

AsfaltMutaties Detecteren Met Satellieten

Ilse van de Burgt¹, Thijs Perenboom², Sylvia Drok³ en Rutger Krans³

¹ Rijkswaterstaat CIV, Derdewereldreef 1, 2622 HA Delft

² 52impact B.V., Van Nelleweg 1, 3044 BC Rotterdam

³ Rijkswaterstaat GPO, Griffioenlaan 2, 3526 LA Utrecht

Samenvatting

Rijkswaterstaat-Centrale Informatie Voorziening, het programma Voorspelling Asfaltonderhoud met Big data en 52impact B.V. hebben de handen ineengeslagen bij het zogenoemde asfaltmutatieproject, waar de aanlegdatum van deklagen met behulp van remote sensing data zo nauwkeurig mogelijk vastgesteld wordt.

Asfaltmutaties worden zowel spatieel als temporeel gedetecteerd op commerciële satellietbeelden en luchtfoto's. De spatiele detectie wordt gedaan op luchtfoto's (10 cm per pixel, jaarlijks vanaf 2013), waar we kijken naar het verschil tussen twee tijdsopnames van hetzelfde gebied. Deze mutatiedetectie geeft in de eerste stap de asfaltmutaties per rijstrook per jaar. Tijdens de tweede stap worden tijdreeksen van satellietbeelden van het Satellietdataportaal en Sentinel-2 gebruikt en specificeren we het temporele aspect (waar mogelijk). De methode is ontwikkeld op een gebied van de A7/A28 en getest en kwalitatief geëvalueerd op knooppunt Velperbroek.

Op basis van luchtfoto's worden diverse mutaties van de asfaltdeklaag gedetecteerd. Nieuwere wegvakken worden het beste herkend en ook individuele weghelften kunnen goed in kaart worden gebracht. Het model heeft moeite met kleine mutaties, bewolking en schaduwwerking van bijvoorbeeld bomenrijen. De grote verschillen in kleursamenstelling van satellietbeelden maken de optische detectie van asfaltmutatie lastig. De gebruikte drempelwaarde heeft invloed op het aantal gevonden mutaties. De afweging moet worden gemaakt tussen recall (hoeveel mutaties vind je van de te vinden mutaties, hoge drempel) en precision (hoeveel juiste mutaties heb je gevonden, lagere drempel).

We concluderen dat luchtfoto's geschikt zijn om asfaltmutaties te detecteren. De onderzochte satellietbeelden zijn op dit moment nog minder geschikt vanwege kleurstelling en lagere resolutie. Toepassing van kunstmatige intelligentie, gebruik van extra (betaalde) data of gebruik van super-resolution algoritmes, kunnen een verbeteringslag opleveren. In datasystemen van RWS zijn we nu in staat om de grotere fouten te detecteren. Hiermee verbeteren we de datakwaliteit voor analyses van restlevensduur en werken we stapje voor stapje aan een datagestuurde RWS.

Trefwoorden:

asfalt, satelliet, datagestuurd, datagedreven, informatiegestuurd, datakwaliteit, mutatie, mutatiedetectie, onderhoud, asfaltmutatiedetector

Inleiding

Mutaties komen op allerlei schaal voor. Virusmutaties zijn een actueel onderwerp in deze tijd van pandemie. Maar ook asfaltverhardingen worden gemuteerd: Aanleg en onderhoud laten zichtbare sporen achter, bijvoorbeeld in de vorm van kleurveranderingen. Die kunnen we optisch detecteren.

Doordat satellieten vaak elke zeven tot elf dagen opnamen van een weg maken kunnen we om zo de datum van aanpak van de deklaag vaststellen. Daarmee kunnen we controleren of ingevoerde velden voor asfalteringsdatum wel kloppen. Nu staat er in onze systemen soms 31 december ingevuld, en als we een ding weten is dat er dan niet geasfalteerd wordt, dit ondanks mooie TV-filmpjes bij Van A naar Beter.

Waarom is het scherper vaststellen van asfalteringsdata belangrijk? We willen onderzoeken waarom sommige deklagen langer meegaan dan anderen. Dan is het natuurlijk belangrijk om de leeftijd van het wegdek te kunnen bepalen. Een andere veronderstelling is dat weerscondities een grote invloed hebben op de asfaltkwaliteit. Als de aanlegdatum juist genoteerd is kunnen we goed nagaan vanuit meteorologische databronnen wat het weer tijdens asfaltering was. Maar als er deels verkeerde data worden ingevoerd zonder dat dit herkend wordt kan dit tot foutieve conclusies leiden.

Rijkswaterstaat-Centrale Informatie Voorziening, het programma Voorspelling Asfaltonderhoud met Big data en 52impact B.V. hebben de handen ineengeslagen bij het zogenoemde asfaltmutatieproject. In het project analyseren we luchtfoto's en satellietbeelden. Door met diverse soorten satellietbeelden (onder andere Sentinel-2 en zeer hoge resolutie beeldmateriaal uit het Satellietdataportaal) wegvakken op verschillende tijdstippen met elkaar te vergelijken willen we mutaties ofwel veranderingen zoals aanlegmomenten van de deklaag waarnemen: de 'AsfaltMutatieDetector'. In dit artikel beschrijven we onze weg naar detectie vanuit satellietbeelden en luchtfoto's.

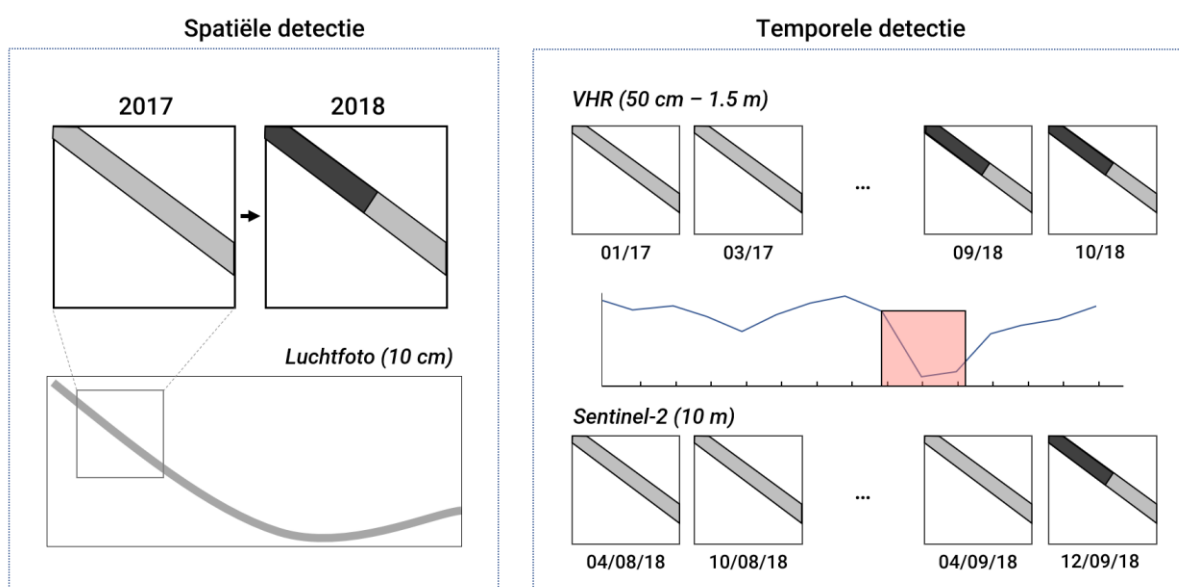
De gedetecteerde mutaties kunnen worden vergeleken met verschillende bestaande databases, zoals bij Rijkswaterstaat Winfrabase, Toekan, BIM/P en Elektronische OverdrachtsDossiers en bij aannemers PIMⁱ en AIS. Hiermee kan de datakwaliteit in deze databases worden verhoogd.

De eerste pilot is begonnen in 2021. In twee tot drie testcases wordt de asfaltmutatiedetector getraind en gevalideerd en wordt gekeken naar de bruikbaarheid van de data voor Rijkswaterstaat. Gedurende deze pilot wordt onderzocht welke resolutie (zowel temporeel als spatiaal) haalbaar is voor de mutatiedetectie van asfaltdeklagen, en welke andere randvoorwaarden er aan het systeem kunnen zitten. Bij succes wordt het opgeschaald; in 2022 geven we een actualisatie van de resultaten en de uitdagingen die we hierbij zijn tegengekomen.

Op deze manier verbeteren we de gegevens van de rijkswegen, en versterken we de lopende ontwikkeling van plangestuurd naar informatigestuurd onderhoud van rijkswegen.

Methode

Op basis van historische satellietbeelden en luchtfoto's worden asfaltmutaties in ruimte (spatieel) en in tijd (temporeel) gedetecteerd. Luchtfoto's hebben een goede spatiële resolutie, maar worden maar 1x per jaar gemaakt. Satellietbeelden hebben een goede temporele resolutie, maar de spatiële resolutie is veel grover. Daarom is hier een dubbele aanpak gehanteerd, waarbij de spatiële detectie gebeurt aan de hand van luchtfoto's, waardoor duidelijk is in welk jaar het asfalt onderhouden is. Aan de hand van diverse satellietbeelden wordt binnen dat jaar onderzocht of er een betere temporele schatting van de mutatie kan worden gegeven (figuur 1).



Figuur 1. Overzicht van de gebruikte methode, opgesplitst in spatiele en temporele detectie van mutaties. Plaatsbepaling van een mutatie wordt gedaan op basis van luchtfoto's, waarna het bijbehorende tijdvenster van de mutatie wordt bepaald met satellietbeelden.

Data verzamelen en verkennen.

Beeldmateriaal wordt verzameld uit zowel openbare als commerciële databronnen (tabel 1), beschikbaar via WMTS (Satellietdataportaalⁱⁱ en luchtfoto) en SentinelHubⁱⁱⁱ (Sentinel-2). Voor luchtfoto en (zeer) hoge resolutie satellietbeelden worden de beschikbare informatiebanden (rood, groen en blauw) gebruikt. Voor Sentinel-2 wordt eveneens de nabij-infrarood informatie gebruikt.

Wegvakken en hectometerpunten worden geëxtraheerd uit het NWB (Nationaal WegenBestand^{iv}) en uit databronnen van RWS, en worden gebruikt om de het beeldmateriaal te filteren respectievelijk om gevonden mutaties te koppelen aan locaties.

Voor dit onderzoek zijn twee locaties gebruikt: de mutatiedetectie is ontwikkeld op bekende veranderingen aanwezig op de A7/A28 rond Groningen, en getest op knooppunt Velperbroek nabij Arnhem.

Tabel 1. Gebruikte databronnen

	Bron	Beschikbaar	Temporele resolutie	Spatiele resolutie	Bewolking?
Luchtfoto	Beeldmateriaal.nl/RWS	2013-heden	Jaarlijks	10-25 cm	Nee
Superview	Satellietdataportaal	2019-heden	6x / jaar	50 cm	Ja

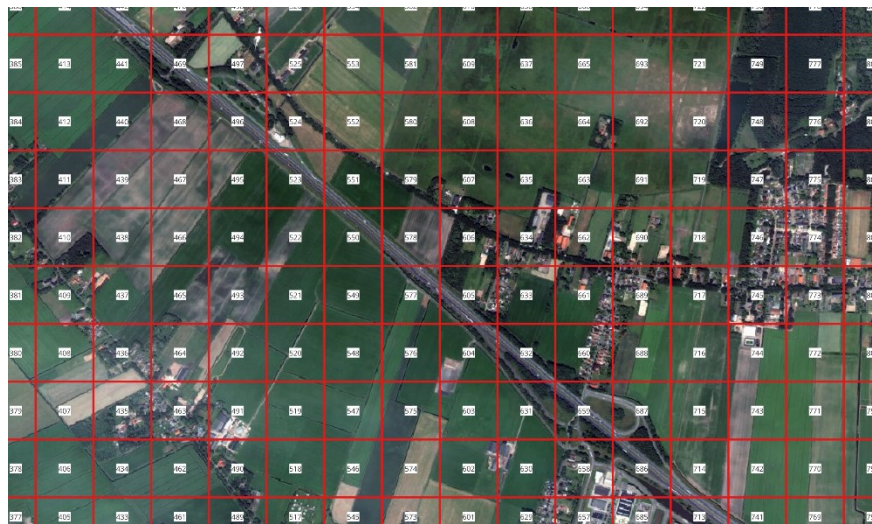
TripletSat	Satellietdataportaal	2017-2018	6x / jaar	80 cm	Ja
SPOT6-7	Satellietdataportaal	2014-2016	6x / jaar	1.5 m	Ja
Formosat	Satellietdataportaal	2013-2014	6x / jaar	2 m	Ja
Sentinel-2	Europese Unie	2016-heden	Elke 5 dagen	10 m	Ja

Mutatiedetectie

In dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van mutatiedetectie. Mutatiedetectie is het verschil (de mutatie) tussen twee tijdsopnames van hetzelfde gebied voor een bepaald object of klasse. Dit gebeurt op basis van remotesensingdata, in dit geval luchtfoto's en satellietdata (beschreven in Data verzamelen en Verkennen). De specifieke stappen worden hieronder opgedeeld in spatiële detectie en temporele detectie.

Spatiële detectie

Rondom de wegvakken worden vierkante tegels (polygonen) gedefinieerd om de historische luchtfoto's op te knippen en eenvoudig te analyseren. Het beeldmateriaal wordt genormaliseerd door elke band (rood, groen, blauw (RGB)) te normaliseren ten opzichte van de gemiddelde helderheid over alle beelden.



Figuur 2. Gebruikt tegelpatroon voor analyse van luchtfoto's rondom wegen. Rood: tegelpatroon (elke tegel is 200x200 meter).

Alleen de pixels binnen de wegvakken worden geanalyseerd; per wegvakpixel wordt de gemiddelde RGB waarde ($\bar{X}_{RGB}$) berekend. Tussen alle opvolgende jaren wordt het verschil bepaald, alle pixels met een verlaging (donkere kleur) van $\bar{X}_{RGB}$ wordt gedetecteerd. Als >95% van een tegel een verlaging laat zien wordt het beeld gefilterd als te donker. De verkregen pixels per tegel worden gecombineerd (via *8-connected component* analyse) en gefilterd om kleine oneffenheden te verwijderen. Het resultaat is een polygoon met de waarschijnlijke mutatie tussen twee beelden (oftewel twee jaren).

Een aantal extra stappen is nodig ter controle of er geen schaduwvlakken aangemerkt worden als asfaltmutatie. Binnen de gevonden polygoon wordt de distributie van kleur gecontroleerd, waarbij asfaltmutaties meer homogeen zijn in vergelijking met schaduwvlakken. Ook extremen aan de kant van donker en licht worden gecontroleerd. Als laatste controle worden aan elkaar grenzende tegels betrokken (per tegel de 8 naastliggende tegels) en vergeleken qua kleurstelling. Vergelijkbare pixels

(bepaald door de afstand tussen de RGB-waardes per pixel te berekenen) worden samengevoegd met de eerder gedetecteerde polygoon.

De gevonden polygonen worden vervolgens bijgesneden aan de hand van de wegvak- en middenlijngegevens, zodat de resultaten gebruikt kunnen worden binnen de gegevens uit de NWB.

Temporele detectie

De eerste stap heeft per jaar de locatie van asfaltmutaties gedetecteerd. De tweede stap is het nauwkeurig in tijd plaatsen van deze mutatie. Hiervoor worden tijdreeksen van satellietbeelden gebruikt. Aan de hand van de opnamedatum van de jaarlijkse luchtfoto's wordt bepaald in welke periode hoge resolutie satellietbeeldmateriaal (uit het Satellietdataportaal) nodig is. Aan de hand van de hoge resolutiebeelden (6x / jaar beschikbaar) wordt bepaald tussen welke maanden de werkzaamheden hebben plaatsgevonden. Vervolgens wordt tussen deze maanden medium resolutie Sentinel-2 beeldmateriaal gebruikt om, waar mogelijk, de tijdsbepaling nog verder te verbeteren.

Per mutatie wordt een op tijdreeks bepaald, en deze tijdreeks wordt vergeleken met een nabijgelegen stuk weg waarop geen mutatie is gevonden. Door beide tijdreeksen te vergelijken, wordt er binnen het gebruikte stuk weg genormaliseerd, waardoor de methode generaliseerbaar is over alle wegen. Een significante verandering in de ratio tussen beide tijdreeksen laat zien op welk moment de mutatie is voltrokken. Op deze wijze kan tot maximaal 5 dagen nauwkeurigheid de mutatie worden vastgelegd.

Model evalueren

De gebruikte methode wordt ontwikkeld op een gebied van de A7/A28, en getest op knooppunt Velperbroek. Op dit knooppunt vinden relatief veel asfaltmutaties plaats omdat er tweelaags zeer open asfaltbeton (ZOABTW) gebruikt is op een rotonde. Aan de hand van de historische luchtfoto's wordt handmatig bepaald in welke jaren en op welke plekken mutaties hebben plaatsgevonden. De automatisch gedetecteerde mutaties worden hier tegen afgezet om inzicht te verkrijgen in de prestaties van het model. Binnen deze studie hebben we een kwalitatieve evaluatie gebruikt, omdat er slechts weinig handmatig gedetecteerde mutaties gevonden zijn.

Twee methodes kunnen hierbij worden gebruikt, namelijk 1) *intersection over union (IoU)* en 2) *confusionmatrix*. De IoU is een maat voor de overeenkomst tussen een gedetecteerd object en de onderliggende handmatig gekarteerde gouden standaard. Deze IoU wordt bepaald per mutatie, door te kijken naar de overlap van en het verschil tussen de gedetecteerde polygoon en de gouden standaard. Een waarde van 0 geeft aan dat er geen overeenkomst is, een waarde van 1 dat er perfecte overlap is van beide polygonen. Een gemiddelde van alle IoU's per mutatie (*mean IoU*) geeft een algemene indruk van de prestaties van het model. Indien de IoU van een mutatie boven de 0.5 ligt, wordt deze gerekend als 'gedetecteerd' (alhoewel niet perfect). Voor de confusionmatrix wordt gekeken hoeveel mutaties uit de gouden standaard zijn gevonden (*true positives, TP*), hoeveel mutaties gevonden zijn die niet aanwezig zijn in de gouden standaard (*false positives, FP*), en hoeveel daadwerkelijke mutaties er gemist zijn (*false negatives, FN*). Uit deze waardes kunnen de *recall* ($TP/(TP+FN)$) en *precision* ($TP/(TP+FP)$) worden berekend als maat voor hoeveel mutaties er (deels) gevonden zijn. Precision komt neer op hoeveel van de gevonden elementen relevant zijn; recall betekent hoeveel relevante outputelementen gevonden zijn.

Resultaten

Verskillende inzichten zijn verkregen voor de inzet van luchtfoto's en satellietbeelden in het detecteren van asfaltmutaties, inclusief bijbehorende randvoorwaarden en beperkingen.

Inzet luchtfoto's

Op basis van de luchtfoto's worden diverse mutaties van de asfaltdeklaag gedetecteerd (figuur 3). Nieuwe wegvakken met (zeer) donker asfalt worden het beste herkend. Het type asfalt is op basis van kleur op dit moment nog niet te onderscheiden. Door gebruik te maken van bijsnijden aan de hand van markeringslijnen kunnen individuele weghelften goed in kaart worden gebracht. Kleinere mutaties (binnen een tegel van 200x200 meter) worden soms nog te ruim gekarteerd (= automatisch ingetekend; figuur 3) doordat er opvullingsalgoritmes worden gebruikt. Deze opvulling is nodig om gaten in de mutatie door bijvoorbeeld voertuigen op te lossen. Voor opschaling moet deze opvulling en kartering verder verbeterd worden, bijvoorbeeld door een limiet te stellen rondom een gevonden mutatie en vormgegevens van de polygoon en wegvakken mee te nemen.



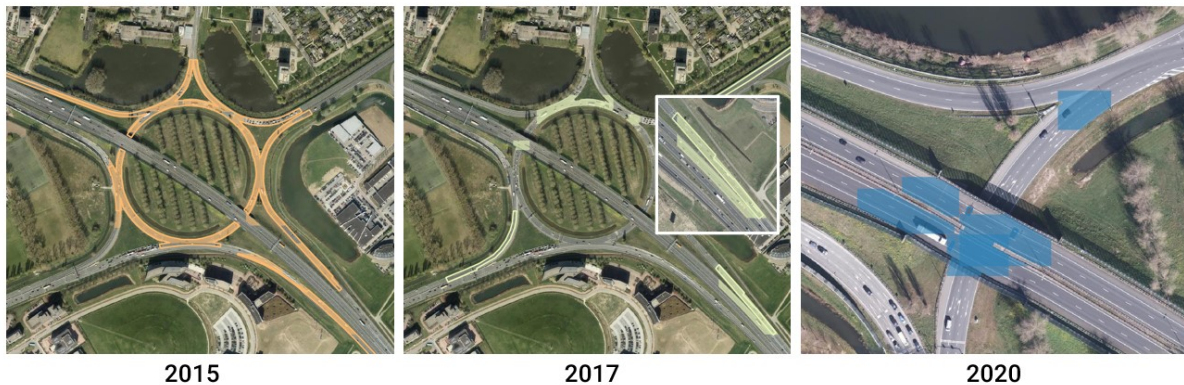
Figuur 3. Voorbeelden van gevonden mutaties op de A7, waarbij duidelijk te zien is dat mutaties voor individuele rijbanen worden ingetekend, door gebruik van markeringslijnen. Soms wordt nog wel teveel opgevuld door het opvulalgoritme (figuur rechts).

Afhankelijk van de gebruikte drempelwaarde (de grootte van de overgang tussen twee jaren) worden meer (lage drempel) of minder (hoge drempel) mutaties gevonden. Bij een lagere drempelwaarde worden ook meer valspositieve mutaties gedetecteerd. Dit komt door kleine verschillen tussen jaren, bijvoorbeeld door een lokale schaduw of andere (tijdelijke) aanpassing op of aan het wegdek, als mutaties worden aangemerkt met als gevolg een lagere *precision*. Bij een te hoge drempelwaarde worden daarentegen juist op het oog duidelijke mutaties gemist, met als gevolg een lagere *recall*. Dit is een balans, waarbij een afweging gemaakt moet worden (afhankelijk van de onderzoeksvraag) welke richting de voorkeur heeft.

De generaliseerbaarheid van de ontwikkelde methode is onderzocht door het algoritme te testen op knooppunt Velperbroek (figuur 4). Hier zijn in de afgelopen jaren diverse grote en kleine mutaties geweest door onderhoudswerkzaamheden. Ook hier zien we een afhankelijkheid van de drempelwaardes, waarbij de waardes die tijdens de ontwikkeling (voor A7/A28) zijn vastgesteld voor kleurverschil en homogeniteit van de mutaties niet altijd toe te passen zijn in andere gebieden. Dit

kan te maken hebben met verschillen in tijdsduur tussen de mutatie en de beeldopname; een langere periode zorgt al voor een vervaagdere kleur van het nieuwe wegvak.

Voor knooppunt Velperbroek was ten tijde van de ontwikkeling geen informatie beschikbaar over markeringslijnen, waardoor mutaties minder nauwkeurig zijn afgesneden per rijbaan. Door het beschikbaar maken van markeringslijnen en/of rijbaanpolygonen kan de mutatie nog beter in plaats worden bepaald.



Figuur 4. Voorbeelden van gevonden mutaties op knooppunt Velperbroek. Grote mutaties (2015) worden goed gevonden. In 2017 zijn er enkele valspositieven en te groot gekarteerde mutaties. In 2020 worden kleine mutaties gevonden, maar te groot gekarteerd.

Inzet satellietbeelden

Een aantal satellietdatabronnen is onderzocht op bruikbaarheid voor de mutatiedetectie. De zeerhogeresolutiebeelden uit het Satellietdataportaal zijn ongeveer 6x per jaar beschikbaar, waarbij de kwaliteit en resolutie van de satellietbeelden verandert over de afgelopen jaren (tot aan 50cm resolutie op dit moment). Dit resulteert in wisselende overgangen tussen beelden waardoor de vergelijkbaarheid door de jaren heen negatief wordt beïnvloed, omdat het aantal pixels binnen een mutatie kan veranderen en de kleuren niet altijd vergelijkbaar zijn tussen verschillende satellietpassages. Door de gebruikte beelden te beperken tot beelden die beschikbaar zijn tussen de opnamedatums van de luchtfoto's, direct voor en na de gevonden mutatie, wordt de invloed hiervan beperkt. In het algemeen wordt de bruikbaarheid van de satellietbeelden beperkt door aanwezigheid van bewolking, schaduw van de bewolking en verschil in kleurstelling tussen de beelden (zie figuur 5). Hierdoor zijn op jaarbasis slechts enkele beelden echt beschikbaar, wat de inzetbaarheid verder verlaagt. Het gebruik van de ratio tussen gevonden mutatie (uit de luchtfoto) en een nabijgelegen wegdeel kon deze beperkingen niet wegnemen.

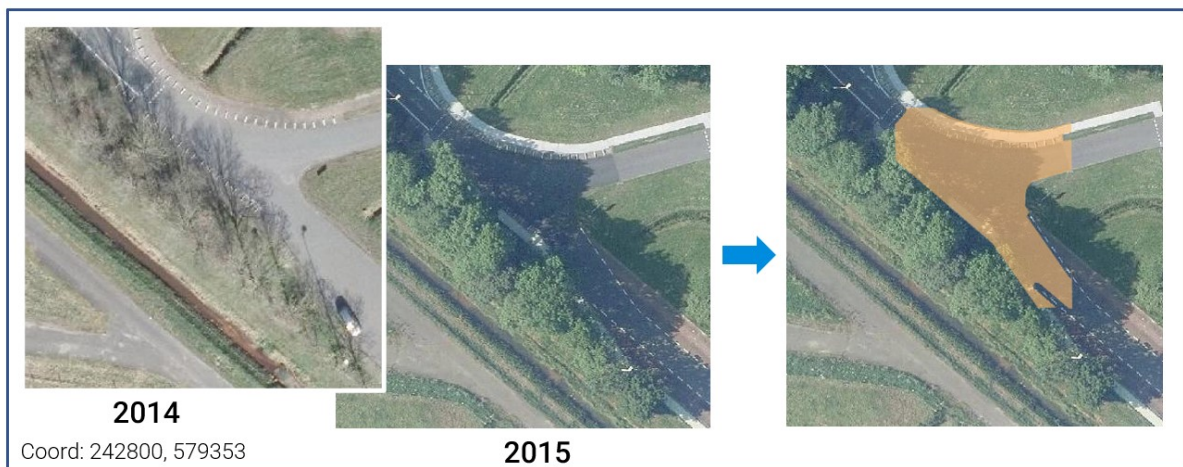


Figuur 5. Satellietbeelden (Superview) worden beperkt door bewolking, schaduw en kleurstelling. De mutatie die op 4 april 2020 duidelijk zichtbaar is, zou ook op 27 oktober 2019 al aanwezig kunnen zijn.

De tienmeterresolutie van openbare Sentinel-2-beelden maakt vergelijking op pixelniveau lastig, omdat verscheidene rijstroken, rijbanen en ook de omgeving (zoals groen naast de weg) binnen één pixel kunnen vallen (zogenoeten 'mixed pixels'). Tijdsreeksen zijn onderzocht m.b.t. het plaatsen van een aantal beelden van hetzelfde stuk weg achter elkaar. Ook hier is de invloed merkbaar van bewolking, schaduw en kleurstelling, naast die van de resolutie, omdat er geen eenduidige veranderingen per mutatie gevonden zijn. Het is daardoor in ons onderzoek lastig gebleken om de datum van mutatie verder te specificeren dan op basis van de luchtfoto mogelijk is.

Randvoorwaarden en beperkingen

We zien dat een aantal zaken invloed heeft op de gevonden mutaties, wat resulteert in zowel valspositieve (mutatie gevonden die niet aanwezig is) als valsnegatieve (daadwerkelijke mutatie die niet gevonden is) bevindingen. Valspositieve resultaten worden veelal veroorzaakt door homogene schaduwen op het wegvak, bijvoorbeeld door de schaduw van een geluidsscherm of bomenrij, zeker als de stand van de zon (afhankelijk van het tijdstip van beeldopname) wisselt van beeld tot beeld. Hetzelfde kan gelden voor schaduw van wolken; deze is echter van minder invloed, doordat dit grote vlakken betreft die niet specifiek een (deel van een) wegvak bedekken. Valsnegatieve bevindingen kunnen ontstaan doordat er geen zicht op het wegdek is door de aanwezigheid van teveel voertuigen, zeker bij filevorming. Ook schaduw speelt hier een rol doordat schaduw en mutatie samen kunnen vallen (figuur 6), wat de precieze locatie en start- en eindpunt van de mutatie niet altijd inzichtelijk maakt.



Figuur 6. Interactie tussen schaduw (van bomen) en aanleg van een nieuwe deklaag. Oranje vlak (rechts): gevonden mutatie.

De minimale omvang van mutaties wordt bepaald door onder andere de aanwezigheid van (schaduwen van) voertuigen van verschillende formaten (personenauto's, vrachtwagens) en schaduwen van enkele bomen. Om deze schaduwen weg te filteren wordt een minimale lengte van de mutatie gehanteerd; deze lengte is in te stellen om juist op grote of kleine mutaties te focussen. Hierbij dient de balans gezocht te worden tussen aantallen valspositieve en valsnegatieve bevindingen, doordat bij een lage minimale omvang veel valspositieven worden gevonden (autoschaduwen et cetera) en bij te hoge minimale omvang kleine, vaak interessante, mutaties worden gemist.

Wegvakken en markeringslijnen zijn de gebruikte invoeren, waarbij de wegvakken nodig zijn om mutaties op de weg, en niet naast de weg, te detecteren. Voor het goed afsnijden van de gevonden mutaties kan het beste gebruik gemaakt worden van polygonen per wegvak, of van markeringslijnen als lijnvector. Indien deze data niet aanwezig zijn kan er ook gewerkt worden met wegbrede polygonen. Dan zullen de gecreëerde polygonen echter beïnvloed worden door ruis en minder strakke randen hebben. Indien tussen verschillende jaren de wegvakken veranderen, bijvoorbeeld door aanleg van extra wegen of het ombouwen van bestaande wegstroken, dienen de invoeren ook aangepast te worden.

Discussie

Uit de resultaten komt naar voren dat luchtfoto's geschikt zijn om asfaltmutaties te detecteren, met nog enkele uitdagingen op het gebied van schaduwfiltering en generaliseerbaarheid van de gebruikte parameters. De onderzochte satellietbeelden zijn op dit moment minder geschikt vanwege kleurstelling en lagere resolutie.

Om de asfaltmutatiedetectie op te schalen naar heel Nederland is een consistente invoer van wegvakken en, bij voorkeur ook, markeringslijnen nodig. Luchtfoto's zijn voor heel Nederland beschikbaar vanaf 2013, waardoor mutaties vanaf dat jaar te detecteren zijn. Verbeterpunten in het algoritme zijn het lokale gebruik van andere drempelwaardes, eventueel ook automatisch te bepalen, en een beter onderscheid tussen mutaties en schaduwen. Het gebruik van extra commerciële satellietbeelden met een hoge resolutie en goede kleurstelling (bijvoorbeeld de bedrijven Digital Globe (Worldview) of Planet Lab (Dove CubeSats)) kan de tijdsbepaling van de mutatie verder verbeteren. De kosten van commerciële data van satellieten is drastisch verlaagd doordat vele aardobservatiesatellieten in het afgelopen decennia zijn gelanceerd, maar zijn nog altijd hoog. In Tabel 2 staat een korte beschrijving van de mogelijke bedrijven en kosten. Planet Lab is een Amerikaans bedrijf dat een grote collectie CubeSats heeft. Dit zijn kleine satellieten met verscheidene sensoren, in een grote vloot (150+ satellieten). Door het formaat van deze satellieten kunnen zij enkel zichtbare en nabij-infrarode straling observeren (RGB- en NIR-banden). Door de grootte van de vloot is hun temporele resolutie dagelijks, en de ruimtelijke resolutie 0,3 tot 5 m. Digital Globe/Maxar heeft geavanceerdere satellieten en biedt een groter scala aan satellietdata aan (zie onderstaande tabel voor meer informatie).

Tabel 2: Prijzen van hoge resolutie satellietbeelden (bron^v)

Naam bedrijf/satelliet	Temporele resolutie	Ruimtelijke Resolutie	Banden bereik	Archief	Kosten per km ² per dag	Landsdekkend 40000 km ²	Rijkswegen + 100 m buffer = 1150 km ²
NSO							
Superview	6x per jaar	0,5 m	RGB NIR	2017-nu	Gratis	Gratis	Gratis
Planet Lab							
Dove CubeSats	Dagelijks	0,3 – 5 m	RGB NIR	2014-nu	€ 1,70 – € 10,80	€ 68.000,00 - € 432.000,00	€ 3.578,50 - € 12.420,00
SkySat	Dagelijks	0,60	4 VNIR	2014-nu	€ 10,80	€ 432.000,00	€ 12.420,00
Digital Globe/Maxar/GeoEye							
Worldview-2	Bijna dagelijks	0,46 m	8 VNIR	2009-nu	€ 16,00	€ 640.000,00	€ 18.400,00
Worldview-3	Dagelijks	0,31 – 3,7 (SWIR)	8 VNIR + 8 SWIR	2013-nu	€ 20,50	€ 820.000,00	€ 23.575,00
GeoEye-1	Bijna dagelijks	0,41	4 VNIR	2008-nu	€ 18,00	€ 720.000,00	€ 20.700,00
Beijing-3	Dagelijks	0,50	4 VNIR	2021-nu	€ 11,00	€ 440.000,00	€ 12.650,00

Dus hoewel commerciële satellietdata veel te bieden hebben wat betreft temporele en ruimtelijke resolutie zijn de hoge kosten een groot nadeel. Voor een landsdekkende AsfaltMutatieDetector hebben we ongeveer 1150 km² aan data nodig. Afhankelijk van de aard van de toepassing hebben we dit zeker 12 tot 24 keer per jaar nodig. Exacte kosten alleen op aanvraag. Het oppervlak dat onze

belangstelling heeft, namelijk van de asfaltverhardingen van Rijkswaterstaat, is overigens veel kleiner: ongeveer 100 km².

Bij dit onderzoek waren er vooraf in zeer beperkte mate data beschikbaar van bekende deklaagmutaties. Hierom is gekozen voor een statistische benadering, waarbij met drempelwaarden en andere parameters wordt gewerkt. Een andere benadering is het gebruik van kunstmatige intelligentie, bijvoorbeeld de inzet van een U-Net-(deeplearning)model^{vi}. Met zo'n model kan een nauwkeurige plaatsbepaling van veranderingen uitgevoerd worden, gegeven dat er vele (honderden tot duizenden) voorbeelden beschikbaar zijn. Een mogelijke stap naar deze benadering is de mutaties die met de statistische methode zijn gedetecteerd te gebruiken als invoer voor de training van een U-Net. Een ontwikkeling die de inzetbaarheid van Sentinel-2 beeldmateriaal kan verbeteren is het gebruik van *super-resolution*-algoritmes.^{vii} Hiermee wordt de resolutie van het beeldmateriaal verhoogd van 10 meter naar 2,5 meter, waardoor er minder effect is van mixed pixels. De verandering zal dan beter gedetecteerd kunnen worden, en de mutatie kan met hogere nauwkeurigheid in tijd geplaatst worden.

Een van de doelen van deze PoC is om te kijken of we levensduurverlengend onderhoud (LVO) en spoedreparaties kunnen detecteren. Deze blijven in de huidige datasystemen van RWS vaak onder de radar. Omdat er steeds meer vrijkomende materialen gerecycled worden is het steeds meer van belang te weten of een deklaag uit één materiaal bestaat of een lappendeken is van verschillende soorten asfalt. Op dit moment zijn 'kleine' mutaties slecht te detecteren omdat er net een auto over kan rijden op het moment van de foto, of omdat mutaties kunnen worden verward met een (auto)schaduw. We zouden kunstmatige intelligentie, bijvoorbeeld een U-Net, kunnen inzetten om dit soort schaduwen beter van mutaties te onderscheiden, aangezien dit algoritme ook de context van een schaduw meeneemt in zijn analyse.

Conclusies

In samenwerking met 52impact hebben we gekeken naar de mogelijkheden en de beperkingen van het detecteren van asfaltmutaties met satellietdata en luchtfoto's. Voortschrijdend inzicht over de (on)mogelijkheden leidt tot aanpassing van toepassingsmogelijkheden. Om kunnen kijken naar de weersomstandigheden op het moment van aanleg moet je de aanlegdatum heel nauwkeurig kunnen vaststellen. De temporele resolutie van deze data is daarvoor niet toereikend. Wel kan deze datamethode, met een resolutie van enkele weken, 'grotere' fouten detecteren en daarmee alsnog onze datakwaliteit voor analyses van restlevensduur verbeteren.

Satellieten brengen meer problemen met zich mee dan verwacht, door bewolking en de slechte resolutie van de pixels. In de jaarlijkse luchtfoto's zien we wel een grote kans, namelijk om daarmee een goed jaaroverzicht te krijgen in de hoeveelheid jaarlijks onderhoud en de precieze begin- en eindpunten van de werkvakken. De praktijk leert dat veel mutaties ontstaan tussen hectometerpaaltjes en zulke plaatsbepalingen vaak niet heel precies worden opgenomen in de Beschrijvende PlaatsaanduidingsSystematiek (BPS). Satellietdata kunnen hier dus helpen precies te bepalen waar de mutatie heeft plaatsgevonden (in GPS c.q. coördinaten). Hiermee kunnen we onze jaarlijkse meetgegevens van de meetvoertuigen beter over dit soort aanlegdata leggen. Juist op de overgangen die tussen twee hectometerpaaltjes liggen kunnen we dan de op hectometer geaggregeerde data van onze meetvoertuigen beter duiden. Zo werken we stapje voor stapje aan datagestueerd werken bij RWS.

REFERENTIES

ⁱ <https://www.crow.nl/thema-s/informatiemanagement/bim-bites-best-practices-use-cases-1/bim-bites/bim-bites/2021/data-van-het-wegenbouwproces-gestructureerd-regist>

ⁱⁱ <https://www.satellietdataportaal.nl>

ⁱⁱⁱ <https://www.sentinel-hub.com>

^{iv} <https://nationaalwegenbestand.nl>

^v <https://geoserve.nl/home/very-high-resolution> and <http://landinfo.com/satellite-imagery-pricing>

^{vi} Zhang et al (2018). Road Extraction by Deep Residual U-Net. IEEE Geosc and RS Let 15(5):749-753.

^{vii} Latte et al (2020). PlanetScope Radiometric Normalization and Sentinel-2 Super-Resolution (2.5 m): A Straightforward Spectral-Spatial Fusion of Multi-Satellite Multi-Sensor Images Using Residual Convolutional Neural Networks. Remote Sensing 12(15):2366