter zou deze aanname voor de deklaag een niet-conservatieve aanname zijn. Daarom wordt als aanname aangehouden, dat bij een hoek van inslag met het verticaal groter dan 45 graden er een geringe indringing optreedt. Het rotorblad zal met een grotere impactoppervlakte inslaan en zal dan afketsen en/of vervormen en/of deels verbrijzelen, waardoor er een grotere energie opname zal optreden en de impactschade kleiner is.

Voorgaande geeft een: **P(flens naar beneden) = $2 \times 45^\circ / 360^\circ = 0,25$**

Het scenario wiekbreek resulteert in een trefkans binnen de maximale werpafstand bij nominaal toerental. Om de trefkans van de kernzone te berekenen wordt uitgegaan van een geprojecteerd grondoppervlak. De kans dat het zwaartepunt van de wiek in het geprojecteerde oppervlak terecht komt is:

$$p_w = F_a \int_S P_{zwpt}^{(s)} ds$$

Waarin:

P_{zwpt} = trefkans per jaar van het zwaartepunt van het blad
 F_a = $b + 2/3 L_b$ (effectieve breedte kernzone)
 S = contour langs de kernzone
 L_b = Bladlengte

Variant	Pzwpt	Lb	Fa	Trefkans
Bovengrens	$9,42 \cdot 10^{-12}$	47,5	83,34	$1,19 \cdot 10^{-07}$

Rekening houdend met de invalshoek van de wiek (0,25) en het restprofiel (0,1) komt de kans op falen van de dijk als gevolg van wiekbreek op:

Variant	Trefkans	Faalkans dijk
Bovengrens	$1,19 \cdot 10^{-07}$	$2,98 \cdot 10^{-09}$

5.4.6.2 *Faalkansverhoging*

De berekende trefkans van de bovengrens wordt vergeleken met de intrinsieke faalkans van de waterkering.

Onderstaande tabel bevat de vergelijking van de trefkans van de windturbines met de intrinsieke faalkans van de waterkering:

Tabel 13 Verhoging faalkans van de waterkering

Variant	Waterkering	Intr. Faalkans	Trefkans	Verhoging faalkans
Bovengrens	Primaire waterkering	$3,33 \cdot 10^{-5}$	$2,98 \cdot 10^{-9}$	0,009%

Uit bovenstaande tabel blijkt dat bij de primaire waterkering wordt voldaan aan de richtwaarde van 10%. Hierdoor is er geen aanvullend onderzoek nodig.

NB. Voor de overige waterkering geldt dat er geen norm is vastgesteld. Voor deze waterkering wordt geen risicoberekening uitgevoerd.

5.4.7 *Infrastructuur*

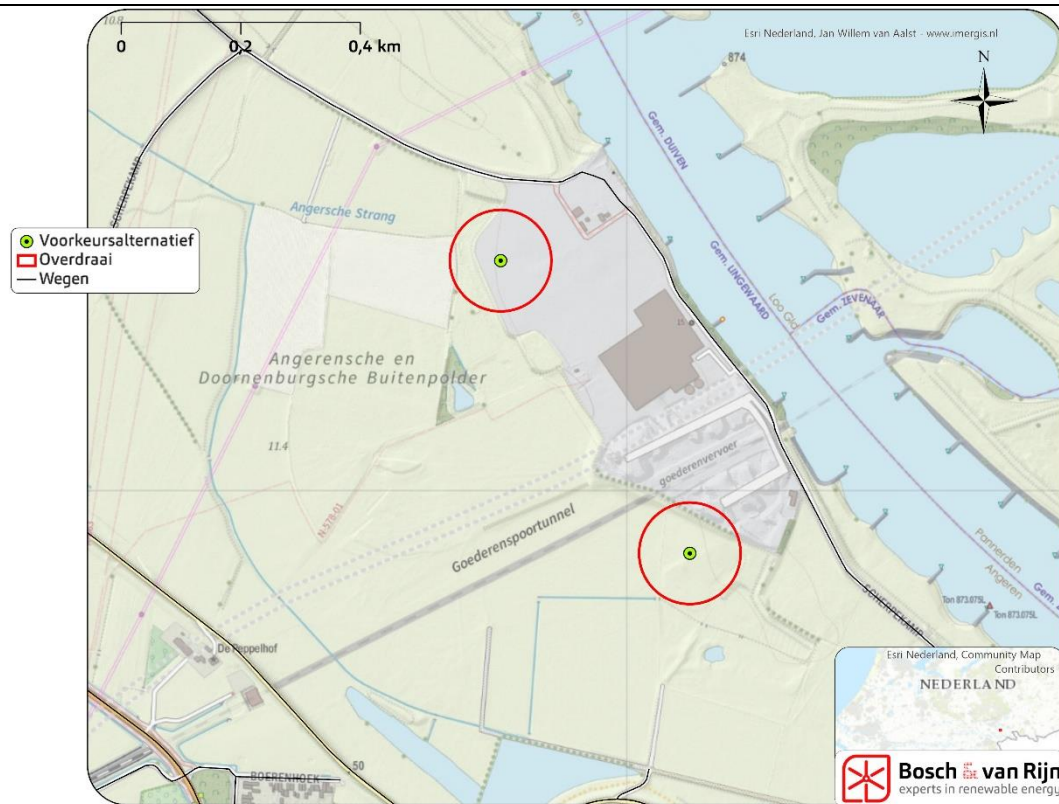
Voor de bovengrens is nagegaan of een windturbine over een openbare weg draait. Indien er geen overdraai plaatsvindt wordt er voldaan aan veiligheidseisen voor Rijkswegen, waarmee geconcludeerd kan worden dat er zich geen onacceptabele risico's voor doen. Tevens is er gekeken of het basisnet zich binnen de invloedssfeer van de windturbines.

Ijsafworp

Om rondvliegend ijs tegen te gaan worden de windturbines voorzien van ijsdetectie. Dit systeem zet de windturbines stil wanneer ijsvorming op de bladen plaats kan vinden (op basis van luchtvochtigheid en temperatuur).

Uit onderstaand figuur blijkt dat geen van de windturbines draaien over de openbare weg of de toekomstige A15.

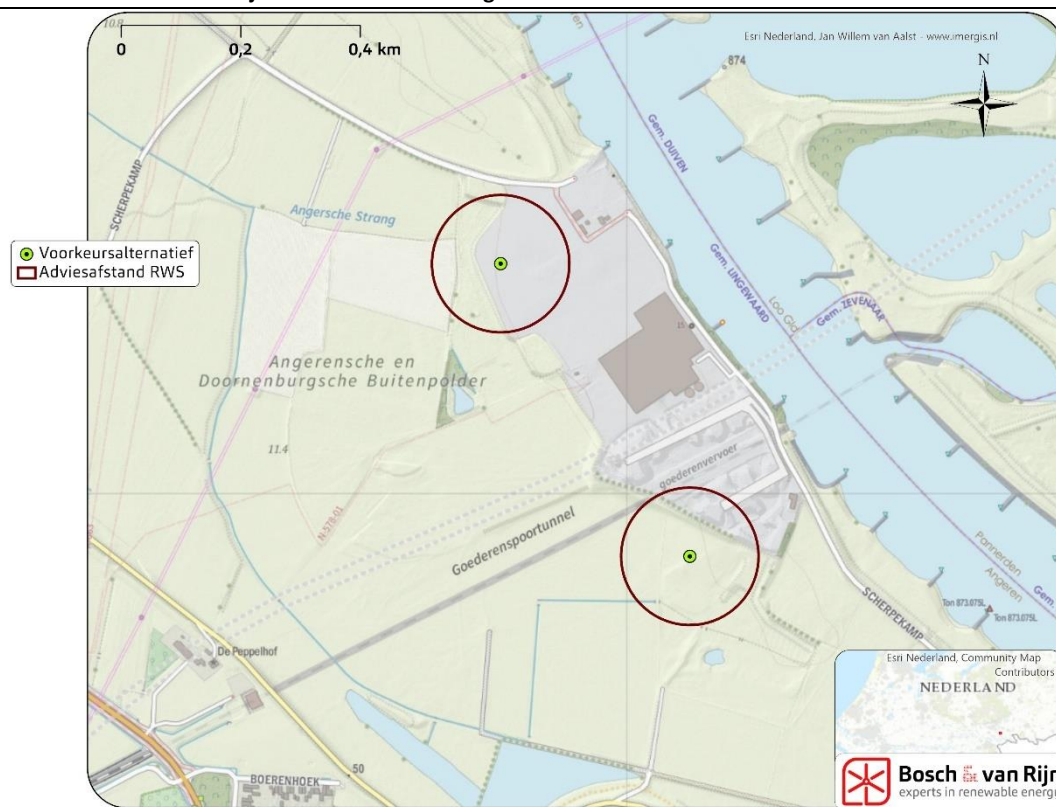
Figuur 35 **Overdraai en windturbines**



5.4.7.2 Adviesafstand Rijkswaterstaat Vaarwegen

Uit onderstaande figuur blijkt dat er zich geen vaarwegen bevinden binnen de nieuwe adviesafstand (wielengte + 30 meter) van Rijkswaterstaat. Hiermee wordt er dus voldaan aan zowel de huidige als nieuwe adviesafstand.

Figuur 36 **Adviesafstand Rijkswaterstaat en vaarwgen**



5.4.7.3 Basisnet

Het Pannerdensch Kanaal is onderdeel van het basisnet. Doordat er transport van gevaarlijke stoffen mogelijk is wordt de kans berekend dat een schip wordt geraakt.

Rekenmethode Wiekbreuk

De kans dat een persoon wordt geraakt als gevolg van een afgebroken wiek wordt als volgt berekend:

$$Trefkans\ rivier = p_{zwpt} \cdot oppervlakte\ vaarweg$$

Variant	Pzwpt	OPP weg	Trefkans
bovengrens	$4,96 \cdot 10^{-12}$	192650	$9,56 \cdot 10^{-07}$

De kans dat een schip wordt getroffen kan worden berekend door de trefkans te vermenigvuldigen met de verblijfsfactor:

$$\tau = \frac{L_o}{v_o} \frac{1}{365 \cdot 24 \cdot 3600} (1,5 \cdot B_o + 2/3 L_b)$$

v_o = snelheid van de tanker (m/s)

L_o = Lengte van het passerend object (m)

b_o = Breedte van het passerend object (m)

Voor de lengte wordt uitgegaan van 142 meter. Voor de snelheid wordt uitgegaan van 6,94 m/s. Voor de breedte wordt uitgegaan van 22 meter.

Trefkans schip: $5,15 \cdot 10^{-11}$ per passage

Conclusie trefkans tanker

De totale raakkans per passage door de turbines is:

$5,15 \cdot 10^{-11}$ per passage

Hoofdstuk 6 Conclusie

6.1 (beperkt) Kwetsbare objecten

Er bevinden zich geen (beperkt) kwetsbare objecten binnen de 10^{-5} en 10^{-6} contouren. Hiermee wordt er voldaan aan de veiligheidseisen uit het activiteitenbesluit.

6.2 Risicovolle installaties

Indien de windturbines niet substantieel bijdragen aan een verhoging van de risico's van de inrichting hebben de windturbines geen invloed op de bestaande risicosituatie. Om dit te toetsen is in eerste instantie gekeken naar de toename van de catastrofale faalfrequentie van risicovolle installaties behorende tot de inrichting. Indien deze toename een bepaalde richtwaarde niet overschrijdt is plaatsing van de windturbine, uit het oogpunt van de risicobeoordeling, toelaatbaar. Op grond van het Handboek Risicozonering Windturbines wordt een richtwaarde of toetsingswaarde gehanteerd van 10%.

Paragrafen 4.2.6 en 5.4.2 bevatten de vergelijking van de trefkans van de windturbines met de intrinsieke faalkans van de installaties. Uit deze vergelijkingen volgt dat de maximale faalkansverhoging 0,35% is. Dit is ver onder de toetsingswaarde van 10%. Dit betekent dat de risico's van de windturbines, gelet op de afstand tot risicovolle inrichtingen, niet leiden tot een toename van de initiële faalkans van deze installaties van meer dan 10%.

6.3 Buisleidingen

De leidingen die gevaarlijke stoffen transporteren bevinden zich buiten de werpafstand bij nominaal toerental of ashoogte + $1/3^{\text{de}}$ wiek van de beoogde windturbines. Hiermee wordt er voldaan aan de adviesafstand van Gasunie.

6.4 Hoogspanningsinfrastructuur

Voor Variant 1, Variant 2 en de bovengrens geldt dat de hoogspanningsinfrastructuur zich bevindt buiten de werpafstand bij nominaal toerental of tiphoogte. Hiermee wordt er voor deze alternatieven voldaan aan de adviesafstand van TenneT. Voor Variant 3 geldt dat er zich hoogspanningsinfrastructuur bevindt binnen de tiphoogte. Hiermee wordt er *niet* voldaan aan de adviesafstand van TenneT.

6.5 Spoorwegen

De beoogde windturbines voldoen aan de afstandseis van ProRail (halve rotordiameter + 7,85 meter).

6.6 Waterkering

De kans dat de waterkerende functie van de primaire waterkering faalt als gevolg van de falende windturbine is:

Variant	Waterkering	Trefkans
1	Primaire waterkering	$1,52 \cdot 10^{-9}$
2	Primaire waterkering	$8,29 \cdot 10^{-10}$
3	Primaire waterkering	$9,88 \cdot 10^{-10}$
Bovengrens	Primaire waterkering	$2,98 \cdot 10^{-9}$

Dit resulteert in een faalkansverhoging (t.o.v. de huidige toegestane faalkans van 1/1.250) door de windturbines van de varianten van:

Variant	Trefkans	Verhoging faalkans
1	$1,74 \cdot 10^{-8}$	0,0002%
2	$2,62 \cdot 10^{-6}$	0,0001%
3	$4,19 \cdot 10^{-6}$	0,0001%
Bovengrens	$2,98 \cdot 10^{-9}$	0,0004%

Dit is onder de richtingswaarde van 10%.

6.7 Infrastructuur

Voor de drie varianten en de bovengrens geldt dat er geen overdraai plaats vindt op een openbare weg. Hiermee wordt er voldaan aan de beleidsregel *“Beleidsregel voor het plaatsen van windturbines op, in of over rijkswaterstaatwerken”*. Tevens voldoen de drie varianten en de bovengrens voor vaarwegen aan de nieuwe adviesafstand (wieklengte + 30 meter) van Rijkswaterstaat.

Voor het basisnet geldt dat de hoogste trefkans (variant 2) voor een schip $2,88 \cdot 10^{-11}$ per passage is. Echter zijn er 2 windturbines waardoor de trefkans per passage als volgt is: $5,76 \cdot 10^{-11}$ per passage. Dit leidt tot een faalkans per km van:

$4,11 \cdot 10^{-11}$ per vervoerskilometer.

Om een oordeel te kunnen vellen over de risico's van de mogelijke windturbines moet de berekende faalkans per vervoerskilometer worden vergeleken met de initiële faalkans. Voor scheepvaart geldt dat de te beschouwen scenario's altijd leidt betrekking hebben op het onbedoeld vrijkomen van gevaarlijke stoffen uit het vaartuig. In theorie kan de stof vrijkomen ten gevolge van het bezwijken van de omhulling tijdens normaal transport (intern falen) of na een schadevaring of andersoortige externe belasting (extern falen). In het eerste geval moet gedacht worden aan materiaalfouten, zwakke plekken door slijtage e.d., oftewel gebeurtenissen die niet aan de vaarweg gerelateerd zijn. In analogie met "gewone" opslagtanks zal de faalfrequentie voor het falen van een lading tank door dit type oorzaken ongeveer $1 \cdot 10^{-6}$ per jaar bedragen. Om de frequentie van een dergelijk ongeval op een willekeurig kilometervak te bepalen, moet de initiële faalkans worden gecorrigeerd voor de verblijftijd die het schip heeft op een bepaald kilometer op de vaarweg. In het geval een schip 4 knopen zal het één kilometer in circa 8 minuten afleggen. De correctiefactor voor de aanwezigheid van het schip op die kilometer vaarweg bedraagt dan in de orde van 10^{-5} per jaar. Vermenigvuldigen van de initiële faalfrequentie van de ladingtank en het aantal ladingstanks met de correctiefactor voor de aanwezigheid van het schip resulteert in een ongevalskans op de orde van 10^{-11} per jaar, waarmee dit scenario verwaarloosd kan worden ten opzichte van het extern falen dat hieronder nader is uitgewerkt.

In het tweede geval is sprake van oorzaken die buiten het schip liggen. Het falen door deze externe oorzaken is wel direct gerelateerd aan de vaarweg. De frequentie van aanvaringen met andere schepen of aanvaringen met objecten die zich op de vaarweg bevinden en die tot relatief ernstige gevallen leiden, bedraagt ongeveer $1 \cdot 10^{-6}/\text{vtgkm}^8$. Geconcludeerd kan worden dat alleen vaarweggebonden scenario's relevant zijn.

Doordat deze scenario's alleen relevant zijn wordt de berekende faalkans vergeleken met de vaarweggebonden faalkans van $1 \cdot 10^{-6}/\text{vtgkm}$. Dit leidt tot een verhoging van de faalkans door de toekomstige windturbine van 0,004%. Dit is verwaarloosbaar.

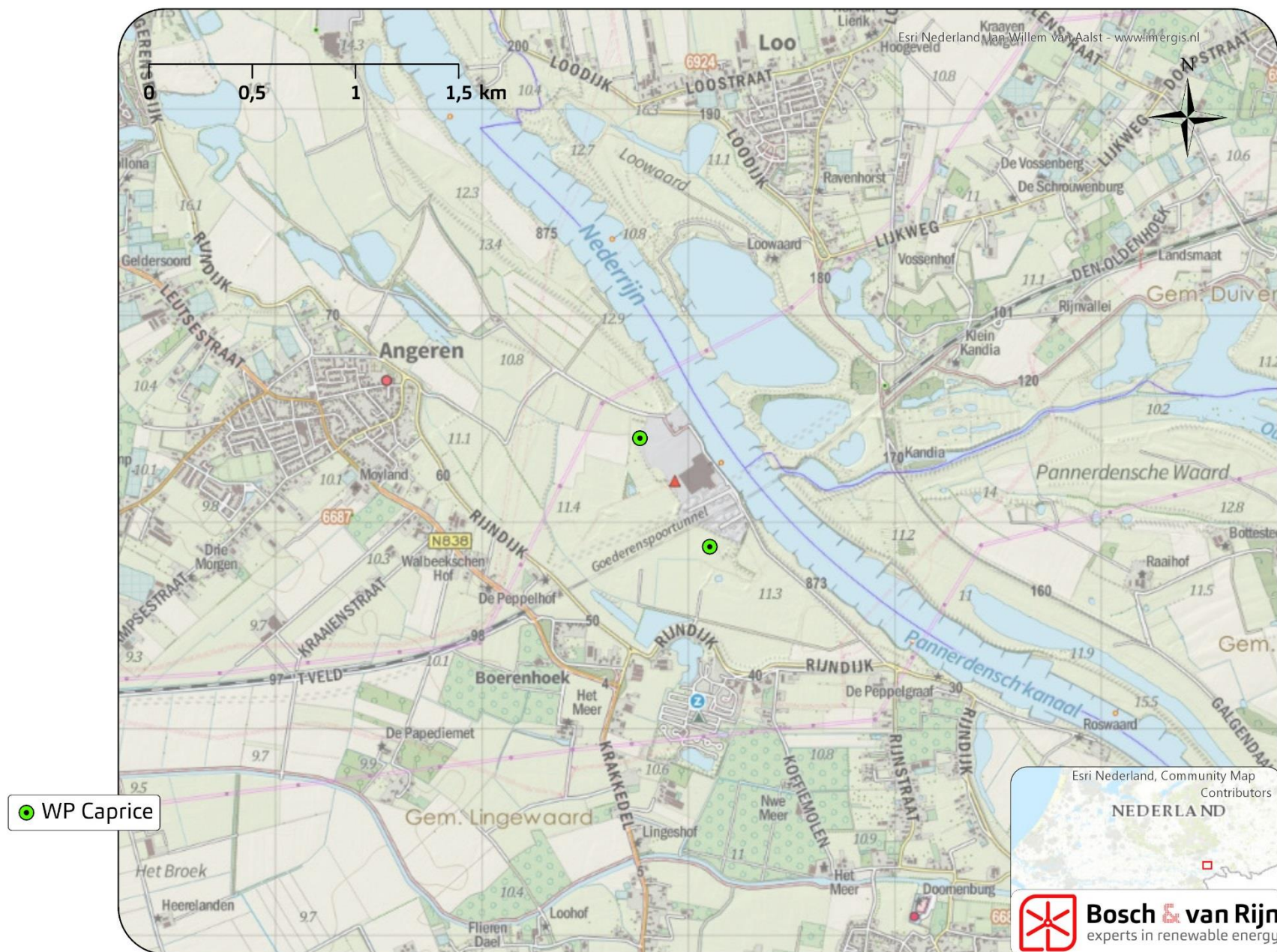
⁸ AVIV, Risicoanalyse Westerschelde, Fase II, brongerichte maatregelen, januari 1997
Veiligheid als product, Risico vervoer gevaarlijke stoffen zeevaart, Gemeentelijk Haven
bedrijf Rotterdam, juli 1992

Hoofdstuk 7 Bijlagen

Bijlage A Opstelling Alternatieven



Figuur 37 Opstelling MER-variant



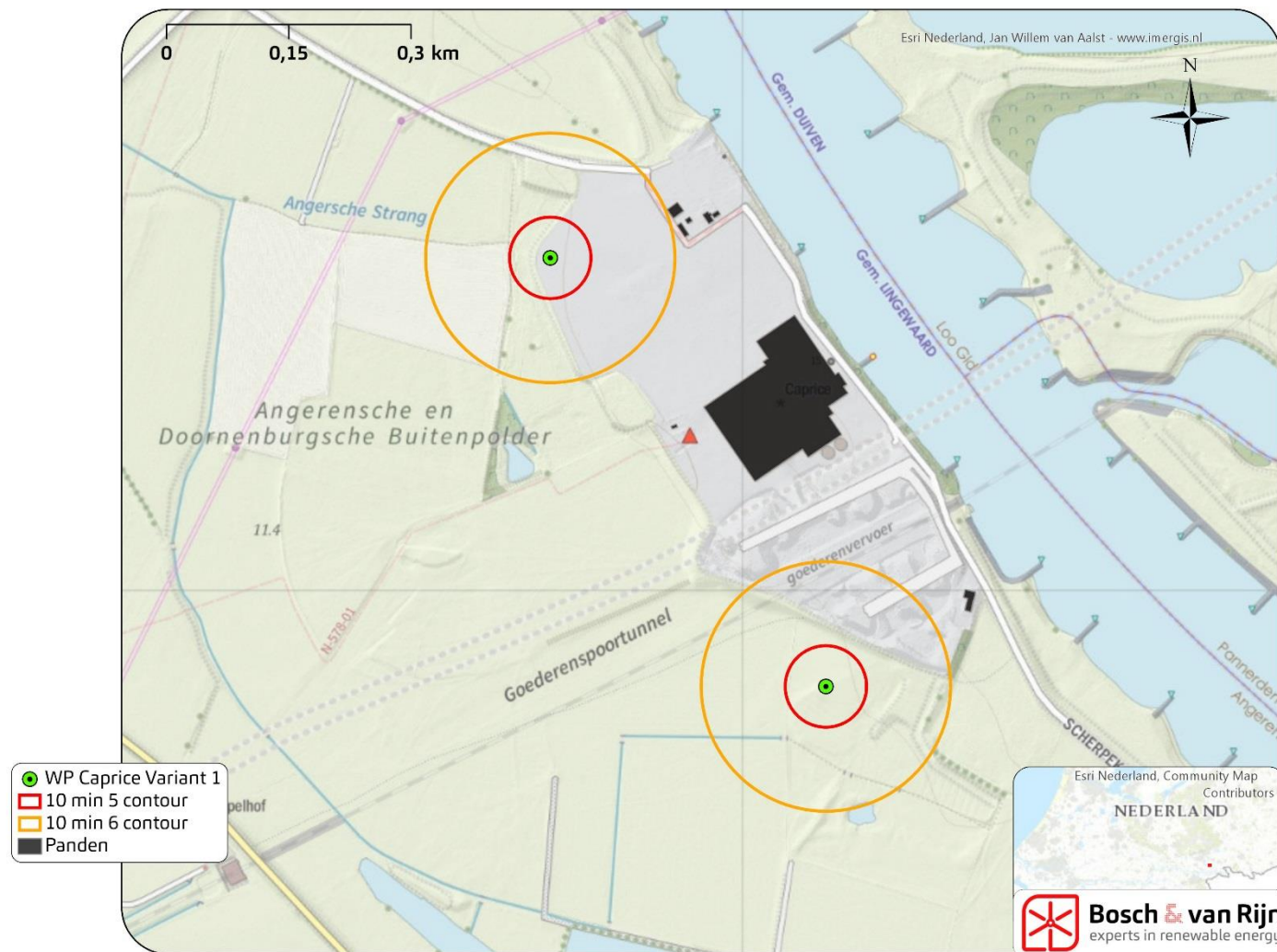
Figuur 38 Opstelling voorkeursalternatief



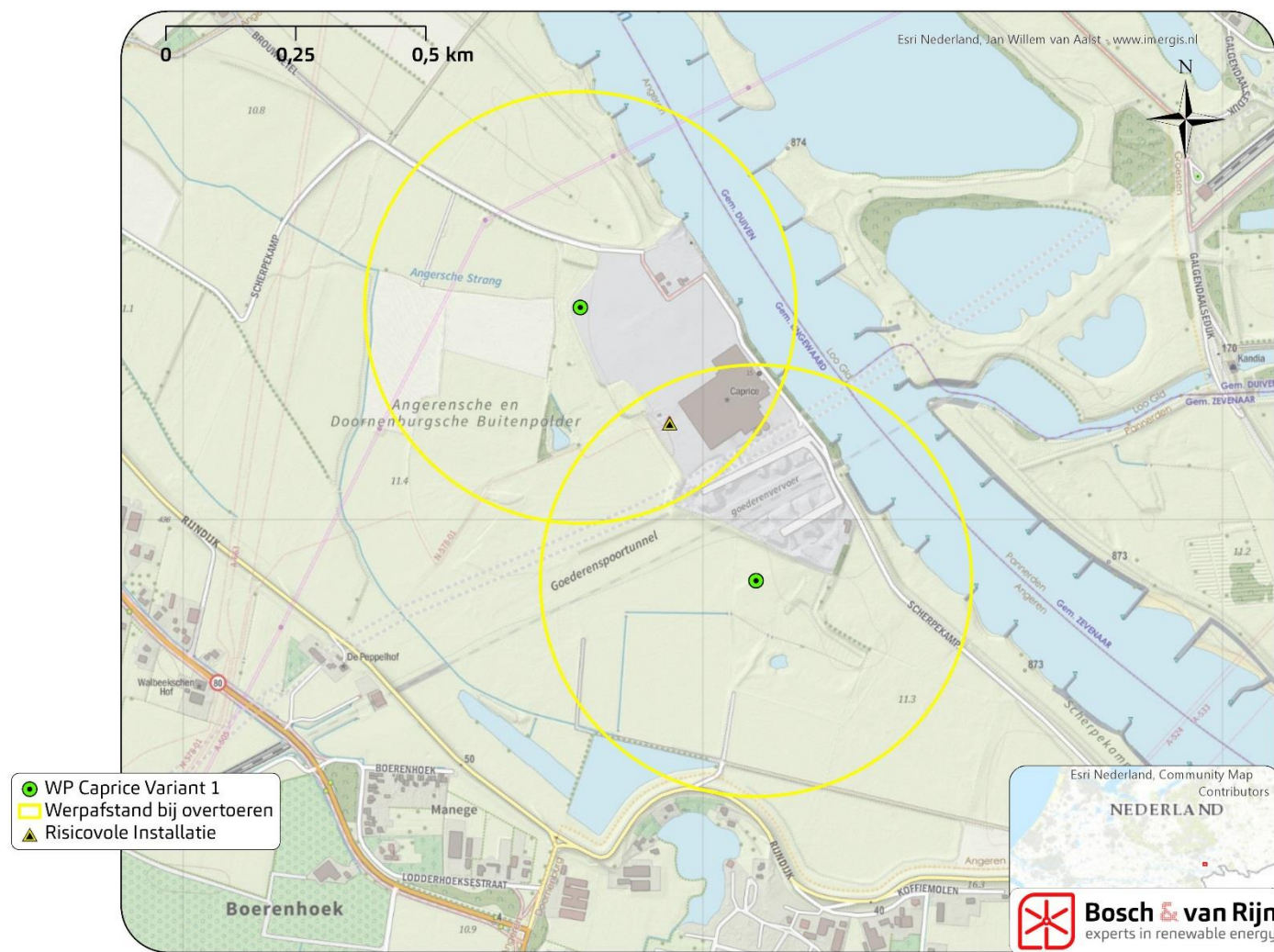
Bijlage B Risicocontouren en werpafstanden



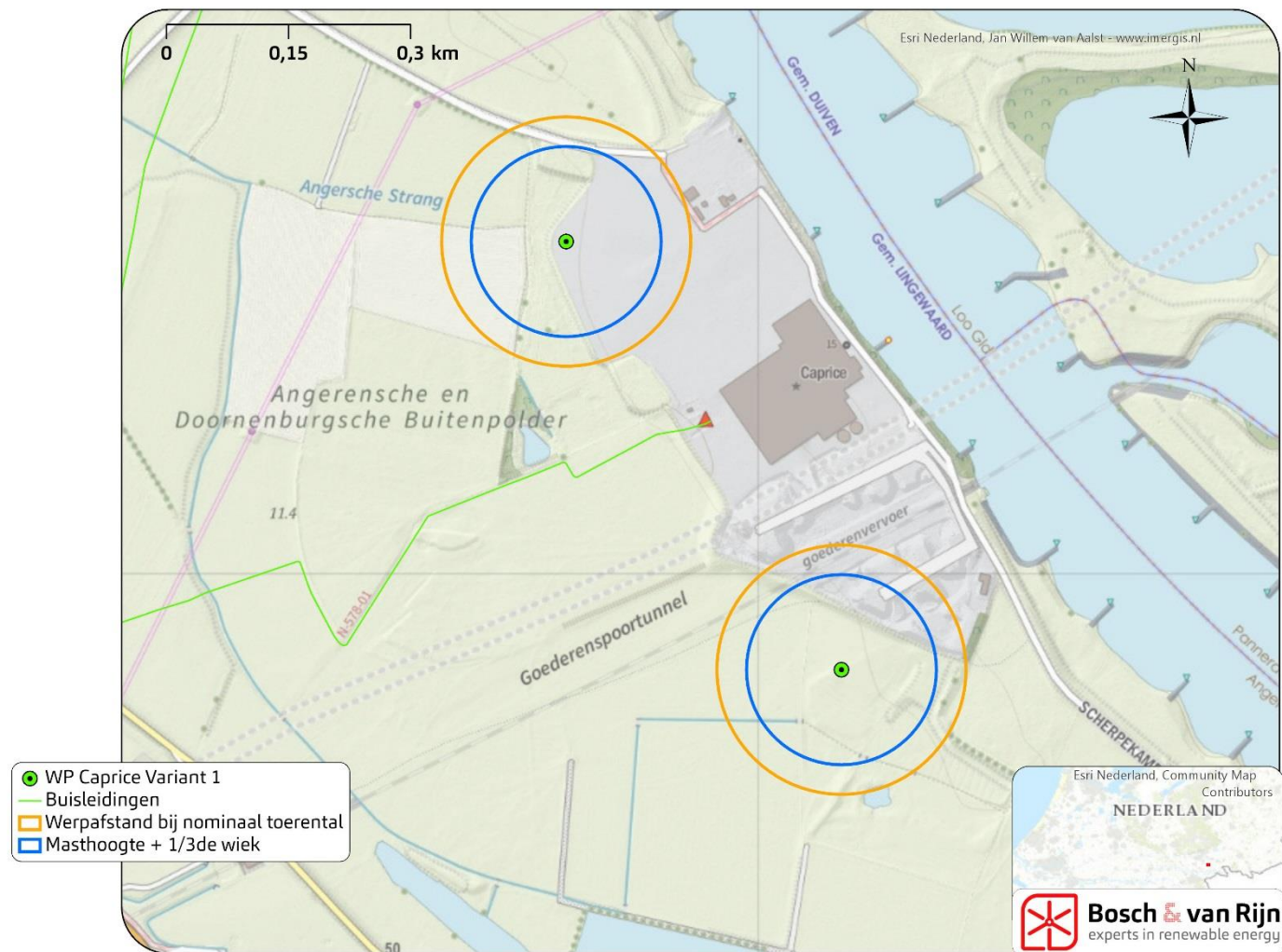
Figuur 39 Risicocontouren Variant 1



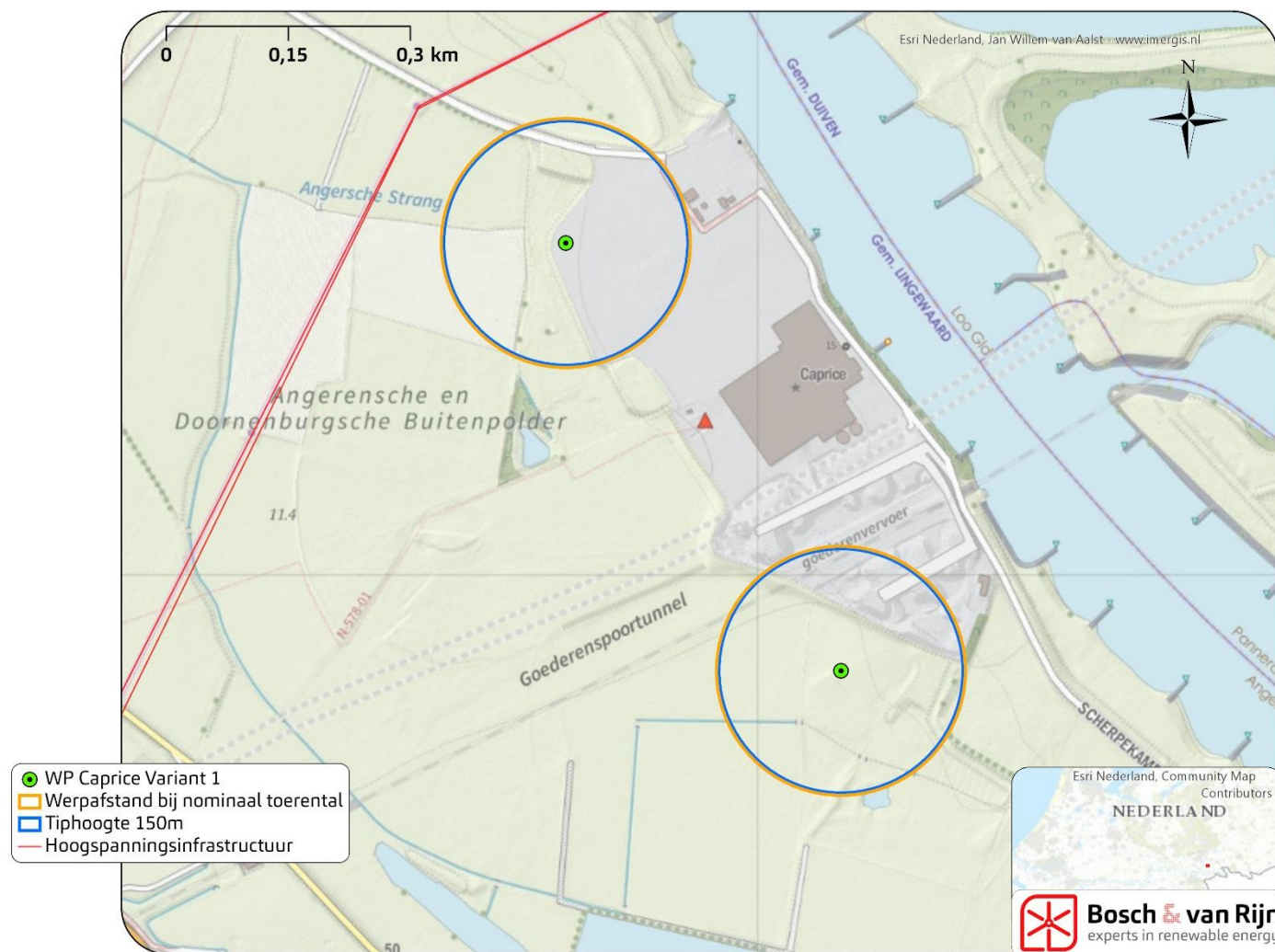
Figuur 40



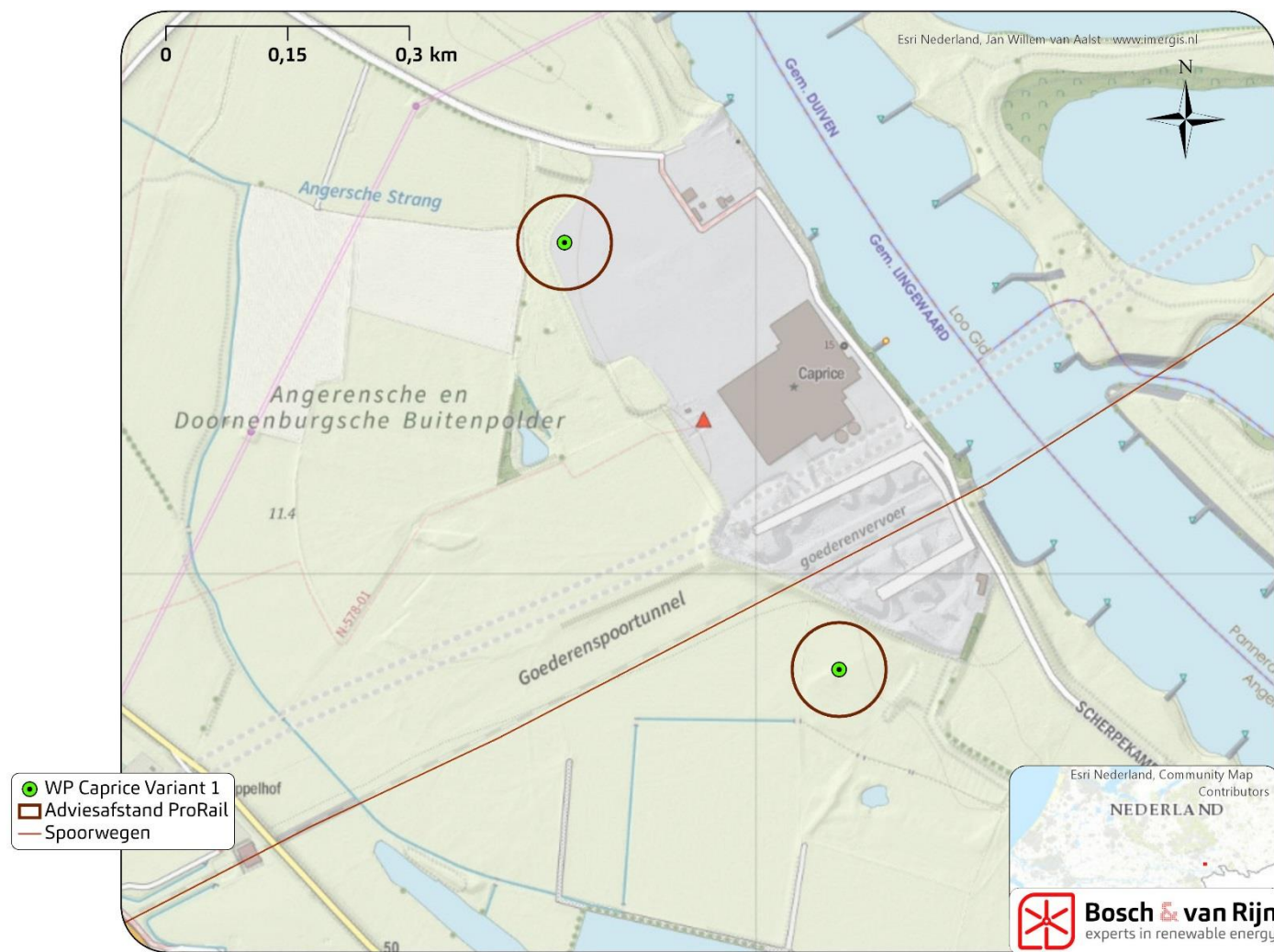
Figuur 41 Buisleidingen en adviesafstand Gasunie variant 1



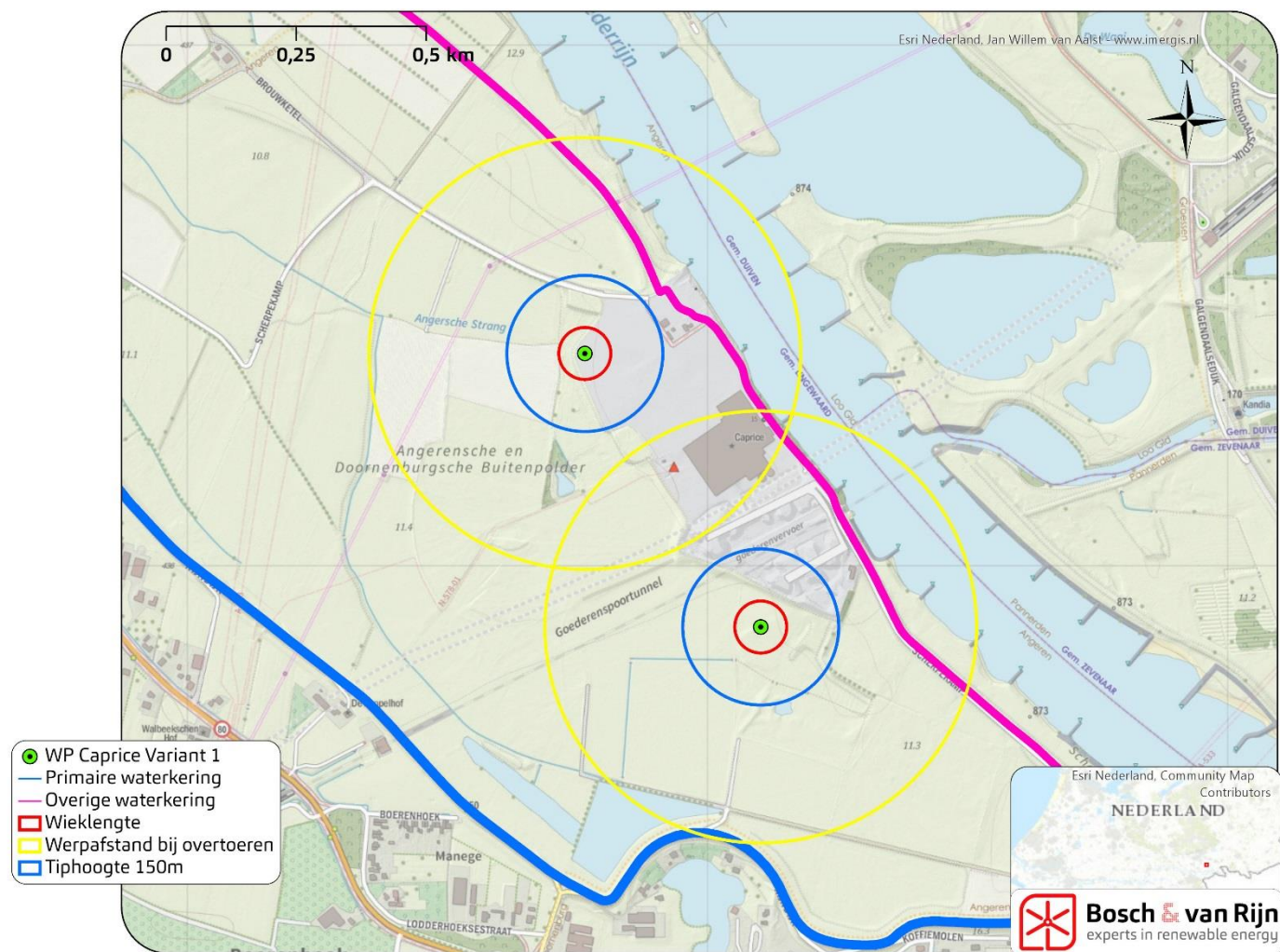
Figuur 42 Hoogspanningsinfrastructuur en adviesafstanden TenneT Variant 1



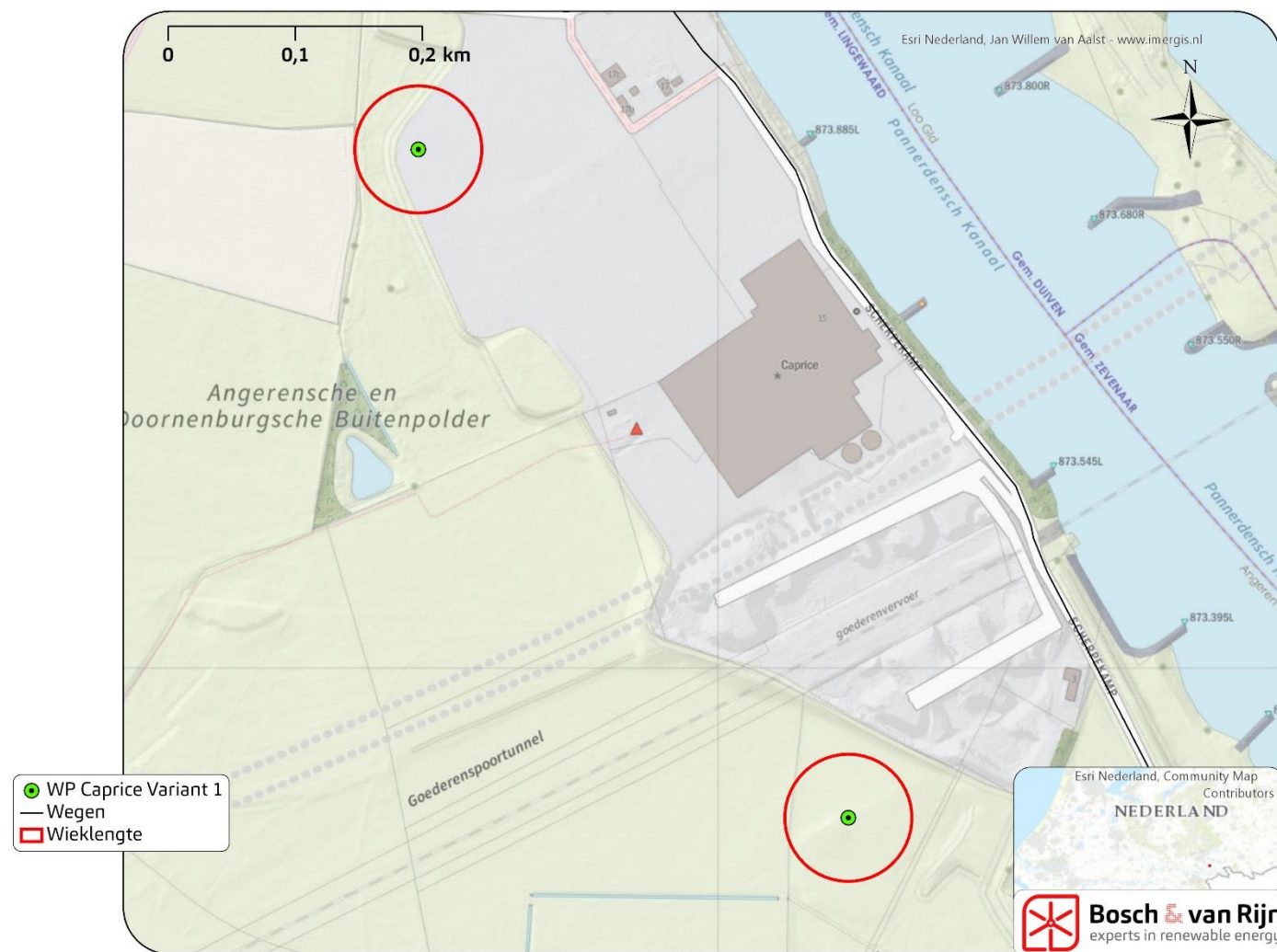
Figuur 43 Spoorwegen en adviesafstand ProRail Variant 1



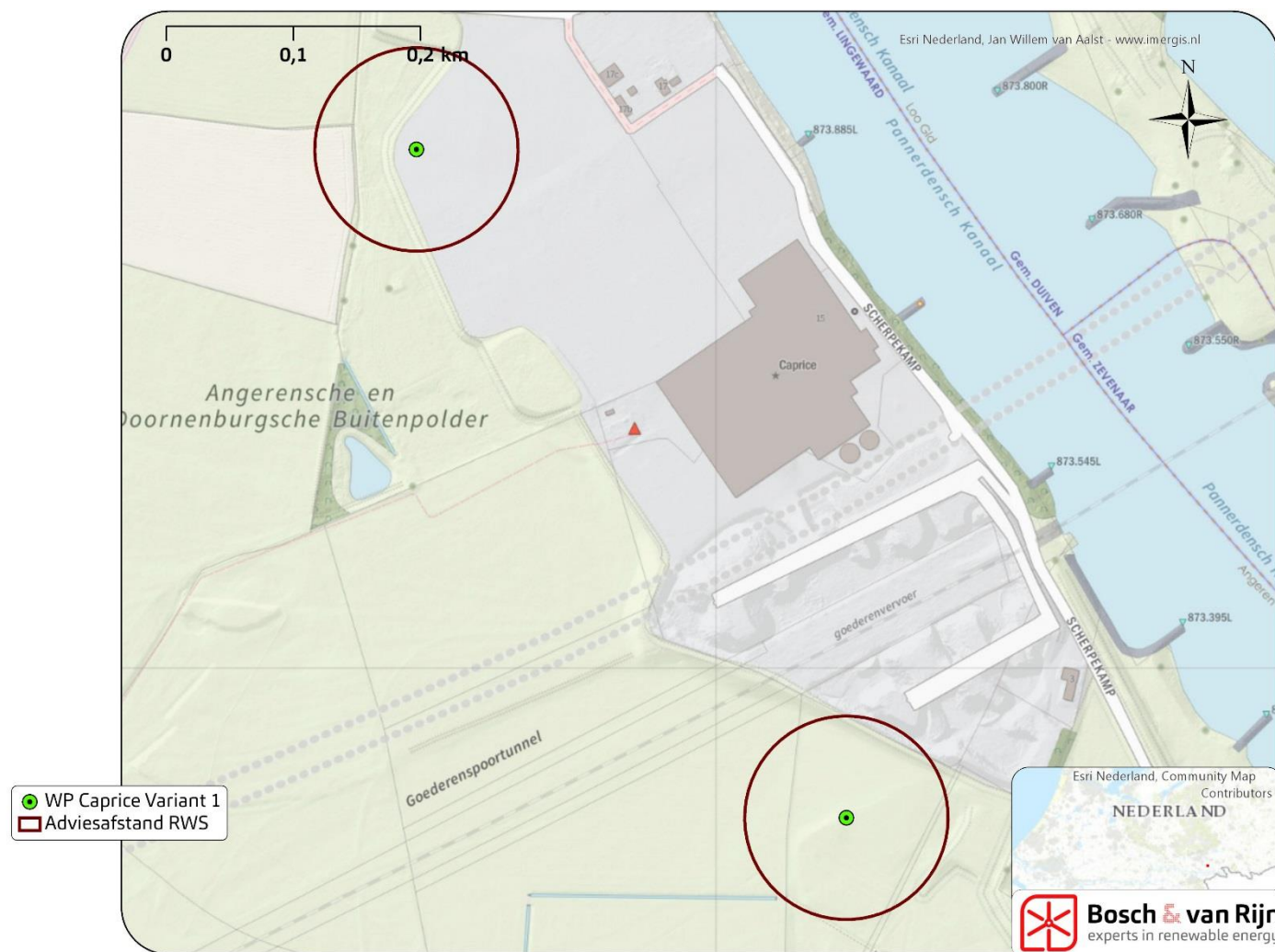
Figuur 44 Faalscenario's windturbines en waterkering Variant 1



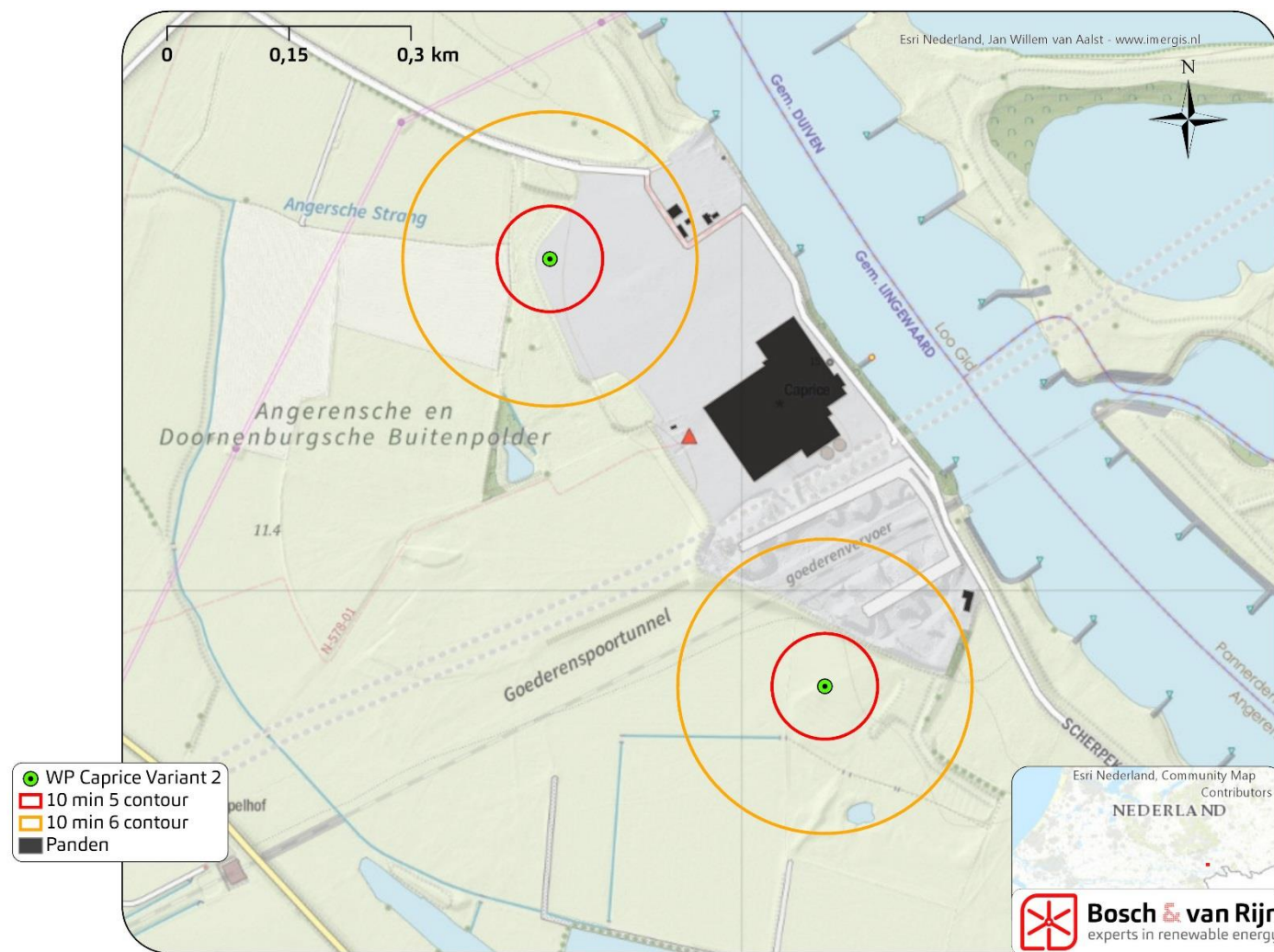
Figuur 45 Wegen en wieklenge Variant 1



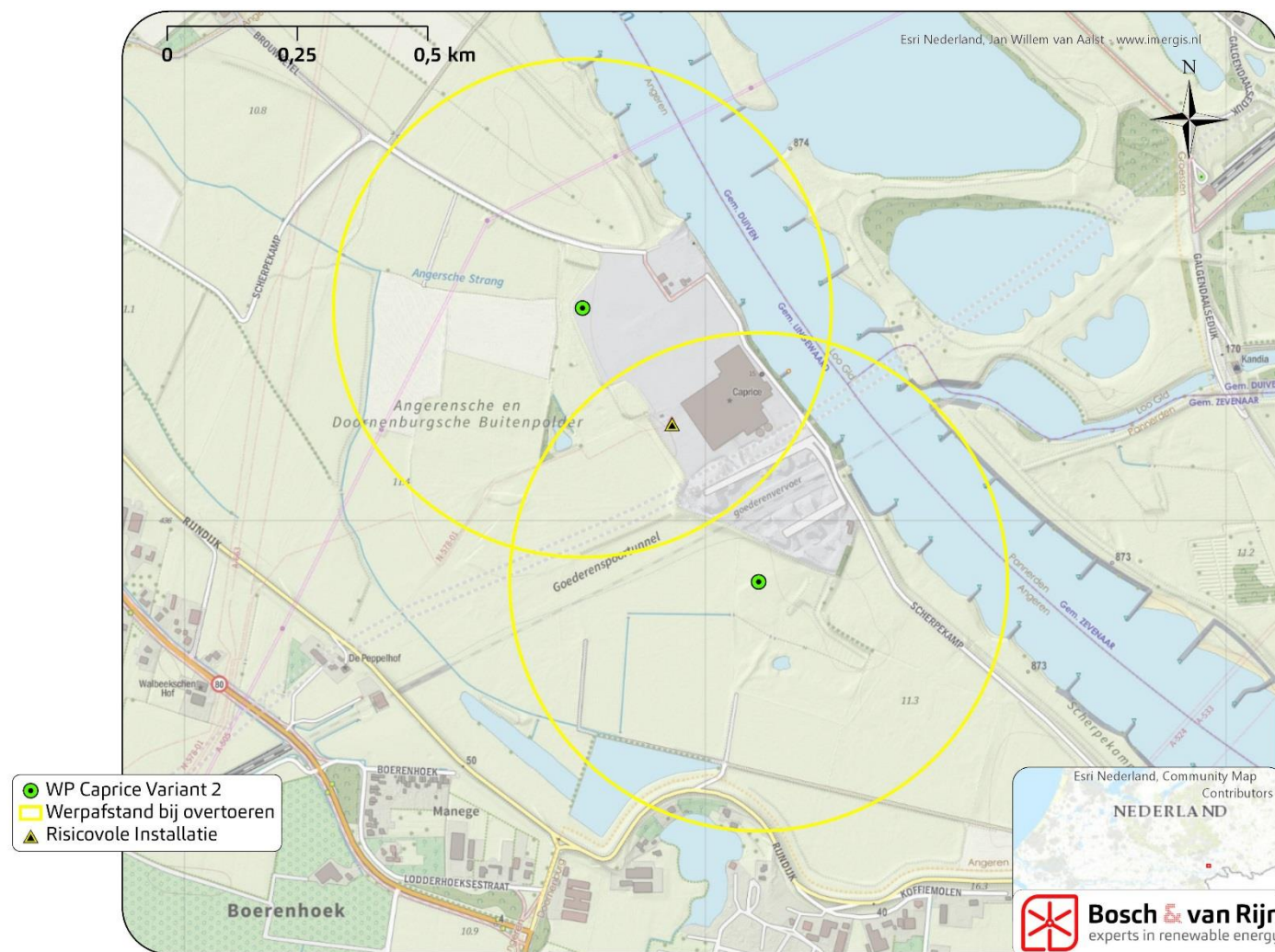
Figuur 46 Vaarwegen en de nieuwe adviesafstand RWS Variant 1



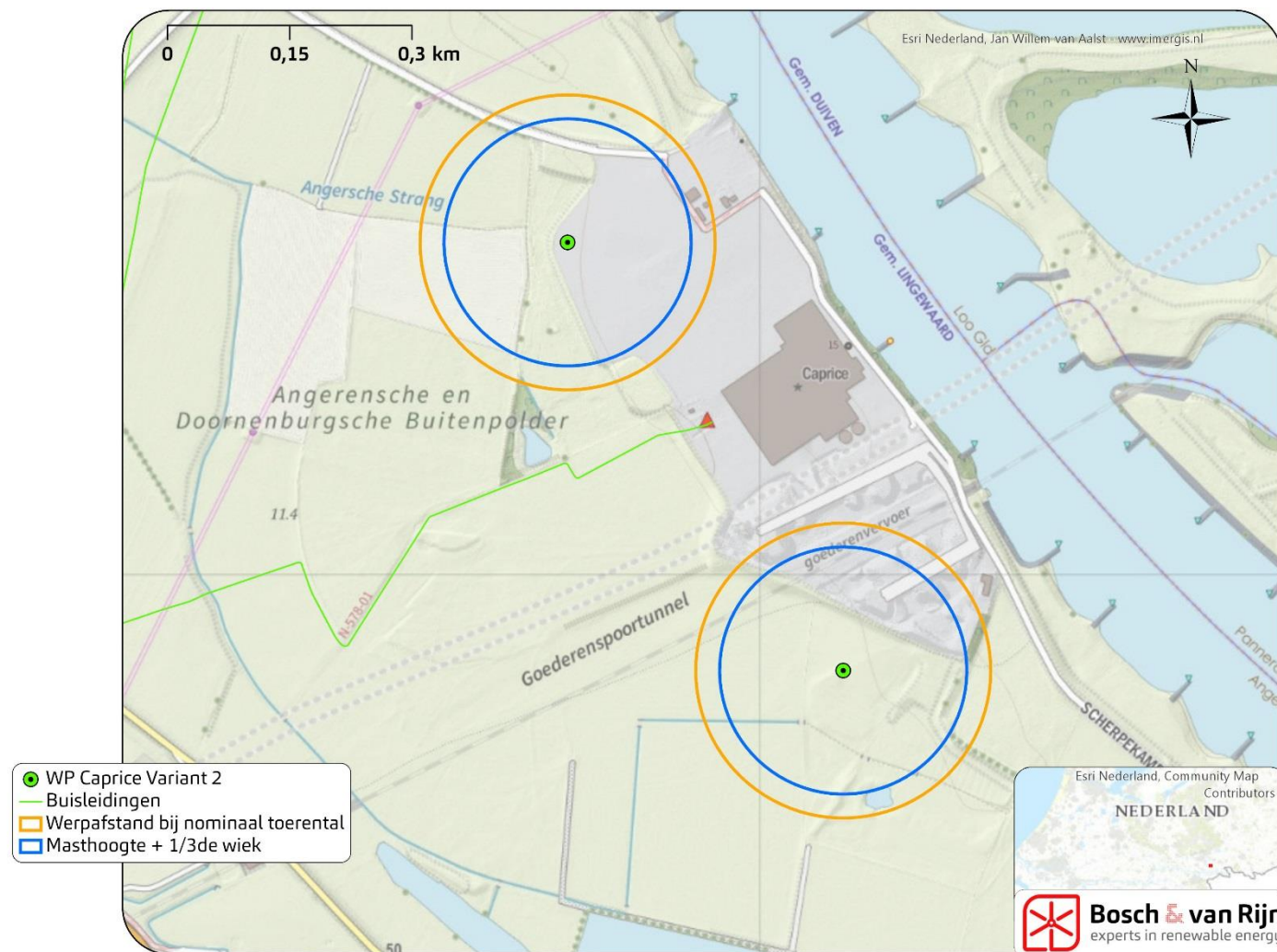
Figuur 47 Risicocontouren Variant 2



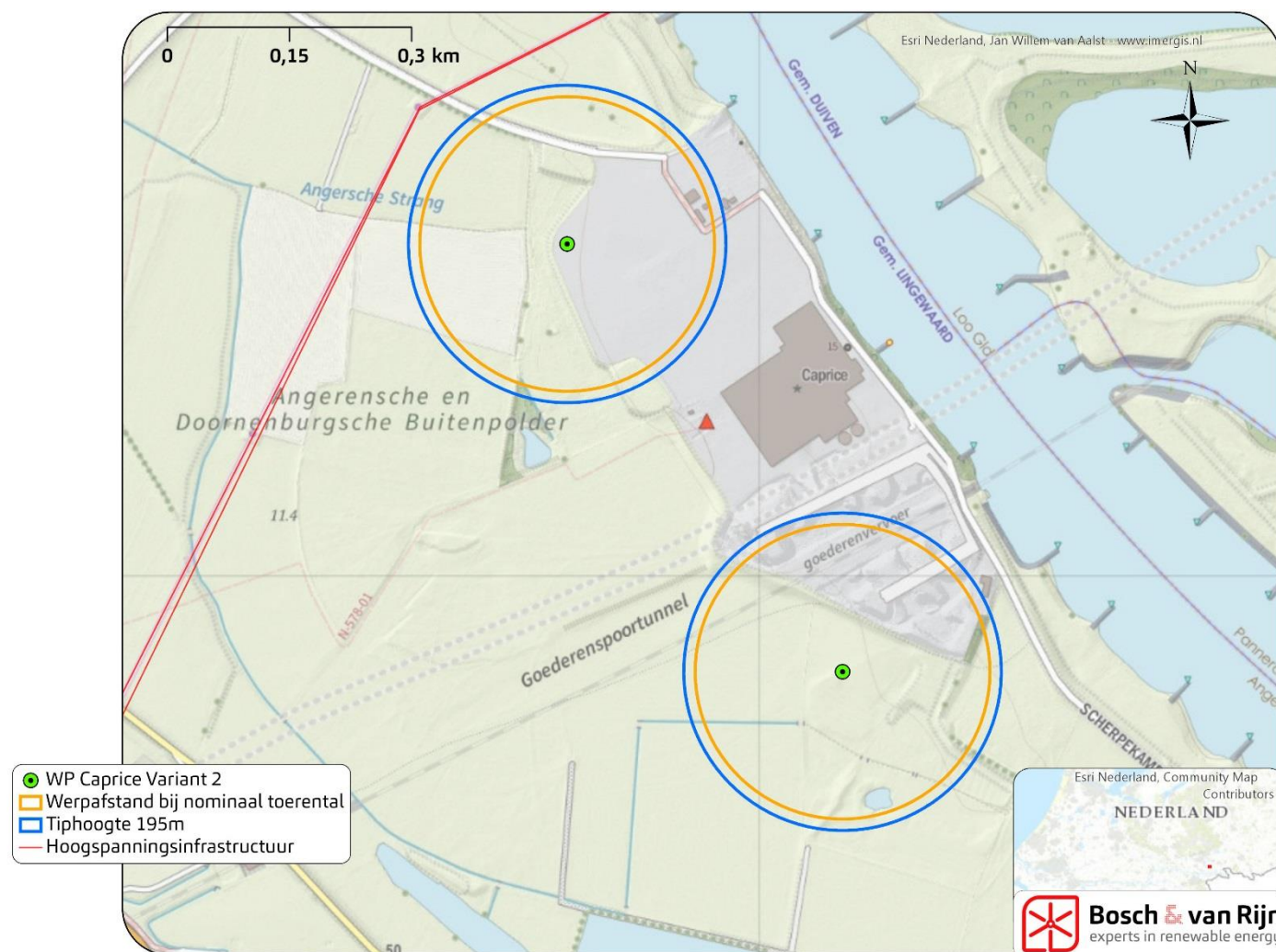
Figuur 48 **Werpafstand bij overtoeren en risicovolle installaties Variant 2**



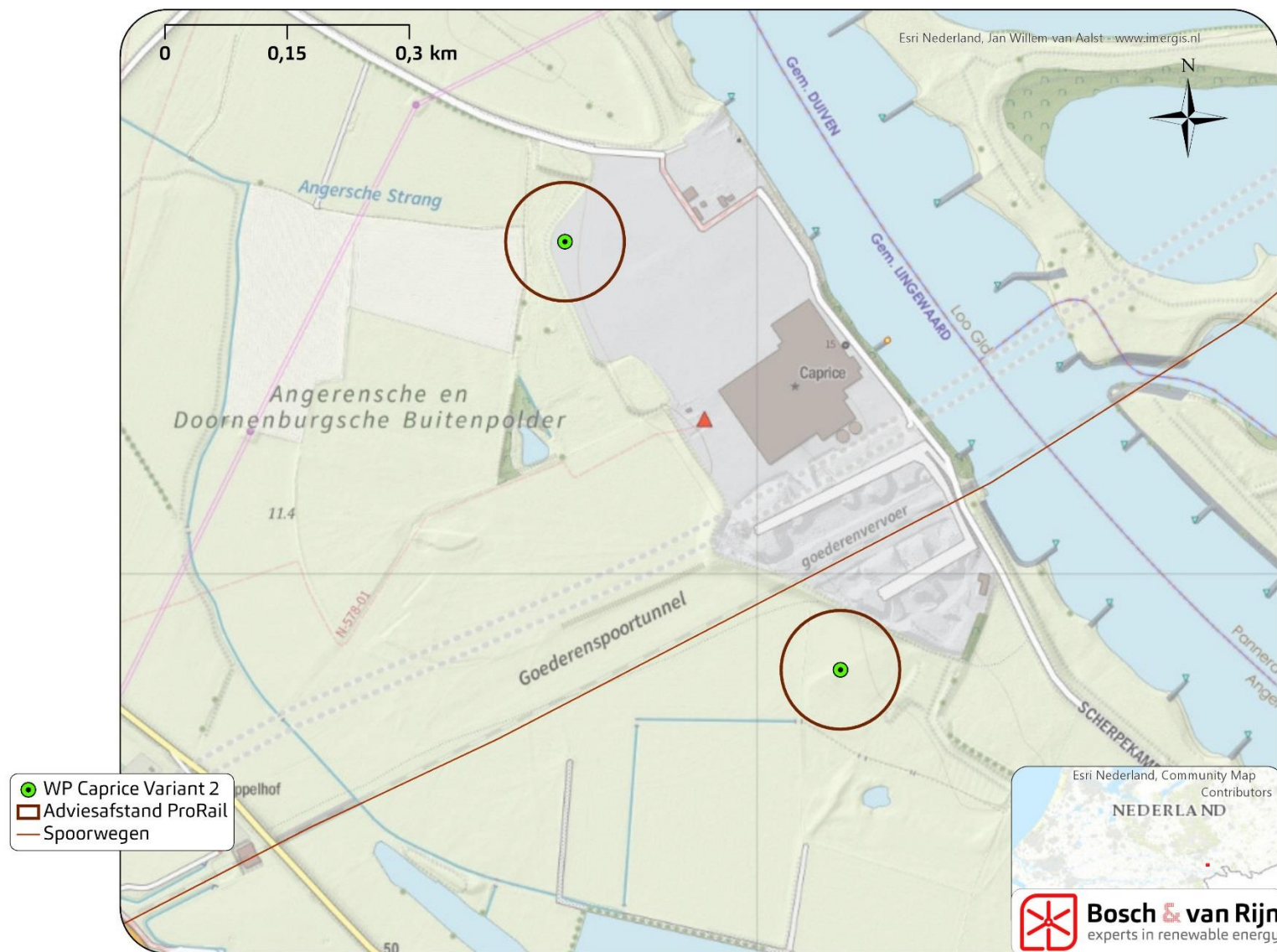
Figuur 49 Buisleidingen en adviesafstand Gasunie variant 2



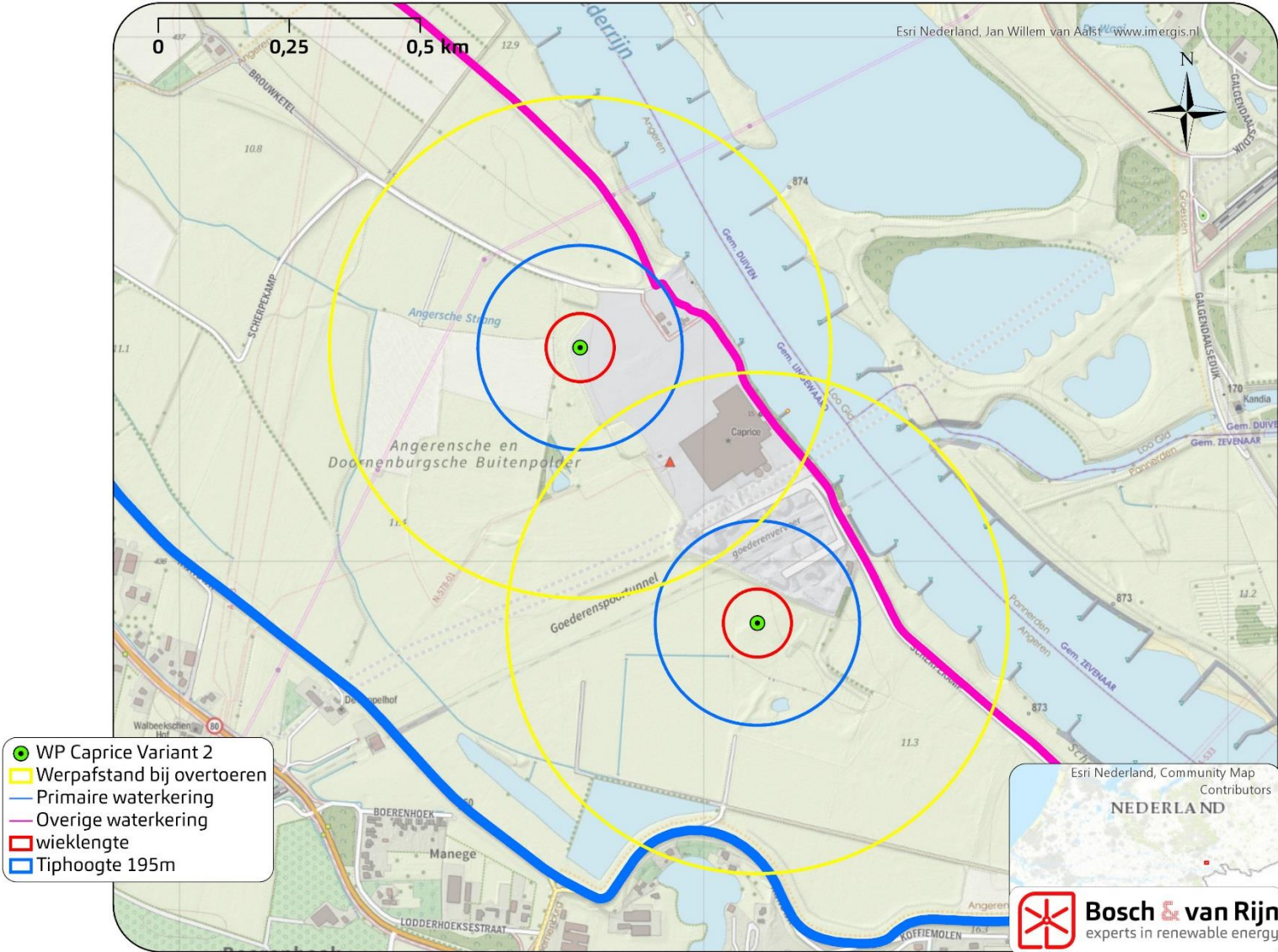
Figuur 50 Hoogspanningsinfrastructuur en adviesafstanden TenneT Variant 2



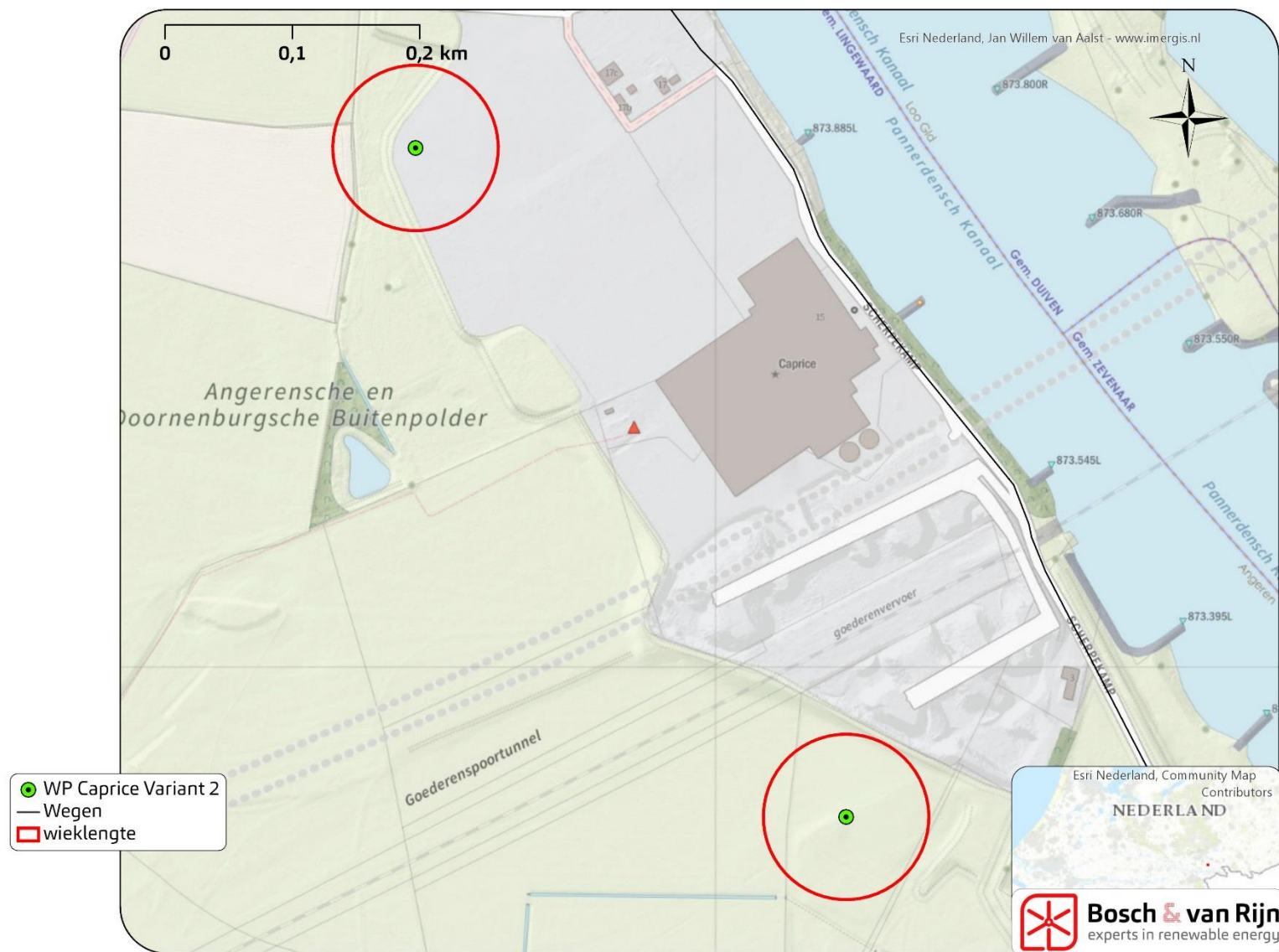
Figuur 51 Spoorwegen en adviesafstand ProRail Variant 2



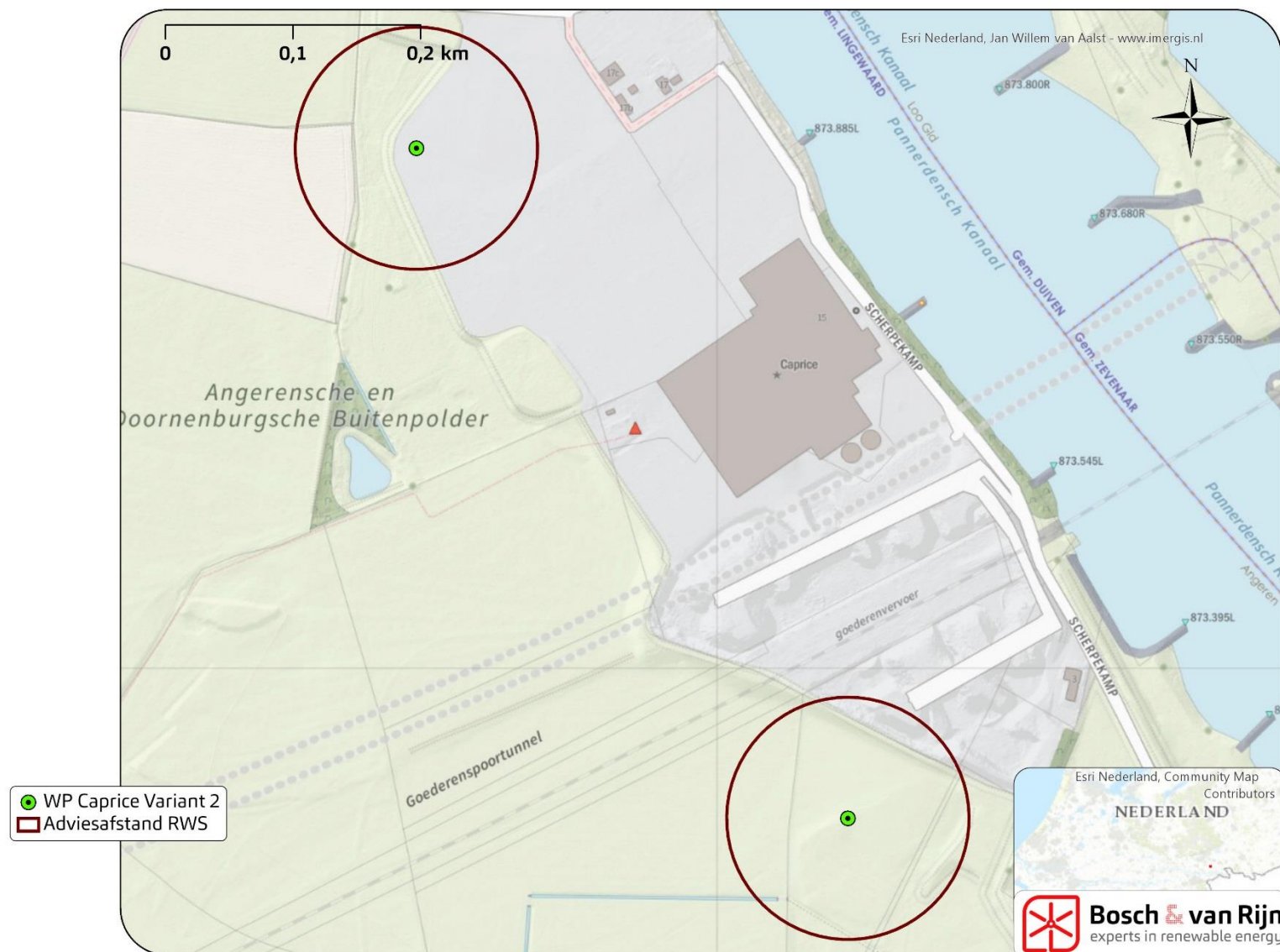
Figuur 52



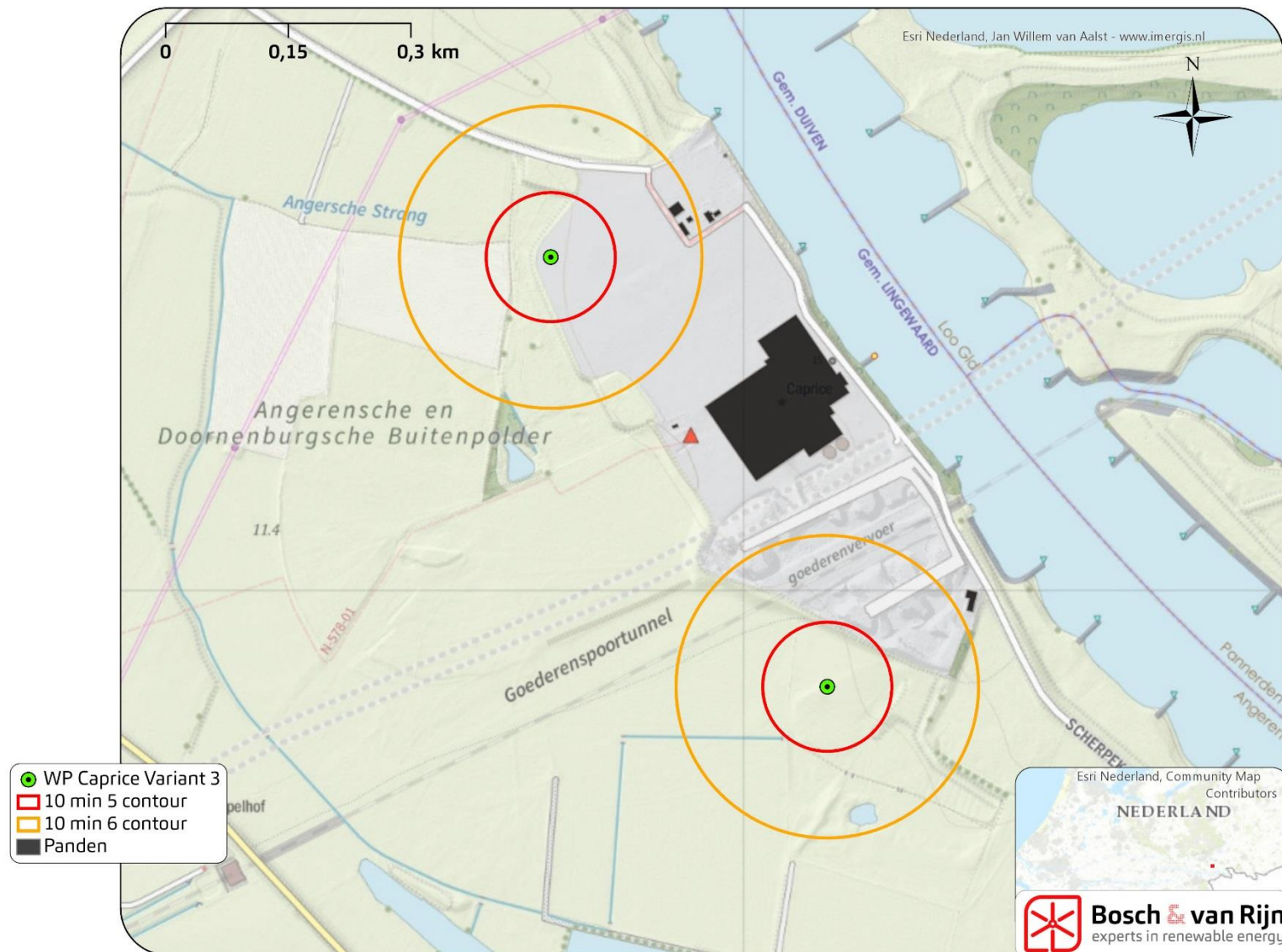
Figuur 53 Wegen en wielengte Variant 2



Figuur 54 Vaarwegen en de nieuwe adviesafstand RWS Variant 2



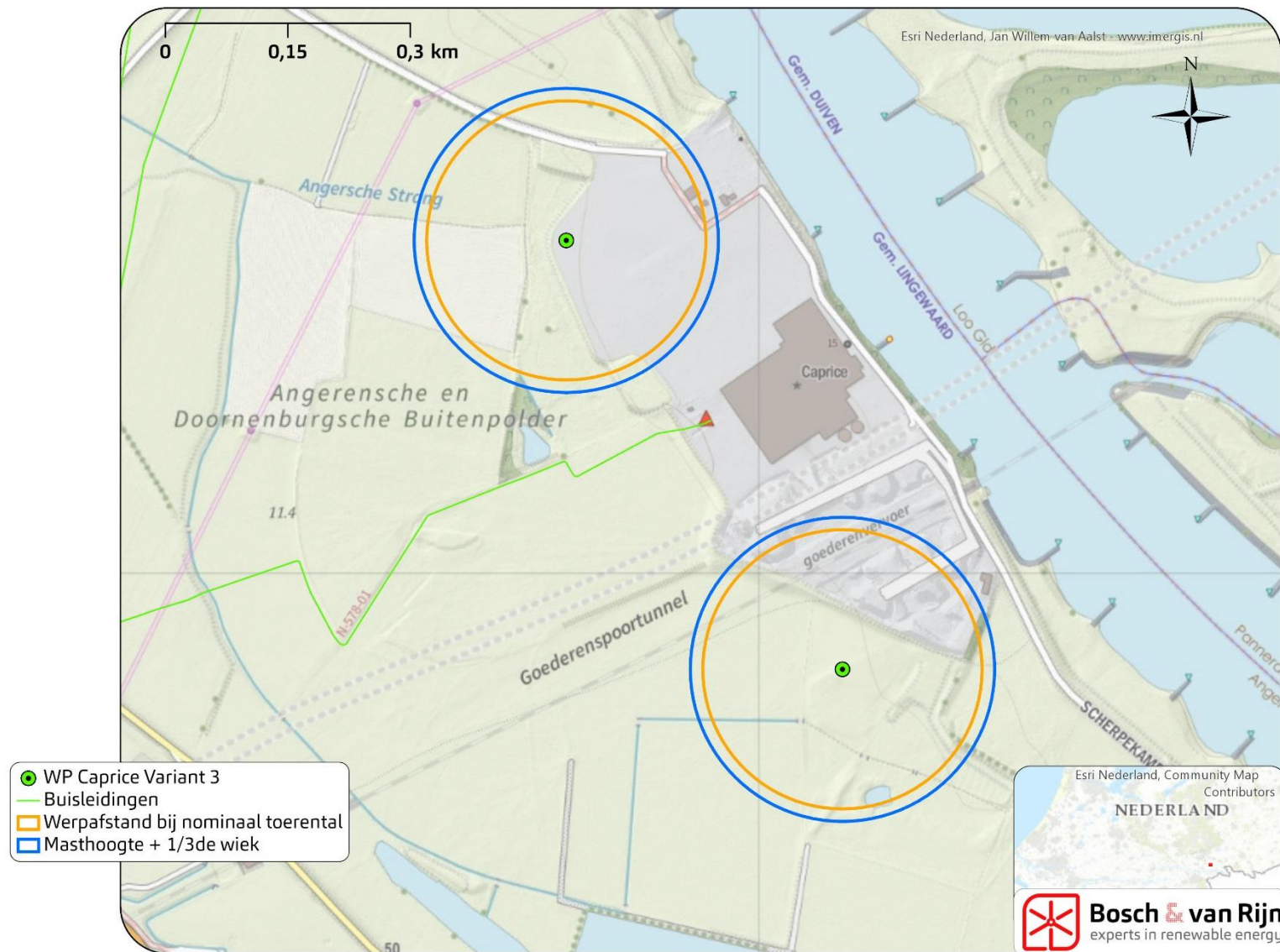
Figuur 55 Risicocontouren Variant 3



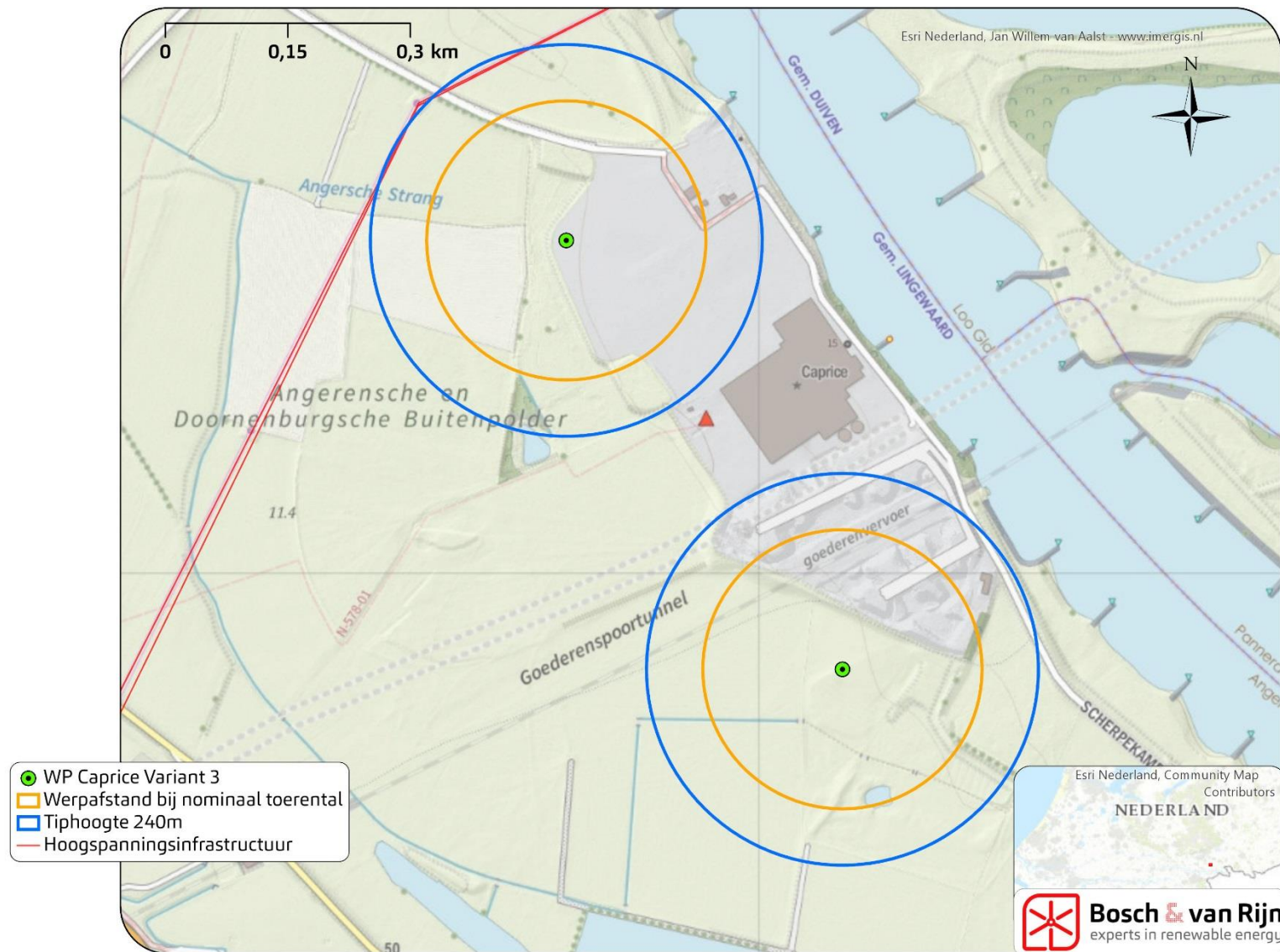
Figuur 56



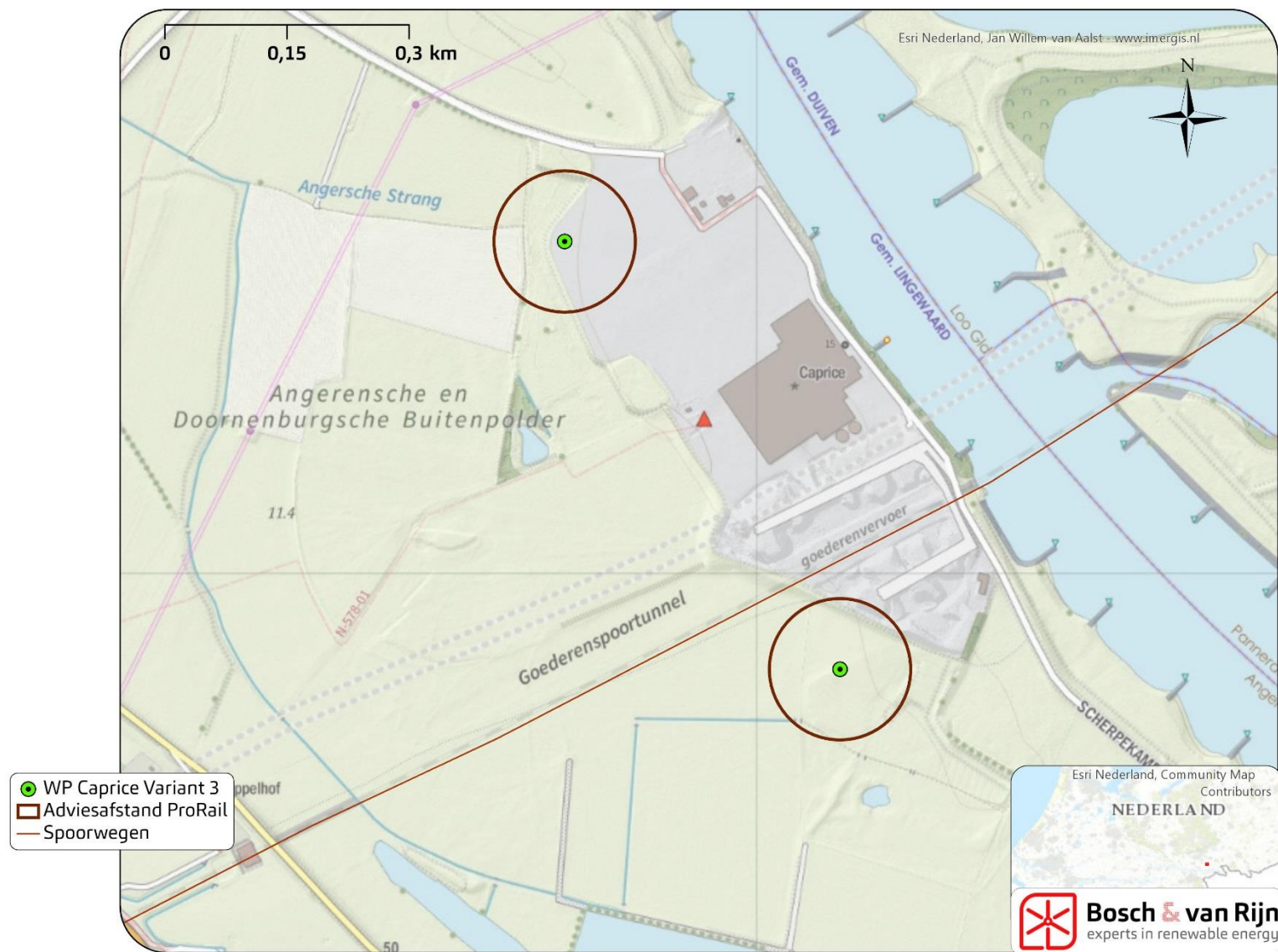
Figuur 57 Buisleidingen en adviesafstand Gasunie variant 3



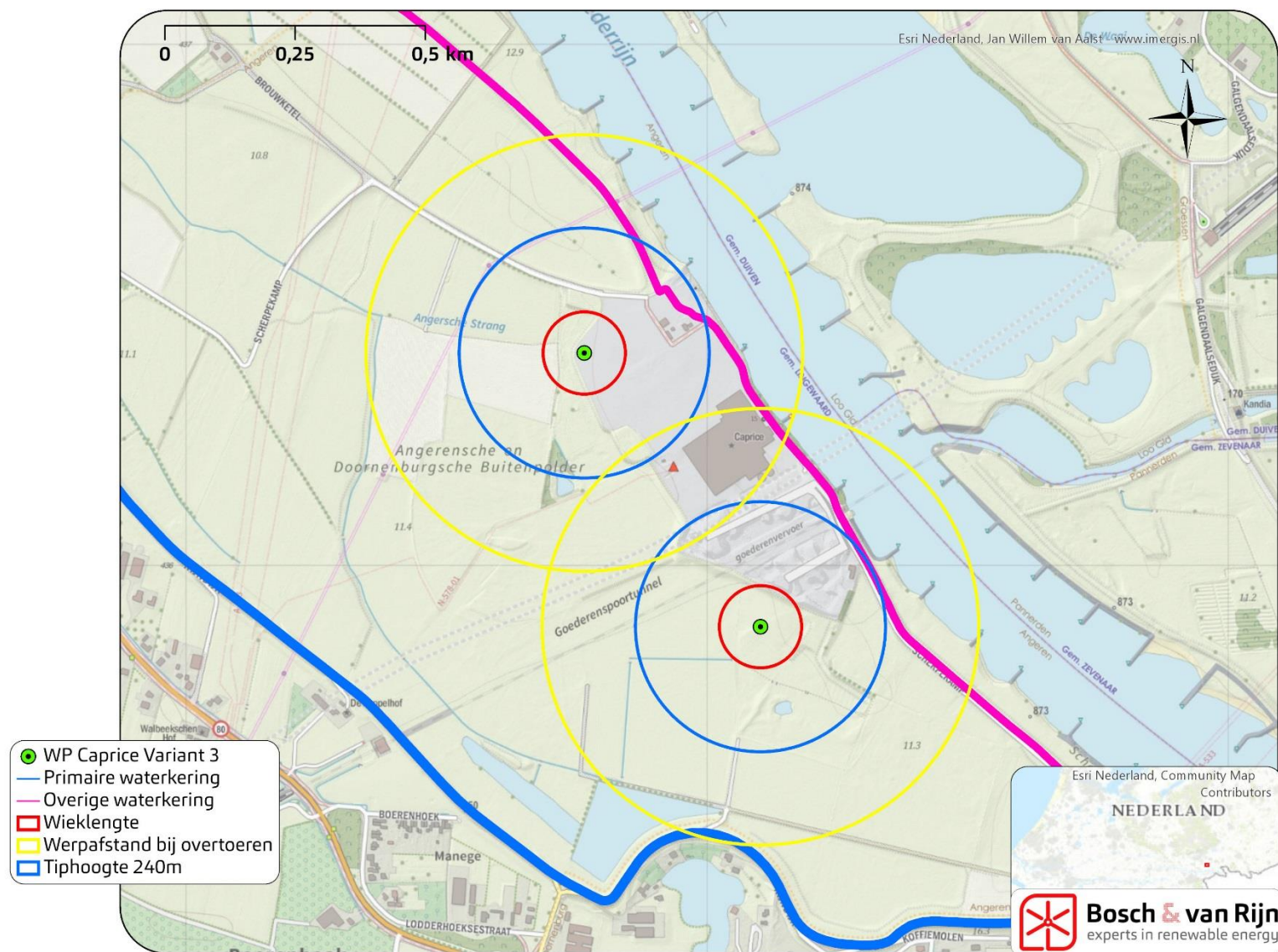
Figuur 58 Hoogspanningsinfrastructuur en adviesafstanden TenneT Variant 3



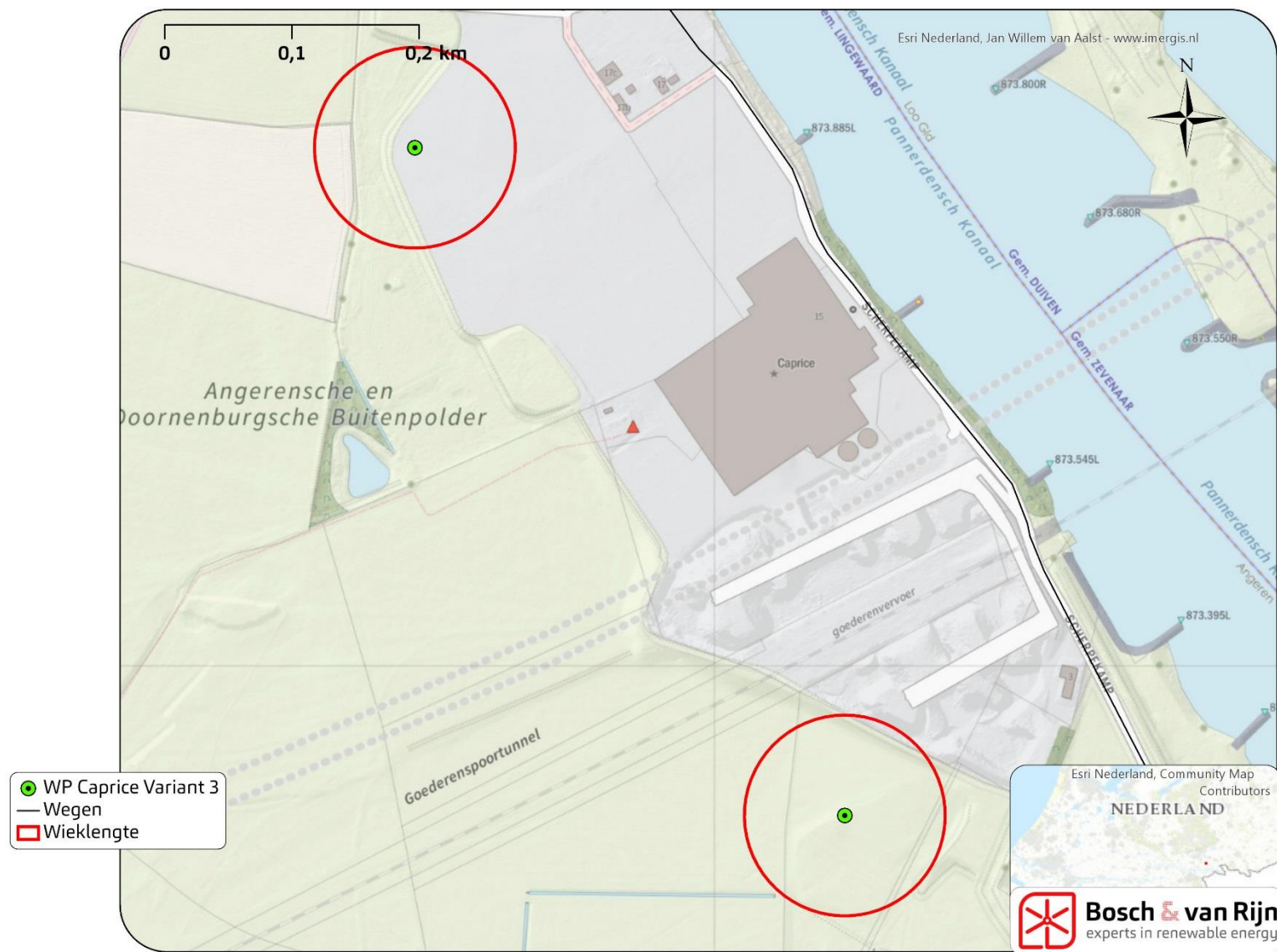
Figuur 59 Spoorwegen en adviesafstand ProRail Variant 3



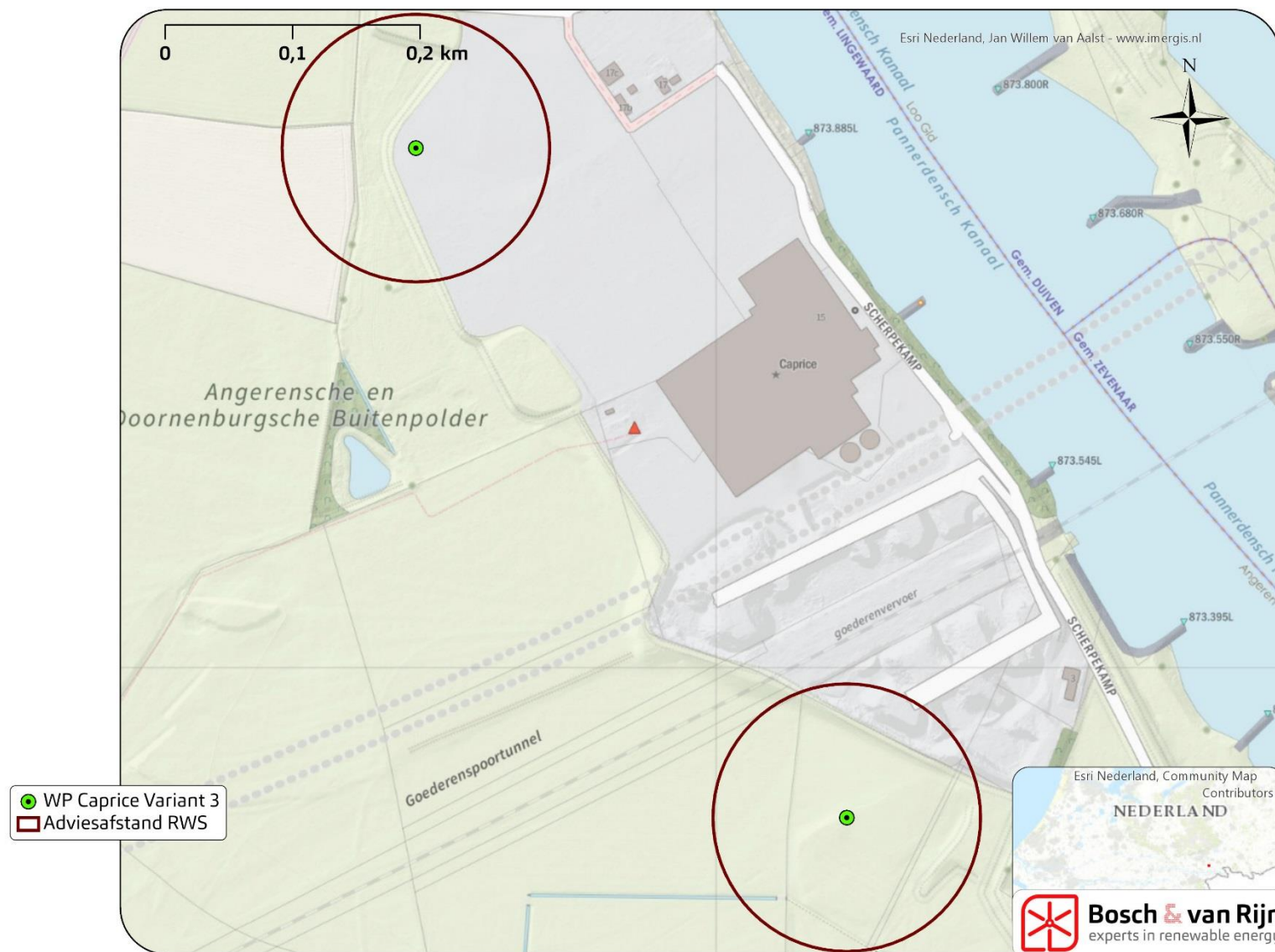
Figuur 60 Faalscenario's windturbines en waterkering Variant 3



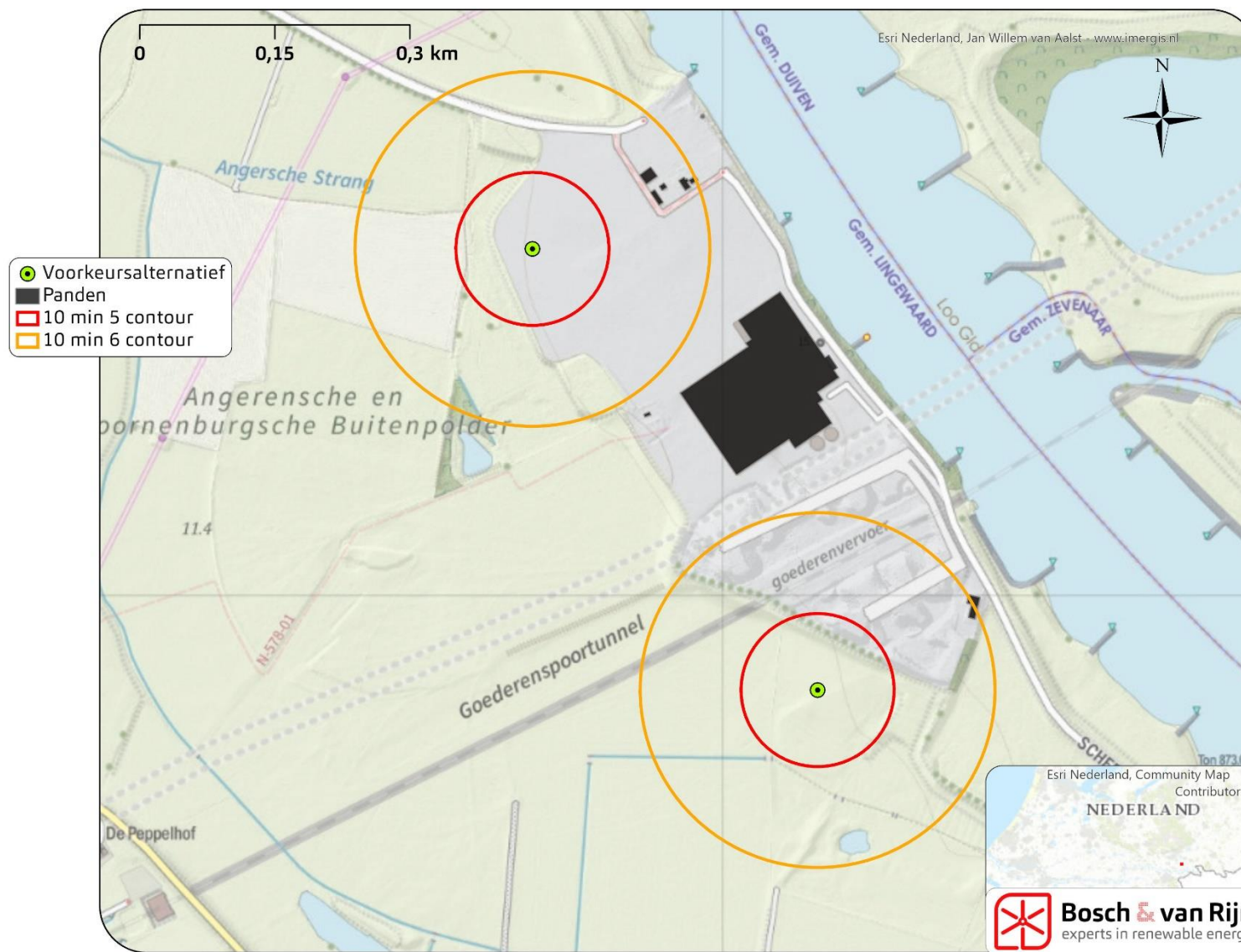
Figuur 61 Wegen en wieklenge Variant 3



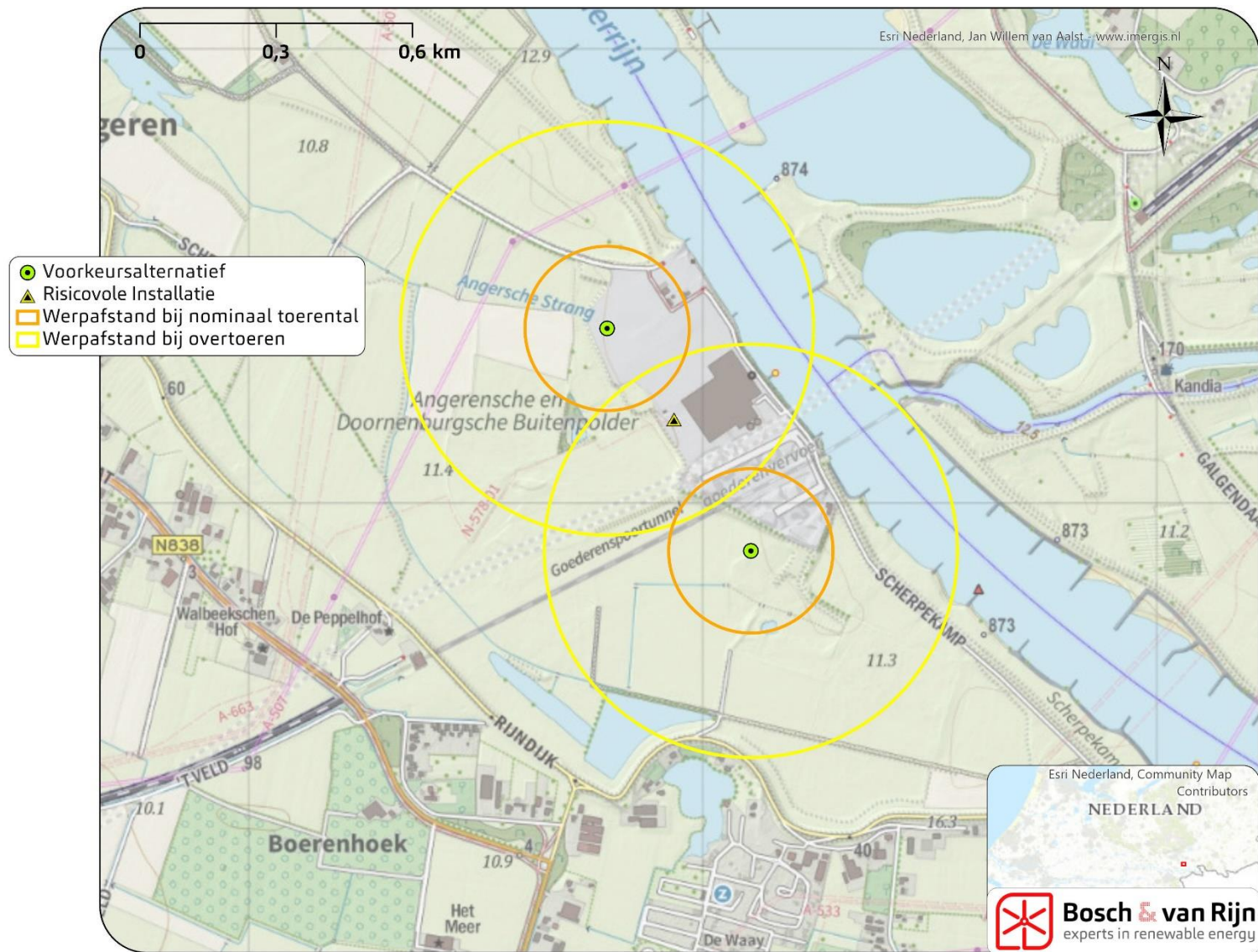
Figuur 62 Vaarwegen en de nieuwe adviesafstand RWS Variant 3



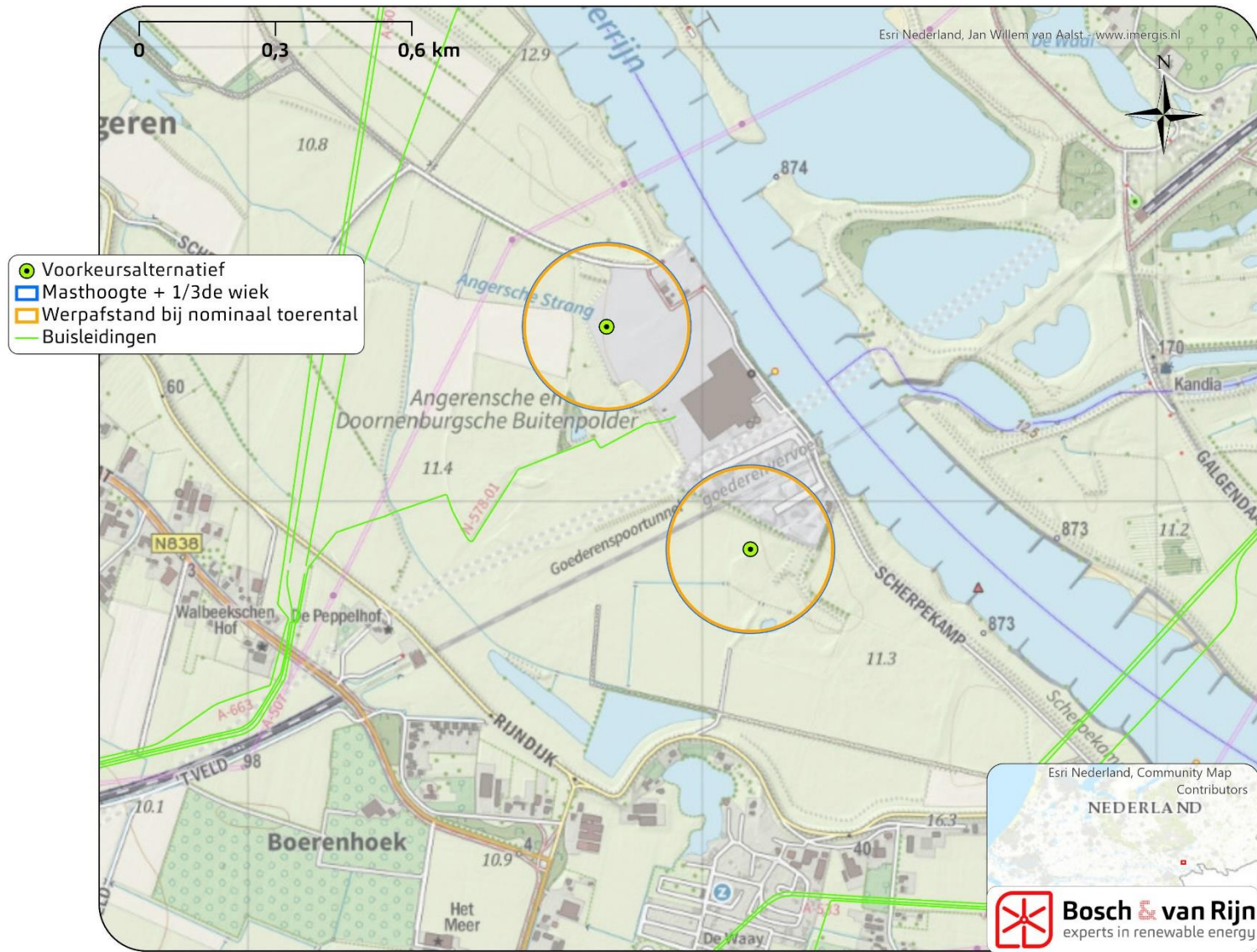
Figuur 63 Risicocontouren en bovengrens



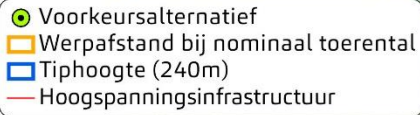
Figuur 64 Risicovolle installaties en bovengrens



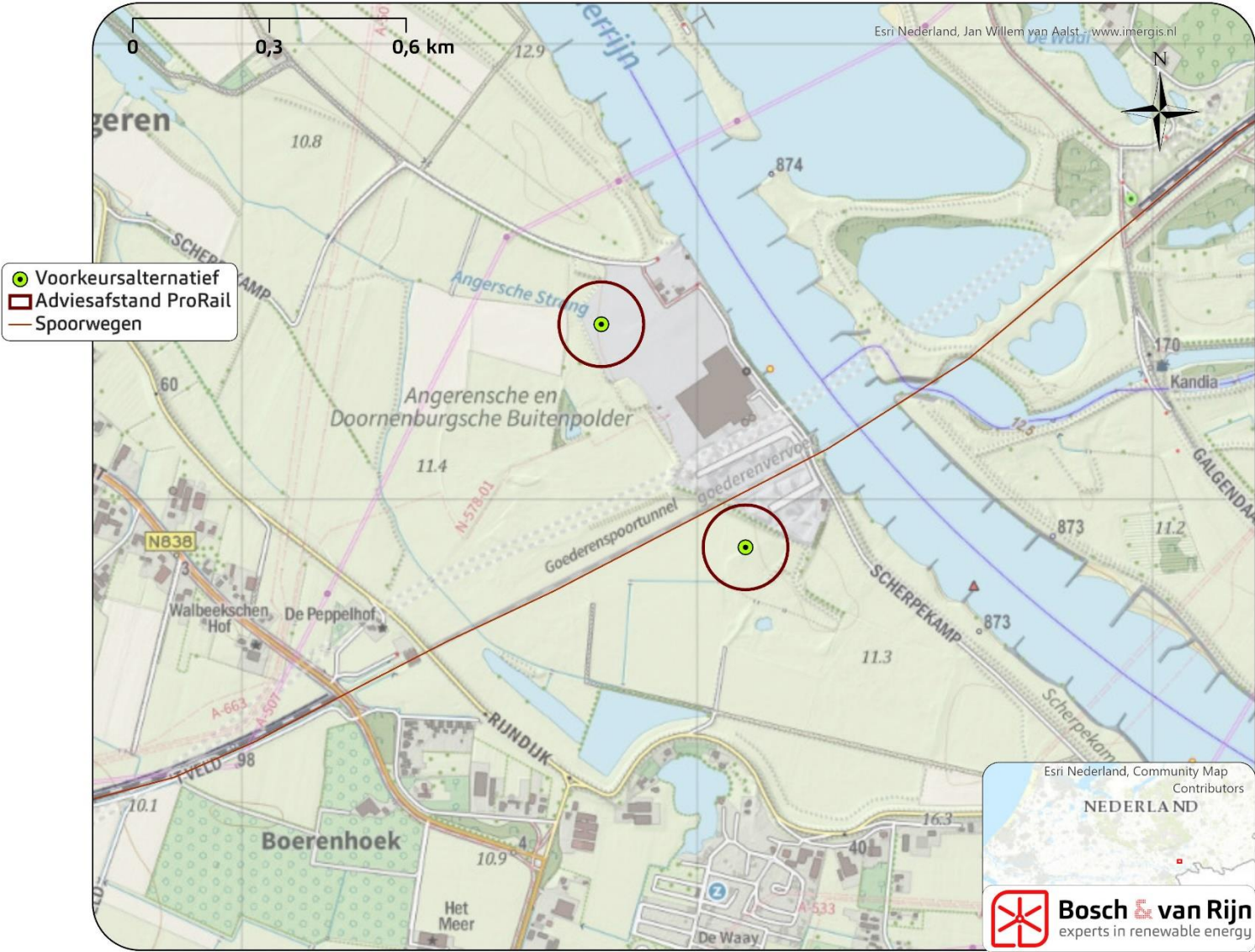
Figuur 65 Buisleidingen en bovengrens



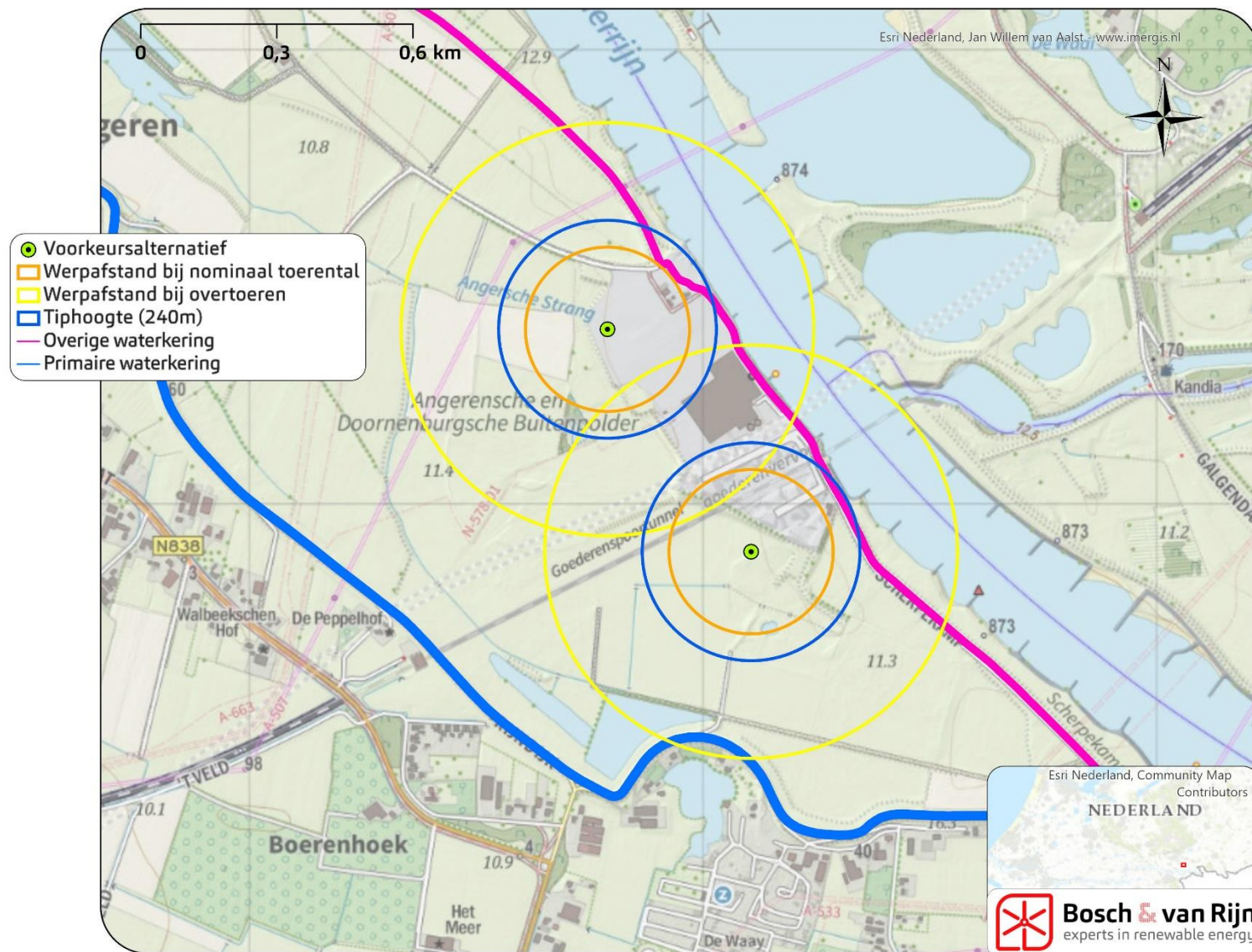
Figuur 66



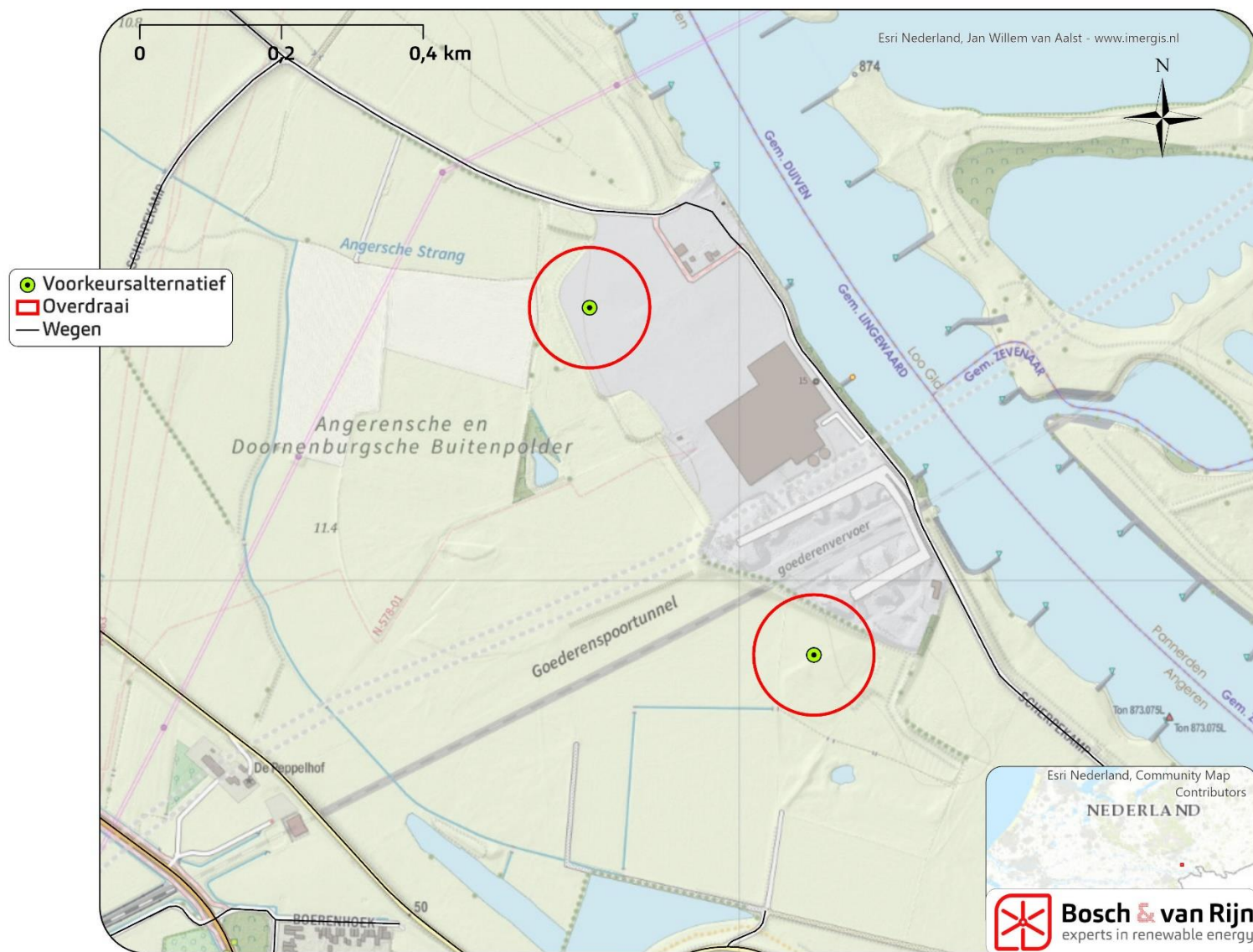
Figuur 67 Spoorwegen en bovengrens



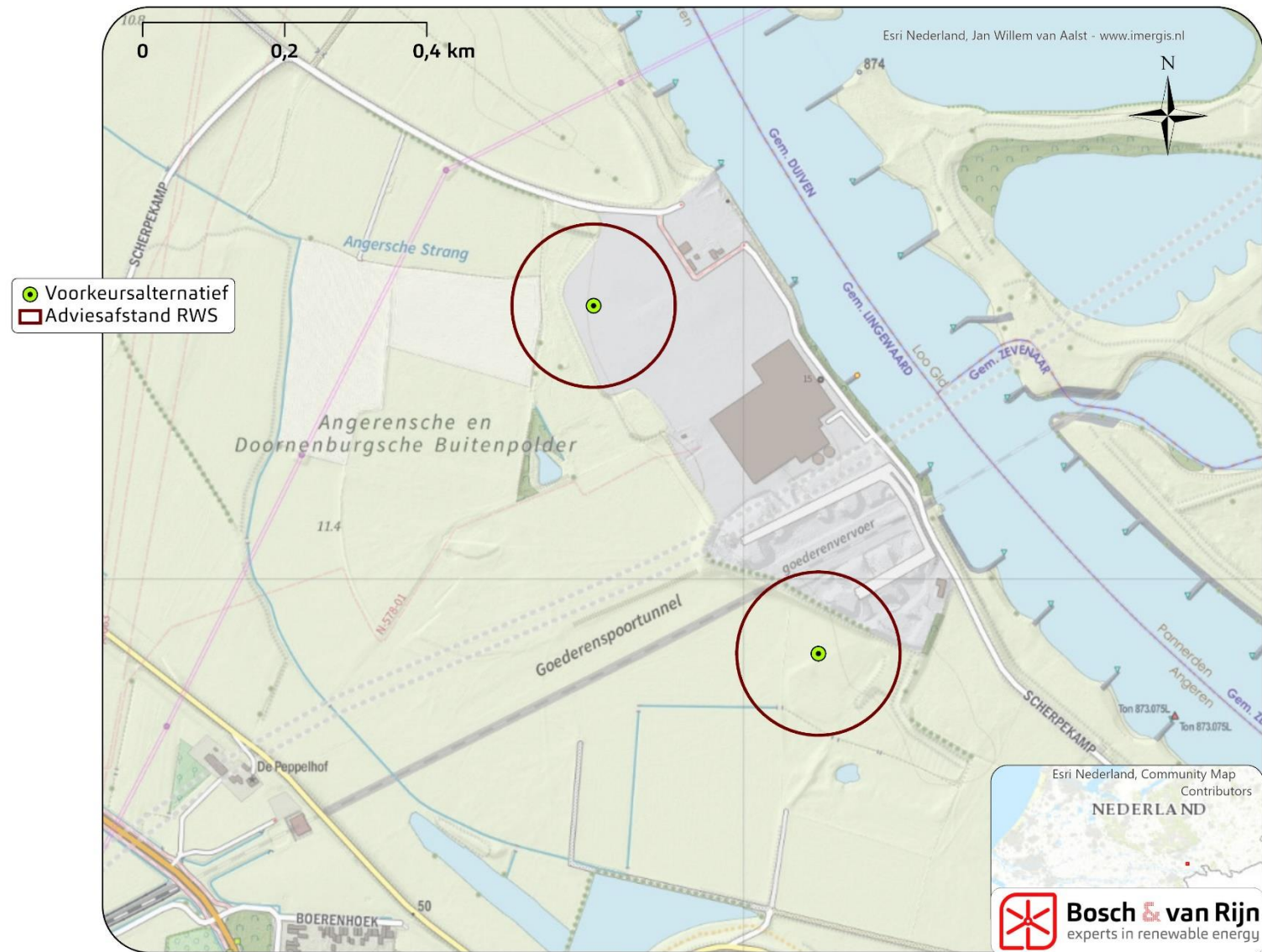
Figuur 68 Waterkering en bovengrens



Figuur 69 Wegen en bovengrens



Figuur 70 Vaarwegen en bovengrens



Bijlage C Berekening werpafstand

2.1 Ballistisch model zonder luchtkrachten

2.1.1 Bewegingsvergelijking

Dit model is in principe het klassieke kogelbaanmodel, waarbij de luchtkrachten op het blad worden verwaarloosd. De relevante parameters voor dit ballistisch model zijn:

H : hoogte rotoras [m]

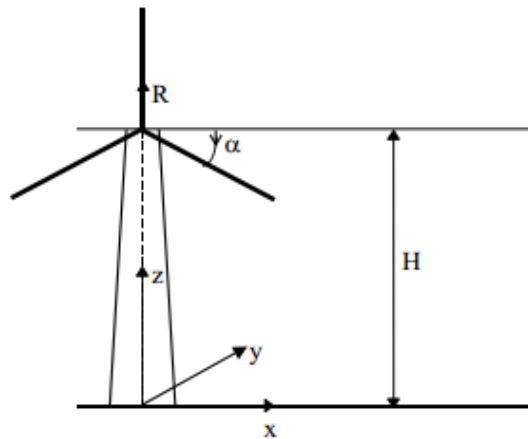
Ω : toerental van de rotor [rad/s]

R_z : afstand tot het rotor centrum van het zwaartepunt van wegvliegende deel [m]

α : azimuthhoek [rad]

g : valversnelling ($= 9,81 \text{ m/s}^2$).

Het gehanteerde assenstelsel en de draairichting wordt aangegeven in Figuur 1.



Figuur 1: Overzicht parameters in ballistisch model

De bewegingsvergelijking voor het zwaartepunt is nu

$$\ddot{x}(t) = 0, \quad \ddot{y}(t) = 0, \quad \ddot{z}(t) = -g \quad (2.1.1)$$

Met de beginvoorwaarden

$$\begin{aligned} x(0) &= R_z \cos \alpha, & y(0) &= 0, & z(0) &= H - R_z \sin \alpha, \\ \dot{x}(0) &= -\Omega R_z \sin \alpha, & \dot{y}(0) &= 0, & \dot{z}(0) &= -\Omega R_z \cos \alpha, \end{aligned} \quad (2.1.2)$$

is de positie van een wegvliegende deel op tijdstip t is gegeven door:

$$\begin{aligned} x(t) &= R_z \cos \alpha - \Omega R_z t \sin \alpha \\ y(t) &= 0 \\ z(t) &= H - R_z \sin \alpha - \Omega R_z t \cos \alpha - \frac{gt^2}{2} \end{aligned} \quad (2.1.3)$$

Het tijdstip waarop het zwaartepunt de grond raakt volgt uit $z(t_i) = 0$ en wordt gegeven door

$$t_i = -\frac{\Omega R_z \cos \alpha}{g} + \sqrt{\frac{2}{g} \left(H - R_z \sin \alpha + \frac{\Omega^2 R_z^2 \cos^2 \alpha}{2g} \right)} \quad (2.1.4)$$

Substitutie van (2.1.4) in (2.1.3) geeft voor een bepaald toerental de afgelegde afstand, r , als functie van de azimuthhoek ten tijde van bladbreuk, ofwel

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} = x = h(\alpha; \Omega) \quad (2.1.5)$$

2.1.2 Verdelingsfuncties

De kansverdelingsfunctie f_{ZWPT} geeft de kans per m^2 dat het zwaartepunt op een bepaalde plek terechtkomt gegeven bladbreuk. Bij het onderhavige model worden de luchtkrachten niet meegenomen, zodat alleen het toerental en de azimuthhoek als stochastische grootheden overblijven. Tevens geldt dat f_{ZWPT} alleen afhankelijk is van de afstand tot de windturbine. De kans dat het zwaartepunt van het blad in een cirkelschijf met breedte dr op een afstand r van de turbine terechtkomt, is gegeven door

$$\begin{aligned} f_R(r; \Omega) dr &= P\{r < R < r + dr\} \\ &= P\{h^{-1}(r; \Omega) < \alpha < h^{-1}(r + dr; \Omega)\} \\ &= F_A(h^{-1}(r + dr; \Omega)) - F_A(h^{-1}(r; \Omega)) \end{aligned} \quad (2.1.6)$$

waarbij F_A de cumulatieve verdelingsfunctie is van de azimuthhoek waarbij bladbreuk optreedt. Met de aanname dat de azimuthhoek waarbij het blad afbreekt uniform is verdeeld, ofwel

$$f_A(r) = \frac{d}{d\alpha} F_A(\alpha) = \frac{1}{2\pi}, \quad 0 \leq \alpha < 2\pi \quad (2.1.7)$$

geldt nu

$$f_R(r; \Omega) = \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dr} h^{-1}(r; \Omega) \quad (2.1.8)$$

Opm: Om de gevolgde aanpak te demonstreren is bij bovenstaande afleiding verondersteld dat de functie $h(\alpha; \Omega)$ inverteerbaar is. In het geval van bladbreuk zal dit niet zo zijn, want in het algemeen zal het zwaartepunt vanuit twee verschillende azimuthhoeken op een bepaalde plek terecht kunnen komen, via de hoge baan of via de lage baan. Bij de numerieke uitwerking zal hiermee rekening moeten worden gehouden.

De kansverdelingsfunctie van de positie waar het zwaartepunt van het blad zal inslaan is nu

$$f_{ZWPT}(x, y; \Omega) = f_{ZWPT}(r; \Omega) = \frac{1}{2\pi} f_R(r; \Omega) \quad (2.1.9)$$

Bijlage D Werpafstanden turbinetype

Lagerwey L100 100 ashoogte en 100 rotordiameter

BladeThro

Rekenmodel voor externe veiligheid van windturbines volgens het Handboek Risicozonerings

BEDIENINGSPANEEL

Databestand: .txt

Rekenmodel:
☒ Ballistisch
☐ Luchtkrach...

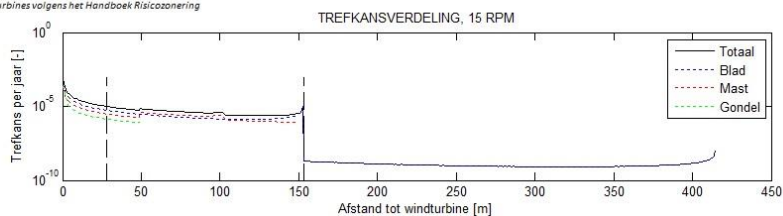
☐ Gebruik mastverstevig...

Bereken p_{zwpt} op:

m
 m

Bereken

Copyright Bosch & Van Rijn, 2014



PARAMETERS

Rotordiameter 100 m
 Ashoogte 100 m
 Wieklengte 47.5 m
 Toerental 15 RPM
 Mastdiameter 4.15 m
 Lengte gondel 6.2 m
 Hoogte gondel 4.3 m
 Zwaartepunt rotorblad 18 m
 Solidity 0.05 -
 Kritiek bladoppervlak 133 m²
 Massa blad - kg
 Windsnelheid - m/s

RESULTATEN

Risicocontouren
 10-5 28 m
 10-6 153 m
 Werpafstanden
 Gegeven 153 m
 Overtoeren 415 m
 p_{zwpt}
 Afstand
 Waard
 Afstand
 Waard

Siemens SWT 3.3-130 130 ashoogte en 130 rotordiameter

BladeThro

Rekenmodel voor externe veiligheid van windturbines volgens het Handboek Risicozonerings

BEDIENINGSPANEEL

Databestand: .txt

Rekenmodel:
☒ Ballistisch
☐ Luchtkrach...

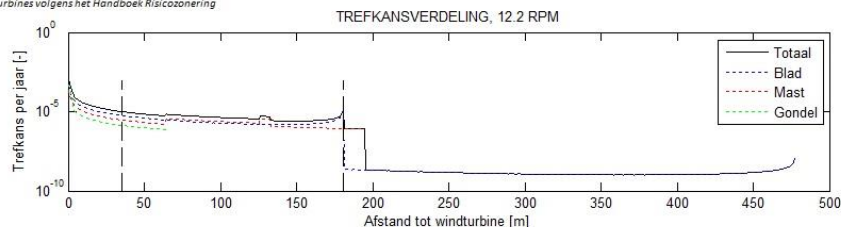
☐ Gebruik mastverstevig...

Bereken p_{zwpt} op:

m
 m

Bereken

Copyright Bosch & Van Rijn, 2014



PARAMETERS

Rotordiameter 130 m
 Ashoogte 130 m
 Wieklengte 63 m
 Toerental 12.2 RPM
 Mastdiameter 5 m
 Lengte gondel 15 m
 Hoogte gondel 5 m
 Zwaartepunt rotorblad 23.4 m
 Solidity 0.05 -
 Kritiek bladoppervlak 213.81 m²
 Massa blad - kg
 Windsnelheid - m/s

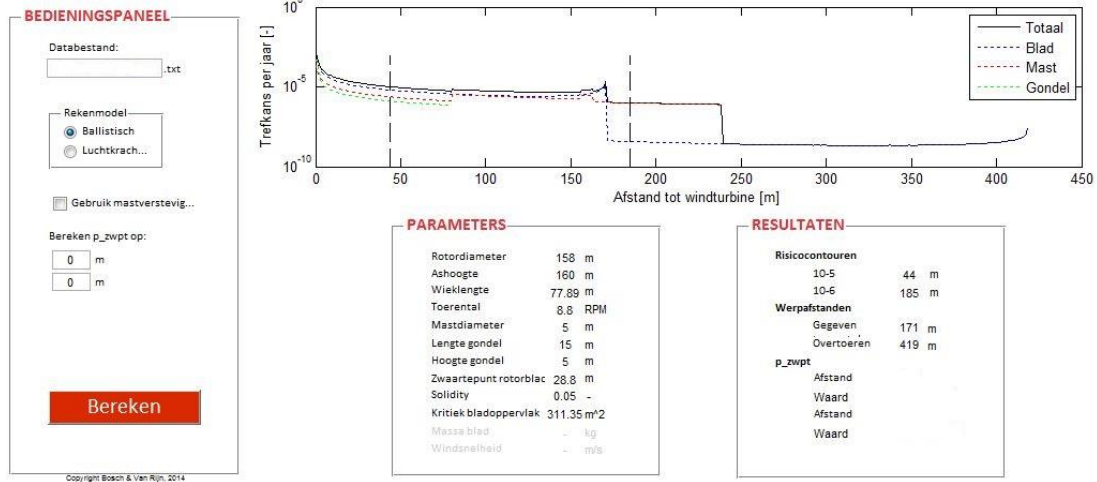
RESULTATEN

Risicocontouren
 10-5 35 m
 10-6 181 m
 Werpafstanden
 Gegeven 181 m
 Overtoeren 478 m
 p_{zwpt}
 Afstand
 Waard
 Afstand
 Waard

GEWIND G158 160 ashoogte en 158 rotordiameter

BladeThro

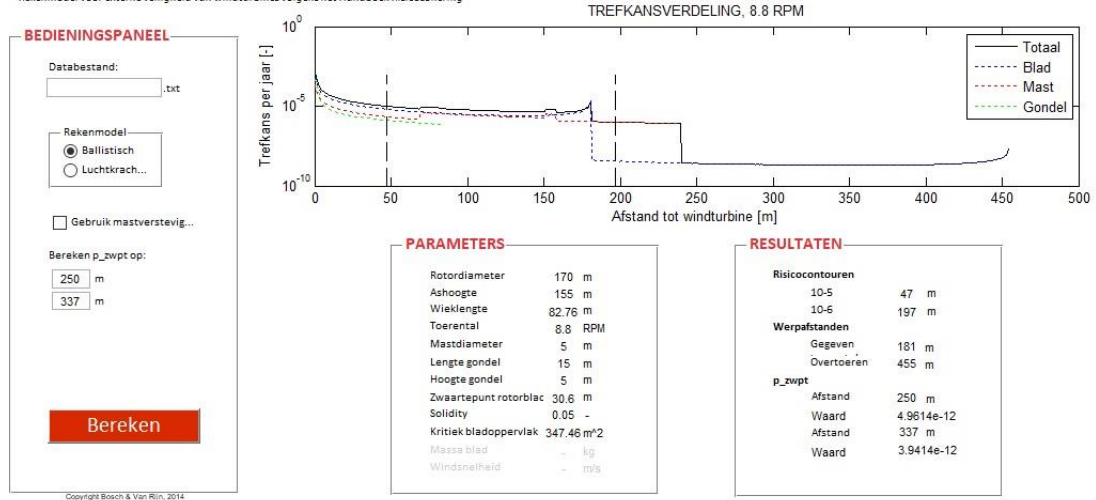
Rekenmodel voor externe veiligheid van windturbines volgens het Handboek Risicozonering



Referentiewindturbine 155 meter ashoogte en 170 meter rotordiameter

BladeThro

Rekenmodel voor externe veiligheid van windturbines volgens het Handboek Risicozonering



Bijlage E (beperkt) Kwetsbare objecten

Kwetsbare objecten

- a) woningen, woonschepen en woonwagens, niet zijnde woningen, woonschepen of woonwagens als bedoeld in onderdeel b, onder a;
- b) gebouwen bestemd voor het verblijf, al dan niet gedurende een gedeelte van de dag, van minderjarigen, ouderen, zieken of gehandicapten, zoals:
 - 1. ziekenhuizen, bejaardenhuizen en verpleeghuizen;
 - 2. scholen, of
 - 3. gebouwen of gedeelten daarvan, bestemd voor dagopvang van minderjarigen;
- c) gebouwen waarin doorgaans grote aantallen personen gedurende een groot gedeelte van de dag aanwezig zijn, waartoe in ieder geval behoren:
 - 1. kantoorgebouwen en hotels met een bruto vloeroppervlak van meer dan 1500 m² per object, of
 - 2. complexen waarin meer dan 5 winkels zijn gevestigd en waarvan het gezamenlijk bruto vloeroppervlak meer dan 1000 m² bedraagt en winkels met een totaal bruto vloeroppervlak van meer dan 2000 m² per winkel, voorzover in die complexen of in die winkels een supermarkt, hypermarkt of warenhuis is gevestigd, en
- d) kampeer- en andere recreatieterreinen bestemd voor het verblijf van meer dan 50 personen gedurende meerdere aaneengesloten dagen;

Beperkt kwetsbare objecten

- a) 1°.verspreid liggende woningen, woonschepen en woonwagens van derden met een dichtheid van maximaal twee woningen, woonschepen of woonwagens per hectare, en
2°.dienst- en bedrijfswoningen van derden;
- b) kantoorgebouwen, voorzover zij niet onder kwetsbare objecten, onder c, vallen;
- c) hotels en restaurants, voorzover zij niet kwetsbare objecten, onder c, vallen;
- d) winkels, voorzover zij niet onder kwetsbare objecten, onder c, vallen;
- e) sporthallen, sportterreinen, zwembaden en speeltuinen;
- f) kampeertreinen en andere terreinen bestemd voor recreatieve doeleinden, voorzover zij niet onder kwetsbare objecten, onder d, vallen;
- g) bedrijfsgebouwen, voorzover zij niet onder kwetsbare objecten, onder c, vallen;
- h) objecten die met de onder a tot en met e en g genoemde gelijkgesteld kunnen worden uit hoofde van de gemiddelde tijd per dag gedurende welke personen daar verblijven, het aantal personen dat daarin doorgaans aanwezig is en de mogelijkheden voor zelfredzaamheid bij een ongeval, voorzover die objecten geen kwetsbare objecten zijn, en;
- i) objecten met een hoge infrastructurele waarde, zoals een telefoon- of elektriciteitscentrale of een gebouw met vluchtleiding apparatuur, voorzover die objecten wegens de aard van de gevaarlijke stoffen die bij een ongeval kunnen vrijkomen, bescherming verdienen tegen de gevolgen van dat ongeval;



Groenmarktstraat 56
3521 AV Utrecht
www.boschenvanrijn.nl

© Bosch & Van Rijn

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.