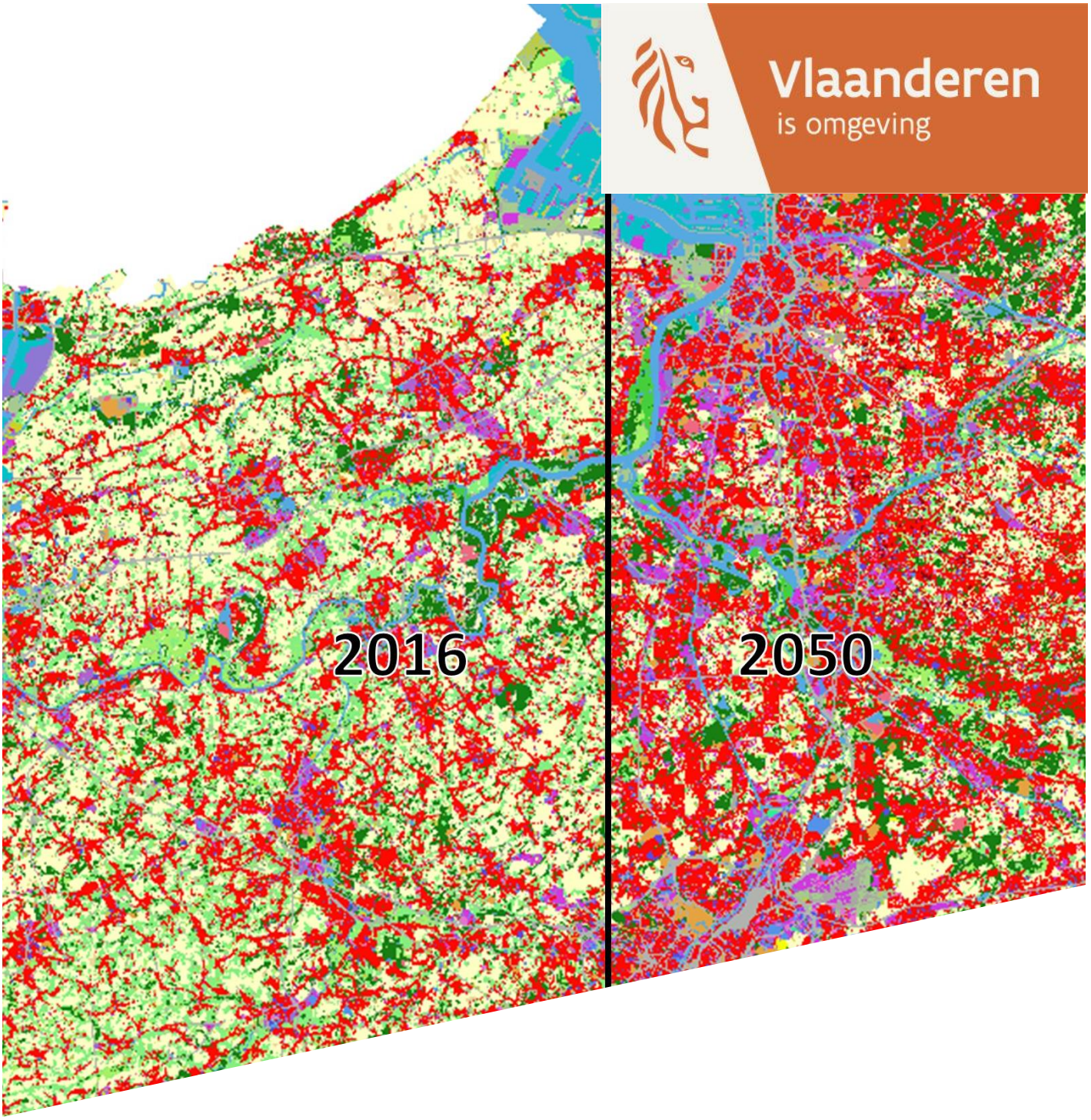


Vlaanderen
is omgeving

RuimteModel Vlaanderen - technische beschrijving

Eindrapport

NAAR EEN BETERE MODELMATIGE ONDERBOUWING VAN HET OMGEVINGSBELEID
Dit rapport maakt deel uit van het eindrapport van de opdracht 'Naar een betere modelmatige onderbouwing van het omgevingsbeleid' en focust op het Ruimtemodel Vlaanderen. Meer bepaalt geeft dit rapport een technische beschrijving van de recentste versie van het RuimteModel Vlaanderen.

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

COLOFON

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

Auteurs
Tomas Crols, VITO
Lien Poelmans, VITO
Inge Uljee, VITO

Wijze van citeren
[Bij voorkeur volgens APA]

PARTNERS

INHOUDSTAFEL

1 Inleiding 4
2 Algemene modelbeschrijving 5
2.1 Het RuimteModel als voorbeeld van een activity-based model 5
2.2 Gebruik van een variabel grid in het CA-model 6
2.3 Berekening landgebruiksveranderingen en activiteiten 7
2.3.1 Berekening van de transitiepotentiaal 7
2.3.2 Toewijzing van de landgebruiksklassen en activiteiten in de rastercellen 9
3 Instellingen en parameters van het Growth-as-Usual scenario 11
3.1 Gebruik 11
3.2 BASISINSTELLINGEN 11
3.3 Inputdata initialisatie 11
3.3.1 Landgebruikskaart 12
3.3.2 Bevolking per hectare 14
3.3.3 Tewerkstelling per hectare 15
3.4 Regionale trends 16
3.4.1 Inwoners 17
3.4.2 Tewerkstelling 20
3.4.3 Oppervlakte-gedreven landgebruiken 24
3.5 MODELPARAMETERS 25
3.5.1 Interactieregels 26
3.5.2 Geschiktheidskaart 28
3.5.3 Beleidskaart 29
3.5.4 Bereikbaarheid en afstanden in de interactieregels 30
3.5.5 Dichtheidskaarten 34
3.6 MODELUITVOER 34
3.6.1 Beschikbare indicatoralgoritmes in het RuimteModel 35
3.6.2 Overzicht indicatoren in eerdere studies 45
4 RECENTE ONTWIKKELINGEN 50
Referenties 51
BIjlage A – Interactieregels 54
Bijlage B – Gewichten per klasse in de geschiktheidskaarten 61
Bijlage C – Korte technische beschrijving koppeling van het B-CGMS landbouwmodel aan het RuimteModel (GroWaDRISK-project) 65

1 INLEIDING

Grenzen tussen stedelijke en landelijke gebieden vervagen in regio's met veel urban sprawl en menselijke functies worden steeds meer gecombineerd op dezelfde plaatsen (Poelmans & Van Rompaey, 2009; White et al., 2015). Stedelijke groei kan dus best bekeken worden met een multifunctioneel landgebruiksmodel. Het RuimteModel Vlaanderen is een dynamisch landgebruiksmodel dat in zijn nieuwste vorm zowel landgebruik als meerdere (menselijke) activiteiten simultaan kan simuleren.

Het RuimteModel is een cellenautomaat (CA-model), een model dat expliciet de dynamische ruimtelijke interacties tussen verschillende landgebruiken bekijkt in een raster van cellen. Cellenautomaten worden gekenmerkt door een set van interactieregels (Poelmans & Van Rompaey, 2010; Santé et al., 2010; White et al., 2015). Traditioneel kijkt een CA-model enkel naar de interacties in de onmiddellijke omgeving, bv. in de vorm van een buffer van maximaal een 10-tal cellen in doormeter. Regionale demografische en economische interacties kunnen eventueel bijkomend in een aparte modelcomponent behandeld worden, die kan worden ingezet op een hoger schaalniveau en die gekoppeld wordt aan het lokale CA-model (het constrained CA of CCA-model). Dit was het geval in een eerdere versie van het model van White et al. (1997), waarop de eerste versie van het RuimteModel gebaseerd was. Deze versie werd o.a. ingezet in het kader van de Milieu- en Natuurverkenning 2030 (Gobin et al., 2009) en voor de studies die werden uitgevoerd binnen het steunpunt Ruimte en Wonen (Engelen et al., 2011a, 2011b).

Net zoals de meeste landgebruiksmodellen keek de eerdere versie van het RuimteModel enkel naar het dominante landgebruik per cel. Het model negeerde dus de werkelijke mix van functies die voorkomt in werkelijkheid. Door activiteiten, zoals de bevolking of tewerkstelling, mee te nemen in de rasterstructuur van een CA-model kan de complexiteit van een stedelijke omgeving beter voorgesteld worden zonder dat het model te ingewikkeld of te data-intensief wordt. White et al. (2012) stelden een CA-model voor met meerdere activiteiten, waarbij iedere cel waarden heeft voor zowel landgebruik als voor elke gemodelleerde activiteit (het activity-based CA of ACA-model). De interactieregels van het model zijn uitgebreider zodat ook impact op lange afstand rechtstreeks door het CA-model zelf meegenomen wordt. Een koppeling met een extern regionaal model wordt zo overbodig. Crols et al. (2015) breidden dit verder uit door de interactieregels afhankelijk te maken van reistijden langs transportnetwerken in de plaats van Euclidische afstanden. Beide publicaties hebben geleid tot de huidige versie van het RuimteModel.
Deze versie, in het verdere rapport benoemd als de 'nieuwe' versie van het RuimteModel werd o.a. ingezet in het kader van de Natuurverkenning 2050 (https://www.vlaanderen.be/inbo/natuurrapport-2050/natuurverkenning-2050/), de studie 'Monetariseren van de impact van urban sprawl in Vlaanderen' (Vermeiren et al., 2019), binnen het H2020 project COASTAL (https://h2020-coastal.eu/) en binnen het BELSPO-project GroWaDRISK (https://www.belspo.be/belspo/SSD/science/projects/GROWARISK%20N.pdf), waarin landbouwopbrengsten als bijkomende activiteiten gesimuleerd werden.

Het voorliggende rapport geeft een technische beschrijving van deze 'nieuwe' versie van het RuimteModel. Het rapport start met een algemene modelbeschrijving waarin de opbouw en achterliggende rekenregels worden toegelicht. Vervolgens worden de recente instellingen besproken. Het gaat hierbij om de gebruikte databronnen om de algemene rekenregels concreet in te vullen voor de toepassing in Vlaanderen. Omdat er verschillende instellingen van de parameters en data mogelijk zijn in verschillende scenario's, wordt de bespreking gedaan aan de hand van het Growth-as-Usual

scenario dat werd ontwikkeld in de studie 'Monetariseren van de impact van urban sprawl in Vlaanderen' (Vermeiren et al., 2019). Dit scenario is één van de drie doorgerekende scenario's in de meest recente toepassing van het RuimteModel.
In de tekst worden daarnaast suggesties gedaan voor eventuele verbeteringen of aanpassingen aan deze instellingen. Deze suggesties zijn gebaseerd op gesprekken met (potentiële nieuwe) gebruikers van het model, experts die betrokken zijn bij het opmaken van de invoergegevens en de modelexperts binnen VITO, betrokken bij de ontwikkeling van het RuimteModel. Deze suggesties zijn opgenomen in tekstkaders zodat ze goed te onderscheiden zijn van de huidige instellingen van het model.

2 ALGEMENE MODELBESCHRIJVING

De huidige versie van het RuiteModel is een activity-based variabel grid CA-model. In de onderstaande bespreking wordt in meer detail uitgelegd hoe dit model is opgebouwd en op welke manier het veranderende landgebruik en de activiteiten worden gemodelleerd.

2.1 HET RUIMTEMODEL ALS VOORBEELD VAN EEN ACTIVITY-BASED MODEL

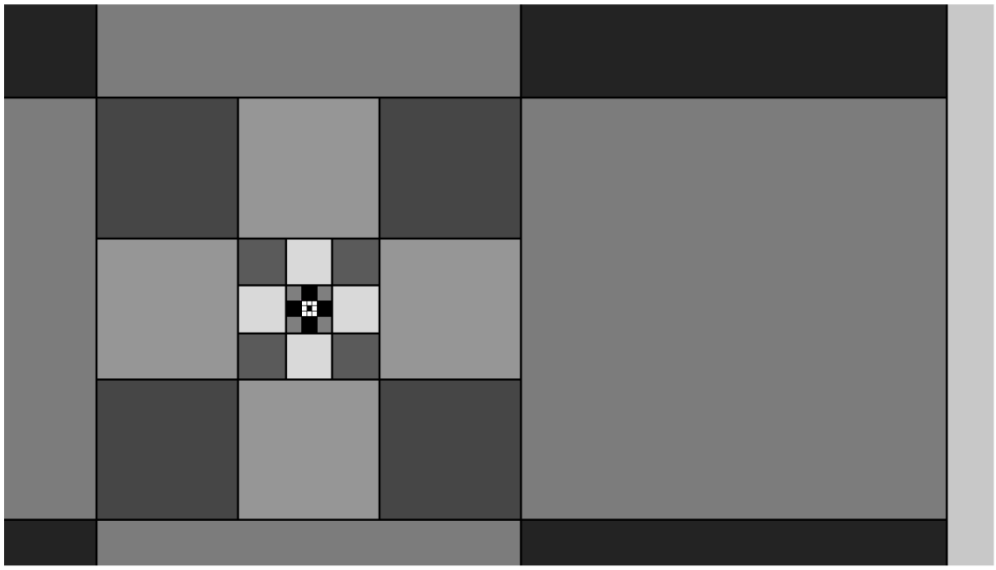
Het RuimteModel simuleert **landgebruik** en **activiteiten**, vertrekkende vanaf rasterkaarten op hoge resolutie (standaard 1 hectare). De huidige activiteiten die standaard steeds zijn opgenomen in het model zijn de bevolking en tewerkstelling in verschillende economische sectoren. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen actieve, passieve en statistische landgebruiken (ook respectievelijk *functies*, *vacants* en *features* genoemd). Actieve landgebruiken (*functies*) veranderen rechtstreeks door de CA-dynamiek en kunnen groeien of eventueel krimpen. Passieve landgebruiken (*vacants*) veranderen enkel als gevolg van de dynamiek van actieve landgebruiken waardoor ze vervangen kunnen worden. In de meeste applicaties zijn het (onbeschermde) natuurlijke en agrarische functies die passief zijn, terwijl voornamelijk bebouwde landgebruiken, maar soms ook beschermde natuur of belangrijke landbouwcategorieën als actieve landgebruiken worden meegenomen. Statische landgebruiken (*features*), zoals water of militaire voorzieningen, veranderen in principe nooit (behalve bij handmatige aanpassingen die opgelegd kunnen worden aan het model), maar kunnen eventueel wel impact hebben op de groei van andere landgebruiken in de omgeving.

Per definitie bestaat er een één-op-één-relatie in het model tussen iedere activiteit en een actief landgebruik (*functie*). Iedere activiteit heeft m.a.w. één overeenkomstige landgebruikscategorie en binnen iedere actieve landgebruikscategorie komt m.a.w. minstens die activiteit voor. De 'primaire activiteit' wordt gedefinieerd als die welbepaalde activiteit die geassocieerd is met het overeenkomstig actief landgebruik (bv. activiteit bevolking voor de landgebruikscategorie residentieel). Er kan echter in iedere cel, naast de primaire activiteit, ook een secundaire activiteit voorkomen (bv. activiteit tewerkstelling door zelfstandigen in de landgebruikscategorie residentieel). Passieve en statische landgebruiken hebben geen geassocieerde primaire activiteit, maar kunnen eveneens secundaire activiteit bevatten (bv. bevolking in de landgebruikscategorie 'landbouw'). Sommige types activiteit worden niet uitgedrukt in bv. een aantal personen (zoals voor bevolking en tewerkstelling), maar als een oppervlakte. Dit noemen we oppervlakte-gebaseerde actieve landgebruiken. Een toepassing is bijvoorbeeld om landgebruiken met beschermde natuur te laten groeien.

2.2 GEBRUIK VAN EEN VARIABEL GRID IN HET CA-MODEL

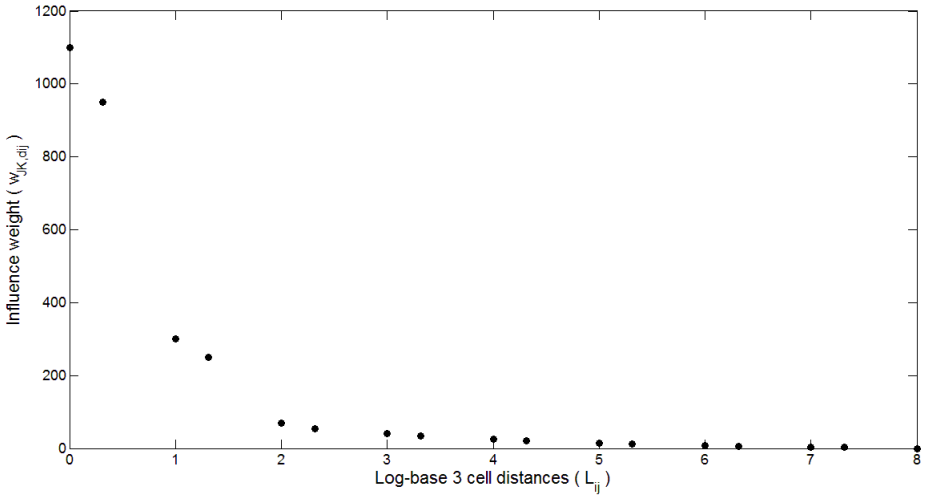
Om de toekomstige veranderingen in het landgebruik (en de geassocieerde activiteiten) in kaart te brengen, vertrekken CA-landgebruiksmodellen in de eerste plaats van **afstandsafhankelijke interactieregels** tussen landgebruiken of activiteiten. Deze interactie- of omgevingsregels (het *neighbourhood effect* in het Engels) vormen het hart van het model. Om de toekomstige status van een cel te kennen worden gewichten gekalibreerd die de impact voorstellen van verschillende ruimtegebruiken in een omgeving van cellen rondom een cel waarvoor het *neighbourhood effect* berekend wordt. De waarde hangt zowel af van de afstand als van de huidige status (i.e. landgebruik of activiteit) van de cel. Mensen willen bijvoorbeeld niet vlak naast industriegebieden wonen, maar hebben wel een job nodig: dit betekent dat industrie een negatief effect heeft op de kans om residentiële ontwikkeling te krijgen op zeer korte afstanden, maar net een positief effect op iets verdere afstand. De meeste interacties echter zijn relaties die sterk positief zijn op korte afstand en kleiner worden verder weg (bv. handel is noodzakelijk nabij een woonwijk en liefst dichtbij). De interactieregels in het RuimteModel worden in elke cel berekend voor iedere mogelijke activiteit.

In het nieuwe RuimteModel omvatten deze interactieregels effecten op een continue schaal die loopt van de onmiddellijke buurcellen tot het regionale niveau, en waarbij alle andere cellen binnen het studiegebied een mogelijke invloed hebben op de cel waarvoor het effect berekend wordt (focuscel). Om rekentechnische redenen worden de cellen dynamisch gegroepeerd in een variabel grid met steeds grotere 'supercellen' hoe verder weg er gegaan wordt van de focuscel. De expansiefactor is 3. Dit wil zeggen dat de verder weg gelegen supercellen steeds bestaan uit 3x3 cellen van een niveau *L* lager. De onmiddellijke buurcellen van de focuscel worden in rekening gebracht op de originele modelresolutie (meestal 1 ha) en behoren tot *L* = 0. Het volgende niveau zijn dan gegroepeerde cellen van 300 m daarrond (*L* = 1), enzovoort (Figuur 1).



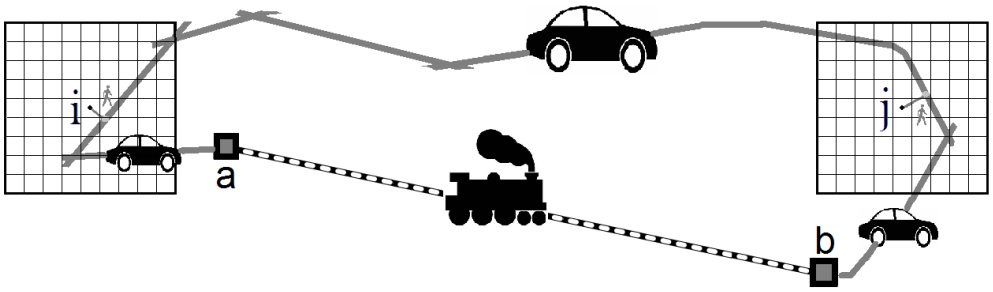
Figuur 1: Structuur van het variabele grid, waarbij de grootste cellen onvolledig getekend zijn (Crols, 2017).

De gewichten *W* van de interactieregels kunnen gekalibreerd worden tussen elk paar van activiteiten *J* en *K* voor elke logaritmische afstand *L* (Figuur 2). In de praktijk worden slechts een beperkt aantal van alle mogelijke interacties gebruikt en omgezet in gewichten. Niet elke activiteit heeft namelijk een significante impact op elke andere activiteit op elke mogelijke afstand. Deze gewichten kunnen ook negatief zijn, bv. de negatieve impact van industrie op wonen binnen een korte afstand.



Figuur 2: Voorbeeld van een interactieregel tussen activiteiten *J* en *K* op logaritmische afstand *L* van een cel *i* (merk op dat er 2 gewichten zijn voor ieder niveau *L*, namelijk voor rechte en schuine richtingen) (Crols et al., 2015)

De **afstanden** tussen cellen worden niet in vogelvlucht (Euclidisch) gemeten, maar worden gemeten langsheen transportnetwerken. Dit kan langs wegen gemeten worden (afstand in kilometer), maar het is eveneens mogelijk om de netwerkafstanden te vervangen door multimodale gewogen **reistijden** (bv. met een bepaald gewicht voor autoverplaatsingen en een ander gewicht voor treinreizen met een voor- en natraject, zie Figuur 3). Meer details over de integratie van netwerkafstanden en reistijden in het variabele grid en het RuimteModel zijn terug te vinden in Crols et al. (2015) en Crols (2017).



Figuur 3: Reistijden tussen cellen kunnen berekend worden langs de weg of langs de spoorweg met een voor- en natraject (Crols et al., 2015).

2.3 BEREKENING LANDGEBRUIKSVERANDERINGEN EN ACTIVITEITEN

2.3.1 Berekening van de transitiepotentiaal

De totale invloed van omliggende activiteiten op activiteit *K* in cel *i* wordt samengevat in het *neighbourhood effect* N_{Ki}:

$$N_{Ki} = \Sigma_J \, \Sigma_j \, W_{JK,Lij} \, (T_{Jj} \, / \, T_J) \qquad (1)$$

met T_{Jj} de totale activiteit *J* in cel *j*, T_J de totale activiteit *J* in het gehele studiegebied, en $W_{JK,Lij}$ het gewicht bepaald door de interactieregel (f_{JK}) die de impact weergeeft van activiteit *J* op activiteit *K* op afstand L_{ij}. Alle totale activiteitswaarden T_J moeten voor iedere tijdstap beschikbaar zijn als inputdata,

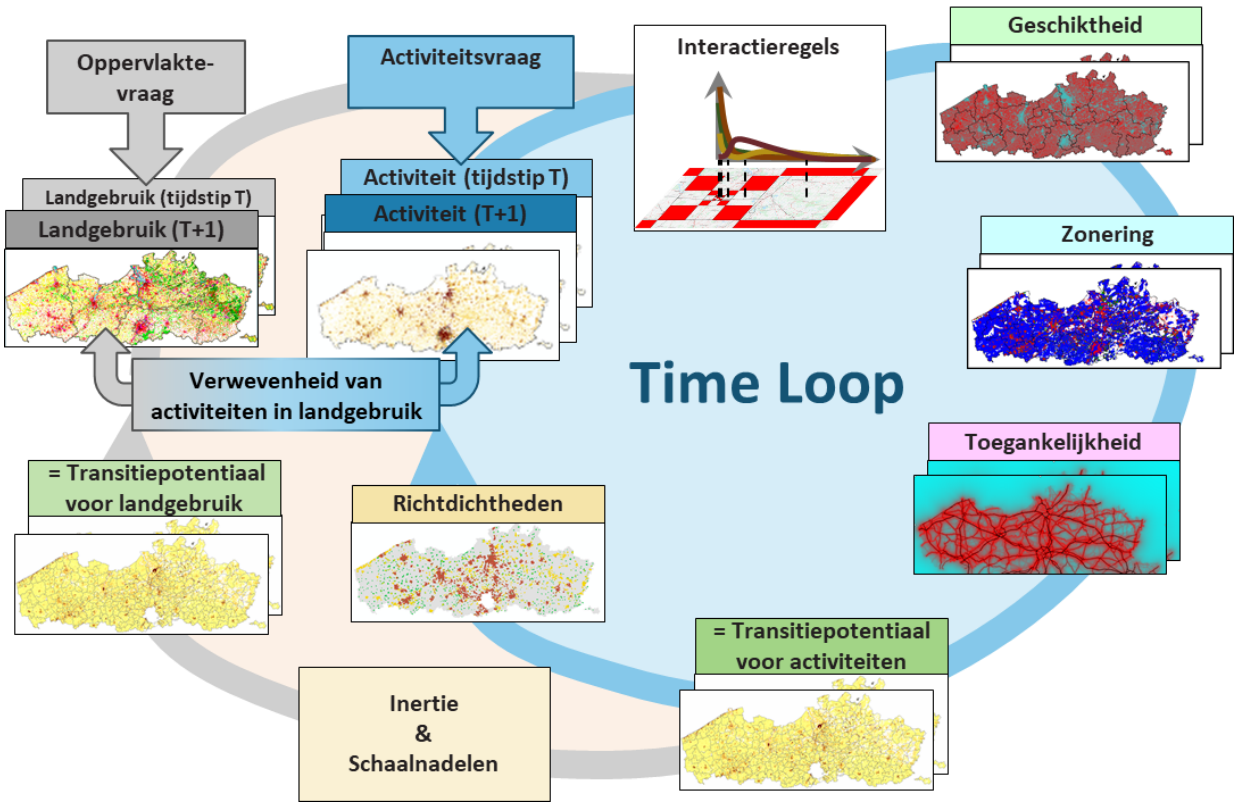
en zijn afkomstig uit externe databronnen (bv. bevolkingstrends of tewerkstellingstrends met cijfers per jaar tot op het einde van de simulatie).

Evoluties van activiteiten en landgebruiken zijn niet enkel afhankelijk van wat er zich in de omgeving bevindt. Ten eerste is de potentiaal voor toekomstige activiteiten ook gebaseerd op een aantal lokale locatiefactoren per activiteit: de ruimtelijke beleidsstatus, de geschiktheid en de bereikbaarheid. Voor iedere tijdstap (normaal gezien jaarlijks) wordt een **transitiepotentiaal** V_{Ki} berekend voor elke activiteit *K* in een cel *i*:

$$V_{Ki} = r\, Z_{Ki}\, S_{Ki}\, X_{Ki}\, N_{Ki} \qquad (2)$$

met *r* een stochatische variabele, Z_{Ki} het beleid (zoningstatus) voor activiteit *K* in cel *i*, S_{Ki} de geschiktheid van cel *i* voor activiteit *K*, X_{Ki} de bereikbaarheid t.o.v. transportnetwerken voor activiteit *K* in cel *i*, en N_{Ki} het *neighbourhood effect* uit vergelijking (1). Figuur 4 geeft een schematisch overzicht van de werkwijze van een modelsimulatie met het RuimteModel. Dit schema zal doorheen het rapport terugkomen om de verschillende inputvariabelen te verduidelijken.

De stochastische variabele is toegevoegd in de vergelijking om het gedrag van actoren voor te stellen die op een beperkt aantal plaatsen de 'geografische realiteit' kunnen overstijgen en toch voor een landgebruiksverandering zorgen. Een waarde $r > 1$ kan de transitiepotentiaal versterken en er dus voor zorgen dat een bepaalde activiteit voorkomt op een locatie die onverwacht is volgens de regels van het model. De beleidskaarten geven restricties weer per activiteit tussen bepaalde tijdstappen. De geschiktheid wordt berekend als een combinatie van verschillende lokale randvoorwaarden die de cel meer of minder geschikt maken om een bepaalde activiteit te bevatten. Deze randvoorwaarden zijn vaak fysisch (bv. bodem of hellingsgraad), maar kunnen ook socio-economisch of beleidsgerelateerd (bv. stimuleren van ontwikkelingen op locaties met een hoge knooppuntwaarde) zijn. De bereikbaarheid neemt de nabijheid van verschillende transportnetwerken (bv. autosnelwegen, lokale wegen, bushaltes, stations, kanalen…) in rekening.



Figuur 4: Schematische voorstelling van de doorrekening van het RuimteModel

Vervolgens wordt een landgebruikstransitiepotentiaal VT_{Ki} voor het aan activiteit K geassocieerde actieve landgebruik U_K in cel *i* berekend als:

$$VT_{Ki} = D_{Ki}\,(V_{Ki})^{m_K} + (I_{Ki})^{\rho} \qquad (3)$$

met D_{Ki} een factor die eventuele schaalnadelen van agglomeratie voorstelt (bv. veroorzaakt door verkeerscongestie of hoge vastgoedprijzen in gebieden met een grote bevolkingsconcentratie en een bijbehorende sterke ruimtelijke competitie), en m_K ($0 < m_K \leq 1$) een parameter die de dominantie van elke activiteit weergeeft. Activiteiten met hoge waarden voor m_K zullen makkelijker locaties met sterke competitie innemen. I_{Ki} is de mate van inertie van een activiteit, die voorstelt hoe sterk elke activiteit geneigd is om dezelfde plaats te blijven behouden. De parameter ρ ($0 \leq \rho \leq 1$) wordt enkel gebruikt voor secundaire activiteiten om aan deze een kleinere inertie te geven. Voor primaire (dus geassocieerde) activiteiten is $\rho = 1$.

2.3.2 Toewijzing van de landgebruiksklassen en activiteiten in de rastercellen

Voor elke cel worden de potentialen van alle landgebruiken gerangschikt, en vervolgens worden alle cellen gerangschikt volgens de hoogste potentiaal voor een bepaald landgebruik die in de cel terug te vinden is. Het CA-model zal dan eerst landgebruik toekennen aan cellen met de hoogste rangschikking. Dit is steeds het landgebruik waarvoor de potentiaal het hoogst is tot volledig aan de **vraag** voor dat bepaald landgebruik voldaan is. Door de inertie zullen veel cellen niet van status veranderen. Theoretisch gezien kunnen echter alle cellen na elke tijdstap een ander landgebruik krijgen.
De oppervlaktevraag wordt in een historische kalibratie overgenomen uit historische landgebruikskaarten. In een simulatie naar de toekomst toe kan de vraag het resultaat zijn van een

externe berekening (bv. extrapolatie van ruimtevraag naar de toekomst), een ander landgebruiksmodel (bv. het oude RuimteModel) voor business-as-usual runs, of kan de vraag bepaald worden door beleidsscenario's (bv. nulgroei tegen 2040 voor het BRV-scenario uit de urban sprawl opdracht). In het 'oude' RuimteModel werd de oppervlaktevraag door het 'regionale demografische model' berekend. Recent werd in het nieuwe model een optie ingebouwd om de oppervlaktevraag voor residentieel landgebruik afhankelijk te maken van de activiteitsvraag (i.e. bevolkingsgroei), zodat opnieuw de hoeveelheid landgebruiksverandering voorspeld kan worden op basis van de vraag naar bepaalde activiteiten. Een te kalibreren parameter bepaalt hoe sterk het residentiële landgebruik verdicht en dus een hogere bevolkingsdichtheid krijgt. Voor de economische landgebruiken is dit momenteel (nog) niet mogelijk. Voor deze landgebruiken, wordt de oppervlaktevraag dus extern aan het RuimteModel berekend en als input in het model gebruikt.

De hoeveelheid activiteit die primair is, zit vervat in een parameter die kan evolueren in de tijd. Ook de compatibiliteit van secundaire activiteit met alle niet-geassocieerde landgebruiken zit vervat in een matrix van parameters. Om primaire en secundaire activiteit te updaten in de tijd, worden een aantal functies toegepast. In grote lijnen komt het erop neer dat de activiteit vermenigvuldigd wordt met de relatieve potentiaal uit vergelijking (2) (relatief t.o.v. het gemiddelde van deze potentiaal) voor deze activiteit. Er zijn echter een reeks parameters die ingezet kunnen worden om de hoeveelheid activiteit te kunnen sturen in cellen die zich boven een bepaalde drempelwaarde van potentiaal bevinden (bv. om de bevolking in stadscentra sterker te laten groeien dan buiten de stadscentra). Ook kan een kaart met minimale en maximale activiteitwaarde (richtdichtheden in Figuur 4) opgelegd worden in bepaalde scenario's. Dit is nuttig in scenario's waarin een beleid met sterke stedelijke verdichting gesimuleerd wordt en waar bijvoorbeeld 'richtdichtheden' nagestreefd moeten worden. In de praktijk krijgen cellen die van landgebruik veranderen dan een dichtheid voor de primaire activiteit opgelegd die tussen de grenzen valt zoals bepaald door de kaart. De dichtheid wordt hier dus verhoogd of verlaagd indien nodig tot de grenzen gerespecteerd zijn. Bijkomend kan ook opgelegd worden dat een aantal cellen gerenoveerd dient te worden. Dan worden cellen met een te lage dichtheid (hoe laag is een parameter) aan primaire activiteit uitgezocht in de zones waar een hogere minimale activiteitswaarde verwacht wordt, om deze vervolgens die minimale waarde op te leggen. Cellen met de hoogste potentiaal komen eerst in aanmerking, maar elke cel kan random wel of niet uitgekozen worden. Ten slotte worden de activiteiten lineair herschaald zodat de totale activiteit T_J gerespecteerd wordt (bv. totale bevolking in alle cellen komt na herschaling opnieuw overeen met de totale bevolking in Vlaanderen voor het jaartal in kwestie).

Meer details over het model zijn terug te vinden in White et al. (2012, 2015) en Crols (2017).

In het volgende hoofdstuk wordt in detail ingegaan op een aantal van de nodige databronnen en instellingen van het model en op de manier waarop deze zijn ingevuld in Vlaanderen. Omdat er verschillende instellingen van de parameters en data mogelijk zijn in verschillende scenario's, wordt de bespreking gedaan aan de hand van het Growth-as-Usual scenario dat werd ontwikkeld in de studie 'Monetariseren van de impact van urban sprawl in Vlaanderen' (Vermeiren et al., 2019).

3 INSTELLINGEN EN PARAMETERS VAN HET GROWTH-AS-USUAL SCENARIO

3.1 GEBRUIK

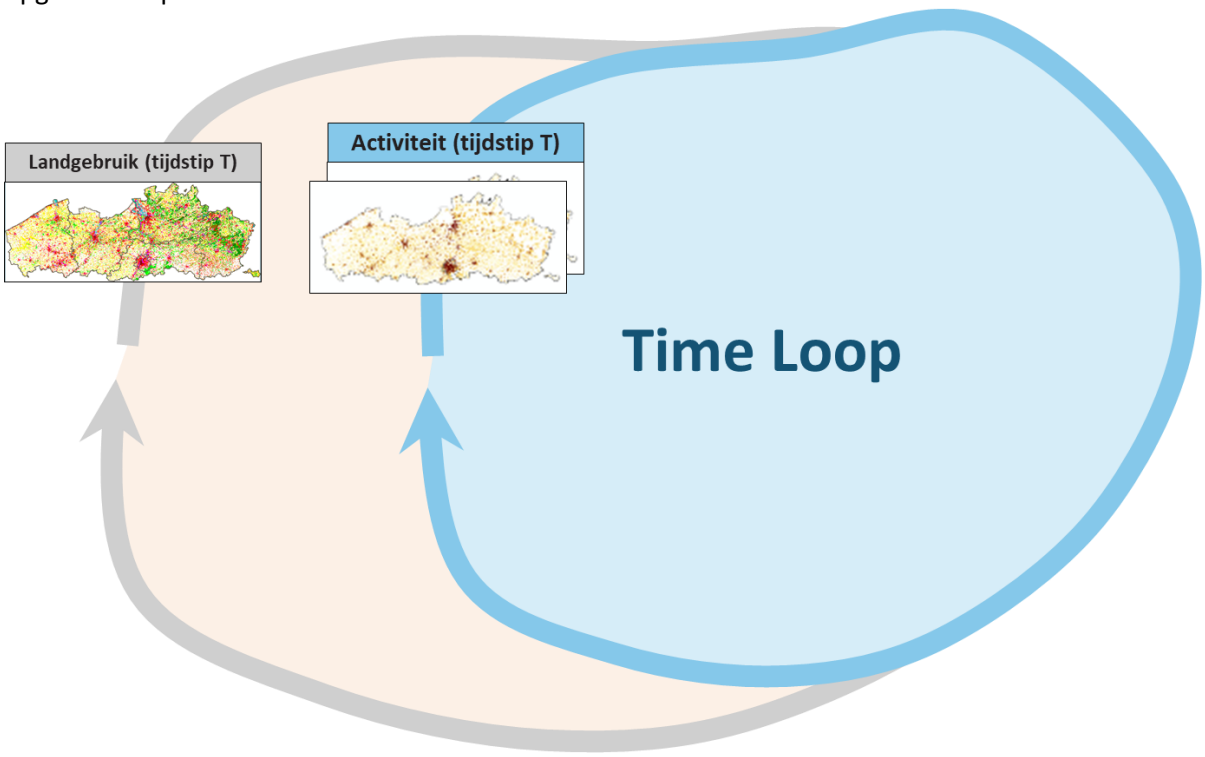
Studie 'Monetariseren van urban sprawl'
Rapport: https://archief-algemeen.omgeving.vlaanderen.be/xmlui/handle/acd/230149

3.2 BASISINSTELLINGEN

Basisjaar: 2013
Tijdshorizon: 2050
Zichtjaren: Jaarlijks, 5-jaarlijks
Resolutie: 1 ha

3.3 INPUTDATA INITIALISATIE

Om het model op te starten zijn een aantal kaartlagen nodig die de toestand voorstellen in het basisjaar of startjaar van het scenario. Specifiek gaat het hierbij om een landgebruikskaart en een kaart voor iedere activiteit die wordt gemodelleerd (Figuur 5). In het GAU-scenario zijn de activiteiten de bevolking en de tewerkstelling voor iedere gemodelleerde economische sector. Alle kaarten worden opgemaakt op een resolutie van 1 ha.



Figuur 5: Schematische voorstelling initialisatie RuimteModel

3.3.1 Landgebruikskaart

De landgebruikskaart die als start van het GAU-scenario wordt gebruikt is een kaart voor het jaar 2013 die is gebaseerd op de landgebruikskaart, toestand 2013 (Poelmans et al., 2016a). Deze kaart wordt opgemaakt op een resolutie van 10x10 m² en maakt een onderscheid tussen een groot aantal verschillende landgebruikscategorieën, opgedeeld in 4 niveaus. Deze categorieën worden geaggregeerd tot 32 categorieën.

In het kader van de Natuurverkenning 2050 werden er nog 2 categorieën toegevoegd ('Groen in de stad' en 'Bos geoptimaliseerd'). Deze categorieën komen niet voor op de landgebruikskaart van het basisjaar 2013 (oppervlakte in 2013 = 0 ha), maar kunnen worden ingevuld in de loop van de simulatie (afhankelijk van het scenario, in het GAU-scenario worden deze niet gebruikt en komt er dus geen oppervlakte bij voor deze categorieën in de loop van de tijd).

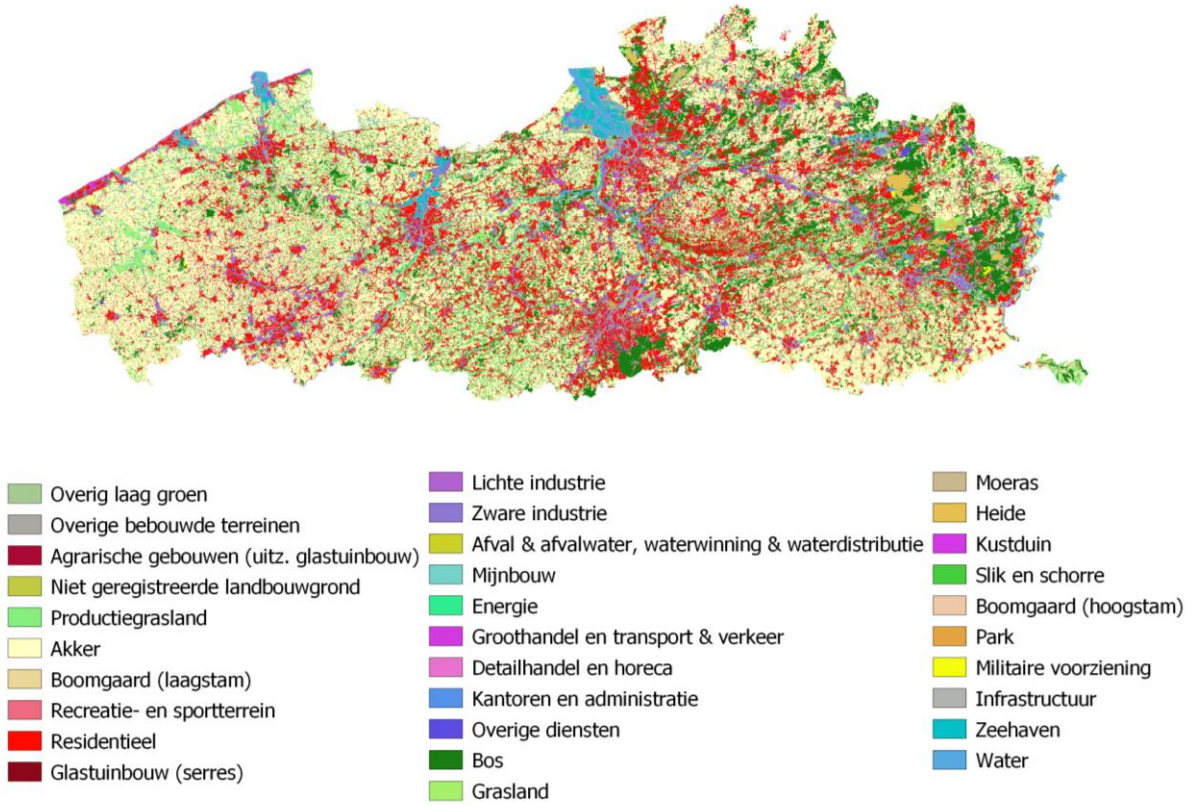
Tabel 1 toont de 34 landgebruikscategorieën en vermeldt of het om een vacant landgebruik, actief landgebruik (functie) of statisch landgebruik (feature) gaat (zie Hoofdstuk 2). Voor de functies wordt vermeld of de veranderingen in de tijd worden aangestuurd door een activiteitsvraag, een oppervlaktevraag of beiden.

De geaggregeerde landgebruikskaart op 10x10 m² resolutie wordt tot slot herschaald naar een resolutie van 1 ha. Dit gebeurt aan de hand van een algoritme dat werkt met een behoud van oppervlakte. Dit is beter dan wat men verkrijgt met de typische algoritmes voor het herschalen van resoluties van rasterkaarten die vaak aanleiding zijn tot een relatief groot verlies van kleine versnipperde landgebruiken die op de kaart voorkomen (bv. verspreide bebouwing of lintbebouwing). Figuur 6 toont de gebruikte landgebruikskaart voor het basisjaar 2013 op een resolutie van 1 ha.

Tabel 1: Landgebruikscategorieën in GAU-scenario van het RuimteModel

ID	Landgebruik	Type
1	Overig laag groen	Vacant
2	Overige bebouwde terreinen	Vacant
3	Agrarische gebouwen (uitz. glastuinbouw)	Vacant
4	Niet geregistreerde landbouwgrond	Vacant
5	Productiegrasland	Vacant
6	Akker	Vacant
7	Boomgaard (laagstam)	Vacant
8	Recreatie- en sportterrein	Vacant
9	Residentieel	Functie – activiteitsvraag
10	Glastuinbouw (serres)	Functie – oppervlaktevraag
11	Lichte industrie	Functie – activities- + oppervlaktevraag
12	Zware industrie	Functie activities- + oppervlaktevraag
13	Afval & afvalwater, waterwinning & waterdistributie	Functie activities- + oppervlaktevraag
14	Mijnbouw	Functie activities- + oppervlaktevraag
15	Energie	Functie activities- + oppervlaktevraag
16	Groothandel en transport & verkeer	Functie activities- + oppervlaktevraag

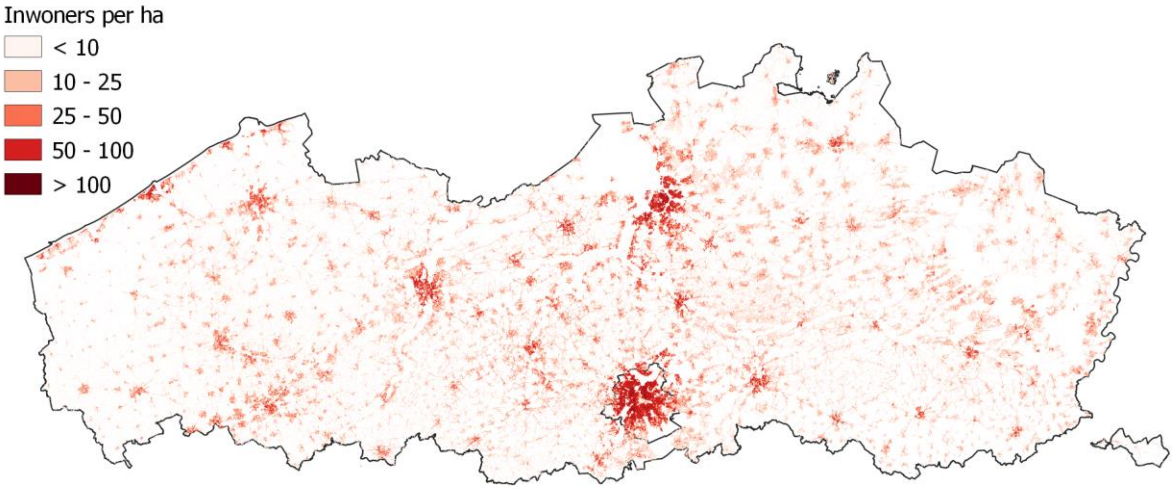
17	Detailhandel en horeca	Functie activities- + oppervlaktevraag
18	Kantoren & administratie	Functie activities- + oppervlaktevraag
19	Overige diensten	Functie activities- + oppervlaktevraag
20	Zelfstandigen	Functie (zonder oppervlakte, enkel als secundaire activiteit)
21	Bos	Functie – oppervlakte gebaseerd
22	Grasland	Functie – oppervlakte gebaseerd
23	Moeras	Functie – oppervlakte gebaseerd
24	Heide	Functie – oppervlakte gebaseerd
25	Kustduin	Functie – oppervlakte gebaseerd
26	Slik en schorre	Functie – oppervlakte gebaseerd
27	Groen in de stad	Functie – oppervlakte gebaseerd
28	Bos geoptimaliseerd	Feature
29	Boomgaard hoogstam	Feature
30	Park	Feature
31	Militaire voorziening	Feature
32	Infrastructuur	Feature
33	Zeehaven	Feature
34	Water	Feature



Figuur 6: Landgebruikskaart voor basisjaar 2013

3.3.2 Bevolking per hectare

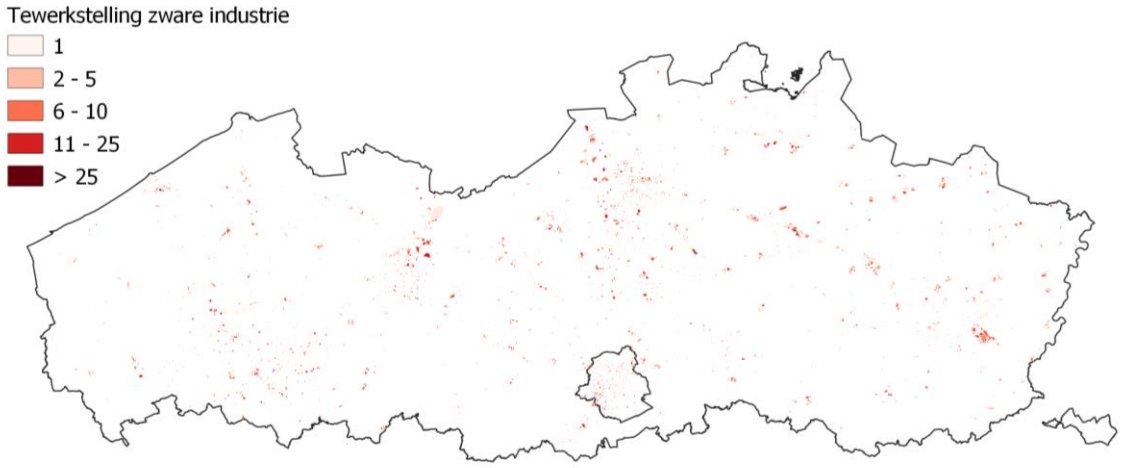
De totale bevolking per hectare is de primaire activiteit die hoort bij de landgebruikscategorie 'residentieel'. Deze kaart wordt opgemaakt op basis van informatie over het aantal inwoners per adrespunt van het rijksregister uit 2013. Deze worden op kaart gezet per 10x10 m² rastercel. Vervolgens wordt het resultaat gecorrigeerd per statistische sector op basis van de statistieken van Statbel (https://statbel.fgov.be/nl/open-data/bevolking-statistische-sector-1).
Deze kaart wordt vervolgens opgeschaald naar een resolutie van 1 ha door voor iedere hectarecel de som te maken van de onderliggende rastercellen van 10x10 m² (Figuur 7).

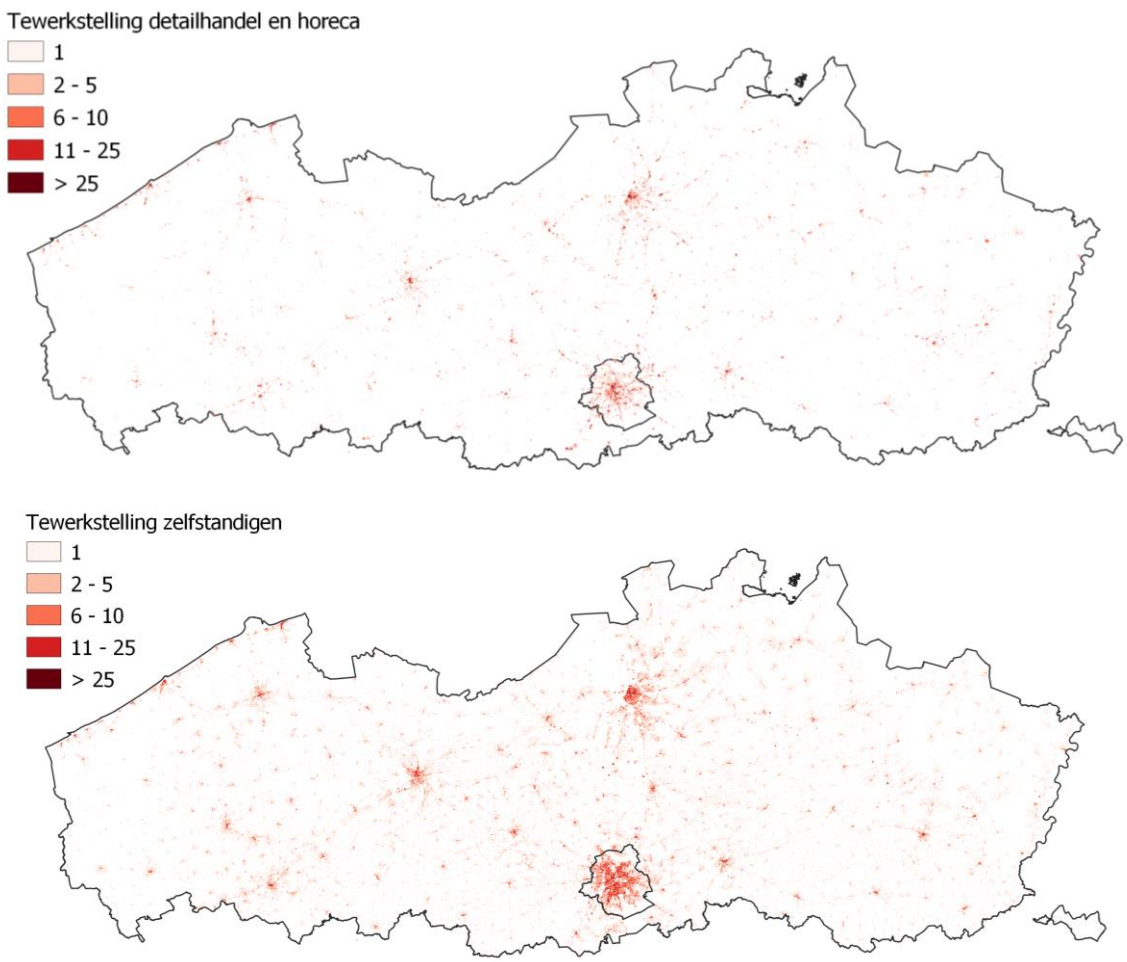


Figuur 7: Inwoners per hectare voor basisjaar 2013

3.3.3 Tewerkstelling per hectare

Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de kaart met de tewerkstellingsdichtheid per 10x10m² rastercel die beschikbaar is voor 2013 (Poelmans et al., 2016b). Deze tewerkstellingskaart is opgebouwd op basis van gegevens uit de Verrijkte Kruispuntdatabank van Ondernemingen (VKBO) die beschikbaar wordt gesteld door Informatie Vlaanderen (https://overheid.vlaanderen.be/magda-bron/vkbo). De VKBO bevat per vestiging en onderneming een inschatting van de tewerkstelling in klassen (1 tot 4 werknemers, 5 tot 9, 10 tot 19, 20 tot 49, 50 tot 99, 100 tot 199, 200 tot 499, 500 tot 999, 1000 en meer). Voor het opmaken van de tewerkstellingskaart wordt een verschillende aanpak gevolgd voor RSZ-vestigingen en niet-RSZ-vestigingen (zelfstandigen). Voor de RSZ-vestigingen wordt aan iedere vestiging het gemiddelde aantal werknemers op basis van de tewerkstellingsklasse toegekend. Vervolgens wordt het resultaat van deze bewerking gecorrigeerd per gemeente op basis van de statistieken van het RSZ (gedecentraliseerde statistiek - naar plaats van tewerkstelling van de werknemer https://www.rsz.fgov.be/nl/statistieken/publicaties/verdeling-van-de-arbeidsplaatsen-naar-plaats-van-tewerkstelling). Hiervoor worden de tewerkstellingsgegevens op de kaart gesommeerd per gemeente en proportioneel bijgesteld op basis van de afwijking tussen het gesommeerde totaal van de gemeente en de cijfers gerapporteerd voor die gemeente uit de RSZ-statistiek. Aan alle niet RSZ-vestigingen uit de VKBO (zelfstandigen) wordt 1 werknemer toegekend. Het resultaat van deze stap wordt eveneens gecorrigeerd per gemeente op basis van statistieken van het aantal hoofdjobs en statuut van het Steunpunt Werk (https://www.steunpuntwerk.be/node/2882). Voor een volledige beschrijving van de methode die werd gebruikt voor het opmaken van de tewerkstellingskaart per 10x10m² wordt verwezen naar het rapport Poelmans et al. (2016b). Deze kaarten worden vervolgens opgeschaald naar een resolutie van 1 ha door voor iedere hectarecel de som te maken van de onderliggende rastercellen van 10x10 m².
Het resultaat is een kaart met de tewerkstelling per hectare voor elk van de 10 economische sectoren die in rekening worden gebracht in het RuimteModel. Deze zijn de primaire activiteiten van de landgebruikscategorieën Lichte industrie, Zware industrie, Afval & afvalwater, Waterwinning & waterdistributie, Mijnbouw, Energie, Groothandel en transport & verkeer, Detailhandel en horeca, Kantoren & administratie, Overige diensten en Zelfstandigen. Figuur 8 toont de kaarten voor de Zelfstandigen, Zware industrie en Detailhandel en horeca.





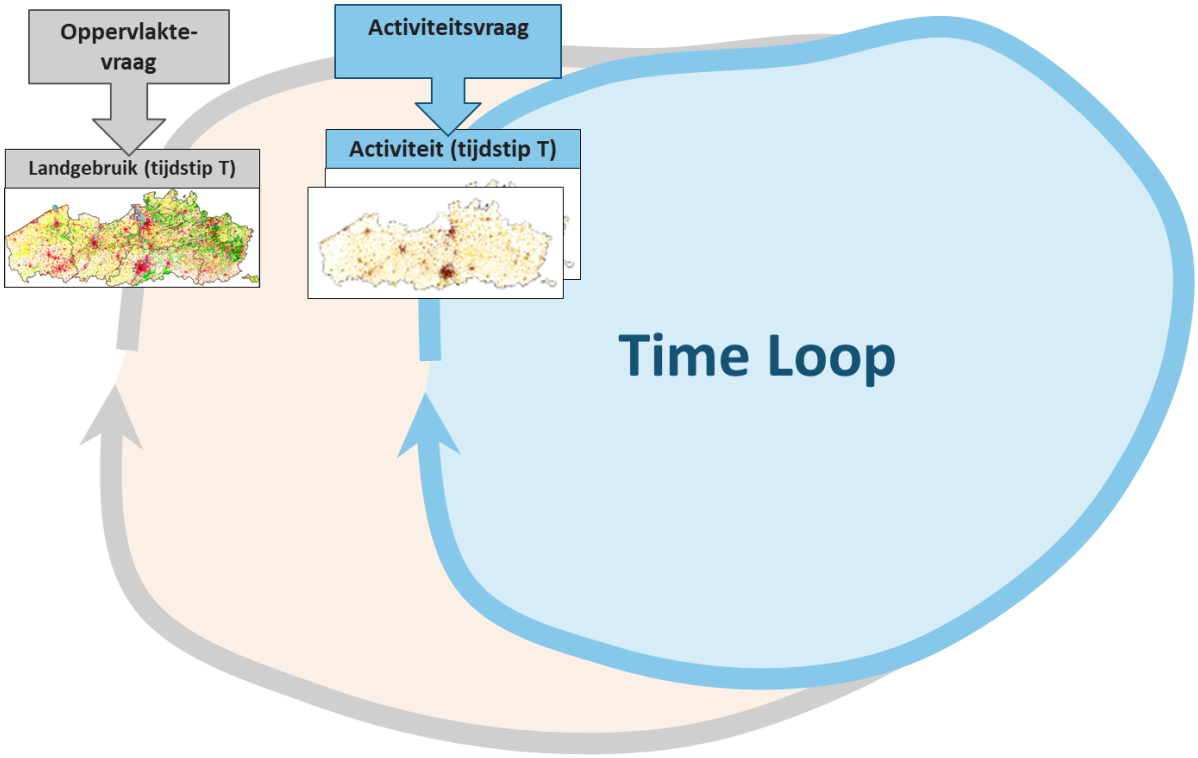
Figuur 8: Tewerkstelling per hectare voor zware industrie (boven), detailhandel (midden) en zelfstandigen (onder) voor basisjaar 2013

Actualisatie basisjaar RuimteModel

Alle nodige invoerlagen voor de modelinitialisatie (landgebruik – bevolking – tewerkstelling in de economische sectoren) worden op 3-jaarlijkse basis geactualiseerd binenn de referentietaak 'Data, indicatoren en analyse in relatie tot ruimtegebruik en leefomgeving' die VITO uitvoert in opdracht van het Vlaams Planbureau voor Omgeving. Deze datalagen worden vervolgens verspreid via de ruimtemonitor van het Departement Omgeving (https://www.ruimtemonitor.be/lagen) en Geopunt (https://www.geopunt.be/). Momenteel zijn de kaartlagen beschikbaar voor 2013, 2016 en 2019. De geactualiseerde kaarten voor zijn echter nog niet ingewerkt in het RuimteModel, dat momenteel nog altijd 2013 hanteert als basisjaar/startjaar van de simulaties. Het is met andere woorden mogelijk om het basisjaar van het model op 3-jaarlijkse basis te actualiseren. Zo'n actualisatie zou een beperkte herkalibratie van de modelparameters inhouden en het actualiseren van de overige inputlagen die in de volgende paragrafen worden beschreven.

3.4 REGIONALE TRENDS

De wijzigingen in landgebruik en activiteiten worden aangedreven door een aantal regionale (i.e. Vlaamse) groeitrends (Figuur 9).



Figuur 9: Schematische voorstelling regionale trends voor oppervlakte en activiteiten

3.4.1 Inwoners

3.4.1.1 Activiteitsvraag: aantal inwoners tot 2050

De verwachte bevolking wordt voor iedere jaarlijkse tijdstap steeds overgenomen uit de bevolkingsvooruitzichten van het Federaal Planbureau (https://www.plan.be/databases/data-35-nl-bevolkingsvooruitzichten_2020_2070). Het model vereist enkel een prognose voor het hele studiegebied (dus Vlaanderen en Brussel samen), maar in de historische kalibratie kan er wel geoptimaliseerd worden om per arrondissement de bevolkingsgroei zo goed mogelijk te krijgen.

Verschillende demografische prognoses voor Vlaanderen

Naast het Federaal Planbureau houdt ook Statistiek Vlaanderen zich bezig met bevolkings- en huishoudensprognoses voor Vlaanderen (https://www.statistiekvlaanderen.be/nl/bevolking/vooruitzichten). Statistiek Vlaanderen gebruikt een andere aanpak voor hun prognoses dan het Federaal Planbureau (Statistiek Vlaanderen: microsimulatiemodel – Federaal Planbureau: cohort-component methode). Deze microsimulatiemodellering heeft als belangrijkste voordeel dat naast de evolutie van de bevolking ook de huishoudenspositie van iedere inwoner en dus de samenstelling van de huishoudens kan worden bepaald voor de toekomst. Bovendien voert Statistiek Vlaanderen hun prognoses uit tot op het schaalniveau van de 300 Vlaamse gemeenten, daar waar het Federaal Planbureau hun prognoses uitvoert tot op het schaalniveau van de arrondissementen. Grootste nadelen van de prognoses van Statistiek Vlaanderen in functie van het gebruik in het RuimteModel Vlaanderen zijn:

- het ontbreken van prognoses voor het Brussels Hoofdstedelijk Gewest;
- de tijdshorizon van de prognoses: Statistiek Vlaanderen hanteert 2030 als een aanvaardbare horizon voor hun prognose, terwijl de vooruitzichten tot 2040 enkel als referentiekader worden beschouwd. Vooruitzichten na 2040 worden voorlopig niet gemaakt. Op 3-jaarlijkse basis wordt een actualisatie uitgevoerd, waarbij steeds wordt gestreefd naar een tijdshorizon van 15 jaar in de toekomst.

Tijdens een gezamenlijk overleg met de demografen van Statistiek Vlaanderen (Ingrid Schockaert, Jan Pickery) en het Federaal Planbureau (Marie Vandresse, Johan Duyck, Hendrik Nevejan) werden een aantal elementen besproken van het gebruik van de demografische prognoses in het RuimteModel:

- Het RuimteModel gebruikt trends op het niveau van Vlaanderen (+ Brussel) als input. Op dit schaalniveau zijn er, wat betreft de verwachte bevolkingsgroei, amper verschillen tussen de beide beschikbare prognoses. Dit is vooral zo omdat er grotdendeels met dezelfde of vergelijkbare hypothesen wordt gewerkt wat betreft verwachte vruchtbaarheid, sterfte, interne en internationale migratie. De gebruikte hypothesen zijn m.a.w. meer bepalend dan de gebruikte methodes (cohort-component vs. microsimulatie). Het lijkt daarom meer aangewezen om gebruik te blijven maken van de prognoses van het Federaal Planbureau in plaats van deze van Statistiek Vlaanderen o.w.v. de bovenvermelde nadelen (tijdshorizon, ontbreken van Brussel).
- Wat betreft huishoudensprognoses zijn de verschillen tussen beide aanpakken groter. Om die reden lijkt het dan ook meer aangewezen om het model, zoals nu, te blijven aansturen vanuit de groei in aantal inwoners in plaats vanuit de groei in aantal huishoudens.
- Voor het maken van de fijnschaligere prognoses (arrondissementen bij Federaal Planbureau en gemeenten bij Statistiek Vlaanderen) wordt geen rekening gehouden met ruimtelijke criteria, enkel met de demografische elementen. Het lijkt hierdoor te verantwoorden dat het RuimteModel de trends op het regionale schaalniveau als input gebruikt, eerder dan de fijnschaligere prognoses. Deze kunnen eventueel wel worden gebruikt voor de kalibratie van bepaalde scenario's. Voor het uitvoeren van de prognoses op gemeentelijk niveau zou op termijn zelfs kunnen worden nagedacht over een terugkoppeling vanuit het RuimteModel naar het microsimulatiemodel van Statistiek Vlaanderen ter ondersteuning van de gemeentelijke prognoses.
- Het Federaal Planbureau doet op jaarlijkse basis een herziening van de prognoses. Zo proberen bij deze herziening vooral de stabiliteit op lange termijn (richting 2070) te bewaken, binnen de grenzen van de gebruikte aannames. De prognoses kunnen wel relatief sterk verschillen op de korte termijn. Statistiek Vlaanderen herziet de prognoses op 3-jaarlijkse basis en gebruikt hiervoor steeds de meest recent beschikbare migratiecijfers (internationale migratie en migratie van/naar Wallonië en Brussel) uit de prognoses van het Federaal Planbureau.

Kenmerken van de bevolking

Momenteel wordt enkel de totale bevolking gebruikt als input in het model. Kenmerken van de bevolking, zoals geslacht, leeftijd, huishoudenspositie of socio-economische situatie worden dus niet gemodelleerd. Om deze kenmerken in rekening te kunnen brengen in het RuimteModel en dus verschillende groepen in de bevolking te modelleren, ontbreken momenteel heel wat zaken:

- Een kaart op een resolutie van 1ha met hierop de actuele toestand van deze kenmerken: heel wat gegevens over leeftijd, huishoudens, socio-economische kenmerken zijn beschikbaar tot op het niveau van de gemeenten of statistische sectoren, maar niet tot op een resolutie van 1ha.
- Trends of prognoses voor de toekomst: leeftijd en geslacht zijn beschikbaar in de demografische prognoses van het FPB en huishoudenspositie vanuit de prognoses van Statistiek Vlaanderen (tot 2030-2040). Socio-economische kenmerken worden momenteel niet gemodelleerd door de eerder vermelde demografische modellen (FPB, Statistiek Vlaanderen). Bij het FPB bestaan wel andere modellen die een inschatting maken van socio-economische kenmerken. Statistiek Vlaanderen heeft de intentie om op termijn een aantal variabelen toe te voegen in hun microsimulatiemodel (bv. herkomst, onderwijs, tewerkstelling), maar dit is nog niet concreet uitgewerkt.
- Kennis over eventuele verschillen in de ruimtelijke ontwikkelingen van de verschillende bevolkingsgroepen: deze kennis ontbreekt momenteel binnen het team dat het RuimteModel ontwikkelt en toepast. Er bestaan wel goede contacten met onderzoeksgroepen in binnen- en buitenland (bv. VUB (Cockx & Canters, 2020; Priem et al., 2020), University of Leeds (Lomax, 2021; Spooner et al., 2021)) die microsimulatiemodellen ontwikkelen en ervaring hebben met simulaties naar de toekomst toe gekoppeld aan o.a. landgebruik.

3.4.1.2 Oppervlaktevraag: oppervlakte residentieel landgebruik tot 2050

De vraag voor residentieel landgebruik is rechtstreeks afhankelijk van de activiteitsvraag voor bevolking, gemodereerd door een parameter die verdichting bepaalt (zie ook sectie 2). Het aantal inwoners dat wordt toegekend aan iedere cel is afhankelijk van (1) het aantal inwoners in die cel in de tijdstap t, (2) de transitiepotentiaal en (3) de kaart met richtdichtheden per cel.

Er is hierdoor geen aparte oppervlaktevraag voor residentieel landgebruik nodig als input in het RuimteModel, maar kan intern in het model berekend worden.

Voor het GAU-scenario werden de modelparameters en richtdichtheden zo ingesteld dat de totale groei van het ruimtebeslag in de buurt van een groei van 6 ha/dag kwam, terwijl voor het BRV-scenario de instellingen werden aangepast om te landen op 0ha/dag in 2040.

Alternatieve methode voor inschatting van de woonbehoefte

Binnen het Steunpunt Wonen wordt onderzoek uitgevoerd om de toekomstige woonbehoefte in te schatten. Vastmans en Dreesen (2021) onderzochten bv. verschillende benaderingen om de regionale vraag naar woningen de komende 10 jaar in te schatten op basis van de gemeentelijke huishoudensprognoses van Statistiek Vlaanderen. In een lopende studie voor het Department Omgeving, zal HIVA deze kennis toepassen om verschillende scenario's voor de toekomstige woonbehoefte op te stellen. Deze studie zal resulteren in een inschatting van de toekomstige nood (tot 2035) aan woningen per type (rijwoning, (half)open bebouwing, appartement) en per gemeente en dus niet in een oppervlaktevraag voor residentieel landgebruik, zoals nodig in het RuimteModel. Zodra de resultaten beschikbaar zijn, zou op basis van hun inschattingen, via een aantal assumpties over de gemiddelde oppervlaktevraag per type woning, wel een alternatieve oppervlaktevraag voor toekomstig residentieel landgebruik kunnen worden berekend die als input in het RuimteModel zou kunnen worden gebruikt. Nadeel is echter dat deze slechts beschikbaar zullen zijn tot 2035 en niet tot 2050.

In dezelfde studie zal ook worden onderzocht in welke mate er de laatste jaren verdichting is opgetreden binnen het woongebied (aan de hand van informatie uit het vergunningenregister). Op basis van deze recente trends zullen scenario's worden opgemaakt voor toekomstige verdichting. Deze kennis en scenario's kunnen op termijn worden gebruikt om de kaart met richtdichtheden per cel vorm te geven en om het RuimteModel te calibreren.

3.4.2 Tewerkstelling

3.4.2.1 Activiteitsvraag: aantal werknemers per sector tot 2050

De verwachte tewerkstelling in de verschillende sectoren in de toekomst bouwt verder op voorspellingen die zijn opgemaakt in functie van het PLANET-model van het Federaal Planbureau (Desmet et al., 2008). Het PLANET-model is een model dat werd ontwikkeld door het Federaal Planbureau en dat de relatie tussen de economie en transport modelleert om een projectie van de transportvraag op lange termijn te kunnen uitvoeren. Het model heeft hiervoor nood aan demografische en economische projecties op het niveau van de arrondissementen. Omwille van het feit dat de andere macro-economische modellen die beschikbaar zijn bij het Federaal Planbureau (MALTESE[1], HERMES[2]/HERMREG[3]) niet de nodige info kunnen geven, is er in het PLANET-model een macro-economische module ontwikkeld die de prognoses uit MALTESE en HERMES/HERMREG verfijnt tot op het gewenste ruimtelijke niveau van de arrondissementen en tot op het niveau van de verschillende economische sectoren uit HERMES. Dit gebeurt op basis van een statistische aanpak op basis van historische tijdsreeksen in combinatie met methode die aan iteratieve proportionele fitting (RAS-algoritme) doet. Resultaat is een verdeling van de totale tewerkstelling per arrondissement en per economische sector die op nationaal en regionaal niveau overeenkomen met de resultaten uit MALTESE en HERMES/HERMREG. Voor een gedetailleerde beschrijving van deze macro-economische module verwijzen we naar de 'working paper' van het Federaal Planbureau (Desmet et al., 2008). Nadeel van deze statistische aanpak die op een exogene manier macro-economische prognoses aanlevert aan het PLANET-model is dat er geen feedback of terugkoppelingen van transport naar de economie in rekening gebracht kan worden.
Er zijn echter geen andere macro-economische modellen beschikbaar die prognoses maken tot op dit detailniveau (in aantal economische sectoren die worden onderscheiden) en op een voldoende lange termijn om bruikbaar te zijn voor het RuimteModel Vlaanderen. Om die reden lijken de macro-economische prognoses uit PLANET de meest aangewezen databron om ook in het Ruimtemodel Vlaanderen in te zetten. In de meest recente toepassing van het RuimteModel zijn de cijfers uit PLANET versie 3.0 gebruikt.

Voor gebruik in het RuimteModel zijn echter nog een aantal verdere berekeningen nodig op de data die beschikbaar worden gesteld uit PLANET. In de eerste plaats komt de indeling in economische sectoren uit het RuimteModel niet volledig overeen met de economische takken die in PLANET worden gemodelleerd (deze zijn gebaseerd op de economische takken uit HERMES). Om die reden wordt een conversiematrix berekend die de economische sectoren uit het RuimteModel omzetten naar de HERMES-sectoren. Deze conversiematrix wordt berekend op basis van de huidige verdeling van de tewerkstelling per NACE-BEL sector. Tabel 2 toont de toedeling van de NACE-BEL sectoren aan de HERMES-sectoren in vergelijking met de toedeling aan de economische sectoren uit het RuimteModel. Samen met deze conversie wordt ook nog een opdeling in zelfstandigen en loontrekkenden uitgevoerd aangezien dit onderscheid niet beschikbaar was in de cijfers uit PLANET (versie 3.0). Een gedetailleerde beschrijving van deze conversie is opgenomen in Uljee et al. (2011).

[1] Maltese (Model for Analysis of Long-Term Evolution of Social Expenditure) is een macro-economisch model dat wordt ingezet om lange termijn effecten van de demografie op de economie (sociale zekerheid: pensioenen) op nationaal niveau in te schatten
[2] HERMES (Harmonized Econometric Research for Modelling Economic Systems) is een multisectoraal econometrisch model met een middellange tijdshorizon (5 jaar, meest recente prognoses 2021-2026) dat wordt ingezet op nationaal niveau.
[3] HERMREG is een multiregionaal model dat geënt is op HERMES (top-down benadering waarbij de nationale vooruitzichten worden opgesplitst per regio)

	Lichte industrie	Zware industrie	Afval & afvalwater, waterwinning & waterdistributie	Mijnbouw	Energie	Groothandel en transport & verkeer	Detailhandel en horeca	Kantoren & administratie	Onderwijs, gezondheiszorg en overige diensten
1. Landbouw (1, 2, 3)									
2. Energie			36, 37, 38, 39	10	5, 6, 9.1, 19, 20.53, 35, 49.5				
3. Verwerkende nijverheid									
a. Intermediaire goederen		20 (overig), 21, 23, 24, 25		7, 8. 9.9					
b. Uitrustingsgoederen		26, 27, 28, 29, 30							
c. Consumptiegoederen	10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18	22, 31, 32 (overig)				58			
4. Bouw	41, 42, 43								
5. Marktdiensten									
a. Vervoer en communicatie					60	49.1, 49.2, 49.3, 49.4, 50, 51, 53.2		53,1	61
b. Handel en horeca		33				45.111, 45.112, 45.191, 45.192, 45.31, 45.401, 46, 52, 95.1	45.113, 45.193, 45.194, 45.245.32, 45.402, 47, 55, 56, 95.2		
c. Krediet en verzekeringen								64, 65, 66	
d. Gezondheidszorg en maatschappelijke dienstverlening		32,5							86, 87, 88
e. Overige marktdiensten								68, 69, 70, 71, 73, 74, 77, 78, 79, 80, 82, 94	59, 60, 62, 63, 72, 75, 81, 90, 91, 92, 93, 96
6. Niet-verhandelbare diensten								84	
a. Overheidsdiensten en onderwijs									85, 99
b. Huishoudelijke diensten									97, 98

Tabel 2: Toewijzing NACE-BEL sectoren aan de HERMES-sectoren (rijen) vs. economische sectoren uit het RuimteModel (kolommen) (Uljee et al., 2011)

Ten tweede zijn de resultaten van het PLANET-model (versie 3.0) maar beschikbaar tot het jaar 2030. Latere jaren (2030-2050) zijn geëxtrapoleerd met een correctie voor de verwachte bevolkingsgroei volgens het Federaal Planbureau (zie paragraaf 0).

Tot slot worden de resultaten van PLANET die beschikbaar zijn tot op het niveau van de arrondissementen opnieuw gesommeerd tot de totalen van Vlaanderen en Brussel om als input in het RuimteModel te gebruiken.

Verbeterpunten inschatting tewerkstellingsvraag tot 2050

Een gesprek met Benoît Laine (Federaal Planbureau) wees de volgende verbeterpunten aan:

- Intussen zijn resultaten uit PLANET 4.0 beschikbaar: de macro-module uit deze versie van PLANET maakt reeds een onderscheid tussen het aantal zelfstandigen en het aantal werknemers voor elk van de HERMES sectoren. Door gebruik te maken van de resultaten uit PLANET 4.0 zou er dus geen extra opsplitsing meer hoeven te worden gemaakt tussen loontrekkenden en zelfstandigen zoals beschreven in Uljee et al. (2011).
- PLANET 4.0 heeft als tijdshorizon 2040. Dit ligt reeds dichter bij de tijdshorizon van het RuimteModel (2050). Bovendien heeft Benoît Laine aangegeven dat, hoewel het zichtjaar van PLANET slechts 2040 is, de macro-module van PLANET ook kan worden ingezet tot 2050 of 2060 (welke het zichtjaar van MALTESE is). Hij is bereid om deze gegevens ook te delen. Hierdoor zou het niet meer nodig zijn om een bijkomende extrapolatie te doen vooraleer de resultaten van PLANET als input in het RuimteModel kunnen worden gebruikt en wordt een consistentere tijdsreeks bekomen als input in het RuimteModel.
- PLANET 4.0 gebruikt 2019 als basisjaar. Bovendien wordt er iedere 3 jaren een actualisatie van de prognoses gemaakt. Dit zou overeenkomen met de actualisatiefrequentie van de overige kaartlagen die als invoer in het RuimteModel worden gebruikt (zie paragraaf 3.3). In PLANET 3.0 was het basisjaar 2015: dit kwam niet volledig overeen met het basisjaar van het RuimteModel, waardoor de tijdsreeks is aangevuld met observaties voor 2013 en 2014 vooraleer op de tijdsreeks van PLANET kon worden overgeschakeld in de invoerdata.

3.4.2.2 Oppervlaktevraag: oppervlakte economische sectoren tot 2050

De oppervlaktevraag voor economische sectoren wordt extern aan het RuimteModel berekend en opgelegd aan model als een tijdsreeks. Voor het GAU-scenario is de oppervlaktevraag van de

verschillende sectoren overgenomen uit het BAU-scenario van Engelen et al. (2011a). Engelen et al. (2011) schatten de toekomstige oppervlaktevraag voor economische sectoren in via een extrapolatie van de historische verdichtingstrends voor de verschillende sectoren. De 9 economische sectoren met een oppervlaktevraag zijn hiertoe ingedeeld in 3 geaggregeerde categorieën: Industrie (Lichte industrie, Zware industrie, Afval & afvalwater, Waterwinning & waterdistributie, Mijnbouw, Energie), Handel (Groothandel en transport & verkeer, Detailhandel en horeca) en Diensten (Kantoren & administratie, Overige diensten)[4]. Voor deze drie categorieën is het totaal aantal werknemers per sector berekend voor een jaarlijkse tijdsreeks vanaf 1995 door een sommatie van het aantal werknemers van de overeenkomstige NACE-sectoren (zie Tabel 2). De jaarlijkse dichtheid wordt vervolgens berekend door het totaal aantal werknemers te delen door de oppervlakte van kadastrale percelen voor elke geaggregeerde categorie op basis van de jaarlijkse kadastrale gegevens van de bebouwde percelen (https://statbel.fgov.be/nl/themas/bouwen-wonen/bodembezetting-volgens-het-kadasterregister#figures). De oppervlaktes van de bebouwde percelen worden daartoe bij elkaar opgeteld en vergeleken met de tewerkstelling van de gehanteerde categorieën volgens Tabel 3.
Op deze manier wordt een tijdsreeks van dichtheden (aantal werknemers / kadastrale oppervlakte) vanaf 1995 bekomen. Deze tijdsreeks wordt geëxtrapoleerd tot 2050. Vervolgens wordt de oppervlakte per sector tot 2050 berekend door het ingeschatte aantal werknemers volgens de macro-module van PLANET te delen door de geëxtrapoleerde dichtheden. Op basis van deze ingeschatte oppervlaktes wordt de relatieve groei per geaggregeerde categorie ten opzichte van het beginjaar van de simulatie (2013) bepaald. Deze relatieve groei per geaggregeerde categorie wordt tot slot toegepast op de werkelijke oppervlakte die iedere economische sector uit het RuimteModel inneemt in de landgebruikskaart.

Tabel 3 Relatie tussen de aard van de bebouwde percelen uit het kadaster en de geaggregeerde categorieën uit het RuimteModel

Aard bebouwd perceel	Categorie
Appartementen	Nvt
Building	Nvt
Huis, hoeve	Nvt
Bijgebouwen met inbegrip van serres	Nvt
Ambacht- en industriegebouwen	Industrie
Opslagruimte	Handel
Banken, kantoren	Diensten
Gebouwen met handelsbestemming	Handel
Openbare gebouwen	Diensten
Nutsvoorzieningen	Diensten
Sociale en ziekenzorg	Diensten
Onderwijs, onderzoek en cultuur	Diensten
Eredienst	Diensten
Recreatie, sport	Diensten
Andere	Diensten

[4] Zelfstandige activiteiten zijn enkel als secundaire activiteit meegenomen in het RuimteModel en hebben hierdoor geen oppervlaktevraag (zie Tabel 1)

Alternatieve methode voor berekening van de ruimtebehoefte van economische sectoren

IdeaConsult heeft sinds 2014 een aantal ruimtebehoefteramingen uitgevoerd voor bedrijvigheid op niveau van de bedrijventerreinen in heel Vlaanderen (Idea Consult, 2014) en op een (boven)lokaal schaalniveau in een aantal provincies en steden en gemeenten (https://www.ideaconsult.be/nl/projecten/hoeveel-ruimte-moeten-we-reserveren-voor-economie-de-komende-10-jaar). Zij gebruiken een zogenaamde terreinquotiëntmethode (TQM), die vergelijkbaar is met de gebruikte methode in het RuimteModel, om de ruimtebehoefte voor bedrijventerreinen in te schatten tot in 2035.

(Bron: IdeaConsult, 2021)

Belangrijkste verschilpunten van hun inschatting met deze in het RuimteModel zijn de volgende:

- Prognoses van de groei van de tewerkstelling zijn afkomstig van het HERMES/HERMREG model in plaats van van uit de macro-module van het PLANET model. Hierdoor hanteert IdeaConsult een minder lange tijdshorizon (HERMES/HERMREG voor periode 2021-2026, geëxtrapoleerd tot 2035) dan het RuimteModel. Bovendien voert IdeaConsult zelf een verfijning door om de gewestelijke groei van de tewerkstelling te verfijnen naar een provinciale groei via een shift-share analyse in plaats van via een iteratieve proportionele fitting, zoals gebruikt door het Federaal Planbureau in de macro-module van het PLANET model. Dit resulteert in iets andere gewestelijke en provinciale groeicijfers van de tewerkstelling dan de cijfers gebruikt in PLANET en het RuimteModel. Door de langere tijdshorizon van het RuimteModel lijkt deze aanpak minder geschikt dan de huidige werkwijze van het RuimteModel.
- In het gebruikte model van IdeaConsult wordt de groei van het aantal jobs niet rechtstreeks vertaald naar een ruimtevraag via terreinquotiënten, zoals in het RuimteModel, maar wordt de jobgroei eerst vertaald naar een toename van het aantal vestigingen (via een inschatting van de schaal van de vestigingen binnen de verschillende sectoren) en pas daarna omgezet naar ruimtebehoefte. Het voordeel van deze werkwijze is dat deze beter in staat is om de schoksgewijze evoluties van de ruimte-inname door bedrijven (die samenhangt met de komst van nieuwe ondernemingen of met stopzettingen) in rekening te brengen, eerder dan een continue groei die samenhangt met de tewerkstelling. Nadeel is dat prognoses over het aantal vestigingen (oprichtingen/stopzettingen) per sector niet bestaan en er dus een extra assumptie, in de vorm van scenario's, nodig is om het aantal vestigingen in te schatten (IdeaConsult, 2014).
- IdeaConsult houdt bij de inschatting rekening met bruto- en netto-evoluties van de tewerkstelling door een onderscheid te maken tussen jobcreatie en jobdestructie. Dit houdt in dat de groei van het aantal jobs in nieuwe bedrijven een andere invloed hebben op de ruimtevraag dan nieuwe jobs binnen bestaande bedrijven (die gedeeltelijk binnen de bestaande vestigingen kunnen worden opgevangen).
- In de studie voor de provincie Oost-Vlaanderen is er voor het maken van de inschatting van de ruimtevraag per vestiging een onderscheid gemaakt tussen het ruimtegebruik per vestiging in de provincie Oost-Vlaanderen en de overige provincies (IdeaConsult, 2021). De inschatting is hierdoor op maat van de provincie gedaan en de verschillende provincies kunnen hierdoor een verschillende ruimtevraag per extra vestiging hebben. In het RuimteModel, maar ook in de eerdere studie voor heel Vlaanderen (IdeaConsult, 2014), wordt er geen onderscheid gemaakt voor de ruimtevraag binnen Vlaanderen, maar wordt dezelfde ruimtevraag per werknemer of vestiging gehanteerd in heel Vlaanderen. Omwille van het feit dat het RuimteModel werkt met een regionale oppervlaktevraag en niet met een provinciale oppervlaktevraag, lijkt een soortgelijke provinciale verfijning van de vraag niet nodig in het RuimteModel. Het RuimteModel zelf zorgt, door de modelinstellingen, voor een ruimtelijke verdeling van de vraag. Eventueel kan worden geëxperimenteerd met een soortgelijke werkwijze als voor de residentiële groei (zie paragraaf 3.4.1.2), waarbij de oppervlaktevraag voor economische sectoren rechtstreeks wordt afgeleid van de groei van de activiteiten (tewerkstelling).
- IdeaConsult beperkt zich tot de ruimtevraag op bedrijventerreinen en houdt daarom enkel rekening met die vestigingen die op bedrijventerreinen gelegen zijn voor het berekenen van de ruimtevraag per vestiging. Hiervoor gebruiken ze de GIS Bedrijventerreinen van het Agentschap Ondernemen (in plaats van de kadastrale statistieken die voor het RuimteModel worden gebruikt). Omwille van het feit dat hier geen lange tijdsreeks van beschikbaar is, houden ze geen rekening met historische trends om de toekomstige ruimtevraag per sector te bepalen, maar baseren ze hun scenario's of hypothesen op basis van inschattingen van stakeholders. Deze hypothesen kunnen eventueel inspiratie geven voor nieuwe of andere scenario's voor het RuimteModel waarbij bv. hogere dichtheden worden nagestreefd.

3.4.3 Oppervlakte-gedreven landgebruiken

Voor alle oppervlakte-gedreven landgebruiken uit Tabel 1 wordt de trend gebaseerd op basis van een oppervlakte-vraag voor iedere landgebruikscategorie.
In het GAU-scenario is de oppervlaktevraag van deze natuurcategorieën gebaseerd op de Specifieke Instandhoudingsdoelstellingen Natura 2000 (S-IHD). De totale oppervlakte die nodig is voor de Europees beschermde habitats binnen de Speciale Beschermingszones volgens de Habitatrichtlijn (SBZ-H) worden als oppervlakte voor de categorieën Bos, Grasland, Moeras, Heide, Kustduin en Slik en schorre opgegeven. Tabel 4 geeft het overzicht van de habitattypes waarop de oppervlaktevraag is gebaseerd voor de verschillende landgebruikscategorieën.

Tabel 4: Oppervlaktevraag voor de verschillende oppervlakte-gedreven landgebruiken op basis van de Europees beschermde habitattypes

Landgebruik	Gebaseerd op S-IHD voor de habitattypes*:	Toestand 2013 (ha)	Gevraagd 2050 (ha)
Bos	9110, 9120, 9130, 9150, 9160, 9190, 91E0, 91F0	151208	157004
Grasland	1310, 1320, 1330, 1330, 6110, 6120, 6210, 6230, 6410, 6430, 6510	26328	29898
Moeras	7110, 7140, 7210, 7220, 7230	2135	2260
Heide	2310, 2330, 4010, 7150, 4030, 5130	8829	14923
Kustduin	2110, 2120, 2130, 2150, 2160, 2170, 2180, 2190	1550	2608
Slik en schorre	1130, 1140	84	2131

* Voor een beschrijving van de habitattypes, zie https://www.natura2000.vlaanderen.be/habitattypes

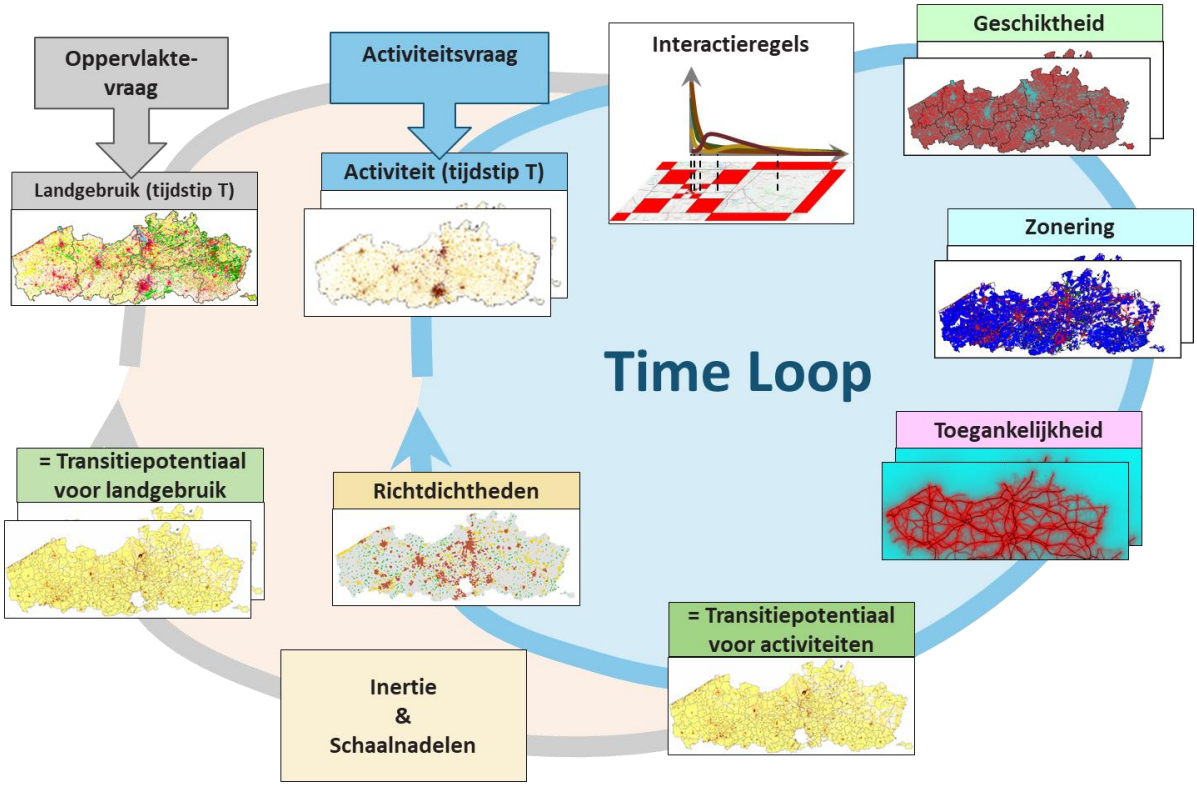
De landgebruikscategorie 'Groen in de stad' heeft geen oppervlaktevraag in het GAU-scenario. Dit type werd opgenomen in het kader van de Natuurverkenning 2050, maar kreeg geen invulling in het kader van de scenario's die werden opgesteld voor de studie rond het monetariseren van urban sprawl.
Binnen het H2020-project COASTAL wordt een groot aantal andere geplande natuurontwikkelingen in rekening gebracht in een specifiek scenario dat werd opgemaakt op maat van de Oudlandpolder. Zo wordt de oppervlaktevraag voor graslanden op basis van de S-IHD aangevuld met een extra oppervlaktevraag voor (natte) graslanden die wordt onderzocht in het kader van het landinrichtingsproject dat loopt voor de Oudlandpolder (bv. herstel van historische wetlands).

Extra activiteiten

Het RuimteModel laat toe om extra activiteiten, naast bevolking en tewerkstelling, toe te laten. Op die manier kunnen ook andere drivers van ruimtelijke ontwikkelingen in rekening worden gebracht. Om extra activiteiten toe te voegen is het nodig om te kunnen vertrekken van een kaart op een 1ha-resolutie voor het basisjaar van het model en te beschikken over trends voor deze activiteit naar de toekomst (bv. afkomstig uit andere modellen).
Een voorbeeld van zo'n extra activiteit is het toevoegen van landbouwactiviteiten (bv. opbrengsten per ha) zoals uitgetest in het GroWaDRISK-project dat werd uitgevoerd voor Belspo (https://www.belspo.be/belspo/fedra/proj.asp?l=nl&COD=SD/RI/05A). Een korte technische beschrijving van de werkwijze van dit aangepast model is beschreven in Bijlage C. Deze aangepaste versie van het RuimteModel bestaat enkel in een test-versie voor het Dijle en Demer-bekken en werd enkel ingezet binnen de wetenschappelijke onderzoekscontext van het Belspo-project en dus niet in projecten voor de gebruikers van het RuimteModel Vlaanderen. Een doorontwikkeling is wel mogelijk indien de noodzaak er zou zijn om toekomstige landbouwactiviteiten beter in beeld te brengen binnen het RuimteModel.

3.5 MODELPARAMETERS

Zoals vermeld in paragraaf 2.3.1 worden de landgebruiksveranderingen en veranderingen in activiteiten gestuurd vanuit de transitiepotentiaal (Figuur 10). Deze wordt berekend op basis ruimtelijke interactieregels (het neighbourhood effect) en een aantal locatiefactoren (geschiktheid, zonering, toegankelijkheid). Deze transitiepotentiaal wordt vervolgens gebruikt om landgebruiksklassen en activiteiten toe te wijzen aan bepaalde rastercellen. Voor de bevolkingsdichtheid kan er hierbij een kaart worden gebruikt met minimale en maximale dichtheden (richtdichtheden). In deze paragraaf wordt besproken hoe deze interactieregels, locatiefactoren en dichtheidskaarten zijn ingevuld in het GAU-scenario.

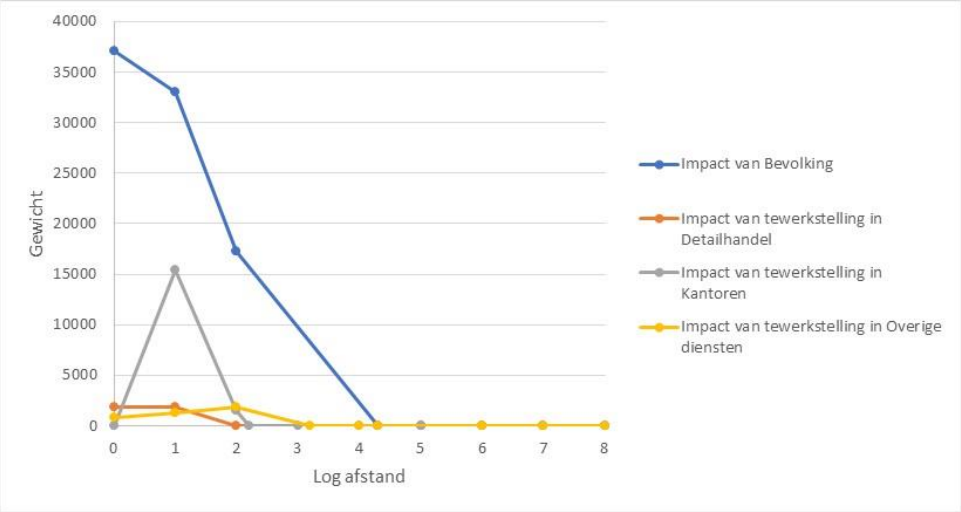


Figuur 10: Schematische voorstelling berekening transitiepotentiaal en dichtheden per activiteit

3.5.1 Interactieregels

De modelregels bouwen enerzijds verder op een historische kalibratie van het model om de interacties tussen de verschillende activiteiten in grote lijnen te observeren, en anderzijds op een expert-gebaseerde inschatting van het gewenste beleid in elk scenario.
De historische kalibratie is gebaseerd op een aantal beschikbare kaarten voor het verleden (1986, 2001, 2013). De regels en parameters van het model worden met een semi-automatische aanpak onderzocht (Crols, 2017). Boven- en ondergrenzen voor alle regels en parameters worden manueel vastgezet, maar de beste waarde wordt bepaald door een optimalisatiealgoritme (CMA-ES of Covariance Matrix Adaptation Evolution Strategy). Deze semi-automatische aanpak zorgt ervoor dat er geen zogenaamde overkalibratie optreedt en dat onlogische (combinaties van) parameterwaarden vermeden worden. Tabel 5 en Figuur 11 geven een voorbeeld van 4 significante effecten op de activiteit *bevolking*.
Tabel 5 moet als volgt worden geïnterpreteerd: in iedere rij van Tabel 5 zijn de cijfers van één van de grafieken van Figuur 11 weergegeven. Deze geven dus de impact van de aanwezige bevolking (blauw) en tewerkstelling in de detailhandel en horeca (oranje), kantoren (grijs) en overige diensten (geel) in de omgeving van iedere cel op de transitiepotentiaal voor bevolking weer.
De kolommen moeten per twee worden gelezen: links staat steeds de logaritmische afstand (uitgedrukt in de niveaus 'L' van het variabele grid, zie paragraaf 2.2), rechts staat het gewicht w dat bij deze afstand hoort (zie paragraaf 2.2). Hoe hoger het gewicht, hoe sterker de interactie tussen beide types van activiteiten. De grafiek toont inderdaad dat de meeste relaties (sterk) positief zijn op korte afstand en kleiner worden verder weg.
Een voorbeeld van een volledige set van regels is terug te vinden in Bijlage A.

Figuur 11: Gewichten van de interactieregels die de bevolking beïnvloeden.



Tabel 5: Gewichten van een aantal interactieregels die de bevolking beïnvloeden. De inertie wordt op de theoretische afstand “-1” geplaatst. Alle andere afstanden zijn logaritmisch (uitgedrukt in niveaus van het variabele grid). Tussenliggende gewichten worden lineair geïnterpoleerd.

Impact van	afstand	gewicht	afstand	gewicht	afstand	gewicht	afstand	gewicht	afstand	gewicht	afstand	gewicht	afstand	gewicht	afstand	gewicht	afstand	gewicht
Bevolking	-1	7.85 E+07	0	37120	1	33040	2	17232	4.3	0.70	5	0.21	6	0.045	7	0.01	8	0
Detailhandel en horeca	0	1902	1	1884	2	41	4.3	0.19	5	0.05	6	0.01	7	0.0026	8	0		
Kantoren & administratie	0	11	1	15422	2	1471	2.2	42	3	31	4	23	5	18.7	7	13	8	0
Overige diensten	0	804	1	1239	2	1812	3.2	0.03	4	0.003	5	2.0 E-04	6	3.07 E-05	7	5.2 E-06	8	0

3.5.2 Geschiktheidskaart

De geschiktheidskaarten beschrijven vooral de fysische toestand van elke cel in functie van zijn potentie om een bepaald landgebruik te ondersteunen en worden weergegeven als een kaart met een score tussen 0 en 1.
De geschiktheidskaarten zijn samengesteld op basis van een sommatie van een aantal onderliggende kaarten. De onderliggende kaarten worden hiertoe eerst geclassificeerd naar kaarten met een score tussen 0 en 10. Deze scores geven het belang voor de geschiktheid van elke individuele klasse in de kaart weer. Een locatie met een waarde van 10 is dus zeer geschikt voor de activiteit in kwestie, een locatie met een waarde van 0 is uitermate ongeschikt voor dit type van activiteit. De gewichten die worden gebruikt in het GAU-scenario per klasse zijn af te lezen in Bijlage B. Deze gewichten tonen bv. aan dat steile hellingen helemaal ongeschikt zijn voor de meeste economische activiteiten en ongeschikt voor bewoning. Hoe minder steil de hellingen: hoe hoger de geschiktheid.
Vervolgens wordt het belang van iedere kaart in de totale som gewogen. Deze gewichten worden vermenigvuldigd met de onderliggende geclassificeerde kaarten. Indien dus het gewicht van een kaart op nul wordt gezet hebben meteen de waarden van de klassen geen belang meer in de weging. Tabel 6 toont de gewichten die aan de afzonderlijke kaarten worden gegeven. Zo zijn de overstromingsgebieden bv. redelijk belangrijk in het bepalen van de geschiktheid voor wonen en werken (gewicht van 8-9-), terwijl de bodemassociatiekaart minder van belang is (gewicht 2-3). Voor een gedetailleerde beschrijving van de gebruikte kaartlagen verwijzen we naar het rapport van Uljee et al. (2011). Ook de gebruikte gewichten in het GAU-scenario zijn overgenomen uit Uljee et al. (2011). In een laatste stap wordt de gesommeerde kaart lineair herschaald naar een score tussen 0 en 1.

Tabel 6: Gewichten van de onderliggende kaartlagen voor de aanmaak van de geschiktheidskaarten in het GAU-scenario

	Residentieel	Lichte industrie	Zware industrie	Afval & afvalwater, waterwinning & waterdistributie	Mijnbouw	Energie	Groothandel en transport & verkeer	Detailhandel en horeca	Kantoren& administratie	Overige diensten
Bodemassociaties	3	3	2	2	6	2	3	3	3	3
Erosiegevoeligheid	5	5	3	3	3	3	5	5	5	5
Risicozones overstromingen	8	9	9	9	9	9	8	8	8	8
Helling	6	8	9	9	9	9	7	6	6	6
Zuiveringszones	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Waterwingebieden	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
cemt_50	0	4	6	6	6	6	3	0	1	1
cemt_100	0	4	5	5	5	5	3	0	1	1
Afstand tot havens 50	0	3	6	6	6	6	2	0	1	1
Afstand tot havens 100	0	3	4	4	4	4	2	0	1	1
Landgebruik	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Het GAU-scenario houdt enkel rekening met de fysische toestand van de cellen. Er kunnen echter ook andere ruimtelijke criteria die eerder socio-economisch of beleidsmatig van aard zijn in de

geschiktheidskaart worden ondergebracht. Zo wordt in het BRV-scenario dat werd opgemaakt in de studie rond Monitariseren van urban sprawl rekening gehouden met de 'Kansenkaart Ruimtelijk rendement' die een afweging geeft op basis van ruimtelijke criteria die zijn opgenomen in het Beleidsplan Ruimte Vlaanderen (Poelmans et al., 2020). Locaties met een hoge kans voor een verhoging van het ruimtelijk rendement kregen hierbij een hogere geschiktheid dan locaties met een lage kans voor een verhoging van het ruimtelijk rendement.

3.5.3 Beleidskaart

De beleidskaarten beschrijven vooral de institutionele zoneringtoestand van iedere cel en geven aan of een cel al dan niet mag (of moet) ingenomen worden door een bepaald landgebruik voor verschillende perioden in de toekomst. Dit wordt uitgedrukt in een score tussen 0 (locatie mag niet worden ingenomen door de activiteit in kwestie) en 1 (locatie mag wel worden ingenomen door de activiteit in kwestie). Deze kaarten zijn variabel doorheen de simulatieperiode: de zoneringstoestand kan met andere woorden wijzigen in de tijd. Hiervoor worden verschillende periodes gehanteerd waarbinnen dezelfde zoneringstoestanden geldig zijn. Het aantal periodes die in rekening wordt gebracht, is instelbaar. In het huidige RuimteModel wordt met 2 verschillende periodes gewerkt:

- periode 1: van de start van de simulatie tot 2025
- periode 2: van 2025 tot het einde van de simulatie (2050)

Tabel 7 geeft weer welke instellingen er werden gebruikt voor de verschillende landgebruikscategorieën.

De verklaring van de gebruikte symbolen is als volgt:

- '+' toegelaten voor het landgebruik op middellange termijn (dus vanaf periode 2 of dus vanaf 2025)
- '++' reeds toegelaten voor het landgebruik bij aanvang van de simulatie (2013, dus zowel in periode 1 als in periode 2 toegelaten)
- '-' verboden voor het landgebruik gedurende de hele simulatieperiode (verboden in periode 1 en periode 2)
- ' ' staat voor 'geen uitspraak' (kaart wordt niet in rekening gebracht bij het bepalen van de zoneringstoestand)

De zones met een '+' zijn verboden in het begin van de simulatie (2013-2025), maar niet meer vanaf 2025. De overgang tussen deze twee periodes verloopt daarbij gradueel. Het technische voordeel van deze graduele overgang in de beleidsstatus ten opzichte van een abrupte overgang is dat onrealistisch gedrag van het model wordt voorkomen in de eerste tijdstap van een nieuwe beleidsperiode (wanneer in 1 tijdstap plots veel nieuw land beschikbaar kan komen). Bovendien wordt de realiteit veel beter weergegeven omdat de beleidsstatus van het land gradueel verandert in ruim gedefinieerde beleidsperiodes.
Tabel 7 moet als volgt worden geïnterpreteerd: de kaarten die in rekening worden gebracht voor het bepalen van de zoneringstoestand zijn de Ruimteboekhouding RSV (toestand 2014) en verschillende kaarten die een bepaalde beschermingsstatus in functie van natuur of landschappen weergeven. Woonbestemmingen uit de Ruimteboekhouding zijn toegelaten locaties voor residentieel landgebruik en voor een aantal economische activiteiten, zoals detailhandel, kantoren en overige diensten. De groene en landbouwbestemmingen uit de ruimteboekhouding worden geleidelijk toegelaten vanaf 2025. In de bestemmingen binnen de poorten en een aantal locaties die een beschermingsstatus genieten vanuit het natuurbeleid is het residentieel landgebruik niet toegelaten.
De natuurcategorieën in het RuimteModel zijn niet opgenomen in Tabel 7. Voor deze landgebruiken is de beleidskaart opgemaakt op basis van de zoekzones voor de instandhoudingsdoelstellingen

(https://www.geopunt.be/catalogus/datasetfolder/c1c4d674-f94a-42b8-a70d-098ddb0e9ced). Natuuruitbreiding kan enkel voorkomen binnen de zoekzones. Deze zoekzones zijn bovendien uitgesloten voor ontwikkeling van andere landgebruikscategorieën (zie Tabel 7).

Tabel 7 Overzicht beleidskaarten in GAU-scenario

		Residentieel	Lichte industrie	Zware industrie	Afval & afvalwater, waterwinning & waterdistributie	Mijnbouw	Energie	Groothandel en transport & verkeer	Detailhandel en horeca	Kantoren& administratie	Overige diensten
Ruimteboekhouding 2014	Wonen	++	-	-	-	-	-	-	+	+	+
	Recreatie	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Natuur en reservaat	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Overig groen	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Bos	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Landbouw	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Industrie buiten poorten	++	+	+	+	+	+	+	-	-	-
	Industrie binnen poorten	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-
	Overige	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VEN / IVON		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bosreservaten		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gebieden beschermd volgens het duinendecreet		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vlaamse en erkende natuurreservaten		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Landschappelijk waardevol gebied			-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zoekzones instandhoudingsdoelstellingen		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

3.5.4 Bereikbaarheid en afstanden in de interactieregels

Het wegen- en spoorwegennetwerk werden overgenomen uit de studie van Crols et al. (2015), waarbij de wegen heringedeeld werden in een aantal categorieën die makkelijk bruikbaar zijn om reistijden te berekenen voor de interactieregels. Deze types zijn:

- Op- en afritten
- Snelwegen
- Expreswegen
- Hoofdwegen

- Secundaire wegen
- Lokale wegen
- Wegen in stadscentra

Naast wegen, spoorwegen en stations, zijn ook de bushaltes van De Lijn en de bevaarbare waterwegen uit de Vlaamse Hydrologische Atlas beschikbaar.

De bereikbaarheid $X_{K,i,s}$ t.o.v. een transportnetwerk s (bv. snelwegen) wordt berekend als:

$$X_{K,i,s} = a_{s,K} \,/\, (a_{s,K} + d_{i,s}) \qquad (4)$$

met $a_{s,K} > 0$ een afstandsvervalparameter (halfwaarde) die aangeeft hoe belangrijk het is dat transportnetwerk s dichtbij activiteit K gelegen is, en d de kortste Euclidische afstand tussen cel i en een segment van netwerk s. De bereikbaarheid X_{Ki} t.o.v. alle transportnetwerken wordt gedefinieerd als:

$$X_{Ki} = \frac{1 - \prod_s (1 - w_{s,K}\, X_{K,i,s})}{1 - \prod_s (1 - w_{s,K})} \qquad (5)$$

met $0 \leq w_{s,K} \leq 1$ een parameter die het relatieve gewicht van transportnetwerk s voor activiteit K voorstelt (Gobin et al., 2009). Voorbeelden voor het GAU-scenario zijn te vinden in Tabel 8 en Tabel 9.

Tabel 8: Afstandsvervalparameter (halfwaarde in aantal cellen) voor elk transportnetwerk.

Afstandsvervalparameter	Op- en afrit	Snel-weg	Expres-weg	Hoofd-weg	Secundaire weg	Lokale weg	Stads-weg	Spoor-weg	Sta-tion	Water-weg
Residentieel	30	0	20	20	15	15	15	0	20	0
Glastuinbouw (serres)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lichte industrie	40	15	25	20	15	10	5	10	10	10
Zware industrie	40	15	25	20	15	10	5	10	10	10
Afval & afvalwater, waterwinning & waterdistributie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mijnbouw	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Energie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Groothandel en transport & verkeer	40	20	25	20	15	5	5	10	10	10
Detailhandel en horeca	30	10	25	20	20	15	15	0	10	0
Kantoren & administratie	30	5	20	20	15	10	5	0	20	0
Overige diensten	30	5	20	20	15	10	5	0	20	0
Zelfstandigen	30	0	20	20	15	15	15	0	20	0
Bos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Grasland	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Moeras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Heide	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kustduin	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Slik en schorre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Groen in de stad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bos geoptimaliseerd	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 9: Gewicht van de transportnetwerken in de bereikbaarheid.

Gewicht van het netwerk	Op- en afrit	Snel-weg	Expres-weg	Hoofd-weg	Secundaire weg	Lokale weg	Stads-weg	Spoor-weg	Sta-tion	Water-weg
Residentieel	0.9	0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0	0.8	0
Glastuinbouw (serres)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Lichte industrie	0.9	0.5	0.8	0.7	0.6	0.3	0.2	0.5	0.3	0.5
Zware industrie	0.9	0.5	0.8	0.7	0.6	0.3	0.2	0.5	0.3	0.5
Afval & afvalwater, waterwinning & waterdistributie	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mijnbouw	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Energie	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Groothandel en transport & verkeer	0.9	0.5	0.8	0.7	0.6	0.3	0.2	0.5	0.3	0.5
Detailhandel en horeca	0.9	0.5	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0	0.3	0
Kantoren & administratie	0.9	0.5	0.8	0.7	0.6	0.3	0.2	0	0.3	0
Overige diensten	0.9	0.5	0.8	0.7	0.6	0.3	0.2	0	0.3	0
Zelfstandigen	0.9	0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0	0.8	0
Bos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Grasland	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Moeras	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Heide	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Kustduin	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Slik en schorre	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Groen in de stad	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bos geoptimaliseerd	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Naast de bereikbaarheid als afzonderlijke variabele die bijdraagt aan de potentiaal, worden de wegen en spoorwegen in het nieuwe RuimteModel ook gebruikt om de reistijd te bepalen tussen de cellen in het *neighbourhood effect* (Crols et al., 2015; Crols, 2017). De reistijd is een gewogen gemiddelde tussen de reistijd langs de weg en de multimodale reistijd langs het spoorwegnetwerk met een voor- en na-traject langs de weg en een gemiddelde wachttijd afhankelijk van de treinfrequentie, volgens:

$$t_{ij} = t_{m,ij} \frac{w_m \left(t_{r,ij}\right)^F}{w_m \left(t_{r,ij}\right)^F + w_r \left(t_{m,ij}\right)^F} + t_{r,ij} \frac{w_r \left(t_{m,ij}\right)^F}{w_m \left(t_{r,ij}\right)^F + w_r \left(t_{m,ij}\right)^F} \qquad (6)$$

met t_{ij} de reistijd tussen cellen *i* en *j*, $t_{m,ij}$ de multimodale reistijd tussen *i* en *j*, $t_{r,ij}$ de reistijd langs de weg tussen *i* en *j*, w_m een gewicht dat het belang van multimodaal reizen inschat, en w_r het complement hiervan als gewicht voor reizen langs de weg (met $w_r = 1 - w_m$). De exponent *F* verhoogt het belang van de snelste modus. Op die manier hebben locaties die zowel via de weg als via het spoorwegnetwerk bereikbaar zijn, een hogere bereikbaarheid dan locaties die enkel via een van beide modi vlot bereikbaar zijn.
Voor de volledigheid is ook nog een mechanisme ingebouwd dat voor een herschaling zorgt in cellen die niet met de trein bereikbaar zijn, omdat ze te ver van een station gelegen zijn (ingeschat op 10 km). De reistijden en frequenties tussen stations werden overgenomen uit data van de NMBS.
Crols et al. (2015) voerden een gevoeligheidsanalyse uit voor de parameters uit vergelijking (6) aan de hand van verschillende scenario's. In het GAU-scenario werd gekozen voor de instellingen uit het 'choice' scenario van Crols et al. (2015), met name $w_m = 0{,}3$ (en dus $w_r = 0{,}7$) en $F = 5$. Dit houdt dus een iets hoger gewicht in voor de bereikbaarheid via de weg dan via het spoorwegnetwerk.

3.5.5 Dichtheidskaarten

In het GAU-scenario worden geen minimale en maximale dichtheden opgelegd voor nieuw residentieel landgebruik. In het BRV-scenario wordt een minimum van 86 huishoudens (gemiddeld 2,28 inwoners per huishouden) opgelegd voor nieuwe ontwikkelingen in kernen (afbakening kernen, zie Vermeiren et al., 2019) en in cellen met hoge scores voor knooppuntwaarde en nabijheid voorzieningen (uit Verachtert et al., 2016).

3.6 MODELUITVOER

Standaard worden bij een modelrun de volgende kaartlagen met een resolutie van 1 ha weggeschreven op jaarlijkse tijdstappen:

- Landgebruik
- Activiteiten (bevolking, tewerkstelling in de verschillende economische sectoren)

Daarnaast kunnen een aantal ruimtelijke indicatoren worden gedefinieerd die kunnen worden berekend op basis van landgebruik en eventuele extra externe kaartlagen.
Resultaat van deze indicator-berekeningen is een kaart met een resolutie van 1ha met daarop de indicatorscore. Deze kaart kan worden gebruikt om statistieken te berekenen voor bv. Vlaanderen, per gemeente of voor eender andere geografische entiteit die groter is dan 1ha (bv. in de studie 'Monetariseren van de impact van urban sprawl' werden de indicatoren per sprawl-type geaggregeerd om een cijfer te geven per sprawl-type).
Ook kunnen de landgebruikskaart en indicatoren op hun beurt worden gebruikt als input voor nieuwe berekeningen die extern aan het RuimteModel gebeuren. In het kader van de

Natuurverkenning 2050 (Natuurrapport 2018) werden bv. een heel aantal indicatoren berekend door het Instituut voor Natuur en Bosonderzoek op basis van de landgebruikskaart van het RuimteModel (Stevens et al., 2019). Hierbij werden er dus extern aan het RuimteModel een aantal indicatoren berekend. Een ander voorbeeld is de studie 'Monetariseren van de impact van urban sprawl' waarin de, binnen het RuimteModel berekende, indicator 'Ruimtebeslag' gebruikt werd als input voor het berekenen van de Weighted Urban Proliferation (WUP, een maat die urban sprawl uitdrukt) in een externe rekentool (USM toolset - https://www.wsl.ch/fileadmin/user_upload/WSL/Services_Produkte/Software_Apps/USM/USM-Toolset-User-Manual.pdf).
In wat volgt wordt eerst een overzicht gegeven van de algoritmes die beschikbaar zijn om indicatoren te berekenen in het RuimteModel, met telkens een voorbeeld hiervan uit een project dat werd uitgevoerd met het RuimteModel. Vervolgens wordt een zo volledig mogelijk overzicht gegeven van indicatoren die werden berekend in een aantal eerdere studies. Alle indicatoren uit dit overzicht zijn ooit gebouwd in een toepassing van het RuimteModel en kunnen daardoor gemakkelijk en snel opnieuw worden ingebouwd in elke nieuwe toepassing of doorrekening met het model.

3.6.1 Beschikbare indicatoralgoritmes in het RuimteModel

Een aantal indicatoren kan rechtstreeks in het RuimteModel berekend worden via een aantal in het RuimteModel ingebouwde algoritmes. Voordeel van deze ingebouwde algoritmes is dat ze op een eenvoudige manier resultaten geven op jaarlijkse basis en hierdoor samenhangen met de andere modelresultaten zoals landgebruik en activiteiten.

FormulaIndicator

Recent werd een 'FormulaIndicator' toegevoegd aan het RuimteModel. Deze indicator laat toe om eender welk rekenscript, opgesteld in de vorm van een GDX script (https://geodynamix.eu/what-we-do/spatial-analysis), toe te voegen als indicator in het RuimteModel. Hierdoor is het in toekomstige toepassingen dus mogelijk om andere dan de hieronder vermelde indicatoren te berekenen binnen het RuimteModel.

3.6.1.1 Count-indicator

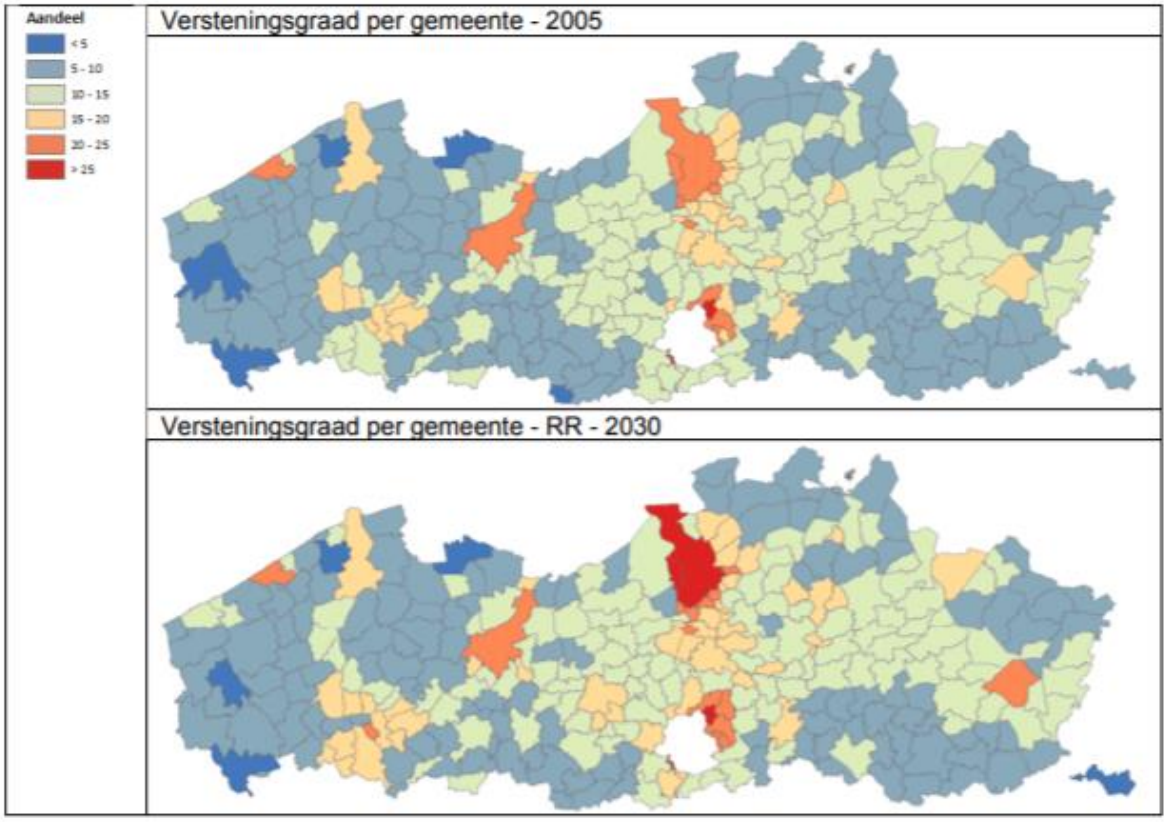
Dit algoritme wordt gebruikt om de verhouding te berekenen van de aanwezigheid van een bepaald type van landgebruik binnen een bepaalde omgeving (i.e. een vast te leggen straal). Hierbij kan een bepaald gewicht worden meegegeven aan ieder type van landgebruik. Indien de straal > 0 kan de berekening een mate van verweving tussen bepaalde types landgebruik uitdrukken of een dichtheidsmaat voorstellen.

Voorbeeld: Versteningsgraad van Vlaanderen (Uljee et al., 2011)

De indicator weerspiegelt de versteningsgraad (of verhardingsgraad), en kijkt hierbij naar de afdichting van ieder type van landgebruik. Deze wordt enerzijds uitgedrukt per gemeente, en anderzijds als een verwevingsindicator die rekent in een zoekstraal van 1 km.
Voor de berekening werd de verhardingsgraad per type landgebruik vooraf berekend op basis van een GIS-overlay van de landgebruikskaart en de bodembedekkingskaart van het NGI. Deze gemiddelde verhardingsgraad per type van landgebruik (uitgedrukt in percentages die variëren tussen 1% en 71%) worden als gewicht meegegeven aan de verschillende landgebruikstypes in het algoritme. Door het wijzigende landgebruik in de tijd, wijzigt dus ook de gemiddelde verhardingsgraad van Vlaanderen in de tijd. Aan de hand van een post-processing wordt dit vervolgens uitgedrukt per gemeente (Figuur 12).

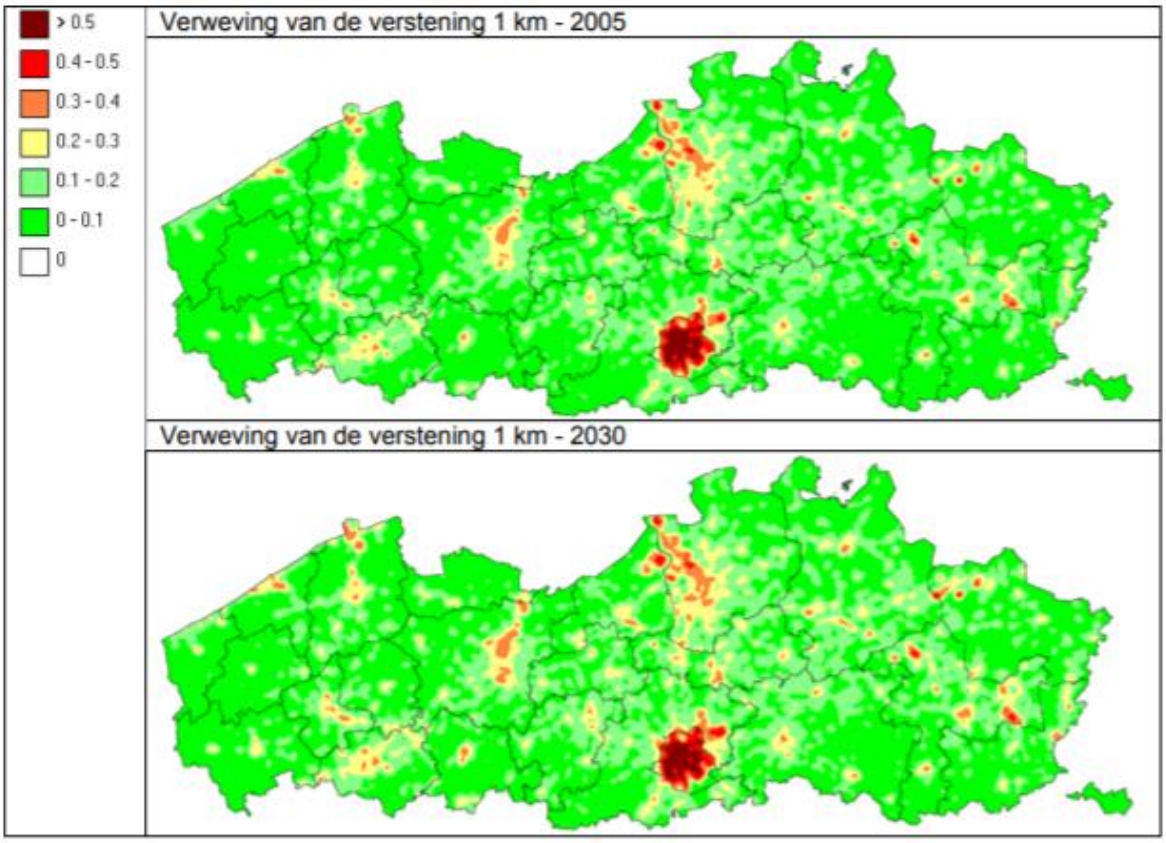
Verbetering inschatting verhardingsgraad

Intussen is er een bodemafdekkingskaart beschikbaar bij Informatie Vlaanderen die gebruikt zou kunnen worden voor het berekenen van de actuele verhardingsgraad per landgebruik in plaats van de bodembedekkingskaart van NGI. Deze bodemafdekkingskaart was in 2011, bij het opmaken van deze indicator, nog niet beschikbaar.
Naast het verbeteren van de inschatting van de verhardingsgraad voor het basisjaar van het model, kan ook de berekeningswijze van de indicator worden verbeterd. De bestaande indicator 'versteningsgraad' vertrekt van een constante verhardingsgraad per landgebruikstype. Binnen het GroWaDRISK-project werd, voor een test-gebied in het Demer – Dijle bekken echter vastgesteld dat door het gebruik van meervoudige regressiemodellen de inschatting van de verhardingsgraad sterk kon verbeteren ten opzichte van een aanpak die is gebaseerd op de gemiddelde verhardingsgraad per landgebruik (Vanderhaegen et al., 2015). In deze regressiemodellen waren verschillende variabelen opgenomen die beschikbaar zijn binnen het RuimteModel (bv. in de vorm van bestaande indicatoren zoals de dichtheid van de bebouwde ruimte in een straal van 500m). Het implementeren van soortgelijke modellen in het RuimteModel is dus mogelijk.
In de bovenstaande beschrijving wordt verharding enkel als een indicator, afgeleid van landgebruik, beschouwd. Een andere mogelijkheid is om de verharding op een meer actieve manier te modelleren zoals is toegepast in het doctoraat van Frederik Priem (VUB). Priem & Canters (2021) ontwikkelden een Quantitative State Cellular Automata (QCA) model dat werd toegepast op bodembedekking/verharding in plaats van op landgebruik zoals het RuimteModel. Dit model werd ontwikkeld als een proof-of-concept en getest voor de provincie Vlaams-Brabant en het Brussels Hoofdstedelijk Gewest op een 30x30 m² resolutie voor de periode 1987-2013. De auteurs vermelden als mogelijk verbeterpunt in hun methode het toevoegen van ruimtelijke informatie over activiteiten zoals bevolkings- en tewerkstellingsgroei. Op dat vlak lijkt een koppeling met het RuimteModel, waarin deze informatie expliciet beschikbaar is, een verbetering voor beide modellen. Dit zou een technische koppeling van beide modellen betekenen, waarbij inputs en outputs van beide modellen uitgewisseld worden.
Een andere mogelijkheid is om de logica die wordt gebruikt om verharding te modelleren in het model van Priem & Canters (2021) te vertalen naar deze van het RuimteModel. De methode van Priem & Canters (2021) is eveneens gebaseerd op de berekening van een transitiepotentialen op basis van afstandsafhankelijke gewichten die gekalibreerd worden. Een mogelijke piste zou dus kunnen zijn om 'verharding' als activiteit toe te voegen in het RuimteModel.



Figuur 12: Versteningsgraad per gemeente (Uljee et al., 2011)

De bovenstaande berekeningswijze houdt enkel rekening met de gemiddelde versteningsgraad per hectare-cel (die vervolgens wordt geaggregeerd per gemeente), maar door het instellen van een zoekstraal van 1km, kan het patroon van de verharding beter worden vastgesteld. Binnen de gemeentegrenzen wordt zo ook duidelijk waar zich de werkelijk verharde gebieden bevinden. Deze Count-indicator houdt naast de ingeschatte verhardingsgraad van elke landgebruik-cel ook rekening met de versteningsgraad in de omgeving van die cel (in een straal van 1 km). Op die manier wordt een gradiëntkaart berekend waarbij een waarde van 0.5 erop wijst dat in het gebied met deze cel als middelpunt en een straal van 1 km het oppervlak voor de helft verhard is.



Figuur 13: Dichtheid van de verharding binnen een straal van 1km (Uljee et al., 2011)

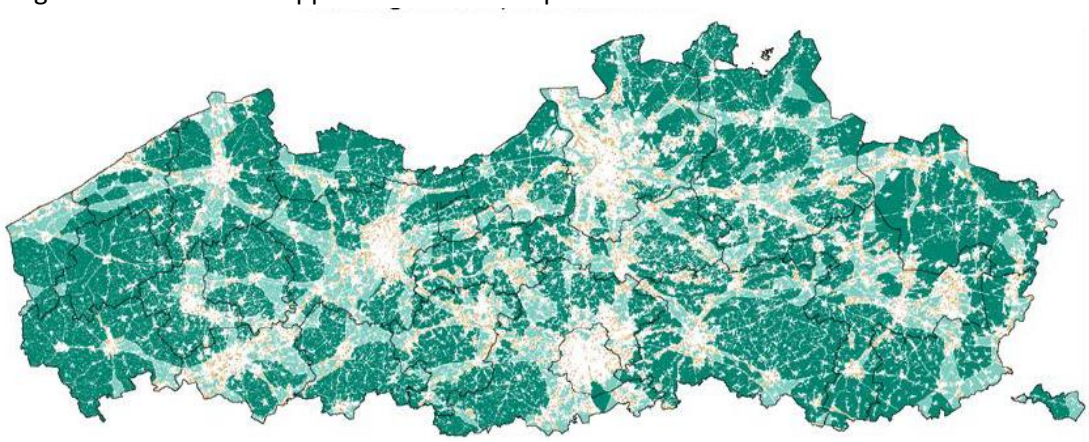
3.6.1.2 Cluster-indicator

Deze indicator laat toe om clusters van aaneengesloten landgebruiken af te bakenen. Hierbij kan worden aangegeven welke landgebruikscategorieën wel of niet tot de cluster mogen behoren en welke eventuele barrières de cluster kunnen doorsnijden. Als barrière kunnen de verschillende infrastructuurnetwerken die worden gebruikt voor het berekenen van de toegankelijkheid in het RuimteModel (zie paragraaf 3.5.4) worden gekozen. Iedere hectare-cel wordt deel van een cluster indien minstens 1 van diens buurcellen ook deel uitmaakt van de cluster en er geen barrière tussen beide cellen gelegen is.

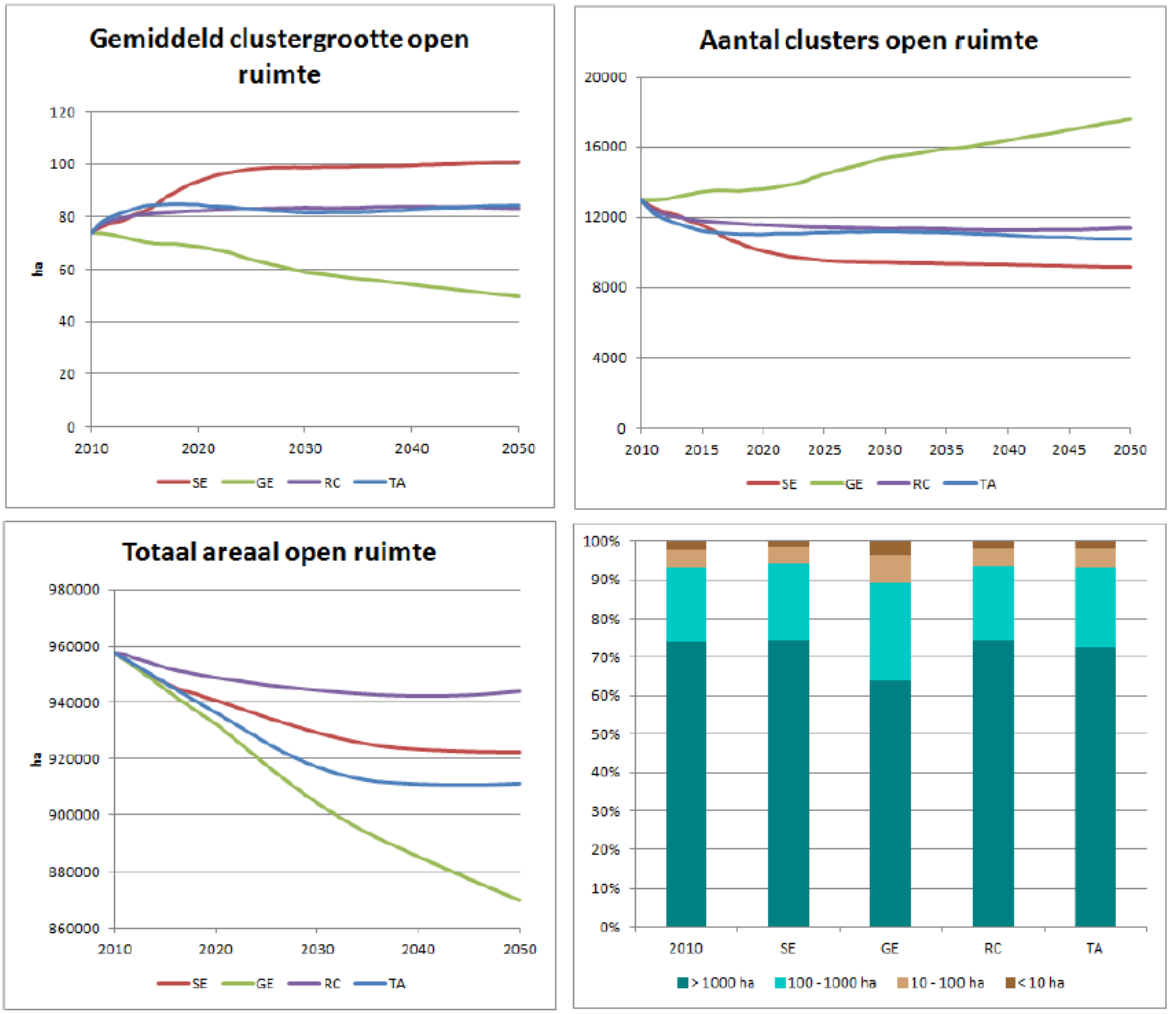
Voorbeeld: Aaneengeslotenheid van de open ruimte (Engelen et al., 2011a)

Deze indicator toont de aaneengeslotenheid en oppervlakte van de open ruimte. De open ruimte is hierbij gedefinieerd als alle landgebruikstypes met een landbouwfunctie, alle natuurcategorieën, de parken, wateroppervlakken en de overige niet-bebouwde categorieën. De verschillende infrastructuurelementen (op- en afritten, autosnelwegen, expreswegen, hoofdwegen, regionale wegen, spoorwegen en bevaarbare waterlopen) vormen de obstakels die de open ruimte versnijden.

Het resultaat van de indicatorberekening is een kaart met hierin de grootte van de open ruimte clusters. Deze kaart heeft waarden tussen 1 (i.e. geïsoleerde open ruimte cel) en de oppervlakte van de grootste cluster. Een waarde '0' wordt gegeven aan alle rastercellen die niet tot de open ruimte behoren. De clustergroottes op kaart werden opgedeeld in 4 categorieën: < 10ha, 10-100ha, 100-1000ha en > 1000ha (Figuur 14). Figuur 15 toont een aantal cijfers voor Vlaanderen die simultaan worden berekend op basis van de kaart. Het gaat bv. om het totaal aantal clusters, de gemiddelde clustergrootte en de totale oppervlakte van alle open ruimte clusters.



Figuur 14: Clustergrootte van de open ruimte (Engelen et al., 2011a)



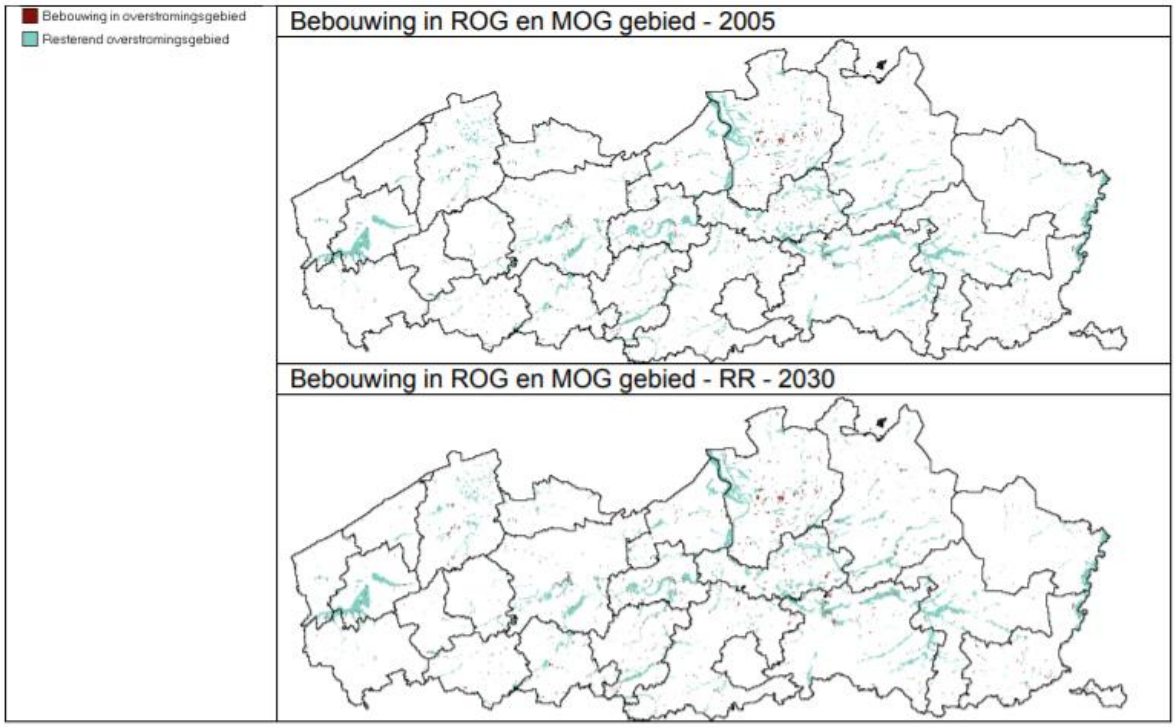
Figuur 15: Evolutie van de open ruimte clusters volgens 4 scenario's (Engelen et al., 2011a)

3.6.1.3 Disturbance-indicator

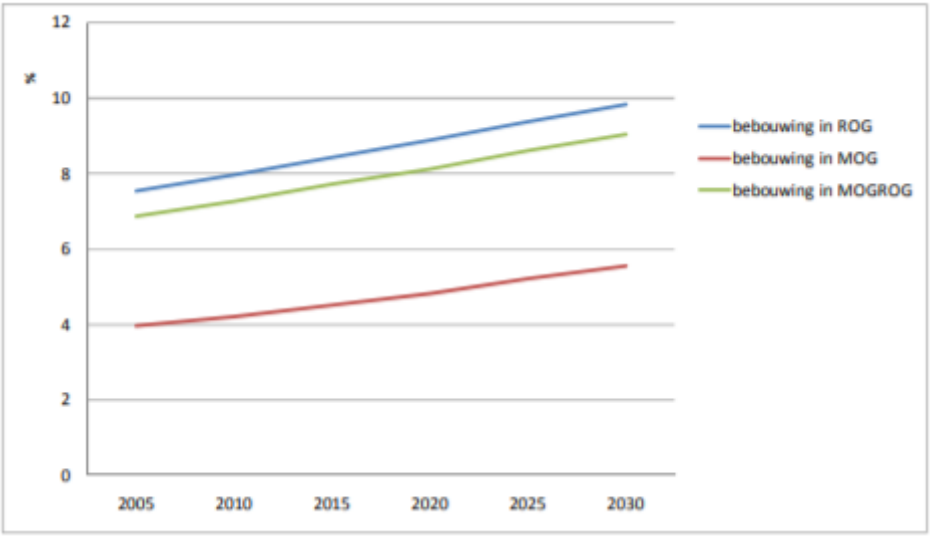
Deze indicator wordt gebruikt om de mate van overlap van bepaalde landgebruiken met een externe kaartlaag te berekenen. Deze externe kaartlaag kan een zone voorstellen of kan een continue invoerkaart zijn ('WeightedDisturbance'-indicator). Bij een 'WeightedDisturbance'-indicator wordt de mate van overlap gewogen aan de hand van de waarde van de locatie op de invoerkaart.

Voorbeeld: Bebouwing in overstromingsgebieden (Uljee et al., 2011)

Deze indicator toont de locatie en het aandeel van de Recent overstroomde gebieden (ROG) en de GeModelleerde Overstromingsgevoelige Gebieden (MOG) dat is ingenomen door bebouwde landgebruiken (Figuur 16 en Figuur 17).



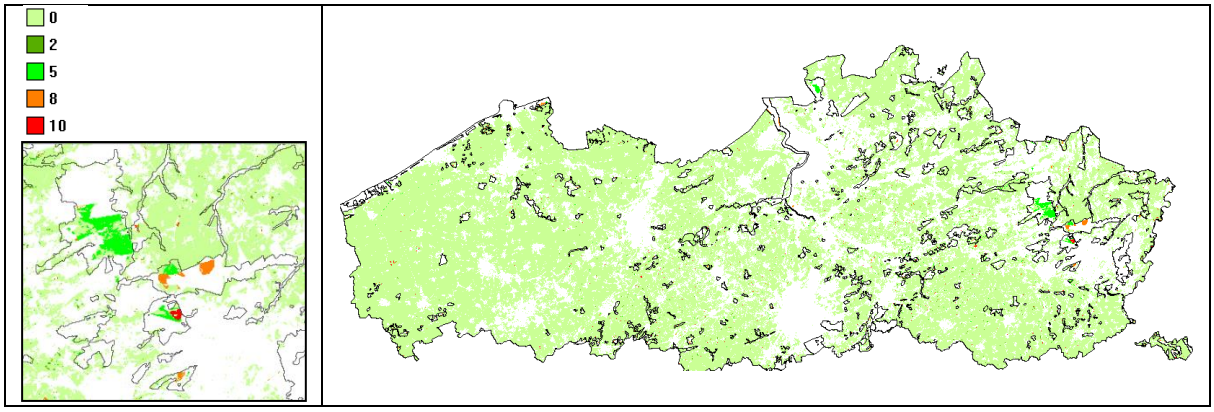
Figuur 16: Bebouwing in ROG en MOG gebieden (Uljee et al., 2011)



Figuur 17: Aandeel van de ROG en MOG zones ingenomen door bebouwing (Uljee et al., 2011)

Voorbeeld: Inname van locaties met een hoge landbouwimpact door instandhoudingsdoelen (Poelmans et al., 2012)

In opdracht van ANB werd, op basis van het RuimteModel, een optimalisatiemodel ontwikkeld voor het alloceren van de instandhoudingsdoelstellingen in de Speciale Beschermingszones (SBZ) van Natura2000. Binnen dit KalibratieModel werd een indicator opgemaakt die berekende welk aandeel van de percelen met een hoge landbouwkundige waarde (op basis van de LandbouwImpactStudie, LIS, van het Departement Landbouw & Visserij) werd ingenomen door natuurdoelen. Hierbij werd een hoger gewicht gegeven aan locaties met een hogere landbouwkundige waarde dan aan percelen met een lagere landbouwkundige waarde. De indicator wordt berekend als het gewogen gemiddelde (oppervlakte landbouwgevoelige percelen ingenomen door natuurdoelen * landbouwwaarde) / (totale oppervlakte landbouwgevoelige percelen). Figuur 18 toont het resultaat van de berekening, waarbij een waarde '0' op de kaart locaties aanduidt met een landbouwgevoeligheid, maar die niet zijn ingenomen door natuurdoelen, terwijl de locaties met een waarde > 0 locaties zijn met een landbouwkundige waarde (hoogste landbouwkundige waarde krijgt een score '10') die wel zijn ingenomen door natuurdoelen.



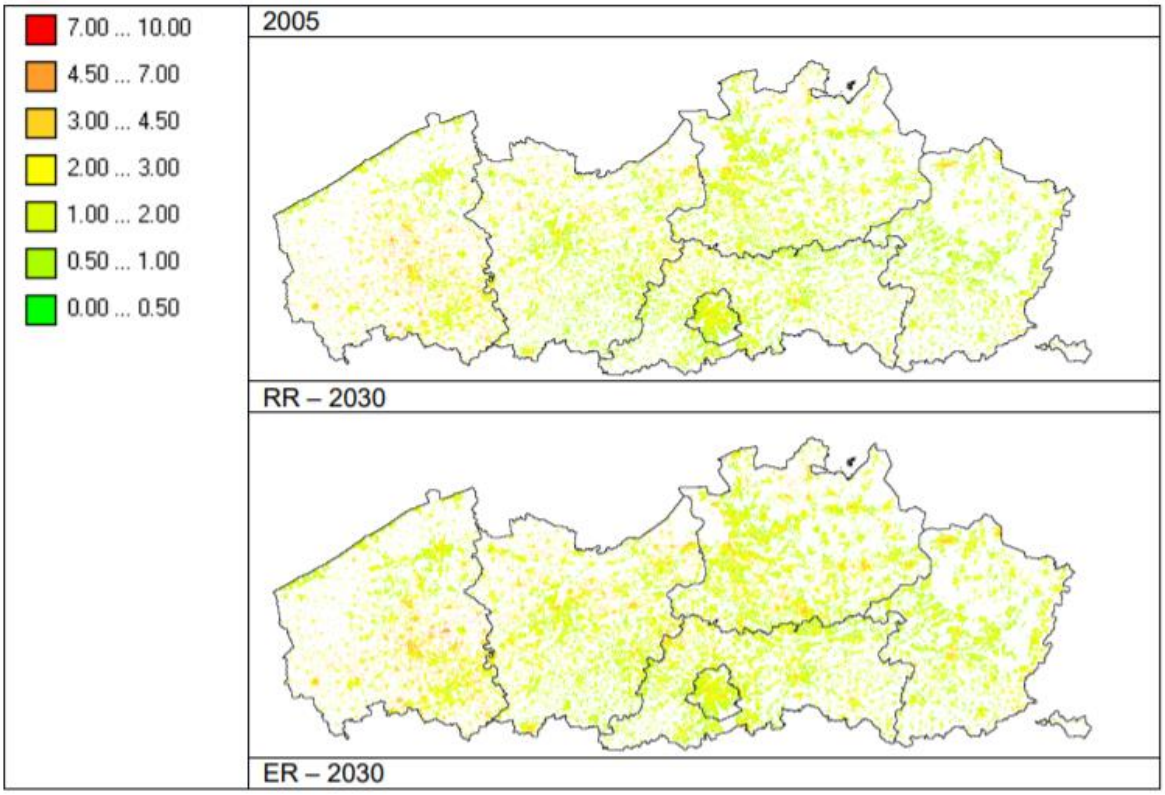
Figuur 18: Inname van landbouwgevoelige gebieden (Poelmans et al., 2012)

3.6.1.4 Distance-indicator

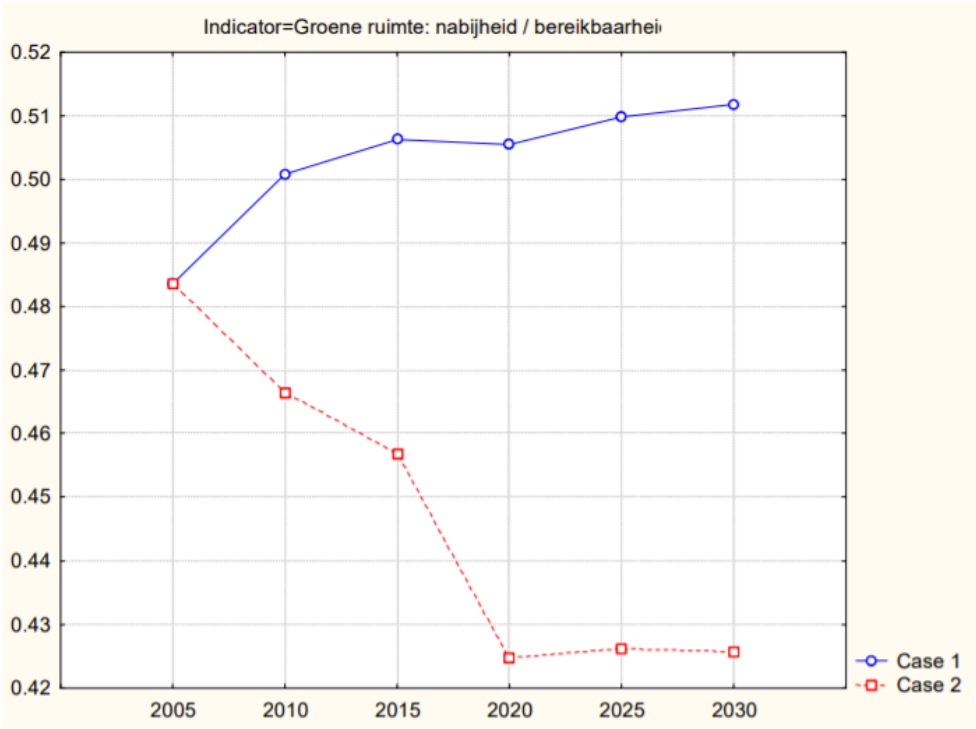
Deze indicator wordt gebruikt om de afstand van bepaalde landgebruiken tot een specifiek landgebruik of een specifieke locatie op een externe kaartlaag te berekenen.

Voorbeeld: Nabijheid van groene ruimte tot wonen (Gobin et al., 2009)

Deze indicator is berekend als een maat om de druk op verschillende ecosystemen te berekenen en zijn berekend voor alle locaties met als landgebruik 'residentieel'. Voor iedere residentiële cel wordt de afstand, in vogelvlucht, tot de dichtstbijzijnde locatie met 'groene ruimte' (gedefinieerd als landgebruiken met een natuurfunctie) berekend (Figuur 19). De indicator kan ook worden geaggregeerd tot de gemiddelde afstand van alle residentiële cellen in Vlaanderen om op die manier de evolutie weer te geven (Figuur 20).



Figuur 19: Nabijheid van groene ruimte tot wonen (Gobin et al., 2009)



Figuur 20: Gemiddelde nabijheid (in km) tussen wonen en groene ruimte volgens 2 scenario's (Gobin et al., 2009)

3.6.1.5 Population/JobDensity-indicator

Deze indicator werd, in de oude versie van het RuimteModel, gebruikt om de inwoners- en tewerkstellingsdichtheid in de tijd te kunnen opvolgen per hectare-cel. Doordat het 'nieuwe' RuimteModel naast landgebruik ook activiteiten modelleert, is een extra indicator om de inwoners-

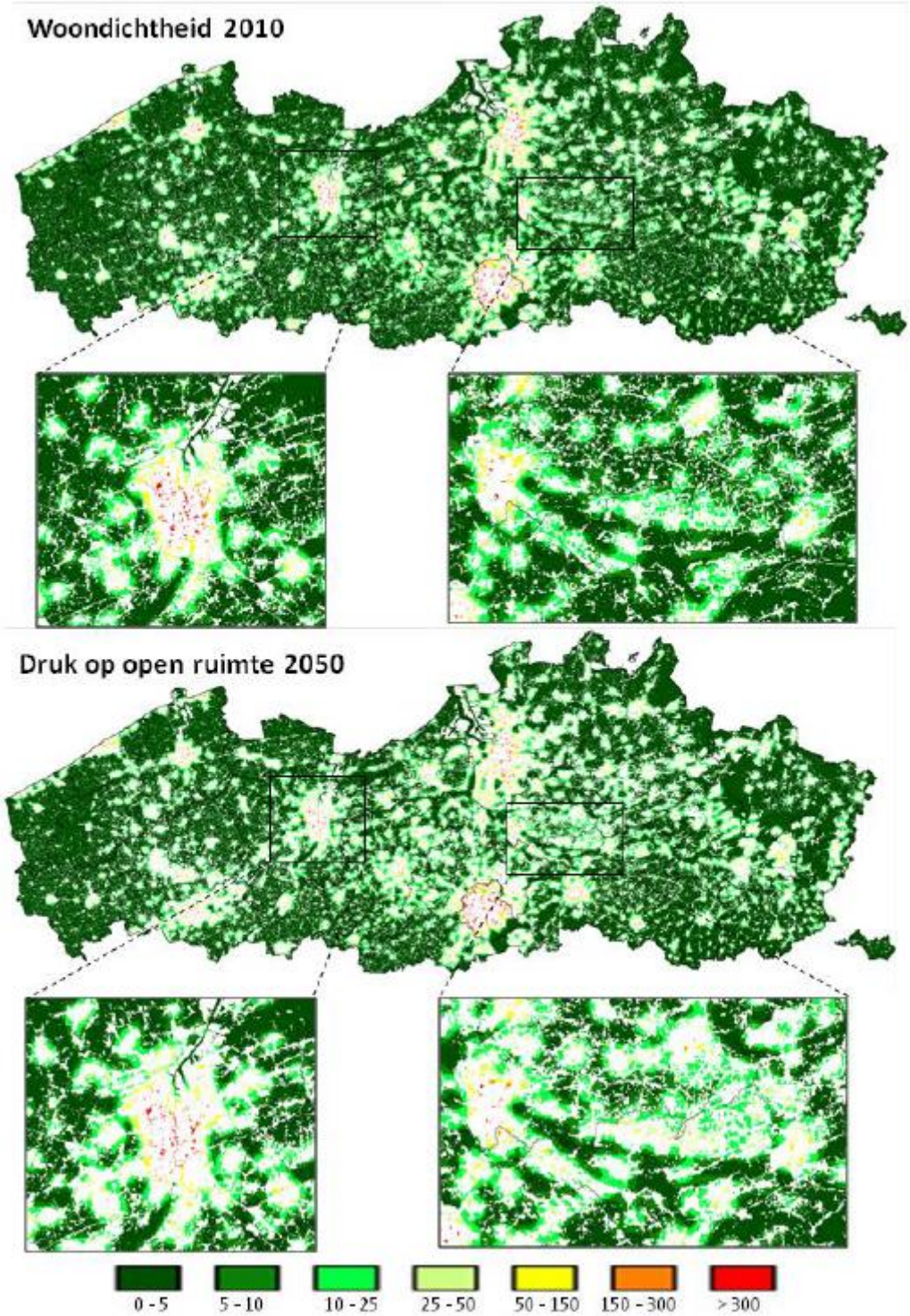
en tewerkstellingsdichtheid te berekenen niet meer nodig. Deze behoren intussen dus tot de standaard-output van het RuimteModel.

3.6.1.6 CountDensity-indicator

Deze indicator is een uitbreiding van de Count-indicator en wordt gebruikt om het aandeel inwoners te berekenen dat woont binnen een bepaalde straal rondom een landgebruikscategorie.

Voorbeeld: Bevolkingsdruk op de open ruimte (Engelen et al., 2011b)

Deze indicator berekent voor elke cel in de open ruimte het aantal inwoners dat woont binnen een straal van 1 km. Deze inwoners worden beschouwd als potentiële gebruikers van de open ruimte. Zij oefenen op die manier druk uit op de open ruimte.



Figuur 21: Bevolkingsdruk op de open ruimte (Engelen et al., 2011)

3.6.1.7 Ruimtebeslag-indicator

In de studie 'Monetariseren van de impact van urban sprawl' werd een indicator ontwikkeld die het Ruimtebeslag per ha weergeeft. Deze werd gebruikt om vervolgens de mate van urban sprawl te berekenen aan de hand van de WUP-indicator (Vermeiren et al., 2019).

Hiervoor wordt vertrokken van de indicator ruimtebeslag per hectare die beschikbaar is voor 2013 en 2016 (Poelmans et al., 2016b). Ieder jaar wordt deze ruimtebeslagkaart geactualiseerd aan de hand van de veranderingen in landgebruik en activiteiten (inwoners en tewerkstelling). Hiervoor

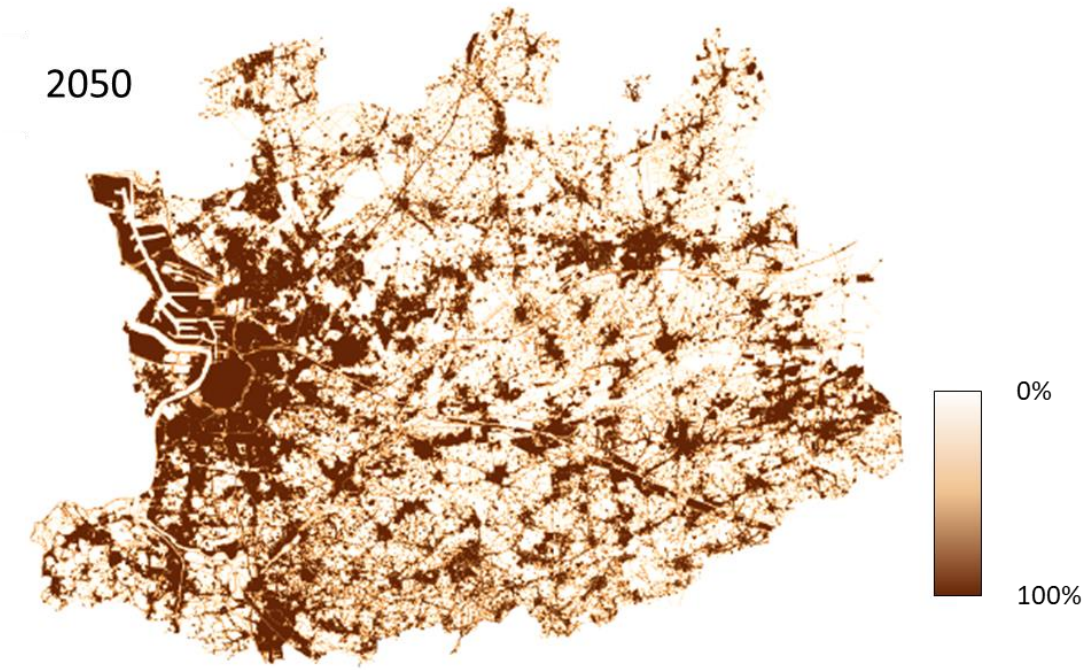
wordt de activiteit in klassen verdeeld en voor iedere klasse is het gemiddelde ruimtebeslag bepaald op basis van de ruimtebeslagkaart van 2016 (Tabel 10).

Tabel 10: Omzetting activiteitsgraad per hectare in ruimtebeslag per ha

Ondergrens activiteit (tewerkstelling + inwoners per ha)	Bovengrens activiteit (tewerkstelling + inwoners per ha)	Gemiddelde ruimtebeslag
0	5	40%
5	10	66%
10	20	88%
20	30	99%
> 30		100%

Het ruimtebeslag voor een jaar wordt bepaald in functie van de verandering die optreedt ten opzichte van het voorgaande jaar:

- Als het landgebruik in een cel verandert van onbebouwd in bebouwd, wordt het ruimtebeslag gelijkgesteld aan het maximum van het huidige ruimtebeslag en het gemiddelde ruimtebeslag van de klasse waarin de som van de activiteiten valt
- Als het landgebruik in een cel verandert van bebouwd in onbebouwd, wordt het ruimtebeslag gelijkgesteld aan het minimum van het huidige ruimtebeslag en het gemiddelde ruimtebeslag van de klasse waarin de som van de activiteiten valt
- Als de som van de activiteiten groeit en de boven-klassegrens overschrijdt, verhoogt het ruimtebeslag naar het gemiddeld ruimtebeslag van de klasse
- Als de som van de activiteiten daalt binnen een bebouwde cel, verandert het ruimtebeslag niet
- Als de som van de activiteiten daalt binnen een onbebouwde cel, daalt het ruimtebeslag indien de onder-klassegrens wordt overschreden.



Figuur 22: Ruimtebeslag-indicator – uitsnede provincie Antwerpen (Vermeiren et al., 2009)

3.6.2 Overzicht indicatoren in eerdere studies

3.6.2.1 Milieu- en Natuurverkenning 2030 (Gobin et al., 2009; Uljee et al., 2011)

Een voorbeeld van de mogelijkheden wat betreft ruimtelijke indicatoren is de Milieu- en Natuurverkenning 2030 (MIRA 2009 – NARA 2009). Hierin werd een groot aantal ruimtelijke indicatoren berekend op basis van landgebruik en weggeschreven in jaarlijkse tijdstappen (Gobin et al., 2009). Het gaat hierbij onder andere om bevolking in overstromingsgebieden, bevolking in niet-gerioleerd gebied, versteningsgraad van de ruimte, aaneengeslotenheid van de open ruimte, inname van woonuitbreidingsgebieden, dichtheid van de bebouwde ruimte, afstand van inwoners tot hoofdwegennetwerk, verweving van bebouwing in landbouwgebied, druk op de groene ruimte, … In 2011 werden, bij de verfijning van het RuimteModel en de doorrekening van de scenario's tot 2050 (Uljee et al., 2011) nog een aantal indicatoren toegevoegd aan het model. Tabel 11 geeft het volledige overzicht van alle indicatoren en het soort algoritme dat werd gebruikt voor de berekening. Het gaat hierbij vaak om indicatoren die de impact van landgebruik op de omgeving proberen in kaart te brengen.

Tabel 11: Indicatoren doorgerekend in functie van MIRA/NARA 2009 en MIRA 2011 (Gobin et al., 2009, Uljee et al., 2011)

Indicatoren	Type indicator	Sector/thema
Oppervlakte versteende ruimte	Landgebruik	Wonen
Omzetting naar versteende ruimte	Landgebruik	Wonen
Inname van woonuitbreidingsgebieden	Disturbance	Wonen
Omzetting naar open ruimte	Landgebruik	Wonen
Omzetting naar groene ruimte	Landgebruik	Wonen
Versteningsgraad van de versteende ruimte	Cluster	Wonen
Dichtheid van versteende ruimte	Count	Wonen
Woondichtheid: aantal inwoners per pixel	PopulationDensity	Wonen
Woondichtheid: aantal inwoners per VHA zone	PopulationDensity	Wonen
Versteende ruimte in landbouwgebied	Disturbance	Landbouw
Verweving van landbouwtypes	Count	Landbouw
Aaneengeslotenheid van de open ruimte	Cluster	Versnippering
Aaneengeslotenheid van de versteende ruimte	Cluster	Versnippering
Ruimtegebruik lager dan 7.33 m / 10.5 m TAW	Landgebruik	Kwaliteit leefomgeving
Bebouwing in niet-gerioleerd gebied	Disturbance	Kwaliteit leefomgeving
Oppervlakte versteende ruimte in overstromingsgebieden	Disturbance	Kwaliteit leefomgeving
Milieuhinder: bebouwing in omgeving van grote wegen	Disturbance	Kwaliteit leefomgeving
Aanwezigheid open ruimte in Vlaanderen	Disturbance	Recreatie
Aanwezigheid groene ruimte in Vlaanderen	Disturbance	Natuur & recreatie
Aanwezigheid beschermde natuur in Vlaanderen	Disturbance	Natuur
Aanwezigheid bos in Vlaanderen	Disturbance	Natuur & recreatie
Aanwezigheid multifunctioneel bos in Vlaanderen	Disturbance	Natuur & recreatie
Aanwezigheid grasland met natuurwaarde in Vlaanderen	Disturbance	Natuur
Aanwezigheid kustduin in Vlaanderen	Disturbance	Natuur

Aanwezigheid heide in Vlaanderen	Disturbance	Natuur
Aanwezigheid moeras in Vlaanderen	Disturbance	Natuur
Aanwezigheid landbouw met natuurdoelen in Vlaanderen	Disturbance	Landbouw
Aanwezigheid beschermde natuur binnen/buiten NATURA2000 (SBZ-V)	Disturbance	Natuur
Aanwezigheid beschermde natuur binnen/buiten (SBZ-H)	Disturbance	Natuur
Natuurlijke samenhang beschermde natuur	KansOpVoorkomen (KOV)	Versnippering, KOV
Natuurlijke samenhang groene ruimte	KansOpVoorkomen (KOV)	Versnippering, KOV
Recreatieaanbod en –druk: groene ruimte versus aantal inwoners en viceversa	CountDensity	Recreatie
Aanbod en druk beschermde natuur	CountDensity	Recreatie
Aanbod en druk bos	CountDensity	Recreatie
Nabijheid van groene ruimte tot wonen	Distance	Recreatie
Nabijheid van beschermde natuur tot wonen	Distance	Recreatie
Nabijheid van bos tot wonen	Distance	Recreatie
Clustering groene ruimte	Cluster	Versnippering
Clustering beschermde natuur	Cluster	Versnippering
Clustering bos	Cluster	Versnippering
Clustering moeras	Cluster	Versnippering
Clustering heide	Cluster	Versnippering
Clustering kustduin	Cluster	Versnippering
Clustering grasland met natuurwaarde	Cluster	Versnippering
Clustering landbouw	Cluster	Versnippering
Clustering bebouwing	Cluster	Versnippering
Versteningsgraad	Disturbance	MIRA 2011
Verweving van de verstening	Count	MIRA 2011
Bevolkingsdichtheid	PopulationDensity	MIRA 2011
Tewerkstellingsdichtheid	JobSendity	MIRA 2011
Bebouwing in niet-gezuiverd gebied	Disturbance	MIRA 2011
Bevolking in niet-gezuiverd gebied	PopulationDensity	MIRA 2011
Bevolking in overstromingsgebieden	PopulationDensity	MIRA 2011
Bebouwing in overstromingsgebied	Disturbance	MIRA 2011
Omzetting open ruimte naar versteende ruimte	Landgebruik	MIRA 2011
Versteningsgraad	Disturbance	MIRA 2011

3.6.2.2 Doorrekening RuimteModel voor Steunpunt Ruimte en Wonen (Engelen et al., 2011b)

In het kader van het Steunpunt Ruimte en Wonen werd in 2011 een Business-as-Usual scenario doorgerekend met het RuimteModel. Samen met het landgebruik, werden de indicatoren, opgenomen in Tabel 12 doorgerekend tot 2050.

Tabel 12: Indicatoren doorgerekend voor een BAU-scenario tot 2050 (Engelen et al., 2011b)

Indicator	Type indicator
Verstedelijkingsgraad	Count
Versteningsgraad	Count
Druk van verstedelijking op de landbouw	Count

Aaneengeslotenheid van de stedelijke gebieden	Cluster
Aaneengeslotenheid van de open ruimte	Cluster
Woondichtheid	PopulationDensity
Werkdichtheid (per economische sector)	JobDensity
Bevolkingsdruk op de open ruimte	CountDensity
Aanwezigheid van bebouwing in niet-gerioleerd gebied	Disturbance
Aanwezigheid van bebouwing in overstromingsgebied	Disturbance
Geluidsoverlast luchthavens	Disturbance
Geluidsoverlast spoorwegen	Disturbance
Geluidsoverlast gewestwegen	Disturbance

3.6.2.3 De Vlaamse ruimte in 4 wereldbeelden (Engelen et al., 2011a)

In opdracht van het Steunpunt Ruimte en Wonen werd de ruimtelijke impact van 4 verschillende wereldbeelden doorgerekend met het RuimteModel tot in 2050. Aanvullend op het landgebruik werden hierbij een aantal indicatoren doorgerekend. Deze indicatoren vormen een afwegingskader dat de mogelijke effecten van de verschillende ruimtelijke ontwikkelingen op wonen, werken, natuur, landschap en recreatie in beeld brengt. Tabel 13 geeft het overzicht van alle doorgerekende indicatoren voor deze vier wereldbeelden.

Tabel 13: Indicatoren doorgerekend voor de vier wereldbeelden (Engelen et al., 2011a)

Indicator	Type indicator	Sector/thema
Verstedelijkingsgraad	Count	Ruimte voor wonen en werken
Verstedelijkte ruimte: Oppervlakte en contiguïteit	Cluster	Ruimte voor wonen en werken
Woondichtheid: aantal inwoners per wooncel	PopulationDensity	Demografie
Wonen: Oppervlakte en contiguïteit	Cluster	Ruimte voor wonen
Werkdichtheid: aantal werkenden per cel … (per economische sector)	JobDensity	Economie
Werken: Oppervlakte en contiguïteit	Cluster	Ruimte voor werken
Arbeidspotentieel	CountDensity	Economie
Concentratie Industrie	Count	Ruimte voor werken
Concentratie Groothandel	Count	Ruimte voor werken
Concentratie Detailhandel	Count	Ruimte voor werken
Concentratie Kantoren	Count	Ruimte voor werken
Concentratie Overige diensten	Count	Ruimte voor werken
Concentratie Werken	Count	Ruimte voor werken
Afstand residentieel tot detailhandel en overige diensten	Distance	Sociaaleconomische ontwikkelingen
Open ruimte: Oppervlakte en contiguïteit	Cluster	Milieu, natuur en landbouw
Groene ruimte: Oppervlakte en contiguïteit	Cluster	Milieu, natuur en landbouw
Bevolkingsdruk op groene ruimte	CountDensity	Milieu, natuur en landbouw

3.6.2.4 KalibratieModel en ZoekZoneModel (Poelmans et al., 2012, 2015)

Voor het optimaliseren van de instandhoudingsdoelstellingen werden, op basis van het RuimteModel, twee optimalisatiemodellen gemaakt: het KalibratieModel en het ZoekZoneModel. Het KalibratieModel (Poelmans et al., 2012) werd ingezet voor het zoeken naar een optimale verdeling van de Gewestelijke Instandhoudingsdoelstellingen (G-IHD) over de verschillende Speciale Beschermingszones (SBZ) in Vlaanderen. Het ZoekZoneModel (Poelmans et al., 2015) werd vervolgens ingezet om gebieden te zoeken binnen deze SBZ die het meest geschikt zijn voor het realiseren van de instandhoudingsdoelstellingen voor Europese habitattypen.

Beide modellen doen aan optimalisatie aan de hand van een aantal ruimtelijke criteria, die zijn berekend op basis van de indicatoren uit het RuimteModel. Deze indicatoren houden naast de ecologische geschiktheid, die is opgenomen aan de hand van een aantal 'harde randvoorwaarden', ook rekening met socio-economische overwegingen, die vanuit verschillende doelgroepen of sectoren naar voren werden geschoven. Tabel 14 geeft het overzicht van alle optimalisatiecriteria die in rekening zijn gebracht in het KalibratieModel. De HabitatCluster-indicator is een indicator die is afgeleid van de Cluster-indicator, maar specifiek werd ingevuld met het oog op het clusteren van verwante habitattypes. In het ZoekZoneModel werden grotendeels dezelfde criteria gebruikt, maar werden de verschillende generieke en specifieke optimalisatiecriteria gecombineerd in één indicator de 'Socio-economische en ecologische geschiktheid (SEEG)', die werd berekend aan de hand van een WeightedDisturbace-indicator.

Tabel 14: Optimalisatiecriteria uit het KalibratieModel (Poelmans et al., 2012)

Indicator	Type indicator	Afwegingscriterium
75% van de oppervlakte van habitattypen in voldoende of goede lokale staat van instandhouding (B-clusters)	HabitatCluster	Harde randvoorwaarde, berekend voor elk van de 15 berekende habitattypes
Referentieareaal voor habitats behouden of bereiken	HabitatCluster	Harde randvoorwaarde, berekend voor elk van de 15 berekende habitattypes
Referentieareaal voor richtlijnsoorten behouden of bereiken	HabitatCluster	Harde randvoorwaarde, berekend voor elk van de 15 berekende habitattypes
Voldoende kernen geschikt voor fauna (50% in A-clusters)	HabitatCluster	Harde randvoorwaarde, berekend voor elk van de 15 berekende habitattypes
Sterkste schouders, zwaarste last	Disturbance	Generieke optimalisatiewens
Maximaal doelen open habitattypes en alluviale bossen in perimeters terreinbeherende verenigingen	Disturbance	Specifieke optimalisatiewens - Sector Natuur
Minimaal bosdoelen in zones met een hoge concentratie aan ken- en rode lijstsoorten die niet kunnen overleven onder bos	WeightedDisturbance	Specifieke optimalisatiewens - Sector Natuur
Minimaal doelen op percelen met hoge landbouwgevoeligheid	WeightedDisturbance	Specifieke optimalisatiewens - Sector Landbouw
Minimaal doelen in de buurt van landbouwgebouwen	WeightedDisturbance	Specifieke optimalisatiewens - Sector Landbouw
Minimaal waterafhankelijke doelen in pompkegels drinkwaterwinningen	WeightedDisturbance	Specifieke optimalisatiewens - Sector Economie
Minimaal gevoelige doelen in de buurt van bedrijvigheid	WeightedDisturbance	Specifieke optimalisatiewens - Sector Economie

Maximaal doelen bosomvorming en – uitbreiding in VEN	Disturbance	Specifieke optimalisatiewens - Sector Privé-eigenaars
Minimaal doelen in parkgebieden en rondom beschermde monumenten	Disturbance	Specifieke optimalisatiewens - Sector Privé-eigenaars

3.6.2.5 Monetariseren van urban sprawl (Vermeiren et al., 2019)

Binnen deze opdracht werd enkel gebruik gemaakt van de landgebruikskaart en de ruimtebeslag-indicator (zie paragraaf 3.6.1.7), die speciaal voor deze opdracht werd ontwikkeld.

4 RECENTE ONTWIKKELINGEN

Onlangs werd een Mobiliteitsmodule ontwikkeld als uitbreiding van het RuimteModel (White et al., 2020). De module is geen volwaardig transportmodel maar simuleert wel relatieve veranderingen in reistijden en verkeersstromen als gevolg van wijzigingen in de locaties van bevolking en tewerkstelling. Mobiliteit en ruimtegebruik zijn zo in beide richtingen gekoppeld, want de evoluties van activiteiten en landgebruiken worden ook aangepast via wijzigende reistijden in de interactieregels van het CA-model. Deze ontwikkeling kan een belangrijke stap in de richting van het opstarten van een Omgevingsmodel zijn omdat een toename in verkeersstromen een grote impact heeft op een aantal aspecten van de leefomgeving.

REFERENTIES

Cockx, K., & Canters, F. (2020). Determining heterogeneity of residential location preferences of households in Belgium. *Applied Geography*, 124, 102271.

Crols, T. (2017). *Integrating network distances into an activity-based cellular automata land-use model. Semi-automated calibration and application to Flanders, Belgium.* PhD Thesis, Vrije Universiteit Brussel, Brussel. Te consulteren op: https://geodynamix.eu/sites/geodynamix/files/PhD_thesis_Tomas_Crols_Fin.pdf

Crols, T., White, R., Uljee, I., Engelen, G., Poelmans, L., & Canters, F. (2015). A travel time-based variable grid approach for an activity-based cellular automata model. *International Journal of Geographical Information Science*, 29(10), 1757–1781.

Desmet, R., Hertveldt, B., Mayeres, I., Mistiaen, P., & Sissoko, S. (2008). The PLANET Model: Methodological Report, PLANET 1.0, Study financed by the framework convention "Activities to support the federal policy on mobility and transport, 2004-2007" between the FPS Mobility and Transport and the Federal Planning Bureau, Working Paper 10-08, Federaal Planbureau, Brussel. Te consulteren op: https://www.plan.be/uploaded/documents/200805191101480.wp200810.pdf

Engelen, G., Poelmans, L., Uljee, I., De Kok, J., & Van Esch, L. (2011a). De Vlaamse ruimte in 4 wereldbeelden. Studie uitgevoerd in opdracht van het Steunpunt Ruimte en Wonen. Te consulteren op: https://archief-algemeen.omgeving.vlaanderen.be/xmlui/handle/acd/280683

Engelen, G., Van Esch, L., Uljee, I., De Kok, J., Poelmans, L., Gobin, A., & Van der Kwast, H. (2011b). RuimteModel: Ruimtelijk-dynamisch landgebruiksmodel voor Vlaanderen. Eindrapport. Studie 2011/RMA/R/242, uitgevoerd in opdracht van Steunpunt Ruimte en Wonen.

Gobin A., Uljee I., Van Esch L., Engelen G., de Kok J., van der Kwast H., Hens M., Van Daele T., Peymen J., Van Reeth W., Overloop S., & Maes F. (2009) Landgebruik in Vlaanderen. Wetenschappelijk rapport, Mira 2009 & Nara 2009, VMM, INBO.R.2009.20, www.milieurapport.be, www.nara.be

Idea Consult (2014), Raming van de behoefte aan bedrijventerreinen in het Vlaams Gewest. Eindrapport. Studie uitgevoerd in opdracht van: Vlaamse overheid – Agentschap Ondernemen. Te consulteren op: https://www.vlaio.be/nl/media/124

Idea Consult (2021), Raming van de ruimtevraag voor niet-verweefbare bedrijvigheid. Eindrapport. Studie uitgevoerd in opdracht van: Provincie Oost-Vlaanderen – Dienst Ruimtelijke planning. Te consulteren op: https://dms.oost-vlaanderen.be/download/799e9ae2-ff6f-4241-96ba-f8314881f20f/Eindrapport%20Ruimtevraag.pdf

Lomax, N. (2021). Synthetic population estimation and scenario projection. Producing high resolution population projections and a framework for exploring future scenarios. Te consulteren op: https://www.turing.ac.uk/research/research-projects/synthetic-population-estimation-and-scenario-projection

Poelmans, L., & Van Rompaey, A. (2009). Detecting and modelling spatial patterns of urban sprawl in highly fragmented areas: a case study in the Flanders-Brussels region. *Landscape and Urban Planning*, 93(1), 10–19.

Poelmans, L., & Van Rompaey, A. (2010). Complexity and performance of urban expansion models. *Computers, Environment and Urban Systems*, 34(1), 17–27.

Poelmans, L., Uljee, I., Engelen, G., Hens, M., Adriaens, D., Herr, C., Lommaert, L., Louette, G., Wils, C., Van Daele, T., & Wouters, J. (2012). Ecologisch en socio-economisch optimale allocatie van de instandhoudingsdoelstellingen in Vlaanderen. Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek & Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, studie uitgevoerd in opdracht van ANB. Rapport beschikbaar bij ANB.

Poelmans, L., Van der Meulen, M., Vermeiren, K., Engelen, G., Adriaens, D., & Vandegehuchte, M. (2015). ZoekZoneModel: Technische beschrijving. Rapport 2015/RMA/R/0382, studie uitgevoerd in opdracht van ANB. Vertrouwelijk.

Poelmans, L., Van Esch, L., Janssen, L., & Engelen, G. (2016a). Landgebruiksbestand voor Vlaanderen, 2013. Studie uitgevoerd in opdracht van: Ruimte Vlaanderen. Te consulteren op: https://archief-algemeen.omgeving.vlaanderen.be/xmlui/bitstream/handle/acd/230066/Landgebruiksbestand%202013.pdf

Poelmans, L., Van Esch, L., Janssen, L., & Engelen, G. (2016b). Indicatoren ruimtelijk rendement. Studie uitgevoerd in opdracht van: Ruimte Vlaanderen. Te consulteren op: https://archief-algemeen.omgeving.vlaanderen.be/xmlui/handle/acd/230067

Poelmans, L., Hambsch, L., Willems, P., & Mertens, G. (2020). Kansenkaart ruimtelijk rendement verhogen & kansenkaart ruimtelijk uitbreiden voor gemengde omgevingen – Technische beschrijving. Studie uitgevoerd in opdracht van het Vlaams Planbureau voor Omgeving. Te consulteren op: https://archief-algemeen.omgeving.vlaanderen.be/xmlui/handle/acd/284242

Priem, F. & Canters, F. (2021). Modelling transitions in sealed surface fraction with Quantitative State Cellular Automata. Landscape and Urban Planning, 211, 1-12.

Priem, F., Stessens, P., & Canters, F. (2020). Microsimulation of residential activity for alternative urban development scenarios: A case study on Brussels and Flemish Brabant. *Sustainability*, 12(6), 2370.

Santé, I., García, A. M., Miranda, D., & Crecente, R. (2010). Cellular automata models for the simulation of real-world urban processes: A review and analysis. *Landscape and Urban Planning*, 96(2), 108–122.

Spooner, F., Abrams, J. F., Morrissey, K., Shaddick, G., Batty, M., Milton, R., Dennett, A., Lomax, N., Malleson, N., Nelissen, N., Coleman, A., Nur, J., Jin, Y., Greig, R., Shenton, C., & Birkin, M. (2021). A dynamic microsimulation model for epidemics. *Social Science & Medicine*, 114461.

Stevens M., Alaerts K., Van Reeth W., Schneiders A., Michels H., Van Gossum P., & Vught I. (2018). Natuurverkenning 2050. Hoofdstuk 5: De kijkrichtingen doorgelicht. Rapporten van

het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2018 (85). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel. Te consulteren op: https://pureportal.inbo.be/nl/publications/natuurverkenning-2050-hoofdstuk-5-de-kijkrichtingen-doorgelicht

Uljee, I. Van Esch, L., de Kok, J., Poelmans, L., & Engelen, G. (2011). O&O Verfijning ruimtemodel. Studie uitgevoerd in opdracht van VMM – MIRA. Te consulteren op: https://www.milieurapport.be/publicaties/2011/verfijning-ruimtemodel

Vanderhaegen, S., De Munter, K., & Canters, F. (2015). High resolution modelling and forecasting of soil sealing density at the regional scale. *Landscape and Urban Planning*, 133 (2015), 133-142.

Verachtert, E., Mayeres, I., Poelmans, L., van der Meulen, M., Vanhulsel, M., & Engelen, G. (2016). Ontwikkelingskansen op basis van knooppuntwaarde en nabijheid voorzieningen, studie uitgevoerd in opdracht van Ruimte Vlaanderen, Brussel. Te consulteren op: https://archief-algemeen.omgeving.vlaanderen.be/xmlui/handle/acd/230143

Vermeiren, K., Poelmans, L., Engelen, G., Broekx, S., Beckx, C., De Nocker, L., & Van Dyck, K. (2019). Monetariseren van de impact van urban sprawl in Vlaanderen. Studie uitgevoerd in opdracht van het Departement Omgeving. Te consulteren op: https://archief-algemeen.omgeving.vlaanderen.be/xmlui/handle/acd/230149

White, R., Engelen, G., & Uljee, I. (1997). The use of constrained cellular automata for high-resolution modelling of urban land-use dynamics. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 24(3), 323-343.

White, R., Uljee, I., & Engelen, G. (2012). Integrated modelling of population, employment and land-use change with a multiple activity-based variable grid cellular automaton. *International Journal of Geographical Information Science*, 26(7), 1251–1280.

White, R., Engelen, G., & Uljee, I. (2015). *Modeling cities and regions as complex systems. From theory to planning applications*. Cambridge, MA, USA, & London, UK: The MIT Press.

White, R., Crols, T., van der Meulen, M., Uljee, I., Vermeiren, K., & Poelmans, L. (2020). Emulating an Integrated Activity Based Land Use – Transportation Model to Provide a More Effective Spatial Decision Support Tool. Abstract van het *10de International Congress on Environmental Modelling and Software (iEMSs 2020)*, Brussel, België.

BIJLAGE A – INTERACTIEREGELS

Impact op	Impact van	afstand	gewicht	afstand	gewicht	afstand	gewicht	afstand	gewicht	afstand	gewicht	afstand	gewicht	afstand	gewicht	afstand	gewicht	afstand	gewicht	afstand	gewicht	afstand	gewicht
Bevolking	Bevolking	-1	7.85E+07	0	37120.7	1	33040.5	2	17232.4	4.31672	0.702616	5	0.206569	6	0.045228	7	0.012522	8	0				
Bevolking	Detailhandel en horeca	-1	0	0	1902.35	1	1884.58	2	417.856	4.31858	0.193424	5	0.052461	6	0.010343	7	0.002621	8	0				
Bevolking	Kantoren & administratie	-1	0	0	11.0675	1	15422.7	2	1471.97	2.2124	42.6076	3	31.32948	4	23.43197	5	18.70525	6	15.56031	7	13.31758	8	0
Bevolking	Overige diensten	-1	0	0	804.361	1	1239.96	2	1812.35	3.24597	0.034353	4	0.003157	5	0.000246	6	3.07E-05	7	5.27E-06	8	0		
Glastuinbouw (serres)	Glastuinbouw (serres)	-1	10000000	0	1000	1	10	2	0.1	3	0.001	4	0	5	0	6	0	7	0	8	0		
Lichte industrie	Bevolking	-1	0	0	416.47	1	6007.18	2	45.7379	3.26672	16.9064	4	9.824545	5	5.401967	6	3.313692	7	2.192128	8	0		
Lichte industrie	Lichte industrie	-1	9.97E+08	0	9005.51	1	2926.31	2	67.7189	4.61913	6.19576	5	5.649633	6	4.568821	7	3.818006	8	0				
Lichte industrie	Zware industrie	-1	0	0	147.993	1	1577.95	2	119.688	2.73181	46.3625	3	35.1394	4	14.99739	5	7.748062	6	4.516915	7	2.862206	8	0
Zware industrie	Zware industrie	-1	5.24E+06	0	709.97	1	240.496	2	51.9552	4.02082	43.0794	5	39.2571	6	36.32147	7	34.01137	8	0				
Afval & afvalwater, water-winning & water-distributie	Afval & afvalwater, waterwinning & water-distributie	-1	1E+09	0	10000	1	10	2	0.1	3	0.001	4	0	5	0	6	0	7	0	8	0		
Mijnbouw	Mijnbouw	-1	1E+09	0	10000	1	10	2	0.1	3	0.001	4	0	5	0	6	0	7	0	8	0		
Energie	Energie	-1	1E+09	0	10000	1	10	2	0.1	3	0.001	4	0	5	0	6	0	7	0	8	0		
Groot-handel en transport & verkeer	Lichte industrie	-1	0	0	12136.5	1	12295.1	2	1325.28	3.54757	80.1821	4	32.64974	5	6.144492	6	1.569626	7	0.49509	8	0		

Groot-handel en transport & verkeer	Groothandel en transport & verkeer	-1	9.67E+08	0	876.911	1	636.083	2	483.009	4.27954	97.8865	5	71.14288	6	48.94761	7	35.67995	8	0				
Detail-handel en horeca	Bevolking	-1	0	0	7464.35	1	11918.1	2	5314.51	2.58227	9.65338	3	7.635112	4	4.868316	5	3.433889	6	2.581822	7	2.028636	8	0
Detail-handel en horeca	Detailhandel en horeca	-1	2.06E+08	0	18270	1	16789.6	2	2755.99	4.63139	0.079861	5	0.044559	6	0.011109	7	0.003432	8	0				
Kantoren & admini-stratie	Bevolking	-1	0	0	11756.2	1	11704.2	2	9229.83	2.01176	13.0693	3	9.130336	4	7.052578	5	5.77253	6	4.901139	7	4.267847	8	0
Kantoren & admini-stratie	Lichte industrie	-1	0	0	12136.5	1	12295.1	2	1325.28	3.54757	80.1821	4	32.64974	5	6.144492	6	1.569626	7	0.49509	8	0		
Kantoren & admini-stratie	Groothandel en transport & verkeer	-1	0	0	4807.09	1	7185.89	2	4852.86	3.43112	89.5712	4	39.5092	5	12.01265	6	4.541197	7	1.995163	8	0		
Kantoren & admini-stratie	Kantoren & administratie	-1	7.50E+11	0	19984.9	1	307.941	2	104.437	4.88513	0.627355	5	0.527889	6	0.136282	7	0.043371	8	0				
Overige diensten	Bevolking	-1	0	0	6.28471	1	51.823	2	192.347	3.12248	59.3334	4	48.73864	5	40.82312	6	35.3199	7	31.24996	8	0	8	0
Overige diensten	Overige diensten	-1	9.79E+12	0	10005	1	352.99	2	1.67808	2.65372	0.002333	3	0.000775	4	5.85E-05	5	7.87E-06	6	1.53E-06	7	3.83E-07	8	0
Zelfstan-digen	Bevolking	-1	0	0	9701.77	1	19090.7	2	19687.4	4.69319	0.905266	5	0.651036	6	0.251999	7	0.112949	8	0				
Zelfstan-digen	Kantoren & administratie	-1	0	0	0.259343	1	0.895899	2	6.13831	4.81156	40.154	5	27.65363	6	4.710043	7	1.05457	8	0				
Zelfstan-digen	Zelfstandigen	-1	7.30E+07	0	43375	1	23895.8	2	17769.5	3.94778	0.358351	4	0.313428	5	0.032237	6	0.005027	7	0.001044	8	0		
Bos	Overig laag groen	-1	0	0	10000	1	10	2	0														
Bos	Overige bebouwde terreinen	-1	0	0	10000	1	10	2	0														
Bos	Agrarische gebouwen (uitz. glastuinbouw)	-1	0	0	10000	1	10	2	0														
Bos	Niet geregis-treerde	-1	0	0	10000	1	10	2	0														

	landbouw-grond																						
Bos	Productiegras land	-1	0	0	10000	1	10	2	0														
Bos	Akker	-1	0	0	10000	1	10	2	0														
Bos	Boomgaard (laagstam)	-1	0	0	10000	1	10	2	0														
Bos	Recreatie- en sportterrein	-1	0	0	10000	1	10	2	0														
Bos	Bos	-1	5E+08	0	10000000	1	100	2	0	3	0	4	0	5	0	6	0	7	0	8	0		
Bos	Grasland	-1	0	0	10000000	1	100	2	0														
Bos	Moeras	-1	0	0	10000000	1	100	2	0														
Bos	Heide	-1	0	0	10000000	1	100	2	0														
Bos	Kustduin	-1	0	0	10000000	1	100	2	0														
Bos	Slik en schorre	-1	0	0	10000000	1	100	2	0														
Grasland	Overig laag groen	-1	0	0	10000	1	10	2	0														
Grasland	Overige bebouwde terreinen	-1	0	0	10000	1	10	2	0														
Grasland	Agrarische gebouwen (uitz. glastuinbouw)	-1	0	0	10000	1	10	2	0														
Grasland	Niet geregis-treerde landbouw-grond	-1	0	0	10000	1	10	2	0														
Grasland	Productiegras land	-1	0	0	10000	1	10	2	0														
Grasland	Akker	-1	0	0	10000	1	10	2	0														
Grasland	Boomgaard (laagstam)	-1	0	0	10000	1	10	2	0														
Grasland	Recreatie- en sportterrein	-1	0	0	10000	1	10	2	0														
Grasland	Bos	-1	0	0	10000000	1	100	2	0														

Grasland	Grasland	-1	1.5E+08	0	10000000	1	100	2	0	3	0	4	0	5	0	6	0	7	0	8	0		
Grasland	Moeras	-1	0	0	10000000	1	100	2	0														
Grasland	Heide	-1	0	0	10000000	1	100	2	0														
Grasland	Kustduin	-1	0	0	10000000	1	100	2	0														
Grasland	Slik en schorre	-1	0	0	10000000	1	100	2	0														
Moeras	Overig laag groen	-1	0	0	10000	1	10	2	0														
Moeras	Overige bebouwde terreinen	-1	0	0	10000	1	10	2	0														
Moeras	Agrarische gebouwen (uitz. glastuinbouw)	-1	0	0	10000	1	10	2	0														
Moeras	Niet geregis-treerde landbouw-grond	-1	0	0	10000	1	10	2	0														
Moeras	Productiegras land	-1	0	0	10000	1	10	2	0														
Moeras	Akker	-1	0	0	10000	1	10	2	0														
Moeras	Boomgaard (laagstam)	-1	0	0	10000	1	10	2	0														
Moeras	Recreatie- en sportterrein	-1	0	0	10000	1	10	2	0														
Moeras	Bos	-1	0	0	10000000	1	100	2	0														
Moeras	Grasland	-1	0	0	10000000	1	100	2	0														
Moeras	Moeras	-1	1.5E+08	0	10000000	1	100	2	0	3	0	4	0	5	0	6	0	7	0	8	0		
Moeras	Heide	-1	0	0	10000000	1	100	2	0														
Moeras	Kustduin	-1	0	0	10000000	1	100	2	0														
Moeras	Slik en schorre	-1	0	0	10000000	1	100	2	0														

Heide	Overig laag groen	-1	0	0	10000	1	10	2	0														
Heide	Overige bebouwde terreinen	-1	0	0	10000	1	10	2	0														
Heide	Agrarische gebouwen (uitz. glastuinbouw)	-1	0	0	10000	1	10	2	0														
Heide	Niet geregis-treerde landbouw-grond	-1	0	0	10000	1	10	2	0														
Heide	Productiegras land	-1	0	0	10000	1	10	2	0														
Heide	Akker	-1	0	0	10000	1	10	2	0														
Heide	Boomgaard (laagstam)	-1	0	0	10000	1	10	2	0														
Heide	Recreatie- en sportterrein	-1	0	0	10000	1	10	2	0														
Heide	Bos	-1	0	0	50000000	1	100	2	0														
Heide	Grasland	-1	0	0	10000000	1	100	2	0														
Heide	Moeras	-1	0	0	10000000	1	100	2	0														
Heide	Heide	-1	1.5E+08	0	10000000	1	100	2	0	3	0	4	0	5	0	6	0	7	0	8	0		
Heide	Kustduin	-1	0	0	10000000	1	100	2	0														
Heide	Slik en schorre	-1	0	0	10000000	1	100	2	0														
Kustduin	Overig laag groen	-1	0	0	100000	1	10	2	0														
Kustduin	Overige bebouwde terreinen	-1	0	0	100000	1	10	2	0														
Kustduin	Agrarische gebouwen (uitz. glastuinbouw)	-1	0	0	100000	1	10	2	0														
Kustduin	Niet geregis-treerde	-1	0	0	100000	1	10	2	0														

	landbouw-grond																						
Kustduin	Productiegras land	-1	0	0	100000	1	10	2	0														
Kustduin	Akker	-1	0	0	100000	1	10	2	0														
Kustduin	Boomgaard (laagstam)	-1	0	0	100000	1	10	2	0														
Kustduin	Recreatie- en sportterrein	-1	0	0	100000	1	10	2	0														
Kustduin	Bos	-1	0	0	1E+08	1	100	2	0														
Kustduin	Grasland	-1	0	0	1E+08	1	100	2	0														
Kustduin	Moeras	-1	0	0	1E+08	1	100	2	0														
Kustduin	Heide	-1	0	0	1E+08	1	100	2	0														
Kustduin	Kustduin	-1	1.5E+10	0	1E+08	1	100	2	0	3	0	4	0	5	0	6	0	7	0	8	0		
Kustduin	Slik en schorre	-1	0	0	1E+08	1	100	2	0														
Slik en schorre	Overig laag groen	-1	0	0	100000	1	10	2	0														
Slik en schorre	Overige bebouwde terreinen	-1	0	0	100000	1	10	2	0														
Slik en schorre	Agrarische gebouwen (uitz. glastuinbouw)	-1	0	0	100000	1	10	2	0														
Slik en schorre	Niet geregis-treerde landbouw-grond	-1	0	0	100000	1	10	2	0														
Slik en schorre	Productiegras land	-1	0	0	100000	1	10	2	0														
Slik en schorre	Akker	-1	0	0	100000	1	10	2	0														
Slik en schorre	Boomgaard (laagstam)	-1	0	0	100000	1	10	2	0														
Slik en schorre	Recreatie- en sportterrein	-1	0	0	100000	1	10	2	0														
Slik en schorre	Bos	-1	0	0	1E+10	1	100	2	0														

Slik en schorre	Grasland	-1	0	0	1E+10	1	100	2	0														
Slik en schorre	Moeras	-1	0	0	1E+10	1	100	2	0														
Slik en schorre	Heide	-1	0	0	1E+10	1	100	2	0														
Slik en schorre	Kustduin	-1	0	0	1E+10	1	100	2	0														
Slik en schorre	Slik en schorre	-1	1.5E+12	0	1E+10	1	100	2	0	3	0	4	0	5	0	6	0	7	0	8	0		

BIJLAGE B – GEWICHTEN PER KLASSE IN DE GESCHIKTHEIDSKAARTEN

Kaartbestand	Klasse	Residentieel	Lichte industrie	Zware industrie	Afval & afvalwater, waterwinning & waterdistributie	Mijnbouw	Energie	Groothandel en transport & verkeer	Detailhandel en horeca	Kantoren& administratie	Onderwijs, gezondheidszorg en overige diensten
Bodem-associaties	no data	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	Duinen	7	6	5	5	8	5	6	7	6	6
	polders	4	4	4	4	7	4	4	4	4	4
	moeren en veengronden	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1
	overdekt Pleistocene	6	6	6	6	8	6	6	6	6	6
	Zandgronden zonder profielontwikkeling	8	8	8	8	9	8	8	8	8	8
	lemige zandgronden	9	9	9	9	8	9	9	9	9	9
	lemige zandgronden met diepe antropogene humus A horizont	9	9	9	9	7	9	9	9	9	9
	niet gedifferentieerde zandige substraatgronden	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10
	zandleemgronden met verbrokkelde textuur B horizont	10	10	10	10	8	10	10	10	10	10
	zandleemgronden met textuur B horizont of verbrokkelde textuur B horizont	9	9	9	9	7	9	9	9	9	9
	leemgronden met textuur B horizont	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	niet gedifferentieerde zandlemige of lemige substraatgronden	9	9	9	9	7	9	9	9	9	9
	stenige leemgronden	8	8	8	8	7	8	8	8	8	8
	kleigronden	5	5	5	5	10	5	5	5	5	5

Kaartbestand	Klasse	Residentieel	Lichte industrie	Zware industrie	Afval & afvalwater, waterwinning & waterdistributie	Mijnbouw	Energie	Groothandel en transport & verkeer	Detailhandel en horeca	Kantoren& administratie	Onderwijs, gezondheidszorg en overige diensten
	alluviale gronden	4	3	3	3	8	3	3	4	3	3
	zones met steile hellingen	3	2	1	1	8	1	2	3	2	2
Erosie-gevoeligheid	geen	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	> 10 ton / ha jaar	4	3	3	3	7	3	3	4	3	3
	2-10 ton / ha jaar	7	6	6	6	8	6	6	7	6	6
	< 2 ton / ha jaar	9	8	8	8	9	8	8	9	8	8
Risicozones overstromingen[1]	0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hellingen	>10	3	0	0	0	7	0	0	3	1	1
	5-10	6	1	1	1	8	1	1	6	3	3
	2,5 - 5,0	8	2	2	2	9	2	2	8	5	5
	1 - 2,5	9	6	6	6	10	6	6	9	7	7
	0,001 - 1	10	9	9	9	10	9	9	10	9	9
	0 - 0,001	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Zoneringsplannen	centraal gebied	8	10	10	10	10	10	8	8	8	8
	collectief geoptimaliseerd gebied	9	10	10	10	10	10	9	9	9	9
	collectief te optimaliseren gebied	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	individueel	8	10	10	10	10	10	8	8	8	8

Kaartbestand	Klasse	Residentieel	Lichte industrie	Zware industrie	Afval & afvalwater, waterwinning & waterdistributie	Mijnbouw	Energie	Groothandel en transport & verkeer	Detailhandel en horeca	Kantoren& administratie	Onderwijs, gezondheidszorg en overige diensten
Waterwin-gebieden	buiten	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	zone 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	zone 2	3	0	0	0	0	0	3	3	3	3
	zone 3	6	0	0	0	0	0	6	6	6	6
	zone 4	9	4	4	4	4	4	9	9	9	9
cemt_50[2]	buiten	10	0	0	0	0	0	2	10	6	6
	1	10	1	1	1	1	1	3	10	7	7
	2	10	2	2	2	2	2	4	10	7	7
	4	10	3	3	3	3	3	4	10	7	7
	5	10	4	4	4	4	4	5	10	8	8
	6	10	5	5	5	5	5	6	10	8	8
cemt_100[2]	buiten	10	0	0	0	0	0	2	10	6	6
	1	10	2	2	2	2	2	4	10	7	7
	2	10	4	4	4	4	4	5	10	8	8
	4	10	6	6	6	6	6	7	10	8	8
	5	10	8	8	8	8	8	8	10	9	9
	6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
afstand tot de haven 50	< 20 km	10	0	0	0	0	0	2	10	6	6

Kaartbestand	Klasse	Residentieel	Lichte industrie	Zware industrie	Afval & afvalwater, waterwinning & waterdistributie	Mijnbouw	Energie	Groothandel en transport & verkeer	Detailhandel en horeca	Kantoren& administratie	Onderwijs, gezondheidszorg en overige diensten
	20 - 40 km	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	40 - 60 km	10	9	9	9	9	9	9	10	9	9
	60 - 80 km	10	8	8	8	8	8	8	10	9	9
	80 - 100 km	10	7	7	7	7	7	7	10	9	9
	100 - 120 km	10	6	6	6	6	6	7	10	8	8
	> 120 km	10	5	5	5	5	5	6	10	8	8
afstand tot de haven 100	< 20 km	10	9	9	9	9	9	9	10	9	9
	20 - 40 km	10	7	7	7	7	7	7	10	9	9
	40 - 60 km	10	5	5	5	5	5	6	10	8	8
	60 - 80 km	10	4	4	4	4	4	5	10	8	8
	80 - 100 km	10	3	3	3	3	3	4	10	7	7
	100 - 120 km	10	2	2	2	2	2	4	10	7	7
	> 120 km	10	1	1	1	1	1	3	10	7	7
Luchthavens	0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

BIJLAGE C – KORTE TECHNISCHE BESCHRIJVING KOPPELING VAN HET B-CGMS LANDBOUWMODEL AAN HET RUIMTEMODEL (GROWADRISK-PROJECT)

Binnen het Belspo GroWaDRISK-project (SD/RI/05A: Drought-related vulnerability and risk assessment of groundwater resources in Belgium – GroWaDRISK) werd de impact van klimaat- en landgebruiksveranderingen op het grondwater gemodelleerd. Voor de impact van landgebruiksveranderingen op grondwatervoeding, lag de focus op de impact van verharding enerzijds en de impact van de landbouw anderzijds. Om landbouwgebruik in het RuimteModel te kunnen integreren werd het RuimteModel gekoppeld aan een (extern) landbouwmodel. Het gebruikte landbouwmodel is het (Belgian) Crop Growth Monitoring System (B-CGMS), dat door de Université de Liège werd toegepast voor België (http://b-cgms.cra.wallonie.be/).
De manier waarop de integratie van beide modellen gebeurt, wordt hieronder beschreven. De tekstpassage is overgenomen uit het (Engelstalige) technische rapport dat werd opgemaakt in het kader van het GroWaDRISK-project.

Integration of a farmers' decision model – the "crop submodel" – in the RuimteModel

The agricultural model is inserted as a part of the activity-based variable grid CA. It considers 4 land-use classes, to which crops are assigned:

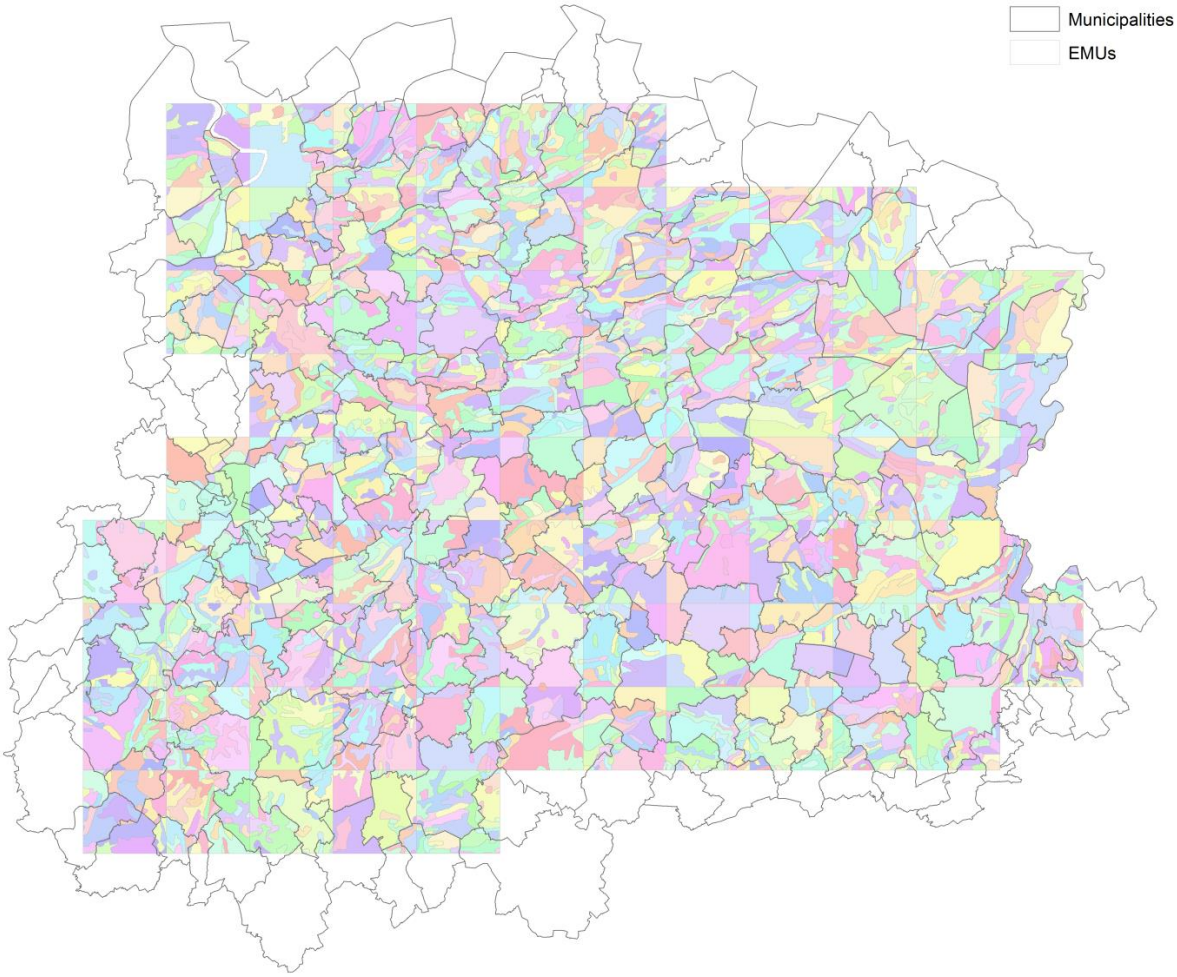
Land-use categories (ACA model)	Crops (B-CGMS model)
Arable land	(1) wheat, (2) barley, (3) grain maize, (4) fodder maize, (5) sugar beets, (6) fodder beets, (7) rapeseed, (8) potato, (9) horticulture, (10) grassland
Greenhouses	(9) horticulture
Permanent grassland	(10) grassland
Orchards	(11) orchards

The land-use category Unregistered grassland is directly driven by the ACA-model and has no crop associated with it. The ACA-model is initialized with **crop areas and activity levels** on each agricultural cell. The crops horticulture and grassland occur both in arable land and greenhouse or permanent grassland, respectively. A splitting fraction is calculated from the initial crop areas on each agricultural cell.

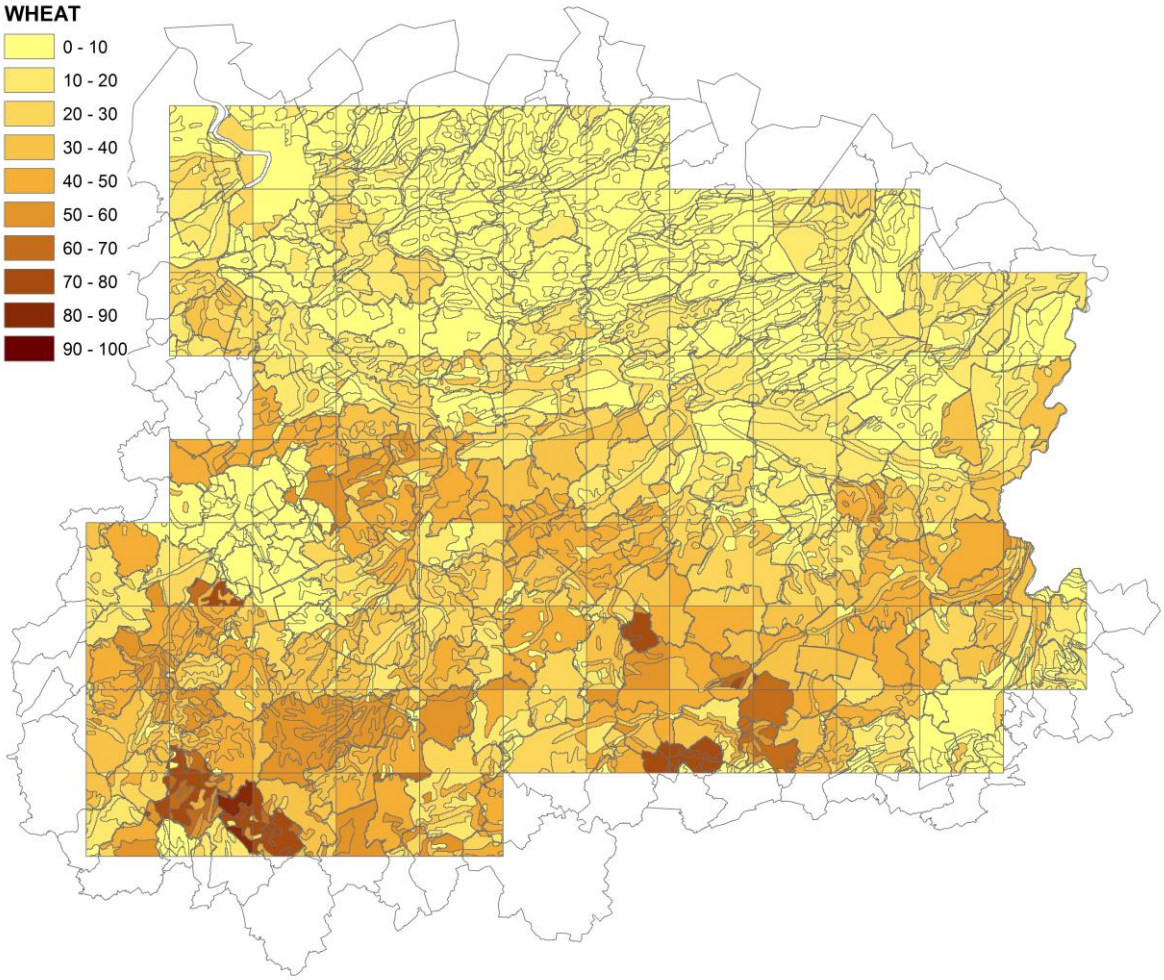
At each iteration, the set of cells with the agricultural land-use categories can change because of (a) the loss of agricultural cells to urban land uses, (b) the conversion from one to another of the agricultural land-use categories, and (c) conversion from another, non-agricultural, land-use category, e.g. forest, to an agricultural category. Components (a) and (c) are determined in the ACA and sent to the agricultural sub-model before this component begins its calculations, while (b) is calculated in the agricultural sub-model. Subsequently, land-use changes from the agricultural sub-model are sent to the ACA before the ACA begins its activity calculations, since the ACA land-use changes must be augmented by the conversions coming from the agricultural sub-model.

The agricultural sub-model embodies the assumption that agricultural cells remain in their current state unless they are taken over by another land use due to the dynamics of the ACA (i.e. they are only passively affected by the ACA dynamics), or unless they change state due to the operation of the agricultural sub-model.

The agricultural sub-model is based on historical trends of the area devoted to each crop, the yield per ha for each crop, the price for each crop, the revenue of animal products and price for animal products for every year. These trends are used to produce scenarios for crop areas per community in the GroWaDRISK study area (Dijle – Demer catchment) up to 2040 (which is the time horizon of the project). The agricultural sub-model scales these areas down to the level of the 3783 agricultural elementary mapping units, EMUs (see figure beluw). The EMUs are defines as areas with homogenous soil type and meteorological data, combined with administrative boundaries (municipality, province, agricultural region, etc.).



Every year the agricultural sub-model scales, per municipality, the projected crop areas from the trend analysis to fit the available agricultural area of the ACA model. Next, it uses an iterative proportional fitting to downscale the crop areas to the EMUs. The IPF is performed per municipality with the constraints that (1) per crop the sum over the EMUs in a municipality of the crop area equals the demanded total for that crop and (2) per EMU the sum over the crop areas equals the total agricultural area in that EMU. The IPF is seeded on basis of the expected yield, the crop areas

in the previous year, the areas and average ACA transition potential of the corresponding agricultural land-use category in the previous year. The output of the agricultural sub-model is a table per crop type with the area of the crop in hectares per year and per EMU. These crop areas per EMU are aggregated to get the total agricultural land-use area per EMU. These land-use areas are then rounded and allocated by the ACA model.

E.g. percentage of wheat in the total crop area per EMU in 2040