



Vlaamse
overheid



Digitalisatie van historisch landgebruik en analyse van landgebruiksveranderingen in Vlaanderen (1778-2022)

Resultaten van deep learning (AI) beeldclassificatie
toegepast op drie historische kaarten

Luc De Keersmaeker, Pieter Roggemans, Tim Ghysels, Lien Poelmans,
Ingo Buskens, Toon Petermans, Stijn Tallir, Jo Van Valckenborgh

INBO.be

Auteurs:

Luc De Keersmaeker,

Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek

Pieter Roggemans, Tim Ghysels

Agentschap Landbouw en Zeevisserij

Lien Poelmans

Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek

Ingo Buskens

GIM NV

Toon Petermans, Stijn Tallir, Jo Van Valckenborgh

Digitaal Vlaanderen

Reviewers:

Jeroen Vanden Borre

Het INBO is het onafhankelijk onderzoeksinstuut van de Vlaamse overheid dat via toegepast wetenschappelijk onderzoek, data- en kennisontsluiting het biodiversiteitsbeleid en -beheer onderbouwt en evalueert.

Vestiging:

Herman Teirlinckgebouw

INBO Brussel

Havenlaan 88, 1000 Brussel

vlaanderen.be/inbo

e-mail:

luc.dekeersmaeker@inbo.be

Wijze van citeren:

De Keersmaeker L., Roggemans P., Ghysels T., Poelmans L., Buskens I., Petermans T., Tallir S., Van Valckenborgh J.(2024). Digitalisatie van historisch landgebruik en analyse van landgebruiksveranderingen in Vlaanderen (1778-2022). Resultaten van deep learning (AI) beeldclassificatie toegepast op drie historische kaarten. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2024 (16). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

DOI: doi.org/10.21436/inbor.102669971

D/2024/3241/116

Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2024 (16)

ISSN: 1782-9054

Verantwoordelijke uitgever:

Hilde Eggermont

Foto cover:

Aan het begin van de 20ste eeuw was de bebossing van heide in de Hoge Kempen in volle gang. De foto is in 1911 genomen in Eksel door Jean Massart (collectie KU Leuven. 2Bergen Campus Arenberg) en toont meerdere aanplantingen van grove dennen. Rechts in beeld een aanplanting van het vorige jaar, links een tweejarige aanplant en op de achtergrond 15-18 jaar oude grove dennen. Centraal staan 100 jaar oude bomen van een oudere aanplant, die wellicht grotendeels gekapt is.

Facultatief:

Dit onderzoek werd uitgevoerd met middelen ter beschikking gesteld door het Omgevingsinformatiesamenwerkingsverband (OIS) van het departement Omgeving



Dit werk valt onder een [Creative Commons Naamsvermelding-GelijkDelen 4.0 Internationaal-licentie](#).

DIGITALISATIE VAN HISTORISCH LANDGEBRUIK EN ANALYSE
VAN LANDGEBRUIKSVERANDERINGEN IN VLAANDEREN
(1778-2022)

**Resultaten van deep learning (AI) beeldclassificatie
toegepast op drie historische kaarten**

**Luc De Keersmaeker, Pieter Roggemans, Tim Ghysels, Lien Poelmans, Ingo
Buskens, Toon Petermans, Stijn Tallir, Jo Van Valckenborgh**

doi.org/10.21436/inbor.102669971

Dankwoord/Voorwoord

Voorliggend rapport is het resultaat van het project ‘Digitalisatie Historisch landgebruik’ dat werd uitgevoerd van april 2022 tot en met december 2023, binnen het Omgevingsinformatiesamenwerkingsverband (OIS). Vanuit het OIS zijn er jaarlijks middelen beschikbaar voor IT-gerelateerde projecten van het beleidsdomein Omgeving, die een samenwerking zijn van meerdere entiteiten van de Vlaamse overheid.

Voor dit OIS-project is een samenwerking opgezet tussen het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO, Luc De Keersmaeker), het Agentschap Landbouw en Zeevisserij (Pieter Roggemans en Tim Ghysels), de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO, Lien Poelmans) en Digitaal Vlaanderen (Jo Van Valckenborgh, Stijn Tallir en Toon Petermans). De auteurs wensen de stuurgroep van het OIS te bedanken voor het vertrouwen in het onderzoeksvoorstel. Aaike De Wever (INBO) bood praktische ondersteuning bij de opstart van het project en bij de uitbesteding van de validatie aan GIM (Ingo Buskens), waarvoor bijzonder veel dank.

Op inhoudelijk vlak kwamen er heel wat nuttige en bruikbare suggesties naar boven tijdens de stuurgroepvergaderingen, met name vanuit het Nationaal Geografisch Instituut (NGI) en het Agentschap Onroerend Erfgoed. Bijzonder veel dank aan Hilde Verboven en Koen Smets van het Agentschap Onroerend Erfgoed, die hielpen bij de interpretatie van de gereduceerde kadasterkaarten, waarvoor geen legende beschikbaar was.



Samenvatting

Dit rapport beschrijft de methodiek en de resultaten van een OIS-project, dat tot doel had om met behulp van deep learning (AI) het landgebruik in Vlaanderen, weergegeven op historische kaarten, te digitaliseren en de evolutie ervan doorheen de tijd te analyseren.

Hiervoor werd gebruikgemaakt van OrthoSeg, een open-source-softwarepakket beschikbaar op Github, dat de segmentatie van luchtbeelden en kaarten met behulp van deep learning relatief eenvoudig maakt, zodat een classificatie tot landgebruiksklassen mogelijk is. Met segmentatie verwijzen we naar het proces waarbij de grenzen en oppervlakte van objecten die worden weergegeven op de beelden (in dit geval historische kaarten), nauwkeurig worden geïdentificeerd. Met classificatie bedoelen we de toewijzing tot klassen, in dit geval van landgebruik.

In eerste instantie werd een selectie gemaakt van te verwerken historische kaartlagen, die via de geoportalen Geopunt en Cartesius gedeeld worden. Op basis van het interval tussen de kaarten, de duur en de kwaliteit van de kartering viel de keuze op de Ferrariskaarten (afgewerkt tegen 1778, terreinopmetingen 1770-1774), de topokaarten Dépôt de la Guerre (DG) 1873 (uitgave 1873, terreinopmetingen 1860-1873) en de topokaarten Militair Geografisch Instituut (MGI) 1969 (uitgave 1969, terreinopmetingen 1952-1969).

In functie van de digitalisatie van het landgebruik werd de mozaïek van de Ferrariskaarten verbeterd op drie vlakken: een ontbrekend kaartblad werd toegevoegd, de georeferentie langsheel de toenmalige rijksgrenzen werd verbeterd en discontinue overgangen van lineaire elementen zoals wegen en waterlopen tussen aangrenzende kaartbladen werden weggewerkt.

De toepassing van OrthoSeg resulteerde in polygonenkaarten voor elke historische kaartlaag. Het aantal onderscheiden klassen was specifiek voor elke kaart en werd bepaald door de legende van de betreffende kaart. Tijdens het iteratieve proces voor de optimalisatie van de segmentatie en classificatie werd de legende waar nodig bijgestuurd. Op dit resultaat voerden we vervolgens een aantal manuele correcties en aanvullingen uit, waarbij vooral de buitendijkse gebieden (strand, slikke en schorre) en de kustduinen beter werden afgebakend en onderscheiden.

De polygonenkaarten die het resultaat zijn van de toepassing van OrthoSeg, zonder de manuele aanpassingen, zijn gevalideerd en halen een hoge nauwkeurigheid (κ waarde $> 80\%$). Voor deze validatie maakten we gebruik van een willekeurig gegenereerde puntenlaag, die op de polygonenkaarten werd gelegd en vervolgens op scherm werd beoordeeld, met de mozaïeken van de historische kaarten op de achtergrond.

Om de veranderingen in het landgebruik sinds het einde van de 18de eeuw te analyseren, clusterden we vervolgens de klassen van de afzonderlijke historische kaarten tot 14 gemeenschappelijke landgebruiksklassen, die ook op de landgebruikskaart van 2022 onderscheiden kunnen worden. Door dit clusteren nam de nauwkeurigheid van de beeldclassificatie verder toe en haalde de overlay van de historische landgebruikskaarten een κ waarde van 88%. Na het clusteren werden de vier kaarten verrasterd met een resolutie 100 m x 100 m, zodat de voortschrijdende impact van positionele fouten van de afzonderlijke historische kaarten binnen de perken gehouden kon worden.

De analyses tonen grote veranderingen van het landgebruik aan, tussen 1778 en 2022. Heide en open landduinen namen sterk af, van 12% van het Vlaamse grondgebied op het einde van



de 18de eeuw tot minder dan 1% in 2022. Open moerassen en venen beslaan op de Ferrariskaarten een veel kleinere oppervlakte dan heide en landduinen, maar volgen dezelfde trend. In de 19de eeuw lag vooral bebossing aan de basis van de afname, in de periode tussen 1873 en 1969 speelt ook ontginning als landbouwgrond een belangrijke rol. Het aandeel van de beboste oppervlakte bleef in de voorbije eeuwen steeds ongeveer 10%, maar bossen in het westen en het zuiden van Vlaanderen verdwenen door ontginning tot landbouwgrond (vooral akker), terwijl in de Kempen en zandig Vlaanderen een ongeveer gelijke oppervlakte van nieuwe bossen ontstond op heide. Akkers hadden tussen 1778 en 2022 steeds het grootste aandeel in het landgebruik, maar hun belang nam af van bijna 60% in de 19de eeuw tot ongeveer 30% van de oppervlakte van Vlaanderen in 2022. De sterke afname van akkers tussen 1873 en 1969 is te verklaren door de omvorming tot grasland, waarvan het areaal meer dan verdubbelde: van 13% in 1873 tot meer dan 28% in 1969. Deze omslag is het gevolg van de 'Agricultural Invasion', waarbij de import van goedkoop graan leidde tot een heroriëntatie van akkerbouw naar veeteelt. Ook de toename van boomgaarden in die periode is er het gevolg van.

Sinds het einde van de 18de eeuw is de oppervlakte met bebouwing en tuinen vertienvoudigd van 2% tot 20%. Vooral na 1873 nam de oppervlakte sterk toe, ten koste van alle andere landgebruiksklassen, maar in de eerste plaats van landbouwgronden (akkers en graslanden). Door urbanisatie en de toename van infrastructuur is meer dan de helft van de oorspronkelijk aanwezige open kustduinen sinds de 19de eeuw verdwenen. De oppervlakte van water nam na 1969 sterk toe, als gevolg van de aanleg van havendokken en het uitgraven van plassen door zand-, klei- en grindwinning.

Als gevolg van deze dynamiek is slechts 20% van de oppervlakte van Vlaanderen niet van landgebruik gewijzigd tijdens de onderzochte periode van ongeveer 250 jaren. Het leeuwendeel van deze 20% bestaat uit akkers (14% of 194.000ha). Het aandeel dat tussen 1778 en 2022 niet is gewijzigd van landgebruik, loopt sterk uiteen tussen de klassen onderling. Dit aandeel is hoog bij akkers (47%), heide en landduinen (55%), kustduinen (49%) en buitendijkse gronden (strand, slikke en schorre: 29%). Van de landgebruiksklassen water, grasland en bos is tussen 10% en 20% van de oppervlakte doorlopend aanwezig gebleven sinds het einde van de 18de eeuw. Bij de overige landgebruiksklassen die op alle kaarten voorkomen (bebouwing en tuinen, boomgaard, infrastructuur, moeras en veen), bedraagt dit aandeel hooguit enkele procenten. Een kanttekening hierbij is dat de positionele fouten van de historische kaarten een erosie van de niet veranderde oppervlakte tot gevolg kunnen hebben. Vooral bij landgebruik dat een gering aandeel heeft en dat bestaat uit kleine polygonen, zoals de klassen boomgaard en water, kan dit tot een onderschatting van de niet veranderde oppervlakte geleid hebben.



Aanbevelingen voor beheer en/of beleid

Output van het project

Het project realiseerde een verbetering van de mozaïek van de Ferrariskaarten, vier nieuwe polygonenkaarten met historisch landgebruik en een eindrapport:

- De **mozaïek van de Ferrariskaarten**, die eerder al beschikbaar was via Geopunt, is verder verbeterd op volgende punten: de volledigheid van de dekking, de georeferentie langs de grenzen, en de aansluiting van lineaire elementen (wegen, waterlopen) tussen de kaartbladen.
- **Drie polygonenkaarten** die het landgebruik ontsluiten, zoals dat wordt weergegeven door de Ferrariskaarten (1778), de topokaarten DG 1873 en de topokaarten MGI 1969.
- Een kaart met polygonen afgeleid van een 100 m x 100 m raster, die **een synthese geeft van de evolutie van het landgebruik**. Met deze kaart kunnen vlot analyses worden uitgevoerd van de landgebruiksveranderingen doorheen de tijd.
- Dit **rappoort** dat de gemaakte keuzes en de toegepaste methodiek weergeeft, en de resultaten beschrijft van een analyse van de landgebruiksveranderingen in Vlaanderen tussen het einde van de 18de eeuw en 2022.

Kanttekeningen bij het gebruik van de GIS-data

De beeldclassificaties die werden toegepast op de drie afzonderlijke kaarten, en die resulteren in polygonenkaarten, zijn globaal van een hoge kwaliteit en halen een hoge nauwkeurigheid (zie validaties). Maar elke kaart heeft daarnaast ook een positionele fout, die het grootst is voor de 18de-eeuwse Ferrariskaarten (mogelijk tot honderden meter) en die kleiner is naarmate de kaarten recenter zijn. Het is daarom aan te bevelen om bij het gebruik van de polygonenkaarten van de afzonderlijke tijdstippen, niet verder in te zoomen dan een middenschalig niveau (1:20.000 of 1:25.000). Op een grotere schaal, tot op niveau van enkele percelen of één domein, kunnen fouten in de beeldclassificatie én positionele fouten een correcte interpretatie in de weg staan en is het nodig om de originele kaarten via de mozaïeken online te raadplegen en interpreteren.

De positionele fouten en de classificatiefouten van de afzonderlijke kaarten werken bovendien door in de kaart die een synthese geeft van de evolutie van het landgebruik. Om misinterpretatie te vermijden en fouten in de berekeningen van de oppervlakten van de klassen te reduceren, is daarom gekozen voor een raster met 100 m x 100 m resolutie, dat vervolgens terug werd omgezet naar een polygonenkaart. Hierdoor kan de evolutie van kleine landschappelijke eenheden, zoals watervlakken, boomgaarden of verspreide bebouwing en wegen, op lokale schaal niet goed beoordeeld worden met deze kaart en is het noodzakelijk de polygonenkaarten of mozaïeken van de afzonderlijke tijdstippen te bekijken om zo de evolutie ervan te beoordelen.

Een tweede kanttekening gaat over de kwaliteit (of de verschijningsvorm) van de landgebruiksklassen op de verschillende tijdstippen. Een doorsnee grasland zag er in de 18de eeuw helemaal anders uit dan in 2022, en hetzelfde geldt ook voor de meeste andere landgebruiksklassen. Dit betekent dat voor sommige berekeningen die gebruik maken van de historische arealen, bijvoorbeeld om koolstofvoorraad of biodiversiteit van historische landschappen te reconstrueren, aanvullende kwalitatieve informatie gebruikt moet worden (zie Foto's 1 & 2). Een voorbeeld van waardevolle aanvullende informatie die dergelijke



analyses kan ondersteunen, zijn de historische landbouwtellingen die worden gedigitaliseerd i.h.k.v. een ander OIS-project (zie hieronder).

Mogelijke toepassingen van de GIS-data

De ontsluiting, als polygonenkaarten, van het historische landgebruik en de evolutie ervan, maakt het mogelijk ruimtelijke analyses te maken die nuttig zijn voor allerlei toepassingen, in vele beleidsdomeinen van de Vlaamse overheid. De opsomming hieronder heeft niet de ambitie om volledig te zijn, maar kan wel de brede toepassingsmogelijkheden illustreren: bv.

- De kartering van de betekenis die landschappen hebben, omwille van hun erfgoedwaarde, biodiversiteit, ecosysteemdiensten, landbouwgebruik...
- Het ontwikkelen van referentiebeelden voor projecten die tot doel hebben om landschappen (geheel of gedeeltelijk) te reconstrueren, vanuit uiteenlopende invalshoeken (erfgoedwaarde, biodiversiteit, ecosysteemdiensten, landbouwgebruik...)
- De realisatie van efficiënte (least cost) verbindingen tussen landschappen in functie van de hierboven opgesomde invalshoeken
- Het doorrekenen en vergelijken van ruimtelijke scenario's waarvoor het historische landgebruik van belang is, bijvoorbeeld voor het prioriteren van maatregelen voor klimaatadaptatie of klimaatmitigatie, of voor natuurherstel
- Het faciliteren van fundamenteel onderzoek naar de relatie tussen ecologische continuïteit of ruimtelijke samenhang van historische landschappen en natuurkwaliteit (soorten en habitats)
- De koppeling aan kwalitatieve gegevens, die gehaald worden uit de digitalisaties van de historische landbouwtellingen, om ecosysteemdiensten, biodiversiteit, en andere aspecten van historische landschappen beter te reconstrueren en kwantificeren.

Dit type van toepassingen is een meerwaarde voor vele programma's van de Vlaamse overheid die een impact kunnen hebben op de ruimtelijke structuur van Vlaanderen: de Blue Deal, Meer bos, Natura 2000, het Houtkantenplan, etc.

Mogelijke toepassingen van de methodiek

De resultaten van het project tonen aan dat de toegepaste methodiek (AI-beeldclassificatie met OrthoSeg), die oorspronkelijk ontwikkeld en toegepast is voor de segmentatie van luchtfoto's, ook succesvol ingezet kan worden op afgeleide of verwerkte beelden zoals topografische kaarten.

Voor dit project werden 3 reeksen van historische kaarten uitgekozen om te digitaliseren, om redenen die verderop worden uitgelegd (zie onderdeel 3). De methodiek kan ook toegepast worden om de andere reeksen (MCI 1904, MCI 1939 en NGI 1989), die via Cartesius gedeeld worden, te digitaliseren. In dit project lag de focus op de kartering van vlakken (landgebruik), maar een recent afgerond project toont aan dat ook lineaire landschapselementen (houtkanten en bomenrijen) op dezelfde kaarten succesvol gedigitaliseerd kunnen worden (De Vroey et al. 2024). Andere lijnvormige elementen, zoals smalle waterlopen, holle wegen, etc. zijn nog niet systematisch gekarteerd, maar technisch zijn hier geen problemen te verwachten. Ook puntvormige elementen op deze kaarten, denk aan veedrinkplassen, wind- of watermolens, bepaalde tekst (bronnen, of vermeldingen van abdijen etc.) kunnen mogelijk gedigitaliseerd worden.



De belangrijkste gebiedsdekkende historische kaarten, die om technische redenen nog niet eenvoudig te ontsluiten zijn, zijn de gereduceerde kadasterkaarten uit het midden van de 19de eeuw. In het rapport worden een aantal mogelijke oplossingen gesuggereerd om de afzonderlijke gegeorefereerde kaarten van de toenmalige gemeenten bij te snijden, zodat ze in een mozaïek gebracht kunnen worden en zodat ook van deze kaarten door beeldclassificatie informatie gedigitaliseerd kan worden. Andere, niet gebiedsdekkende historische kaarten zijn nu al geschikt, zoals de Villaretkaart (1745-1748) die via Geopunt gedeeld wordt. Voor studies over een gebied dat het lokale niveau, van bijvoorbeeld één gemeente overstijgt, mag ook voor deze kaarten een grote tijdswinst verwacht worden door toepassing van deep learning beeldclassificatie, ten opzichte van manuele digitalisatie of desktop interpretatie.



Foto's 1&2 Hetzelfde landgebruik kan doorheen de tijd kwalitatief sterk veranderd zijn. Foto 1 (links) is een opname van het Leen (Eeklo) uit 1911 door Massart (collectie KU Leuven. 2Bergen Campus Arenberg), Foto 2 (rechts) is genomen in hetzelfde domein in 2023 (Simon Hendrickx). In het begin van de 20ste eeuw werd strooisel verzameld voor de teelt van azalea en rhododendron, waren de eiken veel jonger en werd het hakhouw van elzen regelmatig gekapt. In 2023 is het bosbeheer veel minder intensief en zijn de bomen veel ouder. Met deze verschillen moet rekening gehouden worden bij vergelijkingen, bvb. van de koolstofvoorraad.

English abstract

This report describes the methodology and results of a project that aimed to digitize historical land use as represented by historical maps, using deep learning (AI) image classification, and analyze land-use changes in Flanders (northern Belgium) over the past 250 years.

We used for this purpose OrthoSeg, an open source software package available on Github (Roggemans 2023). OrthoSeg is a relatively simple tool for the segmentation of remote sensing images and maps, shared by geoportals.

The first step was a selection of suitable maps, available at the Geopunt and Cartesius geoportals. Based on the timespan of the field observations, the interval between the maps, and the quality of the legend and the drawing, we selected the maps of Ferraris (finished by 1778 but field observations between 1770 and 1774), the first edition of topographical maps by Dépôt de la Guerre (DG) (published in 1873, field observations between 1860 and 1873) and the topographical maps by the Military Geographical Institute (MGI) (published in 1969, field observations between 1952 and 1969).

Before the segmentation, we improved the Geopunt mosaïc of the Ferraris maps for three aspects: a missing part at the eastern border was added, the georeferencing along the state borders was improved by means of the municipality borders in 1850, and discontinuities of linear elements (roads, water courses) between adjacent sheets were removed.

The segmentation by OrthoSeg resulted into a polygon layer for each historical map. The number of detection classes was specific for each map and determined by the map legend, but also by the iterative detection process, and adjusted to optimize the outcome. In a last step, manual adjustments on the resulting polygon layers removed some misclassifications and resulted into a better discrimination of coastal dunes from heathland, and beach, tidal mudflat and tidal marsh from inland grassland and marshland.

The resulting polygon maps without the manual adjustments were validated by means of a desktop confrontation of the classification result with the mosaics of historical maps, using a set of randomly generated point locations. This validation proved that the image classification is of high quality, with kappa values always exceeding 80%.

To analyze land use changes since the 18th century, we included the land use map 2022 as a present-day reference. The detection classes and map units were clustered to 14 land use classes for this purpose, which further improved the classification accuracy to a kappa value of 88%. All four maps included into the temporal analysis were converted to 100 m x 100 m raster layers to reduce the error propagation as a result of positional errors.

The temporal analyses revealed major land use changes in Flanders between 1778 and 2022. Heathland and inland dunes occupied 12% of the surface area of 18th century Flanders, decreasing to less than 1% in 2022. Open marshes and peatland covered a smaller area, but followed a similar declining trend. In the 19th century, the decline of heathland and marshes is explained by the conversion to forest, but after 1873 conversion to farmland (grassland or arable field) was the main driver. The proportion of Flanders that is covered by forest, remained remarkably stable (approximately 10%) in the past 250 years. However, this stable figure concealed high dynamics, as forests in the West and South of Flanders on silt soils were converted to arable land, and forests were planted on sand soils that were mostly covered by heathland, in the Northeast of Flanders. Throughout the studied time period, arable land covered the largest area, but declined from 60% of the surface area in the 19th century to



approximately 30% in 2022. A strong decrease between 1873 and 1969 is explained by the conversion of arable fields to grasslands, as a result of a shifted focus to animal husbandry. This conversion was triggered by the so-called ‘agricultural invasion’, i.e. the import of cheap grain from the US and Russia to western Europe.

Since the late 18th century up to present, built-up areas and gardens increased tenfold in surface area (from 2% to 20%), and this increase mostly occurred after 1873. All other land use classes were converted to built-up areas and gardens, but farmland (grassland and arable fields) in the first place. More than 50% of the coastal dunes disappeared after 1873, as a consequence of urbanization, expanding infrastructure and recreational infrastructure. The area covered by water increased by the excavation of new docks in the harbors of Antwerp, Ghent, and Zeebrugge and by the extraction of sand, clay and gravel.

As a result of these dynamics only 20% of the area of Flanders has had a continuous land use between 1778 and 2022, without any conversion to other land use classes in between. Most of this area consists of arable fields, covering a surface area of 194.000ha (14% of Flanders). The proportion of permanent land use area to the total area covered by the respective land use class in 2022 is specific for each class. It is high for arable fields (47%), heathland and inland dunes (55%), coastal dunes (49%) and beach, tidal mudflats and tidal marshes (29%). The proportion of permanent land use is intermediate (between 10% and 20%) for the classes water, grassland, and forest and low (<5%) for marshland, orchards, built-up areas and gardens, and infrastructure. However, it should be kept in mind that the proportion of permanent land use can be underestimated for classes that mostly occur as small patches, such as orchards or water. The area of permanent land uses of these classes can be affected by error propagation, as a result of the specific positional error of each historical map.



Inhoudstafel

Dankwoord/Voorwoord	2
Samenvatting	3
Aanbevelingen voor beheer en/of beleid	5
Output van het project	5
Kanttekeningen bij het gebruik van de GIS data	5
Mogelijke toepassingen van de GIS data	6
Mogelijke toepassingen van de methodiek	6
English abstract	8
Lijst van figuren	12
Lijst van foto's	14
Lijst van tabellen	15
1. Achtergrond	16
2. Doelstellingen	18
3. Selectie van historische kaarten voor deep learning classificatie	19
4. Gebruik van deep learning beeldclassificatie op historische kaarten	22
4.1 OrthoSeg	22
4.2 Training en validatie	23
5. Ferrariskaart 1778	25
5.1 Beschrijving van de kaart	25
5.2 Verbetering van de georeferentie en de begrenzing van de Ferrariskaart	27
5.2.1. Digitale ontsluiting van de Ferrariskaarten	27
5.2.2. Oorspronkelijke georeferentie	27
5.2.3. Verbeterde georeferentie	29
5.2.4. Kanttekeningen bij de georeferentie van de Ferrariskaarten	32
5.3 Klassen onderscheiden door de AI beeldclassificatie en manuele aanpassingen	34
5.4 Validatie van de beeldclassificatie	36
6. Gereduceerde kadasterkaarten	39
6.1 Beschrijving van de kaart	39
6.2 Legende	39
6.3 Digitale ontsluiting	42
7. Topokaart DG 1873	45
7.1 Beschrijving van de kaart (voornamelijk gebaseerd op Cartesius)	45
7.2 Klassen onderscheiden door de AI beeldclassificatie en manuele aanpassingen	45
7.3 Validatie van de beeldclassificatie	47
8. Topokaart MGI 1969	49
8.1 Beschrijving van de kaart (gebaseerd op Cartesius en NGI)	49
8.2 Klassen onderscheiden door de AI beeldclassificatie en manuele aanpassingen	49
8.3 Validatie van de beeldclassificatie	50



9. Landgebruiksveranderingen (1778 - 2022)	53
9.1 Globale werkwijze	53
9.2 Gemeenschappelijke landgebruiksklassen	55
9.3 Landgebruikskaart 2022	55
9.4 Verrastering naar 100m x 100m resolutie	57
9.5 Resultaten van de analyse van landgebruiksveranderingen 1778-2022	63
9.5.1. Evolutie van de totale oppervlakte van de landgebruiksklassen	63
9.5.2. Transities tussen landgebruiksklassen	69
9.5.3. Historisch permanent landgebruik	74
9.6 Resultaten voor enkele regio's in Vlaanderen	78
9.7 Validatie van de landgebruiksveranderingen 1778-1969	82
Referenties	87
Bijlage 1: Legende van de klassen onderscheiden op de Ferrariskaarten	90
Bijlage 2: Legende van de klassen onderscheiden op de topografische kaarten DG 1873	95
Bijlage 3: Legende van de klassen onderscheiden op de topografische kaarten MGI 1969	98



Lijst van figuren

- Figuur 3.1 Datering van de kaartbladen van de topokaart MCI 1939. Een deel werd voor de Eerste Wereldoorlog gekarteerd (blauw) en een deel tijdens het interbellum (groen). De jaartallen van de terreinwaarnemingen volgens het NGI archief werden als attribuutwaarde toegevoegd aan het rooster van 1:20.000 kaarten door Hilde Verboven (Agentschap Onroerend Erfgoed). 20
- Figuur 4.1 Architectuur van OrthoSeg 22
- Figuur 4.2 Categorical_accuracy en val_categorical_accuracy, door OrthoSeg gegenereerd (x-as: aantal trainings- en validatielocaties; y-as: nauwkeurigheid) 24
- Figuur 5.1 De Weense versie van de Ferrariskaart (boven) maakt gebruik van een lettercode, bij voorbeeld om boomgaarden (geel met een V van verger) te onderscheiden van graslanden (geel met een P van prairies). Op de versie van de KBR (onder), een kopie van de Weense versie, wordt voor elk landgebruik een specifieke inkleuring van de volledige eenheid toegepast: boompjes op een rij tegen een egaal groen veld voor de boomgaarden, versus donkergroene ‘grasjes’ tegen een groene achtergrond voor de graslanden. 25
- Figuur 5.2 Delen van het huidige Vlaanderen die niet zijn gekarteerd op de Ferrariskaarten, worden cyaan weergegeven. 27
- Figuur 5.3 Weergave van de 24.953 controlepunten die gebruikt werden voor de georeferentie (rood) en de 3512 aanvullende punten die tot doel hadden vloeiente overgangen tussen de kaartbladen te bekomen (cyaan), met op de achtergrond de georeferenteerde Ferrariskaarten. 28
- Figuur 5.4 Overgenomen uit Vervust (2016); Regionale verschillen in de vervorming van de oppervlakte, weergegeven door de Ferrariskaarten, berekend op basis van de controlepunten van de oorspronkelijke georeferentie door Aquaterra. Blauwe en rode zones zijn respectievelijk uitgerokken en samengedrukt weergegeven op de Ferrariskaart. 29
- Figuur 5.5 De controlepunten van de oorspronkelijke georeferentie (gele stippen) situeren zich vaak vrij ver van de toenmalige buitengrenzen. Lokaal kunnen bijkomende punten op de grens een aanzienlijke verbetering van de georeferentie van de Ferrariskaarten mogelijk maken, zoals de blauwe vectoren op de zuidgrens van Lommel aantonen (de rode lijn is de hedendaagse gemeentegrens). 30
- Figuur 5.6 Discontinuïteiten van lineaire elementen (wegen, waterlopen) in de oorspronkelijke georeferentie (boven), werden weggewerkt in de verbeterde versie van de Ferrariskaarten (onder). In het rood zijn de grenzen van kadastrale percelen weergegeven. 31
- Figuur 5.7 Een voorbeeld van een karteefout op de Ferrariskaart ten oosten van Munsterbilzen, die niet door een betere georeferentie kan worden rechtgezet: de Molenbeek die op de topografische kaart van 1873 (onderaan) loopt van Roelen (1) naar kasteel Zangerhei (2), via een aantal vijvers, is op de Ferrariskaart (bovenaan) van Stalken (3) naar Zangerhei getekend. 33
- Figuur 5.8 Op het resultaat van de beeldclassificatie van de Ferrariskaart (links) werden manuele aanpassingen gemaakt (rechts) waardoor ‘strand of slikke’ (bruin), ‘water’ (zwart), ‘schorre’ (lichtgrijs), ‘grasland’ (blauw) en ‘kustduin en



duingrasland' (paars) beter werden onderscheiden. Het voorbeeld geeft de omgeving van Oostende weer.	35
Figuur 5.9 Voor een random gegenereerde puntenlaag wordt de klasse die het resultaat is van de detectie (inkleuring van de punten), in een GIS vergeleken met de landgebruiksklasse volgens de kaartenmozaïek op de achtergrond.	36
Figuur 6.1 Inkleuring van de 12 karteringsklassen van de gereduceerde kadasterkaarten, de nummering wordt verklaard in Tabel 6.1	40
Figuur 6.2 Als deze georefereneerde scan van de gereduceerde kadasterplannen worden geladen in een GIS, overlappen de plannen van aangrenzende gemeenten. De gedigitaliseerde gemeentegrenzen die gebruikt werden om bij te snijden, zijn rood weergegeven.	41
Figuur 6.3 De gemeentegrenzen van 1850 uit de historische databank van lokale statistieken (LOKSTAT, Universiteit Gent, Queteletcentrum) zijn blauw weergegeven, de rode lijnen zijn de manuele digitalisatie waarmee de kaarten werden bijgesneden en aan elkaar gepast. Het bereik van de zwarte rechthoek is onderaan uitvergroot weergegeven.	43
Figuur 7.1 Op het resultaat van de detectie van DG 1873 (links) werden manuele aanpassingen gemaakt (rechts) waardoor vooral 'schorren - slikken' (grijs), 'water' (zwart), 'grasland' (blauw) en veen - moeras (bruin) beter werden onderscheiden. Het voorbeeld geeft de Scheldepolders ten noorden van Antwerpen weer.	46
Figuur 9.1 De legende-eenheid 'heide, kapvlakte of ruigte' van de polygonenkaart van MGI 1969 (onder), al of niet nat (zie Tabel 8.1 en bijlage 3) werd opgedeeld in 'heide' en 'ruigte' voor de analyse van de landgebruiksveranderingen. Donkerroze is 'heide' (voorbeeld 1) en lichtroze is 'ruigte' (voorbeeld 2). Boven is de oorspronkelijke kaart weergegeven.	54
Figuur 9.2 Verrastering van de polygonenkaart (links) naar een 10m x 10m raster (rechts)	57
Figuur 9.3 Opvullen van de gaten in de beeldclassificatie met waarde 'no data' door middel van omringend landgebruik	57
Figuur 9.4 Correctie van landduinen, hier langs de Schelde, op de rasterkaart van 1873	58
Figuur 9.5 Landgebruik in Vlaanderen (Ferrariskaart 1778)	59
Figuur 9.6 Landgebruik in Vlaanderen (topokaart DG 1873)	60
Figuur 9.7 Landgebruik in Vlaanderen (topokaart MGI 1969)	61
Figuur 9.8 Landgebruik in Vlaanderen (2022)	62
Figuur 9.9 Netto evolutie van de verschillende landgebruiksklassen, uitgedrukt in gemiddeld aantal hectaren per dag, voor de periode 1778-1873 (links), 1873-1969 (midden) en 1969-2022 (rechts)	64
Figuur 9.10 Locaties waar transformaties naar bebouwing zijn opgetreden sinds 1778: transformatie naar bebouwing in de periode 1778-1873 (donkerpaars), in de periode 1873-1969 (rood) en in de periode 1969-2022 (geel)	64
Figuur 9.11 Locaties waar transformaties naar graslanden zijn opgetreden sinds 1778: in de periode 1778-1873 (donkerpaars), in de periode 1873-1969 (rood) en in de	

//////////

periode 1969-2022 (geel). De graslanden kunnen in een latere fase wel opnieuw naar ander landgebruik getransformeerd zijn.	65
Figuur 9.12 Locaties waar transformaties van bos (boven) en naar bos (onder) zijn opgetreden sinds 1778: transformatie in de periode 1778-1873 (donkerpaars), in de periode 1873-1969 (rood) en in de periode 1969-2022 (geel). De bossen kunnen in een volgende fase wel opnieuw naar ander landgebruik getransformeerd zijn. De gemeente Lommel is niet gekarteerd in 1778 (zie eerder). Lommel werd in 1778 niet gekarteerd.	66
Figuur 9.13 Locaties waar heide en landduinen zijn verdwenen sinds 1778: verdwenen in de periode 1778-1873 (donkerpaars), in de periode 1873-1969 (rood) en in de periode 1969-2022 (geel). De gemeente Lommel is niet gekarteerd (zie eerder).	67
Figuur 9.14 Watervalgrafieken die de transformaties weergeven (y as in ha) tussen de verschillende types landgebruik in de verschillende periodes (x-as). De eerste kolom geeft de oppervlakte van de landgebruiksclasse weer op de Ferrariskaart, de laatste kolom geeft de oppervlakte weer in 2022, de tussenliggende kolommen in dezelfde kleur, geven de oppervlakte weer in 1873 en 1969. De anderskleurige kolommen tussen de verschillende jaartallen, geven aan welk type landgebruik is getransformeerd naar de landgebruiksclasse in kwestie (evolutie naar boven ten opzichte van de vorige kolom) of in welk type landgebruik de landgebruiksclasse in kwestie is getransformeerd (evolutie naar beneden ten opzichte van de vorige kolom).	73
Figuur 9.15 Aantal transformaties tussen de 14 landgebruiksklassen die werden gedetecteerd voor de drie tijdsperiodes tussen 1778 en 2022	75
Figuur 9.16 Landgebruik, gespecificeerd voor de onderscheiden klassen, dat stabiel bleef (0 transformaties) op de vier bestudeerde tijdstippen tussen 1778 en 2022.	76
Figuur 9.17 Kartering van de landgebruiksveranderingen in de Westhoek, ten zuiden van de Blankaart (legende: zie figuur 9.16)	79
Figuur 9.18 Kartering van de landgebruiksveranderingen in de Antwerpse Kempen in de omgeving van Mol (legende: zie figuur 9.16)	80
Figuur 9.19 Kartering van de landgebruiksveranderingen aan de Kust in de omgeving van Zeebrugge en het Zwin (legende: zie figuur 9.16)	81
Figuur 9.20 Kartering van de landgebruiksveranderingen in Haspengouw, tussen Sint-Truiden en Tongeren (legende: zie figuur 9.16)	82

Lijst van foto's

Foto's 1&2 Hetzelfde landgebruik kan doorheen de tijd kwalitatief sterk veranderd zijn. Foto 1 (links) is een opname van het Leen (Eeklo) uit 1911 door Massart (collectie KU Leuven. 2Bergen Campus Arenberg), Foto 2 (rechts) is genomen in hetzelfde domein in 2023 (Simon Hendrickx). In het begin van de 20ste eeuw werd strooisel verzameld voor de teelt van azalea en rhododendron, waren de eiken veel jonger en werd het hakhout van elzen regelmatig gekapt. In 2023 is het bosbeheer veel minder intensief en zijn de bomen veel ouder. Met deze verschillen moet rekening gehouden worden bij vergelijkingen, bvb. van de koolstofvoorraden.	7
---	---

Lijst van tabellen

Tabel 4.1	Aantal iteraties of versies van de historische kaarten waarop OrthoSeg werd uitgevoerd, met vermelding van het aantal trainingslocaties en het aantal uren digitalisatiewerk.	23
Tabel 5.1	Resultaten van de validatie van 16 klassen op versie 12 van de OrthoSeg beeldclassificatie van de Ferrariskaart, o.b.v. 1472 validatiepunten. N geeft het aantal validatiepunten per klasse weer, Area het procentueel oppervlakteaandeel van de klassen. De berekening van de user, producer, en F1 accuracies wordt in de tekst uitgelegd.	37
Tabel 6.1	Klassen van landgebruik of bodembedekking, die op de gereduceerde kadasterkaarten onderscheiden kunnen worden	39
Tabel 7.1	Resultaten van de validatie van 19 klassen op versie 13 van de OrthoSeg beeldclassificatie van DG 1873, o.b.v. 1677 validatiepunten en zonder manuele aanpassingen. N geeft het aantal validatiepunten weer per klasse, Area het procentueel aandeel van de klassen. De berekening van de user, producer, en F1 accuracies werd in onderdeel 5.4 uitgelegd.	47
Tabel 8.1	Resultaten van de validatie van 30 klassen op versie 6 van de beeldclassificatie van MGI 1969, o.b.v. 2448 validatiepunten. N geeft het aantal validatiepunten weer per klasse, Area het procentueel aandeel van de klassen. De berekening van de user, producer, en F1 accuracies wordt in onderdeel 5.4 uitgelegd.	51
Tabel 9.1	Toewijzing van de klassen van de afzonderlijke gedigitaliseerde historische kaarten tot 14 gemeenschappelijke landgebruiksklassen.	53
Tabel 9.2	Herclassificatie van de klassen van de landgebruikskaart 2022 en BWK 2020 (https://www.ecopedia.be/de-biologische-waarderingskaart) naar de 14 gemeenschappelijke landgebruiks klassen.	56
Tabel 9.3	Oppervlakte (ha) en oppervlakteaandelen (%) van de landgebruiks klassen en niet gekarteerde delen in Vlaanderen (in hectare), in 1778, 1873, 1969 en 2022. *De oppervlakte en het aandeel bos in 2022 werd wellicht overschat (zie tekst).	63
Tabel 9.4	Aantal transformaties (tussen 0 en 3) die werden gedetecteerd voor de drie tijdsperiodes tussen 1778 en 2022 per type landgebruik in 2022, in hectare (ha), en als aandeel (%) tot de totale oppervlakte van Vlaanderen.	74
Tabel 9.5	Resultaten van de validatie van de overlay van de 3 historische polygonenkaarten. N geeft het aantal validatiepunten weer, in aflopende volgorde. De berekening van de user, producer, en F1 accuracies wordt in onderdeel 5.4 uitgelegd. Bovenaan staat het landgebruik dat niet is veranderd tussen 1778 en 1969, daaronder staan de combinaties van gewijzigd landgebruik (in aflopende volgorde van voorkomen).	84

//////////

1. Achtergrond

Historische landschapspatronen en de veranderingen daarin bepalen in hoge mate de huidige kenmerken en het functioneren van een landschap. De historische ontwikkelingen die landschapsstructuren hebben doorgemaakt en de ruimtelijke context waarin dit is gebeurd bepalen de biodiversiteit van landschappen (zie bvb. Cousins & Eriksson 2002, Le Provost et al. 2020), de kwaliteit van de ecosysteemdiensten die ze kunnen leveren (zie bvb. Schirpke et al. 2020, Kim et al. 2022) en de erfgoedwaarden die ze te bieden hebben (zie bvb. Meini et al. 2014, Garcia-Mollosa et al. 2021). De potenties voor behoud of herstel kunnen goed worden verklaard door de veranderingen door de tijd te bestuderen (zie bvb. Chen et al. 2022, Cillis et al. 2021, De Keersmaeker et al. 2014, Noda et al. 2019, Van Daele et al. 2022).

Historisch kaartmateriaal wordt daarom frequent gebruikt om het beheer van de open ruimte in functie van biodiversiteit of ecosysteemdiensten te plannen, ankerplaatsen of waardevolle erfgoedrelicten te identificeren, en de adviesverlening te ondersteunen. Daarbij wordt in toenemende mate gebruik gemaakt van gescande en gegeorefereerde historische kaarten die online beschikbaar zijn. De kaartenmozaïeken die gedeeld worden via Geopunt (<https://www.geopunt.be/over-geopunt>) en Cartesius (<https://www.ngi.be/website/case/cartesius>), de online collectie van cartografisch erfgoed van vier federale instellingen, waaronder het Nationaal Geografisch Instituut (NGI), zijn voor Vlaanderen of geheel België het meest relevant. Het aangeboden kaartmateriaal is van een hoge kwaliteit en de portalen vereenvoudigen de interpretatie omdat vergelijkingen met kaarten of luchtbeelden van verschillende tijdstippen mogelijk zijn.

Op landschapsschaal kan informatie over historisch landgebruik, de ruimtelijke planning en strategieën voor het herstel van landschappen objectiveren en mee aansturen, zodat het zo efficiënt mogelijk kan verlopen. Een essentiële voorwaarde voor ruimtelijke analyses op die schaal is dat de informatie over historische landschappen en de veranderingen daarvan doorheen de tijd beschikbaar zijn in vector- of rasterformaat in een geografisch informatiesysteem (GIS). Enkel met behulp van ruimtelijke analyses is het mogelijk om oude bossen, historisch permanente graslanden en akkers, verdwenen heide of wetlands, intacte landschapsstructuren, e.a. vlot te lokaliseren en hun onderlinge samenhang te analyseren. Deze kennis is essentieel voor de ontwikkeling van ruimtelijke scenario's voor een toekomstgericht landbouwbeleid, biodiversiteitsbeleid en beleid voor het behoud en de versterking van historische landschappen.

Met uitzondering van de bossen, waren raster- of vectorkaarten van historisch landgebruik voor de aanvang van dit project enkel lokaal beschikbaar en het resultaat van manuele digitalisaties. Om raster- of vectorkaarten van alle klassen van historisch landgebruik voor heel Vlaanderen te bekomen, is het nodig een automatische beeldclassificatie uit te voeren op de gescande en gegeorefereerde historische kaarten. Op dit vlak heeft de technologie een sterke ontwikkeling doorgemaakt.

In de VLINA-studie “Ecosysteemvisie bos Vlaanderen” (VLINA/C97/06b), die in 2001 werd afgerond, zijn de bossen weergegeven op de derde editie van de topografische kaarten op 1:20.000 (1910-1940), gevectoriseerd door middel van een klassieke beeldclassificatie in ArcInfo (De Keersmaeker et al. 2001). Die klassieke technologie maakte gebruik van de waarde van elke pixel afzonderlijk, waardoor kaarteenheden met een specifieke kleur (in dit geval groen gekleurd bos) effectief gevectoriseerd konden worden. Proefdigitalisaties wezen uit dat zowel manuele als meer geautomatiseerde classificaties van historisch landgebruik een aanzienlijke tijdsinvestering vroegen (Onkelinx et al. 2004).



Met de intrede van AI (machine learning of deep learning technieken) zijn de mogelijkheden voor beeldclassificatie sterk verbeterd. Machine learning technieken kunnen patronen en kenmerken ontdekken in beelden, die eigen zijn aan de attributen die men wenst te herkennen en die veel verder gaan dan de kleur van een enkele pixel. Bovendien kan het resultaat door bijkomende training in de loop van het proces steeds beter worden.

Het Agentschap Landbouw en Zeevisserij past sinds enkele jaren systematisch AI toe op luchtfoto's die jaarlijks worden gevlogen, om de toekenning van EU-subsidies aan landbouwbedrijven die afhangen van de teeltoppervlakte, mogelijk te maken. Recenter werden gelijkaardige technieken ook succesvol toegepast op historische kaarten in het kader van het Ruimterapport 2021, om de historische evolutie van bebouwing tussen 1881 en 2021 in beeld te brengen (Pisman et al. 2021).

Verder bouwend op de hierboven beschreven ervaringen, werd in 2022 het project 'Digitalisatie van historisch landgebruik en analyse van landgebruiksveranderingen (1778-2022)' opgestart, dat kadert in het OIS (Omgevings Informatie Samenwerkingsverband) van het Departement Omgeving. Dit project combineert de expertises van de deelnemende entiteiten (INBO, Agentschap Landbouw en Zeevisserij, VITO, Digitaal Vlaanderen) inzake de ontwikkeling en ontsluiting van GIS-data, de kartering van historisch landgebruik, de toepassing van deep machine learning (AI) voor beeldclassificatie en de analyse van landgebruiksveranderingen. Op die manier was het mogelijk om op een termijn van twee jaar, het historische landgebruik sinds het einde van de 18de eeuw (de Ferrariskaart) te digitaliseren en te ontsluiten als raster- en vectorbeelden, en vervolgens ook een analyse te maken van de veranderingen van het landgebruik die zich sinds het einde van de 18de eeuw hebben voorgedaan.



2. Doelstellingen

De huidige online platformen met historische kaarten (Geopunt, Cartesius, ...) zijn visueel aantrekkelijk en geschikt om de evolutie van het historisch landgebruik van locaties met een geringe oppervlakte visueel te beoordelen. Ze laten echter niet toe om ruimtelijke analyses uit te voeren, omdat de beelddata niet verder verwerkt zijn en er geen databank aanhangt, die informatie bevat over het landgebruik. We hebben met dit projectvoorstel drie doelen voor ogen, waarbij de derde doelstelling als een optie beschouwd moet worden, die ingevuld kan worden in functie van de beschikbare middelen:

- Verder bouwend op de expertise die werd opgedaan in de voorbije decennia (zie hierboven achtergrond), testen we deep learning (AI) beeldclassificatie uit op historische kaartlagen, die Vlaanderen volledig of nagenoeg volledig bestrijken. Het doel hiervan is na te gaan in welke mate deep learning (AI) beeldclassificatie in staat is om eenheden van de legende of andere geselecteerde klassen te herkennen, de optimale methode te bepalen, of zo nodig een tijdbegroting op te maken voor de stappen die hiervoor vereist zijn.
- Op basis van voorgaande selecteren we minimaal 3 kaartlagen om de belangrijkste klassen van historisch landgebruik die op alle kaartreeksen worden weergegeven (bebouwing, akker, grasland, bos, heide, veen of moeras, open water of waterloop) in een raster- of vectorformaat te digitaliseren. Rekening houdende met bepaalde onzekerheden en de vlotheid van de verwerking van de rasterdata en legende-eenheden, trachten we dit resultaat om te zetten naar historische landgebruikskaarten, analoog aan de actuele VITO landgebruikskaart op basis van het RuimteModel Vlaanderen (Poelmans et al. 2023). Op deze wijze kunnen veranderingen in het landgebruik in de tijd geanalyseerd en begroot worden.
- De methodologische studie door Onkelinx et al. (2004) wees uit dat de gereduceerde kadasterkaarten bijzonder geschikt zijn voor beeldclassificatie, zelfs zonder deep learning technieken. Deze kaarten zijn echter niet beschikbaar via een geoportaal, maar als afzonderlijk gedigitaliseerde en gegeorefereerde plannen voor de toenmalige gemeenten. We willen op een proefgebied nagaan welke technieken in aanmerking komen om deze kaarten op termijn online te delen.



3. Selectie van historische kaarten voor deep learning classificatie

De criteria waaraan historische kaartenreeksen moeten voldoen om in aanmerking te komen voor deep learning beeldclassificatie in dit project, zijn:

- inhoudelijk criterium: de kaarten bestrijken (nagenoeg) geheel Vlaanderen, zodat een automatische beeldherkenning van landgebruik een grote tijdsinst is op manuele digitalisatie
- een technische vereiste voor de toepassing van OrthoSeg (zie verder) is dat de kaarten worden gedeeld via een geoportaal, in een naadloze kaartenmozaïek

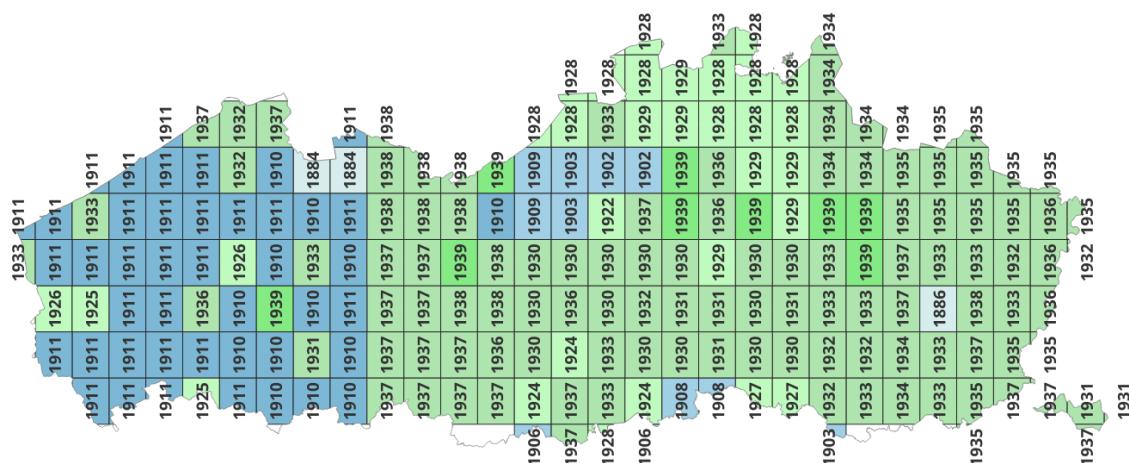
Met deze criteria in gedachten, bespreken we de historische kaartenreeksen die digitaal beschikbaar zijn, in chronologische volgorde:

- De Ferrariskaart, afgewerkt in 1778, maar gekarteerd tussen 1770 en 1774: de versie van de Koninklijke Bibliotheek van België (KBR) wordt als mozaïek gedeeld via Geopunt en via Cartesius. Dit is de oudste kaart die nagenoeg het volledige Vlaamse gewest weergeeft en de kaart wordt daarom geselecteerd voor digitalisatie en analyse. Verderop wordt uitgelegd waarom deze mozaïek gebruikt wordt, en niet die van de Weense versie die via Arcanum gedeeld wordt.
- De gereduceerde kadasterkaarten, getekend tussen 1847 en 1855: deze kaarten zijn in functie van deze studie als gegeorefereerde scans ontleend bij het Agentschap Onroerend Erfgoed, dat de digitale scans van het Nationaal Geografisch Instituut (NGI) heeft gegeorefereerd. De inkleuring volgens de toenmalige gemeentegrenzen verhindert een snelle digitalisatie, die wel mogelijk is voor de andere kaartenreeksen. We bekijken de legende in functie van een toekomstige digitalisatie, en begroten de tijd die nodig is om de afzonderlijke kaarten samen te voegen tot een mozaïek.
- De kaarten van Vandermaelen, verschenen tussen 1845 en 1854, worden gedeeld via Geopunt en Cartesius. Deze kaarten op 1:20.000 zijn waarschijnlijk gebaseerd op de gemeentelijke kadasterplannen en geven het volledige gewest weer. De kaarten zijn niet ingekleurd en gebruiken lettercodes op een wit vlak, om landgebruik te onderscheiden (bijvoorbeeld heide vs. akker). Hierdoor zijn ze minder geschikt voor digitalisatie dan de gereduceerde kadasterkaarten die in dezelfde periode werden getekend, en die wel ingekleurd zijn, en zijn we er niet mee aan de slag gegaan in dit project.
- Dépôt de la Guerre (DG) uitgave 1873, gekarteerd tussen 1860 en 1873: dit is de eerste editie van ingekleurde topografische kaarten op 1:20.000, die als mozaïek gedeeld wordt via Cartesius. We selecteerden deze kaarten omdat de volledige reeks op een relatief korte tijdspanne gerealiseerd is, bijna een eeuw na de Ferrariskaarten.
- Militair Cartografisch Instituut (MCI) uitgave 1904, gekarteerd tussen 1881 en 1903: dit is de tweede editie van ingekleurde topografische kaarten op 1:20.000, die als mozaïek gedeeld wordt via Cartesius. Deze tweede editie volgde vrij snel op de eerste en werd daarom niet geselecteerd om prioritair te digitaliseren.
- Militair Cartografisch Instituut (MCI) uitgave 1939, gekarteerd tussen 1906 en 1939. Dit is de derde editie van grotendeels ingekleurde topografische kaarten op 1:20.000, die als mozaïek gedeeld wordt via Cartesius. Vier kaartbladen in de mozaïek zijn niet herzien en zijn identiek aan de tweede editie, die voor deze kaartbladen dateert van 1884-1903. Er zijn ook grote verschillen in het tijdstip van kartering van de kaarten die wel herzien zijn, omdat dit werk onderbroken is door de Eerste Wereldoorlog. Het



westen van Vlaanderen is gekarteerd voor 1914, de rest tussen 1922 en 1939 (Figuur 3.1). Bovendien zijn een aantal kaartbladen van de Cartesius mozaïek monochroom (zwart/wit of bister). Door het grote tijdsinterval en de aanwezigheid van niet ingekleurde kaartbladen was de digitalisatie van deze kaartenreeks geen prioriteit.

- Militair Geografisch Instituut (MGI) uitgave 1969, gekarteerd tussen 1952 en 1969: dit is de eerste editie van ingekleurde topografische kaarten op 1:25.000, die als mozaïek gedeeld wordt via Cartesius. De kartering werd uitgevoerd op een scharniermoment, in de eerste decennia na de Tweede Wereldoorlog, toen zich grote maatschappelijke veranderingen voltrokken, ongeveer een eeuw na de uitgave van de topokaarten van 1873. De kartering nam 17 jaren in beslag, maar is wel volledig uitgevoerd voor de hele regio. We selecteerden daarom deze kaartenreeks voor digitalisatie.
 - Nationaal Geografisch Instituut (NGI) uitgave 1989, gekarteerd tussen 1971 en 1989 en afgewerkt in 1989: dit is de derde, niet volledig vernieuwde editie van ingekleurde topografische kaarten op 1:25.000, die als mozaïek gedeeld wordt via Cartesius. Eén kaartblad (29/7-8) is identiek aan de eerste editie op 1:25.000 en dateert van 1961. De legende van deze kaart is vergelijkbaar met die van de vorige editie. De kaart werd daarom gedigitaliseerd op basis van de training voor MGI 1969, maar de resultaten werden niet meegenomen in de temporele analyse omdat het interval met de actuele landgebruikskaart relatief kort is. Er zijn ook geen specifieke aanvullende trainingen op deze reeks uitgevoerd, en er is geen validatie buiten OrthoSeg op uitgevoerd.



Figuur 3.1 Datering van de kaartbladen van de topokaart MCI 1939. Een deel werd voor de Eerste Wereldoorlog gekarteerd (blauw) en een deel tijdens het interbellum (groen). De jaartallen van de terreinwaarnemingen volgens het NGI archief werden als attribuutwaarde toegevoegd aan het rooster van 1:20.000 kaarten door Hilde Verboven (Agentschap Onroerend Erfgoed).

Samengevat geven we prioriteit aan de digitalisatie van het historisch landgebruik op de **kaarten van Ferraris (1778)**, de eerste editie van topografische kaarten op 1:20.000 (DG 1873) en de eerste editie van topografische kaarten op 1:25.000 (MGI 1969).

De intervallen tussen deze historische kaartreeksen zijn van dezelfde grootteorde, iets minder dan een eeuw. De digitalisaties worden vergeleken met een actuele landgebruikskaart van

2022, dus 53-70 jaren na de terreinwaarnemingen voor MGI 1969. Van de gereduceerde kadasterkaarten bekijken we de legende en begroten we de tijd die nodig is om kaarten samen te voegen, in functie van toekomstige ontsluiting en digitalisatie. Op de kaart NGI 1989 voeren we een beeldclassificatie uit, gebaseerd op de trainingsdata van MGI 1969, maar we nemen het resultaat niet mee in de analyse van de landgebruiksveranderingen.



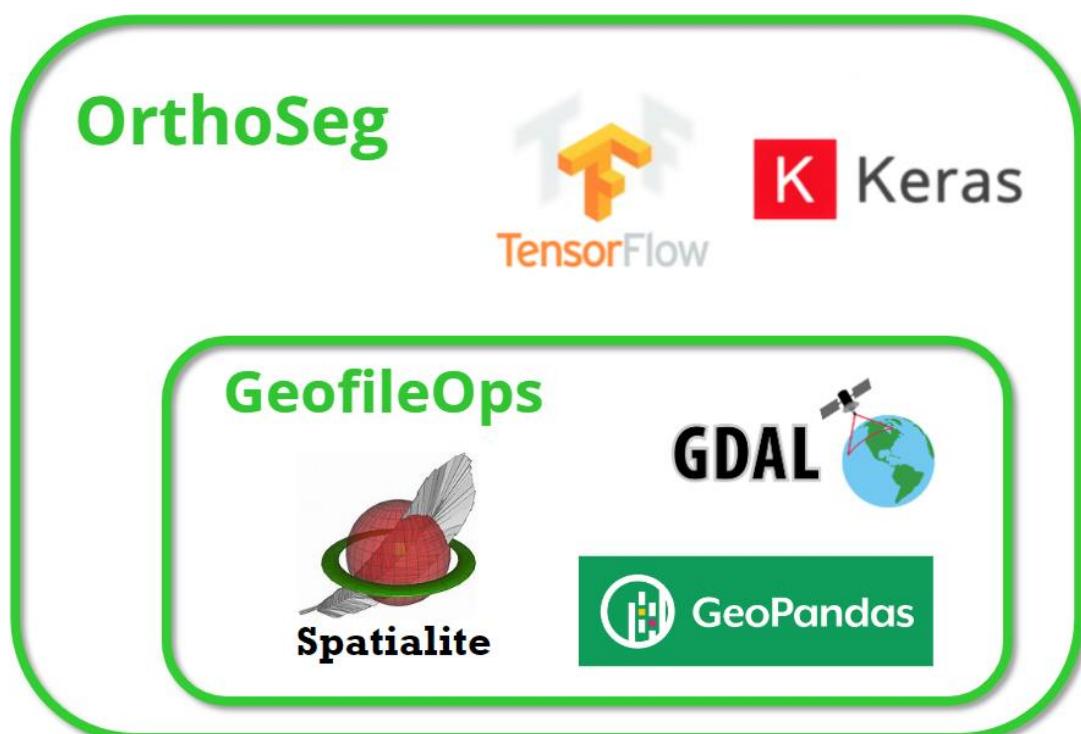
4. Gebruik van deep learning beeldclassificatie op historische kaarten

4.1 OrthoSeg

We maken voor de beeldclassificatie gebruik van OrthoSeg, een open source softwarepakket beschikbaar op Github (Roggemans 2023), dat de training en segmentatie van luchtfoto's en kaarten met behulp van neurale netwerken relatief eenvoudig maakt (Figuur 4.1).

OrthoSeg is ontwikkeld met behulp van TensorFlow, een gratis en open-source softwarebibliotheek voor machine learning en artificial intelligence (AI), in het bijzonder voor deep neural networks. Er wordt gebruikgemaakt van de Keras API om de machine learning modellen op te bouwen, te trainen en om de beeldclassificatie uit te voeren. Voor de preprocessing van de trainingsdata en de postprocessing van de beeldclassificatie gebruikt OrthoSeg de (python) bibliotheken GeofileOps, Geopandas en GDAL (figuur 4.1). De manuele digitalisatie van de voorbeelden waarmee de AI wordt getraind, gebeurt in QGIS.

OrthoSeg doorloopt volgende stappen: 1) het downloaden en versnijden van de beelden waarop de segmentatie wordt uitgevoerd; 2) de training van de segmentatie op basis van manueel ingetekende polygonen van de te onderscheiden eenheden; 3) de predictie van de segmentatie op de lokaal opgeslagen beelden, die elkaar overlappen zodat een vloeierende overgang gerealiseerd wordt.



Figuur 4.1 Architectuur van OrthoSeq

4.2 Training en validatie

OrthoSeg moet getraind worden om de juiste eenheden te herkennen en hiertoe werden vierkante trainingslocaties van 250m x 250m gebruikt. Binnen elk vierkant werden de onderscheiden klassen manueel gedigitaliseerd.

Voor elke kaart werden trainingslocaties gekozen die zowel representatief zijn voor de aanwezigheid als voor de afwezigheid van de te onderscheiden klassen. De trainingslocaties worden geplaatst in verschillende landschappen en kaartbladen verspreid over Vlaanderen, waardoor de AI kan trainen op zo veel mogelijk variatie in context. Het is daarbij belangrijk om van elke klasse voldoende voorbeelden in de training op te nemen.

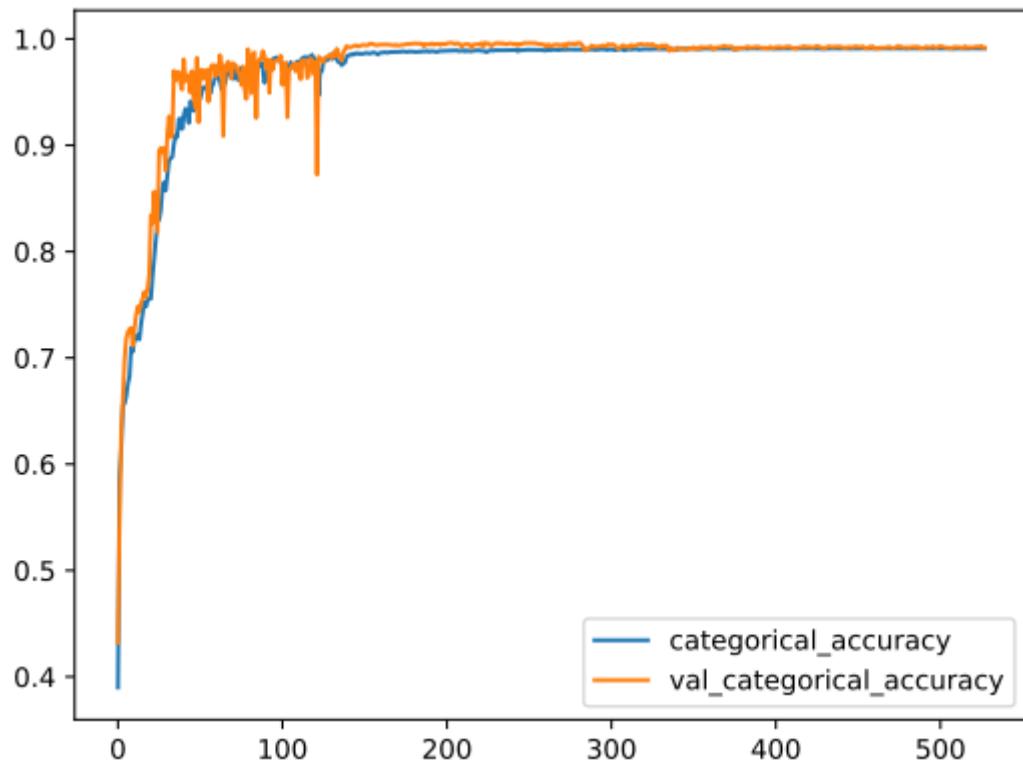
Na een eerste run van OrthoSeg volgt een evaluatie van de digitalisatie, waarbij gericht nieuwe trainingssets worden ingetekend in zones waar het resultaat ontoereikend is. De toevoeging van nieuwe trainingslocaties maakt een nieuwe run van de training en segmentatie mogelijk. Dit iteratieve proces herhaalt zich totdat het resultaat als toereikend wordt beschouwd volgens een desktop evaluatie. De beeldclassificaties van de Ferrariskaarten, DG 1873 en MGI 1969 die gebruikt werden om de landgebruiksveranderingen te analyseren, zijn respectievelijk iteraties 12, 13 en 6 die gebruik maken van respectievelijk 1004, 540 en 451 trainingslocaties (Tabel 4.1). Van DG 1873 werd een iteratie 14 gedraaid, maar de validatie en de manuele aanpassingen (zie verder) zijn op iteratie 13 gemaakt. Het is ook versie 13 met de manuele aanpassingen die gebruikt werd voor de analyse van de landgebruiksveranderingen. Voor de classificatie van het landgebruik op NGI 1989 werd gebruikgemaakt van trainingslocaties op MGI 1969, omdat de legende van beide kaartreeksen sterke gelijkenissen vertoont. Omdat deze kaart niet gebruikt werd voor de analyse van de landgebruiksveranderingen, is een verdere specifieke training op deze kaart niet uitgevoerd.

Tabel 4.1 Aantal iteraties of versies van de historische kaarten waarop OrthoSeg beeldclassificaties werden uitgevoerd, met vermelding van het aantal trainingslocaties en het aantal uren operatorwerk om de traingsdata in te tekenen.

Kaart	# Iteraties/versies	# trainingslocaties	# uren digitalisatie
Ferraris	12	1004	70
DG 1873	13 (14)	540 (599)	40 (44)
MGI 1969	6	451	30
NGI 1989	1	/	/

OrthoSeg voert zelf een validatie uit, waarvoor een deel van de trainingslocaties opzij moet worden gezet. In het geval van de Ferrariskaart was de nauwkeurigheid hoger dan 95% (Figuur 4.2). Figuur 4.2 geeft ook weer dat er weinig verschil is tussen de categorical_accuracy en de val_categorical_accuracy, die door OrthoSeg berekend wordt na elke trainingsronde. Dit wijst ertop dat er nauwelijks of geen overfitting is van het model aan de trainingsdata, en dus is generalisatie van het model in het geval van de beeldclassificatie van het landgebruik van de Ferrariskaarten wellicht geen probleem (Maier et al. 2020).





Figuur 4.2 Categorical_accuracy en val_categorical_accuracy, door OrthoSeg gegenereerd (x-as: aantal trainings- en validatielocaties; y-as: nauwkeurigheid)

De validatie op basis van trainingslocaties door OrthoSeg kan echter vertekend zijn, omdat deze locaties vaak gekozen werden met een bepaalde focus op specifieke situaties. Bovendien geeft de validatie van OrthoSeg geen inzicht in de nauwkeurigheid van de onderscheiden klassen. Daarom is op de finale beeldclassificatie van elke kaartreeks een onafhankelijke validatie uitgevoerd op willekeurig gelokaliseerde punten. Deze puntlocaties zijn ook gebruikt voor de validatie van de landgebruiksveranderingen (zie verder onderdelen 5.4, 7.3, en 8.3).

5. Ferrariskaart 1778

5.1 Beschrijving van de kaart

De Ferrariskaart is de oudste kaart die bijna het volledige grondgebied van Vlaanderen weergeeft. De terreinopmetingen (verkenningen) dateren van 1770-1774, toen onze regio grotendeels deel uitmaakte van de Oostenrijkse Nederlanden, die een onderdeel waren van het Habsburgse keizerrijk. De kaart die gedeeld wordt op Geopunt, is de kabinetskaart die een schaal heeft van 1:11.520 en die afgewerkt werd op het einde van 1777.



Figuur 5.1 De Weense versie van de Ferrariskaart (boven) maakt gebruik van een lettercode, bij voorbeeld om boomgaarden (geel met een V van verger) te onderscheiden van graslanden (geel met een P van prairies). Op de versie van de KBR (onder), een kopie van de Weense versie, wordt voor elk landgebruik een specifieke inkleuring van de volledige eenheid toegepast: boompjes op een rij tegen een egaal groen veld voor de boomgaarden, versus donkergrone 'grasjes' tegen een groene achtergrond voor de graslanden.

We gebruiken verder wel het jaartal 1778, dat ook o.a. door Geopunt gebruikt wordt. Van deze kabinetskaart zijn drie versies getekend, die zich bevinden in Wenen (Kriegsarchiv), Den Haag (Rijksarchief) en Brussel (Koninklijke Bibliotheek, afgekort tot KBR). De Brusselse en Weense versies kunnen online als een georefereneerde kaartenmozaïek gebruikt worden via geoportalen (respectievelijk bijvoorbeeld [Geopunt](#) en [Arcanum](#)).

De versies uit Brussel en Den Haag zijn kopieën van de Weense versie (Figuur 5.1) en het zou logisch zijn om voor de digitalisatie van het landgebruik, gebruik te maken van de originele Weense versie. Er mag verondersteld worden dat de originele versie minder fouten en mogelijk ook meer informatie bevat dan de kopieën. De redenen om dit niet te doen en gebruik te maken van de versie van de KBR, die gedeeld wordt via Geopunt, zijn de volgende:

- De verfijnde georeferentie van de KBR versie (zie ook verder) is aanzienlijk beter dan de georeferentie van de Weense versie op Arcanum.
- De Weense versie maakt veelvuldig gebruik van een uniforme kleur met daarop een letter, om het landgebruik weer te geven. Het landgebruik op de versie van de KBR, wordt weergegeven door een combinatie van kleuren en symbolen, die over het volledige vlak getekend worden (figuur 5.1). De complexe symboliek van de KBR versie is, ondanks de verschillen tussen de kaartbladen onderling, geschikter om een beeldherkenning op uit te voeren dan de eenvoudige en heldere intekening met lettercode van de Weense versie. Enkel op basis van een lettercode kan met de methodiek die werd toegepast, de grens van de vlakken van het landgebruik immers niet goed bepaald worden, als de achtergrond van verschillend landgebruik dezelfde kleur heeft. Dit is bij voorbeeld het geval met grasland (geel met P) en boomgaard (geel met V) (Figuur 5.1). Voor een volledig overzicht van het verschil in legende tussen beide versies verwijzen we verder naar Vervust (2016).
- De Weense versie wordt voor zover gekend niet vrij gedeeld via een WM(T)S server, wat vereist is om OrthoSeg op uit te voeren (zie verder).

De Ferrariskaarten geven zoals hierboven vermeld niet het volledige grondgebied van het huidige Vlaamse gewest weer. In totaal werd 13.718 ha (circa 1% van Vlaanderen) niet gekarteerd (Figuur 5.2). De locaties die niet gekarteerd werden, zijn:

- Lommel (de grootste oppervlakte)
- Westouter (Heuvelland)
- een deel van Haspengouw: Veltwezelt (Lanaken) en Vroenhoven (Riemst)
- een deel van Baarle-Hertog
- een deel van Moelingen (Voeren)
- een deel van Menen
- een deel van Lapscheure (Damme)
- de voorhaven van Zeebrugge (dit was zee in 1778)
- een deel van de Schelde bij de Nederlandse grens (wellicht rivier of slikke en schorre)





Figuur 5.2 Delen van het huidige Vlaanderen die niet zijn gekarteerd op de Ferrariskaarten, worden cyaan weergegeven.

5.2 Verbetering van de georeferentie en de begrenzing van de Ferrariskaart

5.2.1. Digitale ontsluiting van de Ferrariskaarten

De digitale ontsluiting van de kabinetskaart op Geopunt kwam tot stand in 2009 door een samenwerking tussen de KBR en het toenmalige AGIV (Agentschap voor Geografische Informatie Vlaanderen), nu Digitaal Vlaanderen. Hierbij werden de kaarten gedigitaliseerd, gegeorefereerd en raadpleegbaar gesteld via geopunt.be, het geoportaal van GDI-Vlaanderen. De intellectuele eigendomsrechten van de gegeorefereerde kaarten zijn gedeeld en rusten bij KBR en Digitaal Vlaanderen.

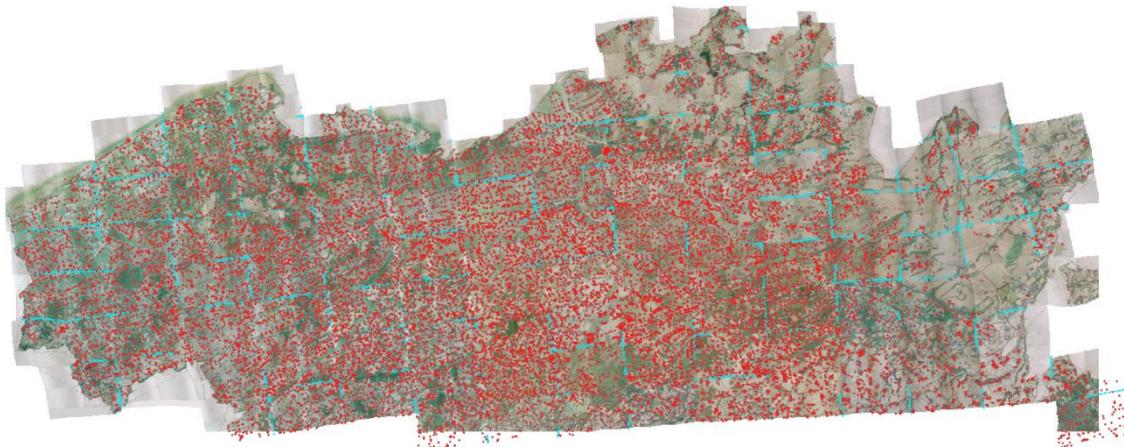
Georeferentie is het proces waarbij historische kaarten worden omgezet naar een geografisch coördinatensysteem (in dit geval Belgische Lambert 72), zodat ze nauwkeurig kunnen worden geplaatst en geanalyseerd in de moderne geospatiale context.

Een verbetering van de georeferentie drong zich op, omdat de beeldclassificatie met OrthoSeg aan het licht bracht dat vooral langs de buitengrenzen van de toenmalige Oostenrijkse Nederlanden, nog aanzienlijke fouten aanwezig waren door het gering aantal controlepunten op en langs die grenzen. Aangezien de grenzen op heel wat plaatsen vaak niet veranderd zijn, was het relatief eenvoudig om aanvullende controlepunten te selecteren.

Hieronder volgt een uitleg van de stappen die werden genomen, zowel voor de oorspronkelijke als voor de aanvullende verbeteringen van de georeferentie van de Ferrariskaarten.

5.2.2. Oorspronkelijke georeferentie

De oorspronkelijke georeferentie werd uitgevoerd door Aquaterra, in opdracht van het toenmalige AGIV. De methodiek doorliep 7 stappen, die hieronder worden beschreven:



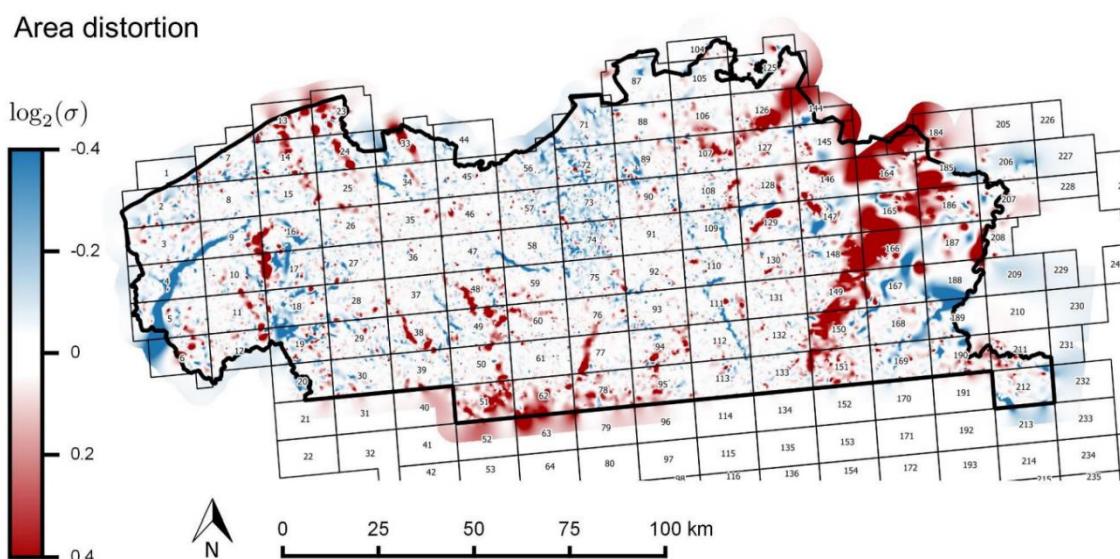
Figuur 5.3 Weergave van de 24.953 controlepunten die gebruikt werden voor de georeferentie (rood) en de 3.512 aanvullende punten die tot doel hadden vloeiente overgangen tussen de kaartbladen te bekomen (cyaan), met op de achtergrond de gegeorefereerde Ferrariskaarten.

1. In de eerste stap van de oude methode werd alle informatie die niet tot het kaartbeeld behoorde (zoals witruimtes of markeringen buiten de kaart) wit gemaakt en als transparant gemarkeerd. Hierdoor werd de integriteit van de beeldinformatie behouden, terwijl onnodige elementen werden verwijderd.
2. Om de kaartbladen ‘benaderend’ te georefereren, werd gebruik gemaakt van vier controlepunten op de hoekpunten van ieder kaartbeeld. Deze controlepunten werden gebruikt om de kaartbladen op een benaderend grid in het Belgian Lambert 72 coördinaten systeem te positioneren. Door dit proces konden de kaartbladen worden uitgelijnd en gepositioneerd volgens een gestandaardiseerd coördinatensysteem.
3. Voor elk kaartblad werd een TFW-/TAB-bestand gecreëerd. Dit bestand bevatte gegevens afgeleid uit de vier controlepunten en bepaalde de affiene transformatie die nodig was om het kaartblad binnen een ‘benaderende’ geografische context te plaatsen.
4. Vertrekende van de ‘benaderend’ gegeorefereerde kaartbladen werden controlepunten gezocht om de georeferentie te verbeteren en verfijnen. Deze punten werden herkend op zowel de Ferrariskaarten als op diverse recente bronnen zoals het wegenregister, ADP, e.a. (zie Figuur 5.3). Het totale aantal controlepunten bedroeg 24.953.
5. De controlepunten werden geëvalueerd a.d.h.v. residuele en RMS-waarden (in X, Y en vector) bij simulatie van een affiene transformatie (TPS levert geen residuele en RMS waarden op).
6. Overlappingen en smalle stroken tussen de kaartbladen werden verbeterd met behulp van 3.512 aanvullende controlepunten (Figuur 5.3), die exclusief werden toegepast per kaartblad. Dit hielp bij het creëren van een vloeiende overgang tussen de kaartbladen.
7. De controlepunten die specifiek waren voor elk kaartblad en die van andere kaartbladen, tot 20 km buiten de kaartrand, werden omgezet in GCP-bestanden (Ground Control Points). Deze

GCP-bestanden dienen als gestandaardiseerd formaat voor geospatiale referentiepunten, die nuttig waren voor verdere analyses en transformaties.

8. Om de nauwkeurigheid van de georeferentie te waarborgen, werden alle kaartbladen gegeorefereerd met behulp van een Thin Plate Spline-transformatie. Deze transformatie, gebaseerd op de aangemaakte GCP-bestanden, maakte gebruik van radiale basisfuncties om het ruimtelijke gedrag van de kaartbladen in rekening te brengen. Dit resulteerde in een georeferentie van hoge kwaliteit.

De controlepunten van de oorspronkelijke georeferentie door Aquaterra werden door Vervust (2016) gebruikt om de regionale verschillen van afwijking in oriëntatie en vervorming van de oppervlakte in beeld te brengen. Vooral in het westen van Vlaanderen en in Limburg zijn de fouten relatief groot (Vervust 2016; Figuur 5.4). Ook na georeferentie en verbetering van de mozaïek blijven aanzienlijke fouten aanwezig, wat mee de aanleiding was om de georeferentie verder te verbeteren (zie hieronder verbeterde georeferentie).



Figuur 5.4 Overgenomen uit Vervust (2016); Regionale verschillen in de vervorming van de oppervlakte, weergegeven door de Ferrariskaarten, berekend op basis van de controlepunten van de oorspronkelijke georeferentie door Aquaterra. Blauwe en rode zones zijn respectievelijk uitgerokken en samengedrukt weergegeven op de Ferrariskaart.

5.2.3. Verbeterde georeferentie

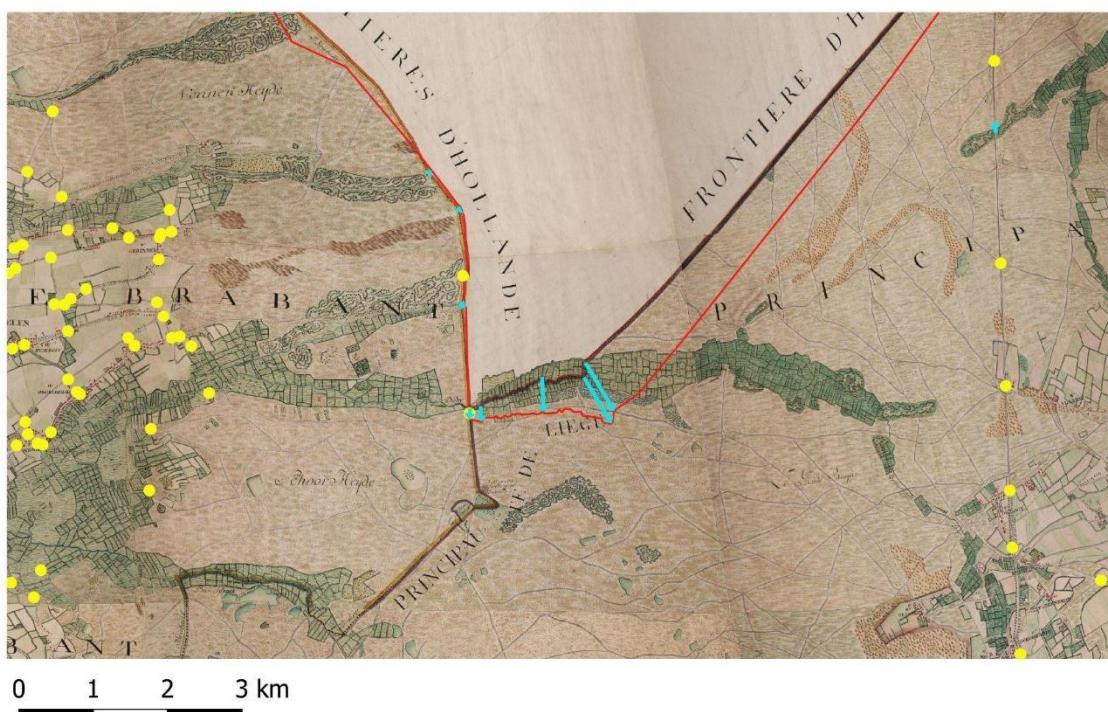
Er waren dus een drietal redenen om de georeferentie van de Ferrariskaart opnieuw te bekijken en te verbeteren:

- De classificatie wees uit dat met name langs de toenmalige grenzen met Frankrijk en Nederland, nog steeds grote positionele fouten aanwezig waren. Deze fouten kunnen een aanzienlijke impact hebben op de analyse van de temporele veranderingen van het landgebruik. De oorzaak van deze fouten lag in het feit dat de gebruikte 24.953 controlepunten (kruispunten van wegen e.d.), bijna altijd op een zekere afstand van de toenmalige landsgrenzen verwijderd waren, omdat de intekening van de kaart stopt bij

de toenmalige grens. Dit was het meest opvallend bij de Grote Nete die de zuidgrens vormt van de gemeente Lommel. Lommel maakte in de 18de eeuw geen deel uit van de Oostenrijkse Nederlanden en is daarom niet gekarteerd (zie Figuur 5.5).

Bijkomende controlepunten op de niet gewijzigde knikpunten van de grens, kunnen een aanzienlijke verbetering mogelijk maken (Figuur 5.5). Op de grens met Wallonië stelt zich dit probleem niet, omdat de kartering daar doorloopt en dus ook controlepunten buiten de grenzen van Vlaanderen beschikbaar zijn.

- Langs de Grensmaas ontbrak de hoek van kaartblad 209, die nog net in Vlaanderen ligt.
- De overgangen van lineaire kaartelementen (wegen, waterlopen) tussen de kaartbladen waren vaak discontinu als gevolg van de specifieke vervormingen van aangrenzende kaartbladen, door de eerste georeferentie (Figuur 5.6).



Figuur 5.5 De controlepunten van de oorspronkelijke georeferentie (gele stippen) situeren zich vaak vrij ver van de toenmalige buitengrenzen. Lokaal kunnen bijkomende punten op de grens een aanzienlijke verbetering van de georeferentie van de Ferrariskaarten mogelijk maken, zoals de blauwe vectoren op de zuidgrens van Lommel aantonen (de rode lijn is de hedendaagse gemeentegrens).



Figuur 5.6 Discontinuïteiten van lineaire elementen (wegen, waterlopen) in de oorspronkelijke georeferentie (boven), werden weggewerkt in de verbeterde versie van de Ferrariskaarten (onder). In het rood zijn de grenzen van kadastrale percelen weergegeven.

De stappen die werden doorlopen voor de verbeterde georeferentie, zijn als volgt:

1-3. De eerste drie stappen van de nieuwe methode waren identiek aan de oude methode. Dit betekende dat de informatie buiten het kaartbeeld werd gemarkerd als transparant en dat de kaartbladen werden gegeorefereerd op basis van vier controlepunten.

4. In de nieuwe methode werd specifiek het ontbrekende kaartblad 209 op dezelfde manier gegeorefereerd als in de oude methode. Het gegeorefereerde kaartblad 209 werd vervolgens toegevoegd aan de dataset.
5. Om de georeferentie binnen een specifieke regio, namelijk Vlaanderen, te verbeteren, werden 499 extra controlepunten toegevoegd. Deze punten waren gerelateerd aan de dataset "Gemeentegrenzen 1850" (zie 6.3) en hielpen bij het verfijnen van de georeferentie binnen dit specifieke gebied, vooral langs de toenmalige rijksgrenzen.
6. De controlepunten werden geëvalueerd a.d.h.v. residuele en RMS-waarden (in X, Y en vector) bij simulatie van een affiene transformatie (TPS levert geen residuele en RMS waarden op).
7. Om de aansluitingen (overlappingen en smalle stroken) tussen de kaartbladen te verbeteren, werden 12.233 nieuwe aansluitingspunten gebruikt. Deze punten waren specifiek voor elk kaartblad en werden ook gebruikt om een kaartblad te georefereren naar de ligging van de kaartbladen ten westen en ten noorden ervan. De ligging van de oostelijke en zuidelijke kaartranden bleef behouden.
8. Voor elk kaartblad werd een nieuw rasterbeeld gecreëerd door middel van een Thin Plate Spline-transformatie. Deze transformatie werd uitgevoerd op basis van de aansluitingspunten die specifiek waren voor elk kaartblad. Hierdoor konden de kaartbladen nauwkeurig worden gegeorefereerd.
9. De startlocatie van de 25.582 controlepunten werd getransformeerd op dezelfde manier als het kaartblad waarop ze zich bevonden. Dit om ervoor te zorgen dat alle controlepunten consistent werden gegeorefereerd met behulp van de Thin Plate Spline-transformatie en de aansluitingspunten.
10. Net als in de oude methode werden de eigen controlepunten van elk kaartblad en die van andere kaartbladen tot 20 km buiten de kaartrand omgezet naar een GCP-bestand. Deze GCP-bestanden dienden als gestandaardiseerde geospatiale referentiepunten.
11. Ten slotte werden alle kaartbladen gegeorefereerd door middel van een Thin Plate Spline-transformatie op basis van de aangemaakte GCP-bestanden. Dit proces zorgde voor een uiterst nauwkeurige aanpassing van het kaartbeeld aan het geografische coördinatensysteem, waardoor de Ferrariskaarten effectief konden worden geanalyseerd en geïnterpreteerd binnen de moderne geospatiale context.
12. Bij toekomstige aanpassingen kan dan vertrokken worden van de nieuwe rasterbeelden met verbeterde aansluiting en de 25.582 getransformeerde controlepunten.

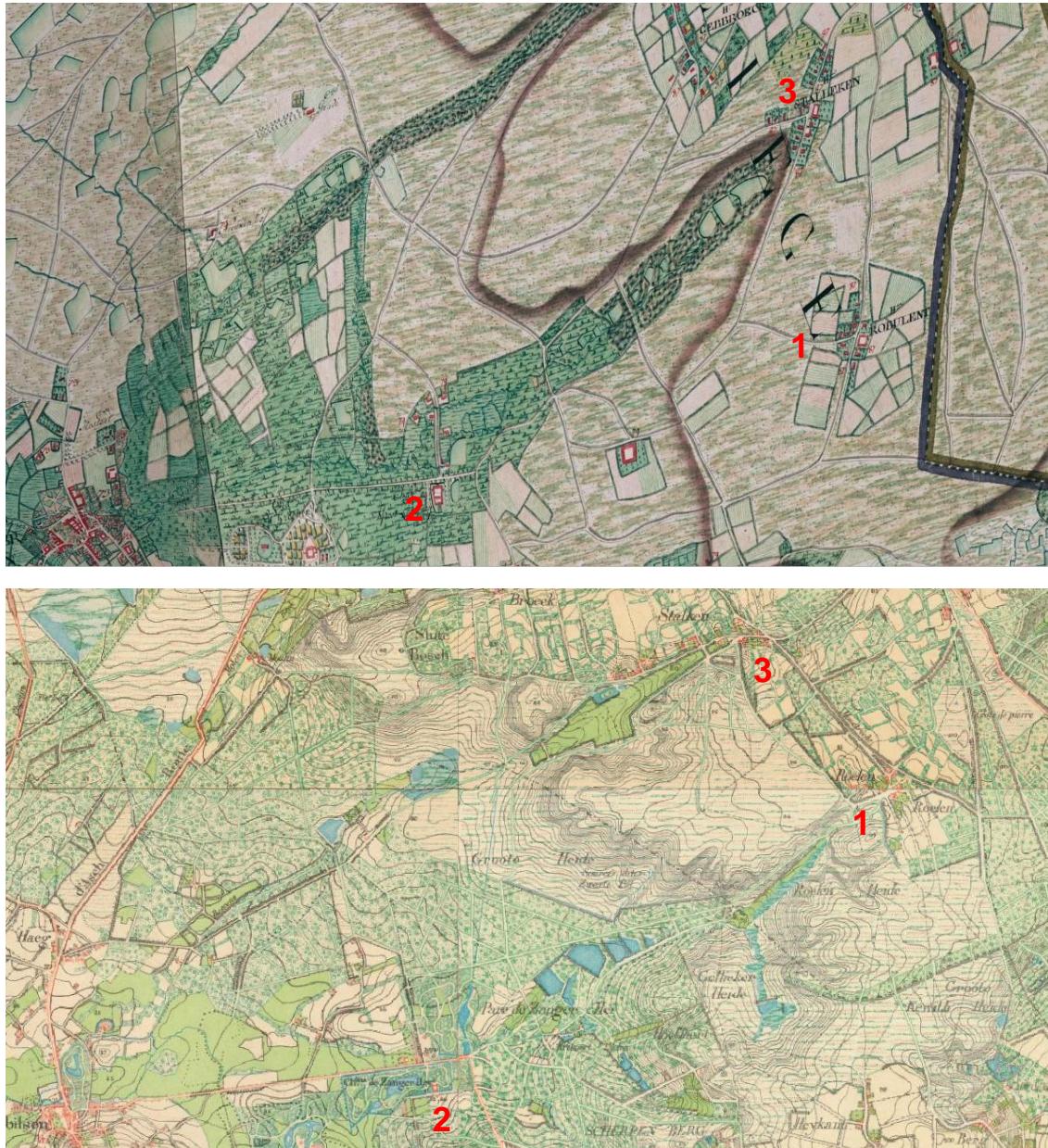
5.2.4. Kanttekeningen bij de georeferentie van de Ferrariskaarten

Bug in de packages voor de transformatie van rasterbeelden

Omdat de eerste beeldclassificaties zijn uitgevoerd op de mozaïek van de Ferrariskaart met de oorspronkelijke georeferentie, werd het algoritme voor de transformatie van de rasterbeelden (met package gdal_translate & gdalwarp) ook toegepast op de vectoriële output van de classificatie met package ogr2ogr. Daaruit bleek dat beide packages een verschillend resultaat gaven: de controlepunten werden op dezelfde wijze getransformeerd, maar de tussenliggende



punten van de rasterkaarten (mozaïek van de Ferrariskaart) en vectorkaarten (polygonenkaart van het landgebruik door beeldclassificatie) liggen niet op dezelfde plaats na transformatie. In een update van de TPS transformer van 27/10/2023 werd het algoritme van de transformatie voor rasterbestanden aangepast, zodat die gelijk is aan de transformatie van vectorbeelden.



Figuur 5.7 Een voorbeeld van een karteerfout op de Ferrariskaart ten oosten van Munsterbilzen, die niet door een betere georeferentie kan worden rechtgezet: de Molenbeek die op de topografische kaart van 1873 (onderaan) loopt van Roelen (1) naar kasteel Zangerhei (2), via een aantal vijvers, is op de Ferrariskaart (bovenaan) van Stalken (3) naar Zangerhei getekend.

Dit betekent dat de vernieuwde kaartenmozaïek van de Ferrariskaarten (2.0) nog met de oude gdal packages getransformeerd zijn, die een bug bevatten. Omdat de impact van de bug beperkt is, en omdat inmiddels een nieuwe vectoriële kaart van het landgebruik is gerealiseerd op basis van de vernieuwde kaartenmozaïek, voeren we voorlopig geen nieuwe transformatie uit van de kaartenmozaïek en van de afgeleide vectorfiles, op basis van de update van 27/10/2023.

Positionele fouten van de Ferrariskaart

De terreinopnames voor de Ferrariskaarten werden uitgevoerd met een planchet, zonder gebruik te maken van een nauwkeurig geodetisch net waaraan de terreinmetingen konden worden opgehangen (Vervust 2016). Een geodetisch net werd pas uitgezet in de 19de eeuw voor de opmetingen in functie van de eerste topografische kaarten (DG 1873). Dit heeft tot gevolg dat delen van het gekarteerde terrein zijn samengedrukt of uitgerokken op de Ferrariskaart (zie figuur 5.4 uit Vervust 2016), en dat er ook op de oriëntatie aanzienlijke fouten zijn (Vervust 2016). In extreme gevallen zijn ook elementen in het landschap die ontbreken in de kartering. Globaal is de vernieuwde georeferentie van de Ferrariskaart goed bruikbaar en verbeterd ten opzichte van de eerste georreferentie, maar lokaal zijn ook na de verbetering nog steeds aanzienlijke positionele fouten aanwezig. Sommige fouten in de kartering kunnen ook onmogelijk worden rechtgezet (hiaten bijvoorbeeld), en het is daarom nuttig om bij lokale studies van de landschapsevolutie, te vergelijken met recentere kaarten die veel nauwkeuriger zijn (zie bijvoorbeeld Figuur 5.7).

5.3 Klassen onderscheiden door de AI beeldclassificatie en manuele aanpassingen

De eenheden die we onderscheiden voor digitalisatie focussen op het landgebruik (vlakken) in het buitengebied. Dat neemt niet weg dat, vaak in de loop van het proces, ook andere lijn- of vlakvormige eenheden, die het globale resultaat van de classificatie verbeteren, werden onderscheiden. Een voorbeeld hiervan is de eenheid ‘berm’ op de Ferrariskaart (zie hieronder), die aanvankelijk niet werd onderscheiden, met als resultaat gaten of opvallende misclassificaties. De Ferrariskaart is niet getekend volgens de standaarden die later bij de topografische kaarten (vanaf de 19de eeuw) werden gehanteerd. De inkleuring kan sterk variëren tussen de kaartbladen onderling en de legende maakt vaak gebruik van ingetekende miniaturen, niet van een sterk gestileerde en uniforme symboliek (zie bvb. Figuur 5.6). Voor de beeldclassificatie gaf dit verrassend weinig problemen (zie verder resultaat). We hebben in functie van de digitalisatie 18 klassen onderscheiden, waarvan 15 klassen uitsluitend op basis van de machine learning beeldclassificatie (zie ook de legende in Bijlage 1):

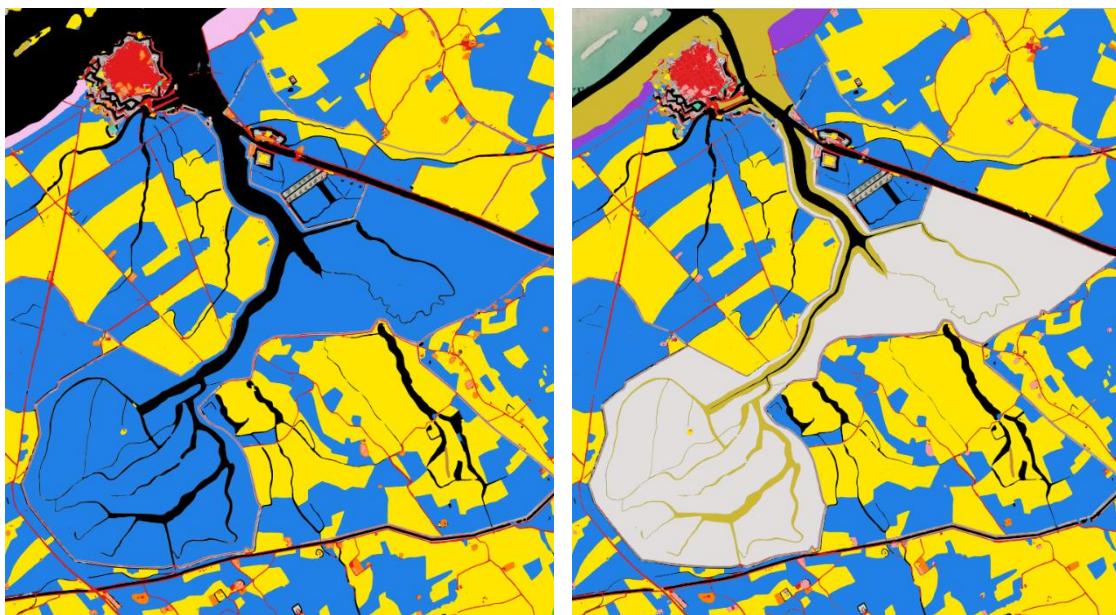
- akker
- bebouwing
- berm
- boomgaard
- bos - loofbos
- bos - naaldbos
- bos - parkbos
- landduinen
- grasland
- heide
- heide - met - bos
- kustduin of duingrasland (manueel onderscheiden)



- schorre (manueel onderscheiden)
- strand of slikke (manueel onderscheiden)
- tuinen
- veen - moeras
- water
- weg

De manuele aanpassingen aan de beeldclassificatie van de Ferrariskaart zijn als volgt:

- Manuele digitalisatie van de grens tussen de zee en het water in kreken enerzijds (klasse 'water') en het strand (klasse 'strand of slikke') anderzijds (zie Figuur 5.8)
- Manueel onderscheid tussen schorren en graslanden o.b.v. de tekst en de begrenzing door dijken (Figuur 5.8). Langs de Schelde werd dit onderscheid stroomopwaarts gemaakt tot aan Antwerpen, wat ongeveer correspondeert met de (actueel) mesohaliene zone (zie Van Braeckel et al. 2012, ook voor een grondige historische analyse van de buitendijkse gronden in het Sigmagebied).
- Manueel onderscheid van 'kustduin en duingrasland' met 'landduinen': hierbij werden de categorieën 'duinen' en 'heide' in de kustzone hernoemd tot 'kustduin of duingrasland' (zie Figuur 5.8). Graslanden en akkers in de duinen werden wel behouden zoals ze door de OrthoSeg werden gedetecteerd.
- Manuele correctie van misclassificaties in watervlakken en brede waterlopen
- Manuele correctie van misclassificaties in de klasse 'veen of moeras'
- Manueel opvullen van grote gaten in de detectie van heidegebieden in de regio Balen - Mol – Postel

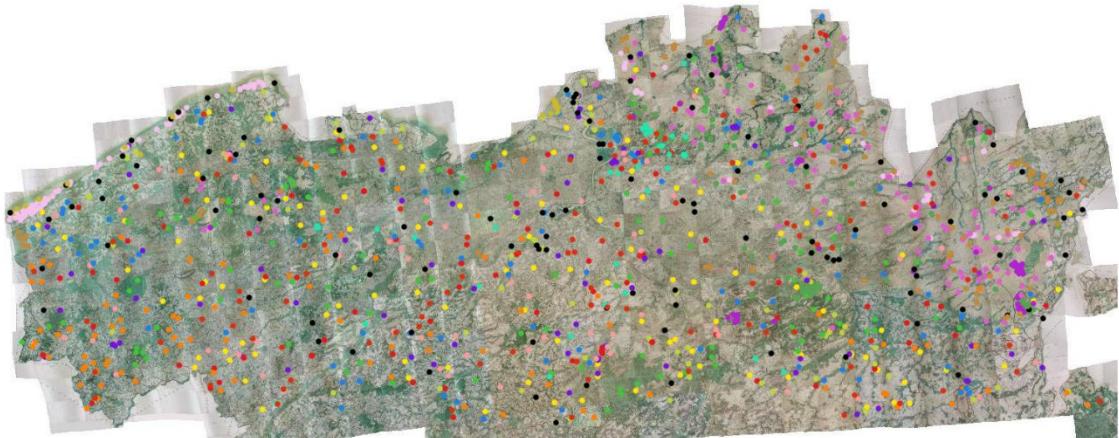


Figuur 5.8 Op het resultaat van de beeldclassificatie van de Ferrariskaart (links) werden manuele aanpassingen gemaakt (rechts) waardoor 'strand of slikke' (bruin), 'water' (zwart), 'schorre' (lichtgrijs), 'grasland' (blauw) en 'kustduin en duingrasland' (paars) beter werden onderscheiden. Het voorbeeld geeft de omgeving van Oostende weer.

5.4 Validatie van de beeldclassificatie

OrthoSeg genereert een polygonenkaart, die manueel werd aangepast en gecorrigeerd (zie hierboven). Een bijkomende validatie, als aanvulling op de procedure die een onderdeel is van OrthoSeg (zie onderdeel 4.2), werd echter uitgevoerd op de niet aangepaste versie 12, dus zonder de correcties en zonder onderscheid tussen 'schorre' en 'grasland' (beide 'grasland' op versie 12), tussen 'kustduin en duingrasland' en 'landduinen' (beide 'duinen' en soms 'heide' op versie 12) en zonder de digitalisatie van de kustlijn (klasse 'strand of slikke' op de manueel verbeterde versie).

Voor deze validatie werd gebruikgemaakt van een random gegenereerde puntenlaag, die op de polygonenkaart werd gelegd (Figuur 5.9). Van elke klasse werden maximaal 100 punten geselecteerd, maar voor weinig voorkomende klassen kon dit aantal soms niet bereikt worden. Na de overlay werd op scherm in QGis beoordeeld of de klasse van de polygonenkaart overeenstemt met de klasse op de oorspronkelijke kaarten, zoals weergegeven door de kaartenmozaïeken op Geopunt (Ferrariskaart) of Cartesius (DG 1873, MGI 1969) (Figuur 5.9). De klasse van de beoordeling werd als een apart veld ('actual') toegevoegd aan de attribuuttafel van de puntenlaag, waarin door de overlay ook de waarde van de beeldclassificatie door OrthoSeg zit ('predicted'). Deze procedure werd voor elke kaart herhaald, m.a.w. de sets van punten die gebruikt werden voor de validatie van elke kaartreeks, zijn niet gelijk.



Figuur 5.9 Voor een random gegenereerde puntenlaag wordt de klasse die het resultaat is van de beeldclassificatie door OrthoSeg (inkleuring van de punten), in een GIS vergeleken met de landgebruiksklasse volgens de kaartenmozaïek op de achtergrond.

De validatie genereert een klassieke foutenmatrix, die toelaat om voor elke klasse als volgt een user en producer accuracy te berekenen:

- User accuracy = True positives / (True positives + False positives)
- Producer accuracy = True positives / (True positives + False negatives)



True positives zijn punten die zowel volgens de beeldclassificatie als volgens de desktop beoordeling tot dezelfde klasse behoren. False positives behoren volgens de desktop beoordeling tot andere klassen, dan die waartoe de beeldclassificatie ze gerekend heeft. False negatives zijn punten die volgens de desktop beoordeling tot een bepaalde klasse behoren, maar niet als zodanig worden gedetecteerd met OrthoSeg.

Op basis van de user en producer accuracies werd voor elke klasse een F1 waarde berekend als een harmonisch gemiddelde van beide:

$$\rightarrow F1 = 2 * (\text{user accuracy} * \text{producer accuracy}) / (\text{user accuracy} + \text{producer accuracy})$$

Naast de user, producer, en F1 accuracies voor elke klasse apart worden ook twee globale betrouwbaarheidsmaten voor elke kaartenreeks berekend:

- De kappa waarde, die het resultaat is van een statistische test die de berekende nauwkeurigheid corrigeert voor het feit dat een verdeling over een foutenmatrix ook door toeval tot stand kan komen
- De area weighted F1: dit is een gemiddelde waarde van F1 voor alle klassen, waarbij gewogen wordt volgens hun oppervlakteaandeel.

Tabel 5.1 Resultaten van de validatie van 16 klassen op versie 12 van de OrthoSeg beeldclassificatie van de Ferrariskaart, o.b.v. 1472 validatiepunten. N geeft het aantal validatiepunten per klasse weer, Area het procentueel oppervlakteaandeel van de klassen. De berekening van de user, producer, en F1 accuracies wordt in de tekst uitgelegd.

Klasse	N	Area	User	Producer	F1
Akker	100	53.2%	0.94	0.82	0.87
Bebouwing	100	0.8%	0.73	0.88	0.78
Berm	100	0.3%	0.71	0.99	0.83
Boomgaard	100	2.3%	0.84	0.84	0.84
Bos-loofbos	100	10.7%	0.92	0.92	0.92
Bos-naaldbos	100	0.4%	0.96	0.96	0.96
Bos-parkbos	75	0.1%	0.47	1.00	0.64
Duinen	100	0.4%	0.99	1.00	0.99
Grasland	100	12.0%	0.87	0.81	0.84
Heide	100	11.6%	0.97	0.92	0.94
Heide met bos	84	0.1%	0.81	1.00	0.89
Slikken	13	0.0%	0.77	0.53	0.63
Tuinen	100	1.2%	0.57	0.90	0.70
Veen-moeras	100	0.8%	0.92	0.99	0.95
Water	100	3.0%	0.87	0.79	0.83
Weg	100	3.2%	0.96	0.79	0.86

//

Globaal heeft de beeldclassificatie een goed resultaat opgeleverd: de kappa waarde en de area weighted F1 waarden bedragen respectievelijk 84% en 88%. De klassen die relatief goed scoren, zijn 'naaldbos', 'loofbos', 'duinen', 'heide', en 'veen - moeras'. Klassen met een relatief lage nauwkeurigheid, zijn 'bos - parkbos', 'slikken' en 'tuinen'. Locaties die op de kaarten als 'bos - parkbos' zijn weergegeven, zijn effectief allemaal zo gedetecteerd (producer accuracy = 1), maar de klasse van 'bos - parkbos' bevat ook meer dan de helft locaties die volgens de desktop beoordeling op de kaartenmozaïek tot een andere klasse toebehoren. In mindere mate zien we ook toewijzingsfouten bij tuinen. Bij de 'slikken' is het omgekeerde het geval: 47% van de slikken werd niet herkend, maar 77% van de klasse 'slikke' blijkt dat volgens de beoordeling effectief te zijn. Het is ook belangrijk mee te geven dat de klasse 'slikke' manueel werd aangepast en hernoemd tot 'strand of slikke'. De nauwkeurigheid is dus waarschijnlijk door de manuele aanpassingen verbeterd.

We kunnen dus besluiten dat het resultaat van de beeldclassificatie erg goed is, en wellicht verder verbeterd is door de manuele aanpassingen. Het is belangrijk om mee te geven dat de omvang van (residuele) positionele fouten van de Ferrariskaart niet werd begroot door deze validatie, omdat de beoordeling is gebeurd op de kaartenmozaïek 'as is'. We schatten dat de impact van dit type fout bij de analyse van landgebruiksveranderingen belangrijker is dan de classificatiefouten.



6. Gereduceerde kadasterkaarten

6.1 Beschrijving van de kaart

De beschrijving in de volgende paragraaf werd grotendeels overgenomen uit de nota van Vanden Bulcke (2011), die gebaseerd is op een niet gepubliceerde nota van het NGI. De jaartallen werden aangepast aan de beschrijving op de website van het NGI.

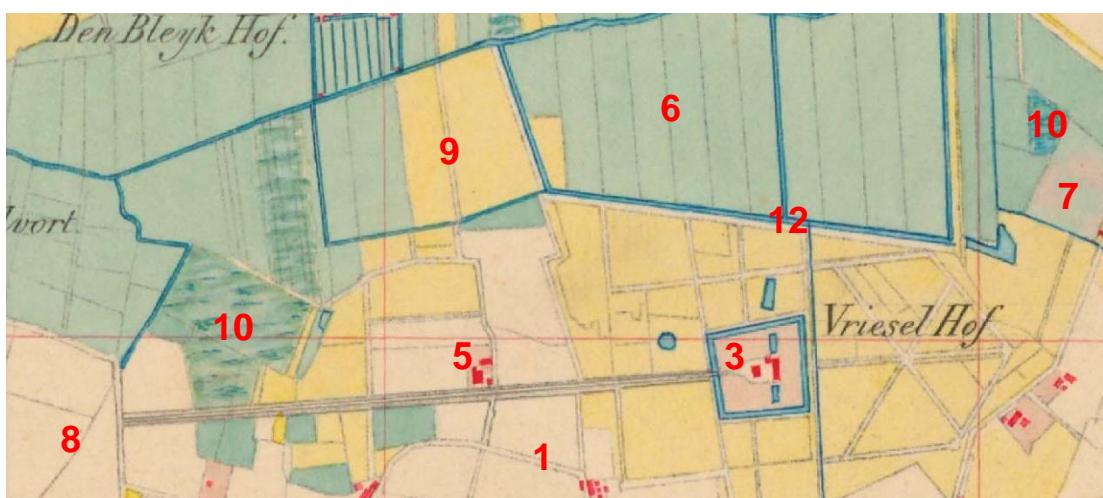
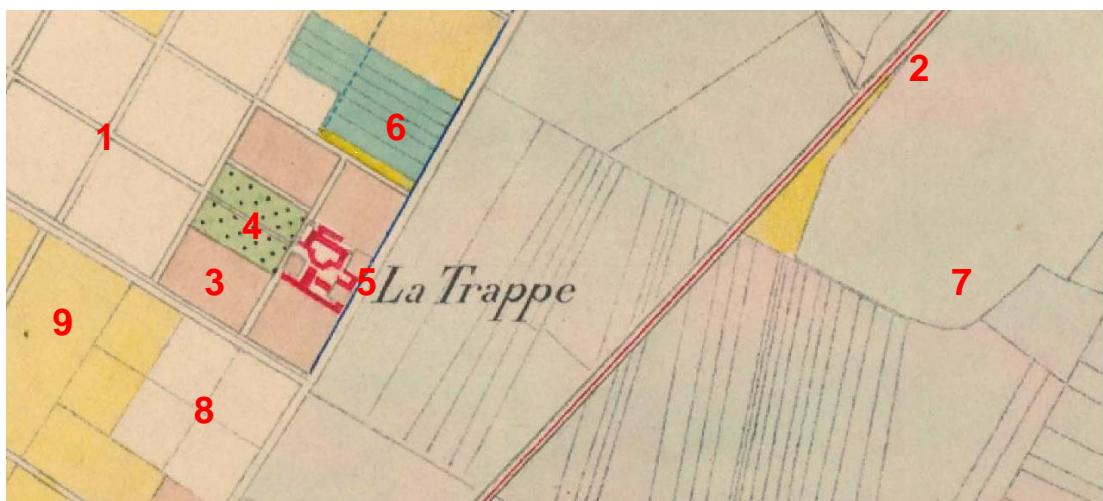
Bij het ontstaan van België had het ‘Dépôt de la Guerre et de la Topographie’, de voorloper van het NGI, niet veel materiaal om een basiskaart van België op te maken. Alle toenmalige gemeenten hadden echter wel kadasterplannen. De originele en zgn. ‘primitieve plannen’ van het kadaster waren getekend op schaal 1:5.000 of 1:2.500 tussen 1826 en 1843. Deze primitieve kadasterplannen werden tussen 1847 en 1855 door het ‘Dépôt de la Guerre et de la Topographie’ manueel gereduceerd tot op schaal 1:20.000 en ingekleurd volgens het landgebruik. De gereduceerde kadasterplannen zijn beschikbaar voor heel België, behalve voor de gemeenten Velm (St.-Truiden) en Lommel. Voor Vlaanderen zijn er circa 1100 gereduceerde kadasterplannen.

6.2 Legende

Er bestaat geen gepubliceerde legende van de kaart. De meeste karteringsklassen zijn echter eenvoudig te herkennen (Figuur 6.1 en Tabel 6.1). Het aantal klassen, 12 in totaal, is geringer dan dat van de Ferrariskaart (16). Eenheden die enkel of vooral aan de kust of langs de grote rivieren voorkomen, zoals schorren, slikken en duinen, zijn nog niet bekijken.

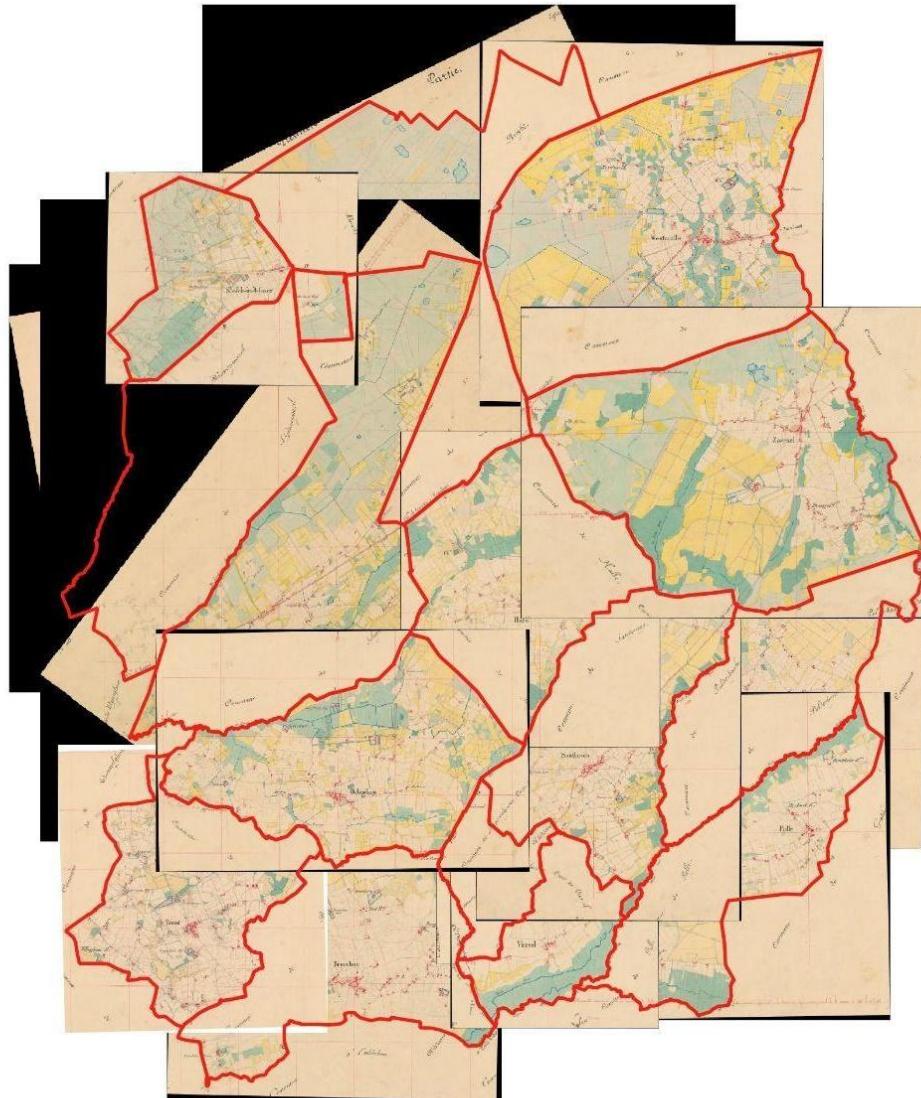
Tabel 6.1 Klassen van landgebruik of bodembedekking, die op de gereduceerde kadasterkaarten onderscheiden kunnen worden

Nr. Fig. 6.1	Klasse	Omschrijving van de inkleuring
1	Onverharde weg	dubbele grijze lijn zonder inkleuring
2	Steenweg	zoals 1 maar centraal met rode lijn
3	Tuin, erf, park	egaal licht rood / roze
4	Boomgaard	zwarte puntjes tegen groene achtergrond
5	Gebouw	egaal rood
6	Grasland	egaal groen
7	Heide	gewolkt roze en groen, grijs op sommige plannen
8	Akker	niet ingekleurd
9	Bos	egaal geel
10	Moeras	blauwe vegen of lijnen op een groene achtergrond
11	Struweel of jong bos	gewolkt geel en groen
12	Water	lichtblauw met donkere randen



Figuur 6.1 Inkleuring van de 12 karteringsklassen van de gereduceerde kadasterkaarten, de nummering wordt verklaard in Tabel 6.1

De gereduceerde kadasterkaarten geven vlakken van landgebruik of bodembedekking over het algemeen duidelijk weer, hoewel er tussen de plannen onderling wel wat variatie in de inkleuring is. Lijnvormige elementen, zoals smalle houtkanten of sloten, worden niet weergegeven, maar de perceelsgrenzen zijn als grijze lijntjes getekend. De legende werd door Hilde Verboven en Koen Smets (Agentschap Onroerend Erfgoed) geverifieerd voor enkele Limburgse gemeenten (Maaseik, Munsterbilzen, Genk, Grote Brogel, Neerglabbeek, Gruitrode, Achel, Kuringen, Kermt). Daarbij werd de inkleuring van de plannen van het gereduceerd kadaster vergeleken met de beschrijving van de percelen in de leggers model 208 van het primitief kadaster, die zich bevinden in het Rijksarchief Hasselt.



Figuur 6.2 Als deze georefereerde scans van de gereduceerde kadasterplannen worden geladen in een GIS, overlappen de plannen van aangrenzende gemeenten. De gedigitaliseerde gemeentegrenzen die gebruikt werden om bij te snijden, zijn rood weergegeven.

6.3 Digitale ontsluiting

De gereduceerde kadasterkaarten worden door het NGI aangeboden als hoogwaardige scans:
<https://shop.ngi.be/nl/historische-kaarten/gereduceerde-kadasterplannen-1847-1854-versie/>.

De scans van gemeenten in Vlaanderen werden gegeorefereerd door het Agentschap Onroerend Erfgoed en binnen dit project werd gebruikgemaakt van 15 van deze gegeorefereerde digitale scans.

De begrenzing van gereduceerde kadasterplannen volgt de toenmalige gemeentegrenzen, niet die van kaartenroosters die later werden toegepast bij de topografische kaarten. Door de overlap kunnen aangrenzende gemeenten niet samen volledig worden weergegeven in een GIS (figuur 6.2) en dit staat ook een automatische extractie van het centrale, ingekleurde deel van de plannen met behulp van OrthoSeg in de weg.

Een eerste piste om digitalisatie mogelijk te maken zou zijn om de plannen eerst manueel bij te snijden, samen te voegen, en in een mozaïek te brengen zoals de andere besproken kaarten, om ze pas daarna als geheel te segmenteren met OrthoSeg. In eerste instantie werd nagegaan of de digitalisatie van de gemeentegrenzen in 1850, door het Queteletcentrum van de UGent (LOKSTAT - Databank van lokale statistieken in België, 1800 - 1970), geschikt is om de plannen mee bij te snijden. Deze digitalisatie is jammer genoeg onvoldoende verfijnd om dit te doen en een naadloos geheel te krijgen (Figuur 6.3).

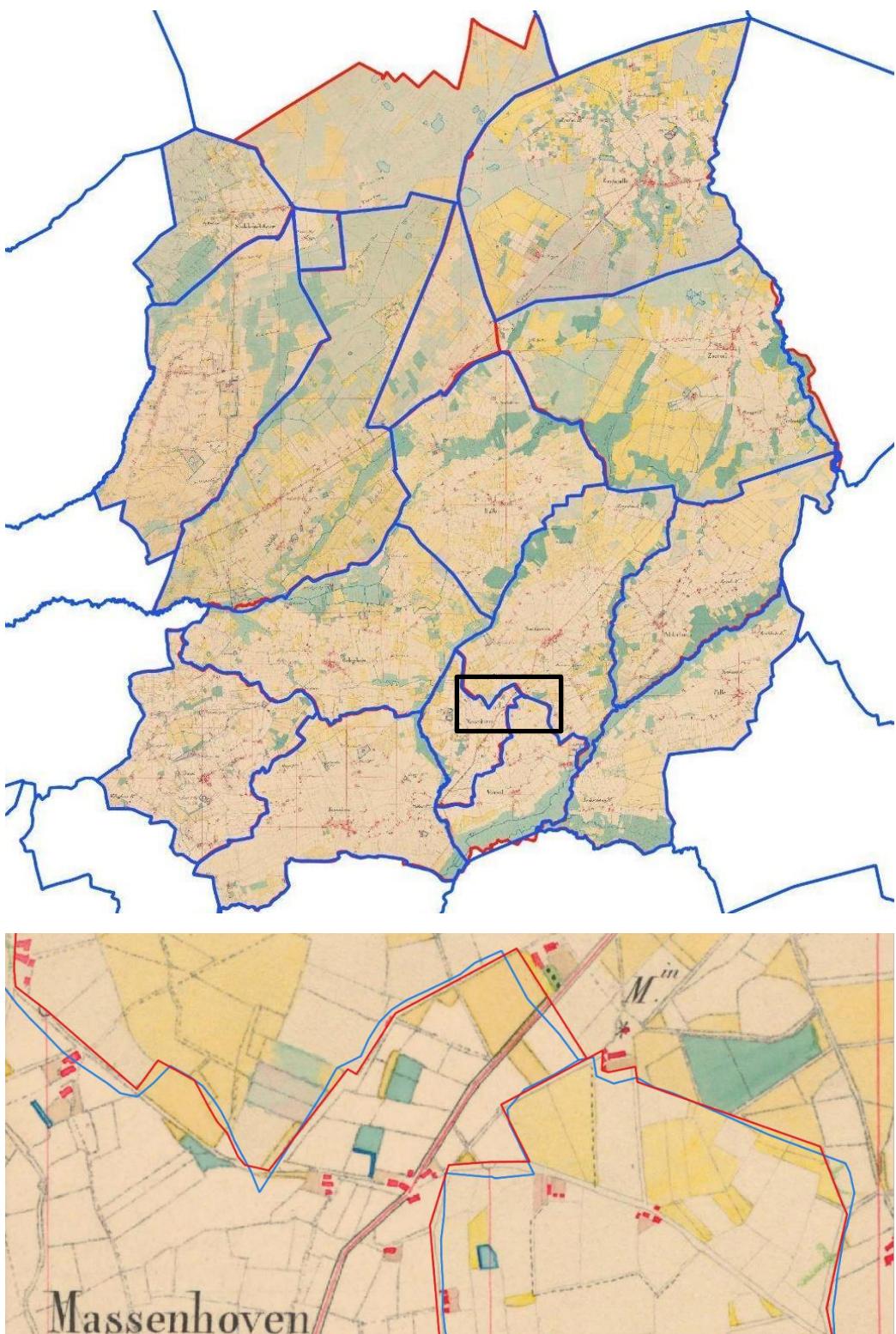
Een nauwkeurige manuele digitalisatie van de grenzen van de 15 gemeenten, nam ongeveer 4 mensdagen in beslag. Dat betekent dat voor de digitalisatie van heel Vlaanderen (ongeveer 1100 gemeenten) gerekend moet worden op ongeveer 300 mensdagen. Vooral grenzen die gevormd worden door meanderende beken, zijn erg tijdrovend.

Na het manuele tekenwerk zijn in grote lijnen nog volgende stappen te zetten:

- In eerste instantie moet een correcte eenduidige naamgeving van de gemeente toegevoegd worden aan zowel het kadasterplan als het vectorbestand van de gedigitaliseerde gemeentegrens. Hiervoor kan als referentie het bestand municipalsection_3812.gpkg van de AdminVector vectordataset van het NGI gebruikt worden, of de naam die op de kaart zelf wordt vermeld.
- De rasterbestanden van de scans van de gereduceerde kadasterkaarten hadden niet allemaal dezelfde resolutie en RGB-kleurinterpretatie. Dit moet voor alle kaarten gelijk gezet worden. Er werd gekozen voor een resolutie van 1 m.
- Rasterwaarden buiten de gevectoriseerde gemeentegrenzen werden op 0 gezet (nodata value), waarna alle rasterbeelden tot één groot bestand werden samengevoegd.

We schatten dat de stappen na de manuele digitalisatie van de grenzen, voor geheel Vlaanderen ongeveer een 10-tal mensdagen in beslag nemen, wat vergeleken met de digitalisatie van de grenzen (300 mensdagen) een kleine tijdsbesteding is.





Figuur 6.3 De gemeentegrenzen van 1850 uit de historische databank van lokale statistieken (LOKSTAT, Universiteit Gent, Queteletcentrum) zijn blauw weergegeven, de rode lijnen zijn de manuele digitalisatie waarmee de kaarten werden bijgesneden en aan elkaar gepast. Het bereik van de zwarte rechthoek is onderaan uitvergroot weergegeven.

Een tweede piste zou kunnen zijn, om OrthoSeg in te zetten om de grenzen van de gemeenten automatisch te detecteren. De overlap tussen de kaartbladen van aangrenzende gemeenten zijn hiervoor een hindernis, maar door de kaarten op te delen in een aantal deelsets, met voor elke deelset enkel niet overlappende gegeorefereerde kaarten, is hier misschien een automatische extractie van grenzen en landgebruik mogelijk. In een volgende stap moeten de afzonderlijke beeldclassificaties dan samengevoegd worden. Ook dit kan vermoedelijk geautomatiseerd worden. Wellicht is een manuele correctie of aanvulling van de automatische extractie wel nodig, omdat de perceelsgrenzen vaak zeer fijn zijn getekend (moeilijk te detecteren) en heel wat bijkomende informatie (hoogtelijnen, nieuwe tracés van wegen of spoorwegen, ...) over de grenzen heen getekend is, wat tot misclassificaties kan leiden. De meanderende waterlopen, blauw getekend op de kaarten en het moeilijkste manueel te digitaliseren, zijn wellicht wel goed automatisch te detecteren.



7. Topokaart DG 1873

7.1 Beschrijving van de kaart (voornamelijk gebaseerd op Cartesius)

Dit is de eerste kaart die tussen 1860 en 1873 op het terrein opgemeten werd door de officieren van het Dépôt de la Guerre, de voorloper van het NGI, dat werd opgericht na de onafhankelijkheid van België. Het is de eerste topografische kaart, op 1:20.000 en in kleur gedrukt, met als kenmerken:

- De gereduceerde kadasterplannen (zie onderdeel 6) hebben als topografische basis gediend.
- In functie van de kartering werd de eerste triangulatie van België uitgevoerd, waarvoor de geodetische basissen van Lommel (1851-1852) en van Oostende (1853) werden uitgezet.
- De kaart geeft het toenmalige België weer (zonder de Oostkantons), volgens de sinusoidale projectie van Bonne op de ellipsoïde van Delambre.
- De kaart geeft hoogtelijnen weer, wat niet het geval is voor de Ferrariskaart die hellingen met een schaduweffect weergeeft en geen hoogtes weergeeft. De hoogte op DG 1873 is berekend vanaf het gemiddelde niveau bij laag water aan de sluis van het handelsdok in Oostende.
- Dankzij fotolithografie in zeven of acht kleuren kon DG 1873 snel gepubliceerd worden.
- Het toenmalige België (zonder de Oostkantons) wordt weergegeven op 427 kaartbladen in een rooster. De schikking en de nummering waarmee ze samengevoegd konden worden, zijn nog altijd in gebruik.
- Er is een [gepubliceerde legende](#) van de kaart beschikbaar.

Door de nauwkeurige triangulatie is de positionele fout van DG 1873 veel kleiner dan van de Ferrariskaarten. Toch moet rekening gehouden worden met lokale afwijkingen van meerdere tientallen meters op oude topografische kaarten, met name in een reliëfrijke omgeving (zie een illustratie daarvan in De Keersmaeker et al. 2001: 38).

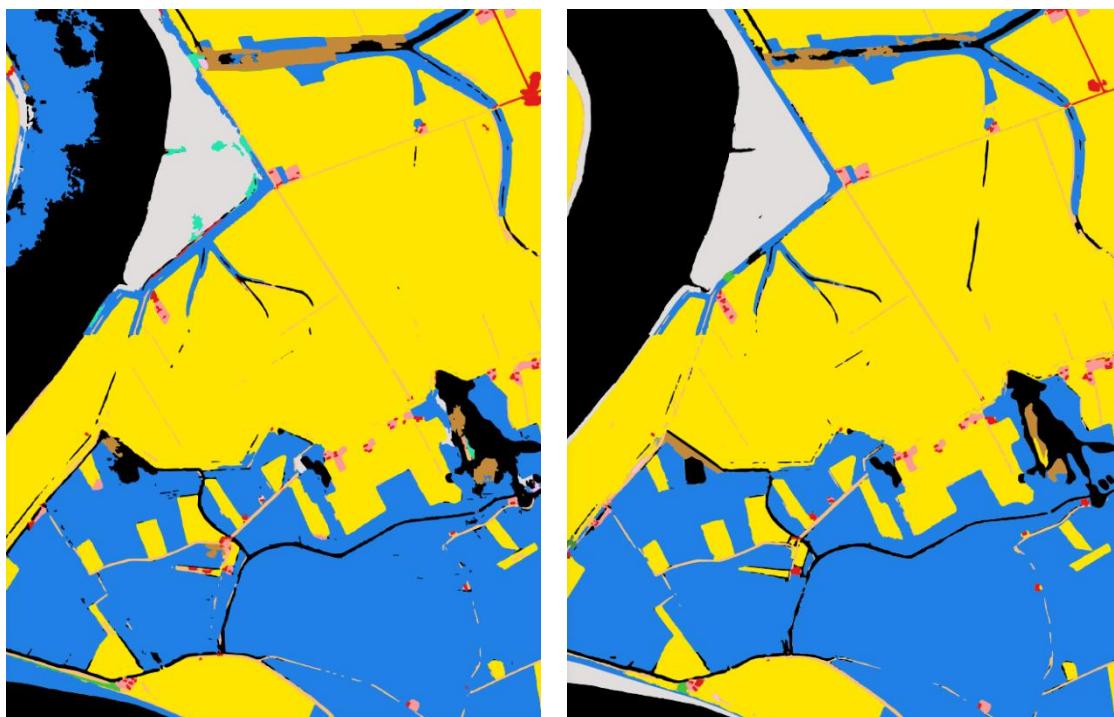
7.2 Klassen onderscheiden door de AI beeldclassificatie en manuele aanpassingen

In functie van de OrthoSeg beeldclassificatie hebben we 19 klassen onderscheiden. Een 20ste eenheid, 'kustduin of duingrasland' werd net zoals bij de Ferrariskaart manueel onderscheiden (zie ook de legende van de onderscheiden klassen in Bijlage 2):

- akker
- bebouwing - huizen
- bebouwing - stedelijk
- boomgaard
- bos - loofbos
- bos - naaldbos
- bos - park of parkbos
- grasland
- heide
- heide - heide op landduinen
- kerkhof



- kustduin of duingrasland (manueel onderscheiden)
- schorren - slikken
- strand
- tuinen
- veen - moeras
- water
- weg - onverhard
- weg - spoorweg
- weg - verhard



Figuur 7.1 Op het resultaat van de OrthoSeg beeldclassificatie van DG 1873 (links) werden manuele aanpassingen gemaakt (rechts) waardoor vooral 'schorren - slikken' (grijs), 'water' (zwart), 'grasland' (blauw) en 'veen – moeras' (bruin) beter werden onderscheiden. Het voorbeeld geeft de Scheldepolders ten noorden van Antwerpen weer.

Na de beeldclassificatie met OrthoSeg van 19 klassen , zijn de volgende manuele aanpassingen gemaakt:

- Manueel onderscheid van 'kustduin en duingrasland' met 'heide op landduinen' en 'heide': hierbij werden de categorieën 'duinen' en 'heide' in de kustzone manueel geselecteerd en hernoemd tot 'kustduin of duingrasland'. Groen ingekleurde graslanden en wit weergegeven akkers in de duinen werden wel behouden zoals ze door OrthoSeg werden gedetecteerd.
- Lokale verbetering van de detectie van 'water' (zie Figuur 7.1).

//

- Verbetering van de detectie van ‘schorren - slikken’ en manuele selectie van buitendijkse gebieden die als grasland of moeras zijn ingetekend (figuur 7.1). Langs de Schelde werd dit onderscheid stroomopwaarts gemaakt tot aan Antwerpen, wat ongeveer correspondeert met wat actueel de mesohaliene zone is (Van Braeckel et al. 2012).
- Manuele digitalisatie van het ontbrekende (gescheurde) deel van kaartblad 25/3 (Zolder). Hiervoor werd een intacte scan van de UGent bekomen.
- Lokaal is het onderscheid tussen ‘boomgaard’ en ‘grasland’ verbeterd.

7.3 Validatie van de beeldclassificatie

De validatie werd uitgevoerd op versie 13 van de OrthoSeg beeldclassificatie. Dit is de versie voor de manuele aanpassingen. Voor een beschrijving van de werkwijze en de berekende nauwkeurigheden, verwijzen we naar onderdeel 5.4. met de validatie van de beeldclassificatie van de Ferrariskaarten.

Tabel 7.1 Resultaten van de validatie van 19 klassen op versie 13 van de OrthoSeg beeldclassificatie van DG 1873, o.b.v. 1677 validatiepunten en zonder manuele aanpassingen. N geeft het aantal validatiepunten weer per klasse, Area het procentueel aandeel van de klassen. De berekening van de user, producer, en F1 accuracies werd in onderdeel 5.4 uitgelegd.

Klasse	N	Area	User	Producer	F1
Akker	100	60.2%	0.91	0.66	0.77
Bebouwing huizen	100	0.9%	0.73	0.89	0.80
Bebouwing stedelijk	100	0.2%	0.61	1.00	0.76
Boomgaard	100	1.5%	0.87	0.89	0.88
Bos loofbos	100	5.0%	0.83	0.86	0.84
Bos naaldbos	100	5.3%	0.92	0.81	0.86
Bos parkbos	100	0.4%	0.44	0.98	0.61
Duinen	100	0.3%	0.97	0.98	0.97
Grasland	100	12.0%	0.90	0.80	0.85
Heide	100	5.1%	0.96	0.81	0.88
Heide op duinen	100	0.2%	0.80	0.96	0.87
Schorren en slikken	30	0.0%	0.87	1.00	0.93
Strand	97	0.1%	1.00	0.99	0.99
Tuinen	100	1.9%	0.61	0.79	0.69
Veen - moeras	100	0.3%	0.91	0.98	0.94
Water	100	1.8%	0.96	0.84	0.90
Wegen onverhard	50	3.9%	0.86	0.63	0.73
Wegen spoorweg	50	0.3%	0.90	1.00	0.95
Wegen verhard	50	0.7%	0.90	0.61	0.73

//

De kappa accuracy voor de beeldclassificatie toegepast op de topokaart van DG 1873 scoort 82%, de globale F1 waarde gewogen volgens het oppervlakteaandeel bedraagt 80%. Globaal is de nauwkeurigheid voor DG 1873 dus iets lager dan het resultaat dat werd bekomen op de Ferrariskaart. Met de hogere positionele fout van deze laatste, wordt hier geen rekening gehouden. De klassen die relatief minder goed scoren, zijn 'akker', 'bebouwing stedelijk', 'bos parkbos', 'tuinen', 'wegen onverhard' en 'wegen verhard'. Voor de meeste van deze klassen is er een onevenwicht tussen de user en producer accuracies: 'bebouwing stedelijk', 'bos parkbos' en 'tuinen' hebben lagere user dan producer accuracies, wat betekent dat de polygonen van deze klasse een aanzienlijke oppervlakte bevatten, die volgens de desktop beoordeling tot een andere klasse behoort. Voor 'bos parkbos' en voor 'tuinen' was dat ook zo bij de beeldclassificatie van de Ferrariskaart. Voor de klassen 'akker', 'wegen onverhard' en 'wegen verhard' is de producer accuracy opvallend lager dan de user accuracy. Dit betekent dat een aanzienlijke oppervlakte van deze klassen volgens de desktop beoordeling, door de beeldclassificatie in andere klassen geplaatst is. Voor de klasse 'akker', die 60% van de oppervlakte beslaat, kunnen we met behulp van de foutenmatrix nagaan in welke klassen fout gedetecteerde 'akker' terecht komt. Dat blijkt vooral bij 'bebouwing huizen' en 'bebouwing stedelijk' te zijn (elk 8% van het totaal aantal punten dat 'akker' is volgens de desktop beoordeling). De rest van de fout gedetecteerde punten is verspreid over vrijwel alle andere klassen.



8. Topokaart MGI 1969

8.1 Beschrijving van de kaart (gebaseerd op Cartesius en NGI)

Na de Tweede Wereldoorlog werden de opmetingen gestart voor een nieuwe reeks topografische kaarten, en werd de methodiek fundamenteel herwerkt. De opmetingen voor deze kaart dateren uit de periode 1952-1969 en voor de eerste keer werd systematisch gebruik gemaakt van luchtfoto's (fotogrammetrie), in combinatie met opmetingen op het terrein.

In functie van deze kaart werd ook een Tweede Algemene Waterpassing (TAW) uitgevoerd, waarvoor verspreid over het hele land 17.000 merktekens zijn uitgezet. De nieuwe basiskaart werd getekend op schaal 1:25.000, terwijl dit voorheen 1:20.000 was. Ook de projectie veranderde: de oude Bonneprojectie werd vervangen door de Lambert kaartprojectie, dit is een conforme kegelprojectie. Bij een conforme projectie worden hoeken niet vervormd, maar afstanden wel.

Deze eerste versie van de 'moderne' topografische kaarten maakt veelvuldig gebruik van symbolen of arceringen om kaartelementen te onderscheiden. Van deze kaart zijn twee gepubliceerde legendes online beschikbaar:

- [Legende M 834 Ed1 \(1950 - 1961\)](#) (ngi.be)
- [Legende M 834 \(na 1961\)](#) (ngi.be)

8.2 Klassen onderscheiden door de AI beeldclassificatie en manuele aanpassingen

Een belangrijke nieuwe symboliek, vergeleken met eerdere topografische kaarten, zijn de horizontale blauwe streepjes, die in opdruk natte zones weergeven. Deze natte zones kunnen voorkomen in meerdere landgebruiksklassen (bossen, heide, grasland), waardoor deze klassen ontdubbeld werden. Door deze ontdubbeling en door een aantal nieuwe kaarteenheden voor landgebruik dat na 1945 sterk is toegenomen (terril, serre, populierenbos, boomkwekerij), loopt het aantal klassen op tot 30. Een 31ste eenheid, 'kustduin of duingrasland' werd net zoals bij de oudere kaarten manueel onderscheiden (zie verder). Dit is de volledige lijst van onderscheiden klassen (zie ook de legende in Bijlage 3):

- akker of vergraven terrein
- bebouwing - huizen
- bebouwing - stedelijk
- boomgaard
- boomkwekerij
- bos - naaldbos
- bos - naaldbos (nat)
- bos - loofbos
- bos - loofbos (nat)
- bos - gemengd bos
- bos - gemengd bos (nat)
- bos - populier of rijshout
- bos - populier of rijshout (nat)

//

- grasland
- grasland (nat)
- heide op landduinen
- heide, ruigte of kapvlakte
- heide, ruigte of kapvlakte (nat)
- kerkhof
- kustduin of duingrasland (manueel onderscheiden)
- landduinen
- schorren - slikken
- serre
- strand
- terril
- tuinen
- veen - moeras
- water
- weg - onverhard
- weg - spoorweg
- weg - verhard

Na de beeldclassificatie met OrthoSeg, zijn als volgt manuele aanpassingen gemaakt:

- Manueel onderscheid van ‘kustduin en duingrasland’ met ‘landduinen’, ‘heide op landduinen’ en ‘heide’: hierbij werden deze categorieën in de kustzone geselecteerd en hernoemd tot ‘kustduin of duingrasland’. Graslanden gelegen in de kustduinen werden wel behouden zoals gedetecteerd.
- Verbetering van de detectie van ‘schorren - slikken’. Langs de Schelde werd een manuele verbetering uitgevoerd, stroomopwaarts tot aan Antwerpen, wat ongeveer correspondeert met de (actueel) mesohaliene zone (Van Braeckel et al. 2012).

8.3 Validatie van de beeldclassificatie

Voor een beschrijving van de werkwijze en de berekende nauwkeurigheden, verwijzen we naar onderdeel 5.4. met de validatie van de beeldclassificatie van de Ferrariskaarten. De validatie is gebeurd op versie 6 zonder de manuele aanpassingen.

De kappa accuracy (uitleg in onderdeel 5.4) voor de beeldclassificatie van de topokaart van MGI 1969 scoort 81%, de globale F1 waarde gewogen volgens het oppervlakteaandeel bedraagt 82%. Globaal is de nauwkeurigheid van de beeldclassificatie van deze kaart vergelijkbaar met die van DG 1873 en iets lager dan het resultaat dat werd bekomen op de Ferrariskaart. Met de hogere positionele fout van deze laatste, wordt hier geen rekening gehouden.

De klassen die relatief minder goed scoren (< 70%), zijn ‘bebouwing stedelijk’, ‘bos - gemengd bos’, ‘bos - naaldbos nat’, ‘bos - populieren nat’, ‘heide, ruigte of kapvlakte nat’, ‘kerkhof’, ‘spoorweg’, ‘terril’, ‘tuinen’ en ‘weg verhard’. Voor de meeste van deze klassen is er een onevenwicht tussen de user en producer accuracies: ‘bebouwing stedelijk’, ‘bos - gemengd bos’, ‘bos - naaldbos nat’, ‘heide, ruigte of kapvlakte nat’, ‘kerkhof’, ‘spoorweg’, ‘terril’ en



'tuinen' hebben lagere user dan producer accuracies, wat betekent dat de polygonen van deze klasse een aanzienlijke oppervlakte bevatten, die volgens de desktop beoordeling tot een andere klasse behoort. Voor 'bos - populieren nat' en 'weg verhard' is de producer accuracy opvallend lager dan de user accuracy. Dit betekent dat een aanzienlijke oppervlakte van deze klassen volgens de desktop beoordeling, door de beeldclassificatie in andere klassen geplaatst is.

Tabel 8.1 Resultaten van de validatie van 30 klassen op versie 6 van de beeldclassificatie van MGI 1969, o.b.v. 2448 validatiepunten. N geeft het aantal validatiepunten weer per klasse, Area het procentueel aandeel van de klassen. De berekening van de user, producer, en F1 accuracies wordt in onderdeel 5.4 uitgelegd.

Klasse	N	Area	User	Producer	F1
Akker of vergraven	100	39.3%	0.98	0.74	0.84
Bebouwing huizen	100	1.7%	0.82	0.93	0.87
Bebouwing stedelijk	100	1.1%	0.69	0.95	0.80
Boomgaard	100	3.5%	0.94	0.88	0.91
Boomkwekerij	90	0.1%	0.86	1.00	0.92
Bos gemengd bos	100	0.6%	0.63	0.90	0.74
Bos gemengd bos nat	4	0.0%	0.00	0.00	0.00
Bos loofbos	100	4.0%	0.90	0.79	0.84
Bos loofbos nat	100	0.2%	0.72	0.90	0.80
Bos naaldbos	100	4.5%	0.92	0.81	0.86
Bos naaldbos nat	17	0.0%	0.53	0.82	0.64
Bos populieren	100	0.6%	0.92	0.99	0.95
Bos populieren nat	12	0.0%	0.92	0.58	0.71
Duinen	79	0.1%	0.92	0.86	0.89
Grasland droog	100	26.8%	0.92	0.71	0.80
Grasland nat	100	0.5%	0.79	0.93	0.85
Heide op duinen	100	0.2%	0.79	0.96	0.87
Heide ruigte kapvlakte	100	2.4%	0.83	0.78	0.80
Heide ruigte kapvlakte nat	100	0.3%	0.69	0.85	0.76
Kerkhof	72	0.1%	0.64	1.00	0.78
Schorren en slikken	38	0.1%	0.71	0.90	0.79
Serre	74	0.1%	0.73	1.00	0.84
Spoorweg	100	0.2%	0.58	0.83	0.68
Strand	100	0.2%	0.95	1.00	0.97
Terril	10	0.0%	0.60	1.00	0.75
Tuinen	100	6.7%	0.62	0.79	0.69
Veen moeras	52	0.1%	0.75	0.71	0.73
Water	100	1.9%	0.94	0.87	0.90
Weg onverhard	100	2.1%	0.88	0.75	0.81
Weg verhard	100	2.6%	0.98	0.69	0.81

//

De klasse ‘bos - naaldbos nat’ komt maar weinig voor, polygonen die door de beeldclassificatie tot deze klasse worden gerekend, zijn in ongeveer de helft van de gevallen andere types van bos. Polygonen die tot ‘spoorweg’, ‘terril’ en ‘tuinen’ worden gerekend volgens de OrthoSeg beeldclassificatie, zijn volgens de desktopanalyse vaak andere klassen, maar zonder duidelijke trend in de misclassificatie. Van ‘bos - populieren nat’ is een aanzienlijk deel gedetecteerd als ‘loofbos nat’. De klasse ‘weg verhard’ volgens de desktopanalyse, is vooral fout toegewezen aan ‘bebouwing stedelijk’ (12%), maar daarnaast ook aan een groot aantal andere klassen.



9. Landgebruiksveranderingen (1778 - 2022)

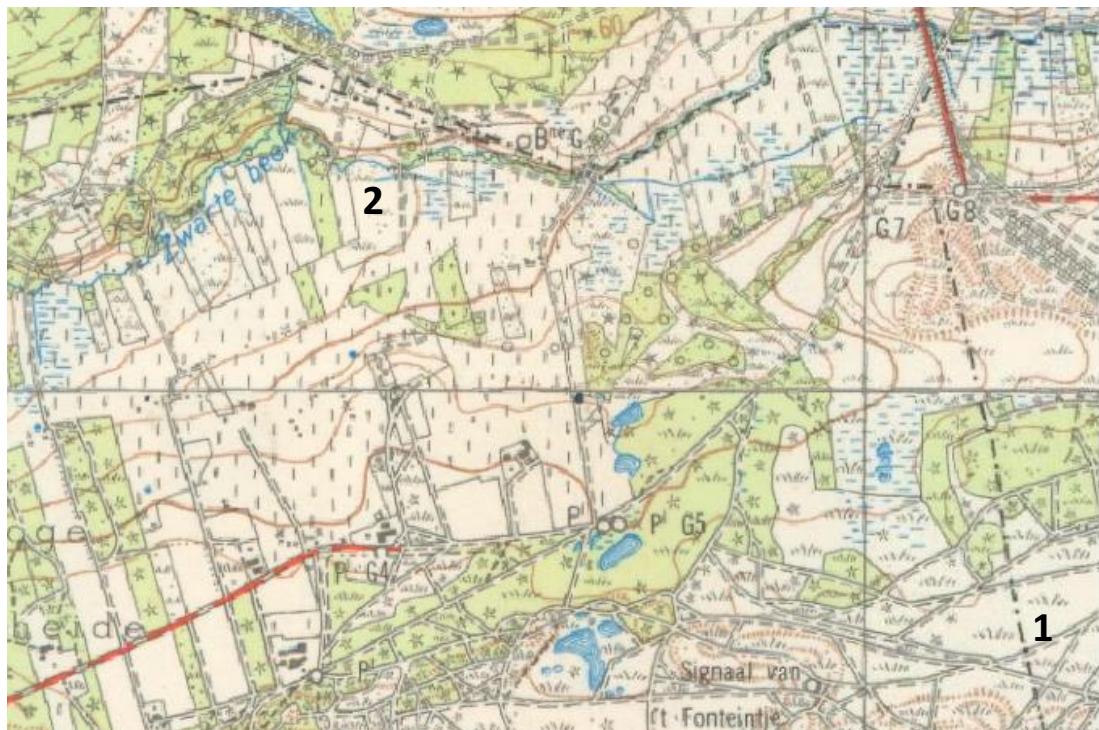
9.1 Globale werkwijze

Om landgebruiksveranderingen te kunnen analyseren over de volledige bestudeerde tijdsperiode tot op vandaag (1778-2022) werden een aantal verwerkingsstappen uitgevoerd op de hogervermelde polygonenkaarten, die het resultaat zijn van beeldclassificatie met OrthoSeg en manuele aanpassingen. In een eerste stap werden de verschillende klassen, onderscheiden voor de verschillende periodes, teruggebracht tot een beperkter aantal gemeenschappelijke landgebruiksklassen (zie hierna onderdeel 9.2). Om de tijdreeks te vervolledigen tot op vandaag, werd vervolgens de landgebruikskaart, toestand 2022 (Poelmans et al. 2023) ook omgezet naar de gemeenschappelijke legende (zie onderdeel 9.3). Vervolgens werd de vectoriële output van de beeldclassificatie met manuele aanpassingen voor iedere periode omgezet naar een rasterformaat met een 100m x 100m resolutie. Met de keuze voor de minder gedetailleerde 100m x 100m resolutie kunnen onnauwkeurigheden in de positionele bepaling, die het grootst zijn voor de Ferrariskaarten, tot op zekere hoogte worden opgevangen (zie verder onderdeel 9.4). De veranderingen die optreden in elke 100m rastercel in de periodes 1778-1873, 1873-1969 en 1969-2022, worden besproken in onderdeel 9.5 en geïllustreerd met de resulterende kaarten voor enkele regio's (onderdeel 9.6). Tot slot werd, analoog aan de onderdelen 5, 7, en 8, een validatie uitgevoerd van de landgebruiksveranderingen (weliswaar gebaseerd op de polygonenkaarten). Onderstaande paragrafen gaan dieper in op de verschillende verwerkingsstappen en de resultaten.

Tabel 9.1 *Toewijzing van de klassen van de afzonderlijke gedigitaliseerde historische kaarten tot 14 gemeenschappelijke landgebruiksklassen.*

Gemeenschappelijke landgebruiksklassen	Klassen Ferrariskaart	Klassen DG 1873	Klassen MGI 1969
akker	akker	akker	akker of vergraven terrein, boomkwekerij, serre
bebouwd en tuinen	bebouwing, tuinen	bebouwing - huizen, bebouwing - stedelijk, tuinen, kerkhof	bebouwing - huizen, bebouwing - stedelijk, tuinen, kerkhof
boomgaard	boomgaard	boomgaard	boomgaard
bos	bos - loofbos, bos - naaldbos, bos - parkbos	bos - loofbos, bos - naaldbos, bos - park - parkbos	bos - loofbos (nat), bos - gemengd bos (nat), bos - naaldbos (nat), bos - populier of rijshout (nat)
grasland	grasland	grasland	grasland (nat)
heide en landduinen	heide, heide - met - bos, landduinen	heide, heide op duinen, duinen	heide, ruigte of kapvlakte (nat), landduinen
infrastructuur	weg, berm	weg - spoorweg, weg - verhard, weg - onverhard	weg - spoorweg, weg - verhard, weg - onverhard
kustduinen	kustduin of duingrasland	kustduin of duingrasland	kustduin of duingrasland
moeras	veen - moeras	veen - moeras	veen - moeras
strand, slikke en schorre	strand of slikke, schorre	strand, schorren - slikken	strand, schorren - slikken
water	water	water	water
ruigte			heide, ruigte of kapvlakte (nat)
verblijfsrecreatie en sport			
andere			terril

//////////



Figuur 9.1 De legende-eenheid 'heide, kapvlakte of ruigte' van de polygonenkaart van MGI 1969 (onder), al of niet nat (zie Tabel 8.1 en bijlage 3) werd opgedeeld in 'heide' en 'ruigte' voor de analyse van de landgebruiksveranderingen. Donkerroze is 'heide' (voorbeeld 1) en lichtroze is 'ruigte' (voorbeeld 2). Boven is de oorspronkelijke kaart weergegeven.



9.2 Gemeenschappelijke landgebruiksklassen

In een eerste stap zijn de klassen die op de verschillende polygonenkaarten werden gedetecteerd en manueel onderscheiden, teruggebracht tot 14 gemeenschappelijke landgebruiksklassen (Tabel 9.1). Elk van de klassen van de kaarten uit de verschillende periodes werd in eerste instantie omgezet in één van de 14 klassen (Tabel 9.1).

De eerste 11 categorieën komen hierbij terug in alle bestudeerde periodes. De laatste 3 ('ruigte', 'andere' en 'verblijfsrecreatie en sport') komen niet in alle periodes voor. 'Verblijfsrecreatie en sport' wordt enkel weergegeven op de landgebruikskaart, toestand 2022. De klasse 'andere' bevat de klasse 'terril' die op de polygonenkaart van MGI 1969 is onderscheiden, en enkele recente veranderingen, zoals ontwateringen, op de landgebruikskaart van 2022. De klasse 'ruigte' is toegevoegd aan de polygonenkaart van MGI 1969, omdat deze kaart met een specifiek symbool (zie onderdeel 8.1) heel uiteenlopende types van terreinen of vegetaties weergeeft:

- heide en kapvlakten
- ruigte die ontstaat door het staken van het beheer van graslanden in valleigebieden
- ruigte op braakliggende, vergraven of opgehoogde terreinen

Om een onderscheid te maken tussen locaties die effectief heide of eventueel ook kapvlakten zijn, en de laatste 2 categorieën, werd een overlay gemaakt met heide op de Ferrariskaarten en DG 1873. Locaties die 'heide' waren op de Ferrariskaarten of DG 1873, werden toegewezen aan de klasse 'heide' op de topokaart MGI 1969. Locaties die hier niet aan voldeden, bijvoorbeeld op vergraven terrein of in valleigebieden, werden toegewezen aan 'ruigte' op de topokaart MGI 1969 (Figuur 9.1).

9.3 Landgebruikskaart 2022

Om een analyse uit te voeren die veranderingen tot op vandaag in rekening brengt, werd vervolgens de landgebruikskaart, toestand 2022 (Poelmans et al. 2023) omgevormd naar dezelfde 14 gemeenschappelijke landgebruiksklassen. De originele landgebruikskaart bevat 19 klassen. Deze 19 categorieën komen echter niet één op één overeen met de 14 gemeenschappelijke klassen die zijn gekozen in functie van dit project. Daarom werd teruggegrepen naar de onderliggende vier niveaus (niveau 1: bodembedekking, niveau 2: verstedelijk landgebruik per perceel, niveau 3: multifunctionele landgebruiken, niveau 4: BWK 2020), die werden gebruikt om de landgebruikskaart 2022 op te stellen. Voor het onderscheid van een aantal landgebruiksklassen ('strand, slikke en schorre', 'kustduinen' en 'ruigte') werd gebruikgemaakt van specifieke karteereenheden uit de Biologische Waarderingskaart 2020 (BWK 2020; De Saeger et al. 2020). Tabel 9.2 geeft weer welke landgebruiksklassen uit de niveau 1, 2 en 3 van de landgebruikskaart en welke karteereenheden uit de BWK 2020 werden gebruikt om de 14 gemeenschappelijke categorieën in kaart te brengen.

Hoogstamboomgaarden werden aangevuld door gebruik te maken van een specifieke OrthoSeg beeldclassificatie op middenschalige winterbeelden van 2021, met een grondresolutie van 25 cm (Vanpoucke 2024). Deze tussentijdse versie geeft de actueel aanwezige (relicten van) hoogstamboomgaarden goed weer maar bevat veel vals positieve polygonen. Daarom werd de kaart bijgesneden met de polygonen van de BWK, die volgens de eerste drie karteereenheden hoogstamboomgaard (kj of kj+, niet kj-) zijn. Vervolgens is een selectie gemaakt van polygonen met een minimum oppervlakte van 500 m². Dit leverde ongeveer 3900 ha hoogstamboomgaarden op, die al weergegeven zijn op de BWK versie 2.



Vele terreinwaarnemingen van de BWK2 dateren echter van de jaren 2000. Door bij te knippen met de BWK2 worden dus niet enkel vals positieven verwijderd, maar worden ook recentere aangelegde hoogstamboomgaarden niet weerhouden. De op deze wijze geselecteerde polygonen met hoogstamboomgaarden worden in de landgebruikskaart geschoven als boomgaarden, op locaties die een primair gebruik als grasland hebben. Bij een ander landgebruik (kker, tuin, bos, ...) worden de hoogstamboomgaarden overruled door dit landgebruik, en dus niet als boomgaard gekarteerd in de landgebruikskaart 2022.

Tabel 9.2 Herclassificatie van de klassen van de landgebruikskaart 2022 en BWK 2020 (<https://www.ecopedia.be/de-biologische-waarderingskaart>) naar de 14 gemeenschappelijke landgebruiksklassen.

Landgebruiksklassen (N = 14)	Klassen uit de Landgebruikskaart 2022	Klassen uit de BWK 2020
Bebouwd en tuinen	Commerciële vliegvelden (niveau 3), Bebouwde percelen (niveau 2), Kerkhof (niveau 2), Zoo en attractieparken (niveau 2), Gebouw (niveau 1)	
Infrastructuur	Weg, Spoorweg (niveau 1)	
Boomgaarden	Hoogstamboomgaard, Laagstamboomgaard (niveau 1)	OrthoSeg beeldclassificatie in polygonen met kj of kj+ (niet kj-), op grasland volgens de Landgebruikskaart 2022
Akker	Serres (niveau 2), Akker, Overige blijvende teelten (niveau 1)	
Grasland	Halfnatuurlijk grasland, Overig laag groen, Tijdelijk grasland, Blijvend grasland (niveau 1)	
Bos	Loofbos, Populieren, Naaldbos, Alluviaal bos, Overige bossen, Overig hoog groen (niveau 1)	
Water	Water (niveau 1)	
Heide en landduinen	Heide (niveau 1)	
Moeras en veen	Moeras (niveau 1)	
Strand, slikke en schorre	Slik en Schorre (niveau 1)	Strand (dl, dla, dla+, dls, dls+, dz), Slik (ds, ds-), Schorre (da, da-, da+, k(da))
Kustduinen		Kaal zand (dd, dd-, dd+), Kustduin (andere) (had, had-, hd, hd-, hd+, hdb, hdb-, k(hd), mp, mp-, sd, sd-, sd+, sdb, sdb-, sdb+)
Andere	Mijnterrils, Grooves (niveau 3), Overig (niveau 1)	
Ruigte		Ruigten en pioniersvegetatie (hf, hf-, hf+, hfb, hfb-, hfb+, hfc, hfc-, hfc+, hfcb, hfcb-, hfl, hfl-, hflb, hflb-, hft, hft-, hftb, hr, hr-, hr+, hrb, hrb-, hrb+, k(hf), k(hf-), k(hf+), k(hfc), k(hfc-), k(hfl), k(hfl-), k(hft), k(hft-), k(hj), k(hr), k(hr-), k(hr+), k(hrb), k(ku), k(ku-), k(ku+), k(kub), ku, ku-, ku+, kub, kub-, kub+, hfe, hfe-, hfeb, hfeb-, hfl+, hflb+, k(hfb)
Verblijfsrecreatie en sport	Golfterreinen (niveau 2), Sportterreinen (niveau 2), Campings (niveau 2)	

||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||

9.4 Verrastering naar 100m x 100m resolutie

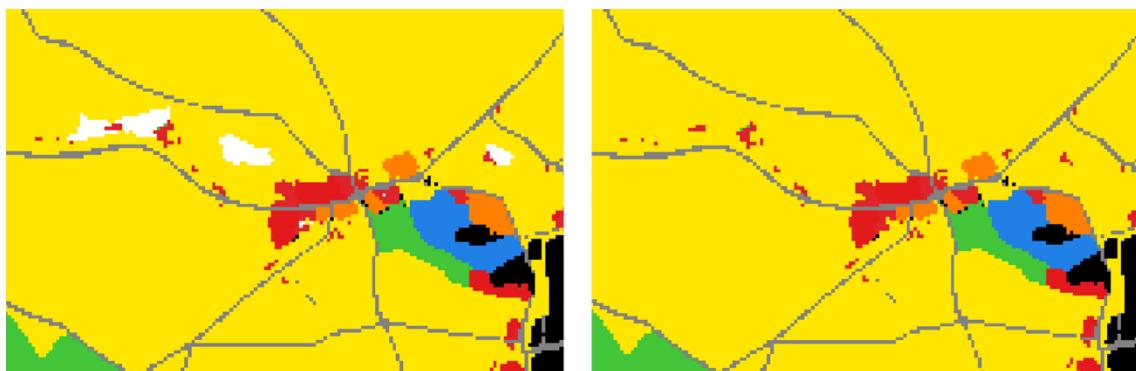
In een laatste stap worden de geherclassificeerde kaarten omgezet naar rasterkaarten met een 100m x 100m resolutie.

Hiervoor werden alle polygonenkaarten eerst verrasterd naar rasterkaarten met een 10m x 10m resolutie. Deze verrastering gebeurde in drie stappen. In de eerste stap kreeg iedere 10m x 10m rastercel een waarde toegekend aan de hand van een ‘centre value’ principe. Iedere rastercel kreeg m.a.w. de waarde van de polygoon waarin het centrum van de rastercel gelegen is (Figuur 9.2).



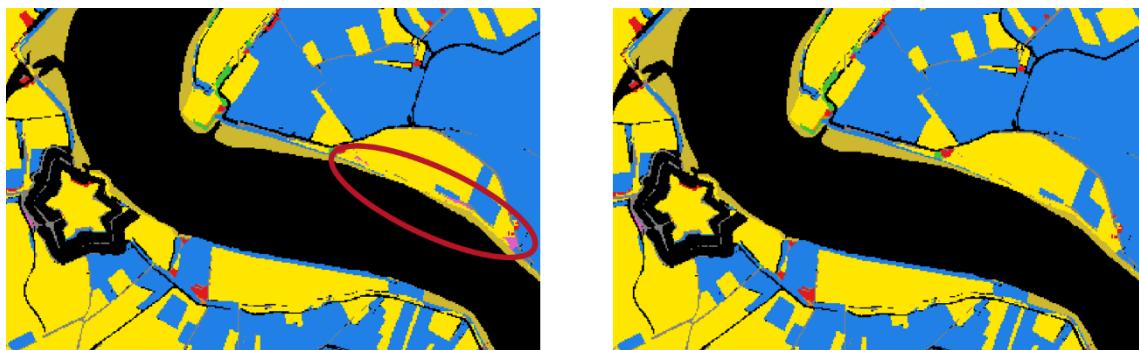
Figuur 9.2 Verrastering van de polygonenkaart (links) naar een 10m x 10m raster (rechts)

In een tweede stap werden de gaten met ‘no data’, die het gevolg zijn van gaten in de beeldclassificatie, verder opgevuld aan de hand van de waarde van de omringende rastercellen. Dit gebeurde per cluster van aangrenzende cellen. Iedere cluster van ‘no data’ krijgt de waarde toegekend van de meerderheid van de omringende rastercellen, zoals geïllustreerd aan de hand van het voorbeeld in Figuur 9.3.



Figuur 9.3 Opvullen van de gaten in de beeldclassificatie met waarde ‘no data’ door middel van omringend landgebruik

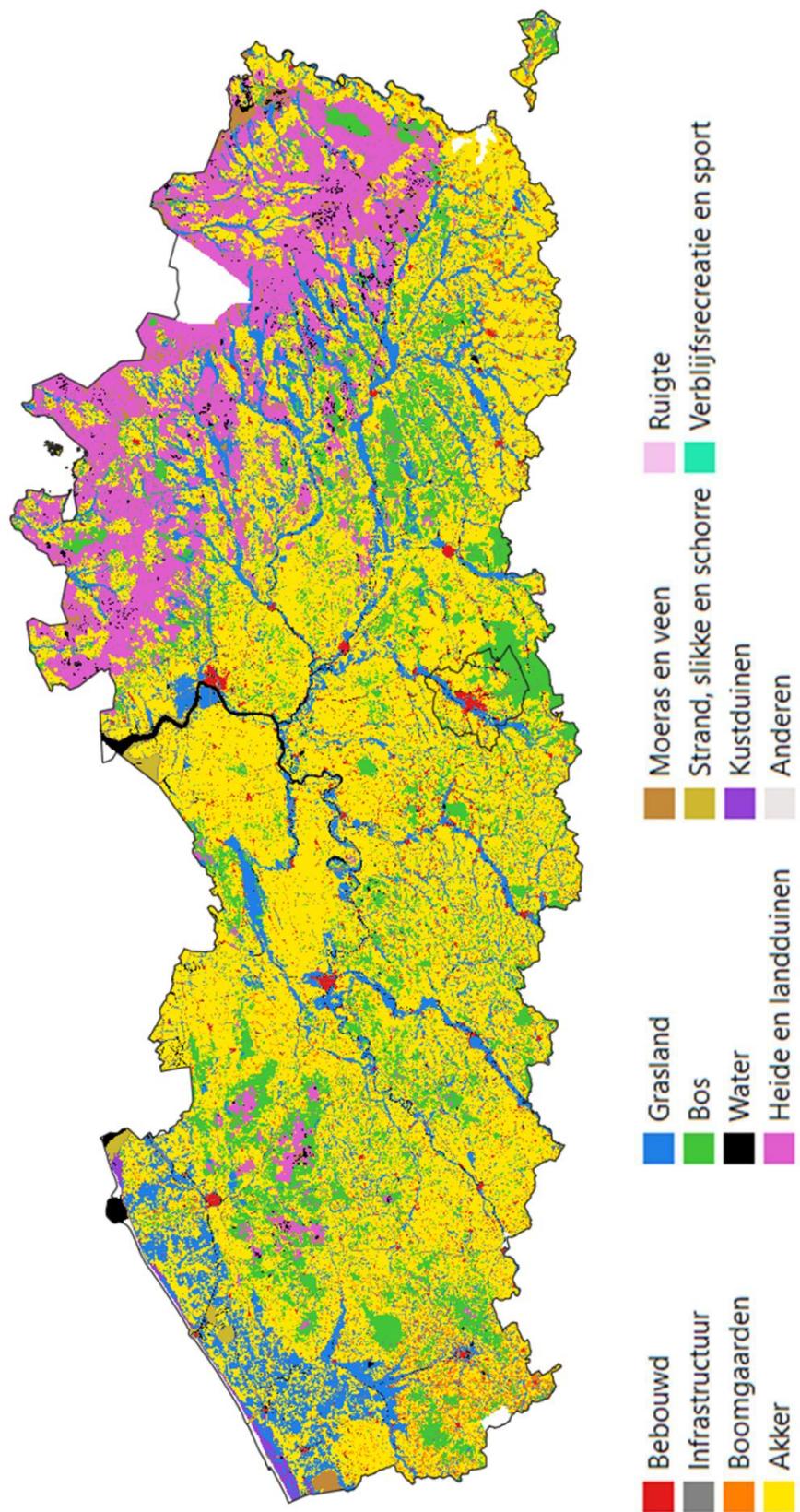
Tot slot werden er nog een aantal correcties aangebracht op de rasterkaarten die het gevolg zijn van misclassificaties. Zo komen in de beeldclassificatie van de topokaart van 1873, verspreid polygonen voor die zijn gedetecteerd als 'landduin' op locaties die hiervoor vanuit bodemcondities niet geschikt zijn (zie clusters van roze vlekken in het voorbeeld van Figuur 9.4). Deze landduinen werden weggefilterd en kregen de landgebruiksklasse toegekend van het omringende landgebruik. Hiervoor werden alle clusters van landduinen geselecteerd die op de Ferrariskaart geen heide of landduin waren. Deze clusters worden omgezet in de meest voorkomende omringende landgebruiksklasse (identiek aan de methode gebruikt voor het opvullen van de 'no data' clusters).



Figuur 9.4 Correctie van landduinen, hier langs de Schelde, op de rasterkaart van 1873

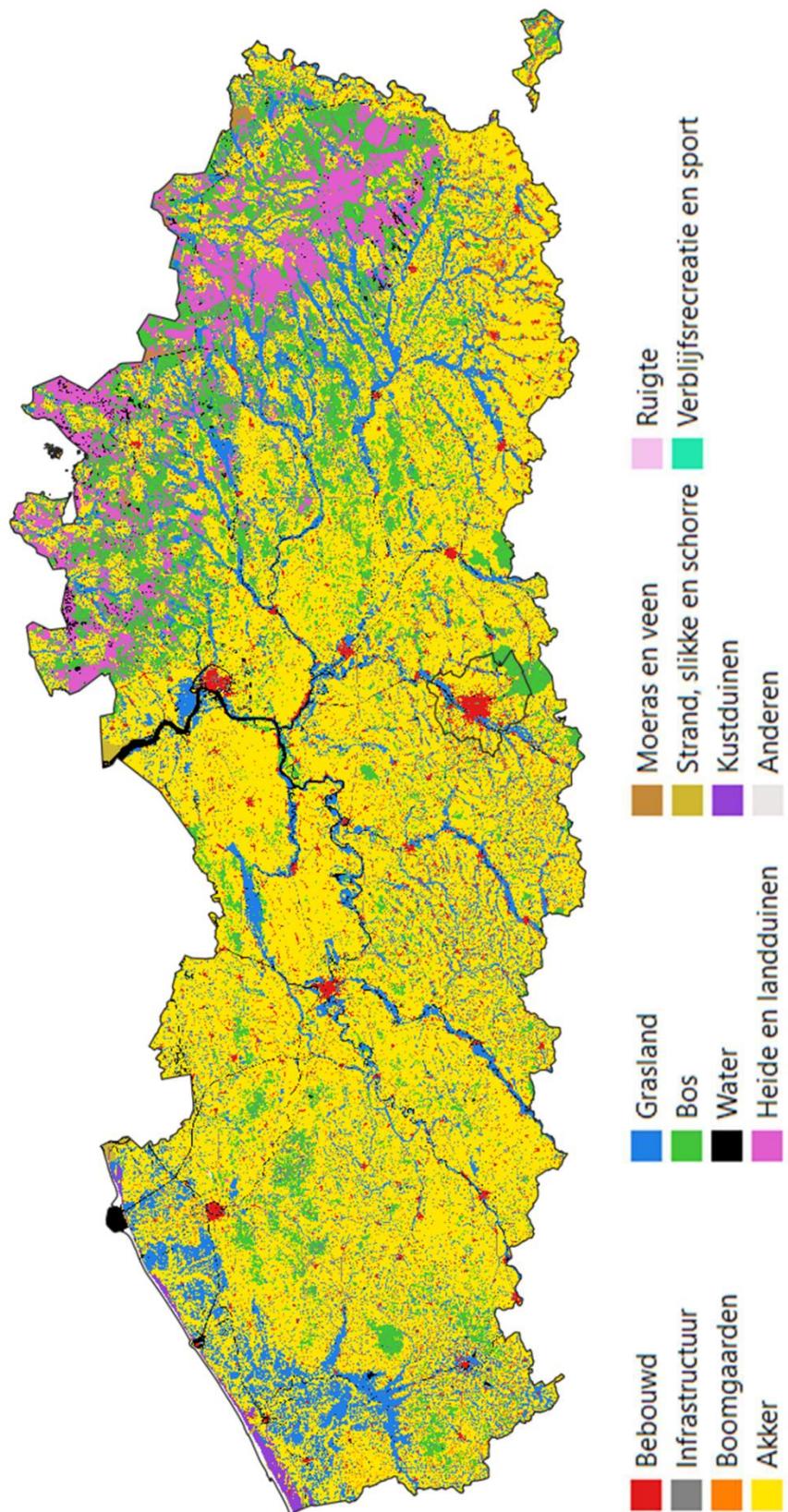
De resultaten zijn gebiedsdekkende, gecorrigeerde 10m x 10m rasterkaarten. Deze werden vervolgens omgezet naar 100m x 100m rasterkaarten. Dit gebeurde aan de hand van een algoritme dat werkt met een behoud van oppervlakte van elke landgebruiksklasse (Dendoncker et al. 2008). Dit is beter dan wat men verkrijgt met de algoritmes voor het herschalen van resoluties van rasterkaarten, en die vaak aanleiding zijn tot een relatief groot verlies van kleine versnipperde landgebruiken die op de kaart voorkomen (bv. infrastructuurelementen, waterlopen, ...) (Dendoncker et al. 2008). De overzichtskaarten die het resultaat zijn van deze 100 mx 100m verrastering worden weergegeven in Figuren 9.5, 9.6, 9.7 en 9.8. In het hoofdstuk 9.6 wordt ingezoomd op de resultaten van de temporele analyse met de 100m x 100m rasterkaarten, voor een aantal kenmerkende regio's in Vlaanderen.

Ferriskaart



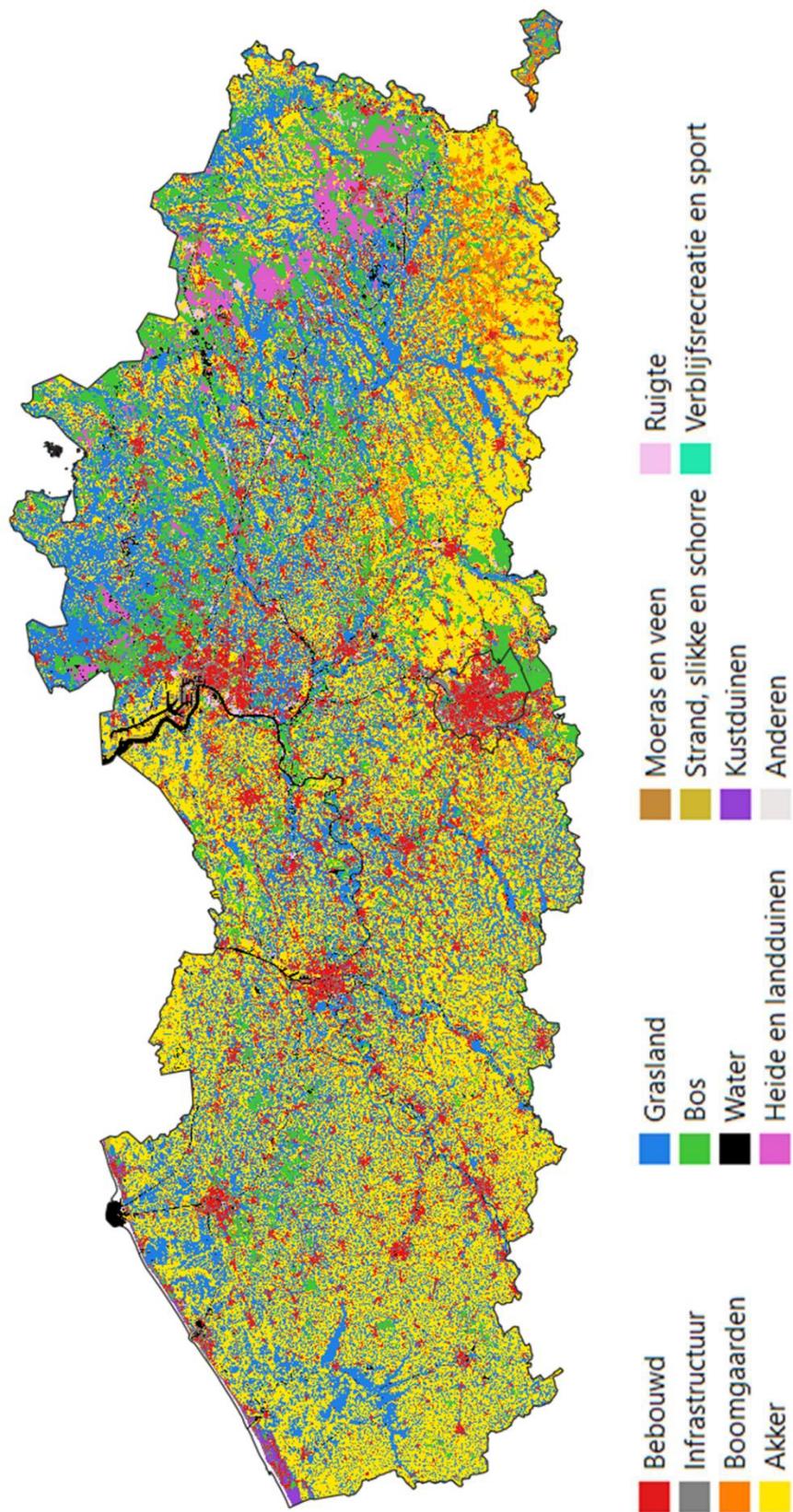
Figuur 9.5 Landgebruik in Vlaanderen (Ferriskaart 1778)

Topografische kaart 1873



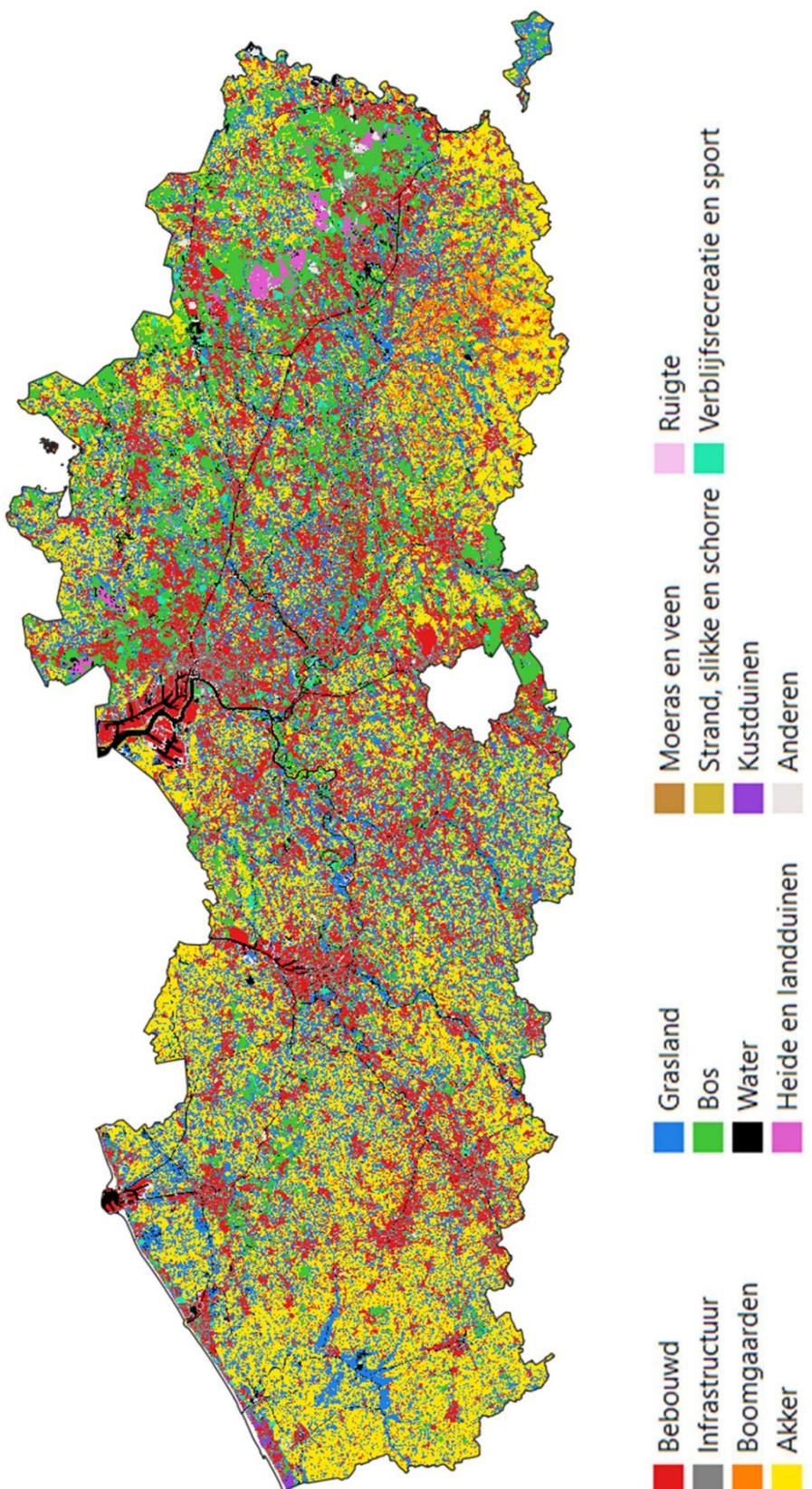
Figuur 9.6 Landgebruik in Vlaanderen (topokaart DG 1873)

Topografische kaart 1969



Figuur 9.7 Landgebruik in Vlaanderen (topokaart MGI 1969)

Landgebruikskaart 2022



Figuur 9.8 Landgebruik in Vlaanderen (2022)

9.5 Resultaten van de analyse van landgebruiksveranderingen 1778-2022

9.5.1. Evolutie van de totale oppervlakte van de landgebruiksklassen

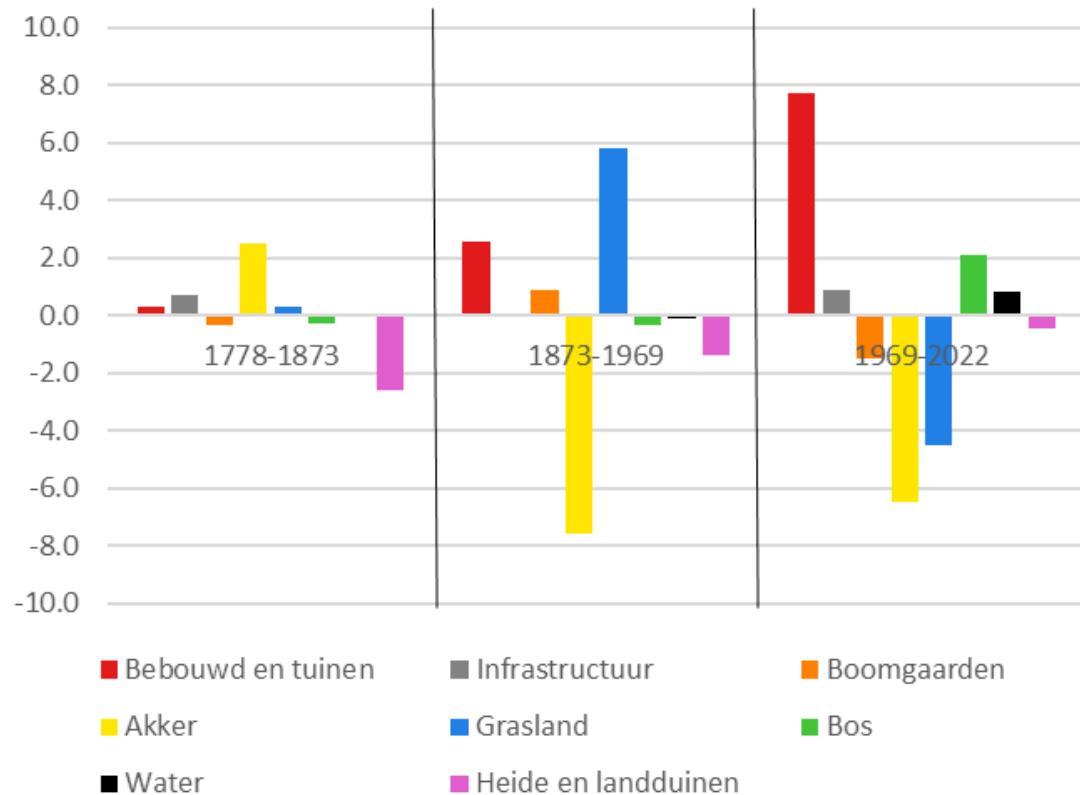
De totale oppervlakte en de oppervlakteaandelen van de landgebruiksklassen en de niet gekarteerde oppervlakte op de 4 tijdstippen tussen 1778 en 2022, worden weergegeven in Tabel 9.3. Omdat de landgebruikskaart van 2022 enkel de toestand weergeeft in Vlaanderen en niet in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest (BHG), is de vergelijking van de oppervlaktes beperkt tot de oppervlakte in Vlaanderen. De getoonde oppervlaktes in de periodes 1778, 1873 en 1969 houden met andere woorden geen rekening met het landgebruik dat voorkomt binnen het BHG. Ook de bijna 14.000 ha die niet werd gekarteerd in 1778 (zie paragraaf 5.1), is buiten beschouwing gelaten in de vergelijking. Op de topokaarten van DG 1873 en MGI 1969 zijn delen van de kustlijn niet gekarteerd, die binnen de huidige grenzen van Vlaanderen liggen, met een respectievelijke oppervlakte van ongeveer 771 ha en 133 ha.

Tabel 9.3 Oppervlakte (ha) en oppervlakteaandelen (%) van de landgebruiksklassen en niet gekarteerde delen in Vlaanderen (in hectare), in 1778, 1873, 1969 en 2022. *De oppervlakte en het aandeel bos in 2022 werd wellicht overschat (zie tekst).

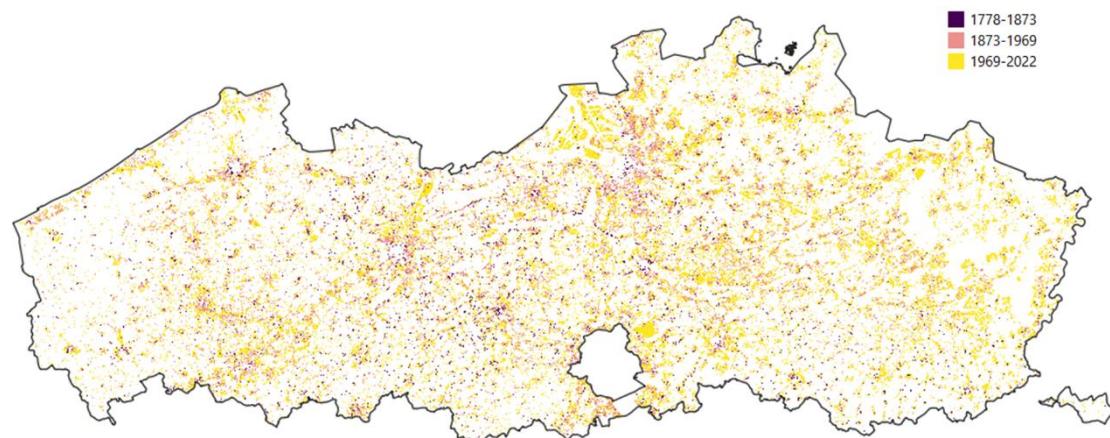
Oppervlakte (ha)	1778		1873		1969		2022	
	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
Bebouwd en tuinen	26.871	2,0	37.699	2,8	128.232	9,4	277.908	20,4
Infrastructuur	45.785	3,4	69.529	5,1	67.576	5,0	84.020	6,2
Boomgaarden	30.541	2,2	17.820	1,3	47.965	3,5	18.514	1,4
Akker	714.623	52,5	800.364	58,8	535.123	39,3	410.088	30,1
Grasland	167.958	12,3	178.856	13,1	382.667	28,1	294.961	21,7
Bos	155.557	11,4	146.521	10,8	135.532	10,0	*176.217	*12,9
Water	22.065	1,6	24.920	1,8	20.692	1,5	36.141	2,7
Heide en landduinen	163.413	12,0	72.630	5,3	24.845	1,8	8.702	0,6
Moeras en veen	11.460	0,8	4.339	0,3	1.184	0,1	1.466	0,1
Strand, slikke en schorre	5.587	0,4	3.458	0,3	2.983	0,2	4.052	0,3
Kustduinen	3.513	0,3	4.255	0,3	2.063	0,2	1.445	0,1
Ruigte	0	0,0	0	0,0	11.931	0,9	7.775	0,6
Verblijfsrecreatie en sport	0	0,0	0	0,0	0	0,0	18.551	1,4
Andere	0	0,0	0	0,0	236	0,0	21.321	1,6
Niet gekarteerd	13.789	1,0	771	0,1	133	0,0	1	0,0
Totaal	1.361.162	100,0	1.361.162	100,0	1.361.162	100,0	1.361.162	100,0

‘**Bebouwd en tuinen**’ is de landgebruiksklasse met de meest opvallende toename sinds 1778: van minder dan 27.000 ha (2%) in 1778 tot een tienvoud (ongeveer 278.000 ha of 20%) in 2022. De kaarten van Figuren 9.5-9.8 geven de toegenomen bebouwing en verstedelijking, vooral na 1873, goed weer. De oppervlakte ‘behouwd en tuinen’ groeit traag in de periode

1778-1873, met gemiddeld ongeveer 0,3 ha/dag, maar kent daarna een steeds snellere groei van gemiddeld 2,6 ha/dag in de periode 1873-1969 tot gemiddeld 7,7 ha/dag in de periode 1969-2022 (Figuur 9.9).



Figuur 9.9 Netto evolutie van de verschillende landgebruiksklassen, uitgedrukt in gemiddeld aantal hectaren per dag, voor de periode 1778-1873 (links), 1873-1969 (midden) en 1969-2022 (rechts)

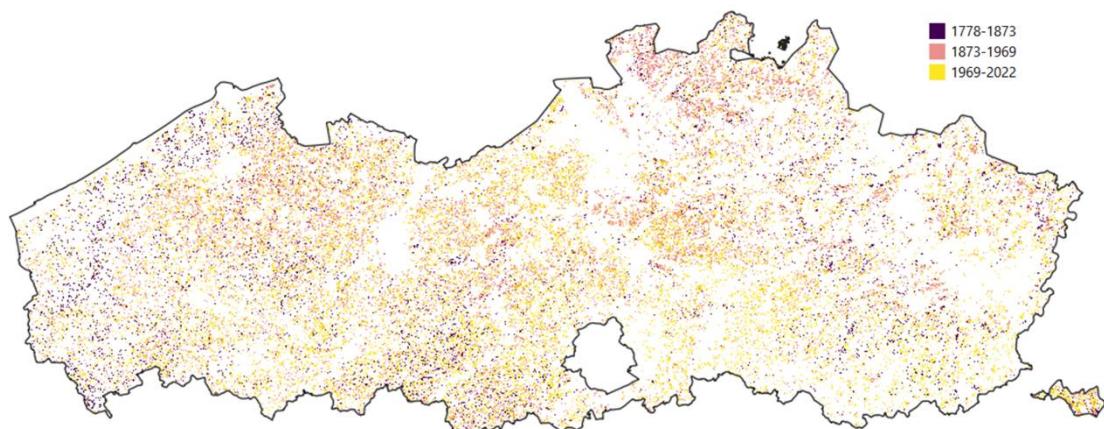


Figuur 9.10 Locaties waar transformaties naar bebouwing zijn opgetreden sinds 1778: transformatie naar bebouwing in de periode 1778-1873 (donkerpaars), in de periode 1873-1969 (rood) en in de periode 1969-2022 (geel)

Figuur 9.10 toont aan dat de groei van de bebouwde oppervlakte in de periode 1873-1969 grotendeels beperkt bleef tot de stadsranden van de steden. Sinds 1969 zien we de groei van de bebouwde ruimte zowat overal in Vlaanderen voorkomen, in grotere clusters zoals in industrieterreinen of in de haven, en als lintbebouwing verspreid over het hele grondgebied.

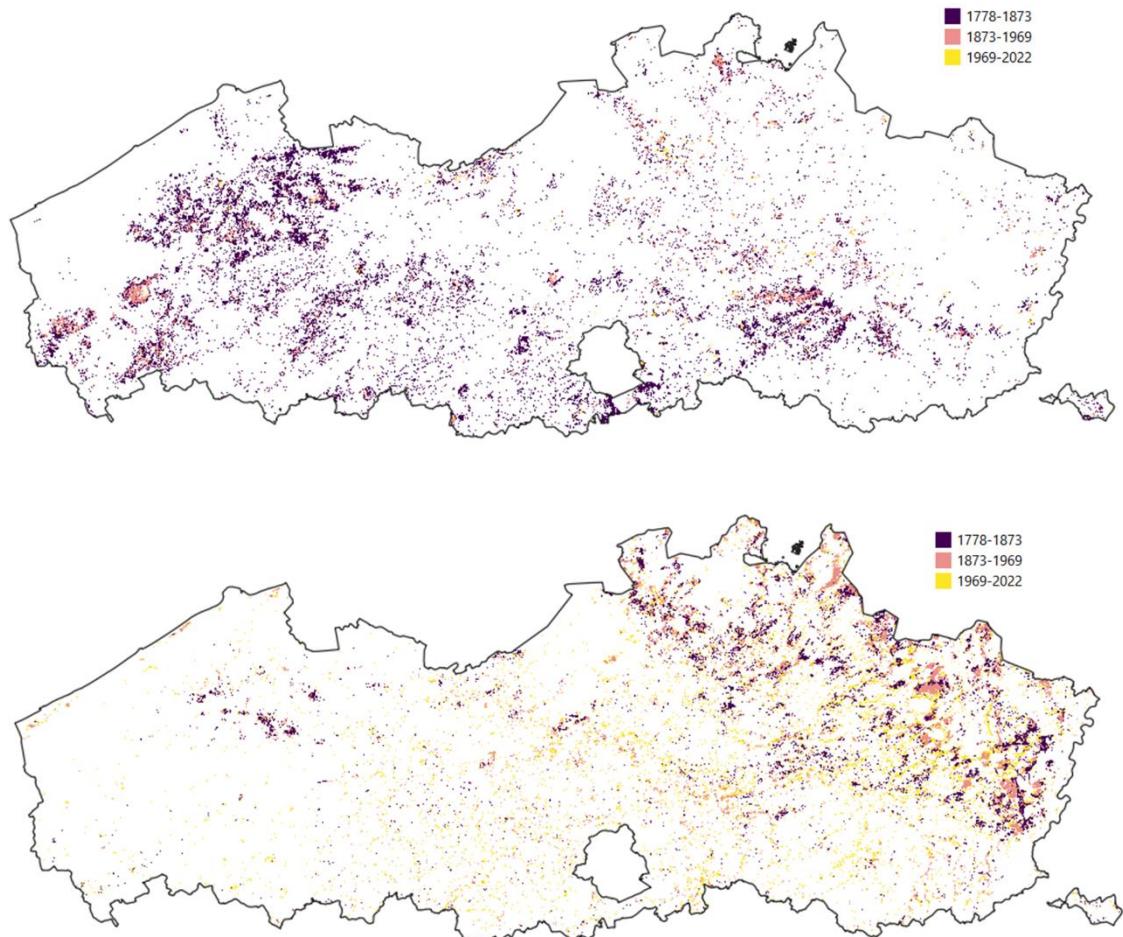
Infrastructuur, dit zijn voornamelijk wegen en spoorwegen, is in oppervlakte toegenomen van ongeveer 46.000 ha in 1778, tot ongeveer 84.000 ha in 2022 (Tabel 9.3). Bij deze cijfers passen enkele kanttekeningen: 1) op kaarten worden lijnformige elementen vaak breder getekend, dan ze in werkelijkheid zijn; 2) de klassen van wegen zijn relatief minder accuraat (zie eerdere validaties) en 3) de cijfers van de analyse van landgebruiksveranderingen geven geen informatie over de aard van die wegen: in de 18de eeuw waren verharde wegen de uitzondering en onverharde wegen de regel, in 2022 zijn de verhoudingen omgekeerd. De afname van infrastructuur tussen 1873 en 1969 volgens Tabel 9.3 is waarschijnlijk een artefact, als gevolg van kanttekeningen 1) en 2) hierboven.

Gronden in agrarisch gebruik (**graslanden, akkers en boomgaarden**) beslaan meer dan de helft van de oppervlakte doorheen de ganse bestudeerde periode, maar dit gezamenlijke aandeel nam in de loop van de tijd wel af (Tabel 9.3). Waar op de Ferrariskaart nog meer dan tweederde (67%, ongeveer 913.000 ha) van Vlaanderen was ingenomen door akkerland, boomgaard en grasland, is dat op vandaag nog iets meer dan de helft van de oppervlakte (53%, ongeveer 724.000 ha). De oppervlakte ingenomen door agrarisch landgebruik was het grootste in de periode 1873 (73,2%, ongeveer 997.000 ha). In de periode 1778-1873 was er nog een beperkte toename van de oppervlakte akkerland en grasland, maar de oppervlakte van boomgaarden nam in die periode wel af. Tussen 1873 en 1969 zien we een lichte daling van de oppervlakte in agrarisch gebruik (van 997.000 ha naar 966.000 ha), maar wat vooral opvalt is dat de verhoudingen tussen grasland en akker sterk veranderen. Het aandeel van akkers daalt fors (van 58,8% naar 39,3%) terwijl dat van graslanden sterk toeneemt (van 13,1% naar 28,1%), waarbij de oppervlakte meer dan verdubbelt (Tabel 9.3). In die periode nam de oppervlakte van akkers af met meer dan 7 ha per dag, terwijl de oppervlakte grasland toenam met bijna 6 ha per dag (Figuur 9.9). De toename van grasland kwam zowat overal in Vlaanderen voor (Figuur 9.11).



Figuur 9.11 Locaties waar transformaties naar graslanden zijn opgetreden sinds 1778: in de periode 1778-1873 (donkerpaars), in de periode 1873-1969 (rood) en in de periode 1969-2022 (geel). De graslanden kunnen in een latere fase wel opnieuw naar ander landgebruik getransformeerd zijn.

Boomgaarden nemen in die periode eveneens fors toe: van 1,3% (17.820 ha) tot 3,5% (47.965 ha), wat neerkomt op een toename van iets minder dan 1 ha per dag (Figuur 9.9). Deze toename situeert zich vooral in Haspengouw. Vooral na 1969 verminderen zowel de totale oppervlaktes als de oppervlakteaandelen van akkers, graslanden en boomgaarden met respectievelijk meer dan 6 ha per dag, 4 ha per dag en 1 ha per dag (Figuur 9.9).



Figuur 9.12 Locaties waar transformaties van bos (boven) en naar bos (onder) zijn opgetreden sinds 1778: transformatie in de periode 1778-1873 (donkerpaars), in de periode 1873-1969 (rood) en in de periode 1969-2022 (geel). De bossen kunnen in een volgende fase wel opnieuw naar ander landgebruik getransformeerd zijn. De gemeente Lommel is niet gekarteerd in 1778 (zie eerder). Lommel werd in 1778 niet gekarteerd.

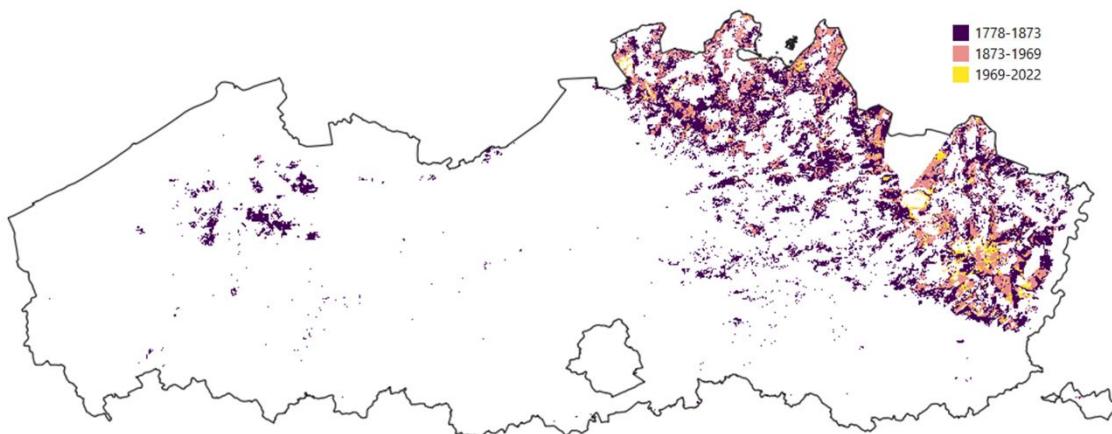
Opmerkelijk is dat de totale oppervlakte die **bos** inneemt in Vlaanderen doorheen de geschiedenis weinig variabel is: van 11,4% op de Ferrariskaart daalde de oppervlakte tot 10% in 1969. Na 1969 neemt de gekarteerde bosoppervlakte volgens de analyse opnieuw toe tot 12,9% in 2022 (Tabel 9.3), dit zou 2 ha per dag zijn. Hierbij past de kanttekening dat de actuele oppervlakte begroot door de VBI (Vlaamse Bosinventaris), een steekproef met proefvlakken op het terrein, resulteert in een aanzienlijk lagere oppervlakte van ongeveer 140.000 ha (10%) (Quataert et al 2019). Wellicht is dit verschil vooral een gevolg van kroonbedekking op



percelen die niet bebost zijn (De Keersmaeker et al. 2012), weergegeven door de hoog groen klasse uit de Groenkaart Vlaanderen. Deze klasse ‘hoog groen’ uit de Groenkaart werd in de landgebruikskaart 2022 geïntegreerd. Figuur 9.12 toont aan dat tussen 1778 en 2022 vooral de bossen in West- en Oost-Vlaanderen, in het zuiden (zandleemstreek) en in het Hageland verdwenen zijn (Figuur 9.12, boven). In de Kempen en de provincie Limburg, daarentegen, groeide het bosareaal ongeveer evenveel aan (Figuur 9.12, onder).

De oppervlakte van **water** schommelde tussen 1778 en 1969 tussen 20.000 ha en bijna 25.000 ha, maar nam in de laatste periode fors toe tot ruim 36.000 ha (Tabel 9.3). Aan de ene kant verdwenen natuurlijke waterlopen, meanders, vennen, kreken en plassen, maar anderzijds ontstonden ook nieuwe grote watervlakken en kanalen. De toename van de wateroppervlakte in de laatste periode, kan vooral toegeschreven worden aan de aanleg van dokken bij de uitbreiding van de havens van Antwerpen, Zeebrugge en Gent, en aan zand-, grind- en kleiwinningen elders (zie bijvoorbeeld onderdeel 9.6 regio’s Mol en Zeebrugge).

Heide en landduinen beslaan op de Ferrariskaart een oppervlakte van ongeveer 163.500 ha (12% van de oppervlakte), maar namen in de periode 1778-2022 fors af in oppervlakte (Tabel 9.3). Tussen 1778 en 1873 was er meer dan een halvering tot ongeveer 72.600 ha (5,3%). Dit is een afname van gemiddeld zo’n 2,6 ha/dag over die periode (zie Figuur 9.9). Tussen 1873 en 1969 nam de oppervlakte verder af tot minder dan 25.000 ha en tussen 1969 en 2022 tot ongeveer 8.700 ha, dit is nog slechts 0,6% van de totale oppervlakte van Vlaanderen. Figuur 9.13 toont dat tussen 1778 en 1873 de historisch aanwezige heide in de streek ten zuidoosten van Brugge grotendeels zijn verdwenen, samen met een groot deel van de heide en landduinen in de zuidelijke Kempen. In de Limburgse Kempen (Kempens plateau) en de Noorderkempen, waar op vandaag de grootste resterende oppervlakte aan heide en landduinen te vinden is, zijn heide en landduinen later verdwenen.



Figuur 9.13 Locaties waar heide en landduinen zijn verdwenen sinds 1778: verdwenen in de periode 1778-1873 (donkerpaars), in de periode 1873-1969 (rood) en in de periode 1969-2022 (geel). De gemeente Lommel is niet gekarteerd in 1778 (zie eerder).

Moeras en veen (niet door bos begroeid) is tussen 1778 en 2022 afgenoem van ongeveer 11.500 ha tot ongeveer 1.500 ha in 2022 (13% van het oorspronkelijke areaal). Het lijdt geen twijfel dat er een forse achteruitgang is, maar de trend is moeilijk te beoordelen omdat de

kartering van open wetlands op de verschillende kaarten wellicht niet op dezelfde wijze is gebeurd. De topokaart van MGI 1969 maakt gebruik van horizontale blauwe streepjes om natte bossen, heide, en graslanden aan te duiden die op oudere kaarten mogelijk als bos, heide, grasland, maar mogelijk ook als ‘veen of moeras’ gekarteerd zijn. Bovendien is er ook uitwisseling mogelijk tussen ‘water’ (open water zonder vegetatie) en water dat sterk verland of begroeid is en daardoor wellicht als ‘veen of moeras’ werd gekarteerd. Decleer et al. (2016) berekenden op basis van de bodemkaart en de biologische waarderingskaart (BWK) dat sinds de jaren 1950, 75% van de wetlands is verdwenen. Met wetland worden in de genoemde studie niet enkel moeras en veen, maar ook natte bossen, waterplassen en buitendijkse gebieden bedoeld.

De buitendijkse gronden (**strand, slikke en schorre**) beslaan op het einde van de 18de eeuw meer dan 5.500 ha, nemen af tot minder dan 3.000 ha in 1969, om vervolgens weer toe te nemen tot zo’n 4.000 ha in 2022 (Tabel 9.3). Ten zuiden van Oostende was in 1778 nog een grote oppervlakte schorren en slikken aanwezig, die ontstaan is tijdens de Tachtigjarige Oorlog. Op de Ferrariskaarten is te zien dat de drooglegging aan de gang is (zie windmolens bij Sas Slyckens), maar de volledige inpoldering is pas afgerond in de 19de eeuw. Ook aan de IJzermonding, bij het Zwin, bij Prosperpolder en langs de Schelde ten noorden van Antwerpen zijn op het einde van de 18de eeuw nog buitendijkse gebieden aanwezig, die in de daarop volgende eeuwen verdwijnen door inpoldering (Zwin, Prosperpolder) of ophoging (IJzermonding, langs de Schelde). Recente ontbilderingen bij het Zwin en Prosperpolder zijn nog niet weergegeven door de landgebruikskaart 2022, en dus nog niet in rekening gebracht.

De toegenomen oppervlakte buitendijkse gronden op de landgebruikskaart van 2022, vergeleken met de topokaart MGI 1969, situeert zich vooral langs de Schelde en haar bijrivieren. Daar zijn in het kader van het Sigmoplan door ontpolderen nieuwe overstromingsgebieden gecreëerd, zoals bijvoorbeeld Kruibeke - Bazel - Rupelmonde. Een deel van de oppervlaktetename in de recentste periode is mogelijk ook een artefact, als gevolg van het feit dat de manuele kartering van buitendijkse gebieden op de oude kaarten stroomopwaarts maar tot bij Antwerpen is uitgevoerd. De buitendijkse gebieden op de historische kaarten verder stroomopwaarts van Antwerpen blijven daardoor buiten beeld, zodat hun totale oppervlakte zeer waarschijnlijk onderschat is, vergeleken met de weergave op de landgebruikskaart 2022. Een gedetailleerde indeling, kartering en historische evolutie van de buitendijkse gebieden in het Sigmagebied, is te vinden in Van Braeckel et al. (2012). Volgens deze studie is tussen 1850 en 2003 de oppervlakte van slikken en schorren langs de Zeeschelde en haar getijgebonden zijrivieren respectievelijk met 66% en 82% afgenoemt (Van Braeckel et al. 2012).

Kustduinen beslaan op de Ferrariskaarten en de topokaarten van DG 1873 respectievelijk ongeveer 3.500 en 4.200 ha. De lagere oppervlakte op de Ferrariskaarten is het gevolg van de aanwezigheid van graslanden en akkers in de duinen, die op de topokaart van een eeuw later niet meer weergegeven zijn. Het is niet duidelijk in welke mate dit verschil een gevolg is van het werkelijke uitdoven van het landbouwgebruik in de kustduinen, dan wel van gewijzigde karteerconventies. Na 1873 neemt de oppervlakte aan kustduinen fors af: er rest in 1969 nog ongeveer 2.000 ha, in 2022 nog iets meer dan 1.400 ha.

Ruigte kwam wellicht altijd voor, maar we mogen veronderstellen dat niet gemaaid of begraasde, verruigende (delen van) percelen veel schaarser waren in de 18de en de 19de eeuw, dan in de tweede helft van de 20ste eeuw toen grote maatschappelijke veranderingen aanleiding gaven tot vrij bruuske veranderingen in het landschap. Na 1945 werden natte gronden in beek- en riviervalleien verlaten, waardoor natte ruigtes ontstonden (zie Figuur 9.1).



Tegelijk werd in die periode heel wat ruimte gereserveerd voor de ontwikkeling van bedrijventerreinen of industrie, al of niet na ophogen of opspuiten. De symboliek van ruigte is dezelfde als van heide op de topokaart MGI 1969, en de wijze waarop we hier een onderscheid tussen beide hebben gemaakt, is uitgelegd in onderdeel 9.2. De totale oppervlakte ‘ruigte’ op de topokaart MGI 1969, die op deze wijze werd begroot, bedroeg bijna 12.000 ha en daalde in 2022 tot minder dan 8.000 ha (Tabel 9.3).

‘**Verblijfsrecreatie en sport**’ werd enkel op de laatste kaart onderscheiden. Deze klasse kan ook in 1969 aanwezig geweest zijn, maar kon op basis van de symboliek van de kaart niet onderscheiden worden. De klasse ‘**andere**’ bevat onder meer grooves, terrils en recente ontpolderingen. Hoewel er ook hier wellicht een reële toename is in de laatste periode, kunnen karteringseffecten ook een rol spelen. Het is daarom weinig zinvol de evolutie van beide klassen te bespreken.

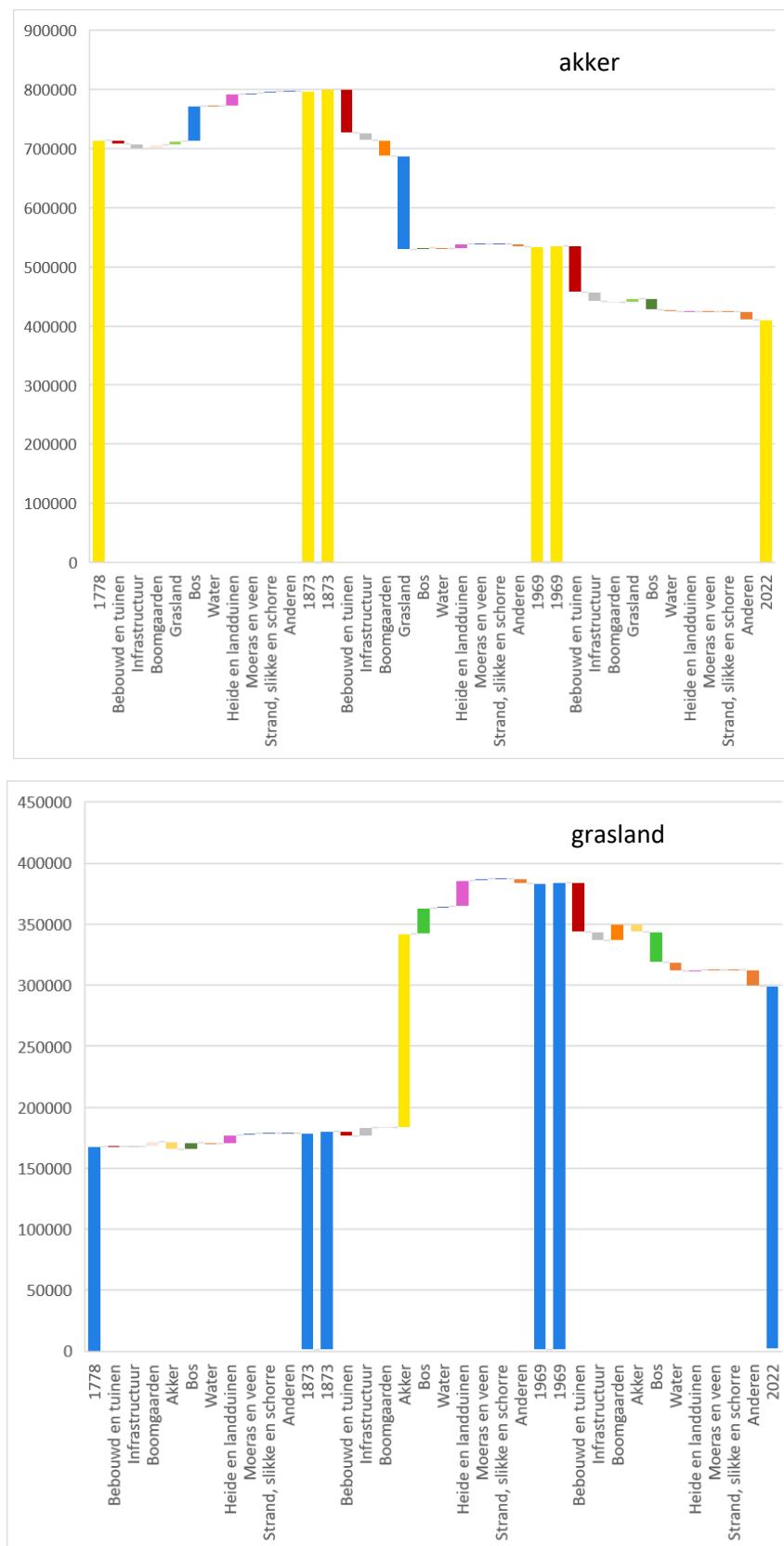
9.5.2. Transities tussen landgebruiksklassen

De netto veranderingen in oppervlakte en oppervlakteaandeel van de landgebruiksklassen (Tabel 9.3) kunnen een veel grotere dynamiek maskeren, en geven niet volledig weer tussen welke landgebruiksklassen oppervlaktes werden uitgewisseld.

Om deze analyse te maken voor de meest voorkomende landgebruiksklassen, maken we gebruik van watervalgrafieken (figuur 9.14). Deze grafieken bevestigen een aantal van de hiervoor geschatte observaties: de sterke afname van het areaal van heide en landduinen en kustduinen en de continue groei van de bebouwde ruimte. De grafieken tonen aan dat er een soort van volgorde of hiërarchie lijkt te zitten in de verschillende transformaties: de groei van bebouwing en tuinen vindt vooral plaats in het landbouwareaal, rondom de reeds bebouwde ruimte. Het landbouwareaal verplaatst zich naar zones die voordien waren ingenomen door bos, en het bos, tot slot, neemt de ruimte in die voordien was ingenomen door heide en landduinen. Deze evolutie is zowel te zien in de periode 1778-1873 als in de periode 1873-1969 (zij het aan een iets trager tempo). In de periode 1969-2022 is de groei van de bebouwde ruimte zo sterk dat dit ten koste gaat van alle overige landgebruiksklassen.

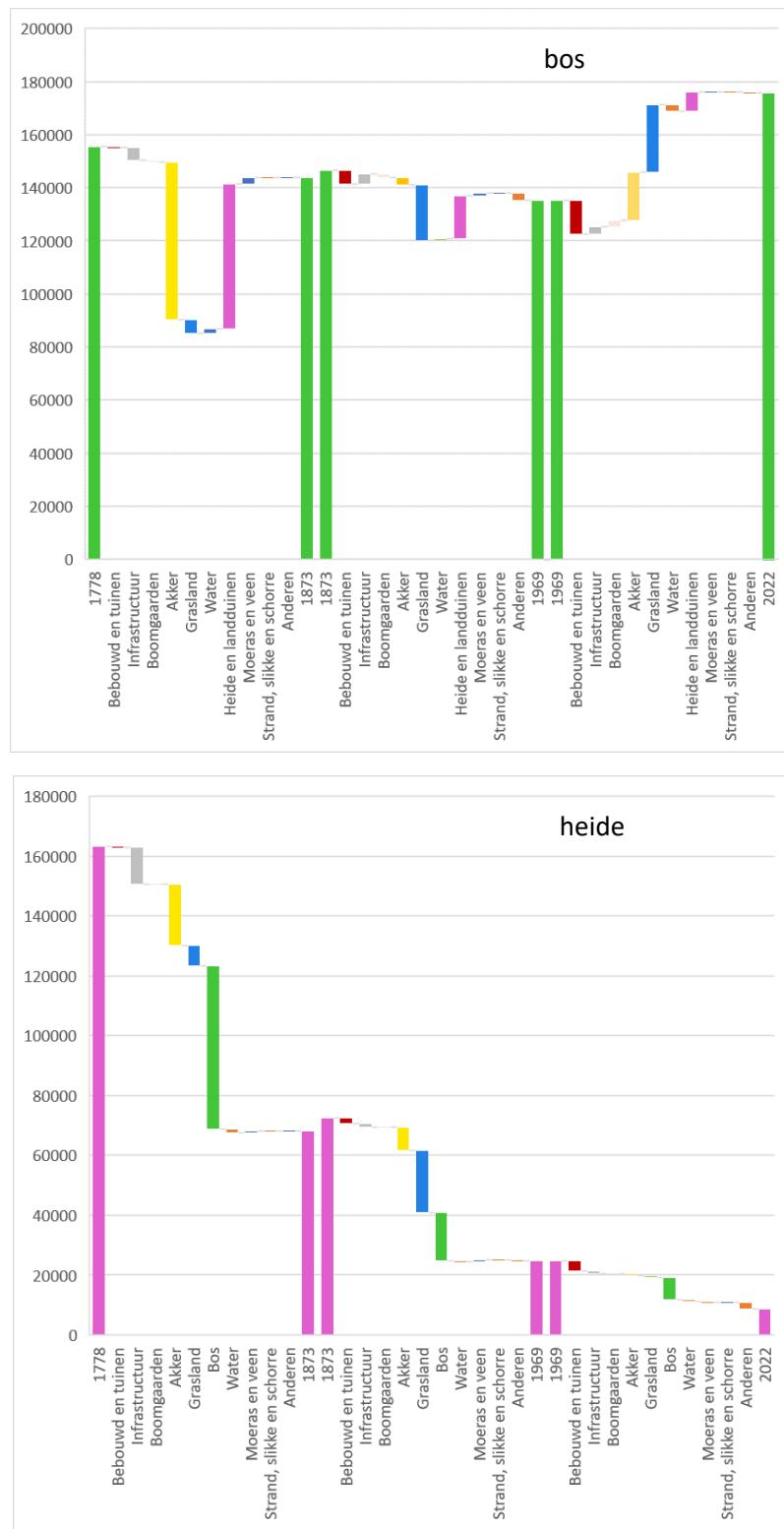
Een opvallende transitie binnen het landbouwareaal is de groei van de oppervlakte ingenomen door **grasland** ten koste van de oppervlakte ingenomen door **akkerland**, in de periode 1873-1969 (Figuur 9.14). Het gaat hierbij voornamelijk om een transformatie van akkerland naar grasland die samenhangt met het groeiende belang van de veehouderij ten koste van akkerbouw in deze periode. Deze omslag is in gang gezet door de ‘Agricultural Invasion’, waarbij de import van goedkoop graan uit de VS en Rusland leidde tot een crisis in de landbouwsector (Segers 2002). Hierdoor werd akkerbouw vervangen door landbouw met een hoge toegevoegde waarde, zoals veeteelt, tuinbouw, en fruitteelt (Segers 2002, Kinnaer 2019).





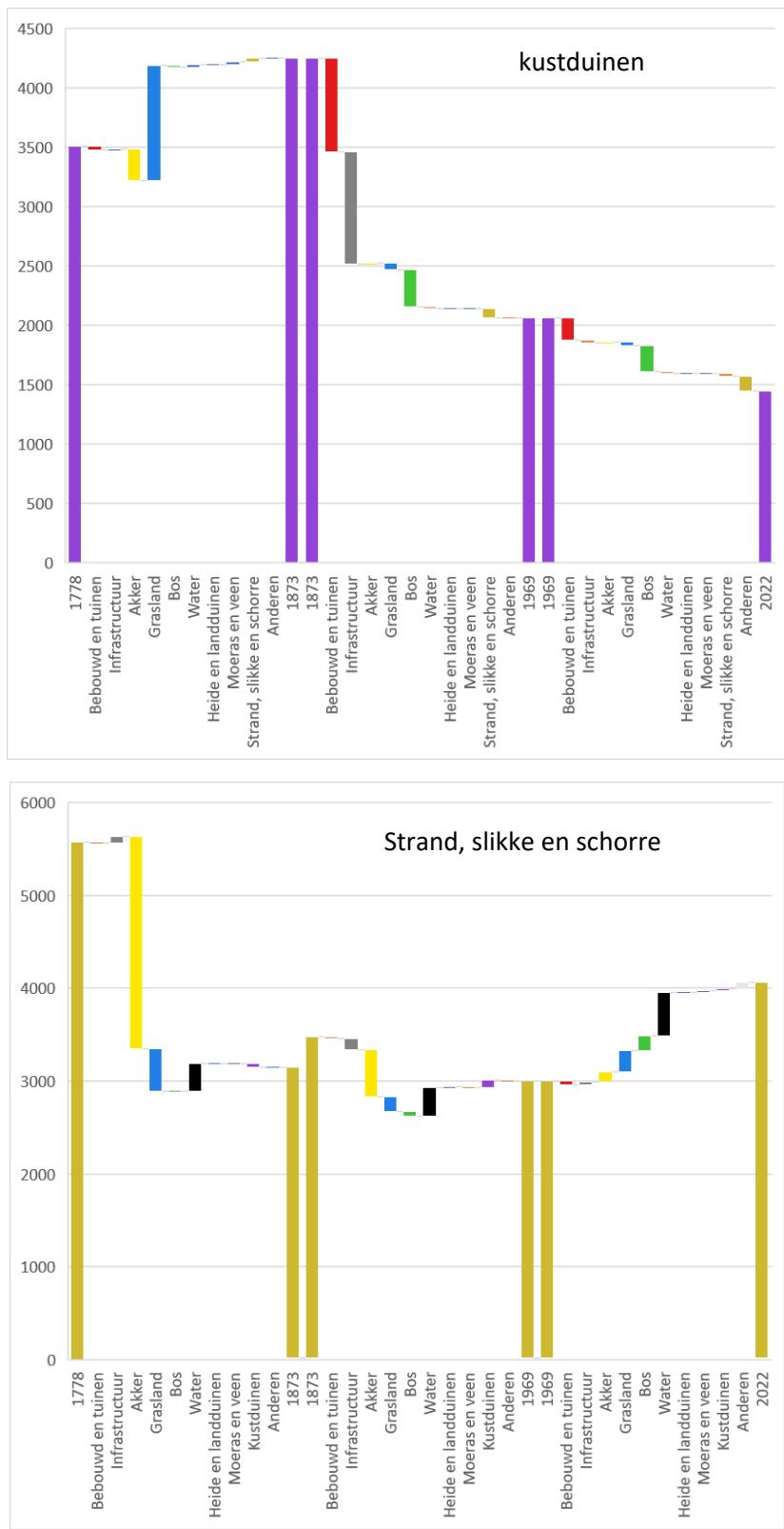
Figuur 9.14 (bijchrift achteraan)

|||||

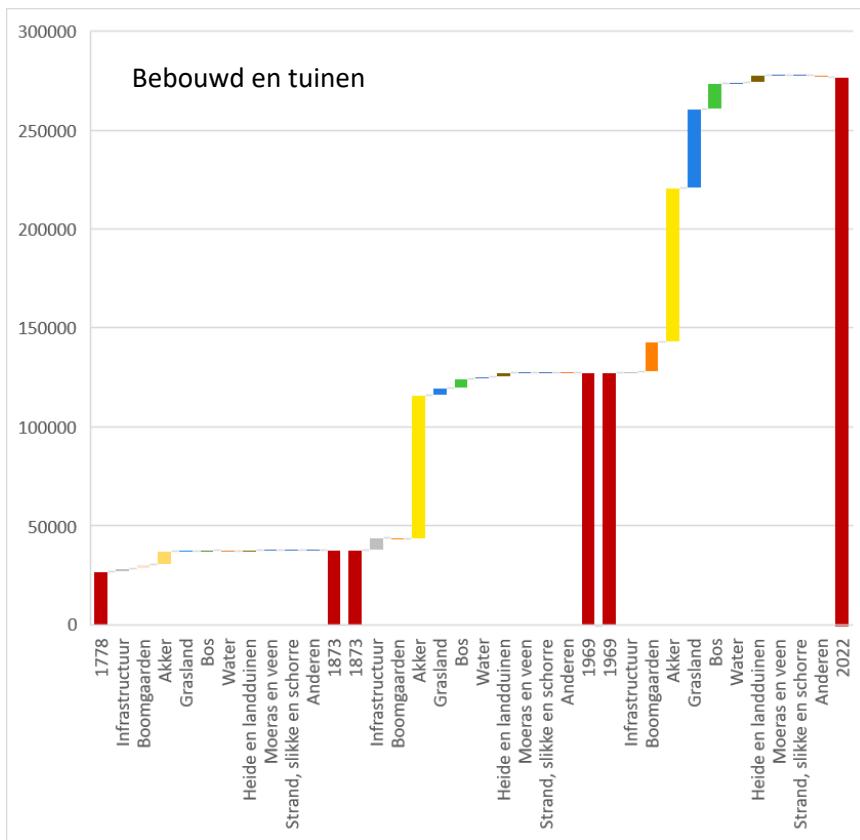


Figuur 9.14 (bijchrift achteraan)

|||||



Figuur 9.14 (bijschrift achteraan)



Figuur 9.14 Watervalgrafieken die de netto transformaties weergeven (y-as in ha) tussen de verschillende types landgebruik in de verschillende periodes (x-as). De eerste kolom geeft de oppervlakte van de landgebruiksklasse weer op de Ferrariskaart, de laatste kolom geeft de oppervlakte weer in 2022, de tussenliggende kolommen in dezelfde kleur, geven de oppervlakte weer in 1873 en 1969. De anderskleurige kolommen tussen de verschillende jaartallen, geven aan welk type landgebruik is getransformeerd naar de landgebruiksklasse in kwestie (evolutie naar boven ten opzichte van de vorige kolom) of in welk type landgebruik de landgebruiksklasse in kwestie is getransformeerd (evolutie naar beneden ten opzichte van de vorige kolom).

De totale oppervlakte van **bos** verandert weinig tussen 1778 en 2022 (de overschatting door de kartering van 2022 in acht genomen, zie onderdeel 9.5.1.) en beslaat ongeveer 10% van Vlaanderen. Achter deze relatief stabiele totale bosoppervlakte gaan echter grote transformaties schuil. Van de zowat 155.000 ha bos op de Ferrariskaart was in 1873 105.000ha, of tweederde, getransformeerd naar een andere landgebruikscategorie, vooral akkers. Anderzijds kwam er in die periode bijna 94.000 ha bij aan nieuwe bossen, vooral op heide. Tussen 1873 en 1969 waren de transities geringer: er werd ontbost voor grasland, maar ook opnieuw heide bebost. Na 1969 verdween bos door bebouwing en tuinen (urbanisatie), maar werden vooral graslanden en akkers bebost (Figuur 9.14). De kaarten van figuur 9.10 geven de verschuiving van het bosareaal goed weer.

Heide en landduinen verdwenen tussen 1778 en 1873 in de eerste plaats door bebossing, in mindere mate ook door ontginnung als landbouwgrond. Tussen 1873 en 1969 wint ontginnung als landbouwgrond, vooral dan grasland, aan betekenis.

Kustduinen nemen in eerste instantie tussen 1778 en 1873 toe ten koste van grasland (voor zover dit een effectieve verandering was, zie eerder opmerking hierover in onderdeel 9.5.1). Na 1873 krimpt het areaal open kustduinen sterk, in de eerste plaats door urbanisatie en infrastructuur, in veel mindere mate ook door bebossing of verbossing.

Buitendijkse gronden werden tussen 1778 en 1873 ingepolderd en omgezet in akkers. Dit proces gaat in mindere mate door tussen 1873 en 1969. Na 1969 volgde een lichte toename van de oppervlakte buitendijkse gronden.

De sterke toename van **bebouwing en tuinen** na 1873 gaat vooral ten koste van landbouwgrond: in de periode tussen 1873 en 1969 zijn dat vooral akkers, tussen 1969 en 2022 worden door de toenemende urbanisatie naast akkers ook graslanden, boomgaarden en bossen omgezet in bebouwing of tuinen.

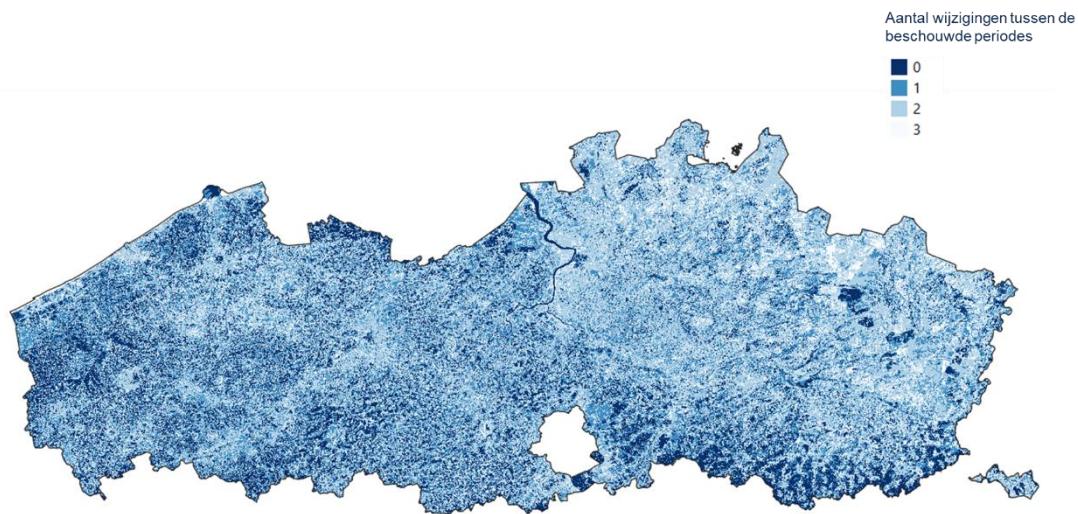
9.5.3. Historisch permanent landgebruik

Hoewel de besprekings focust op de landgebruiksveranderingen die optradën in Vlaanderen in de periode 1778-2022, mogen we niet vergeten dat een aanzienlijk deel van het landgebruik relatief stabiel is gebleven in deze periode. Tabel 9.4 en Figuur 9.15 tonen hoeveel transformaties zijn opgetreden in de bestudeerde periodes: een score van 0 (donkerblauw in Figuur 9.15) wijst op een locatie waar geen enkele verandering kon worden gedetecteerd aan de hand van de bestudeerde kaarten.

Tabel 9.4 Aantal transformaties (tussen 0 en 3) die werden gedetecteerd voor de drie tijdsperiodes tussen 1778 en 2022 per type landgebruik in 2022, in hectare (ha), en als aandeel (%) tot de totale oppervlakte van Vlaanderen.

Landgebruiksklasse 2022	0		1		2		3	
	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
Bebouwd en tuinen	6.946	0.5	71.841	5.3	153.500	11.3	45.621	3.4
Infrastructuur	1.862	0.1	21.650	1.6	43.326	3.2	17.182	1.3
Boomgaarden	208	0.0	8.463	0.6	8.530	0.6	1.313	0.1
Akker	193.661	14.2	63.383	4.7	113.875	8.4	39.169	2.9
Grasland	34.014	2.5	85.111	6.3	151.528	11.1	24.308	1.8
Bos	20.183	1.5	48.434	3.6	83.160	6.1	24.440	1.8
Water	5.107	0.4	8.993	0.7	14.948	1.1	7.093	0.5
Heide en landduinen	4.815	0.4	1.039	0.1	2.333	0.2	515	0.0
Moeras en veen	0	0.0	524	0.0	609	0.0	333	0.0
Strand, slikke en schorre	1.173	0.1	969	0.1	1.513	0.1	397	0.0
Kustduinen	712	0.1	421	0.0	239	0.0	73	0.0
Andere	0	0.0	6.677	0.5	9.348	0.7	5.306	0.4
Ruigte	0	0.0	2.628	0.2	3.349	0.2	1.798	0.1
Verblijfsrecreatie en sport	0	0.0	5.161	0.4	8.650	0.6	4.740	0.3
Totaal	268.681	19.7	325.284	23.9	594.908	43.7	172.288	12.7



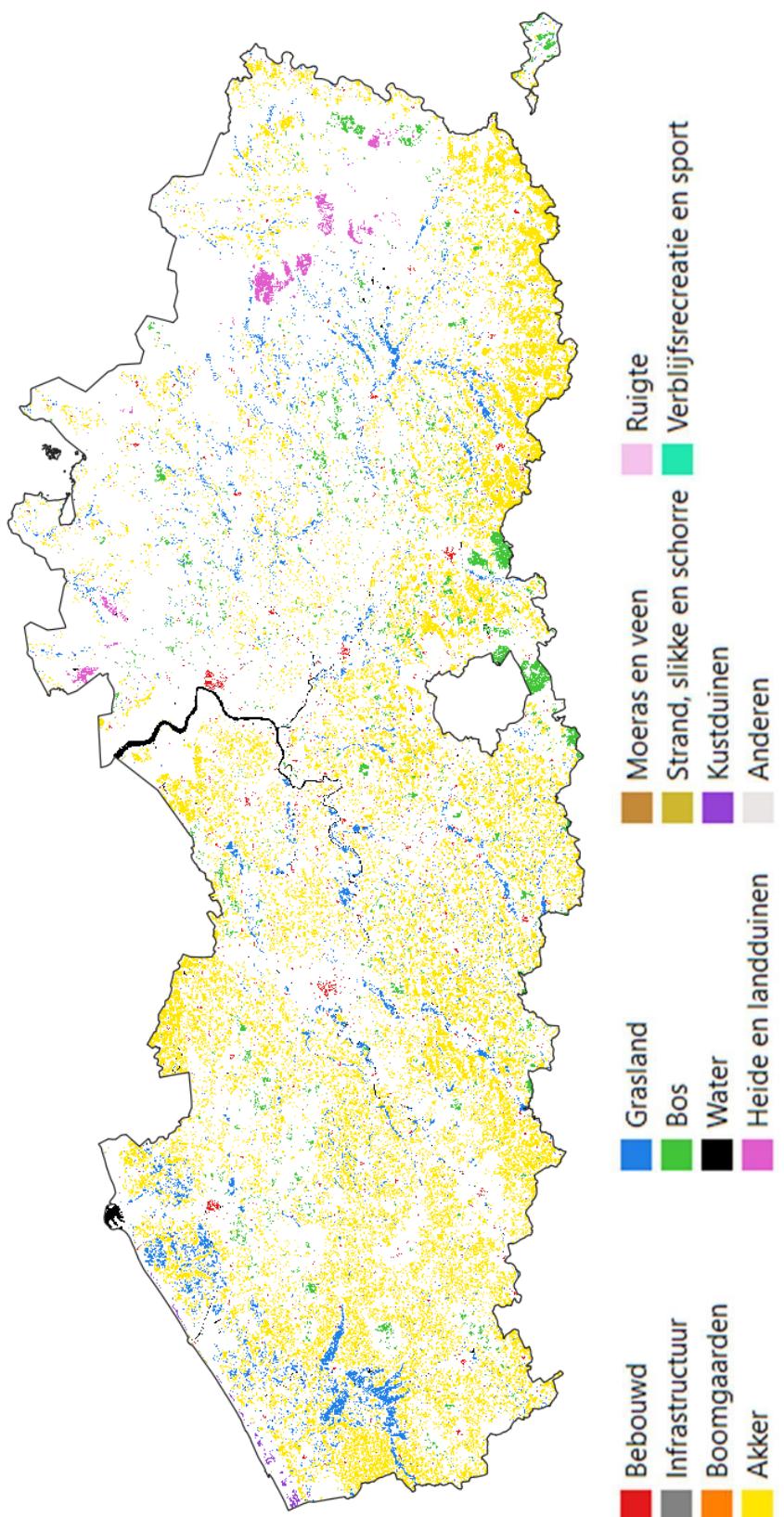


Figuur 9.15 Aantal transformaties tussen de 14 landgebruiksklassen die werden gedetecteerd voor de drie tijdsperiodes tussen 1778 en 2022

Dit wil niet automatisch zeggen dat er zich geen enkele transformatie heeft voorgedaan in de periode 1778-2022: het is mogelijk dat er transformaties voorkwamen tussen de bestudeerde tijdstippen, maar deze konden niet worden gedetecteerd op basis van het gebruikte kaartmateriaal. We maken dus de assumptie dat het hierbij gaat om relatief stabiele gebieden. Gebieden met een score 3 zijn locaties die in iedere beschouwde periode een transformatie kenden van het ene landgebruik naar een ander landgebruik.

Uit deze analyse blijkt dat in zo'n 20% van Vlaanderen zich geen transformaties hebben voorgedaan (of althans niet konden worden gedetecteerd) in de bestudeerde periodes (Tabel 9.4). Figuur 9.15 toont dat vooral het zuiden van Haspengouw en de polders, de Westhoek en het noorden van het Meetjesland een relatief stabiel landgebruik kenden tussen 1778 en 2022. In zo'n 13% van Vlaanderen werd in elke bestudeerde periode een transformatie gedetecteerd (tabel 9.4). De Kempen (met uitzondering van de resterende grote heidegebieden en sommige beekvalleien en bossen), de zandstreek ten zuiden van Brugge en de leiestreek zijn regio's waar het landgebruik onderhevig is geweest aan een groot aantal wijzigingen doorheen de tijd. Dat geldt ook voor verstedelijkte gebieden, zoals bijvoorbeeld rond Antwerpen, Gent en Brussel (Figuur 9.15).

De totale oppervlakte en de aandelen van niet veranderd landgebruik van de verschillende landgebruiksklassen lopen sterk uiteen. Bijna de helft van de **akkers** is volgens de analyse historisch permanent, dus doorlopend akker geweest tussen 1778 en 2022. Omdat de landgebruiksklasse 'akker' ook een grote oppervlakte beslaat in 2022 (ruim 410.000 ha), weegt deze klasse ook sterk door in het niet veranderd landgebruik, met een aandeel van 72% (Tabel 9.4). De belangrijkste regio's waar zich historisch permanente akkers situeren, zijn de polders (kuststreek, Meetjesland) en de leemstreek (Vlaamse Ardennen, Vlaams-Brabant, Haspengouw) (Figuur 9.16).



Figuur 9.16 Landgebruik, gespecificeerd voor de onderscheiden klassen, dat stabiel bleef (0 transformaties) op de vier bestudeerde tijdstippen tussen 1778 en 2022.

Op basis van de analyse begroten we de oppervlakte van historisch permanent **grasland** op bijna 34.000 ha. Dit is slechts 11% van de totale oppervlakte grasland in 2022. Historisch permanente graslanden zijn bijna uitsluitend te vinden in de valleien van rivieren en beken, en in de polders (Figuur 9.16). Vele graslanden ontstonden pas tussen 1873 en 1969, op gronden die voorheen als akker in gebruik waren (zie vorige onderdeel).

Ongeveer 20.000 ha bos is steeds **bos** gebleven op de vier kaarten tussen 1778 en 2022 en noemen we oud bos (Tabel 9.4). Op basis van een meer verfijnde analyse met 8 kaarten, die bestaat uit een desktop interpretatie van de opnamepunten van de Vlaamse Bosinventaris (VBI), komen we uit op een oppervlakte van 22.400 ha (De Keersmaeker et al. 2015). Het lijkt niet logisch dat een analyse met meer historische kaarten resulteert in een grotere oppervlakte oud bos, terwijl we verwachten dat op die manier meer transities gedetecteerd worden, die resulteren in een afname van de oppervlakte van onveranderd landgebruik. Dit onverwachte effect is wellicht het gevolg van de positionele fouten van de verschillende kaarten, waardoor in de overlay langs de randen van de polygonen ‘slivers’ (snippers) ontstaan die ten onrechte een transitie van het landgebruik aangeven. Dit eroderende effect is groot door de sterke versnippering van bossen in Vlaanderen (De Keersmaeker et al. 2014). Het aandeel van oud bos tot de bosoppervlakte op de landgebruikskaart 2022 (174.000 ha) wordt begroot op 11% (Tabel 9.4). Dit is aanzienlijk minder dan het aandeel van 16% op de bosoppervlakte volgens de VBI (De Keersmaeker et al. 2015), omdat die de oppervlakte van het bosareaal aanzienlijk lager begroot (174.000 ha vs. 140.000 ha). We veronderstellen dat het aandeel van 16% een betere inschatting is dan dat van 11% (zie bespreking in onderdeel 9.5.1).

Tussen 1778 en 2022 is een groot deel van de **heide en landduinen** en de open **kustduinen** die de Ferrariskaarten weergeven, verdwenen. De resterende oppervlakte in 2022 is dan ook overwegend (respectievelijk 55% en 49%) doorlopend aanwezig gebleven tussen 1778 en 2022. Het overige deel van het actuele nog aanwezige areaal heeft tijdelijk een ander landgebruik gekend, in het geval van de heide en landduinen is dat vooral als bos, in het geval van de kustduinen vooral grasland of akker.

Van de huidige oppervlakte **water** is slechts 14% doorlopend aanwezig sinds 1778. Het gaat vooral om grote rivieren. Watervlakken die permanent aanwezig bleven, zijn schaarser. Mogelijk spelen grote positionele fouten, van bijvoorbeeld vennen in de Kempen, de temporele analyse parten. Door de grote positionele fouten in deze regio en de kleine oppervlakte van vele watervlakken kan de permanent aanwezige oppervlakte van watervlakken onderschat zijn (zie ook de opmerking hierboven m.b.t. bossen).

Er is in de klasse ‘**moeras en veen**’ geen oppervlakte die doorlopend tussen 1778 en 2022 tot deze klasse gerekend wordt. Mogelijk werd dit landgebruik niet op dezelfde wijze gekarteerd op de verschillende historische kaarten, maar er moet niet aan getwijfeld worden dat de oppervlakte van deze klasse sterk is afgangen. Zie hiervoor de bespreking bij de evolutie van de totale oppervlakte (onderdeel 9.5.1.).

Van **strand, slikke en schorre** is volgens de analyse zo’n 1.100 ha doorlopend aanwezig gebleven tussen 1778 en 2022, dit is een aandeel van 29% van de totale oppervlakte in 2022. Kleine verschillen in de kartering van de kustlijn op de opeenvolgende kaarten kunnen aanleiding zijn voor een onderschatting van de historisch permanente oppervlakte.

Volgens de temporele analyse is slechts ongeveer 1% (208 ha) van de **boomgaarden** historisch permanent aanwezig gebleven tussen 1778 en 2022. Daarvan zijn 75 ha commerciële



laagstamboomgaarden die wellicht relatief recent zijn aangelegd op een locatie waar eerder een hoogstamboomgaard lag. De rest, ongeveer 133 ha, zijn (relicten van) hoogstamboomgaarden die via de aanvullende kartering werden opgevist. Op de Ferrariskaarten situeren boomgaarden zich vooral rond de boerderijen en in en rond de dorpen, maar wel verspreid over een groot deel van Vlaanderen. Door hun kleine oppervlakte veroorzaken positionele fouten van de gebruikte kaarten wellicht ook voor deze landgebruiksklasse een onderschatting van de totale oppervlakte historisch permanente boomgaarden. Anderzijds zijn heel wat boomgaarden rond oude boerderijen in de dorpen verdwenen en zijn nieuwe boomgaarden aangelegd op gronden die daarvoor als akker in gebruik waren (Kinnaer 2019). Het geringe aandeel van ‘historisch permanente boomgaarden’ is dus wellicht een realiteit. Actueel zijn boomgaarden, zowel de recent ontstane als de historisch permanente, vooral te vinden in het zuiden van de provincie Limburg (Haspengouw en Voeren), in mindere mate ook in het Pajottenland. Verrassend is de aanwezigheid van enkele relicten in de regio tussen Brugge en Zeebrugge.

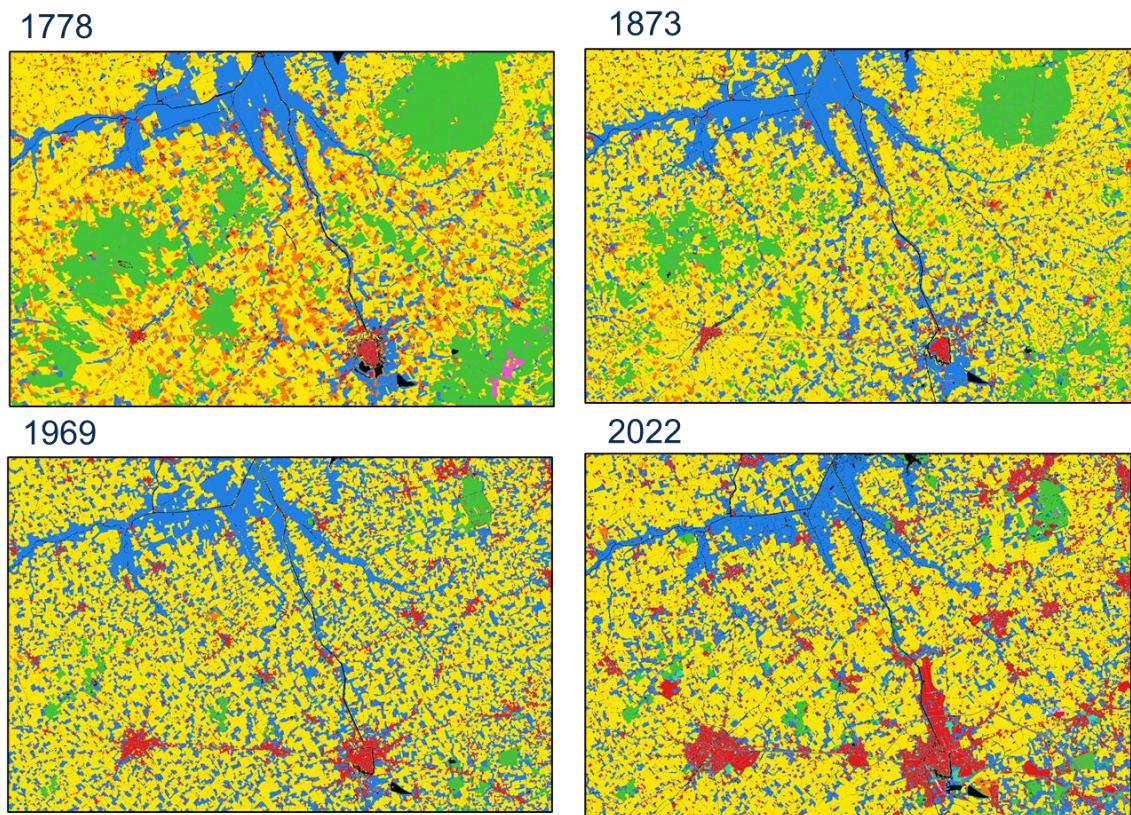
De klassen ‘**bebouwd en tuinen**’ en ‘**infrastructuur**’ zijn sinds 1778 sterk toegenomen. Als gevolg daarvan is actueel slechts ongeveer 2% van deze klassen doorlopend aanwezig sinds het einde van de 18de eeuw. Dit zijn vooral de oude bewoningkernen. De nauwkeurigheid van deze klassen was relatief laag, wat ook een impact heeft op de temporele analyse (zie ook onderdeel 9.7). Wellicht is dus ook het aandeel van permanent aanwezige bebouwing, tuinen en infrastructuur een onderschatting.

9.6 Resultaten voor enkele regio’s in Vlaanderen

We illustreren de landgebruiksveranderingen tussen 1778 en 2022 voor enkele regio’s in Vlaanderen: de Westhoek tussen Ieper en de IJzervallei ten zuiden van de Blankaart (figuur 9.17), de omgeving van Mol in de Antwerpse Kempen (figuur 9.18), De polders en de kuststreek tussen Brugge, Zeebrugge en het Zwin (figuur 9.19) en Haspengouw tussen Sint-Truiden en Tongeren (figuur 9.20).

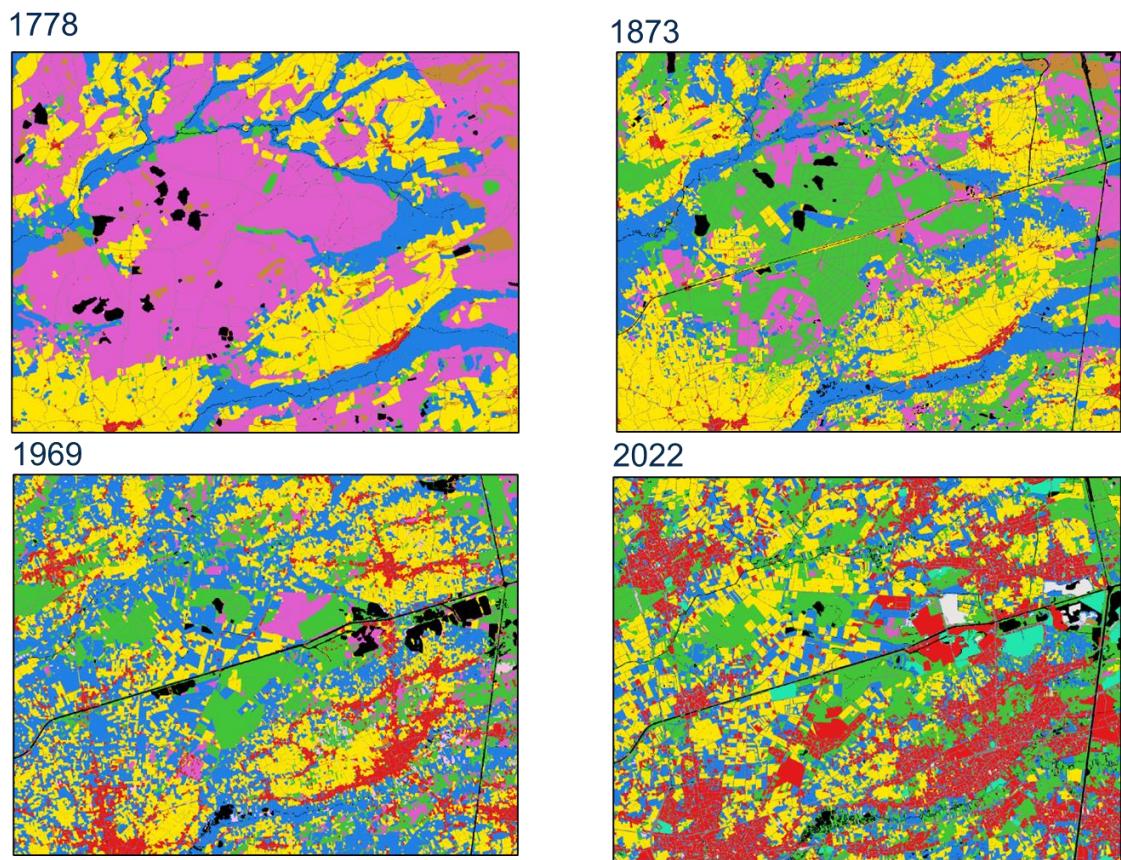
In de regio van de Westhoek weergegeven in figuur 9.17, versnipperde het omvangrijke bosareaal tussen 1778 en 1873: vooral de St.-Sixtusbossen bij Poperinge en de bossen ten oosten van Ieper nemen in oppervlakte af. Het omvangrijke bos van Houthulst in het noordoosten van de kaartuitsnede verkleint in mindere mate. Ten oosten van Ieper was op het einde van de 18de eeuw nog een heideveld aanwezig, dat tegen 1873 verdwenen is. De bewoningskernen veranderen weinig, maar er is een opvallende afname van de oppervlakte van boomgaarden in die periode, die worden omgezet in akker of grasland. Graslanden situeren zich in 1873 nog hoofdzakelijk in de valleien, al kan daarbuiten al een toename door omzetting van akkers en boomgaarden worden opgemerkt. Tussen 1873 en 1969 is het bosareaal in de Westhoek sterk afgangen. Heel wat bossen werden vernield tijdens de Eerste Wereldoorlog (met Houthulst als bekend en gefotografeerd voorbeeld) en zijn daarna ontgonnen en als landbouwgrond in gebruik genomen. Een tweede opvallende trend is de sterke toename van graslanden buiten de valleien, op gronden die voorheen akker, bos of boomgaard waren. In contrast daarmee zien we een toename van akkers in de valleien, zoals de IJzervallei. Een laatste opvallende vaststelling is de toename van bebouwing en tuinen, niet enkel door groei van de steden (Poperinge en Ieper), maar ook van de dorpen in de regio. De urbanisatie zet zich nog veel sterker door in de laatste periode, tussen 1969 en 2022. Een deel van de graslanden die door omzetting van akkers ontstonden, schijnt opnieuw in akker te zijn gelegd.





Figuur 9.17 Kartering van de landgebruiksveranderingen in de Westhoek, ten zuiden van de Blankaart (legende: zie figuur 9.16)

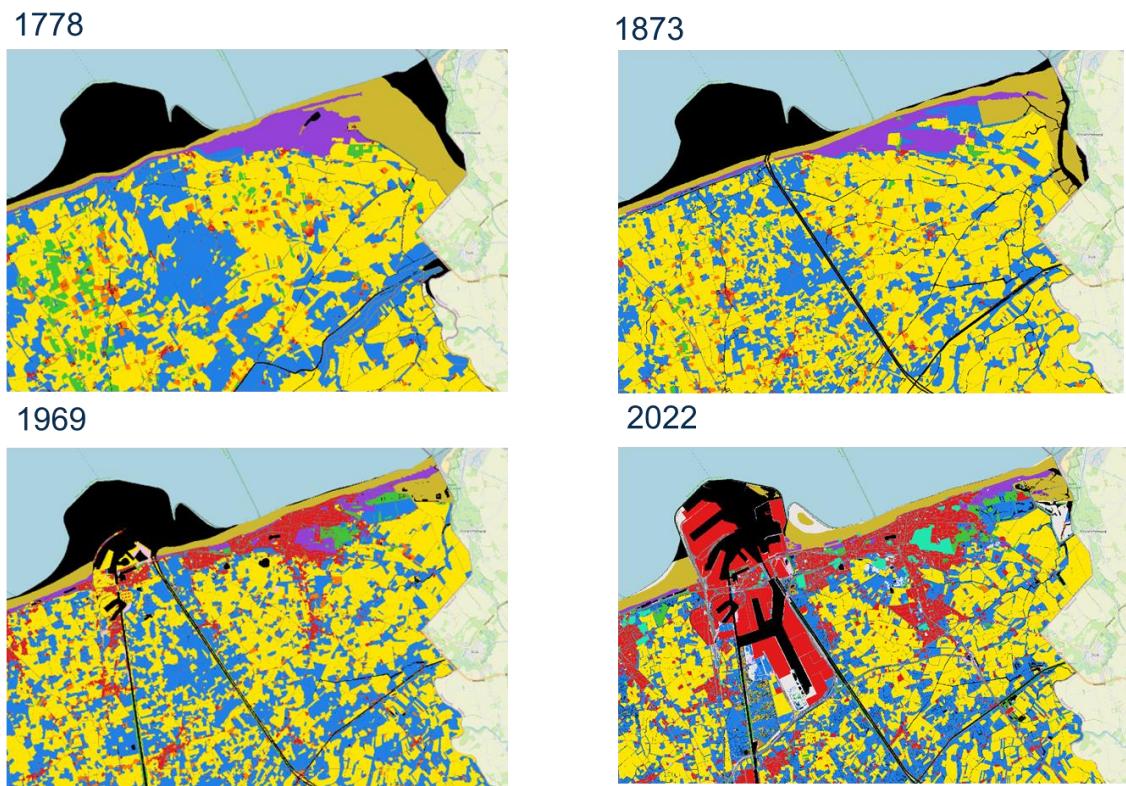
Tussen 1778 en 2022 veranderde het landschap in de omgeving van Mol drastisch, veel sterker dan dat van de Westhoek (vergelijk figuren 9.17 en 9.18). Op het einde van de 18de eeuw was heide het meest voorkomende landgebruik in de regio, met daarin ook een aantal grote vennen en moerassen (figuur 9.18). Rond de dorpen zijn akkers aanwezig en langs de beken die tot het Netebekken behoren, ligt een lint van graslanden. Bos is in die periode nauwelijks aanwezig. Tussen 1778 en 1873 is een aanzienlijk deel van de heide bebost en in mindere mate als grasland of akker ontgonnen. Een deel van de vennen en moerassen is bij de ontginning van heide verdwenen. In de 19de eeuw werden de kanalen van Dessel naar Schoten, van Dessel naar Kwaadmechelen, en van Bocholt naar Herentals aangelegd. Deze kanalen kruisen elkaar rechts in de kaartuitsnede, in de gemeente Dessel. Tussen 1873 en 1969 treden opnieuw grote veranderingen op. Een aanzienlijk deel van de bossen die zijn aangelegd op heide, wordt ontgonnen en in grasland gelegd. Ook heide wordt verder ontgonnen, enkel centraal in beeld blijft een aanzienlijke oppervlakte ('Steenheide') over. Bebouwing en tuinen nemen tussen 1873 en 1969 fors toe en langs de kanalen worden plassen gegraven, als gevolg van zandwinning. Tussen 1969 en 2022 nemen graslanden in oppervlakte af, door omzetting naar akker, maar ook door de sterk toegenomen urbanisatie. De bewoningskernen van Geel (linksonder) en van Mol (rechtsonder) groeien zo sterk, dat ze elkaar vrijwel raken. In de laatste periode zijn heel wat plassen in gebruik genomen als recreatiegebied, met het provinciaal domein Zilvermeer als bekendste. In 2022 is enkel centraal in beeld nog een beperkte oppervlakte als heide gekarteerd.



Figuur 9.18 Kartering van de landgebruiksveranderingen in de Antwerpse Kempen in de omgeving van Mol (legende: zie figuur 9.16)

Het landschap tussen, Brugge, Zeebrugge en het Zwin was op het einde van de 18de eeuw erg gevarieerd, met in de polders vooral akkers en graslanden, en in mindere mate ook boomgaarden rond de boerderijen en kleine polderbosjes (figuur 9.19). Rechtsboven situeert zich de Zwinstreek, met een brede duingordel, de buitendijkse schorren en slikken, en de Zwinarm zelf. Tegen 1873 zijn toch al enkele opvallende veranderingen merkbaar: een deel van de schorren en slikken van het Zwin zijn ingepolderd, de polderbosjes en boomgaarden zijn in oppervlakte afgenummerd. Een aanzienlijk deel van de graslanden is in akker gelegd en het kanaal van Zelzate naar Zeebrugge, dat in de 19de eeuw werd gegraven, doorkruist het gebied. In 1969 is de oppervlakte grasland terug toegenomen, op gronden die een tijdlang als akker gebruikt zijn maar voorheen grasland waren, maar ook elders waar tot dan doorlopend akkers lagen. De inpoldering van buitendijkse gronden in de Zwinstreek zet zich door en bewoning neemt sterk toe, vooral langs de kust (Knokke en Heist) ten koste van (open) kustduinen. Een ander deel van de open kustduinen wordt bebost, maar de polderbosjes aan de westkant van het beeld zijn nagenoeg verdwenen. In deze periode wordt het kanaal van Brugge naar Zeebrugge aangelegd en neemt de uitbouw van de haven van Zeebrugge een aanvang. Tussen 1969 en 2022 breidt de haven van Zeebrugge fors uit, zowel in zee als in het achterland. De bebouwing neemt ook sterk toe, vooral in de toeristische kustgemeenten Blankenberge, Heist en Knokke. In deze gemeenten verschijnen gronden die een recreatieve functie hebben (golfterrein of camping bijvoorbeeld). In 2019 is het buitendijkse Zwin terug 120 ha groter geworden, door de oude Internationale dijk die in 1872 werd aangelegd, door te steken. Deze oppervlakte is door de landgebruikskaart 2022 nog niet als 'strand, schorre en slikke' weergegeven, maar getypeerd als 'andere'.

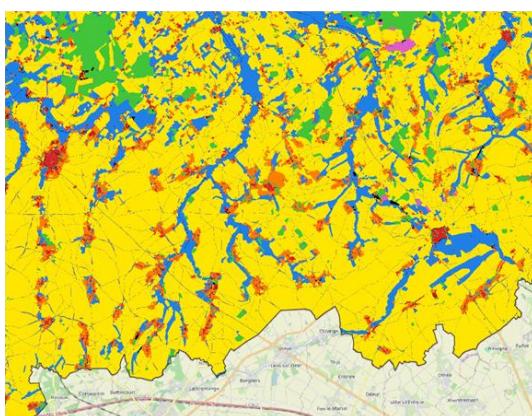




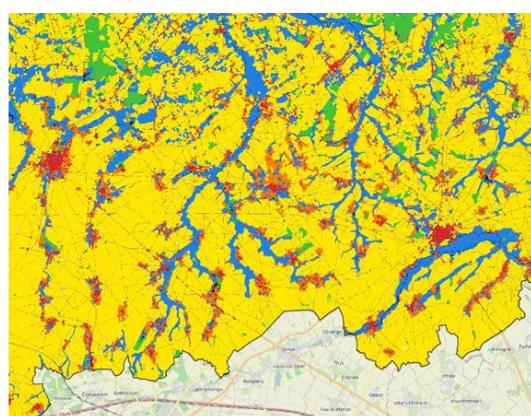
Figuur 9.19 Kartering van de landgebruiksveranderingen aan de Kust in de omgeving van Zeebrugge en het Zwin (legende: zie figuur 9.16)

Ten zuiden van de lijn Sint-Truiden - Borgloon - Tongeren, min of meer centraal in beeld (figuur 9.20), situeert zich droog Haspengouw. In dit zuidelijke deel domineren op het einde van de 18de eeuw akkers op een droge leembodem. Langs de beken en riviertjes liggen smalle stroken grasland, en rond bebouwing in de dorpen situeren zich boomgaarden. Ten noorden van deze lijn ligt vochtig Haspengouw: de bodem is er zandiger en vochtiger (met een hogere grondwatertafel) dan in droog Haspengouw. Op het einde van de 18de eeuw zijn hier meer bossen en grasland, en dus minder akkers, aanwezig dan in droog Haspengouw. Rechtsboven in beeld, bij Vliermaalroot, is op de Ferrariskaarten een heidegebied van een 50-tal ha getekend. Tussen 1778 en 1873 verandert er relatief weinig, vooral in droog Haspengouw. In vochtig Haspengouw zien we een afname en versnippering van het bosareaal in de omgeving van Nieuwerkerken. Het heideveld van Vliermaalroot is tussen 1778 en 1873 ontgonnen tot akkergebied. Tussen 1873 en 1969 zijn de veranderingen in het landgebruik veel groter dan in de periode daarvoor. Het areaal van boomgaarden neemt fors toe, vooral in vochtig Haspengouw. In de valleien worden graslanden beplant met populierenbossen, een evolutie die ook elders in Vlaanderen optreedt. Bebouwing en tuinen nemen toe in oppervlakte tussen 1873 en 1969, maar de urbanisatie gaat in de laatste periode tussen 1969 en 2022 nog veel verder door. Tussen 1969 en 2022 worden in de nabijheid van de woonkernen ook recreatiegebieden aangelegd. Bossen in valleien nemen verder toe en boomgaarden verplaatsen zich van de historische woonkernen, naar gronden die voorheen akker waren. Het gaat bij deze laatste na 1969 weliswaar bijna uitsluitend om laagstamboomgaarden.

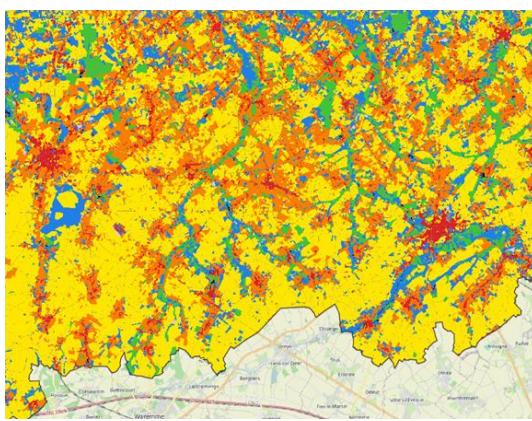
1778



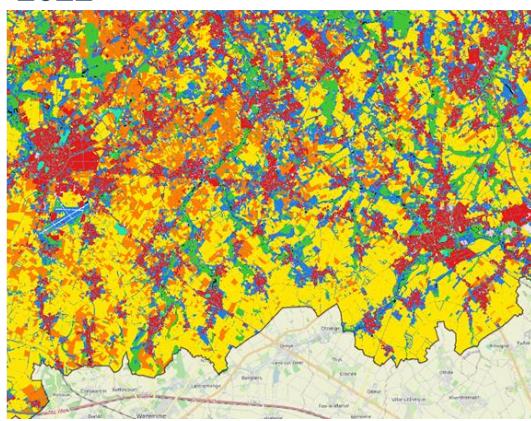
1873



1969



2022



Figuur 9.20 Kartering van de landgebruiksveranderingen in Haspengouw, tussen Sint-Truiden en Tongeren (legende: zie figuur 9.16)

9.7 Validatie van de landgebruiksveranderingen 1778-1969

De puntenlaag die gebruikt is om de polygonenkaarten van de beeldclassificaties te valideren (zie onderdeel 5.4), kan ook gebruikt worden om de overlay met de landgebruiksveranderingen te valideren.

Dat ging als volgt:

- De puntenlaag werd over de polygonenkaarten van de 3 beeldclassificaties gelegd (overlay)
- Het clusteren van de landgebruiksklassen, levert voor elke kaart 10 klassen op, in de overlay zijn er dus $10^3 = 1000$ combinaties mogelijk. De klasse 'strand en duinen' werd steeds manueel aangepast na de beeldclassificatie, waardoor de validatie van deze klasse weinig betekenis heeft. Drie klassen zijn niet onderscheiden bij de validatie: 'andere' en 'verblijfsrecreatie en sport' komen enkel voor op de landgebruikskaart van 2022, en 'ruigte' is manueel afgezonderd van 'heide' op de topokaart MGI 1969 (zie onderdeel 9.2).



- De desktop validatie van de 2448 punten op de topokaart MGI 1969 (onderdeel 8.3) werd als basis gebruikt en vervolgens werd bijkomend gevalideerd op de andere twee historische kaarten.
- Daarbij werden alle punten van de overlay gevalideerd, die volgens de OrthoSeg beeldclassificaties liggen op niet veranderd landgebruik tussen 1778 en 1969. Van de punten die behoren tot klassen met landgebruik dat veranderde tussen 1778 en 1969 en waarvan er minstens 10 in de overlay voorkomen, werd 30% gevalideerd (dus tenminste 3 punten).
- Dit leverde in totaal 1884 punten op, die gevalideerd werden op alle drie de historische kaarten, om de globale nauwkeurigheid van de temporele analyse te beoordelen.

De globale nauwkeurigheid van de overlay, op basis van de 1884 punten, is hoog, met een kappa waarde van 88% en een gewogen nauwkeurigheid van 87% (Tabel 9.5). De overlay met geclusterde landgebruiksklassen heeft dus een hogere nauwkeurigheid dan de polygonenkaarten van de afzonderlijke topografische kaarten. Dit is wellicht het gevolg van het clusteren van de klassen van afzonderlijke kaarten tot grotere eenheden van landgebruik, zodat frequente misclassificaties tussen verwante landgebruiks klassen (vb. misclassificaties tussen loofbos, naaldbos en parkbos op de Ferrariskaart, alledrie geclusterd tot 'bos') minder sterk doorwegen.

Niet gewijzigd landgebruik wordt globaal met een hogere accuracy (rond 95%) gekarteerd dan gewijzigd landgebruik (Tabel 9.5). Ook dit is te verklaren: misclassificaties resulteren immers vaak in een landgebruiksverandering, die er in werkelijkheid geen is. Een constant landgebruik tussen 1778 en 1969 is daarentegen in veel gevallen een bevestiging van een correcte classificatie op de afzonderlijke kaarten. Een afgeleide kaart met enkel locaties die doorlopend hetzelfde landgebruik gekend hebben, is dus een instrument met een hoge user accuracy (zie onderdeel 5.4).

Wel moet in acht genomen worden dat de analyse enkel de nauwkeurigheid van de beeldclassificatie beoordeelt, en geen rekening houdt met positionele fouten van de kaarten (zie uitleg in onderdeel 9.5.3. bij 'bos'), die bij een temporele analyse een impact kan hebben op de gekarteerde oppervlakte niet veranderd landgebruik. Omwille van de foutenpropagatie die kan optreden door de positionele fouten van de historische kaarten die op elkaar gelegd worden, is gekozen voor een raster met resolutie van 100 m x 100 m (zie onderdeel 9.1).

Ook veel voorkomende landgebruiksveranderingen in de periode 1778-1873-1969 zijn volgens de foutenanalyse over het algemeen met een hoge nauwkeurigheid gekarteerd, bijvoorbeeld (procentuele nauwkeurigheid tussen haakjes): heide-heide-bos (97%), heide-bos-bos (95%), heide-heide-grasland (97%), grasland-grasland-bos (100%), akker-akker-grasland (95%), akker-grasland-grasland (91%), bos-akker-akker (97%), bos-bos-akker (92%), bos-akker-bos (95%), akker-akker-boomgaard (90%).

De laagste nauwkeurigheid halen de combinaties met landgebruiksveranderingen, waarbij de klassen 'bebouwing en tuinen', infrastructuur', en 'water' betrokken zijn. De gedetecteerde eenheden die werden geclusterd tot deze landgebruiks klassen, zijn op de drie afzonderlijke kaarten ook relatief minder goed onderscheiden (zie tabellen 5.1, 7.1 en 8.1).



Tabel 9.5 Resultaten van de validatie van de overlay van de 3 historische polygonenkaarten. N geeft het aantal validatiepunten weer, in aflopende volgorde. De berekening van de user, producer, en F1 accuracies wordt in onderdeel 5.4 uitgelegd. Bovenaan staat het landgebruik dat niet is veranderd tussen 1778 en 1969, daaronder staan de combinaties van gewijzigd landgebruik (in aflopende volgorde van voorkomen).

	N	User	Producer	F1
Onveranderd landgebruik (1778-1873-1969)				
akker	265	0.921	0.992	0.955
bos	166	0.940	0.994	0.966
bebouwing en tuinen	132	0.803	0.964	0.876
heide	124	0.976	1.000	0.988
strand en duinen (manueel aangepast)	85	0.976	1.000	0.988
grasland	81	0.951	1.000	0.975
water	48	1.000	1.000	1.000
infrastructuur	21	0.952	0.800	0.870
boomgaard	6	1.000	1.000	1.000
Gewijzigd landgebruik (1778-1873-1969)				
water-strand en duinen-strand en duinen	47	0.979	1.000	0.989
akker-akker-bebouwing en tuinen	45	0.844	0.844	0.844
heide-heide-bos	34	1.000	0.944	0.971
akker-akker-infrastructuur	33	0.848	0.903	0.875
heide-bos-bos	32	0.938	0.968	0.952
grasland-grasland-bos	28	1.000	1.000	1.000
akker-bebouwing en tuinen-bebouwing en tuinen	21	0.714	0.789	0.750
akker-akker-grasland	20	1.000	0.909	0.952
bos-akker-akker	20	0.950	1.000	0.974
akker-akker-boomgaard	19	0.947	0.857	0.900
akker-infrastructuur-infrastructuur	16	0.813	0.619	0.703
heide-heide-grasland	15	0.933	1.000	0.966
akker-akker-bos	14	0.929	0.867	0.897
bos-bos-grasland	14	0.929	0.867	0.897
strand en duinen-strand en duinen-heide	14	0.857	0.750	0.800
bos-bos-akker	13	0.846	1.000	0.917
heide-bos-grasland	13	0.846	0.917	0.880
heide-bos-heide	13	1.000	0.929	0.963
akker-bos-bos	12	0.667	1.000	0.800
akker-grasland-grasland	12	0.833	1.000	0.909
akker-infrastructuur-akker	12	0.750	1.000	0.857
akker-infrastructuur-bebouwing en tuinen	10	0.900	0.692	0.783
bebouwing en tuinen-infrastructuur-bebouwing en tuinen	10	0.800	0.615	0.696
boomgaard-akker-akker	10	0.700	1.000	0.824
bos-akker-bos	10	0.900	1.000	0.947
bos-akker-grasland	10	0.800	1.000	0.889
grasland-strand en duinen-strand en duinen	9	0.889	0.889	0.889
heide-bos-akker	9	0.667	1.000	0.800
water-grasland-grasland	9	0.889	0.889	0.889
bos-akker-bebouwing en tuinen	8	0.875	1.000	0.933
infrastructuur-akker-akker	8	0.750	0.857	0.800
infrastructuur-bebouwing en tuinen-bebouwing en tuinen	8	0.625	0.556	0.588

//..

	N	User	Producer	F1
strand en duinen-strand en duinen-bebouwing en tuinen	8	0.625	1.000	0.769
strand en duinen-strand en duinen-infrastructuur	8	1.000	0.727	0.842
akker-bebouwing en tuinen-akker	7	0.571	1.000	0.727
akker-bebouwing en tuinen-infrastructuur	7	0.429	1.000	0.600
akker-infrastructuur-grasland	7	0.857	0.857	0.857
bebouwing en tuinen-akker-bebouwing en tuinen	7	0.571	0.571	0.571
bebouwing en tuinen-bebouwing en tuinen-infrastructuur	7	0.714	0.455	0.556
bos-akker-infrastructuur	7	1.000	0.778	0.875
grasland-grasland-heide	7	1.000	1.000	1.000
heide-bos-infrastructuur	7	0.714	0.714	0.714
heide-heide-infrastructuur	7	1.000	1.000	1.000
infrastructuur-infrastructuur-bebouwing en tuinen	7	0.714	0.625	0.667
water-heide-heide	7	0.143	1.000	0.250
akker-bos-akker	6	0.667	0.800	0.727
akker-grasland-bos	6	1.000	1.000	1.000
bebouwing en tuinen-akker-akker	6	0.833	0.714	0.769
boomgaard-boomgaard-grasland	6	0.833	1.000	0.909
grasland-grasland-infrastructuur	6	0.833	1.000	0.909
heide-grasland-bos	6	1.000	1.000	1.000
heide-grasland-grasland	6	0.833	0.833	0.833
heide-heide-akker	6	1.000	0.857	0.923
heide-moeras-grasland	6	0.833	1.000	0.909
heide-moeras-heide	6	1.000	1.000	1.000
infrastructuur-akker-bebouwing en tuinen	6	0.667	0.800	0.727
infrastructuur-bos-bos	6	0.500	1.000	0.667
moeras-bos-bos	6	1.000	1.000	1.000
strand en duinen-heide-heide	6	1.000	1.000	1.000
akker-akker-water	5	0.800	1.000	0.889
akker-bebouwing en tuinen-boomgaard	5	0.800	1.000	0.889
akker-boomgaard-grasland	5	1.000	1.000	1.000
akker-bos-grasland	5	0.800	1.000	0.889
grasland-bos-bos	5	0.800	1.000	0.889
grasland-grasland-water	5	1.000	0.714	0.833
grasland-water-water	5	1.000	1.000	1.000
heide-akker-bos	5	0.400	0.667	0.500
heide-bos-bebouwing en tuinen	5	0.800	1.000	0.889
heide-infrastructuur-bos	5	1.000	1.000	1.000
heide-moeras-bos	5	0.800	1.000	0.889
infrastructuur-bebouwing en tuinen-infrastructuur	5	0.600	0.429	0.500
moeras-akker-akker	5	1.000	1.000	1.000
moeras-bos-grasland	5	1.000	1.000	1.000
moeras-grasland-grasland	5	1.000	1.000	1.000
moeras-moeras-bos	5	0.800	1.000	0.889
strand en duinen-heide-bos	5	1.000	1.000	1.000
water-bos-bos	5	0.800	0.571	0.667
akker-boomgaard-akker	4	0.750	0.750	0.750
akker-boomgaard-bebouwing en tuinen	4	0.250	0.500	0.333
akker-boomgaard-boomgaard	4	0.750	1.000	0.857
akker-water-grasland	4	0.750	1.000	0.857
akker-water-water	4	1.000	1.000	1.000
bebouwing en tuinen-boomgaard-bebouwing en tuinen	4	1.000	0.571	0.727
bebouwing en tuinen-grasland-grasland	4	0.750	1.000	0.857

//

	N	User	Producer	F1
boomgaard-grasland-grasland	4	1.000	1.000	1.000
bos-akker-boomgaard	4	1.000	1.000	1.000
bos-bos-infrastructuur	4	1.000	0.571	0.727
bos-grasland-bos	4	1.000	1.000	1.000
bos-grasland-grasland	4	0.750	1.000	0.857
bos-infrastructuur-bos	4	0.750	0.429	0.545
grasland-akker-akker	4	1.000	1.000	1.000
grasland-akker-bos	4	1.000	1.000	1.000
grasland-akker-infrastructuur	4	0.500	1.000	0.667
grasland-grasland-akker	4	0.750	1.000	0.857
heide-akker-akker	4	0.500	1.000	0.667
heide-akker-grasland	4	1.000	0.667	0.800
heide-heide-bebouwing en tuinen	4	0.250	0.500	0.333
infrastructuur-akker-grasland	4	1.000	1.000	1.000
infrastructuur-akker-infrastructuur	4	0.750	0.750	0.750
moeras-moeras-grasland	4	1.000	1.000	1.000
strand en duinen-bos-bos	4	1.000	1.000	1.000
water-moeras-akker	4	1.000	1.000	1.000
water-strand en duinen-water	4	1.000	1.000	1.000
water-water-strand en duinen	4	1.000	1.000	1.000
akker-akker-heide	3	1.000	0.750	0.857
akker-bos-bebouwing en tuinen	3	1.000	1.000	1.000
akker-grasland-bebouwing en tuinen	3	0.667	1.000	0.800
bebouwing en tuinen-akker-grasland	3	1.000	1.000	1.000
boomgaard-akker-bebouwing en tuinen	3	1.000	1.000	1.000
boomgaard-boomgaard-bebouwing en tuinen	3	1.000	1.000	1.000
bos-bos-heide	3	1.000	1.000	1.000
grasland-akker-grasland	3	0.667	1.000	0.800
grasland-grasland-moeras	3	0.667	1.000	0.800
moeras-heide-grasland	3	1.000	1.000	1.000
water-grasland-bos	3	0.667	1.000	0.800

//

Referenties

- Chen J, Zhang Y, Liu X, Sun X (2022) Analysis of spatial-temporal evolution of landscape patterns in ancient large city-sites based on multi-temporal Landsat imagery: a case study of the Zhouyuan site region in China, European Journal of Remote Sensing, 55:1, 471-484, DOI: 10.1080/22797254.2022.2114382
- Cillis G, Statuto D, Picuno P (2021) Historical GIS as a Tool for Monitoring, Preserving and Planning Forest Landscape: A Case Study in a Mediterranean Region. Land. 10(8):851. <https://doi.org/10.3390/land10080851>
- Cousins S A, Eriksson O (2002) The influence of management history and habitat on plant species richness in a rural hemiboreal landscape, Sweden. Landscape ecology 17 (6): 517-529. <https://doi.org/10.1023/A:1021400513256>
- Decleer K, Wouters J, Jacobs S, Staes J, Spanhove T, Meire P, van Diggelen R (2016) Mapping wetland loss and restoration potential in Flanders (Belgium): an ecosystem service perspective. Ecology and Society 21(4): 46. <https://doi.org/10.5751/ES-08964-210446>
- De Keersmaeker L, Rogiers N, Lauriks R, De Vos B (2001) Ecosysteemvisie bos Vlaanderen: ruimtelijke uitwerking van de natuurlijke bostypes op basis van bodemgroeperingseenheden en historische boskaarten. VLINA/C97/06b, IBW Bb R 2001.008, Instituut voor Bosbouw en Wildbeheer, Geraardsbergen, Belgium
- De Keersmaeker L, Peymen J, Van Der Aa B, De Blust G, Van Daele T (2012) Vergelijking van de digitale boswijzer 2010 met de bosinventarisatie 2009 in functie van toepassing in de natuurrapporтерing. Advies op eigen initiatief (INBO.A.2012.106). INBO (Brussel).
- De Keersmaeker L, Onkelinx Th, Vandekerkhove K, Hermy M, Verheyen K (2014) A spatially explicit empirical model on actual and potential ancient forest plant diversity in a fragmented landscape. Landscape and Urban Planning 130: 149-158.
- De Keersmaeker L, Onkelinx Th, De Vos B, Rogiers N, Vandekerkhove K, Thomaes A, De Schrijver A, Hermy M, Verheyen K (2015) The analysis of spatio-temporal forest changes (1775-2000) in Flanders (northern Belgium) indicates habitat-specific levels of fragmentation and area loss. Landscape Ecology 30 (2): 247-259
- Dendoncker N, Schmit C, Rounsevell M (2008) Exploring spatial data uncertainties in land-use change scenarios. International Journal of Geographical Information Science 22(9): 1013-1030. doi: 10.1080/13658810701812836
- De Saeger S, Guelinckx R, Oosterlynck P, De Bruyn A, Debusschere K, Dhaluin P, Erens R, Hendrickx P, Hennebel D, Jacobs I, Kumpen M, Opdebeeck J, Spanhove T, Tamsyn W, Van Oost F, Van Dam G, Van Hove M, Wils C, Paelinckx D (2020) Biologische Waarderingskaart en Natura 2000 Habitatkaart, uitgave 2020. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek; No. 35. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek. <https://doi.org/10.21436/inbor.18840851>
- De Vroey M, Roggemans P, De Keersmaeker L (2024). Kartering van historische landschappen met houtkanten en bomenrijen. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2024 (2). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel. DOI: doi.org/10.21436/inbor.101416035

//////////////////////////////

Garcia-Molsosa A, Orengo H A, Lawrence D, Philip G, Hopper K, Petrie C A (2021) Potential of deep learning segmentation for the extraction of archaeological features from historical map series. *Archaeological Prospection* 28: 187– 199. <https://doi.org/10.1002/arp.1807>

Kim J, Choi H, Shin W, Yun J, Song Y (2022) Complex spatiotemporal changes in land-use and ecosystem services in the Jeju Island UNESCO heritage and biosphere site (Republic of Korea). *Environmental Conservation*, 49(4): 272-279. doi:10.1017/S0376892922000285

Kinnaer A (2019) Hoogstamboomgaarden in kaart Een kaart- en cijferanalyse van de hoogstamboomgaarden in Haspengouw en Voeren. Onderzoeksrapporten agentschap Onroerend Erfgoed nr. 123.

Le Provost G, Badenauer I, Le Bagousse-Pinguet Y, Clough Y, Henckel L, Violle C, Bretagnolle V, Roncoroni M, Manning P, Gross N (2020) Land-use history impacts functional diversity across multiple trophic groups. *PNAS* 117 (3): 1573-1579. doi: 10.1073/pnas.1910023117

Maier J, Schlechte D, Fernandes M, Theissler A (2020) A deep learning approach to prepare participants for negotiations by recognizing emotions with voice analysis. Conference paper presented on the International Conference on Group Decision and Negotiation 2020 At: Toronto, Canada.

Meini M, Adducchio D, Ciliberti D, Di Felice G (2014) Landscape conservation and valorization by satellite imagery and historic maps. The case of Italian transhumance routes, *European Journal of Remote Sensing* 47(1): 375-387, DOI: 10.5721/EuJRS20144722

Noda A, Kondoh A, Nishihiro J (2019) Changes in land cover and grassland area over the past 120 years in a rapidly urbanised area in Japan. *One Ecosystem* 4: e37669.
<https://doi.org/10.3897/oneeco.4.e37669>

Onkelinx Th, De Keersmaeker L, Vandekerkhove K (2004) Methodiek en proefdigitalisatie van historisch kaartmateriaal met het oog op analyse van de evolutie van habitats in Vlaanderen en toepassingen en het gebiedsgericht natuurbeleid. December 2004. IBW.Bb.R.2004.019.

Pisman A, Vanacker S, Bieseman H, Vanongeval L, Van Steertegem M, Poelmans L, Van Dyck K (Eds.) (2021) Ruimterapport 2021. Brussel: Departement Omgeving

Poelmans L, Janssen L, Hambach L (2023). Landgebruik en ruimtebeslag in Vlaanderen, toestand 2022. Studie uitgevoerd in opdracht van het Vlaams Planbureau voor Omgeving.

Quataert P, De Keersmaeker L, Van Daele T (2019) Advies over de inzet van de Vlaamse meetnetten om de trend van het bosareaal op te volgen. Een statistische evaluatie. (Adviezen van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek INBO.A.3744. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek.

Roggemans P (2023) OrthoSeg (Version 0.5.0) [Computer software].
<https://doi.org/10.5281/zenodo.10340584>

Segers Y (2002) De 'Agricultural invasion aan het einde van de 19de eeuw: een onderschatte motor van landschapsveranderingen. *De Levende Natuur* 103 (5): 173-178.

Schirpke U, Tscholl S, Tasser E (2020) Spatio-temporal changes in ecosystem service values: effects of land-use changes from past to future (1860–2100). *J Environ Manage* 272:111068.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111068>



Van Braeckel A, Coen L, Peeters P, Plancke Y, Mikkelsen J, Van den Bergh E (2012). Historische evolutie van Zeescheldehabitats. Kwantitatieve en kwalitatieve analyse van invloedsfactoren. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2012 (59). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

Van Daele F, Onkelinx T, Verheyen K, Van Calster H, Raman M, Van Ruijven J, De Keersmaeker L (2022) Are historical land-use patterns and chemical soil characteristics complementary for assessing the restoration potential of *Nardus* grassland? Applied Vegetation Science 25(3), <https://doi.org/10.1111/avsc.12681>

Vanden Bulcke M (2011) De gereduceerde kadasterplans van het Krijgsdepot - Mogelijkheden tot gebruik voor watersysteemanalyse en advisering? Nota van het Secretariaat Bekken van de Brugse Polders – VMM.

Vanpoucke K (2024) Voorlopige GISdata die het resultaat zijn van detectie van hoogstamboomgaarden met OrthoSeg: hoogstam-2021_06_161_BEFL-2021_min_prob_70.gpkg

Vervust S (2016) Deconstructing the Ferraris maps (1770-1778): a study of the map production process and its implications for geometric accuracy. PhD thesis Department of Geography, Faculty of Sciences, Ghent University



Bijlage 1: Legende van de klassen onderscheiden op de Ferrariskaarten

akker: links met houtkanten, rechts open akkergebied met enkele wegen



bebouwing: links gesloten (stedelijk), rechts verspreide bebouwing (rood)



berm: flanken van holle wegen op een plateau (links) en op een diestiaanheuvel (rechts)



boomgaard: rond boerderijen in ZW Vlaanderen (links) en rond Borgloon (rechts)



|||||

bos - loofbos: voorbeelden van variatie in weergave op 4 aangrenzende kaartbladen



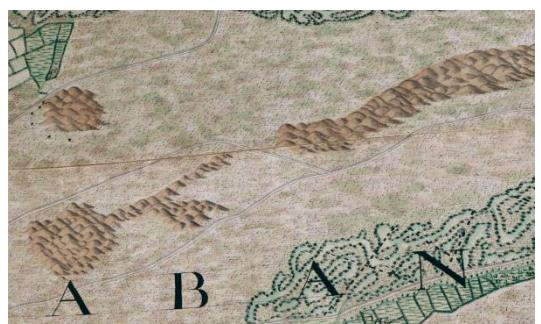
bos - naaldbos: 'dennetjes' tegen een gele achtergrond (Zoerselbos, bij Scherpenheuvel)



bos - parkbos: centrale deel Heesbossen (links) en bij het kasteel van Gaasbeek (rechts)



landduinen (niet bebost): Kalmthout (links) en Balen (rechts)



grasland: voorbeelden van open graslanden (links) en grasland met houtkanten (rechts)



heide: uiteenlopende inkleuring nabij Dessel (links) en Begijnendijk (rechts)



heide-met-bos: inkleuring zoals heide, met symbolen van bomen



kustduin of duingrasland: duin en zandige duinpanne langs de kust, **manueel geselecteerd**



|||||

schorre: zoals grasland maar **manuele selectie o.b.v. tekst**, bv. bij Oostende en Saaftinge



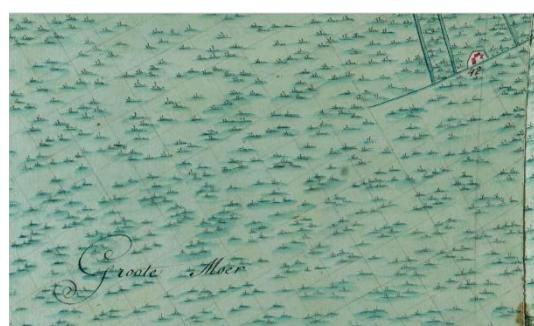
strand of slikke: **manueel onderscheiden van de zee** (links: Zwin, rechts: IJzermonding)



tuinen: bij het rasphuis van Gent (links) en bij de abdij van Park in Leuven (rechts)



veen - moeras: Grootbroek (links) en de Moeren (rechts)



/\/

water: Schelde en Rupel (links) en de Blankaart (rechts)

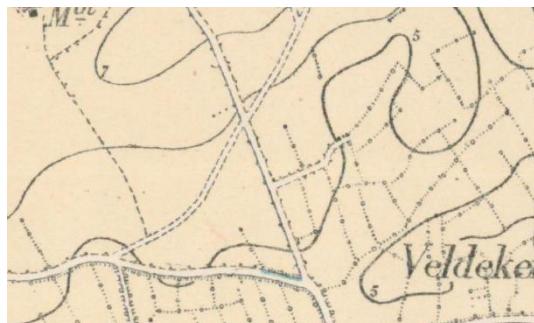


weg: grote verbindingsweg (links) en kleinere lokale wegen (rechts; stippe lijn = voetweg)



Bijlage 2: Legende van de klassen onderscheiden op de topografische kaarten DG 1873

akker (niet ingekeurd)



bebouwing - huizen (rode veelhoeken)



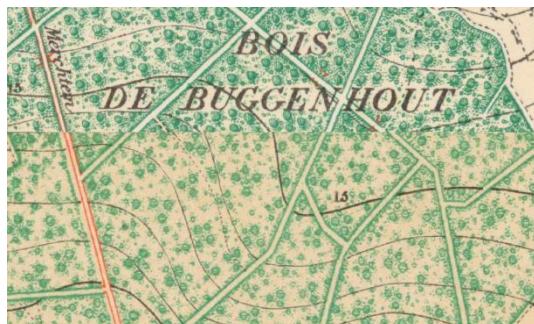
bebouwing - stedelijk (rode vlakken)



boomgaard (cirkels op groene achtergrond)



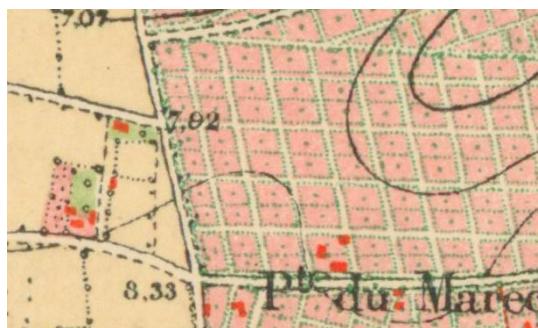
bos - loofbos (groene cirkeltjes)



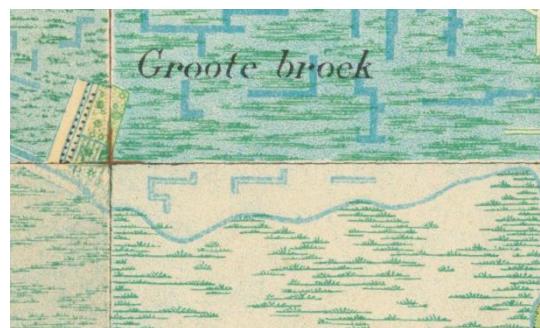
bos - naaldbos (groene sterretjes)



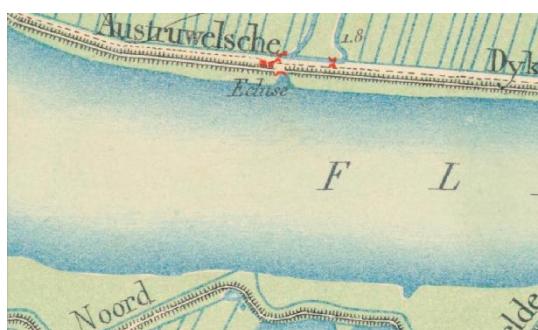
tuinen (roze met groen of zwart puntje)



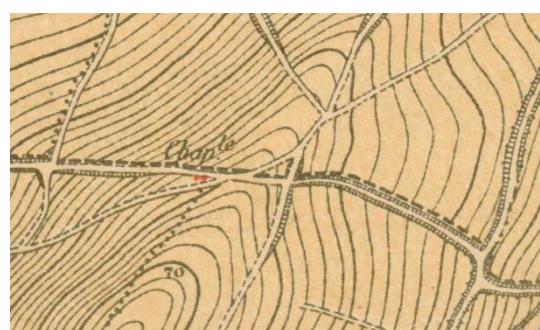
veen - moeras (met of zonder veenputten)



water



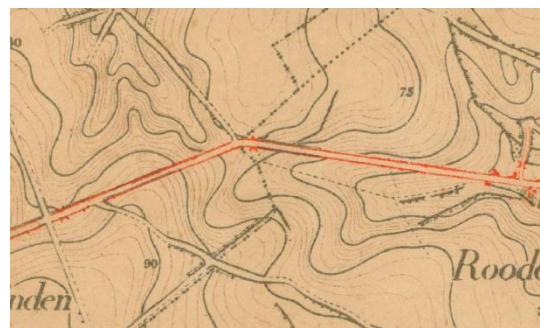
weg - onverhard (zwart begrensd)



weg - spoorweg (zwarte dwarsstrepes)



weg - verhard (rood afgelijnd)



Bijlage 3: Legende van de klassen onderscheiden op de topografische kaarten MGI 1969

akker of vergraven terrein (niet ingetekend)



bebouwing - huizen (zwarte veelhoeken)



bebouwing - stedelijk (grijs gearceerd)



boomgaard (groen gearceerd en bolletjes)



boomkwekerij (groen gearceerd en puntjes)



bos - naaldbos (groen met naaldbomen)



bos - loofbos (groen en bollen of punten)



bos - gemengd bos (groen met 2 symbolen)

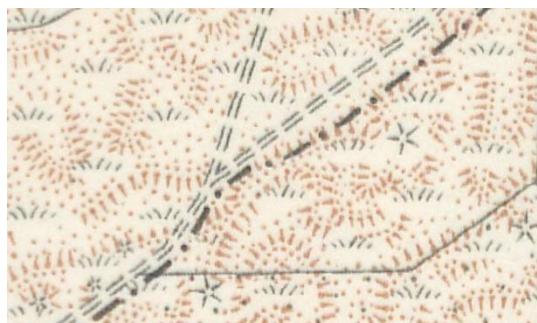


||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||

bos - populier of rijshout (groen met vertikale strepen en punten)



heide op landduinen (met ‘grasjes’)



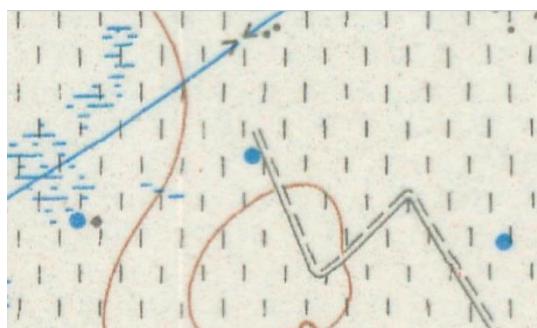
kerkhof



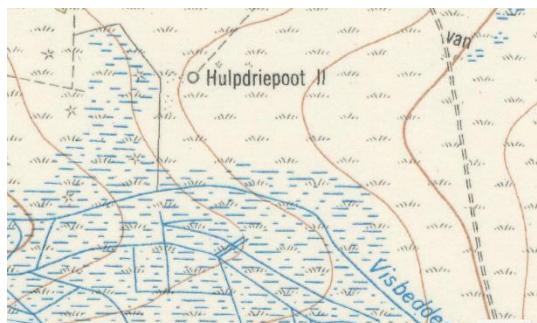
landduinen (bruine puntjes)



grasland (wit met vertikale strepen; blauwe horizontale strepen: nat)



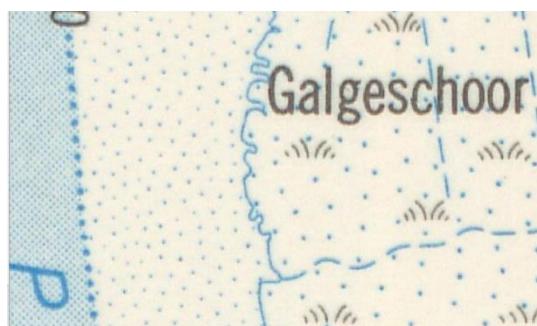
heide, ruigte of kapvlakte (linksonder nat)



kustduin of duingrasland (manueel)

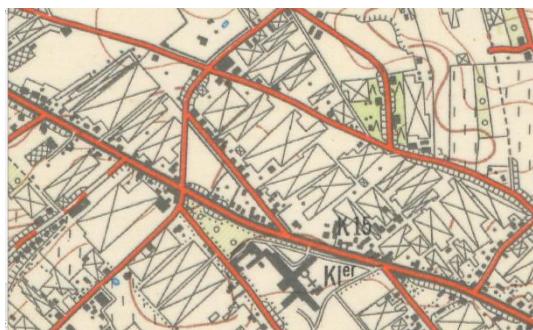


schorren - slikken (manueel verbeterd)

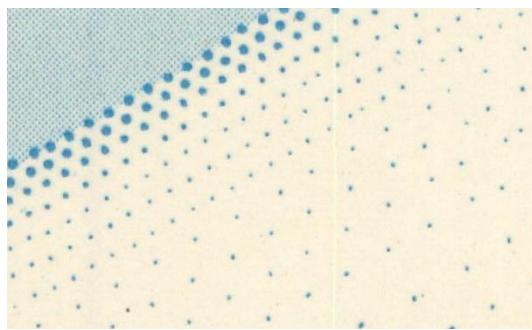


—————

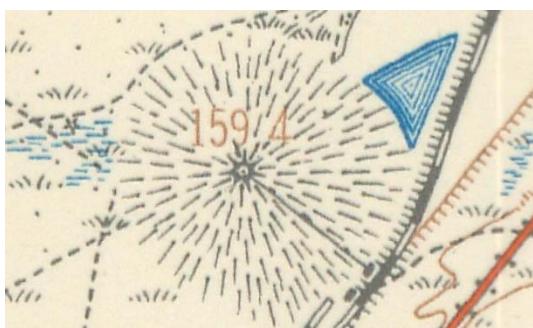
serre (zwart omlijnd met kruis door)



strand



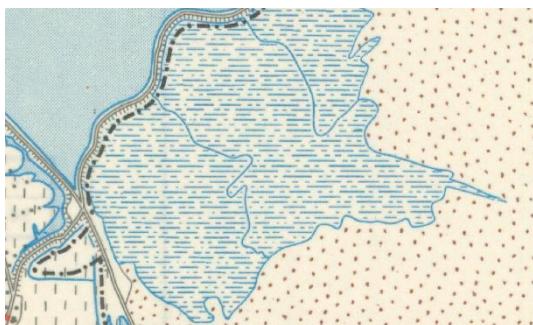
terril



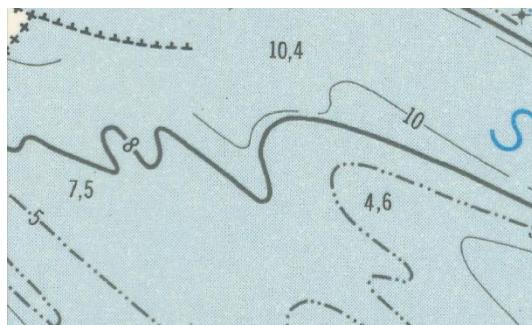
tuinen (bebouwd perceel met punt in)



veen - moeras (blauw gestreept en omlijnd)



water (blauw gedrukt)



weg - onverhard (dubbele zwarte lijnen)



weg - spoorweg (zwart geblokkt)



/|||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||

weg - verhard (rood ingekleurd)

