

Bijlage 7: Normen, methodiek en rekenresultaten trillingen

Normstelling hinder voor personen

Voor hinder is de maximale trillingssterkte V_{max} en de gemiddelde trillingssterkte V_{per} relevant. Deze worden dimensieloos uitgedrukt in [--].

In artikel 8.5 Trillingshinder in het bouwbesluit zijn de volgende voorschriften opgenomen

1. Trillingen veroorzaakt door het uitvoeren van bouw- of sloopwerkzaamheden bedragen in geluidsgevoelige ruimten als bedoeld in artikel 1 van de Wet geluidhinder en in verblijfsruimten als bedoeld in artikel 1.1, onderdeel e, van het Besluit geluidhinder niet meer dan de trillingsterkte, genoemd in tabel 4 van de Meet- en beoordelingsrichtlijn deel B «Hinder voor personen in gebouwen» 2006.

2. Het bevoegd gezag kan ontheffing verlenen van de trillingsterkte, bedoeld in het eerste lid.

Uitgangspunt is dat de werkzaamheden die relevante trillingen met zich meebrengen vanuit het perspectief van een woning tussen de 6 en 26 dagen duren. Hiermee bedraagen de streefwaarden A_1 0,4 [--] de A_2 6 [--] en de A_3 0,1 [--]. Bij deze waarden worden de volgende opmerkingen geplaatst: de waarde van de maximale trillingssterkte van de ruimte (V_{max}) dient kleiner te zijn dan A_1 , of; de waarde van de maximale trillingssterkte dient kleiner te zijn dan de waarde A_2 én de trillingssterkte over de beoordelingsperiode (V_{per}) dient kleiner te zijn dan de waarde A_3 .

duur D van de activiteiten gedurende korte periode								
D ≤ 1 dag			6 dagen < D ≤ 26 dagen			26 dagen < D ≤ 78 dagen		
A ₁	A ₂	A ₃	A ₁	A ₂	A ₃	A ₁	A ₂	A ₃
0,8	6	0,4	0,4	6	0,3	0,3	6	0,2

Figuur #1. Streefwaarden in de dagperiode voor continu of herhaald voorkomende trillingen gedurende een korte periode voor alle gebouwfunctie.

Voor de bepaling van de invloedssfeer gaan we als worst case benadering we uit van de A_1 waarde. Dit houdt in dat ten aanzien van objecten binnen de invloedssfeer alleen geconcludeerd dat deze mogelijk niet aan de normstelling voldoen. Immers als er vervolgens wel aan de A_2 en A_3 waarde wordt voldaan dan wordt alsnog aan de normstelling voldaan. Dit vergt echter een meer gedetailleerde berekening op woningniveau voor alle woningen. Dit valt in het voorgaande onderzoek buiten de scope.

Normstelling schade aan gebouwen

Voor schade is de topwaarde van de trillingssterkte V_{top} relevant. Deze schade trillingssterkten V_{top} wordt uitgedrukt in mm/s.

De trillingen van bouwkundige objecten worden getoetst aan SBR meet- en beoordelingsrichtlijn deel A schade aan gebouwen, welke in 2002 door Stichting Bouw Research is uitgebracht . In 2017 is de richtlijn herzien. In SBR-richtlijn A worden grenswaarden voor maximaal aanvaardbare trillingen vermeld, teneinde schade aan gebouwen zoveel mogelijk te voorkomen. Deze grenswaarden dienen afhankelijk van de meetwijze en het type trilling te worden gedeeld door veiligheidsfactoren, teneinde de maximum toelaatbare trilling vast te stellen waarbij nog wordt voldaan aan de richtlijn. In de richtlijn wordt onderscheid gemaakt tussen drie categorieën bouwwerken en tussen drie typen trillingsbronnen. Afhankelijk van de kwaliteit wordt een bouwwerk ingedeeld in één van de volgende categorieën:

Categorie 1: In goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout. Onderdelen van een bouwwerk, die geen deel uitmaken van de

draagconstructie (bijvoorbeeld scheidingsconstructies), indien deze bestaan uit gewapend beton of hout.

Draagconstructies van bouwwerken, geen gebouw zijnde, welke bestaan uit metselwerk, zoals pijlers van viaducten, kademuren en dergelijke. Volgens de richtlijn zijn gebouwen gemaakt uit staal in het algemeen minder kwetsbaar dan gebouwen in categorie 1. Onderdelen bestaande uit staal of voorgespannen beton kunnen in categorie I worden ingedeeld, waarbij moet worden bedacht dat de mate waarin deze onderdelen tegen de effecten van trillingen bestand zijn aanzienlijk groter is dan de grenswaarden die hierna voor deze categorie zijn gegeven.

Categorie 2: In goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk. In goede staat verkerende onderdelen van een gebouw, die niet tot de draagconstructie behoren, zoals scheidingsconstructies die bestaan uit niet-gewapend beton, metselwerk of uit brosse steenachtige materialen.

Onderdelen van oude en monumentale gebouwen met grote cultuurhistorische waarde. In slechte staat verkerende gebouwen uit metselwerk of in slechter staat verkerende onderdelen van gebouwen. Omstandigheden die duiden op een slechte bouwkundige staat zijn bijvoorbeeld: reeds aanwezige scheurvorming, kieren, sterke vervormingen, verzakkingen en scheefstand van een gebouw. De gebouwen in Nederland waarin wordt gemeten bestaan meestal uit metselwerk, zodat deze gebouwen in het algemeen in categorie 2 vallen. Wanneer het monumentale panden betreft, dan wel dat de gebouwen in zeer slechte staat van onderhoud verkeren, vallen ze in categorie 2 waarbij een veiligheidsfactor van 1,7 wordt toegepast zodat er een lagere grenswaarde wordt gehanteerd.

Aangenomen wordt dat de bouwkundige objecten voor het grootste gedeelte worden geplaatst in categorie 2. Er wordt voor deze objecten uitgegaan van de laagste voorkomende relevante grenswaarden voor een categorie 2 object "gebouwen uit metselwerk".

Afhankelijk van de trillingsbron wordt onderscheid gemaakt in de volgende drie typen trillingsbronnen:

- Type 1: Bronnen die incidenteel voorkomende kortdurende trillingen veroorzaken door een stootvormige excitatie. Het aantal malen dat het trillingsverschijnsel voorkomt is zo gering, dat vermoeiing van constructiematerialen niet kan optreden. Voorbeelden: explosies en botsingen.
- Type 2: Bronnen, die herhaalde kortdurende trillingen veroorzaken bij een stootvormige excitatie. Hieronder worden verstaan bronnen, die zo vaak voorkomen, dat vermoeiingseffecten in bouwmaterialen kunnen voorkomen. Voorbeelden: heiwerkzaamheden en bouwverkeer.
- Type 3: Bronnen die continue trillingen veroorzaken. Hieronder worden verstaan alle bronnen die niet onder de voorgaande twee categorieën kunnen worden ingedeeld of waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in de onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden.

Damwand trillen is een continue trilling in het licht van de beoordelingssystematiek. Grondverdichten met een trilwals is een continue trilling in het licht van de beoordelingssystematiek. Trillingen ten gevolge van Shovels Hydraulische kranen en dumpers en vrachtwagens zijn herhaald kortdurende trilling in het licht van de beoordelingssystematiek.

In Richtlijn A zijn toetsingswaarden opgenomen ter voorkoming van schade aan de draagconstructie, fundering en elementen van het bouwwerk.

Het damwandtrillen wordt hoogfrequent uitgevoerd dit houdt in dat de maatgevende frequentie 38 Hz is. Het verdichten van grond met een trilwals gebeurt met circa 35 Hz.

Voor een categorie 2 object bedraagt de schade grenswaarde voor fundering en begane grond ten minste 5 mm/s. De grenswaarde is frequentieafhankelijk en bedraagt voor hoogfrequent trillen en grondverdichten 11,25 mm/s. In verband met het type trilling is een partiele veiligheidsfactor van 2,5 voor damwandtrillen van toepassing. Hiermee bedraagt de rekenwaarde van de grenswaarde voor

damwandtrillen en grondverdichten 4,5 mm/s. De grenswaarde voor een trillingsgevoelige fundering is minder maatgevend dan de grenswaarde voor het gebouw.

Inzet materieel

Op basis van de diverse benodigde werkzaamheden voor de verschillende oplossingen is de inzet van de volgende machines relevant voor het aspect trillingen:

Damwand constructie: Trilblok planken 2335VM

Grondoplossing: Alle machines mogelijk

Grondgebonden oplossingen:

- Trilblok/Trilwals;
- Shovel;
- Bulldozer;
- Hydraulische kraan;
- Vrachtwagen;
- Dumper/trekker.

Het type trilblok kan als een relatief zwaar trilblok en derhalve als worst case aanname worden beschouwd. Voor de berekeningen zijn de onderstaande kentallen gehanteerd.

Tabel 1. Overzicht kentallen bronnen

Methodes	Relevante materieel	Referentie	Afstand tot de bron	Bron
Damwand oplossing	Hoogfrequent damwandtrillen met een trilblok VM2335 Slagkracht 2030 kN	--	--	Methodes CUR 166
Binnen- en buitendijkse grond oplossing	Trilwals	V_{top} 3,8 [mm/s] V_{max} 2,5 [--]	7 m	Meting
	Shovel, Buldozer	V_{max} 0,85 [--]	7 m	Archief RHDHV
	Hydraulische kraan	V_{top} 1 [mm/s] V_{max} 2,5 [--]	7 m	Meting
	Dumper Vrachtwagen op bouwweg met stalen platen snelheid circa 20 kmh	V_{max} 0,85 [--]	7 m	Archief RHDHV

De maatgevende bron voor de oplossing damwandconstructie is het intrillen van damwanden. De maatgevende bron voor de binnen- en buitendijkse grond oplossing is de inzet van de trilwals.

De trilwals is op locatie in Zeewolde gemeten. De lokale bodemopbouw in Zeewolde kan als een bodem met veenachtige lagen worden gekenmerkt. De bodemopbouw van de dijkversterking Neder-Betuwe kan als rivierafzetting met klei en zandlagen worden gekenmerkt. Dit betekent dat de metingen in Zeewolde voor de dijkversterking als een worst case benadering kan worden gekenmerkt.

Er wordt uitgegaan van een duur van werkzaamheden welke relevante trillingen met zich meebrengen vanuit het perspectief van een woning van 6-26 dagen. Hiermee bedraagt de streefwaarden A1 0,4 [--] de A2 6 [--] en de A3 0,1 [--].

Rekenmethode

Op basis van de referentie trillingsstrekke is de theoretische overdracht op basis van de empirische formule van Barkan voor trillingen in het verre veld van een homogene isotrope halfruimte bepaald. Voor de overdracht van trillingen door de bodem wordt gebruikgemaakt van de formule van Barkan [1].

$$V_R = V_{R0} * \left[\frac{R_0}{R} \right]^n e^{-\alpha(R-R_0)}$$

Waarin:

- V_R trillingssterkte (m/s) op een afstand R van de bron;
- V_{R0} referentie trillingssterkte (m/s) op een afstand R_0 van de bron;
- R afstand tussen immissiepunt en de bron;
- R_0 afstand tussen meetpunt en de bron;
- α materiaaldemping in de bodem (1/m);
- n n = 1 tot 2 voor P- en S-golven;
n = 0.5 voor R-golven.

De geometrische demping is afhankelijk van het type golf en de richting vanuit de bron waarin de trillingsuitbreiding plaatsvindt. Voor de R (Rayleigh)-golven of oppervlaktegolven (n = 0.5) is de geometrische demping kleiner dan voor de P-(pressure) golven of compressiegolven en de S-(shear) golven of schuifgolven. Dit geeft voor de Rayleigh-golven op grotere afstand van de bron ten opzichte van de P- en S-golf de grootste energie (>67%).

De bodemopbouw van het achterland kan als een bodemopbouw van een rivierafzetting met klei en zand worden gekarakteriseerd. Dit vertoont de meeste overeenkomst met het standaard bodemopbouw Tiel een rivierafzetting met klei en zand conform de CUR 166. Op basis van de publicatie Trillingen van Sdu Dr. R.E. Noorman en Y.K. Wijnia wordt voor kleiachtige bodems een materiaal demping in de bodem van 0,03 "[-] gehanteerd voor 30 t/m 40 Hz.

In de CUR166 is een rekenmethodiek voor de trillingssnelheid van trilblokken opgenomen. Hierbij is de referentietrillingssnelheid V_0 afhankelijk van de kans dat deze niet wordt overschreden. Hierbij kan worden gekozen tussen 95% en 99%. De kans dat deze niet wordt overschreden is in feite een te kiezen veiligheids factor. Als de kans dat deze niet wordt overschreden 99% wordt gekozen wordt de prognose middels deze veiligheidsfactor in feite erg conservatief. Voor schade wordt gekozen voor een conservatieve benadering en is een de kans dat deze niet wordt overschreden 99% gehanteerd. De referentiesnelheid op 5 afstand van de bron voor damwandtrillen voor het bodemprofiel Tiel bedraagt

$$V_{0,cor} = V_0 + C_{vel} * (F - 350)$$

Hierin is

$$V_0 = 18,3$$

$$C_{vel} = 0,023$$

Slagkracht F= 2030 kN (slagkracht van VM2335 trilblok)

Voor de overdracht van maaiveld naar fundatie van een gebouw is een overdracht van 0,7 "[-] gehanteerd. Op basis van een globale inventarisatie van de bouwkundige constructie van de woningen in de nabijheid van de dijkvakken gaan we uit van een worst case benadering waarbij de maatgevende bouwkundige constructie van de woningen met houten vloervelden in de woningen. We gaan daarom in de berekeningen uit van een opslingerfactor van de vloeren van maximaal 3 "[-].

De grootheid voor schade is V_{top} [mm/s]. De grootheid voor hinder is V_{max} "[-]. Het verband tussen de grootheid voor hinder en schade is voor damwandtrillen $V_{max} = 0,64 * V_{top}$

Rekenresultaten

Bij trillingsberekeningen kan onderscheid worden gemaakt tussen een invloedssfeer voor risico op schade en een invloedssfeer voor hinder tijdens de uitvoering van de werkzaamheden. Beide invloedssferen zijn bepaald op basis van berekeningen en weergegeven in tabel 3.

In de berekeningen is voor het damwandzetten de binnenkruinlijn van de dijk aangehouden. De exacte locatie van de damwand was ten tijde van het uitvoeren van de trillingsberekeningen nog niet bekend. Voor het grondwerk is het gehele werkgebied in het dijkvak gehanteerd.

Tabel 2. Overzicht berekende invloedssfeer

	Invloedssfeer [m] Risico op schade (cat 2)	Invloedssfeer [m] Hinder (A1=0,4)
Grondwerk binnendijs of buitendijs	3 m	43 m
Damwand trillen	42 m	125 m

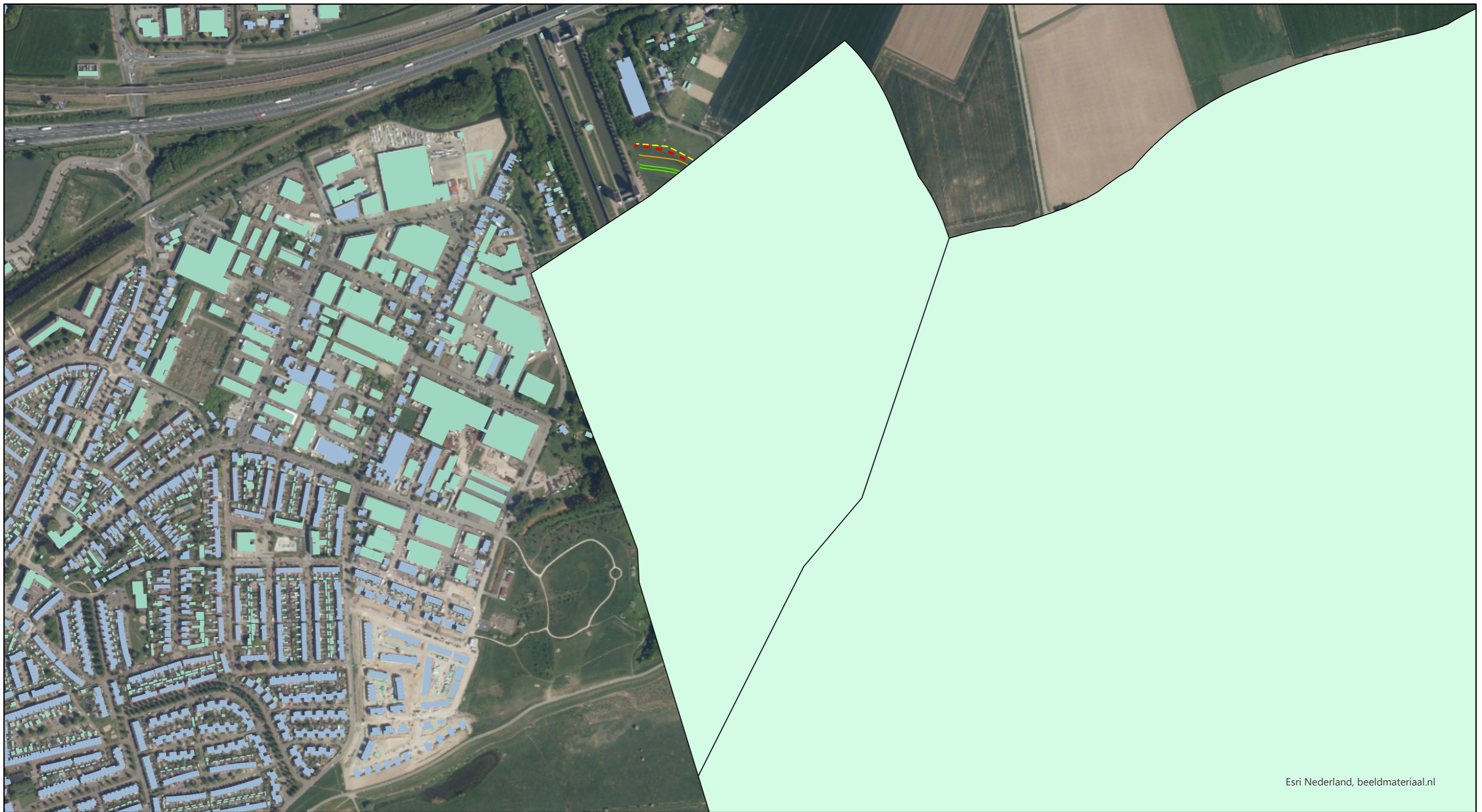
De invloedssfeer voor risico op schade is de afstand waarbij voldaan wordt aan de rekenwaarde van de grenswaarde voor een categorie 2 object. Dit zijn in goede staat verkerende gebouwen met een draagconstructie die bestaat uit metselwerk.

In tabel 4 is te zien dat de invloedssfeer voor risico op schade voor grondwerk binnen- en buitendijs 3 m is en die voor het trillen van damwand 43 m.

De invloedssfeer voor hinder is de afstand waarbij voldaan wordt aan de A1 streefwaarde voor woningen (0,4) voor trillingen gedurende een korte periode. In tabel 4 is te zien dat de invloedssfeer voor hinder voor grondwerk binnen- en buitendijs 43 m is en die voor het trillen van damwand 125 m.

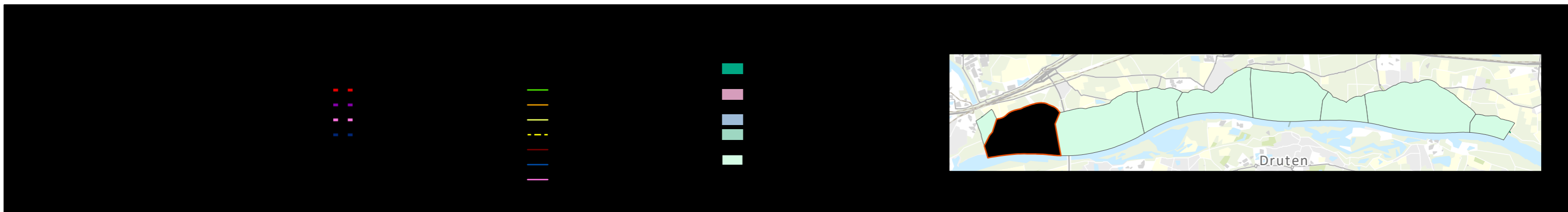
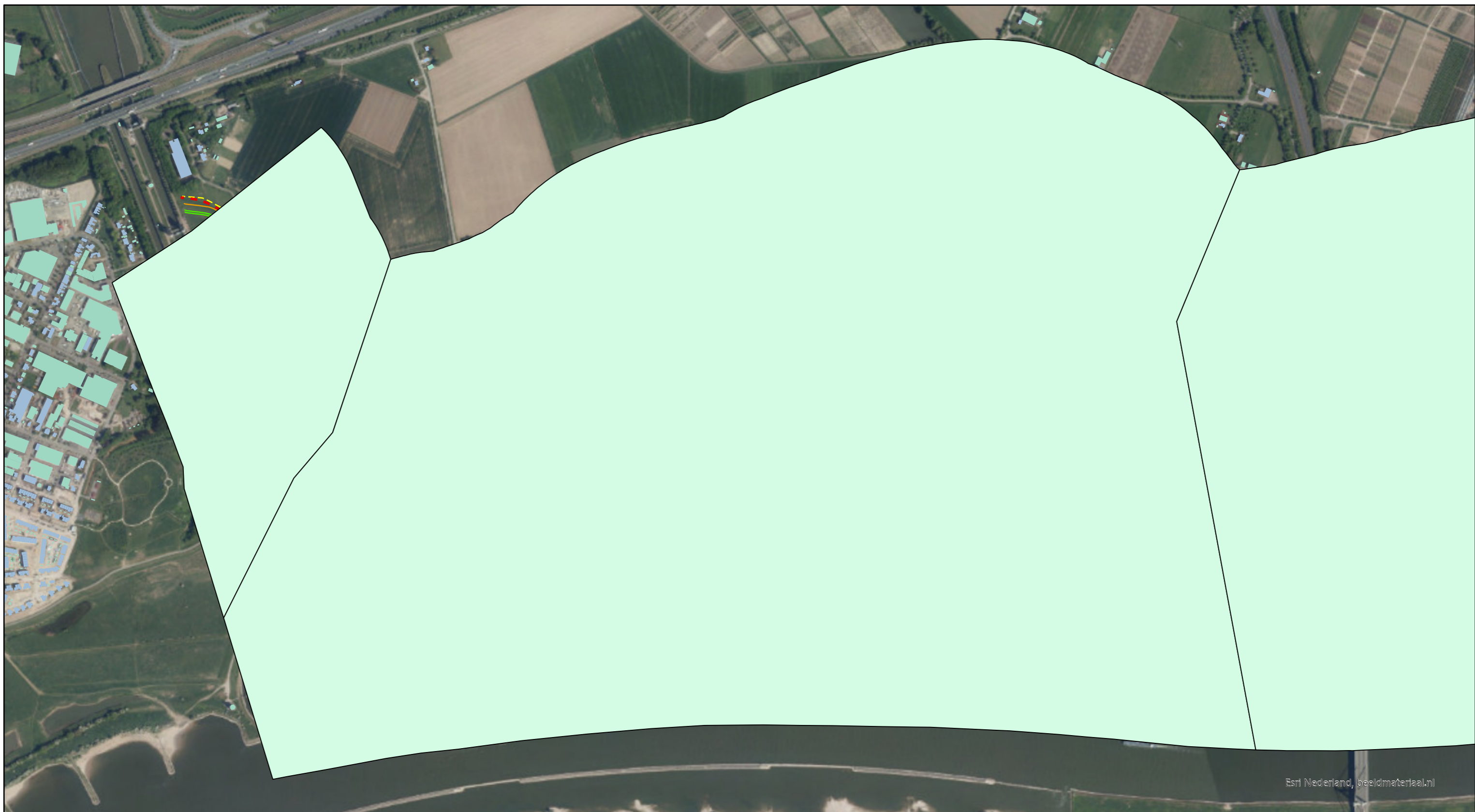
Bij deze bijlage zijn kaarten van alle dijkvakken weergegeven voor invloedssfeer voor risico op schade en hinder. De invloedzones zijn bepaald om in het Milieueffectrapport de effecten te kunnen meenemen. Voor de uitvoering wordt nog een uitvoeringsplan en een monitoringplan opgesteld. Hierin worden de zones opnieuw vastgesteld. Dit betekent dat de zones in dit rapport niet noodzakelijkerwijs overeenkomen met de zones die later worden vastgesteld.

Ook dient te worden opgemerkt dat de gepresenteerde invloedssfeer voor hinder bepaald wordt door de trillingsmissie van de maatgevende bron. De methode CUR166 houdt hierbij geen rekening met gelijktijdigheid inzet van meerdere trillingsbronnen. Er wordt daarmee uitgegaan van de aanname dat vanuit het perspectief van een woning een trillingsbron bepalend is voor de trillingsmissie.



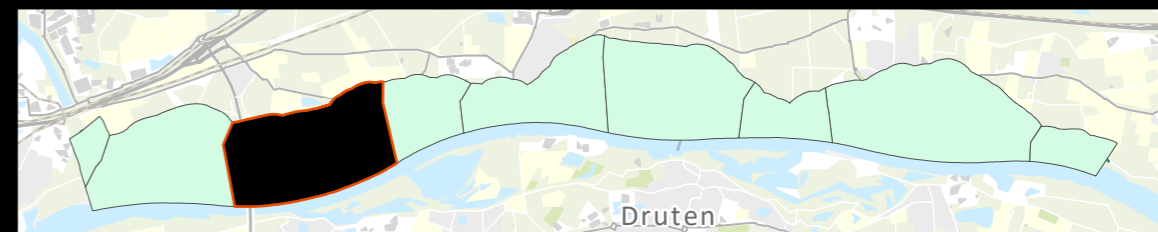
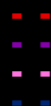
Esri Nederland, beeldmateriaal.nl

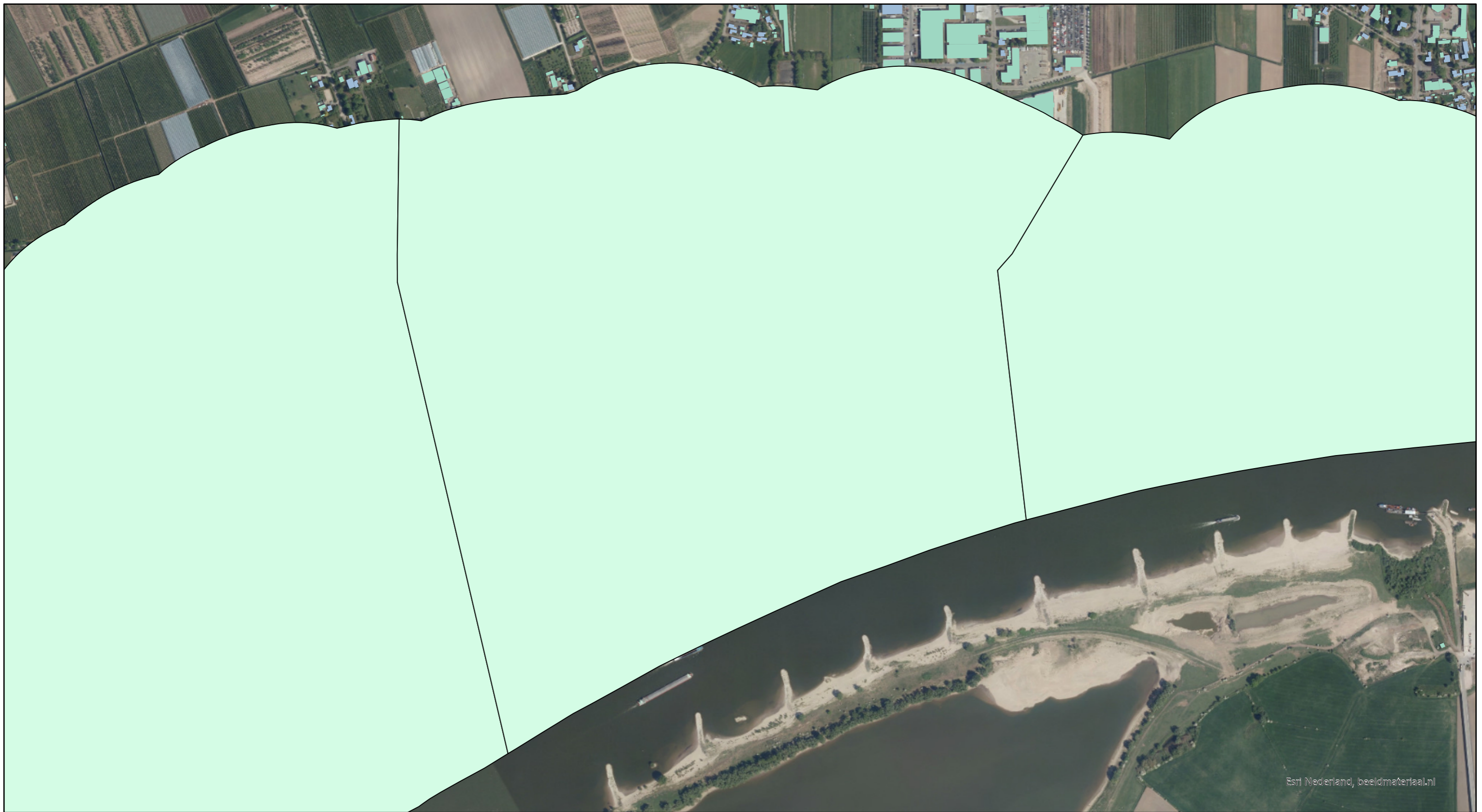




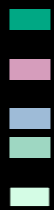


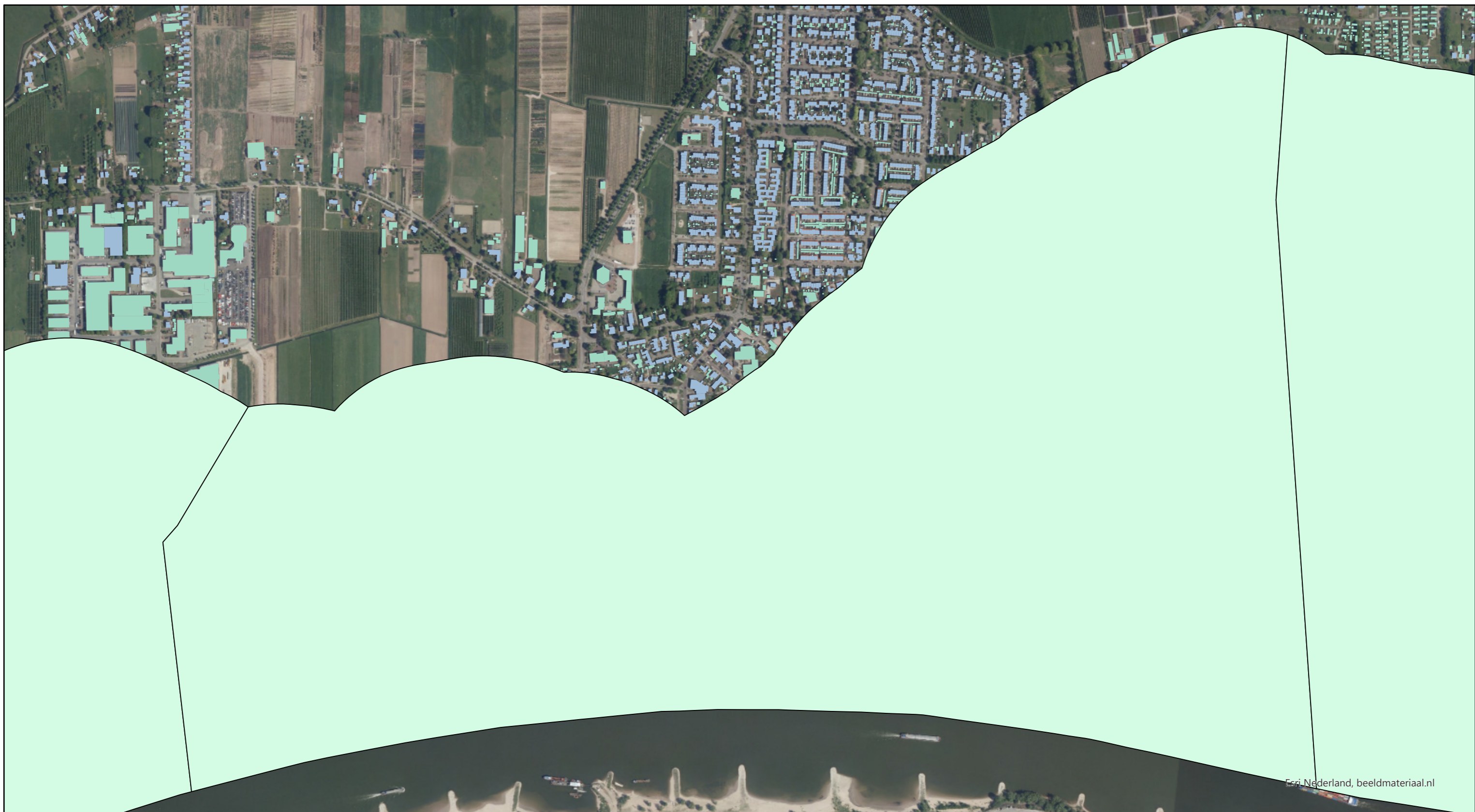
Esri Nederland, beeldmateriaal.nl



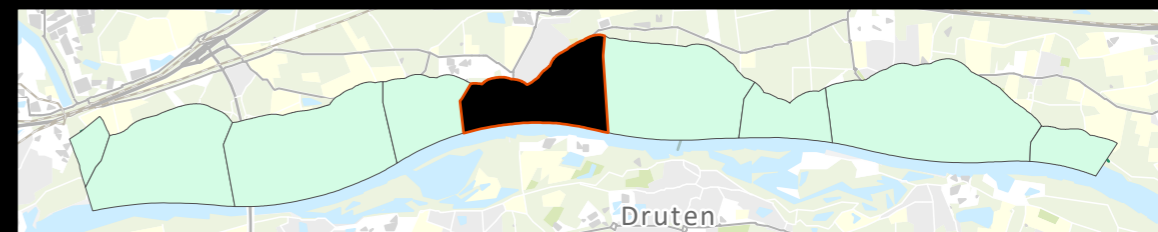
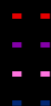


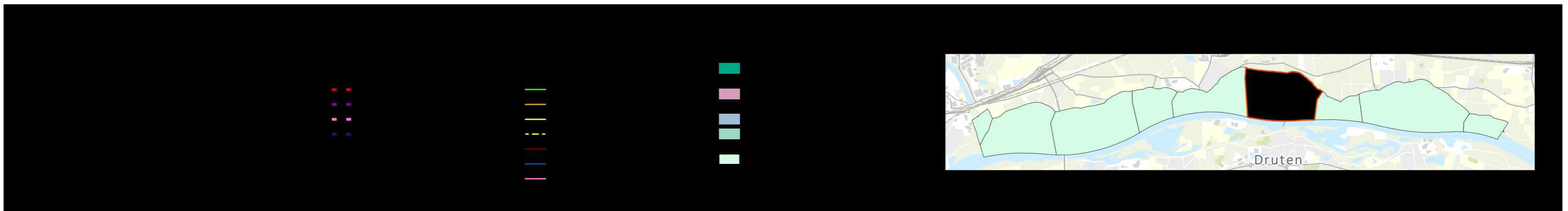
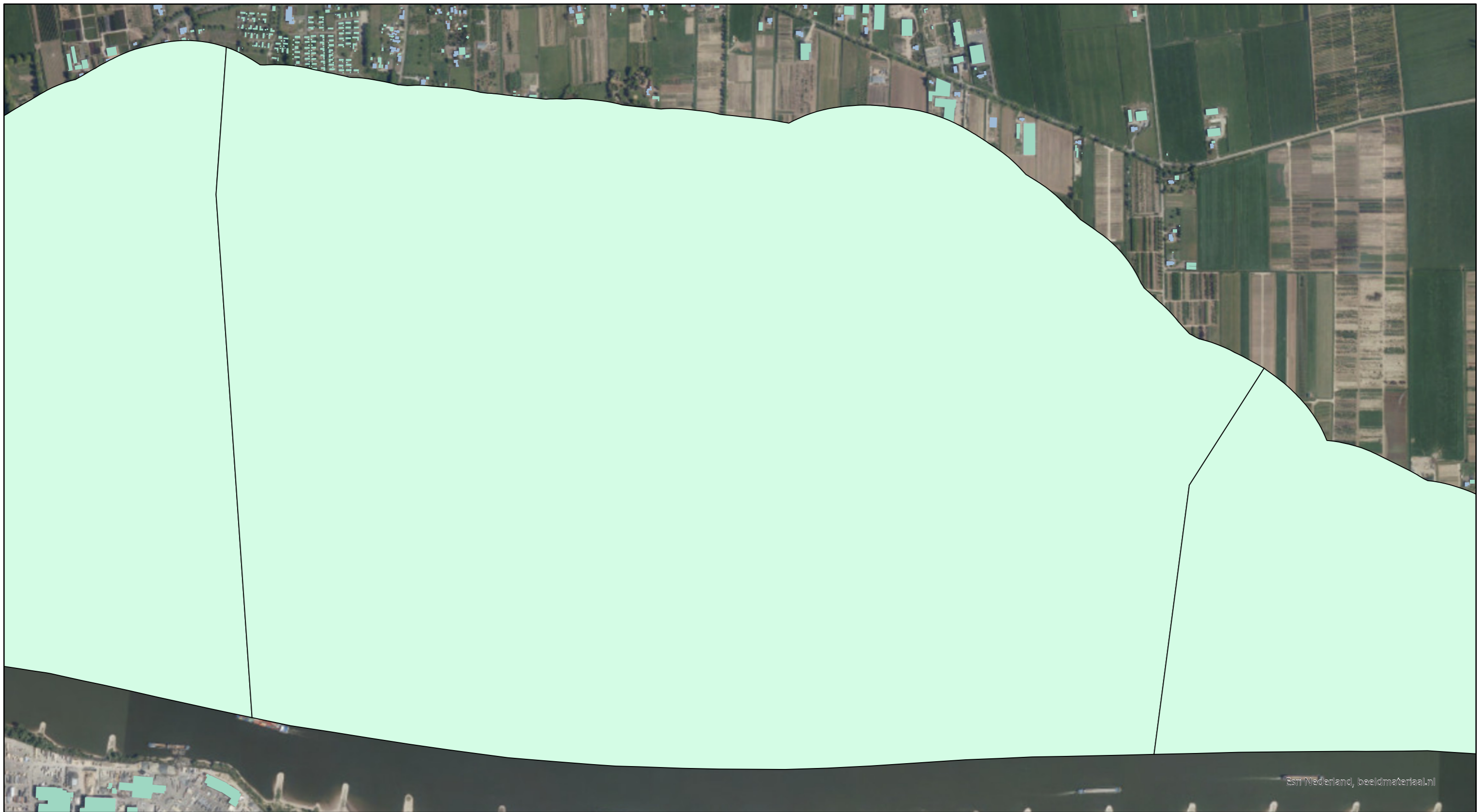
Esri Nederland, beeldmateriaal.nl

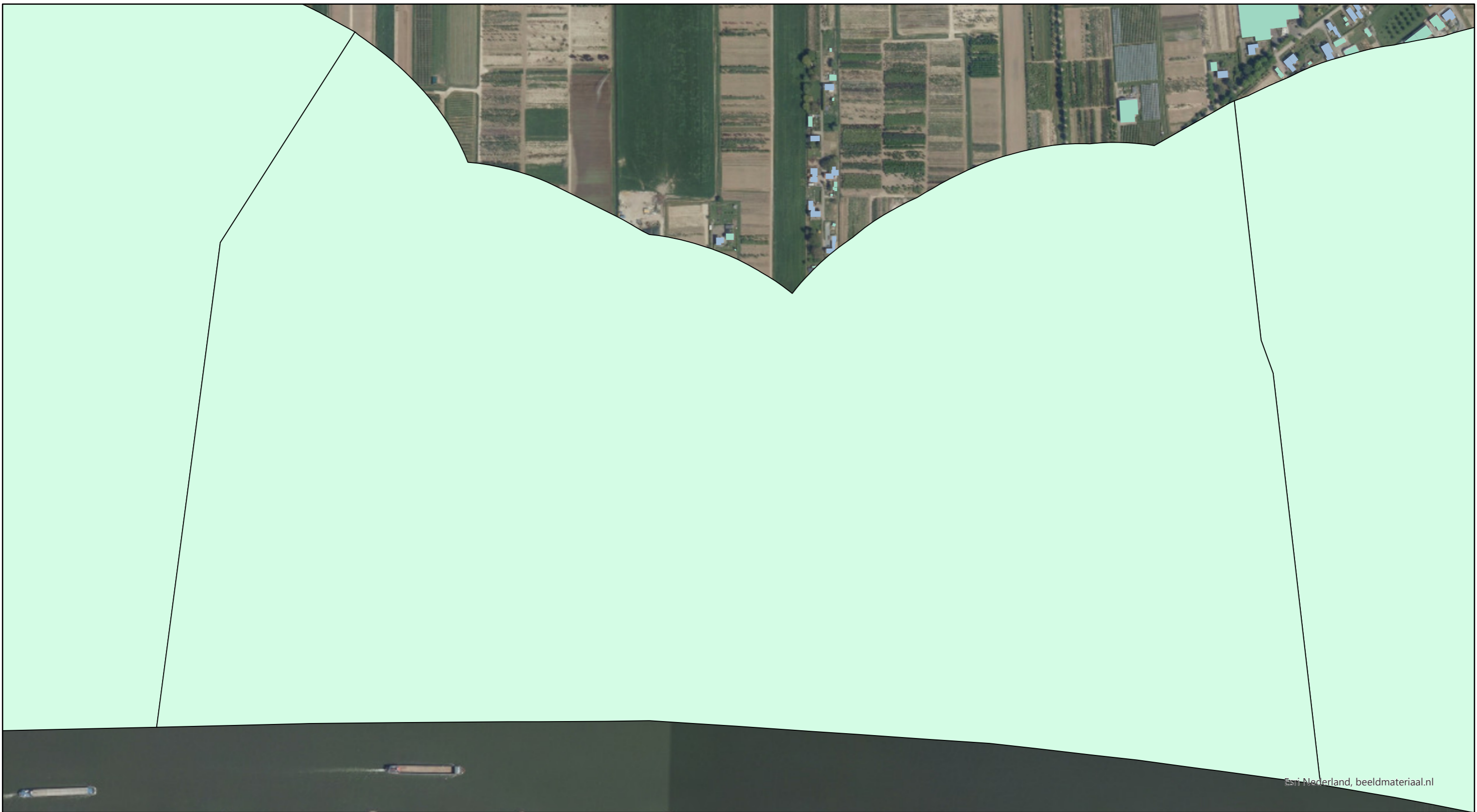




Esri Nederland, beeldmateriaal.nl

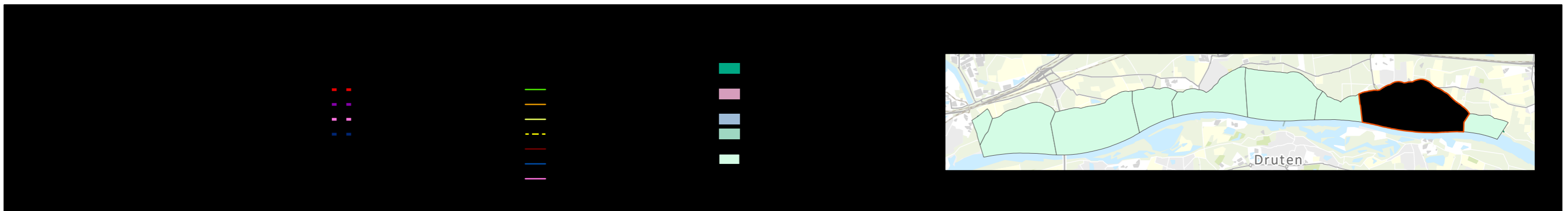
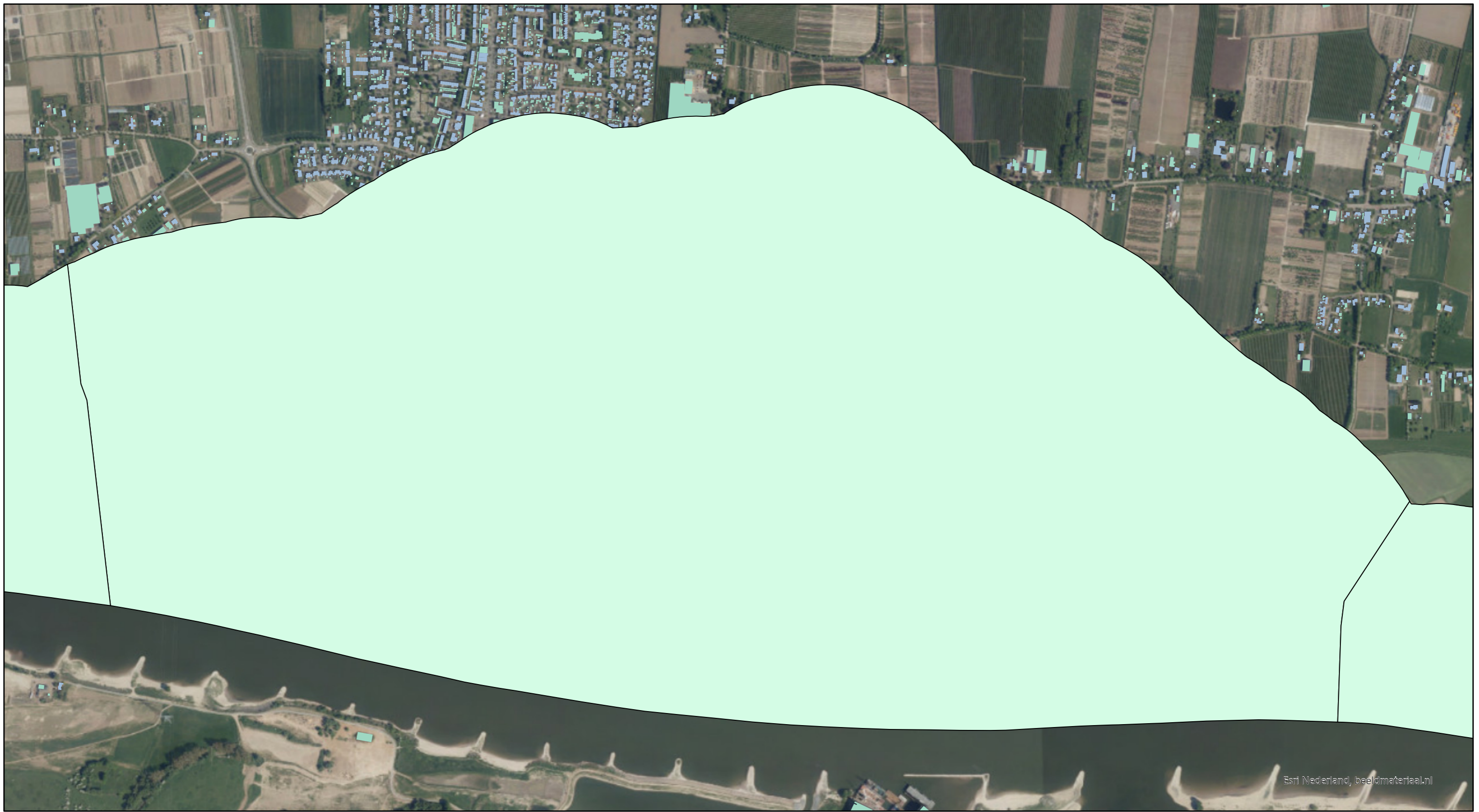


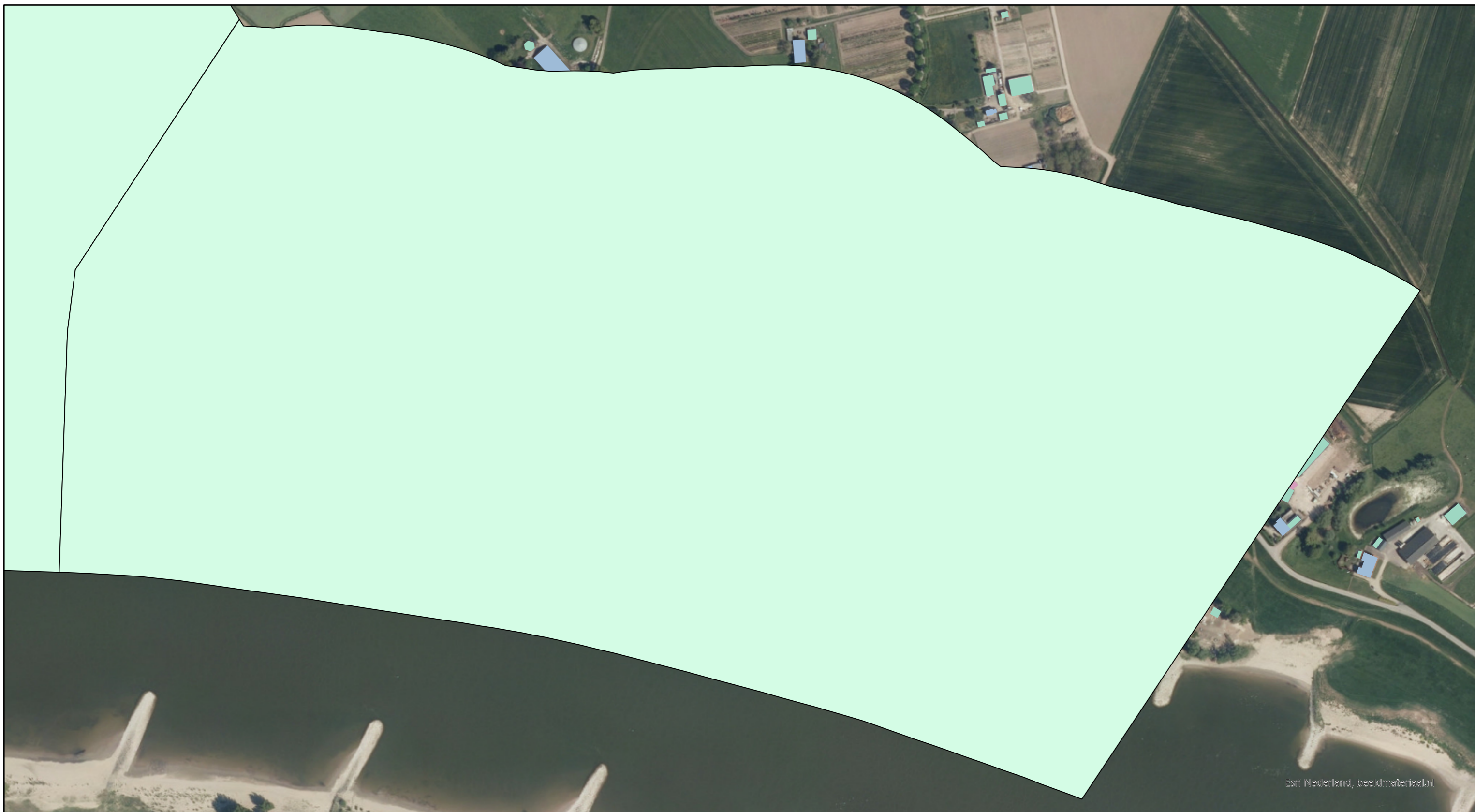




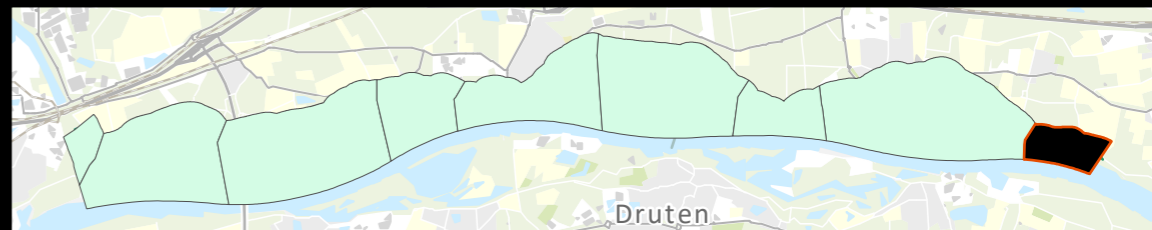
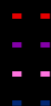
Esri Nederland, beeldmateriaal.nl

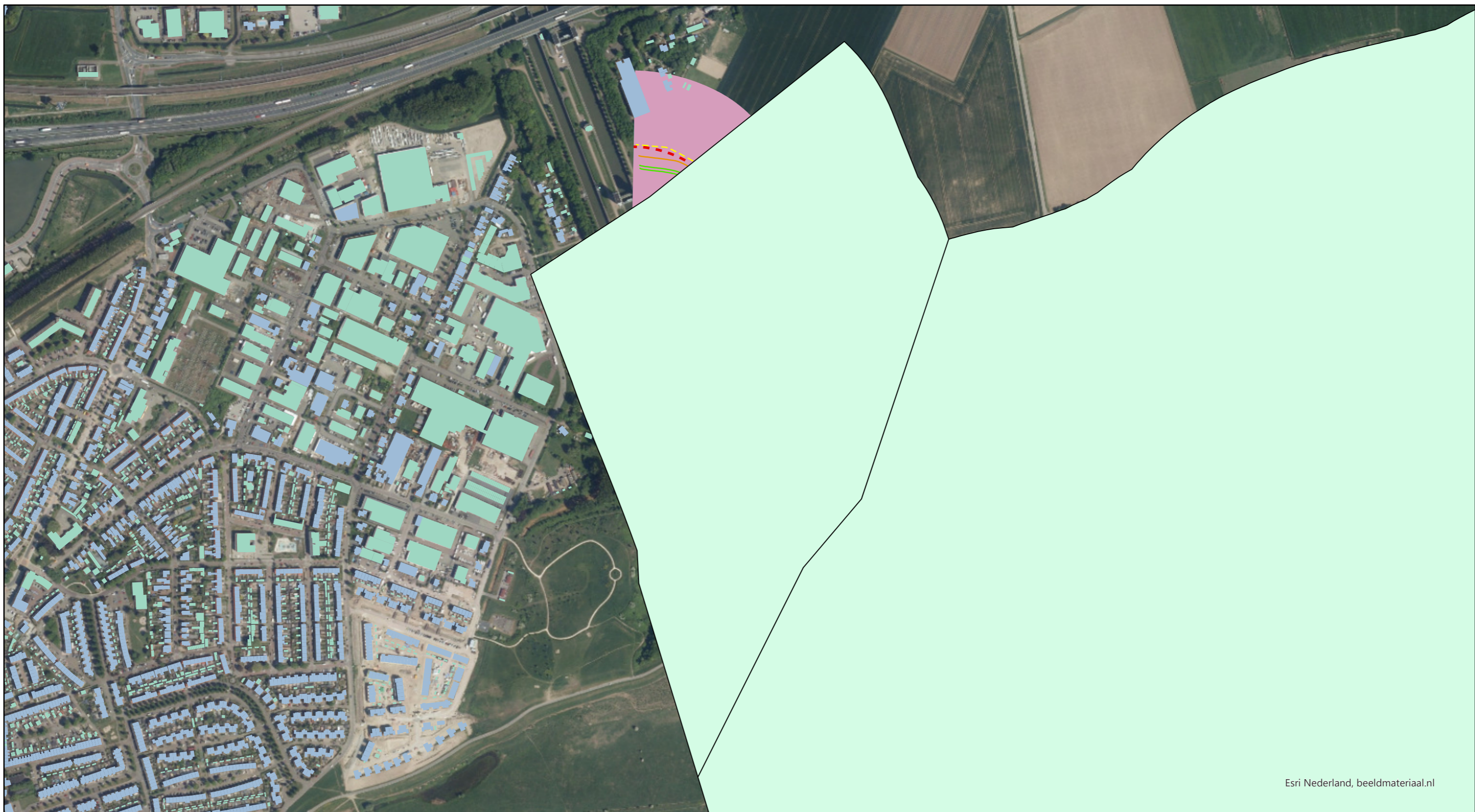




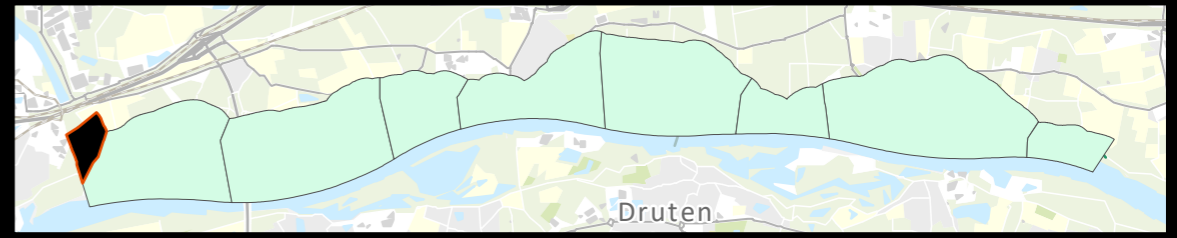


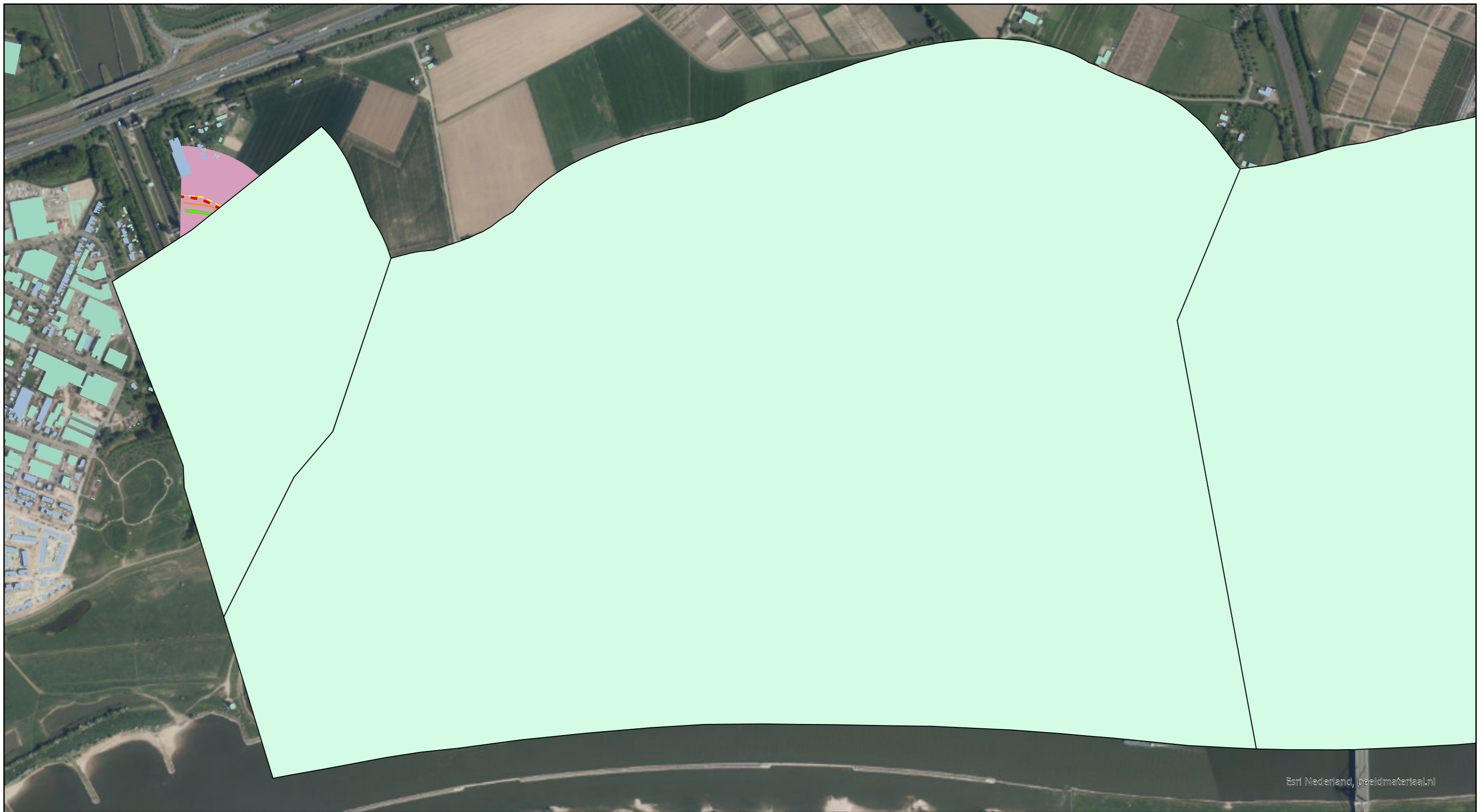
Esti Nederland, beeldmateriaal.nl





Esri Nederland, beeldmateriaal.nl



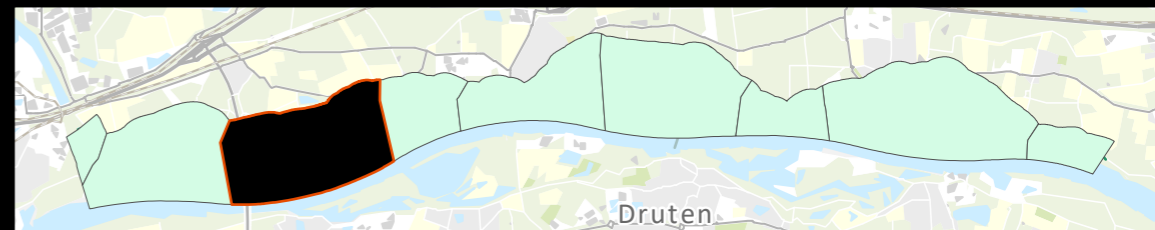


Esri Nederland, beeldmateriaal.nl

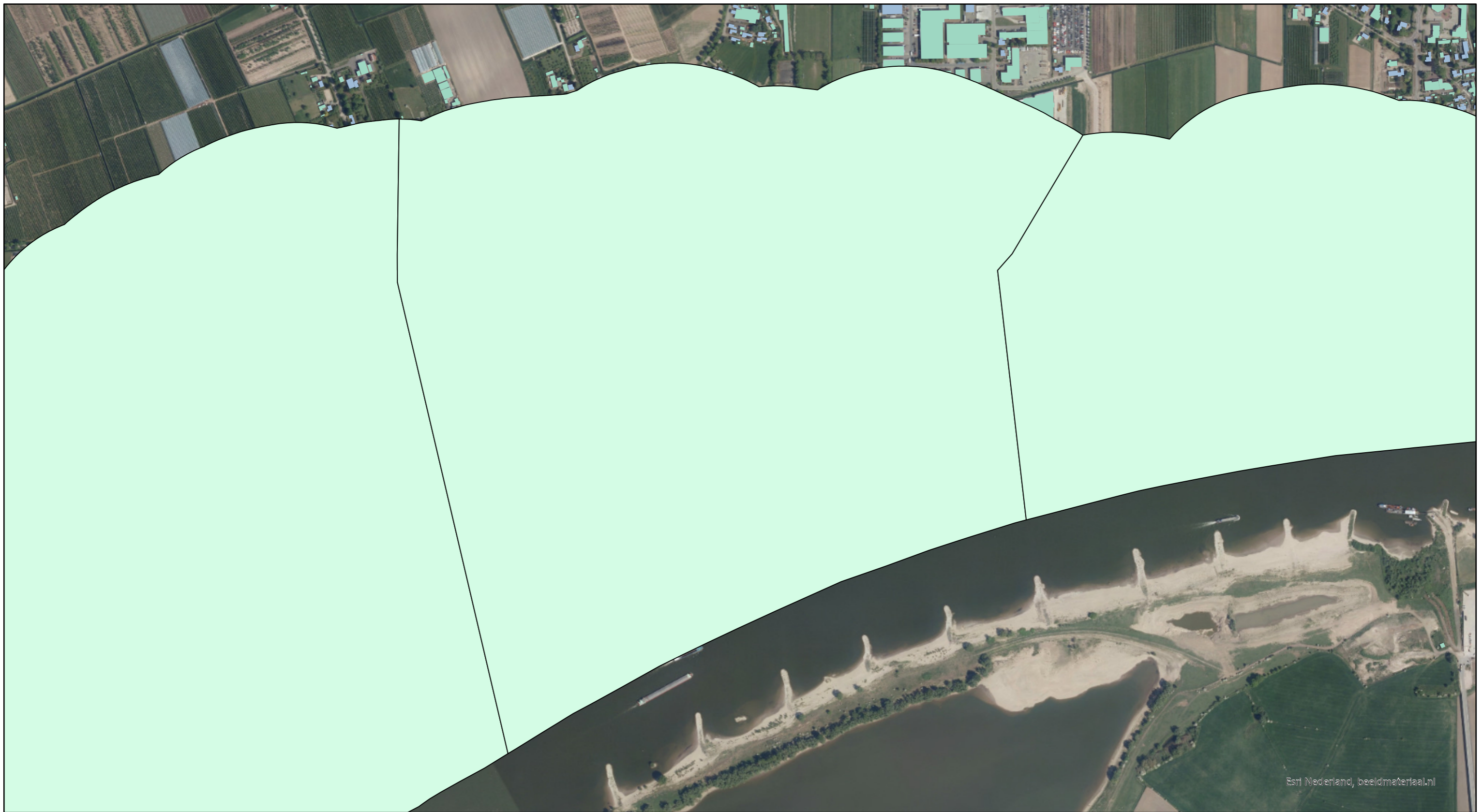




Esri Nederland, beeldmateriaal.nl



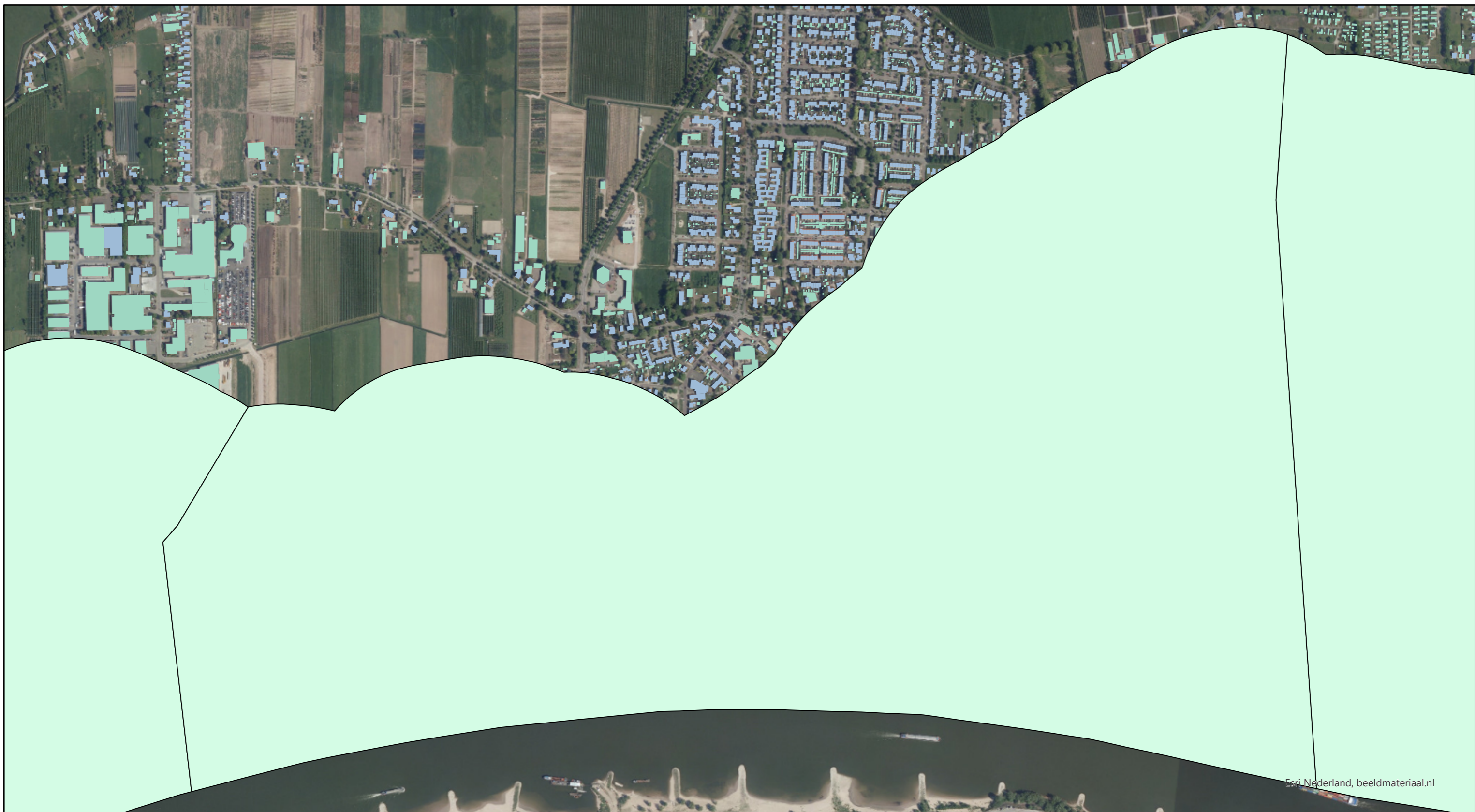
Druten



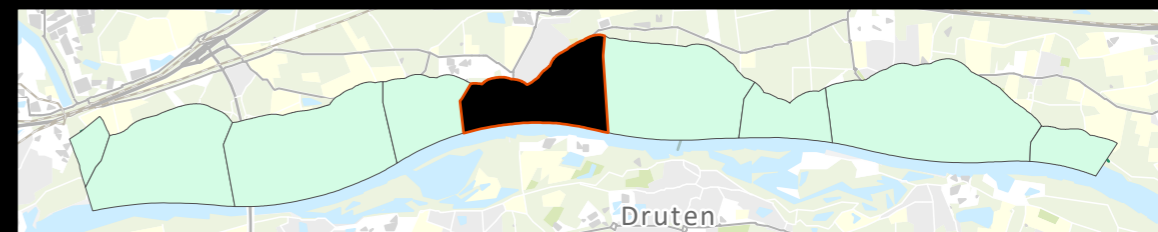
Esri Nederland, beeldmateriaal.nl

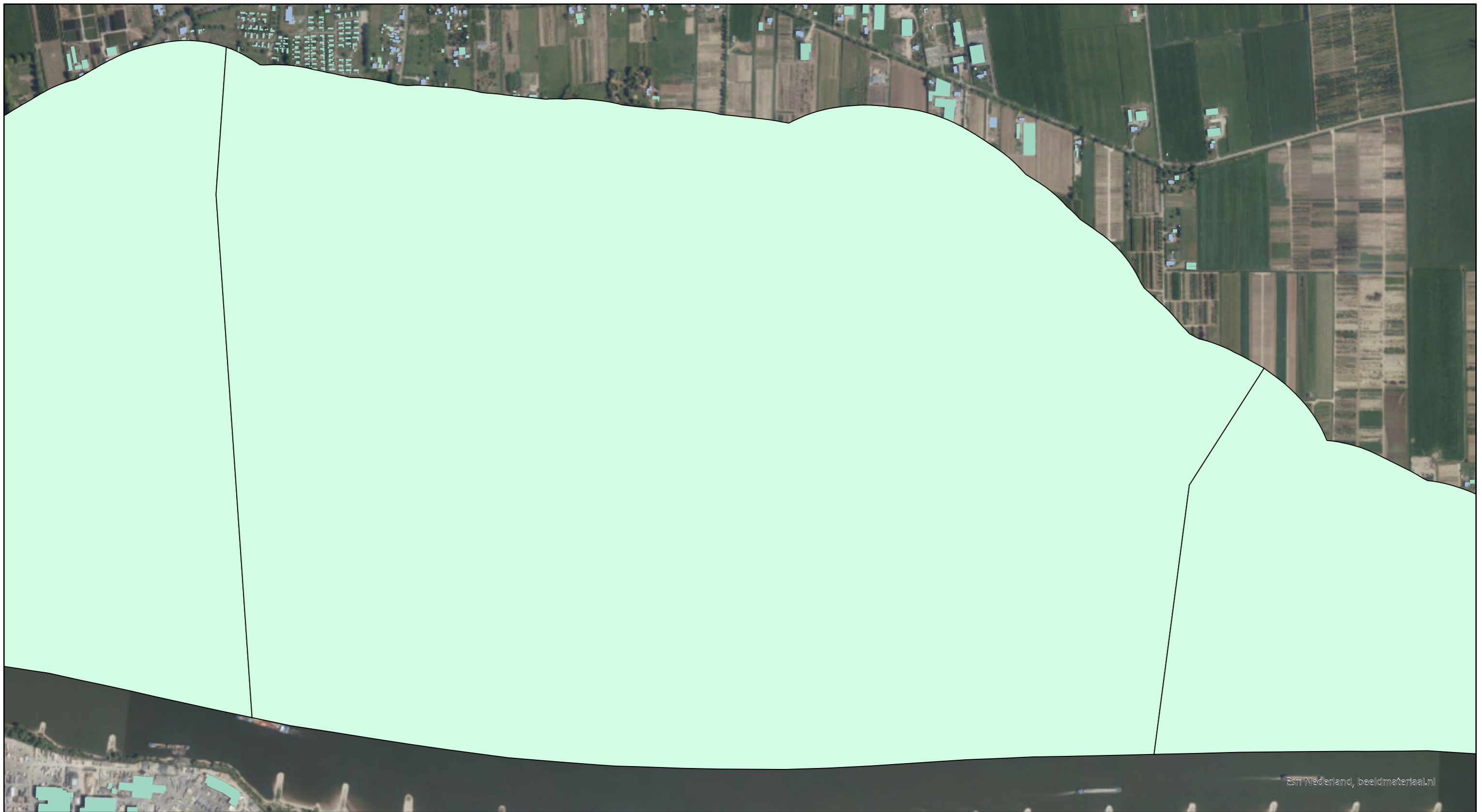


Druten



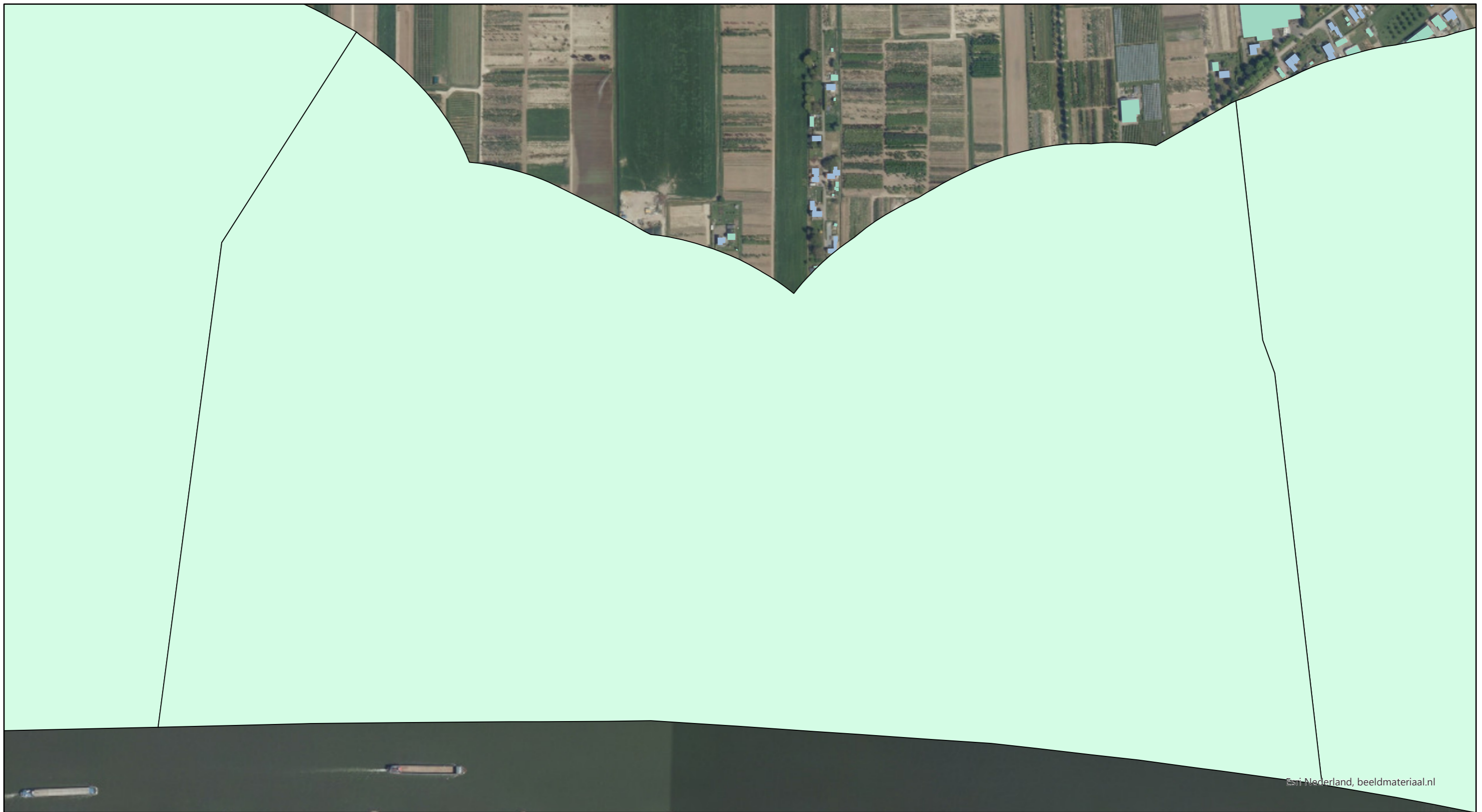
Esri Nederland, beeldmateriaal.nl





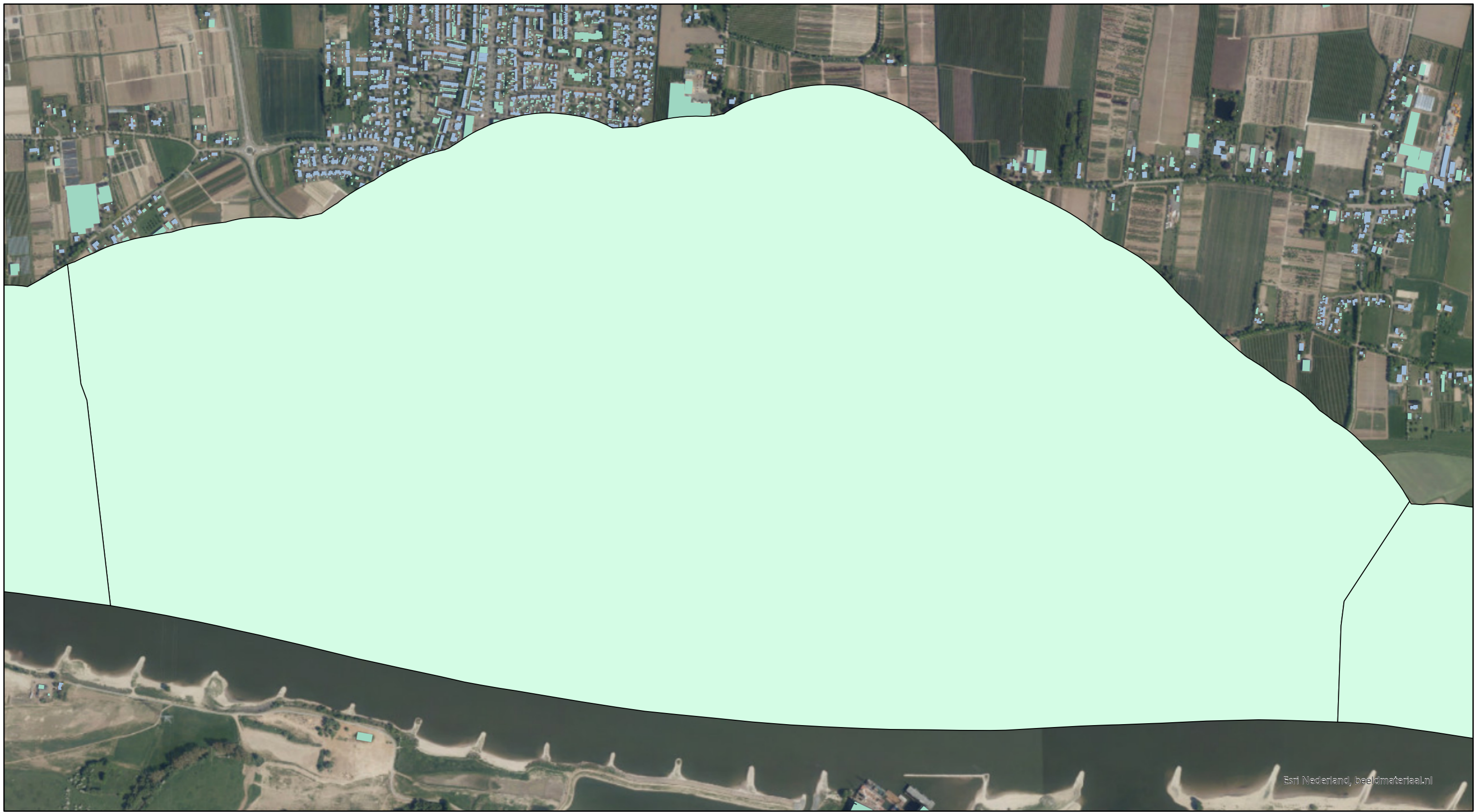
Legend and location map:

- Legend symbols: a vertical column of colored squares (red, purple, blue, green, pink) and a vertical column of colored lines (green, yellow, red, blue, pink).
- Legend symbols: a vertical column of colored squares (light blue, light green, white).
- Location map: A small map showing the area's location relative to a river and surrounding land parcels. The word "Druten" is labeled on the map. A specific area is highlighted in black with an orange border.



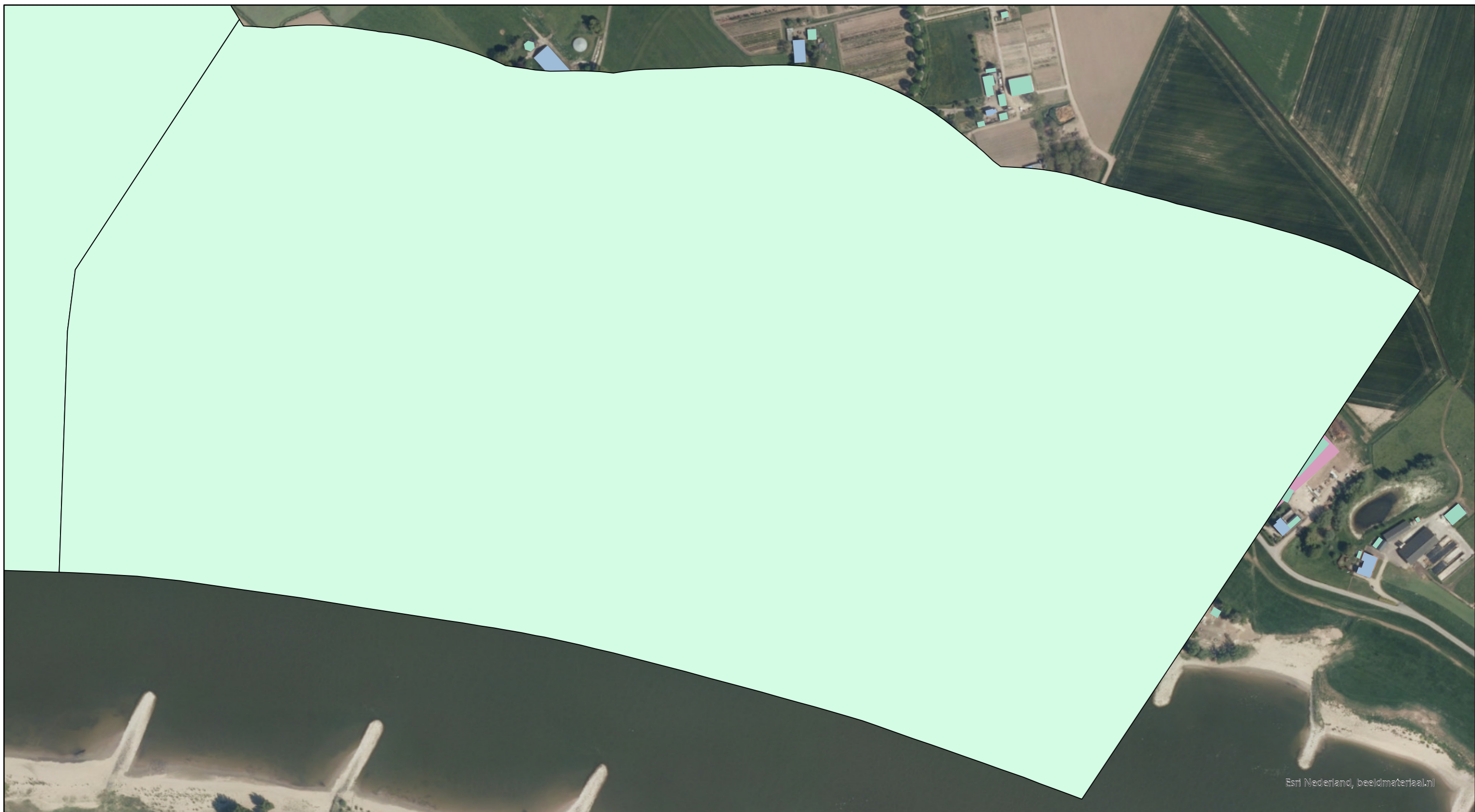
Esri Nederland, beeldmateriaal.nl





Legend and location map:

- Legend symbols: A vertical list of colored squares and lines. From top to bottom: a red dashed line, a purple dashed line, a pink dashed line, a blue dashed line, a solid green square, a solid pink square, a solid green line, a solid yellow line, a solid orange line, a solid red line, a solid blue line, a solid pink line, a solid light blue square, a solid light green square, and a solid white square.
- Location map: A small map of the area shown in the aerial image, with the green overlay area highlighted in black. The map shows the coastline and surrounding land parcels. The name 'Druuten' is printed on the map.



Esri Nederland, beeldmateriaal.nl

