Vlaanderen
is omgeving

Jaarlijkse bodemafdekkingskaart Vlaanderen

Technisch rapport

DEPARTEMENT
OMGEVING

omgevingvlaanderen.be

Jaarlijkse bodemafdekkingskaart Vlaanderen: Technisch rapport
Dit rapport beschrijft de methode voor het opstellen van de jaarlijkse bodemafdekkingskaarten van Vlaanderen.

Dit rapport bevat de mening van de auteur(s) en niet noodzakelijk die van de Vlaamse Overheid.

COLOFON

Verantwoordelijke uitgever
Peter Cabus
Departement Omgeving
Vlaams Planbureau voor Omgeving
Koning Albert II-laan 20 bus 8, 1000 Brussel
vpo.omgeving@vlaanderen.be
www.omgevingvlaanderen.be

Auteurs
Kasper Cockx – Departement Omgeving, Vlaams Planbureau voor Omgeving
Joris Pieters – Keyrus
Peter Willems – Departement Omgeving, Vlaams Planbureau voor Omgeving
Stijn Vanacker – Departement Omgeving, Vlaams Planbureau voor Omgeving

Depotnummer
D/2022/3241/310

Wijze van citeren
Cockx, K., Pieters, J., Willems, P., Vanacker, S. (2022). *Jaarlijkse bodemafdekkingskaart Vlaanderen: Technisch rapport*. Vlaams Planbureau voor Omgeving.

INHOUDSTAFEL

1 Inleiding 4
2 Definitie 4
3 Basisdata 5
4 Methode 6
4.1 Administratieve bodemafdekking 7
4.1.1 Water 7
4.1.2 Gebouwen 8
4.1.3 Wegen 8
4.1.4 Spoorwegen 10
4.2 Gemodelleerde bodemafdekking 10
4.2.1 Training 11
4.2.2 Gemodelleerde bodemafdekkingskaart 12
4.2.3 Continuïteitscorrectie 13
4.2.4 Ruisonderdrukking 14
4.3 Jaarlijkse bodemafdekkingskaart 15
5 Resultaten 16
5.1 Wegenalgoritme 16
5.2 Gemodelleerde bodemafdekkingskaart 18
5.3 Jaarlijkse bodemafdekkingskaart 19
5.4 Visuele vergelijking met de BAK 19
6 Evoluties 22
6.1 Verharding 22
6.2 Nieuwe verharding en ontharding 23
6.3 Verharding in open ruimte 24
7 Conclusie 24
Referenties 26

1 INLEIDING

Vlaanderen is één van de meest verharde gebieden van Europa. 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 voorop om een gezonde leefomgeving te realiseren en de klimaatuitdagingen aan te gaan. Zo formuleert het Lokaal Energie- en Klimaatpact de doelstelling om 1 m² per Vlaming te ontharden vanaf 2021 t.e.m. 2030 (= 6,6 miljoen m² ontharding) (Agentschap Binnenlands Bestuur, 2021). Ontharding en het vermijden van bijkomende verharding vormen eveneens een belangrijk onderdeel binnen de strategische visie van het Beleidsplan Ruimte Vlaanderen (BRV) (Departement Omgeving, 2018). De specifieke doelstellingen 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 te stabiliseren en bij voorkeur terug te dringen. Na 2050 neemt de verharding niet meer toe.

Tot nu toe was de Bodemafdekkingskaart (BAK) van Digitaal Vlaanderen (Van der Linden & Valckenborgh, 2021) het enige beschikbare product over verharding in Vlaanderen. Deze kaart is een afgeleide van de Bodembedekkingskaart (BBK, op 1 m-resolutie), die wordt opgesteld o.b.v. zomerluchtopnames, de Landbouwgebruikspercelen en het Grootschalig Referentiebestand (GRB). Hieruit wordt het percentage afdekking voor de BAK afgeleid voor pixels van 5 m x 5 m. De Bodemafdekkingskaart wordt echter slechts om de drie jaar gemaakt en vertoont onnauwkeurigheden die haar minder geschikt maken voor gedetailleerde, gebiedsgerichte en ruimtelijk expliciete analyses.

Om de voortgang van ontharding en ook de bouwshift te monitoren is er nood aan jaarlijkse en fijnmazige bodemafdekkingskaarten van Vlaanderen (Taskforce Bouwshift, 2021). Daarom wordt in deze studie een methode voorgesteld die automatisch een jaarlijkse bodemafdekkingskaart (JaarBAK) genereert. Deze kaart combineert administratief gekende bodemafdekking uit het GRB met gemodelleerde bodemafdekking o.b.v. middenschalige winterluchtopnames. Op deze manier wordt meer verharding gevat op een nauwkeurigere manier en aan een hogere frequentie dan tot nu toe het geval was. Dit rapport is in de eerste plaats een technische beschrijving van de gebruikte methode voor de aanmaak van de JaarBAK-kaarten. In het laatste onderdeel worden echter nog enkele verhardingsevoluties geschetst o.b.v. deze jaarlijkse bodemafdekkingskaarten.

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 de definitie die de Europese Commissie hanteert 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).

Conform de definitie hierboven werd voor deze studie 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' aangegeven op de bekomen bodemafdekkingskaarten. 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 in deze studie. 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 kwam tot stand door het samenvoegen van bodemafdekking afgeleid uit administratieve databronnen enerzijds en de resultaten van een machinelearningmodel anderzijds. De "administratief gekende" bodemafdekking werd afgeleid uit het Grootschalig Referentiebestand (GRB), beheerd door Digitaal Vlaanderen. Verschillende (delen van) vectorlagen van het GRB werden geselecteerd om gebouwen, wegen, spoorwegen en water af te bakenen (Tabel 1). Voor elk jaar waarvoor een jaarlijkse bodemafdekkingskaart werd opgesteld werd de GRB-toestand op 31 december van het jaar in kwestie gebruikt[1].
Voor het machinelearningmodel werden de jaarlijks beschikbare middenschalige winter-luchtopnames tussen 2012 en 2020[2] van Vlaanderen gebruikt, zoals ter beschikking gesteld door Digitaal Vlaanderen in 418 kaartbladen. Op basis van deze orthofoto's op 25 cm-resolutie werd trainingsmateriaal gegenereerd en gemodelleerde bodemafdekkingskaarten opgesteld voor heel Vlaanderen.

[1] Voor 2013 was dit 1 januari 2014, de oudst beschikbare GRB-toestand.
[2] De middenschalige orthofoto's van 2021 waren nog niet beschikbaar toen het model werd ontwikkeld.

Tabel 1: Geselecteerde (delen van) vectorlagen van het Grootschalig Referentiebestand voor de "administratieve" bodemafdekking.

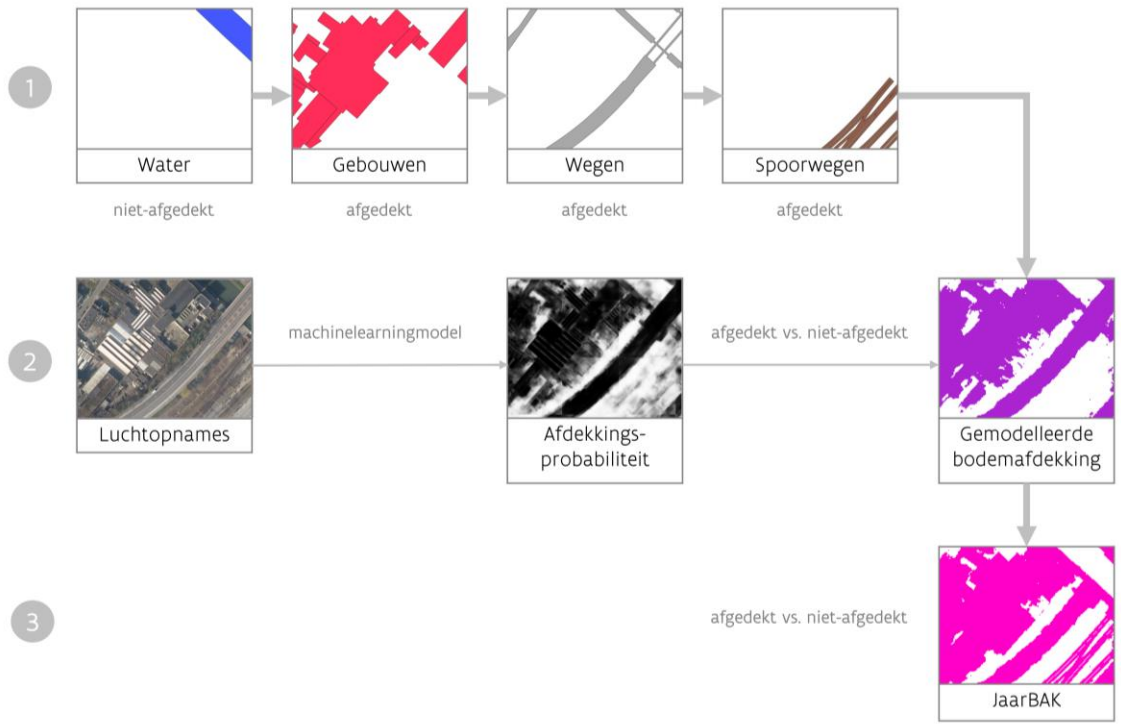
Noemer	Laag	Omschrijving	Selectie
Water	Wtz	Watergang	-
Gebouwen	Gbg	Gebouw aan de grond	-
	Gba	Gebouwaanhorigheid	'afdak', 'uitbreiding', 'verdieping'
	Knw	Kunstwerk	'cabine', 'schoorsteen', 'watertoren', 'silo, opslagtank', 'chemische installatie', 'overbrugging'
	Trn	Terrein	'verhard'
Wegen	Wvb	Wegverbinding	'verharde weg'
	Wgo	Wegopdeling	-
	Wbn	Wegbaan	-
Spoorwegen	Wrl	Spoorrail	-
	Sbn	Spoorbaan	-

Omdat militaire domeinen en nucleaire sites vanaf 2016 geblurd zijn op de luchtopnames, kan bodemafdekking hier niet betrouwbaar gemodelleerd worden. Daarom werd in deze gebieden enkel bodemafdekking o.b.v. het GRB (Tabel 1) weerhouden. Militaire domeinen werden afgebakend met behulp van de geodata achter de Ruimteboekhouding RSV (categorie 1400 = 'militaire gebieden') van het Departement Omgeving. De nucleaire sites Kerncentrale Doel, Belgoprocess, Joint Research Centre en SCK CEN werden handmatig ingetekend.

4 METHODE

Om de bodemafdekking in Vlaanderen elk jaar af te leiden, werd een hiërarchische beslissingsketen opgesteld die elke pixel toewijst aan 'afgedekt' of 'niet-afgedekt' (Figuur 1). Om te beginnen werd informatie uit het GRB verzameld (Tabel 1) en verwerkt tot de administratief gekende bodemafdekking per jaar[3]. In een volgende stap werd de bodemafdekking gemodelleerd o.b.v. een machinelearningmodel. Ten slotte werd de informatie uit de voorgaande stappen gecombineerd tot een jaarlijkse bodem-afdekkingskaart (JaarBAK).

[3] 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 ADMINISTRATIEVE BODEMAFDEKKING

Een groot deel van de bodemafdekking in Vlaanderen zit met grote nauwkeurigheid en aan een hoge updatefrequentie vervat in het GRB. Het gaat hier om gebouwen, wegen en spoorwegen die met zekerheid voor afdekking zorgen. 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. Voor de wegen en spoorwegen waren daarentegen extra procedures vereist om tot een bruikbare laag te komen. De uiteindelijk bekomen water-, gebouw-, weg- en spoorweglagen werden omgezet in 1 m-rastercellen. Deze administratief gekende afdekking en niet-afdekking kregen in de beslissingsketen voorrang op de gemodelleerde bodemafdekking (zie 4.2) (Figuur 1Figuur 1). Pixels die onder de administratieve bodemafdekking vielen kregen hun waarde toegekend o.b.v. die laag. Informatie uit de gemodelleerde bodemafdekking werd hierbij genegeerd.

4.1.1 Water

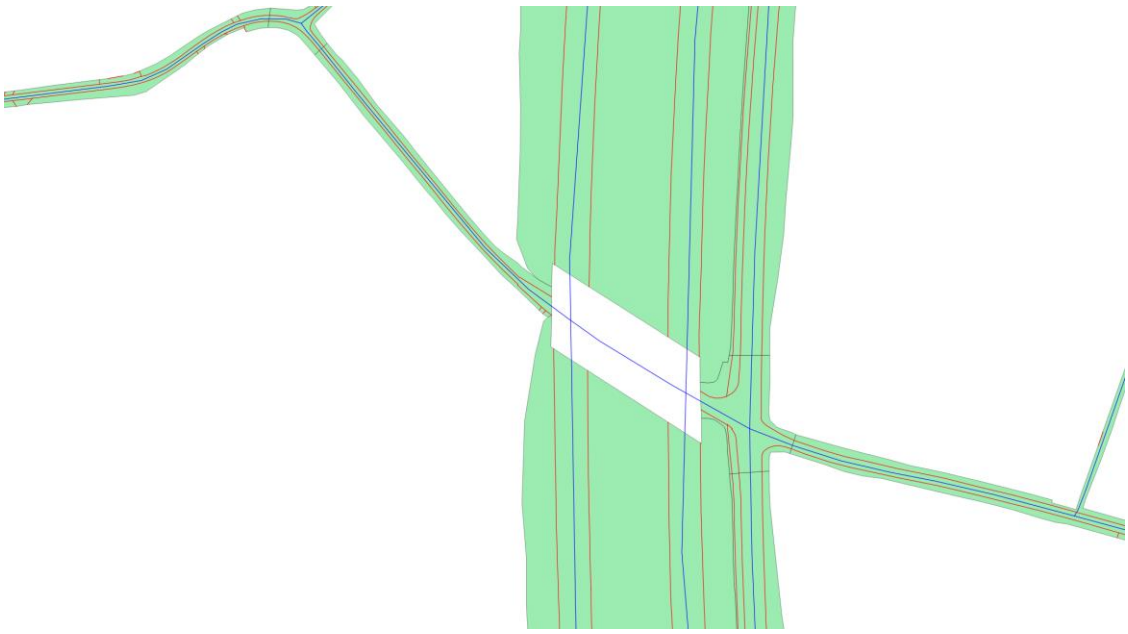
De Watergang-laag (Wtz) van het GRB werd gebruikt om de waterlopen en stilstaande wateroppervlakken als 'niet-afgedekt' te beschouwen. Zij stond helemaal bovenaan de hiërarchie om een waarde toe te wijzen aan de pixels van de JaarBAK.

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 1). 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.

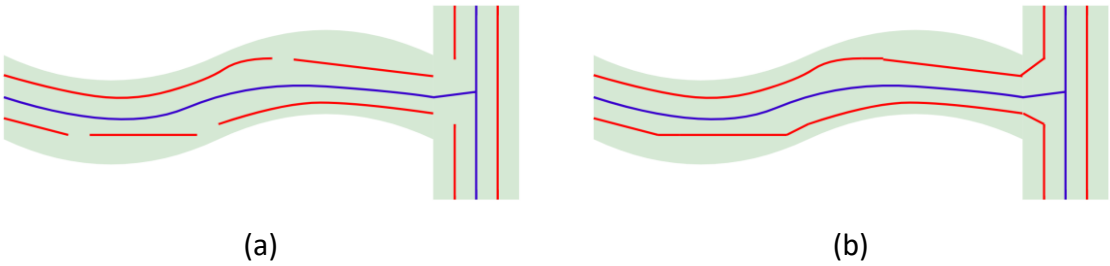
4.1.3 Wegen

De BAK gebruikt de Wegbaan-laag (Wbn) uit het GRB om alles onder deze laag als afdekking te beschouwen. Onder de Wegbaan-polygonen liggen echter vaak niet-afgedekte stukken van bv. autosnelwegen en rotondes die op deze manier onterecht de waarde 'afgedekt' krijgen. Omdat tijdens het uitvoeren van deze studie 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) en Wegopdeling-lijnen (Wgo) van het GRB, naast de Wegbaan-polygonen (Tabel 1). 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.



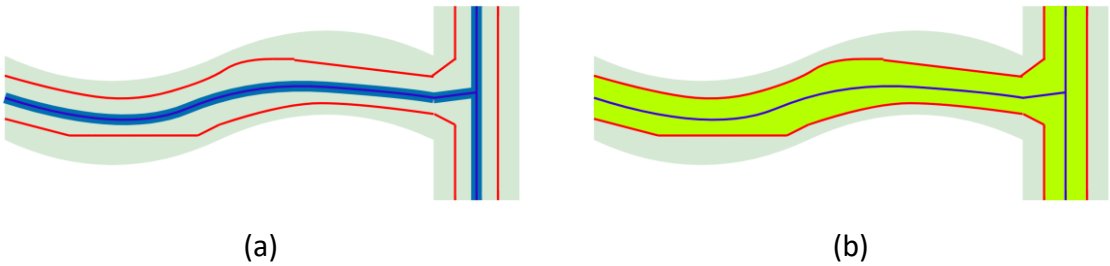
Figuur 2: Voorbeeld van de Wbn- (groen), Wvb- (blauw) en Wgo-lagen (rood) ter hoogte van de E19 in Mechelen. Een tunnel zorgt voor de witte onderbreking in de Wbn-polygoon.

Het algoritme werd toegepast per kaartblad. Hiervoor werden de Wvb- (van het type 'verharde weg'), 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).



Figuur 3: Voorbeeld van de originele Wgo-lijnen (rood) (a) t.o.v. de verbonden Wgo-lijnen (b).

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 4). Op die manier werd vermeden dat Wbn-stukken onterecht als 'afgedekt' werden beschouwd. De langste aaneengesloten 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 4: Voorbeeld van de buffer (blauw) rond de langste aaneengesloten Wvb-lijn binnen een Wbn-stuk (a) en het uiteindelijk weerhouden Wbn-gedeelte (geel) binnen de Wgo-lijnen o.b.v. de buffer (b).

4.1.4 Spoorwegen

De BAK gebruikt de Spoorbaan-laag (Sbn) uit het GRB om alles onder deze laag als 'afgedekt' te beschouwen. Net zoals bij de Wbn-laag worden op die manier ook niet-afgedekte zones meegenomen. 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 voor elk van de beschouwde jaren 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 in de periode 2013–2020.
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 5). Op die manier werd de ruimte tussen en aan de buitenkant van de rails als 'afgedekt' beschouwd.

Figuur 5: Voorbeeld van de buffer (groen) rond de Wrl-lijnen (geel) binnen een Sbn-polygoon (roze).

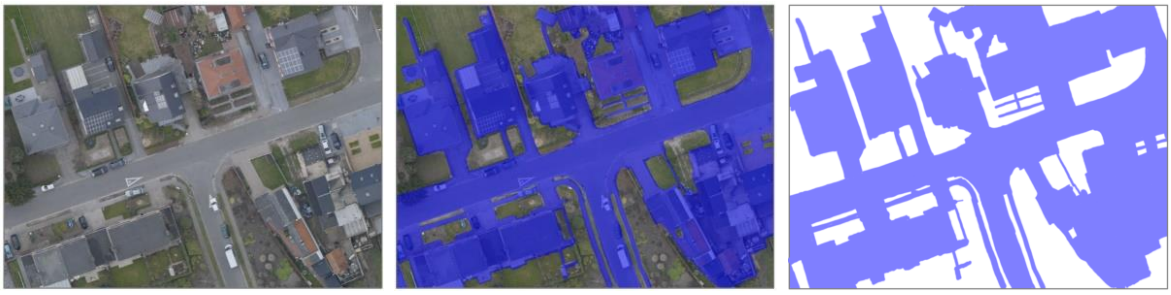
4.2 GEMODELLEERDE BODEMAFDEKKING

Ook al vatten de GRB-lagen in de vorige stap al een groot deel van de bodemafdekking in Vlaanderen, toch zit nog een belangrijk aandeel bodemafdekking in de vorm van bv. parkings, private opritten en tuinterrassen niet (afdoende) in administratieve databanken. Om die "resterende" bodemafdekking in Vlaanderen toch in rekening te brengen, werd een machinelearningmodel opgesteld. Er werd meer bepaald gekozen voor semantische segmentatie o.b.v. het U-Net-model[4] (Ronneberger et al., 2015). Eerst werd trainingsmateriaal aangemaakt om het model afdekking te leren herkennen. Vervolgens werd op basis van de modelresultaten een gemodelleerde bodemafdekkingskaart opgesteld. Ten slotte werd ook nog een continuïteitscorrectie doorgevoerd om een temporeel consistent resultaat te verzekeren.

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

4.2.1 Training

Om te beginnen werd op delen van de beschikbare orthofoto's tussen 2012 en 2020 de bodemafdekking handmatig gelabeld. Hiervoor 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 1.007 afbeeldingen van telkens 4,92 ha gelabeld, wat overeenkomt met een totale gelabelde oppervlakte van 4.950 ha. Na enkele eerste tests werd extra gelabeld materiaal selectief toegevoegd voor die situaties waar het model minder nauwkeurig presteerde.



(a) (b) (c)

Figuur 6: Voorbeeld van de labelingprocedure: (a) te labelen afbeelding, (b) weergave tijdens het labelen, (c) labelresultaat.

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 het model 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: 16.896 geknipte afbeeldingen in de trainingsset en 7.272 in de testset.

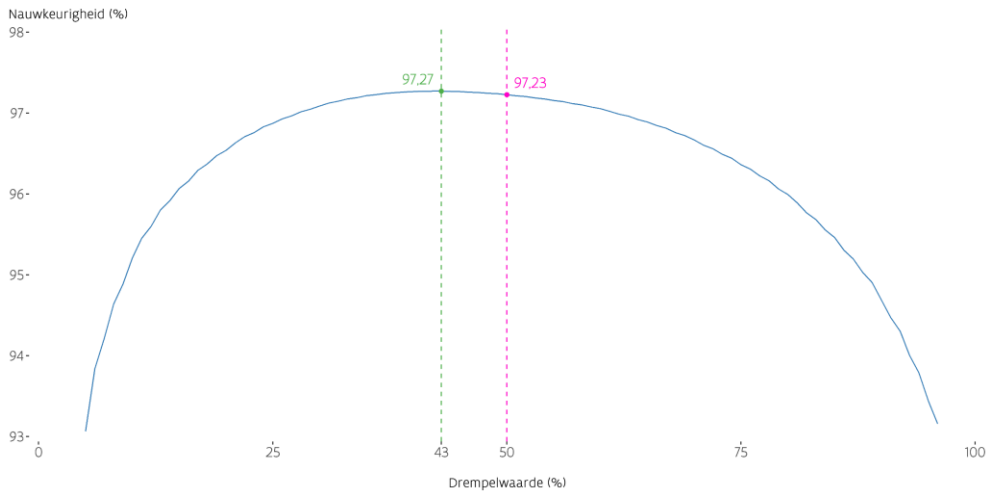
De eigenlijke training van het model gebeurde met TensorFlow (Abadi et al., 2015) in Python. Omdat na 10 epochs – wat overeenkomt met alle afbeeldingen uit de trainingsset één keer voorleggen aan het model – geen substantiële verbetering van de nauwkeurigheid werd vastgesteld, werd het trainen daar stopgezet.

Figuur 7: Voorbeeld van 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 Gemodelleerde bodemafdekkingskaart

Voor elk jaar van 2012 t.e.m. 2021 werd de bodemafdekking voorspeld op basis van het getraind model. Elk kaartblad van 32.000 x 20.000 pixels werd 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 werd vervolgens omgezet in een binaire gemodelleerde bodem-afdekkingskaart. 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 (Figuur 8). Een drempel van 43% leverde slechts een kleine, verwaarloosbare verbetering van de nauwkeurigheid op o.b.v. de testset (zie 4.2.1), zodat gekozen werd voor 50%. Deze binaire kaart werd omgezet naar een resolutie van 1 m voor een snellere verwerking in de volgende stappen.

Voor militaire domeinen en nucleaire sites werd een aparte procedure gevolgd. Omdat de luchtopnames vanaf 2016 geblurd zijn in deze gebieden, werden alle pixels in de gemodelleerde bodemafdekkingskaart hier beschouwd als ‘niet-afgedekt’. Aangezien informatie over water, gebouwen, wegen en spoorwegen (afkomstig uit de GRB-databank) voorrang krijgt bij de toewijzing, en andere bodemafdekking in deze zones beperkt is, levert dit een bruikbaar finaal resultaat op voor deze gebieden.



Figuur 8: Bepalen van de drempelwaarde om een door het machinelearningmodel voorspelde pixel als 'afgedekt' te beschouwen.

4.2.3 Continuïteitscorrectie

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 in de bodemafdekking van 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 continuïteitscorrectie doorgevoerd om deze afwijkingen weg te werken. 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 2). Voor het vorige jaar werd de gecorrigeerde toekenning gebruikt om de kans dat onnauwkeurigheden zich vermenigvuldigen doorheen de tijd te beperken. Als de toekenning voor het vorige en het volgende 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 voorgaande jaar en een gemodelleerde bodemafdekkingskaart voor het volgende jaar. De eerstgenoemde kaart was niet beschikbaar voor 2013, omdat geen middenschalige orthofoto's voor 2011 bestaan. Omdat daarom geen gecorrigeerde kaart voor 2012 kon worden afgeleid, werd voor de continuïteitscorrectie van 2013 de niet-gecorrigeerde toekenning voor 2012 gebruikt.

Wat 2021 betreft waren op het moment van de studie nog geen middenschalige orthofoto's voor 2022 beschikbaar, en bijgevolg dus ook geen gemodelleerde bodemafdekkingskaart. Omdat op deze manier geen correctie mogelijk was, werden andere regels o.b.v. de probabiliteiten gevolgd om voor 2021 toch al een 'voorlopige' toekenning te bepalen (Tabel 3). Zodra de orthofoto's voor het volgende jaar wel beschikbaar zijn, wordt de voorlopige kaart vervangen door de gecorrigeerde binaire kaart o.b.v. de regels in Tabel 2.

Tabel 2: Continuïteitscorrectie van de pixels van de gemodelleerde bodemafdekkingskaart.

Gecorrigeerde toekenning vorig jaar	Originele toekenning jaar in kwestie	Originele toekenning volgend jaar	Gecorrigeerde toekenning 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 3: Voorlopige toekenning aan de pixels van de gemodelleerde bodemafdekkingskaart wanneer de luchtopnames van het volgende jaar nog niet beschikbaar zijn.

Probabiliteit vorig jaar	Probabiliteit jaar in kwestie	Voorlopige toekenning jaar in kwestie
	< 35%	niet-afgedekt
< 50%	35-65%	niet-afgedekt
≥ 50%	35-65%	afgedekt
	≥ 65%	afgedekt

4.2.4 Ruisonderdrukking

Omdat de finale gemodelleerde bodemafdekkingskaart gemaakt werd op de fijnmazige resolutie van 1 m, kwam een groot aantal alleenstaande afgedekte pixels voor. Deze op zichzelf staande pixels konden voornamelijk ruis zijn en dus potentieel verwijderd worden. Om dit na te gaan, werd op een willekeurig gekozen kaartblad voor elke afgedekte cel geteld hoeveel andere afgedekte cellen voorkwamen binnen een straal van 5 m. Afgedekte cellen zonder enige andere afgedekte cel in die buffer werden als potentiële ruis beschouwd (Figuur 9). Op het geteste kaartblad bleek dit slechts het geval voor 0,01% van alle afgedekte pixels of 0,0009% van het totaal aantal pixels. Voor elk van deze pixels werd handmatig nagegaan of het hier om echte bodemafdekking of een foutpositieve waarde ging. Aangezien het overgrote deel van deze losstaande pixels wel degelijk correct bodemafdekking aanduidde, zou het verwijderen van deze pixels de nauwkeurigheid verlagen. Ruisonderdrukking werd bijgevolg niet toegepast op losstaande afgedekte cellen.

Figuur 9: Voorbeelden van afgedekte cellen zonder enige andere afgedekte cel in de buurt.

Daarnaast werden ook niet-afgedekte cellen geëvalueerd die binnen een straal van 5 m volledig omringd werden door afgedekte cellen. Dit bleek met 0,0003% van het totaal aantal pixels een nog zeldzamer fenomeen. Enerzijds ging het hier om cellen die in werkelijkheid niet-afgedekt waren binnen een groter afgedekt gebied, zoals een boomspiegel. Anderzijds waren sommige cellen foutief als 'niet-afgedekt' aangeduid binnen een afgedekt gebied. Deze kwamen echter voornamelijk voor op daken van grotere gebouwen, die toch als 'afgedekt' beschouwd worden in de beslissingsketen o.b.v. de administratieve bodemafdekking. Bijgevolg werd ook geen ruisonderdrukking toegepast op losstaande niet-afgedekte cellen.

4.3 JAARLIJKSE BODEMAFDEKKINGSKAART

In de laatste stap werd de administratieve en gemodelleerde bodemafdekking samengebracht in een jaarlijkse bodemafdekkingskaart, waarbij de administratieve bodemafdekking voorrang had op de gemodelleerde informatie bij de toekenning 'afgedekt' of 'niet-afgedekt'. Deze 1 m-kaart werd vervolgens geaggregeerd tot een versie met 5 m-resolutie om tot een gemakkelijker hanteerbaar eindproduct te komen, dat bovendien vergelijkbaar is met de BAK. De pixels van deze 5 m-kaart hebben een waarde tussen 0 en 100 die overeenkomt met het percentage afgedekte 1 m-cellen.
De nauwkeurigheid van de bekomen jaarlijkse bodemafdekkingskaart werd bepaald o.b.v. dezelfde testset als voor de validatie van het machinelearningmodel (zie 4.2.1). De afbeeldingen uit 2012 werden wel eerst uit deze testset verwijderd omdat voor dat jaar geen jaarlijkse bodemafdekkingskaart kon opgesteld worden vanwege het ontbreken van een GRB. Ook het selectief toegevoegde gelabelde materiaal ter verbetering van het 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 teveel 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 de jaren 2013 t.e.m. 2020.

5 RESULTATEN

5.1 WEGENALGORITME

De hier beschreven methode gebruikte enerzijds administratieve databanken om de zekere bodemafdekking te bepalen en anderzijds de gemodelleerde bodemafdekking om de ruimte daartussen op te vullen. Omdat de gemodelleerde bodemafdekking als “opvangnet” kon gezien worden, was het belangrijk dat het in 4.1.3 ontwikkelde wegenalgoritme 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 machinelearningmodel (zie 4.2.1). 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 machinelearningmodel deze wegen niet, zoals bv. aan de westkant van het kanaal in Figuur 12.

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.

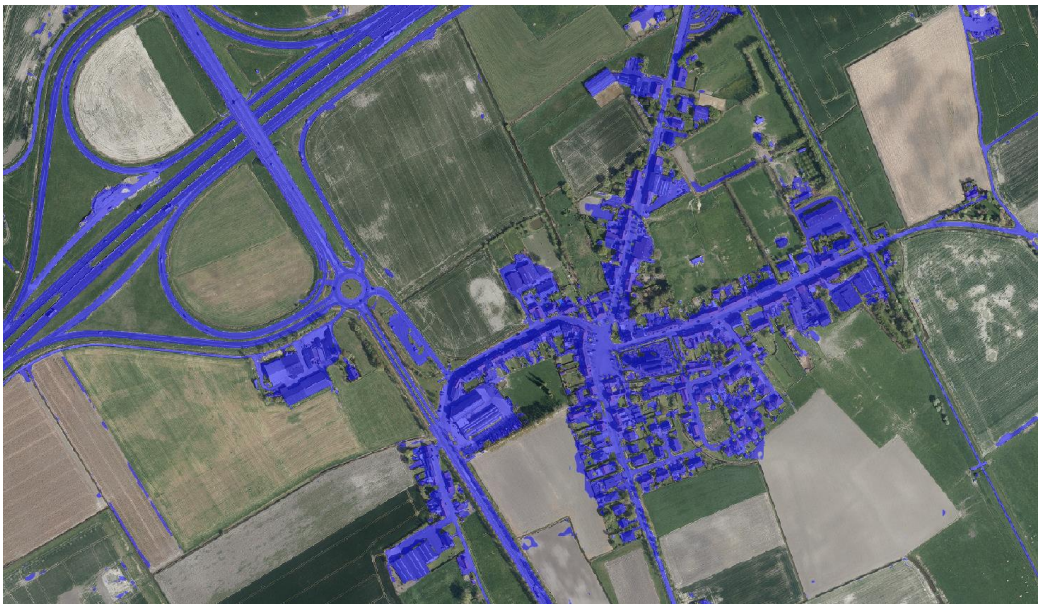
Figuur 11: Resultaat van het wegenalgoritme (geel) voor de E19 ten hoogte van Mechelen. De Wegbaan- (groen), Wegverbinding- (blauw) en Wegopdeling (rood)-lagen uit het GRB zijn toegevoegd ter referentie. Ter hoogte van de tunnel zijn geen Wgo-lijnen beschikbaar, waardoor enkel de minimale wegbreedte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

Het machinelearningmodel leverde 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 gelabelde materiaal (zie 4.2.1). Op basis van deze testset wordt een nauwkeurigheid van 96,8% behaald. 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 uitmuntend 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 continuïteitscorrectie besproken in 4.2.3 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).

5.3 JAARLIJKSE BODEMAFDEKKINGSKAART

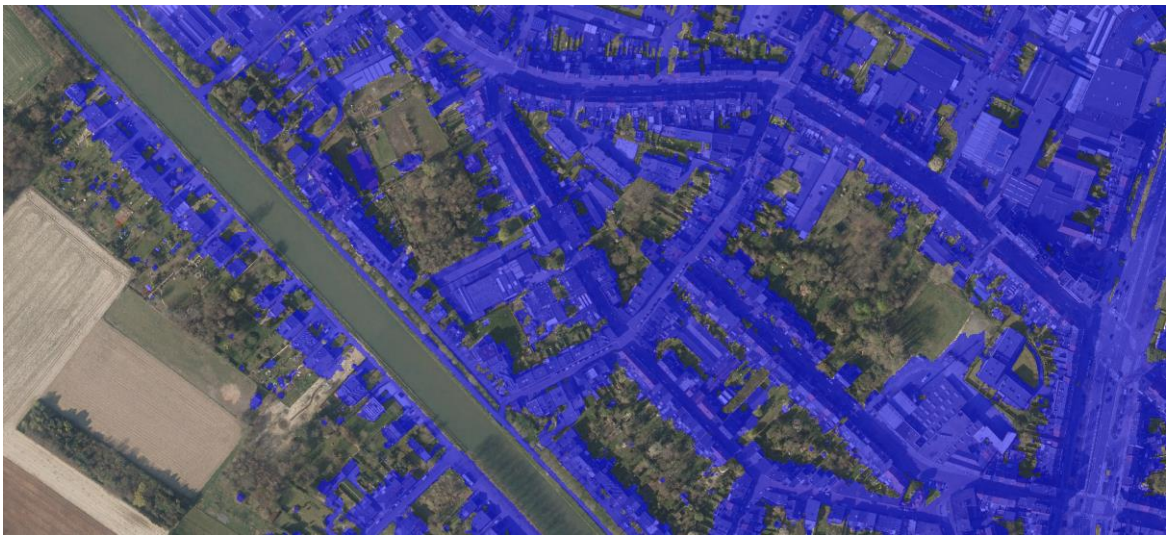
Na het doorlopen van de beslissingsketen om aan elke pixel een waarde toe te kennen o.b.v. de administratieve en gemodelleerde bodemafdekking werd een jaarlijkse bodem-afdekkingskaart bekomen voor elk jaar (Figuur 14). Op basis van de testset behaalt de JaarBAK een nauwkeurigheid van 97,8%. Deze waarde is waarschijnlijk een onderschatting, aangezien het gelabelde 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 5 m-versie van de JaarBAK en de BAK-kaarten werden 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 5 m-versie van de jaarlijkse bodemafdekkingskaart behaalt een nauwkeurigheid van 98,0%, terwijl dit voor de BAK-kaarten 96,0% is. De JaarBAK biedt dus een noemenswaardige verbetering t.o.v. de BAK. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat voor de BAK de zomerluchtopnames als input dienden en voor de testset de winterluchtopnames, wat de nauwkeurigheid van de BAK licht naar beneden zal halen.

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

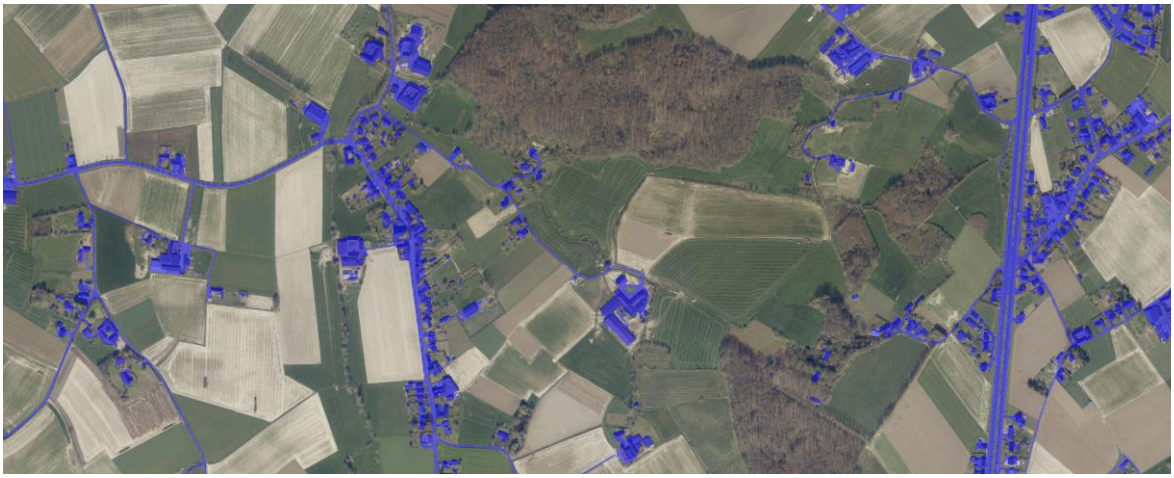
5.4 VISUELE VERGELIJKING MET DE BAK

De JaarBAK werd ontwikkeld om de bodemafdekking in Vlaanderen niet alleen jaarlijks, maar ook nauwkeuriger in beeld te brengen. Hierboven werd al vastgesteld dat de JaarBAK globaal een hogere nauwkeurigheid behaalt dan de BAK. Een visuele vergelijking voor 2018 gaf aan waar de verbeterpunten van de JaarBAK t.o.v. de BAK precies liggen (Tabel 4). 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. Het wegenalgoritme zorgt ook voor meer detectie van kleine en/of smalle wegen t.o.v. de BAK. Sportvelden met gravel of blauw kunstgras worden in tegenstelling tot bij de BAK ook vlot als 'afgedekt' herkend door het machinelearningmodel. Anderzijds duidt de JaarBAK al dan niet tijdelijke serre-overspanningen van tuin- of landbouwvelden doorgaans aan als 'afgedekt', wat waarschijnlijk eerder niet gewenst is. In uitzonderlijke gevallen worden niet-afgedekte stukken van complexe weginfrastructuur onterecht als 'afgedekt' beschouwd.



(a)

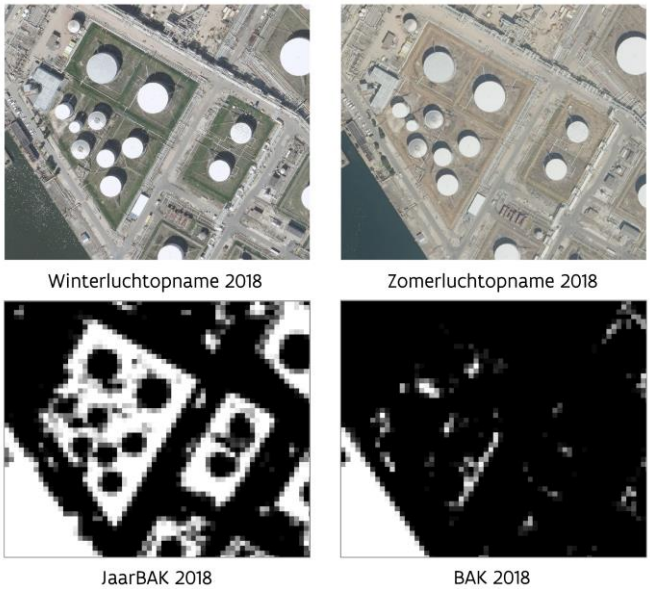
(b)



(c)

Figuur 14: Voorbeelden van de jaarlijkse bodemafdekkingskaart op 1 m-resolutie van 2020 (blauw) voor de westkant van Mechelen (a), het zuiden van Overpelt (b) en ten noorden van Ronse (c).

Dankzij het gebruikte wegenalgoritme zijn niet-afgedekte stukken op (grote) wegen terecht 'niet-afgedekt' op de JaarBAK, waar dit bij de BAK niet het geval is (Tabel 4). Omdat uitgedroogde grasvelden niet voorkomen op de winterluchtopnames, slaagt de JaarBAK er ook goed in om deze terecht als 'niet-afgedekt' aan te duiden (Figuur 15). Grote zandvlaktes en groeves beschouwt de JaarBAK eveneens gemakkelijker als 'niet-afgedekt' dan de BAK. Andere zaken classificeert de JaarBAK evenwel onterecht als 'niet-afgedekt', wat minder het geval is bij de BAK. Zo was het voor een beoordelaar, en bijgevolg ook voor het machinelearningmodel, heel moeilijk om groene kunstgrasvelden te onderscheiden van sportvelden met echt gras. Bij gebrek aan een tijdsreeks van gedetailleerde kunstgrasveldpolygonen was het daarom niet mogelijk om groene kunstgrasvelden als 'afgedekt' te classificeren. Ook vlakke industrieterreinen, eventueel bedekt met zand of andere materialen, worden soms onterecht als 'niet-afgedekt' aangeduid door het machinelearningmodel.



Figuur 15: l.t.t. de BAK beschouwt de JaarBAK grasvelden die in de zomer uitgedroogd zijn correct als 'niet-afgedekt' o.b.v. de winterluchtopnames. Voorbeeld voor hetzelfde gebied in de haven van Antwerpen.

Tabel 4: Verbeterpunten van de JaarBAK t.o.v. de BAK o.b.v. een visuele analyse voor 2018.

Werkelijke afdekking doorgaans als dusdanig in JaarBAK, maar niet of veel minder in BAK	**Werkelijke niet-afdekking doorgaans als dusdanig in JaarBAK, maar niet of veel minder in BAK**
• Terrassen en opritten van huizen • Parkings en verharde pleinen • Kleine/smalle wegen • Kerkhoven • Gravelvelden (rode tennisvelden en atletiekpistes) • Watervelden (blauwe hockeyvelden)	• Niet-afgedekte stukken op (grote) wegen • Grasvelden die 's zomers uitgedroogd zijn • Grote zandvlaktes/groeves

6 EVOLUTIES

Deze studie leverde jaarlijkse bodemafdekkingskaarten op voor 2013 t.e.m. 2021. Dankzij deze kaarten kunnen nu tijdsreeksen met een interval van 1 jaar worden opgesteld van indicatoren rond verharding, nieuwe verharding/ontharding en verharding binnen de bestemde open ruimte. Een verhardingsindicator werd in het verleden al berekend (o.b.v. de BAK), maar de twee laatstgenoemde indicatoren zijn voorbeelden van nieuwe cijfers die dankzij de JaarBAK voor het eerst berekend konden worden. Op het moment van schrijven was wel enkel een voorlopige JaarBAK voor 2021 beschikbaar, zodat deze kaart – en bijgevolg hieruit afgeleide cijfers – met de nodige omzichtigheid benaderd moeten worden.

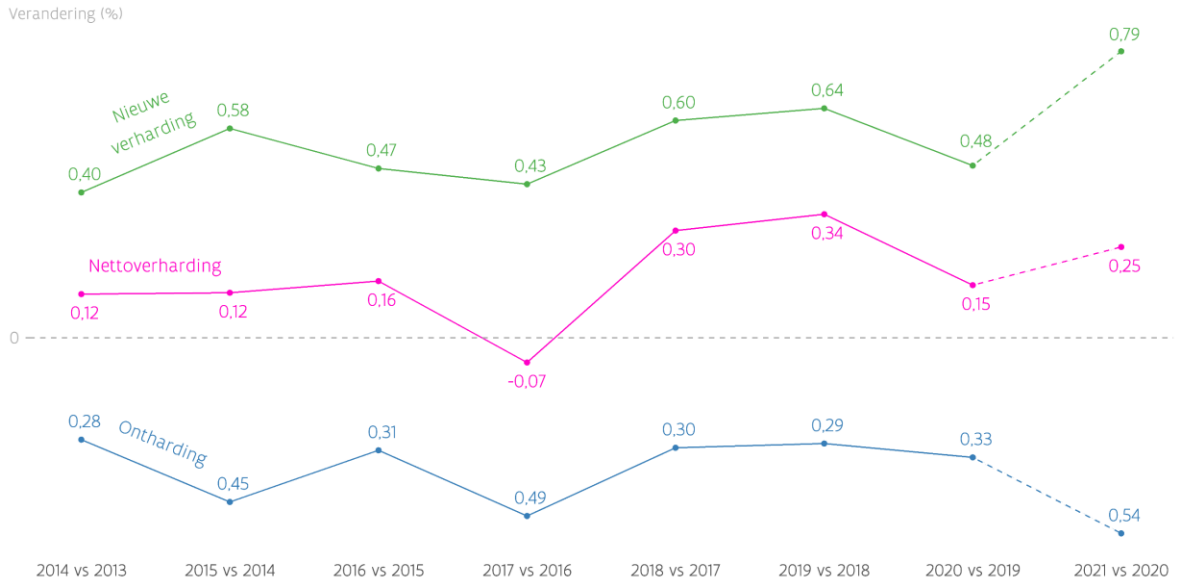
6.1 VERHARDING

Een eerste voor de hand liggende evolutie op basis van de JaarBAK is die van de gemiddelde verharding in Vlaanderen (Figuur 16). Deze tijdsreeks valt niet rechtstreeks te valideren bij gebrek aan voldoende testmateriaal, maar ze kan wel vergeleken worden met de resultaten van eerder onderzoek. Zo ontwikkelde het Departement Omgeving een statistische steekproefmethode om de evolutie van bodemafdekking in Vlaanderen te bepalen (Pieters et al., 2021). Hiervoor werd de bodemafdekking op de middenschalige luchtopnames van 2012, 2015 en 2018 voor 4.500 willekeurige locaties onafhankelijk beoordeeld door drie experten. Op deze manier werden globale cijfers met een betrouwbaarheidsinterval bekomen voor Vlaanderen (Figuur 16). Zo kon aangetoond worden dat zowel in de periode 2012–2015 als 2015–2018 de bodemafdekking statistisch significant is toegenomen. Een toepassing van dezelfde methode met dezelfde willekeurige locaties op de BAK-kaarten resulteerde eveneens in globale cijfers met een betrouwbaarheidsinterval (Van der Linden & Valckenborgh, 2021) (Figuur 16). Ook al leverden de twee laatstgenoemde studies geen kaart op, toch kunnen ze helpen bij het beoordelen van de kwaliteit van de JaarBAK. Van een nauwkeurige bodemafdekkingskaart verwachten we namelijk dat de bodemafdekkingsgraden voor Vlaanderen zeer nauw aansluiten bij de percentages bekomen in deze studies. De trend in de bodemafdekkingsgraad volgens de JaarBAK volgt inderdaad dezelfde stijgende trend als die van de steekproefmethode en de BAK (Figuur 16). Met uitzondering van de overgang van 2016 naar 2017 neemt de bodemafdekking in Vlaanderen volgens de JaarBAK ieder jaar toe. De geschatte toename bedraagt 0,17%-punt op jaarbasis. Dit komt overeen met 0,51%-punt om de drie jaar, wat zeer vergelijkbaar is met de toename tussen 2012 en 2015 (0,54%-punt) en tussen 2015 en 2018 (0,39%-punt) volgens de steekproefmethode (Figuur 16).

Figuur 16: Evolutie van de verharding in Vlaanderen volgens de BAK, steekproefmethode en JaarBAK. Het JaarBAK-cijfer voor 2021 is gebaseerd op een voorlopige versie van de kaart.

6.2 NIEUWE VERHARDING EN ONTHARDING

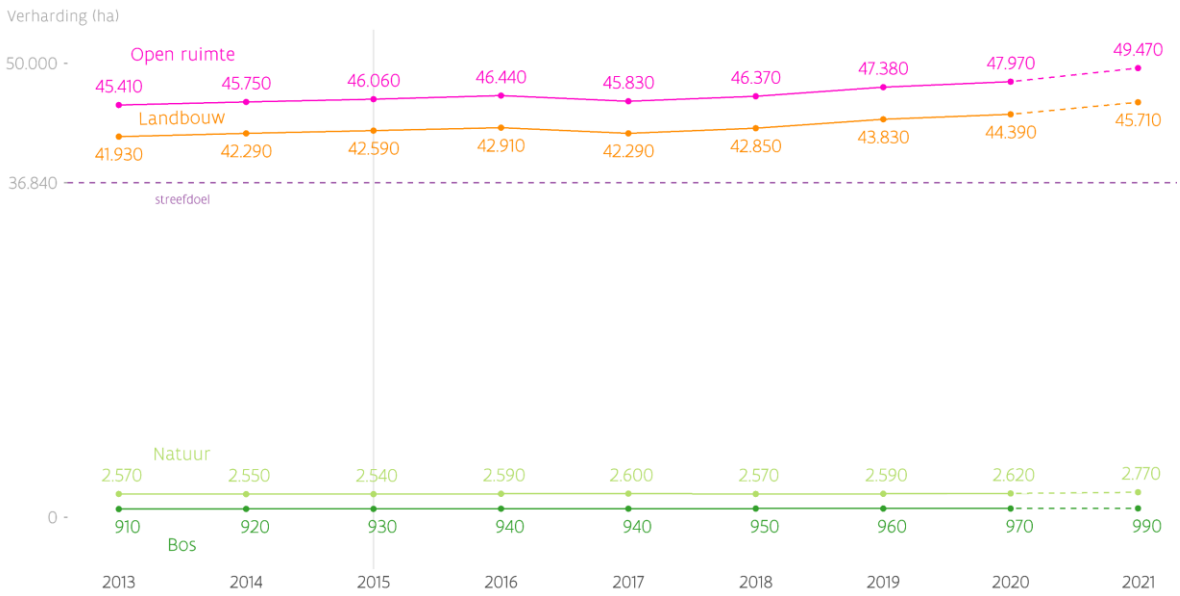
De jaarlijkse bodemafdekkingskaarten laten eveneens toe om de jaarlijkse nieuwe verharding, ontharding en nettoverharding te bepalen t.o.v. het voorgaande jaar (Figuur 17). De nettoverhardingslijn is het verschil tussen de onderliggende processen van nieuwe verharding enerzijds en ontharding anderzijds. Hieruit blijkt dat jaar na jaar wel degelijk ontharding plaatsvindt, maar dat deze steeds gecompenseerd wordt door een groter aandeel nieuwe verharding (behalve in 2017).



Figuur 17: Evolutie van nieuwe verharding, ontharding en nettoverharding. De cijfers voor 2021 zijn gebaseerd op de voorlopige versie van de jaarlijkse bodemafdekkingskaart.

6.3 VERHARDING IN OPEN RUIMTE

Zoals aangegeven in de inleiding vormen ontharding en het vermijden van bijkomende verharding een belangrijke pijler van de strategische visie van het BRV. Eén van de belangrijke doelstellingen is om tegen 2050, met 2015 als referentiepunt, de verhardingsgraad in de bestemde open ruimte te verlagen met 20%. Dit komt neer op een afname met zo'n 9.000 ha. De evolutie van verharding binnen de bestemde open ruimte toont echter een stijgende trend (+2.000 ha tussen 2015 en 2020) die zich verwijdert van het streefdoel (Figuur 18). Die trend wordt grotendeels gevoed door de toenemende verharding in bestemd landbouwgebied. In de natuur- en bosbestemmingen blijft de verharde oppervlakte daarentegen relatief constant doorheen de tijd.



Figuur 18: Evolutie van de verharding in de openruimtebestemmingen landbouw, natuur en bos. Het streefdoel voor 2050 is gebaseerd op de JaarBAK-cijfers voor 2015. De cijfers voor 2021 zijn gebaseerd op de voorlopige versie van de jaarlijkse bodemafdekkingskaart.

7 CONCLUSIE

Om zicht te hebben en te houden op verharding en haar evolutie zijn fijnmazige metingen noodzakelijk die snel opgevolgd en verwerkt kunnen worden. In deze studie werd een automatische methode ontwikkeld die nauwkeurige jaarlijkse bodemafdekkingskaarten opleverde voor het verleden en gebruikt zal worden om elk jaar een nieuwe versie van de JaarBAK te publiceren. Eerst werd informatie over water, gebouwen, wegen en spoorwegen uit het Grootschalig Referentiebestand (GRB) samengebracht om de administratief gekende bodemafdekking af te leiden. Vervolgens werd een machinelearningmodel opgesteld o.b.v.

middenschalige winterluchtopnames. Dit model liet toe om de bodemafdekking aan te vullen daar waar het GRB geen informatie leverde. Op deze manier werden definitieve jaarlijkse bodemafdekkingskaarten bekomen voor 2013 t.e.m. 2020 en een voorlopige jaarlijkse bodemafdekkingskaart voor 2021, zowel op 1 m- als 5 m-resolutie. Deze kaarten overtreffen de kwaliteit van de Bodemafdekkingskaart (BAK) van Digitaal Vlaanderen met een hoge nauwkeurigheid van ca. 98%. Bovendien detecteren ze meer afdekking (bv. terrassen en opritten van huizen) en niet-afdekking (bv. middenbermen van autosnelwegen en in de zomer uitgedroogde grasvelden) dan de BAK. De gemiddelde bodemafdekkingsgraad die uit de JaarBAK-kaarten kan afgeleid worden volgt dezelfde stijgende trend als in eerder statistisch onderzoek, wat een goede indicatie vormt voor hun kwaliteit. Ook kunnen nu voor het eerst nieuwe cijfers berekend worden, zoals in deze studie reeds gebeurde voor indicatoren rond nieuwe verharding versus ontharding en rond verharding binnen de bestemde open ruimte.

In een volgende studie zullen deze kaarten gebruikt worden om de patronen van verharding en ontharding (gefragmenteerd, geclusterd …) en hun evolutie doorheen de tijd gedetailleerd te analyseren. Een koppeling met gevestigde ruimtelijke begrippen (ruimtebeslag, bebouwing, bestemmingen …) en typologieën (verstedelijkt-randstedelijk-landelijk, kernen-linten-verspreide bebouwing …) zal zorgen voor een verdere geografische differentiatie en toetsing aan de beleidsdoelstellingen. Ook een combinatie met de kansenkaart onthardingswinst is mogelijk, bijvoorbeeld om te evalueren of deze aanleiding geeft tot concrete ingrepen op het terrein. Ten slotte kan ook gekeken worden naar hoeveel verharding “door de mazen van het net glipt”. Het Eindrapport Taskforce Bouwshift stelde vast dat de vrijstelling van vergunning of meldingsplicht tot bijkomende verharding leidt waar geen zicht op is. De jaarlijkse bodemafdekkingskaarten kunnen gecombineerd worden met informatie uit het Omgevingsloket om een idee te krijgen van de verhouding tussen vergunde en onvergunde verharding.

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://lokaalbestuur.vlaanderen.be/sites/default/files/public/thema/andere/LEKP_2_0.pdf

Departement Omgeving. (2018). *Geïllustreerde versie Strategische Visie Beleidsplan Ruimte Vlaanderen*. Departement Omgeving.

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

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 off the JRC to the European Environment Agency's Environment Staate and Outlook Report—SOER 2010*. Publications Office of the European Union.

Pieters, J., Willems, P., Brems, W., Vanacker, S., & Pisman, A. (2021). *Evolutie van verharding en ruimtebeslag in de periode 2012-2015-2018. Onderzoek in opdracht van het Vlaams Planbureau voor Omgeving.*

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* (p. 246).

Van der Linden, S., & Valckenborgh, J. (2021). *Bodembedekkingskaart Vlaanderen 2018. Technische handleiding* (p. 27). Informatie Vlaanderen. https://assets.vlaanderen.be/image/upload/v1650525487/rsvdl_BodembedekkingVlaanderen2018_v1_hh87tv.pdf