



Hoe kunnen satellietbeelden BZK informeren over de voortgang van de flexwoningbouw?

2 juli 2024

Eindrapport Brian Killough, Space Tech
SMR

■ ■ ■
The better the question. The better the answer.
The better the world works.

EY

Building a better
working world



Contents

1. Management samenvatting	3
2. Land ontruiming detectie resultaten	5
3. Gebouw detectie resultaten	26
4. Rapportage overwegingen	37
5. Operationele overwegingen	39
6. Aanbevelingen en verdere kansen	41

1

Management samenvatting



Managementsamenvatting

- ▶ EY is ingeschakeld om een Proof of Concept (PoC) te ontwerpen om de effectiviteit te bepalen van het gebruik van satelliettechnologie en kunstmatige intelligentie voor het monitoren van de voortgang van projecten voor flexwonen.
- ▶ We hebben de PoC-doelstellingen bereikt door 4 bouwlocaties te analyseren met behulp van AI-prototypemodellen. De analyses omvatten onder meer het identificeren van ontruiming voorafgaand aan de start van de bouw en het identificeren van (flex)woninggebouwen tijdens de bouwfase. Dit rapport vat onze methodologie, bevindingen en aanbevelingen samen.

Probleemstelling

- ▶ Flexwoning projecten komen steeds meer voor in Nederland, maar controle op de voortgang is een uitdaging.
- ▶ Met het gebruik van AI en satellietgegevens is het mogelijk om algoritmes te ontwikkelen voor de detectie van landontruiming die verband houden met de voorbereiding van woningbouwlocaties en de detectie van nieuwe gebouwen waaronder flex woningen.

Doelen van PoC

1. Beoordeel of satellieten en AI kunnen worden gebruikt om de voortgang van de bouw van flexwoningen op afstand te monitoren.
2. Geef aanbevelingen om het concept te operationaliseren en deze mogelijkheden uit te breiden naar andere use cases.

Uitkomsten:

- ✓ Satellieten en AI kunnen effectief de timing identificeren van aanzienlijke landontruiming die verband houden met de start van flexwoningprojecten.
- ✓ Satellieten en AI kunnen woningbouwontwikkeling effectief classificeren, waardoor een nauwkeurigheid van het prototypemodel van 0,75 wordt bereikt.
- ✓ De modellen zijn aanpasbaar aan operationele scenario's die de kosten van het monitoren van flexwoningen aanzienlijk zouden kunnen verlagen en de nauwkeurigheid van de rapportage zouden kunnen verbeteren.

Aanbevelingen

1. Verbeter de prestaties van prototypemodellen met meer gegevensanalyses en trainingsgegevens via bekende projectsites.
2. Evalueer de business case en verken operationele pijplijnopties.

Verdere kansen

1. Ontdek aanvullende gebruiksscenario's met betrekking tot landverandering en objectdetectie met behulp van satellietgegevens en AI.





2

resultaten van land
ontruiming detectie

Locatie #1 = Texel

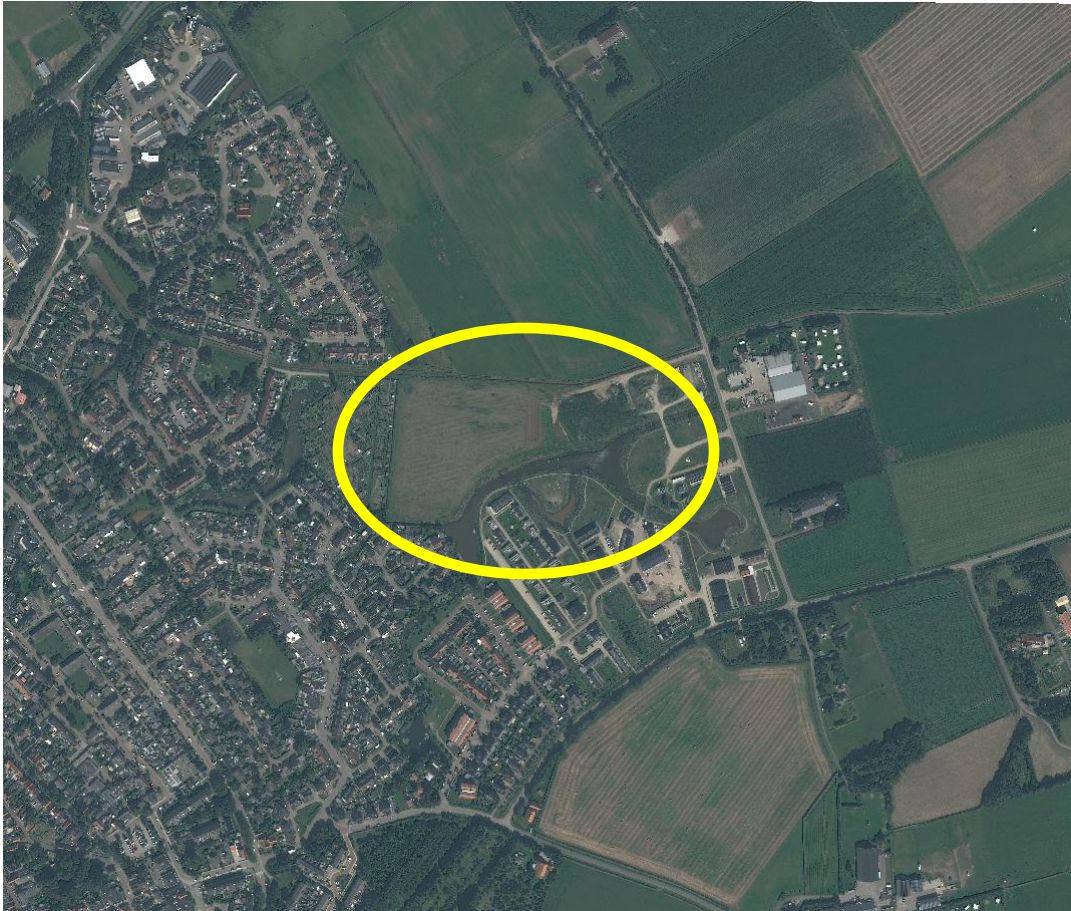
Pre = 2023-08-16

Post = 2024-04-11

Linksonder = 53.053820, 4.799591

Rechtsboven = 53.063819, 4.819479

Oppervlak = 1.3 km x 1.1 km



Pre-Constructie



Post-Constructie

Locatie #1 = Texel



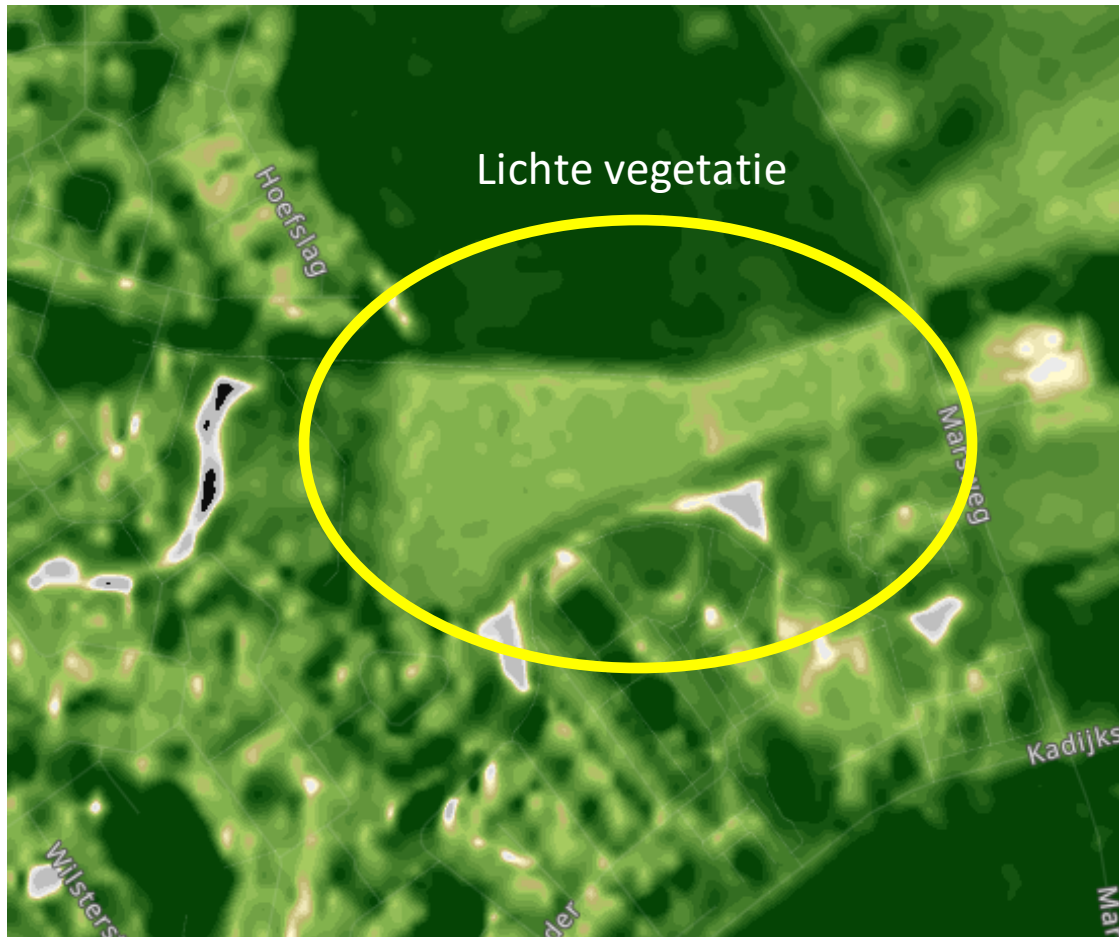
Pre-Constructie



Post-Constructie

Vegetatie Index (NDVI)

10-meter, Sentinel-2



1 januari 2024



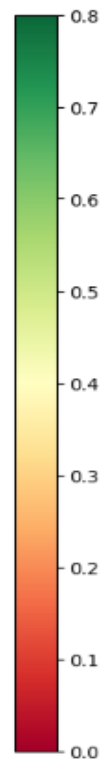
29 april 2024

Vegetatie Index (NDVI) abnormaliteit

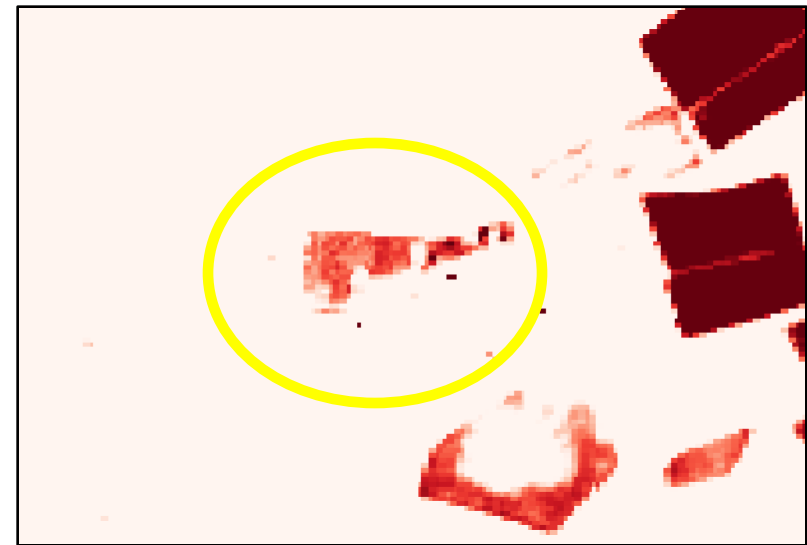
10-meter, Sentinel-2



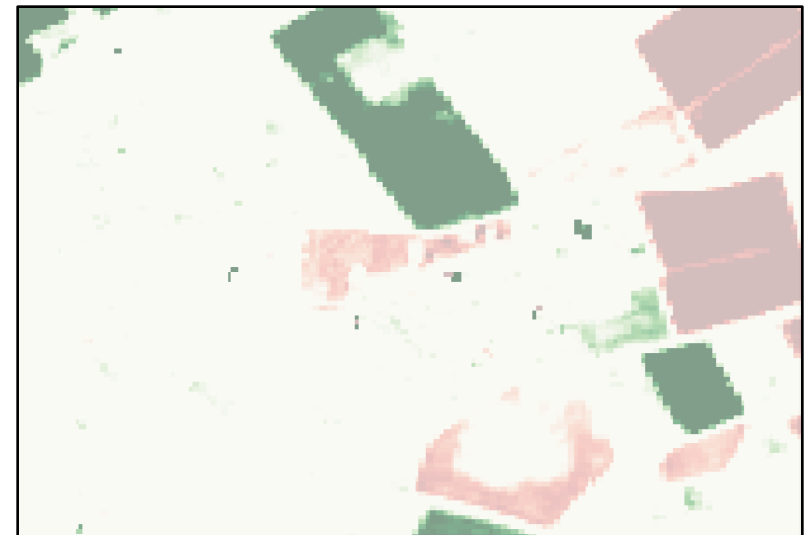
4 juni 2023
Pre-Constructie



14 mei 2024
Terrein ontruiming



NDVI abnormaliteit – Vegetatie verlies
20% tot 40% vegetatie verlies (ROOD)



NDVI abnormaliteit – Verlies en Winst
20%-40% Verlies (Rood), 10%-30% Winst (Groen)

EY Space Tech – Significante landverandering product

10-meter, Sentinel-2

4 juni 2023 tot 14 mei 2024



Locatie #2 = Kroonweg

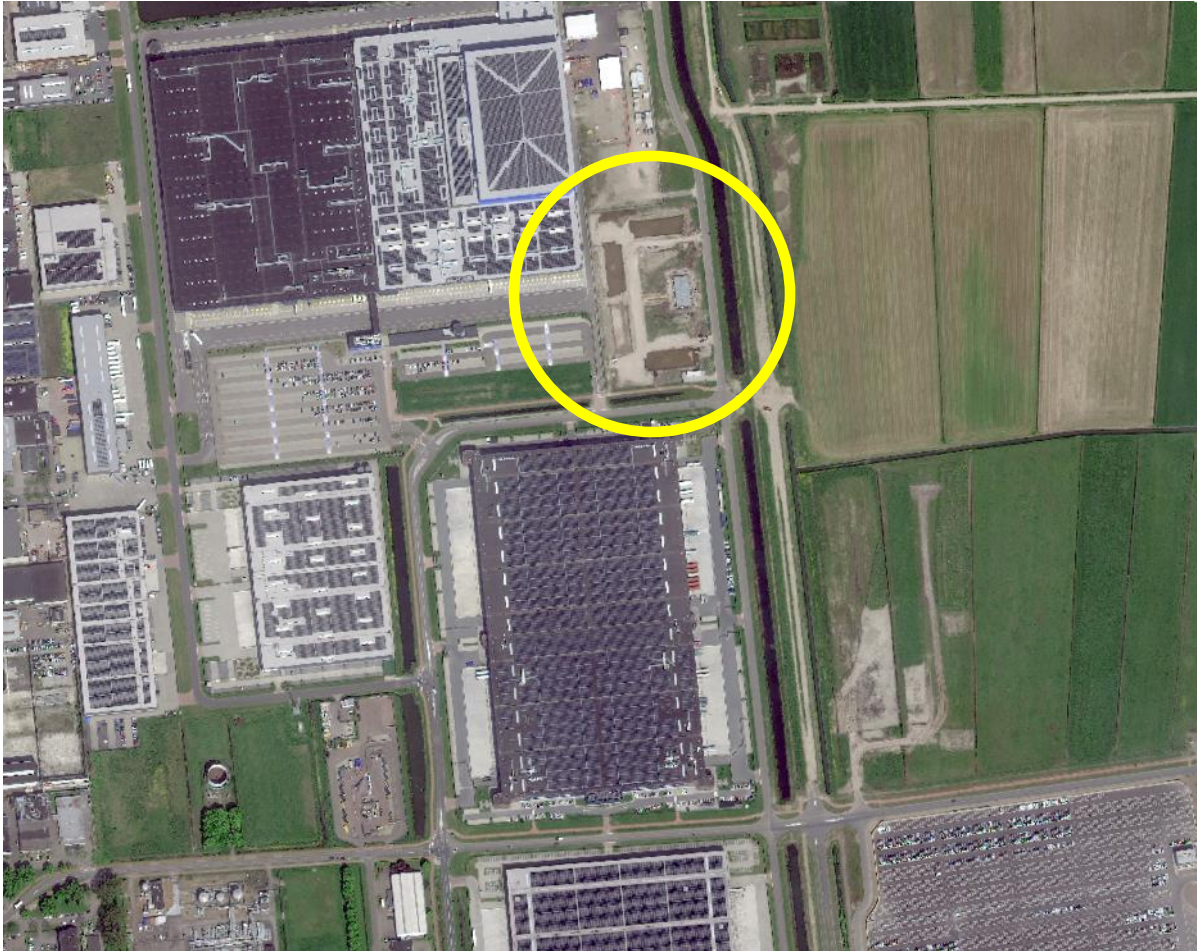
Pre = 2023-05-03

Post = 2024-05-07

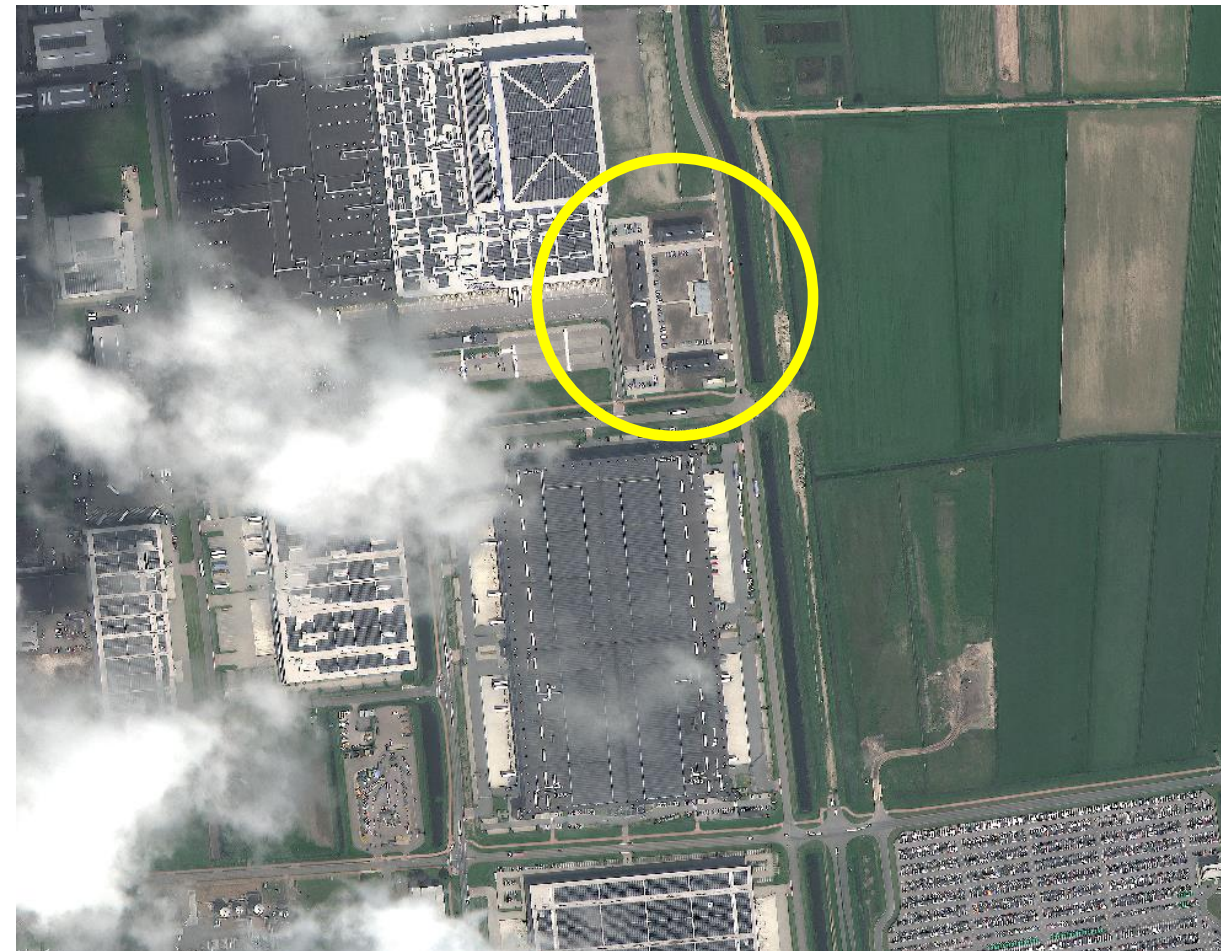
Linksonder = 51.696953, 5.0621886

Rechtsboven = 51.705547, 5.079912

Oppervlak = 1.2 km x 1.0 km



Pre-Constructie



Post-Constructie

Locatie #2 = Kroonweg



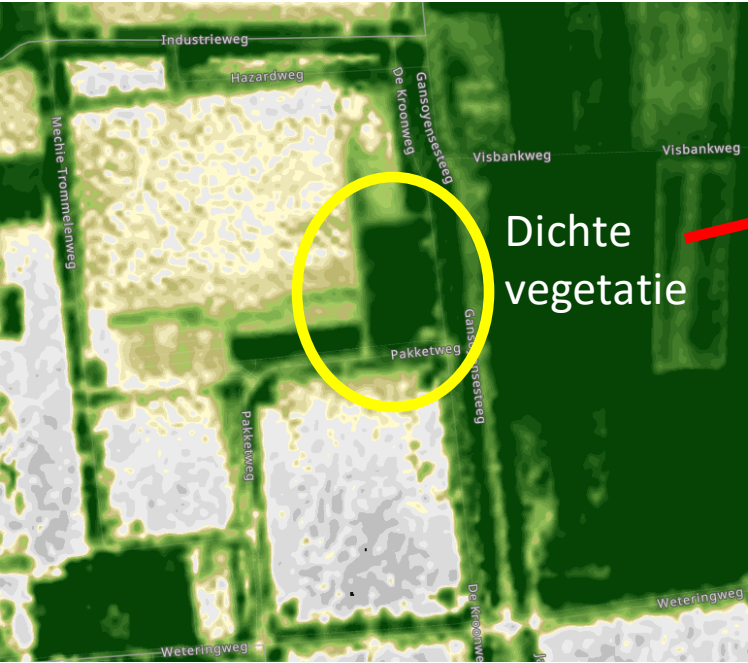
Pre-Constructie – mei 2023



Post-Constructie – mei 2024

Vegetatie Index (NDVI)

10-meter, Sentinel-2



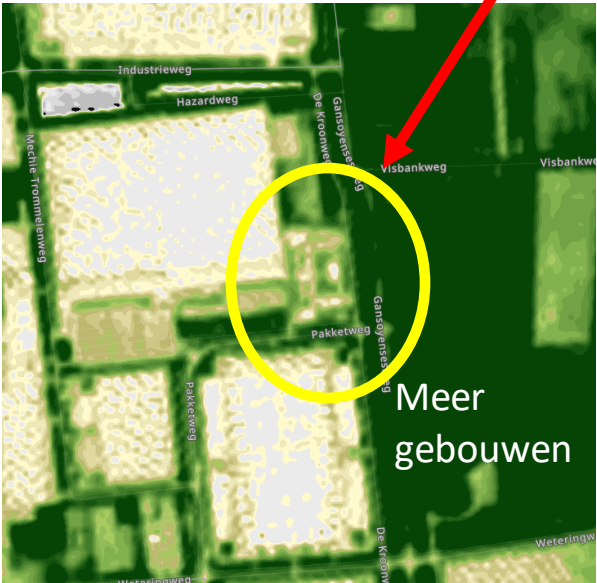
01-Dec-2022



14-Feb-2023



23-Aug-2023



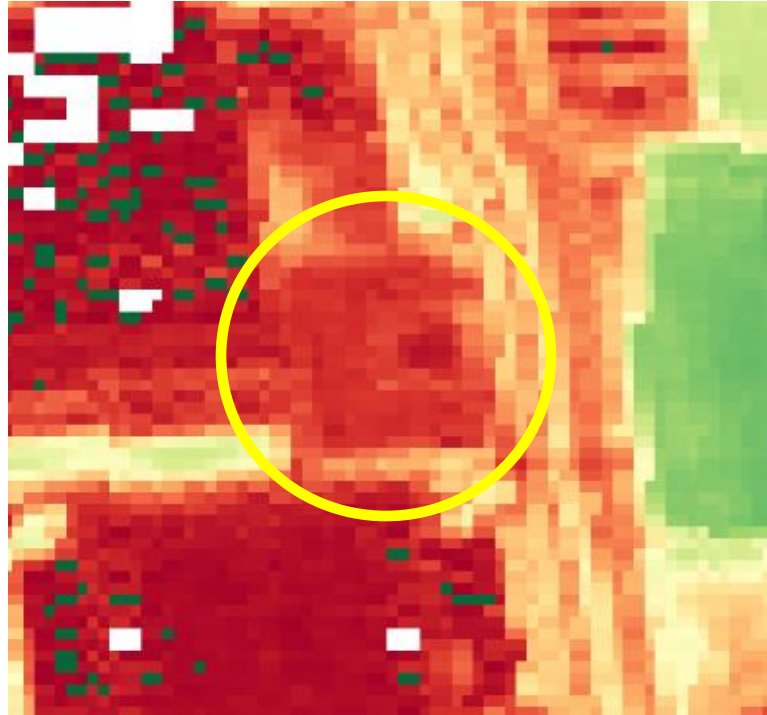
19-Mei-2024

Vegetatie Index (NDVI) abnormaliteit

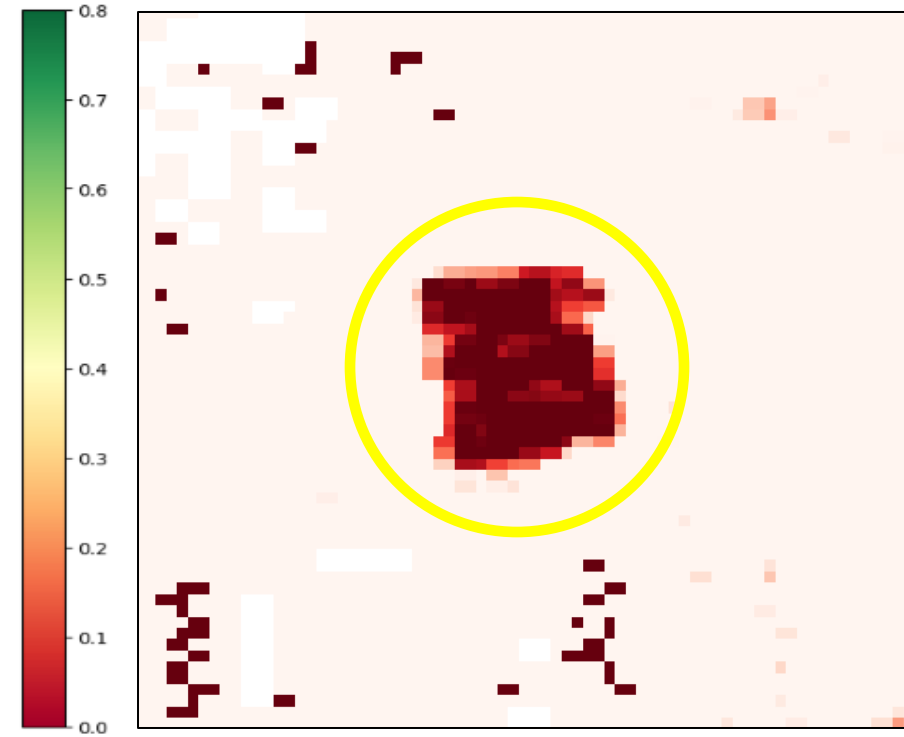
10-meter, Sentinel-2



13-Nov-2022
Pre-Constructie



14-Feb-2023
Bouwplaats ontruiming

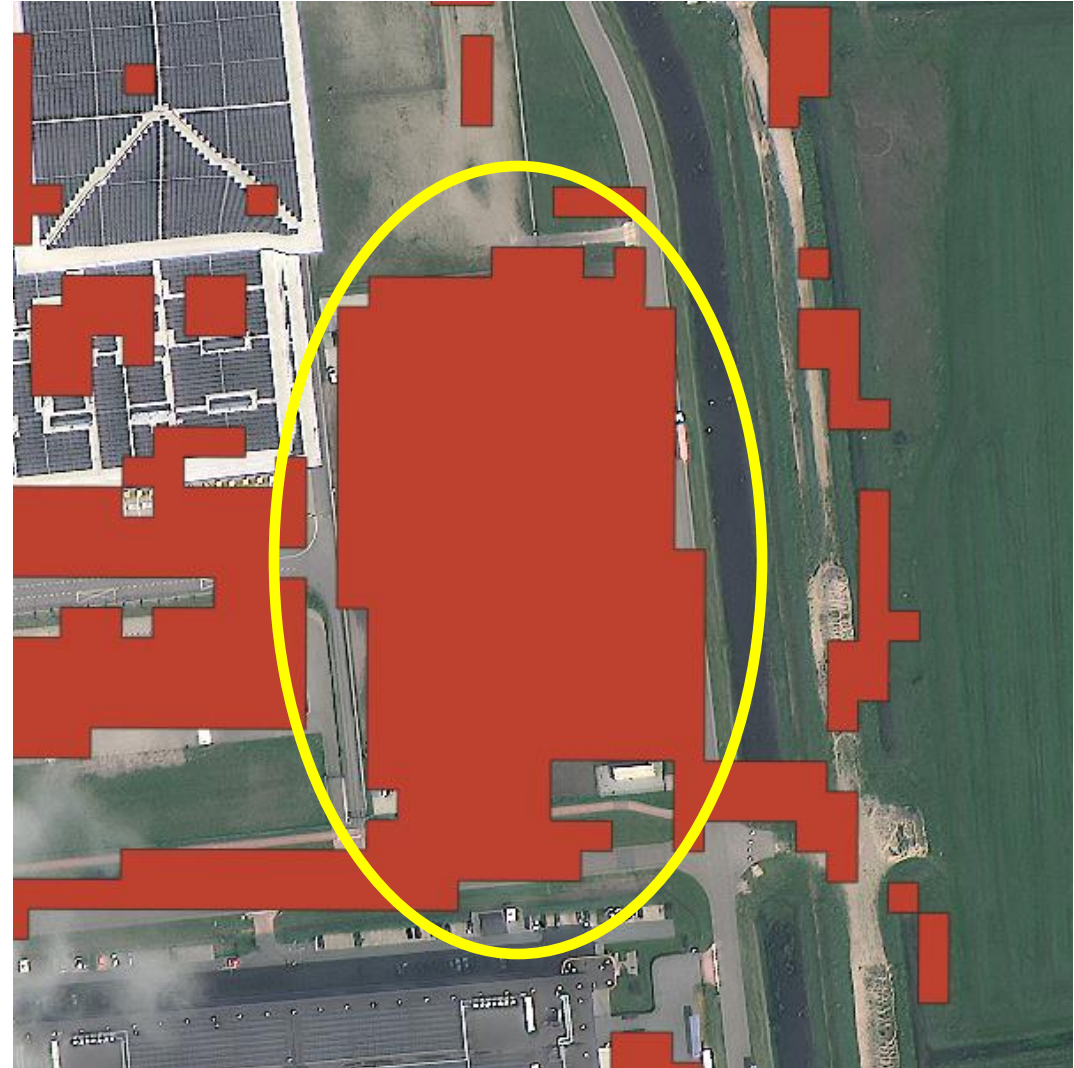
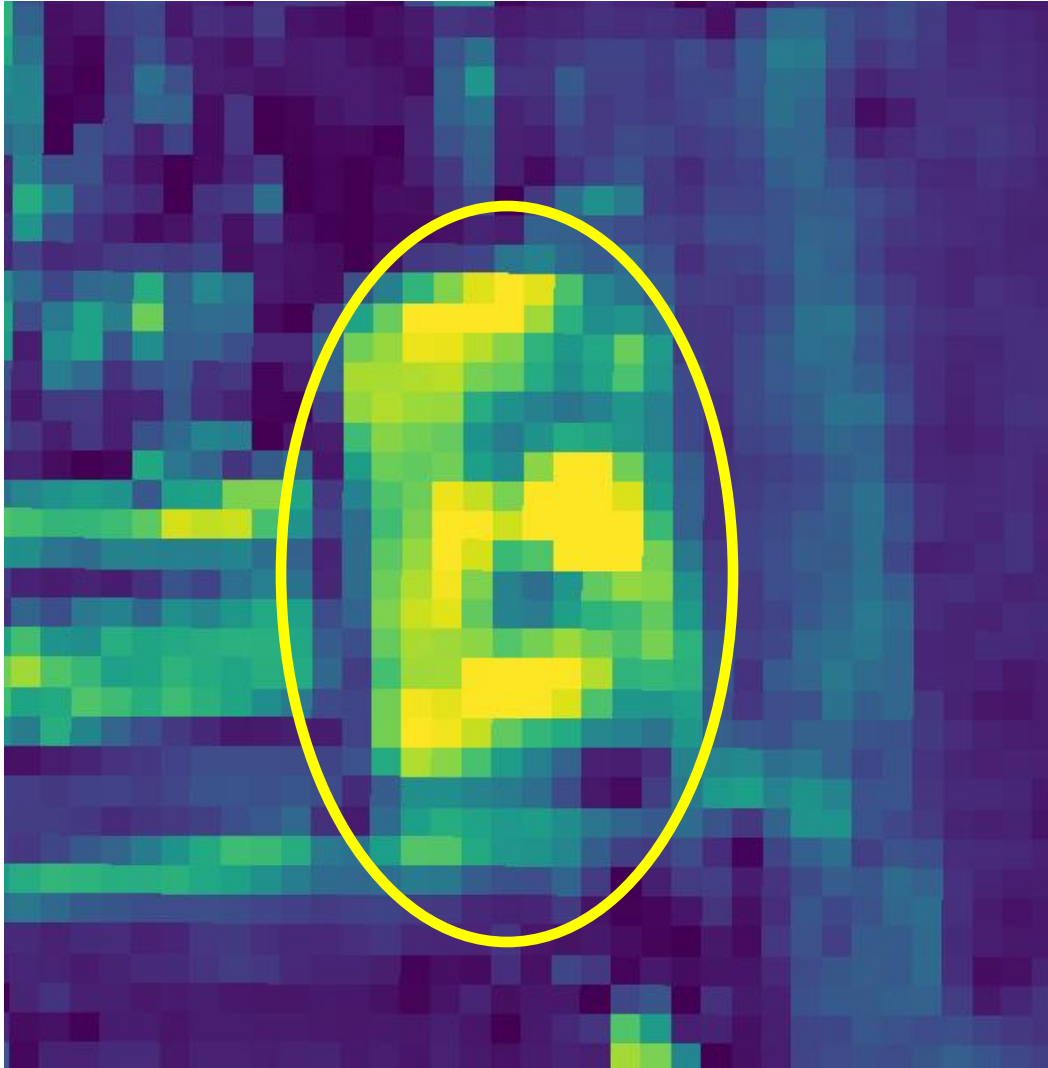


NDVI Abnormaliteit
20% tot 40% Vegetatie verlies

EY Space Tech – Significante landverandering product

10-meter, Sentinel-2

13 november 2023 tot 14 februari 2024



Locatie #3 = Dukenburgseweg

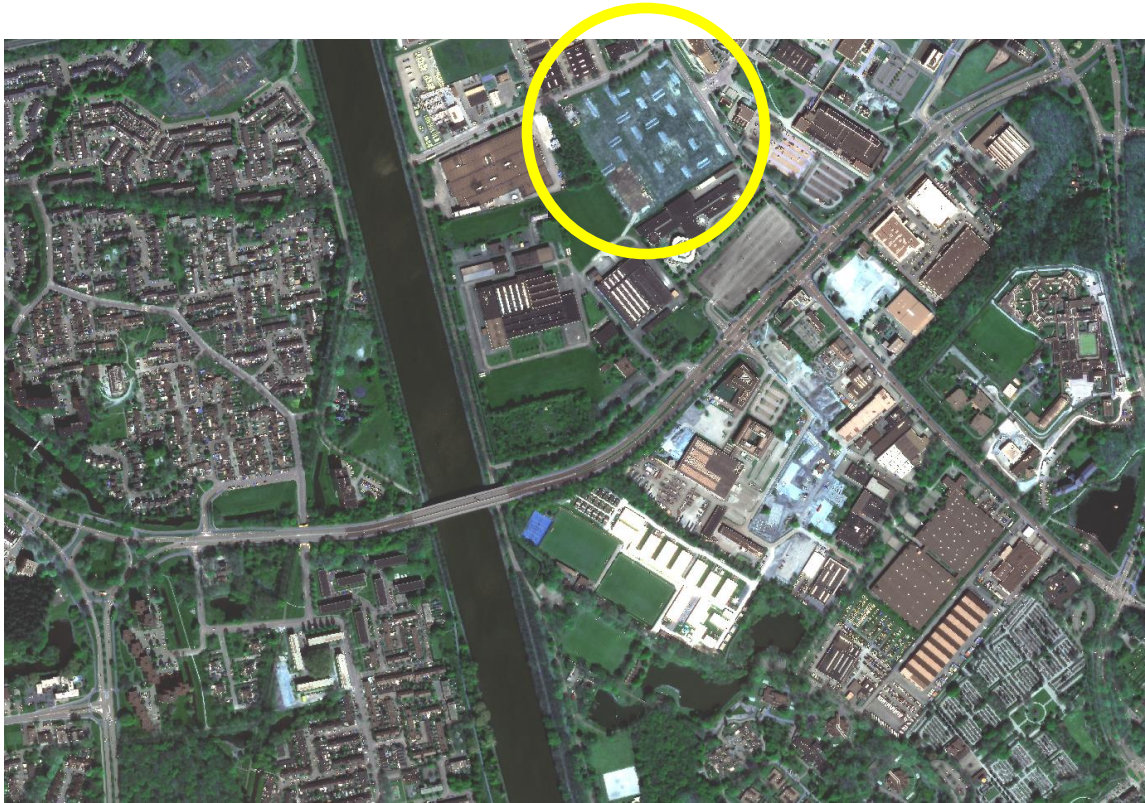
Pre = 2023-04-30

Post = 2024-04-29

Linksonder = 51.811219, 5.800179

Rechtsboven = 51.824825, 5.828698

Oppervlak = 2 km x 1.5 km



Voor het woningbouwproject

Wat zijn de objecten op deze locatie in 2023?



Pre-Constructie – Landontruiming

Het lijkt erop dat de locatie begin 2024 is ontruimd om met een nieuw project te beginnen?

Locatie #3 = Dukenburgseweg



Voor het woningbouwproject – april 2023

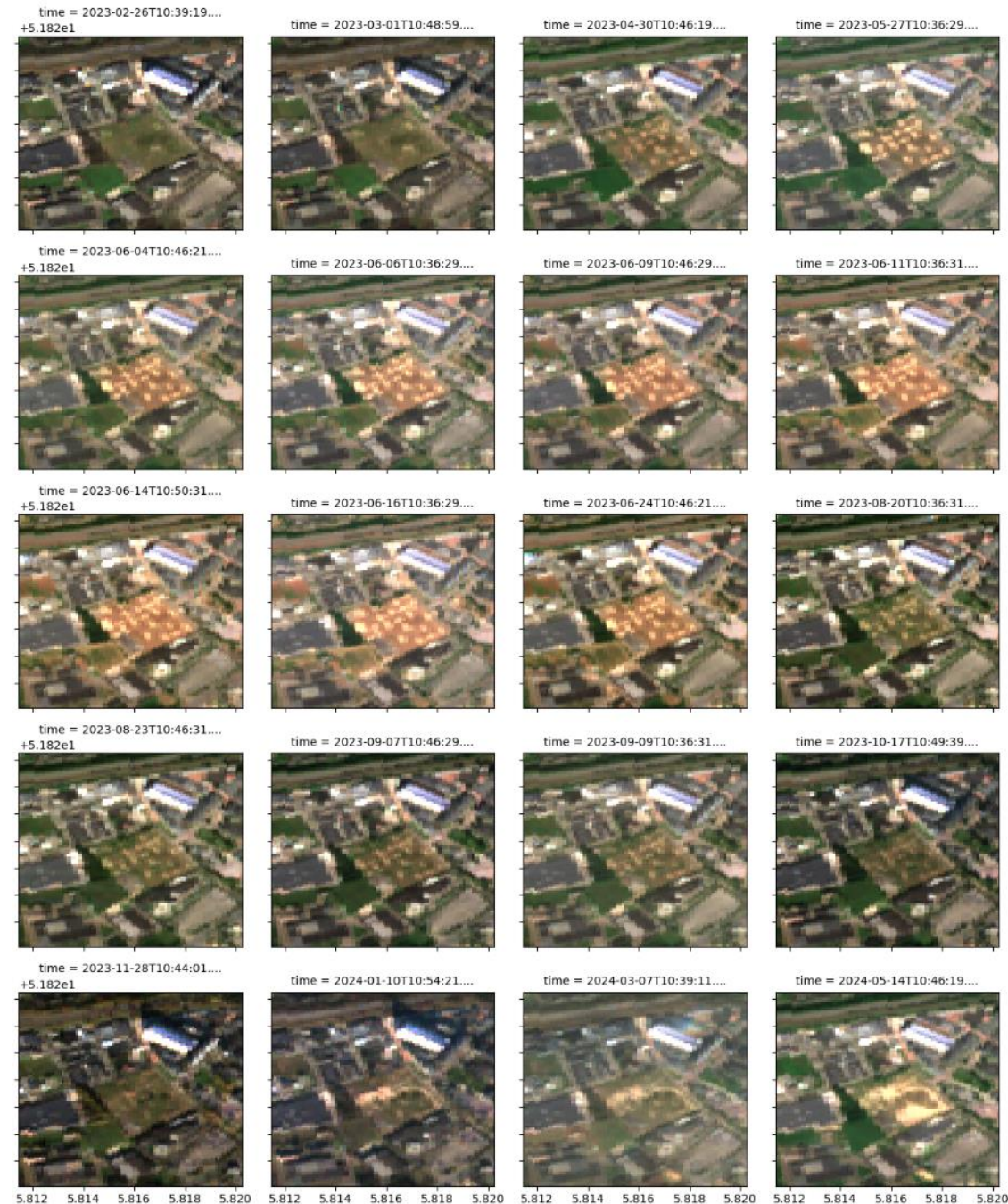


Pre-constructie landontruiming – april 2024

Sentinel-2 (10-meter) Geschiedenis van satellietbeelden van februari 2023 tot mei 2024

Het terrein aan de Dukenburgseweg kent een interessante geschiedenis. De 'gratis' Sentinel-2 (10-meter) beelden rechts tonen de geschiedenis.

Voor april 2023 bestond de locatie voornamelijk uit gras. In april 2023 werd de locatie bevolkt met ongeveer 20 kleine bouwwerken. Tussen augustus en november 2023 keerde de locatie terug naar een mix van deze kleine structuren en vegetatie. In januari 2024 lijkt het erop dat de grond is vrijgemaakt voor een nieuw flexwoningproject. Sinds mei 2024 bestaat het land grotendeels uit kale grond.



Vegetatie Index (NDVI)

10-meter, Sentinel-2



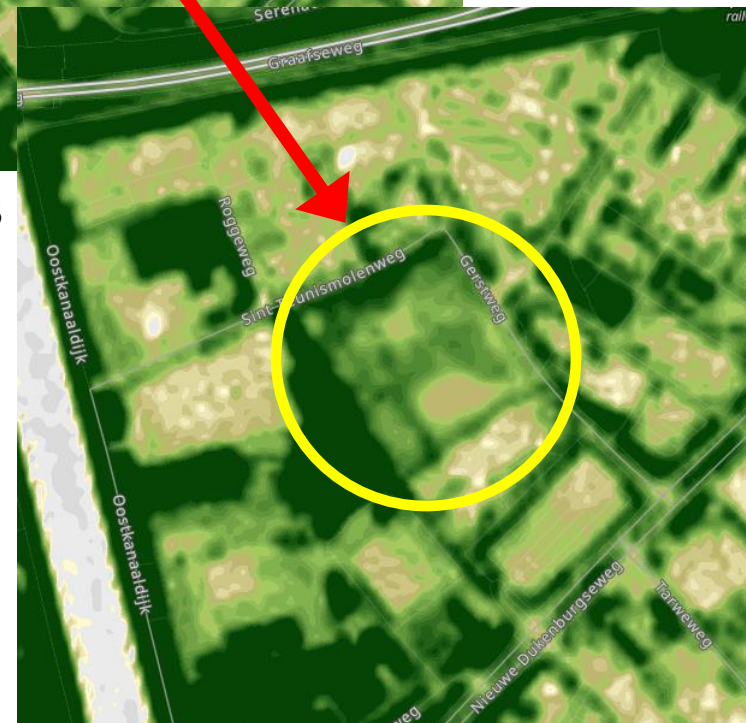
5 april 2023



17 mei 2023



28 november 2023



19 mei 2024

Locatie #4 = Mozartlaan

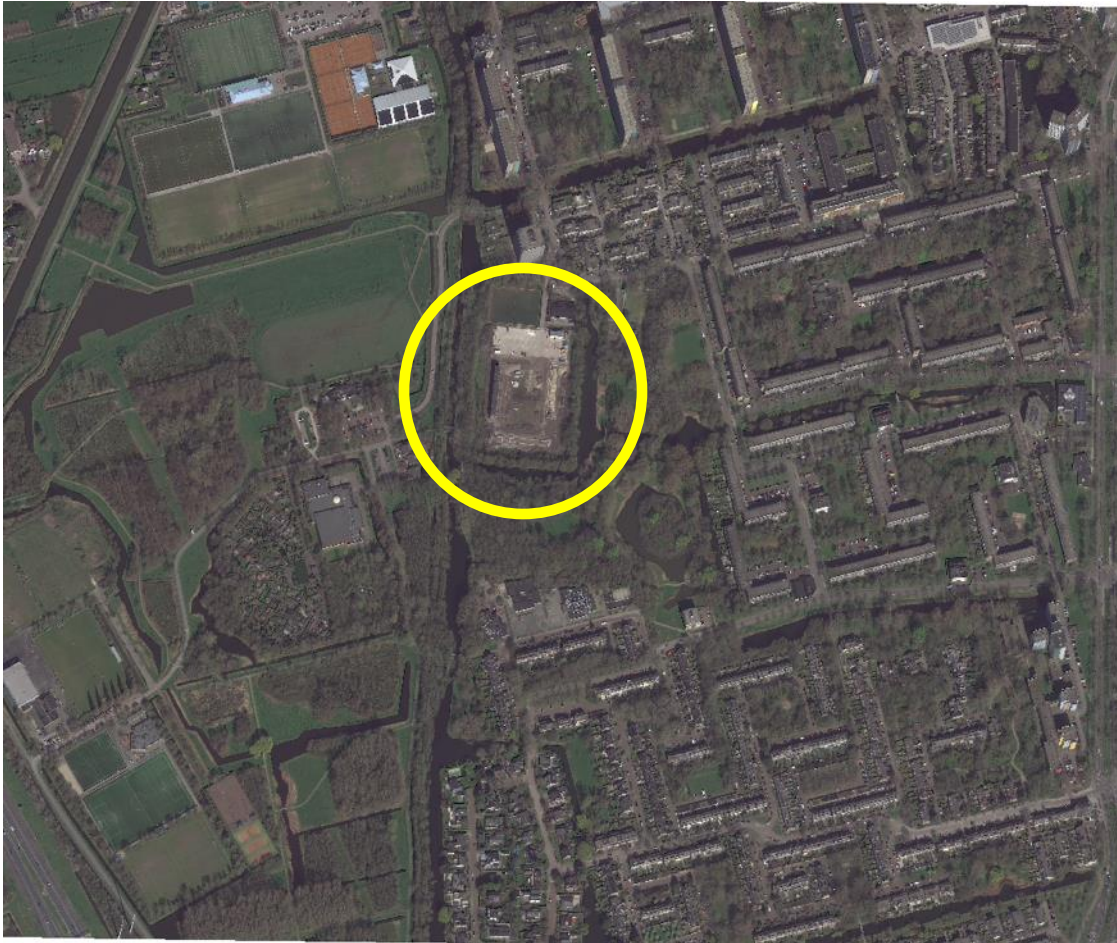
Pre = 2023-04-02

Post = 2024-05-02

Linksonder = 51.986030, 4.325292

Rechtsboven = 51.996041, 4.344960

Oppervlak = 1.3 km x 1.1 km



Pre-Constructie



Post-Constructie

Locatie #4 - Mozartlaan



Pre-constructie – 1 gebouw + bouwkantoor



Nabouw – 3 gebouwen + fietsenstalling

Vegetatie Index (NDVI)

10-meter, Sentinel-2



2 september 2022
Vroegtijdige locatieontruiming



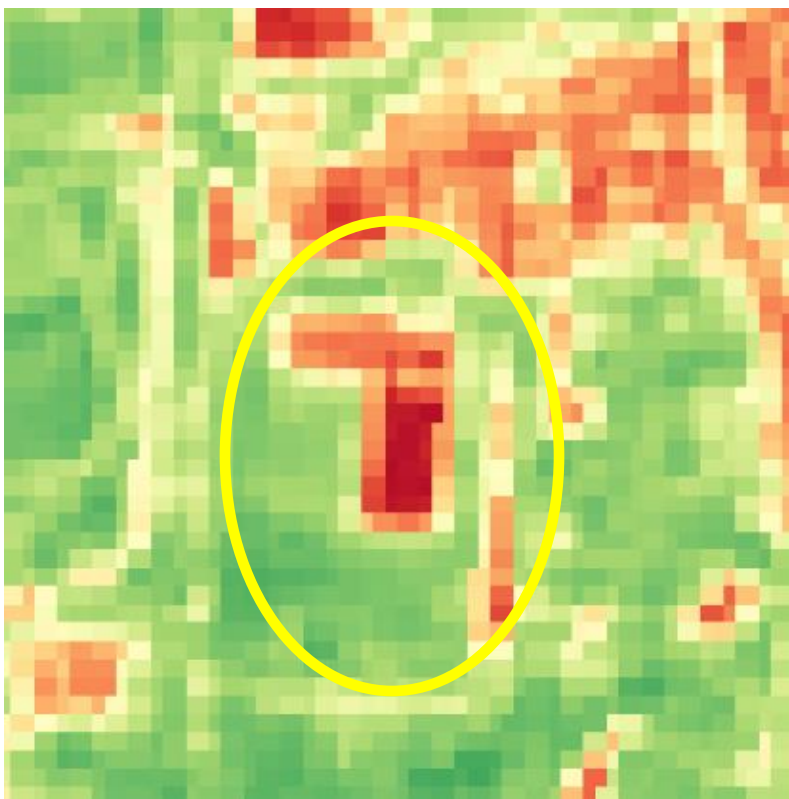
24 juni 2024
Locatieontruiming voltooid



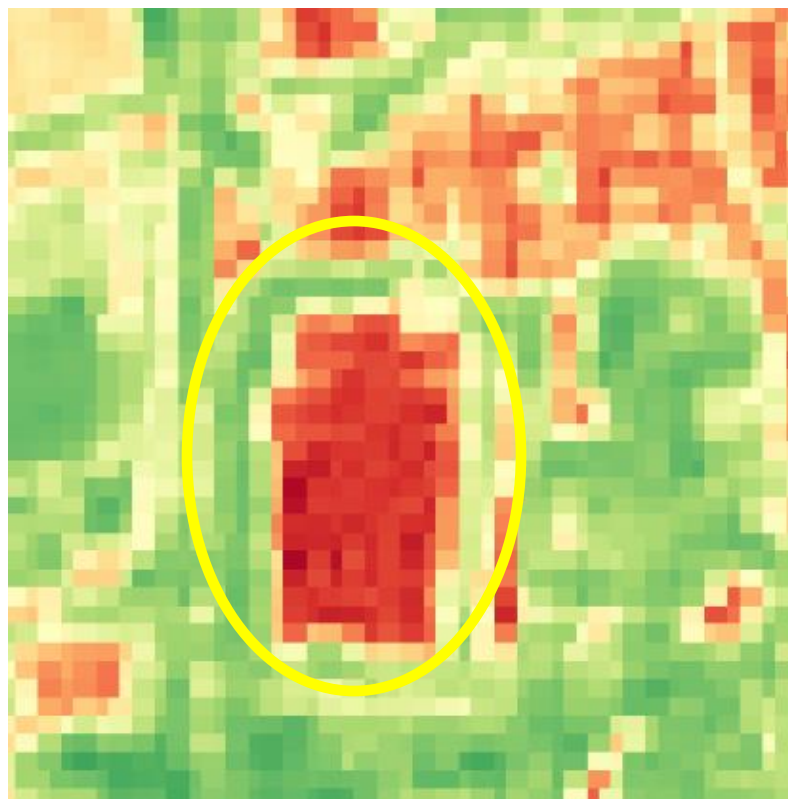
19 mei 2024 – Bouw voltooid

Vegetatie Index (NDVI) Abnormaliteit

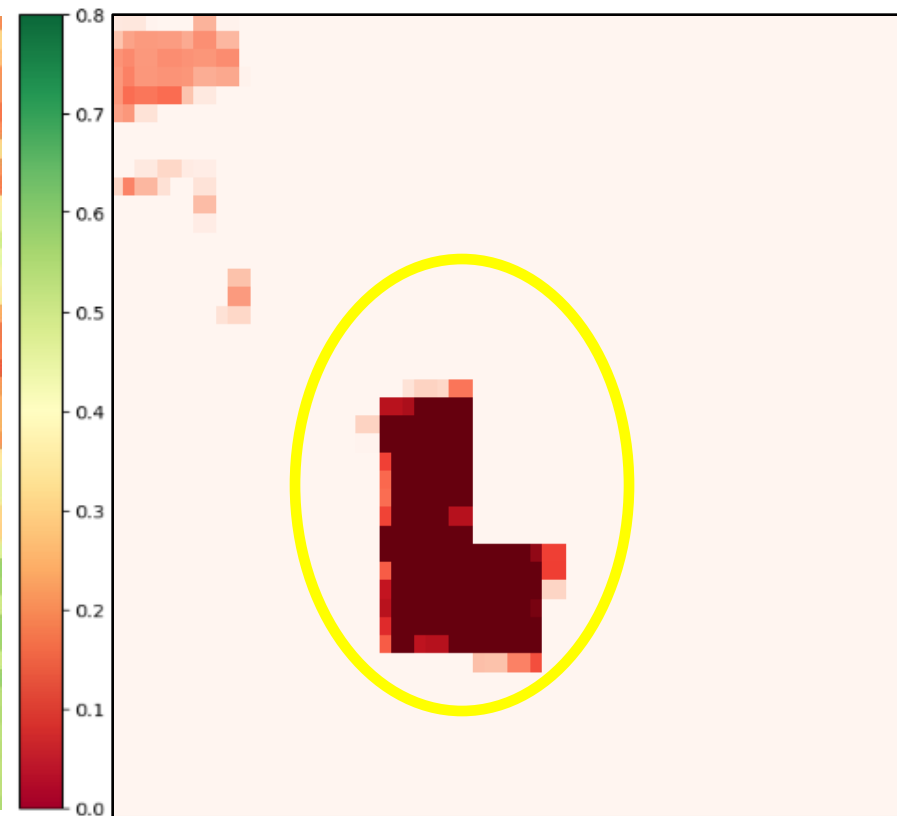
10-meter, Sentinel-2



15 mei 2022
Pre-Constructie



4 juni 2023
Bouwplaats ontruiming

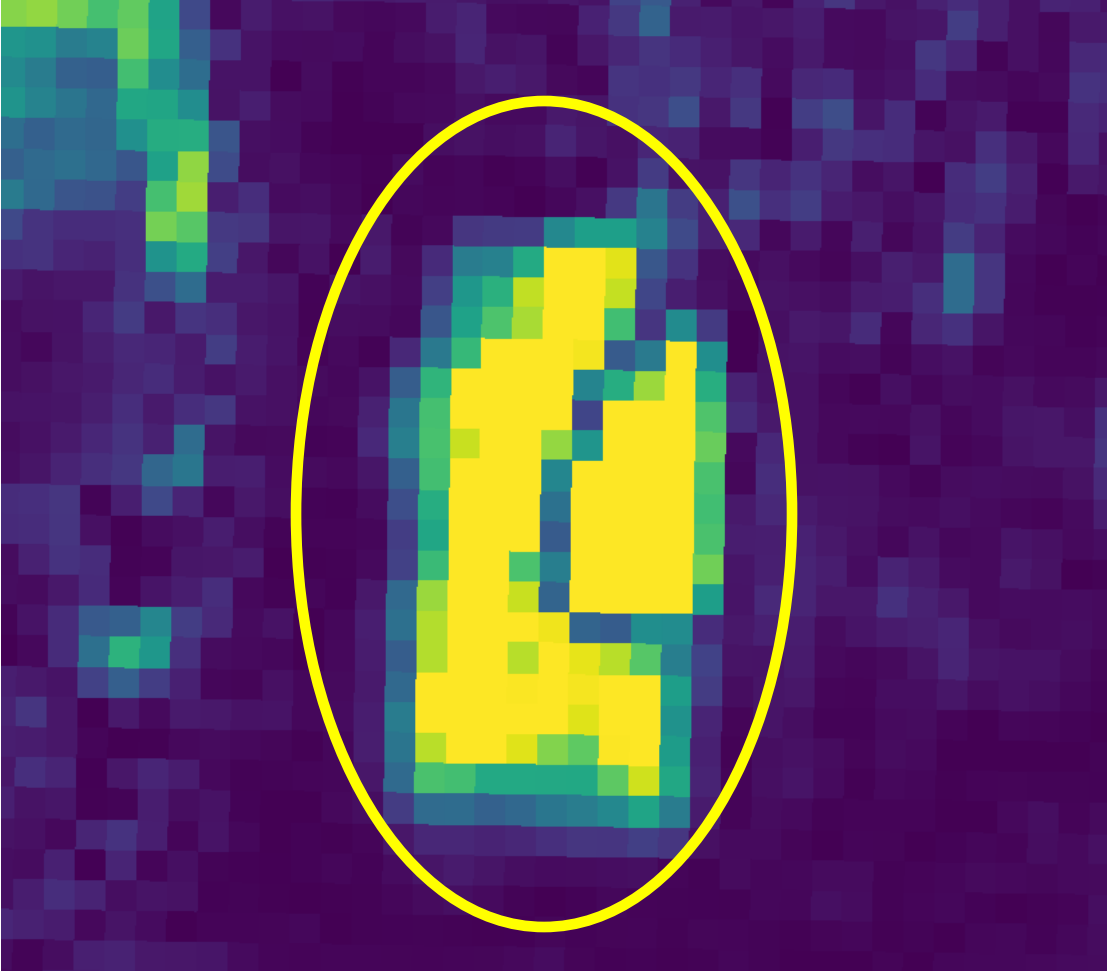


NDVI Abnormaliteit
20% tot 40% vegetatie verlies

EY Space Tech – Significante landverandering product

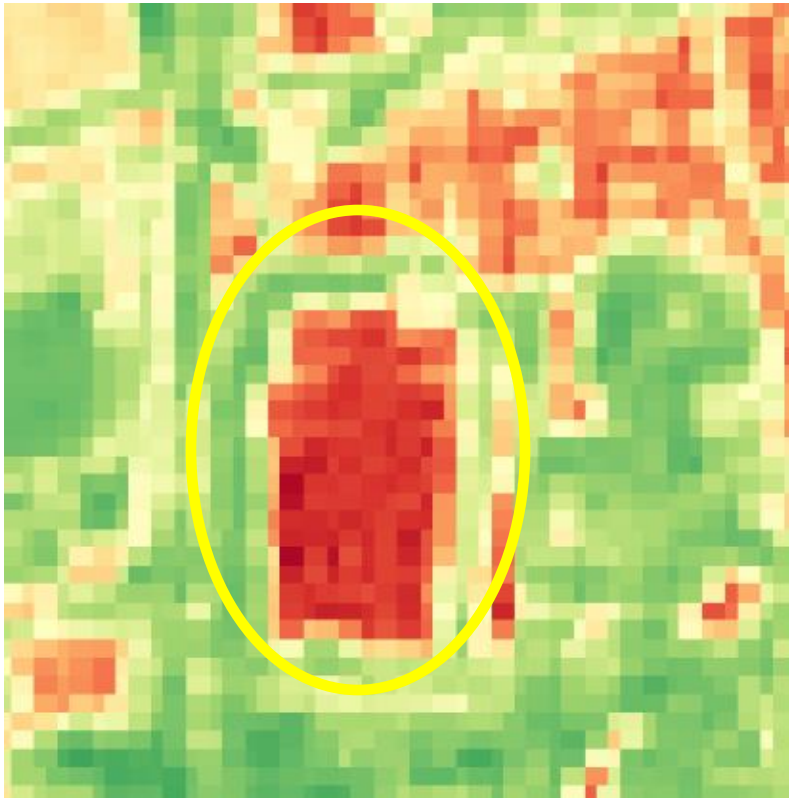
10-meter, Sentinel-2

15 mei 2022 tot 4 juni 2023

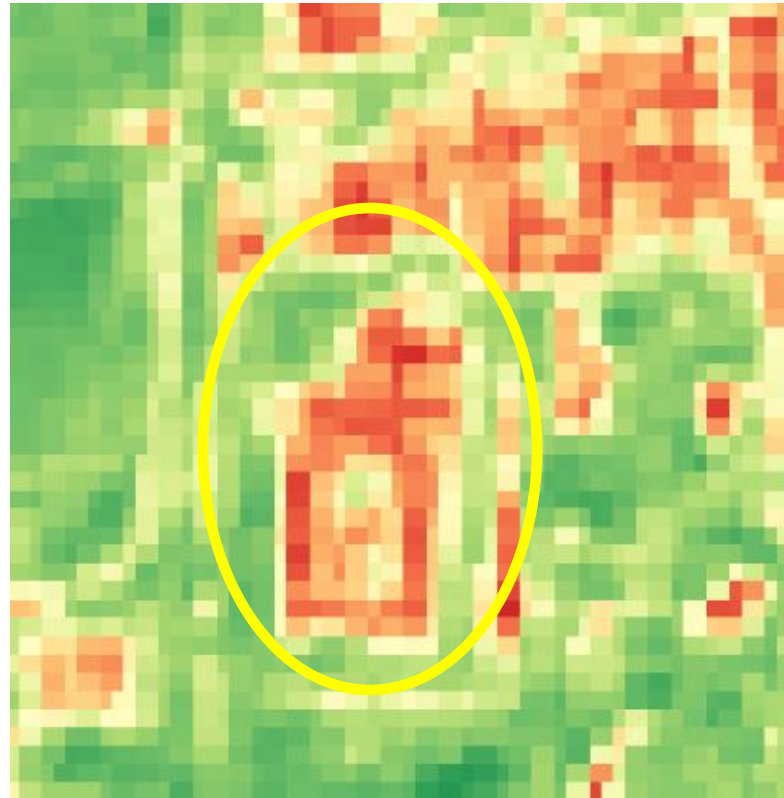


Vegetatie Index (NDVI) Abnormaliteit

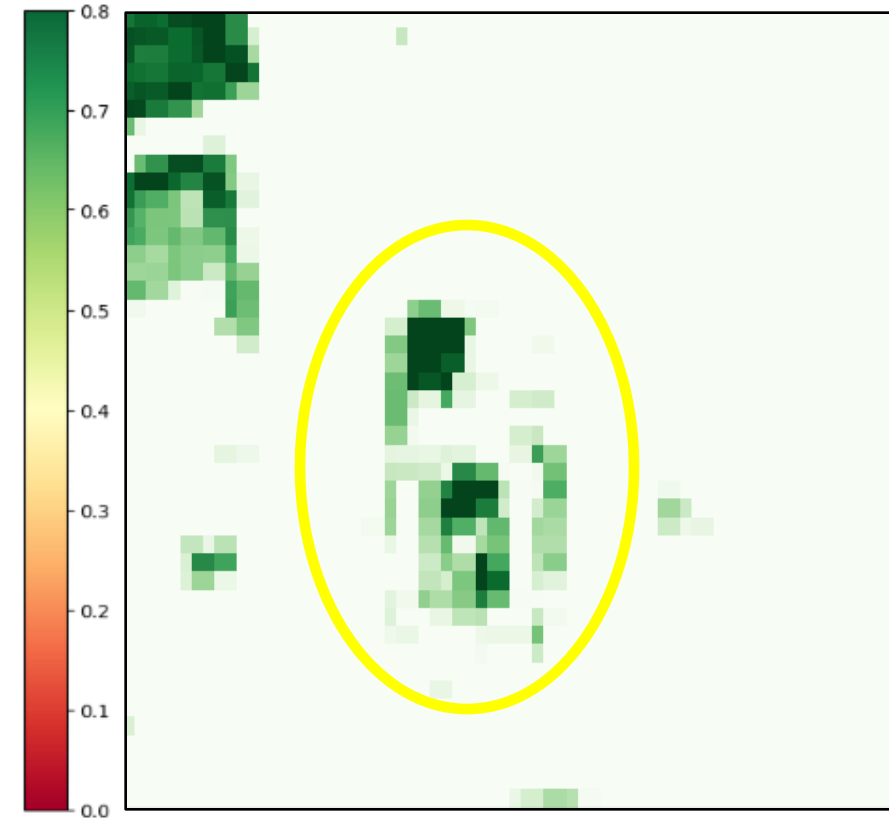
10-meter, Sentinel-2



4 juni 2023
Bouwplaats ontruiming



19 mei 2024
Woningbouwproject voltooid



NDVI Abnormaliteit

10% tot 30% vegetatietoename
“Groene Ruimte” toegevoegd aan
project

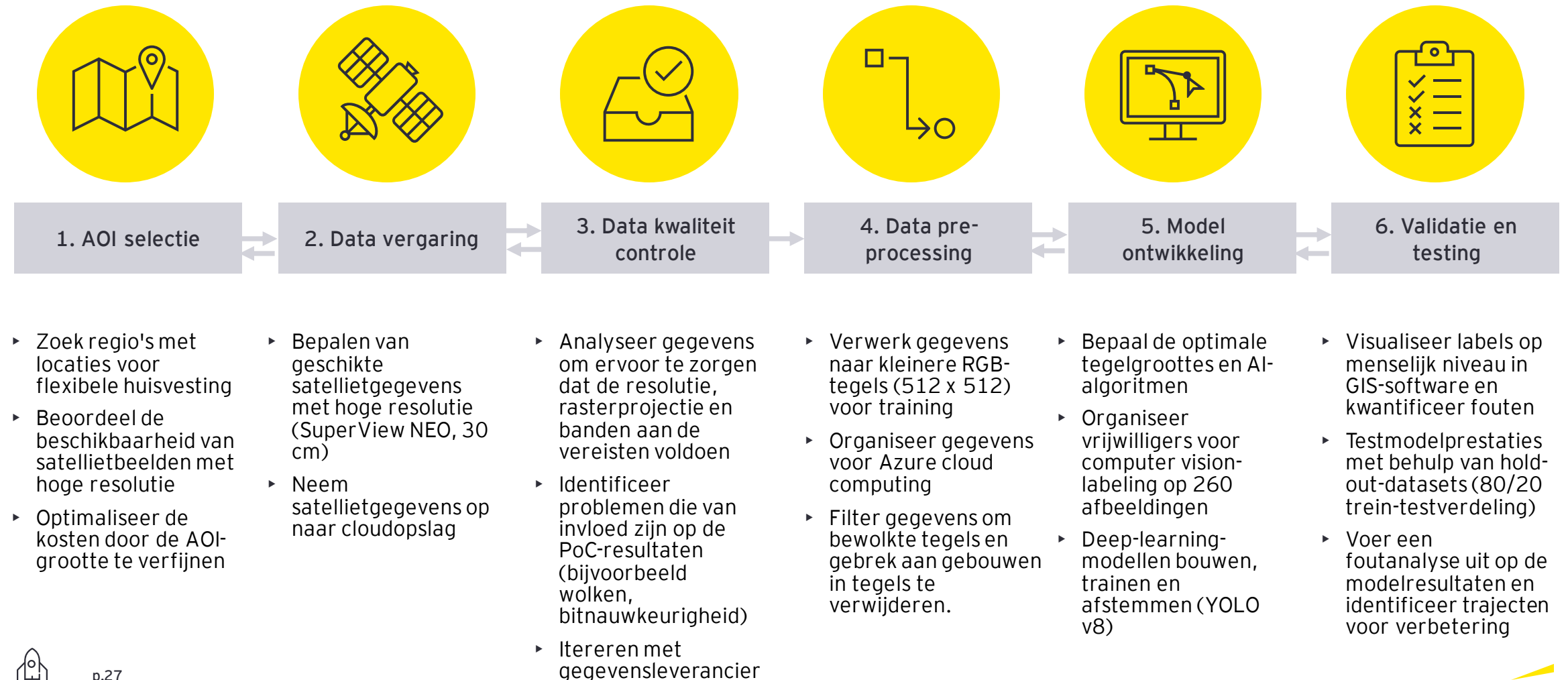


3

Resultaten van gebouwdetectie

Gedetailleerde methodologie voor de ontwikkeling van detectiemodellen

- In deze POC hebben we een 6-stappenproces ontworpen en uitgevoerd. Op de volgende pagina's wordt elke stap opgesplitst.



Gebouwen labelen (voorbeelden)



Model Validatie



50 epochs completed in 2.743 hours.

Optimizer stripped from runs\obb\train2\weights\last.pt, 6.5MB

Optimizer stripped from runs\obb\train2\weights\best.pt, 6.5MB

Validating runs\obb\train2\weights\best.pt...

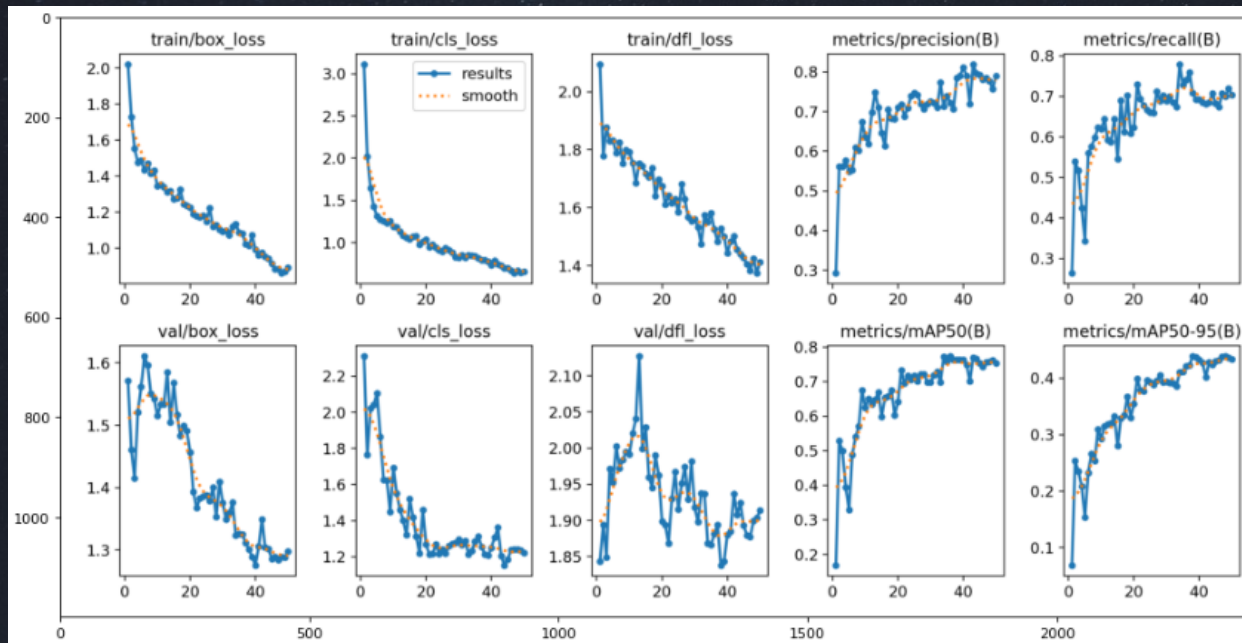
Ultralytics YOLOv8.2.28 Python-3.8.10 torch-2.3.0+cpu CPU (11th Gen Intel Core(TM) i7-1185G7 3.00GHz)

YOLOv8n-obb summary (fused): 187 layers, 3077414 parameters, 0 gradients, 8.3 GFLOPs

Class	Images	Instances	Box(P)	R	mAP50	mAP50-95
all	54	273	0.784	0.711	0.763	0.439

Speed: 4.7ms preprocess, 353.8ms inference, 0.0ms loss, 14.0ms postprocess per image

Results saved to runs\obb\train2



- ▶ De validatiescore van het model (gemiddelde gemiddelde precisie = mAP) is 0,76, wanneer het werd getest op gevalideerde afbeeldingen.
- ▶ De modelprestaties kunnen worden verbeterd met de volgende overwegingen: meer trainingsgegevens, grotere trainingsvoorbeelden om randeffecten te verminderen, wolkenfiltering, filtering van de gebouwgrootte



Samenvatting resultaten

- Op deze pagina worden de resultaten van onze “confusion” Matrix weergegeven.
- We hebben 204 gebouwen correct gevonden (echte positieven) in onze testbeelden.
- We hebben 70 vals-positieven en 69 vals-negatieven geïdentificeerd. Dit levert een Precisie = $TP / (TP+FP) = 0,74$ en een Recall = $TP / (TP+FN) = 0,75$ op. De gecombineerde **F1-score is 0,75**, wat een “goed” resultaat is, maar met ruimte voor verbetering.
- Het voornaamste probleem betreft zeer kleine gebouwen.

		Actual	
		Positive	Negative
Predicted	Positive	True Positive	False Positive
	Negative	False Negative	True Negative

$$F1 = \frac{2 \times Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

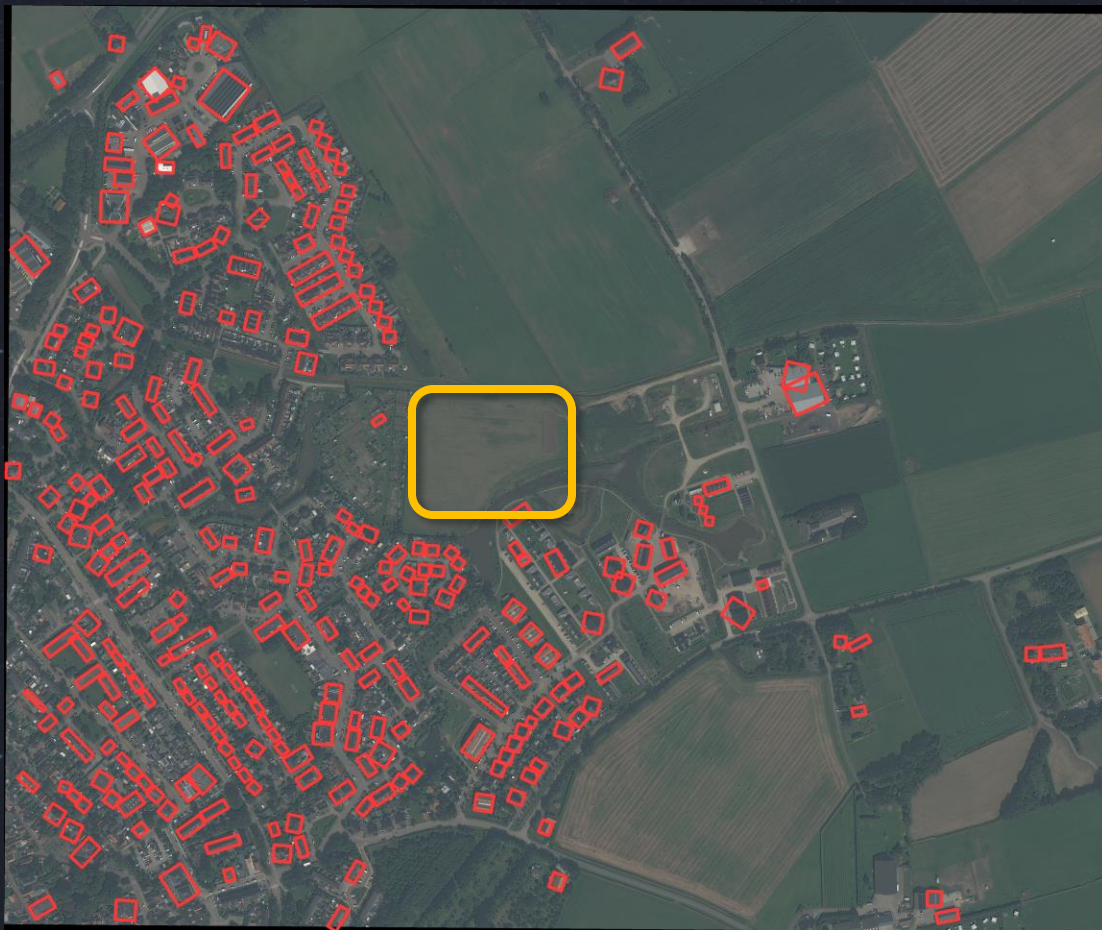
Confusion Matrix

Predicted	Building	Background
Building	204	70
Background	69	
	Building	Background
	Actual	

Model voorspelling: (Locatie #1: Texel)



Het model kan gebouwen detecteren die in de pre afbeelding niet bestonden en later zijn gebouwd.



Pre afbeelding - augustus 2023



Post afbeelding - april 2024



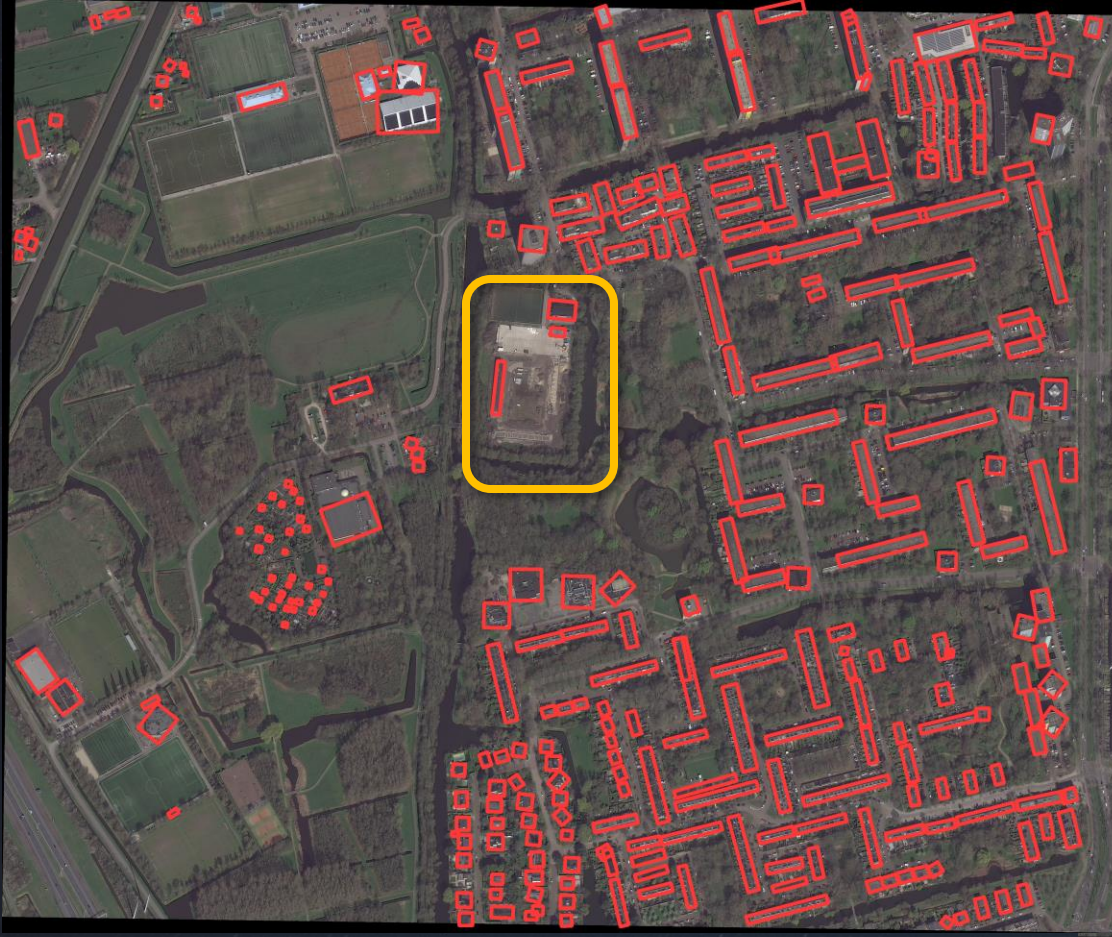
Locatie #1 - Texel



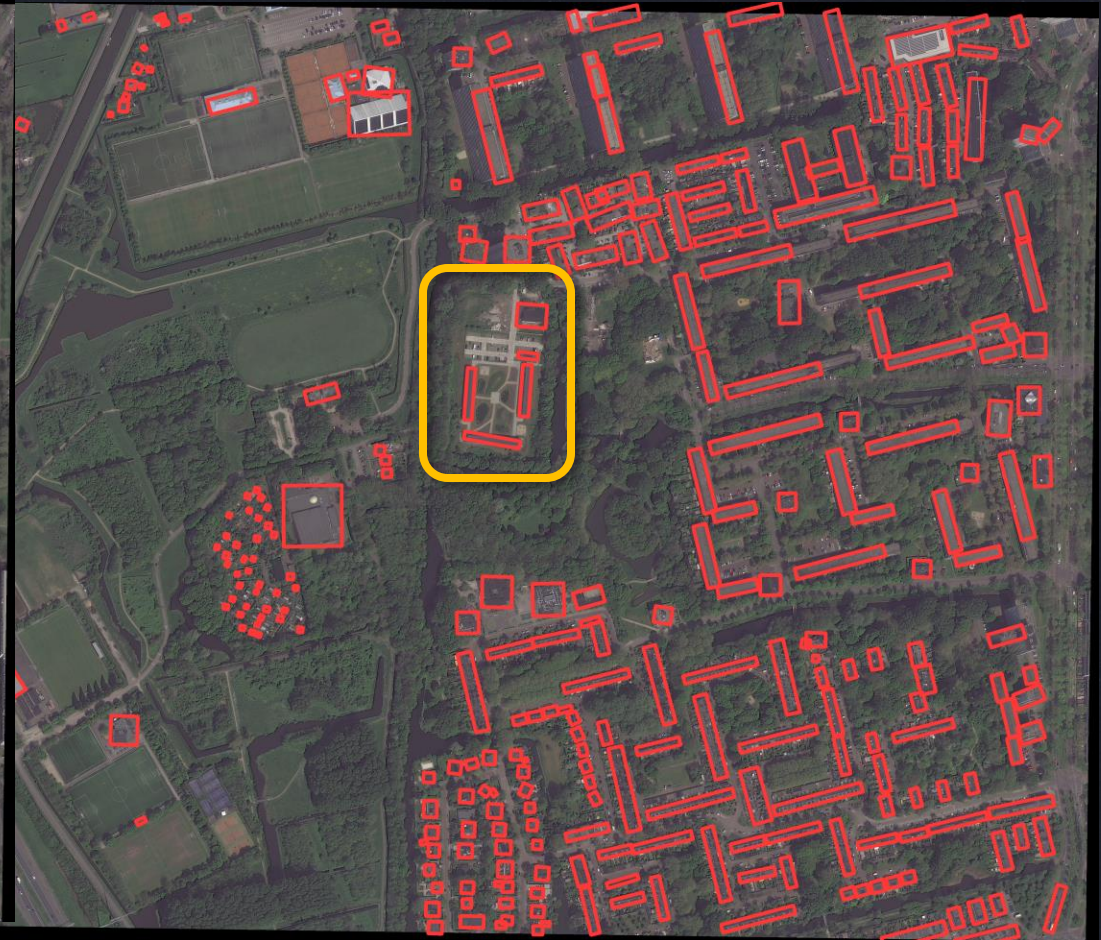
Model voorspelling(Locatie #4: Mozartlaan)



Het model kan de gebouwen detecteren die in de pre afbeelding niet bestonden en later zijn gebouwd.



Pre afbeelding - april 2023



Post afbeelding - mei 2024



Locatie #4 = Mozartlaan



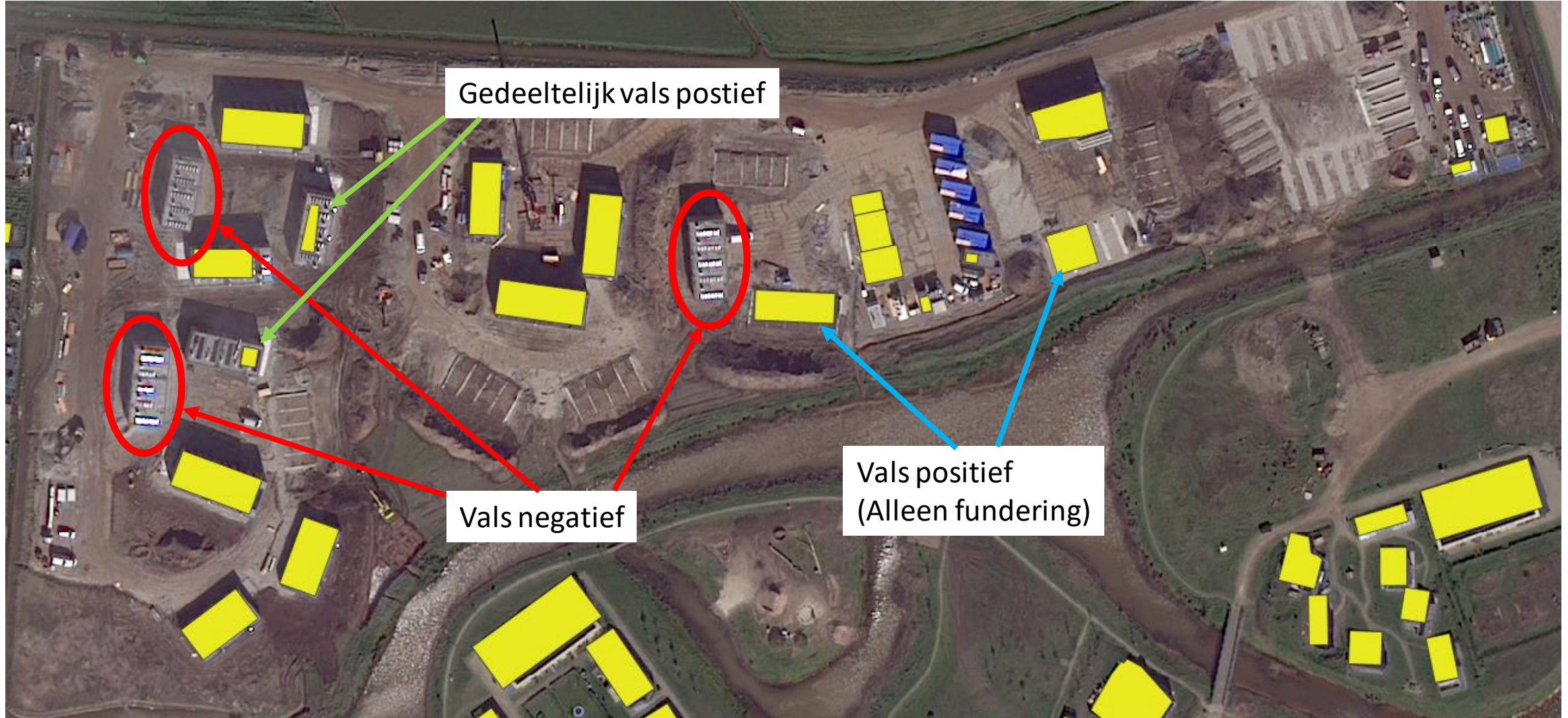
Pre-Constructie



Post-Constructie

Locatie #1 - Texel

BlackShark-AI (commercieel alternatief) Resultaten van gebouwdetectiemodellen



Conclusie: Het trainen van een model met behulp van “lokale” gegevens is ZEER belangrijk om de objectdetectieresultaten te optimaliseren.

Gebouwdetectie - Samenvatting van de resultaten



▶ Resultaten Samenvatting

- ▶ We hebben een 'goed' objectdetectiemodel ontwikkeld dat woningbouwontwikkeling identificeert.
- ▶ Het model is nog niet in staat om reguliere woning van een flexwoning te onderscheiden.
- ▶ Het model heeft een F1-score = 0,75, wat een maatstaf voor nauwkeurigheid is
- ▶ Met handmatige filtering van gebouwgroottes kan een nauwkeurigheid van 0,85 worden bereikt.

▶ Primaire problemen

- ▶ Valse detectie - Kleine gebouwen veroorzaken problemen met valse positieven en valse negatieven.
- ▶ Gebrek aan trainingsgegevens - Onze dataset was beperkt tot ~260 trainingsbeelden, wat wordt beschouwd als een "kleine" dataset voor het bouwen van een robuust objectdetectiemodel.
- ▶ Gegevensproblemen - Wolken en nevel kunnen problemen veroorzaken bij het bekijken van gebouwen. Lage kijkhoeken in de satellietgegevens kunnen grote schaduwen en vervormde gebouwgrenzen veroorzaken.

▶ Voorgestelde verbeteringen

- ▶ Meer trainingsgegevens - Verkrijg meer satellietgegevens over typische flexbouwlocaties om het model te trainen.
- ▶ Gefilterde trainingsgegevens - Train het model opnieuw zodat alleen gebouwen in aanmerking worden genomen die qua grootte vergelijkbaar zijn met flexwoningen. Vermijd bijvoorbeeld gebouwen <5 meter in welke afmeting dan ook, omdat dit geen flexwoningen zijn.
- ▶ Gefilterde satellietgegevens - Gebruik geen satellietgegevens met lage kijkhoeken. Creëer een geautomatiseerd of handmatig cloudfilterproces.





4

Rapportage overwegingen

Wat moet er in een Flexwoning rapport staan?



- ▶ Het rapport zou voor elke woningbouwlocatie het volgende kunnen behandelen:
 - ▶ Grondontruimingen (start-/einddata, duur)
 - ▶ Gebouwdetectie (start-/einddatum, aantal, duur) We hebben een “goed” objectdetectiemodel gebouwd dat flexwoningen identificeert
- ▶ Aan welke andere zaken kan worden gedacht?
 - ▶ Hoe vaak wil de opdrachtgever een beoordeling van bouwprojecten uitvoeren? Is dat maandelijks, driemaandelijks of jaarlijks? OPMERKING: De Nederlandse satellietgegevens met hoge resolutie worden ongeveer elke zes weken bijgewerkt, dus niet alle locaties konden een maandelijks rapport produceren.
 - ▶ Wie vult het Flex Housing Rapport in? EY Space Tech, EY Nederland of de klant?
 - ▶ Hebben we een gebruikersinterface nodig waarmee besluitvormers rapporten kunnen beoordelen en detectieresultaten kunnen samenstellen? Moet deze interface over GIS-mogelijkheden beschikken en toegang hebben tot de satellietdatasets om, indien nodig, in te zoomen op bouwprojectdetails?



5

Operationele
overwegingen



Waar moet rekening mee worden gehouden om dit proces te 'operationaliseren'?



▶ Regio

- ▶ Kunnen we specifieke aandachtsgebieden (AOI) identificeren voor flexwoningprojecten?
- ▶ Uitgebreide zoekopdrachten over grote regio's zullen veel gebieden met aanzienlijke landveranderingen of nieuwe gebouwen aan het licht brengen die niet verband houden met flexwoningprojecten.

▶ Satellietgegevens

- ▶ Is het mogelijk om de satellietgegevens (wolken, kijkhoek) automatisch te filteren?
- ▶ Detectie van landopruiming
- ▶ Er is behoefte aan het ontwikkelen van drempels voor 'significante' landveranderingen die verband houden met de ontginning van flexwoningen. Dit zal de algehele nauwkeurigheid van identificatie en timing verbeteren.



▶ Detectie van gebouwen

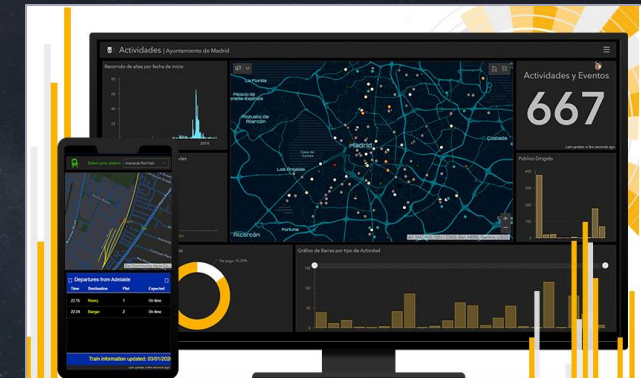
- ▶ Er is behoefte aan meer datasets om de nauwkeurigheid van het model te verbeteren
- ▶ Focus op gebouwen met afmetingen die vergelijkbaar zijn met flexwoningen en/of filter via nabewerking

▶ Kwaliteitscontroles

- ▶ Ontwikkel methoden voor handmatige kwaliteitscontroles voorafgaand aan de publicatie van het rapport

▶ Rapportage

- ▶ Bepaal de cadans van de rapportage en specifieke inhoud
- ▶ Werkstroomverantwoordelijkheden bepalen (wie doet wat)





6

Aanbevelingen en verdere kansen

Aanbevelingen en verdere kansen



- ▶ **Wij stellen voor om een MVP (Minimum Viable Product)* te ontwikkelen met daarin:**
 - ▶ Verbeterde nauwkeurigheid van het gebouwdetectiemodel - Train meer satellietdatasets over flexibele huisvestingslocaties
 - ▶ Pak het filteren van satellietgegevens aan voor kijkhoeken en wolken en maak hierbij gebruik van de STAC API.
 - ▶ Maak gebruik van filtering op gebouwgrootte (handmatig of geautomatiseerd) om u te concentreren op de afmetingen van flexibele woningen
 - ▶ Ontwikkel een objectdifferentiatieschema om de detectie van nieuwe gebouwen en verwijderde gebouwen tussen analyserapporten te automatiseren
 - ▶ Ontwikkel een voorbeeldhuisvestingsrapport en verfijn de inhoud via klantiteraties
- ▶ **Ontwikkel een operationeel pijplijnsценario**
 - ▶ Denk aan regio's, beschikbaarheid en filtering van satellietgegevens, modelimplementatie en aanvaardbare nauwkeurigheid, kwaliteitscontroles, rapportagefrequentie en klantbetrokkenheid.
 - ▶ Ontwikkel de kosten die verband houden met een operationele pijplijn en gebieden voor verhoogde efficiëntie.
 - ▶ Ontwikkel een businesscase om kostenbesparingen en verbeterde nauwkeurigheid te identificeren met behulp van locatieonderzoek op afstand op basis van satellietgegevens en AI
- ▶ **Ontdek aanvullende gebruiksscenario's met betrekking tot landverandering en objectdetectie met behulp van satellietgegevens en AI in Nederland.**

** Het MVP kan worden opgesplitst in kleinere taken om het werk te concentreren en het budget en de tijd die nodig is voor de voltooiing te beperken.*

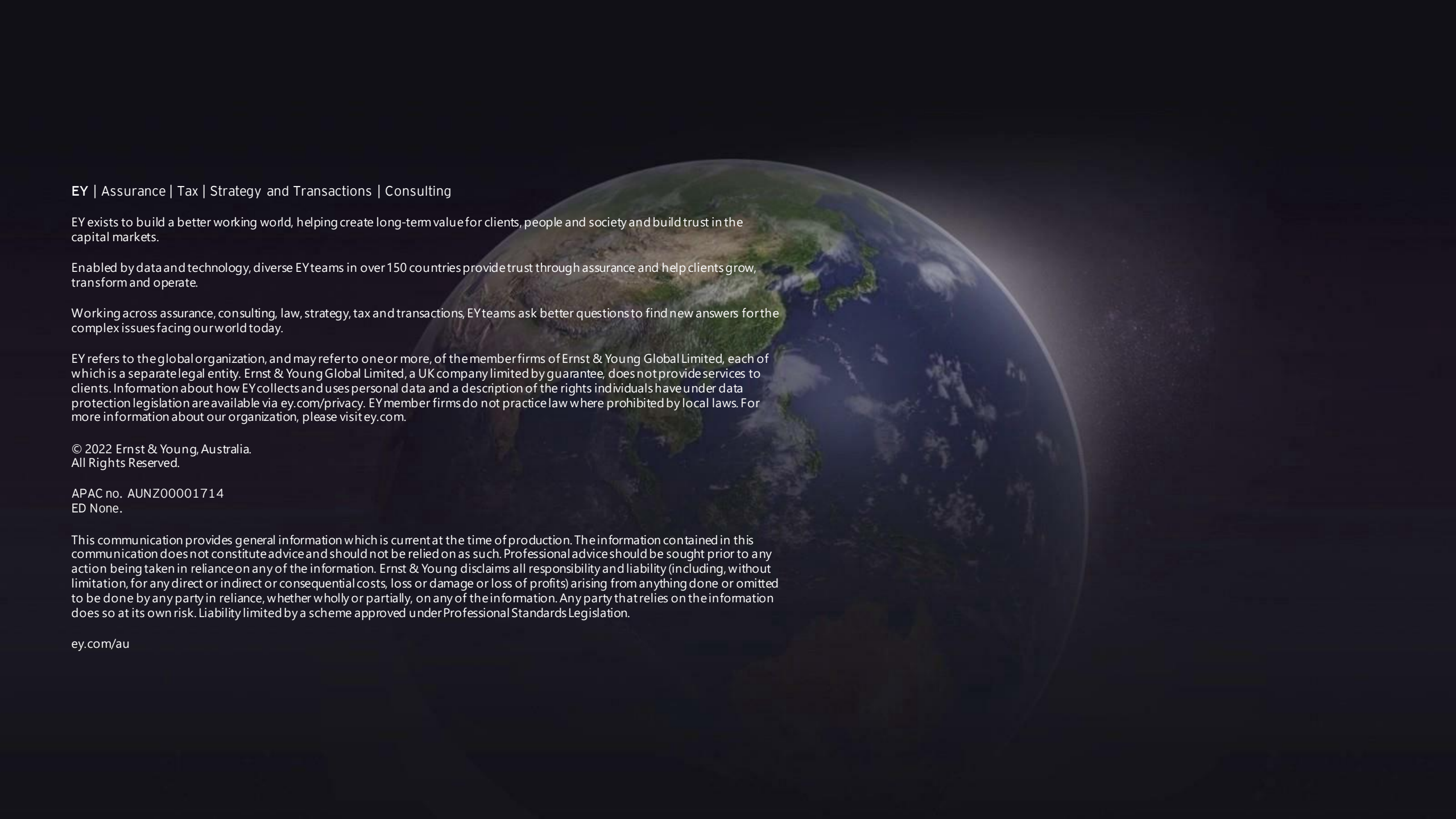


Locatiegegevens zijn belangrijk voor de detectie van flexwoningen met de huidige status van het model, met verdere ontwikkeling kan dit veranderen.



- ▶ Scenario 1: We weten waar het flexwoning project staat.
 - ▶ Landontruiming en verandering in landstatus kan gedetecteerd worden. Dit kan een eerste controle op de bouwstatus zijn.
 - ▶ Detectie van gebouwen is mogelijk. Dit kan aangeven of een project in een gevordend bouwstadium is.
 - ▶ Optioneel ook mogelijk om te tellen hoeveel gebouwen er staan.
 - ▶ Met meer training kan de grootte van een gebouw gedetecteerd worden.
 - ▶ Met een koppeling naar een vergunning dataset, kan er een accuraat beeld worden geschept van de hoeveelheid gerealiseerde woningen.
- ▶ Scenario 2: We weten niet waar een flexwoning project staat, kunnen we deze herkennen?
 - ▶ Het scannen van projecten zonder locatie is een uitdaging i.v.m. de schaal. Het is niet efficiënt om heel Nederland te scannen op bouwprojecten. Dit kost te veel tijd en rekenkracht.
 - ▶ Het landverandering algoritme kan gebruikt worden om locaties te scannen om bouwlocaties te identificeren. Vervolgens kan het gebouw detectie algoritme worden gebruikt voor de bouwstatus en een overzicht van de hoeveelheid gebouwen. Hierbij moet wel rekening worden gehouden met landverandering door landbouw.
 - ▶ Ook is het huidige model nog niet in staat het verschil te herkennen tussen normale bouw en flexbouw. Hiervoor is meer trainingsdata nodig van flexwoningen zelf.
 - ▶ Wel kan, in de toekomst, op basis van de snelheid van de bouw een inschatting gedaan worden of een project flexwoningbouw is.





EY | Assurance | Tax | Strategy and Transactions | Consulting

EY exists to build a better working world, helping create long-term value for clients, people and society and build trust in the capital markets.

Enabled by data and technology, diverse EY teams in over 150 countries provide trust through assurance and help clients grow, transform and operate.

Working across assurance, consulting, law, strategy, tax and transactions, EY teams ask better questions to find new answers for the complex issues facing our world today.

EY refers to the global organization, and may refer to one or more, of the member firms of Ernst & Young Global Limited, each of which is a separate legal entity. Ernst & Young Global Limited, a UK company limited by guarantee, does not provide services to clients. Information about how EY collects and uses personal data and a description of the rights individuals have under data protection legislation are available via ey.com/privacy. EY member firms do not practice law where prohibited by local laws. For more information about our organization, please visit ey.com.

© 2022 Ernst & Young, Australia.
All Rights Reserved.

APAC no. AUNZ00001714
ED None.

This communication provides general information which is current at the time of production. The information contained in this communication does not constitute advice and should not be relied on as such. Professional advice should be sought prior to any action being taken in reliance on any of the information. Ernst & Young disclaims all responsibility and liability (including, without limitation, for any direct or indirect or consequential costs, loss or damage or loss of profits) arising from anything done or omitted to be done by any party in reliance, whether wholly or partially, on any of the information. Any party that relies on the information does so at its own risk. Liability limited by a scheme approved under Professional Standards Legislation.

ey.com/au