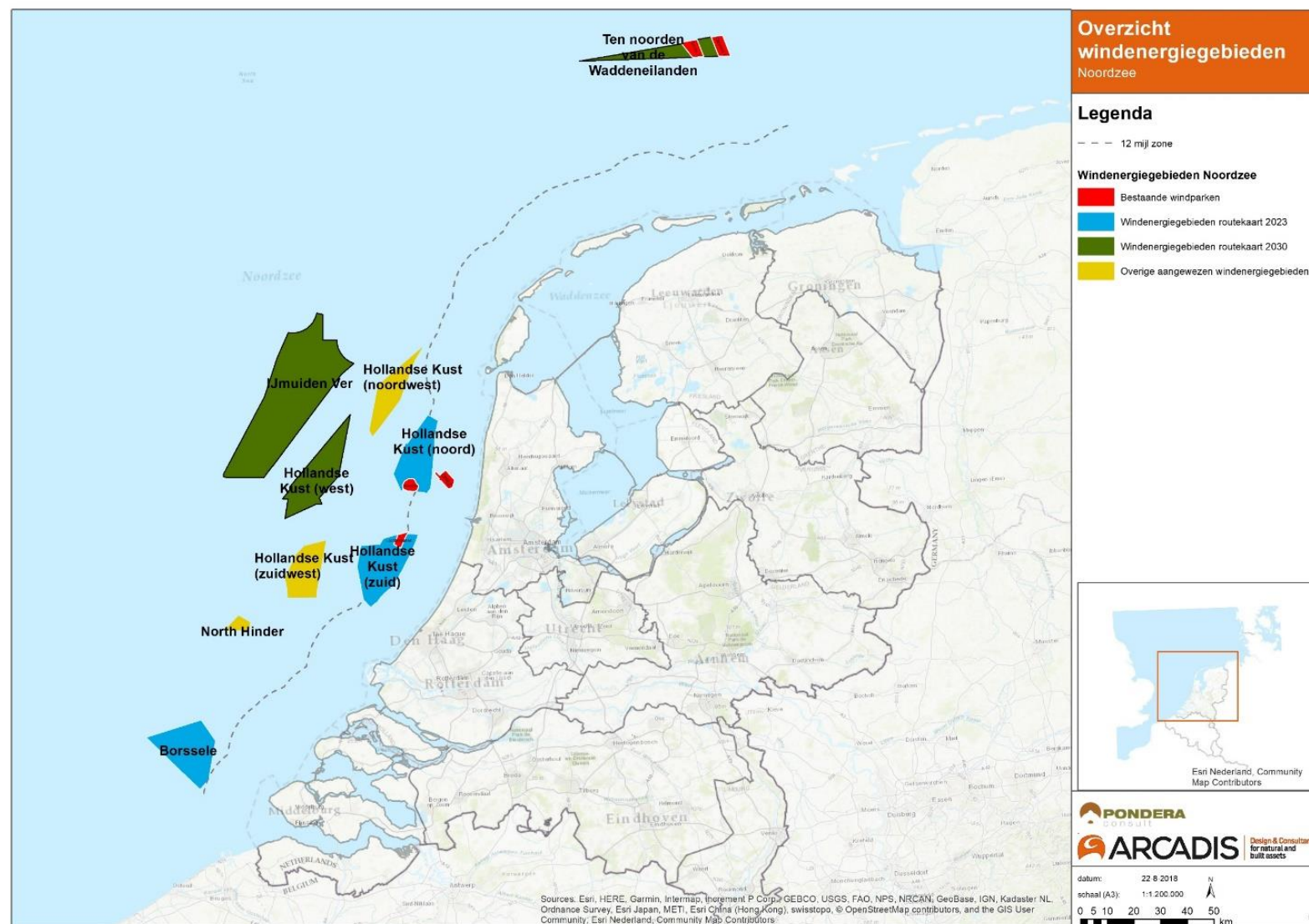
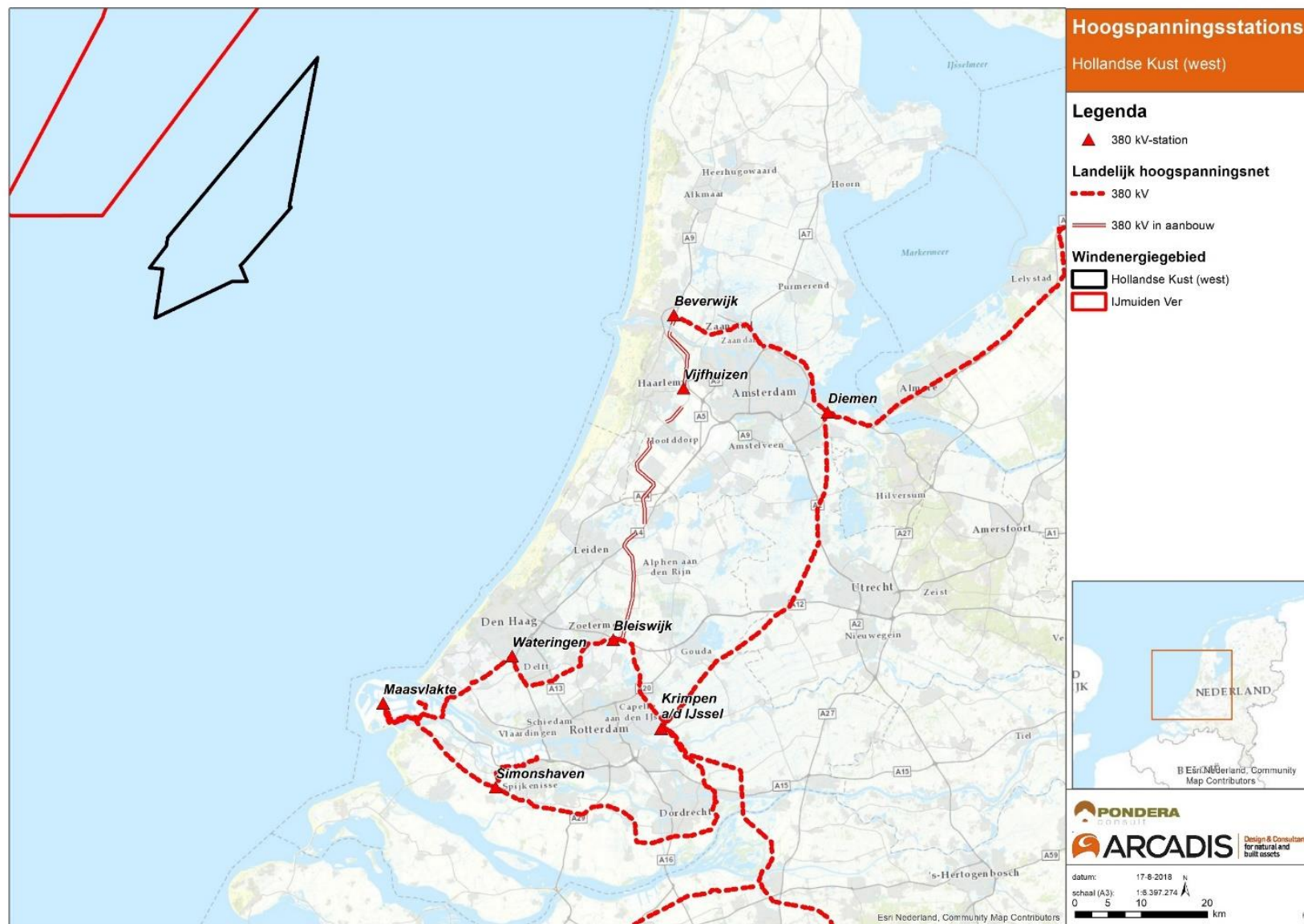


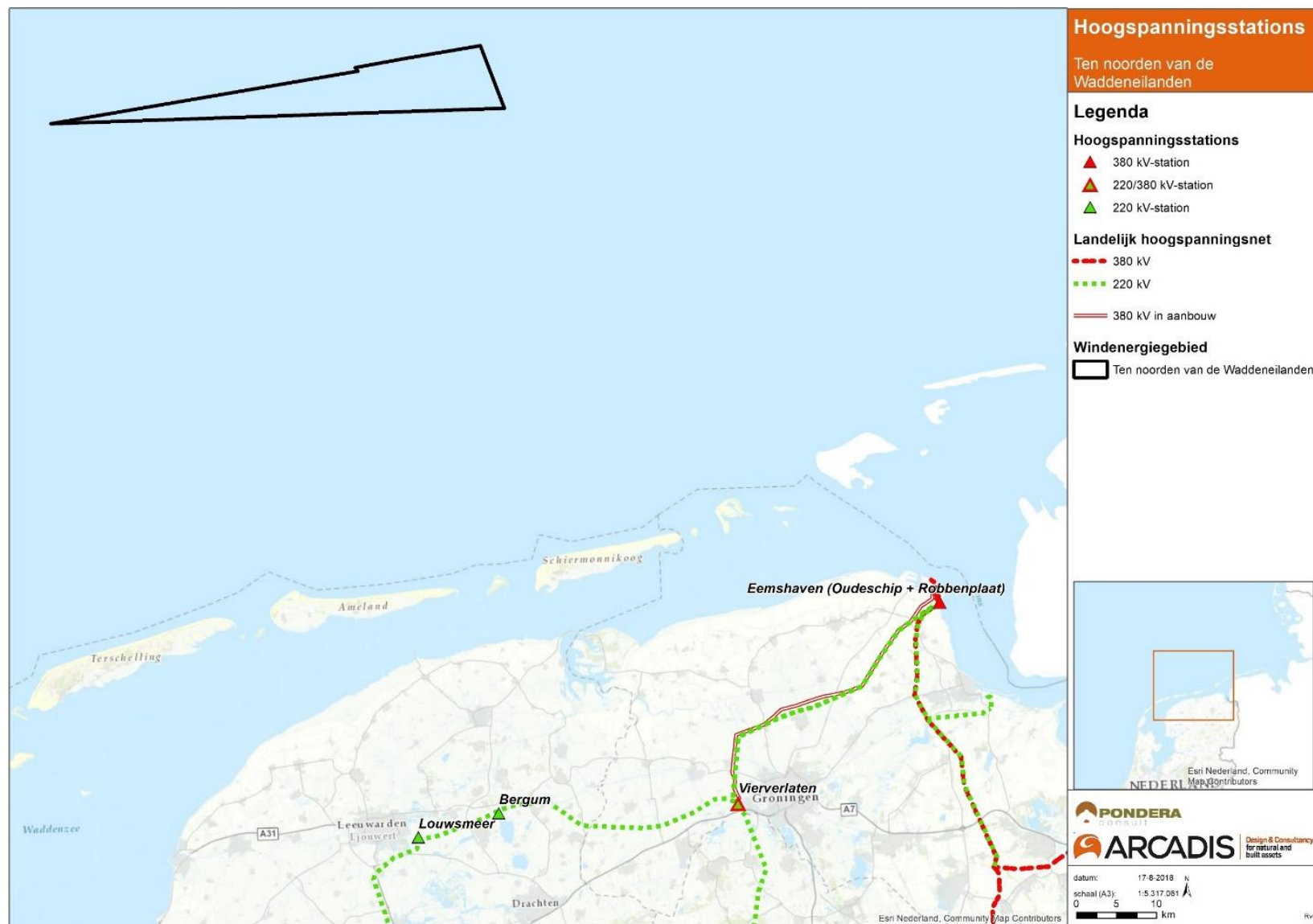
BIJLAGE A KAARTEN



Figuur 1-1 Kaart met bestaande windparken (in rood), windenergiegebieden van de routekaart 2023 (in blauw), windenergiegebieden van de routekaart 2030 (in groen) en overige al aangewezen windenergiegebieden (in geel).



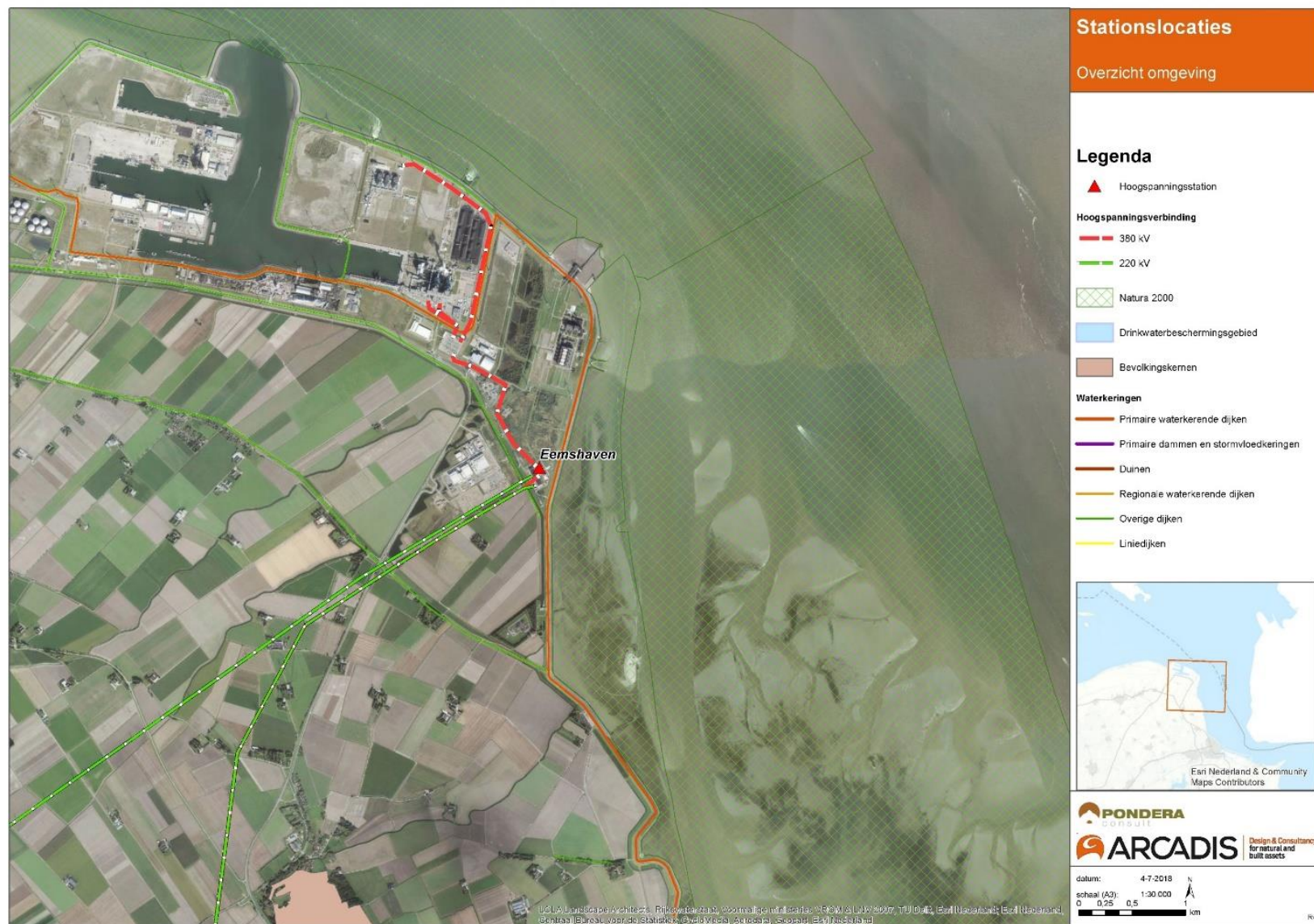
Figuur 2-2 Hoogspanningsstations binnen 100 km van Hollandse Kust (west Beta).



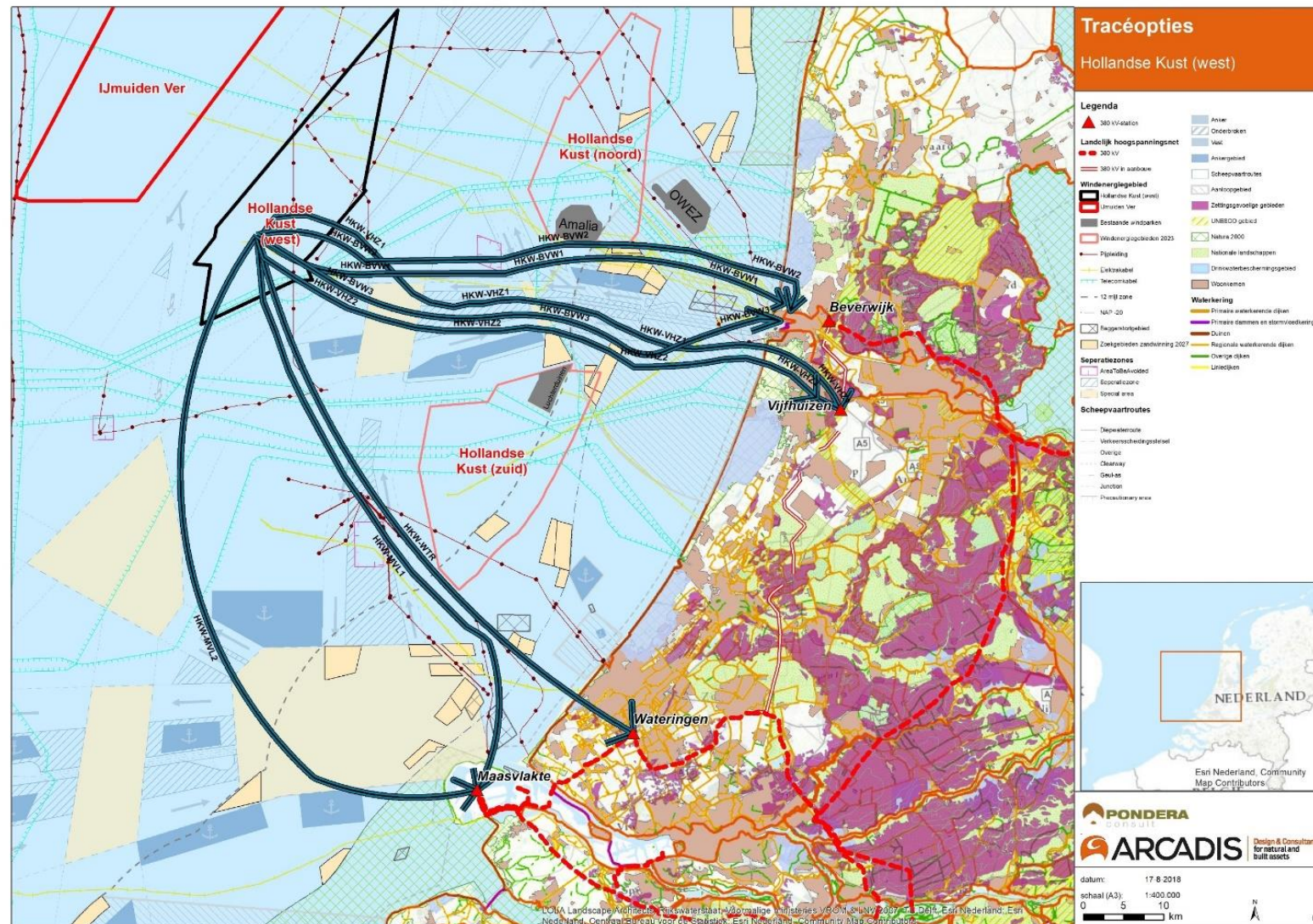
Figuur 2-3 Hoogspanningsstations binnen 100 km van Ten noorden van de Waddeneilanden.



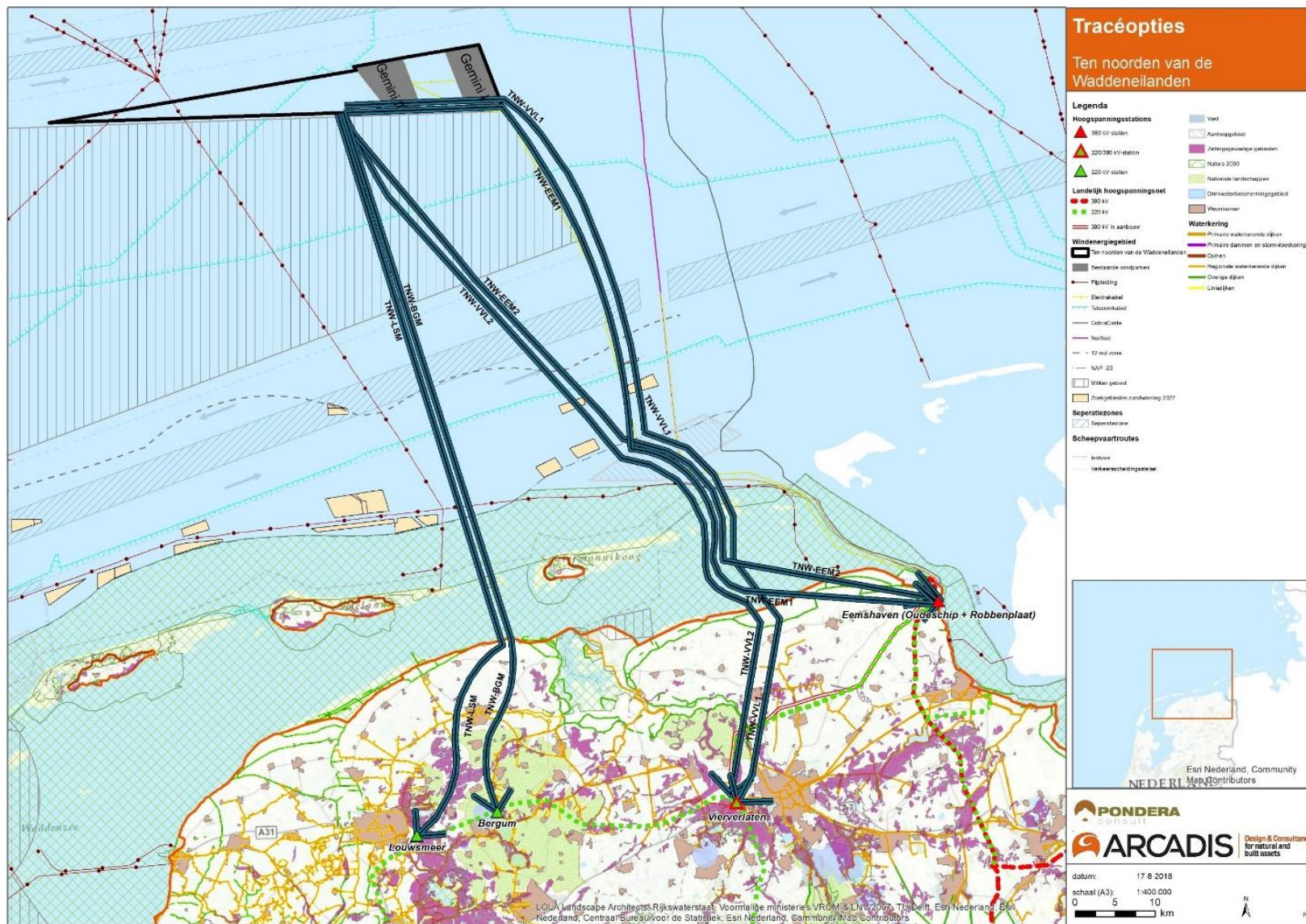
Figuur 2-4 Hoogspanningsstations die in paragraaf 2.5 zijn beschouwd voor aansluiting IJmuiden Ver.



Figuur 2-5 Omgeving stationslocatie Eemshaven.



Figuur 2-6 Overzicht tracéopties vanaf windenergiegebied Hollandse Kust (west). Op de kaart is te zien dat de pijlen niet volledig richting stationslocatie Beverwijk gaan. De pijlen gaan naar het transformatorstation Tata Steel en de verbinding van Tata Steel naar hoogspanningsstation Beverwijk wordt nog gerealiseerd middels het project Hollandse Kust (noord) & Hollandse Kust (west Alpha).



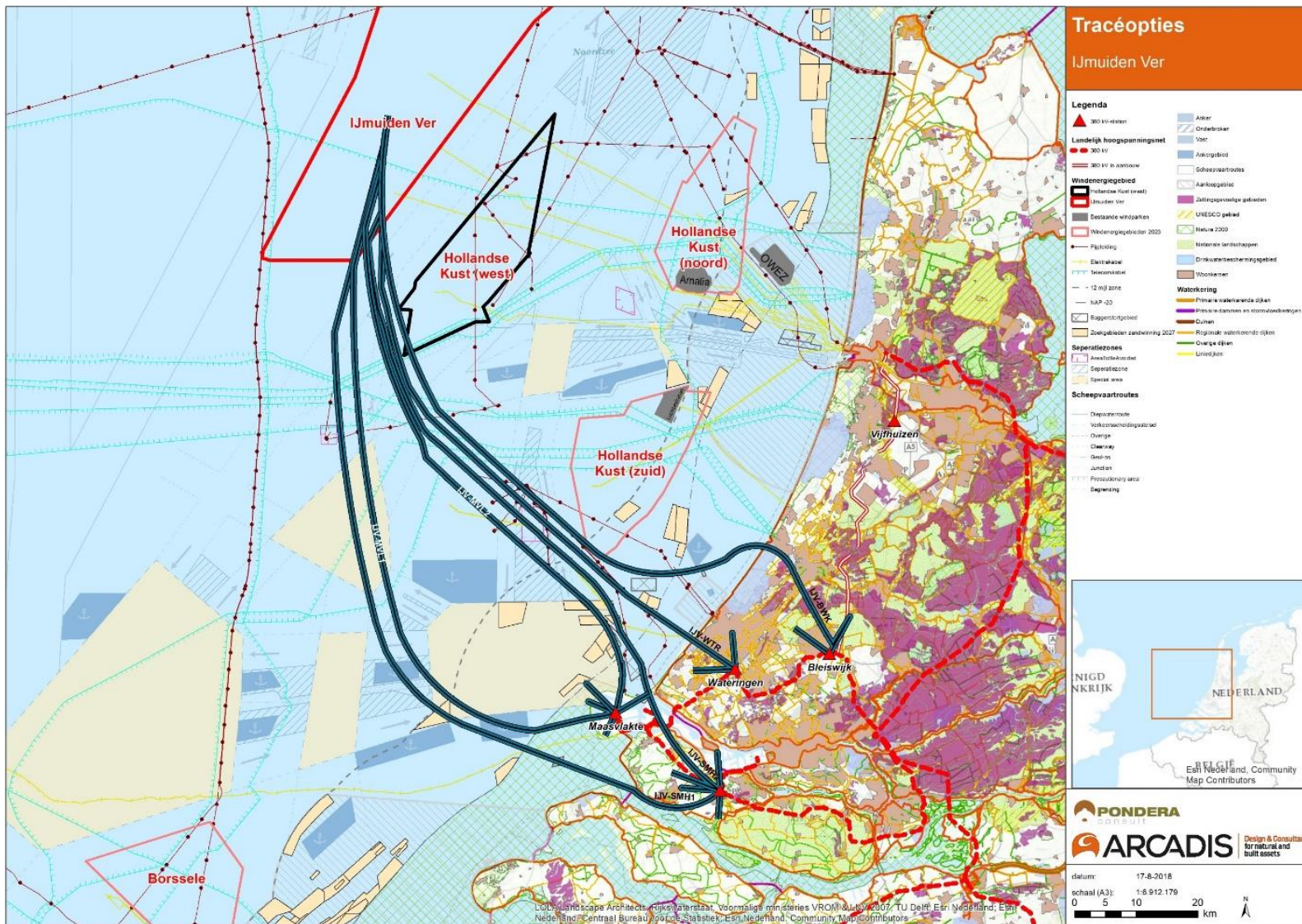
Figuur 2-7 Overzicht tracéopties vanaf windenergiegebied Ten noorden van de Waddeneilanden.



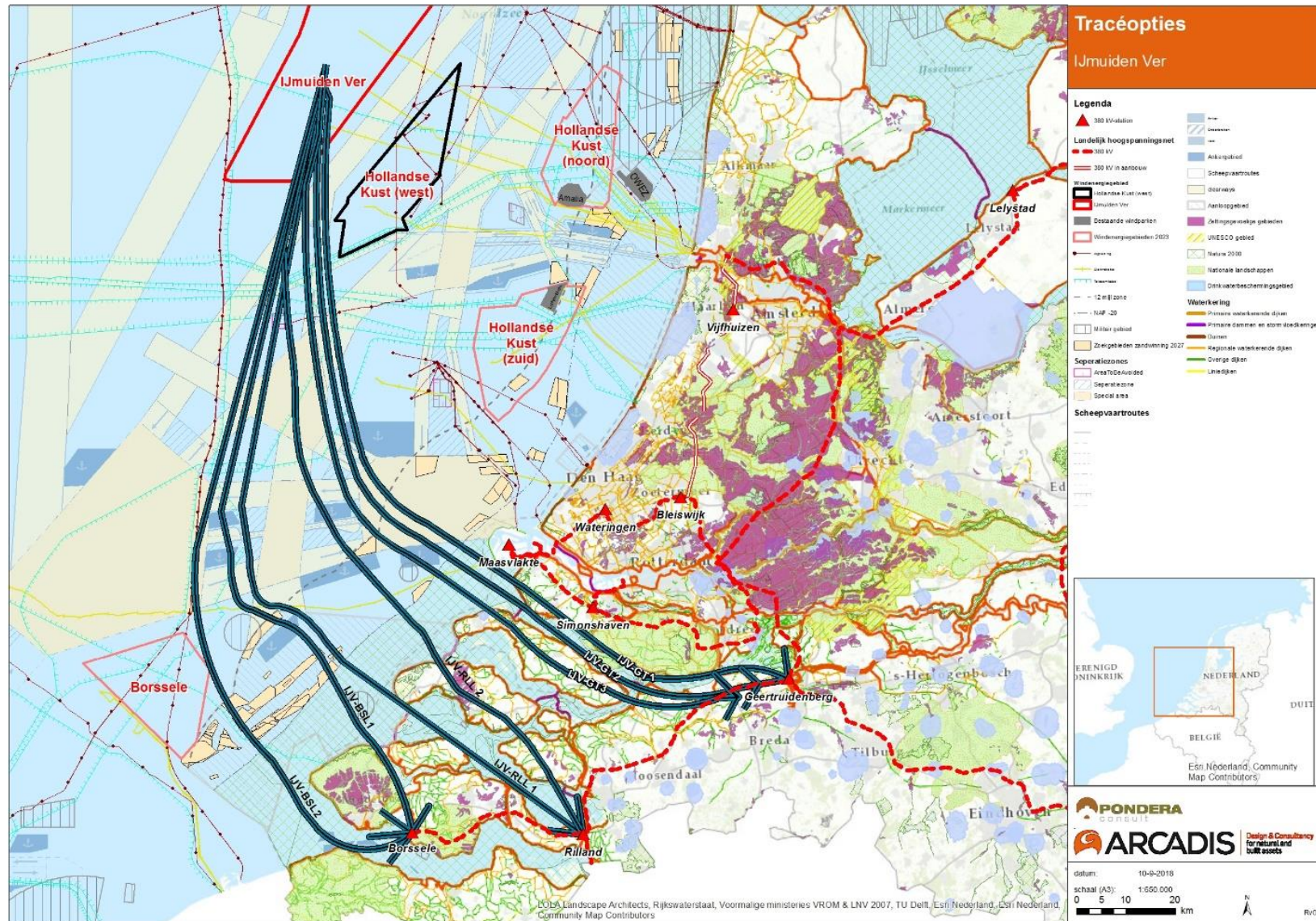
Figuur 2-8 Overzicht tracéopties vanaf windenergiegebied IJmuiden Ver.



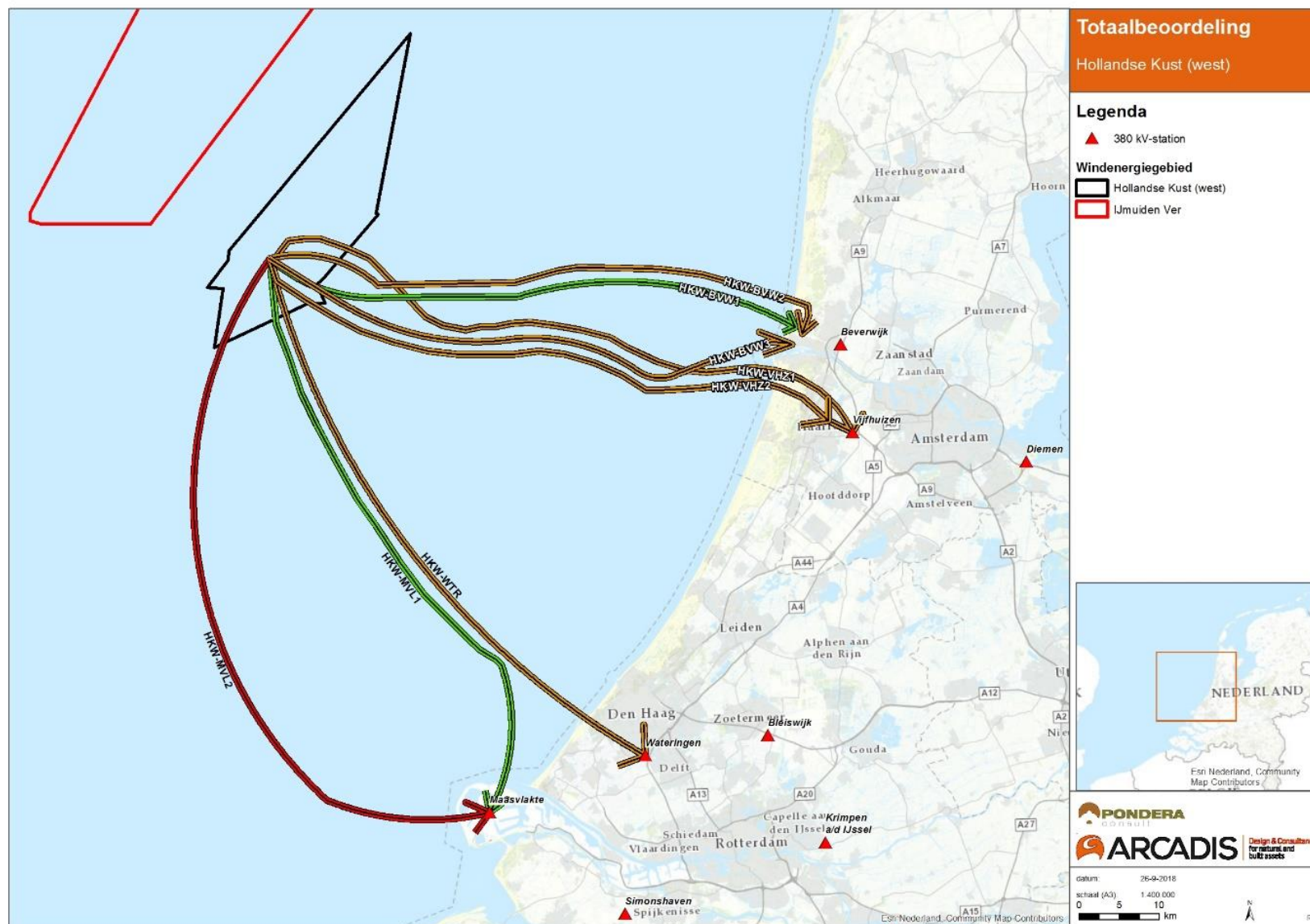
Figuur 2-9 Overzicht noordelijke tracéopties vanaf windenergiegebied IJmuiden Ver.



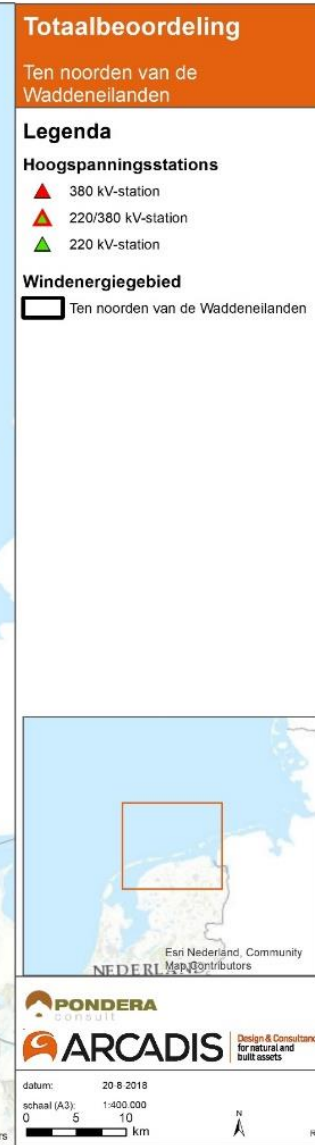
Figuur 2-10 Overzicht midden tracéopties vanaf windenergiegebied IJmuiden Ver.



Figuur 2-11 Overzicht zuidelijke tracéopties vanaf windenergiegebied IJmuiden Ver.



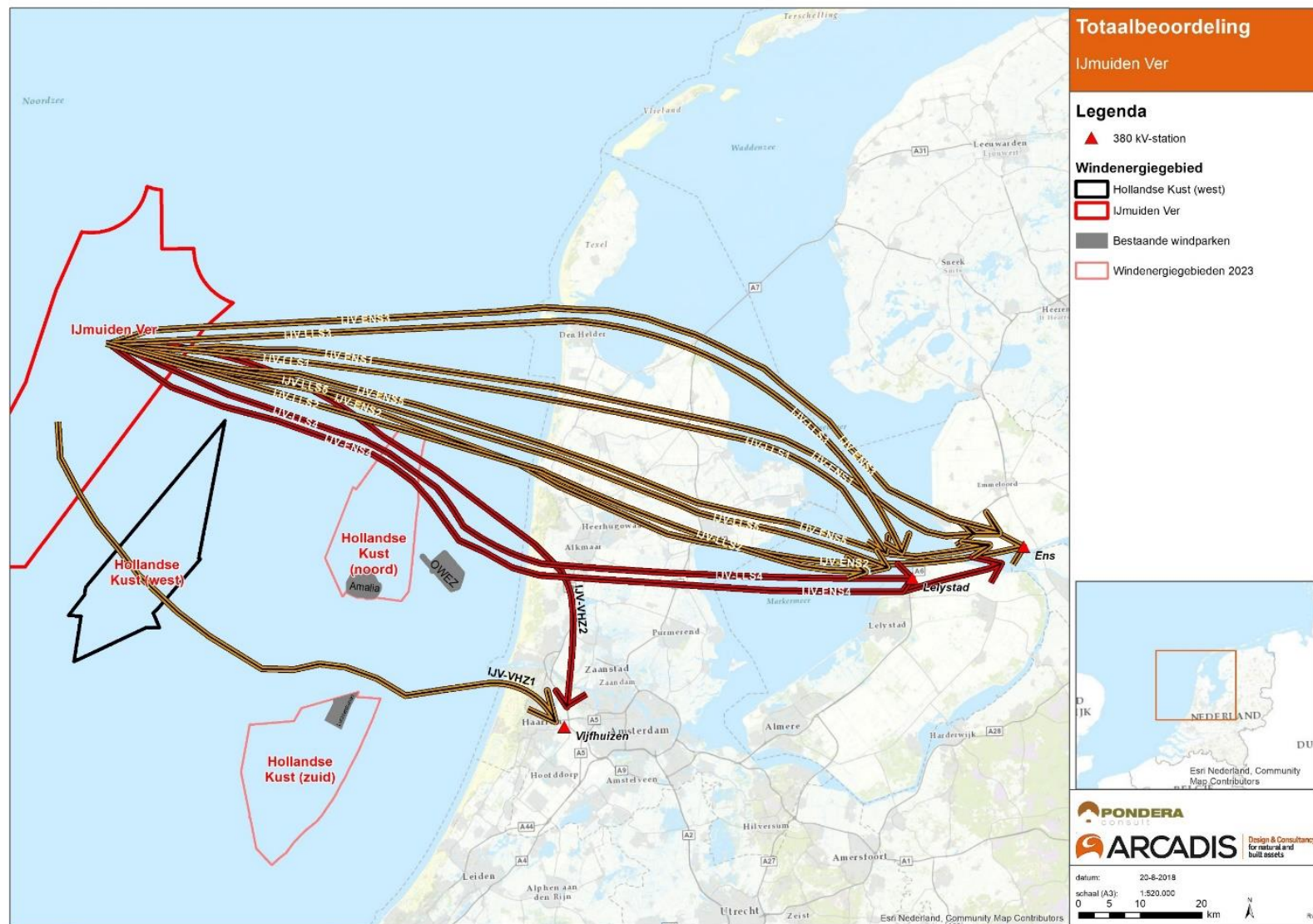
Figuur 4-1 Totaalbeoordeling van de verschillende tracéopties vanaf Hollandse Kust (west Beta) op kaart.



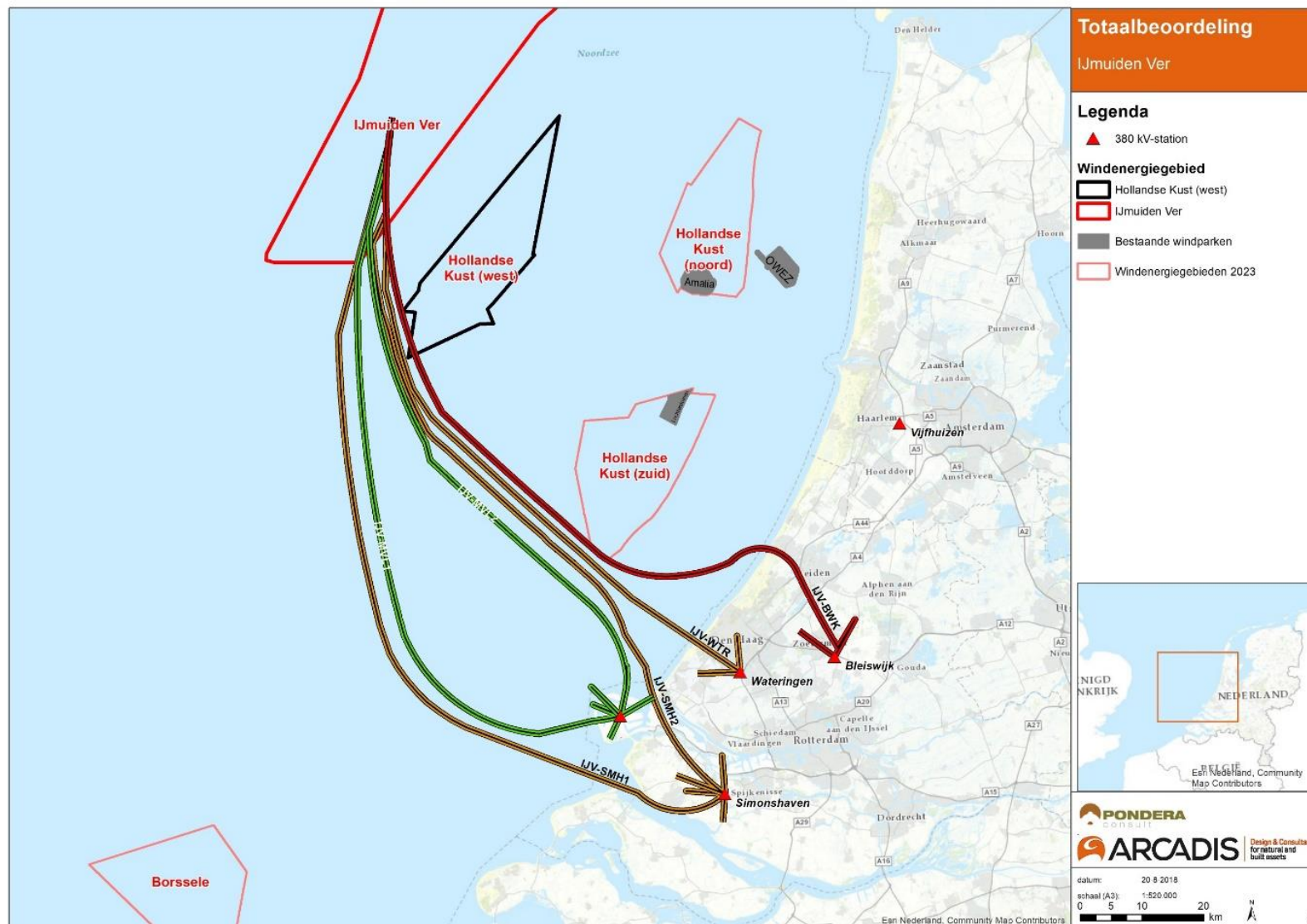
Figuur 5-1 Totaalbeoordeling van de verschillende tracéopties vanaf Ten noorden van de Waddeneilanden op kaart.



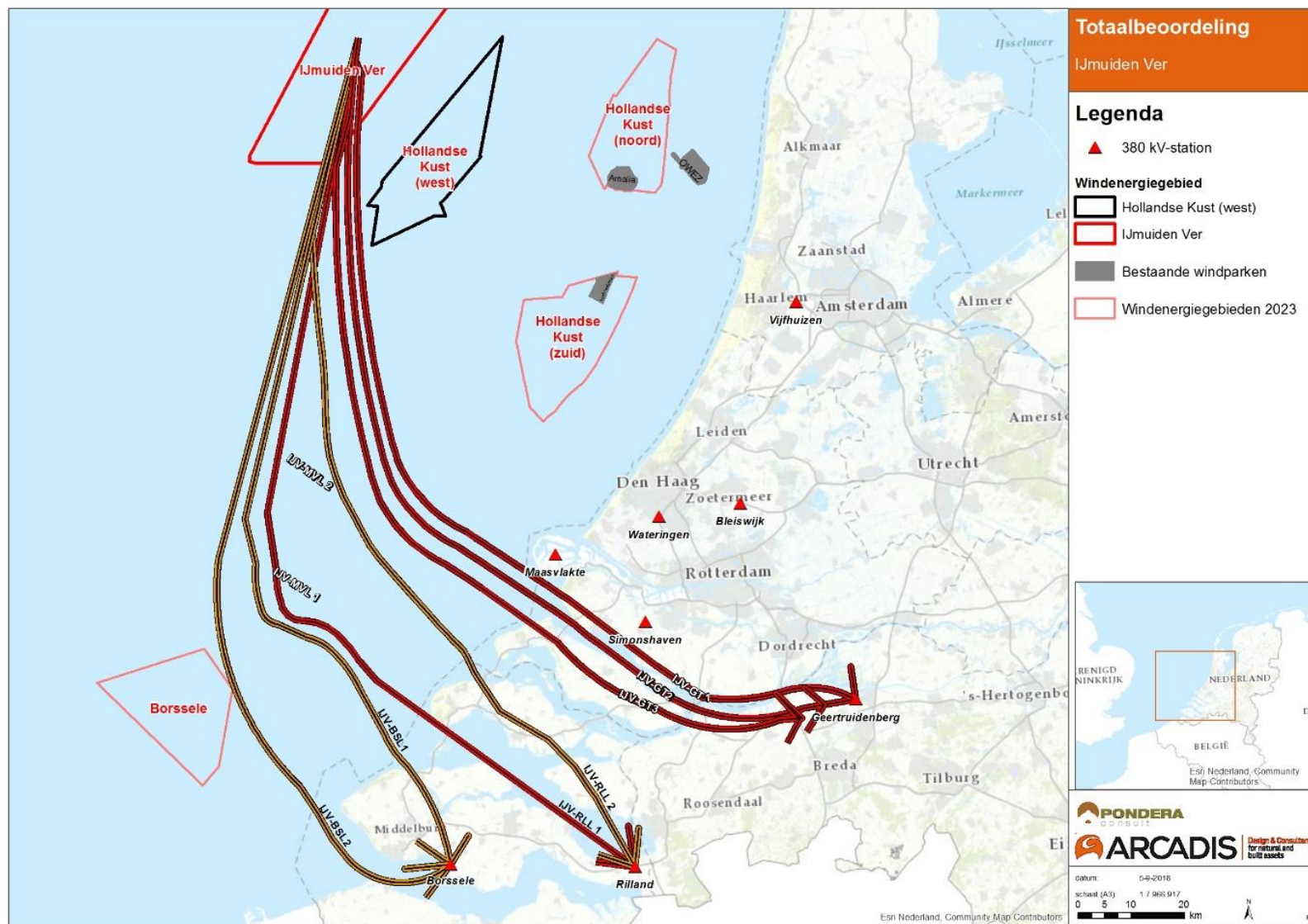
Figuur 6-1 Totaalbeoordeling van de verschillende tracéopties vanaf IJmuiden Ver op kaart. Meest kansrijke opties zijn groen. Minst kansrijke opties zijn rood. Tusseliggende opties zijn oranje.



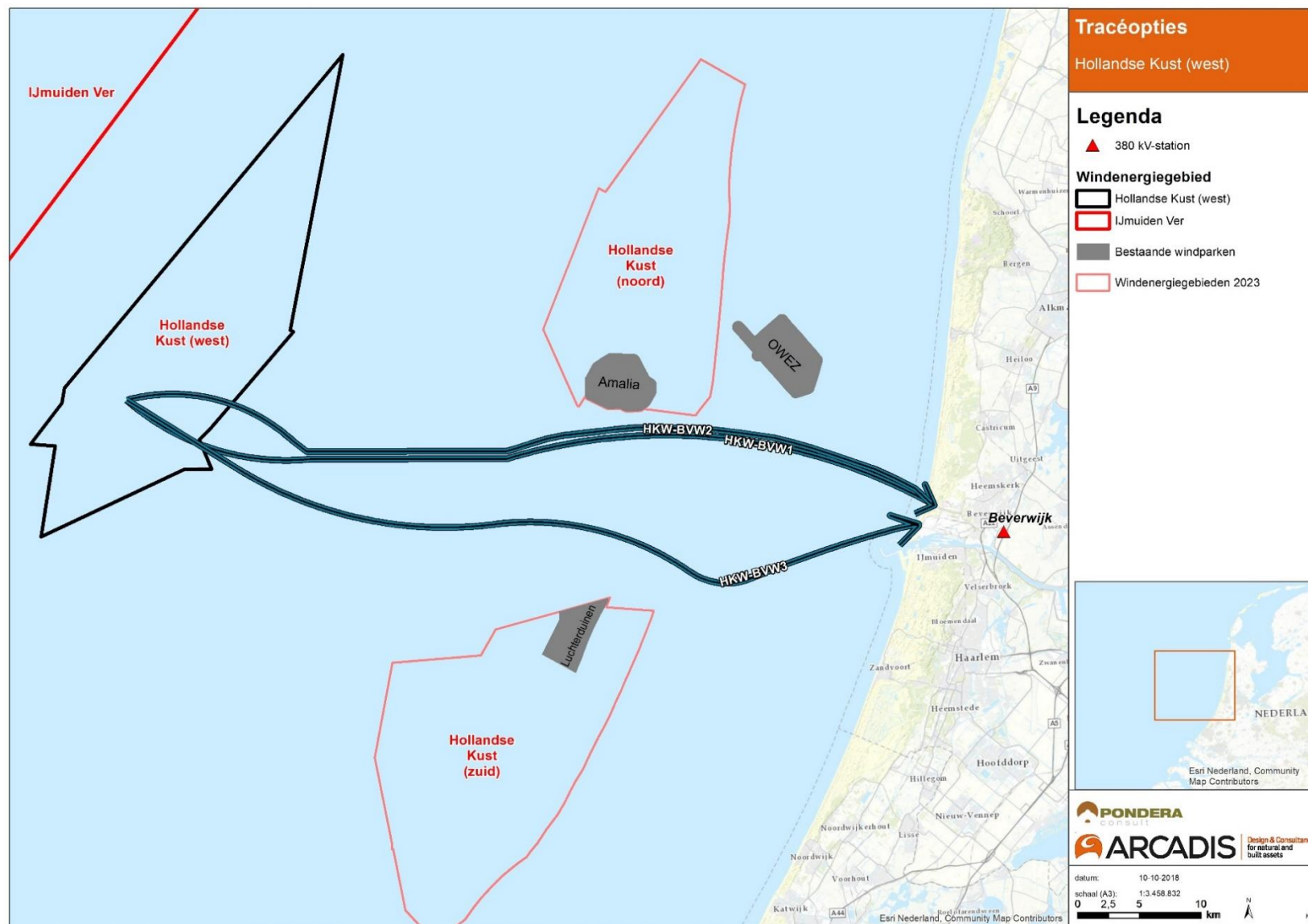
Figuur 6-2 Totaalbeoordeling van de verschillende noordelijke tracéopties vanaf IJmuiden Ver op kaart. Meest kansrijke opties zijn groen. Minst kansrijke opties zijn rood. Tussengliggende opties zijn oranje.



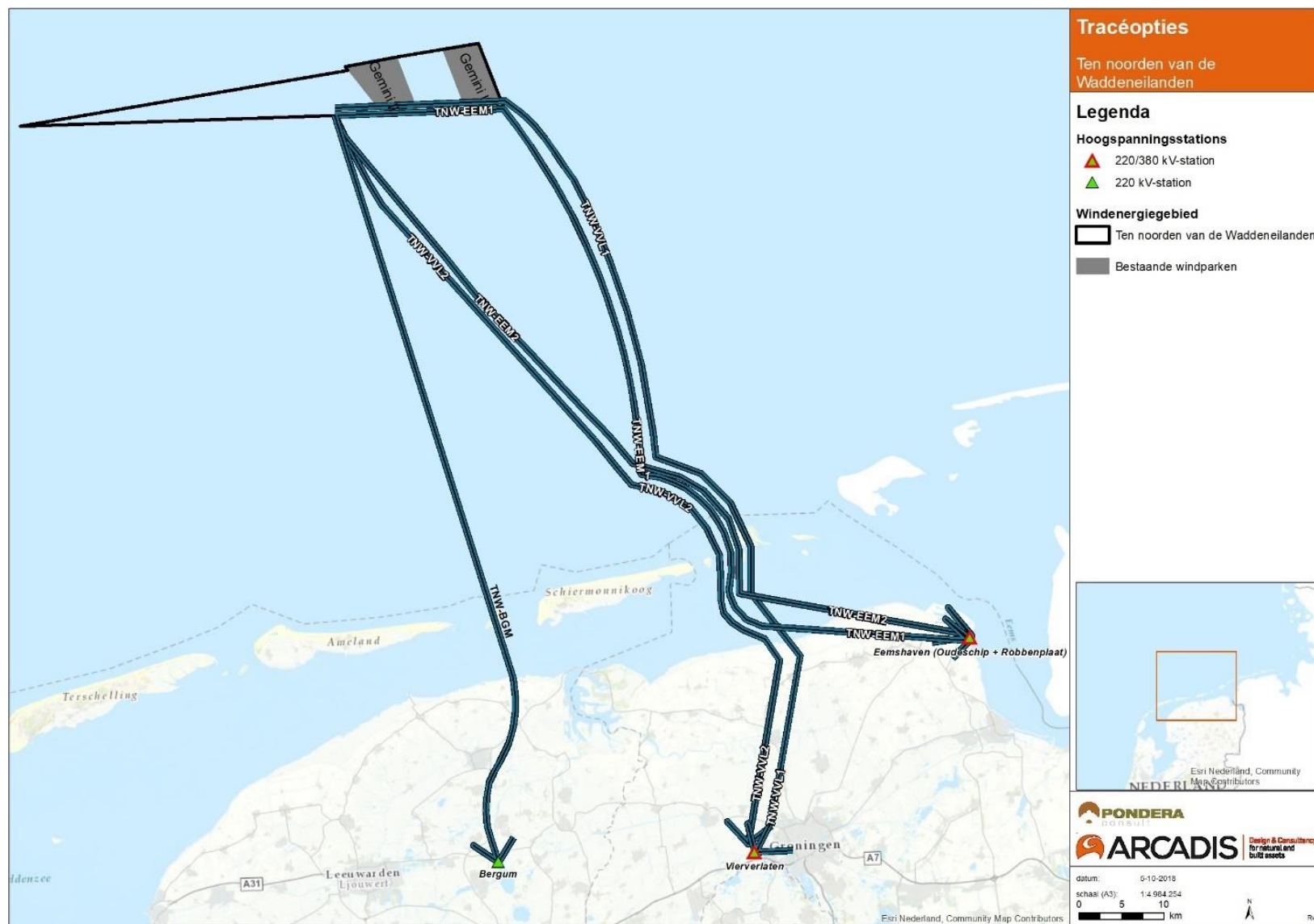
Figuur 6-3 Totaalbeoordeling van de verschillende midden tracéopties vanaf IJmuiden Ver op kaart. Meest kansrijke opties zijn groen. Minst kansrijke opties zijn rood. Tussenliggende opties zijn oranje.



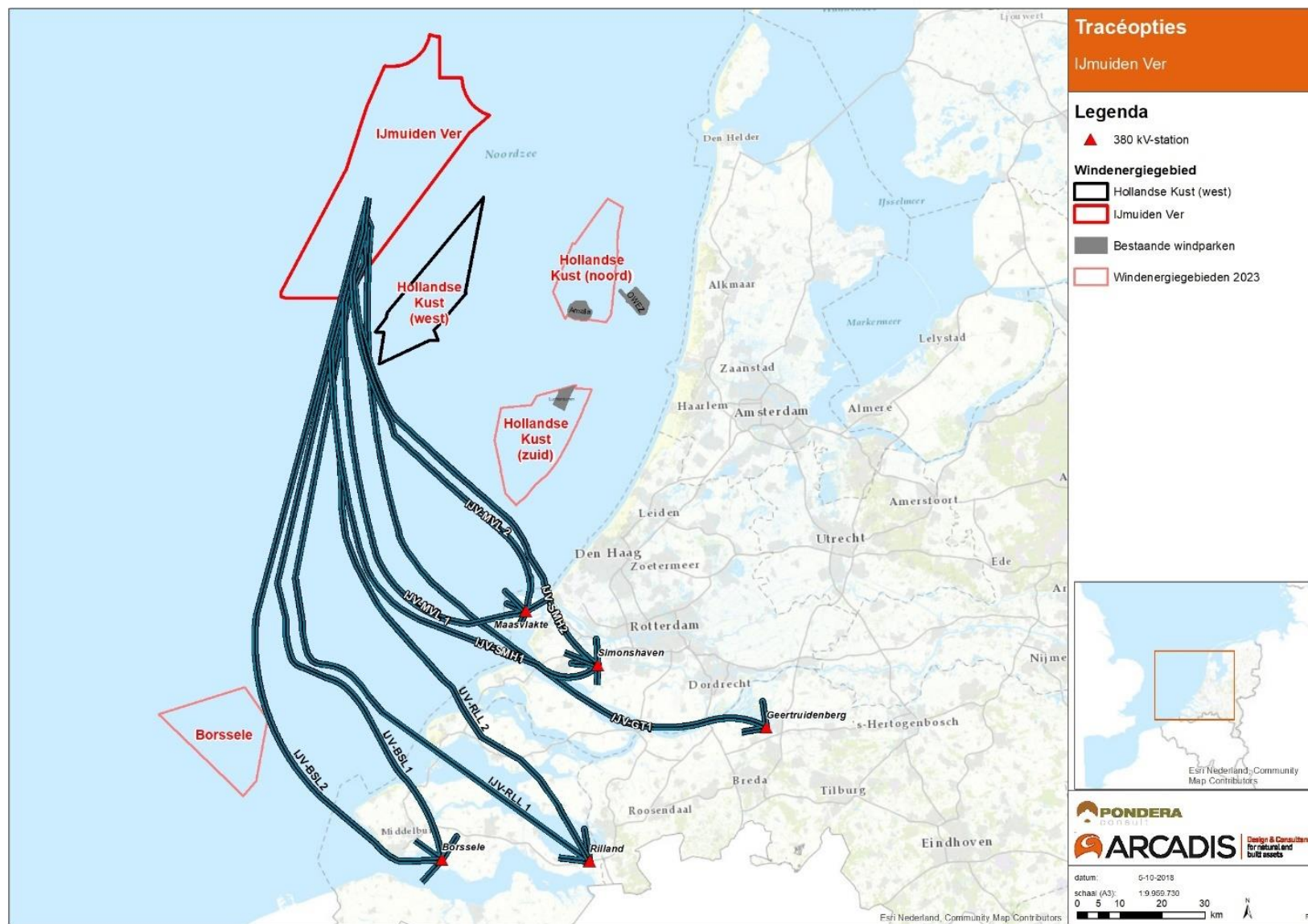
Figuur 6-4 Totaalbeoordeling van de verschillende zuidelijke tracéopties vanaf IJmuiden Ver op kaart. Meest kansrijke opties zijn groen. Minst kansrijke opties zijn rood. Tussenliggende opties zijn oranje.



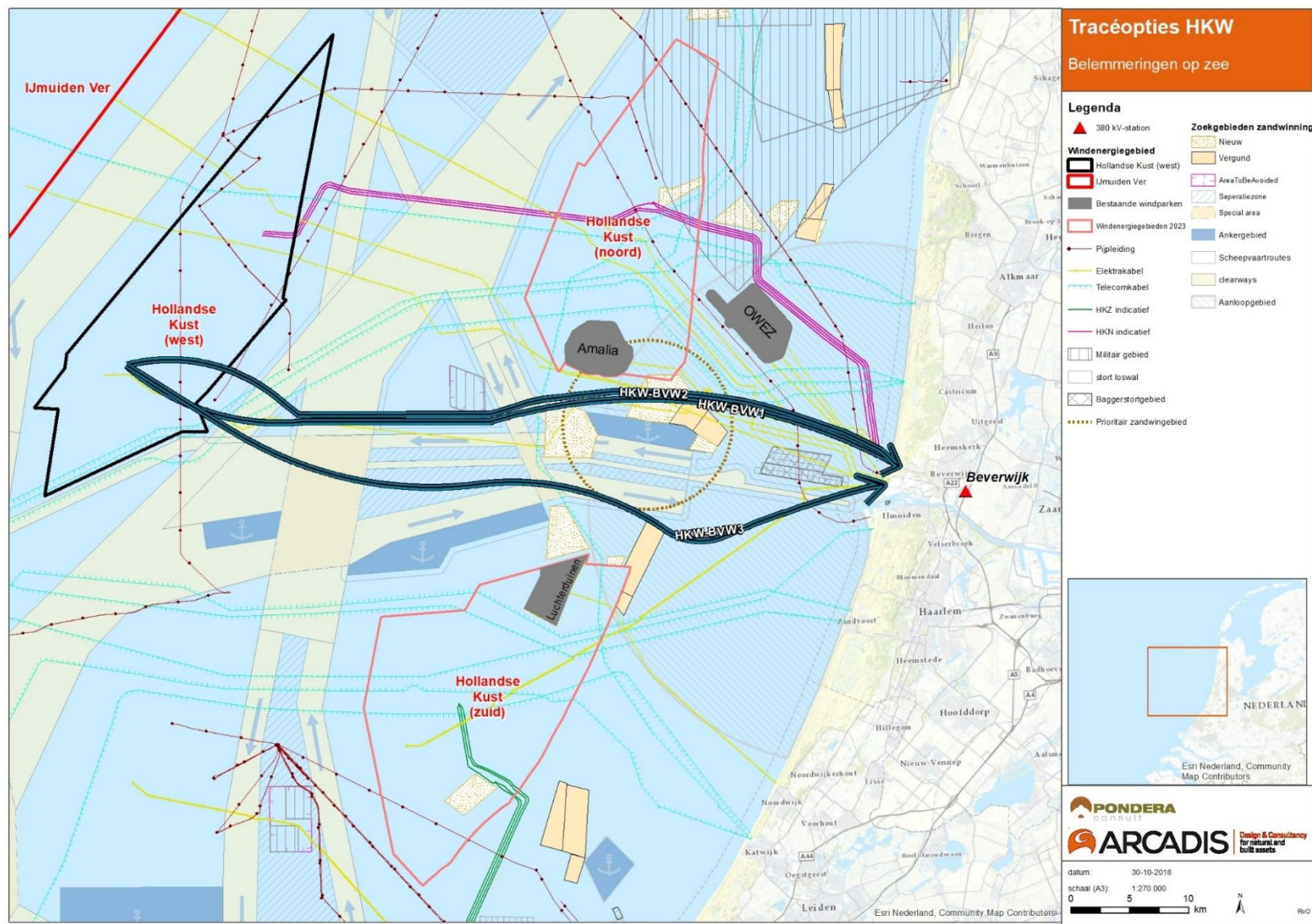
Figuur 9-1 Tracéopties Hollandse Kust (west Beta).



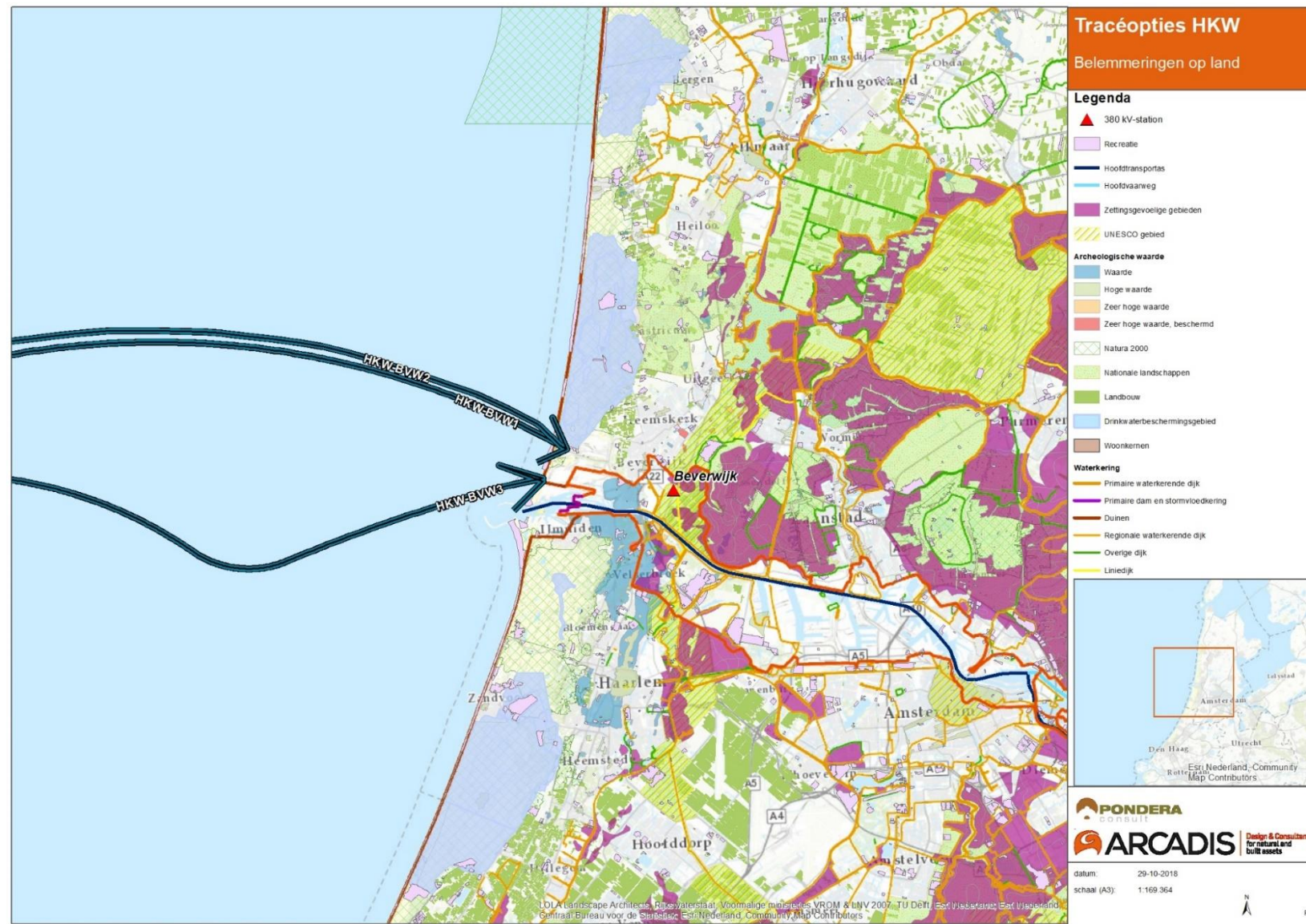
Figuur 9-2 Tracéopties Ten noorden van de Waddeneilanden.



Figuur 9-3 Tracéopties IJmuiden Ver.



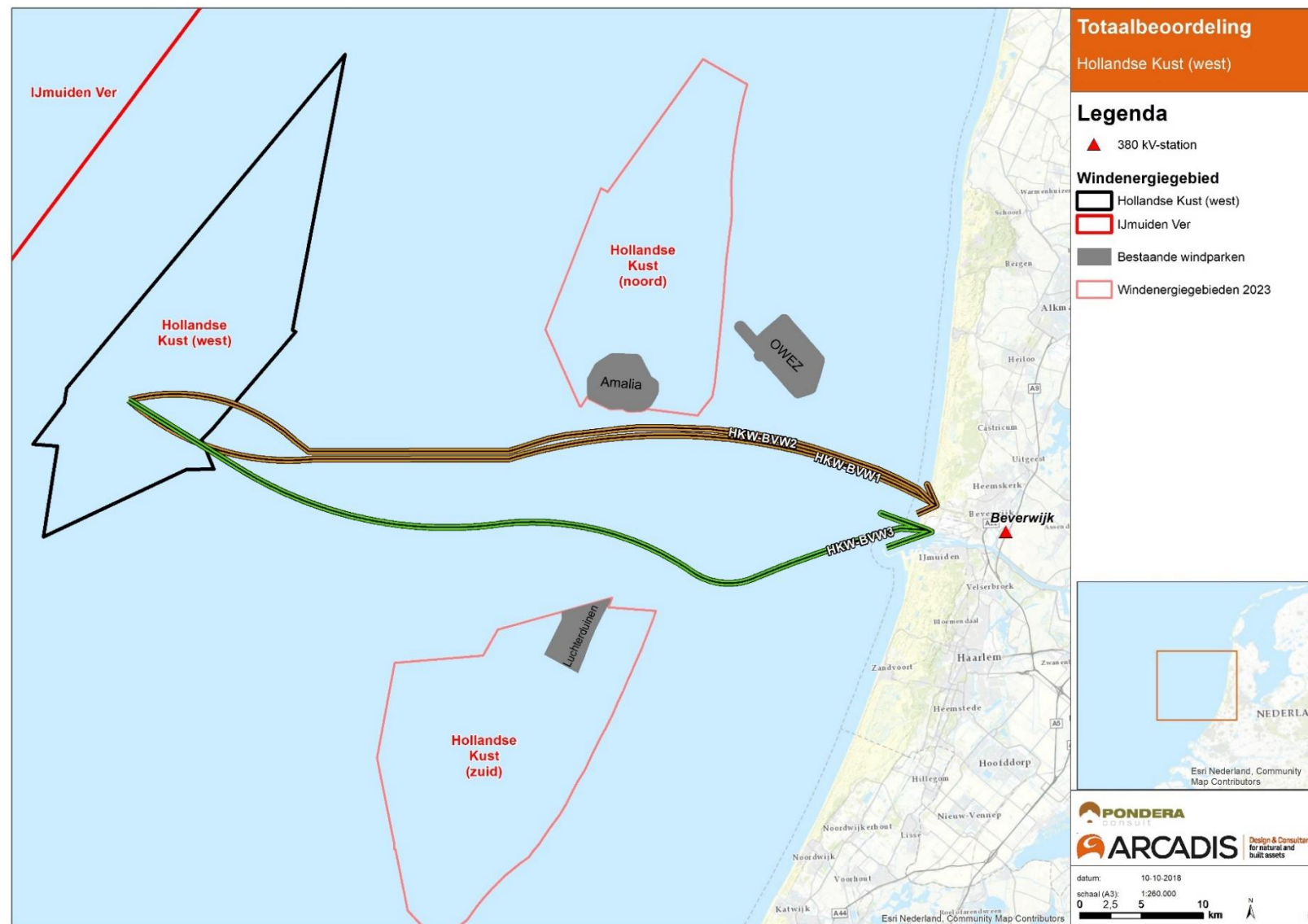
Figuur 11-1 Belemmeringen op zee tracéopties vanaf Hollandse Kust (west Beta).



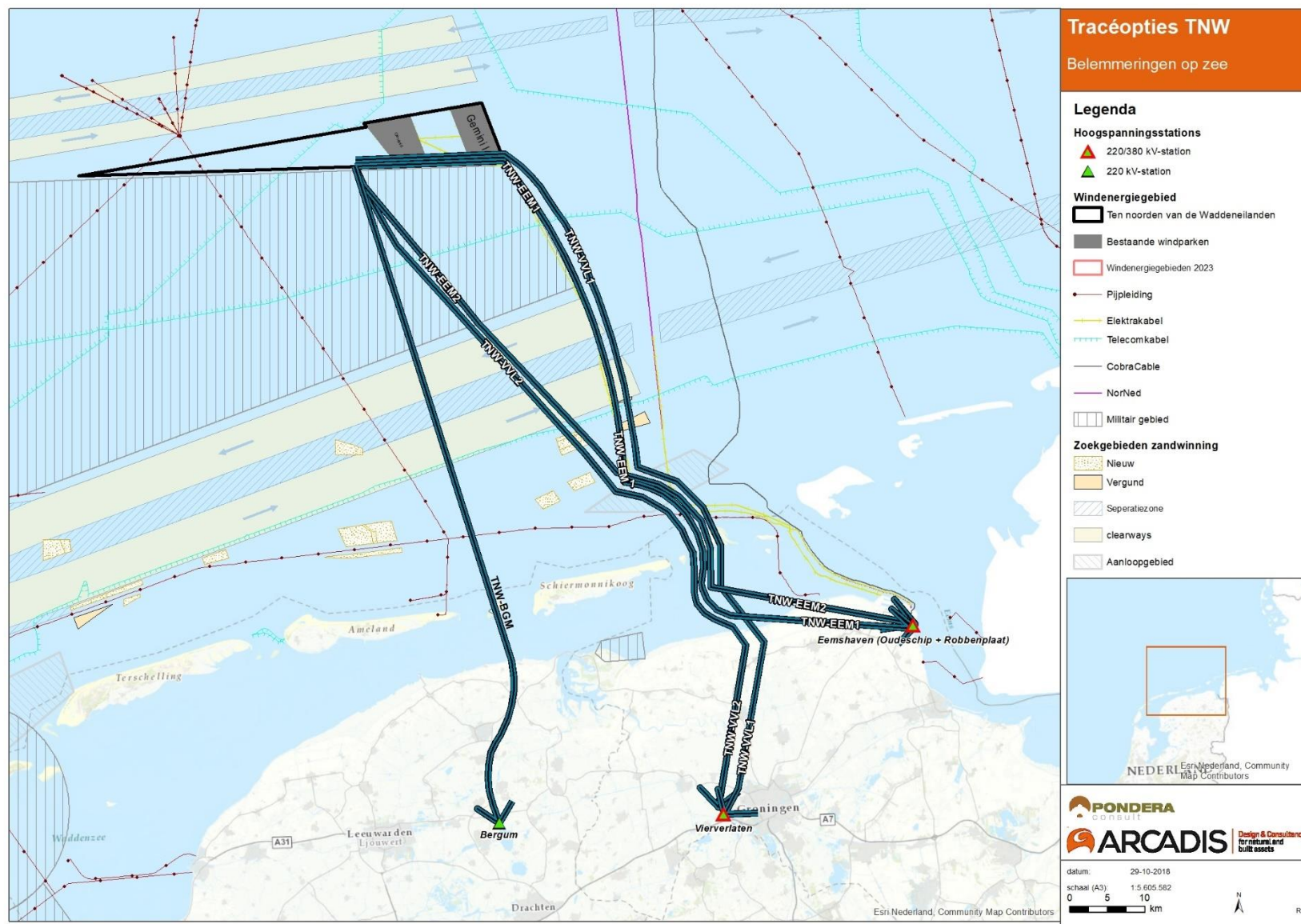
Figuur 11-2 Belemmeringen op land tracéopties vanaf Hollandse Kust (west Beta).



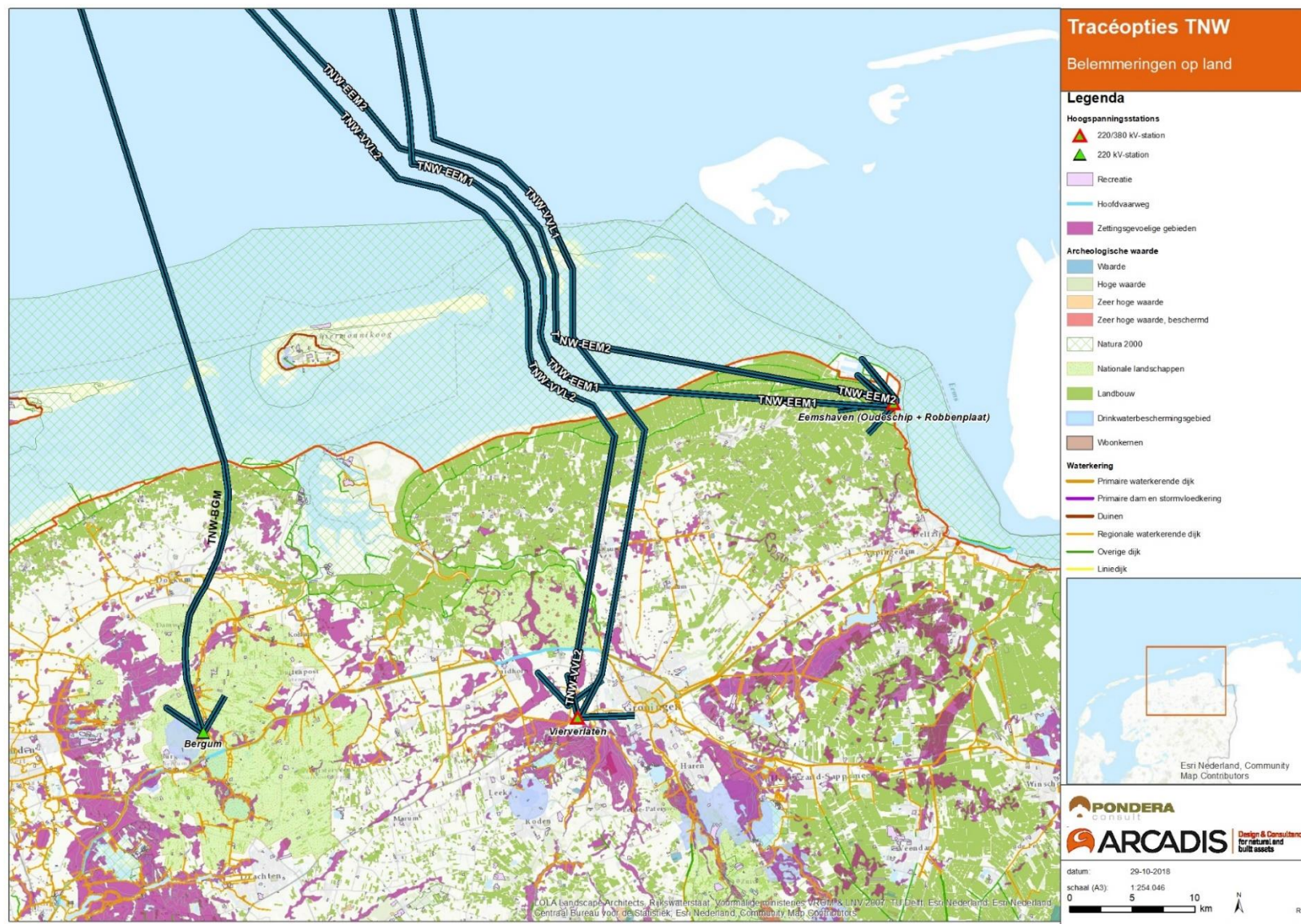
Figuur 11-3 Ruimtelijke plannen rond de locatie van het transformatorstation Beverwijk op het Tata-staal terrein met een contour van 500 meter.



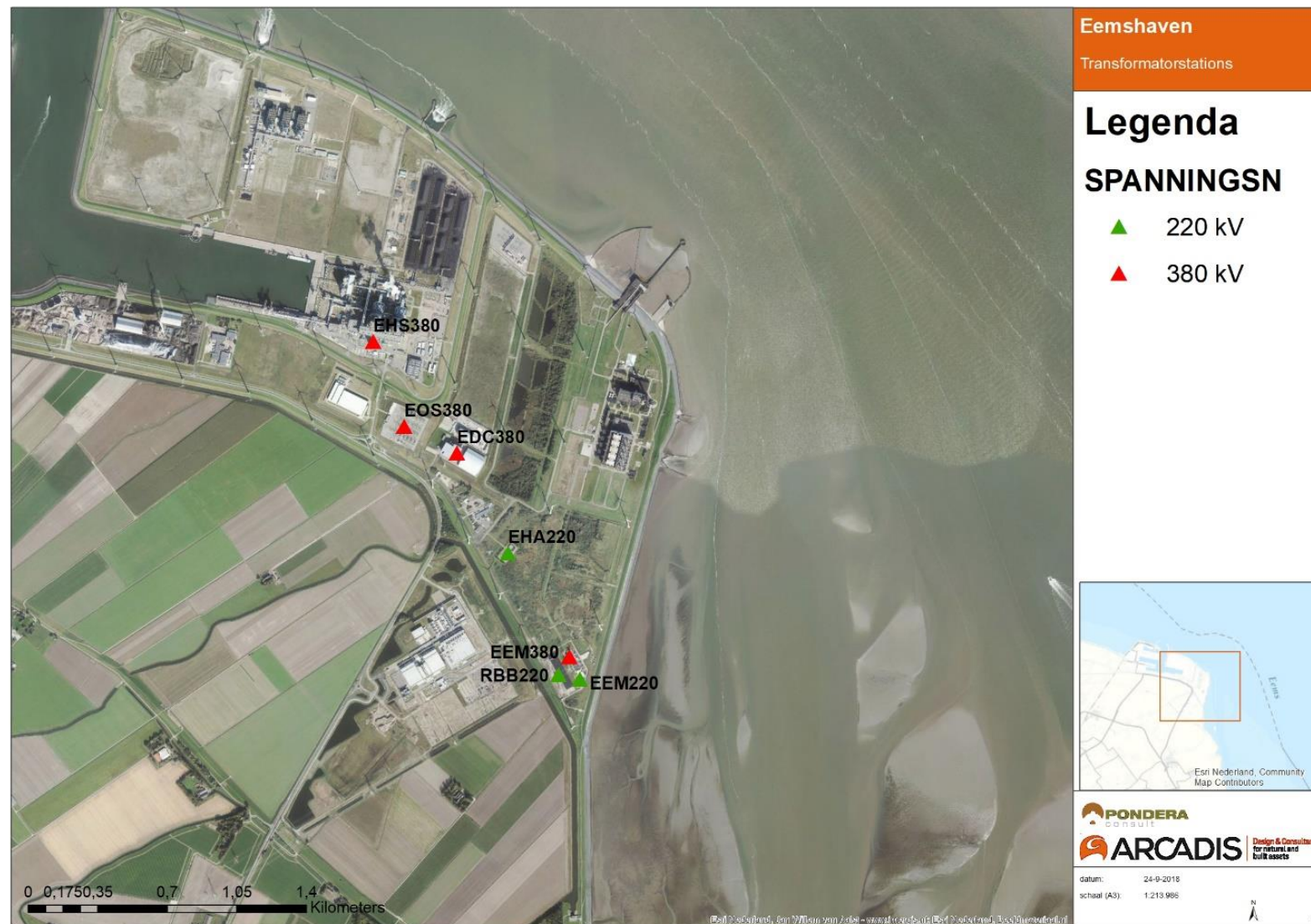
Figuur 11-4 Totaalbeoordeling tracéopties vanaf Hollandse Kust (west Beta).



Figuur 12-1 Belemmeringen op zee tracéopties Ten noorden van de Waddeneilanden.



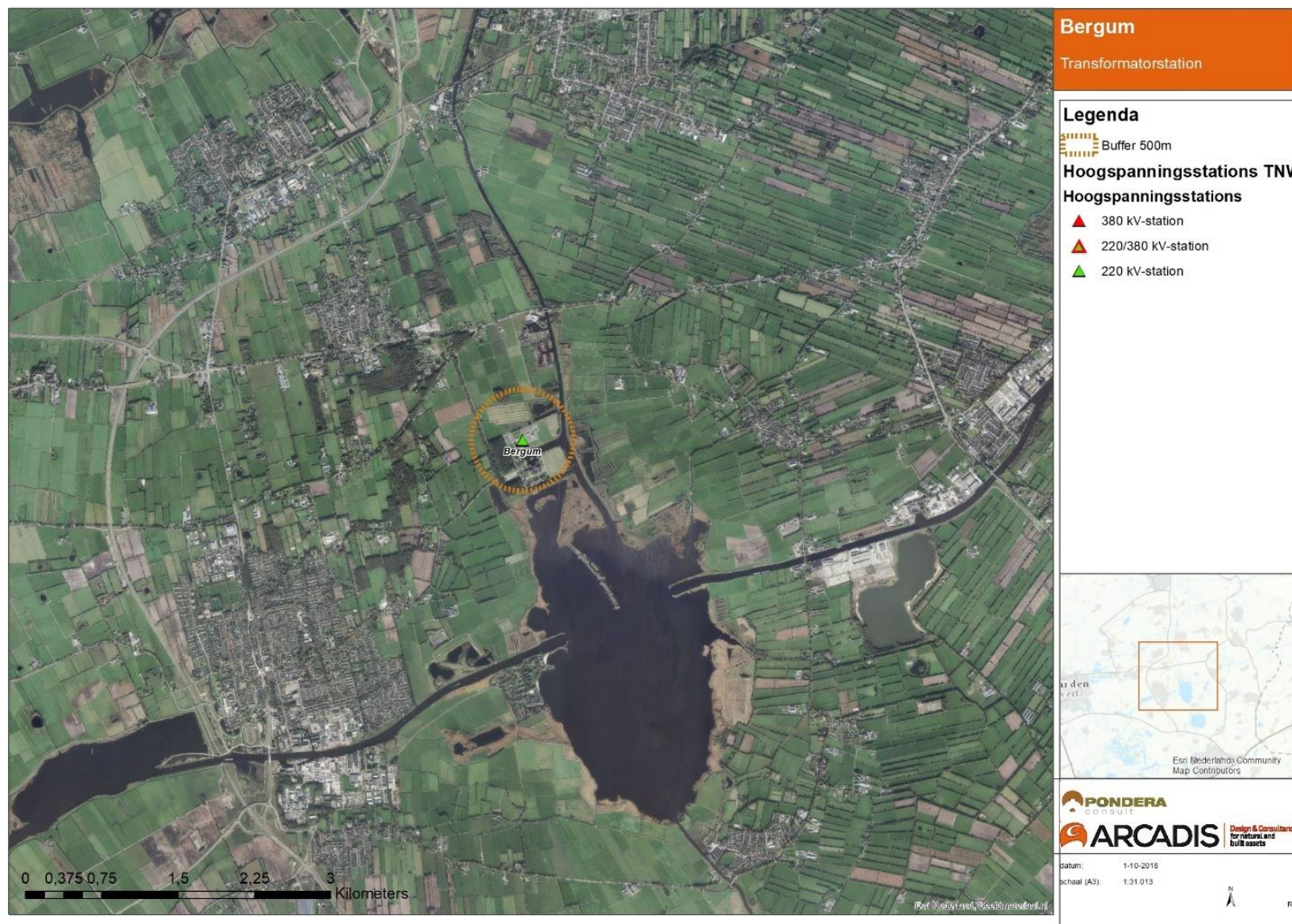
Figuur 12-2 Belemmeringen op zee tracéopties Ten noorden van de Waddeneilanden.



Figuur 12-3 Overzicht stations Eemshaven.



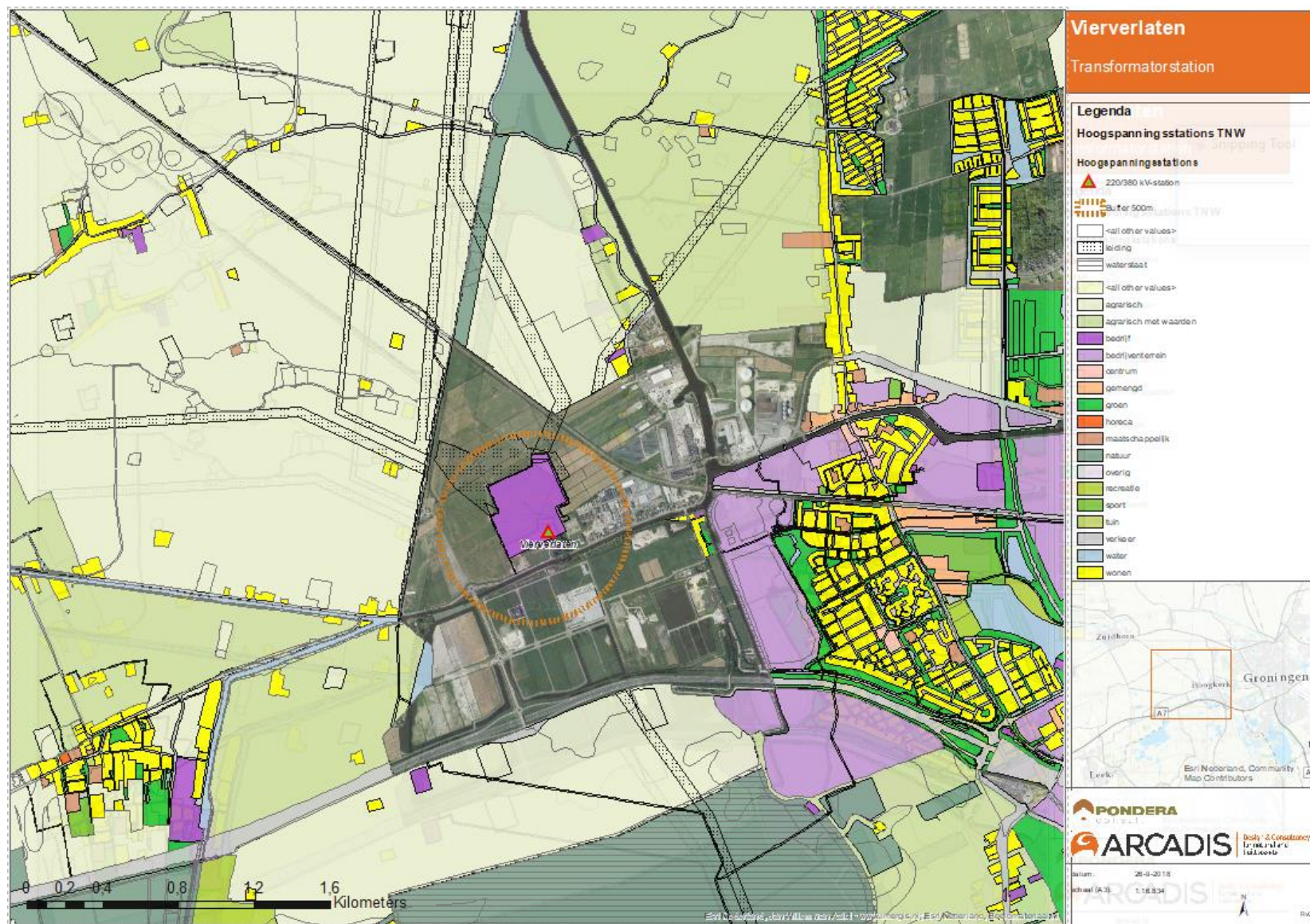
Figuur 12-4 Overzicht station Viervelaten.



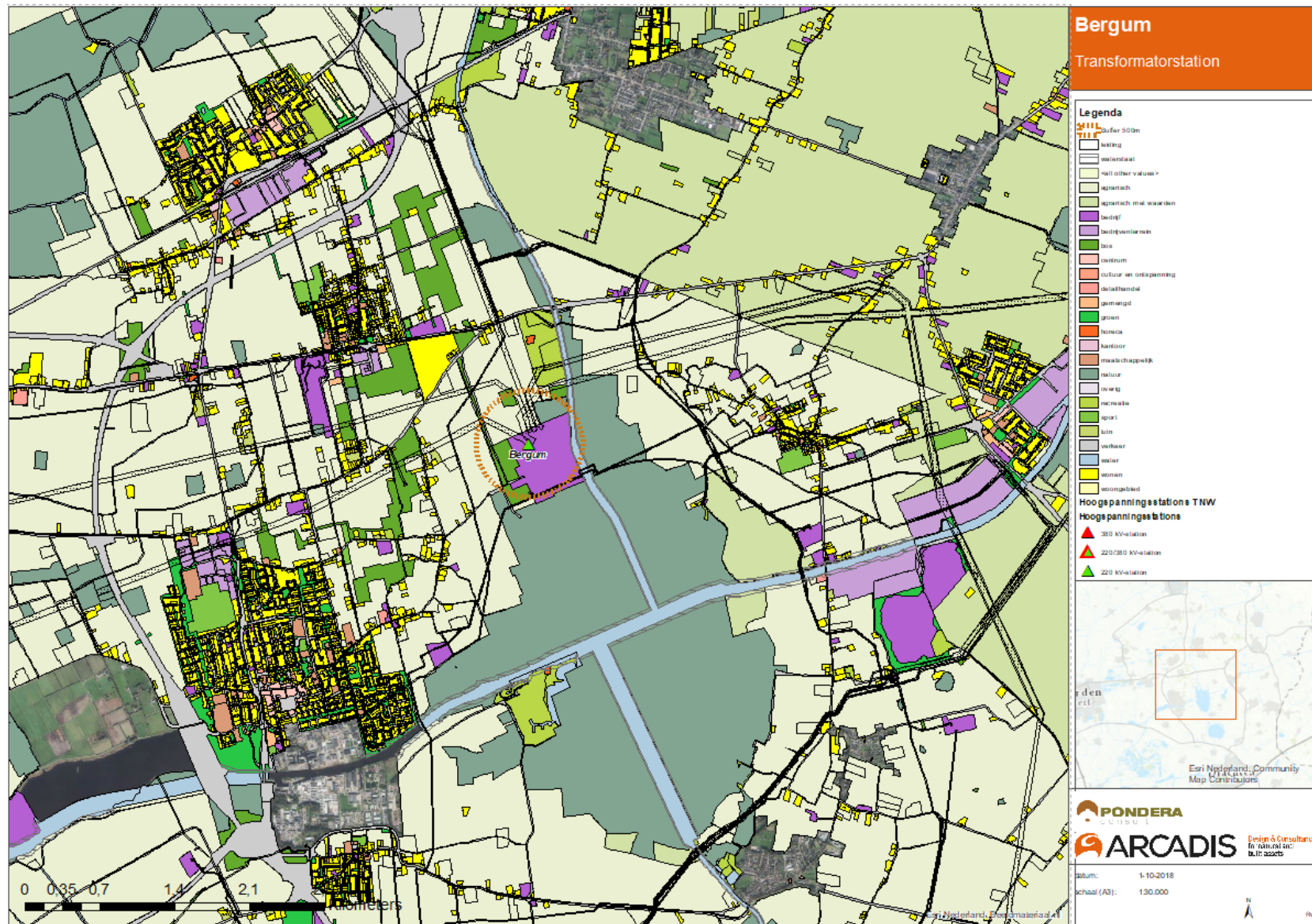
Figuur 12-5 Overzicht station Bergum.



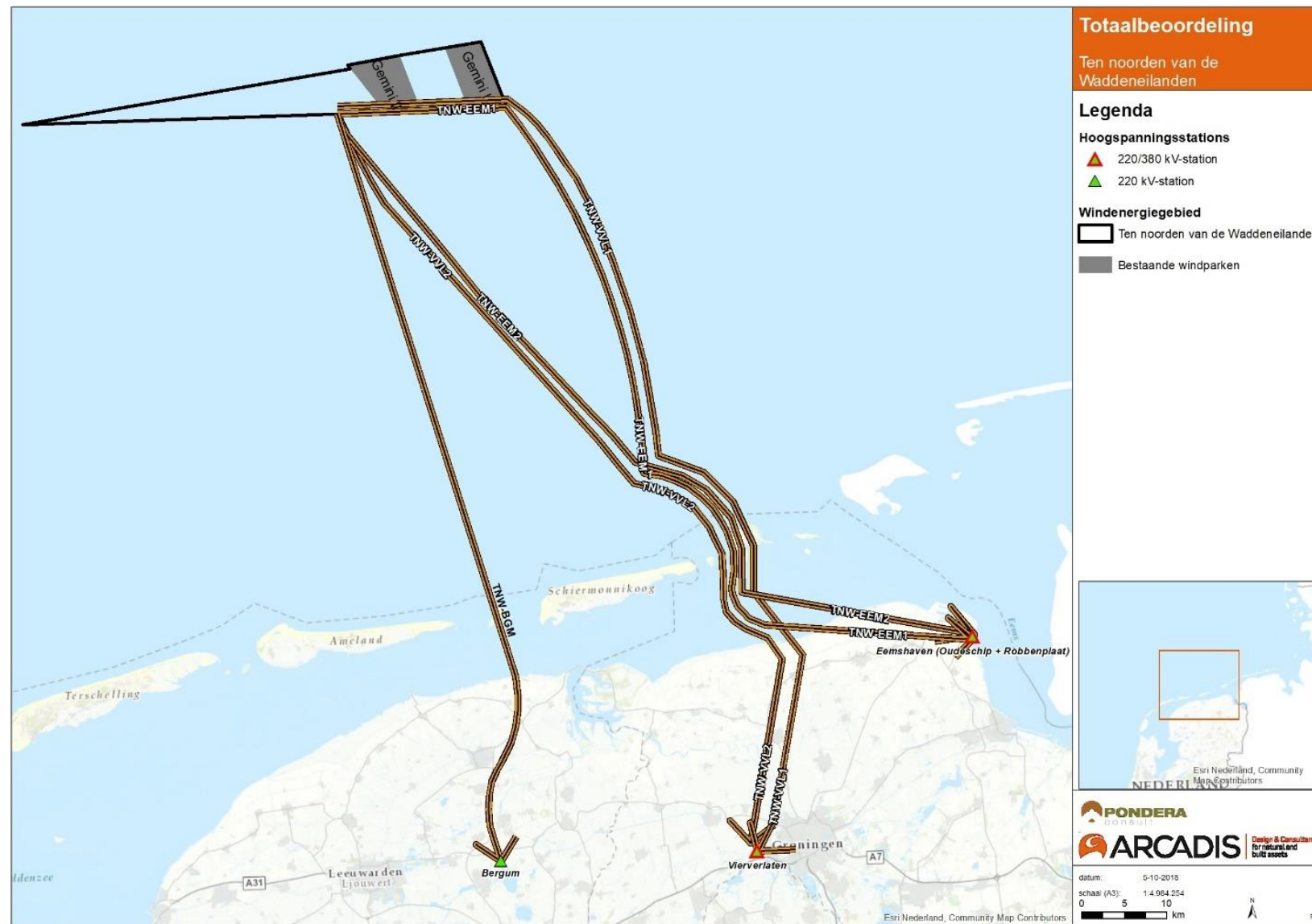
Figuur 12-6 Eemshaven met ruimtelijke plannen.



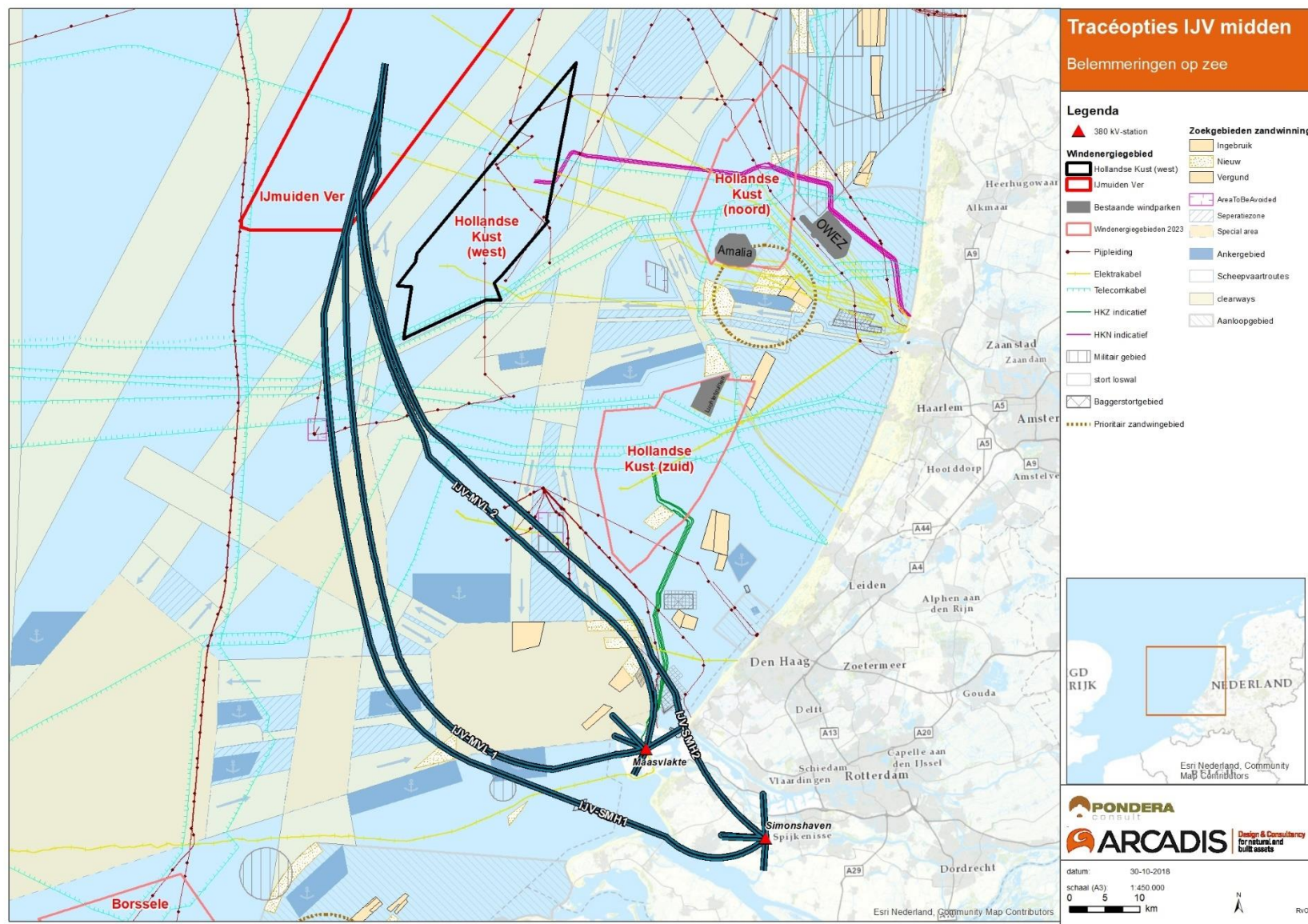
Figuur 12-7 Ververlaten met ruimtelijke plannen.



Figuur 12-8 Bergum met ruimtelijke plannen.



Figuur 12-9 Totaalbeoordeling tracéopties Ten noorden van de Waddeneilanden.



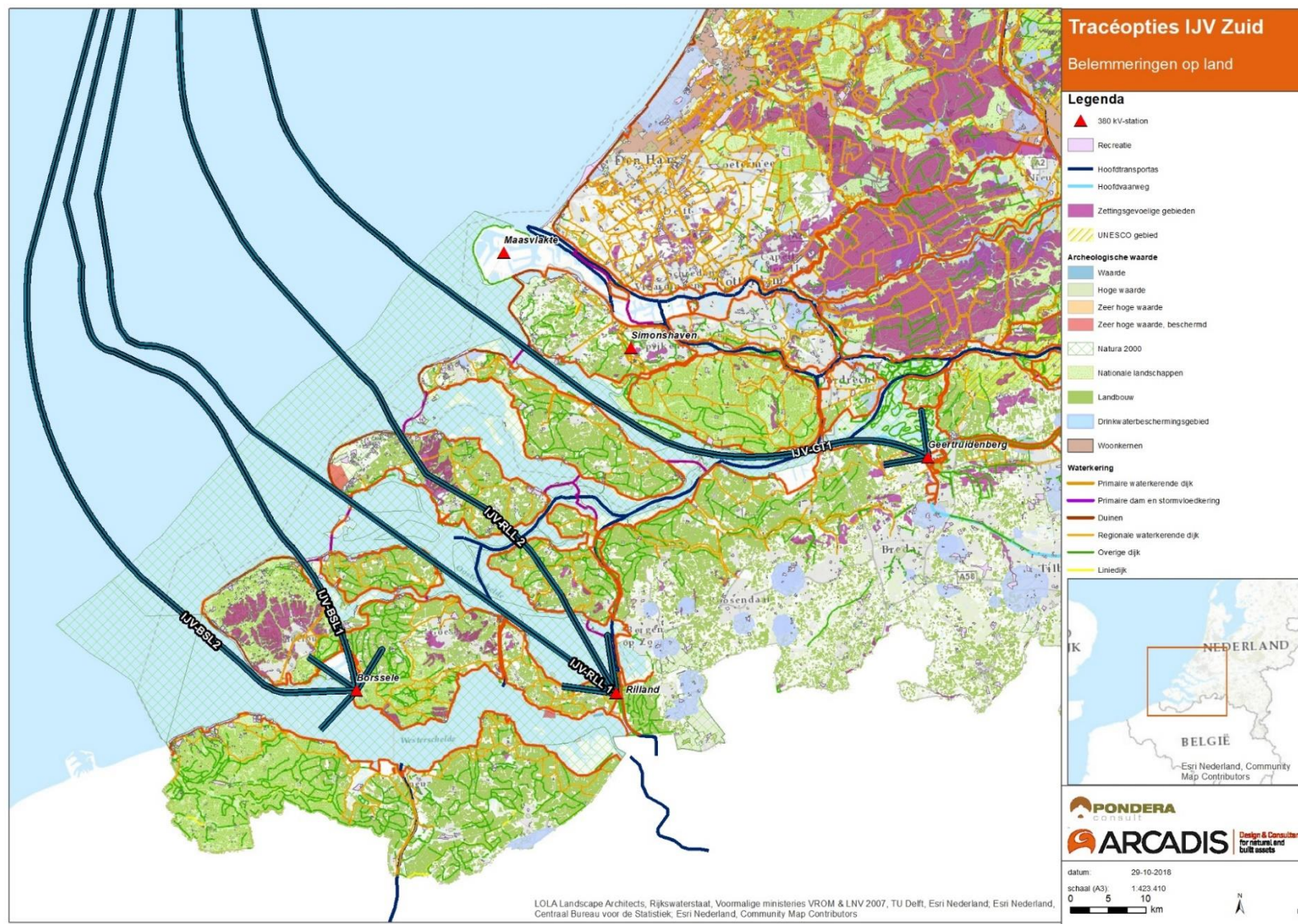
Figuur 13-1 Belemmeringen op zee tracéopties IJV midden.



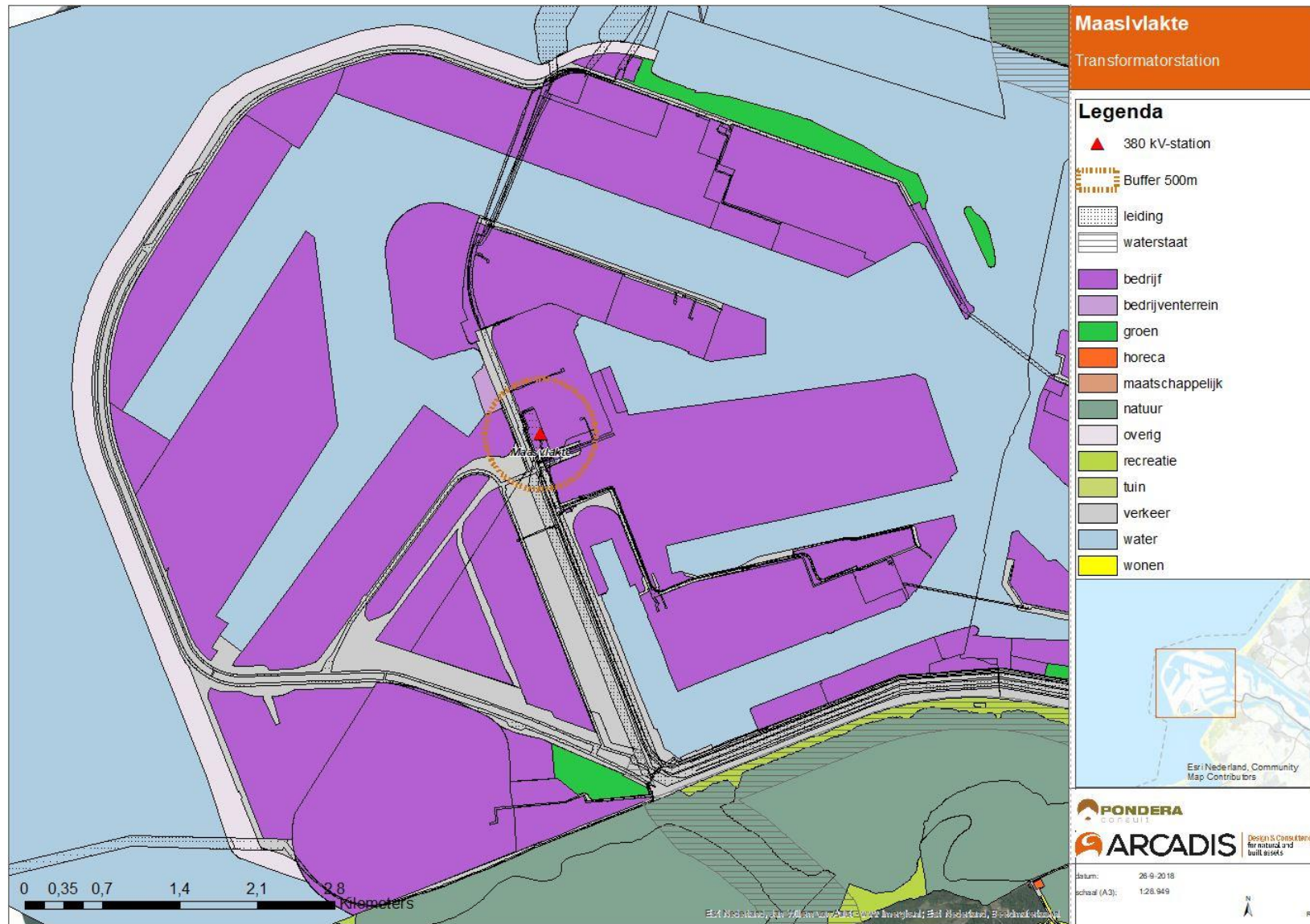
Figuur 13-2 Belemmeringen op zee tracéopties IJV zuid.



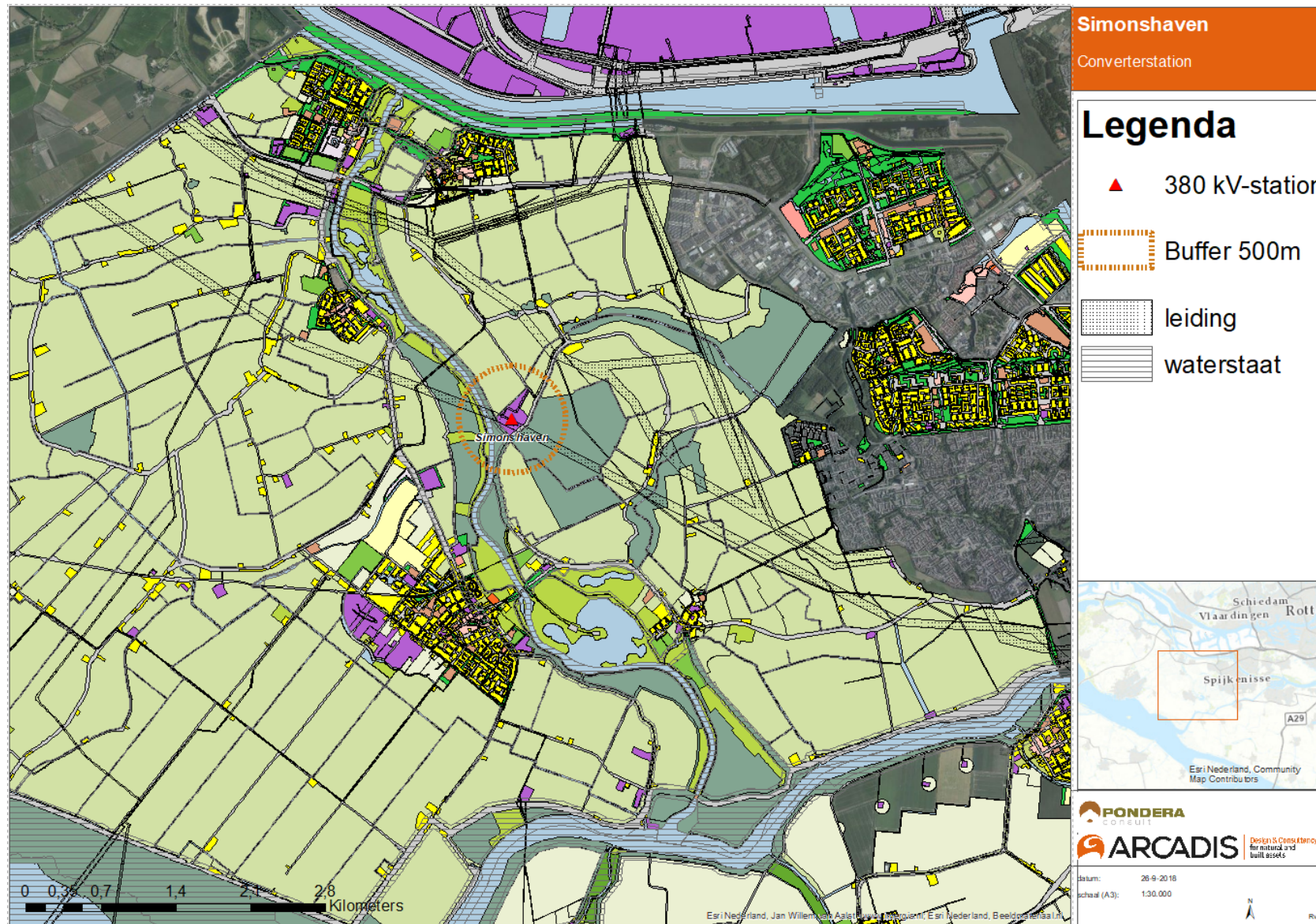
Figuur 13-3 Belemmeringen op land tracéopties IJV midden tracéopties.



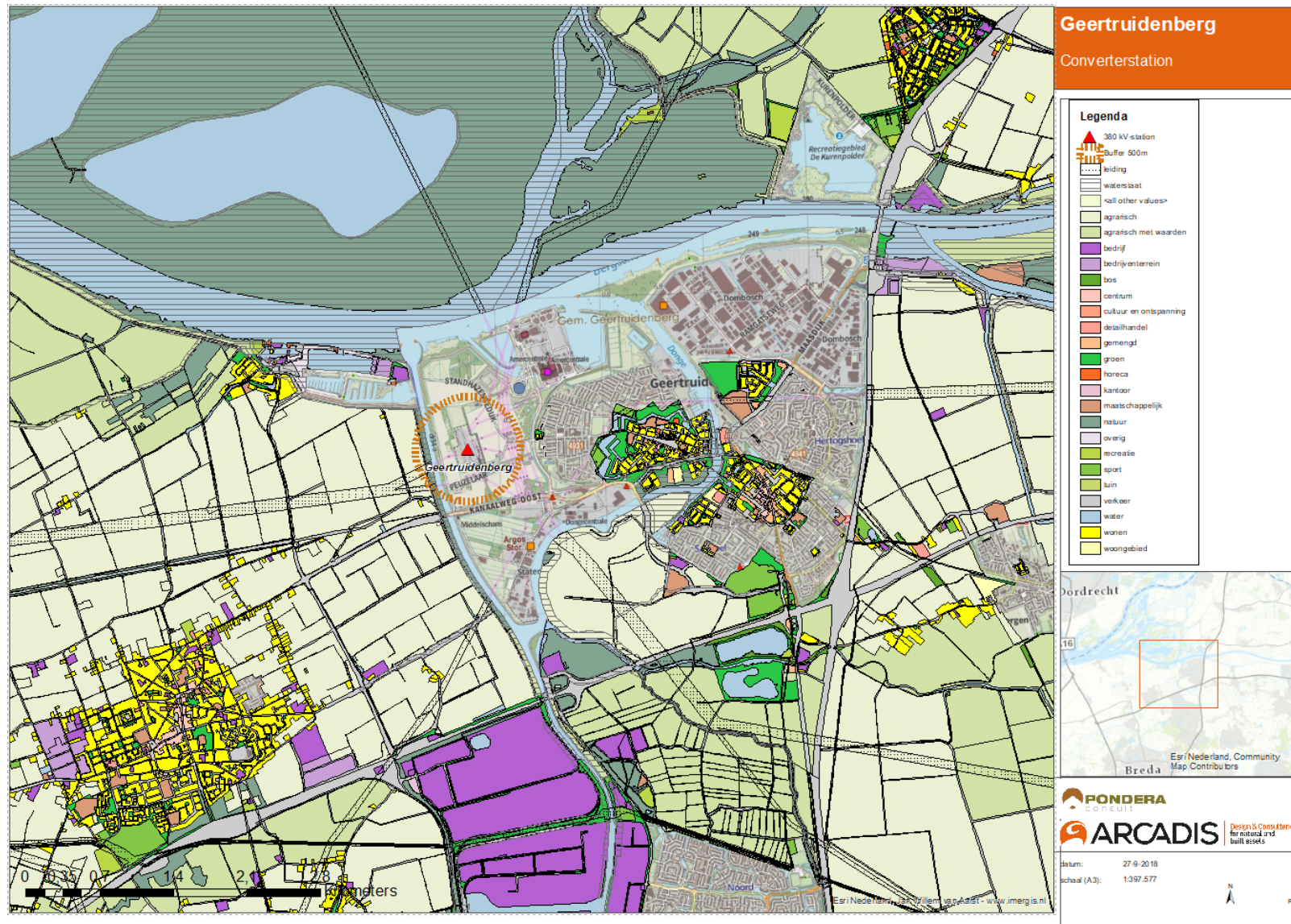
Figuur 13-4 Belemmeringen op land tracéopties IJV zuidelijke tracéopties



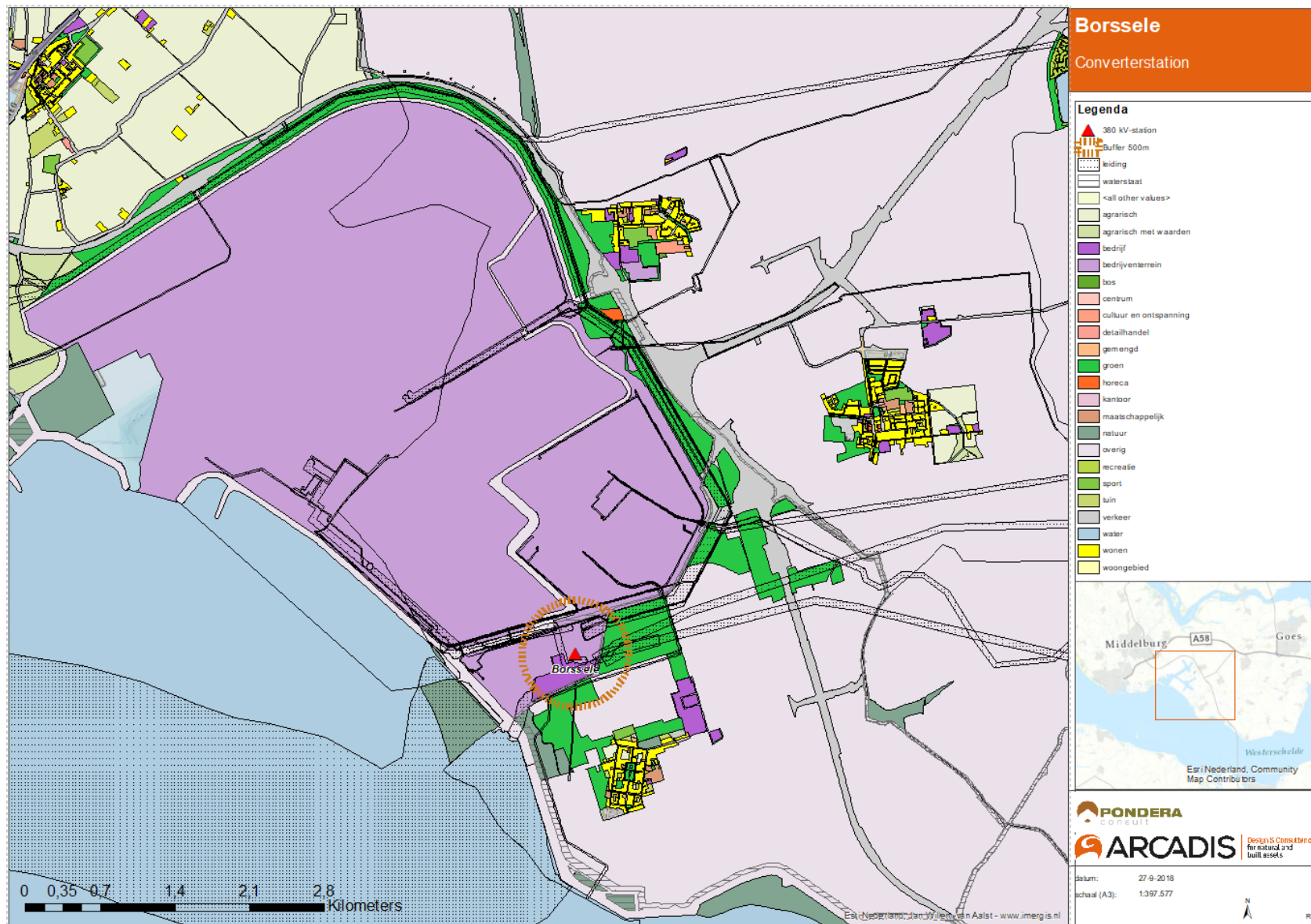
Figuur 13-5 Maasvlakte met ruimtelijke plannen



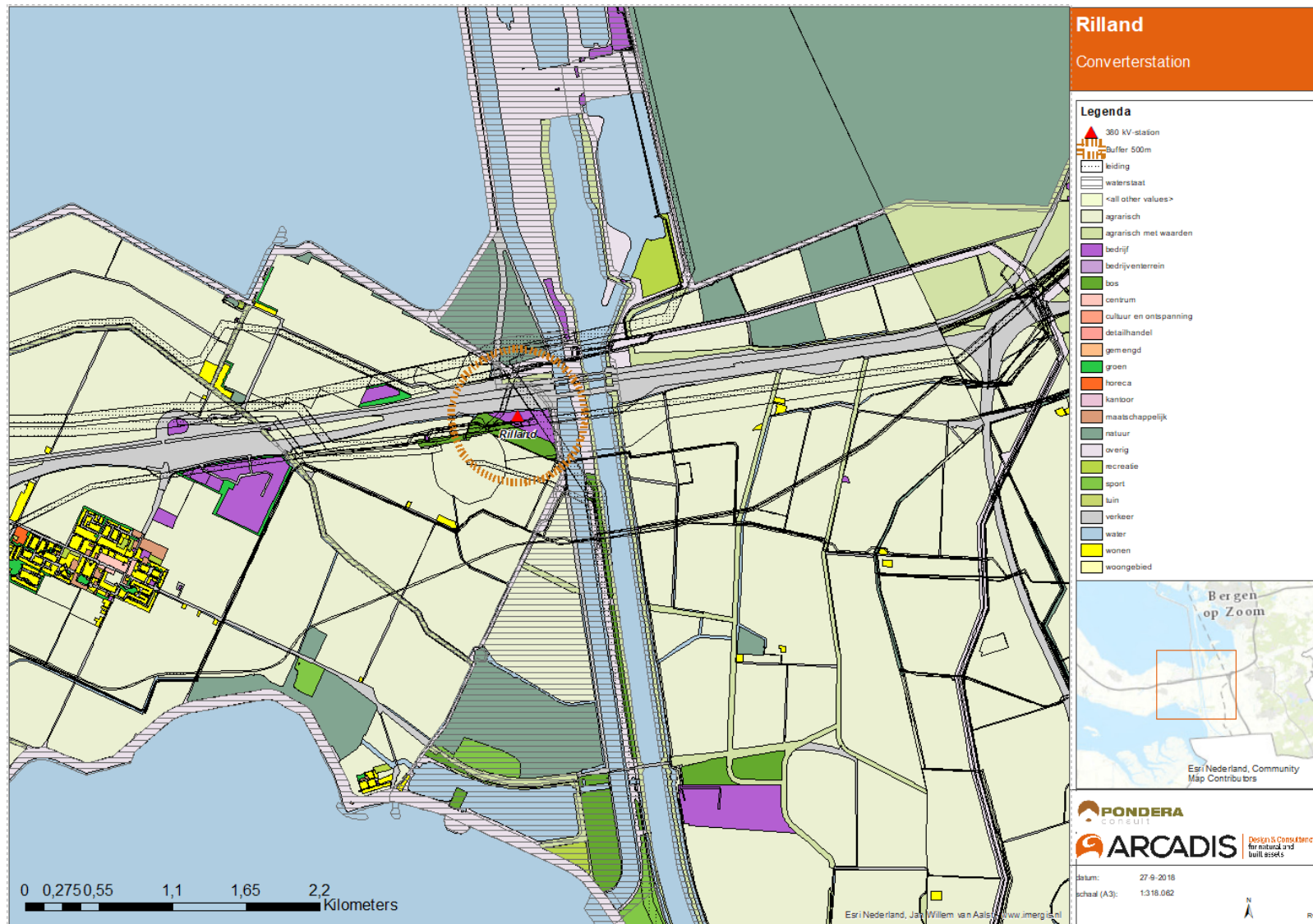
Figuur 13-6 Simonshaven met ruimtelijke plannen.



Figuur 13-7 Geertruidenberg met ruimtelijke plannen.



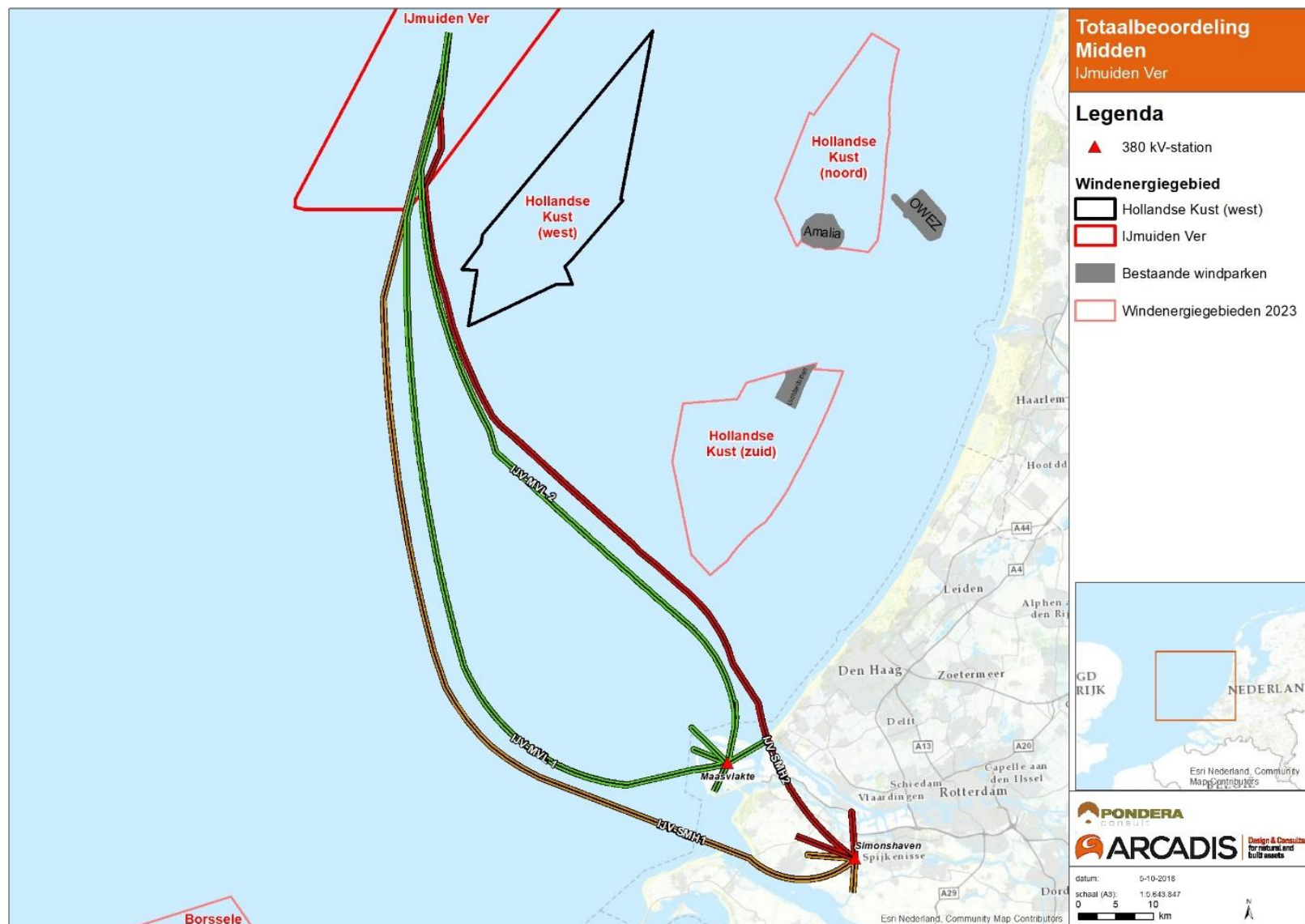
Figuur 13-8 Borssele met ruimtelijke plannen



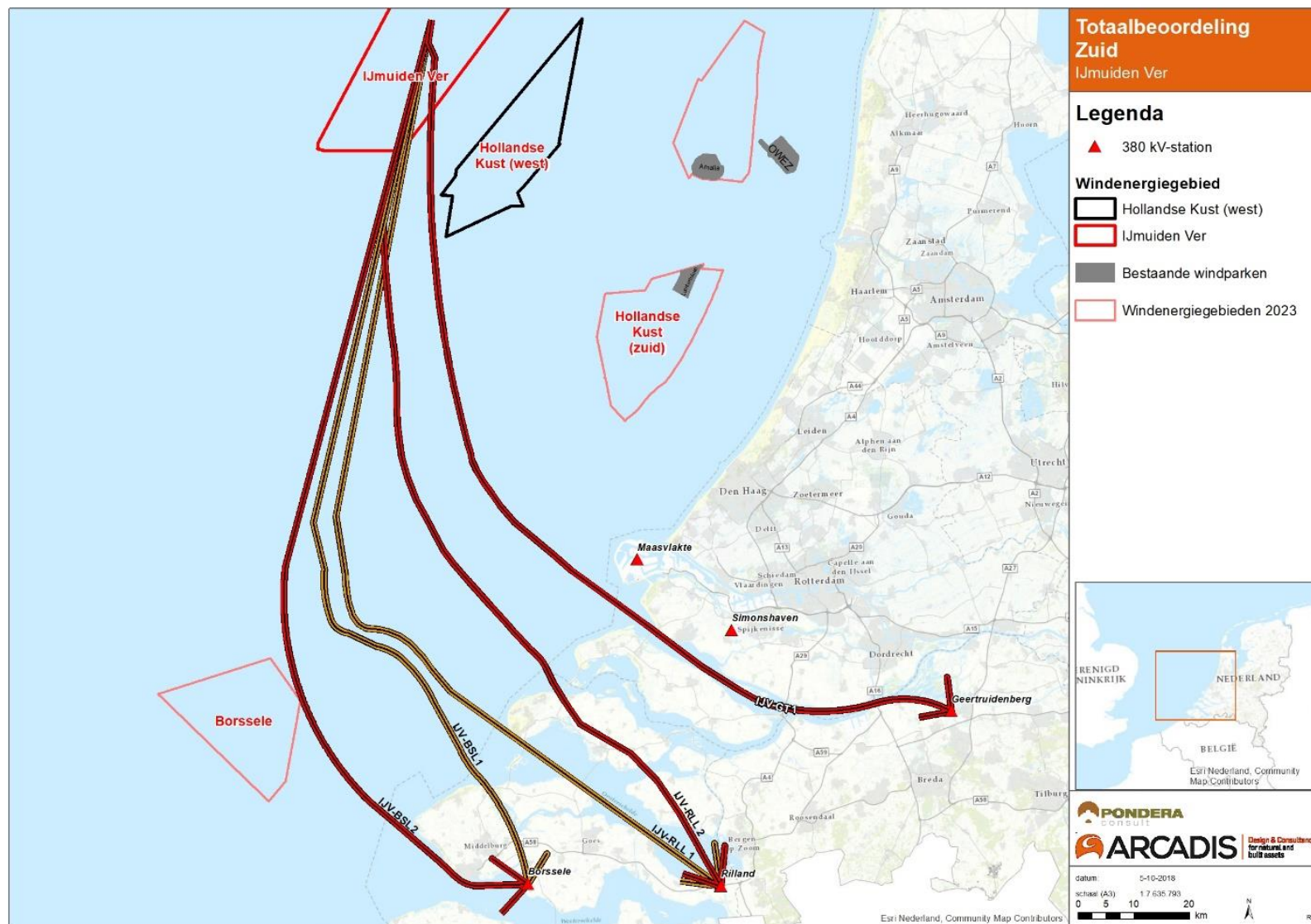
Figuur 13-9 Rilland met ruimtelijke plannen.



Figuur 13-11 Totaalbeoordeling tracéopties IJmuiden Ver.



Figuur 13-12 Totaalbeoordeling tracéopties IJmuiden Ver midden.



Figuur 13-13 Totaalbeoordeling tracéopties IJmuiden Ver zuid.

BIJLAGE B GEBRUIKTE BRONNEN

Bijlage B houdt een kader met informatie over de tijdens de bureaustudie geraadpleegde bronnen in.

Kader met geraadpleegde bronnen:

Voorstel voor hoofdlijnen van het Klimaatakkoord – Regionale strategie, 10 juli 2018
<https://www.klimaatakkoord.nl/documenten/publicaties/2018/07/10/hoofdlijnen-res>

Net voor de toekomst – Achtergrondrapport
Maarten Afman en Frans Rooijers, CE Delft, 22 november 2017

Een nationaal perspectief energie en ruimte
Generation Energy, Klimaatberaad, 10 april 2018

Offshore wind boven de Wadden
Eric Weekamp en Albert van der Hem, BLIX Consultancy BV, 21 juli 2017

Verkenning 2050 - Discussiestuk
N.V. Nederlandse Gasunie, maart 2018

Het net op zee
TenneT TSO B.V., november 2017

Kwaliteits- en Capaciteitsdocument 2017 – Deel II: Investerings Net op Land 2018-2027
TenneT TSO B.V., 2017

De toekomst van de Noordzee – De Noordzee in 2030 en 2050: een scenariostudie
Jan Matthijsen et al., Planbureau voor de Leefomgeving, 2018, Den Haag

Resultaten van gebiedsgesprekken Verkenning aanlanding netten op zee 2030
<https://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/bureau-energieprojecten/lopende-projecten/hoogspanning/verkenning-aanlanding-netten-op-zee-2030>

Noord-Nederland geeft gas op CO₂-reductie, Rapportage fase 1
Industrietafel Noord-Nederland Delfzijl-Eemshaven-Emmen, Augustus 2018

Roadmap towards a climate neutral industry in de Delta region
Marit van Lieshout, Frans Rooijers en Harry Croezen, CE Delft, Maart 2018

In drie stappen naar een duurzaam industriecluster, Rotterdam-Moerdijk in 2050
Industriecluster Rotterdam-Moerdijk, juli 2018

Conceptrapport Ontwikkelstrategie energietransitie NZKG, kansen en acties, nu en later

Cor Leguijt et al., CE Delft, juni 2018

Waterstof:

Hydrogenious Technologies – Hydrogen storage and transport via LOHC as key vector to enable sector coupling

Dominik Herzog, Power-to-Gas Conference, 07-03-2018, Antwerpen

Green Hydrogen Economy in the Northern Netherlands

Ad van Wijk et al., Noordelijke Innovation Board, oktober 2017, Groningen

Green Hydrogen Economy in the Northern Netherlands (Presentatie)

Ad van Wijk, TU Delft, 7 mei 2018

Interview met Ad van Wijk over de toekomstige rol van waterstof

Artikel Algemeen Dagblad (www.ad.nl), Annemieke van Dongen, 12 februari 2018

Hydrogen Solutions – Green Hydrogen in industry and energy applications

Eric Klein, Siemens AG, april 2018

Hydrogen and Fuel Cells – A Handbook for Communities

www.roads2hy.com, European Commission, oktober 2007

European Hydrogen Infrastructure Atlas – Part III: Industrial Distribution Infrastructure

Jérôme Perrin en Dr. Robert Steinberger-Wilckens et al., www.roads2hy.com, 3 juli 2007

Shell Hydrogen Study – Energy of the future?

Shell Deutschland Oil GmbH en Wuppertal Institut, 2017, Hamburg

Routekaart Waterstof

Jörg Gigler, Marcel Weeda, TKI Nieuw Gas, maart 2018

Waterstofroutes Nederland – Blauw, groen en import

Sebastiaan Hers et al., CE Delft, Nuon en Gasunie, juni 2018

Verkenning Waterstof Infrastructuur

Ministerie van Economische Zaken, november 2017

Waterstof Essentiële Bouwsteen Energietransitie – Manifest Waterstofcoalitie

De Waterstof coalitie, mei 2018

The effects of hydrogen injection on natural gas networks for the Dutch underground storages

DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH, RAG Rohöl-Aufsuchungs-Aktiengesellschaft, Rijksdienst voor ondernemend Nederland, 15 mei 2017

Power-to-Hydrogen IJmuiden Ver – Final Report for TenneT and Gasunie
DNV-GL, 27 juni 2018

Toekomstbestendige gasdistributienetten
Kiwa Technology B.V. voor Netbeheer Nederland, 5 juli 2018

Nel Hydrogen Electrolyser Brochure
http://nelhydrogen.com/assets/uploads/2017/01/Nel_Electrolyser_brochure.pdf

AkzoNobel en Gasunie onderzoeken 20 megawatt waterelektrolyse-unit voor opwekking groene waterstof
Persbericht AKZO Nobel en Gasunie, 9 januari 2018
<https://netherlands.akzonobel.com/nl/for-media/media-releases-and-features/akzonobel-en-gasunie-onderzoeken-20-megawatt-waterelektrolyse>
zie ook:
www.gasunie.nl/nieuws/akzonobel-en-gasunie-onderzoeken-20-megawatt-waterelektrolyse-uni

Hydrogenics Handbook Hydrogen
www.hydrogenics.com

Efficient electricity storage with the battolyser, an integrated Ni-Fe battery and electrolyser
Prof. Dr. F. Mulder en B.M.H. Weninger, TU Delft - Energy & Environmental Science, 2016

Fact Sheet Coradia iLint – a full emission free train
www.alstom.com

Coradia iLint hydrogen train receives approval for commercial operation in German railway networks
Persbericht Alstom, 11 juli 2018,
<http://www.alstom.com/press-centre/2018/07/coradia-ilint-hydrogen-train-receives-approval-for-commercial-operation-in-german-railway-networks/>

Dieselboemeltjes worden vervangen door schone treinen op waterstof
Artikel Algemeen Dagblad (www.ad.nl), Ton Voermans, 28 mei 2018

Opslag en toekomst van elektriciteit:

De rol van power-to-gas in het toekomstige Nederlandse energiesysteem
J. de Joode, ECN en DNV-GL, juli 2014

In drie stappen naar een duurzaam industriecluster – Rotterdam-Moerdijk in 2050

Bijdrage van de werkgroep industriecluster Rotterdam-Moerdijk aan het hoofdlijnenpakket voor het klimaatakkoord, 13 juli 2018

Roadmap towards a climate neutral industry in the Delta region
Marit van Lieshout et al., CE Delft en Smart Delta Resources SDR, maart 2018

Kansen voor Power-to-Gas
Sparkling Projects en Rijksdienst voor ondernemend Nederland RVO, 23 september 2015

Visiedocument Grootschalige energieopslag
FME, Energy Storage NL en NLingenieurs, 2017

Naar een hoog aandeel van duurzame energie - opslag is noodzaak voor afstemmen van vraag en aanbod
Whitepaper, Prof. Dr. Fokko Mulder et al., NLingenieurs, 1 oktober 2015

Evidence Gathering: Thermal Energy Storage (TES) Technologies
Department for Business, Energy and Industrial Strategy, 2016, United Kingdom

Warmte en koude in Nederland
Nationaal Expertisecentrum Warmte in opdracht van het Ministerie voor Economische Zaken, 2013
<https://www.rvo.nl/sites/default/files/Warmte%20en%20Koude%20NL%20NECW1202%20jan13.pdf>

Factsheets opslagtechnieken
<https://www.rvo.nl/sites/default/files/bijlagen/Statusrapport%20Bijlagen%20Opslag%20van%20elekt riciteit%20EOS.pdf>

Energieopslaglabel - een methode voor het vergelijken van het volledige spectrum van opslagsystemen
Hanzehoogeschool Groningen, Energie Kenniscentrum
https://www.energystoragenl.nl/wp-content/uploads/2015/04/Energy-Storage-Report_Dutch_Final.pdf

Compressed air energy storage power plants
Bine Informationsdienst, Karlsruhe
http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Englische_Infos/projekt_0507_engl_internetx.pdf

Interviews gevoerd met:

Marcel Weeda, ECN
Interview gevoerd op 5 juli 2018 via Skype door Egbert Jansen en Roel van Ooij. Hierna toegevoegd.

Prof. Dr. Fokko Mulder, TU Delft

Interview gevoerd op 16 juli 2018 in Delft door Egbert Jansen en Roel van Ooij. Hierna toegevoegd.

BIJLAGE C ACHTERGRONDINFORMATIE NIET-CONVENTIONEEL

In de Bijlage C houdt achtergrondinformatie in voor wat betreft inschattingen van de opbrengst en berekeningen over de te verwachten ruimtebeslag van elektrolyse installaties.

Om een inschatting te kunnen maken in hoeverre waterstofgasproductie een mogelijke bijdrage kan leveren aan de flexibiliteit en stabiliteit van het landelijke hoogspanningsnet, is gekeken naar de potentiële hoeveelheid waterstof die geproduceerd kan worden met de op zee te ontwikkelen windenergiegebieden en de hoeveelheid elektriciteit die daarvoor benut kan worden. In eerste instantie is gekeken naar een windenergiegebied met een opgesteld vermogen van 1,4 GW.

In een toekomstscenario uit het Noordelijke Innovation Board (NID) wordt aangenomen dat door een elektrolyse-plant met een vermogen van 1.000 MW 160.000 ton waterstof geproduceerd kan worden uit 1,5 miljoen m³ zoet water (uitgaande van 8.000 vollasturen per jaar). Bij een dichtheid van 0,090 kg/Nm³ en een temperatuur van 0°C en een druk van 1 atmosfeer, staat dit gelijk aan 1,77 miljard Nm³ geproduceerde waterstof per jaar. Bij deze berekening wordt opgemerkt dat de NWEA echter uitgaat van jaarlijks 4.000 vollasturen voor offshore windenergie, een waarde die meer realistisch lijkt dan de aanname van 8.000 uren. Om een indruk te krijgen van de mogelijke hoeveelheid geproduceerde waterstof van een elektrolyse-plant op gigawattschaal zijn berekeningen uitgevoerd op basis van de door de NWEA ingeschatte vollasturen per jaar in combinatie met de productspecificaties van verschillende aanbieders van elektrolyse-units.

Een elektrolyse-plant met een vermogen van 1.400 megawatt zou op basis van huidige technieken jaarlijks tussen de 1,008 miljard Nm³ en 1,120 miljard Nm³ waterstof gedurende 4.000 vollasturen kunnen produceren. Uitgaand van een temperatuur van 0°C en een druk van 1 atmosfeer staat dit gelijk aan ongeveer 100.000 ton waterstof.

Productspecificaties aanbieders:

Scenario's waterstofproductie:

Electrolyser	Verbruik water per Nm ³ geproduceerd H ₂	Productie H ₂ per uur	Productie H ₂ per uur x 1.400 MW	Uren per jaar	Productie waterstof per jaar per MW	Productie waterstof per jaar voor 1.400 MW
Silyzer 200 1,25 MW	1,5 l / Nm ³	225 Nm ³	252.000 Nm ³	4.000	(900.000/1,25)= 720.000 Nm ³	1.008.000.000 Nm ³
		20,25 kg	22.680 kg		(81.000/1,25)= 64.800 kg	90.720.000 kg
HyLYZER® - 400-30 2 MW	1,4 l / Nm ³	400 Nm ³	280.000 Nm ³	4.000	(1.600.000/2)= 800.000 Nm ³	1.120.000.000 Nm ³
		36 kg	25.200 kg		(144.000/2)= 72.000 kg	100.800.000 kg
HyLYZER® - 3,000-30 15 MW	1,4 l / Nm ³	3.000 Nm ³	280.000 Nm ³	4.000	(12.000.000/15)= 800.000 Nm ³	1.120.000.000 Nm ³
		270 kg	25.200 kg		(1.080.000/15)= 72.000 kg	100.800.000 kg

De uitgangswaarden van de productspecificaties voor de berekeningen zijn vet gedrukt, voor het omrekenen van een hoeveelheid gas in m³ naar kg wordt uitgegaan van een dichtheid van 0,090 kg/Nm³ bij gasvormige waterstof bij 0°C en een druk van 1 atmosfeer.

In het geval dat de opgewekte windenergie op zee direct gebruikt kan worden voor de productie van groene waterstof en de energie daardoor in zekere zin opgeslagen wordt, heeft dit een positief effect op het hoogspanningsnet en diens flexibiliteit en stabiliteit. Dit vanwege het feit dat het net geen rekening hoeft te houden met de distributie van een additionele hoeveelheid elektriciteit. Bij de nieuwe geplande windenergiegebieden op zee, is het echter het geval dat het hoogspanningsnet niet persé te weinig capaciteit beschikbaar heeft voor het opvangen van de door de windparken bijkomende hoeveelheid aan energie, zoals in paragraaf 2.1.3 al is weergegeven. Er bestaat dus geen directe behoefte aan een ontlasting van het netwerk door de productie van waterstof.

Voor een inschatting van de benodigde ruimte van elektrolyse-installaties is er gekeken naar de huidige grondoppervlakte van elektrolyse-units. Deze zijn zowel verkrijgbaar als "open" binnen versie als in gestandaardiseerde containers voor buiten gebruik. Het ruimtebeslag verschilt per producent en type van de elektrolyse-unit. Om een indruk te krijgen over het mogelijke ruimtebeslag van een elektrolyse-unit op gigawattschaal zijn berekeningen uitgevoerd op basis van de productspecificaties van verschillende aanbieders van elektrolyse-units.

De HyLYZER® 400-30 van Hydrogenics met een vermogen van 2 megawatt bestaat uit twee elektrolyse-units in standaard containers, één met 40 ft en één met 20 ft. Dit komt overeen met een grondoppervlakte van 29,77 m² en 14,79 m² buitenmaat. Ervan uitgaande dat een onderlinge afstand van 1,5 meter tussen de containers benodigd is (eigen inschatting), betekent dat per megawatt een benodigde grondoppervlakte van 41,88 m². Voor een elektrolyse-installatie van 1.400 megawatt zou dit dus een ruimte van rond 58.632 m² in beslag nemen.

Zonder rekening te houden met een onderlinge afstand tussen de containers zou dit een grondoppervlakte van 31.192 m² betreffen.

Daarnaast biedt Hydrogenics ook een 15 MW indoor model aan, dat uit tien aan elkaar gesloten units bestaat en in totaal een grondoppervlakte van 600 m² in beslag neemt. Voor een elektrolyse-installatie van 1.400 megawatt zou dit dus een ruimte van rond 63.210 m² in beslag nemen, indien een onderlinge afstand van 1,5 meter aangehouden wordt. Zonder de onderlinge afstand zou het een grondoppervlakte van 56.000 m² betreffen.

Ter vergelijking tot de opstellingen van Hydrogenics is er ook een inschatting gedaan op basis van een 1,25 megawatt elektrolyse unit van Siemens, de Silyzer 200. De unit heeft een grondoppervlakte van 19,53 m². Deze variant is niet in containers geïntegreerd voor kant en klaar buiten gebruik, daarom zou nog een overkapping gebouwd moeten worden. Ervan uitgaand dat ook hier een afstand van 1,5 meter tussen de units benodigd is, zouden deze elektrolyse-units per megawatt een grondoppervlakte van 28,7 m² nodig hebben. Voor een elektrolyse-installatie van 1.400 megawatt zou dit dus een ruimte van rond 40.180 m² in beslag nemen. Zonder rekening te houden met een onderlinge afstand zou dit een grondoppervlakte van 21.874 m² betreffen.

BIJLAGE D INTERVIEWVERSLAGEN

OVERLEGNAAM

Interview Marcel Weeda (ECN)

DATUM NOTULEN VERZONDEN

5 juli 2018

DATUM VERGADERING

29 juni 2018

STARTTIJD VERGADERING

10:00

LOCATIE

Skype

EINDTIJD VERGADERING

11:00

DEELNEMERS

Marcel Weeda, Egbert Jansen, Roel van Ooij

NAAM

Roel van Ooij

T +31 884261645 M +31 (0) 6 11100980

E roel.vanoij@arcadis.com

ONZE REFERENTIE

Error! Unknown document property name. Error! Unknown document property name.

Doel

Inzichten verkregen door literatuurstudie Arcadis en Pondera Consult verifiëren bij Marcel Weeda, medeauteur van de Routekaart Waterstof (maart 2018).

De technische ontwikkelingen binnen waterstof gaan snel. Wij verwachten dat technisch gezien grootschalige productie (op GW-niveau) van waterstof mogelijk is in 2030. Hoe kijkt u hier tegenaan?

- De technologie is aanwezig en de productie-units zijn modulair uit te bouwen. Dit is dus mogelijk. De uitdaging in het opschalen zit in het zogenaamde balance of plant. Dit slaat op de volledige engineering van de productie-unit. Momenteel zijn er capaciteiten van 20 MW beschikbaar, tegen 2030 zullen op de tekentafel productie-units van 100 MW liggen. Tegen die tijd is het bekend hoe je deze schaalgrootte moet bouwen.

Hoe zit het met het ruimtebeslag van elektrolyzers in 2030? Is stapeling van units de hoogte in mogelijk?

- Stapeling van units de hoogte in moet mogelijk zijn, hiermee wordt ruimte bespaard. Siemens is ook van mening dat dit kan. Echter, tot nu toe zijn alle ontwerpen gericht op één laag op de grond
- Het algemene ruimtebeslag hangt van het type technologie af. PEM-elektrolyse is een factor 3 kleiner qua ruimtebeslag dan Alkalische elektrolyse. Na 2030 is de verwachting dat er technologieën zijn ontwikkeld die veel kleiner zijn. Er is hiervoor veel aandacht vanuit de markt. Iedereen ziet dat waterstof iets van de toekomst is, hierdoor gaan de ontwikkelingen snel.

Zijn er commerciële opdrachten of onderzoeksbudgetten beschikbaar?

- Afgelopen jaar is er een contract gesloten met het Noorse Nel en een Franse partij voor 100 tot 400 MW systeem aan capaciteit. Hiervoor zijn wel feed-in tarieven noodzakelijk vergelijkbaar met bio-methaan voor een Final Investment Decision. Anders is dit financieel niet haalbaar.
- Er is en er wordt op dit moment veel geïnvesteerd in de nieuwe generatie elektrolyzers. Wel zeggen fabrikanten zoals Siemens nu: er is flink door ons geïnvesteerd, we gaan nu een project doen in Oisterwijk. De volgende projecten moeten commercieel zijn.

Overgang naar duurzame waterstof, hoe gaat dit lopen?

- Iedereen ziet de potentie waterstof. De vraag is of dit in de doelen naar 2030 een rol gaat spelen. Er mist op dit moment een groot voorbeeldproject. Een voorbeeldproject kan ervoor zorgen dat anderen ook in het diepe durven te springen, er heerst nu koudwatervrees.

Wat zijn de kostenontwikkelingenrichting 2030?

- Richting 2030 liggen de prijzen van aardgas en prijzen van elektriciteit/elektrolyse niet ver van elkaar. Dit biedt perspectief voor een positieve businesscase voor waterstof. Het is echter nog niet volledig duidelijk welke zekerheid bedrijven willen hebben om waterstofproductie commercieel op te pakken.

Is elektrolyse op zee een optie in 2030?

- Elektrolyse op zee zal in 2030 nog geen rol spelen. Er zijn studies gedaan naar het gebruik van bestaande platforms op zee. De omstandigheden hier zijn lastig, een klimaathuls om de installatie heen zouden de omstandigheden kunnen conditioneren. Dit heeft echter invloed op de kosten die mee spelen. Wellicht is het wel mogelijk om tegen die tijd een pilot op te zetten.

Kan u een toelichting geven op tabel 5 bladzijde 43 van de Routekaart Waterstof? De getallen zijn namelijk erg groot.

- De functie van deze tabel is om aan te geven hoe groot de vraag naar waterstof zou kunnen zijn. Er is gekeken naar wat de huidige situatie is en hoe dit te verduurzamen is met waterstof. Hierbij is rekening gehouden met netto geen CO₂-emissie. Een opvallend getal is afkomstig van de duurzame brandstoffen (700PJ/j). Normaal wordt in dit soort berekeningen schepen en vliegtuigen niet meegenomen in verband met het internationale karakter. In deze berekening is dit wel meegenomen omdat dit uiteindelijk ook onderdeel moet zijn van de verduurzamingsopgave. Door de grote havens en luchthavens die Nederland heeft vallen deze getallen relatief groot uit. In deze tabel is geen rekening gehouden met conversieverliezen, dus de getallen kunnen nog hoger uitvallen in werkelijkheid.

Uit ons onderzoek blijkt dat de huidige vraag van waterstof in Nederland 11 miljard Nm³ is, klopt dit?

- Ja dit klopt, er is een (niet heel recente) studie die beschrijft dat 7,5 m³ waterstof uit aardgas wordt geproduceerd en de rest (3,5 miljard Nm³) als restproduct vanuit de industrie

Indien de 6 GW aan windenergie op zee die gepland is voor 2030 omgezet wordt in waterstof zou de productie van waterstof nog steeds minder zijn dan de vraag. Heb je dan nog wel opslag van waterstof nodig?

- Er is ongeveer 7,5 GW aan windenergie nodig voor 7,5 miljard Nm³ waterstof die momenteel via aardgas wordt opgewekt. Er zijn geen issues met opslag tot 2030. Echter, het is altijd voordeliger om als eerste opwekking van fossiele elektriciteit te vermijden omdat er dan geen conversieverliezen optreden. Er zijn scenario's waarbij dit gaat knellen: indien er overproductie dan wel onderproductie is vanuit duurzame energie. Dan kan waterstof fungeren als netstabilisator. Het is van belang dat we voorbereid moeten zijn op het moment dat er een overschot aan elektriciteit zich voordoet. Als dit niet het geval is dan stopt de uitrol van windenergie op zee.
- Op dit moment is het zelfs nadeliger om waterstof te produceren met de huidige elektriciteitsmix dan met aardgas. Bij waterstofproductie met aardgas komt er 9 kg CO₂ per kg waterstof, met de huidige elektriciteitsmix is dit 25 kg CO₂ per kg waterstof. Dit daalt zodra er meer duurzame energie in de elektriciteitsmix terecht komt. Voor die tijd is het wellicht praktisch om al aan de slag te gaan met waterstof om netkelpunten op te lossen.
- Het is mogelijk dat producenten met eigen zonne- of windpark groene waterstof gaan maken. Dit heeft dan (kleinschalige) opslag nodig. Maar gezien de kosten zal dit niet snel gebeuren.

Transport van waterstof via gasleidingen kan op twee manieren: 1) bijmenging van waterstof op bestaande gasnet met aardgas. 2) In één keer stoppen met gas en starten met waterstof. Knelpunt hierbij is de Gaswet die bijmenging in de weg zit. Wanneer krijg je problemen met bijmengen?

- Als je waterstof wil bijmengen is het mogelijk tot 20-30%. Dit heeft impact op eindgebruikers. Het aanpassen van de Gaswet neemt veel consequenties met zich mee. Een meer waarschijnlijk scenario is dat er een deel van het gasnetwerk wordt vrijgespeeld voor puur waterstof. Hierbij is het efficiënt om eerst grote industriële afnemers aan te sluiten, overige aansluitingen is veel moeite voor weinig winst.
- Daarnaast is er een partij die buis-in-buis concepten kan realiseren zodat er een deel van de buisleidingen door waterstof wordt gebruikt. Deze flexibele buizen kunnen makkelijk 50-70 bar aan druk hebben. De certificering hiervoor ontbreekt echter nog. Partijen die betrokken zijn hierbij: Kiwa en Groningen Seaports.

Kan externe veiligheid een grote hobbel zijn in de uitrol van waterstof?

- Als er gedwongen wordt om goed na te denken over de veiligheid en gevaren van waterstof zal de hobbel wel meevallen. Waterstof wordt op dit moment gezien als chemisch product en niet als brandstof. Hierdoor valt het onder andere veiligheidsregimes. Maar we moeten de risico's niet onder het kleed vegen: het is een licht ontvlambaar product. Het moet binnen de bestaande veiligheidsnormen vallen. Dit is een technisch verhaal en het is mogelijk om hieraan te voldoen. Nadeel is dat er minder statistieken beschikbaar zijn omdat waterstof minder wordt gebruikt. Het risico is kans x impact, door het gebrek aan statistieken is er een grotere veiligheidsmarge nodig.

- Publieke opinie moet nog worden beïnvloed, het moet duidelijk zijn dat er niet getornd wordt aan de bestaande veiligheidseisen. In Nederland hebben we 150 jaar lang gehad met 60% waterstof. Dit werd zonder problemen naar woningen getransporteerd. Misschien is het een kwestie van de naam veranderen om het publiek mee te krijgen.

OVERLEGNAAM

Interview Fokko Mulder (TU Delft)

DATUM NOTULEN VERZONDEN

31 juli 2018

DATUM VERGADERING

16 juli 2018

STARTTIJD VERGADERING

15:00

LOCATIE

Delft

EINDTIJD VERGADERING

16:30

DEELNEMERS

Fokko Mulder, Egbert Jansen, Roel van Ooij

NAAM

Roel van Ooij

T +31 884261645 M +31 (0) 6 11100980

E roel.vanooij@arcadis.com

ONZE REFERENTIE**Error! Unknown document property name. Error! Unknown document property name.**

Aanleiding

De inzichten verkregen door de literatuurstudie naar energieopslag door Arcadis en Pondera Consult verifiëren bij Fokko Mulder, professor bij TU Delft en hoofdauteur van de whitepaper NLingenieurs 'Naar een hoog aandeel duurzame energie' (2015).

Hoe ziet het elektriciteitsnetwerk van de toekomst eruit en wat zijn de verwachtingen in 2030, ook kijkend naar de volgens TenneT voldoende aanwezige netcapaciteit?

- Voorlopig is er niet zozeer een probleem van congestie, maar veel meer het niet overeen komen van vraag en aanbod van elektriciteit. Gaat het wel zo makkelijk als TenneT aangeeft? De KCD wordt alleen op dagniveau doorgerekend en niet op minuutniveau. Dit is nog wel een risico. Op het net van TenneT in Duitsland wordt er per jaar € 1 miljard aan regelvermogen ingezet. Dit is 30-40 procent van de duurzame energie die opgewekt kan worden. Duitsland exporteert elektriciteit op alle piekmomenten. Dat is nu nog mogelijk, maar de verwachting is dat dit in de toekomst niet meer kan. In Nederland is het nog niet zo ver als het voorbeeld in Duitsland. Maar met 12 GW aan windenergie en een aantal GW aan zonne-energie kom je hier snel aan. Dit is al gelijk aan het elektriciteitsverbruik in Nederland. Eerder dan 2030 ontstaat er al een situatie waarbij elektriciteit niet afgezet kan worden op het net. Dit zijn geluiden vanuit lokale netbeheerders.

Als je naar het hele systeem kijkt (inclusief warmte/ feedstock etc.) in 2050 met als doel een zo goed als volledig duurzaam ingevulde energievraag, ligt hier de energievraag nog altijd een stuk hoger dan de opbrengst van duurzame energie. Als je ervan uitgaat dat de volledige energievraag elektrisch opgewekt wordt met duurzame energieproductie (met meer zon t.o.v. wind: per m2 meer energie met zon dan met wind), dan zou dit betekenen dat in de zomer veel energie opgewekt wordt, en in de winter relatief weinig. Dit vraagt om langdurige energieopslag. Voor de situatie in 2030 zit dit er een beetje tussenin.

Hoe kan opslag het beste ingezet worden?

- Ontwikkelingen in opslag gaan snel, maar daling van de CAPEX heeft veel te maken met schaalgrootte. Het probleem is dat iedereen naar elkaar kijkt. Daarnaast is strategisch inzet van opslag van belang voor de kosten (in volgorde):
 - o Direct gebruik van elektriciteit
 - o Korte termijn opslag in batterijen
 - o Lange termijn opslag in gas en vloeistoffen
 - o Warmte (Niet meer om te zetten in elektriciteit, dus minder flexibel)

Op de Noordzee levert windenergie gemiddeld 40-50 procent van het maximum aan elektriciteit. Waar ga je dan de capaciteit van de kabels op uitlijnen? Als je 100 GW installeert, dan ga je misschien naar 50-60 GW aan kabelcapaciteit. De rest kan je opslaan als het hard waait en verkopen op het moment dat er een grote vraag is. Dit kan bijvoorbeeld door gebruik te maken van de Battolyser waarbij de elektriciteitsvoorziening altijd optimaal wordt benut en waterstof gemaakt wordt van overschot en verkocht wordt als er vraag is.

Hoe zit het met de kosten van opslag?

- Er kan op verschillende manieren naar energieopslag gekeken worden. Vaak wordt Opslag als duur en daardoor niet rendabel bestempeld. Aan de andere kant: wat verdien je ermee? Als er veel productie is, drukt dit de elektriciteitsprijs. Ondertussen mag de prijs ook weer niet te hoog blijven, anders wordt de groene waterstofprijs te hoog. Voor mobiliteit kan dit al snel uit, voor chemie zijn de waterstofprijzen een stuk lager.
Op dit moment gaat er vanuit Europa € 1 miljard euro per dag naar de rest van de wereld voor de aanschaf van fossiele brandstoffen. Als je hetzelfde bedrag in duurzame energie en opslag stopt kan er een groot deel van Europa voorzien worden van duurzame energie.

In de Whitepaper 'Naar een hoog aandeel duurzame energie' van NLIngenieurs staat dat er in 2030 400 GWh opslag voor korte termijn (dag/nacht) nodig is en 50.000 GWh aan seizoensopslag nodig is. Hoe bent u als medeauteur tot deze cijfers gekomen? De verwachtingen over opslag lopen namelijk sterk uiteen tussen geen opslag en de eerdergenoemde cijfers.

- De data is afgeleid vanuit een model die gebruik maakt van de Global Energy Assessment 2012. Dit is geschaald naar Nederlands gebruik. Een mismatch op korte termijn is korte termijn opslag en mismatch op lange termijn is lange termijn opslag.

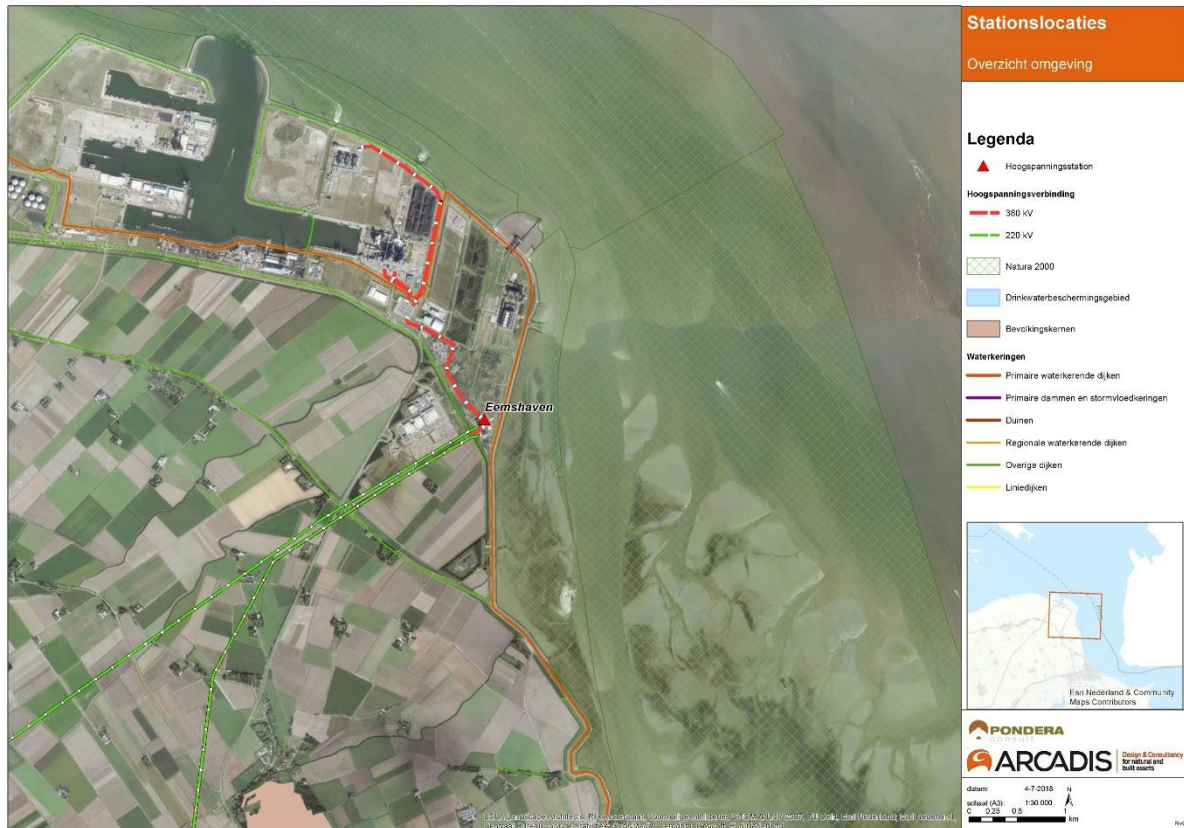
Men denkt ook snel aan curtailment als er hoge pieken gehanteerd moeten worden: dan maar niet opwekken als het niet meteen gebruikt kan worden. Zo wordt dit ook geredeneerd vanuit TenneT. Echter: dat betekent ook dat men in de winter / in matig weer eigenlijk meer opwerkcapaciteit nodig heeft omdat men eerder in goed weer niet op heeft kunnen slaan. De hoogste pieken bevatten ook de meeste energie. Men zal moeten afwegen wat het kost om meer opwek (wind en zon) neer te zetten om ook in matige tijden nog iets op te wekken enerzijds tegen opslag installeren anderzijds. Men zal snel bedenken dat opslag toch goedkoper is en minder ruimte kost dan 3x zo veel wind- en zonneparken te installeren. Ook maakt men de business van de wind/zon kapot door te veel overproductie neer te zetten die dan allemaal heel vaak stilgezet wordt. Beter de vraag opschalen met opslag en conversie en minder overproductie; kost ook minder ruimte en netwerken.

In de transitie is aardgas in bestaande gascentrales stoppen goedkoper dan opslag en conversie. Echter daar moeten we uiteindelijk toch van af. En: die fossiel gestookte centrales krijgen steeds meer concurrentie van duurzame stroom, draaien minder uren en moeten dus ook in prijs omhoog. Toekomst bestendig is: die centrales ombouwen naar duurzaam geproduceerde en opgeslagen brandstof (zie Nuon Magnum centrale). Dan mag de prijs van de geleverde stroom hoger zijn: dat maakt het mogelijk de rest van het jaar duurzaam te draaien op zon en wind, en deze centrales alleen als duurzame back-up te houden.

BIJLAGE E RUIMTELIJKE ANALYSE AANSLUITSTATIONS GROVE ZEEF

Eemshaven

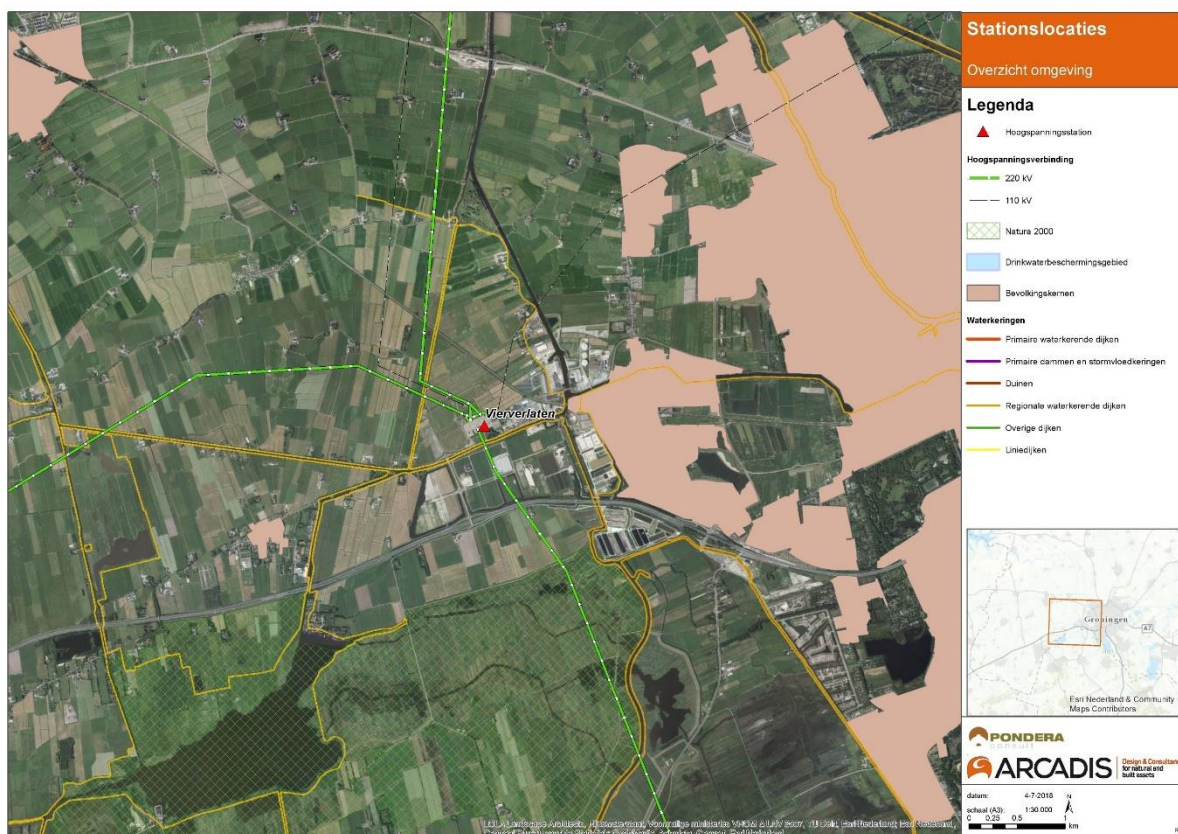
In de omgeving van station Eemshaven lijkt er op basis van GIS-analyse voldoende beschikbare ruimte aanwezig voor een transformatorstation. Er is bedrijventerrein beschikbaar waar een station zou kunnen staan en er is eventueel voldoende open agrarische ruimte in de omgeving.



Figuur **Error! No text of specified style in document.**-1 Omgeving stationslocatie Eemshaven.

Vierverlaten

In de omgeving van station Vierverlaten lijkt uit een eerste Gis-analyse dat hier voldoende open ruimte (agrarisch) beschikbaar is voor een transformatorstation.

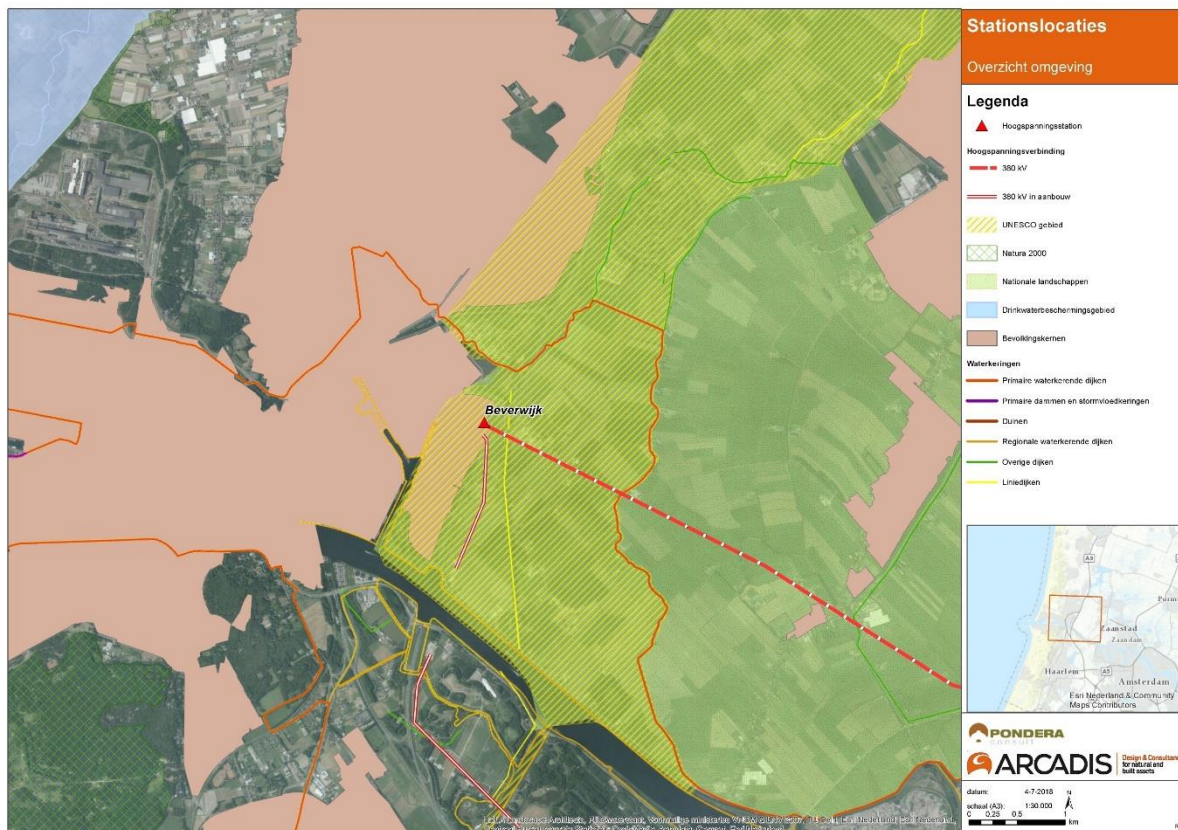


Figuur Error! No text of specified style in document.-2 Omgeving stationslocatie Vierverlaten.

Beverwijk

Bij 380 kV-hoogspanningsstation Beverwijk is er al een transformatorstation voorzien op het terrein van Tata Steel, in verband met de aansluitingen van Hollandse Kust (noord) en Hollandse Kust (west Alpha). Er is op die plek ruimte voor de bouw van een extra veld waarop circa 700 MW aangesloten kan worden.

Ruimte voor een converterstation is niet aanwezig op het Tata Steel terrein. Nabij Beverwijk is enkel ruimte ten oosten van de A9. Dit gebied maakt onderdeel uit van UNESCO-werelderfgoed Stelling van Amsterdam. Een converterstation heeft een groot effect op dit gebied en is daardoor hier niet realiseerbaar¹.

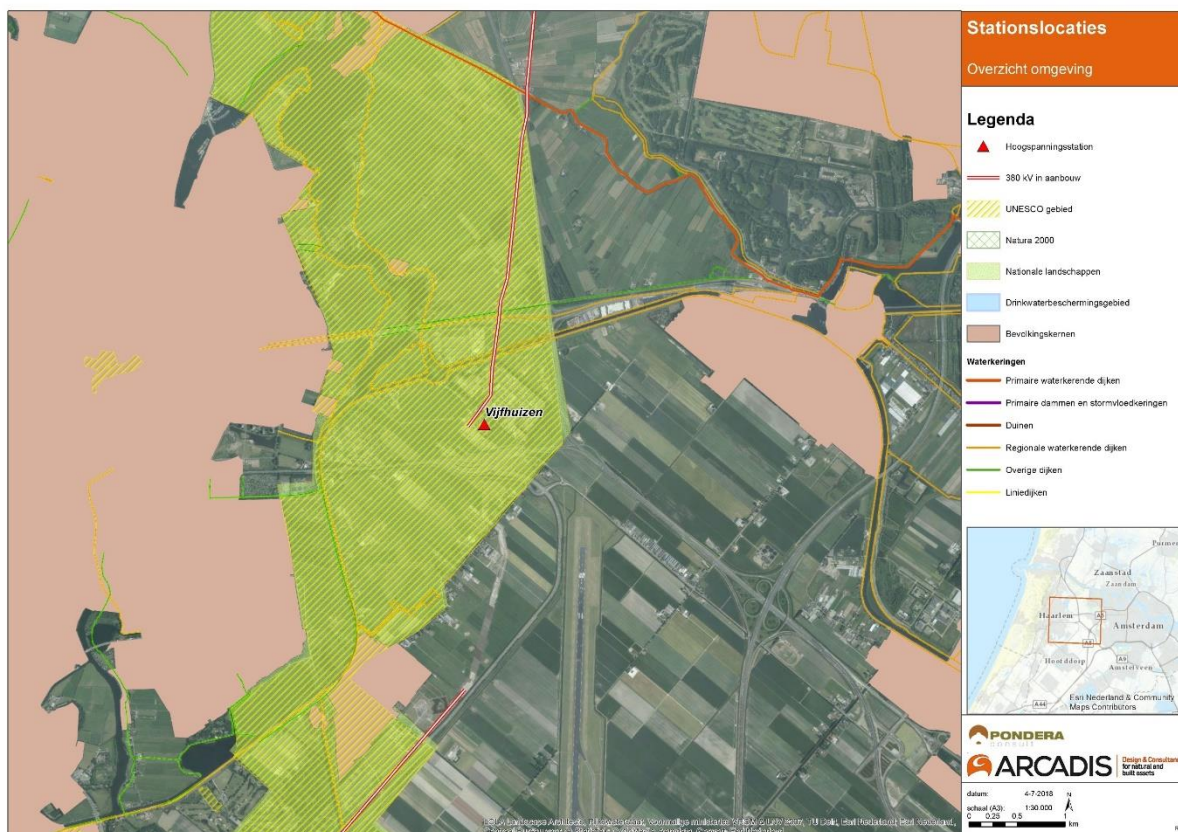


Figuur **Error! No text of specified style in document.**-3 Omgeving stationslocatie Beverwijk

¹ Er is voor het project net op zee Hollandse Kust (noord) en Hollandse Kust (west Alpha) een Heritage Impact Assessment (HIA) gedaan voor deze locatie. Daar is geconcludeerd dat de effecten van een transformatorstation op de Stelling van Amsterdam (SvA) groot zijn.

Vijfhuizen

Zoals te zien in Figuur **Error! No text of specified style in document.**-4 ligt het bestaande 380 kV-station in gebied van de Stelling van Amsterdam (UNESCO-gebied), maar dit hoeft niet direct een harde belemmering te zijn voor de bouw van een transformatorstation/converterstation². De locatie heeft veel bedrijventerrein/industrieterrein in de directe omgeving waar een station gebouwd zou kunnen worden. Ten westen van het bestaande 380 kV-station is veel bebouwing aanwezig, dit maakt een transformatorstation/converterstation lastiger te realiseren. Geconcludeerd wordt dat er voldoende plek lijkt in de omgeving.

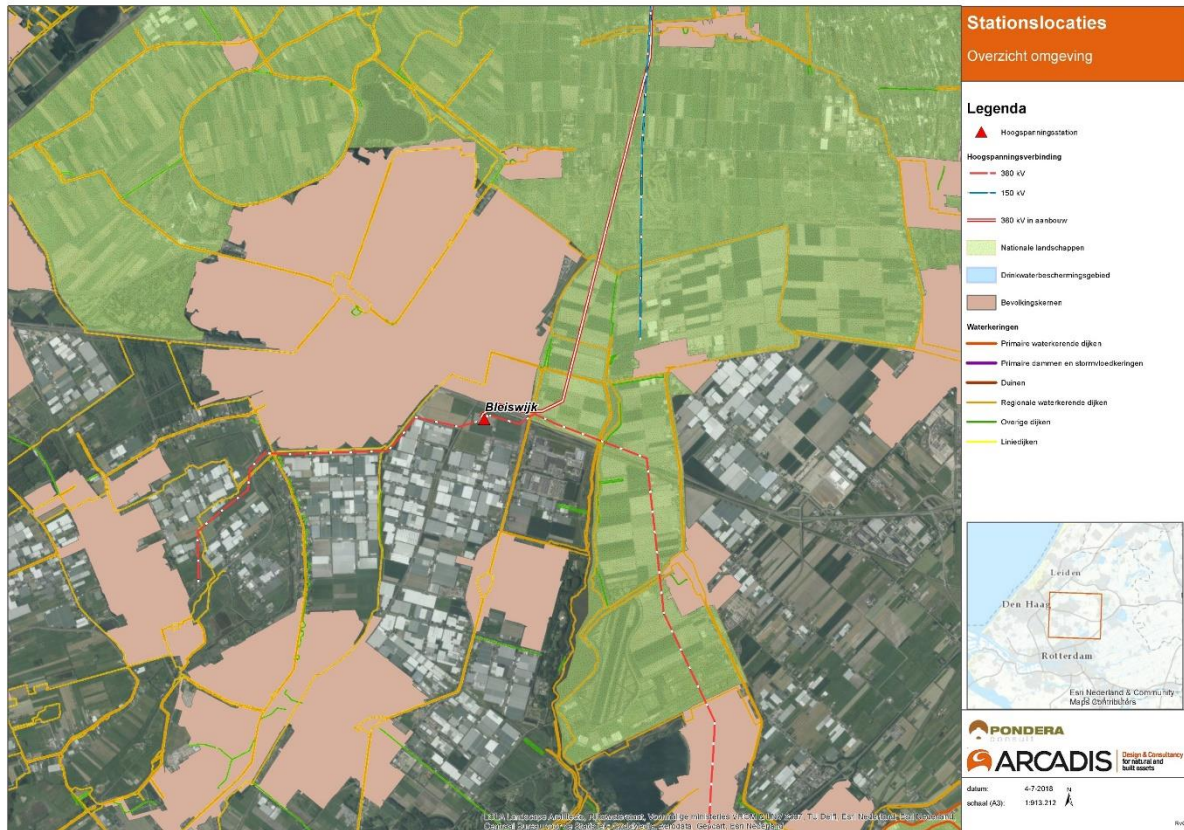


Figuur **Error! No text of specified style in document.**-4 Omgeving stationslocatie Vijfhuizen

² Er is voor het project net op zee Hollandse Kust (noord) en Hollandse Kust (west Alpha) een Heritage Impact Assessment (HIA) gedaan voor deze locatie. Daar is geconcludeerd dat de effecten van een transformatorstation op de Stelling van Amsterdam (SvA) klein zijn.

Bleiswijk

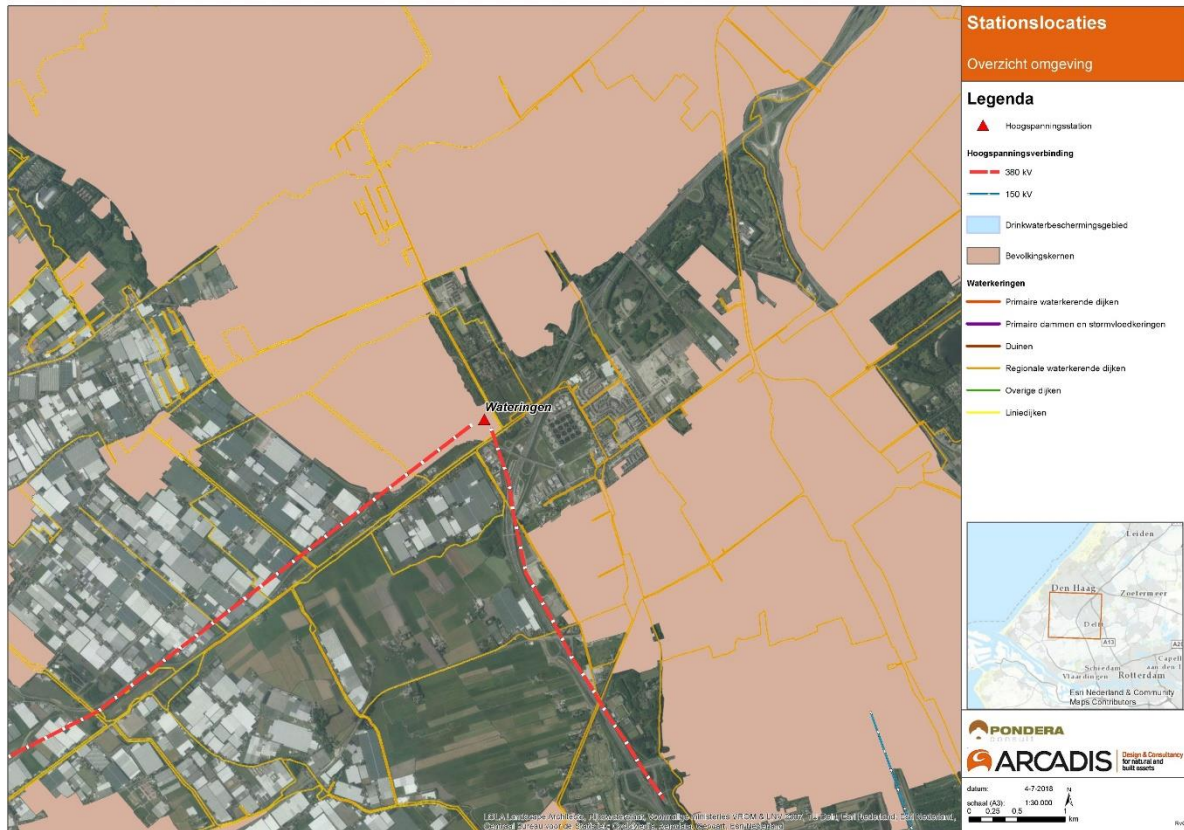
Het bestaande 380 kV-hoogspanningsstation in Bleiswijk ligt tegen de A12 aan op bedrijventerrein. Er is veel open gebied (agrarisch) ten noordoosten en zuidoosten van het station. Verder zuidelijk van het station is glastuinbouw, daar lijkt het vinden van een geschikte locatie moeilijk. Geconcludeerd wordt dat er uit de GIS-analyse op het bedrijventerrein voldoende ruimte beschikbaar lijkt voor een converterstation.



Figuur Error! No text of specified style in document.-5 Omgeving stationslocatie Bleiswijk.

Wateringen

Enkele kilometers ten zuidwesten van het bestaande 380 kV-station is veel open veenweidegebied (agrarisch) met veel ruimte. Geconcludeerd wordt dat er in het agrarisch gebied binnen een straal van 5 kilometer van het bestaande hoogspanningsstation voldoende ruimte lijkt te zijn die geschikt is voor de bouw van een transformator/converterstation.



Figuur Error! No text of specified style in document.-6 Omgeving stationslocatie Wateringen.

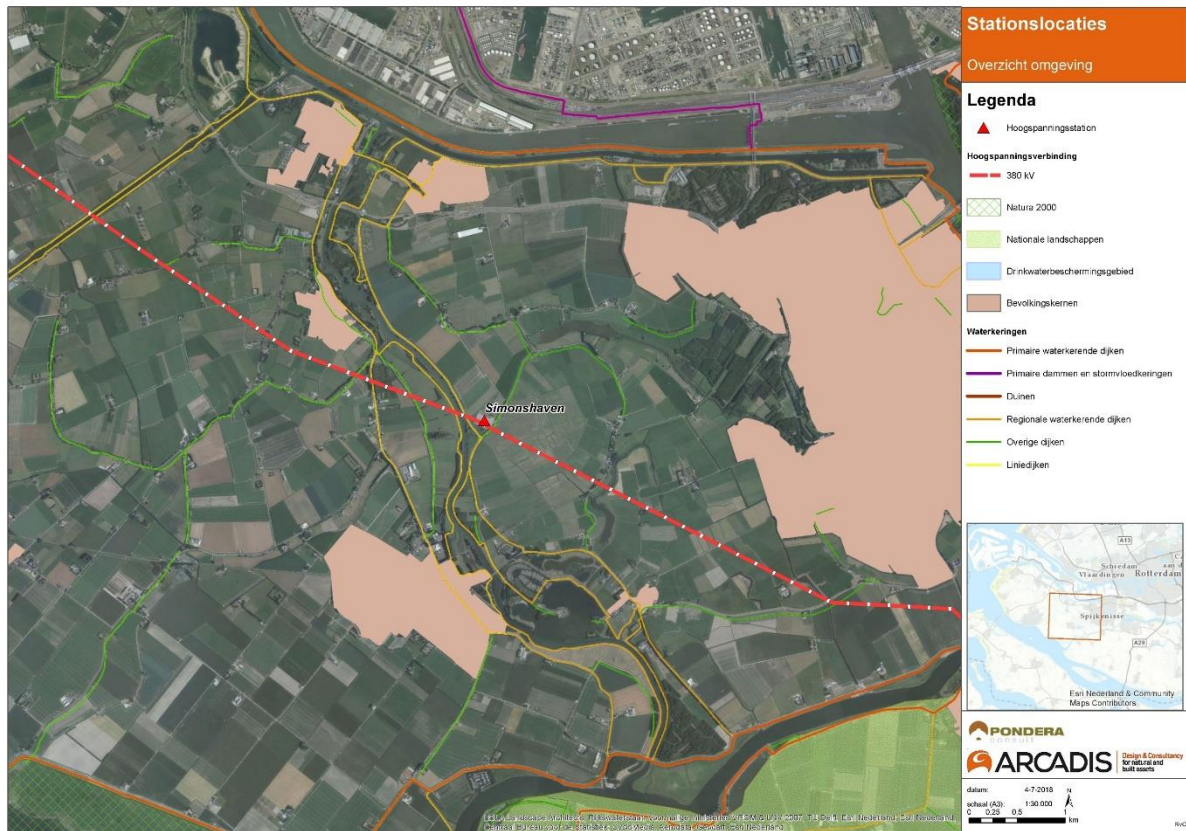
In de buurt van het 380 kV-station zijn op het industrieterrein meerdere onbebouwde kavels van voldoende oppervlak voor een converter en/of transformatorstation. Hierdoor lijkt het mogelijk om deze in de omgeving van het station te realiseren.



Figuur Error! No text of specified style in document.-7 Omgeving stationslocatie Maasvlakte.

Simonshaven

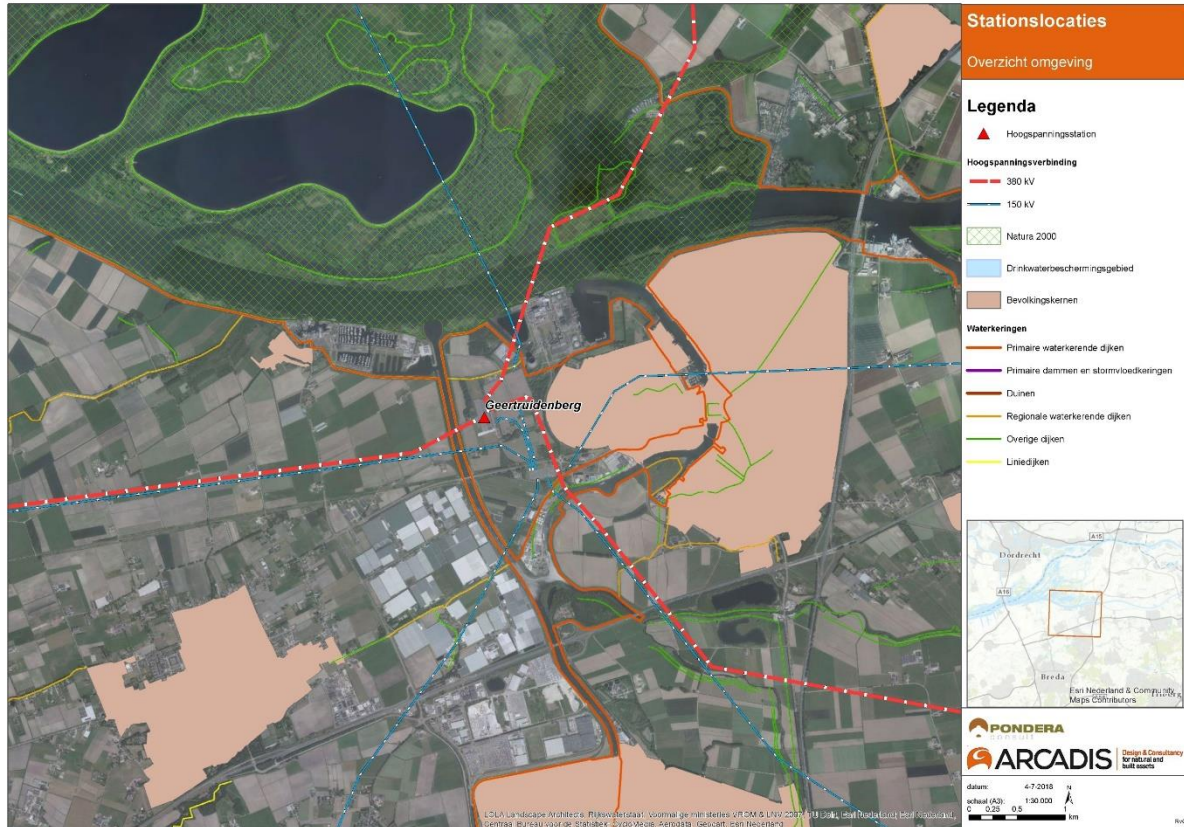
De omgeving is een open agrarisch gebied, met weinig direct zichtbare belemmeringen in de GIS-analyse. Er lijkt daarom voldoende ruimte voor een transformator/converterstation in de nabijheid van het bestaande 380 kV-station te zijn.



Figuur Error! No text of specified style in document.-8 Omgeving stationslocatie Simonshaven.

Geertruidenberg

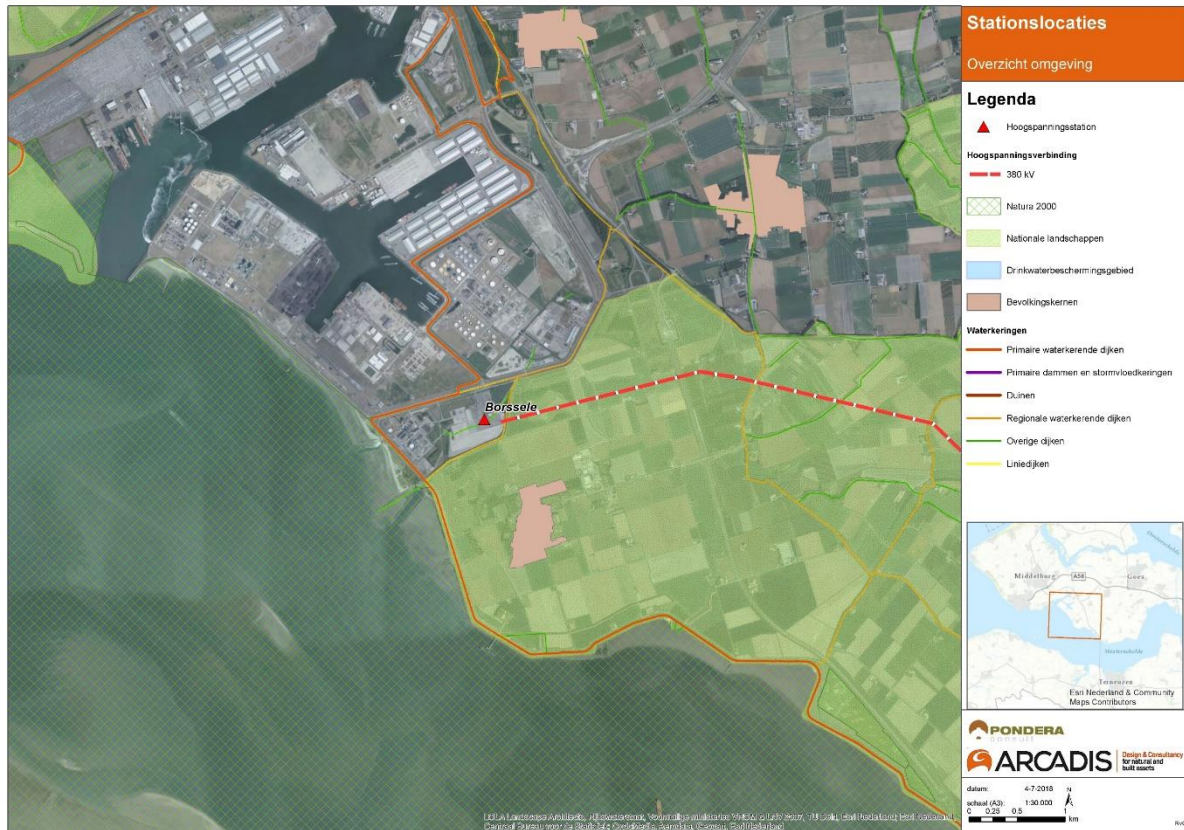
Rondom het bestaande 380 kV-station is veel bebouwing. Direct ten noorden van het station is er circa 8 ha aan open ruimte beschikbaar. Ten westen aan de overkant van het kanaal is ook ruimte voor een converterstation vanwege een open agrarisch gebied. Direct ten oosten van het bestaande station is wellicht beschikbare ruimte. Daar moet wel rekening worden gehouden met bovengrondse kabels en masten en ondergrondse buisleidingen. Verder zuidelijk van het bestaande station zijn er ook enkele plekken te vinden met mogelijk beschikbare ruimte. Geconcludeerd wordt dat er in de omgeving voldoende ruimte beschikbaar lijkt.



Figuur **Error! No text of specified style in document.**-9 Omgeving stationslocatie Geertruidenberg

Borssele

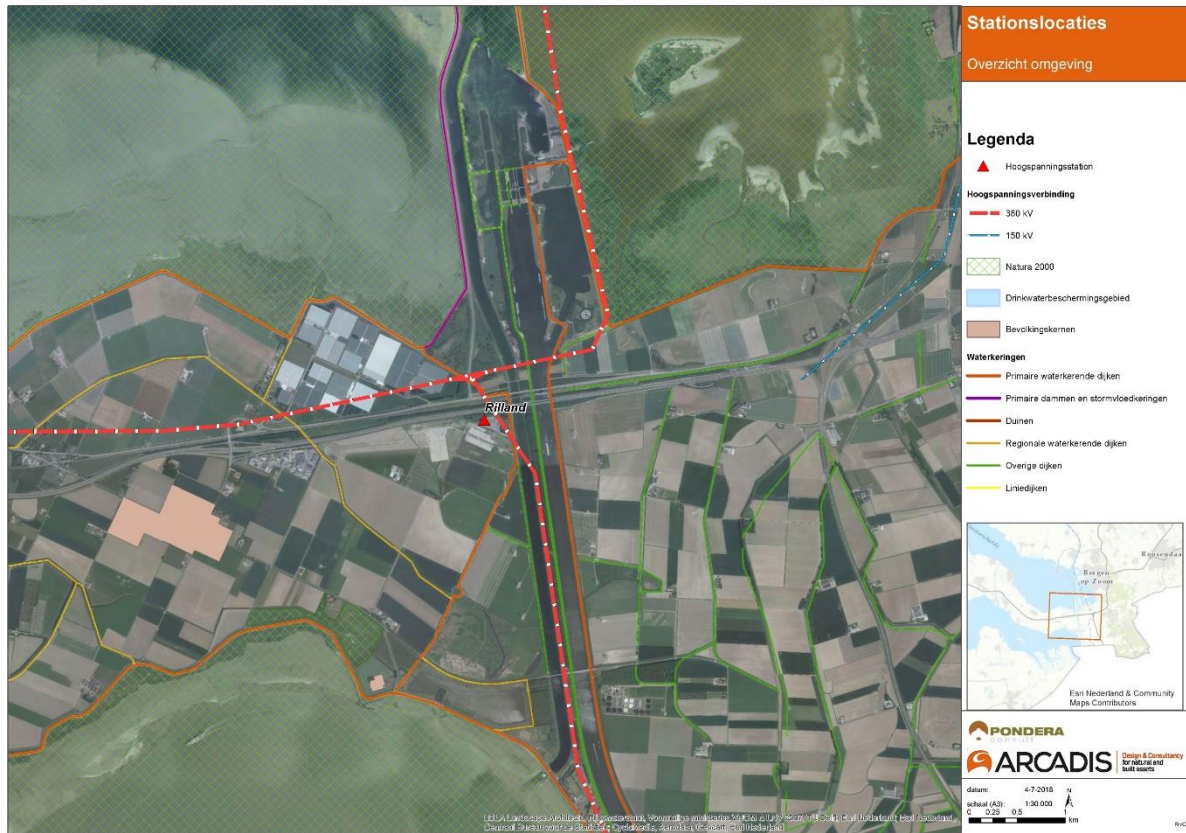
Direct ten noorden van het bestaande 380 kV-station, aan de andere kant van de weg, is vrij (industrie)terrein waar circa 13 ha beschikbaar lijkt. Verder zuidelijk is een minder geschikte locatie voor een nieuw converterstation, aangezien er dan dicht op het dorp Borssele wordt gebouwd. Geconcludeerd wordt dat er ten noorden op het industrieterrein voldoende ruimte beschikbaar lijkt.



Figuur Error! No text of specified style in document.-10 Omgeving stationslocatie Borssele

Rilland

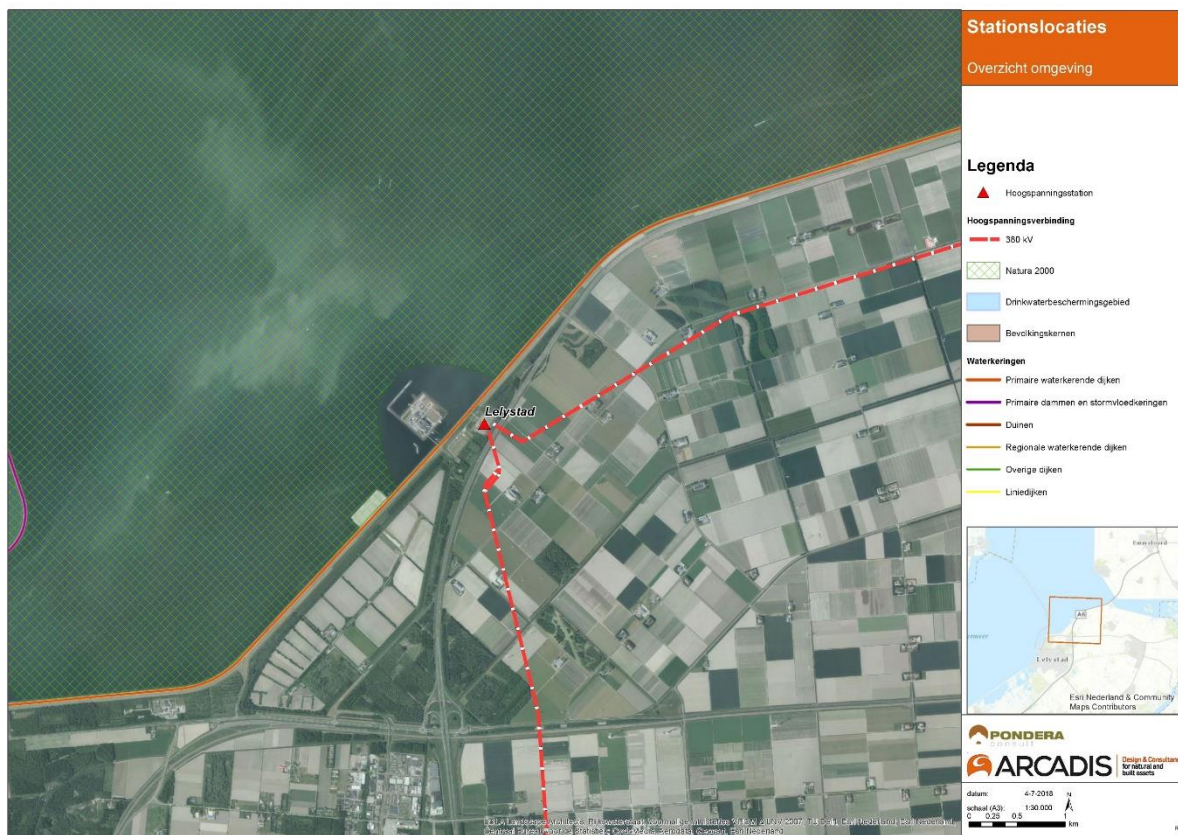
Rondom het bestaande 380 kV-station is veel open agrarisch gebied waar voldoende ruimte voor een converterstation lijkt te zijn.



Figuur Error! No text of specified style in document.-11 Omgeving stationslocatie Rilland

Lelystad

Er is veel agrarisch gebied rondom het bestaande 380 kV-station aanwezig waar mogelijk een converterstation gerealiseerd kan worden.



Figuur **Error! No text of specified style in document.**-12 Omgeving stationslocatie Lelystad

Ens

Deze locatie is vergelijkbaar met de locatie in Lelystad. Er is veel agrarisch gebied rondom het bestaande 380 kV-station aanwezig waar mogelijk een converterstation gerealiseerd kan worden.



Figuur **Error! No text of specified style in document.**-13 Omgeving stationslocatie Ens.