Vlaanderen
is kwaliteitsvolle
omgeving

Jaarlijkse bodemafdekkingskaart Vlaanderen: toestand 2023

Technisch rapport

DEPARTEMENT
OMGEVING

vlaanderen.be/omgeving

JAARLIJKSE BODEMAFDEKKINGSKAART VLAANDEREN: TOESTAND 2023
Dit technisch rapport beschrijft de methode voor het opstellen van de jaarlijkse bodemafdekkingskaarten van Vlaanderen.

COLOFON

Verantwoordelijke uitgever
Toon Denys, secretaris-generaal
Departement Omgeving
Koning Albert-II laan 15 bus 553, 1210 Brussel (postadres)
vlaanderen.be/omgeving

Een uitgave van het Departement Omgeving, Vlaams Planbureau voor Omgeving
vpo.omgeving@vlaanderen.be

Auteurs
Team Monitoring en Data-analyse, Departement Omgeving
Joris Pieters – Keyrus

Publicatiedatum
15 oktober 2025

Depotnummer
D/2025/3241/336

INHOUDSTAFEL

1 Inleiding 4

2 Definitie 4

3 Basisdata 6

3.1 Administratieve bodemafdekking 6
3.2 Gemodelleerde bodemafdekking 7

4 Methode 8

4.1 Administratieve bodemafdekking 8
4.1.1 Water 10
4.1.2 Gebouwen 10
4.1.3 Wegen 10
4.1.4 Spoorwegen 12
4.2 Gemodelleerde bodemafdekking 13
4.2.1 Training 13
4.2.2 Modellering 15
4.2.3 Finale toekenning 16
4.2.4 Temporele continuïteit 17
4.2.5 Jaarlijkse bodemafdekkingskaart 17

5 Resultaten 18

5.1 Administratieve bodemafdekking 18
5.1.1 Wegenalgoritme 18
5.1.2 Wegsegmenten en spoorbundels 19
5.2 Gemodelleerde bodemafdekking 21
5.2.1 Havenmodel 22
5.2.2 Geblurde gebieden en strand en duinen 22
5.3 Jaarlijkse bodemafdekkingskaart 23

6 Visuele evaluatie 23

6.1 Niet-permanente overkappingen in landbouwgebied 25
6.2 Niet-gedetecteerde afdekking op bedrijventerreinen 26

7 Evolutie van de verharde oppervlakte 26

8 Conclusie 28

Referenties 29

1 INLEIDING

Vlaanderen is één van de meest verharde gebieden van Europa (European Environment Agency, 2020). Dit leidt onder meer tot een groter risico op overstromingen, minder waterinfiltratie, hitteproblemen in stads- en dorpskernen, minder CO_2-opslag door planten en de bodem, en een verlies aan biodiversiteit. Het duurzaam omgaan met de ruimte staat dan ook voorop om een gezonde leefomgeving te realiseren en de klimaatuitdagingen aan te gaan. Zo formuleert het Lokaal Energie- en Klimaatpact de doelstelling om 1 m^2 per Vlaming te ontharden vanaf 2021 t.e.m. 2030 (= 660 ha ontharding) (Agentschap Binnenlands Bestuur, 2021). Ontharding en het vermijden van bijkomende verharding vormen eveneens een belangrijk onderdeel in de conceptnota van het Beleidsplan Ruimte Vlaanderen (BRV) (Departement Omgeving, 2025). De specifieke ambities zijn om tegen 2050 – met 2015 als referentiepunt – de verhardingsgraad a) in de bestemmingen landbouw, natuur en bos met 20% te verlagen en b) binnen de bestemmingen gedomineerd door ruimtebeslag terug te dringen tot het niveau van 2015. Ook de verharde oppervlakte van linten en verspreide bebouwing dient te stabiliseren of af te nemen.

Om de voortgang van ontharding en ook de bouwshift te monitoren is er nood aan jaarlijkse en fijnmazige bodemafdekkingskaarten van Vlaanderen (Taskforce Bouwshift, 2021). De Bodemafdekkingskaart (BAK) van Digitaal Vlaanderen (Van der Linden & Van Valckenborgh, 2024) wordt slechts om de drie jaar gemaakt en vertoonde tot de toestand van 2018 nog onnauwkeurigheden die haar minder geschikt maakten voor gedetailleerde, gebiedsgerichte en ruimtelijk expliciete analyses. Daarom ontwikkelde het Departement Omgeving in 2022 de jaarlijkse bodemafdekkingskaart (JaarBAK) (Cockx et al., 2022). Deze kaart combineert administratief gekende bodemafdekking uit het GRB met gemodelleerde bodemafdekking o.b.v. middenschalige winterluchtopnames. Op deze manier werd verharding nauwkeuriger en frequenter gevat.

Zowel interne als externe analyses legden de afgelopen jaren enkele werkpunten bloot die aanpassingen aan de methode rechtvaardigden. Zo detecteerde het model gebruikt voor de JaarBAK minder afdekking op luchtfoto's voorbij zijn originele trainingsvenster van 2012 t.e.m. 2020 (dus vanaf toestand 2021). Ook werden relatief grote stukken verharde oppervlakte in de havens niet als dusdanig gedetecteerd. Daarnaast zorgde de inkanteling van het Wegenregister in het GRB voor meer geregistreerde wegen en een gewijzigde definitie van "verharde weg". Dit rapport is in de eerste plaats een technische beschrijving van de gebruikte methode voor de JaarBAK-kaarten, en van de aanpassingen aan deze methode vanaf JaarBAK 2023 (Tabel 1). In het laatste onderdeel worden de resultaten geëvalueerd en de evolutie van de verharde oppervlakte o.b.v. deze jaarlijkse bodemafdekkingskaarten besproken.

2 DEFINITIE

Het Witboek Beleidsplan Ruimte definieert 'bodemafdekking' als de oppervlakte waarvan de aard en/of toestand van het bodemoppervlak gewijzigd is door het aanbrengen van artificiële, (semi-) ondoorlaatbare materialen van gebouwen, wegen, parkings …, waardoor essentiële ecosysteemfuncties van de bodem verloren gaan (Departement Ruimte Vlaanderen, 2017). Deze definitie is gebaseerd op die van de Europese Commissie voor 'soil sealing': "*the destruction or covering of soils by buildings, constructions and layers of completely or partly impermeable artificial material*

(asphalt, concrete, etc.). It is the most intense form of land take and is essentially an irreversible process" (Jones et al., 2012).

Tabel 1: Overzicht van de gewijzigde of nieuwe stukken tekst n.a.v. de aanpassingen aan de methode vanaf JaarBAK 2023, en hun plaats van beschrijving in dit rapport.

BASISDATA	**Administratieve bodemafdekking**	p.
	Wegsegmenten vervangen Wegverbindingen in GRB	6
	Gemodelleerde bodemafdekking	
	Gebruik van bijkomende lagen:	
	- Juridische afbakening van havengebied	7
	- Bedrijventerreinen OSLO	7
	- Verbeterde laag voor geblurde gebieden op luchtfoto's	8
	- Biologische Waarderingskaart voor strand en duinen	8
METHODE	**Administratieve bodemafdekking**	
	Spoorwegen: smalle stroken tussen spoorbundels = 'afgedekt'	12
	Gemodelleerde bodemafdekking	
	Training: bijgetraind voor globaal model + getraind voor nieuw havenmodel	13-14
	Modellering: afwijkende kleuren in luchtfoto's 2024 zorgen voor 'model drift'	15
	Finale toekenning: resultaten van globaal en havenmodel gecombineerd in havens	16
RESULTATEN	**Administratieve bodemafdekking**	
	Wegsegmenten en spoorbundels	19
	Gemodelleerde bodemafdekking	
	Havenmodel	22
	Geblurde gebieden en strand en duinen	22
	Jaarlijkse bodemafdekkingskaart	
	Aandeel van de bronnen van toekenning aan de pixels	23
VISUELE EVALUATIE	Niet-permanente overkappingen in landbouwgebied	25
	Niet-gedetecteerde afdekking op bedrijventerreinen	26
EVOLUTIE VAN DE VERHARDE OPP.	Update o.b.v. JaarBAK 2023 + ruis t.o.v. werkelijke veranderingen	26-27

Conform de definitie hierboven werd voor de jaarlijkse bodemafdekkingskaart gekozen om het bedekken van de bodem met kunstmatige materialen als bodemafdekking te beschouwen. Hierbij werd geen rekening gehouden met de waterdoorlaatbaarheid van het materiaal. Deels doorlaatbare bedekkingen zoals grasdallen en spoorwegen werden beschouwd als verstoring van de natuurlijke toestand van de bodem en bijgevolg als afdekking. Ook groendaken werden gezien als 'afgedekt', temeer omdat deze deel uitmaken van een gebouw, dat per definitie als afdekking geldt. Kunstgras bedekt eveneens op kunstmatige wijze de bodem, maar vormde bij gebrek aan extra data een uitdaging om uit de gebruikte orthofoto's af te leiden. Omdat groene kunstgrasvelden met het blote oog nauwelijks te onderscheiden zijn van echte grasvelden, werd dit type afdekking niet steeds als 'afgedekt' gedetecteerd op de JaarBAK. Anderzijds maken deze kunstgrasvelden maar een kleine fractie uit van de totale bodemafdekking in Vlaanderen. Daarnaast werden bruggen over water als 'niet-afgedekt' beschouwd omdat de bodem hieronder geen hinder ondervindt van het materiaal. Ook begroeide onderdelen van weginfrastructuur, zoals middenbermen van autosnelwegen en rotondes, kregen extra aandacht om als 'niet-afgedekt' gedetecteerd te worden om overschattingen van de verharding te vermijden.

Kunstmatige materialen komen niet alleen voor aan het oppervlak, maar ook op andere dieptes in een bodembeschrijving (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2006). Deze niet-oppervlakkige kunstmatige materialen werden niet meegenomen voor de JaarBAK. Daarnaast wordt vanuit een bodemkundig perspectief de sterke compactie van natuurlijke bodemmaterialen aan het oppervlak (bv. door landbouwactiviteiten) ook als 'soil sealing' beschouwd. Ook dit fenomeen werd hier niet in rekening gebracht.

3 BASISDATA

De jaarlijkse bodemafdekkingskaart voegt bodemafdekking afgeleid uit administratieve databronnen samen met de resultaten van modellering.

3.1 ADMINISTRATIEVE BODEMAFDEKKING

De "administratief gekende" bodemafdekking werd afgeleid uit het Grootschalig Referentiebestand of Basiskaart Vlaanderen (GRB), beheerd door Digitaal Vlaanderen, o.b.v. de toestand op 31 december van het jaar in kwestie[1]. Verschillende (delen van) vectorlagen van het GRB werden geselecteerd om gebouwen, wegen, spoorwegen en water af te bakenen (Tabel 2).
Sinds juni 2023 is het Wegenregister ingekanteld in het GRB, waardoor Wegsegmenten de voormalige Wegverbindingen (Wvb) vervangen. Deze wijziging heeft een grote impact op het aantal geregistreerde kilometers en de attribuutinformatie. De Wegsegmenten bevatten zo'n 44.000 km extra wegen (+65%) t.o.v. de Wegverbindingen. De categorieën van de wegverharding zijn ook uitgebreid van 'verhard' in Wvb (ca. 61.700 km) naar 'vaste verharding', 'losse verharding' en 'zowel vaste als losse verharding'. Er werd gekozen om enkel Wegsegmenten met 'vaste verharding' (ca. 71.200 km) onder administratieve bodemafdekking onder te brengen. De wegen met 'losse' of 'zowel vaste als losse verharding' zijn vaak aardewegen en bospaden die minder eenduidig 'afgedekt' te noemen zijn. Bovendien is deze selectie ook consistent met de vorige o.b.v. 'verharde weg' in Wvb, aangezien het overgrote deel (85% van de lengte) van de Wegsegmenten

[1] Voor 2013 was dit 1 januari 2014, de oudst beschikbare GRB-toestand.

Tabel 2: Geselecteerde (delen van) vectorlagen van het Grootschalig Referentiebestand of Basiskaart Vlaanderen voor de administratieve bodemafdekking.

Type	Laag	Omschrijving	Selectie
Water	Wtz	Watergang	-
Gebouwen	Gbg	Gebouw aan de grond	-
	Gba	Gebouwaanhorigheid	afdak, uitbreiding, verdieping
	Knw	Kunstwerk	cabine, schoorsteen, watertoren, silo, opslagtank, chemische installatie, overbrugging
	Trn	Terrein	verhard
Wegen	Wvb Wegsegment	Wegverbinding Wegsegment	verharde weg (t.e.m. JaarBAK 2022) weg met vaste verharding (vanaf JaarBAK 2023)
	Wgo	Wegopdeling	-
	Wbn	Wegbaan	-
Spoorwegen	Wrl	Spoorrail	-
	Sbn	Spoorbaan	-

met 'losse' of 'zowel vaste als losse verharding' onder de "nieuwe" wegen t.o.v. Wvb valt. Er werd gerekend op de modellering om de in werkelijkheid afgedekte Wegsegmenten zonder 'vaste verharding' alsnog te detecteren.

3.2 GEMODELLEERDE BODEMAFDEKKING

De gemodelleerde bodemafdekking werd afgeleid uit de jaarlijks beschikbare middenschalige winterluchtopnames, zoals ter beschikking gesteld door Digitaal Vlaanderen in 418 kaartbladen. Op basis van deze orthofoto's op 25 cm-resolutie[2] werd trainingsmateriaal gegenereerd en twee machinelearningmodellen opgesteld: één voor heel Vlaanderen en (vanaf JaarBAK 2023) één voor de havengebieden. De havens van Antwerpen, Gent, Oostende en Zeebrugge werden gedefinieerd op basis van een overlap van de juridische afbakening van de zeehavens met de bedrijventerreinen in Vlaanderen. De precieze havenafbakening volgens de betreffende gewestelijke ruimtelijke uitvoeringsplannen (GRUP) staat beschreven in Poelmans et al. (2023). Omdat deze afbakening niet overal nauwkeurig is, werd jaarlijks een overlay uitgevoerd met de versie van Bedrijventerreinen OSLO, beheerd door het Agentschap Innoveren & Ondernemen, die de toestand het dichtst bij 31 december van het jaar in kwestie weergaf. De bedrijventerreinen die voor meer dan 20% met de juridische afbakening overlapten werden weerhouden.

[2] Sinds 2022 is de resolutie van de orthofoto's 15 cm. Deze foto's werden telkens herschaald naar 25 cm om consistent te blijven.

In specifieke gebieden was het aangewezen om de resultaten van de gemodelleerde bodemafdekking niet te gebruiken. Het gaat om de geblurde gebieden op de luchtfoto's enerzijds en (vanaf JaarBAK 2023) om stranden en duinen anderzijds. Voor sommige jaren detecteerde de modellering namelijk relatief veel onterechte afdekking in strand- en duingebied. Daarom werden de stranden en duinen geselecteerd[3] in de Biologische Waarderingskaart (BWK) 2023, beheerd door het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek.
Gevoelige sites zoals militaire domeinen en kerncentrales worden sinds 2016 geblurd op de luchtopnames. De bodemafdekking kan hier dan ook niet betrouwbaar gemodelleerd worden. Daarom werd in deze gebieden enkel de administratieve bodemafdekking weerhouden. De nucleaire sites Kerncentrale Doel, Belgoprocess, Joint Research Centre en SCK CEN werden handmatig ingetekend. T.e.m. JaarBAK 2022 werden de resterende geblurde gebieden afgebakend o.b.v. categorie 1400 (= 'militaire gebieden') van de geodata achter de Ruimteboekhouding RSV van het Departement Omgeving. Omdat deze data niet voldoende overeenkwamen, werden de geblurde gebieden vanaf JaarBAK 2023 jaarlijks handmatig ingetekend. Hiervoor werd een kaart met de kleurvariantie afgeleid uit de luchtfoto van het jaar in kwestie. Plekken met weinig variantie kwamen in aanmerking als potentieel geblurd gebied.

4 METHODE

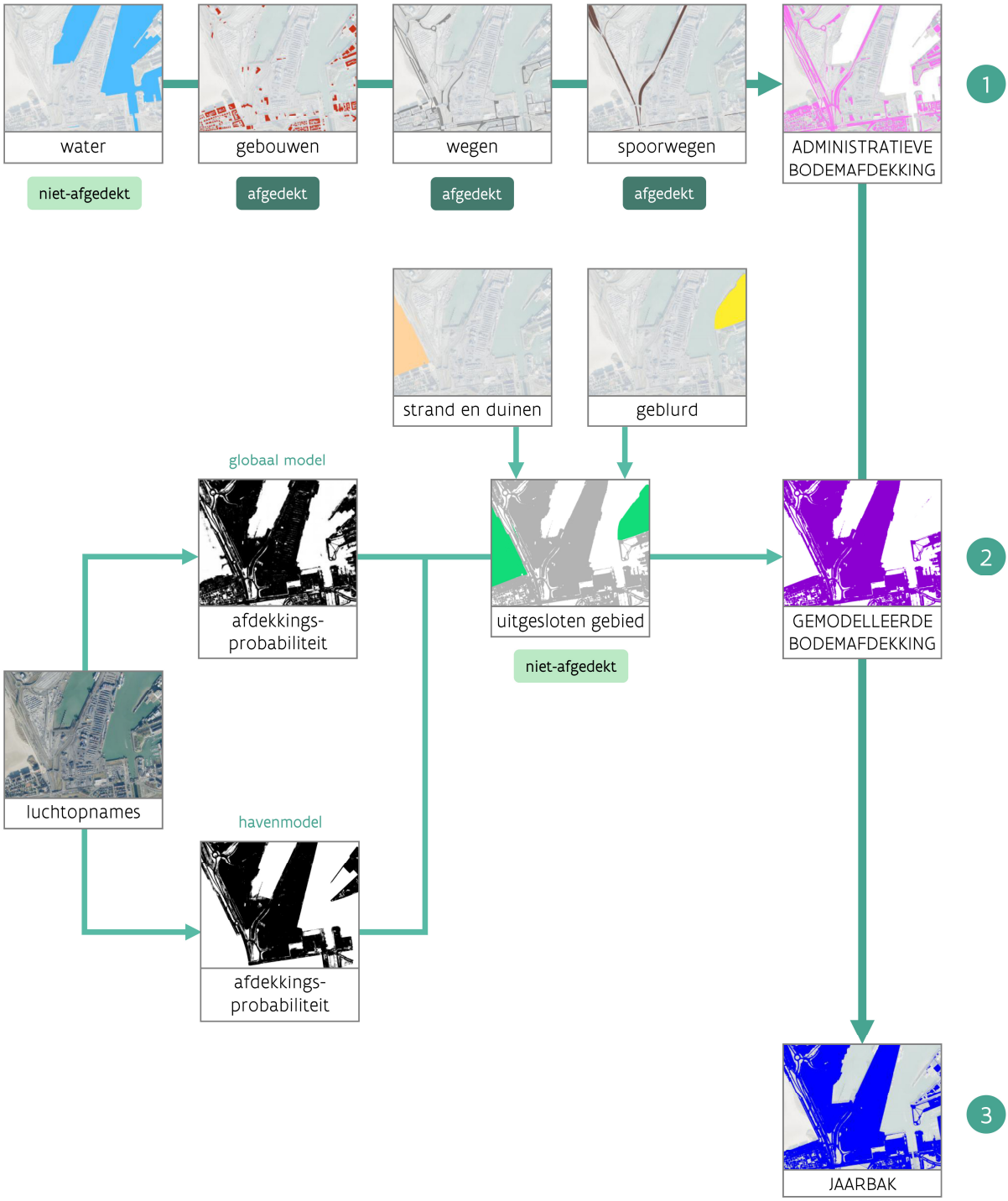
De bodemafdekking in Vlaanderen werd elk jaar afgeleid o.b.v. een hiërarchische beslissingsketen die elke pixel toewijst aan 'afgedekt' of 'niet-afgedekt' (Figuur 1). Om te beginnen werd informatie uit het GRB verzameld en verwerkt tot de administratieve bodemafdekking[4]. In een volgende stap werd de bodemafdekking gemodelleerd o.b.v. machine learning. Initieel werd een globaal model opgesteld voor heel Vlaanderen. Omdat dit model minder goed bleek te presteren in havengebied, werd een bijkomend model gedefinieerd om meer afdekking binnen de havens te detecteren in combinatie met het globaal model. Strand en duinen enerzijds en geblurde gebieden op de luchtfoto's anderzijds werden genegeerd bij het toepassen van de machinelearningmodellen. Ten slotte werd de informatie uit de voorgaande stappen gecombineerd tot een jaarlijkse bodemafdekkingskaart (JaarBAK).

4.1 ADMINISTRATIEVE BODEMAFDEKKING

Gebouwen, wegen en spoorwegen die met zekerheid voor afdekking zorgen zitten met grote nauwkeurigheid en aan een hoge updatefrequentie in het GRB. Omgekeerd leveren gegevens uit het GRB over water ook informatie over vaststaande niet-afdekking. De water- en gebouwlagen uit het GRB konden rechtstreeks gebruikt worden. De wegen en spoorwegen vereisten daarentegen extra procedures om tot een bruikbare laag te komen. De uiteindelijk bekomen water-, gebouw-, weg- en spoorweglagen werden omgezet naar 1m-rastercellen. Deze administratieve afdekking en niet-afdekking kregen in de beslissingsketen voorrang op de gemodelleerde bodemafdekking (Figuur 1). Voor pixels die onder de administratieve bodemafdekking vielen werd de informatie uit de gemodelleerde bodemafdekking dus genegeerd.

[3] Stranden en duinen in de BWK bevatten 'dd' of 'dl' als eerste twee letters voor EENH1, EENH2, EENH3 of EENH4 ('d' = duinen, slikken en schorren; 'l' = populierenaanplanten) en niet 'u' als eerste letter van EENH1, EENH2 of EENH3 ('u' = urbane gebieden).

[4] Voor 2012 kon geen jaarlijkse bodemafdekkingskaart opgesteld worden omdat toen nog geen GRB beschikbaar was.



Figuur 1: Overzicht van de opeenvolgende stappen voor het opstellen van de jaarlijkse bodemafdekkingskaart (JaarBAK). De dikke pijlen geven de volgorde van de beslissingsketen aan om een pixel toe te wijzen aan 'afgedekt' of 'niet-afgedekt'.

4.1.1 Water

De Watergang-laag (Wtz) van het GRB werd gebruikt om de waterlopen en stilstaande water-oppervlakken als 'niet-afgedekt' te beschouwen. Zij stond helemaal bovenaan de hiërarchie om een waarde toe te wijzen aan de pixels van de JaarBAK.

4.1.2 Gebouwen

Uit de Gebouw aan de grond- (Gbg), Gebouwaanhorigheid- (Gba), Kunstwerk- (Knw) en Terrein-lagen (Trn) werden dezelfde elementen geselecteerd als bij het opstellen van de BAK (Tabel 2). In tegenstelling tot de BAK werd wel nog 'overbrugging' toegevoegd aan de Knw-selectie. Omdat de waterlaag voorrang heeft op alle andere lagen, werden bruggen over water geclassificeerd als 'niet-afgedekt'. De bodem is hier namelijk niet verstoord, wat volgens de definitie vereist is om van bodemafdekking te spreken. De gebouwlaag had voorrang op alle onderliggende lagen in de beslissingsketen.

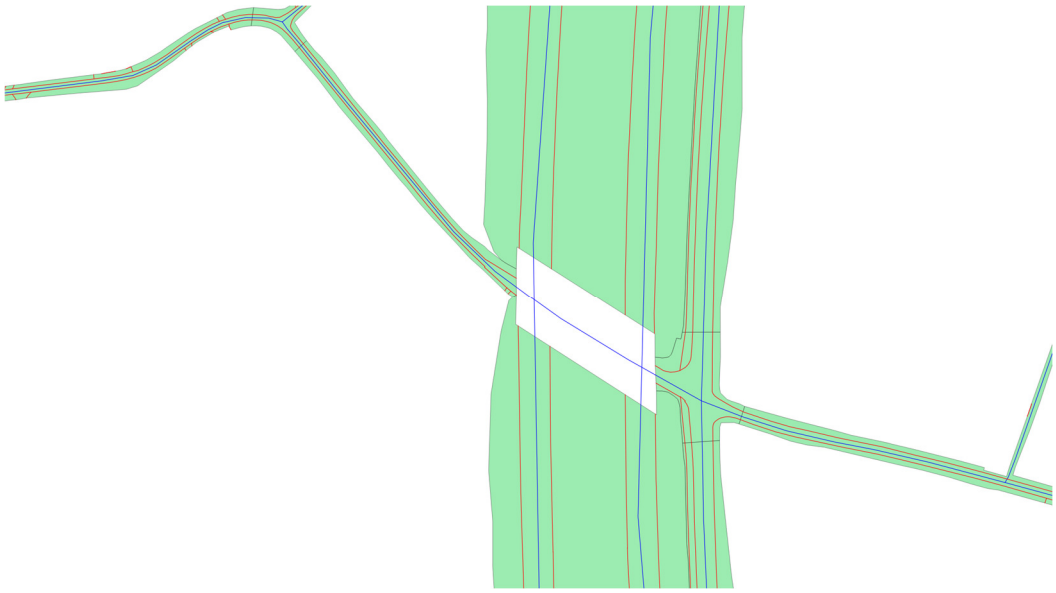
4.1.3 Wegen

Binnen de Wegbaan-polygonen van het GRB liggen vaak niet-afgedekte stukken van bv. auto-snelwegen en rotondes. Omdat bij de opmaak van de JaarBAK geen polygonendataset bestond van de zuiver afgedekte stukken van wegen, werd een algoritme ontwikkeld om deze af te leiden. Hiervoor werd gebruik gemaakt van de Wegverbinding- (Wvb) (t.e.m. JaarBAK 2022), Wegsegment- (vanaf JaarBAK 2023) en Wegopdeling-lijnen (Wgo) van het GRB, naast de Wegbaan-polygonen (Tabel 2). In de rest van 4.1.3 slaat 'Wvb' op zowel de Wegverbindingen als de Wegsegmenten.

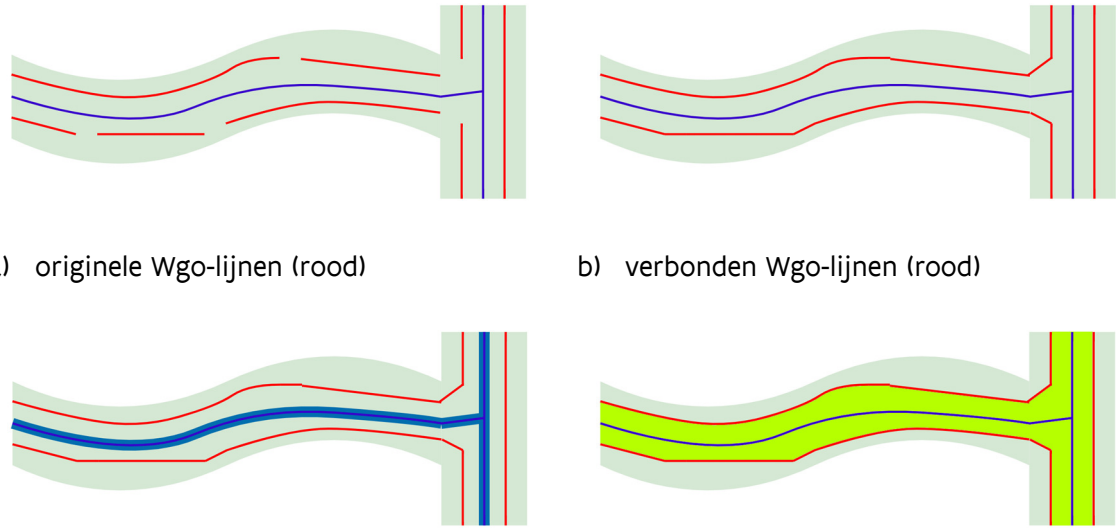
De Wvb-lijnen vallen min of meer samen met het midden van de wegen. Zij bevatten informatie over het al dan niet afgedekt zijn van de weg, maar niet over de wegbreedte. De Wgo-lijnen komen overeen met de grenzen van niet-afgedekte zones of zones voor zwakke weggebruikers en de randen van de rijbaan (Figuur 2). Wat tussen de Wgo-lijnen aan weerszijden van een Wvb-lijn valt en binnen de Wegbaan-polygonen ligt, werd door het algoritme als 'afgedekt' beschouwd.

Het algoritme werd toegepast per kaartblad. Hiervoor werden de Wvb-, Wgo- en Wbn-lagen geknipt binnen dit kaartblad. Zowel de Wvb- als Wgo-lijnen werden licht vereenvoudigd tot een nauwkeurigheid van 1 cm. Overgebleven Wgo-stukken kleiner dan 2,5 m werden verwijderd. Vervolgens werden alle Wgo-lijnen indien nodig verbonden met de dichtstbijzijnde Wgo-lijn (Figuur 3).

De Wegbaan-polygonen werden opgesplitst in kleinere polygonen o.b.v. de verbonden Wgo-lijnen. Binnen elke opgesplitste Wbn-polygoon werd een buffer berekend rond de langste aaneengesloten Wvb-lijn. Deze buffer was 4 m breed in het geval van een autosnelweg en 1 m breed voor een andere weg. Indien de Wvb-buffer minstens 10% uitmaakte van de Wbn-oppervlakte, werd het stuk Wbn tussen de Wgo-lijnen weerhouden als 'afgedekte weg' (Figuur 3). Op die manier werd vermeden dat Wbn-stukken onterecht als 'afgedekt' werden beschouwd. De langste aaneen-gesloten Wvb-lijn werd gekozen omdat sommige Wbn-stukken meerdere parallelle Wvb-lijnen hebben met niet-afgedekte zones die niet zijn aangegeven door Wgo-lijnen. Om te vermijden dat deze niet-afgedekte zones onterecht als 'afgedekt' werden beschouwd, werd enkel de langste aaneengesloten Wvb-lijn gebruikt. Wanneer geen Wbn kon worden weerhouden (bv. door het ontbreken van voldoende Wgo's), werd voor elk stuk afgedekte Wvb een buffer van 1 m (4 m bij autosnelwegen) getrokken om toch nog een minimumbreedte 'afgedekte weg' over te houden.



Figuur 2: Wbn- (groen), Wvb- (blauw) en Wgo-lijnen (rood) ter hoogte van de E19 in Mechelen. Een tunnel zorgt voor de witte onderbreking in de Wbn-polygoon.



a) originele Wgo-lijnen (rood)

b) verbonden Wgo-lijnen (rood)

c) buffer (blauw) rond de langste aaneengesloten Wvb-lijn binnen een Wbn-stuk

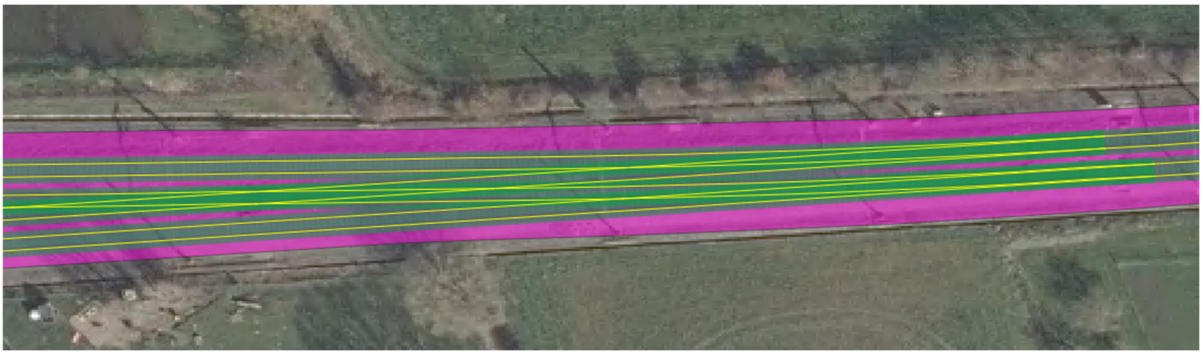
d) uiteindelijk weerhouden Wbn-gedeelte (geel) binnen de Wgo-lijnen o.b.v. de buffer

Figuur 3: Voorbeeld van het wegenalgoritme.

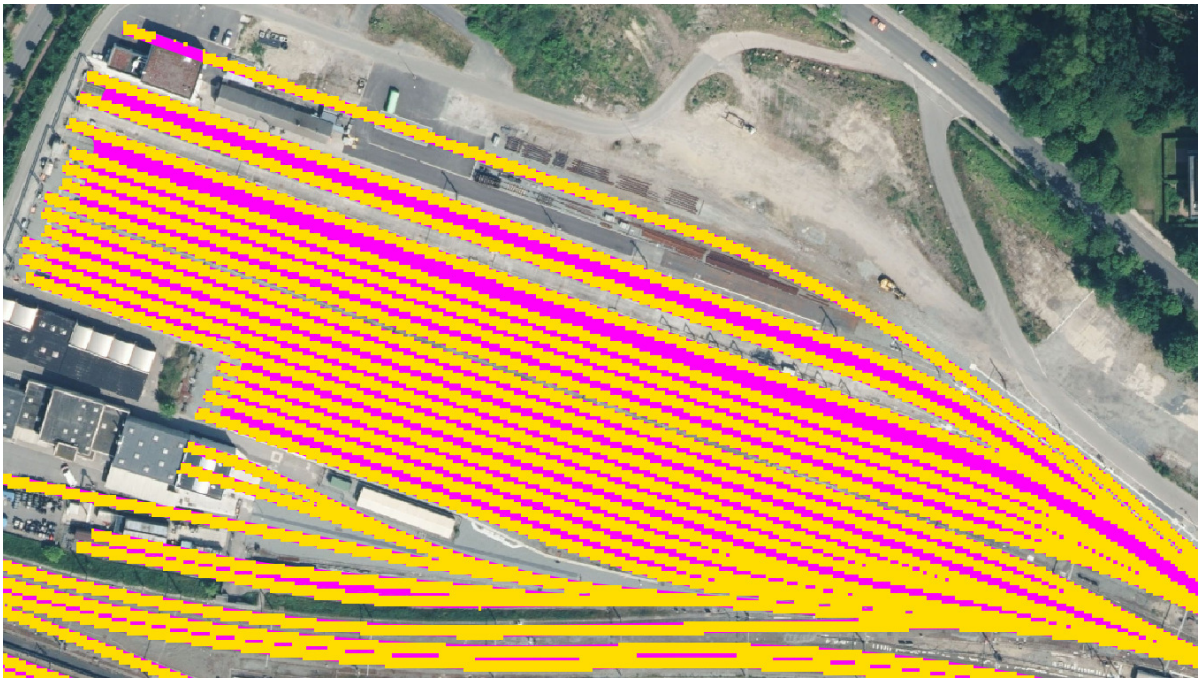
4.1.4 Spoorwegen

Net zoals bij de Wbn-laag liggen binnen de Spoorbaan-laag (Sbn) van het GRB ook niet-afgedekte zones. Gelijkaardig aan het algoritme van de wegen hierboven werden daarom extra lagen gebruikt om deze niet-afgedekte zones uit te sluiten. De Wrl-lijnen van het GRB bevatten enerzijds de tramsporen en anderzijds de treinsporen vanaf 2020. Om toch nog treinsporen in rekening te brengen vóór 2020, werden de Wrl-lijnen van 2020 gekruist met de Sbn-laag van het beschouwde jaar. Nieuwe spoorwegen die zijn aangelegd na het jaar in kwestie werden op deze manier genegeerd. Er valt evenwel van uit te gaan dat de spoorwegen nauwelijks veranderd zijn tussen 2013 en 2020.

In Vlaanderen zijn de tram- en treinsporen respectievelijk 1 m en 1,435 m breed. Rond elke tramspoorlijn werd een buffer van 60 cm bepaald en rond elke treinspoorlijn één van 80 cm (Figuur 4). Op die manier werd de ruimte tussen en aan de buitenkant van de rails als 'afgedekt' beschouwd. Vanaf JaarBAK 2023 werd het algoritme aangepast om ook de smalle stroken tussen spoorbundels als 'afgedekt' te beschouwen (Figuur 5). Deze stroken wisselden vanwege de modellering onrealistisch vaak af tussen 'afgedekt' en 'niet-afgedekt' doorheen de tijd.



Figuur 4: Buffer (groen) rond de Wrl-lijnen (geel) binnen een Sbn-polygoon (roze).



Figuur 5: Opvulling van de stroken (roze) tussen spoorwegbundels (geel) als 'afgedekt'.

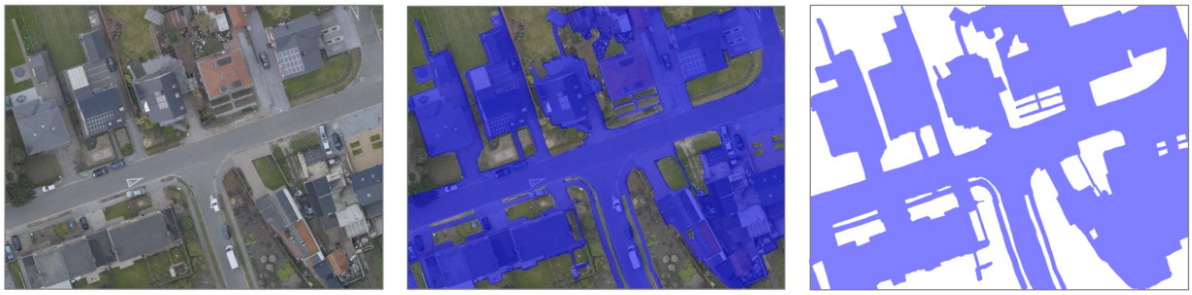
4.2 GEMODELLEERDE BODEMAFDEKKING

De GRB-lagen vatten in de eerste stap al een significant deel van de bodemafdekking in Vlaanderen. Andere belangrijke vormen van afdekking zoals parkings, private opritten en tuinterrassen zitten echter niet (afdoende) in administratieve databanken. Om die "resterende" bodemafdekking in Vlaanderen toch in rekening te brengen, werden twee machinelearning-modellen opgesteld via semantische segmentatie o.b.v. het U-Net-model[5] (Ronneberger et al., 2015). Initieel werd één globaal model ontwikkeld voor heel Vlaanderen. Aangezien dit model relatief minder goed bleek te presteren in havengebied, werd een tweede model opgesteld dat zich vanaf JaarBAK 2023 specifiek op het havengebied richtte. De resultaten van dit model werden gecombineerd met die van het globaal model in de havens.
Om te beginnen werd trainingsmateriaal aangemaakt om de modellen afdekking te leren herkennen. Vervolgens werd op basis van de modelresultaten een gemodelleerde bodemafdekkingskaart opgesteld. Ten slotte werd ook nog een correctie doorgevoerd om een temporeel consistent resultaat te verzekeren.

4.2.1 Training

Initieel werd voor het globaal model op de beschikbare orthofoto's tussen 2012 en 2020 de bodemafdekking handmatig gelabeld. Omdat dit model slechter leek te presteren op luchtfoto's buiten dit tijdsvenster (dus vanaf 2021), werd aanvullend bijgetraind op luchtfoto's van 2021 t.e.m. 2023. Daarnaast werd voor het havenmodel apart trainingsmateriaal gelabeld op luchtfoto's van 2023 in de vier zeehavens van Vlaanderen (Antwerpen, Gent, Oostende en Zeebrugge).

Voor het globaal model werden gebieden van telkens 1024 x 768 pixels willekeurig uit de orthofoto's geknipt. Een beoordelaar duidde vervolgens op deze gebieden de afgedekte zones (de *ground truth*) aan op een tablet met speciaal hiervoor ontwikkelde software (Figuur 6). In totaal werden 1.387 afbeeldingen[6] van telkens 4,92 ha gelabeld, wat overeenkomt met een totale gelabelde oppervlakte van zo'n 6.825 ha. Na enkele eerste tests werd extra gelabeld materiaal selectief toegevoegd voor die situaties waar het model minder nauwkeurig presteerde. Voor het havenmodel werd 2.005 ha gelabeld.



te labelen afbeelding | weergave tijdens het labelen | labelresultaat

Figuur 6: Voorbeeld van de labeling.

[5] Dit convolutioneel neuraal netwerk werd oorspronkelijk ontwikkeld voor biomedische doeleinden, maar kent ondertussen ook toepassingen op andere types beeldmateriaal.

[6] 1.007 afbeeldingen voor de periode 2012–2020 en 380 voor de periode 2021–2023.

70% van de gelabelde afbeeldingen werd beschouwd als de trainingsset. Op basis hiervan werd het model getraind om bodemafdekking te herkennen op zowel reeds gekende als nieuwe orthofoto's. De resterende 30% deed dienst als testset om de resultaten van de modellen te valideren.

Het trainingsmateriaal en de overeenkomstige labelresultaten werden in kleinere stukken geknipt voor een vlottere verwerking door het model. Om het trainingsmateriaal maximaal te laten renderen, werd uit elke originele afbeelding van 1024 x 768 pixels zes deels overlappende deelgebieden van 512 x 512 pixels afgeleid (Figuur 7). Hiervoor werd het knipvenster telkens 256 pixels horizontaal of verticaal verschoven. Ten slotte werden alle geknipte afbeeldingen ook 90°, 180° en 270° geroteerd om zo vier keer meer materiaal te bekomen. Bij de initiële training leverde dit 16.896 geknipte afbeeldingen op in de trainingsset en 7.272 in de testset. Voor de bijtraining werd ongeveer een derde toegevoegd.

De eigenlijke training van de modellen gebeurde met TensorFlow (Abadi et al., 2015) in Python. Het trainen van het globaal model werd initieel stopgezet na 10 epochs – wat overeenkomt met alle afbeeldingen uit de trainingsset één keer voorleggen aan het model – toen geen substantiële verbetering van de nauwkeurigheid werd vastgesteld. Op basis van het extra gelabeld materiaal van 2021 t.e.m. 2023 werd het globaal model nog 5 epochs bijgetraind.

Het havenmodel werd opgesteld door het globaal model nog 4 epochs bij te trainen o.b.v. het specifiek haventrainingsmateriaal tot een apart model. Dit havenmodel werd enkel toegepast in de zeehavens.

Figuur 7: Een 1024 x 768 pixel-afbeelding waaruit zes 512 x 512-afbeeldingen geknipt werden o.b.v. een overlap van 256 pixels.

4.2.2 Modellering

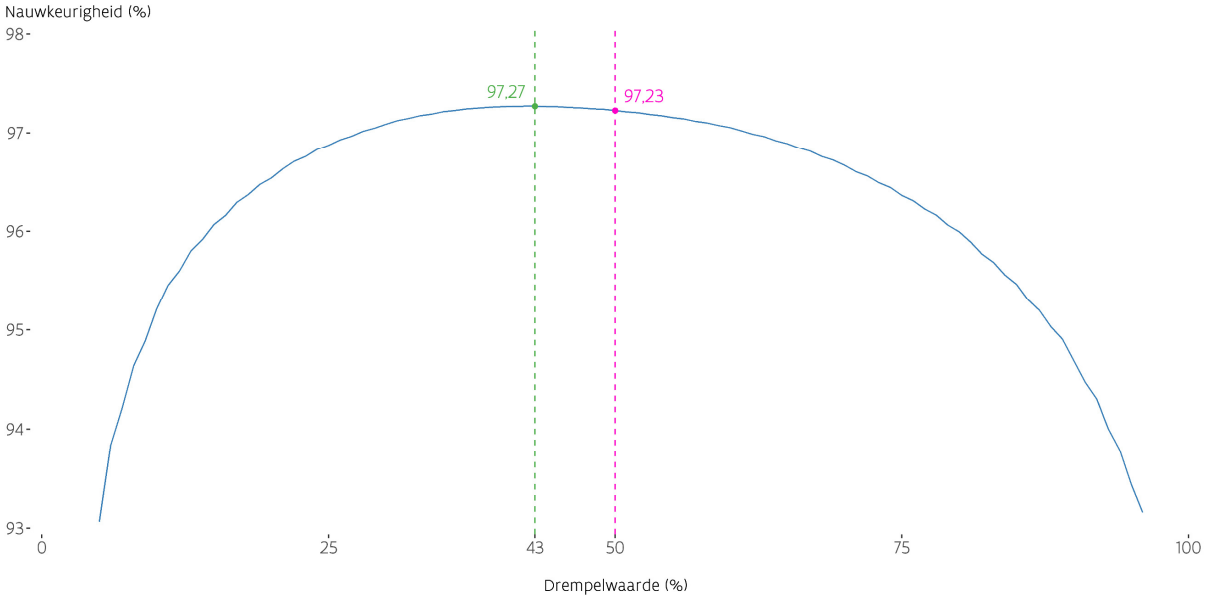
Het globale en het havenmodel werden toegepast op de relevante kaartbladen van de luchtopnames van Vlaanderen. De orthofoto's van 2024 hadden op sommige plaatsen een duidelijk andere kleurenverdeling dan vorige jaren, waardoor de modellering hier beduidend slechter presteerde ('model drift'). Daarom werden deze luchtopnames "gecorrigeerd" via een principale componentenanalyse (PCA), waarbij de orthofoto's van 2023 als referentie dienden (Figuur 8). Hiervoor werden voor 5% willekeurige pixels 1.000 kwantielen berekend per RGB-kanaal. Na de PCA-correctie bleef de model drift voor 2024 eerder beperkt. Ze kan mogelijk nog een effect hebben op de resultaten van JaarBAK 2024, die op het moment van schrijven slechts in een voorlopige versie beschikbaar was.

Elk van de 418 kaartbladen per jaar bestaat uit 32.000 x 20.000 pixels. Deze beelden werden gesplitst in deelgebieden van 512 x 512 pixels (zie hierboven) voor een optimale prestatie. Bij het samenvoegen van de modelresultaten kunnen evenwel ongewenste patronen verschijnen vanwege onnauwkeurigheden in de voorspellingen aan de randen van de afbeeldingen. Daarom werden de voorspellingen nog eens herhaald op een *offset*-versie van het kaartblad, waarbij het opknippen gebeurde na een horizontale en verticale verschuiving van 256 pixels. Dit leverde in totaal 5.040 afbeeldingen van 512 x 512 pixels op per kaartblad (2.520 zonder en 2.520 met offset). Voor elke pixel werd het gemiddelde van de voorspelling met en zonder offset berekend voor een betrouwbaarder resultaat met minder artefacten.

De bekomen probabiliteitskaart voor zowel het globaal als het havenmodel werd vervolgens omgezet in een binaire kaart. Hiervoor werden de pixels met waarden onder 50% als 'niet-afgedekt' geclassificeerd en deze met waarden van minstens 50% als 'afgedekt'. Dit bleek de geschikte drempel om 'afgedekt' t.o.v. 'niet-afgedekt' nauwkeurig te onderscheiden. Een drempel van 43% leverde slechts een kleine, verwaarloosbare verbetering van de nauwkeurigheid op o.b.v. de testset (Figuur 9), zodat gekozen werd voor 50%. Deze binaire kaart werd omgezet naar een resolutie van 1 m voor een snellere verwerking in de volgende stappen.

orthofoto 2023 | originele orthofoto 2024 (met lagere kleurverzadiging) | gecorrigeerde orthofoto 2024

Figuur 8: Correctie van de luchtopnames van 2024 via principale componentenanalyse.



Figuur 9: Bepalen van de drempelwaarde om een door de modellering voorspelde pixel als 'afgedekt' te beschouwen.

4.2.3 Finale toekenning

De finale gemodelleerde bodemafdekkingskaart werd bekomen door de binaire kaarten van de twee modellen enerzijds te combineren en anderzijds te negeren in specifieke gebieden. Voor het havengebied werden de classificaties van beide modellen met elkaar vergeleken. Als minstens één model de pixel als 'afgedekt' identificeerde, werd dit de finale toekenning (Tabel 3). Voor de rest van Vlaanderen buiten de zeehavens werd enkel de toekenning van het globaal model in rekening gebracht.

Voor gevoelige sites (militaire domeinen, kerncentrales ...) enerzijds en stranden en duinen (vanaf JaarBAK 2023) anderzijds werd een aparte procedure gevolgd. In beide types gebied werden de modelresulaten genegeerd en alle pixels beschouwd als 'niet-afgedekt'. Aangezien informatie over water, gebouwen, wegen en spoorwegen (afkomstig uit het GRB) voorrang krijgt bij de toewijzing (Figuur 1), en andere bodemafdekking in deze zones beperkt of afwezig is, levert dit een bruikbaar finaal resultaat op voor deze gebieden.

Tabel 3: Toekenning aan de pixels van de gemodelleerde bodemafdekkingskaart in de zeehavens.

toekenning globaal model	**toekenning havenmodel**	**finale toekenning**
afgedekt	afgedekt	afgedekt
afgedekt	niet-afgedekt	afgedekt
niet-afgedekt	afgedekt	afgedekt
niet-afgedekt	niet-afgedekt	niet-afgedekt

4.2.4 Temporele continuïteit

De hier voorgestelde methode leverde gemodelleerde bodemafdekkingskaarten op voor een reeks opeenvolgende jaren, zodat de evolutie van elke pixel doorheen de tijd kon geanalyseerd worden. Hieruit bleek dat twee wijzigingen voor een pixel op twee jaar tijd (nl. afgedekt → niet-afgedekt → afgedekt en niet-afgedekt → afgedekt → niet-afgedekt) bijna altijd het gevolg waren van onnauwkeurigheden in de gemodelleerde bodemafdekkingskaart. Daarom werd een correctie doorgevoerd om deze afwijkingen weg te werken en temporele continuïteit te bekomen. Meer bepaald werd voor elke pixel gekeken naar de binaire toekenning ('afgedekt'/'niet-afgedekt') o.b.v. de gemodelleerde bodemafdekkingskaart van het jaar in kwestie, het jaar ervoor en het jaar erna (Tabel 4). Voor het vorig jaar werd de gecorrigeerde toekenning gebruikt om de kans dat onnauwkeurigheden zich vermenigvuldigen doorheen de tijd te beperken. Als de toekenning voor het vorig en het volgend jaar hetzelfde was, maar verschilde voor het jaar in kwestie, werd die pixel gecorrigeerd. In alle andere gevallen bleef de originele toekenning behouden.

Deze aanpak vereiste een gecorrigeerde gemodelleerde bodemafdekkingskaart voor het voorgaand jaar en een gemodelleerde bodemafdekkingskaart voor het volgend jaar. De eerstgenoemde kaart was niet beschikbaar voor 2013, aangezien geen middenschalige orthofoto's voor 2011 bestaan. Omdat daarom geen gecorrigeerde kaart voor 2012 kon worden afgeleid, werd voor de temporele continuïteit van 2013 de niet-gecorrigeerde toekenning voor 2012 gebruikt.

Wanneer de middenschalige orthofoto's voor het volgend jaar nog niet beschikbaar zijn, kan geen gemodelleerde bodemafdekkingskaart opgesteld worden voor dat jaar. Omdat op deze manier geen correctie mogelijk is, werden andere regels o.b.v. de probabiliteiten gevolgd om voor het jaar in kwestie toch al een "voorlopige" toekenning te bepalen (Tabel 5). Zodra de orthofoto's voor het volgend jaar wel beschikbaar zijn, wordt de voorlopige gemodelleerde bodemafdekkingskaart vervangen door de gecorrigeerde kaart o.b.v. de regels in Tabel 4.

4.2.5 Jaarlijkse bodemafdekkingskaart

In de laatste stap werd de administratieve en gemodelleerde bodemafdekking samengebracht in een jaarlijkse bodemafdekkingskaart. Hierbij had de administratieve bodemafdekking voorrang op de gemodelleerde informatie bij de toekenning van 'afgedekt' of 'niet-afgedekt'. Deze 1m-kaart werd vervolgens geaggregeerd tot een versie met 5m-resolutie om tot een gemakkelijker hanteerbaar eindproduct te komen. De pixels van deze 5m-kaart hebben een waarde tussen 0 en 100 die overeenkomt met het percentage afgedekte 1m-cellen.

De nauwkeurigheid van de bekomen jaarlijkse bodemafdekkingskaart werd bepaald o.b.v. dezelfde testset als voor de validatie van de modellering. De afbeeldingen uit 2012 werden uit deze testset verwijderd vanwege het ontbreken van een JaarBAK voor dat jaar. Ook het selectief toegevoegd gelabeld materiaal ter verbetering van het globaal model werd niet meegenomen omdat deze niet afkomstig is uit een willekeurige steekproef. Daarna werden de overgebleven afbeeldingen handmatig gecontroleerd op hun nauwkeurigheid. Als de beoordelaar te veel of te weinig bodemafdekking had aangeduid, werd deze afbeelding niet gebruikt. Afbeeldingen met bomen die afgedekte wegen volledig overdekken werden eveneens niet in beschouwing genomen. De beoordelaars hadden namelijk de instructie gekregen om deze afgedekte wegen niet als 'afgedekt' aan te duiden, aangezien het model hier niet correct uit zou leren. Deze wegen komen echter wel voor in de jaarlijkse bodemafdekkingskaart o.b.v. het wegenalgoritme (zie 4.1.3). Op basis van deze selectie bleven 159 gelabelde afbeeldingen over, samen goed voor een oppervlakte van 782 ha voor 2013 t.e.m. 2020.

Tabel 4: Correctie van de toekenning van de gemodelleerde bodemafdekkingskaart voor temporele continuïteit.

gecorrigeerde toekenning	**originele toekenning**	**originele toekenning**	**gecorrigeerde toekenning**
vorig jaar	**jaar in kwestie**	**volgend jaar**	**jaar in kwestie**
niet-afgedekt	afgedekt	afgedekt	blijft afgedekt
afgedekt	niet-afgedekt	niet-afgedekt	blijft niet-afgedekt
niet-afgedekt	afgedekt	niet-afgedekt	wordt niet-afgedekt
afgedekt	niet-afgedekt	afgedekt	wordt afgedekt

Tabel 5: Voorlopige toekenning aan de pixels van de gemodelleerde bodemafdekkingskaart wanneer de luchtopnames van het volgend jaar nog niet beschikbaar zijn.

probabiliteit	**probabiliteit**	**voorlopige toekenning**
vorig jaar	**jaar in kwestie**	**jaar in kwestie**
	< 35%	niet-afgedekt
< 50%	35–65%	niet-afgedekt
≥ 50%	35–65%	afgedekt
	≥ 65%	afgedekt

5 RESULTATEN

5.1 ADMINISTRATIEVE BODEMAFDEKKING

5.1.1 Wegenalgoritme

De JaarBAK gebruikt enerzijds administratieve databanken om de gekende bodemafdekking te bepalen en anderzijds de gemodelleerde bodemafdekking om de ruimte daartussen op te vullen. Omdat laatstgenoemde als “opvangnet” kon gezien worden, was het belangrijk dat het ontwikkelde wegenalgoritme (zie 4.1.3) geen foutpositieven opleverde, i.e. pixels die in werkelijkheid geen afgedekte weg zijn, maar toch als ‘afgedekt’ werden aangeduid. Daarom werden de resultaten van het algoritme gevalideerd o.b.v. de testset voor het globaal model. Hieruit kwam slechts 0,11% foutpositieve ‘afgedekte weg’-pixels naar voren. Visueel viel ook af te leiden dat een zeer groot deel van de afgedekte wegen effectief als dusdanig werd aangeduid door het algoritme.

De meerwaarde van het wegenalgoritme is duidelijk wanneer het resultaat vergeleken wordt met de Wegbaan-polygonen (Wbn) uit het GRB (Figuur 10). Vooral bij autosnelwegen slaagt het algoritme er heel goed in om niet-afgedekte stukken te omzeilen (Figuur 11). Het laat bovendien ook toe om consequent wegen te onderscheiden die sommige jaren – afhankelijk van het tijdstip van opname en dus van de stand van het gebladerte – overdekt worden door bomen. In het laatste geval detecteert het model deze wegen niet, zoals bv. aan de westkant van het kanaal in Figuur 12.

5.1.2 Wegsegmenten en spoorbundels

Zoals aangegeven in 3.1 zorgde de inkanteling van het Wegenregister in het GRB noodgedwongen voor een gewijzigde definitie van de "gekende afgedekte wegen". Vanaf JaarBAK 2023 werden hiervoor de Wegsegmenten met 'vaste verharding' geselecteerd. De Wegsegmenten met 'losse' of 'zowel vaste als losse verharding' bestaan uit een mix van wegtypes die moeilijker al dan niet onder bodemafdekking te plaatsen zijn. Uitgaande van een breedte van 2 m nemen deze wegen in 2023 7.875 ha in. 1.315 ha hiervan (16,7%) werd door de modellering als bodemafdekking gedetecteerd. De resterende 6.560 ha werd in JaarBAK 2023 'niet-afgedekt', wat waarschijnlijk voor een zekere onderschatting zorgt van de verharde oppervlakte in Vlaanderen.

Daarnaast is het wegennet uitgebreider in het Wegenregister. Opnieuw uitgaande van een breedte van 2 m, nemen de "nieuwe" wegen t.o.v. Wvb zo'n 8.900 ha in. In JaarBAK 2022 werd 2.445 ha hiervan als 'afgedekt' beschouwd, tegenover 3.035 ha in JaarBAK 2023. Met een verschil van 590 ha lijkt de impact van de overgang van Wegverbindingen naar Wegsegmenten dus beperkt.

De smalle stroken tussen spoorwegen vertoonden doorheen de tijd een onregelmatig patroon van nu eens wel en dan weer niet 'afgedekt'. Het spoorwegalgoritme werd zodanig aangepast dat het deze stroken vanaf JaarBAK 2023 ook als 'afgedekt' beschouwde. Dit zorgde voor 125 ha extra spoorafdekking (+7,5%).

Figuur 10: Resultaat van het wegenalgoritme (geel) voor een woonwijk in het noorden van Mechelen. De Wegbaan- (groen), Wegverbinding- (blauw) en Wegopdeling (rood)-lagen uit het GRB zijn toegevoegd ter referentie.

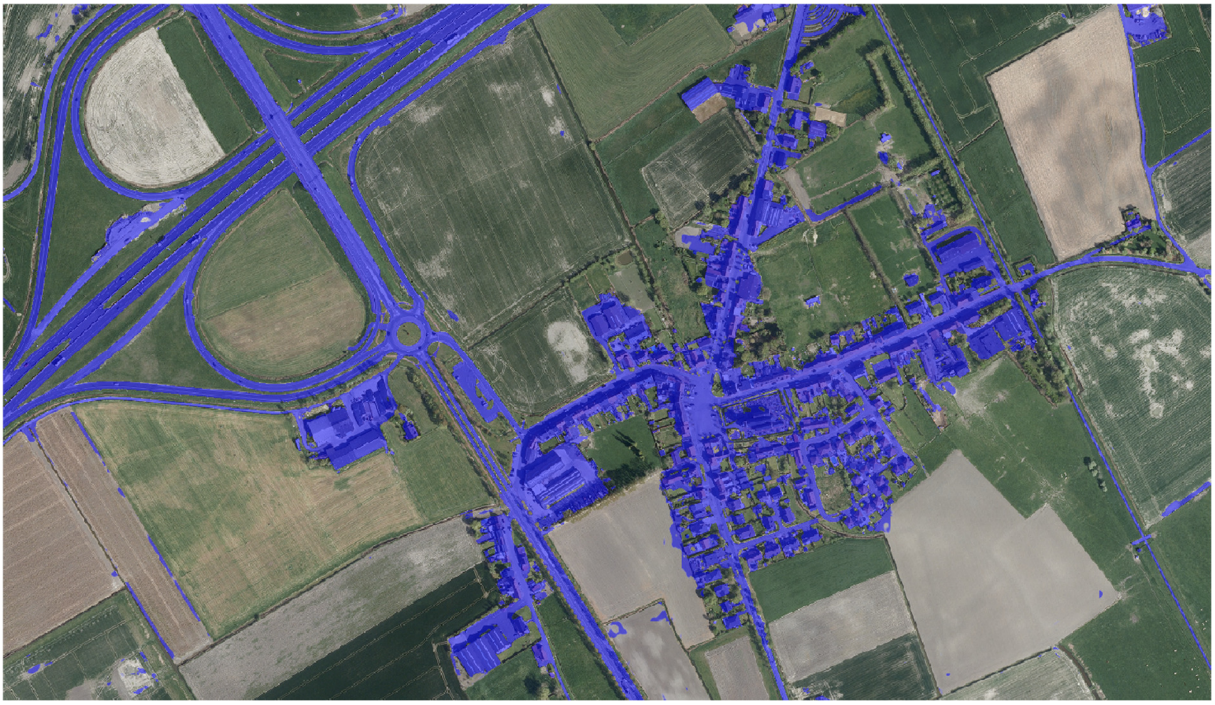
Figuur 11: Resultaat van het wegenalgoritme (geel) voor de E19 ten hoogte van Mechelen. De Wegbaan- (groen), Wegverbinding- (blauw) en Wegopdeling (rood)-lagen uit het GRB zijn toegevoegd ter referentie. Ter hoogte van de tunnel zijn geen Wgo-lijnen beschikbaar, waardoor enkel de minimale wegbreedte werd toegepast.

Figuur 12: Resultaat van het wegenalgoritme (geel) voor het Kanaal Leuven-Dijle ter hoogte van Mechelen. De Wegbaan- (groen), Wegverbinding- (blauw) en Wegopdeling (rood)-lagen uit het GRB zijn toegevoegd ter referentie.

5.2 GEMODELLEERDE BODEMAFDEKKING

De machinelearningmodellen leverden een kaart op met een “afdekkingszekerheid” voor elke pixel. Hieruit werd een binaire kaart afgeleid door pixels met een waarde van minstens 50% als ‘afgedekt’ te beschouwen en de rest als ‘niet-afgedekt’ (Figuur 13). Dit resultaat werd gevalideerd aan de hand van de testset van het gelabeld materiaal, wat een nauwkeurigheid van 96,8% opleverde. De werkelijke nauwkeurigheid van de gemodelleerde bodemafdekkingskaarten zal iets hoger liggen, aangezien het gemiddelde van twee overlappende voorspellingen werd gebruikt voor elke pixel.

De lokale nauwkeurigheid varieert onvermijdelijk van plaats tot plaats. Het model presteert uitstekend op plekken met veel detail en afwisseling zoals bv. woonwijken. Bij bepaalde grote oppervlakken met water of beton maakt het model daarentegen vaker fouten. De nauwkeurigheid van de beoordelaar bepaalt hierbij de bovengrens van de nauwkeurigheid van het model. Als de menselijke beoordelaar onzeker is of fouten maakt bij het labelen, kan niet verwacht worden dat het model het beter doet. Zelfs voor menselijke ogen is het op middenschalige orthofoto’s niet altijd 100% duidelijk of er al dan niet sprake is van bodemafdekking. Zo is het onderscheid tussen platgetreden grond en met aarde bedekte beton/asfalt vaak niet duidelijk op landwegen en rond (landbouw)bedrijven. Ook beperken schaduwen van gebouwen en overhangende bomen of struiken soms de zichtbaarheid. Afgedekte zones die van bovenaf niet zichtbaar zijn door overhangende bomen duidt het model veelal als ‘niet-afgedekt’ aan. De temporele continuïteit besproken in 4.2.4 kan hierbij wel helpen om vermoedelijk valse veranderingen in bodemafdekking weg te werken. Daarnaast moet ook rekening gehouden worden met de relatief ‘smalle blik’ van het model: het kijkt naar overgangen tussen pixels zonder besef van de ruimere context of de achtergrondkennis van een menselijke beoordelaar. Ten slotte is in uitzonderlijke gevallen een deel van een kaartblad van slechte kwaliteit.



Figuur 13: De gemodelleerde bodemafdekkingskaart (blauw) en de winterluchtopname voor 2014 in Ramskapelle (Nieuwpoort).

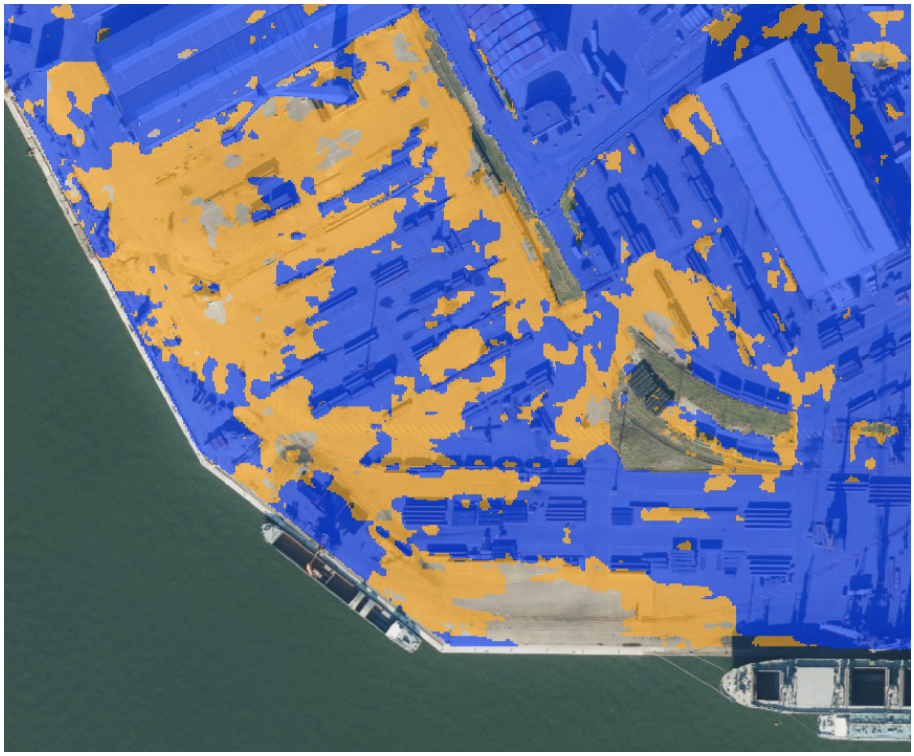
5.2.1 Havenmodel

In het havengebied komen veel grote, egale oppervlakken voor, waarmee het globaal model minder goed overweg kan. Daarom werd een havenmodel ontwikkeld om specifiek voor de zeehavens meer afgedekte oppervlaktes te detecteren vanaf JaarBAK 2023. Dit model slaagde erin om een groot deel van de door het globaal model "gemiste" afdekking op te vangen (Figuur 14). Op die manier werd in 2023 met behulp van het havenmodel 765 ha extra verharde oppervlakte gedetecteerd.

5.2.2 Geblurde gebieden en strand en duinen

Vanwege de onbruikbare resolutie in de geblurde gebieden op de luchtfoto's vanaf 2016 werden de modelresultaten hier niet toegepast en enkel afdekking o.b.v. het GRB behouden. De initieel gebruikte laag bakende gebieden af die in werkelijkheid niet geblurd waren (vaak vliegvelden) of zag bepaalde geblurde stukken net over het hoofd (vaak onvolledig gedefinieerde militaire domeinen). Dit zorgde voor respectievelijk gemiste en onterechte afdekking.
De initiële laag dekte 14.145 ha. Na het aanpassen hiervan tot een nieuwe laag voor de luchtfoto's van 2023 werd 11.844 ha geïdentificeerd als geblurd gebied. In de niet-overlappende stukken van beide lagen detecteerde de modellering netto 37 ha meer afdekking in 2023 dan in 2022. Dit is de som van wat er bijgekomen is door onterechte afbakeningen te verwijderen (+50,5 ha) en wat er verdwenen is door gemiste geblurde stukken wel aan te duiden (-13,5 ha).

Vanaf JaarBAK 2023 werden de modelresultaten genegeerd op het strand en in de duinen, dat voortaan als 'niet-afgedekt' werd beschouwd. In 2023 werd op deze manier 99,7 ha die de modellering als 'afgedekt' detecteerde toch 'niet-afgedekt' in de JaarBAK.



Figuur 14: 'Afgedekt' volgens het globaal model (blauw) en extra 'afgedekt' volgens het havenmodel (oranje) aan het Churchilldok in de haven van Antwerpen in 2023.

5.3 JAARLIJKSE BODEMAFDEKKINGSKAART

Na het doorlopen van de beslissingsketen om aan elke pixel een waarde toe te kennen o.b.v. de administratieve en gemodelleerde bodemafdekking werd een jaarlijkse bodemafdekkingskaart bekomen voor elk beschikbaar jaar (Figuur 15). Voor JaarBAK 2023 vulde de administratieve bodemafdekking 8,4% van de oppervlakte van Vlaanderen in als 'afgedekt', waarvan twee derde o.b.v. de gebouwen (Figuur 16). De modellering detecteerde 7,3% van de oppervlakte als 'afgedekt'.

Op basis van de testset behaalt de JaarBAK een nauwkeurigheid van 97,8%. Deze waarde is waarschijnlijk een onderschatting, aangezien het gelabeld materiaal kleine fouten kan bevatten. De grootste verschillen t.o.v. de ground truth bevinden zich aan de randen van bodemafdekking, bv. een weg die net iets smaller of breder gelabeld is dan wat uiteindelijk op de bodemafdekkingskaart te zien is.

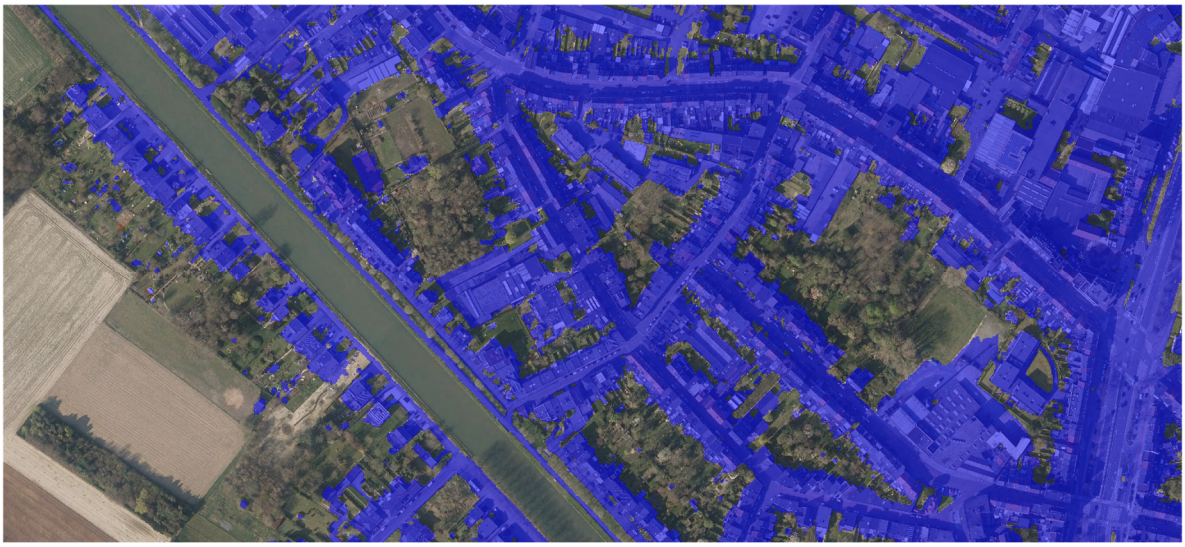
Ook de 5m-versie van de JaarBAK werd geëvalueerd op basis van dezelfde, naar 5 m geaggregeerde testset. De afdekkingspercentages van deze datasets werden omgezet naar een binaire waarde (< 50% = 'niet-afgedekt'; ≥ 50% = 'afgedekt'). De 5m-versie van de jaarlijkse bodemafdekkingskaart behaalt een nauwkeurigheid van 98,0%.

Alle jaarlijkse bodemafdekkingskaarten zijn publiek beschikbaar op Geopunt. Ze worden aangeboden op de 1m- en 5m-resoluties als online raadpleegbare kaart en downloadpakket voor eigen analyses. Elk jaar wordt een nieuwe versie van de JaarBAK gepubliceerd.

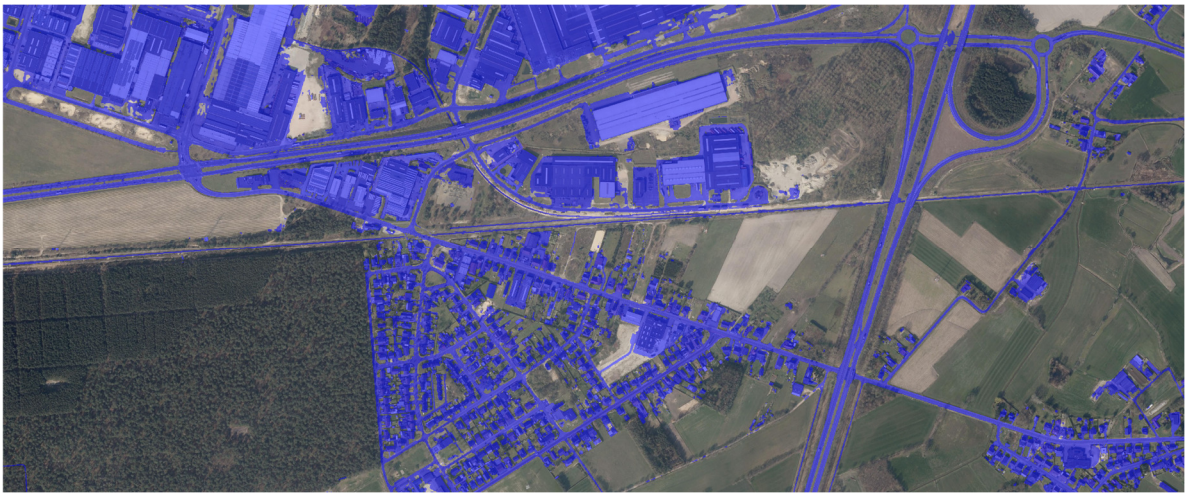
6 VISUELE EVALUATIE

Zoals hierboven aangegeven behaalt de jaarlijkse bodemafdekkingskaart een hoge nauwkeurigheid op basis van de testset. Naast het berekenen van een globaal cijfer werden de resultaten van de JaarBAK ook visueel geëvalueerd. De grootste verdienste van de JaarBAK is dat zij zaken oppikt die niet (voldoende) in het GRB zitten, maar een significant aandeel vormen van de reële afdekking, zoals terrassen en opritten van huizen, samen met parkings en verharde pleinen. Sportvelden met gravel of blauw kunstgras herkent de modellering ook vlot als 'afgedekt'. Dankzij het gebruikte wegenalgoritme zijn niet-afgedekte stukken op (grote) wegen terecht 'niet-afgedekt'.

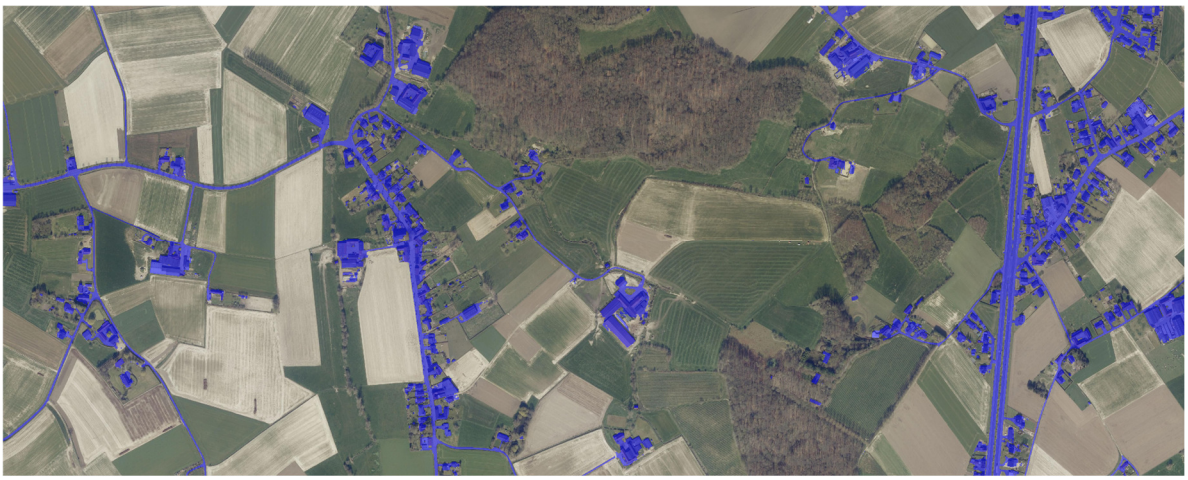
Voor andere zaken is de classificatie in de JaarBAK evenwel onterecht. Zo was het voor een beoordelaar, en bijgevolg ook voor het model, heel moeilijk om groene kunstgrasvelden te onderscheiden van sportvelden met echt gras. Bij gebrek aan bijkomende data, zoals een tijdsreeks van gedetailleerde kunstgrasveldpolygonen, konden groene kunstgrasvelden onterecht als 'niet-afgedekt' voorkomen. Ook worden al dan niet tijdelijke serreoverspanningen van tuin- of landbouwvelden doorgaans aangeduid als 'afgedekt', wat waarschijnlijk eerder niet gewenst is (zie 6.1). Vlakke industrieterreinen, eventueel bedekt met zand of andere materialen, worden daarnaast soms onterecht als 'niet-afgedekt' aangeduid door het model. Dit probleem speelt dankzij het havenmodel minder in de zeehavens vanaf JaarBAK 2023, maar komt in de rest van Vlaanderen nog voor (zie 6.2).



westkant van Mechelen

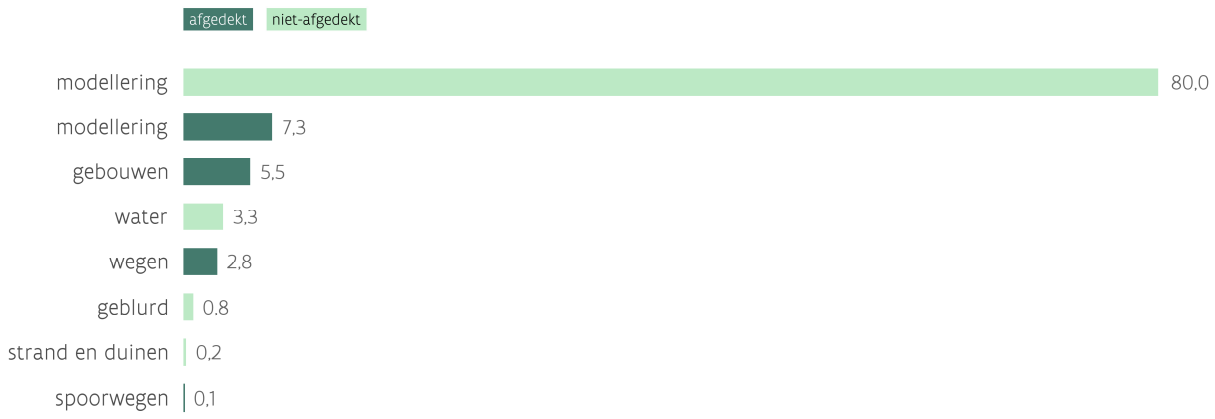


zuiden van Overpelt



ten noorden van Ronse

Figuur 15: Voorbeelden van de jaarlijkse bodemafdekkingskaart op 1m-resolutie van 2020 (blauw).



Figuur 16: Oppervlakte in JaarBAK 2023 volgens de bron van de toewijzing als 'afgedekt' of 'niet-afgedekt' (in %).

6.1 NIET-PERMANENTE OVERKAPPINGEN IN LANDBOUWGEBIED

In landbouwgebied komen structuren zoals worteldoeken en tunnelserres voor die het model vanwege hun kleur en materiaal doorgaans als 'afgedekt' classificeert. Wanneer deze structuren de bodem niet rechtstreeks of permanent afdekken, is deze toekenning waarschijnlijk eerder onterecht. Bovendien zorgt het voor "schijnverharding" en "-ontharding" wanneer tijdelijke overkappingen het ene jaar wel zichtbaar zijn en het andere niet (Figuur 17). Dit komt regelmatig voor vanwege de grote variatie in het tijdstip waarop de jaarlijkse luchtopname plaatsvindt, met soms maanden verschil tussen twee verschillende jaren.

Er werd onderzocht of deze kwestie kon aangepakt worden met behulp van de Landbouwgebruikspercelen, beheerd door het Agentschap Landbouw en Zeevisserij. Deze dataset bevat per perceel informatie over o.a. de gespecialiseerde productiemethode (bv. 'niet-permanent overkapt groeimedium') en teelten. Er werd nagegaan of percelen met een bepaalde productiemethode of teelt ondubbelzinnig als 'niet-afgedekt' konden beschouwd worden. Voor het grootste deel van de percelen ontbrak echter informatie voor (één van) beide variabelen, of bestond een bepaalde teelt of productiemethode uit een mengeling van 'afgedekt' en 'niet-afgedekt'. De problematiek rond niet-permanente overkappingen in landbouwgebied is dus ook vanaf JaarBAK 2023 nog steeds aanwezig.

2021 2022

Figuur 17: Landbouwperceel met niet-permanente overkappingen in 2021, maar zonder in 2022.

6.2 NIET-GEDETECTEERDE AFDEKKING OP BEDRIJVENTERREINEN

Zoals aangegeven in 5.2 presteert het globaal model minder goed op grote, egale oppervlakken zoals industrieterreinen. Omdat dit vooral in havengebied soms tot relatief grote stukken onterecht niet-gedetecteerde afdekking leidde, werd een apart havenmodel ontwikkeld om dit zo goed mogelijk op te vangen vanaf JaarBAK 2023.

Ook op bedrijventerreinen buiten de havens komt soms nog onterechte niet-detectie voor. Er werd getest of het havenmodel ook gebruikt kon worden in deze gebieden, ondanks het uitsluitend labelen binnen de havens voor dit model. Omdat de resultaten niet overtuigend waren, werd beslist om het havenmodel enkel tot de havens te beperken.

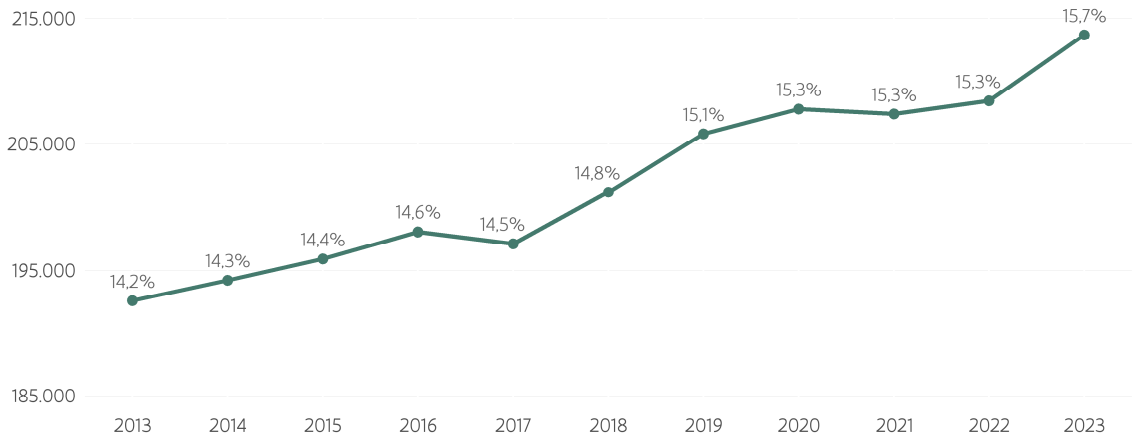
Daarnaast werd ook nagegaan of een ander model dan U-Net beter zou presteren op bedrijventerreinen. HRNet[7] en DeeplabV3[8] werden getest omdat zij meer context in beschouwing zouden nemen door vanop verschillende "afstanden" te "kijken". Geen van beide modellen leverde voor het geteste gebied betere resultaten op binnen én buiten bedrijventerreinen ten opzichte van U-Net.

7 EVOLUTIE VAN DE VERHARDE OPPERVLAKTE

De jaarlijkse bodemafdekkingskaarten laten toe om de evolutie van de verharde oppervlakte sinds 2013 te bepalen (Figuur 18). De verharding van de oppervlakte van Vlaanderen steeg van 14,2% in 2013 naar 15,7% in 2023. Dit is een nettotoename van 21.110 ha (+11,0%), wat overeenkomt met een verhardingssnelheid van 5,8 ha/dag. Tussen 2020 en 2022 bleef de verharde oppervlakte relatief stabiel, vermoedelijk vanwege de lagere economische activiteit tijdens de COVID-crisis. In 2023 ligt de toename van de verharde oppervlakte weer in lijn met de trend vóór 2020, wat lijkt te wijzen op een post-COVID-inhaalbeweging. De afwijking van deze trend in 2017 is te wijten aan een andere kleurverzadiging van de luchtopnames voor dat jaar.

Merk op dat het verschil in verharde oppervlakte tussen twee jaartallen in Figuur 18 een netto-effect weergeeft, namelijk de balans tussen wat er aan verharde oppervlakte is bijgekomen en wat er aan verharde oppervlakte is verdwenen. De gewijzigde oppervlakte tussen twee jaartallen o.b.v. de JaarBAK is het gevolg van zowel werkelijke veranderingen op het terrein (= nieuwe verharding en ontharding) als technische artefacten. Het laatste betreft verschillen in het tijdstip én de hoek van de luchtopnames tussen twee jaartallen. Wel schaduw, bladeren aan een boom of een niet-permanente overkapping (zie 6.1) het ene jaar en niet het andere jaar kunnen voor "schijnverharding" en "-ontharding" zorgen op een in werkelijkheid ongewijzigde plek. Op het niveau van Vlaanderen nemen we aan dat deze fouten elkaar uitmiddelen en de globale nettocijfers dus de juiste trend aangeven. Figuur 19 toont de globale veranderingen van de verharde oppervlakte in zowel positieve (verhard in het jaar in kwestie, niet in het voorgaand jaar) als negatieve zin (niet-verhard in het jaar in kwestie, wel in het voorgaand jaar). Deze waarden vatten dus zowel werkelijke nieuwe verharding en ontharding als ruis eigen aan de luchtfoto's. Het onderscheid tussen "echte" en "valse" verandering kan momenteel nog niet gemaakt worden. Wel geeft de figuur de sterke dynamiek in Vlaanderen weer.

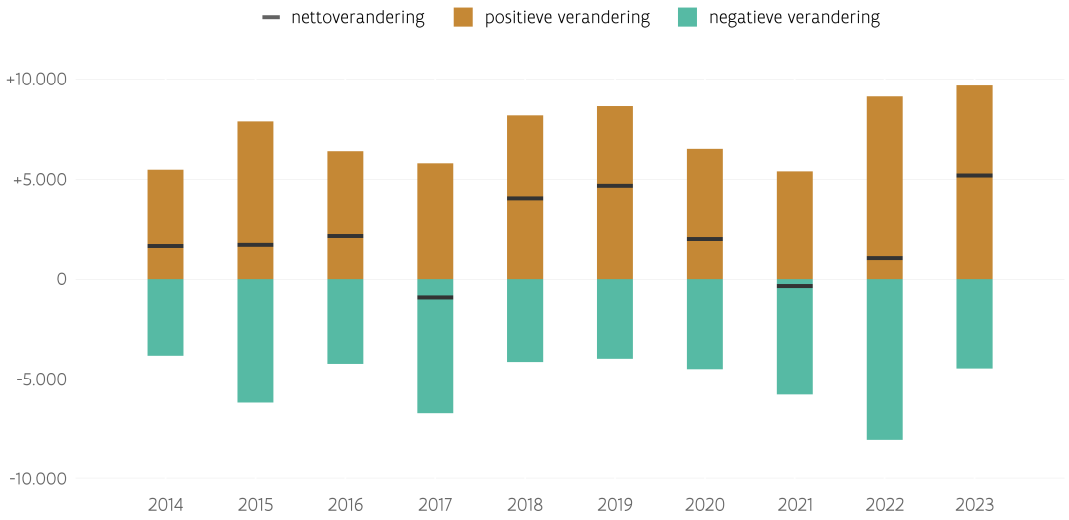
[7] https://github.com/HRNet/HRNet-Semantic-Segmentation
[8] https://pytorch.org/hub/pytorch_vision_deeplabv3_resnet101



Figuur 18: Evolutie van de verharde oppervlakte in Vlaanderen tussen 2013 en 2023 (in ha).

Aangezien JaarBAK 2023 als eerste kaart de aangepaste methode volgt, zijn de hieruit afgeleide cijfers niet perfect vergelijkbaar met die van de eerdere kaarten. Dankzij het havenmodel en het Wegenregister zal in JaarBAK 2023 verharde oppervlakte voorkomen die in voorgaande jaren onterecht gemist werd. De methodologische aanpassingen verklaren 1.517 ha van de netto bijgekomen 5.250 ha tussen 2022 en 2023 (Tabel 6). Aangezien een conservatieve definitie van "gekende verharde wegen" werd gekozen (Wegsegmenten met 'losse' en 'zowel vaste als losse verharding' werden niet mee opgenomen), valt de verharde oppervlakte o.b.v. de JaarBAK waarschijnlijk eerder als ondergrens te interpreteren.

Meer informatie over de evolutie staat in de verhardingsfiche[9] op de indicatorenwebsite van het Departement Omgeving. Ook verharding in openruimtebestemmingen[10], in harde bestemmingen[11] en in ruimtebeslag[12] worden op deze website toegelicht.



Figuur 19: "Positieve" en "negatieve" verandering t.o.v. het voorgaand jaar in Vlaanderen tussen 2014 en 2023 (in ha).

[9] https://indicatoren.omgeving.vlaanderen.be/indicatoren/verharding
[10] https://indicatoren.omgeving.vlaanderen.be/indicatoren/verharding-openruimtebestemmingen
[11] https://indicatoren.omgeving.vlaanderen.be/indicatoren/verharding-harde-bestemmingen
[12] https://indicatoren.omgeving.vlaanderen.be/indicatoren/verharding-ruimtebeslag

Tabel 6: Overzicht van de methodologisch verklaarbare netto extra verharde oppervlakte tussen 2022 en 2023 (in ha).

Havenmodel	Wegsegmenten	Spoorbundels	Geblurd	TOTAAL
765	590*	125	37	1.517

* schatting

8 CONCLUSIE

De jaarlijkse bodemafdekkingskaart (JaarBAK) combineert administratief gekende en gemodelleerde bodemafdekking. Informatie over water, gebouwen, wegen en spoorwegen uit het Grootschalig Referentiebestand of Basiskaart Vlaanderen (GRB) definieert de administratieve bodemafdekking. De middenschalige winterluchtopnames worden via machine learning tot de gemodelleerde bodemafdekking verwerkt om de JaarBAK aan te vullen daar waar het GRB geen informatie levert.

Sinds JaarBAK 2023 werd de methode aangepast. De belangrijkste wijziging is dat, naast het origineel model voor heel Vlaanderen, een bijkomend model ontwikkeld werd om specifiek in de zeehavens meer afdekking te detecteren. Ook werd het globaal model bijgetraind o.b.v. luchtfoto's van 2021, 2022 en 2023. Daarnaast werden de modelresultaten genegeerd in enerzijds strand- en duingebied en anderzijds de geblurde gebieden op de luchtfoto's. Dit was initieel al het geval in laatstgenoemde gebieden, maar zij zijn voortaan veel nauwkeuriger gedefinieerd. Bijkomend werden de smalle stroken tussen spoorwegen nu ook als 'afgedekt' beschouwd. Ten slotte zorgde de inkanteling van het Wegenregister in het GRB voor een uitgebreider geregistreerd wegennet en een gewijzigde definitie van "verharde weg".

Uit de jaarlijkse bodemafdekkingskaarten blijkt dat de verharde oppervlakte in Vlaanderen steeg van 14,2% in 2013 naar 15,7% in 2023. In 2023 ligt de toename van de verharde oppervlakte weer in lijn met de trend vóór 2020. JaarBAK 2023 volgt als eerste kaart de aangepaste methode. De extra gedetecteerde afdekking dankzij het havenmodel en het Wegenregister verklaart evenwel slechts een deel van de sterke toename tussen 2022 en 2023. Gezien de conservatieve "nieuwe" definitie van "verharde weg" o.b.v. het Wegenregister is de verharde oppervlakte o.b.v. de JaarBAK waarschijnlijk eerder een ondergrens.

REFERENTIES

Abadi, M., Agarwal, A., Barham, P., Brevdo, E., & Chen, Z. (2015). *TensorFlow: Large-Scale Machine Learning on Heterogeneous Distributed Systems*.

Agentschap Binnenlands Bestuur. (2021). *Op naar een lokaal energie en klimaatpact 2.0 tussen de Vlaamse Regering en de Vlaamse lokale besturen*. https://www.lokaalklimaatpact.be/_gatsby/file/871d6ba2c7a8a280f873204d9f807acf/LEKP_2_0.pdf

Cockx, K., Pieters, J., Willems, P., & Vanacker, S. (2022). *Jaarlijkse bodemafdekkingskaart Vlaanderen: Technisch rapport*. Vlaams Planbureau voor Omgeving. https://archief.onderzoek.omgeving.vlaanderen.be/Onderzoek-3331558

Departement Omgeving. (2025). *Krachtlijnen voor het Beleidsplan Ruimte Vlaanderen* (p. 120). https://publicaties.vlaanderen.be/view-file/77488

Departement Ruimte Vlaanderen. (2017). *Witboek Beleidsplan Ruimte Vlaanderen*.

European Environment Agency. (2020). *Percentage soil sealing by country*. https://www.eea.europa.eu/en/analysis/maps-and-charts/percentage-sealing-by-country-1

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2006). *Guidelines for Soil Description: Fourth Edition*.

Jones, A., Panagos, P., Barcelo, S., Bouraoui, F., Bosco, C., Dewitte, O., Gardi, C., Erhard, M., Hervas, J., Hiederer, R., Jeffery, S., Lükewille, A., Marmo, L., Montanarella, L., Olazabal, C., Petersen, J.-E., Penizek, V., Strassburger, G., Toth, G., … Yigini, Y. (2012). *The State of Soil in Europe—A contribution of the JRC to the European Environment Agency's Environment State and Outlook Report—SOER 2010*. Publications Office of the European Union.

Poelmans, L., Janssen, L., & Hambsch, L. (2023). *Landgebruik en ruimtebeslag in Vlaanderen, toestand 2022.* (uitgevoerd in opdracht van het Vlaams Planbureau voor Omgeving, p. 105). Departement Omgeving. https://www.friscris.be/nl/publications/landgebruik-en-ruimtebeslag-in-vlaanderen-toestand-2022(ab4c67af-a12e-4acf-9346-39df99589565).html

Ronneberger, O., Fischer, P., & Brox, T. (2015). U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. In N. Navab, J. Hornegger, W. M. Wells, & A. F. Frangi (Red.), *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015* (pp. 234-241). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4_28

Taskforce Bouwshift. (2021). *Eindrapport Taskforce Bouwshift*. https://omgeving.vlaanderen.be/nl/rapport-van-de-taskforce-bouwshift-beschikbaar

Van der Linden, S., & Van Valckenborgh, J. (2024). *Bodembedekkingskaart Vlaanderen 2021* (p. 26). https://assets.vlaanderen.be/image/upload/v1715692926/rEODASBodembedekking2021_hlclem.pdf