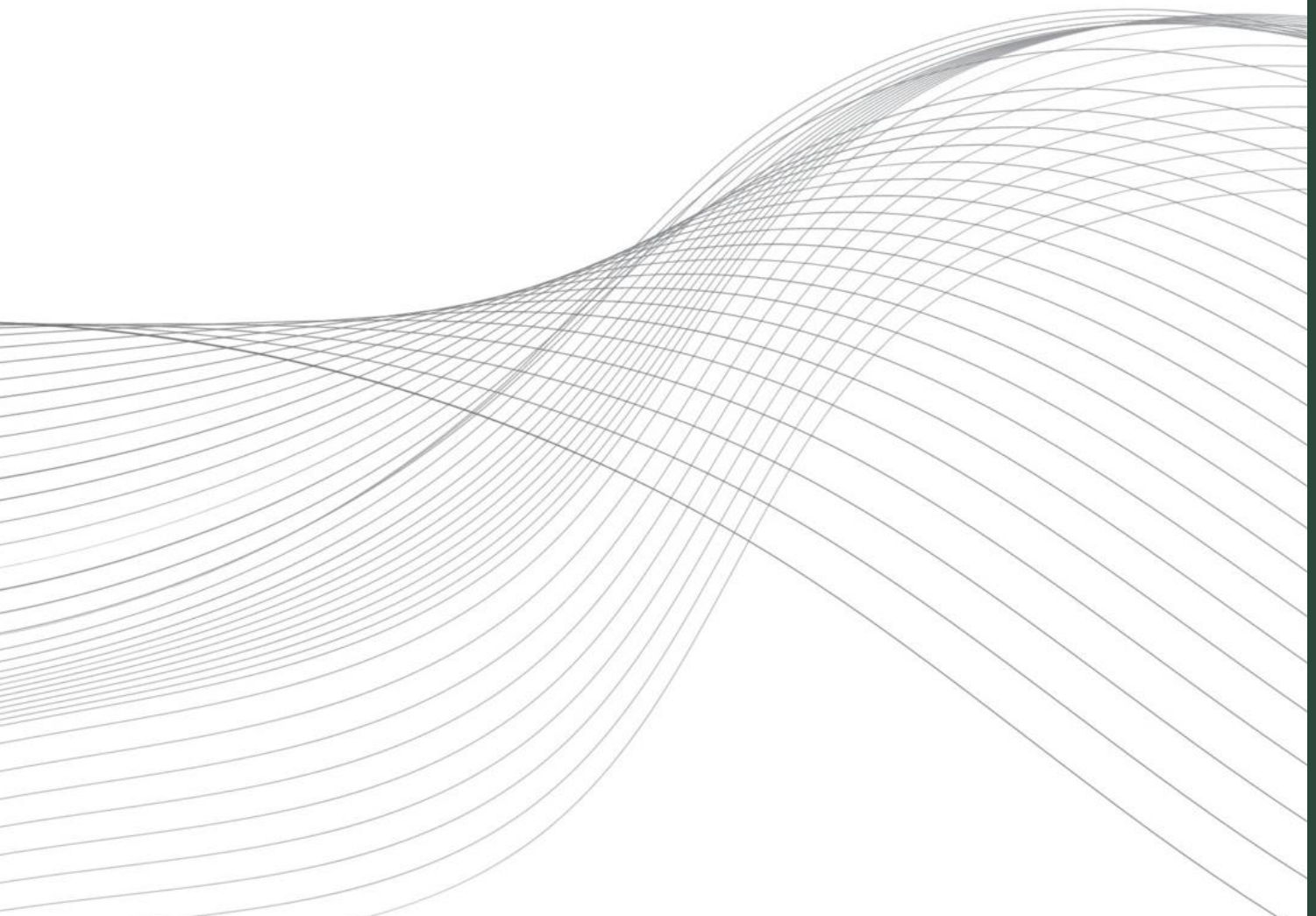


SMART inwinnen van data in de openbare ruimte

Adviesrapport

23 juni 2023, Den Bosch | Projectcode: 22200396

In opdracht van: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat



HAS green academy
Onderwijsboulevard 221
PO Box 90108
5200 MA 's-Hertogenbosch
Telefoon: +31 (0)88 890 36 00

Documenttitel: SMART inwinnen van data in de openbare ruimte
Projectcode: 22200396

Status: Versie 1.0

Opdrachtgever: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Contactpersoon: Rianne Dobbelsteen

Projectleider inhoud: Paulo van Breugel

Projectteam:
Rik de Hoop
Mats van der Burg

Plaats: 's-Hertogenbosch

Datum: 23 juni 2023

Voorwoord

Voor u ligt het adviesrapport behorend tot de beroepsopdracht "SMART inwinnen van data in de openbare ruimte". Dit rapport is geschreven in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, met als doel om te voldoen aan de afstudeereisen van de opleiding Applied Geo-Information Science aan de HAS green academy. Dit project is uitgevoerd in de periode van februari 2023 tot en met juni 2023.

Wij hebben door dit project allebei persoonlijke ontwikkeling en professionele groei doorgemaakt die voor ons van grote waarde is. Dit afstudeerproject onderscheidt zich omdat het niet op individuele basis is uitgevoerd, in tegenstelling tot de meeste scripties. Het samenwerken heeft ons geholpen kennis en vaardigheden met elkaar te delen. De gezamenlijke inzichten hebben wij toe kunnen passen in het ontwikkelingsproces, wat heeft bijgedragen aan een eindproduct waar we trots op zijn.

Om te beginnen willen wij graag onze procesbegeleider, Vincent Wissink, bedanken voor zijn ondersteuning gedurende dit project. De focus op persoonlijke begeleiding heeft bijgedragen aan een prettig verloop van het project waarin wij onze kwaliteiten optimaal konden toepassen. Daarnaast willen wij Robby Veders (IenW), Frans Geurts (RWS) en Michiel Feijt (RWS) bedanken voor de ondersteuning en betrokkenheid bij dit project. Tot slot willen wij graag Rianne Dobbelseen (IenW), Paulo van Breugel en Maurits Dorlandt bedanken voor hun betrokkenheid bij het opstarten van het project, het delen van kennis en de prettige communicatie.

Mats van der Burg en Rik de Hoop

's-Hertogenbosch, 23 juni 2023

Samenvatting

Het REV (Register Externe Veiligheidsrisico's) bestaat uit data over activiteiten die een potentieel risico vormen voor de openbare ruimte. Daarom is het van belang dat de informatie in dit register nauwkeurig en accuraat geregistreerd is. Om deze reden wordt de data aangeleverd door gemandateerde bronhouders aan het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. Door de hoeveelheid bronhouders, activiteiten en de schaal is de opzet van een handmatige controle over deze data arbeidsintensief en inefficiënt.

Om inzichten te verkrijgen in de nauwkeurigheid en volledigheid van de aangeleverde data heeft het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat belang bij een geautomatiseerde betrouwbaarheidscontrole. Hiervoor is de volgende onderzoeksvraag opgesteld:

In hoeverre is het mogelijk om een kwaliteitscontrole over de activiteiten binnen het REV efficiënter te maken en te optimaliseren om zo bij te dragen aan een verhoogde betrouwbaarheid en verbeterd inzicht in de dataflow voor het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat?

Met dataflow wordt hierbij bedoeld op de manier hoe data van de bron naar het register wordt verplaatst.

Vanuit de onderzoeksvraag is een methodologie ontwikkeld op basis van een objectdetectiemodel. Dit is een methode binnen AI (Artificial Intelligence) gericht op het detecteren van objecten uit digitaal beeldmateriaal, in dit geval luchtfoto's. Door de hoeveelheid activiteiten in het REV is de methodologie toegepast op twee objecttypen: windturbines en propaantanks in geselecteerde testgebieden. De methodologie is overigens ontwikkeld met de doelstelling om reproduceerbaar te zijn voor andere objecttypen in het REV.

De resultaten hebben aangetoond dat de ontwikkelde methodologie effectief is bij het lokaliseren van nieuwe objecten en het controleren van bestaande windturbines en propaantanks in het REV. Zo zijn voor het eerste testgebied van windturbines 70 windturbines gedetecteerd in tegenstelling tot 83 objecten uit het REV. De 13 niet gedetecteerde objecten worden verklaard doordat dit kleine- of onafgemaakte windturbines zijn. Op het tweede testgebied zijn 4 objecten gedetecteerd in lijn met het REV. Er zijn op het testgebied van propaantanks 6 nieuwe propaantanks gedetecteerd die niet in het REV geregistreerd zijn. Daarnaast toont het feit dat de methodologie effectief is toegepast op twee uiteenlopende objecttypen een mate van reproduceerbaarheid.

Op basis van de inzichten verkregen uit dit onderzoek wordt aanbevolen om de methodologie op te schalen voor de objecttypen propaantanks en windturbines. Verder wordt aanbevolen om de huidige methodologie uit te breiden naar andere objecttypen binnen het REV. Bij de uitbreiding is het mogelijk dat de methodologie moet worden aangepast om effectief ingezet te kunnen worden. Daarnaast is het belangrijk om een vorm van handmatige validatie te behouden bij resultaten met een relatief lage zekerheid. Bij dit proces blijft het ook van belang de mogelijke implicaties van privacy & data-ethiek bij de toepassing luchtfoto's in acht te nemen. Wanneer correct toegepast kan deze automatisatie bijdragen aan de bevordering van transparantie en de kwaliteit van het register. Daarmee kan het bijdragen aan een inzichtelijke en veilige leefomgeving.

Inhoud

Voorwoord	2
Samenvatting	3
Inhoud.....	5
Terminologie	7
1. Inleiding.....	9
2. Theoretisch kader.....	11
2.1 REV (Register Externe Veiligheidsrisico's).....	12
2.2 AI (Artificial Intelligence)	12
2.2.1 Introductie Artificial Intelligence (AI)	12
2.2.2 Introductie computer vision	13
2.3 Objectdetectiemodellen	14
2.4 Data-ethiek & privacy.....	15
2.4.1 Ontwikkelingen in geo-technologie	15
2.4.2 Implicaties hoge resolutie <i>remote sensing</i> beelden	15
3. Probleemanalyse en strategie	16
4. Methodologie & materiaal	17
4.1 Introductie basisprincipes	18
4.1.1 Objectdetectiemodel	18
4.1.2 Object fasering	18
4.2 Analyseren objecttypen	20
4.2.1 Windturbines	20
4.2.2 Propaantanks.....	23
5. Resultaten	25
5.1 Windturbines.....	25
5.1.1 Windturbines versie 1	25
5.1.2 Windturbines versie 2	25
5.2 Testgebieden (windturbines)	26
5.2.1 Testgebied 1.....	26

5.2.2 Testgebied 2.....	26
5.3 Propaantanks	28
5.3.1 Propaantanks.....	28
5.3.2 Validatie.....	28
5.3.3 Limitaties en uitdagingen	29
5.4 Testgebied (Propaantanks).....	30
5.4.1 Testgebied 1	30
6. Discussie en conclusie:.....	31
7. Aanbevelingen en adviezen.....	33
7.1 Concrete adviezen	33
7.1.1 Implementatie model.....	33
7.1.2 Opschaling	33
7.1.3 Uitbreiding objecttypen	34
7.2 Aanbevelingen (randvoorwaarden).....	35
7.2.1 Iteratieve verbeteringen.....	35
7.2.2 Handmatige monitoring.....	35
7.2.3 Monitoringsperiode	35
7.3 Overig	36
7.3.1 Data-ethiek & privacy	36
7.3.2 CROWD-sourcing.....	36
Bibliografie.....	37

Terminologie

Begrip

AI (Artificial Intelligence)

BGT (Basisregistratie Grootchalige Topografie)

Crowdsourcing

CV (Computer Vision)

DL (Deep Learning)

Dataflow

Element

Gamificatie

Luchtfoto's

Machine Learning (ML)

Objectdetectiemodel

Objecttype/object

Definitie

Het vermogen om menselijke cognitieve eigenschappen na te bootsen met een computer.

Uitgebreid register van Nederland met daarin terreinen, spoorlijnen, wegen, waterlopen en gebouwen

Het toepassen van de kennis en vaardigheden door een groter publiek

Een vorm van AI gericht op het analyseren van digitaal beeldmateriaal

Een verdieping van Machine Learning met een focus op het begrijpen van complexe problematiek

De wijze waarin data wordt ingewonnen, verwerkt en verstuurd vanuit gemandateerde bronhouders naar het REV.

Een onderdeel van het REV, dit kan zowel duiden op een activiteit als een concreet object.

De toepassing van spelelementen in een omgeving waar normaliter geen spelelementen aanwezig zijn

Foto's genomen vanuit een boven perspectief door een vliegend vaartuig (vliegtuigen, drones, helikopters)

Een vorm van Artificial Intelligence (AI) die kan leren van gestructureerde data om prestaties te optimaliseren.

Een methode binnen Computer Vision dat gericht is op het detecteren van specifieke elementen uit digitale beelden

Benaming van een risicovol fysiek voorwerp/object binnen het REV.

Opschaling model	Hiermee wordt bedoeld op de uitbreiding van het model over geheel Nederland
Reproduceerbare methodologie	Methodologie opgesteld met als doel om herhaald te worden voor andere objecttypen
Register Externe Veiligheidsrisico's (REV)	Dit register bevat data over risicovolle activiteiten in de leefomgeving.
Trainings data	Onderdeel van het algoritme bedoeld om patronen te herkennen en te leren.
Uitbreiding model	Hiermee wordt bedoeld op het uitbreiden van de huidige methodologie op andere objecttypen in het REV
YOLO(v5)	Een variant van een objectdetectie model, v5 staat hierin voor de vijfde editie

Inleiding:

Introductie, achtergrond en doelstelling

01

In de openbare ruimte vinden activiteiten plaats die een potentieel risico vormen voor de omgevingsveiligheid. Om dit inzichtelijk te maken wordt hier in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat data over geïnventariseerd in het REV (Register Externe Veiligheidsrisico's). Dit gebeurt in samenwerking met (gemandateerde) bronhouders, bestaande uit de Omgevingsdiensten, Provincies en Gemeenten. Het is van belang deze data te controleren om zo de nauwkeurigheid en accuraatheid te waarborgen. Dit controleproces is door het nationale schaalniveau en de hoeveelheid informatie arbeidsintensief. Het toepassen van slimme technologieën, zoals Artificial Intelligence (AI), is daarmee essentieel bij het bevorderen van de volledigheid en betrouwbaarheid van het REV.

De overkoepelende organisatie die deze beroepsopdracht faciliteert betreft het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW). Dit Ministerie is een overheidsinstantie die voor een groot deel bijdraagt aan de leefbaarheid en bereikbaarheid van de openbare ruimte in Nederland. Om de leefbaarheid te waarborgen is een belangrijke kerntaak van het IenW, het beheren en publiceren van data afkomstig van verschillende bronhouders. Verder zijn ook Rijkswaterstaat en Geodan inhoudelijk betrokken bij de ontwikkeling van de eindproducten.

Voordat verder wordt ingegaan op inhoudelijke aspecten is het noodzakelijk te benoemen dat de documentatie voor dit project is opgedeeld in twee delen. Om te beginnen is er een onderzoeksrapport opgesteld waarin het technische onderzoek naar AI (Artificial Intelligence) en de toepassing van objectdetectiemodellen is gedocumenteerd. Door de verschillende doelgroepen van deze opdracht is gekozen dit adviesrapport op te stellen. Dit heeft als doel om de technische aspecten uit het onderzoeksrapport op een meer algemene wijze toe te lichten, om zo de toegankelijkheid te verbeteren. Binnen dit adviesrapport wordt binnen verschillende onderdelen wel verwezen naar het onderzoeksrapport voor een verdieping van de stof.

Naast het onderzoek dat is uitgevoerd in dit project zijn er inzichten verzameld uit de bestaande literatuur over de mogelijkheden van Artificial Intelligence. Deze inzichten zijn voornamelijk gericht op objectdetectiemodellen, een methode om visueel beeldmateriaal te analyseren. Door het gebruik van een toegankelijk objectdetectiemodel op basis van luchtfoto's kan de complexiteit van een automatische kwaliteitscontrole op het REV worden verminderd. Dit draagt bij aan de doelstelling

om de controle op risicovolle objecten en activiteiten in het REV te ontwikkelen. De onderzoeksvraag van dit adviesrapport is daarom als volgt:

In hoeverre is het mogelijk om een kwaliteitscontrole over de activiteiten binnen het REV efficiënter te maken en te optimaliseren om zo bij te dragen aan een verhoogde betrouwbaarheid en verbeterd inzicht in de dataflow voor het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat?

Om antwoord te geven op de onderzoeksvraag is een onderzoek uitgevoerd gericht op de toepassing van het objectdetectiemodel op de objecttypen: windturbines en propaantanks binnen het REV. Hierbij is zowel gebruikgemaakt van wetenschappelijke publicaties als de ontwikkeling van een objectdetectiemodel.

Het volgende hoofdstuk binnen dit onderzoek toont relevante literatuur gericht op AI, objectdetectiemodellen en data-ethiek & privacy. In *hoofdstuk 3* wordt ingegaan op de onderzoeksmethodologie en de opbouw van het model. De resultaten worden vervolgens gepresenteerd in *hoofdstuk 4*. Hoofdstuk 5 en *hoofdstuk 6* zal ingaan op de conclusie en discussies. Tot slot worden in *hoofdstuk 7* de adviezen en aanbevelingen gepresenteerd.

Theoretisch kader:

Inzichten en concepten voor de probleemcontext

02

Dit onderdeel van het onderzoek heeft als doelstelling om de (wetenschappelijke) literatuur met betrekking tot dit onderzoek toe te lichten. Er is gekozen om het theoretisch kader in trechtersvorm op te stellen, waarbij bepaalde elementen vanuit de basis worden toegelicht, zoals Artificial Intelligence (AI). Om de toegankelijkheid van het rapport te behouden, is ervoor gekozen om de wetenschappelijke verdieping gedeeltelijk buiten beschouwing te laten. In de onderstaande opsomming is een overzicht te zien van de onderdelen die behandeld worden in dit hoofdstuk.

REV (Register Externe Veiligheidsrisico's)

Korte introductie over het REV met beschrijvingen over wat het register exact inhoud en wat het belang ervan is.

AI (Artificial Intelligence)

Introductie op het gebied van AI met een verdieping op Computer Vision (CV) waarin een aantal basisprincipes worden toegelicht.

Objectdetectiemodellen

Introductie op het gebied van objectdetectiemodellen, een methode binnen AI, waarbij de werking ervan wordt toegelicht.

Privacy & data-ethiek

Toelichting over de privacy & data-ethiek elementen die betrekking hebben op dit project.

2.1 REV (Register Externe Veiligheidsrisico's)

Het Register Externe Veiligheidsrisico's (REV) is een database bestaande uit activiteiten die een potentieel risico vormen voor de omgevingsveiligheid. Deze data werd voorheen centraal geïnventariseerd in het Risico Register Gevaarlijke Stoffen (RRGS), maar met de invoering van de Omgevingswet is dit vervangen door het Register Externe Veiligheidsrisico's (REV). De data in dit register heeft betrekking tot verschillende aspecten in de leefomgeving, zoals de opslag van gevaarlijke stoffen en transport. Om transparantie te bevorderen, wordt deze informatie gepubliceerd in onder andere de Atlas leefomgeving. Met als doel betrouwbaarheid en actualiteit van de informatie te waarborgen, wordt de data centraal op nationale schaal opgeslagen. (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, z.d.-a). Het verzamelen van gegevens in het REV gebeurt in samenwerking met (gemandateerde) bronhouders, bestaande uit de Omgevingsdiensten, Provincies en Gemeenten (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, z.d.-b). Deze data dient inzage te bieden in waar risicovolle activiteiten aanwezig zijn in de leefomgeving (Dorlandt, 2022).

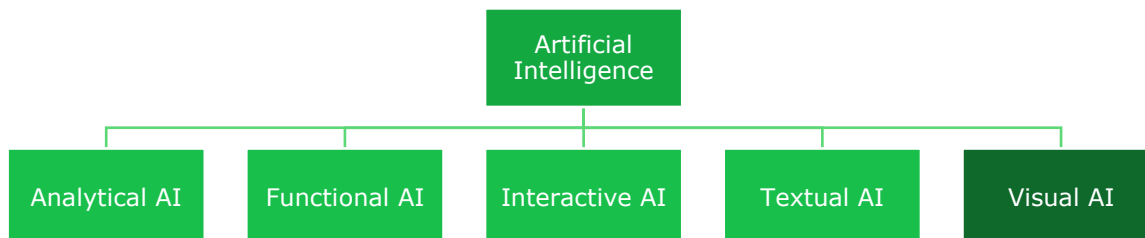
2.2 AI (Artificial Intelligence)

De automatische beeldverwerking van satellietbeelden en/of luchtfoto's is mogelijk door de toepassing van *Computer Vision*. Dit is de verzamelnaam voor methodieken gericht op het analyseren en extraheren van digitale beelden. De techniek '*object detection*' binnen Computer Vision is gericht op het accuraat lokaliseren, detecteren en labelen van objecten in digitale beelden (Sarker, 2022). De genoemde methoden zijn onderdeel voor de overkoepelende term voor zelflerende systemen (AI). Voordat de theorie en toepassingen van objectdetectie modellen verder wordt toegelicht is het van belang in te gaan op de basis Artificial Intelligence.

2.2.1 Introductie Artificial Intelligence (AI)

Artificial Intelligence (AI) is de verzamelnaam voor de technologie gericht op het simuleren van menselijke intelligentie. Het heeft als doelstelling om complexe problematiek en arbeidsintensieve processen op efficiënte wijze op te lossen. Ontwikkelingen van deze technologie zijn steeds duidelijker aanwezig in de maatschappij, wat zowel tot negatieve als positieve effecten leidt. Zo kan AI zorgen voor het maken van slimme keuzes op verschillende toepassingsgebieden zoals financiën, agricultuur, stedelijke problematiek, et cetera. Maar er zijn ook negatieve consequenties, zoals het risico dat bepaalde banen door deze technologie zullen verdwijnen.

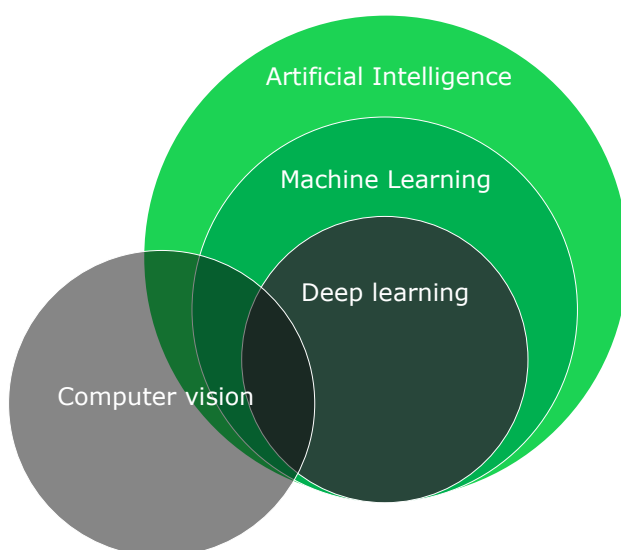
Omdat AI gericht is op het analyseren en begrijpen van taken die normaliter door menselijke intelligentie worden opgelost zijn er veel verschillende toepassingen. Een concreet voorbeeld hiervan is te zien in *figuur 1*. Voor dit onderzoek staat de Visual AI centraal. Dit subonderdeel is gericht op het analyseren van visuele data (afbeeldingen en video's) om nieuwe inzichten te verkrijgen (Sarker, 2022).



Figuur 1, overzicht van AI toepassingen

2.2.2 Introductie computer vision

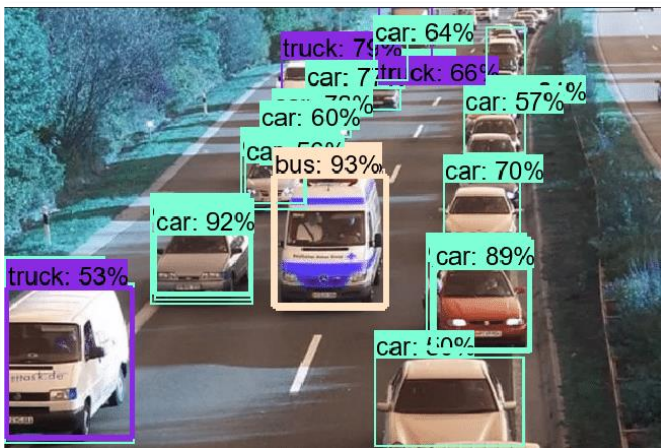
AI is een overkoepelende term voor verschillende technologieën. Op *figuur 2* is hiervan een overzicht te zien. In het kort is Machine Learning een techniek waarbij een computer zelfstandige stappen uitvoert om data te analyseren en patronen te herkennen. Deep Learning is een verdieping van Machine Learning met een focus op het begrijpen van complexe problematiek. In *figuur 2* is ook het onderdeel Computer Vision afgebeeld. Deze technologie vormt daarmee de basis voor objectdetectiemodellen. Waar AI een computer het vermogen geeft tot het simuleren van nadenken, geeft CV een computer de mogelijkheid de wereld te observeren. Als AI kan worden beschouwd als het brein is Computer Vision als de ogen van een computer. De reden dat visuele analyses worden uitgevoerd door de computer is door de hoge snelheid, nauwkeurigheid en objectiviteit van de resultaten. Waar de perceptie van zicht bij mensen kan verschillen is dit bij CV consistent, bijvoorbeeld bij de inschatting hoe ver objecten van elkaar zijn verwijderd. Om deze reden is CV goed toepasbaar op luchtfoto's waar betrouwbare resultaten van belang zijn (IBM, z.d.).



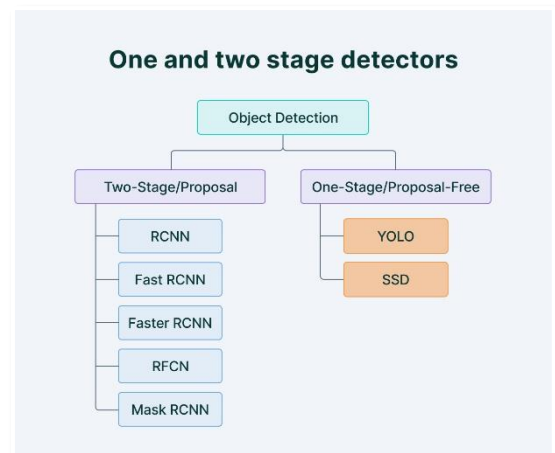
Figuur 2, overzicht van AI methodieken

2.3 Objectdetectiemodellen

In dit rapport is objectdetectiemodellen al meerdere keren benoemd. Een objectdetectiemodel is een methode binnen Computer Vision dat gericht is op het detecteren van specifieke elementen uit digitale foto's en video's. Wanneer een model is ontwikkeld voor het herkennen van auto's een foto te zien krijgt kan het model niet alleen vertellen of er een auto aanwezig is, maar ook waar deze op de foto staat (Namdev et al., 2022). Een concreet voorbeeld hiervan is te zien op *figuur 3*. Er zijn diverse objectdetectiemodellen openbaar beschikbaar, zie *figuur 4*, met ieder verschillende voor- en nadelen. Veelal zijn deze modellen standaard geconfigureerd op een aantal objecttypen zoals personen, auto's, verkeersborden, et cetera. Het is overigens ook mogelijk een model op te stellen en deze andere objecttypen te leren. Voor dit project is gekozen voor het objectdetectiemodel genaamd 'YOLO', dat staat voor You Only Look Once. Deze keuze is gemaakt door de hoge nauwkeurigheid en toegankelijkheid waarmee het model functioneert. Een uitgebreide technische beschrijving hoe deze keuze tot stand is gekomen op basis van bestaande literatuur is in te zien in het onderzoeksrapport *hoofdstuk 2*.



Figuur 3, detectiemodel gericht op voertuigen (Roy & Rahman, 2019)

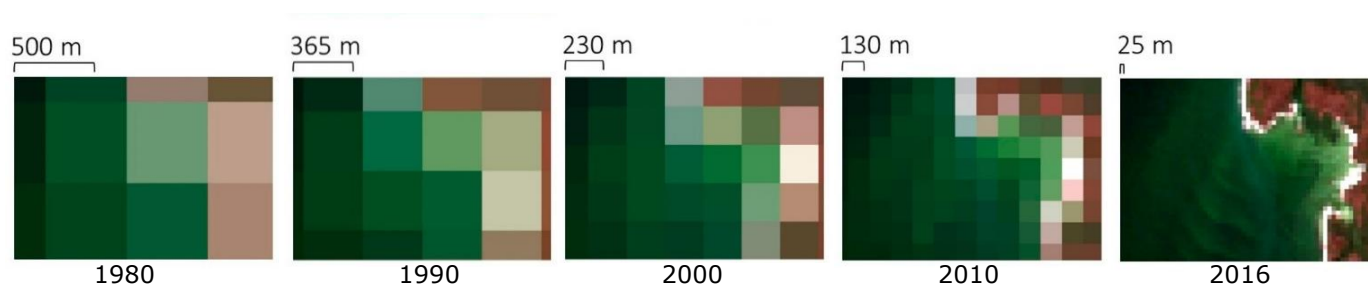


Figuur 4, overzicht detectiemodellen (Rizzoli, 2023)

2.4 Data-ethiek & privacy

2.4.1 Ontwikkelingen in geo-technologie

De implementatie van een objectdetectiemodel op basis van luchtfoto's kan consequenties hebben voor privacy van persoonsgegevens. Dit heeft te maken met de vooruitgang van sensor- en satelliettechnologie. Hierdoor is het mogelijk meer informatie in te winnen over de ontwikkelingen op het aardvlak door een hogere dekkingsgraad en detailniveau (Bertino et al., 2008). Deze ontwikkeling in combinatie met de toepassing van Artificial Intelligence maakt het mogelijk inzichten te verkrijgen in complexe ruimtelijke problematiek dat voorheen niet mogelijk was (Hagendorff, 2019). Ondanks de mogelijkheden van deze hoge resolutie luchtfoto's en satellietbeelden is er ook kritiek. De stijging in ruimtelijke gegevens betekent namelijk ook een stijging in gegevens die gerelateerd kunnen worden aan een individu. Een concreet voorbeeld van deze ontwikkeling is te zien in de resolutie van ingewonnen satellietbeelden tussen 1980 en 2016 in *figuur 5* (Coffer, 2020).



Figuur 5, ontwikkelingen in de resolutie van satellietbeelden (Coffer, 2020)

2.4.2 Implicaties hoge resolutie *remote sensing* beelden

Het is mogelijk bepaalde algemene kenmerken van een persoon te herkennen op luchtfoto's- en satellietbeelden. Ondanks het detailniveau is het onvoldoende om onderscheidende kenmerken van specifieke individuen te herkennen. Oftewel de privacy van een persoon komt, zelfs met de huidige technologie, niet in gevaar. De aanwezigheid van de beelden zelf is in dit geval niet zozeer het probleem maar voornamelijk de toepassingen kunnen tot problematiek leiden. Daarom is het van belang verantwoordelijk om te gaan met ieder type data die vervormd kan worden tot privacygevoelige informatie. Een balans tussen analytische inzichten, ethiek, privacy en algemene dataprotectie kan bijdragen aan inzichten in een steeds veranderende wereld op veilige wijze (Santos & Rapp, 2019).

Probleemanalyse en strategie:

Een concreet overzicht

03

Dit project omvat verschillende technische elementen. Om te voorkomen dat belangrijke onderdelen onduidelijk zijn worden in dit hoofdstuk specifieke onderdelen expliciet toegelicht.

3.1 Probleemstelling

De concrete probleemstelling is dat het REV gecontroleerd moet worden om de betrouwbaarheid te waarborgen. Het is complex om dit op geautomatiseerde wijze te doen omdat de elementen in het register fysiek uiteenlopende fysieke eigenschappen hebben. Ondanks dit is het van belang dat deze nauwkeurig en accuraat zijn geregistreerd (Dorlandt, 2022).

3.2 Doelstelling

In het kort is de doelstelling om een reproduceerbare methodologie te ontwikkelen voor de controle of risicovolle objecten en activiteiten in de openbare ruimte correct in het REV staan. De methodologie zal worden toegepast op propaantanks en windturbines in geselecteerde testgebieden. Bovendien worden adviezen gegeven om de methodologie op te schalen en toe te passen op andere objecttypen. Deze automatisatie draagt daarmee bij aan de bevordering van transparantie en de kwaliteit van het register. Dit project heeft daarmee de ambitie om bij te dragen aan een inzichtelijke en veilige leefomgeving.

3.3 Strategische keuzes en werkwijze

Het REV bevat in totaal 47 elementen met ieder afwijkende fysieke eigenschappen. Het ontwikkelen van een fundament voor al deze objecten is daarom complex. Er zijn strategische keuzes gemaakt om het gewenste resultaat te bereiken. (1) Om te beginnen is er een keuze gemaakt om een objectdetectiemodel op basis van luchtfoto's op te stellen. Deze technologie is effectief omdat het op efficiënte wijze objecten uit de openbare ruimte kan analyseren. (2) Verder is de keuze gemaakt om het model te ontwikkelen voor twee objecttypen uit het REV, namelijk: windturbines en propaantanks. (3) Op basis hiervan is een methodologie ontwikkeld en geoptimaliseerd voor deze twee objecttypen. (4) De methodologie vormt een fundament die op basis van concrete adviezen en aanbevelingen reproduceerbaar is voor andere objecten uit het REV.

Methodologie & materiaal:

Onderzoekopzet, dataverzameling en informatieverwerking

04

Voor dit project zijn zowel inzichten verkregen uit de wetenschappelijke literatuur als vanuit tussenresultaten binnen de ontwikkeling van het model zelf. Dit is gedaan om antwoord te geven op de vraag in hoeverre het mogelijk is om een kwaliteitscontrole over de activiteiten binnen het REV efficiënter te maken en te optimaliseren om zo bij te dragen aan een verhoogde betrouwbaarheid. In dit hoofdstuk zal een toegankelijk overzicht worden getoond van de ontwikkelingen met voldoende uitleg. Voor de gedetailleerde technische beschrijving wordt verwezen naar het onderzoeksrapport *hoofdstuk 4*. In onderstaande opsomming zijn de onderdelen binnen dit hoofdstuk toegelicht.

Introductie basisprincipes

Korte introductie over de basisprincipes van het objectdetectiemodel en de fasering waarmee dit is opgesteld.

Analyseren objecttypen

Toelichting over hoe de analyses zijn uitgevoerd op de objecten windturbines en propaantanks.

Windturbines

Uitleg over het model gericht op windturbines

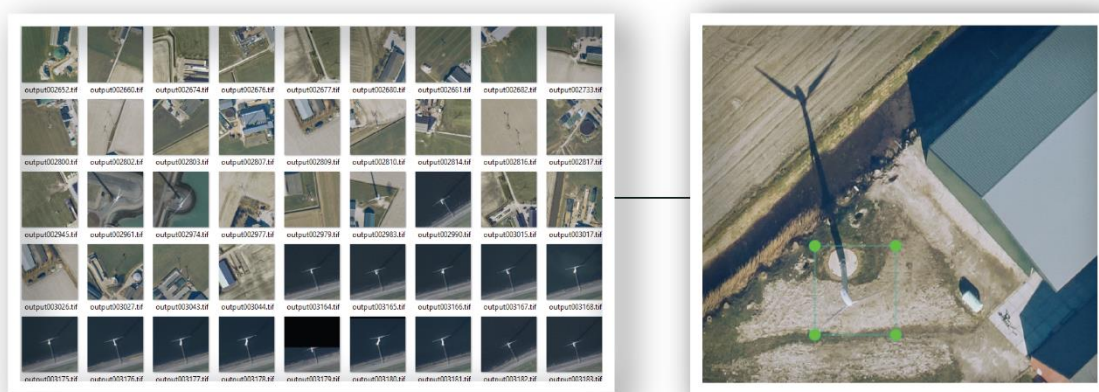
Propaantanks

Uitleg over het model gericht op propaantanks

4.1 Introductie basisprincipes

4.1.1 Objectdetectiemodel

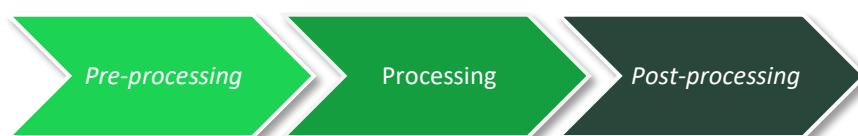
Aan de basis van de automatische kwaliteitscontrole staat het objectdetectiemodel YOLO(v5). In *figuur 6* is trainingsdata te zien, dit zijn afbeeldingen waarin specifieke objecten handmatig zijn geselecteerd. Voor een goed werkend model zijn honderden of zelfs duizenden afbeeldingen nodig. Vervolgens leert het model uit deze afbeeldingen om patronen te herkennen in fysieke eigenschappen. Daarna is het mogelijk een nieuwe afbeelding in te voeren waar het geleerde object op staat. In het geval dat het model correct werkt wordt het geleerde objecttype automatisch gedetecteerd.



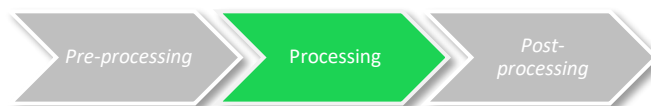
Figuur 6, overzicht trainingsdata

4.1.2 Object fasering

De ontwikkeling en toepassing van het model is overigens slechts een onderdeel van het totale onderzoek. Het belangrijkste doel is de ontwikkeling van een reproduceerbare methodologie die toegepast kan worden op andere objecttypen binnen het REV. Hierdoor is gekozen voor een gestructureerde verdeling die toegankelijk herhaald kan worden. Het bestaat uit drie stappen te zien in *figuur 7*.

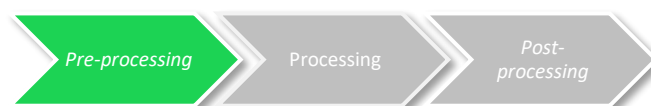


Figuur 7, opbouw methodologie



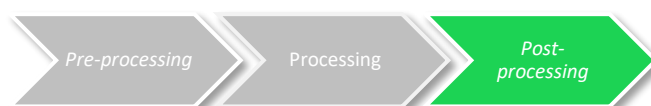
Figuur 8, processing onderdeel

In het kort is "Processing" (figuur 8) het onderdeel waar het model een afbeelding analyseert en hier objecten in detecteert. De resultaten tonen inzichten in de nauwkeurigheid en bruikbaarheid van het model.



Figuur 9, processing onderdeel

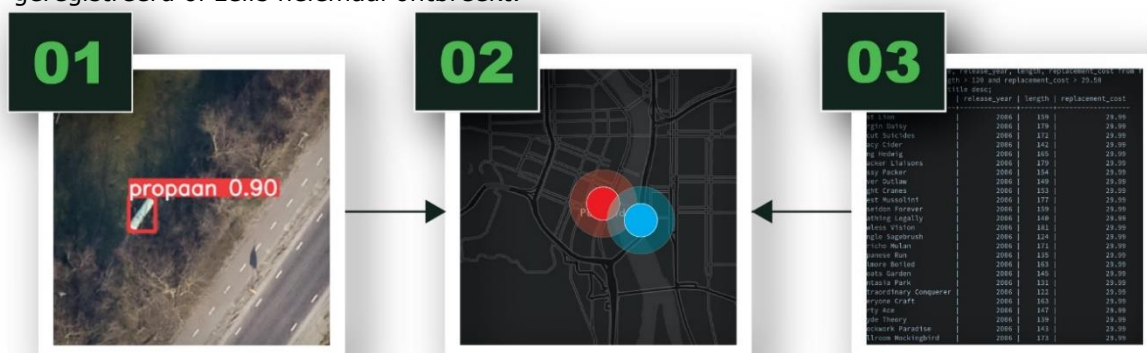
Met het onderdeel "Pre-processing" (figuur 9) wordt gedoeld op de stappen die worden ondernomen voorafgaand aan "Processing". Een voorbeeld hiervan is het geschikt maken van data voor het model. Dit is bijvoorbeeld het opstellen van trainingsdata, het aanpassen van bepaalde waarden en het trainen van het model zelf.



Figuur 10, processing onderdeel

Het onderdeel "Post-processing" (figuur 10), komt na "Processing" en heeft als doel om de resultaten te analyseren en interpreteren. In dit geval stond "Post-processing" hierbij in het teken van de gevonden objecten vergelijken met het REV om te controleren of alles correct genoteerd staat. Het controleren van de informatie met externe registers zoals de BGT (Basisregistratie Grootchalige Topografie) behoort hier ook toe.

De gedetecteerde punten in een figuur 11 (onderdeel 1) worden toegevoegd aan een kaart (onderdeel 2). Daarnaast worden de punten uit het REV (onderdeel 3) ook in de kaart geplaatst (onderdeel 2). In de kaart wordt vervolgens gecontroleerd of de gedetecteerde punten overeenkomen met de punten uit het REV. Het kan voorkomen dat een punt onnauwkeurig is geregistreerd of zelfs helemaal ontbreekt.



Figuur 11, schematische opzet van methodologie

4.2 Analyseren objecttypen

Voor dit project zijn de objecten windturbines en propaantanks geanalyseerd in verschillende testgebieden. Voor beide objecten is een fasering toegepast, bestaande uit pre-processing, processing en post-processing. In deze methodologie worden echter alleen de pre- en post-processing stappen toegelicht, omdat de focus van de processing voornamelijk gericht is op technische aspecten.

4.2.1 Windturbines

Pre-processing

Er zijn voor het objecttype windturbines twee versies opgesteld. De eerste versie wordt gerefereerd met de naamgeving *Windturbines versie 1*. Voor deze versie is in eerste instantie gebruik gemaakt van openbaar beschikbare datasets. Deze datasets bestaan uit duizenden afbeeldingen waarin windturbines preventief zijn geselecteerd. Door deze dataset als invoer aan het model te geven leerde het wat de fysieke eigenschappen van windturbines zijn. Bij de controle van de resultaten werd overigens duidelijk dat het model onvoldoende accuraat was. Zo werden windturbines niet gedetecteerd die wel duidelijk aanwezig waren. Een verklaring hiervoor is dat het model was getraind op windturbines in landen met andere gebiedskenmerken dan Nederland. De resultaten van deze eerste versie is in te zien in *Hoofdstuk 5.1.1 Windturbines versie 1*.

Om de resultaten te verbeteren is daarom gekozen om handgemaakte datasets te maken met een hoge diversiteit aan gebieden, contrasten en perspectieven. Deze tweede versie wordt gerefereerd met de naamgeving *Windturbines versie 2*. De diversiteit aan afbeeldingen is terug te zien *figuur 12*. In totaliteit zijn er voor windturbines ongeveer 1500 afbeeldingen opgesteld voor het trainen van het model. De resultaten van deze tweede versie is in te zien in *Hoofdstuk 5.1.2 Windturbines versie 2*.



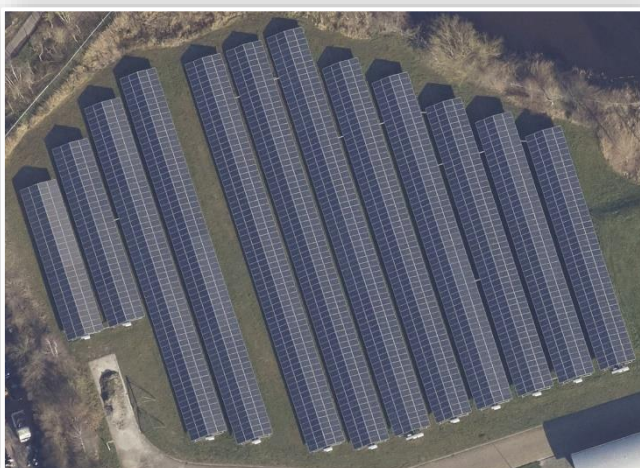
Figuur 12, variatie in de dataset

Post-processing

De automatische detectie van windturbines kan worden gezien als tussenresultaat van het objectdetectiemodel, zie Hoofdstuk 5 Resultaten. In het onderzoeksrapport wordt dit verder technisch toegelicht. In principe wordt het model getest op testdata, dit is gelijkwaardige data



Figuur 13, dakramen



Figuur 14, zonnepanelen

waarop het model is getraind. Een goede score bij deze test toont voornamelijk aan dat het model goed functioneert op bepaalde situaties. Om een realistische test te geven zijn er testgebieden opgesteld die potentieel foutgevoelige objecttypen bevat. Voor windturbines zijn uitdagende objecten voornamelijk zonnecellen en dakramen op gebouwen, zie *figuur 13* en *figuur 14*

Om een realistisch beeld te verkrijgen van de modelkwaliteit, zijn twee testgebieden geselecteerd. Het eerste gebied, te zien in *figuur 15*, is gelegen in Flevoland. Dit gebied is gekozen vanwege de grote concentratie windturbines. Ondanks dat bevat het gebied weinig uitdagende objecten, waardoor limitaties van het model mogelijk niet voldoende naar voren komen.



Figuur 15, testgebied 1

Om deze reden is gekozen een stedelijk gebied toe te voegen nabij Leeuwarden, zie *figuur 16*. Het gebied bevat minder windturbines volgens de registratie van het REV. Echter, door de dichtbebouwde eigenschap van dit gebied zijn hier veel potentieel foutgevoelige objecten.



Figuur 16, testgebied 2

Tijdens de testen is aangetoond dat sportvelden onbedoeld werden geïdentificeerd als windturbines, zoals te zien is in *figuur 17*. Om dit probleem aan te pakken, werden sportvelden preventief uitgesloten van de testgebieden met behulp van de Basisregistratie Grootschalige Topografie (BGT), zoals te zien is in *figuur 18*. De uiteindelijke resultaten die zijn verkregen uit de testgebieden zijn vervolgens geëvalueerd en in kaart gebracht. Deze punten zijn vergeleken met de punten die in het REV staan beschreven. De gedetailleerde resultaten worden besproken in Hoofdstuk 5 Resultaten.



Figuur 17, incorrecte detectie

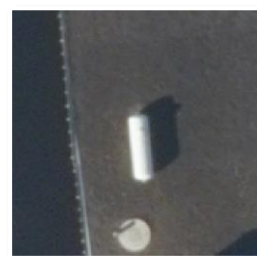
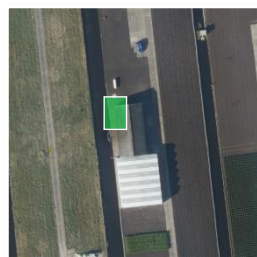
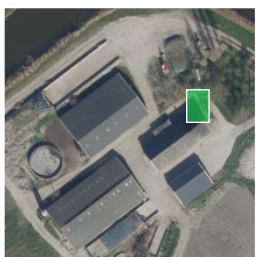


Figuur 18, uitsluiting BGT gebied

4.2.2 Propaantanks

Pre-processing

Waar windturbines grote objecten zijn die duidelijk zichtbaar zijn om luchtfoto's, is dit voor propaantanks niet het geval, zie *figuur 20*. Om te beginnen zijn er binnen dit objecttype verschillende soorten met een diversiteit aan grootte, kleur en plaatsing. Daarnaast leiden de kleine eigenschappen ook tot limitaties en uitdagingen, zie *figuur 19*. Zo zijn propaantanks gevoelig voor belemmeringen van bijvoorbeeld bomen of daken van gebouwen. Om ondanks de limitaties een effectief model op te stellen is een dataset opgesteld met voldoende diversiteit en representativiteit.

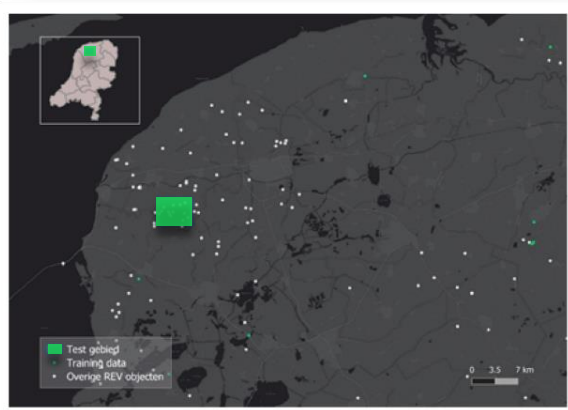


Figuur 19, belemmering van bladerdak

Figuur 20, zichtbaarheid propaantanks

Post-processing

Voor het testen van propaantanks zijn net zoals bij windturbines een testgebied geselecteerd, zie *figuur 21*.



Figuur 21, testgebied propaantanks

Ook bij propaantanks zijn er bepaalde limitaties binnen het model. Zo hebben testen aangetoond dat auto's en schapen foutief gedetecteerd kunnen worden, zie *figuur 22* en *figuur 23*. Om dit te optimaliseren zijn zaken als parkeervlakken, regionale en lokale autowegen preventief weggefilterd, zie *figuur 24*.



Figuur 22, limitatie van schapen



Figuur 23, limitatie van auto's



Figuur 24, uitsluiten wegen

Resultaten:

Inzichten en bevindingen

05

In dit hoofdstuk zullen de resultaten voortkomend uit de methodologie en het model worden getoond. Uitgebreidere interpretaties en observaties staan beschreven in Hoofdstuk 6: Conclusie en Discussie.

5.1 Windturbines

5.1.1 Windturbines versie 1

Op *figuur 25* en *26* zijn de resultaten van het de eerste versie van het windturbine model te zien. Deze versie is opgesteld op basis van openbaar beschikbare trainingsdata. Het resultaat toont geen detectie.



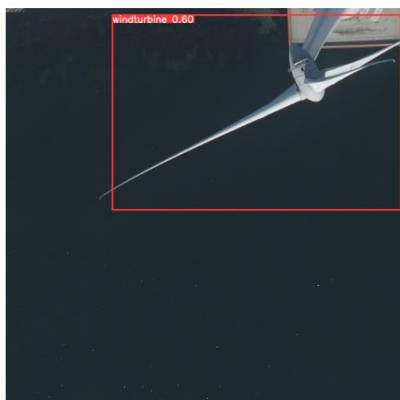
Figuur 25, resultaat windturbine (v1)



Figuur 26, resultaat windturbine (v2)

5.1.2 Windturbines versie 2

Figuur 27 en *28* tonen de tweede versie van het windturbine detectiemodel aan. Deze versie opgesteld op basis van handgemaakte datasets toont wel detecties in tegenstelling tot versie 1.



Figuur 27, resultaat windturbine (v2)



Figuur 28, resultaat windturbine (v2)

Figuur 29 toont ook dat het model ook andere situaties kan detecteren.

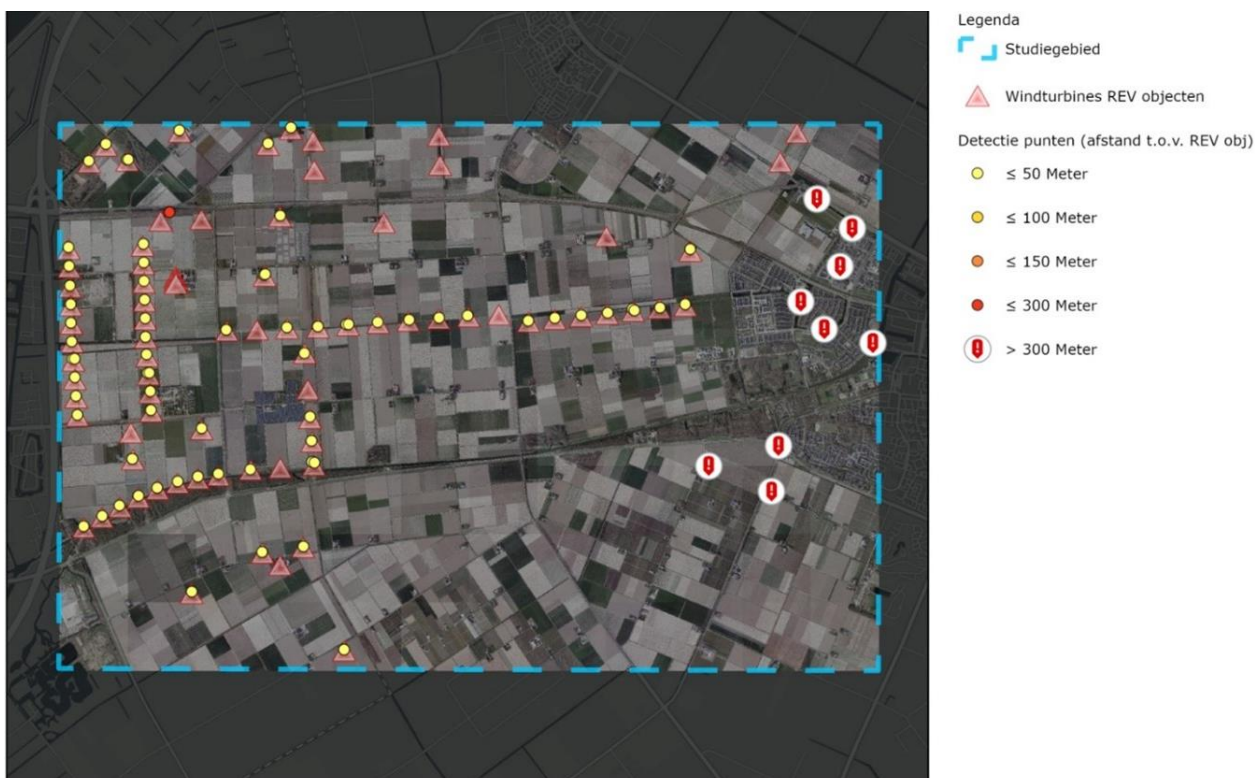


Figuur 29, diversiteit aan gedetecteerde objecten

5.2 Testgebieden (windturbines)

5.2.1 Testgebied 1

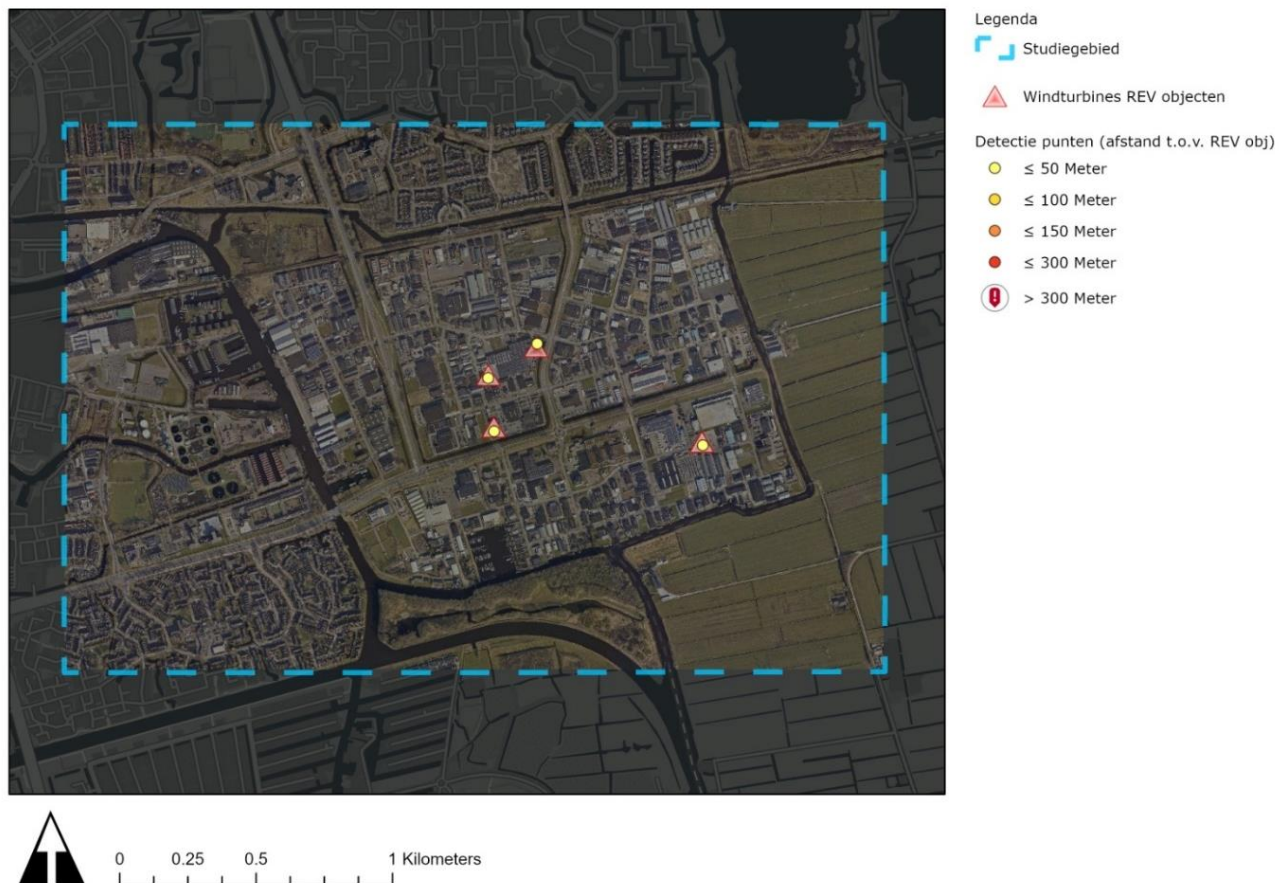
De kaart van *figuur 30* toont de overeenkomsten tussen de resulterende objecten afkomstig uit het ontwikkelde model en de huidige REV objecten. In de legenda is te zien dat de rode driehoeken punten uit het REV voorstellen. De overige gele, oranje en rode punten zijn gedetecteerd vanuit het model. Hoe groter de afstand van zo'n punt tot het REV, hoe donkerder de kleur. Bij deze punten is het mogelijk dat het originele punt wél in het REV staat, maar niet op de exacte locatie. In dit geval dat er 300 meter afstand of meer tot een punt is, krijgt het een uniek icoon. In dit geval is aannemelijker dat het punt niet aanwezig is in het REV.



Figuur 30, testgebied 1 windturbines

5.2.2 Testgebied 2

De kaart in *figuur 31* toont de resultaten van windturbines in testgebied 2.

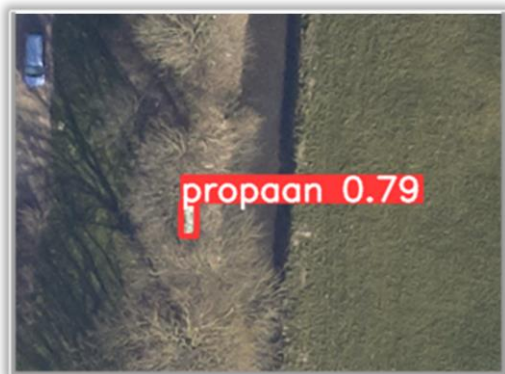


Figuur 31, testgebied 2 windturbines

5.3 Propaantanks

5.3.1 Propaantanks

In *figuur 32* en *33* zijn de resultaten te zien van het objectdetectiemodel op propaantanks. De bijbehorende cijfers staan voor een percentage hoe zeker het model is dat het object correct is gedetecteerd (bv: 0.79 = 79% zekerheid).



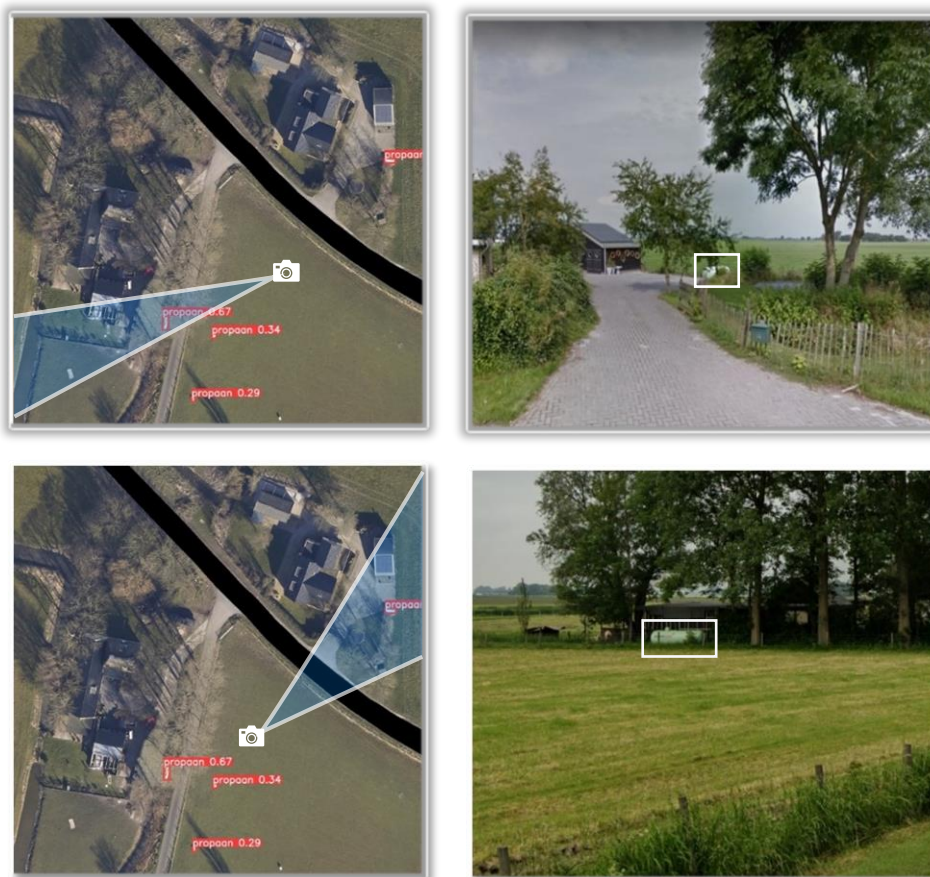
Figuur 32, resultaten propaantanks



Figuur 33, resultaten propaantanks

5.3.2 Validatie

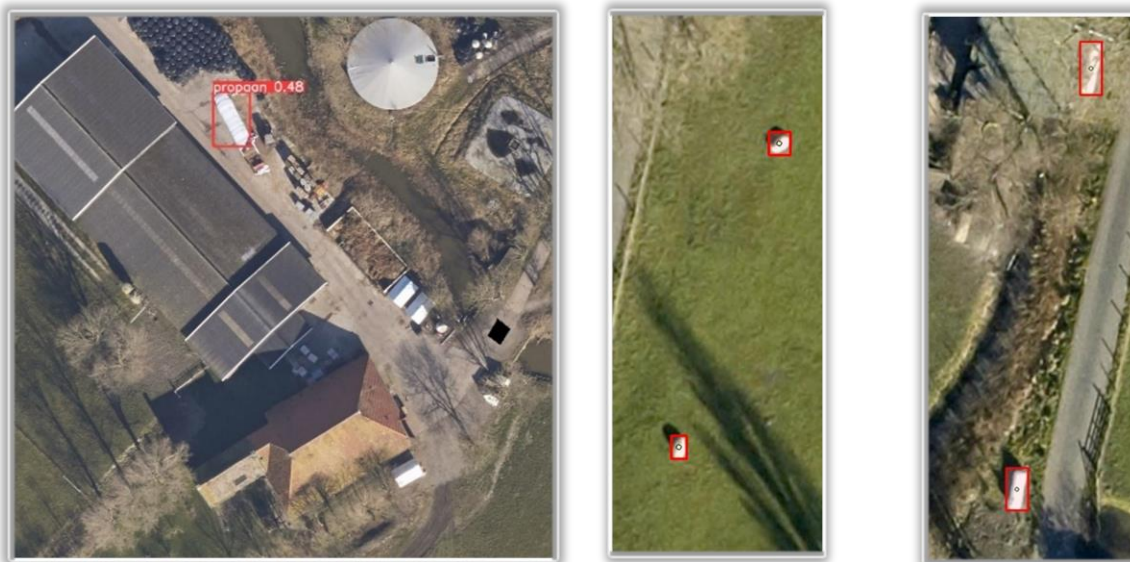
Omdat luchtfoto's beperkt inzicht geven, is voor een aantal propaantanks een terugkoppeling gemaakt om te controleren of objecten uit het model wel overeenkomen met de werkelijkheid, zie *figuur 34*.



Figuur 34, validatie van resultaten

5.3.3 Limitaties en uitdagingen

Het model is niet foutloos en toont ook bepaalde limitaties en uitdagingen aan. Zo is het mogelijk dat schapen of vrachtwagens worden gezien als propaantanks, zie *figuur 35* en *36*. *Figuur 37* toont dat het model ook met de aanwezigheid van een licht bladerdak functioneert.



Figuur 35, limitatie van vrachtwagens *Figuur 36, limitatie van schapen* *Figuur 37, bladerdak*

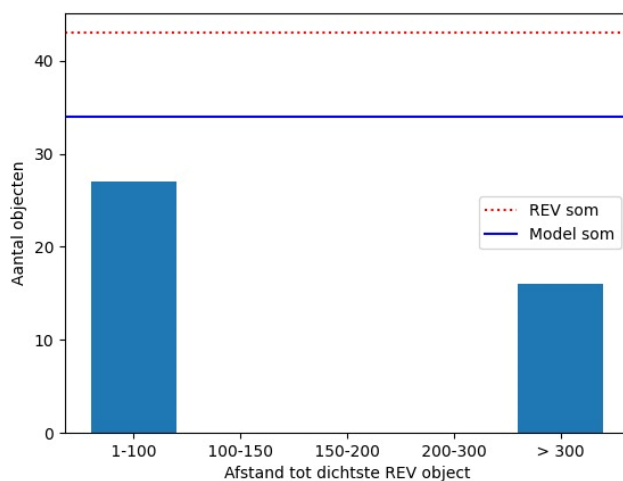
5.4 Testgebied (Propaantanks)

5.4.1 Testgebied 1

De kaart in *figuur 38* toont het resultaat van het model met de terugkoppeling van het REV. Bijbehorende grafiek, *figuur 39*, toont daarbij dat er potentiëel 16 propaantanks zijn gedetecteerd. Aan de hand van de toegepaste validatie uit 5.3.2 zijn er 6 nieuwe propaantanks aangetoond voor dit testgebied.



Figuur 38, resultaat propaantank



Figuur 39, resultaat propaantank

Discussie en conclusie:

Belangrijke conclusies, implicaties en een kritische evaluatie

06

Voor deze beroepsopdracht is onderzoek gedaan naar de vraag:

In hoeverre is het mogelijk om een kwaliteitscontrole over de activiteiten binnen het REV efficiënter te maken en te optimaliseren om zo bij te dragen aan een verhoogde betrouwbaarheid en verbeterd inzicht in de dataflow voor het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat?

Om antwoord te geven op deze vraag is een onderzoek uitgevoerd naar objectdetectiemodellen en een reproduceerbare methodologie ontwikkeld. In dit onderdeel zal voornamelijk worden ingegaan op de globale inzichten. De technische conclusies en implicaties staan beschreven in het onderzoeksrapport *hoofdstuk 6*.

Uit het literatuuronderzoek blijkt dat het implementeren van technologieën zoals kunstmatige intelligentie (AI) efficiënt is bij het controleren van het REV. Binnen het domein van AI is een objectdetectiemodel op basis van luchtfoto's een effectieve methode voor het detecteren van objecten in de openbare ruimte. Met name het YOLO(v5)-model, dat toegankelijk is om te implementeren, levert nauwkeurige resultaten in vergelijkbare situaties. Een ander aspect dat is onderzocht, is de ethiek van gegevens en privacy. Hieruit blijkt dat luchtfoto's theoretisch gezien implicaties kunnen hebben voor de privacy. Echter, in de praktijk blijkt dat de ruimtelijke gegevens onvoldoende onderscheidende kenmerken bevatten om de privacy van een individu in gevaar te brengen. Ondanks deze observatie blijft het van belang om zorgvuldig en bewust om te gaan met data die betrekking heeft tot de openbare ruimte.

De resultaten tonen aan dat de ontwikkelde methodologie in combinatie met het YOLO-model effectief kan worden toegepast op windturbines. Er zijn verschillende verklaringen voor de hoge kwaliteit van de resultaten. Ten eerste zijn windturbines grote objecten en hebben ze daardoor minimale belemmeringen van omliggende objecten, wat bijdraagt aan de nauwkeurigheid van het model. Daarnaast is het model getraind en getest op een uitgebreide dataset met diverse locaties, perspectieven, landschappen en lichtomstandigheden, wat bijdraagt aan de bredere toepasbaarheid van het model. Bovendien komt de terugkoppeling van de modelresultaten grotendeels overeen met het REV, waardoor het bruikbaar is voor het controleren van objecten.

Bij de terugkoppeling met punten uit het REV in studiegebied 1 komt het model niet volledig overeen. Zo zijn een aantal punten uit het REV niet gedetecteerd in het model. In studiegebied 2 komt het model volledig overeen met het REV. Ondanks dat deze observatie geen nieuwe informatie oplevert toont het wel aan dat het model een relatief hoge nauwkeurigheid heeft.

De resultaten tonen ook dat de ontwikkelde methodologie, in combinatie met het YOLO model, effectief geproduceerd kan worden op propaantanks. Ondanks de uitdagingen van een relatief klein objecttype zoals belemmeringen van bomen toont het model hoogwaardige resultaten. Bij de terugkoppeling van de gevonden punten met het REV zijn 6 bevestigde nieuwe propaantanks gevonden in het testgebied. Naast de nieuwe punten zijn er ook propaantanks die momenteel in het REV staan, maar die niet volledig accuraat geplaatst zijn. Het model kan voor propaantanks toegepast worden bij het controleren van het register.

Het feit dat de opgestelde methodologie succesvol is toegepast op twee objecttypen binnen het REV, toont aan dat er een zekere mate van reproduceerbaarheid aanwezig is. De methodologie vormt momenteel de basis voor andere objecttypen binnen het REV, omdat bij de ontwikkeling ervan rekening is gehouden met uitbreidingsmogelijkheden naar andere objecttypen. Hoewel de methodologie goed functioneert bij de huidige objecttypen, is deze nog niet getest op andere objecttypen binnen het REV. Dit impliceert dat de methodologie mogelijk gedeeltelijk aangepast of uitgebreid moet worden voor andere objecttypen.

Dit project heeft aangetoond dat het mogelijk is om de kwaliteitscontrole van objecttypen binnen het REV te verbeteren en daarmee de betrouwbaarheid te verhogen. Dit wordt bereikt door de implementatie van de methodologie die specifiek voor dit onderzoek is ontwikkeld voor de objecttypen windturbines en propaantanks. Een optimale aanpak is het implementeren van het YOLO(v5) objectdetectiemodel op basis van luchtfoto's. Hiermee kunnen objecten in de openbare ruimte nauwkeurig en geautomatiseerd worden gedetecteerd en geclassificeerd. Bovendien maakt de implementatie van de methodologie een terugkoppeling met het REV mogelijk, waardoor de betrouwbaarheid van het register kan worden gecontroleerd.

Aanbevelingen en adviezen:

Praktische vervolgstappen en concrete adviezen

07

In dit hoofdstuk zijn de praktische vervolgstappen en concrete adviezen beschreven. De adviezen hierin zijn voornamelijk praktisch gericht op de globale mogelijkheden. Technische verdiepingen en doorontwikkelingsmogelijkheden staan beschreven in het onderzoeksrapport *hoofdstuk 8*. De doorontwikkelingsmogelijkheden zijn onderverdeeld in drie segmenten. Om te beginnen zijn er concrete adviezen gericht op zowel de opschaling als de uitbreidingsmogelijkheden van het huidige model. De aanbevelingen zijn gericht op randvoorwaarden die van toepassing kan zijn bij de doorontwikkeling zoals de implicaties van data-ethiek en privacy. Tot slot zijn er overige aanbevelingen geformuleerd die betrekking hebben tot het project.

7.1 Concrete adviezen

7.1.1 Implementatie model

De resultaten hebben aangetoond dat de reproduceerbare methodologie in combinatie met het ontwikkelde objectdetectiemodel (YOLO) effectief is bij het controleren van de objecttypen windturbines en propaantanks. Het model heeft aangetoond dat het zowel toegankelijk als nauwkeurig is, wat in lijn is met bevindingen uit de bestaande wetenschappelijke literatuur. Daarom wordt aanbevolen om de reproduceerbare methodologie, het objectdetectiemodel en de technische inzichten uit het onderzoeksrapport toe te passen op het REV. Er zijn twee mogelijke benaderingen om dit toe te realiseren, namelijk: schaalvergroting naar nationaal niveau en uitbreiding naar andere objecttypen binnen het REV.

7.1.2 Opschaling

Dit onderzoek heeft op geselecteerde gebieden een controle uitgevoerd op de objecttypen windturbines en propaantanks. Deze objecttypen hebben een relatief hoge prioriteit en daarom wordt aangeraden het model hiervoor op te schalen naar nationaal schaalniveau. Het proces van opschaling is normaliter uitdagend door de grote hoeveelheid data, computerkracht en expertise die is vereist. De implementatie van de reproduceerbare methodologie in combinatie met het toegankelijke objectdetectiemodel kan dit proces vereenvoudigen. Voor de onderzochte objecttypen in dit onderzoek zijn bepaalde processtappen al uitgevoerd zoals het verzamelen en voorbereiden

van de data. Daarnaast is het huidige model getraind en zijn de resultaten gevalideerd op basis van (neutrale) testgebieden. De grootste uitdagingen binnen de opschaling liggen mogelijk op het gebied van beschikbaarheid van voldoende technische infrastructuur, monitoring en het proces van verbetering. Naast het model en de methodologie is het belangrijkste element voor opschaling de aanwezigheid van luchtfoto's van veel Nederland.

7.1.3 Uitbreiding objecttypen

Voor dit project is de methodologie en het model toegepast op twee objecten. Naast de opschaling van deze objecttypen wordt aanbevolen om het model uit te breiden voor andere objecttypen in het REV. In het onderzoeksrapport is een classificatie gemaakt van objecttypen waarop de methodologie mogelijk reproduceerbaar is. Ondanks dat een AI objectdetectiemodel mogelijkheden geeft tot het controleren van objecten zijn er ook limitaties. Het model gaat namelijk uit van fysieke eigenschappen. Wanneer objecttypen niet zichtbaar zijn vanuit een vogelvluchtperspectief doordat het bijvoorbeeld in een gebouw staat is dat een limitatie van de methodologie.

Het eerste onderdeel binnen de toepassing van de methodologie op andere objecttypen is het uitvoeren van een prioriteitenanalyse. Hierbij is het doel om een volgorde in prioriteiten te maken binnen de objecttypen op basis van urgentie en bruikbaarheid. Wanneer het totale aantal elementen van een objecttype namelijk zeer gering is kan het minder relevant zijn om de methodologie toe te passen. Zo staat voor de activiteit *Opslag-Brandbare-Vloeistof-Geen-Diesel-Ondergronds* bijvoorbeeld maar 1 object vastgelegd, zie bijlagen 1.2.4. Daarnaast is het belangrijk om de limitaties van objecten in acht te nemen. In de bijlagen zijn de elementen uit het REV geassocieerd op basis van twee klassen.

De eerste klasse bestaat uit objecten die fysiek kenmerkende eigenschappen hebben. Voorbeelden hiervan zijn mestvergistingsinstallaties, opslag brandstof bunkerstations, seveso inrichtingen, enzovoort, zie bijlagen 1.1. Deze klasse zelf kan ook nog worden opgedeeld in meerdere onderdelen. Zo is een mestvergistingsinstallatie en concreet object net als windturbines en propaantanks. Dit in tegenstelling tot de gebouwen en tankstations die worden gekenmerkt door een gebied. Omdat deze objecten geen vaste fysieke eigenschappen hebben is het detecteren hiervan complexer. Om het toch mogelijk te maken is contextuele informatie nodig. Dit is informatie die gerelateerd is aan een specifiek object zoals bijvoorbeeld de locatie ervan of de aanwezigheid van andere objecttypen. Mestvergistingsinstallaties zijn bijvoorbeeld vrijwel exclusief aanwezig in agrarische gebieden bij boerderijen. Deze kennisgeving kan bijdragen aan het detecteren van dit soort objecten.

In de tweede klasse staan objecten die technisch gezien zichtbaar zijn maar geen fysiek kenmerkende eigenschappen hebben. Zo worden elementen als vuurwerk, giftige baden en

gasopslag voornamelijk geplaatst in warenhuizen, zie bijlagen 1.2. Vanuit technisch standpunt zijn deze objecten niet eenvoudig te detecteren door de homogeniteit van de fysieke eigenschappen. Ondanks deze beperkingen is het niet totaal onmogelijk deze objecten te detecteren. Het is hierbij wel van belang meer contextuele informatie bij te voegen. Dit is mogelijk door ruimtelijke patronen te combineren met vakinhoudelijke kennis om zo nieuwe inzichten te creëren. Ondanks dat dit soort objecten een technische verdieping nodig hebben om te realiseren kan het mogelijk zijn deze objecten te analyseren. Het is hierbij wel van belang realistisch om te gaan met de mogelijkheden. Als het object geen fysieke kenmerken, contextuele eigenschappen of andere bruikbare informatie heeft kunnen deze objecten mogelijk niet geautomatiseerd worden gecontroleerd.

7.2 Aanbevelingen (randvoorwaarden)

7.2.1 Iteratieve verbeteringen

Ondanks dat een objectdetectiemodel statisch lijkt is dat het in de werkelijkheid niet. Het is altijd mogelijk nieuwe iteraties te maken die het huidige model verbeteren. Daarom wordt aangeraden de nauwkeurigheid van de resultaten te monitoren om nieuwe limitaties en mogelijkheden in te zien. Zo kan een objecttype over een langere periode veranderen waardoor deze niet meer worden gedetecteerd. Daarnaast is het mogelijk dat het objecttype in een gebied staat die sterk afwijkt van de data waarop het model is getraind. Deze regionale verschillen kunnen door middel van optimalisaties worden verbeterd.

7.2.2 Handmatige monitoring

De resultaten tonen aan dat het model nauwkeurige resultaten biedt, maar ook dat het niet foutloos is. Ondanks dat de methodologie grotendeels geautomatiseerd is wordt daarom aanbevolen om ook een vorm van handmatige controle uit te voeren. Zo kan het zijn dat objecten foutief of niet zijn gedetecteerd en dat het model daarom onterechte meldingen oplevert. Een handmatige controle kan een cruciale stap zijn in het controleren van de betrouwbaarheid van het REV en het voorkomen van onrechtmatige resultaten.

7.2.3 Monitoringsperiode

De openbare ruimte is dynamisch en maakt daardoor veranderingen door. Het wordt daarom aangeraden een periode op te stellen waarin wordt gecontroleerd of objecttypen zijn veranderd. In het geval dat een objecttype veranderd van fysieke eigenschappen kan dit invloed hebben op de nauwkeurigheid van het model. Door een periodieke controle in te plannen waarin de effectiviteit van het model wordt beoordeeld is daarom essentieel om de kwaliteit te behouden.

7.3 Overig

7.3.1 Data-ethiek & privacy

De bestaande wetenschappelijke literatuur heeft aangetoond dat de combinatie van een objectdetectiemodel met luchtfoto's niet leidt tot een inbreuk van privacy. Ondanks dat het risico gering is wordt aanbevolen om op een veilige en verantwoordelijke manier om te gaan met het model. Veelal komen de negatieve gevolgen van data niet uit de data zelf, maar uit de intenties achter de verwerking ervan. Bewust omgaan met de gedetecteerde afbeeldingen en inwinningstrategie is daarom een essentieel onderdeel van het data controleproces.

7.3.2 CROWD-sourcing

Tijdens de opstart van dit project is er gesproken over potentiële innovatieve toepassingen om het REV te controleren. Omdat dit idee buiten de scope van het onderzoek ligt maar potentiële waarde heeft bij de doorontwikkeling wordt het hier slechts kort toegelicht. Crowd-sourcing kan indirect bijdragen aan dit doel. Het opstellen van trainingsdata voor het model is een arbeidsintensieve en daardoor kostbare taak. Gamificatie van dit proces kan het vereenvoudigen. Dit geldt vooral wanneer het als een soort wedstrijd wordt beschouwd, waarbij een score wordt toegekend aan de juistheid van de ingetekende objecten. De moeilijkheidsgraad is voornamelijk afhankelijk van de zichtbaarheid van het object. Een beperkt aantal actieve deelnemers bij het intekenen van objecten op luchtfoto's kan het proces efficiënter maken.

Bibliografie:

Overzicht wetenschappelijke literatuur en referenties

08

- Bertino, E., Thuraisingham, B., Gertz, M., & Damiani, M. L. (2008). *Security and privacy for geospatial data*. <https://doi.org/10.1145/1503402.1503406>
- Coffer, M. M. (2020). Balancing Privacy Rights and the Production of High-Quality Satellite Imagery. *Environmental Science & Technology*, 54(11), 6453–6455. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c02365>
- Dorlandt, M. (2022, 30 november). *SMART inwinnen van data in de openbare ruimte*. sharepoint. Geraadpleegd op 2 maart 2023, van https://haskennisplein-my.sharepoint.com/personal/540274992_has_nl/_layouts/15/onedrive.aspx?id=%2Fpersonal%2F540274992%5Fhas%5FnI%2FDocuments%2FBijlagen%2FDor%2D2022%2D012547%20MinIW%20SMART%20inwinnen%20van%20data%5Fdef%2Epdf&parent=%2Fpersonal%2F540274992%5Fhas%5FnI%2FDocuments%2FBijlagen
- Hagendorff, T. (2019). From privacy to anti-discrimination in times of machine learning. *Ethics and Information Technology*, 21(4), 331–343. <https://doi.org/10.1007/s10676-019-09510-5>
- IBM. (z.d.). *What is Computer Vision?* Geraadpleegd op 10 juni 2023, van <https://www.ibm.com/topics/computer-vision>
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (z.d.-a). *Over het Register Externe Veiligheidsrisico's (REV)*. [registerexterneveiligheid.nl](https://www.registerexterneveiligheid.nl). Geraadpleegd op 2 maart 2023, van <https://www.registerexterneveiligheid.nl/overrev>
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (z.d.-b). *Register Externe Veiligheidsrisico's | Register externe veiligheid*. [registerexterneveiligheid.nl](https://www.registerexterneveiligheid.nl/). Geraadpleegd op 2 maart 2023, van <https://www.registerexterneveiligheid.nl/>
- Yeh, C., Perez, A., Driscoll, A. K., Azzari, G., Tang, Z., Lobell, D. B., Ermon, S., & Burke, M. (2020). Using publicly available satellite imagery and deep learning to understand economic well-being in Africa. *Nature Communications*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16185-w>

- Namdev, U., Agrawal, S., & Pandey, R. (2022). Object Detection Techniques based on Deep Learning: A Review. *Computer science and engineering : an international journal*, 12(1), 125–134.
<https://doi.org/10.5121/cseij.2022.12113>
- Roy, S., & Rahman, M. S. (2019). *Emergency Vehicle Detection on Heavy Traffic Road from CCTV Footage Using Deep Convolutional Neural Network*.
<https://doi.org/10.1109/ecace.2019.8679295>
- Rizzoli, A. (2023, 24 april). The Ultimate Guide to Object Detection. V7.
<https://www.v7labs.com/blog/object-detection-guide>
- Santos, C. (2019). Satellite Imagery, Very High-Resolution and Processing-Intensive Image Analysis: Potential Risks Under the GDPR. *Air and Space Law*, 44(Issue 3), 275–295.
<https://doi.org/10.54648/aila2019018>
- Sarker, I. H. (2022). AI-Based Modeling: Techniques, Applications and Research Issues Towards Automation, Intelligent and Smart Systems. *ResearchGate*, 3(2).
<https://doi.org/10.1007/s42979-022-01043-x>

Bijlagen

1. Uitbreiding objecttypen

1.1 Kenmerkbare EVActiviteiten

Dit eerste onderdeel bestaat uit objecten die naar kennis zichtbaar zijn op luchtfoto's. Dit betekent dat de methodologie hoogstwaarschijnlijk effectief toegepast kan worden op deze objecten.

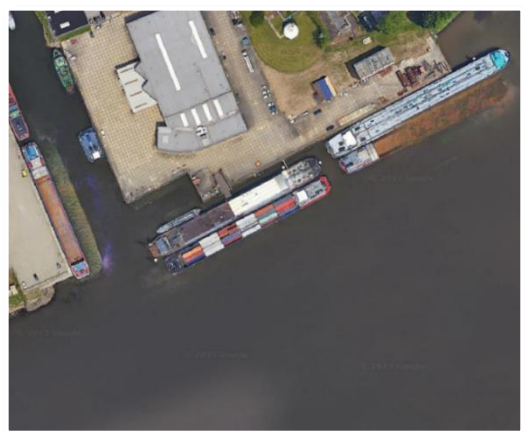
1.1.1 Mestvergisting

Mestvergistingsinstallaties zijn concrete objecttypen die vanaf luchtfoto's duidelijk zichtbaar zijn. Doordat deze objecttypen vrijwel exclusief voorkomen in agrarische gebieden kunnen stedelijke gebieden preventief worden uitgesloten. Daarnaast heeft het relatief eenduidige fysieke kenmerken wat bevorderlijk is voor het model.



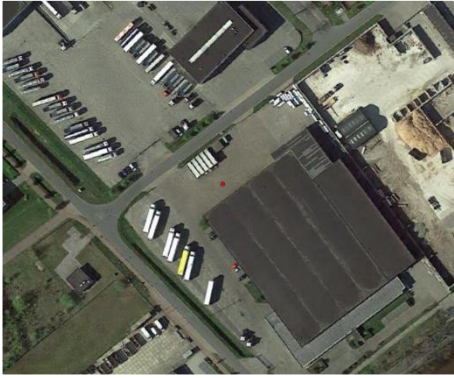
1.1.2 Opslag-Brandstof-Bunkerstation

Het opslag brandstof bunkerstation heeft meer variatie in fysieke kenmerkende eigenschappen. Bij dit object kan daarom contextuele informatie zoals de ligging bij het water gebruiken voor mogelijk verbeterde prestaties.



1.1.3 Opstellen-Voertuigen

Het onderdeel Opstellen-Voertuigen wordt gekenmerkt door de hoeveelheid voertuigen aanwezig op het terrein. De complexiteit van dit element is het feit dat dit geen unieke eigenschap is. Contextuele informatie is hier van belang over bijvoorbeeld de ligging in industriegebieden.



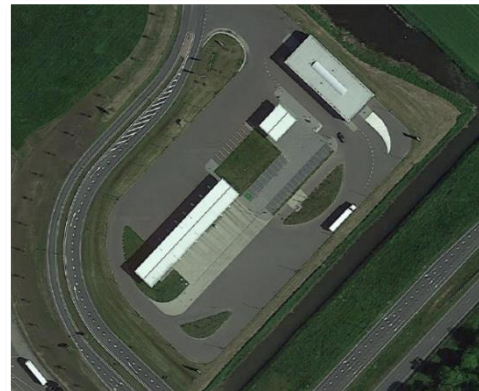
1.1.4 Opslag-Seveso-Hoeveelheid-Buiten-Seveso-Inrichting

De buitenopslag van seveso heeft een aantal kenmerkende eigenschappen. Een voorbeeld hierbij is bijvoorbeeld de hoeveelheid containers in combinatie met de ligging aan waterwegen.



1.1.5 Tanken (LPG, LNGVoertuig-Werktuig. Waterstof-Voertuig-Werktuig, CNG)

De tankstations zijn net als bunkerstations voornamelijk te herkennen door contextuele informatie. In dit geval is ieder tankstation gekoppeld aan een wegennetwerk. Daarnaast is er bepaalde homogeniteit in de vorm van de gebouwen, wat bijdraagt aan de detecteerbaarheid.



1.1.6 Aardgas (Behandelen-Regelen-Meten-Aardgas)

Dit element beschikt over een aantal kenmerkende eigenschappen, maar is zonder context uitdagend om te detecteren.



1.1.7 Seveso-Inrichting

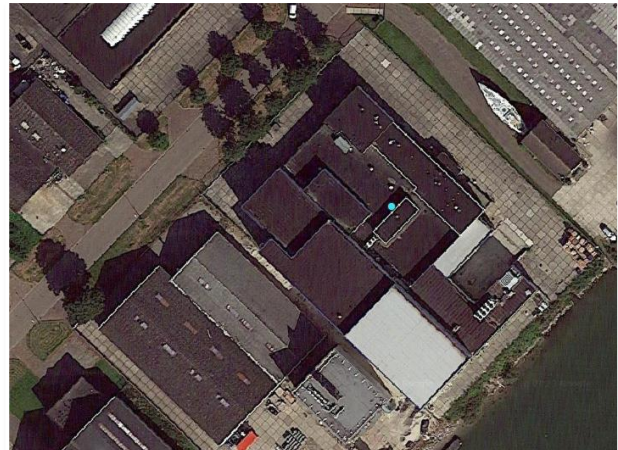
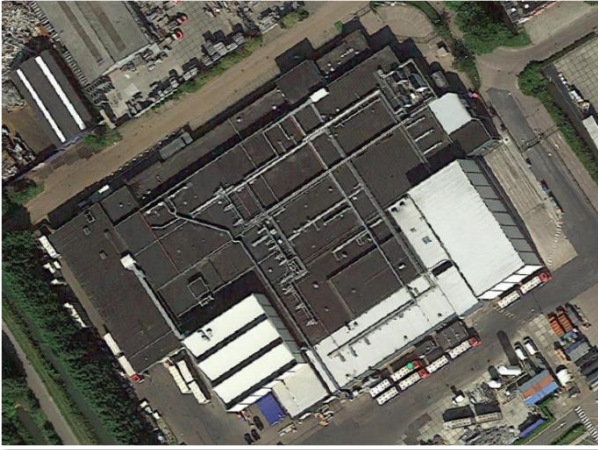
Seveso inrichtingen zijn relatief onherkenbaar vanuit een boven perspectief. Doordat bij deze bedrijven wel met chemische producten wordt gewerkt zijn bepaalde zaken zoals leidingen en opslaginstallaties aanwezig. Deze kennis in combinatie met context gerelateerde informatie kan bijdragen aan de effectieve detectie van dit object.



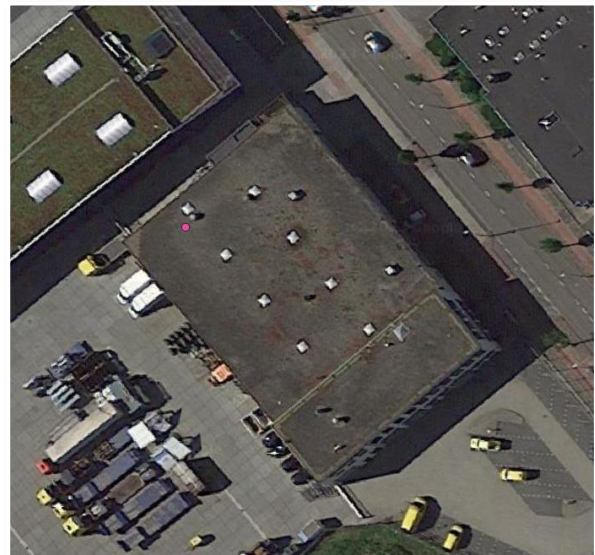
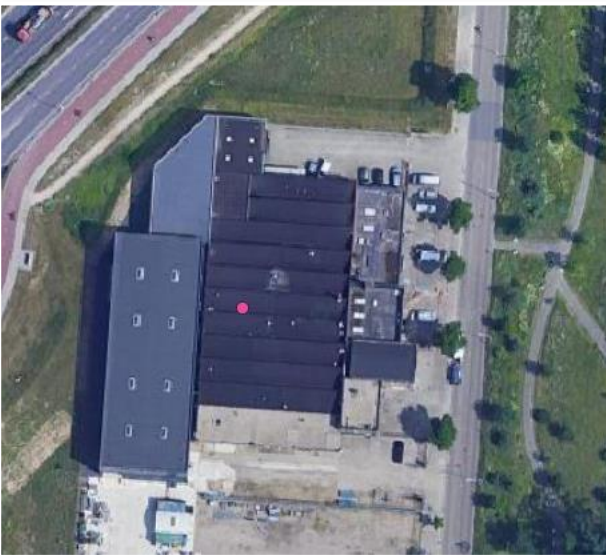
1.2 Niet kenmerkbare EVActiviteiten

In onderstaande paragrafen is een verdeling gemaakt van elementen uit het REV met niet kenmerkbare fysieke eigenschappen. Deze objecttypen staan veelal in generieke warenhuizen die niet detecteerbaar zijn zonder contextuele informatie.

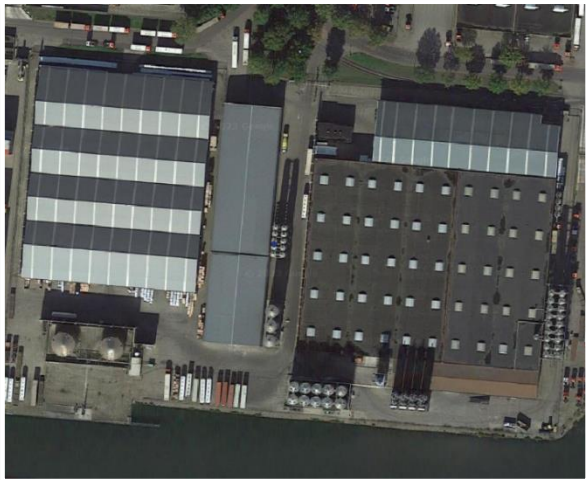
1.2.1 Ammoniak-Koelinstallatie



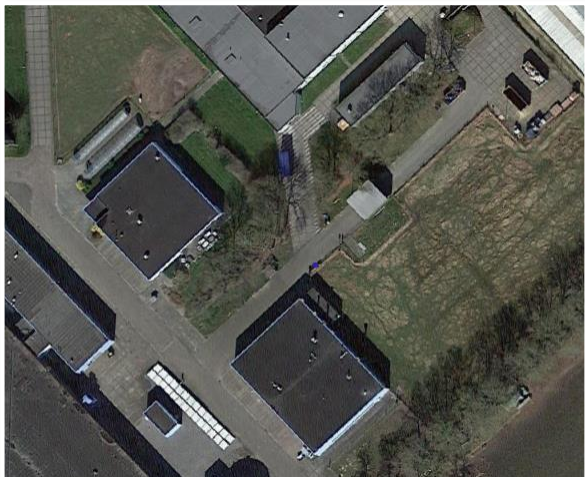
1.2.2 Bad-Giftig



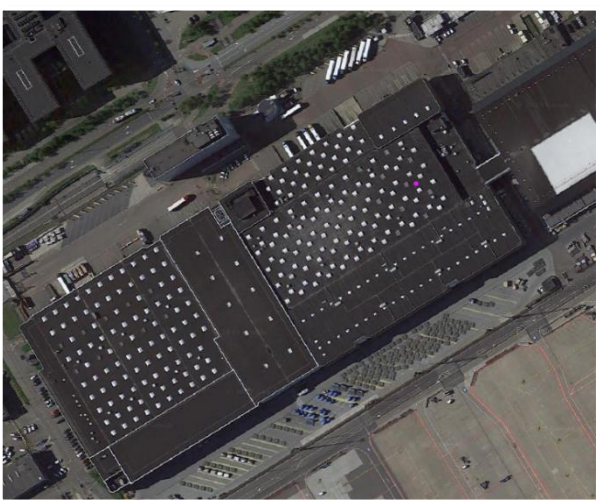
1.2.3 Opslag-Brandbare-Vloeistof-Geen-Diesel-Bovengronds



1.2.4 Opslag-Brandbare-Vloeistof-Geen-Diesel-Ondergrond



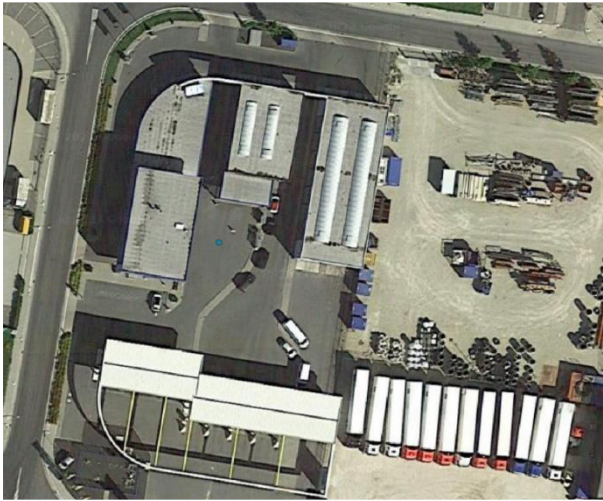
1.2.5 Opslag-Ontplofbaar-ADR (1.1, 1.3 en 1.4)



1.2.6 Opslag-Oxiderend-Verstikkend-Gas



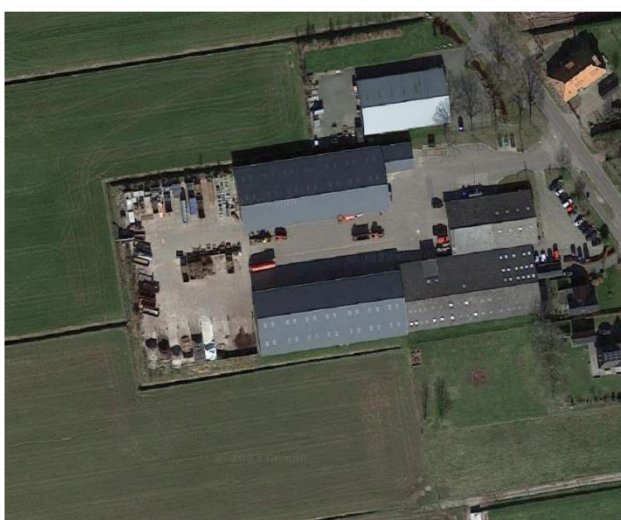
1.2.7 Opslagtank-Gas_Te-Berekenen-Afstand-Vergunningplicht



1.2.8 Opslagtank-Vloeistof



1.2.9 Opslag-Verpakt



1.2.10 Opslag-Vuurwerk (F1F2F3T1T2)

